



Studentská vědecká a odborná činnost 2019

14. květen 2019

**Technická univerzita v Liberci
Univerzitní náměstí 1410/1
budova G,
461 17 Liberec**



recenzent: doc. Ing. Libor Tůma, CSc.

© Technická univerzita v Liberci - 2019

ISBN 978-80-7494-471-0



STUDENTSKÁ VĚDECKÁ A ODBORNÁ ČINNOST 2019

OBSAH

	strana
Sekce STROJÍRENSTVÍ	4
Sekce TEXTIL	84
Sekce EKONOMIKA	156
Sekce MECHATRONIKA	260





Seznam prací soutěže SVOČ 2019 sekce STROJÍRENSTVÍ

strana	Autor	Název práce
BSP – NMSP		
5	Ondřej FRIEDRICH	ZAŘÍZENÍ PRO VÝROBU MEMBRÁNOVÝCH MODULŮ
15	Jakub HALUŠKA	ŘEŠENÍ 3D TISKU GELOVÝCH MATERIÁLŮ S APLIKACÍ PRO BIO GEL
25	Jakub JEŽEK	REDUKČNÍ PŘEVODOVKA ELEKTROMOTORU PRO POHON AUTONOMNÍ PLOŠINY VYVÍJENÉ NA TUL
35	František MANLIG	OPTIMALIZACE GENETICKÉHO ALGORITMU
43	Veronika TRUXOVÁ	3D TISK FOTO-POLYMERNÍCH KERAMICKÝCH MATERIÁLŮ S VYUŽITÍM TECHNOLOGIE SLA
DSP		
53	Sergei BABAK	EFFECT OF CUTTING MODES AND TOOL WEAR ON THE MICROHARDNESS OF THE SURFACE LAYER AFTER FACE MILLING OF STRUCTURAL AND STAINLESS STEELS
59	Mikhail KHRAMENKOV	INFLUENCE OF HYDRAULIC OIL ENTERING THE CUTTING FLUID ON THE TOOL LIFE AND ROUGH-NESS IN TURNING OF STAINLESS STEEL
66	Tomáš KOŘÍNEK	NUMERICKÁ SIMULACE TURBULENTNÍHO PROUDĚNÍ: VLIV TURBULENTNÍHO MODELU NA TŘECÍ ZTRÁTY
74	Iuliia KRASNIKOVA	DETERMINING THE PLOUGHING FORCES BY DIFFERENT METHODS WHEN TURNING STAINLESS STEEL



ZAŘÍZENÍ PRO VÝROBU MEMBRÁNOVÝCH MODULŮ

Friedrich Ondřej

Sekce - STROJÍRENSTVÍ,

Fakulta strojní, 3. ročník

Bakalářský studijní program – STROJNÍ INŽENÝRSTVÍ

Abstrakt: Práce se zabývá návrhem konstrukce jednoúčelového zařízení pro odstředivé zalévání dutých membránových vláken do koncovek filtračních modulů. Modul rotuje kolem své příčné osy a pryskyřice pro zalití a utěsnění vláken je v koncových částech modulu udržována odstředivou silou. Jsou zde rozebrány a porovnány dva koncepty zařízení s různou orientací osy rotace, které se zásadně liší zejména v otáčkách potřebných k vyvození odstředivé síly a zástavbovou plochou. Je nastíněn postup výroby modulu a základní konstrukční uzly zařízení.

Klíčová slova: filtrace, modul, membrána, odstředivé zalévání

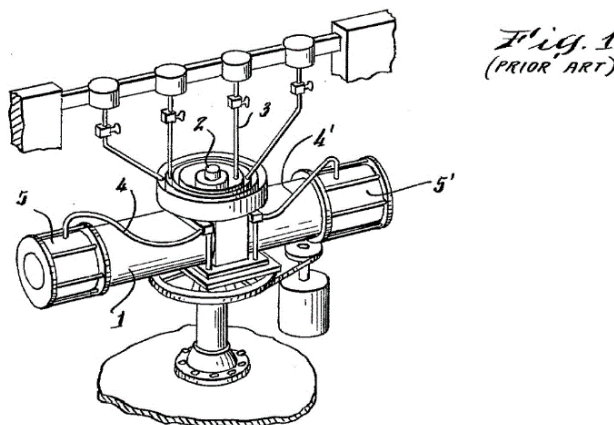
1 ÚVOD

Filtrace přes mechanickou překážku – membránu je známá technologie, která odděluje částice na základě jejich odporu proti prostupu touto membránou. Vlastní jednotkou pro průmyslovou filtraci je membránový modul, který je konstrukčně uzpůsobený pro připojení do obvodu filtrovaného média a pro odvod oddělené složky. Cílem efektivní konstrukce modulu je získat co nejvyšší filtrační plochu na jednotkový objem modulu. Základní konstrukce je trubková, desková a vinutá. Trubkový modul má tvar válce, jehož vnitřní prostor zaujímají dutá membránová vlákna rovnoběžná s jeho osou. Deskový modul má ploché membrány řazené za sebou a vinutý modul vychází z deskového, kde desky jsou stočeny do válce. Vnější tvar vinutého modulu je tedy blízký trubkovému. Technologie má široké uplatnění v průmyslu především pro čištění a recyklaci látek, ať už vody, plynů (separace bioplynu, vodíku,..) nebo cenných látek (separace glykolů z odpadních roztoků, iontů,..).

2 CÍLE PRÁCE

Práce se zabývá konstrukcí zařízení na výrobu trubkových modulů ve spolupráci s firmou MemBrain. Jedná se o jednoúčelové laboratorní zařízení, kde bude docházet k upevnění konců dutých membránových vláken v těle modulu tak, aby byly dokonale těsně odděleny prostory před a za membránou. Rozsah délek modulů byl stanoven na 300 až 1200 mm, vnější průměry modulu 20 až 110 mm.

Realizace vychází ze známého principu, kde jsou konce modulu za rotace kolem příčné osy zality vhodnou epoxidovou pryskyřicí (viz obr.1). Odstředivá síla vzniklá rotací modulu udržuje pryskyřici v koncích modulu do té doby, než ztuhne.

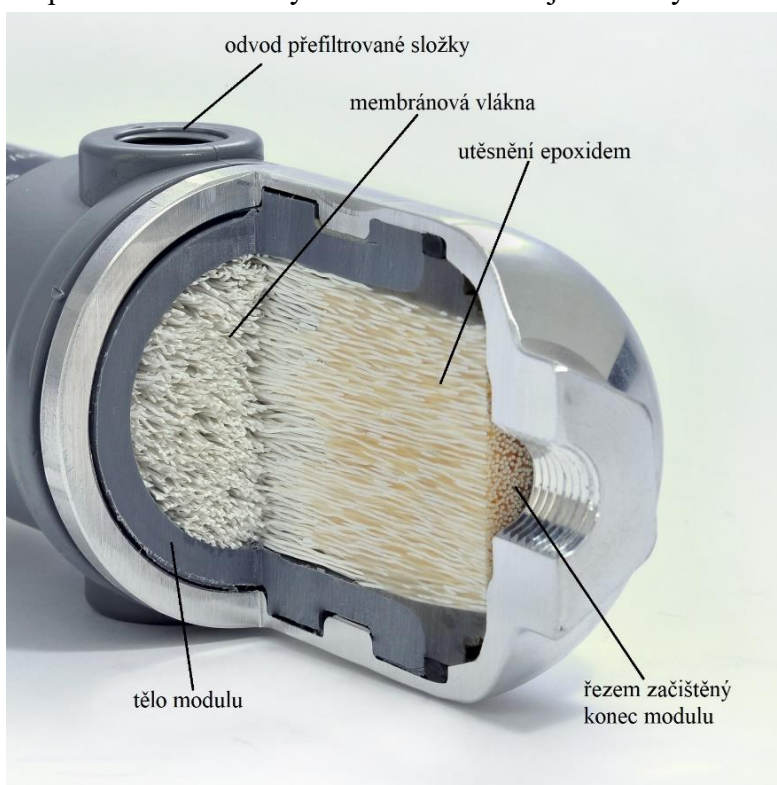


Obrázek 1: Princip odstředivého zalévání (US patent 4 190 411 z roku 1980)

2.1 Konstrukce modulu

Moduly jsou tvořeny vnějším pláštěm v podobě plastové trubky, který je vyplněn membránovými vlákny (viz obr.2). Ta jsou dutá, jejich průměr se pohybuje od stovek mikrometrů po jednotky milimetrů. Jsou vyráběna ze speciálních polymerů například metodou inverze fází nebo extruzí.

Konce modulu jsou opatřeny šroubením pro připojení do obvodu filtrované směsi. Plášť modulu je u jednoho nebo obou konců opatřen otvorem se šroubením pro odvod přefiltrované složky. Směs je přiváděna na jeden konec modulu, proudí uvnitř vláken, přes jejichž stěnu probíhá filtrace a nepřefiltrované složky odchází z modulu jeho druhým koncem.



Obrázek 2: Ilustrační obrázek, řez modulem (Forward Osmosis Tech, upraveno)

2.2 Popis pracovního cyklu

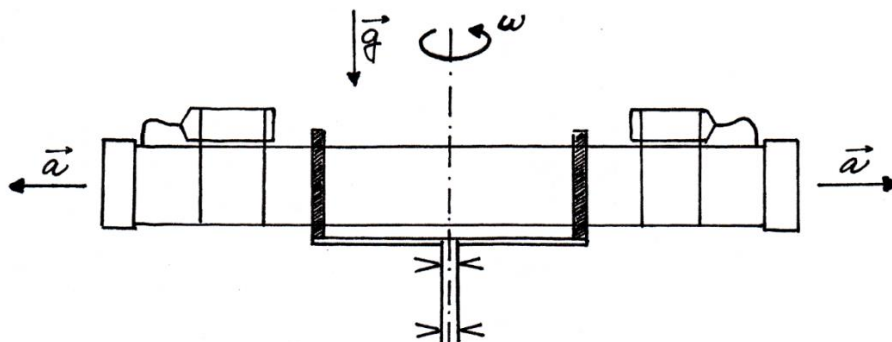
Zjednodušený pracovní cyklus je zde uveden pro ilustraci práce zařízení v průběhu výroby modulu. Přípravná fáze probíhá na odděleném pracovišti. Na plášti modulu jsou připraveny otvory pro přívod pryskyřice a modul je naplněn membránovými vlákny. Poté jsou nasazena technologická víčka s pěnovým těsněním, která uzavřou tubus a umožní zalití.

Následně je modul upnut do stroje a do řídicí jednotky jsou zadány parametry modulu potřebné pro určení otáček. Jsou připojeny hadičky pro distribuci pryskyřice a do zásobníku je nalito množství potřebné pro daný průměr a stroj je spuštěn.

Při dosažení nastavených otáček dojde k naplnění konců modulu pryskyřicí a modul rotuje do té doby, než pryskyřice ztuhne. Po zastavení je modul obsluhou odpojen a vyjmut. Jsou z něj sundána víčka a jsou odříznuty konce modulu tak, aby nedošlo k porušení těsnosti, ale obnovila se průchodnost membránových vláken. Dále je na konce modulu nalepeno šroubení pro připojení do obvodu a otvory v plášti jsou též opatřeny šroubením pro odvod přefiltrované složky.

3 KONCEPT ZAŘÍZENÍ S VERTIKÁLNÍ OSOU ROTACE

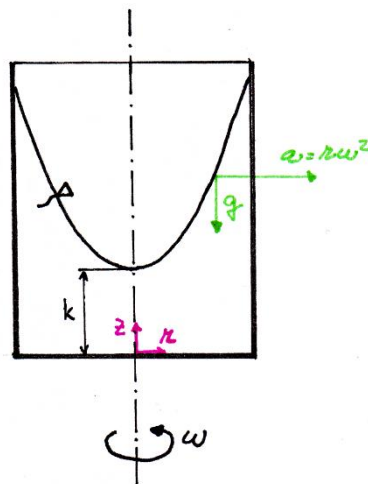
Koncept prvního návrhu zařízení (viz obr.3) vycházel především z funkčního stroje jihokorejského výrobce Philos a obrázků z patentů. Osa rotace je umístěna vertikálně. Na ní je na nosiči nebo otočném stole kolmo uchycen modul. Pryskyřice je hadičkami působením odstředivé síly dopravována ze zásobních nádržek do koncových částí modulu.



Obrázek 3: Koncept zařízení s horizontální osou rotace

3.1 Stanovení otáček

Základním parametrem stroje jsou jeho pracovní otáčky, jejich stanovení je tedy prioritní. Konce modulu jsou provizorně zavíčkované a pryskyřice je v nich udržována odstředivou silou. Ta s poloměrem roste, jinými slovy s délkou modulu klesají otáčky nutné pro vytlačení a pryskyřice a jejím udržení na stěně víčka.

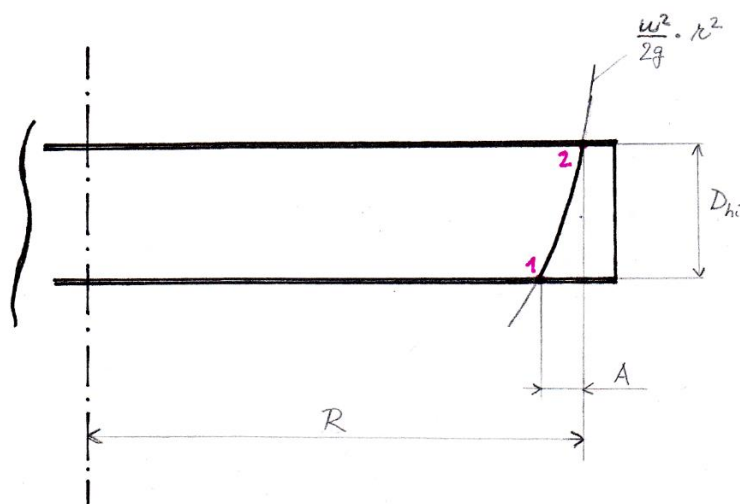


Obrázek 4: Ilustrační obrázek - kapalina v relativní rovnováze při rotaci kolem svislé osy

Jsou-li otáčky konstantní, pryskyřice se po dobu tuhnutí nachází v relativní rovnováze a její hladinová plocha tvoří parabolu, která se dá obecně popsat rovnicí $z = \frac{r^2 \cdot \omega^2}{2g} + k$, kde z [m] je výška hladiny, r [m] poloměr, ω [rad⁻¹] úhlová rychlost rotace, g [m · s⁻²] tíhové zrychlení a k [m] výška hladiny na ose rotace (viz obrázek 4). Potřebný vztah se v tomto případě snáze odvodí z obrázku 5:

$$\left[\frac{\omega^2}{2g} \cdot R^2 \right] - \left[\frac{\omega^2}{2g} \cdot (R - A)^2 \right] = D_{hi} \quad (1)$$

Jinými slovy vzdálenost D_{hi} [m] je rovna rozdílu funkčních hodnot v bodech 1 a 2. D_{hi} je vnitřní průměr modulu a A [m] je rozdíl v tloušťce pryskyřice.



Obrázek 5: Hladinoplocha pryskyřice v modulu při rotaci kolem vertikálně orientované osy

Úhel sklonu pryskyřice α se dá zjednodušeně vyjádřit jako:

$$\alpha = \arctan\left(\frac{D_{hi}}{A}\right) \quad (2)$$

Po dosazení rovnice (2) do rovnice (1) lze vyjádřit otáčky závislé na třech parametrech – vnitřním průměru modulu, délce modulu a úhlu sklonu pryskyřice. (Je uvažováno pouze kladné řešení rovnice) :

$$\omega = \tan(\alpha) \cdot \sqrt{\frac{2g}{2R \cdot \tan(\alpha) - D_{hi}}} \quad (3)$$

Pro zvolený úhel sklonu pryskyřice lze určit pro každý rozměr modulu jeho otáčky. V tabulce 1 jsou otáčky pro různé úhly sklonu a několik délek modulů vypočítány. V tabulce 2 jsou hodnoty rozdílu **A** pro jednotlivé sklony. Poloměr **R** [m] musí být ve výpočtu uvažován menší než polovina délky modulu, protože minimální tloušťka pryskyřice by měla být v rozpětí 20 - 40 mm.

Tabulka 1: závislost předpokládaných otáček na úhlu sklonu pryskyřice α

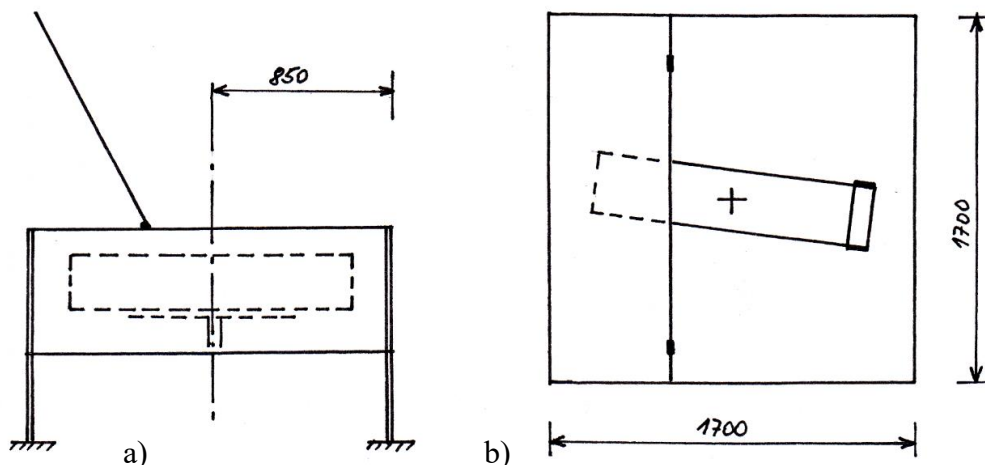
otáčky (1/min)					
délka modulu (mm)		300	600	900	1200
α	82°	234	152	122	108
	85°	295	192	154	137
	88°	460	300	245	218
	89°	650	427	345	307

Tabulka 2: velikost rozdílu **A** pro daný průměr modulu a úhel sklonu pryskyřice α

velikost rozdílu A (mm)							
průměr modulu (mm)		20	30	50	70	90	110
α	82°	3	4	7	10	13	15
	85°	2	3	4	6	8	10
	88°	1	1	2	2	3	4
	89°	0	1	1	1	2	2

3.2 Proporce a zástavbová plocha

Pro určení výsledných rozměrů stroje vyjdeme z požadavků na maximální délku modulu, což je 1 200 mm. S ohledem na manipulační prostor pro upnutí a bezpečnostní mezeru mezi modulem a rámem lze předpokládat pracovní prostor stroje kruh průměru okolo 1 700 mm, který určí půdorys rámu. Rám bude čtvercový o hraně 1 700 mm (viz obr.5), případně osmiúhelník vepsaný do tohoto čtverce. Zastavěná podlahová plocha je čtverec o hraně 1,7 m. V případě vážné nehody zařízení může být vzhledem k vertikální ose rotace ohrožena celá místnost.



Obrázek 5: Bokorys (5.a) a půdorys (5.b) zařízení s vertikální osou rotace

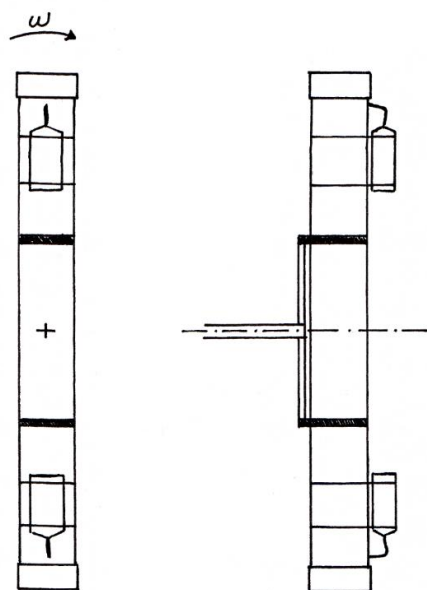
Osa rotace bude od okraje vzdálena zhruba 850 mm. Při této vzdálenosti bude zakládání modulů pouze zvenku přes hranu rámu velmi nekomfortní až neproveditelné. Otevíratelný bude muset být i obvod rámu, aby byl umožněn vstup do stroje pro manipulaci při upínání modulu.

4 KONCEPT ZAŘÍZENÍ S HORIZONTÁLNÍ OSOU ROTACE

Alternativním řešením problému je horizontální orientace osy rotace modulu (viz obr.6). Dá se předpokládat pokles nutných provozních otáček stroje, protože gravitační zrychlení způsobí pouze pulzaci odstředivého zrychlení a od určitých minimálních otáček nebude mít na tečení pryskyřice vliv.

4.1 Výpočet otáček

Rotace modulu kolem horizontální osy je výhodná především díky výraznému snížení pracovních otáček stroje. Pro udržení pryskyřice v koncích modulu stačí, aby bylo odstředivé zrychlení v kterémkoli okamžiku větší než tíhové a nemohlo dojít k jejímu stečení. Toho je s výhodou využito a pracovní cyklus stroje je rozdělen na dvě části – na část zalévací, kdy jsou otáčky dány potřebným odstředivým zrychlením pro zatečení pryskyřice, a na část udržovací, kdy dochází k tuhnutí a odstředivé zrychlení musí být pouze větší než gravitační. Očekávaná doba zalévání je v řádu minut a očekávaná doba tuhnutí jsou řádově desítky minut, při kterých stroj poběží na minimální otáčky. Odstředivé zrychlení je dáno vztahem: $a = r\omega^2$, kde $a [m \cdot s^{-2}]$ je odstředivé zrychlení ve zkoumaném bodě, $r [m]$ poloměr rotace daného bodu a $\omega [1 \cdot s^{-1}]$ úhlové otáčky stroje. Při stanovení minimálního odstředivého zrychlení $a = 1,5 \cdot g$ jsou udržovací otáčky stroje mezi 60/min (nejdelší modul) a 120/min (nejkratší modul), bez ohledu na průměr modulu. Výsledné zrychlení, které působí na pryskyřici, je dáno vektorovým součtem tíhového a odstředivého zrychlení.



Obrázek 6: Koncept zařízení s horizontální osou rotace

Pro představu o možných maximálních otáčkách byly v následující tabulce spočítány otáčky v závislosti na délce modulu a odstředivém zrychlení, které je uvedeno jako násobky tíhového zrychlení g . Doplnující informací je velikost pulzace zrychlení uvedená jako velikost amplitudy v procentech vzhledem k odstředivému zrychlení. Z tabulky je zřejmé, že otáčky se pohybují zhruba na 50 % než u konceptu s vertikální osou rotace.

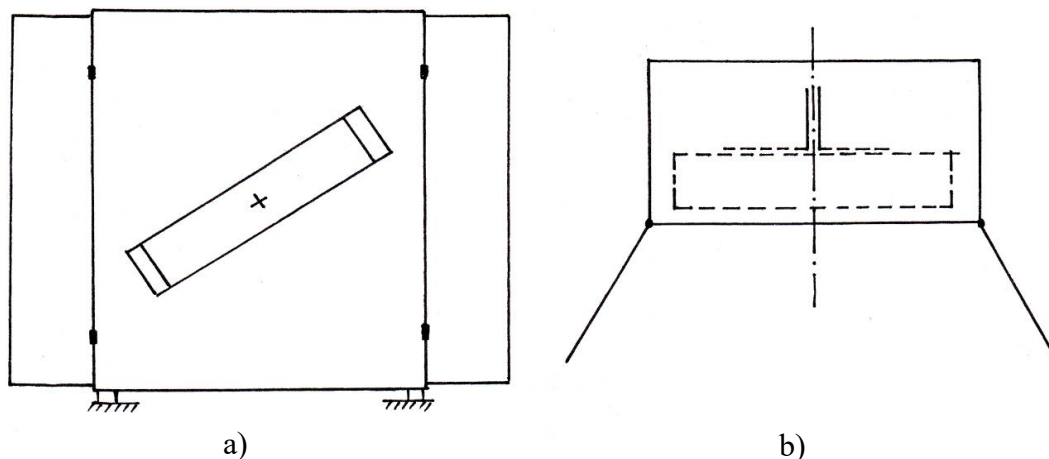
Tabulka 3: Otáčky v závislosti na délce modulu a odstředivém zrychlení

		otáčky (1/min)								
a		4	6	8	10	12	14	16	18	20
X		25%	17%	13%	10%	8%	7%	6%	6%	5%
délka (mm)	300	154	189	218	244	268	289	309	328	345
	400	134	164	189	211	232	250	268	284	299
	500	120	147	169	189	207	224	239	254	268
	600	109	134	154	173	189	204	218	232	244
	700	101	124	143	160	175	189	202	214	226
	800	95	116	134	150	164	177	189	201	211
	900	89	109	126	141	154	167	178	189	199
	1000	85	104	120	134	147	158	169	179	189
	1100	81	99	114	128	140	151	161	171	180
	1200	77	95	109	122	134	144	154	164	173
a: odstředivé zrychlení v násobcích g										

4.2 Proporce a zástavbová plocha

Rám stroje bude mít tvar skříně, viz obr.7. Základní rozměr daný délkou rotujícího modulu zůstane přibližně stejný, v této koncepci ale určuje čelní plochu skříně. Hloubka skříně ovlivňuje stabilitu celého stroje a reakce v uloženíh hřídele, nesmí být tedy příliš malá. Zastavěná plocha každopádně klesne, dá se očekávat, že zhruba na polovinu. Potenciálně ohrožený prostor se zmenší na plochu podél jedné stěny.

Vzhledem ke skříňovému provedení rámu bude obsluha stroje zcela jistě pohodlnější než u konceptu s vertikální osou rotace, při jednoduchém otevření celé čelní stěny je bezprostřední přístup ke všem funkčním součástem zařízení.



Obrázek 7: Nárys (7.a) a půdorys (7.b) zařízení s horizontální osou rotace

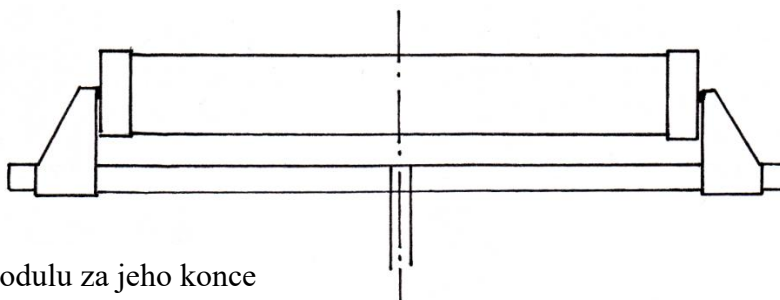
5 ZÁKLADNÍ KONSTRUKČNÍ UZLY

5.1 Upnutí modulu

Vzhledem k velkému požadovanému rozsahu průměrů a délek modulů bylo potřeba vytvořit dostatečně univerzální způsob jejich spolehlivého upnutí. S ohledem na vysoké otáčky stroje a předpokládanou hmotnost největších modulů okolo 10 kg je nutné se při upínání zaměřit na co nejnížší možnou míru excentricity těžiště modulu, aby se minimalizovalo zatížení stroje odstředivými silami. Tělo modulu je tvořeno trubkou normalizovaných rozměrů, je tedy omezený počet konkrétních vyráběných průměrů.

První uvažovanou variantou bylo použití upínek s vložkami, odpovídajícími danému průměru trubky. Upínky včetně vložek by se daly jednoduše použít například ze stroje určeného pro fúzní svařování těchto trubek, ke kterému jsou dodávány jako náhradní díly. Při tomto způsobu řešení by ale bylo nutné hledat při upínání vždy znovu těžiště sestavy.

Druhý návrh pracuje se souměrně se pohybujícími upínkami pomocí pravolevého šroubu, viz obr.8. Upnutí nebude pomocí objímek okolo trubky, ale modul bude uchycen prostřednictvím víček za konce. Díky tomuto řešení bude mít na seřazeném stroji modul geometrické těžiště vždy na ose rotace a navíc nebude nutné zajišťovat víčka nezávislým mechanismem.



Obrázek 8: Upnutí modulu za jeho konce

Dokonalé hmotnostní vyvážení zaručeno není, ale velikost možné excentricity těžiště by měla být výrazně omezena. Nemalou část rotující hmoty tvoří trubka, u které je hmotnostní těžiště prakticky shodné s geometrickým. Nevývahu může přinést rozmístění membránových vláken nebo při zalévání rozdílné množství pryskyřice v koncích modulu. Vlákná sahají od jednoho konce modulu k druhému, jejich podíl na nevyváze bude pravděpodobně velmi malý. Riziko rozdílného množství pryskyřice je částečně ošetřeno tím, že je každý konec modulu

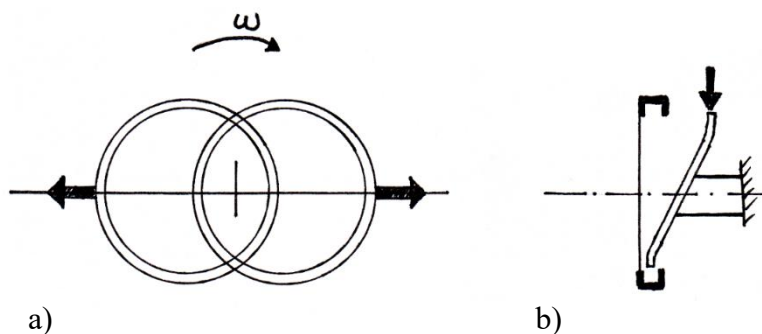
napájen zvlášť, z vlastní nádoby. Nestane se tedy, že by množství určené pro oba konce nateklo pouze do jednoho.

Dlouhé moduly malého průřezu, kde by mohl nastat problém s uchycením pouze za konce a rizikem možné ztráty stability nebudou vyráběny.

5.2 Rozvod pryskyřice

Pryskyřice bude do konců modulu dopravována působením odstředivé síly ze staticky umístěného zásobníku, analogicky k řešení na obrázku 1. Do zásobníku bude vždy nalito odpovídající množství již připravené pryskyřice. Po rozběhnutí stroje se otevře ventil a pryskyřice poteče vlivem gravitace hadičkami do nálevek připevněných k rotujícímu profilu nesoucímu modul. Odtud již vlivem odstředivého zrychlení poteče pryskyřice k výtoku z nálevky a dále hadičkou do konců modulu. Celé vedení s výjimkou nálevky a ventilu je spotřební materiál a jeho komponenty jsou tomu přizpůsobeny. Nálevky jsou vyrobeny z vysokomolekulárního polyethylenu s velmi nízkou přilnavostí k použité pryskyřici a ventil nepříjde s pryskyřicí do kontaktu, průtok je škrcen stlačováním hadičky.

Základní součástí pro správnou distribuci pryskyřice je nálevka. Při otočení osy rotace do horizontální polohy musel být upraven tvar profilu nálevky, aby mohlo být toto řešení použito. Principem je využití odstředivého zrychlení, které v nálevce vytlačuje pryskyřici na větší poloměr rotace. Vzdálenost k ose rotace se tedy směrem k výtoku z nálevky musí zvětšovat. Při použití kruhové nálevky, která je výrobně jednoduchá, musí být její střed umístěn v určité vzdálenosti od osy rotace, čímž je zvětšování poloměru rotace pryskyřice dosaženo (viz obr.9).



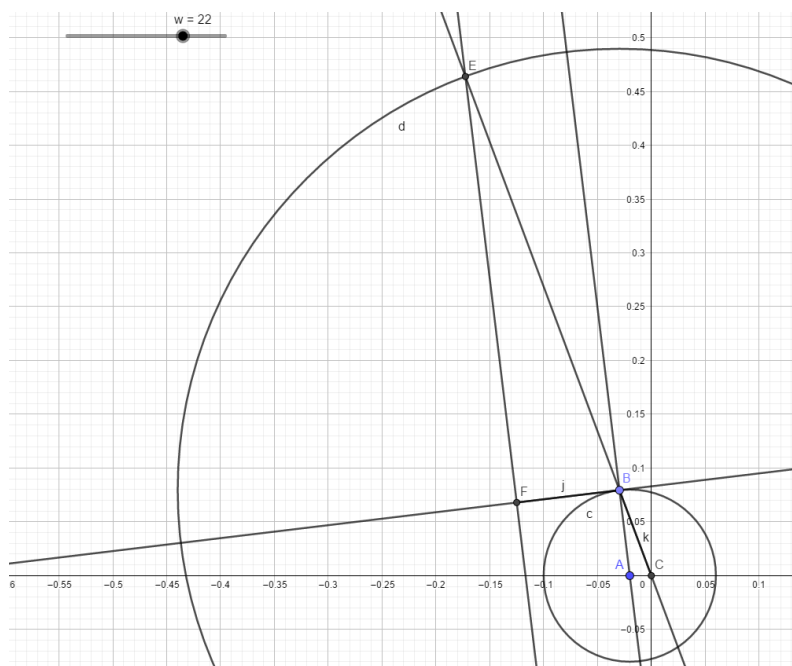
Obrázek 9: nárys (9.a) a bokorys (9.b) nálevky. Černé šipky značí tok pryskyřice, na obr. 9.a z nálevky ke koncům modulu a na obr. 9.b přívod nepohybujícím se vedením do nálevky

Ze vztahu pro odstředivé zrychlení $a = r \cdot \omega^2$ je zřejmé, že čím větší nálevka, tím menší úhlová rychlost je pro dosažení stejného zrychlení potřeba. Velikost nálevky je limitována délkou zalévaného modulu. Po vytvoření prvních návrhů bylo zjištěno, že nejmenší požadované moduly nebude konstrukčně možné tímto způsobem zalévat. Zmenšování nálevky je nutno kompenzovat zvyšováním zalévacích otáček, které jsou ale stejné pro všechny moduly včetně největších, protože klíčové jsou poměry na nálevce. Další zmenšování nálevky a zvyšování otáček by tedy potlačilo výhody získané horizontální osou rotace.

Délka nejkratšího modulu zalévaného přes nálevky byla stanovena na 500 mm, kratší moduly budou zalévány alternativním systémem. Nádobka s potřebným množstvím pryskyřice bude umístěna přímo u jejich konců a po zvýšení otáček pryskyřice krátkou hadičkou pouze přeteče do modulu. Protože krátké moduly budou malých průměrů a budou vyráběny okrajově, bude tento způsob dostačující.

Pro odhadnutí otáček potřebných pro zalévání byl v programu GeoGebra vytvořen geometrický model problému (viz obr.10), kde lze při pohybu bodu po nálevce sledovat velikost působícího tečného zrychlení. V modelu není uvažován vliv tíhového zrychlení, počítá se pouze s odstředivým zrychlením jako se střední hodnotou.

Na základě modelu byly stanoveny zalévací otáčky stroje odpovídající průměru a excentricitě nálevek na $\omega = 22 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$, tedy přibližně 210 min^{-1} . Maximální tečné zrychlení je $a_t = 9 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$. Mělo by se tedy jednat o situaci přibližně odpovídající stavu, kdy stéká tekutina v tíhovém poli po vnější a vnitřní válcové ploše.



Obrázek 10:
Geometrický model v programu GeoGebra

5.3 Rotující části

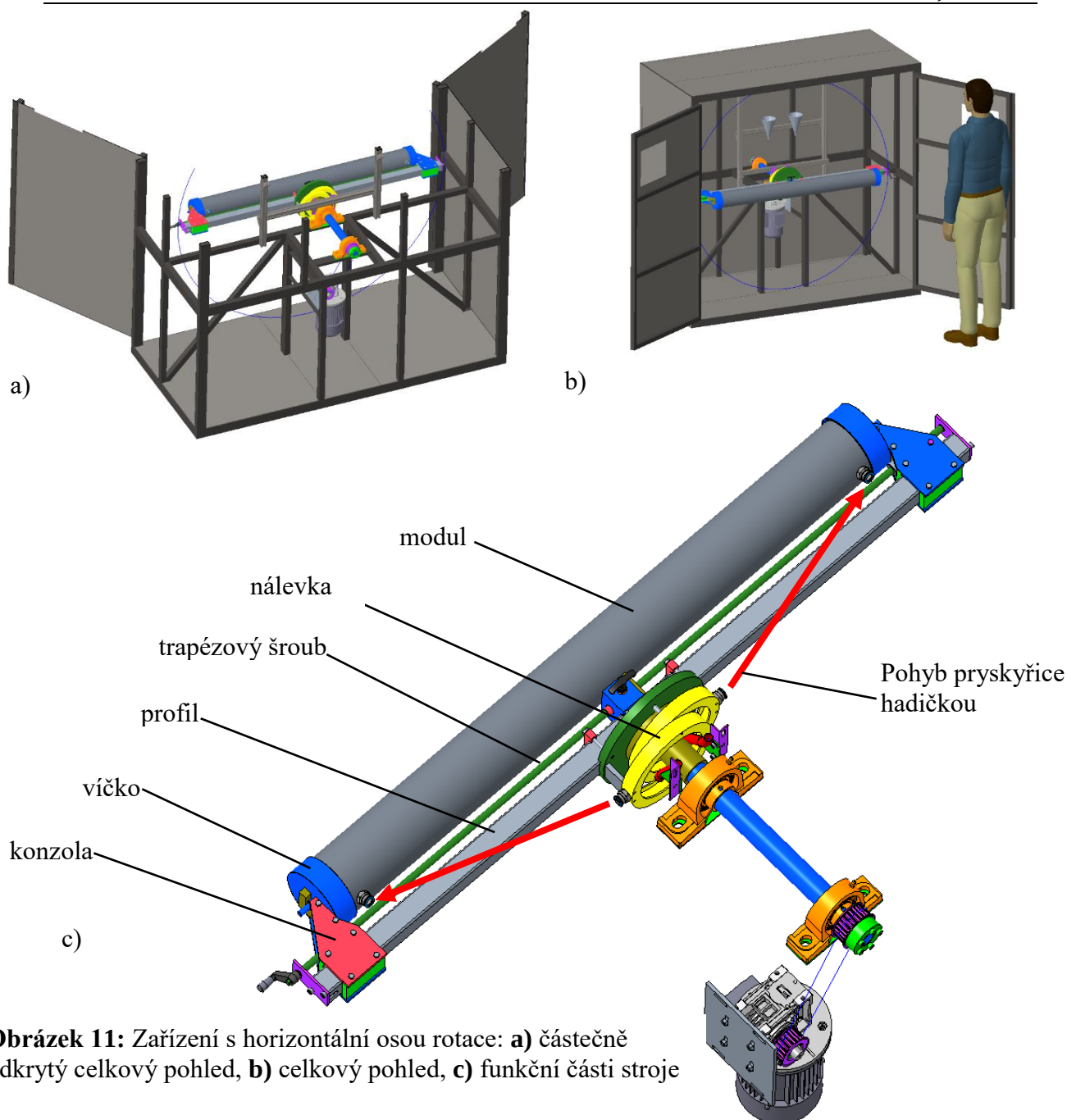
Konzoly držící modul jsou kluzně připevněny k rotujícímu profilu a jejich přestavování je realizováno pravolevým trapézovým šroubem s aretací pohybu. Profil je připojen k hřídeli, který je ve skříní uložen ve dvou ložiskových domcích. Hřídel i uložení jsou z bezpečnostních důvodů záměrně naddimenzované. Pohon je realizován elektromotorem s frekvenčním měničem, otáčky jsou transformovány kuželovou převodovkou a řemenovým převodem. Výkon je odebíraný především při rozběhu stroje k překonání dynamického momentu.

6 ZÁVĚR

V práci jsou rozebrány dva koncepty konstrukce zařízení, s horizontální a vertikální osou rotace modulu. Pro oba koncepty je proveden výpočet předpokládaných provozních otáček, jakožto základního parametru stroje. Koncept s horizontální osou rotace má předpokládané pracovní otáčky zhruba o 50 % nižší než koncept s vertikální osou rotace. Rotující modul nebude nikdy dokonale vyvážen, a protože odstředivá síla závisí na otáčkách v druhé mocnině, budou síly od nechtěné nevývahy při horizontální orientaci osy podstatně nižší než při vertikální. U horizontální orientace může být pracovní čas rozdělen na dvě části, v první proběhne při vyšších otáčkách distribuce pryskyřice a v druhé, kdy pryskyřice tuhne, jsou otáčky nižší - pouze takové, aby byla překonána gravitace.

Zastavěná plocha je u konceptu s horizontální osou rotace přibližně poloviční, protože největší rozměr zařízení, který je dán délkou rotujícího modulu, určuje čelní plochu rámu. U konceptu s vertikální osou rotace určuje délka modulu půdorys rámu. S tím souvisí i přístupnost stroje pro obsluhu. U konceptu s horizontální osou rotace je při jednoduchém otevření celé čelní plochy bezprostřední přístup k modulu a funkčním částem stroje. U konceptu s vertikální osou rotace modulu je tato osa od kraje rámu natolik vzdálená, že je nutné umožnit obsluhu vstup do stroje.

Tato práce slouží jako rozvaha pro vlastní konstrukci zařízení, která byla vzhledem k popsaným výhodám provedena s horizontální orientací osy rotace (viz obr.11).



Obrázek 11: Zařízení s horizontální osou rotace: **a)** částečně odkrýlý celkový pohled, **b)** celkový pohled, **c)** funkční části stroje

Literatura

- [1] Hasal P., Schreiber I., Šnita D. a kolektiv: Chemické inženýrství I, Praha, 2007
- [2] US Patent 4 190 411 Centrifugal potting apparatus
- [3] US Patent 4 227 295 Method of potting the ends of a bundle of hollow fibres positioned in a casting
- [4] Obrázek 2 – ilustrační obrázek: forwardosmosistech.com [online], 25. dubna 2019, dostupné z: <http://www.forwardosmosistech.com/wp-content/uploads/2017/07/Cross-Section-of-hollow-fibre-membranes-Module.jpg>

Řešení 3D tisku gelových materiálů s aplikací pro bio gel

Jakub Haluška

Sekce – STROJÍRENSTVÍ,

Fakulta strojní, 2. ročník

Navazující magisterský studijní program – STROJNÍ INŽENÝRSTVÍ

Abstrakt: Práce pojednává o 3D tisku z gelových materiálů. V první části je uveden přehled dostupných řešení a potenciálních aplikací 3D tisku gelových materiálů. Druhá část popisuje návrh vlastního řešení pro aplikaci tisku bio gelu obsahujícího bakterie *Geobacter sulfurreducens*, na povrch grafitové elektrody. Včetně návrhu obecné optimalizace tisku gelových materiálů. Vlastní konstrukční řešení vychází z 3D tiskárny Prusa I3.

Klíčová slova: 3D tisk, gel, bio gel, nutella, Prusa I3, RepRap

1. Úvod

3D tisk zažívá v poslední době velký boom. Zejména díky open-source projektu RepRap. Komunita RepRap vyvíjí FDM 3D tiskárny, pro tisk plastového filamentu, kde je majorita součástí vyrobena metodou FDM 3D tisku. Součástí RepRap projektu je i open-source firmware pro řízení tiskárny a software pro přípravu dat. Díky tomu jsou nyní RepRap tiskárny nejrozšířenějším druhem tiskáren celosvětově. Na základech RepRap tiskáren vznikly všechny dnešní známé FDM 3D tiskárny používané v amatérském a polo profesionálním segmentu, jako je Prusa I3, Ultimaker a další [1, 2].

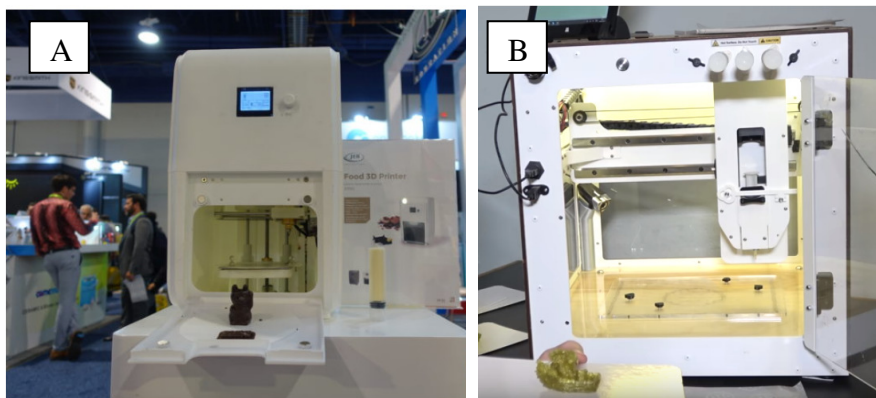
Předložená práce má za cíl využít, kvality a otevřenosti RepRap 3D tiskáren na plastový filament k aplikaci tisku gelových materiálů, kdy je extrudér na plast nahrazen/doplňen gelovým extrudérem.

2. 3D tisk gelových materiálů

Využití 3D tisku gelových materiálů nachází uplatnění v celé řadě oborů. Od potravinářství, přes design, po medicínské a biochemické aplikace.

2.1 Gastronomie

V gastronomii se experimentuje s celou škálou materiálů, od různých těst, po cukrářské materiály jako je například čokoláda. Příkladem čokoládové tiskárny je FDM 3D tiskárna společnosti Cher, představená na CES 2019 (Obr. 1 A). Dalším tisknutelným materiálem je želé, touto problematikou se zabývá firma Magic Candy Factory se svou FDM 3D tiskárnou (Obr. 1 B). Cena obou těchto tiskáren, je podle neoficiálních pramenů zhruba 10 000 Kč [3–5].



Obr. 1 3D tiskárna na čokoládu Cher (A), Magic Candy Factory 3D printer (B)

2.2 Design

Příkladem využití 3D tisku gelových materiálů je tisk různých dekoračních předmětů. Jako jsou různé vázy a nápisy. Příkladem jsou práce umělce Taekyeom (Obr. 2), který tvoří na 3D tiskárně vlastní konstrukce. Jako materiál se zde používá keramika, která může být následně zpracovávána – vypalována [6].



Obr. 2 Umělecké předměty vytištěné z keramiky [6]

2.3 Medicína a biotechnologie

V medicíně a biotechnologiích se pro 3D tisk využívají materiály, nazývané bio inkousty nebo bio gely. Tyto materiály mohou být živé nebo neživé. Takzvané živé materiály obsahují živé tkáňové buňky nebo bakterie, které jsou přímo tisknuty. Při tisku neživých biologických materiálů se jedná o takzvané nosiče, které jsou dále využívány jako podpora pro růst buněk [7]. 3D bio tisk vychází z existujících metod 3D tisku jako je (FDM, SLA, SLA). Jednou z hlavních výzev pro využití 3D bio tisku je přizpůsobení těchto technologií k tisku citlivých živých biologických materiálů [8].

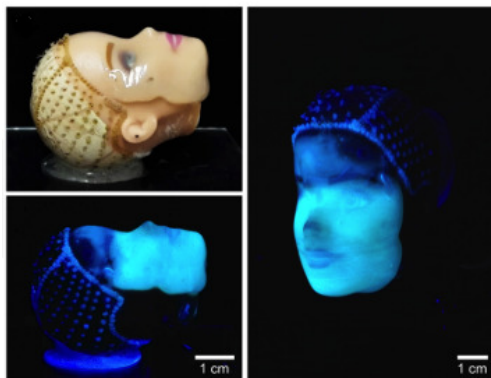
Příkladem možného využití 3D bio tisku v medicíně je tisk asymetrických srdečních chlopní. Obr. 3 (A, B), zobrazuje 3D modely určené pro tisk ze dvou materiálů. Obr. 3 (C) potom realizované výtisky těchto asymetrických srdečních chlopní [9].



Obr. 3 3D tisk asymetrických srdečních chlopní. 3D modely pro tisk (A, B) a realizované výtisky (C) [9]

Další využití 3D bio tisku je možné ve farmacii, k výrobě léků. Hlavní přínosy 3D tisku léků spočívají zejména ve výrobě malých dávek léků, z nichž každá má přesně stanovené dávkování pro daného pacienta. Dále pak může být optimalizovaný tvar i velikost léku pro optimální charakteristiku uvolňování účinné látky v těle pacienta [10].

V biotechnologiích, není imobilizace jednobuněčných mikroorganismů (bakterií) pomocí 3D tisku v současné době příliš rozšířená. Probíhají experimenty s cílem nalézt vhodné materiály, metody a aplikace. Příkladem může být tisk bakterií na povrch grafitových elektrod. Dalším potenciálním využitím je tisk biodegradabilních plastů obsahujících bakterie s řízeným časem rozpadu a podobně. Rozšíření a vývoj technologií 3D tisku bakterií by mohl vést k nové generaci bio mineralizovaných kompozitů [11, 12]. Příkladem reálnosti tisku bakterií je tisk na tvář panenky (Obr. 4). Tisk byl proveden hydrogelem obsahujícím bakterie *Acetobacterxylinum*.



*Obr. 4 3D bio tisk biofilmu na tvář panenky. Přítomnost bakterií *Acetobacterxylinum* je zvýrazněna UV světlem [12]*

Příkladem 3D bio tiskárny je FDM 3D-Bioploter (Obr. 5), od společnosti EnvisionTec, která je lídrem v oboru tisku bio gelů. Zásobníky gelu zde tvoří injekční stříkačky. Tisk může probíhat až z pěti různých materiálů současně. Vytlačování bio gelu je zde řešeno pneumaticky. Cena této tiskárny začíná na zhruba 4,5 milionech korun [13, 14]



Obr. 5 3D bio tiskárna Envisiontech 3D –bioploter Manufacturer series [14]

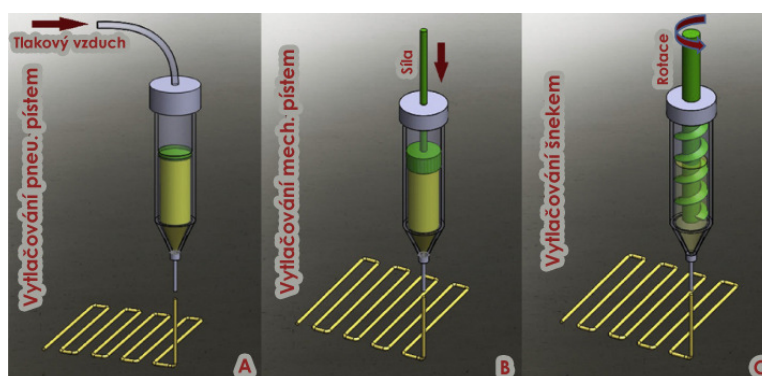
Druhým zástupcem je FDM 3D bio tiskárna BIO X (Obr. 6), s modulárními tiskovými hlavami, od společnosti Cellink. Tato tiskárna umožňuje tisk až tří materiálů současně. Vytlačování gelu z injekčních stříkaček je realizováno pneumatickým nebo mechanickým systémem. Cena této tiskárny je zhruba 890 000 Kč [15, 16].



Obr. 6 3D bio tiskárna Cellink BIO X [16]

2.4 Principy extruze

Ve výše uvedených aplikacích je tisknutý gel umístěn v injekčních stříkačkách (různých velikostí), ze kterého je následně extrudován. Existují tři principy extruze a to: vytlačování tlakem vzduchu, mechanickým pístem a šnekem. Schéma těchto přístupů je Obr. 7.



Obr. 7 Principy vytlačování gelu, vytlačování pneumatickým pístem (A), mechanickým pístem (B) a šnekem (C) [17]

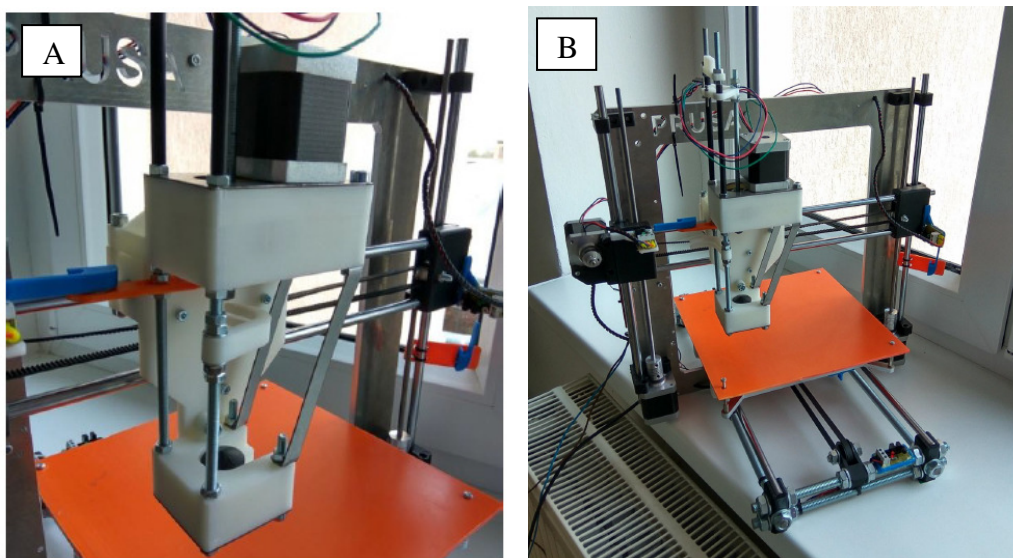
3. Návrh vlastního řešení

Hlavní myšlenka celého návrhu spočívá v přestavbě komerčně dostupné tiskárny Prusa i3 (cena zhruba 20 000 Kč) pro gelový tisk. Návrh staví na již vyvinuté konstrukci a odladěném řízení tiskárny a zabývá se implementací extruze gelového materiálu. Je zde kladen důraz na co největší uživatelskou přívětivost a minimální zásahy do firmwaru tiskárny. Vlastní návrh řešení je možné rozdělit na tři fáze. Kdy v první fázi je testování principů vytlačování gelu. V druhé fázi je potom konkrétní aplikace. Jde o 3D tisk bio gelu obsahujícího bakterie *Geobacter sulfurreducens*, na povrch grafitové elektrody. Třetí fáze pak nastiňuje návrh možné optimalizace řešení na základě nabitých poznatků z předchozího vývoje.

3.1 Testování 3D tisku gelu

Za účelem testování možností vytlačování, tedy tisku, gelu byl zkonstruován první prototyp gelového extrudéru (Obr. 8 A). Tento gelový extrudér přímo nahrazuje extrudér na plastový filament tiskárny Prusa I3 (Obr. 8 B). Jako tiskový materiál pro testování, byla zvolena Nutella. Na tomto prototypu byly provedeny zkušební výtisky (Obr. 9). Součástí byla i

optimalizace tiskových parametrů pro tisk Nutelly. Takto upravená tiskárna byla prezentována na stánku TUL na MSV v Brně 2018. Cena této přestavby byla minimální, odhadem do 1 000 Kč.



Obr. 8 Gelový extrudér (A) a jeho osazení na tiskárně Prusa I3 (B)



Obr. 9 Logo TUL vytištěné tiskárnou z první fáze vývoje

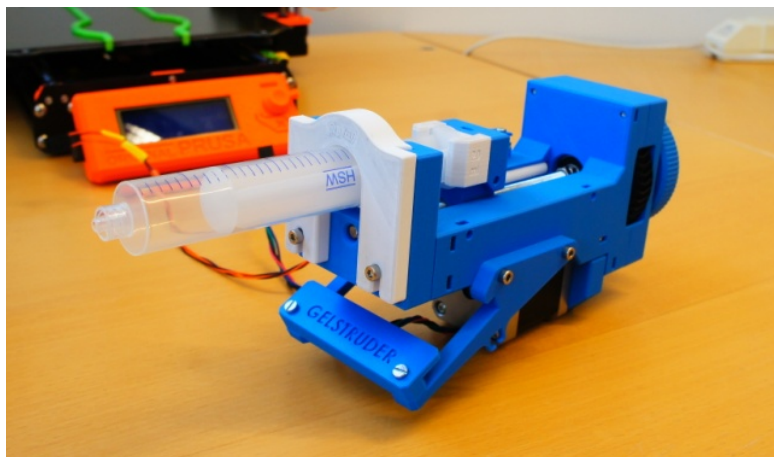
3.2 3D tisk bio gelu

Konkrétní aplikace 3D tisku gelu je tisk bio gelu na povrch grafitové elektrody. Materiálem pro tisk je následující bio gel: 2% *k*-CA + 2% HA + 2% FS. Jedná se o hydrogel, který obsahuje 2% kyseliny hyaluronové, 2% karagenanu a 2% pyrogenního oxidu křemičitého.

Součástí tohoto gelu budou i karbonové nano trubičky pro zajištění elektrické vodivosti, metakrylátové skupiny pro zesíťovatelnost gelu a v neposlední řadě bakterie *Geobacter sulfurreducens*.

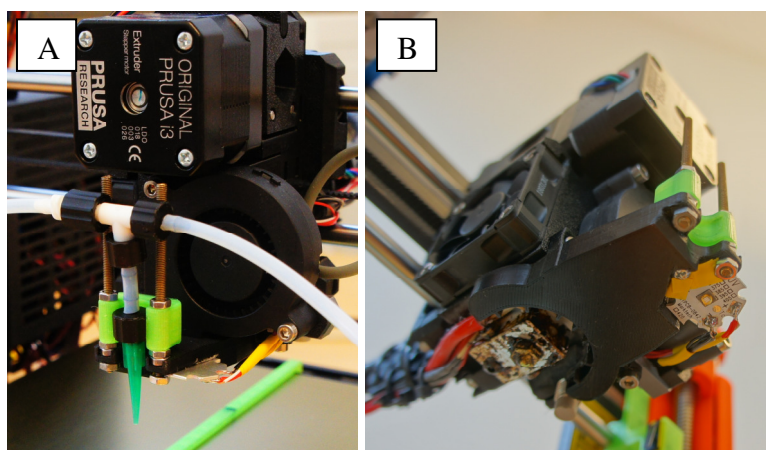
Tyto bakterie jsou schopny využít oxidačně-redukčního potenciálu elektrody k produkci malých organických molekul, jako například etanolu. Činnost těchto bakterií nanesených jako součást biofilmu na grafitové elektrodě bude následně zkoumána v bio-reaktorech.

Pro tuto aplikaci byl vytvořen nový gelový extrudér (Obr. 10), který je umístěn na rámu tiskárny.



Obr. 10 Gelový extrudér pro tisk bio gelu

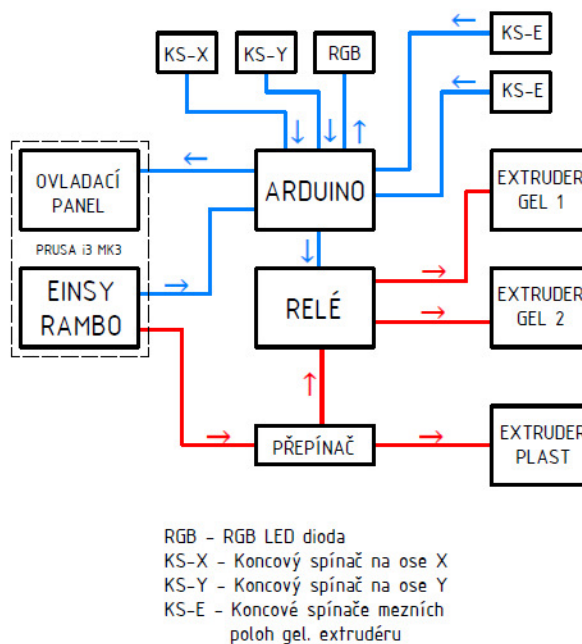
Tryska pro gelový tisk je potom umístěna na původním extrudéru na plastový filament (Obr. 11 A). Pro zajištění zesíťování tištěného materiálu byla osazena UV LED dioda s vlnovou délkou 365 nm (Obr. 11 B).



Obr. 11 Osazení trysky (A) a UV LED (B) na původním extrudéru tiskárny

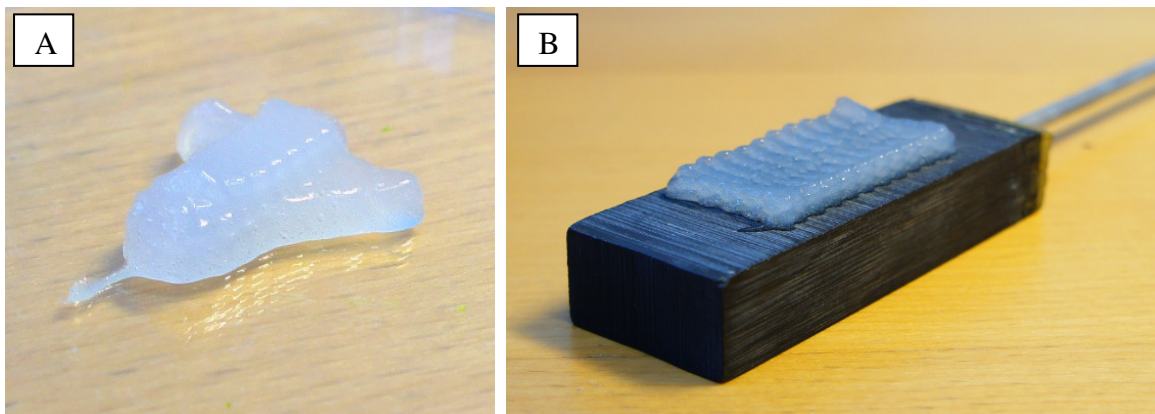
Díky koncepci umístění gelového extrudéru na rám tiskárny, bylo možné zachovat původní funkci tiskárny a navíc osadit dva gelové extrudéry. Pro zvýšení uživatelského komfortu je gelový extrudér osazen koncovými spínači v mezních polohách jeho zdvihu. Díky tomu je možná realizace přerušení tisku v případě že dojde materiál v zásobníku.

Pro minimální modifikaci firmwaru a hardwaru tiskárny je osazena přídatná deska Arduino UNO s příslušenstvím, která zajišťuje ovládání UV LED, přepínání gelových extrudérů a přerušování tiskové úlohy. Schéma zapojení této desky a gelových extrudérů je na Obr. 12



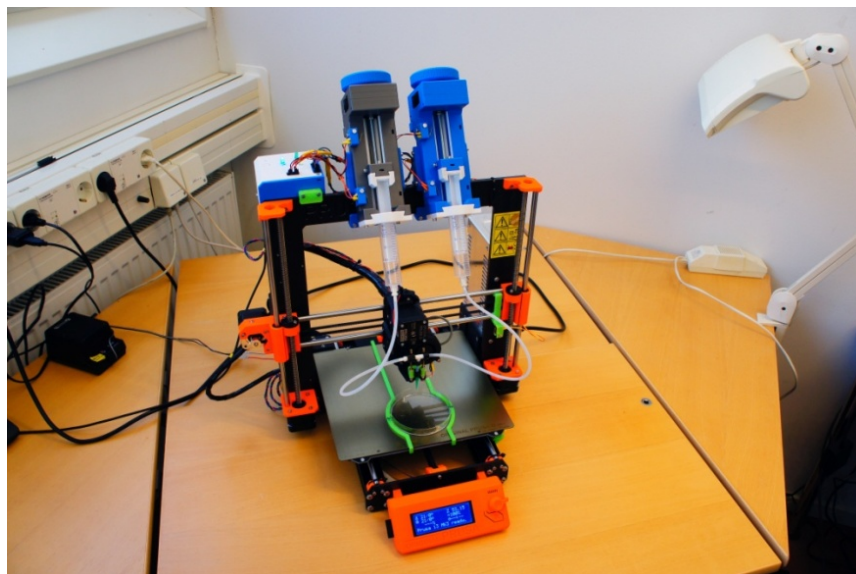
Obr. 12 Schéma el. zapojen jednotlivých komponent včetně toku signálů. Modrá barva – ovládací logika, červená barva – silové zapojení

Pro tisk zmíněného hydrogelu byly optimalizovány tiskové parametry a vytvořeny speciální tiskové profily v programu Slic3r PE. Dále byly provedeny zkušební výtisky. Jako příklad je uveden tisk zjednodušeného modelu raketoplánu o rozměrech 25x25x10 mm (Obr. 13 A). Dale potom tisk prostorové struktury o rozměrech 20x30x5 mm na povrch grafitové elektrody (Obr. 13 B).



Obr. 13 Realizované bio gelové tisky. Raketoplán (A) a struktura na elektrodě (B)

Kompletní realizovaná 3D tiskárna pro tisk bio gelu je zobrazena na Obr. 14. Tato přestavba včetně všech nakupovaných komponent přišla na zhruba 5 000 Kč.



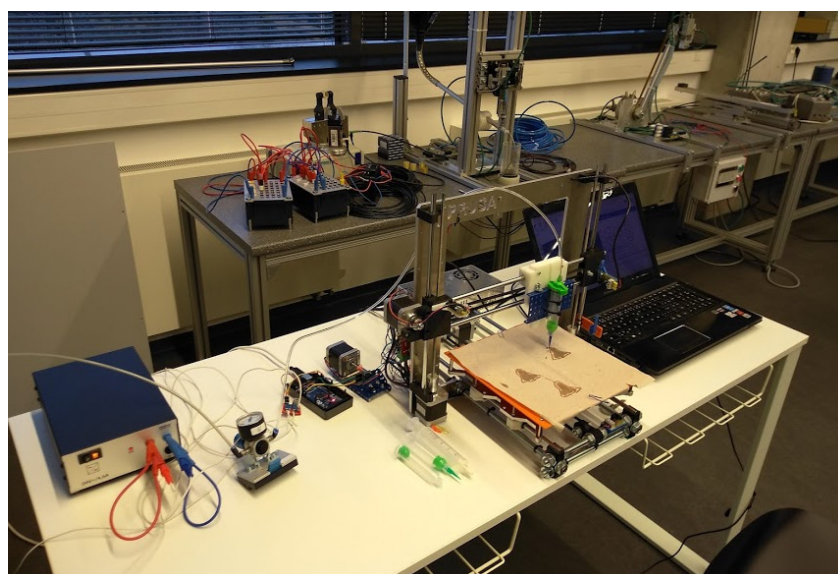
Obr. 14 Realizovaná dvou extruderová tiskárna pro tisk bio gelu

3.3 Návrh optimalizace

Problémem při vytlačování gelu pomocí mechanického pístu je příliš pomalá odezva celého systému. Protože pro dosažení proudění gelu z trysky, je nutné dosáhnout určitého tlaku v gelu. Pro zastavení proudění je naopak nutné provést okamžité odlehčení pístu.

Při vytlačování mechanickým pístem je tedy nutné provést „před extruzi“ před začátkem tisku a v průběhu odlehčování pístu počítat s odkapáváním materiálu. Tyto problémy mají nejen negativní vliv na spotřebu materiálu, ale zároveň limitují aplikace, pro které je tento přístup 3D tisku gelu použitelný.

Jako možné řešení problému pomalé odezvy systému je použití vytlačování pomocí stlačeného vzduchu. Prototyp 3D tiskárny založené na tomto principu je ve fázi testování, ovládání vzduchu je zde řešeno redukčním ventilem a elektromagnetickým 3/2 ventilem. (Obr. 15).



Obr. 15 Prototyp tiskárny Prusa I3 osazené pro tisk gelu pomocí vzduchu

Jako tiskový materiál pro účely tisku je zde použita Nutella. Dosavadní výsledky ukazují, že odezva systému je dostatečně rychlá. Není nutné provádět „před extruzí“ a odkapávání materiálu je téměř eliminováno. Testovací výtisk je zobrazen na Obr. 16. Lze odhadovat, že cena této přestavby by byla 5-10 000 Kč.



Obr. 16 Výtisk loga TUL z Nutelly pomocí vzduchu

4. Závěr

V předložené práci jsou nejprve uvedeny možné aplikace 3D tisku gelových materiálů. Dále je popsán vlastní přístup k návrhu řešení. Kdy nejprve došlo k otestování základních principů tisku gelů. Následně byl proveden návrh a realizace řešení pro 3D tisk konkrétního bio gelu, obsahujícího bakterie *Geobacter sulfurreducens*, na povrch grafitových elektrod. Navržené řešení si oproti specializovaným zařízením pro tisk bio gelů zachovává možnost tisku z plastového filamentu, což rozšiřuje možnosti jeho potenciálního využití. Posledním bodem je návrh a testování prototypu tiskárny pro tisk gelu, která oproti předchozím variantám, využívá k vytlačování stlačeného vzduchu. Z dosavadních výsledků se jeví, že tento přístup je výhodnější než vytlačování mechanickým pístem.

Autor odhaduje, že by ekonomicky zajímavá tiskárna, přestavěná na vzduchový tisk gelu, se zachováním původní funkcionality tisku plastového filamentu, mohla najít uplatnění v široké škále odvětví.

Potenciálními uživateli by mohli být nadšenci z komunity, kteří již mají doma 3D tiskárnu. Toto zařízení by také mohlo najít využití i v potravinářství, například při výrobě personifikovaných dortů dále pak například při ověřování tisknutelnosti různých materiálů jako jsou například bio gely a keramika v akademické sféře.

Literatura

- [1] PRŮŠA, Josef a Michal PRŮŠA. *Základy 3D Tisku* [online]. Praha: Prusa Research s.r.o, 2014. Dostupné z: <https://www.prusa3d.cz/wp-content/uploads/zaklady-3d-tisku.pdf>
- [2] *What is Marlin? | Marlin Firmware* [online]. [vid. 2019-04-10]. Dostupné z: <http://marlinfw.org/docs/basics/introduction.html>
- [3] *3D Printing a Gummy 3DBenchy with the Magic Candy Factory - YouTube* [online]. [vid. 2019-04-26]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=4SuiVYW0OL0>
- [4] *3D Printing Chocolate at CES 2019 and Other Awesome Stuff - YouTube* [online].

- [vid. 2019-04-26]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=KRBcXFegTIE>
- [5] CES 2019: Sweet! Chocolate 3D Printing Moving Closer to the Masses | The Spoon [online]. [vid. 2019-04-26]. Dostupné z: <https://thespoon.tech/ces-2019-sweet-chocolate-3d-printing-chocolate-moving-closer-to-the-masses/>
- [6] TAEKYEOM. *Instagram - Taekyeom* [online]. [vid. 2019-02-05]. Dostupné z: <https://www.instagram.com/taekyeom/?hl=cs>
- [7] FERRIS, Cameron J., Kerry G. GILMORE, Gordon G. WALLACE a Marc IN HET PANHUIS. Biofabrication: an overview of the approaches used for printing of living cells. *Applied Microbiology and Biotechnology* [online]. 2013, **97**(10), 4243–4258 [vid. 2019-03-31]. ISSN 0175-7598. Dostupné z: doi:10.1007/s00253-013-4853-6
- [8] MURPHY, Sean V a Anthony ATALA. 3D bioprinting of tissues and organs. *Nature Biotechnology* [online]. 2014, **32**(8), 773–785 [vid. 2019-03-31]. ISSN 1087-0156. Dostupné z: doi:10.1038/nbt.2958
- [9] DUAN, Bin. *State-of-the-Art Review of 3D Bioprinting for Cardiovascular Tissue Engineering* [online]. 2017. ISBN 1573-9686 (Electronic)r0090-6964 (Linking). Dostupné z: doi:10.1007/s10439-016-1607-5
- [10] TRENFIELD, Sarah J, Atheer AWAD, Alvaro GOYANES, Simon GAISFORD a Abdul W BASIT. 3D Printing Pharmaceuticals: Drug Development to Frontline Care. *Trends in pharmacological sciences* [online]. 2018, **39**(5), 440–451 [vid. 2019-04-03]. ISSN 1873-3735. Dostupné z: doi:10.1016/j.tips.2018.02.006
- [11] LEHNER, Benjamin A. E., Dominik T. SCHMIEDEN a Anne S. MEYER. A Straightforward Approach for 3D Bacterial Printing. *ACS Synthetic Biology* [online]. 2017, **6**(7), 1124–1130 [vid. 2019-03-31]. ISSN 2161-5063. Dostupné z: doi:10.1021/acssynbio.6b00395
- [12] SCHAFFNER, Manuel, Patrick A. RÜHS, Fergal COULTER, Samuel KILCHER a André R. STUDART. 3D printing of bacteria into functional complex materials. *Science Advances* [online]. 2017, **3**(12). ISSN 23752548. Dostupné z: doi:10.1126/sciadv.aao6804
- [13] *The Top 10 Bioprinters - 3D Printing Industry* [online]. [vid. 2019-04-10]. Dostupné z: <https://3dprintingindustry.com/news/top-10-bioprinters-55699/>
- [14] MAHONEY, Grace. *Envision tec BioFabBooklet* [online]. Gladbeck: EnvisionTEC GmbH, 2018. ISSN 1557-7422. Dostupné z: doi:10.1089/hgt.2008.067
- [15] *3ders.org - Introducing CELLINK's BIO X, the „most user-friendly” 3D bioprinter | 3D Printer News & 3D Printing News* [online]. [vid. 2019-04-11]. Dostupné z: <https://www.3ders.org/articles/20170113-introducing-cellink-bio-x-most-user-friendly-3d-bioprinter.html>
- [16] *THE FUTURE OF MEDICINE IS HERE BIO X Booklet* [online]. Gothenburg: Cellink, 2018. Dostupné z: https://cellink.com/wp-content/uploads/2017/07/cellink_BioX_brochure36P.pdf
- [17] DERA KHSHANFAR, Soroosh, Rene MBELECK, Kaige XU, Xingying ZHANG, Wen ZHONG a Malcolm XING. 3D bioprinting for biomedical devices and tissue engineering: A review of recent trends and advances. *Bioactive Materials* [online]. 2018, **3**(2), 144–156. ISSN 2452199X. Dostupné z: doi:10.1016/j.bioactmat.2017.11.008

Redukční převodovka elektromotoru pro pohon autonomní plošiny vyvíjené na TUL

Bc. Jakub Ježek

Sekce - STROJÍRENSTVÍ,
Fakulta strojní, 1. ročník

Navazující magisterský studijní program – 2302T010 Konstrukce strojů a zařízení

Abstrakt: Cílem mojí práce je navrhnout redukční převodovku pro nekonkrétní elektromotor pro autonomní plošinu vyvíjenou multifakultně na Technické Univerzitě v Liberci. Základní koncept počítá se čtyřmi koly, přičemž každé má svůj elektromotor a tedy potřebuje vlastní redukční převodovku.

Ve své práci jsem navrhl a popsal několik možných konkrétních koncepčních řešení, vytvořil 1:1 schéma, v programu Excel vytvořil program pro výpočet silových poměrů na ozubených kolech, vnitřních statických účinků hřídelů (včetně grafů), reakčních sil, návrh ložisek, pevnostní kontroly či tlaky na zalisování ložisek (návrh tolerančních polí pro výrobu). Dále jsem provedl simulace exponovaných částí a na jejich základě provedl konstrukční úpravy.

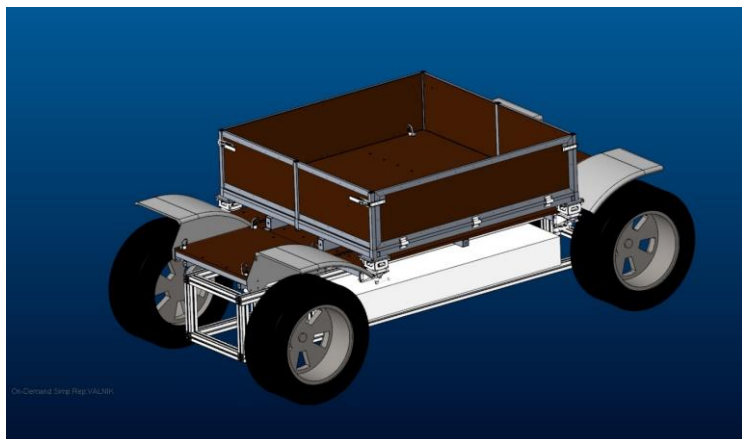
1.1 Projekt autonomní plošiny vyvíjené na TUL

Projekt má za cíl navrhnout a vyrobit autonomní plošinu poháněnou elektromotory s vlastním batterypackem. Na plošinu se podílí více fakult a vyvíjí se zde, i v rámci diplomových prací, například podvozek, software na řízení pohonů či právě pohonné ústrojí.

Aktuálně se vyvíjí technická část bez konkrétních designových návrhů. Snahou je ve výsledku postavit plošinu typu Honda 3E-D18 (viz. Obr.1). Využití najde v těžko dostupných či životu nebezpečných oblastech (lesní požáry, těžký terén).



Obr.1: Honda 3E-D18



Obr.2: Skica autonomní plošiny s valníkem

1.2 Pohonné ústrojí plošiny

Aktuální koncept počítá se čtyřmi koly, každé poháněno vlastním elektromotorem (o točivém momentu 150Nm) a tedy každé kolo vyžaduje vlastní redukční převodovku. Vývoj plošiny je teprve v počátcích, tedy převodovka nebyla konstruována dle konkrétní zástavby. Převodovku je nutno navrhnout pro použití na všech 4 kolech samostatně (diferenciál bude elektronický, ne mechanický), přičemž ideálně aby na každém kole byla, z důvodu úspory prostředků, totožná převodovka a tedy skříně byly mezi sebou zaměnitelné – možnost zrcadlení. Dále bylo potřeba myslet na náklápění celé plošiny a tedy mazání všech částí (ložiska, zuby atd.)

1.3 Další požadavky na konkrétní řešení převodovky

Úvaha na stavbu převodové skříně, jenž bude možno použít na všech kolech, však s sebou nese požadavky na její kompatibilitu. Dále se přidal požadavek, že skříně budou k sobě sešroubovány, tedy jedna část skříně musí mít plochou stranu a připravené díry pro zrcadlové připojení druhé převodovky. Z toho vyplývá, že bylo potřeba počítat s rotací převodovky kolem dvou os (Začneme s u pravého předního kola – na levé přední otáčíme převodovku kolem podélné osy vozidla a pro vytvoření dvojice převodovek na zadní nápravě musíme obě otočit kolem příčné osy vozidla. Přesto se však jedná o 4x jeden kus převodovky).



Díky vztahům se Škoda Auto, a.s. byla možnost využití jakýchkoliv dílů z převodovky s označením MQ200-5F zdarma. Proto byla snaha zakomponovat hřídele a ozubená kola, případně i ložiska, z této sériově vyráběné převodovky do našeho konceptu. Číslice „200“ značí, že převodovka je určena pro moment na vstupu 200Nm, tedy je vhodná pro naše využití, kde počítáme s momentem na vstupu 150Nm. To sice ušetřilo práci s návrhem ozubení, ale svázalo ruce s rozměry, převodovými čísly a zástavbou převodových dvojic.

Skříň bude tvořena ze dvou částí, obě frézované. Snahou je neprodrazovat výrobu a tedy zachovat, pokud možno, 2,5D frézování.

Obr.3: MQ200-5F – možné díly k užití

Požadavek na celkové převodové číslo převodovky $i_c = 12$, přičemž jsou dány počty zubů (tj. převodové poměry) dle převodovky MQ200-5F (viz. Tab.1)

Rozvodovka	Počet zubů			Celkový převod
	14	64	4,571	
R. stupeň	Vstup	Výstup	Převod	
1	11	38	3,455	15,792
2	22	43	1,955	8,935
3	32	41	1,281	5,857
4	42	37	0,881	4,027
5			0,700	3,200

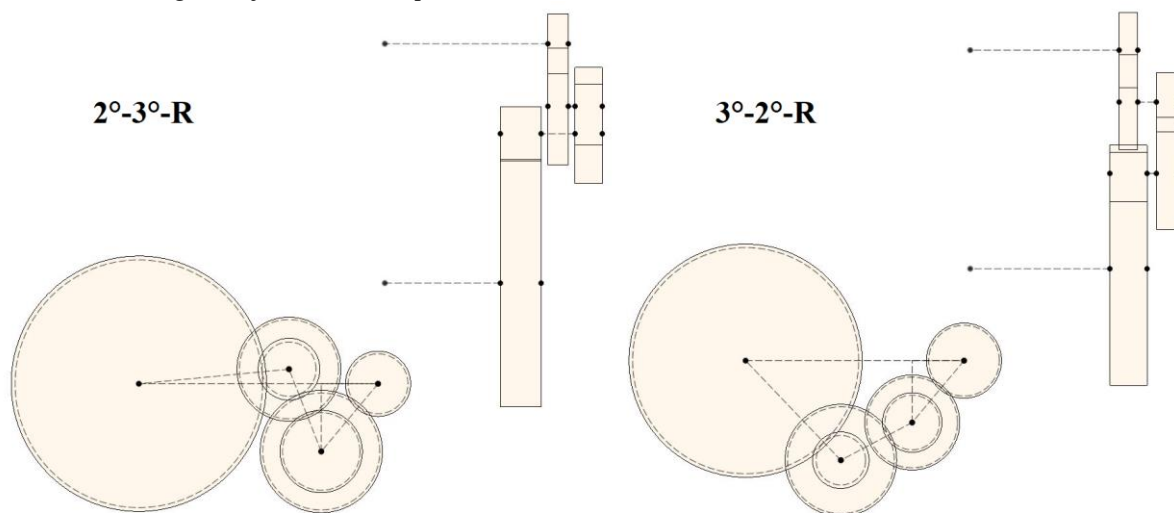
Tab.1: Počty zubů převodovky MQ200-5F

1.4 Možné koncepční uspořádání převodovky a výběr konceptu k dalšímu řešení

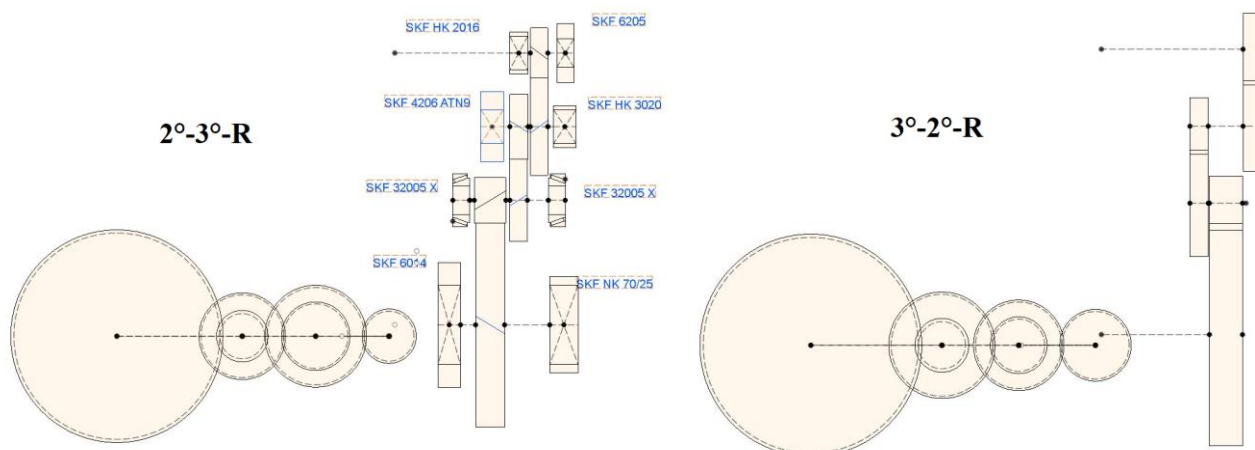
Jak bylo výše zmíněno, bylo potřeba využít prvky z dané převodovky a dále zajistit možnost zrcadlení převodovek podle umístění. Dle zadaného chtěného výsledného převodového čísla vyšly možné kombinace převodů (popsáno dle pořadí soukolí): **2°-3°-R** či **3°-2°-R** (**R** značí soukolí Rozvodovky/stálého převodu). Pro maximální využití hřídelů s minimem úprav bylo vybráno schéma **2°-3°-R** (je výhodné použít na vstupu 2°, jelikož má pastorek přímo na vstupním hřídeli a tato hřídel tedy lze použít s úpravami jako vstupní i v naší převodovce). Schémata jsem tvořil v SW Autodesk Fusion 360.

Dále jsem vytvořil možné zástavbové koncepty jak pro **2°-3°-R** (4 možnosti) tak **3°-2°-R** (3 možnosti). Na Obr.4 můžete vidět jednu z možností pro každý koncept a na Obr.5 nevhodnější koncepty pro možnost zrcadlení (překlápění) převodovek (žádný z prvků převodovky nemění prakticky při jakémkoliv překlapaní svojí polohu a tedy je zajištěné stejnoměrné mazání pro všechny natočení převodovky). Sice je vybraný koncept prostorově nejméně vhodný, ale vzhledem k očekávané velikosti elektromotoru a velikosti plošiny pro nás kompaktnost konstrukce nehraje tak velkou roli. Důležité je zajistit funkčnost a možnost zrcadlení převodovek.

Poznámka: pohled z vrchu na rozložení (pravá strana) je v měřítku 1:1. Toto rozložení jsem používal v počátku při návrhu při ušetření času při modelování. Velikosti ozubených kol jsou oměřeny posuvným měřidlem dle originálů, jenž mám k dispozici.



Obr.4: Ukázka alternativních řešení rozložení převodovky – nevhodné pro překlápění (spodní kola by po překlapaní byla vysoko a nebyly by smáčeny olejem – nebezpečí přídření).



Obr.5: Nejvhodnější koncepty rozložení, přičemž zvoleno bylo 2°-3°-R v této verzi

1.5 Matematický popis ozubených kol – reverzní

Pro své výpočty jsem potřeboval relativně přesné geometrické rozměry jednotlivých ozubených kol. Bohužel, není možné měřit například roztečnou kružnici apod. Ze znalosti výpočtů ozubených kol se šikmým ozubením a oměřením možných rozměrů a úhlů jsem si vytvořil výpočtové kolo. Pro kontrolu jsem používal výpočtovou osovou vzdálenost a porovnal ji se skutečnou, známou. Připustil jsem chybu v řádu milimetrů kvůli nepřesnosti měření a s vědomím, že veškeré, z těchto výpočtů vycházející, hodnoty zatížení musím brát s rezervou. Je důležité si uvědomit, že ozubená kola v automotive nepoužívají normované moduly ozubených kol. Mohl jsem tedy hýbat s tímto parametrem. Měření úhlů se mi povedlo, věřím, v toleranci $\pm 1^\circ$. To jsem použil jako další parametr pro přiblížení se skutečným kolům. Musel jsem však brát na vědomí, že změna těchto úhlů výrazně ovlivňuje silové poměry v ozubení.

Při těchto výpočtech jsem neuvažoval korekce.

Zadané / změřené hodnoty						
Vstup:	150	Nm				
i2	1,955	-				
a2	65	mm				
Da2A_změřeno	49,1	mm				
Da2B_změřeno	91	mm				
Kolo 2A:			Kolo 2B:			
m2A	1,68	mm	m2B	1,68	mm	
mt2A	2,077	mm	mt2B	2,077	mm	
z2A	22	z	z2B	43	z	
D2A	45,685	mm	D2B	89,294	mm	
Da2A	49,045	mm	Da2B	92,654	mm	
α 2A	20	°	α 2B	20	°	
α 2A	0,349	rad	α 2B	0,349	rad	
α t2A	24,2	°	α t2B	24,2	°	
α t2A	0,423	rad	α t2B	0,423	rad	
β 2A	36	°	β 2B	36	°	
β 2A	0,628	rad	β 2B	0,628	rad	
akontrola	67,49	mm				
na kole jsou vidět korekce						

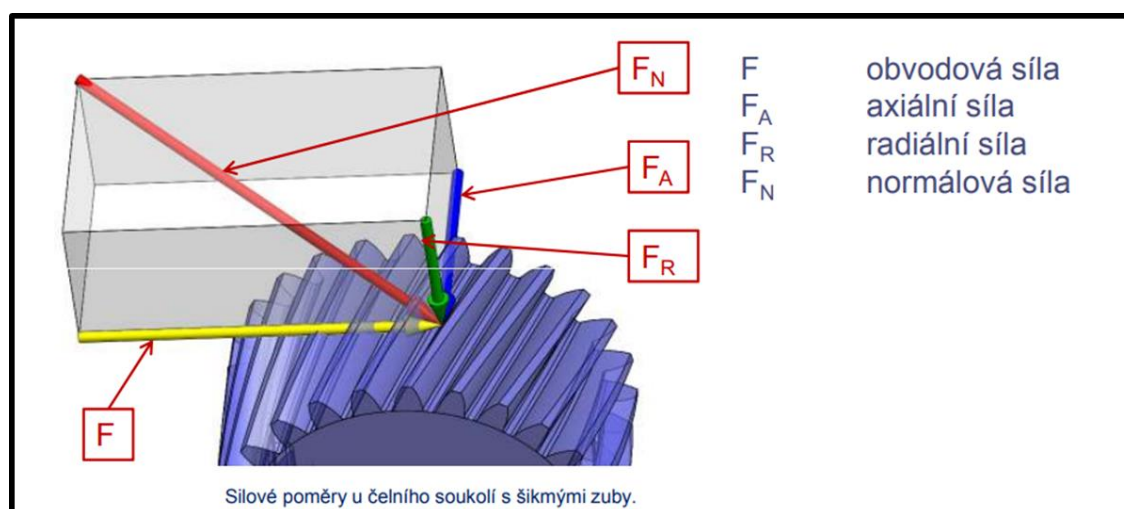
Tab.2: Změřené a vypočtené hodnoty pro soukolí 2°. Obdobně jsem provedl i pro soukolí 3° a R.

1.6 Silové poměry v ozubení

Jak bylo zmíněno v bodě 1.5, na základě geometrického popisu kol a známého maximální vstupního momentu od elektromotoru jsem provedl výpočet složek sil v ozubení – viz. Tab.3, Obr.6. Poznámka: výpočty byly validovány v programu Mitcalc. Obdobné výpočty byly provedeny pro všechna soukolí, velikost vstupního momentu se měnila dle uspořádání převodovky (zpřevodování).

Mk2	150	Nm
obvodová síla Ft2AB	6567	N
Radiální síla Fr2AB	2954	N
Axiální síla Fa2AB	4771	N

Tab.3: Výpočet složek síly v ozubení 2°. Síly jsou vypočteny jako účinky na hřídel.



Obr.6: Ukázka silových poměrů na soukolí s šikmým ozubením. Obrázek převzat ze software MitCalc.

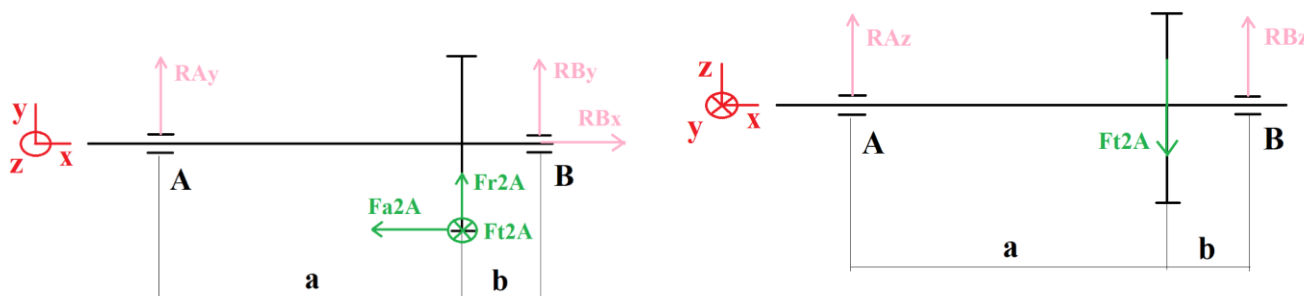
1.7 Výpočty hřídelů – vnitřní statické účinky, rychlá pevnostní kontrola

Z důvodů nutnosti použití již hotových dílů (kol a hřídelů) jsem byl velmi omezen a musel jsem přísně sledovat určité geometrické poměry (umístění kol na hřídeli apod). Velký pozor jsem si musel dát na kolize jednotlivých celků a musel jsem také zajistit smontovatelnost a lehkou vyrobiteľnost konstrukce. Proto jsem věděl, že budu často měnit různé rozměry a tedy bylo jednodušší si napsat program pro výpočet VSÚ a zobrazit grafy, tedy mít výpočty kompletně parametrizované.

Po určení konceptu v bodě 1.4 jsem si udělal konkrétní rozložení a tomu jsem přizpůsobil výpočty. V Tab.4 lze vidět zadávané hodnoty pro vstupní hřídel, na Obr.7 a Obr.8 schéma výpočtu, v Tab.5,6 vypočtené hodnoty v jednotlivých rovinách a v Tab.7 výsledné hodnoty pro výpočet ložisek, kontrolu správnosti výpočtů pomocí momentů v podporách ($=0$) a zobrazený výsledný maximální moment působící na hřídel. Výpočty jsem dělal jak pro akceleraci, tak deceleraci (rekuperace energie). Vlastností elektromotoru je, že jaký moment je schopen ze sebe vydat, tak stejným je schopen i brzdit. Pro mě to znamená zatížení hřídelů v opačném smyslu. V Graf1 lze vidět průběh VSÚ při akceleraci pro Vstupní hřídel.

Zadávané parametry - Vstupní hřídel							
geometrické		silové - akcelerace		geometrické		silové - decelerace	
a	0,0175 m	Ft2A	6567 N	a	0,0175 m	Ft2A	-6567 N
b	0,02325 m	Fr2A	2954 N	b	0,02325 m	Fr2A	2954 N
D2A/2	0,022843 m	Fa2A	4771 N	D2A/2	0,022843 m	Fa2A	-4771 N
lo = 0	0 m			lo = 0	0 m		
l=a+b	0,04075 m			l=a+b	0,04075 m		

Tab.4:
Zadávané
hodnoty
pro VSÚ
Vstupního
hřídele.



Obr.7,Obr.8: Schémata pro výpočet VSÚ Vstupního hřídele

Vypočtené parametry - XY							
silové - akcelerace		momentové - akcelerace		silové - decelerace		momentové - decelerace	
RBx	4771 N	Mxyl(0)	0 Nm	RBx	-4771 N	Mxyl(0)	0 Nm
RAy	-4360 N	Mxyl(a)	-76 Nm	RAy	989 N	Mxyl(a)	17 Nm
RBy	1406 N	Mxyl(a)	33 Nm	RBy	-3943 N	Mxyl(a)	-92 Nm
Nxyl	0 N	Mxyl(a+b)	0 Nm	Nxyl	0 N	Mxyl(a+b)	0 Nm
Txyl	-4360 N			Txyl	989 N		
NxylII	4771 N			NxylII	-4771 N		
TxylII	-1406 N			TxylII	3943 N		

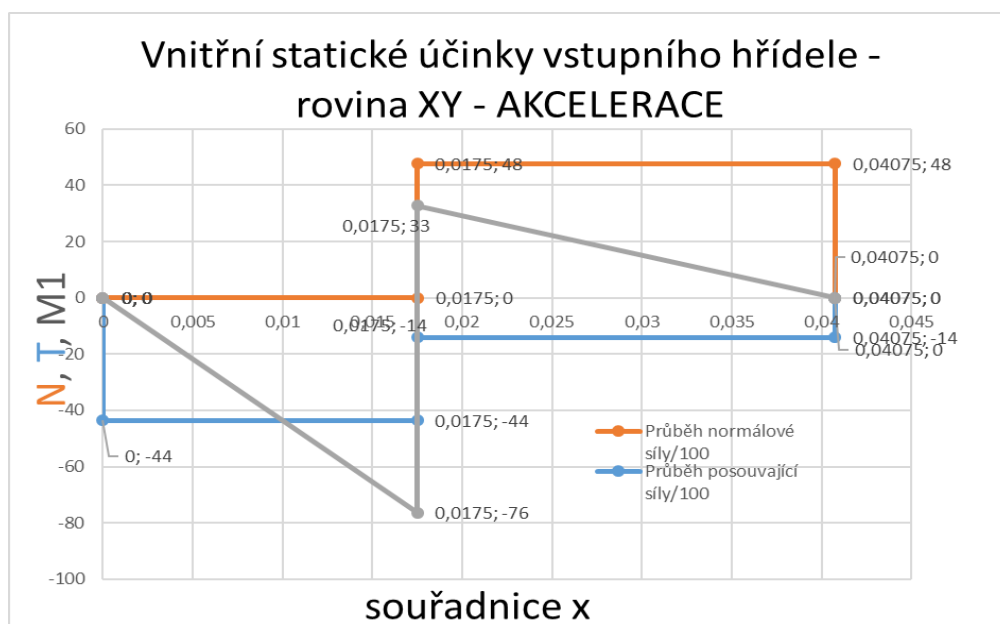
Tab.5: Vypočtené hodnoty v rovině XY

Vypočtené parametry - XZ							
silové - akcelerace		momentové - akcelerace		silové - decelerace		momentové - decelerace	
RAz	3747 N	MxzI(0)	0 Nm	RAz	-3747 N	MxzI(0)	0 Nm
RBz	2820 N	MxzI(a)	66 Nm	RBz	-2820 N	MxzI(a)	-66 Nm
NxzI	0 N	MxzII(a)	66 Nm	NxzI	0 N	MxzII(a)	-66 Nm
TxzI	3747 N	MxzII(a+b)	0 Nm	TxzI	-3747 N	MxzII(a+b)	0 Nm
NxzII	0 N			NxzII	0 N		
TxzII	-2820 N			TxzII	2820 N		

Tab.6: Vypočtené hodnoty v rovině XZ

Důležité výsledky, kontrola							
silové - akcelerace		momenty v uložení = 0?		silové - decelerace		momenty v uložení = 0?	
RRR	5749 N	Mxyl(0)	SPRÁVNĚ Nm	RRR	3875 N	Mxyl(0)	SPRÁVNĚ Nm
RRB	3151 N	Mxyl(a+b)	SPRÁVNĚ Nm	RRB	4848 N	Mxyl(a+b)	SPRÁVNĚ Nm
RAA	0 N	MxzI(0)	SPRÁVNĚ Nm	RAA	0 N	MxzI(0)	SPRÁVNĚ Nm
RAB	4771 N	MxzII(a+b)	SPRÁVNĚ Nm	RAB	-4771 N	MxzII(a+b)	SPRÁVNĚ Nm
M1max	101 Nm			M1max	113 Nm		

Tab.7: Důležité výsledky – reakce, výsledný ohybový moment, kontrola

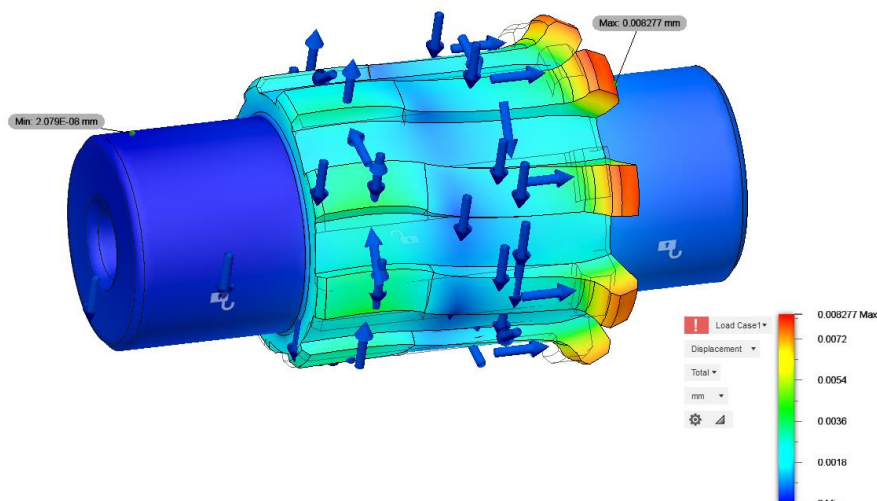


Graf1:
VSÚ
Vstupního
hřídele

Pevnostní kontrolu jsem u převzatých hřídelů neprováděl, u vyráběného druhého hřídele zase přes redukované napětí HMM (v tuto chvíli jsem zanedbal vruby). U druhého hřídele jsem dále provedl kontrolu na otláčení drážkování, jenž se bude vyrábět. Nakonec jsem také provedl MKP analýzu pro zjištění ohybu prstence, jenž drží axiální účinky od soukolí (viz. Obr.9). Tam mě však zajímala primárně deformace.

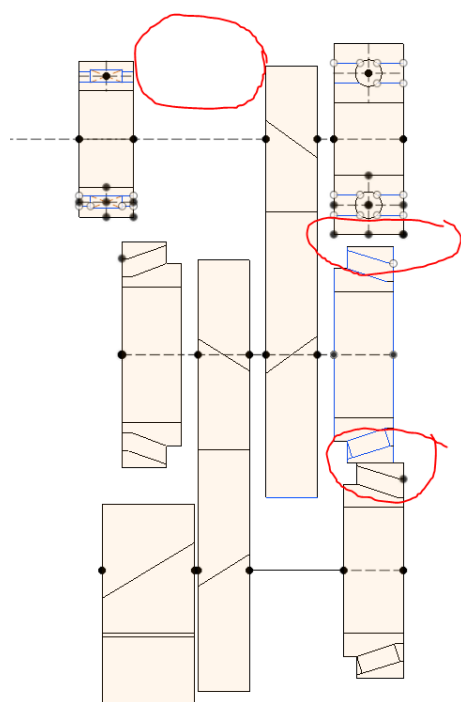
Pevnostní kontrola					
Napětí ve styčných plochách drážkování 8x36x40					
Krouticí moment	293,25	Nm			
Dd23	0,04	m			
dd23	0,036	m			
Síla v drážkování Fd23	14662,5	N	rameno síly rd23	0,02	m
nejmenší délka l	0,018	m			
tlak ve styčných pl.	50,9	MPa	počet drážek	8	-
			styčná plocha	0,000288	m ²
Namáhání kritického průměru hřídele (pod kolem 3A) - spojitě zatížení ohyb + krut (HMM)					
Ohybový moment	281	Nm			
Krouticí moment	293,25	Nm			
kv. Moment v ohybu	4,58044E-06	m ²	dd23	0,036	m
kv. Moment v krutu	9,16088E-06	m ²			
Ohyb. Napětí σ	61,3	MPa	Krut. Napětí τ	32,0	MPa
Red. napětí σ_{red}	82,7	MPa			

Tab.8:
pevnostní kontrola
druhého hřídele
pomocí
redukovaného
napětí HMM +
kontrola
drážkování



Obr.9: Analýza
druhého hřídele při
akcelerace.
Maximální
deformace
nepřesáhne
0,009mm, tedy je
pro mě
nevýznamná.

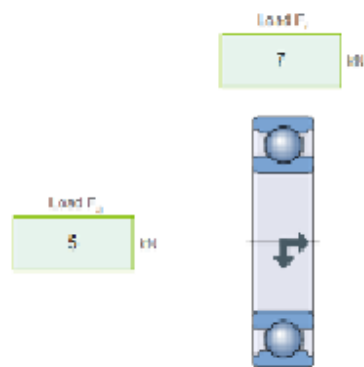
1.8 Návrh ložisek



Návrh ložisek proběhl v interaktivním prostředí skfbearingselect.com. Síly jsem zadával dle výpočtů viz. bod 1.7. Původně jsem chtěl použít co nejvíce ložisek z převodovky MQ200-5F, ale bohužel kvůli zástavbě to nebylo možné. Kompozice hřídelů je naprosto odlišná od původní převodovky a docházelo by tedy ke kolizím, zbytečnému tvěštění konstrukce či nedostatku materiálu mezi ložisky – viz. Obr.10.

Obr.10: Ukázka nemožnosti použít originální ložiska

Navíc jsem pro uložení ložisek často nemohl použít originální dosedací plochy na hřídelích, ale hřídele bude potřeba upravit a ložiska se budou dávat do jiných pozic. Na Vstupním hřídeli se například osoustruží pastorek soukolí zpětného chodu a na jeho místo se uloží kuličkové ložisko. Obdobně jsem postupoval i u zbylých ložisek. Poznámka: Tam, kde jsou použita kuželíková ložiska, je potřeba vytvořit předpětí o velikosti definované SKF. Řešeno bude podložkami mezi ložisko a víčko na dílu Skříň – víko. Velikost přesahu určím dle MKP analýzy tuhosti příslušné hřídele a při montáži vložím vhodnou podložku.



Designation	Basic load ratings		Equivalent dynamic load	Load ratio
	Dynamic	Static		
	C	C ₀	P	C/P
	kN		kN	
► 6205	14.8	7.8	8.92	1.65

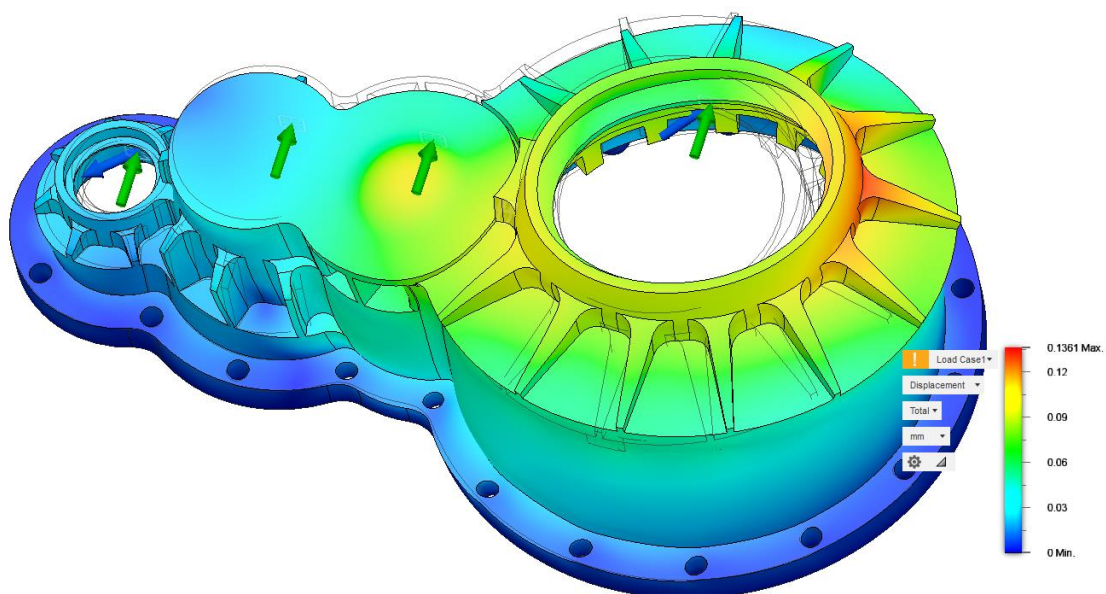
Obr.11: Ukázka výsledků volby ložiska z SKF Bearing Select

1.9 Modelování dílů/sestavy převodovky

Modelování převodovky proběhlo v programu Creo Parametric Educational 4.0. Všechna soukolí a originální hřídele jsem si zmodeloval a upravil podle potřeby tak, abych věděl, že zajistím vyrobiteľnost (ideálně na běžných strojích – frézka, soustruh). Dále jsem nakonstruoval obě části skříně a udělal simulace, abych zjistil deformace. Pro to jsem si i vypočetl nutné tlaky po zalisování ložisek ([1]), abych zajistil jejich neuvolnění při přenášení axiálních sil. Výpočet viz. Tab.9. Jakmile bude probíhat příprava výroby, použiji tyto výpočty pro návrh tolerančních polí děr ve skříních (toleranční pole ložisek je dáno výrobcem).

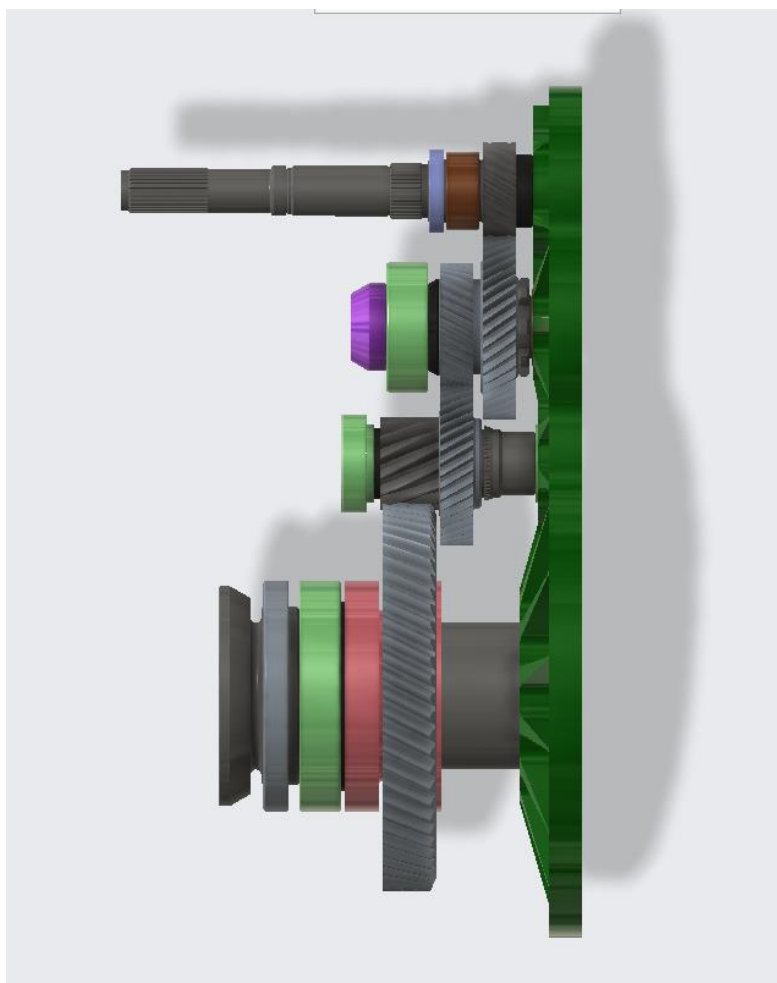
Skříň - deska											
Ložisko B											
síla k zachycení		vnější průměr ložiska		šířka ložiska		součinitel tření		modul pružnosti ložiska		modul pružnosti skříně	
RAB	4771 N	DaIB	0,052 m	BiB	0,015 m	Fe-Al	0,61 -	EiB	2,1E+11 Pa	EsD	7E+10 Pa
styčná plocha		MIN potřebná třecí síla		MIN tlak ve styčné ploše		bezpečnost přenosu		POŽADOVANÝ tlak			
SiB	0,00245 m2	FtiB	7821 N	piB	3,2 MPa	kiB	2 -	piB'	6,4 MPa		

Tab.9: Výpočet potřebného tlaku po zalisování na přenos síly přes ložisko. Údaj pro vstup do simulace.

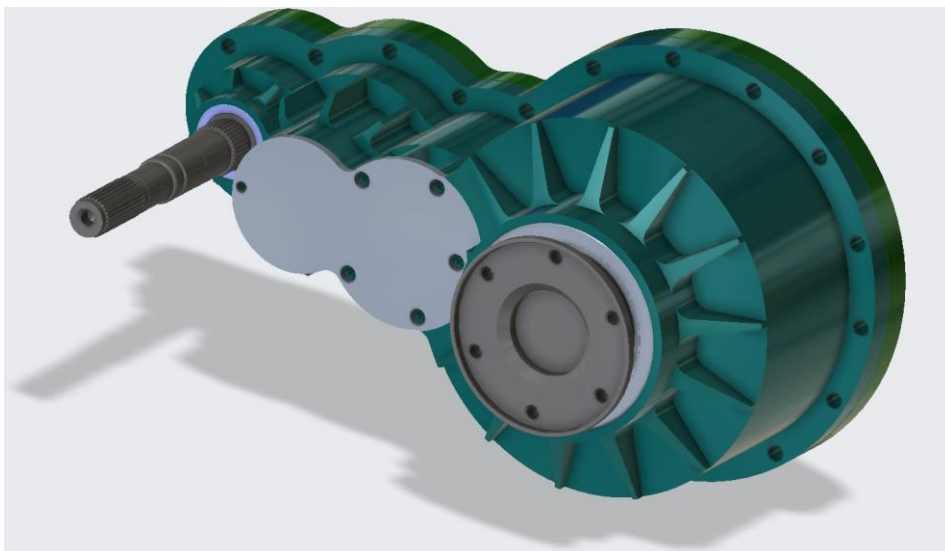


Obr.12: Výsledek simulace Skříň – víko. Simulace byla provedena i pro Skříň – deska a další stěžejní díly.

Deformace dílu Skříň - víko v maximu má sice hodnotu 0,13mm, ale vím že dojde ke zpevnění ložisky + směr deformací se shoduje se Skříň – deska a proto relativní deformace není tak významná. Navíc těchto 0,13mm je v místě uložení gufera, ne ložiska.

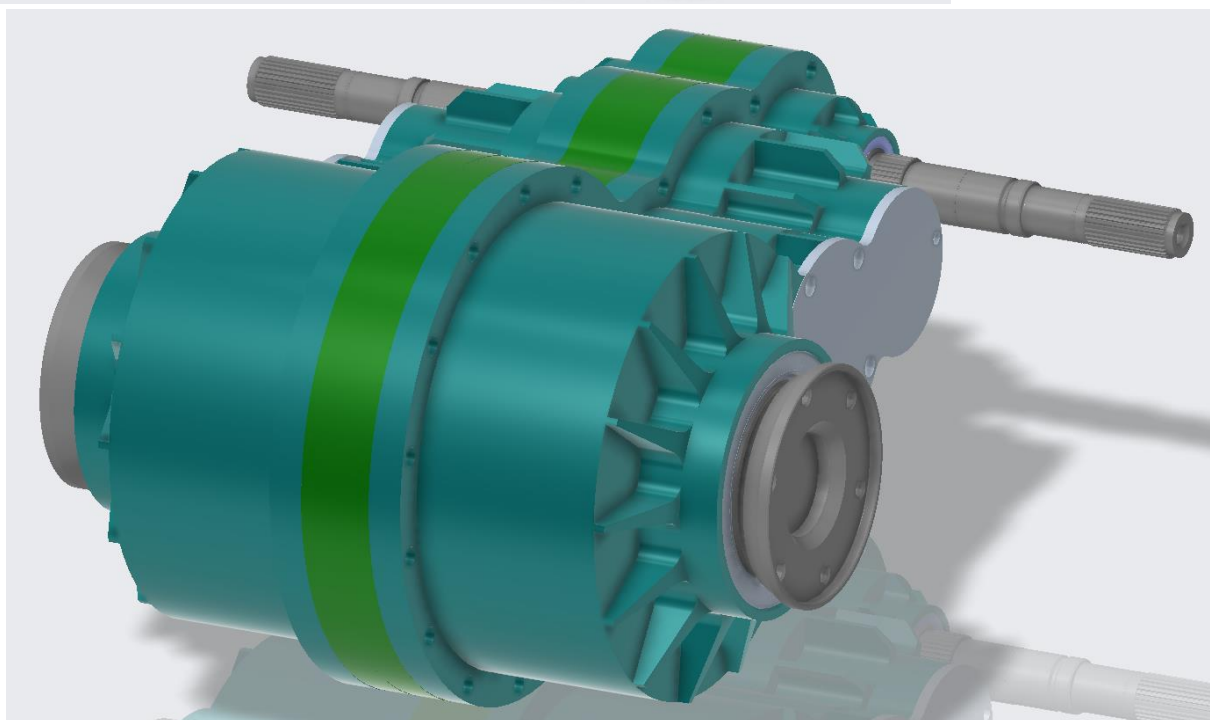


Obr.13: Sestava převodovky bez Skříň – víko, pohled shora = ukázka zástavby.



Obr.14: Sestava převodovky

Obr.15 (dole): Sestava spojených, zrcadlených, převodovek.



1.10 Závěr

V tomto krátkém rozsahu se mi nepodařilo postihnout celý rozsah mé práce (výpočty výrobních tolerancí, detaily určitých konstrukčních rozhodnutí, volba materiálů apod), každopádně v budoucí práci mě dále čeká vyřešit konkrétní způsob napojení dvou převodovek k sobě, dokončit modelování sestavy (vložení spojovacího materiálu), přidání vhodných děr pro sdílení oleje mezi sousedními převodovkami, návrh množství oleje v převodovce, validovat simulace v MKP, zajistit výrobu. Po vyrobení bude následovat testování na stavu Powertrain na katedře Vozidel a motorů, kde budeme měřit charakteristiky převodovky, její účinnosti, zahřívání, hlučnost a další parametry s různými motory.

1.11 Literatura

- [1] PROF. ING. LUBOMÍR PEŠÍK, CSC., *Části strojů, 1.díl*, Fakulta strojní, Liberec: Technická Univerzita v Liberci, ISBN 978-80-7494-183-2, 2015

Optimalizace genetického algoritmu

Manlig František

Sekce - STROJÍRENSTVÍ,

Fakulta strojní, 2. ročník

Magisterský studijní program – VÝROBNÍ SYSTÉMY A PROCESY

Abstrakt: Práce se zabývá problematikou optimalizace pořadí zpracování zakázek. Optimalizace uspořádání zakázek je důležitá pro zkrácení průběžné doby výroby na minimum, což je problematika všech firem. Práce využívá memetického genetického algoritmu (MGA) spadajícího do oblasti evolučních algoritmů, které se pro tyto problémy využívají. Navrhovaný MGA bude porovnán s metodou nejkratšího procesního času (SPT) a s jednoduchým genetickým algoritmem (SGA). Navrhovaný MGA navrhuje měnit pravděpodobnost křížení chromozomu v závislosti na počítané generaci. Výsledky ukazují, že je skutečně vhodné využívat pro tuto problematiku genetických algoritmů, kdy v simulovaném problému došlo ke zlepšení celkové doby na výrobu náramků o ca 10 % i při takto malém kombinatorickém problému. MGA oproti SGA vykazuje rychlejší zlepšování jedinců, díky čemuž je práce považována za úspěšnou a je doporučeno se optimalizací MGA nadále zabývat a testovat na složitějších kombinatorických problémech.

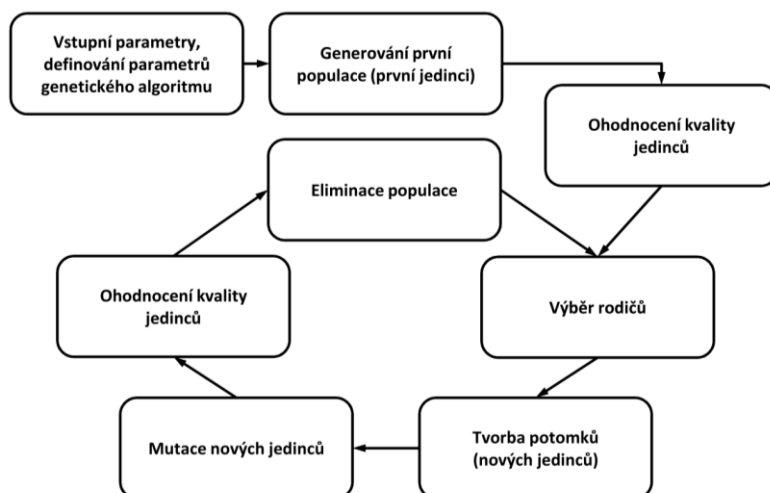
Klíčová slova: optimalizace uspořádání zakázek, genetické algoritmy

1 Úvod

Projekt vychází z projektu chytré továrny na katedře výrobních systémů a automatizace. Projekt představuje továrnu vyrábějící náramky z korálků. Každý náramek je dán požadavkem zákazníka, čímž dochází k problému, že je každý náramek jiný. Náramky/zakázky kompletují vozíčky, které jezdí po výrobních strojích/skladech s kuličkami a sbírají korálky požadované barvy. Touto problematikou se zabývají genetické algoritmy (GA) spadající do heuristických metod. Genetické algoritmy se v praxi ukazují pro tuto problematiku jako úspěšnější než metody nejkratšího procesního času (SPT). Cílem práce je navrhnout úpravu genetického algoritmu, vytvořit memetický genetický algoritmus (MGA). Následně porovnat s SPT a s jednoduchým genetickým algoritmem (SGA).

2 Princip genetického algoritmu

Genetický algoritmus se skládá z několika kroků, které zobrazuje následující obr. 1 [1, 2].



Obr. 1 Proces genetického algoritmu

Každý krok bude nyní rozebrán a popsán dle využitého jednoduchého genetického algoritmu (SGA).

2.1 Definování vstupních parametrů

Nejprve jsou definovány vstupní parametry. Mezi základní patří tyto:

- Velikost populace definuje se pro SGA a MGA 100.
- Počet generací definuje se pro SGA a MGA 50.
- Pravděpodobnost křížení definuje se u SGA 80 %, u MGA se mění 95 % až 70 % dle pravidel rozepsané v kapitole 3.2.
- Nových jedinců definuje se pro SGA a MGA 100.

Další parametry jsou uvnitř každého kroku algoritmu.

2.2 Generování první populace

První populace je náhodně vygenerována. Velikost populace je dána na 100 jedinců.

2.3 Ohodnocení kvality jedinců

Noví jedinci se simulují ve výrobním procesu kompletace náramků a spočítá se hodnota fitness funkce, která je převrácenou hodnotou celkového času na vyrobení všech zakázek. V průběhu výpočtu se vytvoří celkem 50 generací. Výsledkem výpočtu genetického algoritmu bude jedinec s nejlepší hodnotou fitness funkce na konci výpočtu.

2.4 Výběr rodičů (selekce)

Pro SGA je výběr obou rodičů náhodný. Rodiče jsou vybíráni tak dlouho, dokud není vytvořeno nových potomků stejné množství, jako je rodičů.

2.5 Tvorba potomků

Každý pár rodičů vytvoří dva potomky. První potomek má dědění chromozom z prvního rodiče a křížené geny s druhým rodičem. Druhý potomek má dědění chromozom z druhého rodiče a křížené geny má s prvním rodičem. Nových jedinců bude celkem 100. Pro křížení genů pro SGA je využito uniformní křížení. Hodnota pro křížení je 80 %, bude tedy docházet v průměru ke křížení 20 % genů.

2.6 Mutace nových jedinců

Mutace slouží pro posun řešení z lokálního extrému při konvergenci. Patří do náhodného prohledávání, a proto zde není využita, aby výsledky byly zřetelnější.

2.7 Eliminace populace

Pro eliminaci bude využit elitářský mechanismus. Celá populace jedinců je seřazena dle hodnoty fitness funkce. Pro další generaci se ponechá 50 % jedinců, tedy 100 jedinců s nejvyšší hodnotou fitness funkce.

3 Návrh memetického algoritmu (MGA)

Návrh se inspirovuje přírodou, kdy se jedinci postupně adaptují na své prostředí. Poznávají ho a ví, jak svět kolem nich funguje. Navrhovány jsou dva kroky týkající se části výběru rodičů pro křížení a části tvorby nových potomků.

3.1 Výběr rodičů (selektce)

Metoda SGA nechává výběr rodičů náhodě. V návrhu MGA se bude pracovat naopak účelově s celou populací. První rodič se vybere s pravděpodobností odpovídající fitness funkci. Druhý jedinec se vybírá s pravděpodobností odpovídající převrácené hodnotě fitness funkce. Tedy nejvyšší pravděpodobnost výběru mají jedinci s nejnižší hodnotou fitness funkce. Pravděpodobnost výběru prvního a druhého rodiče je následující.

$$\text{pravděpodobnost výběru 1. rodiče } PVJ_i = \frac{FF_i}{\sum_{i=1}^n FF_i} \quad (1)$$

$$\text{pravděpodobnost výběru 2. rodiče } PVJ_i = \frac{\frac{1}{FF_i}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{FF_i}} \quad (2)$$

kde:

PVJ_i pravděpodobnost výběru jedince
FF_i hodnota fitness funkce daného jedince
n počet jedinců

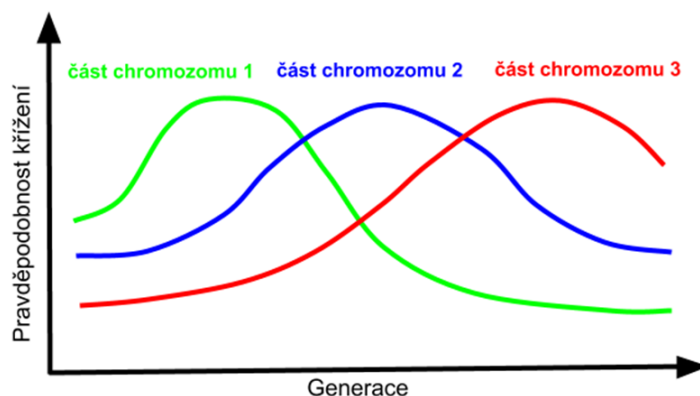
Myšlenkou je, aby noví jedinci měli geny z rozdílnějších rodičů a mohli se rychleji vyvíjet k lepším výsledkům.

3.2 Tvorba potomků

Volba rodičů pro křížení a množství vzniklých potomků bude totožné s metodou SGA. Každý pár rodičů tedy vytvoří dva potomky. První potomek má dědění chromozom z prvního rodiče a křížené geny s druhým rodičem. Druhý potomek to má opačně a nových jedinců bude celkem 100.

Pro křížení genů se v tomto případě jeví jako velmi zajímavým návrhem využití znalosti řešeného problému, tedy návrhu uspořádání zakázek. Předpokládá se, že změna pořadí zakázek na začátku výrazně změní výsledek řešení, kdežto konec uspořádání již takový vliv na výsledek řešení mít nebude. Z tohoto pohledu je proto vhodné se nejprve zabývat začátkem seskupení zakázek, postupně přecházet do střední části a ke konci výpočetních generací nejvíce pracovat s uspořádáním zakázek na konci. Tato myšlenka vznikla na základě studia přírody a vědy v genetice [3, 4, 5].

Následující obr. 2 znázorňuje posun pravděpodobnosti křížení genu. Kdy chromozom je rozdělen na tři části. Část jedna je znázorněna zelenou barvou, část dvě modrou a část třetí červenou. Nejvyšší pravděpodobnost křížení genu v prvních generacích je v první části chromozomu, viz zelená linie. Třetí část (červená) se také může křížit, jen s nižší pravděpodobností.



Obr. 2 Posun pravděpodobnosti křížení částí chromozomu v průběhu generací

Chromozom nemusí být rozdělen jen na tři části, možné úpravy a další varianty jsou možné a je to možnost pro další práci. V této práci bude testována jednodušší varianta, kdy každá ze tří částí chromozomu bude mít tři pravděpodobnosti křížení pro tři části celé evoluce, tedy všech generací, viz následující tab. 1.

Tab. 1 MGA - Potřebná pravděpodobnost ke křížení dle generace a části chromozomu

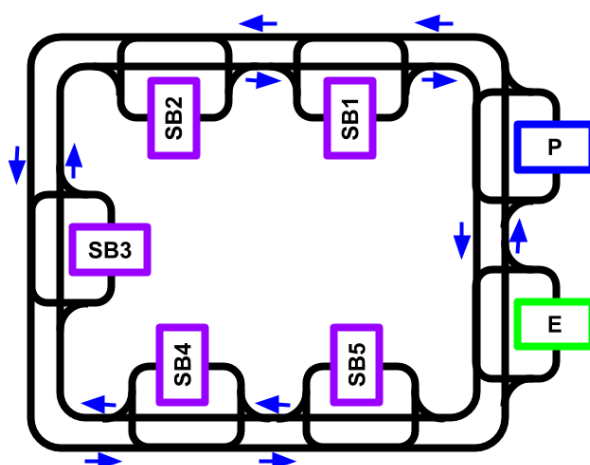
	Potřebná pravděpodobnost ke křížení dle generace		
Část chromosomu	0-16	17-33	33-50
1.	70%	85%	95%
2.	85%	70%	85%
3.	95%	85%	70%

Počet překřížených genů je doplňkem k potřebné pravděpodobnosti, takže například první část chromozomu bude mít v generacích 0 až 16 zkříženo 30 % ($100\% - 70\% = 30\%$) a v posledních generacích 33 až 50 bude mít jen 5 % zkřížených genů ($100\% - 95\% = 5\%$).

Cílem tohoto návrhu je zvýšení účinnosti GA. Kdyby byla změna pouze v dané části, bude hledáno vždy jen optimum pro daný tvar chromozomu ve zbylých částech, čímž by se hledalo lokální optimum. Je nutné, aby ke změně v ostatních částech chromozomu docházelo z toho důvodu, aby část, která je křížena nejvíce, byla stále prověřována pro různé varianty zbylé části chromozomu.

4 Aplikace a zhodnocení

Pro testování bude využito pro plnění zakázek 10 vozíčků. Barvy jednotlivých korálek jsou pěti barev (B1 až B5), od toho se odvíjí sklady neboli výrobní stroje SB1 až SB2. Následující obrázek 3 zobrazuje výrobní halu.



Obr. 3 Výrobní hala

Simulace stanoviště čísluje od nuly a od Expedice, tedy $E = 0$, $P = 1$, $SB1 = 2$, ... $SB5 = 6$. Pro výpočet času potřebný pro přejezd mezi stroji je použita následující tabulka 2. Hodnoty jsou uvedené v sekundách. Skutečné hodnoty je potřeba změřit dle reálného modelu. Čas pro vyskladnění korálků je použito 10 s.

Tab. 2 Vzdálenosti mezi stanovišti v sekundách

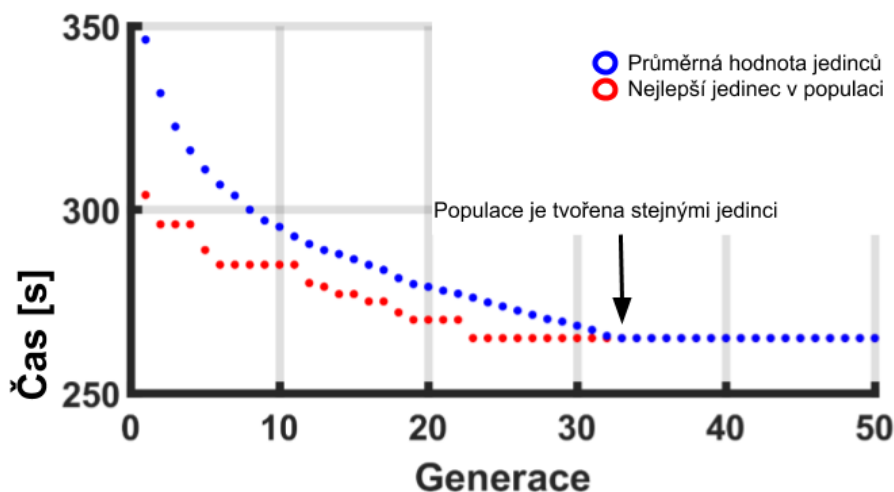
Z \ do	E	P	SB1	SB2	SB3	SB4	SB5
E	xxx	15	30	33	33	27	24
P	30	xxx	27	36	45	39	30
SB1	30	24	xxx	33	42	36	30
SB2	27	21	15	xxx	33	36	33
SB3	42	39	24	18	xxx	33	42
SB4	33	36	30	24	18	xxx	30
SB5	27	30	30	27	21	15	xxx

Pro testování bylo využito uskupení zakázek dle následující tabulky 3.

Tab. 3 Uskupení zakázek použité pro simulaci

ČZ	B1	B2	B3	B4	B5
1	5	2	1	3	4
2	2	3	5	1	1
3	2	1	3	5	5
4	4	1	3	2	4
5	2	5	1	2	2
6	3	5	4	2	5
7	4	1	1	5	5
8	4	4	3	3	2
9	4	2	3	1	4
10	3	4	5	2	5

Navrhovaná úprava genetického algoritmu MGA je postavena proti základní metodě SGA. Následující obr. 4 znázorňuje průběh jedinců generacemi v jednom z testů.



Obr. 4 Ukázka jedinců v průběhu generací MGA

Ve chvíli, kdy průměrná hodnota jedinců je rovna nejlepšímu jedinci, dochází k problému, kdy se populace již nemůže zlepšit. Dochází ke konvergenci populace k lokálnímu extrému. To je dáno jednoduchými pravidly pro eliminaci populace, kdy zůstávají jen ti nejlepší nehledě na to, zda si jsou jedinci podobní.

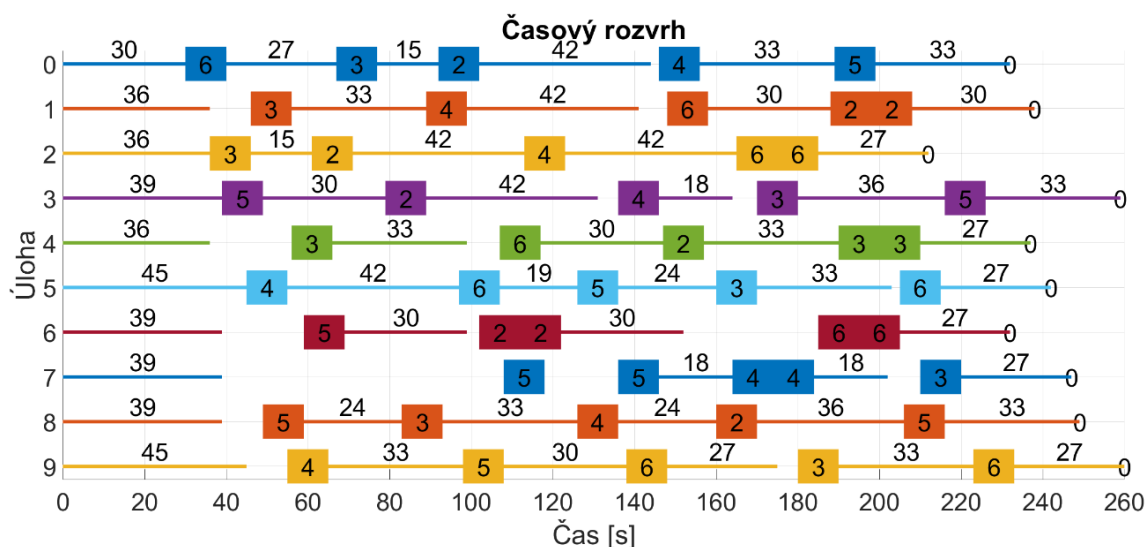
Následující tab. 4 zobrazuje 16 testování každé varianty.

Tab. 4 Data z testů SGA a MGA

SGA																	
Pokus číslo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	Průměr
Generace, ve kterém byl poprvé nalezen lokálním extrémem	26	30	30	35	27	48	41	41	31	41	42	44	36	46	47	35	37,5
Generace, ve které došla populace poprvé ke konvergenci	36	40	37	45	39	x	50	x	x	49	x	x	46	x	x	x	46,4
Hodnota účelové fce [s]	270	264	266	260	270	264	265	270	265	263	260	264	265	265	262	266	264,9
MGA																	
Pokus číslo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	Průměr
Generace, ve kterém byl poprvé nalezen lokálním extrémem	32	28	29	18	29	23	19	25	15	35	30	21	21	19	23	26	24,6
Generace, ve které došla populace poprvé ke konvergenci	40	33	37	26	35	33	30	33	23	46	38	25	32	32	33	34	33,1
Hodnota účelové fce [s]	260	265	264	260	265	265	275	270	274	265	260	264	260	269	269	260	265,3

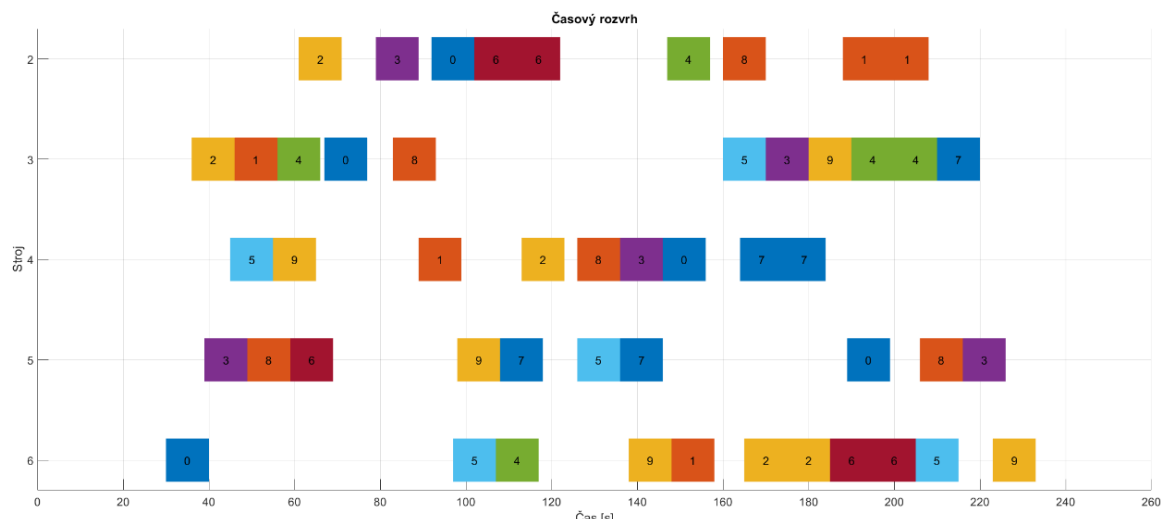
Oba genetické algoritmy se dostávají k hodnotě 260 [s]. Při využití jednoduché metody nejkratšího procesního času (SPT), která je velmi jednoduchá a rychlá, dojde výpočet na 286 [s]. Oba GA ukazují, že mají potenciál a smysl. Z tabulky je vidět, že metoda MGA oproti SGA rychleji konverguje. Při výpočtu se stává, že je populace tvořena stejnými jedinci, což je způsobeno striktním ponecháním nejlepších jedinců bez ohledu na podobnost s ostatními jedinci. Celkově se návrh MGA ukazuje jako velice zajímavý a je proto vhodné provést jeho úpravy a testovat na komplikovanějších kombinatorických problémech.

Následující obr. 5 znázorňuje nejlepší spočtenou variantu uspořádání zakázek. Obrázek znázorňuje, v jakém čase je stav zakázky (vozíček).



Obr. 5 Výsledný průběh zakázek ve výrobním procesu

Plná čára s číslem nad čarou znázorňuje přejíždění vozíčku mezi stroji (sklady s kuličkami). Obdélník s číslem uvnitř značí vyskladňování kuličky na daném stroji, kdy číslo barvy odpovídá o jedna menší než uvedené číslo (barva 1 má číslo 2, ...). Vynechané místo je prostoj / čekání. Pořadí zakázek na strojích zobrazuje následující obr. 6. Číslo stroje odpovídá opět barvě kuličky, jen o hodnotu o jedna posunutá (barva 1 má číslo stroje 2).



Obr. 6 Výsledné uspořádání zakázek na strojích

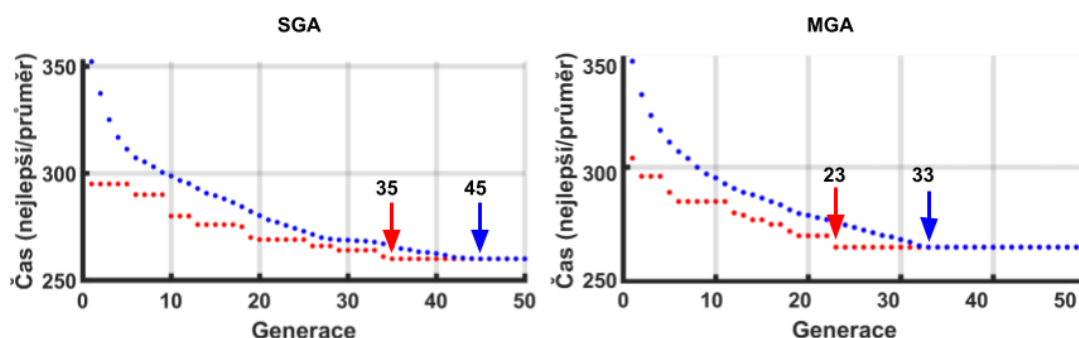
Na tomto grafu je dobře vidět, jak se zakázky na stroji sejdou, tedy jdou zakázky hned za sebou, nebo jsou stroje bez zakázek.

5 Závěr

Práce pokračuje v projektu výukového modelu chytré továrny, který je na katedře výrobních systémů a automatizace. Projekt je zaměřen na kompletaci náramků vyráběný z korálků barev daných zákazníkem. Tato práce se zaměřuje na optimalizaci pořadí zpracování zakázek. Uspořádání zakázek má za cíl zvolit pořadí zpracování zakázek tak, aby čas na výrobu všech zakázek byl co nejkratší.

Navrhovaný optimalizační krok, kdy se pravděpodobnost křížení mění v průběhu generací, se jeví jako smysluplný. Za testovaných podmínek se jedinci zlepšovali rychleji než u metody SGA. Metoda MGA také dosahovala častěji nejlepšího dosaženého řešení. Nevýhoda SGA a MGA je aktuálně v tom, že dochází velmi brzy ke konvergenci. Při odstranění tohoto problému se může MGA jevit velmi dobře i při náročnějších kombinatorických problémech. Proto je doporučeno dále optimalizovat navržený MGA a testovat jej na komplikovanějších kombinatorických problémech. Oba GA dospěli k lepšímu výsledku než SPT. GA dosahovali času 260 s kdežto SPT 286 s. Toto potvrzuje, že jsou GA vhodné pro tuto problematiku.

Následující obr. 7 znázorňuje vybrané testy blížící se průměrným výsledkům.



Obr. 7 Porovnání SGA a MGA

Z obrázku je vidět posun hodnot u MGA oproti SGA směrem k menší generaci, což znamená rychlejší zlepšování jedinců.

Literatura

- [1] KOBLASA, František. *Uplatnění heuristických optimalizačních metod v oblasti rozvrhování strojírenské výroby středních a malých podniků*. Liberec, 2013. Disertační práce. Technická univerzita v Liberci.
- [2] CHUROVÁ, Vendula. *Optimalizační algoritmy inspirované živou přírodou*. Brno 2015. Institut biostatistiky a analýz LF a PřF MU, Masarykova Univerzita [online]. [cit. 22.02.2019].. Dostupné z: <https://is.muni.cz/th/v7hck/uprava.pdf#page=45&zoom=100,0,437>
- [3] *Byl jednou jeden... vynálezce - s01e16 - Mendel and Peas* | Zavislak.to - CZ/SK Seriály a Filmy Online. Zavislak.to - CZ/SK Seriály a Filmy Online [online]. Copyright © Zavislak.to 2017 [cit. 05.04.2019]. Dostupné z: <https://zavislak.to/serial/byl-jednou-jeden-vynalezce/s01e16>
- [4] OVESNÁ, Jaroslava. *Nové techniky ve šlechtění rostlin* | Úroda. Úroda | Aktuality z rostlinné produkce a zemědělského výzkumu 2016 [online]. Dostupné z: <https://www.uroda.cz/nove-techniky-ve-slechteni-rostlin/>
- [5] *Gregor Johann Mendel (20.7.1822-6.1.1882): Otec genetiky*. ŽivotopisyOnline.cz | Osobnosti, životopisy, společnost 2019 [online]. Copyright © 2019. All Rights Reserved. [cit. 05.04.2019]. Dostupné z: <http://zivotopisyonline.cz/gregor-johann-mendel-otec-genetiky/>

3D tisk foto-polymerních keramických materiálů s využitím technologie SLA

Truxová Veronika

Sekce - STROJÍRENSTVÍ,

Fakulta strojní, 2. ročník

Navazující magisterský studijní program – VÝROBNÍ SYSTÉMY A PROCESY

Abstrakt: Diplomová práce se věnuje zpracování několika foto-polymerních materiálů s příměsí keramiky na technologiích SLA a DLP. V první části této práce jsou popsány technologie umožňující 3D tisk keramických materiálů, ale i vlastní použitelné materiály pro 3D tisk. V další praktické části je představen směr vlastních testů a jejich zhotovení. Jsou zde popsány a zobrazeny testovací modely, technologické parametry 3D tisku, ale i jednotlivé kroky post procesů. U nich byly detailně zanalyzovány postupy k debindingu a vlastní sintraci materiálů. Tyto technologické parametry jednotlivých operací byly optimalizovány k dosažení požadovaných výsledků vzorků. V závěru práce byly získané vzorky změřeny a komplexně zhodnoceny pod elektronovým a optickým mikroskopem. Byly získány hodnoty chemických prvků, velikosti částic, stupeň sintrace, které jsou detailně popsány v závěru diplomové práce.

Klíčová slova: 3D tisk, SLA, DLP, keramika

1 Keramické materiály

Keramické materiály lze obecně rozdělit na dvě hlavní skupiny a to, na biokeramiku a technickou keramiku. Konvenční technologie jsou v současné době nahrazovány nebo doplňovány aditivními technologiemi (AM="Additive Manufacturing") a otevírají řadu nových vývojových směrů a aplikací. To platí také v případě keramiky, kde 3D tisk nabízí možnost výroby malých a složitých částí s vysokou přesností tisku. Mezi další výhody patří tisk na míru dle individuálních potřeb zákazníků nebo pacientů, bez výrazného navýšení ceny. V porovnání s konvenčními technologiemi produkuje tisk méně odpadního materiálu a je tedy šetrnější k životnímu prostředí.

V případě biokeramiky, existuje široká škála aplikací. Je možné ji využít v medicíně jako zubní implantáty, kyčelní a kolenní implantáty, kostní náhrady (např. pro defekty lebečních kostí). Dále lze využít biokeramiku v regenerativní medicíně jako syntetické náhrady kostní nebo chrupavčité tkáně. Technickou keramiku je možné využít pro písty, ložiska, trysky a další.

V globálním měřítku je 3D tisk keramiky stále ve fázi výzkumu, především kvůli obtížnému propojení technologie výroby součástí s jejich vhodnými mechanickými vlastnostmi a povrchovou úpravou. Dostupnost literatury ohledně AM keramiky představuje méně než 5% z celkových publikovaných prací souvisejících s AM. [1]

1.1 Proces vzniku keramických částí

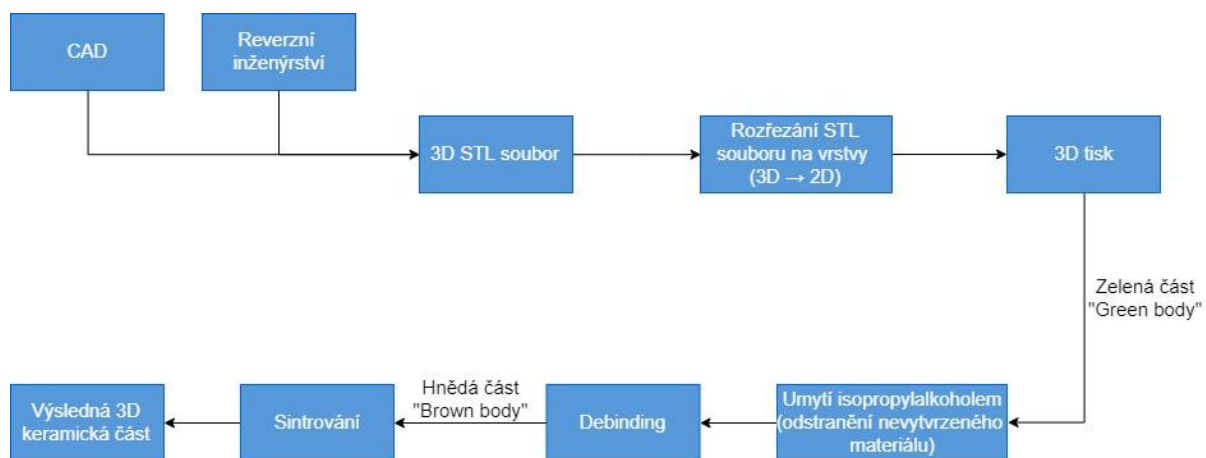
Také pro Technickou univerzitu v Liberci je 3D tisk keramiky zcela novým vývojovým směrem. Z tohoto důvodu byly pro první testování vybrány komerčně dostupné materiály od společnosti Formlabs a Tethon3D. Využití komerčně dostupných materiálů v prvotní fázi vývoje výrazně urychlí prvotní fázi testování a stanovení základních technologických proměnných tisku. Materiály jsou v současnosti prodávány jako experimentální materiály a výrobce k nim poskytuje pouze základní instrukce k procesu výroby keramických částí.

Všechny tři materiály – Ceramic Resin od společnosti Formlabs a materiály Vitrolite, Porcelite od společnosti Tethon3D měly být původně testovány pouze na SLA tiskárně od společnosti Formlabs. Po několika neúspěšných pokusech tisku materiálu Vitrolite, Tethon3D (Obr. 1) se přešlo na DLP tiskárnu sestavené na Technické univerzitě v Liberci pro materiály Vitrolite a Porcelite. Důvodem je použití materiálu od jiného výrobce, než je SLA tiskárna. Tento materiál má rozdílné požadavky na parametry tisku a vytvrzuje se při jiné vlnové délce UV světla než je tomu tak u materiálu Ceramic Resin od společnosti Formlabs. Následně byly u DLP tiskárny úspěšně nastaveny parametry tiskárny pro oba materiály – Vitrolite, Porcelite. Modely po vytištění měli požadovaný tvar i kvalitu povrchu.



Obr. 1: Neúspěšný tisk materiálu Vitrolite na SLA tiskárně.

Přehled celého procesu tisku včetně operací, které jsou zapotřebí k získání výsledné keramické části je uveden na obrázku (Obr. 2) pro technologie SLA a DLP.

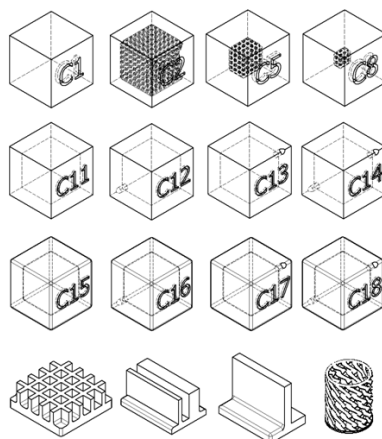


Obr. 2: Proces vzniku 3D keramické části při užití polymerních materiálů pro technologie SLA a DLP.

1.2 Tisk

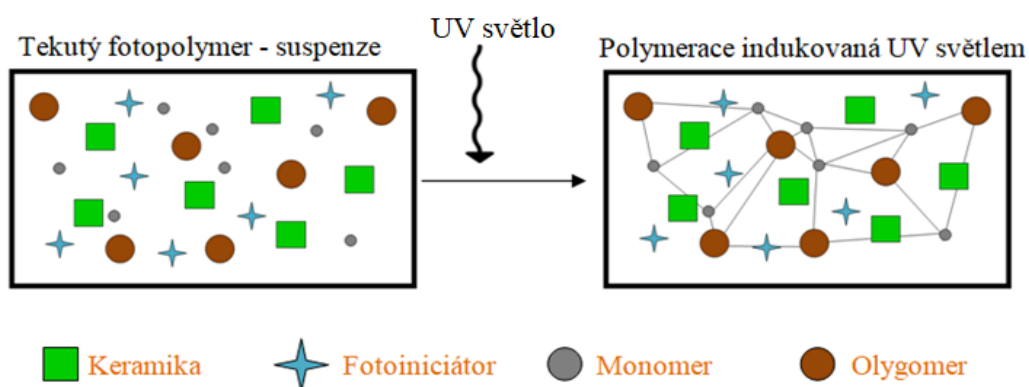
Tisk materiálů byl realizován na DLP a SLA tiskárně. Prvním krokem je příprava každého modelu v CAD softwaru. Připravené modely jsou doplněny o podpory a umístěny na platformu tiskárny. Následně je vygenerován STL formát, který se nahraje do WWW aplikace/tiskárny. Dojde k rozřezání modelů na jednotlivé vrstvy v závislosti na zvolené tloušťce vrstvy pro tisk. Přehled všech použitých modelů v diplomové práci je uveden

na Obr. 3. Následně se připraví tiskárna a materiál pro tisk



Obr. 3: Přehled použitých modelů. Zleva C1-C18, Model 1 – Model 4.

Během procesu tisku je každá vrstva (každý bod v případě SLA tiskárny) vytvrzena UV světlem a dochází k polymeraci materiálu. Oligomerní a monomerní složka suspenze spolu s fotosenzitivním síťovadlem, je po expozici UV zářením zesíťována. Při procesu vznikají dodatečné kovalentní vazby za vzniku vyššího molekulárního celku na bázi polymeru. Tento proces probíhá vrstvu po vrstvě, až je získán celý model. Proces polymerace je znázorněn na Obr. 4.



Obr. 4: Grafické znázornění polymerace [2].

1.3 Proces vypalování

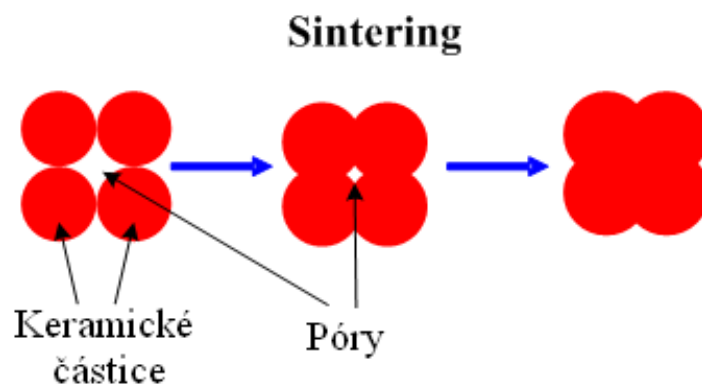
Po samotném 3D tisku se získají tzv. zelené části („green bodies“), které je zapotřebí následně sintrovat (neboli spékat). Prostřednictvím působení tepla dojde k odstranění polymerního materiálu a také ke zhutnění a získání požadovaných mechanických vlastností tištěných částí. Celý proces vypalování je rozdělen na dvě části – debinding a sintrování.

Nejprve se polymer-keramické kompozity teplotně ovlivní při 240°C až 600°C. Během tohoto procesního kroku tzv. „debindingu“, jsou vypáleny organické složky polymeru. Výsledná část, která se skládá z částic prášku stabilizovaných fyzikálními interakcemi, se dále zahřeje. Dojde k sintrování částic dohromady (vzniku difuzních můstků v místech dotyku) a získá se konečná, zcela hustá keramická část [3].

„Debinding“ je nejkritičtější proces zpracování polymerního materiálu. Použité komponenty mají různé teploty či chování při odpařování nebo rozkladu. Tímto dochází ke snížení hmotnosti i rozměru, což závisí na podílu a složení organických složek a zejména na teplotním cyklu. Kromě toho mají také vliv na chování při debindingu fyzikální charakteristiky keramického prášku, jako je velikost a rozložení částic [3].

Skutečný úspěch debindingu je velmi určen vlastnostmi použitého keramického prášku, jmenovitě geometrií částic a rozložením velikosti – frakce materiálu. Prášek s malým průměrem částic ($D_{50} < 1 \mu\text{m}$) významně zvyšuje riziko interlaminárních trhlin během debinding procesu. Může to být kvůli omezené difuzi vypálených plynů. Póry o velikosti mikrometru vytvářejí síť podobnou síti, která zachycuje unikající plyny uvnitř objemných konstrukcí. Vypálení všech organických látek vede ke snížení hmotnosti, stejně jako ke zmenšení rozměrů [3].

Po procesu debindingu jsou části dále zahřívány na teplotu sintrace použitého keramického prášku, aby se snížila pórovitost a získala se výsledná, zhutněná část. Proces sintrace je znázorněn na Obr.5.

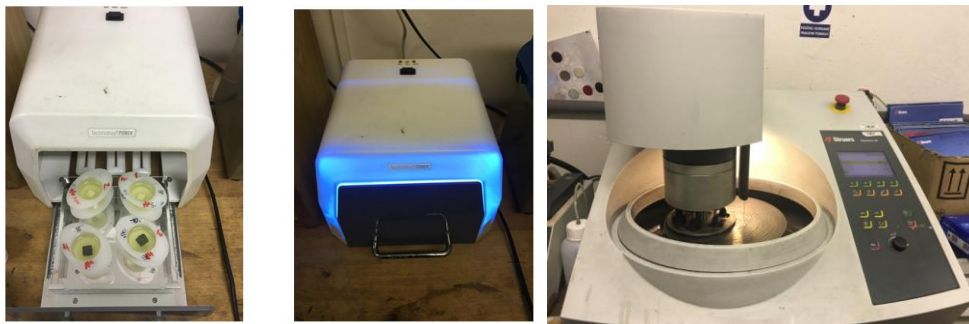


Obr. 5 Proces sintrace [4].

2 Metalografické výbrusy a chemické rozbor

2.1 Metalografické výbrusy

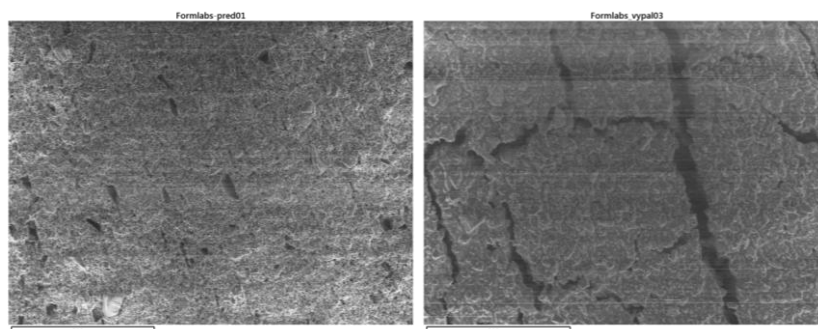
Pro důkladné změření a komplexní zhodnocení byly provedeny metalografické výbrusy (Obr.6), které byly následně prozkoumány pod optickým mikroskopem.



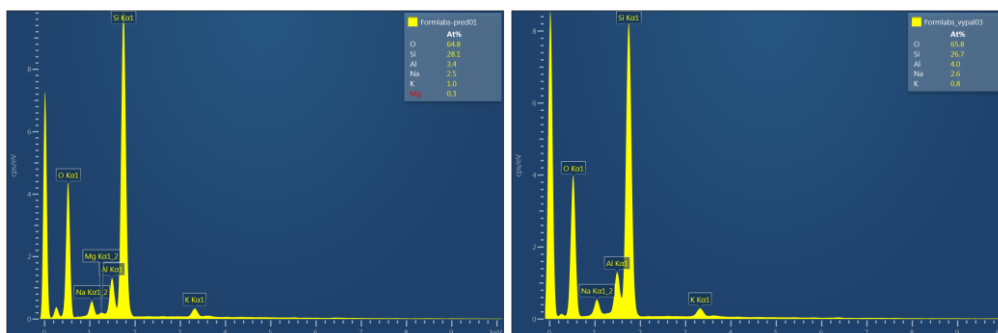
Obr. 6: UV pec s připravenými vzorky (vlevo). Metalografická bruska Tegramin-25 (vpravo).

2.2 Rozbor chemického složení materiálů a distribuce velikosti částic

Výrobci dodávají materiály bez přesného uvedení složení. Z tohoto důvodu byl proveden chemický rozbor všech materiálů. Na Obr. je možné vidět snímek materiálu Ceramic Resin, Formlabs před vypálením (vlevo) a po vypálením (vpravo). Zároveň je v Graf 1 uvedeno zastoupení jednotlivých chemických prvků v materiálu. Souhrn prvků včetně procentuálního zastoupení v materiálu je uveden v Tab. 1.



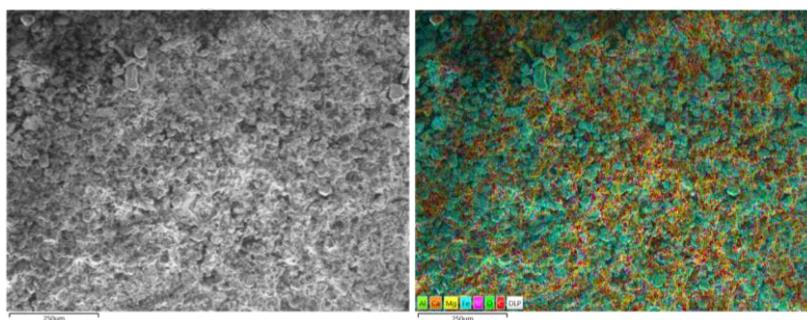
Obr. 7: Snímek materiálu Ceramic Resin před vypálením (vlevo) a po vypálení (vpravo).



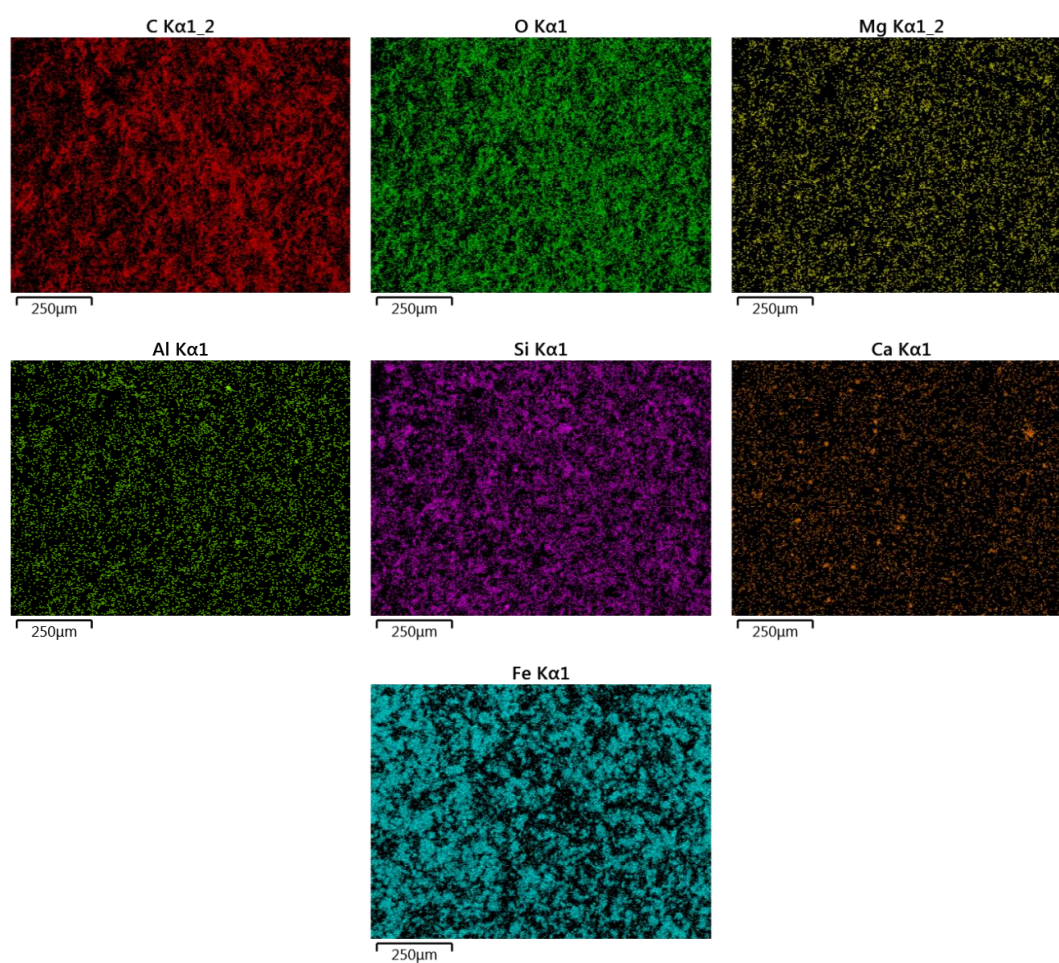
Graf 1: Graf zastoupení chemických prvků v materiálu Ceramic Resin před vypálením (vlevo) a po vypálení (vpravo).

Tab. 1: Chemické složení materiálu Ceramic Resin.

Chemický prvek	Obsah před vypálením [%]	Obsah po vypálení [%]
O	64,8	64,9
Si	28,1	27,2
Al	3,4	4,2
Na	2,5	2,7
K	1,0	0,9
Mg	0,3	-



Obr. 8: Snímek materiálu Porcelite z elektronového mikroskopu.



Obr. 9: Velikost zrn jednotlivých chemických prvků pro materiál Porcelite před vypálením.

Chemický rozbor všech materiálů poskytl údaje o zastoupení jednotlivých chemických prvků včetně procentuálního podílu látek. Z výsledků, které jsou souhrnně uvedeny v Tab. 3.4, je možné určit, že materiály Ceramic Resin, Formlabs a Vitrolite, Tethon3D jsou na bázi oxidu křemičitého. Materiál Porcelite, Tethon3D je na bázi oxidu hlinitého.

Snímky jednotlivých modelů před vypálením pro materiál Ceramic Resin (Obr. 7) poukazuje na ne zcela celistvou strukturu, která vzniká po procesu tisku modelů. Což by mohlo být zapříčiněno nedostatečným rozmícháním materiálu. Snímek vzorku po vypálení (Obr.7) obsahuje trhliny, které vznikly po procesu vypalování vlivem vnitřního pnutí v materiálu a nerovnoměrného promíchání materiálu během procesu tisku.

Na elektronovém mikroskopu byla provedena analýza (Obr. 8) zobrazující velikosti zrn jednotlivých chemických prvků a jejich distribuci v prostoru pro materiál Porcelite před vypálením. Výsledky jsou znázorněny na Obr. 9. Tyto snímky jsou vhodné pro kvantitativní měření pomocí obrazové analýzy.

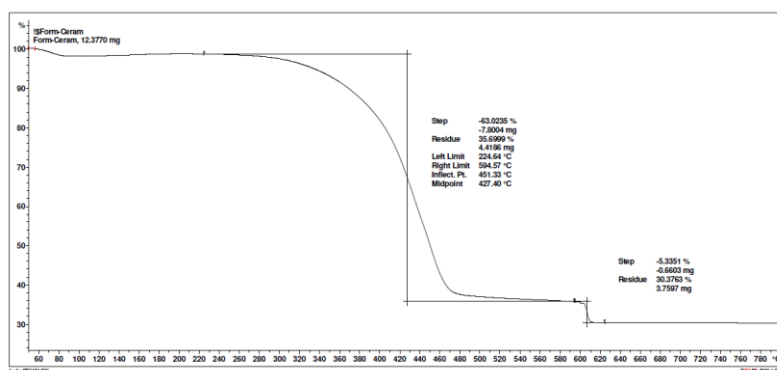
2.3 Termogravimetrická analýza (TGA)

Metody termické analýzy jsou jedny z nejdůležitějších fyzikálně-chemických technik sloužících k analýze širokého spektra materiálů, mezi které patří například kovy, polymery, organické i anorganické látky, biologické molekuly a biopolymery a další. Princip těchto metod je jednoduchý – zkoumaný materiál je podroben teplotnímu režimu (ohřev, chlazení, konstantní teplota nebo jejich kombinace) a monitorována je změna vlastností materiálů (teplota, hmotnost, rozměry a další).

Termogravimetrická analýza byla provedena na materiálech – Ceramic Resin, Vitrolite a Porcelite. Teplotní program byl prováděn v inertním prostředí (N_2) pro teploty 50-600°C, následně bylo zvoleno aktivní prostředí (O_2) pro rozsah teplot 600-800°C.

Tab. 2: Výsledky termogravimetrické analýzy pro materiál Ceramic Resin.

	Ceramic Resin (Formlabs)
Počátek degradace [°C]	224,64
Střední hodnota degradační teploty [°C]	427,40
Konec degradace [°C]	594,57
Množství keramiky [%]	69,63
Množství polymeru [%]	30,37



Graf 2: TGA pro materiál Ceramic Resin, Formlabs.

3 Výsledky

a) SLA tisk – popraskané vzorky (50 μm)



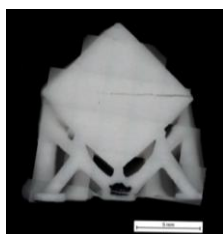
Obr. 10: Modely A6 a A8 po sintraci.

Model	α [°]	β [°]	γ [°]	δ [°]
A6	91,35	90,53	87,84	92,91
A8	89,72	90,77	88,49	90,63

Tab. 3: Naměřené úhly po sintraci.

Všechny prozkoumané vzorky pod mikroskopem obsahovaly praskliny. Dále byly změřeny úhly rohů modelů, aby se zjistila míra deformace modelů (**Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.**), (Tab. 3).

b) DLP tisk – popraskané vzorky po vrstvách (100 μm)



Obr. 10: Modely B1 po sintraci.

Model	Objemové smrštění [%]
B1	51
B2	46

Tab. 4: Objemové smrštění po sintraci (B1,B2).

Z důvodu prasklin, které jsou po vrstvách (Obr. 10) je možnost řešení změna tloušťky vrstvy tisku. Použitá tloušťka vrstvy u těchto modelů 100 μm - při dalším tisku byla použita tloušťka vrstvy 50 μm .

c) DLP tisk – změna tloušťky vrstvy tisku na 50 μm



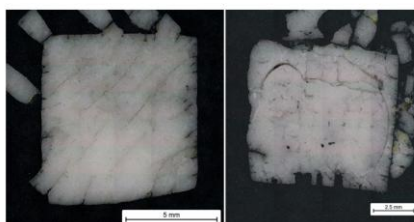
Obr. 11: Modely C8 (vlevo) a C10 (vpravo) po sintraci.

Model	Objemové smrštění [%]
C8	32
C10	36

Tab. 5: Objemové smrštění po sintraci (C8,C10).

Modely vytištěné s tloušťkou vrstvy 50 μm jsou po sintraci popraskané více než původní modely s tloušťkou vrstvy tisku 100 μm . Snížení tloušťky vrstvy tisku se jeví jako nevhodné. Pro další tisk použít tloušťku vrstvy tisku 100 μm . Zároveň došlo k výrazné deformaci tvaru modelu.

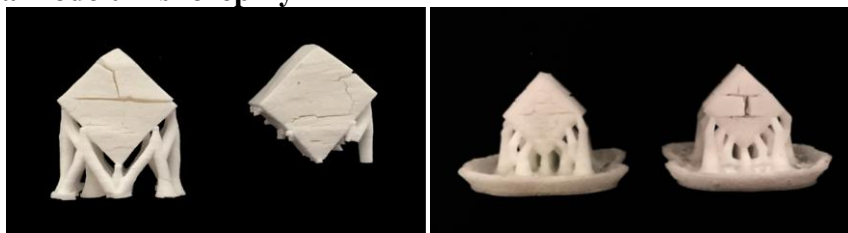
d) Zborcená vnitřní struktura



Obr. 12: Mikroskopické snímky struktury modelů po výbrusech– B8 (vlevo), B2 (vpravo).

Pro další tisk budou použity nové modely ve tvaru skořepin, které nebudou mít vnitřní struktury. Přidat otvory skrz modely, které by mohly napomoci s vypálením polymeru uvnitř modelu.

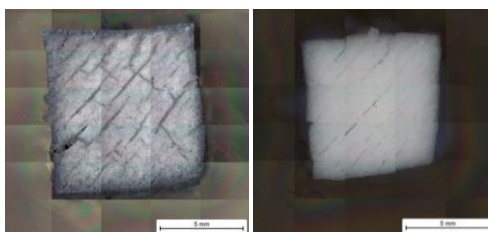
e) **Změna modelů – skořepiny**



Obr. 13: Model C11, C14 (vlevo) a A11, A14 (vpravo) po procesu vypálení.

Modely ve tvaru skořepin bez vnitřní struktury jsou výrazně popraskané po procesu vypalování (Obr. , **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.**). Vnitřní struktura je tedy žádoucí jako podpůrná konstrukce dutých modelů a napomáhá snížení vzniku prasklin. V tomto kroku nebylo možné ověřit vliv zaoblených hran a rádiusů v místě styku podpor s modelem.

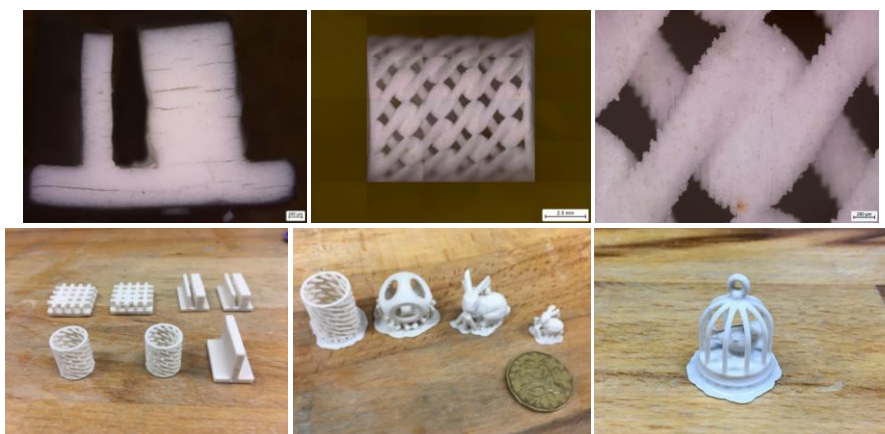
f) **Změna teplotního profilu – 1400°C a 1600°C**



Obr. 15: Vzorek modelu C1 – 1400°C (vlevo), 1600°C (vpravo).

Upravený teplotní profil na maximální teplotu 1400°C a na 1600°C nepomohl k eliminaci vzniku trhlin ve vrstvách po směru tisku (**Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.**). Vzorky byly vypalovány při teplotě 1400°C společně s jiným materiálem – Ferrolite Iron Resin, kde došlo k uvolnění látek, které nejspíše zapříčinily zčernání vzorků Porcelite.

g) **Změna modelů – tenkostěnné modely**



Obr. 16: Tenkostěnné modely.

Všechny modely jsou popraskané zejména po vrstvách tisku. Nejméně popraskaný je model Spirála. Tenké zatočené části jsou téměř bez prasklin. Dno tohoto modelu je popraskané. Pro další tisk je vhodné připravit tenkostěnné modely.

4 Závěr

V této práci byly testovány polymerní keramické materiály, které jsou prodávány jako experimentální materiály od firmy Formlabs (Ceramic Resin) a Tethon3D (Vitrolite, Porcelite). Zároveň bylo možno porovnat dvě technologie 3D tisku – SLA a DLP.

Během prvních testování bylo zjištěno, že materiály nemají požadované výsledné vlastnosti i přesto, že byly dodrženy pokyny výrobců poskytované k jednotlivým materiálům. Z toho důvodu došlo postupně ke změně modelů, parametrů tisku a také k úpravě teplotního profilu pro proces vypalování. Bohužel ani jedna změna nevedla k úplnému odstranění hlavního problému - praskání vzorků zejména po vrstvách tisku.

Největší vliv na snížení prasklin měla změna vzorků na tenkostěnné modely. Dále bylo zjištěno, že skutečné smrštění modelů je vyšší, než jaké udávají výrobci daných materiálů. To způsobuje vnitřní pnutí během procesu vypalování a tedy praskání vzorků zejména u modelů s větší tloušťkou stěny.

I přesto, že dodavatelé poskytovali informace o základním technologickém nastavení procesu tisku a post-procesů pro jednotlivé materiály, v průběhu zkoušení se ukázalo, že tyto informace jsou pro reálných proces z větší části nevhodné. Proto bylo zapotřebí v průběhu testování tyto technologické parametry výrazně optimalizovat, k čemuž byly potřebné informace o přesném složení používaných keramických suspenzí. Neznámé přesné složení keramických suspenzí včetně velikostí zrn, se z tohoto důvodu ukázalo v průběhu vývoje jako výrazný limitující faktor.

Z těchto důvodů je pro další vývoj doporučeno míchání vlastních tiskových suspenzí o přesně definovaném složení. Další vývojovou možností, především s ohledem na kvalitu tisku a propojení keramických zrn ve výsledné struktuře, je použití nanomateriálů na bázi anorganických nanočástic či nanovláken.

Dále by bylo vhodné rozdělit proces debindingu a sintrace a následně vyhodnotit, který z procesů má vliv na praskání modelů. Adekvátně upravit teplotní profil s ohledem na předešlé výsledky a chemické složení materiálů. Zároveň by bylo nápomocné vypalovat ve stejný čas několik sad vzorků s různými parametry tisku a sledovat závislost mezi parametry tisku a upraveným teplotním profilem.

Literatura

[1] GALANTE, Raquel, Celio G. FIGUEIREDO-PINA a Ana Paula SERRO. Additive manufacturing of ceramics for dental applications: A review. Dental Materials [online]. 2019 [cit. 2019-05-01]. DOI: 10.1016/j.dental.2019.02.026. ISSN 01095641. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0109564118304263>

[2] Spring School: 3D Printing and ceramic processes: European Ceramic Society AISBL. Maubeuge, 2019. Dostupné také z: <https://ecers.org/documents/spring-school-programme.pdf>.

[3] PFAFFINGER, Markus, Gerald MITTERAMSKOGLER, Robert GMEINER a Jürgen STAMPFL. Thermal Debinding of Ceramic-Filled Photopolymers. Materials Science Forum [online]. 2015, 825-826, 75-81 [cit. 2019-04-23]. DOI: 10.4028/www.scientific.net/MSF.825-826.75. ISSN 1662-9752. Dostupné z: <https://www.scientific.net/MSF.825-826.75>.

[4] SubSTech (Substances&Technologies) [online]. 2018 [cit. 2019-04-23]. Dostupné z: www.substech.com.

Effect of cutting modes and tool wear on the microhardness of the surface layer after face milling of structural and stainless steels

Babak Sergei

Sekce - STROJÍRENSTVÍ,

Fakulta strojní, 3. ročník

Doktorský studijní program – STROJIRENSKA TECHNOLOGIE

Abstrakt: This research aims to study the management of machined surface quality after face milling of structural and stainless steels. The laboratory of the Department of Machining and Assembly of the Technical University of Liberec has carried out tests to examine the effect of cutting modes and tool wear on the microhardness of the machined surface after milling.

Keywords: Microhardness, Surface Integrity, Tool Wear

1 Introduction

The quality of the surface layer of the parts directly affects the life cycle of these parts within machine components. The required surface quality of parts can be secured when keeping a certain operational sequence. Each operation in this sequence affects the final result due to the so-called technological heredity. This means that after each operation it is necessary to achieve certain properties, such as maximum achievable microhardness of the machined surface and residual compressive stresses.

It is not possible to determine microhardness after each technological process under different processing conditions; therefore it is necessary to experimentally identify microhardness alterations which depend on cutting conditions after various technological processes. The following studies confirm that the world scientific community is interested in studying the quality of the surface layer after using various processing methods. So, for example, the microhardness of the machined surface has been experimentally determined after the turning of titanium alloy Ti-6Al-4V [1], stainless steel ASTM A890-Gr6A [2], and nickel alloy Inconel 718 [3]; after the milling of titanium alloy Ti6Al4V [4] and Inconel 718 [5]; after the drilling of nickel based superalloy RR1000 [6], and after the drawing of steels AISI 1045, AISI 12L14, aluminium Al 7075, brass [7], and nickel alloy Inconel 718 [8].

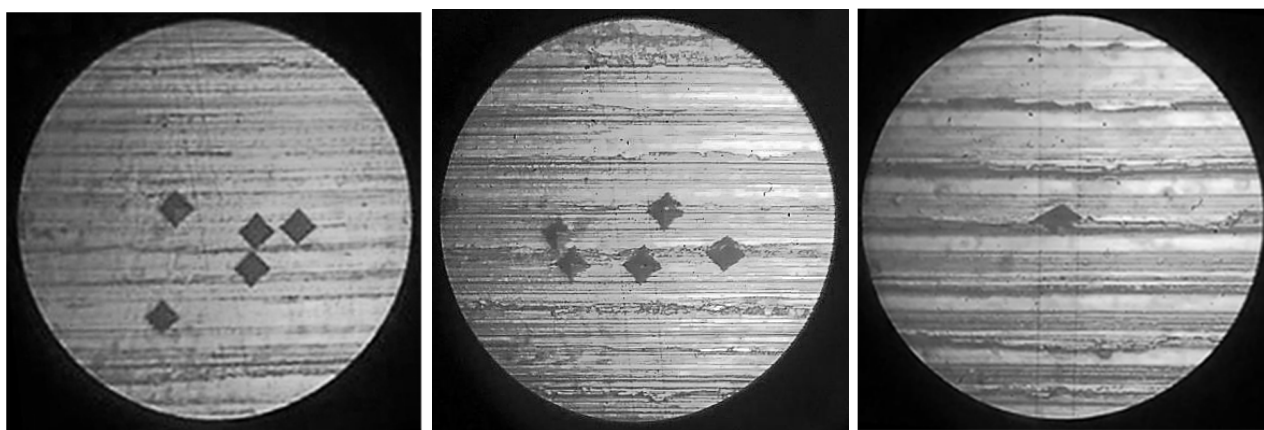
This research is dedicated to determining the effect of cutting modes and tool wear on the microhardness of the surface layer after face milling of structural and stainless steels in order to control the quality of the surface layer in machine parts.

2 Experimental procedures

The experiments were carried out by face milling on the milling machine FNG 32 with manual control [10, 11]. The cutter used for milling was a 63-diameter cutter Narex 2460.12. Milling of the construction steels 16MnCr5 (138 HB), C45 (220 HB) and the stainless steel X20Cr13 (230 HB) was performed with the cutting inserts SNUN 120412 of hard alloy 8230 (P20-40) with coating by the company Pramet Tools s. r. o. at a cutting speed of $V_c = 158\text{--}316$ m/min for 16MnCr5 and C45, $V_c = 134\text{--}268$ m/min for X20Cr13, feed $f_z = 0.025\text{--}0.04$ mm/tooth, depth of cut $a_p = 0.05\text{--}0.5$ mm. The experiments were carried out with one insert fixed to the milling cutter.

Due to the complicated process of microhardness measuring, it was not possible to determine the effect of feed by more than 0.04 mm/tooth. As demonstrated in Fig. 2, even at the feed of 0.05 mm/tooth the point of the tool gets into the cavities.

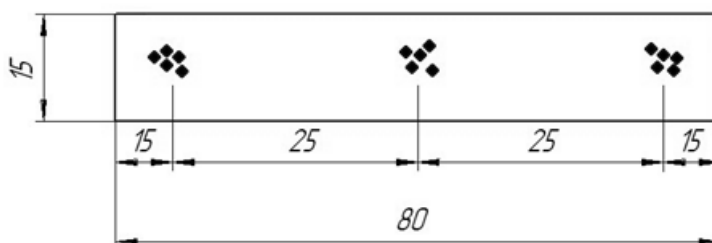
The depth of cut was set manually and controlled by an indicator at a scale of 0.002 mm.

a) $f_z = 0.025 \text{ mm/tooth}$ b) $f_z = 0.04 \text{ mm/tooth}$ c) $f_z = 0.05 \text{ mm/tooth}$ **Fig. 1** Measuring the microhardness of the machined surface after face milling with different feeds f_z

For all machining experiments, 5% solution of water and an emulsion concentrate Zubora Universal was prepared. The cutting fluid concentration was controlled by the refractometer Optech Brix RLC / ATC, characterized by concentration measurement at a range of 0-18% and accuracy of 0.1%.

Wear of the rear surface VB was measured by using a Brinell Magnifier tool (magnification 24x, accuracy 0.05 mm) [11]. New cutting plates had a flank wear VB of 0.03 mm because they had a cutting edge radius 0.03 mm [13]. The flank wear VB of the new cutting plates was measured by microscope Carl Zeiss Jena with an accuracy of 0.01 mm.

Before each measurement of microhardness, 5 passes were made under identical conditions. The measurements were carried out using a Zwick 3212 tester on three spots, as indicated in Fig. 2. Five measurements were taken at each spot, after which the average microhardness of the given surface was calculated on the basis of 15 measurements.

**Fig. 2** Measuring diagram of the microhardness of machined surface after face milling

3 Experimental results and analysis

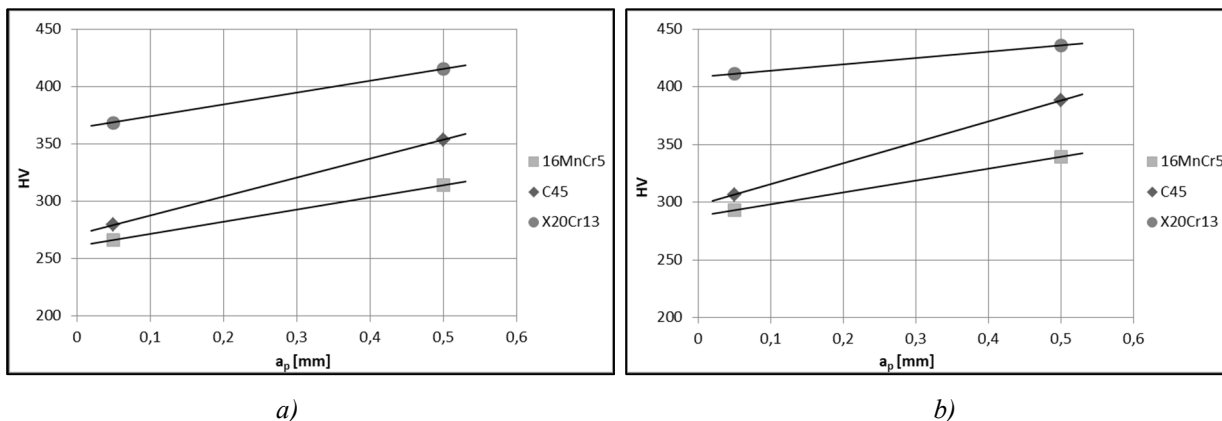
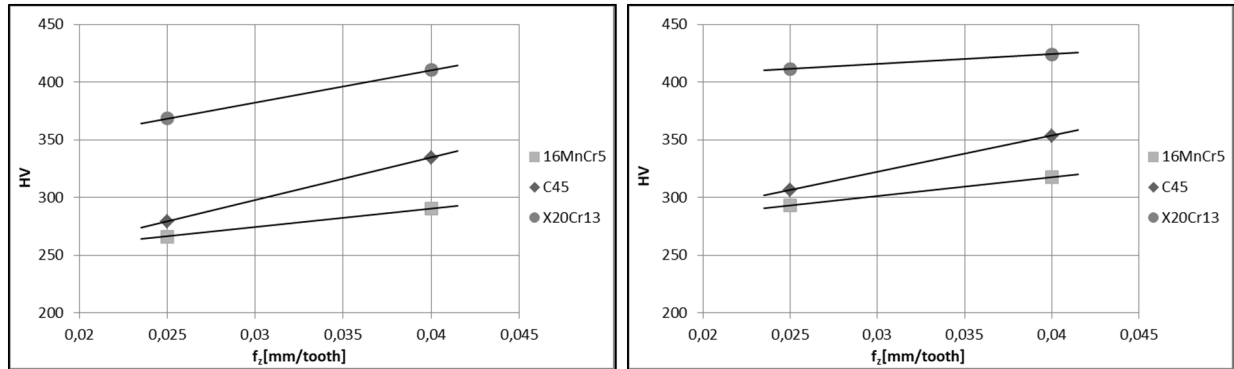
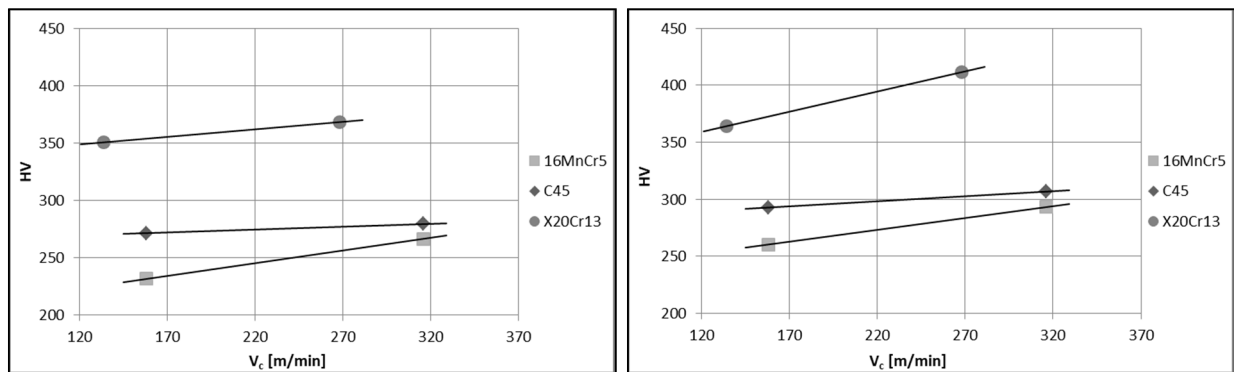


Fig. 3 Effect of depth of cut a_p on the microhardness of the machined surface HVa) $V_c = 316$ m/min (16MnCr5, C45); $V_c = 268$ m/min (X20Cr13); $f_z = 0.025$ mm/tooth; $VB = 0.03$ mmb) $V_c = 316$ m/min (16MnCr5, C45); $V_c = 268$ m/min (X20Cr13); $f_z = 0.025$ mm/tooth; $VB = 0.44$ mm

a)

b)

Fig. 4 Effect of feed f_z on the microhardness of the machined surface HVa) $V_c = 316$ m/min (16MnCr5, C45); $V_c = 268$ m/min (X20Cr13); $a_p = 0.05$ mm; $VB = 0.03$ mmb) $V_c = 316$ m/min (16MnCr5, C45); $V_c = 268$ m/min (X20Cr13); $a_p = 0.05$ mm; $VB = 0.44$ mm

a)

b)

Fig. 5 Effect of cutting speed V_c on the microhardness of the machined surface HVa) $f_z = 0.025$ mm/tooth; $a_p = 0.05$ mm; $VB = 0.03$ mmb) $f_z = 0.025$ mm/tooth; $a_p = 0.05$ mm; $VB = 0.44$ mm

The tests showed that increasing the depth of cut a_p by 10 times, from 0.05 mm to 0.5 mm, when milling with new cutting inserts ($VB = 0.03$ mm) led to an increase in the microhardness of structural steel 16MnCr5 by 18%, structural steel C45 by 26% and stainless steel X20Cr13 by 13% (Fig. 3a). After milling with worn cutting inserts ($VB = 0.44$ mm), a similar 10-fold increase in the depth of cut led to an increase in the microhardness of structural steel 16MnCr5 by 16%, structural steel C45 by 26% and stainless steel X20Cr13 by 6% (Fig. 3b).

It was found that the increase in feed f_z by 60%, from 0.025 mm/tooth to 0.04 mm/tooth, when milling with new cutting inserts ($VB = 0.03$ mm) led to an increase in the microhardness of structural steel 16MnCr5 by 9%, structural steel C45 by 20% and stainless steel X20Cr13 by 11% (Fig. 4a). After milling with worn cutting inserts ($VB = 0.44$ mm), a similar increase in feed by 60% led to an increase in the microhardness of structural steel 16MnCr5 by 8%, structural steel C45 by 15% and stainless steel X20Cr13 by 3% (Fig. 4b).

A 2-fold increase in the cutting speed of V_c , from 158 m/min to 316 m/min, led to an increase in the microhardness of structural steel 16MnCr5 by 15%, structural steel C45 by 3% after milling with new cutting inserts ($VB = 0.03$ mm) (Fig. 5a). A 2-fold increase in the cutting speed of V_c , from 134 m/min to 268 m/min, led to an increase in microhardness of stainless steel X20Cr13 by 5% after milling with new cutting inserts ($VB = 0.03$ mm) (Fig. 5a).

After milling with worn cutting inserts ($VB = 0.44$ mm), a similar 2-fold increase in the cutting speed led to an increase in the microhardness of structural steel 16MnCr5 by 13% and structural steel C45 by 5% (Fig. 5b). After milling with worn cutting inserts ($VB = 0.44$ mm), a similar increase in the cutting speed led to an increase in the microhardness of stainless steel X20Cr13 by 13% (Fig. 5b).

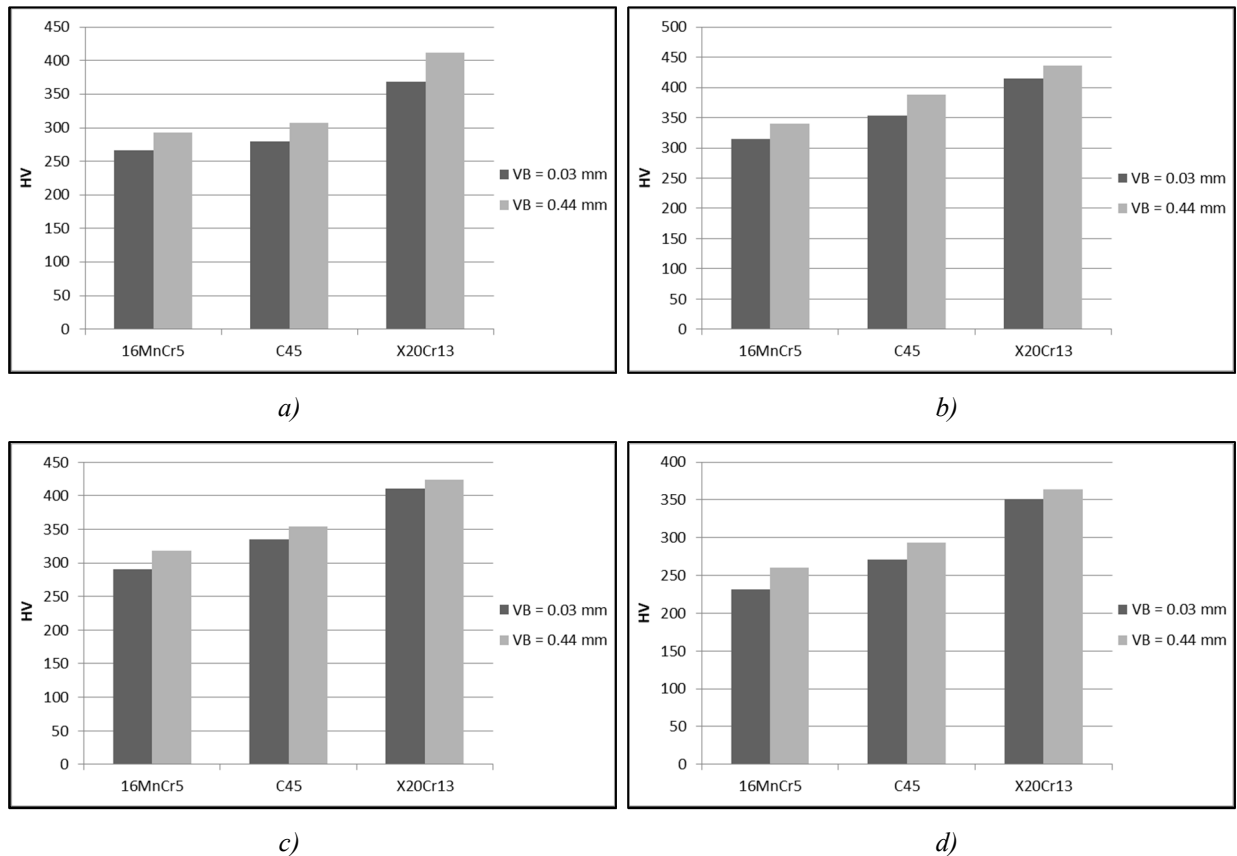


Fig. 6 Effect of the VB tool wear on the microhardness of the machined surface HV

a) $V_c = 316$ m/min (16MnCr5, C45); $V_c = 268$ m/min (X20Cr13);

$f_z = 0.025$ mm/tooth; $a_p = 0.05$ mm

b) $V_c = 316$ m/min (16MnCr5, C45); $V_c = 268$ m/min (X20Cr13);

$f_z = 0.025$ mm/tooth; $a_p = 0.5$ mm

c) $V_c = 316$ m/min (16MnCr5, C45); $V_c = 268$ m/min (X20Cr13);

$f_z = 0.04$ mm/tooth; $a_p = 0.05$ mm

d) $V_c = 158$ m/min (16MnCr5, C45); $V_c = 134$ m/min (X20Cr13);

$f_z = 0.025$ mm/tooth; $a_p = 0.05$ mm

The tests showed that the increase in the wear of the cutting insert VB from 0.03 mm to 0.44 mm when milling structural steels 16MnCr5 and C45 at the cutting speed of $V_c = 316$ m/min and milling stainless steel X20Cr13 at $V_c = 268$ m/min; $f_z = 0.025$ mm/tooth; $a_p = 0.05$ mm led to an increase in the microhardness of structural steel 16MnCr5 by 10%, structural steel C45 by 10% and stainless steel X20Cr13 by 12% (Fig. 6a).

A similar increase in the wear of the cutting insert VB when milling structural steels 16MnCr5 and C45 at the cutting speed of $V_c = 316$ m/min and milling stainless steel X20Cr13 at $V_c = 268$ m/min; $f_z = 0.025$ mm/tooth; $a_p = 0.5$ mm led to an increase in the microhardness of structural steel 16MnCr5 by 8%, structural steel C45 by 10% and stainless steel X20Cr13 by 5% (Fig. 6b).

Increasing the wear of the cutting insert VB from 0.03 mm to 0.44 mm when milling structural steels 16MnCr5 and C45 at the cutting speed of $V_c = 316$ m/min and milling stainless steel X20Cr13 at $V_c = 268$ m/min; $f_z = 0.04$ mm/tooth; $a_p = 0.05$ mm led to an increase in the microhardness of structural steel 16MnCr5 by 10%, structural steel C45 by 6% and stainless steel X20Cr13 by 3% (Fig. 6c).

A similar increase in VB when milling structural steels 16MnCr5 and C45 at the cutting speed of $V_c = 158$ m/min and stainless steel X20Cr13 at $V_c = 134$ m/min; $f_z = 0.025$ mm/tooth; $a_p = 0.05$ mm led to an increase in the microhardness of structural steel 16MnCr5 by 12%, structural steel C45 by 8% and stainless steel X20Cr13 by 4% (Fig. 6d).

It should be noted that it is possible to simultaneously increase the microhardness of the machined surface, both by creating optimal cutting conditions and by using a worn tool.

Thus, increasing the depth of cut a_p by 10 times, from 0.05 mm to 0.5 mm, when milling with worn cutting inserts (VB = 0.44 mm) led to an increase in the microhardness of structural steel 16MnCr5 by 28%, structural steel C45 by 39% and stainless steel X20Cr13 by 18 % (Fig. 3).

It was found that the increase in feed f_z by 60%, from 0.025 mm/tooth to 0.04 mm/tooth, when milling with worn cutting inserts (VB = 0.44 mm) led to an increase in the microhardness of structural steel 16MnCr5 by 19%, structural steel C45 by 27% and stainless steel X20Cr13 by 15% (Fig. 4).

A 2-fold increase in cutting speed V_c , from 158 m/min to 316 m/min, led to an increase in the microhardness of structural steel 16MnCr5 by 27%, and of structural steel C45 by 13% after milling with worn cutting inserts (VB = 0.44 mm). A 2-fold increase in the cutting speed of V_c , from 134 m/min to 268 m/min, led to an increase in the microhardness of X20Cr13 stainless steel by 17% after milling with worn cutting inserts (VB = 0.44 mm) (Fig. 5).

4 Conclusion

The conducted tests have demonstrated that one can control the quality of the machined surface during face milling of structural and stainless steels. It is possible to achieve a favourable increase in the microhardness of the machined surface by changing the cutting modes by an average of 10 to 16% and by using a tool with an average wear of 5 to 11%, and also due to the combined effect of the cutting modes and tool wear of 15 to 25% on average.

5 References

- [1] HUGHES, J., SHARMAN, A., RIDGWAY, K. (2006). The effect of cutting tool material and edge geometry on tool life and workpiece surface integrity. In: *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers*; Vol.2, pp. 93-107
- [2] BORDINASSI, E., STIPKOVIC, M., BATALHA, G., DELIJAICOV, S., LIMA, N. (2006). Superficial integrity analysis in a super duplex stainless steel after turning. In: *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*. Vol.18, pp. 335-338
- [3] ZHOU, J., BUSHLYA, V., PENG, R. L., STAHL, J-E. (2012). Identification of subsurface deformation in machining of Inconel 718. In: *Applied Mechanics and Materials*. Vol. 117-119, pp. 1681-1688.
- [4] OOSTHUIZEN, G., NUNCO, K., CONRADIE, P., DIMITROV, D. (2016). The effect of cutting parameters on surface integrity in milling Ti6Al4V. In: *South African Journal of Industrial Engineering*. Vol. 27(4), pp. 115-123.

- [5] XIAOHONG, L., ZHENYUAN, J., YANJUN, L., YIXUAN, F., STEVEN, L. (2017). Predicting the surface hardness of micro-milled nickel-base superalloy Inconel 718. In: *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*.
- [6] SOO, S.L., HOOD, R., ASPINWALL, D.K., VOICE, W.E., SAGE, C. (2011). Machinability and surface integrity of RR1000 nickel based superalloy. In: *CIRP Annals*. Vol. 60 (1), pp. 89-92.
- [7] KISHAWY, H.A., HOSSEINI, A., MOETAKEF-IMANI, B., ASTAKHOV, V.P. (2012). An energy based analysis of broaching operation: Cutting forces and resultant surface integrity. In: *CIRP Annals*. Vol. 61 (1), pp. 107-110.
- [8] Soo, S.L., Khan, S.A., Aspinwall, D.K., Harden, P., Mantle, A., Kappmeyer, G., Pearson, D., M'Saoubi, R. (2016). High speed turning of Inconel 718 using PVD-coated PCBN tools. In: *CIRP Annals*. Vol. 65 (1), pp. 89-92.
- [9] JERSAK, J., KAPLAN, F., (2015). Comparison of the influence of process fluids on tool life in face milling, *Manufacturing Technology*, 15(6), pp. 977-984
- [10] POPOV, A., SCHINDELARZ, R., (2017). Effect of hydraulic oil entering the cutting fluid on the tool life and roughness in milling of stainless steel. *Manufacturing Technology*, 17(3), pp. 364-369
- [11] POPOV, A., BABAK, S., (2017). The effect of the tool wear on the correlation of forces on the face and flank surfaces of the cutting tool. *Manufacturing Technology*, 17(3), pp. 283-287

Influence of hydraulic oil entering the cutting fluid on the tool life and roughness in turning of stainless steel

Mikhail Khramenkov

Sekce - STROJÍRENSTVÍ,
Fakulta strojní, 1. ročník
Doktorský studijní program – Technologie a materiály

Abstrakt: The use of cutting fluid should positively influence on the quality of the machined surfaces and durability of cutting tools. However, during the machining the oil from the hydraulic system of the machine often gets into the cutting fluid, which can alter the properties of the cutting fluid. In scientific literature there is no information about the effect of the hydraulic oil entering the cutting fluid on the tool life and roughness in turning. In this regard, at the laboratory of the Department of Machining and Assembly of the Technical University of Liberec, there has been conducted a study to ascertain the effects of hydraulic oil getting into different types of cutting fluids during the turning of stainless steel.

Keywords: Turning, Cutting fluid, Wear, Roughness

1 Introduction

The use of different methods of cooling the tool and the workpiece in metal cutting can increase cutting tool life and reduce the roughness of the machined surface with different types of machining [1-12]. However, often, if not always, the oil from the hydraulic system of the machine gets into the cutting fluid, which can alter the properties of the cutting fluid. In this regard, at the laboratory of the Department of Machining and Assembly of the Technical University of Liberec, there has been conducted a study to ascertain the effects of hydraulic oil getting into different types of cutting fluids during the milling of stainless steel [13]. A survey of literature has revealed that no studies have been devoted to determining the effect of the hydraulic oil entering the cutting fluid, on tool life and surface roughness in turning. Thus, the scientific interest lies in the determination of the effect of certain concentrations of hydraulic oil entering different types of cutting fluids, on tool life and surface roughness in turning.

2 Experimental procedures

In order to determine tool life when using different cutting fluids, the experiments were carried out by turning on the CNC turning machine CHEVALIER FC-2140.

The PRAMET TOOLS cutter CTAPR 2020 K16 with a cutting plate TPUN 160304 of hard alloy 8230ISO M20-35 with coating was used.

The cutter CTAPR 2020 K16 used for turning was by the company Pramet Tools l.t.d. Turning of the stainless steel X5CrNi18-10 (259 HB) was performed with the cutting inserts TPUN 160304 of hard alloy 8230 (M20 – M35) with coating by the company Pramet Tools l.t.d., at a cutting speed of $V_c = 250$ m/min, feed $f = 0.1$ mm/rot, depth of cut $a_p = 1$ mm.

Each cutting edge was worn on the back surface to 0.5 mm. To determine the average resistance value each experiment was repeated 5 times. Wear of the back surface was measured by using a Brinell Magnifier tool (magnification 24x, accuracy 0.05 mm).

We used three different types of cutting fluids: Hocut emulsion based on mineral oil, the synthetic cutting fluid Grindex, and the semi-synthetic cutting fluid Zubora. For all machining experiments, 5% solution of water and an emulsion concentrate was prepared. The cutting fluid concentration was controlled by the refractometer Optech Brix RLC / ATC, characterized by concentration measurement at a range of 0-18% and accuracy of 0.1%. The desired value for each fluid was calculated by the refractometer K using the following formula: $K = 5/In$, with 5 being

the required concentration of 5%, and n being the refraction index whose value was provided by the cutting fluid manufacturer.

The hydraulic oil Paramo HM 46 was added to each cutting fluid. The mixing of 5% cutting fluids and hydraulic oil was performed in the tank of the cooling system of the turning machine CHEVALIER FC-2140 (**Fig. 1**). Different amounts of hydraulic oil were added to the same amount of cutting fluid, thus providing different concentrations of the hydraulic oil in the cutting fluid.

Experiments were conducted with four states of the cutting fluids, namely without hydraulic oil in the cutting fluid; with hydraulic oil concentration of 13 ml per 1 l of cutting fluid; with hydraulic oil concentration of 26 ml per 1 l of cutting fluid; and with hydraulic oil concentration of 39 ml per 1 l of cutting fluid. After standing, the hydraulic oil covered the surface of the cutting fluid.

Roughness measurements were performed by a profilometer MITUTOYO Surflest SV-2000 N2. Each measurement of roughness was repeated 10 times, and based on this the average force value was determined. Roughness parameters were measured in the direction perpendicular to the cutting direction.



Fig. 1 Cooling system of the turning machine CHEVALIER FC-2140

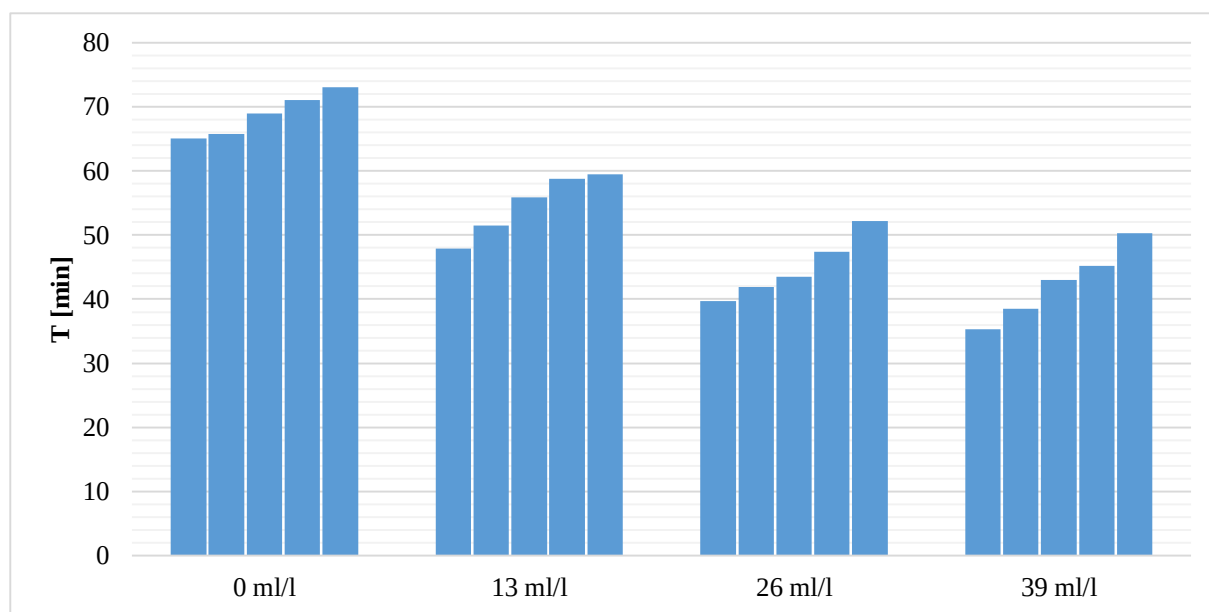


Fig. 2 The effect of hydraulic oil content (ml/l) in the Hocut emulsion on tool life T

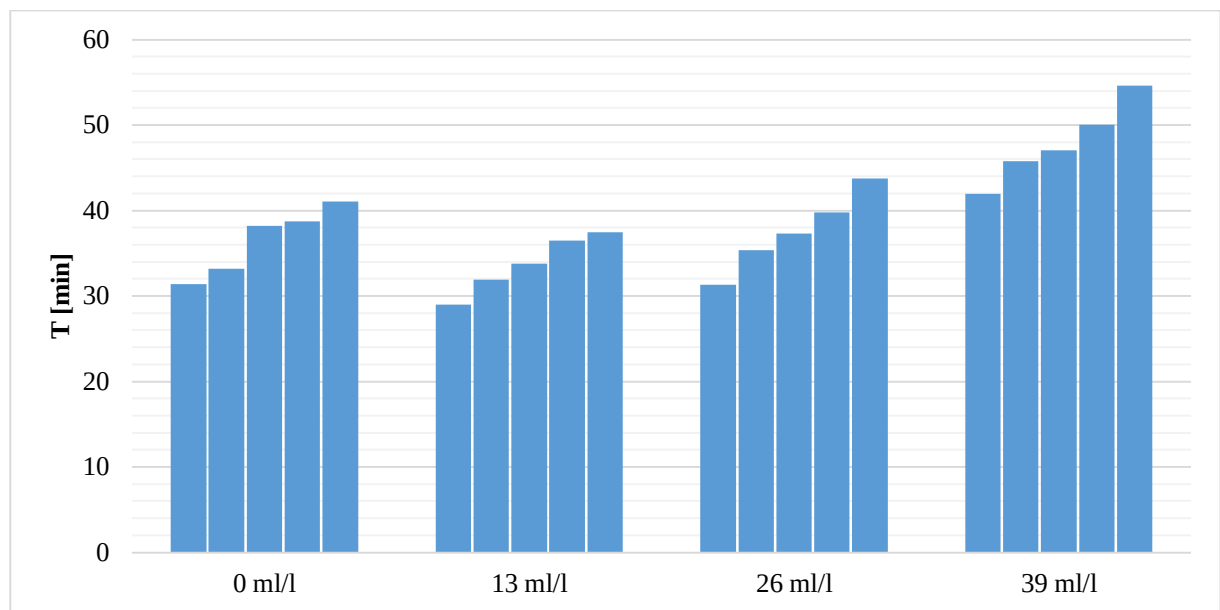


Fig. 3 The effect of hydraulic oil content (ml/l) in the synthetic Grindex cutting fluid on tool life T

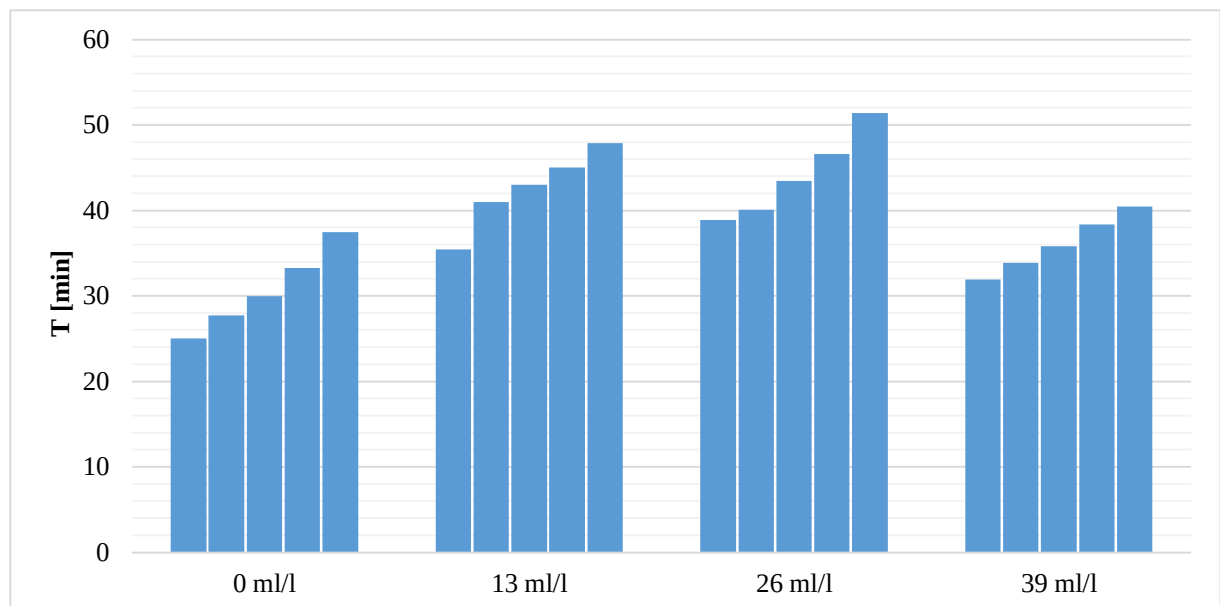


Fig. 4 The effect of hydraulic oil content (ml/l) in the semi-synthetic Zubora cutting fluid on tool life T

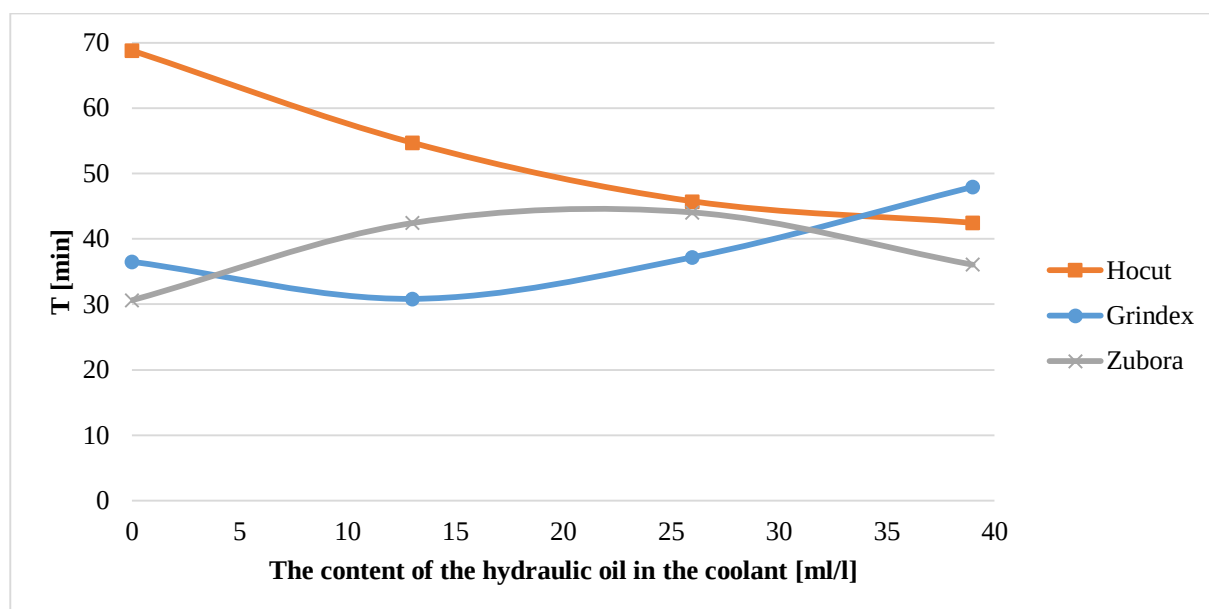


Fig. 5 The effect of hydraulic oil content in different cutting fluids on tool life T

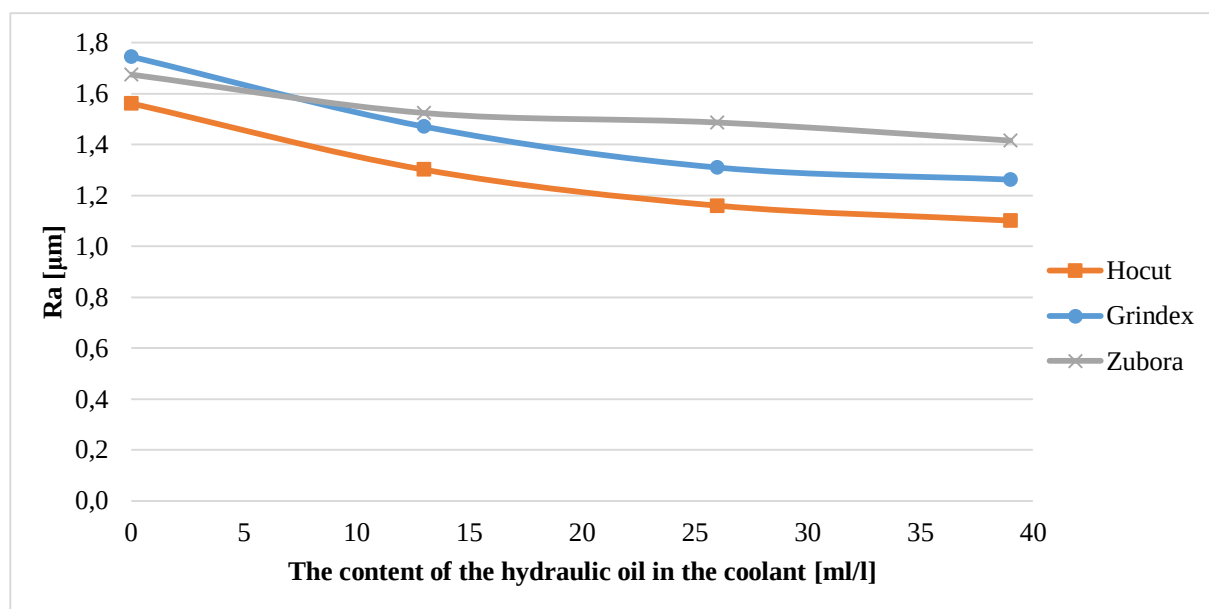


Fig. 6 The effect of hydraulic oil content in different cutting fluids on parameter Ra

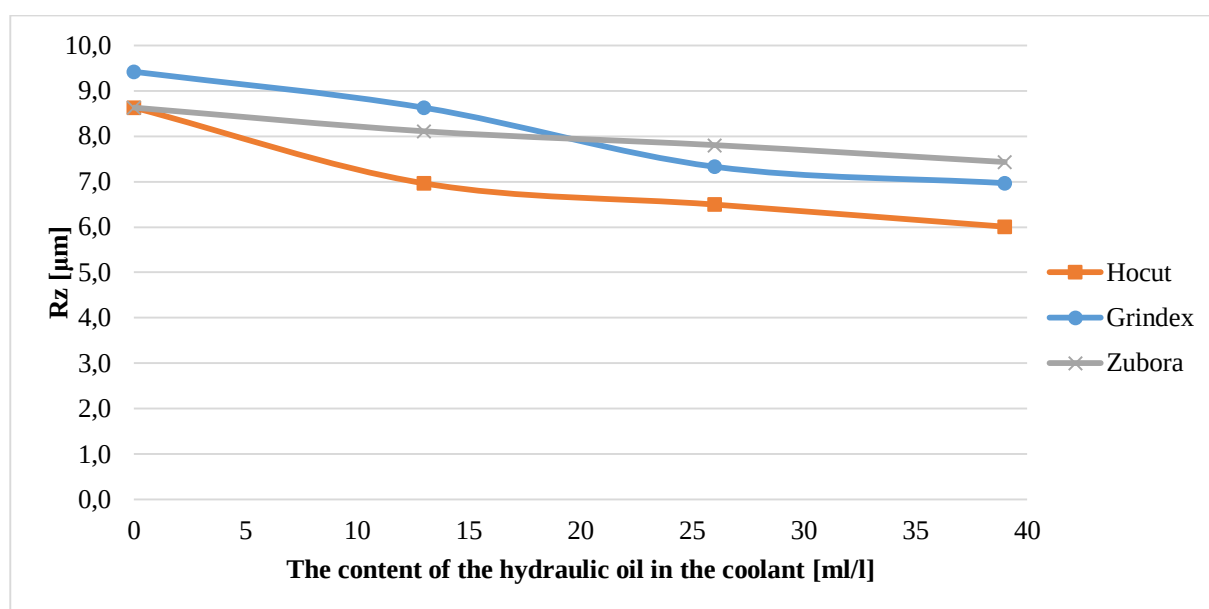


Fig. 7 The effect of hydraulic oil content in different cutting fluids on parameter Rz

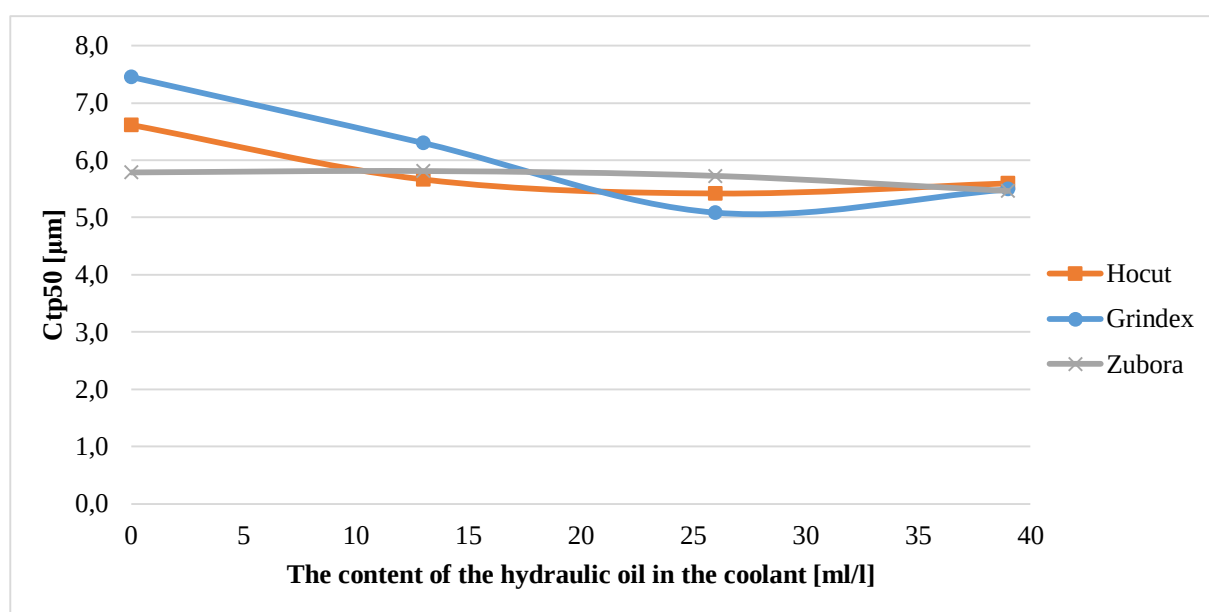


Fig. 8 The effect of hydraulic oil content in different cutting fluids on parameter ctp50

3 Experimental results and analysis

The experiments have shown that the 13ml/l penetration of hydraulic oil in the Hocut emulsion 20% reduced the tool life; the 26 ml/l increase of hydraulic oil concentration resulted in a 35% tool life decrease; and the 39 ml/l of concentration resulted in a 38% tool life reduction (**Fig. 2**). It means that the concentration of 5% is optimal for the Hocut emulsion and the growth of hydraulic oil's concentration reduces the tool life. Thus, addition of hydraulic oil in the Hocut emulsion reduces tool life, possibly, because of decreasing cooling effect of the cutting fluid.

It has been established that the penetration of hydraulic oil in the synthetic cutting fluid Grindex with a concentration of 39 ml/l showed result in a significant 31% tool life gain (**Fig. 3**). It can be assumed that the synthetic cutting fluid Grindex don't provide high lubricating properties and the growth of hydraulic oil's concentration does increase of these properties and of the tool life. It means that it is possible to get better lubricating properties of the synthetic cutting fluid Grindex by increasing of the hydraulic oil's concentration.

The experiments have shown that the penetration of hydraulic oil in the semi-synthetic cutting

fluid Zubora with a concentration of 13ml/l resulted in a 38% tool life gain; the increase in hydraulic oil concentration to 26 ml/l resulted in a 43% tool life gain; and the increase of concentration to 39 ml/l gave 18% tool life gain (**Fig. 4**). It means that it is possible to increase the lubricating properties of the semi-synthetic cutting fluid Zubora by increasing of the hydraulic oil's concentration (13-26ml/l), possibly, because of increasing lubricating effect of the cutting fluid. Addition more hydraulic oil (39 ml/l) reduces tool life, possibly, because of decreasing cooling effect of the cutting fluid.

The comparative analysis has shown that when the oil from the hydraulic system of the machine is not present in the cutting fluid, the greatest tool life is provided by Hocut emulsion. The use of the synthetic cutting fluid Grindex leads to a 47% reduction in tool life, and the use of the semi-synthetic cutting fluid Zubora reduces tool life for 55%. For the 39 ml/l concentration of hydraulic oil in the cutting fluid the best results in cutting tool life showed synthetic cutting fluid Grindex. The use of the Hocut emulsion resulted in a 11% tool life decrease while when using the semi-synthetic Zubora cutting fluid the tool life is reduced by 25% (**Fig. 5**).

It has been established that when the oil from the hydraulic system of the machine is not present in the cutting fluid, the lowest roughness parameter R_a is provided using the Hocut emulsion cutting fluid. The use of the synthetic Grindex cutting fluid increases the roughness parameter R_a by 12%, and the use of the semi-synthetic Zubora cutting fluid increases the roughness parameter R_a by 7%. For the 39 ml/l concentration of hydraulic oil in the cutting fluid, the use of the Hocut emulsion produce the best roughness parameter R_a . Use of the synthetic cutting fluid Grindex increases the roughness parameter by the 15%, while the use of the semi-synthetic Zubora cutting fluid increases the roughness parameter by 28% (**Fig. 6**).

The studies have shown that when there is no oil in the cutting fluid, the use of the semi-synthetic cutting fluid Zubora and the Hocut emulsion cutting fluid produces approximately the same roughness parameter R_z , while the use of the synthetic Grindex fluid increases the roughness parameter by 10%. For the 39 ml/l concentration of hydraulic oil in the cutting fluid, the lowest roughness parameter R_z is provided using the Hocut emulsion. The use of the synthetic Grindex cutting fluid increases the roughness parameter R_z by 16%, and the use of the semi-synthetic Zubora cutting fluid increases the roughness parameter R_z by 23% (**Fig. 7**).

The comparative analysis has shown that when the oil from the hydraulic system of the machine is not present in the cutting fluid, the lowest roughness parameter c_{tp50} is provided using the semi-synthetic Zubora cutting fluid. The use of the Hocut emulsion increases the roughness parameter c_{tp50} by 14%, and the use of the synthetic Grindex cutting fluid increases the roughness parameter c_{tp50} by 29%. For the 39 ml/l concentration of hydraulic oil all cutting fluids produces approximately the same roughness parameter c_{tp50} (**Fig. 8**).

4 Conclusion

The studies have shown that the penetration of the oil from the hydraulic system of the machine in the synthetic cutting fluid and semi-synthetic cutting fluid does not cause deterioration of the cutting tool life, and does not increase the roughness parameters of the machined surface.

It has been established that the penetration of the oil from the hydraulic system of the machine in the emulsion reduces the cutting tool life, and does not increase the roughness parameters of the machined surface.

References

- [1] JERSÁK, J., VRKOSLAVOVÁ, L. (2013). The influence of process fluids on the properties of the surface layer of machined components, *Manufacturing Technology*, 13(4), pp. 466-473
- [2] POPOV, A., DUGIN, A. (2013). Study of reasons of increased active force using coolant with uncut chip thickness, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, October, pp.1-8

- [3] POPOV A, DUGIN A. (2013). Influence of lubricant and coolant fluid on the cutting force in small-increment planning, *Russian Engineering Research*, 33(2), pp. 84-85
- [4] DUGIN, A., JERSÁK, J., POPOV, A. (2014). Method for determining of the anti-adhesion ability of cutting fluids, *Manufacturing Technology*, 14(2), pp. 145-149
- [5] DUGIN, A., VOTOCEK, J., POPOV, A. (2014). Method for determining the tribological properties of the cutting fluid, *Manufacturing Technology*, 14(2), pp. 149-153
- [6] JERSÁK, J., KAPLAN, F. (2015). Comparison of the influence of process fluids on tool life in face milling, *Manufacturing Technology*, 15(6), pp. 977-984
- [7] BAKALOVA, T., SVOBODOVA, L., BORUVKOVA, K., LOUDA, P., VOLESKY, L. (2016). The influence of nanoadditives on the tribological properties of process fluids, *Journal of Physics: Conference Series* 709 (1), article number 012001
- [8] LEDVINA, M., DVORÁČKOVÁ, Š. (2016). Assessment of the procedural gases influence at turning technology, *Manufacturing Technology*, 16(1), pp. 162-168
- [9] JERSÁK, J., SIMON, S. (2017). Influence of cooling lubricants on the surface roughness and energy efficiency of the cutting machine tools, *Manufacturing Technology*, 22(3), pp. 779-787
- [10] NOVÁK, M., NAPRSTKOVA, N. (2017). The influence of cutting conditions on surface roughness during steel 100cr6 grinding, *Solid State Phenomena*, 261 SSP, pp. 215-220
- [11] ŠRAMHAUSER, K., NÁPRSTKOVÁ, N., KRAUS, P., MAREK, M. (2018). Comparative study of flank wear, tool life and type of chips for two similar turning inserts from different producers, *MATEC Web of Conferences*, 244, article number 02008
- [12] POPOV, A., KRASNIKOVA, I. (2018). Reducing labor intensity in the development of new universal cutting fluids for machining, *Manufacturing Technology*, 18(1), pp. 99-105
- [13] POPOV, A., SCHINDELARZ, R. (2017). Effect of hydraulic oil entering the cutting fluid on the tool life and roughness in milling of stainless steel, *Manufacturing Technology*, 17(3), pp. 364-369

NUMERICKÁ SIMULACE TURBULENTNÍHO PROUDĚNÍ: VLIV TURBULENTNÍHO MODELU NA TŘECÍ ZTRÁTY

Tomáš Kořínek

Sekce - STROJÍRENSTVÍ,
Fakulta strojní, 4. ročník
Doktorský studijní program – APLIKOVANÁ MECHANIKA

Abstrakt: Pro simulaci turbulentního proudění je klíčová volba turbulentního modelu. Model, který je v dobré shodě s experimentem pro jeden případ, nemusí nutně predikovat správné výsledky pro jiný případ. V této studii se zabývám porovnáním základních turbulentních modelů (k - ϵ RNG, k - ω SST) i méně standardních modelů (k - ϵ Launder Sharma, k - ϵ - ζ - f) na případu obtékaného schodu. Vzájemně jsou zde porovnány výsledky rychlostního pole v oblasti za schodem a dále je sledován vliv turbulentního modelu na predikovaný součinitel třecích ztrát. Kromě vlivu turbulentního modelu je také sledován vliv vstupní okrajové podmínky pro turbulentní vlastnosti.

Klíčová slova: turbulentní proudění, RANS, CFD

1 Úvod

Numerické simulace se s rozvojem výpočetní techniky stali nedílnou součástí při vývoji nových či inovaci stávajících výrobků. V řadě těchto výrobků kromě pevnostních výpočtů provádíme i výpočty týkající se dynamiky tekutin a to zejména pokud nás zajímají třecí ztráty či přestup tepla.

Simulace v dynamice tekutin čelí jednomu problému a tím je stále nevyřešený problém turbulence. Ta se dá v současné době řešit několika přístupy. Ten nejpřesnější přístup je přímá numerická simulace (Direct Numerical Simulation-DNS). Tento přístup je v současné době pro praktické účely nepoužitelný a to díky potřebě dostatečně jemné sítě, která by dokázala zachytit i ty nejmenší turbulentní měřítko. Přístup řešení turbulentního proudu, který má nižší výpočetní nároky na výpočetní síť je metoda Large Eddy Simulation (LES). Tento způsob je již použitelný i pro řadu praktických případů, ale stále je potřeba vyřešit aspoň 80 % turbulentní kinetické energie. Proto je potřeba mít velmi jemnou síť zejména v blízkosti stěny. Nejběžnější přístup, který se v praxi používá je metoda Reynolds-Averaged Navier-Stokes (RANS). To je založena na průměrování ústředních rovnic a vychází z předpokladu, že okamžité rychlostní pole se dá rozložit na průměrnou a fluktuální část. Ústřední rovnice jsou pak řešeny pro zprůměrované/střední hodnoty proudu a vliv fluktuací je zahrnut v tzv. turbulentním modelu. Právě turbulentní model má velký vliv na výsledné hodnoty a v současné době neexistuje univerzální turbulentní model použitelný pro všechny typy proudění. Kromě těchto třech základních přístupů řešení turbulentního proudění dále existují tzv. hybridní modely, které kombinují výhody DNS, LES a RANS.

V této práci se zabývám vlivem turbulentního modelu na predikovaný součinitel třecích ztrát. Vliv turbulentního modelu je testován na případu obtékaného schodu, který je jeden ze základních testovacích případů. Případ obtékaného schodu je typickým představitelem odtržené/separované a znovu přilnuté mezní vrstvy. Výsledky z numerických simulací jsou porovnány s výsledky z experimentu [4]. V kapitole 2 jsou uvedeny ústřední bilanční rovnice, turbulentní model, výpočetní doména a nastavení numerické simulace. Kapitola 3 obsahuje výsledky z provedených numerických simulací a v kapitole 4 je shrnutí nejdůležitějších poznatků.

2 Matematický a fyzikální model

2.1. Ústřední rovnice

Základem RANS přístupu je rozdělení okamžité složky rychlosti na střední hodnotu a fluktuaci. Toto rozdělení je popsáno rovnicí níže

$$U_i = \bar{U}_i + U'_i, \quad (1)$$

kde U je okamžitá rychlost, $\bar{U}$ je středovaná rychlost a U' je fluktuace rychlosti. Pro RANS přístup jsou pak veškeré bilanční rovnice středovány. Středovaná rovnice kontinuity pro nestlačitelný izotermní proudění je ve tvaru

$$\frac{\partial \bar{U}_j}{\partial x_j} = 0. \quad (2)$$

Středovaná rovnice zachování hybnosti je ve tvaru

$$\frac{\partial \bar{U}_i}{\partial t} + \frac{\partial (\bar{U}_i \bar{U}_j)}{\partial x_j} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial \bar{p}}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\nu \frac{\partial \bar{U}_i}{\partial x_j} - \frac{\bar{U}_i' U_j'}{\rho} \right], \quad (3)$$

kde p je tlak, ν je kinematická viskozita, ρ je hustota. Poslední člen na pravé straně vznikl průměrováním bilančních rovnic a bývá označován jako tenzor Reynoldsových napětí. Skrz tento tenzor je do ústředních rovnic zahrnut vliv turbulence. Existují dva přístupy jak tato Reynoldsova napětí řešit. První způsob je založen přímo na modelování jednotlivých Reynoldsových napětí. Druhý způsob je založen na Boussinesqově hypotéze o turbulentní viskozitě. Tenzor druhého řádu o šesti neznámých je nahrazen vztahem s turbulentní viskozitou. Vztah s aplikovanou Boussinesqovou hypotézou je pak ve tvaru

$$\frac{\bar{U}_i' U_j'}{\rho} = -\nu_t \left(\frac{\partial \bar{U}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{U}_j}{\partial x_i} - \frac{2}{3} \delta_{ij} \frac{\partial \bar{U}_k}{\partial x_k} \right) - \frac{1}{3} \delta_{ij} \overline{u_k' u_k'}, \quad (4)$$

kde je ν_t turbulentní viskozita a její hodnota je vypočtena pomocí turbulentního modelu. V mé studii jsem otestoval 4 turbulentní modely a to konkrétně k- ϵ RNG model [5], k- ϵ model pro nízka Reynoldsova čísla od autorů Laundera a Sharma [2], k- ω SST [3] a posledním testovaným modelem byl nelineární turbulentní model k- ϵ - ζ -f [1].

Turbulentní model k- ϵ od autorů Launder Sharma [2] je upravený pro nízka Reynoldsova čísla. Tento model nevyžaduje stěnovou funkci pro rychlost disipace a na stěně je přímo zadána nulová hodnota. Důvodem je použití tzv. korigované rychlosti disipace. Turbulentní viskozita se pro tento model vypočte pomocí vztahu

$$\nu_t = C_\mu f_\mu \frac{k^2}{\epsilon}, \quad (5)$$

kde C_μ je modelová konstanta, f_μ je tlumící funkce, k je turbulentní kinetická energie a ϵ je korigovaná rychlost disipace. Rovnice turbulentní kinetické energie je

$$\frac{\partial k}{\partial t} + \frac{\partial (\bar{U}_j k)}{\partial x_j} = P_k - \epsilon - 2\nu \left(\frac{\partial \sqrt{k}}{\partial y} \right)^2 + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\nu + \frac{\nu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right], \quad (6)$$

kde P_k je produkce turbulentní kinetické energie a σ je turbulentní Prandtlovo číslo. Rovnice korigované rychlosti disipace je ve tvaru

$$\frac{\partial \epsilon}{\partial t} + \frac{\partial (\bar{U}_j \epsilon)}{\partial x_j} = C_1 \frac{\epsilon}{k} P_k - C_2 f_2 \frac{\epsilon^2}{k} - 2\nu_t \left(\frac{\partial^2 \bar{U}}{\partial y^2} \right)^2 + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\nu + \frac{\nu_t}{\sigma_\epsilon} \right) \frac{\partial \epsilon}{\partial x_j} \right], \quad (7)$$

C_1 a C_2 jsou modelové konstanty a f_2 je tlumící funkce. Korigovaná rychlost disipace se vypočte ze vztahu

$$\epsilon = (\epsilon - D_\epsilon), \quad (8)$$

$$D_\varepsilon = 2 \nu \left(\frac{\partial \sqrt{k}}{\partial y} \right)^2. \quad (9)$$

Tlumící funkce se vypočtou pomocí vztahů

$$f_\mu = \exp \frac{-3.4}{(1+R_t/50)^2}, f_2 = 1 - 0.3 \exp - R_t^2, R_t = \frac{k^2}{\nu \varepsilon}. \quad (10)$$

Dalším testovaným modelem byl nelineární čtyřrovnicový turbulentní model k- ε - ζ -f (zeta-f) [1], který vychází z v2f modelu (tento model nebyl součástí použitého softwaru a bylo potřeba ho doprogramovat). Na rozdíl od běžných dvourovnicových modelů, pak řeší navíc rovnici pro poměrné rychlostní měřítko a relaxační faktor. Oproti původnímu v2f modelu je tento vylepšený model více robustní a je proto vhodný i pro použití v průmyslových aplikacích. Turbulentní viskozita se vypočte pomocí vztahu

$$\nu_t = C_\mu \zeta k \tau, \quad (11)$$

kde je ζ poměrné rychlostní měřítko a τ je časové měřítko. Turbulentní kinetická energie se vypočte z rovnice

$$\frac{\partial k}{\partial t} + \frac{\partial (\bar{U}_j k)}{\partial x_j} = P_k - \varepsilon + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\nu + \frac{\nu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right]. \quad (12)$$

Rychlost disipace

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial t} + \frac{\partial (\bar{U}_j \varepsilon)}{\partial x_j} = \frac{C_{\varepsilon 1} P_k - C_{\varepsilon 2} \varepsilon}{\tau} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\nu + \frac{\nu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right]. \quad (13)$$

Poměrné rychlostní měřítko

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial (\bar{U}_j \zeta)}{\partial x_j} = f - \frac{\zeta}{k} P_k + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\nu + \frac{\nu_t}{\sigma_\zeta} \right) \frac{\partial \zeta}{\partial x_j} \right]. \quad (14)$$

Relaxační faktor

$$L^2 \nabla^2 f - f = \frac{1}{\tau} \left(c_1 + C_2 \frac{P_k}{\varepsilon} \right) \left(\zeta - \frac{2}{3} \right). \quad (15)$$

Časové a délkové měřítko je vypočteno ze vztahů

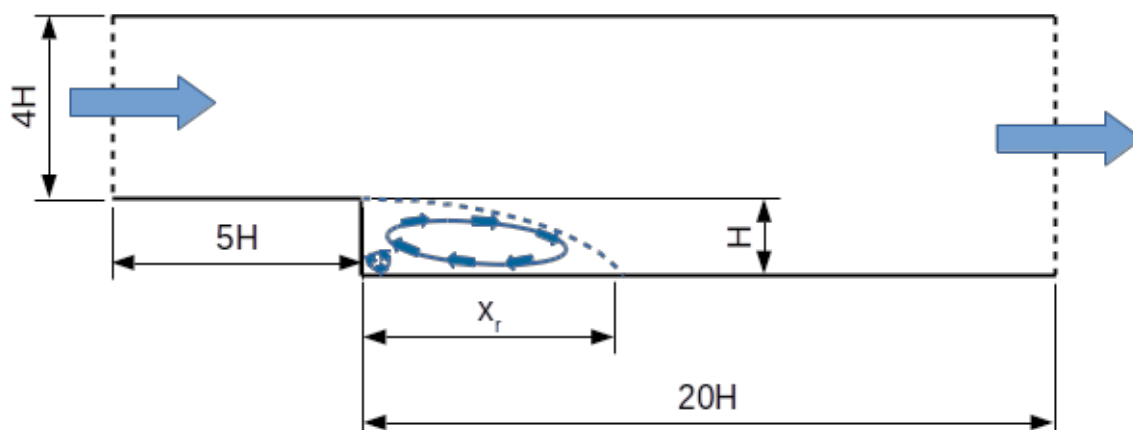
$$\tau = \max \left[\min \left(\frac{k}{\varepsilon}, \frac{a}{\sqrt{6} C_\mu (S) \zeta} \right), C_\tau \left(\frac{\nu}{\varepsilon} \right)^{1/2} \right], \quad (16)$$

$$L = C_L \max \left[\min \left(\frac{k^{3/2}}{\varepsilon}, \frac{k^{1/2}}{\sqrt{6} C_\mu (S) \zeta} \right), C_\mu \left(\frac{\nu^3}{\varepsilon} \right)^{1/4} \right]. \quad (17)$$

Rovnice zbylých dvou turbulentních modelů zde nejsou uvedeny, ale lze je najít v původních publikacích.

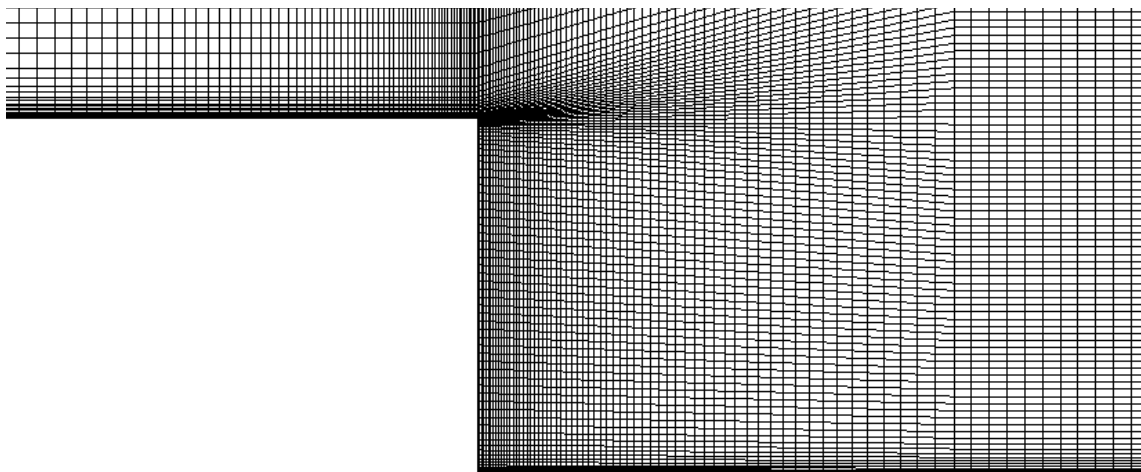
2.2. Výpočetní doména a nastavení numerické simulace

Výpočetní doména byla parametrizována pomocí výšky schodu a její rozměry jsou uvedeny na obrázku 1. V levé části se nachází vstupní okrajová podmínka a v pravé části je výstupní okrajová podmínka. Ve schématu je také označena délka znovu přilnutí proudu x_r . Dále je zde vyznačen recirkulační proud (velká elipsa) a rohový vír. Případ byl zjednodušen na 2D úlohu a numerické simulace byly provedeny v opensource softwaru OpenFOAM 4.1 pomocí řešiče simpleFoam.



Obrázek 1: Schéma 2D výpočetní domény obtékaného schodu.

Pro potřeby numerické simulace byla vytvořena strukturovaná výpočetní síť se zjemněním v blízkosti stěny v programu blockMesh (součást OpenFOAMu). Detail výpočetní sítě se zjemněním v blízkosti schodu je na obrázku 2. Výpočetní síť byla tvořena 99112 buňkami a pro test nezávislosti sítě na řešení byla vytvořena ještě jedna výpočetní síť s 90432 buňkami.



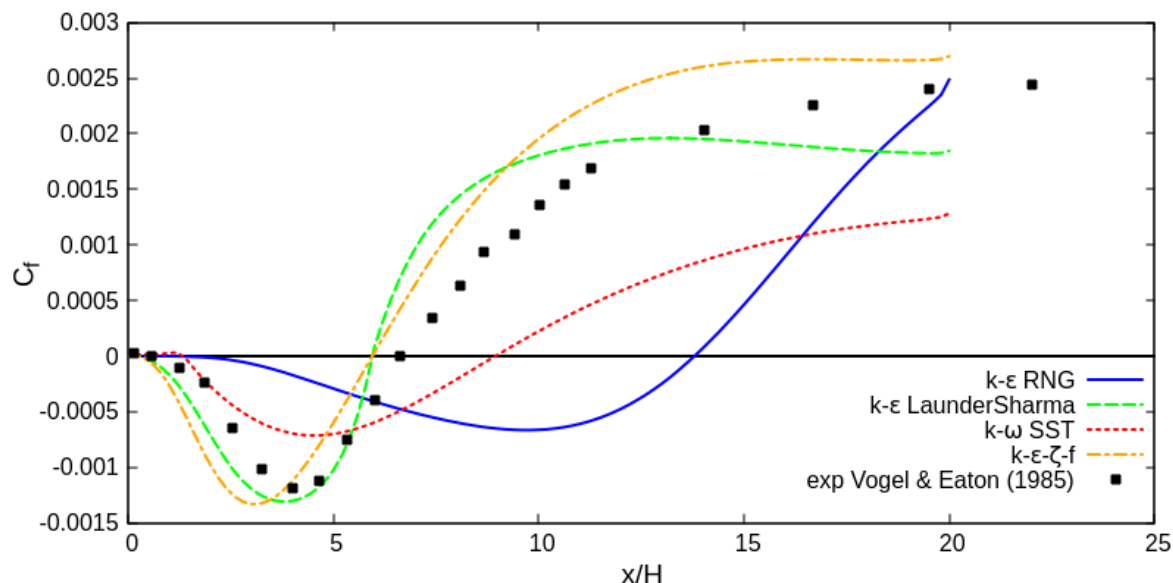
Obrázek 2: Detail výpočetní sítě u obtékaného schodu.

Okrajová podmínka na vstupu byla definována rychlostním profilem, který byl získán ze simulace proudění v kanálu. Dále zde byl zadán nulový gradient pro tlak a konstantní hodnota turbulentních veličin získaná pomocí definované intenzity turbulence a poměru turbulentní a molekulární viskozity. Na výstupní okrajové podmínce byl nastaven nulový gradient rychlosti a turbulentních veličin a dále konstantní tlak.

Algoritmus řešení je přístup SIMPLE (Semi Implicit Method For Pressure Linked Equations). Numerické schéma konvektivních členů bylo nastaveno pro rozběh na upwind 1.řádu a po zkonvergování řešení bylo nastaveno na upwind 2. řádu. Podmínka konvergence nastavena pomocí residuí veličin a to na hodnotu 10^{-4} . Pro stabilizaci řešení byly nastaveny relaxační faktory a to pro tlak 0,3 a pro ostatní veličiny 0,6.

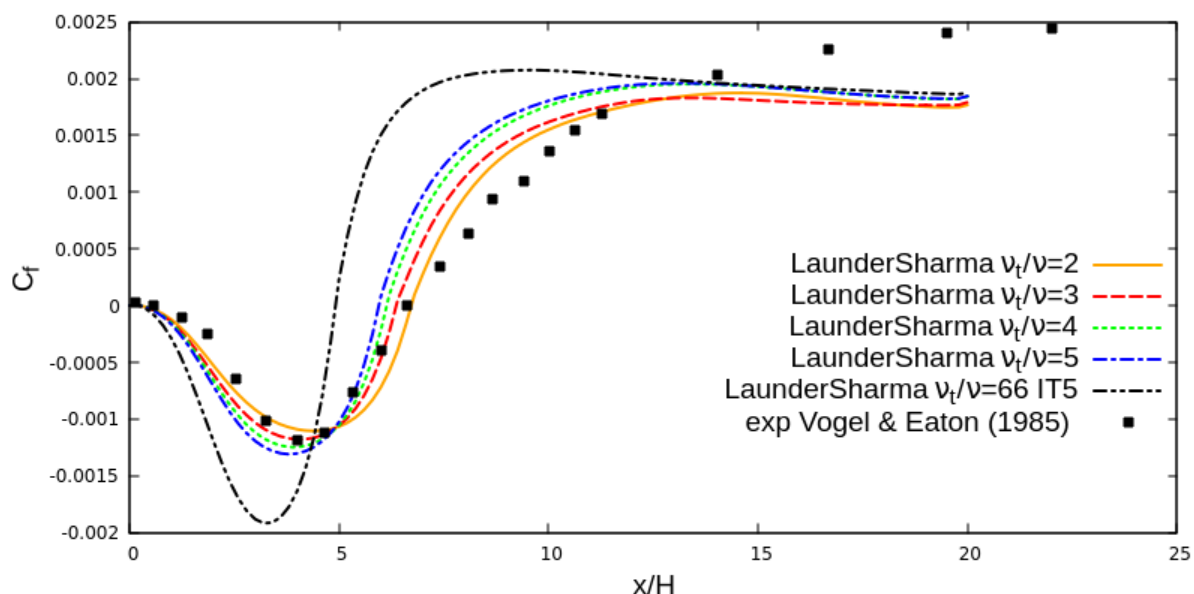
3 Výsledky

Průběh součinitele třecích ztrát C_f ($C_f = \tau_w / (0,5 \rho U_{in}^2)$) pro jednotlivé turbulentní modely je na obrázku 3. Dobré shody výsledků s experimentem měl turbulentní model od Laundera a Sharmy a také nelineární čtyřrovnicový model zeta-f. Ostatní dva modely predikovaly mnohem menší součinitel třecích ztrát a také delší recirkulační oblast.



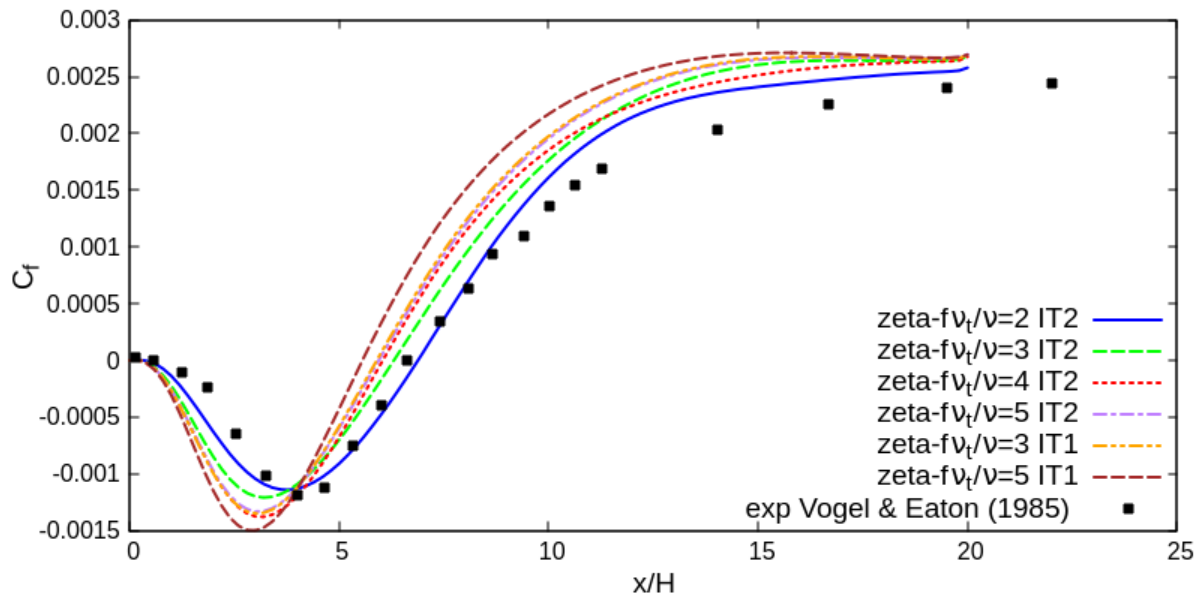
Obrázek 3: Průběh součinitele třecích ztrát za obtékaným schodem pro různé modely.

Vliv vstupní okrajové podmínky na součinitel třecích ztrát pro model Launder Sharma je na obrázku 4. Intenzita turbulence na vstupu byla $IT=2\%$, kromě případu s velkým poměrem viskozit, kde byla $IT=5\%$ (odpovídá výchozímu nastavení komerčních softwarů). S rostoucím poměrem turbulentní a molekulární viskozity došlo ke zkrácení recirkulační oblasti. Příklad vstupní hodnoty dle komerčního softwaru predikoval menší recirkulační oblast a větší součinitel třecích ztrát v recirkulační oblasti v porovnání s experimentem.



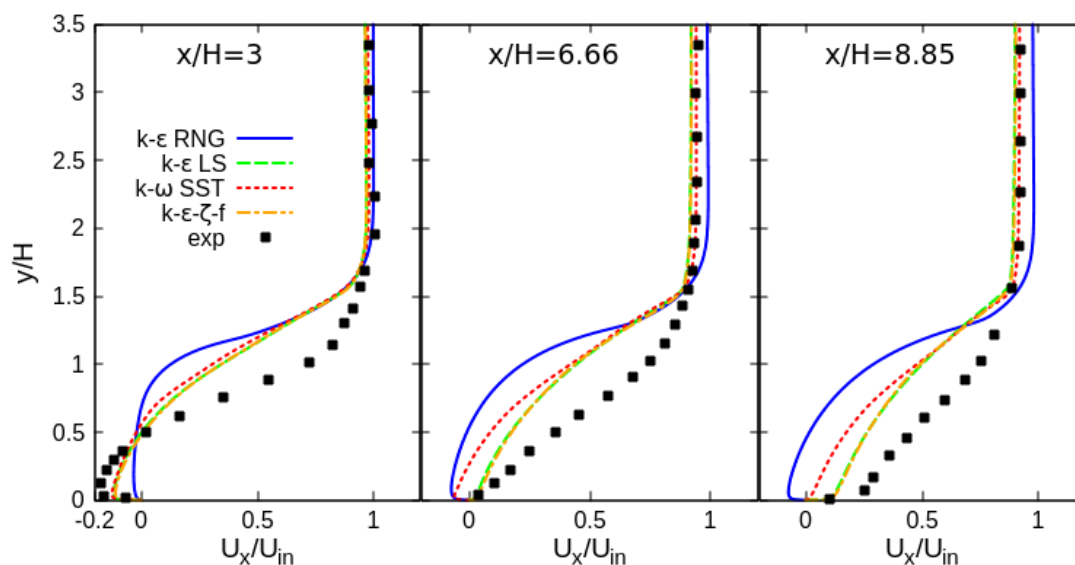
Obrázek 4: Vliv vstupní okrajové podmínky na průběh součinitele třecích ztrát pro model Launder Sharma.

Predikované hodnoty součinitele třecích ztrát pro model zeta-f jsou na obrázku 5. Vliv vstupní okrajové podmínky byl stejný jako v předchozím případě. S rostoucím poměrem viskozit došlo ke zkrácení recirkulační oblasti a ke zvětšení součinitele třecích ztrát v této oblasti. Zároveň je zde i porovnán vliv intenzity turbulence na vstupu. S nižší hodnotou intenzity turbulence došlo ke zkrácení recirkulační oblasti a k nárůstu třecích ztrát v této oblasti.



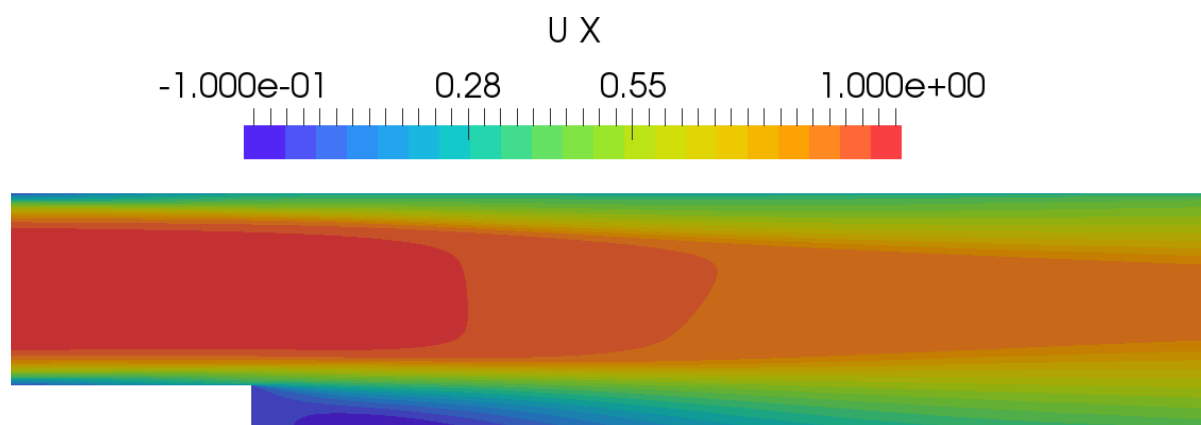
Obrázek 5: Vliv vstupní okrajové podmínky na průběh součinitele třecích ztrát za obtékaným schodem pro model zeta-f.

Průběh podélné složky rychlosti za obtékaným schodem je zobrazen na obrázku 6. Jsou zde uvedeny vertikální profily na třech místech za schodem a to konkrétně ve vzdálenosti odpovídající 3 krát výšce schodu, vzdálenosti k hranici recirkulační oblasti dle experimentu a dále místu za přilnutou mezní vrstvou. Jsou zde uvedeny výsledky pro vstupní hodnotu turbulence $IT=2\%$ a poměr viskozit $\nu_t/\nu=5$. Model $k-\epsilon$ RNG má odlišné průběhy podélné složky rychlosti pro všechna zkoumaná místa. U modelu $k-\omega$ SST bylo dosaženo lepší shody s výsledky z experimentu, ale stále je zde patrný vliv delší recirkulační oblasti. Model Launder Sharma ($k-\epsilon$ LS) predikoval stejný rychlostní profil jako nelineární model zeta-f.

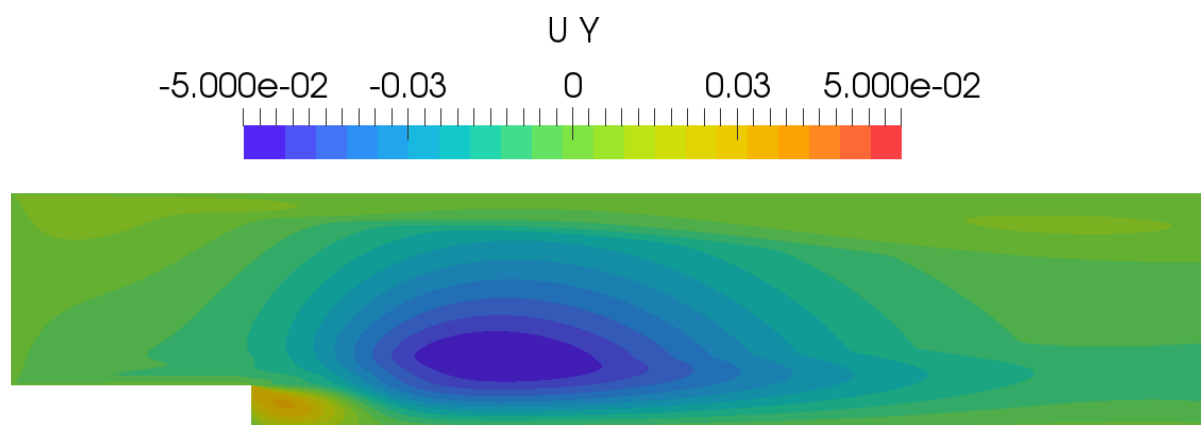


Obrázek 6: Průběhy podélné složky rychlosti napříč proudem pro jednotlivé modely.

Charakter proudu lze vidět na obrázku 7 a 8, kde jsou zobrazeny kontury podélné a příčné složky rychlosti. Za obtékaným schodem je patrná oblast záporné podélné rychlosti (kladný směr je směrem od vstupní části k výstupní části). Ta souvisí s recirkulační oblastí ve které se nachází vír otáčející se po směru hodinových ručiček. Tento jev je vidět i na konturách příčné složky rychlosti, kde kladný směr je směrem nahoru a záporný je směrem dolů. U kontur podélné složky rychlosti je ještě vidět růst velikosti mezní vrstvy. Mezní vrstva na horní stěně v blízkosti výstupu je přibližně dvojnásobná oproti vstupní mezní vrstvě. U spodní stěny je tato velikost ještě mnohem větší a to z důvodu příčného proudění za obtékaným schodem (viz kontury příčné složky rychlosti).



Obrázek 7: Kontury podélné složky rychlosti pro model zeta-f.



Obrázek 8: Kontury příčné složky rychlosti pro model zeta-f.

4 Závěr

V této práci byl otestován vliv turbulentního modelu na rychlostní profil za obtékaným schodem a vliv na součinitel třecích ztrát. V praxi běžně používaný turbulentní model $k-\omega$ SST nedosáhl dobré shody s výsledky z experimentu a predikoval mnohem delší recirkulační oblast a menší součinitel třecích ztrát v porovnání s experimentem. Turbulentní model $k-\epsilon$ RNG byl na tom ještě mnohem hůře. Recirkulační oblast, kterou predikoval byla více jak dvojnásobná v porovnání s výsledky z experimentu. Nelineární model zeta-f byl v dobré shodě s experimentem jak pro délku recirkulační oblasti tak i pro průběh součinitele třecích ztrát. Model pro nízká Reynoldsova čísla od Launder-Sharma byl blízko výsledkům nelineárního modelu ale měl horší shody s výsledky z experimentu v místě za přilnutou mezní vrstvou.

Vstupní okrajová podmínka má nezanedbatelný vliv na tření v recirkulační oblasti. S rostoucím poměrem turbulentní a molekulární viskozity se zkracuje recirkulační oblast a dochází ke zvětšení třecích ztrát v této oblasti. Použití výchozích hodnot používaných v komerčních softwarech mělo zásadní vliv na proudění za obtékaným schodem. Zejména došlo k predikci vyšších třecích ztrát a také kratší recirkulační oblasti. Je proto potřeba správně definovat turbulentní vlastnosti na vstupu v souladu s experimentem.

Tato studie ukázala, že běžně používané turbulentní modely nepredikují výsledky ve shodě s experimenty jak by se původně očekávalo. Pro separovanou a znovu přilnutou mezní vrstvu je proto potřeba použít složitější turbulentní modely jako například model zeta-f.

Poděkování

Tato práce byla podpořena grantem Studentské grantové soutěže Technické univerzity v Liberci č. SGS 21227, vyživající účelové podpory na specifický vysokoškolský výzkum a je financována Ministerstvem školství, mládeže a tělovýchovy České republiky.

Literatura

- [1] HANJALIĆ K., POPOVAC M., HADŽIABDIĆ A robust near-wall elliptic-relaxation eddy-viscosity turbulence model for CFD, *International Journal of Heat and Fluid Flow*, 2004, Vol. 25, 1047-1051.
- [2] LAUNDER B.E., SHARMA B.I. Application of the Energy-Dissipation Model of Turbulence to the Calculation of Flow Near a Spinning Disc, *Heat and Mass Transfer*, 1974, Vol.1, 131-138.
- [3] MENTER F.R. Two-Equation Eddy-Viscosity Turbulence Models for Engineering Applications, *AIAA Journal*, 1994, Vol.32, 1598-1605.
- [4] VOGEL J.C., EATON J.K. Combined Heat Transfer and Fluid Dynamic Measurements, *Journal of Heat Transfer: Transaction of the ASME*, 1985, Vol.107, 922-929.
- [5] YAKHOT V., ORSZAG S.A., THANGAM S., GATSKI T.B., SPEZIALE C.G. Development of turbulence models for shear flows by a double expansion technique, *Physics of Fluids*, 1992, Vol. 4, 1510-1520.

Determining the ploughing forces by different methods when turning stainless steel

Krasnikova Iuliia
Sekce – STROJÍRENSTVÍ,
Fakulta strojní, 3. ročník
Doktorský studijní program –
Strojírenská technologie

Abstract

Currently, two methods are most often used to determine the ploughing forces: the extrapolation on zero uncut thickness and the comparison of total forces at different flank wears. These methods assume that the processes occurring on the front surface of the tool cause no effect on the processes transpiring on the rear surface. This study attempted to prove that the processes on the front surface of the tool affect the processes on the rear surface, and both methods cannot be used to determine the ploughing forces. This paper presents the comparison of the experimental measurement results of the ploughing forces obtained in turn by different methods. The results showed that the increase in the uncut chip thickness causes the decrease in the real contact area between the rear surface of the tool and the processed material. This finding proves the connection between the processes occurring on the front and rear surfaces. Thus, two often used methods cannot be used to determine the ploughing forces. To accurately determine the ploughing forces, we suggest using the third method, the comparison method of the total forces for different contact areas, which is based on the dependence of the processes on the rear surface on the processes on the front surface.

Keywords: ploughing forces, turning, uncut chip thickness, wear, orthogonal cutting.

1. Introduction

The cutting forces significantly influence the parameters of the metal cutting process. Studies featured in the scientific literature demonstrated that cutting forces affect the tool life [1,2] and quality of the machined surface [3,4]. The cutting forces consist of cutting forces on the front surface of the cutting tool and those on its rear surface, i.e., ploughing forces [5,6]. The ploughing forces are often significantly lower than the forces on the front surface, but these forces cannot be neglected both when cutting with small uncut chip thickness, i.e., in micro cutting, and when cutting using tools with flank wear [7-9].

Currently, several methods are used to determine the ploughing forces. The most well-known and most frequently used methods include the extrapolation method on zero uncut thickness (Fig. 1, a) [10, 11] and the comparison method of total forces at different flank wears (Fig. 2, a) [11]. Despite the existing criticism of both methods [12-14], both the first [15–17] and the second method [18–20] are still used to determine the ploughing forces. Both methods are based on the assumption that the processes occurring on the front surface of the tool cause no effect on the processes on its rear surface. This condition explains why the forces on the rear surface determined by both methods are independent of the uncut chip thickness (Fig. 1, b), (Fig. 2, b).

This study aimed to find the connection between the processes occurring when cutting on the front surface and those on the rear surface at real cutting speeds in a wide range of uncut chip thickness. If we succeed in proving that the ploughing forces depend on the uncut chip thickness, we will disprove the physical significance behind the two most commonly used methods for determining the ploughing forces, i.e., the extrapolation method on zero uncut thickness (Fig. 1) and the comparison method of total forces at different flank wears (Fig. 2).

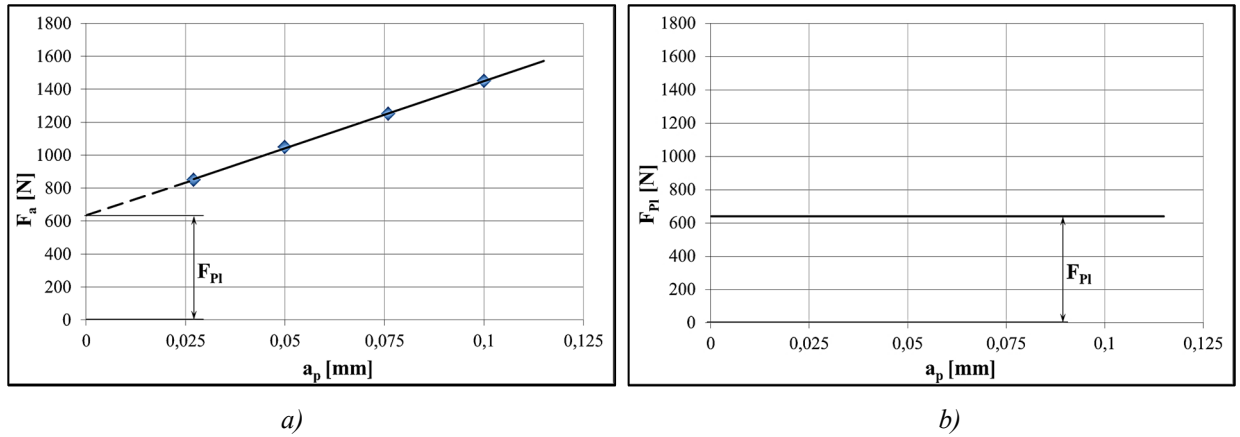


Fig. 1 Determination of the ploughing force by the extrapolation method on zero uncut chip thickness.

- a) Dependence of the cutting force F_a on the uncut chip thickness a_p ;
b) dependence of the ploughing force F_{pl} determined by the extrapolation method on zero uncut chip thickness on the uncut chip thickness a_p .

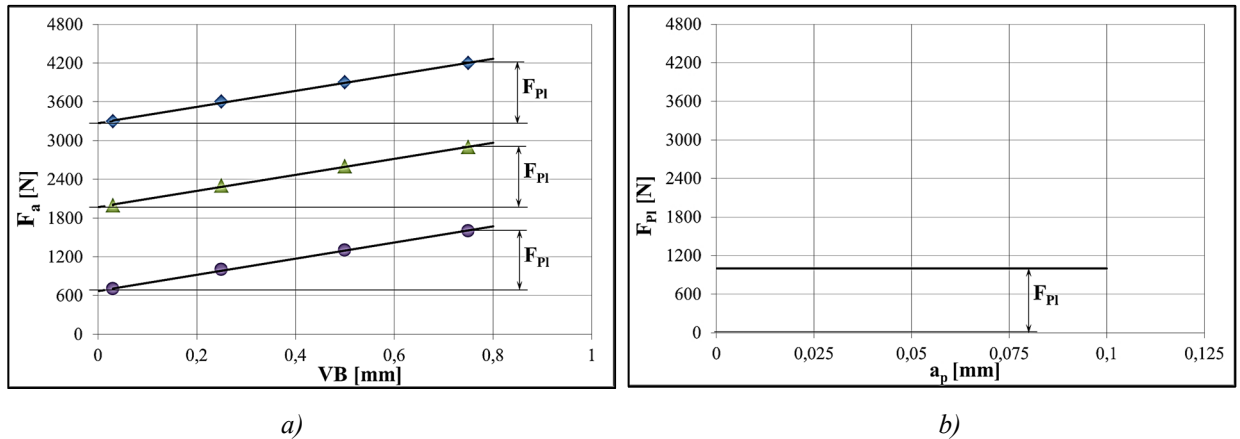


Fig. 2 Determination of the ploughing force by the comparison method of total forces at different flank wears.

- a) Dependence of the cutting force F_a on the flank wear VB at various uncut chip thicknesses a_p ;
 $\bullet a_p = 0.027$ mm, $\blacktriangle a_p = 0.076$ mm, and $\blacklozenge a_p = 0.125$ mm;
b) dependence of the ploughing force F_{pl} determined by the comparison method of total forces at different flank wears on the uncut chip thickness a_p .

2. Experimental Procedures

2.1. Cutting test and materials

In the turning process, the experiments were performed on a turning machine TOS SU 50/1500. The PRAMET TOOLS cutter CTCPN 2514 M16 with a cutting plate TPUN 160308 of hard alloy ISO P30 was used. In cutting, the front γ and flank angles α amounted to 5° and 6° , respectively. The cutting edge radius of the new cutting plates was 0.03 mm. For processing the work piece with the dimensions of pipe 70×5 mm, stainless steel (X6CrNiTi 18-10, 200 HB) was used. We used the cutting rate of 61 m/min and uncut chip thicknesses of 0.027, 0.05, 0.1, and 0.15 mm. When turning in accordance with the diagram in Fig. 3, orthogonal cutting was performed. This step allows marking the feed f [mm/rev] as the uncut chip thickness a_p [mm], similar to that in planing [7,21].

The expansion scheme of the total active force F_a was used to determine the ploughing forces. Fig 3 presents the related scheme.

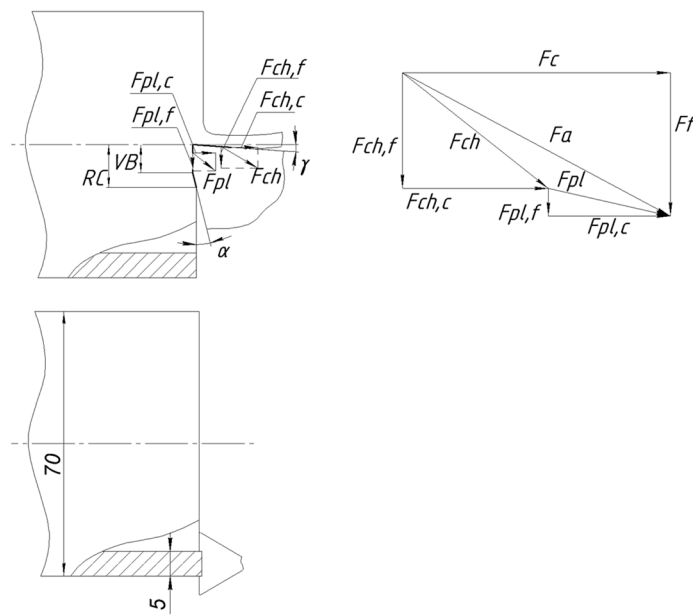


Fig. 3 Expansion active force F_a into the chip-forming force F_{Ch} and ploughing force F_{Pl} and into the components in feed and cutting directions.

$F_{ch,c}$ - the chip-forming force component in direction of cutting,

$F_{ch,f}$ - the chip-forming force component in the feed direction,

$F_{pl,c}$ - the ploughing-force component in direction of cutting,

$F_{pl,f}$ - the ploughing-force component in the feed direction;

VB - flank wear;

RC - real contact area between the rear surface of the tool and the processed material.

2.2. Methodology for determination of the real contact area between the rear surface of the tool and the processed material

The following procedure was carried out to determine the real contact between the rear surface of the tool and the processed material. The rear surface of the tool was painted before turning. The length of the real contact between the rear surface of the tool and the processed material was measured by a microscope with an accuracy of 0.01 mm. Every measurement of the real contact was repeated five times, and the average force value was determined.

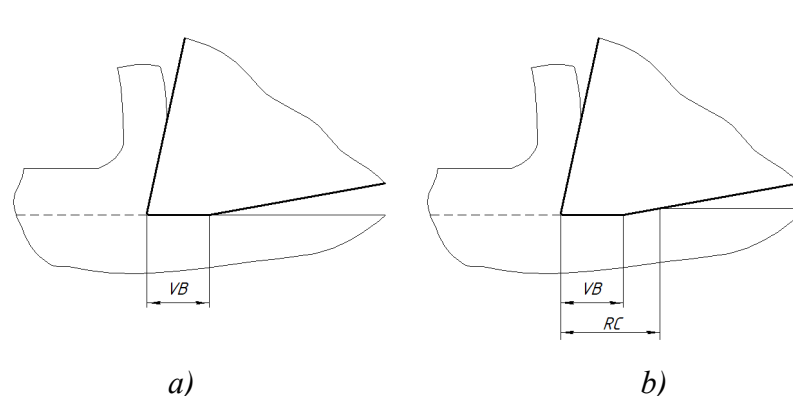


Fig. 4 Theoretical (a) and real (b) contact of the rear surface of the tool to the processed material; VB – flank wear and RC – real contact area between the rear surface of the tool and the processed material.

2.3. Methodology for determination of the ploughing forces

The measurements were provided with the three-component piezo-electric KISTLER

dynamometer, model 9265B-9441B, connected with a computer with special MathLab software for the force measurements (Fig. 5). The measurement error of forces amounted to $\pm 2\%$. The dynamometer and software were previously calibrated using standard mechanical precision dynamometers in the range of 10 N to 5000 N.

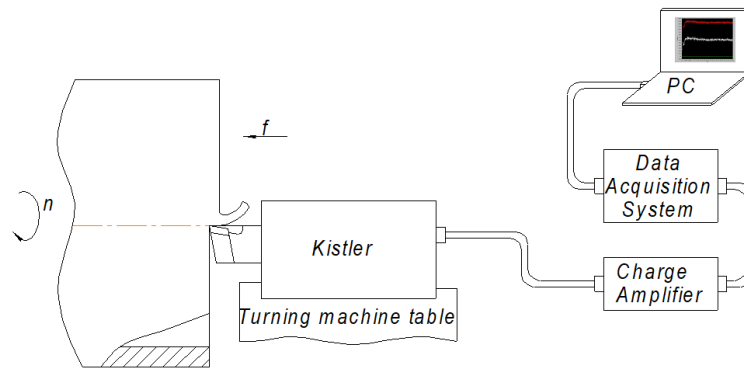


Fig. 5 Measurement scheme.

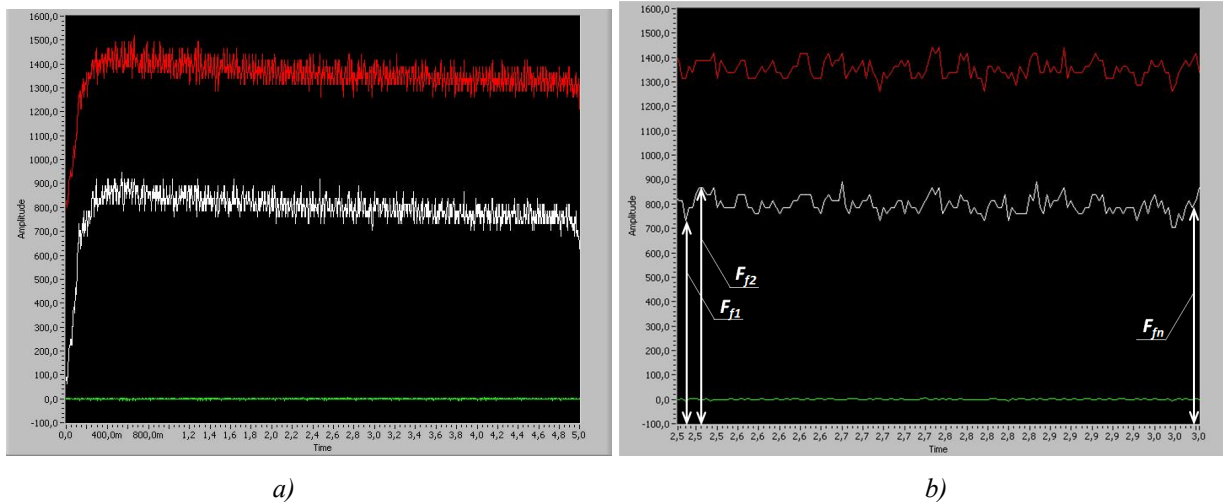


Fig. 6 Measurement results of the two components of active force F_a : cutting force F_c (red) and feed force F_f (white).
a) Measurement results from 0 s to 5 s,
b) scale-up measurement results from 2.5 s to 3 s.

The two components of active force F_a (cutting force F_c and feed force F_f) were measured by a dynamometer. The measurement of each force component (cutting force F_c and feed force F_f) lasted for 5 s (Fig. 6, a). The average force was determined as the average of all the projections and depressions $F_{c1} - F_{cn}$ and $F_{f1} - F_{fn}$ in the interval from 2.5 s to 3 s (Fig. 6, b). Every measurement of the force was repeated five times and then the average force value was determined.

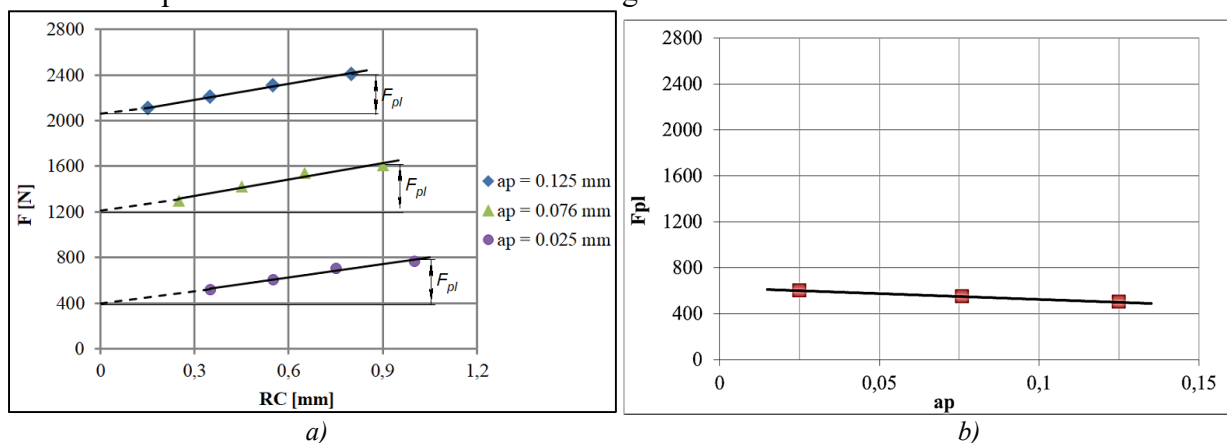


Fig. 7 Determination of the ploughing force by the comparison method of the total forces for different contact areas. Dependence of the cutting force F_a on the real contact area between the rear surface of the tool and the processed material RC at various uncut chip thicknesses a_p ;
 b) dependence of the ploughing force F_{pb} , determined by the comparison method of the total forces for different contact areas, on the uncut chip thickness a_p .

The ploughing forces were determined using three methods: the extrapolation method on zero uncut thickness (Fig. 1), comparison method of total forces at different flank wears (Fig. 2), and comparison method of total forces for the different contact areas of the tool rear surface and workpiece surface (Fig. 7).

The characteristic property of the comparison method of total forces for different contact areas (abbreviated as the Popov–Dugin method) denotes the internal dependence of the chip-forming forces on the uncut chip thickness in accordance to the method [22, 23]. Fig. 7 fundamentally explains the phenomenon under discussion and shows that when using the comparison method of the total forces for different contact areas, a decrease in the contact area length of the tool rear surface and the workpiece results in a decrease in the ploughing forces (Fig. 7, b).

3. Experimental Results

3.1. Experimental results of determination of the real contact area between the rear surface of the tool and the processed material depending on the uncut chip thickness

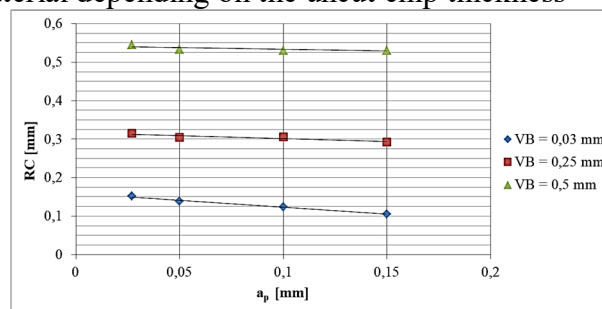


Fig. 8 Dependence of the real contact area between the rear surface of the tool and the processed material RC on the uncut chip thickness at various flank wear VB for stainless steel.

◆ VB = 0.03 mm, ■ VB = 0.25 mm and ▲ VB = 0.5 mm.

The direct evidence of the dependence of the forces on the rear surface on the processes occurring on the front surface, and in particular on the uncut chip thickness, is the dependence of the contact area of the rear surface of the tool and the workpiece surface RC on the uncut chip thickness a_p (Fig. 8).

When turning a stainless steel, the uncut chip thickness increased from 0.027 mm to 0.15 mm when using a new cutting plate, thus resulting in an decrease of 30% in the contact area length. A similar increase in the uncut chip thickness with a plate wear of 0.25 mm resulted in a decrease of 7% in the contact area length. When using a cutting plate with a wear of 0.5 mm, the contact area length decreased by 2% (Fig. 8).

3.2. Experimental results of determining the ploughing forces depending on the uncut chip thickness

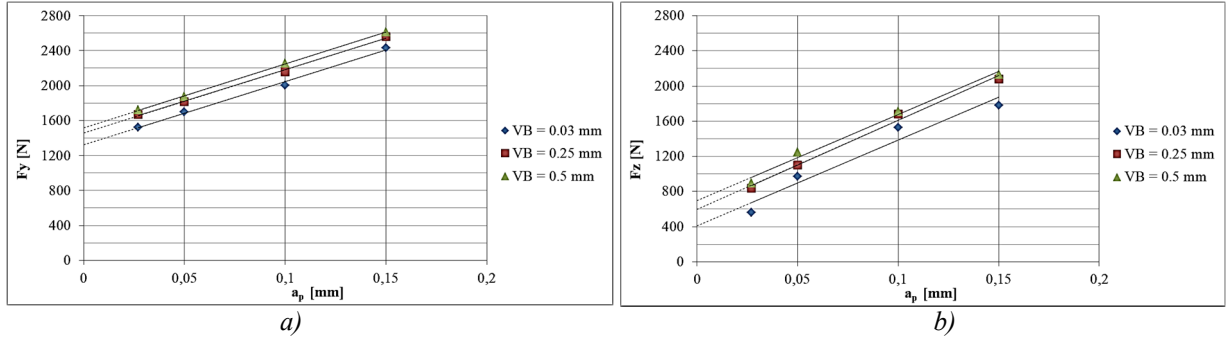


Fig. 9 Determination of the components of the ploughing force F_{pl} using the extrapolation method on zero uncut thickness a_p for an aluminum alloy at different wears VB .

- a) Determination of the ploughing force component in the direction of cutting $F_{pl,c}$;
b) determination of the ploughing force component in the feed direction $F_{pl,f}$;
◆ $VB = 0.03$ mm, ■ $VB = 0.25$ mm and ▲ $VB = 0.5$ mm

Figure 9 presents the measurement results of the two components of the cutting force, F_c and F_f (Fig. 3), that are needed to determine the components of the ploughing forces, $F_{pl,c}$ and $F_{pl,f}$ using the extrapolation method on zero uncut thickness (Fig. 1).

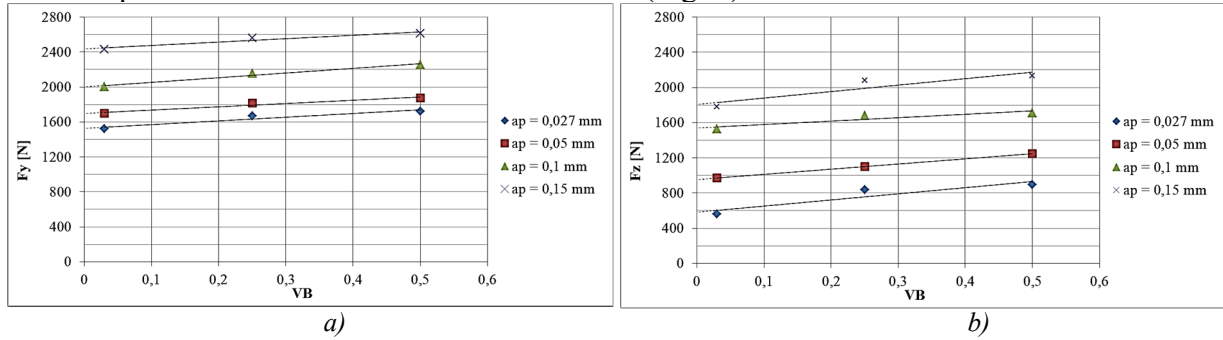


Fig. 10 Determination of the components of the ploughing force F_{pl} using the comparison method of total forces at different flank wears VB for aluminum alloy at different uncut chip thickness a_p .

- a) Determination of the ploughing force component in the direction of cutting $F_{pl,c}$;
b) determination of the ploughing force component in the feed direction $F_{pl,f}$.
◆ $a_p = 0.027$ mm, ■ $a_p = 0.05$ mm, ▲ $a_p = 0.1$ mm and × $a_p = 0.15$ mm.

Figure 10 presents the measurement results of the two components of the cutting force, F_c and F_f (Fig. 3), that are needed to determine the components of the ploughing forces, $F_{pl,c}$ and $F_{pl,f}$ using the comparison method of total forces at different flank wears (Fig. 2).

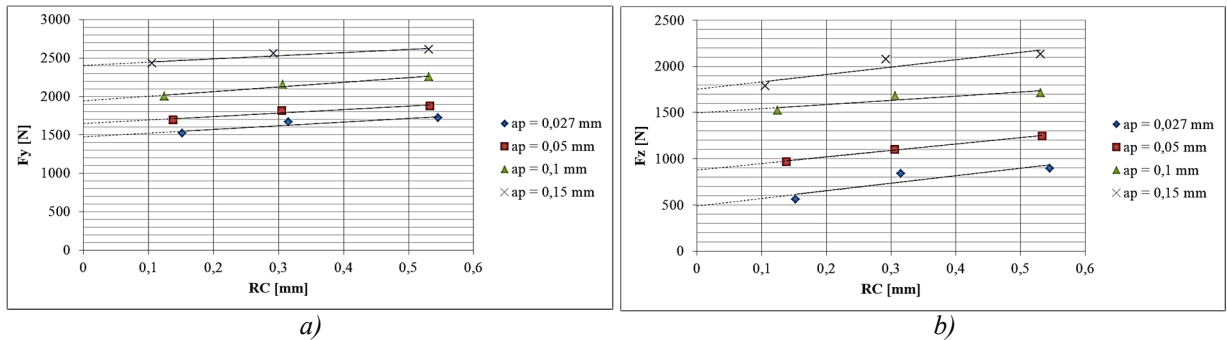


Fig. 11 Determination of the components of the ploughing force F_{pl} using the comparison method of total forces at different contact areas RC for aluminum alloy at different uncut chip thickness a_p .

- a) Determination of the ploughing force component in the direction of cutting $F_{pl,c}$;
b) determination of the ploughing force component in the feed direction $F_{pl,f}$.
◆ $a_p = 0.027$ mm, ■ $a_p = 0.05$ mm, ▲ $a_p = 0.1$ mm and × $a_p = 0.15$ mm.

Figure 11 presents the measurement results of the two components of the cutting force, F_c and F_f (Fig. 3), that are needed to determine the components of the ploughing forces, $F_{pl, c}$ and $F_{pl, f}$ using the comparison method of total forces at different contact areas (Fig. 7).

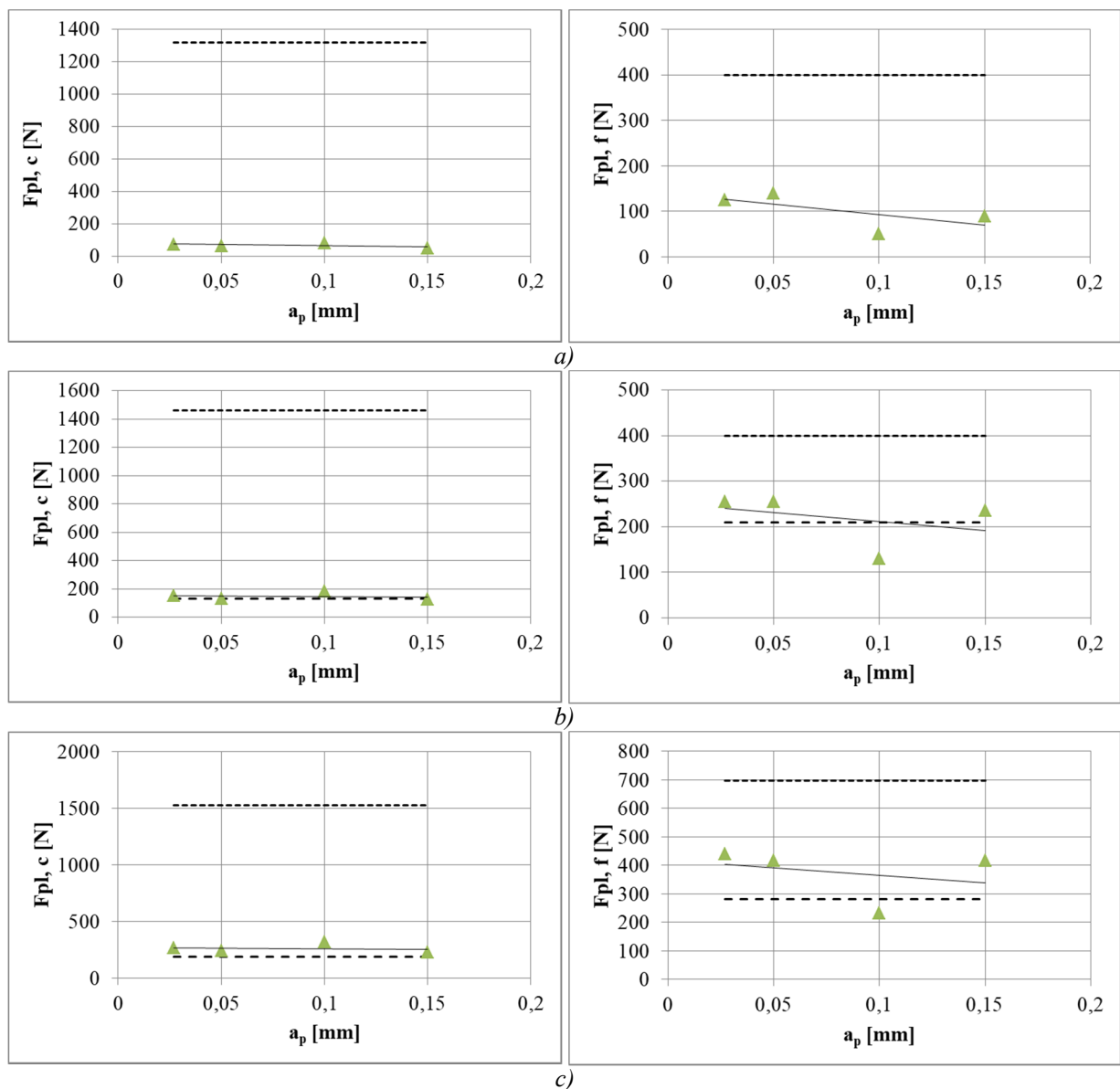


Fig. 12 Dependence of the ploughing force component in the direction of cutting $F_{pl, c}$ and the ploughing force component in the feed direction $F_{pl, f}$, determined by three methods, on the uncut chip thickness a_p , for stainless steel at different wears VB ;

a) $VB = 0.03$ mm, b) $VB = 0.25$ mm, c) $VB = 0.5$ mm;

— — — the extrapolation method on zero uncut thickness; — the comparison method of total forces at different contact areas; — — — the comparison method of total forces at different flank wears.

Figure 12 presents the measurement results of the components of the ploughing forces $F_{pl, c}$ and $F_{pl, f}$ (Fig. 3) determined by the extrapolation method on zero uncut thickness, by the comparison of total forces at different flank wears, and by the comparison of total forces at different contact areas when turning a stainless steel.

The results have revealed that the components of the ploughing forces $F_{pl, c}$ and $F_{pl, f}$ (Fig. 3) determined by the comparison method of total forces at different contact areas depend on the uncut chip thickness, whereas the ploughing forces determined by the extrapolation method on zero uncut thickness and by the comparison of total forces at different flank wears are independent of the uncut

chip thickness (Fig. 12). When machining a stainless steel, the components of the ploughing forces $F_{pl, c}$ and $F_{pl, f}$ (Fig. 3) decreased by 33% and 28%, respectively, as the depth of cut increased from 0.027 mm to 0.15 mm using a new cutting plate ($VB = 0.03$ mm) (Fig. 12, a). When the plate was worn up to $VB = 0.25$ mm, the decrease was 16% and 8% (Fig. 12, b) and when $VB = 0.5$ mm, the decrease was 15% and 5% (Fig. 12, c).

Notably, when determining the ploughing forces with the help of the comparison method of total forces at different flank wears and using a new cutting plate ($VB = 0.03$ mm), the ploughing forces were extremely weak, resulting in an impossibility to show them on the graph. This finding indicates the unsuitability of the comparison method of total forces at different flank wears when machining with a new cutting plate (Fig. 12, a). By comparison, the Popov–Dugin method enabled the determination of the ploughing forces when using a new tool.

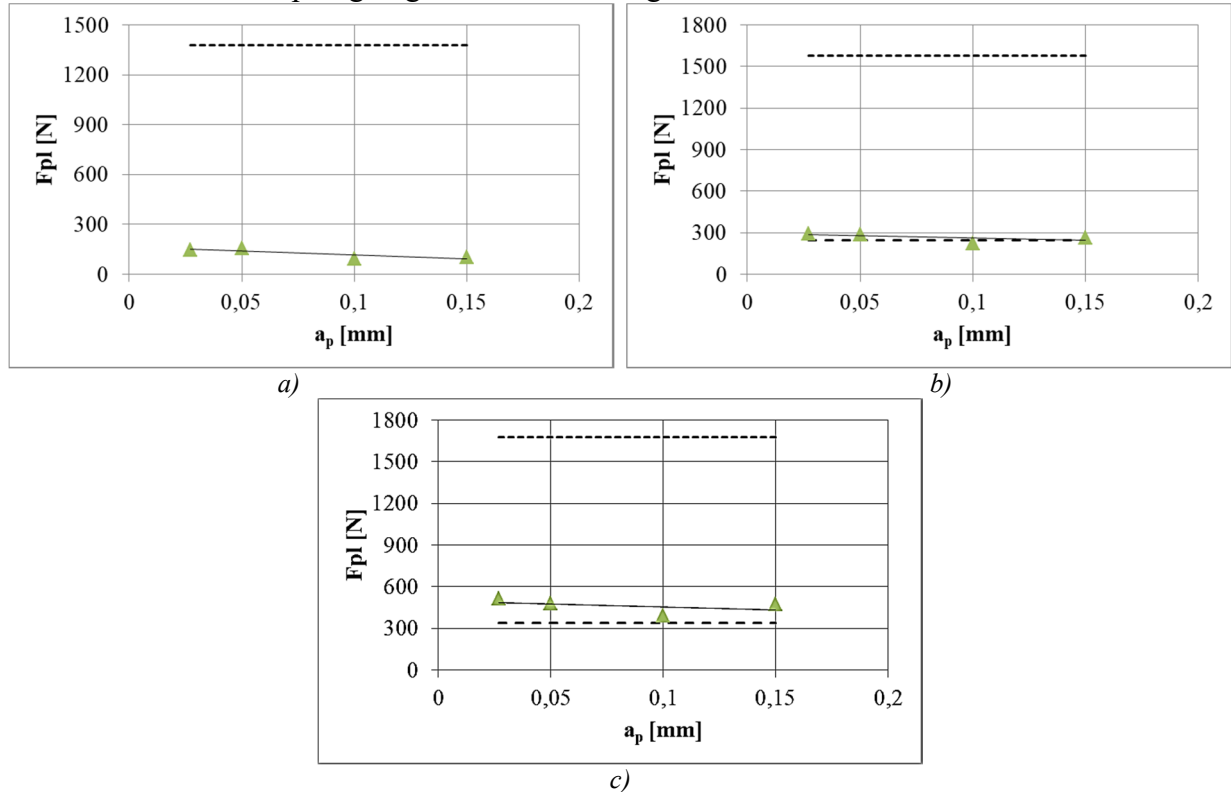


Fig. 13 Dependence of the total ploughing force F_{pl} , determined by three methods, on the uncut chip thickness a_p , for stainless steel at different wears VB ;

a) $VB = 0.03$ mm, b) $VB = 0.25$ mm, c) $VB = 0.5$ mm;

--- the extrapolation method on zero uncut thickness, — the comparison method of total forces at different contact areas, — the comparison method of total forces at different flank wears.

Figure 13 presents the measurement results of the total ploughing force F_{pl} (Fig. 3) determined by three methods when turning a stainless steel.

The results have shown that the total ploughing force F_{pl} (Fig. 3), which was determined by the comparison method of total forces at different contact areas, depends on the uncut chip thickness, whereas the total ploughing force determined by the extrapolation method on zero uncut thickness and by the comparison method of total forces at different flank wears is independent of the uncut chip thickness (Fig. 13). The total ploughing force F_{pl} (Fig. 3) decreased by 30% when the depth of cut decreased from 0.027 mm to 0.15 mm using a new cutting plate ($VB = 0.03$ mm) (Fig. 13, a). When the plate was worn up to $VB = 0.25$ mm, the decrease was 10% and when $VB = 0.5$ mm, the total force decreased by 8% (Fig. 13, c).

Conclusion

The experiments have shown that increasing the uncut chip thickness when turning stainless steel causes a decrease in the contact area between the rear surface of the tool and the workpiece surface.

Thus, the processes on the front surface of the tool affect the processes occurring on its rear

surface. This condition implies that the two methods that are mainly used to determine the ploughing forces, namely, the extrapolation method on zero uncut thickness and the comparison method of total forces at different flank wears, which are based on the independence of the ploughing forces of the forces occurring on the front surface, cannot be used to determine the ploughing forces.

Currently, a single method is used to determine the ploughing forces, that is, the comparison method of total forces at different contact areas (the Popov–Dugin method).

References

- [1] ZHANG, S., LI, J. F., & WANG, Y. W. (2012). Tool life and cutting forces in end milling Inconel 718 under dry and minimum quantity cooling lubrication cutting conditions. *Journal of Cleaner Production*, 32, 81-87.
- [2] GUTNICHENKO, O., BUSHLYA, V., ZHOU, J., & STÅHL, J. (2017). Tool wear and machining dynamics when turning high chromium white cast iron with pcBN tools. *Wear*, 390-391, 253-269.
- [3] GARCÍA PLAZA, E., & NÚÑEZ LÓPEZ, P. J. (2018). Analysis of cutting force signals by wavelet packet transform for surface roughness monitoring in CNC turning. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 98, 634-651.
- [4] SAMUEL, G., L. (2015). Cutting mode analysis in high speed finish turning of AlMgSi alloy using edge chamfered PCD tools. *Journal of Materials Processing Technology*, 216, 146-159.
- [5] FENG, J., WAN, M., GAO, T.-Q., ZHANG, W.-H. (2018). Mechanism of process damping in milling of thin-walled workpiece. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 134, 1-19.
- [6] RANGANATH, S., CAMPBELL, A.B., GORKIEWICZ, D. W. (2007). A model to calibrate and predict forces in machining with honed cutting tools or inserts. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 47, 820-840.
- [7] POPOV, A., BABAK, S. (2017). The effect of the tool wear on the correlation of forces on the face and flank surfaces of the cutting tool. *Manufacturing Technology*, 17, 283-287.
- [8] SENTHIL KUMAR, A.; RAJA DURAI, A.; SORNAKUMAR, T. (2006). The effect of tool wear on tool life of alumina-based ceramic cutting tools while machining hardened martensitic stainless steel. *Journal of Materials Processing Technology*, 173, 151-156.
- [9] HOIER, P.; MALAKIZADI, A.; STUPPA, P.; CEDERGREN, S.; KLEMENT, U. (2018). Microstructural characteristics of Alloy 718 and Waspaloy and their influence on flank wear during turning. *Wear*, 400–401, 184-193.
- [10] ALBRECHT, P. (1960). New developments in the theory of the metal cutting processes, Part 1. The ploughing process in metal cutting, *ASME J. Eng. Ind.*, 82: 348-357.

- [11] ZOREV, N. (1966). Metal cutting mechanics, Pergamon Press, Oxford, 135-180.
- [12] STEVENSON, R., STEVENSON, D. (1995). The Mechanical Behavior of Zink During Machining, Trans. ASME J. Eng. Mater. Technol., 117:172–178.
- [13] STEVENSON, R. (1998). Measurement of parasitic forces in orthogonal cutting, Int. J. Mach. Tools Manuf., 38:113-130.
- [14] WU, X., LI, L., HE, N., HAO, X., YAO, C., ZHONG, L. (2016). Investigation on the ploughing force in microcutting considering the cutting edge radius. In: The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 86, 2441-2447.
- [15] GUO, Y., CHOU, Y. (2004). Determination of ploughing force and its influence on material properties in metal cutting. J. of Materials Processing Technology, 148, 368-375.
- [16] WYEN, C., WEGENER, K., ZYUST, R. (2010). Influence of cutting edge radius on cutting forces in machining titanium. Annals of the CIRP, 59, 89-92.
- [17] POPOVIĆ, M., STOIĆ, A., TANOVIĆ, L. (2016). Prediction of tapping forces and torque for 16MnCr5 alloyed steel. Tehnički vjesnik, 23, 873-879.
- [18] LIPATOV, A., CHIGIRINDKII, Y., KORMILITSYN, S. (2010). Determining the Cutting Forces at the Rear Tool Surface. Russian Eng. Research, 30, 1158-1160.
- [19] MILUTINOVIĆ, M.; TANOVIĆ, L. (2016). Cutting forces in hard turning comprising tool flank wear and its implication for the friction between tool and workpiece. Technical Gazette, 23, 1373-1379.
- [20] HUANG, Y., Y. LIANG., S. (2005). Modeling of Cutting Forces Under Hard Turning Conditions Considering Tool Wear Effect. J. Manuf. Sci. Eng 127(2), 262-270.
- [21] POPOV, A., DUGIN, A. (2013). A comparison of experimental estimation methods of the ploughing force in orthogonal cutting. International Journal of Machine Tools and Manufacture, 65, 37 – 40.
- [22] WANG, J., HUANG, C.Z., SONG, W.G. (2003). The effect of tool flank wear on the orthogonal cutting process and its practical implications. Journal of Materials Processing Technology, 142, 338–346.
- [23] KHALED A. M ADEM, ROGER FALES, A. SHERIF EL-GIZAWY. (2015). Identification of cutting force coefficients for the linear and nonlinear force models in end milling process using average forces and optimization technique methods, Int. J. Adv. Manuf. Technol., 79, 1671–1687.

Seznam prací soutěže SVOČ 2019 sekce **TEXTIL**

strana	Autor	Název práce
BSP – NMSP		
85	Martina KREJČOVÁ	METODIKA TVORBY STŘIHU DÁMSKÉ SEAMLESS PODPRSENKY V PROSTŘEDÍ CAD SYSTÉMU PDS TAILORXQ
95	Klára MASNICOVÁ	VLIV MATERIÁLU NA FILTRAČNÍ A SEPARAČNÍ VLASTNOSTI NANOVLÁKENNÝCH MEMBRÁN
105	Jana MOLČÁNYOVÁ	HODNOCENÍ TEPELNĚ IZOLAČNÍCH VLASTNOSTÍ CYKLISTICKÝCH DRESŮ
115	Anna NOVOTNÁ	LAMINOVANÉ NANOVLÁKENNÉ VRSTVY PRO FILTRACI VZDUCHU
125	Radim PLUCHA	NANOVLÁKENNÝ IMPLANTÁT PRO LÉČBU GLAUKOMOVÉHO ONEMOCNĚNÍ
135	Ivan ULMAN	KOMBINACE ZNÁMÝCH VLÁKENNÝCH TECHNIK PRO VYTVOŘENÍ VHODNÉHO NOSNÉHO MATERIÁLU PRO SORBENTY
145	Matouš VÁPENÍK	NÁVRH NOVÉHO BEZPEČNOSTNÍHO SYSTÉMU PRO MOTORKÁŘE

Metodika tvorby střihu dámské seamless podprsenky v prostředí CAD systému PDS TailorXQ.

Krejčová Martina

Sekce – TEXTIL

Fakulta textilní, 3. ročník

Bakalářský studijní program – VÝROBA ODĚVŮ A MANAGEMENT V OBCHODU
S ODĚVY

Abstrakt

Obsahem bakalářské práce je tvorba konstrukčního algoritmu pro dámskou bezešvou podprsenku do prostředí CAD systému PDS TailorXQ.

Experiment se zabývá vývojem a hodnocením konstrukčního algoritmu košíčkové části podprsenky, který je implementován do prostředí CAD systému PDS TailorXQ. Důraz se klade na geometrický popis tvaru střihového bloku košíčkové části podprsenky. Je vytvořen postup na vložení geometrického popisu košíčkové části podprsenky do CAD systému PDS TailorXQ pomocí grafického zobrazení predikčních rovnic.

Výsledkem této práce je konstrukční algoritmus pro bezešvou podprsenku stupňující se dle pravidel zvoleného velikostního sortimentu v CAD systému PDS TailorXQ.

Klíčová slova: bezešvá podprsenka, CAD systém PDS TailorXQ, konstrukční algoritmus, košíčková část podprsenky

1 Konstrukce seamless dámského prádla v prostředí CAD systému PDS TailorXQ

Cílem práce je vytvořit metodiku pro tvarotvorné řešení sportovní podprsenky vyrobené bezešvou technologií v CAD systému PDS TailorXQ. Zaměřuje se na grafické zobrazení prsní oblasti definované popisem matematických vztahů.

1.2 Statistické zpracování experimentálních dat

Pro účely této práce proběhlo v roce 2018 měření dívek a žen v Libereckém kraji dle normy ČSN 80 0090. Data byla naměřena za cílem nalézt nejlepší vztahy mezi 12-ti tělesnými rozměry pro tvorbu bezešvé podprsenky. Měřena byla jedna kategorie:

- 40 žen ve věku od 18-29 let.

Data byla dále statisticky zpracována ve zkušební verzi softwaru NCSS 12 Data Analysis NCSS software. Vytvořená korelační matice viz obr. 1 nám nejlépe pomáhá nalézt vztahy mezi dvěma tělesnými rozměry, které ovlivňují tvar střihové konstrukce podprsenky. Matice je rozdělena barevně pro lepší orientaci. Kde červená značí nejvyšší vzájemný lineární vztah. Naopak zelená označuje nejnižší lineární vztah.

TR	T14	T16	T17	T34	T35	T35a	T36	T39	T40	T46	T46a	T46b
T14	1	0,9712	0,9349	0,3646	0,7138	0,7467	0,6228	0,0129	0,0299	0,5563	0,7415	0,7973
T16	0,9712	1	0,9503	0,3084	0,7374	0,8159	0,6785	-0,0416	0,0510	0,5353	0,7613	0,8430
T17	0,9349	0,9503	1	0,3732	0,7211	0,7352	0,6541	-0,0788	0,1005	0,5210	0,6402	0,7517
T34	0,3646	0,3084	0,3732	1	0,5622	0,3149	0,3004	0,0241	-0,0342	0,1230	0,0892	0,1659
T35	0,7138	0,7374	0,7211	0,5622	1	0,7859	0,6148	-0,0289	0,1317	0,4127	0,5401	0,6355
T35a	0,7467	0,8159	0,7352	0,3149	0,7859	1	0,7345	-0,0862	0,1035	0,3219	0,6115	0,7509
T36	0,6228	0,6785	0,6541	0,3004	0,6148	0,7345	1	-0,2371	0,2972	0,1319	0,3403	0,6173
T39	0,0129	-0,0416	-0,0788	0,0241	-0,0289	-0,0862	-0,2371	1	0,1370	0,1071	0,0654	0,1914
T40	0,0299	0,0510	0,1005	-0,0342	0,1317	0,1035	0,2972	0,1370	1	-0,1164	-0,1338	0,0791
T46	0,5563	0,5353	0,5210	0,1230	0,4127	0,3219	0,1319	0,1071	-0,1164	1	0,8297	0,5485
T46a	0,7415	0,7613	0,6402	0,0892	0,5401	0,6115	0,3403	0,0654	-0,1338	0,8297	1	0,7513
T46b	0,7973	0,8430	0,7517	0,1659	0,6355	0,7509	0,6173	0,1914	0,0791	0,5485	0,7513	1

Obr. 1 Korelační matice

U korelační matice je důležité si povšimnout, že nejvyšší korelační koeficient dvojic tělesných rozměrů se objevuje mezi naměřenými obvody (T14,T16,T17). Dále pak mezi meziprstními šířkami (T46 a T46a).

Naměřené tělesné rozměry 40 probandek byly dále zpracovány. Ke každé probandce byla přiřazena odpovídající velikost podprsenky podle tělesným rozměrů T16 a T17, dle normy ČSN EN 13402-3. Roztříděním velikostí podprsenek všech probandek lze vytvořit schéma zobrazené na obr. 2 odhalující relativní a absolutní četnost dané velikosti z naměřeného souboru dat. V každém políčku schématu jsou uvedené dvě hodnoty (z celkového počtu 40 probandek):

- v prvním řádku absolutní četnost;
- v druhém řádku relativní četnost.

Košíček	Rozdíl T16-T17 [cm]	Velikost podle podprsního obvodu hrudníku T17														Absolutní četnost [-]	Relativní četnost [%]
		60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125		
AAAA	6 - 7,9	0	0	0	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	7,5
		0	0	0	2,5	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
AAA	8 - 9,9	0	0	1	0	0	0	2	1	0	0	0	0	0	0	4	10
		0	0	2,5	0	0	0	5	2,5	0	0	0	0	0	0		
AA	10 - 11,9	0	0	0	2	2	1	4	0	0	0	0	0	0	0	9	22,5
		0	0	0	5	5	2,5	10	0	0	0	0	0	0	0		
A	12 - 13,9	0	0	1	4	5	2	0	1	0	0	0	0	0	0	12	32,5
		0	0	2,5	10	12,5	5	0	2,5	0	0	0	0	0	0		
B	14 - 15,9	0	0	0	3	1	2	2	0	1	0	0	0	0	0	10	22,5
		0	0	0	7,5	2,5	5	5	0	2,5	0	0	0	0	0		
C	16 - 17,9	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	5
		0	0	2,5	0	2,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
D	18 - 19,9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
E	20 - 21,9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
F	22 - 23,9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
G	24 - 25,9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
H	26 - 27,9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Celkem																40	100

Obr. 2 Absolutní a relativní četnosti velikostí podprsenek naměřených probandek

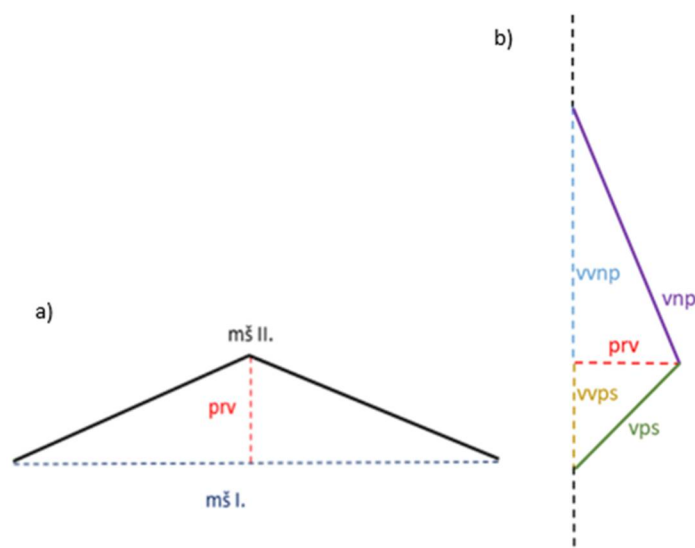
Výsledky z obr. 2 jsou následující:

- nad 2,5 % (zvýrazněno hnědou barvou) je 75 % v jedenácti velikostních skupinách;
- pod 2,5 % (zvýrazněno žlutou barvou) je 25 % v deseti velikostních skupinách.

1.2 Geometrický popis konstrukčních parametrů košíčkové části podprsenky

Pro konstrukci bezešvé podprsenky jsou důležité vnitřní rozměry prsu, vycházející z půdorysu a bokorysu prsu viz obr. 3. Vnitřní rozměry jsou bez prsní vystouplosti. Prsní vystouplost bude dále vypletena pomocí správně zvoleného pletacího vzoru. V CAD systému PDS TailorXQ jsou všechny tělesné rozměry povrchové, měřené přes prsní vystouplost. Lze je dále použít ke konstrukci klasické podprsenky, která ke tvarování košíčku využívá odševky, ale nikoliv ke konstrukci bezešvé podprsenky. Proto byl vytvořen postup pro zjištění hledaných vnitřních rozměrů prsa. Celý výpočet je založen na předpokladu zanedbání křivek prsa a uvažování v přímých liniích. Všechny potřebné tělesné rozměry jsou:

- výška prsu (vps),
- vnitřní výška prsu (vvps),
- výška nadprsní (vnp),
- vnitřní nadprsní výška (vvnp),
- meziprsní šířka I. (mš I.),
- meziprsní šířka II. (mš II.),
- prsní vystouplost (prv).



Obr. 3 Důležité tělesné rozměry a) půdorys prsa, b) bokorys prsa

1.3 Výpočet chybějících tělesných rozměrů

CAD systém PDS TailorXQ neobsahuje všechny potřebné tělesné rozměry k tvorbě geometrického popisu konstrukčních parametrů košíčkové části podprsenky. Z přechozího textu vyplývá, že ke zjištění hledaných tělesných rozměrů je třeba znát:

- výšku prsu (vps),
- výšku nadprsní. (vnp),
- meziprsní šířku I. (mš I.),
- meziprsní šířku II. (mš II.).

Všechny tyto tělesné rozměry dokážeme pomocí tělesných rozměrů T16 a T17 a predikčních rovnic nalézt. Predikční rovnice jsou použity z literatury [1]. Možnost uplatnění predikčních rovnic je ověřována na vybrané nejčtenější skupině, tedy 80A, obsahující

5 probandek. Toto tvrzení potvrzují výsledky z literatury [1]. Kde po změření 602 českých žen ve věku od 18 do 60 let (ve třech věkových kategoriích: 18-29 let; 30-44 let; 45-60 let) provedený v letech 2006-09 [1] byl učiněn stejný závěr, že nejčtenější skupina je 80A. Interval spolehlivosti využívá rozdíl mezi průměry zkoumaných souborů dat. V tomto případě všechny zjištěné rozdíly mezi průměry splňují 95% interval spolehlivosti, viz tab. 1. Predikční rovnice je možno použít na zvolené tělesné rozměry.

Tab. 1 Ověření predikčních rovnic 95% intervalem spolehlivosti

Tělesný rozměr	Průměr [cm]	Predikovaný průměr [cm]	Rozdíl [cm]	95% IS [-]
Vps	7,5	7,8	0,3	0,4
Vnp	9,6	10	0,4	0,5
mš I.	19,6	18,8	0,8	1
mš II.	22,1	22,7	0,4	1,1

1.4 Grafické vyjádření predikční rovnice

Pomocí predikčních rovnic dokážeme dopočítat chybějící tělesné rozměry. Dopočítané tělesné rozměry nelze jen tak jednoduše vložit do systému, aby se automaticky stupňovaly. Lze je ale zanést do systému pomocí grafického vyjádření. Takto vložený rozměr se bude automaticky stupňovat dle zvoleného velikostního sortimentu.

Postup grafického vyjádření predikční rovnice je následovný:

1. výběr predikční rovnice;

$$T46a) = -2,5782 (\pm 0,7203) + 0,4327 (\pm 0,0220) T16 - 0,1913 (\pm 0,0237) T17$$

[1]

Kde:

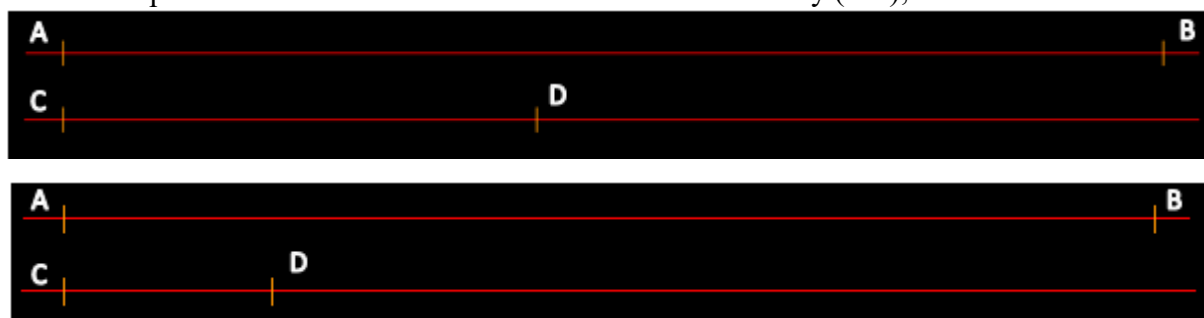
$$0 - P1 = -2,5782 \text{ cm}$$

$$P1 - P2 = +0,4327 * T16$$

$$P2 - P3 = -0,1913 * T17$$

2. nalezení hodnot násobkem tělesných rozměrů T16 a T17;

- původní délka tělesného rozměru (AB);
- procentuální změna vlivem násobením dané hodnoty (CD);



3. vytvoření základní osy X a Y, kde levá strana je záporná a pravá kladná;



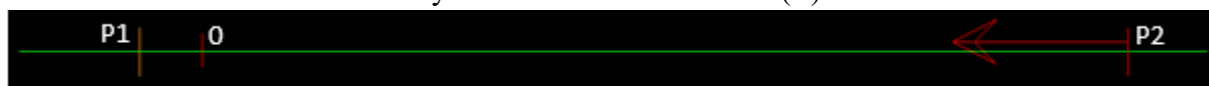
4. nanesení první hodnoty (P) z predikční rovnice (-2,5782);



5. nanesení nalezeného rozměru z tělesné rozměru T16 (S);



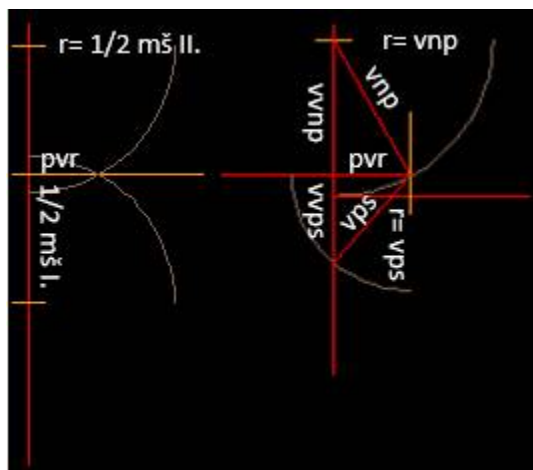
6. nanesení nalezené hodnoty z tělesného rozměru T17 (Z).



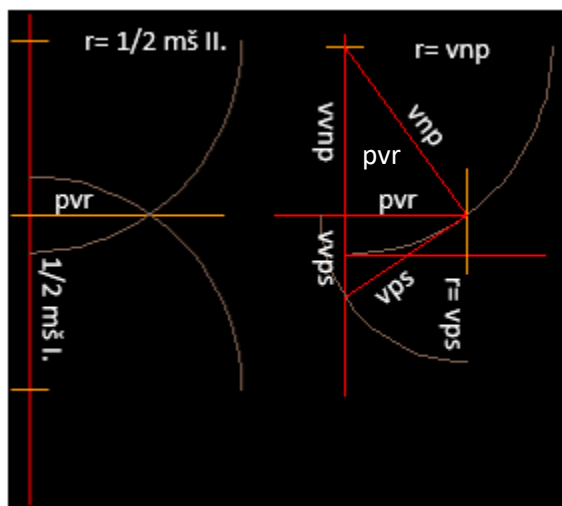
Přenesení vzniklého rozměru z bodu 0 vzniklého z osy XY a poslední graficky znázorněné hodnoty (P3) vytváří požadovaný tělesný rozměr. Při nanášení hodnot je důležité respektovat matematická znaménka, která určují směr nanášení. Všechny hodnoty z predikční rovnice jsou zaokrouhlovány, což umožňují i uvedené odchylky. Absolutní člen je zadáván v programu v milimetrech a regresní koeficienty jsou zadávány ve formě procent.

1.5 Implementace geometrického popisu konstrukčních parametrů košíčkové části podprsenky do CAD systému PDS TailorXQ

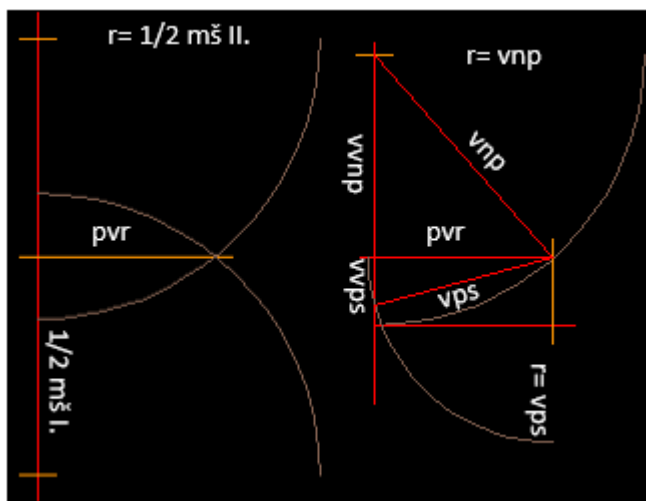
Vložíme-li do systému pomocí grafického vyjádření predikční rovnice chybějící tělesné rozměry a uplatníme je do geometrického popisu, vzniknou následující výsledky:



Obr. 4 Nejmenší velikost 70AA (mš I. a mš II.)



Obr. 5 Střední velikost 85B (mš I. a mš II.)



Obr. 6 Největší velikost 110D (mš I. a mš II.)

Implementování geometrického popisu košíčkové části podprsenky vychází ve všech velikostech a reaguje na změnu velikosti ve zvoleném velikostním sortimentu. Lze tedy tvrdit, že všechny takto vytvořené tělesné rozměry se budou v systému stupňovat a můžeme je dále uplatnit ve výsledném konstrukčním algoritmu.

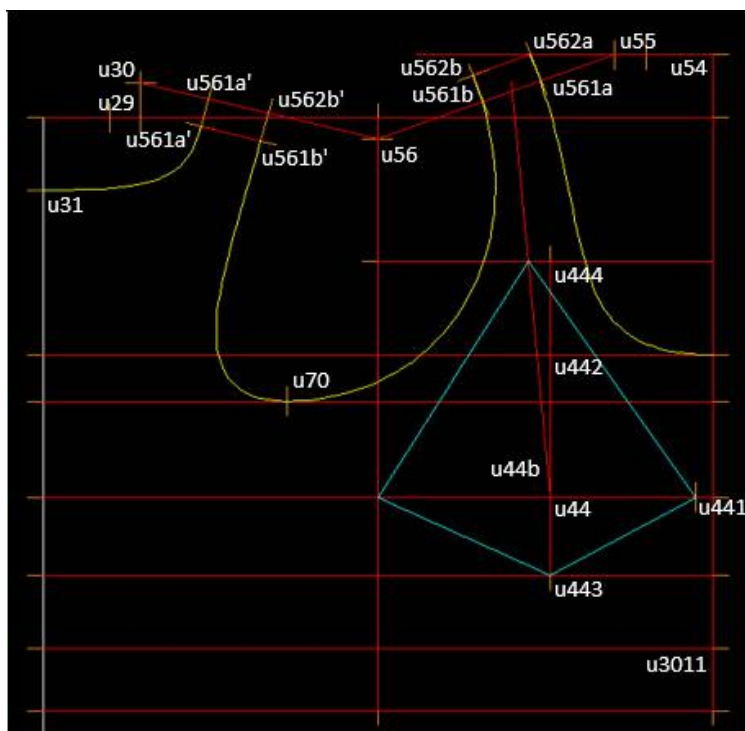
1.6 Konstrukční algoritmus pro tvorbu stříhu bezešvé podprsenky

Ve vytvořeném konstrukčním algoritmu jsou dvě linie, které nejsou popsány. V programu se vytvoří automaticky, a to nanesením prvního bodu (zadní krční bod), z něhož vychází celá konstrukce. Tyto dvě linie jsou při orientaci na lidském těle označovány jako:

- u1 – zadní středová přímka,
- u11 – krční přímka.

Tab. 2 Konstrukční algoritmus pro bezešvou podprsenku

č.	Označení	Význam proměnné	Vzorec výpočtu	Výchozí linie/bod
1.	u2	Umístění hrudní přímky	$(zhp)*Ed$	u1 x u11
2.	u3	Umístění pasové přímky	$(dz)*Ed$	u1 x u11
3.	u302	Umístění prsní přímky	$vvpr*Eh$	u1 x u3
4.	u301	Umístění podprsní přímky	$vvps*Eh$	u1 x u302
5.	u303	Umístění nadprsní přímky	$vvnp*Eh$	u1 x u302
6.	u6	Hrudní šířka celková	$(0.5*poh+a6)*Eh$	u1 x u301
7.	u601	Polovina hrudní šířky	$0.5*u6+a601$	u1 x u301
8.	u44	Umístění prsního bodu	$(0,5*mš\ l.)*Eh$	u302 x u6
9.	u441	Odsazení prsního koše	$(0.05*mš\ l.)*Eh$	u302 x u6
10.	u442	Umístění nadprsního bodu	$vvnp*Eh$	u44
11.	u443	Umístění podprsního bodu	$vvps*Eh$	u44
12.	u444	Prodloužení košíčku	$(0,312*(u601,u44\ 1))*Ed$	u442
13.	u44b	Odklon prsní přímky	5 stupňů do leva	u44
14.	u54	Zvýšení předního dílu	$(0.05*poh)*Eh$	u6 x u11
15.	u55	Šířka průkrčníku předního dílu	$((0.05*poh)*Ed$	u54 x u6
16.	u56	Sklon náramenice	1.5cm	u601 x u11
17.	u561a/ u561b	Šířka ramínka	2cm,2cm	u56 x u44b
18.	u562a/ u562b	Zvýšení ramínka	Střet dvou úseček, přenesení daného rozměru (u55 x u561a)	u561a
19.	u3011	Výška sedla pod prsy	5cm	u6 x u301
20.	u29	Šířka průkrčníku ZD	$((0.05*poh)+2)*Eh$	u11 x u1
21.	u30	Výška průkrčníku ZD	2.4cm	u29 x u11
22.	u70	Bod pro tvarování průramku	Přenesení rozměru	u11 x u56b
23.	u561a'/ u561b'/ u562a'/ u562b'	Přenesení rozměrů ramínka z PD	Funkce: Vypočtená - string	u56b
24.	u31	Snížení průkrčníku zadního dílu	5cm	u1 x u11



Obr. 7 Výsledná konstrukce bezešvé podprsenky

Výsledný konstrukční algoritmus splňuje všechny předešlé požadavky. Žluté a modré linie lze tvarovat dle představ uživatele.

2 Závěr

Cílem bakalářské práce je tvorba konstrukčního algoritmu střihu bezešvé podprsenky do prostředí CAD systému PDS TailorXQ. Práce se soustředí na definici košíčkové části podprsenky.

Práce využívá výsledky z měření 40 žen v jedné věkové kategorii, naměřená data jsou statisticky zpracována za cílem zjistit vzájemný vztah mezi všemi měřenými tělesnými rozměry, které ovlivňují tvar střihové konstrukce podprsenky. Je vytvořen geometrický popis konstrukčních parametrů košíčkové části podprsenky. CAD systém PDS TailorXQ neobsahuje některé požadované tělesné rozměry z geometrického popisu, pomocí predikčních rovnic a jejich následným grafickým zobrazením je ale lze nalézt a uplatnit do systému.

Prvním krokem při tvorbě nové konstrukce v prostředí v CAD systému PDS TailorXQ je zvolení správné koeficientové normy a velikostního sortimentu. Následně jsou tělesné rozměry z geometrického popisu košíčkové části podprsenky implementovány pomocí grafického zobrazení predikčních rovnic do systému. Je ověřena jejich funkčnost a jsou uplatněny ve výsledném konstrukčním algoritmu.

Vytvořený konstrukční algoritmus respektuje zásady konstruování v CAD systému PDS TailorXQ. Využívá poznatky popisovaných konstrukčních metodik z řešeršní části. Lze jej použít, jak ve zvolené velikostní řadě, tak i při individuální výrobě.

Doporučila bych navázat na tuto bakalářskou práci měření mechanických vlastností pleteniny s cílem uplatnit je do výsledného konstrukčního algoritmu. V oblasti podprsenek lze uvažovat o dalším pokroku v konstrukci ramínek. Nabízejí se zde zkoušky různých odklonů v zastoupení rozmanitých somatotypů probandek.

Použitá literatura

- [1] MUSILOVÁ, Blažena. Predikce konstrukčních parametrů střihů korzetových výrobků. Liberec, 2012. Dizertační práce. Technická univerzita v Liberci. Fakulta textilní.

Vliv materiálu na filtrační a separační vlastnosti nanovláknenných membrán

Masnicová Klára

Sekce - TEXTIL,

Fakulta textilní, 2. ročník

Magisterský studijní program – TEXTILNÍ INŽENÝRSTVÍ

Abstrakt: Předmětem diplomové práce je vývoj polyakrylonitrilových (PAN) nanovláknenných membrán vhodných k použití v separaci aktivovaného kalu v čistírenském procesu. V rešeršní části jsou uvedeny teoretické základy filtrace a čištění odpadních vod. Teoretická část uvádí testovací metody a základní materiálové informace nutné k porozumění samotného experimentu. Experimentální část popisuje výrobu membrán a jejich testování. Je sledován vliv teploty lisování nanovláken, vliv plošné hmotnosti nanovláknenných vrstev a také typ povrchové úpravy, a to polyvinylidenfluoridem (PVDF) ve formě zátěru a nanovláknenné vrstvy. Hodnoceny jsou filtrační a mechanické vlastnosti membrán: efektivita filtrace a ustálená intenzita toku, velikost póru, povrchové napětí, prodyšnost a pevnost.

Klíčová slova: Membránová filtrace, nanovláknenné membrány, polyakrylonitril (PAN), odpadní voda, polyvinylidenfluorid (PVDF), membránové bioreaktory

1 Úvod

Se stále zvyšující se spotřebou vody, vzrůstajícími nároky na její kvalitu a postupným ubýváním vodních zdrojů je kladen větší důraz na zefektivnění filtrace již použitých vod. Čistírenské procesy jsou ve většině čistírnách odpadních vod (dále ČOV) založeny na mechanicko-biologické technologii, která operuje s aktivovaným kalem, tedy s mikrobiální kulturou, jejímž substrátem je právě znečištění. Využívání dosazovacích nádrží jako konečné technologie v čistírenském procesu se ukazuje jako nedostačující, proto je v této oblasti stále na vzestupu membránová filtrace [1,2].

Membrány využívané v ČOV fungují na úrovni mikrofiltrace, kdy separují částice o velikosti 0,5-10 mikronů. Toto rozmezí bezpečně zachytí právě mikrobiální organismy aktivovaného kalu, které se z běžného čistírenského procesu bez membránové technologie dostávají v relativně velkém množství do vodních toků. Přítomnost mikroorganismů v přečištěné vodě z konvenční čistírny brání okamžitému zpětnému využití vody, čímž se stává čistírenský proces neefektivní a drahý. Membránová filtrace proto nabízí zajímavá řešení hlavně v oblastech s nedostatkem vodních zdrojů či omezenou plochou pro ČOV.

Mikrofiltrační membrány pro membránové bioreaktory (MBR) jsou semipermeabilní materiály buď na polymerní nebo anorganické bázi. Materiály dominující trhu jsou PET, deriváty PE, PVDF a keramika [2]. Nejdiskutovanějším tématem v membránové filtraci je životnost membrán a s ní spojená mechanická a chemická odolnost. Proto je snaha hledat nové materiály a podmínky výroby s cílem současného udržení vysoké průtočnosti a efektivity membrán.

Předmětem této práce je vývoj nanovláknenné membrány z polyakrylonitrilu (PAN), která bude svými parametry optimálním materiálem pro některé aplikace membránové filtrace (MBR). Vyvíjená membrána je složena ze tří materiálů, a to z lisované nanovláknenné vrstvy, adhesiva a podkladové textilie. V řešení experimentu je dále studován vliv povrchové úpravy PAN membrány polymerním zátěrem PVDF nebo nanovláknennou vrstvou PVDF.

2 Materiály a metody

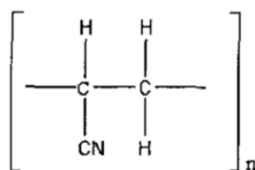
V této kapitole nejsou uvedeny všechny použité metody a testovací zařízení, ale pouze ty, které nejsou v praxi zcela běžné a nebo které byly zkonstruovány pracovníky CXI pro účely standardizovaného měření.

2.1 Nanovlákna

Ve filtračních aplikacích jsou nanovláknenné materiály velice zajímavou alternativou pro svůj velký měrný povrch, nízké velikosti pórů a vysokou propustnost za použití malého množství materiálu.[4, 5] Porozita nanovláknenných vrstev se pohybuje v rozsahu 70 -80 %. Velikost průměrných průtočných pórů může být v rozsahu 0,1 – 10 μm .

2.2 Polyakrylonitril (PAN)

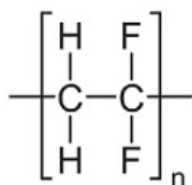
Polyakrylonitril patří do skupiny akrylových polymerů, které mají rozsáhlé využití od nátěrů přes vstřikované plasty až po textilní vlákna. PAN je syntetický semikrystalický polymer s lineární strukturou makromolekul, který degraduje před roztavením. Jeho základní stavební jednotka je zobrazena v obrázku 1. Vyrábí se roztokovou polymerací z akrylonitrilu. Polymer je rozpustný v polárních rozpouštědlech, mezi nejběžnější patří dimethylformamid. Polyakrylonitril je pevný a vykazuje vysoké odolnosti vůči povětrnostním vlivům a mikroorganismům. V textilním průmyslu je nejčastěji používán jako vlákno nahrazující vlnu v pleteninách, a jako prekurzor pro výrobu uhlíkových vláken. Polyakrylonitril se rozkládá zhruba při 350°C, teplota skelného přechodu se pohybuje kolem 95°C a hustota kolem 1.18 $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ [6].



Obrázek 1: Molekulární struktura polyakrylonitrilu.[7]

2.3 Polyvinylidenfluorid (PVDF)

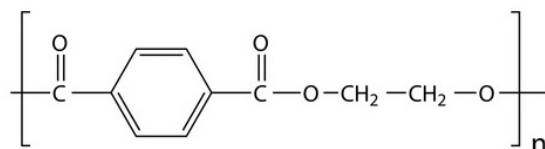
Polyvinylidenfluorid je semikrystalický termoplastický fluorovaný polymer, mezi jehož hlavní přednosti patří chemická i termická stabilita, piezoelektrické vlastnosti, vysoká pevnost a dobrá zpracovatelnost. Využití nalézá v separátorech baterií, vstřikování plastů, membránových aplikacích, elektronice či v leteckém průmyslu. Syntéza PVDF probíhá volnou radikálovou polymerizací difluorethylenu, v obrázku 2 je uveden strukturní vzorec jeho základní stavební jednotky. Hustota polyvinylidenfluoridu se pohybuje v rozmezí 1.7 - 1.8 $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$, teplota skelného přechodu -42 - -25 °C a teplota tání kolem 178 °C [8].



Obrázek 21: Molekulární struktura polyvinylidenfluoridu.[8]

2.4 Polyethylentereftalát (PET)

Polyethylentereftalát je termoplastický semikrystalický polymer syntetizovaný polykondenzací kyseliny tereftalové a ethylenglykolu. Díky benzenovému jádru v hlavním řetězci vykazuje vyšší pevnost i chemickou stálost, nežli polyamid. V obrázku 3 je uvedena jeho základní strukturní jendotka. Odolává velice dobře slabým kyselinám, tukům, slabým alkáliím a alifatickým uhlohydrátům. PET není navlhavý a nebobtná. PET textilie jsou pevné, rozměrově stálé a odolné proti protržení[6, 9].



Obrázek 3: Molekulární struktura polyethylentereftalátu.[9]

2.5 Spunbond

Technologie Spunbond se řadí do výroby netkaných textilií přímo z polymeru. Patří k nejrozšířenějším a nejefektivnějším způsobům výroby NT. Typickými parametry spunbond textilií jsou plošná hmotnost v rozmezí 10 - 800 g.m⁻² a jemnost vláken 0,8-50 dtex. Spunbond NT mohou být vysoce pevné, propustné, ohebné a odolné v oděru – míra výše uvedených vlastností přímo závisí na stupni dloužení vláken a způsobu zpevnění vláknenné vrstvy [10].

Pro potřeby této práce byly použity dva typy textilie spunbond:

- **Podkladová textilie.** Pro tento účel splňovala textilie typu spunbond základní požadavek na vysokou pevnost, relativně nízkou tažnost a vysokou intenzitu toku.
- **Pojivá vrstva.** Pro tento účel je podstatné vytvořit vhodnou strukturu termického pojiva, které je uchyceno mezi vlákna podkladové vrstvy, zároveň pronikne vrstvou nanovláken a příliš ji nezalepí.

2.6 Měření Velikosti póru

Velikost póru byla pro potřeby experimentu měřena bublinkovou metodou na přístroji MACROPULOS 55 zkonstruovaném Jakubem Hružou. [11, 12]. Tento přístroj je v souladu s normou ASTM F316-A3. Lze na něm určit velikosti póru v rozmezí 0,3 - 200 μm na vzorcích o ploše 19,2 cm². Přístroj operuje v rozmezí tlaků 0-0,6 MPa. Kromě velikosti póru lze měřit koeficient prodyšnosti, který slouží k odhadu průtočnosti membrán [11]. Procnipem této metody je odečítání tlaku potřebného k vytlačení kapaliny smáčející testovaný vzorek. Smáčecí síla je dána povrchovým napětím kapaliny působící po obvodu póru a síla působící proti smáčecí je síla daná vnějším tlakem vytěsňujícím kapalinu z póru. Z rovnováhy těchto sil lze vypočítat velikost póru.

2.7 Měření pevnosti

Pevnostní charakteristikou filtračních membrán není standartní tahová křivka. Zde je nutné testovat vzorek v podmínkách simulujících reálnou aplikaci průtoku kapaliny vzorkem. Při samotné filtraci se membrána opírá podkladovou vrstvou o podpěrnou desku. Při zpětném proplachu však není ničím držena a její stabilita závisí na pevnosti nanovláknenné vrstvy

a adhezního spoje k podkladové textilii. K účelu měření pevnosti membrán byl sestrojen přístroj WPT15. Vzorek je upnutý do uzavřeného okruhu potrubí bez podkladové mřížky tak, že kapalina proudí pod zvyšujícím se tlakem působícím v opačném směru, než při běžném filtračním procesu, tedy ve směru proplachu. Kapalina tak působí na samotnou membránu, kterou nepodpírá ani pomocná mřížka či vlastní podpůrná textilie. Výstupem testu je tlak při protržení membrány [12]. Tlak zpětného proplachu v praxi se pohybuje nejčastěji v rozmezí 50-70 kPa.

2.8 Simulace filtračního procesu

Přístroj LSD119 slouží k ověření filtračních vlastností membrán. Zařízení je konstruováno tak, že na něm lze simulovat běžný membránový filtrační proces pro široké spektrum znečištěných vod. Ve filtračním modulu jsou umístěny dvě membrány funkční stranou proti sobě. Pro zajištění průběžného čištění membrán je připojeno vzduchovací zařízení, generující vzduchové bublinky, které průchodem po povrchu membrán strhávají nečistoty filtračního koláče. Výstupem zařízení je časový průběh průtoku membrán a efektivita záchytu modelových částic či bakterií. Efektivita je ale měřena na externím zařízení, turbidimetru, či v externí biologické laboratoři [12].

2.9 Výroba vzorků

Na základě pretestu velikosti pórů škály nanovlákných vrstev PAN o různých plošných hmotnostech byly stanoveny dvě výchozí nanovlákné vrstvy pro vlastní experiment. Byly to PAN membrány o plošné hmotnosti 2 a 3 g.m⁻². V experimentu byl sledován vliv lisovací teploty nanovlákných vrstev, které se před samotnou laminací samostatně lisovali při 120, 130 a 140°C. Laminací podmínky byly pro všechny vzorky stejné. Zkoumaný laminát sestává z nanovlákné vrstvy dané plošné hmotnosti lisované při dané teplotě, termoplastického adheziva a podkladové textilie.

Materiál, který byl v první části experimentu vyhodnocen jako optimální k další práci, byl povrchově upraven PVDF. Povrchová úprava měla přinést nižší adhezi nečistot, vyšší pevnost a z toho vyplývající delší životnost. PVDF bylo naneseno ve formě zátěru na PAN lisovaný při 120 °C o plošné hmotnosti 3 g.m⁻². Druhým typem úpravy byla PVDF nanovlákná ve formě 1 gramové pavučiny lisovaná společně s PAN při 120°C.

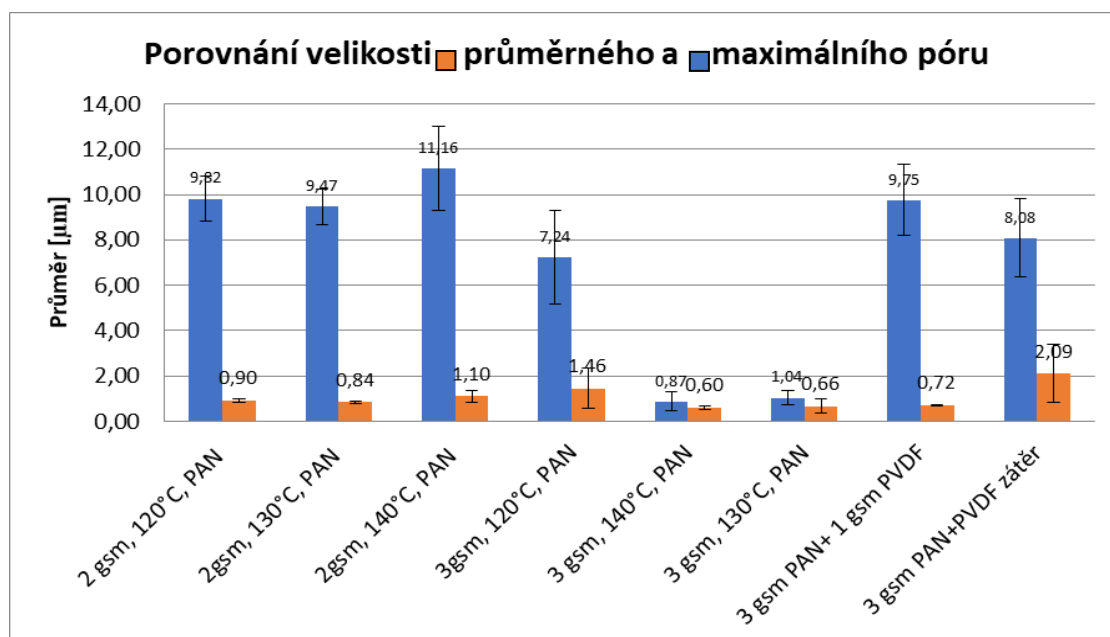
3 Výsledky a diskuse

3.1 Velikost pórů

V grafu 1 jsou uvedeny výsledky velikosti průměrného a maximálního póru všech sledovaných materiálů. Každý sloupec v grafu představuje průměrnou hodnotu tří měření.

Velikost póru vzorků o plošné hmotnosti 2 gsm není zjevně ovlivněna teplotou. U vzorků 3 gsm ale klesající trend existuje. Materiály 3 gramových vzorků lisovaných při 130° a 140°C vykazují značnou uniformitu v distribuci velikosti póru. Nejužší distribuce a zároveň nejmenší průměrný pór byl naměřen u vzorků 3 gsm lisovaných při 140°C. Vzorek lisovaný při 120°C ukazuje na širší distribuci, přesto je s tímto materiálem nadále v experimentu pracováno.

Vzorky s plošnou hmotností 2 gsm mají všechny nezávisle na teplotě lisování širokou distribuci velikosti pórů a na základě tohoto měření byly pro následný sěžejní experiment simulace filtračních vlastností vyloučeny.

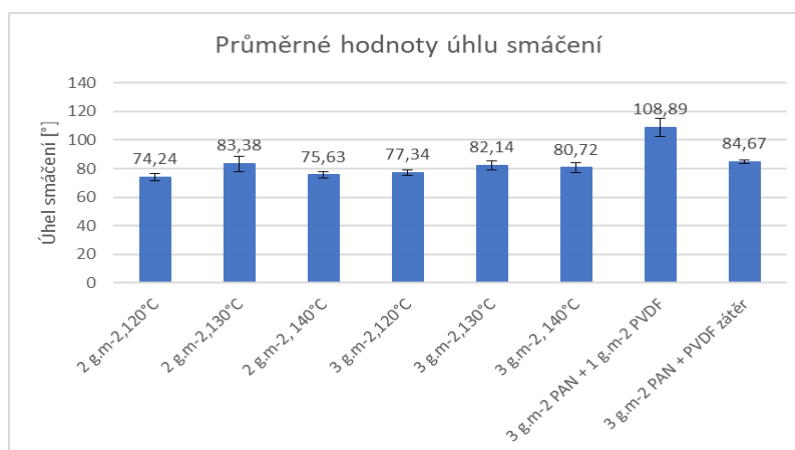


Graf 1: Velikost maximálního a průměrného póru.

Hodnoty maximálních pórů obou povrchově upravených materiálů přesahují 8 micronů. Naopak hodnota průměrného póru laminovaného vzorku z PVDF nanovláken je velmi nízká. Ve srovnání s původním materiálem 3gsm, PAN 120°C, je velikost průměrného póru zhruba poloviční. Chybové úsečky a vyšší hodnoty velikostí pórů materiálu s PVDF zátěrem ukazují na poškození materiálu.

3.2 Kontaktní úhel smáčení

Výsledky měření kontaktního úhlu jsou uvedeny v grafu 2, který zahrnuje všechny zkoumané materiály včetně 2 gramových vzorků a vzorků s PVDF povrchovou úpravou.. Pokud by měly být výsledky děleny dle 90° kritéria, vybočuje pak pouze jeden materiál, a to vzorek s laminovanou 1 gramovou vrstvou PVDF. Z hlediska afinity k vodě patří PVDF do skupiny hydrofobních polymerů a výsledek laminovaného vzorku tomu odpovídá. Vzorek upravený PVDF zátěrem ale svým kontaktním úhlem smáčení spadá do hydrofilní kategorie. Rozdíl ve výsledcích dvou PVDF vzorků může být způsoben povrchem zátěru, jehož mikrostruktura se od vlákně liší a může ovlivnit tvar přisedlé kapky.



Graf 2: Průměrné hodnoty úhlu smáčení všech materiálů.

3.3 Simulace filtračního procesu

Optimální poměr sledovaných parametrů byl pozorován u membrány, jejíž funkční nanovlákněná vrstva byla lisována při teplotě 120°C. Tato membrána vykazuje stabilní míru účinnosti filtrace 96% při intenzitě toku ustálené na 0,36 l.min⁻¹.m⁻². Jak se ukázalo, membrány lisované při vyšších teplotách (130° a 140°C) nedosahovaly jednak přijatelné míry průtoku, a i při nižším průtoku byla jejich efektivita (v grafu 4 níže) stejná či nižší než u membrány lisované při 120°C. Výsledky simulace filtračního procesu jsou uvedeny v tabulce 1.

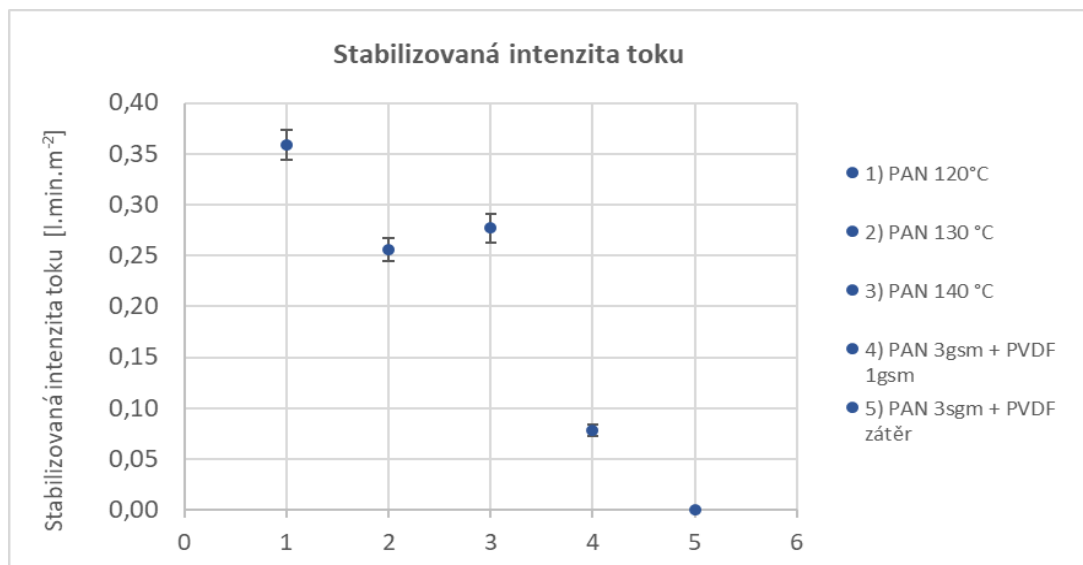
Tabulka 1: Souhrnné výsledky simulace filtračních vlastností PAN membrán a povrchově upravených membrán PAN+PVDF.

Materiál		Tlakový spád [kPa]	Stabilizovaná intenzita toku [l.min ⁻¹ .m ⁻²]		Účinnost [%]	
			Průměr	SD	Průměr	SD
1	PAN 120 °C	11,03	0,36	0,015	96,36	2,85
2	PAN 130 °C	8,54	0,26	0,01	96,35	1,89
3	PAN 140 °C	8,88	0,28	0,01	94,56	4,91
4	PAN + PVDF 1gsm	15,15	0,08	0,01	91,33	6,56
5	PAN + PVDF zátěr	15,20	0,00	0,00	-	-

3.4 Intenzita toku

Simulace filtračních vlastností ukázala, že distribuce velikosti póru není zásadním ukazatelem. Membrány lisované při 120 a 130°C dosahují téměř stejné účinnosti filtrace částic o průměru 0.5μm, nicméně průtok 130°C membrány je velmi slabý. Nejlépe se tedy jeví membrána lisovaná při 120°C a to i přes skutečnost, že její maximální pór má velikost kolem 7 μm. Zde je možné argumentovat tím, že naměřených 7,24 μm (viz graf 1) se vztahuje pouze k několika největším pórům, které se brzy po spuštění filtračního procesu ucpou a následně filtruje již homogenní vlákněná vrstva.

Intenzity toku jsou evidentně ovlivněny teplotou lisování membrán. V grafu 3 lze pozorovat u prvních tří vzorků klesající trend, kde rozdíl mezi lisováním při 130° a 140°C není významný. Tyto dva materiály měly zhruba dvakrát menší velikost průměrného póru, to může být příčinou slabších průtoků, kdy je struktura příliš uzavřená.



Graf 3: Průměr stabilizované intenzity toku s chybovými úsečkami PAN membrán a membrán PAN+PVDF.

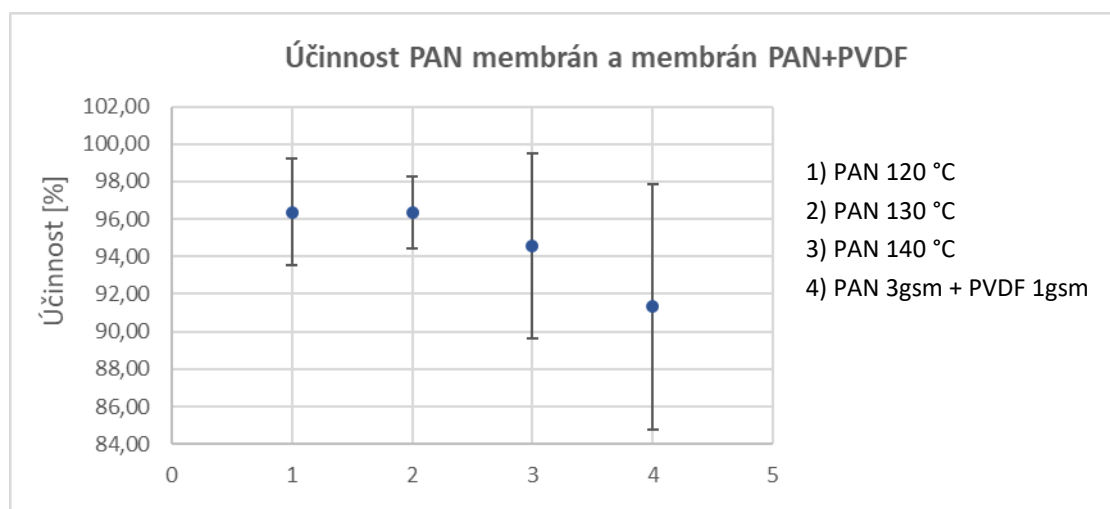
Povrchová úprava PAN membrán vrstvou PVDF nebyla příliš úspěšná. Vzorek s lisovanými nanovláknami PVDF, dosahoval velmi nízké hodnoty průtoku, který se ustálil na $0,08 \text{ l/min/m}^2$. Vzorek upravený PVDF zátěrem i při relativně vysokém transmembránovém tlaku nepropustil žádnou kapalinu (bod 5 v grafu 3).

Z výsledků simulace filtračního procesu vyplývá, že při daných podmínkách filtrace je optimálním materiálem membrána z PAN nanovláken lisovaných při 120°C . Na druhé straně stojí membrány povrchově upravené PVDF, které dosahovaly buďto velmi slabých či nulových průtoků. Tento propad je dán do jisté míry povrchovým napětím polyvinilidenfluoridu, který je hydrofobní. Tento problém lze řešit dvěma cestami: Buď aplikací na silně znečištěné vody s nízkým povrchovým napětím (šedé vody s povrchově aktivními látkami, oplachovacími vodami, apod.), nebo zvýšením tlaku. Je možné, že v případě navýšení transmembránového tlaku by tyto membrány mohly fungovat. Navýšením tlakového spádu ale roste i cena provozních nákladů, proto je otázkou vhodnou k dalšímu řešení, jakou reálnou životnost mají výše sledované membrány.

3.5 Účinnost

Z hodnot zákalu přefiltrované, 100% znečištěné a destilované vody byly vypočteny efektivita, neboli účinnosti jednotlivých filtračních membrán. Tyto hodnoty jsou již uvedeny v tabulce 1 v pravé části a níže jsou pak zobrazeny v grafu 4.

Graf 4 uvádí výsledky jen čtyř materiálů. Jak už plyne z uvedených výsledků intenzity toku, materiál s PVDF zátěrem nepropustil při filtraci žádnou kapalinu. Proto u něj nebylo možné naměřit efektivitu filtrace.

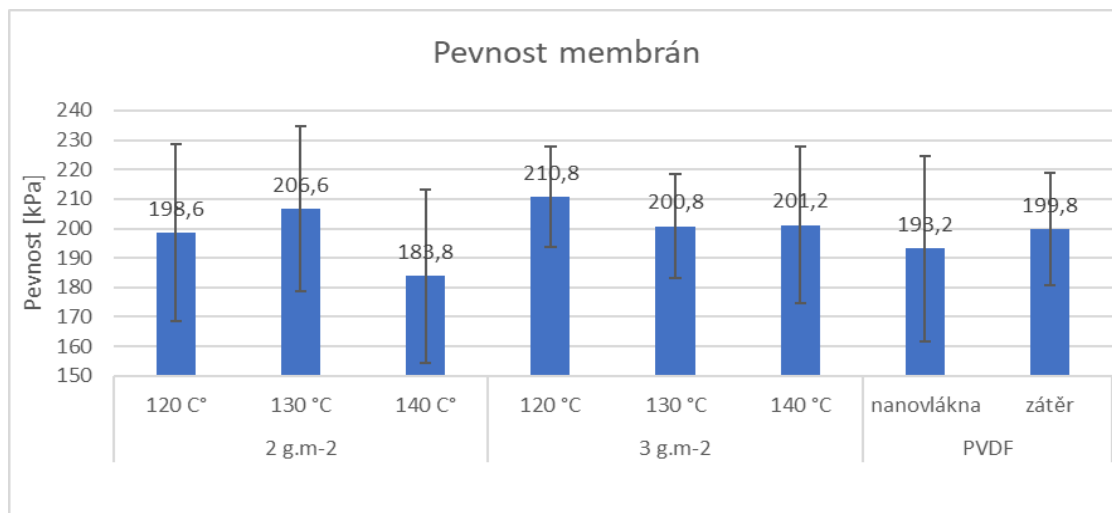


Graf 4: Výsledné efektivita filtračních membrán při simulačním filtračním procesu na LSD119.

Ze statistického hlediska nejsou rozdíly výsledků efektivita filtrace signifikantně odlišné. Z pohledu filtrace ale výsledné hodnoty ve většině případech významné jsou. Pro hodnocení filtrace jsou obvykle důležitější minimální hodnoty, tedy spodní hranice odchylek. PAN membrány (v grafu 4 hodnoty 1 až 3) vykazují kvalitní filtrační vlastnosti. V případě membrány lisované při 140°C je průměrná účinnost filtrace $94,56\%$. Chybové úsečky ale naznačují, že v případě tohoto materiálu jsou naměřená data poměrně rozptýlena a efektivita tudíž v čase kolísá. Průměrná účinnost vzorků lisovaných při 120°C a 130°C je téměř identická, pohybuje se kolem $96,3\%$.

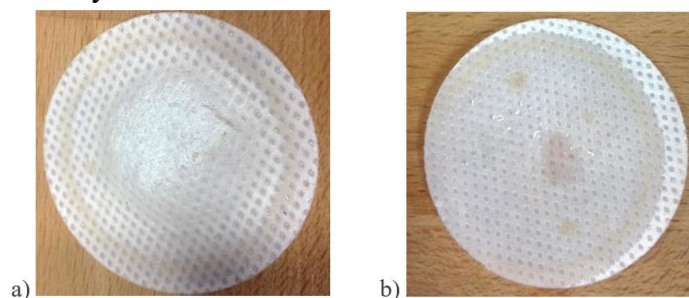
3.6 Pevnost

V grafu 5 jsou uvedeny průměrné hodnoty pěti měření se směrodatnými odchylkami. Všechna naměřená data oscilují kolem hodnoty 200 kPa. Rozdíly hodnot nejsou statisticky významné, nicméně všechny materiály dosahují vysoké pevnosti. Výše tlaku při zpětném proplachu by neměla překročit 100 kPa, spíše se pohybuje níže.



Graf 5: Průměrné hodnoty pevnosti filtračních membrán naměřené na zařízení WTP 15.

V průběhu měření bylo patrné, že u laminátů dochází k odlišným odezvám na tlak vyvinutý kapalinou. U všech vzorků o plošné hmotnosti 2 gsm nastala lokální delaminaci. Membrána se oddělila od podkladového materiálu, a došlo k jejímu vytažení a následnému prasknutí (obrázek 4a). Jediný materiál, u kterého k delaminaci nedošlo, byl 3 gramový vzorek s PAN membránou lisovanou při 140 °C, v obrázku 4b). V případě nutnosti zvýšení pevnosti tedy lze řešit dále parametry laminace.



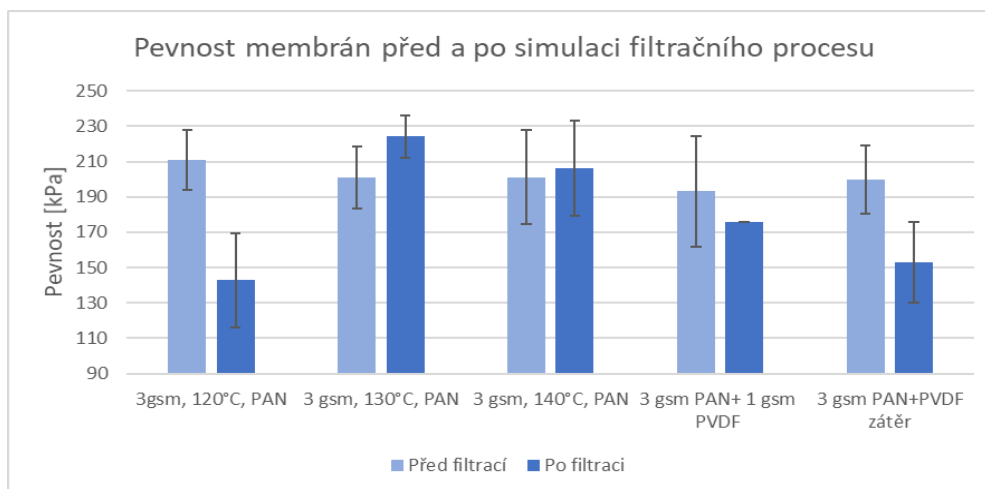
Obrázek 42: Materiál po testu pevnosti na přístroji WST a) delaminovaný vzorek 2 gsm při 130°C b) vzorek 3 gsm 140°C.

3.7 Pevnost před a po simulaci filtračních vlastností

Po ukončení filtračního cyklu na LSD bylo možné tytéž vzorky otestovat na pevnost. Pro snazší porovnání výsledků jsou v grafu 6 ve světlých sloupcích uvedeny pevnosti materiálů, které již byly prezentovány v grafu 5. Tmavé sloupce udávají hodnoty pevností vzorků, které byly vystaveny působení kalové vody pod tlakem při filtračním cyklu, který trval v průměru 10,5 hodiny.

Významný rozdíl v pevnosti před a po filtračním procesu byl zaznamenán u materiálu 3gsm, 120°C, PAN. Výsledek pevnosti po filtraci je průměrem pouhých čtyř hodnot u PAN materiálů a dvou hodnot u PAN+PVDF materiálů. Tyto hodnoty vykazují velkou variabilitu bez zřejmého důvodu. Takto výrazný pokles pevnosti by bylo možné odůvodnit delaminací

materiálu, která je zachycena v obrázku 4a). Dalším důvodem může být chybné ukotvení či poškození vzorku.



Graf 6: Pevnosti před a po simulaci filtračních vlastností.

Během filtračního procesu dochází v době zpětného proplachu k obdobnému namáhání membrány, jako při testu pevnosti. Protože se membrána delaminuje, dojde tak k rychlejšímu opotřebení a snažšímu poškození samotné membrány. Pevnost sice ani po namáhání neklesla pod hodnotu 100 kPa, nicméně bude třeba se tomuto parametru dále věnovat při poloprovozních delších testech. V praxi může hodnota zpětného tlaku dosahovat 50-70kPa.

4 Závěr

Předmětem práce bylo studium vlivu materiálu na filtrační vlastnosti nanovlákněných membrán. Hodnoceným polymerním materiálem byl polyakrylonitril a polyakrylonitril povrstvený polyvinilidenfluoridem. V experimentu bylo sledováno několik proměnných, kterými byly plošná hmotnost nanovlákněných vrstev, teplota lisování nanovlákněných vrstev a následný typ povrchové úpravy polymerem PVDF.

Laminované membrány byly testovány na velikosti póru, pevnost, prodyšnost a úhel smáčení. Na základě těchto testů byla za optimální materiál vyhodnocena skupina PAN membrán o plošné hmotnosti 3 g.m⁻². S touto skupinou membrán byl proveden klíčový test experimentu, a to simulace filtračního procesu. Ze simulace filtračních vlastností vyplynulo, že vhodným materiálem je laminát 3 g.m⁻² PAN lisovaného při 120 °C. Tento vzorek dosahoval nejlepší efektivity filtrace 96,36% za nejvyššího průtoku 0,36 l.min⁻¹.m⁻² při 11 kPa tlakového spádu.

V poslední fázi experimentu byl sledován vliv povrchové úpravy nejlépe hodnoceného materiálu 3 g.m⁻² PAN lisovaného při 120 °C. Povrchová úprava byla provedena dvojím způsobem, a to zátěrem roztoku PVDF a laminací PVDF nanovlákněné vrstvy.

Z výsledků vyplývá, že PVDF povrchová úprava není vhodná k filtraci pro slabě znečištěnou testovací kapalinu za stanovených podmínek přístroje LSD119. PVDF je v MBR běžně používaným polymerem, k optimálnímu filtračnímu procesu je ale nutné zvýšit transmembránový tlak a případně i snižovat povrchové napětí filtrovaného média. Dalším vývojem přístroje, který již není součástí této práce byl zvýšen působící tlak trojnásobně. V těchto podmínkách membrány s vrstvou PVDF vykazují dostatečnou intenzitu toku.

Výstupem experimentu je nalezení PAN nanovlákněného laminátu, který by mohl uspět mezi komerčně využívanými membránami. Je to materiál složený z podkladové PET netkané textilie, co-PET adhesiva a PAN nanovlákněné vrstvy o plošné hmotnosti 3 g.m⁻², lisované při teplotě 120 °C.

Vzorky s povrchovou úpravou PVDF nelze použít za stejných provozních podmínek, jako membrány z PAN. Nasvědčují tomu výsledky simulace filtračního procesu, kdy i při vyšším tlakovém spádu propustily PVDF membrány minimum či žádné množství filtrovaného média.

Z experimentální části vyplývá hned několik možných směrů vývoje a podnětů k dalšímu výzkumu. První otázkou je do jaké míry bude materiál PAN 3gsm, 120°C mechanicky stálý a jaká bude jeho životnost. To lze s jistotou určit až po dlouhodobých testech v poloprovozních podmínkách. V tématu pevnosti je vhodné zaměřit se na podmínky laminace. Dalším zajímavým aspektem je celková ekonomická bilance nákladů na výrobu membrán, ceny primárních surovin, ceny vody přechištěné pouze mechancko-biologickým procesem v porovnání s vodou z MBR a především ekologický dopad.

Použité zdroje

- [1] BINDZAR, Jan a VYSOKÁ ŠKOLA CHEMICKO-TECHNOLOGICKÁ V PRAZE. Základy úpravy a čištění vod [online]. B.m.: Vydavatelství VŠCHT, 2009 [vid. 2019-02-16]. ISBN 9788070807293. Dostupné z: https://vydavatelstvi.vscht.cz/katalog/publikace?uid=uid_isbn-978-80-7080-729-3
- [2] HLAVÍNEK, Petr. *Aktivační čistírny odpadních vod se separací kalu ponořeným membránovým modulem* [online]. Brno: Vutium, 2012 [vid. 2019-02-15]. ISBN 9788021444362. Dostupné z: <http://www.vutium.vutbr.cz/tituly/pdf/ukazka/978-80-214-4437-9.pdf>
- [3] JUDD, Simon. *The MBR Book: Principles and Applications of Membrane Bioreactors for Water* [online]. 2011 [vid. 2019-03-13]. ISBN 978-0-08-096682-3.
- [4] HRŮZA, Jakub. *Zlepšování filtračních vlastností vláknenných materiálů* [online]. Liberec, 2005 [vid. 2019-02-15]. Technická Univerzita v Liberci. Dostupné z: http://files.jakub-hruza.webnode.cz/200000122-ea57fec4bc/Zlepšování_filtračních_vlastností_vláknenných_materiálů.pdf
- [5] ROCHE, Remi a Fatma YALCINKAYA. Electrospun Polyacrylonitrile Nanofibrous Membranes for Point-of-Use Water and Air Cleaning. *ChemistryOpen* [online]. 2019, 8(1), 97–103 [vid. 2019-03-20]. ISSN 21911363. Dostupné z: doi:10.1002/open.201800267
- [6] DUCHÁČEK, Vratislav, ed. *Polymery, výroba, vlastnosti, zpracování, použití*. B.m.: Vydavatelství VŠCHT, 2006. ISBN 8070806176.
- [7] RAMAKRISHNA, Seeram a AND ALL. *An Introduction to Electrospinning and Nanofibers*. B.m.: World Scientific Publishing, 2005. ISBN 981-256-415-2.
- [8] SPECIALCHEM. *Polyvinylidene Fluoride (PVDF) Plastic: Material Properties & Other Info* [online]. 2019 [vid. 2019-03-20]. Dostupné z: <https://omnexus.specialchem.com/selection-guide/polyvinylidene-fluoride-pvdf-plastic>
- [9] SPECIALCHEM. *PET Plastic (Polyethylene Terephthalate): Uses, Properties & Structure* [online]. [vid. 2019-04-04]. Dostupné z: <https://omnexus.specialchem.com/selection-guide/polyethylene-terephthalate-pet-plastic>
- [10] RUSSELL, Stephen J. *Handbook of nonwovens*. B.m.: Woodhead Publishing, 2007. ISBN 9781845691998.
- [11] HRŮZA, Jakub. *Nabídka komerčního testování filtračních vlastností* [online]. nedatováno [vid. 2019-03-14]. Dostupné z: https://int.cxi.tul.cz/sites/int.cxi.tul.cz/files/page_files/TUL_Nabídka_Testování_Filtračních_Vlastností_2016.pdf
- [12] HRŮZA, Jakub, Ganna UNGUR, Petr BÍLEK a Jiří BUŠEK. *Nanovláknenné membrány pro čištění odpadních vod* [online]. nedatováno [vid. 2019-03-14]. Dostupné z: <http://www.odpadoveforum.cz/TVIP2018/prispevky/144.pdf>

Hodnocení tepelně izolačních vlastností cyklistických dresů

Molčányová Jana

Sekce - TEXTIL,

Fakulta textilní, 5. ročník

Magisterský studijní program – TEXTILNÍ INŽENÝRSTVÍ

Abstrakt: Diplomová práce je zameraná na hodnotenie tepelnoizolačných vlastností cyklistického oblečenia. V práci sa nachádza základný súhrn informácií o danej problematike, približuje históriu cyklistického oblečenia, jeho rozdelenie, inovácie v dnešnej dobe a používané nové materiály. V práci sú definované základné požiadavky a úžitkové vlastnosti na cyklistické oblečenie. Táto práca sa venuje tepelnoizolačným vlastnostiam a vplyvu prúdenia vzduchu na odev. V ďalšej časti je navrhnutý experiment na testovanie tepelnoizolačných vlastností za kľudných podmienok a za podmienok prúdiaceho vzduchu. Testovacie vzorky, sú vzorky určené na cyklistické oblečenie. Cieľom práce je zhodnotenie testovania tepelnoizolačných vlastností a porovnanie prístrojov medzi sebou.

Kľúčová slova: tepelnoizolačné vlastnosti, cyklistické oblečenie, aerodynamický tunel, tepelný manekýn, úžitkové vlastnosti

1 ÚVOD

Žijeme v dobe nových inovácií a technologického rozmachu, ale aj v dobe, kedy si ľudia začínajú viac uvedomovať dôležitosť zdravého životného štýlu. Medzi obľúbené voľnočasové aktivity patrí napríklad plávanie, beh ale aj cyklistika. Veľa hobby športovcov si zakladá na modernom a kvalitnom oblečení. Neoddeliteľnou súčasťou cyklistiky je oblečenie. Jednou z podmienok cyklistického oblečenia je komfort. Dres by mal spĺňať požiadavky na kvalitu a komfort. Cyklistické oblečenie je veľmi náročné na mechanické, tak aj na fyziologické vlastnosti. Cyklista vykonáva námahu, pri ktorej sa vytvára väčšie množstvo potu. Vhodný materiál zabezpečuje prestup vodných pár od ľudskej pokožky, a tým zvyšuje komfort jazdca. Nesmieme sa zabudnúť, že pri jazde na bicykli pôsobí vonkajšie prostredie. Prúdenie vzduchu má veľký vplyv na komfort jazdca a tiež na tepelnoizolačné vlastnosti materiálu.

Táto práca pozostáva z dvoch častí. Prvá časť je teoretická, ktorá vysvetľuje základné pojmy. Objasňuje základné úžitkové vlastnosti cyklistického oblečenia a jeho špecifické požiadavky. Dôraz kladie na komfort. Vysvetľuje základné tepelnoizolačné vlastnosti oblečenia a tiež vplyv prúdenia vzduchu na tepelnoizolačné vlastnosti. Popisuje metódy testovania tepelnoizolačných vlastností materiálov.

Druhá časť pozostáva z experimentálnej časti, kde boli zisťované základné a tepelnoizolačné vlastnosti vybraných vzoriek. Testovací materiál je určený na cyklistické oblečenie. Účel testovania, bolo porovnať jednotlivé metódy testovania tepelnoizolačných vlastností za kľudných podmienok a za podmienok prúdenia vzduchu. Vyhodnotenie jednotlivých metód a porovnanie výsledkov medzi prístrojmi.

Cieľom práce je previesť hodnotenie tepelnoizolačných vlastností. Testované vzorky sú vybrané materiály, ktoré sa využívajú na výrobu cyklistického oblečenia. Tieto materiály

sú určené na jar a jesenné počasie, kde spĺňajú úlohu prvej vrstvy oblečenia. Úlohou bolo porovnanie rôznych metód testovania a vytvoriť podmienky na testovanie pri prúde vzduchu, ktorým môžeme simulovať jazdu na bicykli.

2 TEORETICKÁ ČASŤ

2.1 Úžitkové vlastnosti cyklistického oblečenia

Pri využívaní cyklistického oblečenia dochádza k namáhaniu materiálu. Úžitkové vlastnosti špecifikujú trvanlivosť hotového výrobku. Pri častom používaní sa skracuje životnosť cyklistického oblečenia. Preto je dôležitý výber materiálu, z ktorého je oblečenie ušité. Požiadavky na cyklistické oblečenie sa výrazne zvyšovali postupným zlepšovaním textilných materiálov a technológií spracovania, rovnako ako požiadavky na bicykel. Cyklistické oblečenie zohľadňuje špecifické požiadavky cyklistu, intenzívny pohyb nôh a naopak, trup a ruky zdanlivo bez pohybu, ale tiež je na nich kladená záťaž. Cyklista sa pri zvýšenom výkone potí a zároveň je vystavený vplyvom počasia. Pri jazde na bicykli je cyklista vystavený vetru, kde je dôležité, aby cyklistické oblečenie malo dostatočné termoizolačné vlastnosti. [1]

Základom dobrého cyklistického oblečenia je jeho komfort. Tvorí ho komplex faktorov, a úžitkových vlastností, ktoré zohľadňujú najmä: priepustnosť vodných pár, tepelný komfort, rýchlosť sušenia materiálu, pri zvýšenom potení sa organizmu, absorbovanie vlhkosti, odolnosť voči oderu, stabilita pôvodného tvaru a stálofarebnosti, zabráneniu rozvoja baktérií plesní a mykóz, elimináciu alergických prvkov, jednoduchosť údržby, trvanlivosť, žmolkovitosť materiálu, estetickosť, moderný vzhľad. [2]

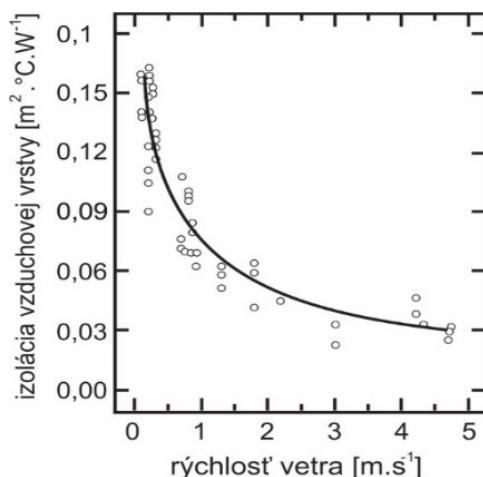
2.2 Odev a tepelnoizolačné vlastnosti

Odevný komfort je stav organizmu, keď sú fyziologické funkcie v optime, a kedy okolie ani odev nevytvára žiadne nepríjemné vnemy, vnímané našimi zmyslami. Komfort je vnímaný všetkými ľudskými zmyslami okrem chuti, a to hmatom, zrakom, sluchom a čuchom. Komfort v odeve sa vníma aj ako súlad medzi odevom a človekom. [3]

Úlohou termoregulačného systému je udržiavať vnútornú teplotu ľudského tela v danom teplotnom intervale. Telesná teplota v ľudskom tele sa líši na rôznych miestach tela a aj v týchto miestach teplota kolíše, na základe fyzického stavu človeka a prostredia. Najväčšia teplota 35°C–36°C je na prekrvených miestach, ako hlava, brucho a prsia. [3] Na okrajových častiach tela je teplota 29°C–31°C a to na nohách a rukách. Najchladnejšie miesto 29°C–31°C je špička nosa, ušné laloky a špičky prstov. Ak je produkcia tepla metabolickou aktivitou vyššia, ako suma tepelnej straty, výsledok bude pozitívny, čo znamená, že teplo sa zvýši a teplota tela rastie. Ak bude výsledok negatívny, viac tepla sa stráca, ako sa produkuje a telo sa ochladzuje. [5]

Tepelnoizolačné vlastnosti udávajú mieru izolácie, ktorú daná textília poskytuje. Táto schopnosť materiálov je nepriamo závislá na súčiniteľovi tepelnej vodivosti λ [$\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$], vyjadruje stupeň tepelnej vodivosti, schopnosť materiálu viesť teplo. Oblečenie pôsobí ako bariéra pre teplo a vodné pary medzi pokožkou a vonkajším prostredím. Tepelný odpor R je dôležitou veličinou pri hodnotení tepelného komfortu, ktorý kladie materiál pri prechode tepla. Táto bariéra je tvorená odevnými materiálmi, ale aj vzduchom medzi jednotlivými vrstvami

oblečenia. Pri pohybe dochádza medzi vrstvami oblečenia k prúdeniu vzduchu, čím sa veľmi znižujú tepelnoizolačné vlastnosti. V bežnom prostredí väčšinou vzduch prúdi. Tento pohyb vzduchu naruší statickú vrstvu na vonkajšej strane oblečenia a tiež medzi vzduchovými vrstvami materiálu. Vplyv vzduchu na izolačné vlastnosti je znázornený na obrázku 1. Pohyb oblečenia môže byť zapríčinený vetrom alebo pohybom tela. Vietor môže stlačiť odev, a tým znižovať hrúbku materiálu, triasť odevom a spôsobiť pohyb jednotlivých vzduchových vrstiev. Pohyb tela na oblečenie má rovnaký efekt ako vietor a spôsobuje prúdenie vzduchu medzi jednotlivými vrstvami. [5]



Obrázok 1 Graf vplyvu prúdenia vzduchu na tepelnú izoláciu [4]

Dôležitá vlastnosť pri cyklistickom oblečení je odolnosť materiálu voči pôsobeniu vetra. Pokiaľ nie je materiál dostatočne odolný voči vetru, môže prísť k priechodu studeného vzduchu až k pokožke tela, kde vplyvom prúdenia vzduchu odoberá pokožke teplo. Pri vysokej rýchlosti, môže prúdením okolitého vzduchu a nízkej teplote okolia, prísť až k podchladeniu organizmu.

2. 3 Prúdenie vzduchu

Prúdenie vzduchu v atmosfére je značne podmienené poľom atmosférického tlaku, ktoré zobrazujeme pomocou izobar. Izobary sú čiary, ktoré spájajú na zemskom povrchu miesta s rovnakým atmosférickým tlakom. V dôsledku toho, že na rôznych miestach zemského povrchu existujú rôzne hodnoty atmosférického tlaku, vznikajú v ovzduší horizontálne tlakové sily, ktoré majú snahu vyrovnať tlakové rozdiely. Pri ustálenom prúdení reálnej kvapaliny malou rýchlosťou, je obraz prúdnic stály, vrstvy kvapaliny sa po sebe pravidelne posúvajú. Takéto prúdenie kvapaliny nazývame laminárne. Rôzna rýchlosť vzájomného posúvania vrstiev kvapaliny spôsobuje vznik vírov. Pri malých rýchlostiach sa však tieto víry nemôžu zväčšovať. Lineárne prúdenie sa môže udržať iba do určitej kritickej rýchlosti. Po jej prekročení, je možné zreteľne pozorovať vírenie a nestálosť obrazu vytvorených prúdnic. Takéto prúdenie sa nazýva turbulentné. [5] Prúdeniu vzduchu, ktorého viskozita je veľmi nízka, sa pri vyšších rýchlostiach stáva rýchle turbulentnou a takýmto charakteru je vystavený aj cyklista. Vzduch obteká okolo tela cyklistu, kde sa nachádzajú náveterné ale aj záveterné strany. Meranie priedušnosti za podmienok rýchleho prúdiaceho vzduchu, by malo priblížiť podmienky merania k podmienkam vyskytujúcich sa pri reálnom nosení odevov.

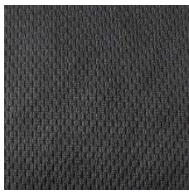
3 EXPERIMENTÁLNA ČASŤ

Pre testovanie cyklistického oblečenia bol navrhnutý experiment a postup merania tepelnoizolačných vlastností. Testovanie sa skladá z troch základných častí. V prvej časti boli zisťované základné vlastnosti vzoriek ako štruktúra, plošná hmotnosť, pórovitosť. V druhej časti boli použité normované statické merania na zistenie priedušnosti, tepelnej vodivosti a tepelného odporu. Poslednej časti boli odskúšané experimentálne metódy a meranie tepelnoizolačných vlastností pomocou prúdiaceho vzduchu. Ako prvý prístroj bol použitý aerodynamický tunel, ktorý bol navrhnutý na katedre odevníctva TUL. Ďalšie testovanie prebiehalo na tepelnej figuríne Timmy, kde bol použitý ventilátor na simuláciu vetra. Boli vytvorené prototypy trička na testovanie materiálu na figuríne.

3.1 Testovacie vzorky

Pre diplomovú prácu boli vybrané vzorky materiálu, ktoré sa využívajú na jarné a jesenné cyklistické oblečenie. Tieto materiály sú určené ako vrchná vrstva dresu cyklistu, takže sa bežne vyskytujú v podmienkach prúdiaceho vzduchu. Testovacie vzorky boli vybrané na základe rôzneho materiálového zloženia Polyester, Merino vlna a ich miešanie (Tab. 1). Cieľom testovania je navrhnutie vhodnej metódy testovania na tepelnoizolačné vlastnosti materiálov. Porovnanie jednotlivých výsledkov vzoriek a vplyv týchto výsledkov na zloženie, plošnú hmotnosť a hrúbku.

Tabuľka 1 Použité vzorky na testovanie

Vzorka č. 1	Vzorka č. 2	Vzorka č. 3	Vzorka č. 4	Vzorka č. 5
				
Merino 100 %	Polyester 61 % /Merino 36 % / Lycra 6 %	Polyester 77 % / Merino 23 %	Polyester 100%	Polyester 100%

3.2 Základné vlastnosti materiálov

Cieľom testu bolo zistiť základné vlastnosti vzoriek, ich hmotnosť, hrúbku, plošnú a objemovú hmotnosť. Vzorka o rozmeroch 100x100 mm bola odvážená na analytickej váhe. Pomocou vzťahu na plošnú a objemovú hmotnosť bol vypočítaný výsledok. Na zistenie štruktúry a plošnej pórovitosti bol použitý program NIS Element.

3.3 Priedušnosť

Meranie prebiehalo podľa normy EN ISO 9237. Výsledkom skúšky je rýchlosť prechodu vzduchu R [cm.s-1], ktorý prechádza kolmo cez skúšobnú vzorku, pri stanovených podmienkach pre skúšobnú vzorku, ktorými sú: pokles tlaku 4 Pa a plocha 20 cm². Nastavenie tlaku bolo zvolené na základe vysokej priedušnosti materiálu.

3.4 Prístroj TCI

TCI je prístroj na meranie tepelnej vodivosti, pre rôzne druhy materiálov. Využíva jednostranný, medzifázový snímač odrazu tepla, ktorý aplikuje na vzorku konštantný zdroj tepla. Skúmaný je nárast teploty v prechodovej rovine medzi senzorom a vzorkami.

3.5 Prístroj SGHP

Zariadenie SGHP je určené k meraniu tepelného a výparného odporu skúšobnej vzorky za ustálených podmienok. V tomto meraní bolo použité len testovanie tepelného odporu. Meranie prebiehalo podľa normy EN ISO 11092

3.6 Aerodynamický tunel

Veterný tunel testuje tepelnoizolačné vlastnosti materiálov, odevov. K tomuto účelu bol vytvorený technický model vetra v aerodynamickému tuneli na Katedre odevníctva (obr. 2)

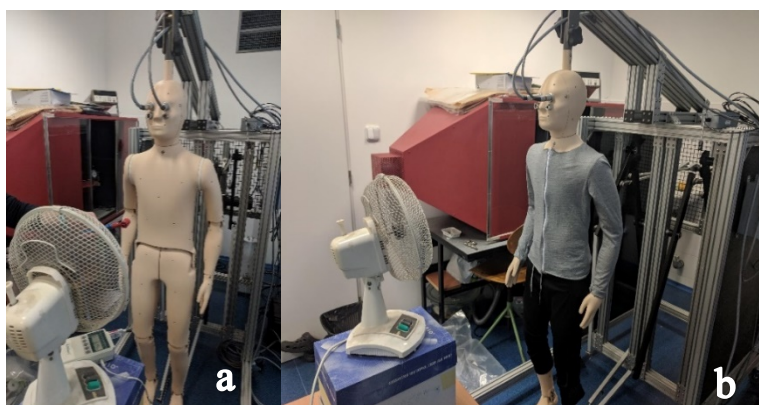
Aerodynamický tunel nie je normovaný prístroj, preto bolo podstatné určiť, ako budú testované vzorky. V prvom testovaní sa zistilo, ako sa správa aerodynamický tunel bez skúšobnej vzorky. Zistenie ustáleného vzduchu a následné udanie správnych hodnôt a kalibráciu. Pre testovanie na aerodynamickom tuneli, je nutné upraviť skúšobné vzorky podľa vyhrievaného valca. Vyhrievaný valec má šírku 11 cm a obvod 26,5 cm. Po prípravných testovacích meraniach, boli prevedené finálne dve merania na vybraných vzorkách. Prvý test prebiehal kontinuálne, kde bola nastavená začiatočná rýchlosť 2 m.s^{-1} , po každých 5 minútach sa zvýšila rýchlosť o 2 m.s^{-1} až po rýchlosť 16 m.s^{-1} , sekvencia merania 10 s, odchýlka $0,5 \text{ m.s}^{-1}$. Druhý test prebiehal podľa týchto podmienok: rýchlosť tunela 5, 10 a 15 m.s^{-1} , čas merania 15, 20 a 25 min, počet meraní 90, 120 a 150, sekvencia merania 10 s, odchýlka rýchlosti $0,5 \text{ m.s}^{-1}$. Boli vykonané tri skúšky pre každú vzorku, kvôli overeniu správnosti testovania. V prvom testovaní boli vzorky testované kontinuálne pri zvyšujúcej sa rýchlosti. Z regresnej funkcie môžeme vidieť, že hodnoty stúpajú lineárne. Potvrďuje to aj rovnica spoľahlivosti $R^2 = 0,89$. Tento lineárny priebeh sa prejavil u všetkých vzoriek. Zaznamenané hodnoty merania hustoty tepelného toku pre rýchlosť 5 m.s^{-1} , 10 m.s^{-1} a 15 m.s^{-1} . Vzorky majú podobný priebeh. Je to tým, že všetky testovacie vzorky, majú podobný charakter a využívajú sa na cyklistické oblečenie. K jednotlivým výsledkom boli zohľadnené aj parametre pletenín. Vzorky č. 1 a 2 vykazujú najlepšie tepelnoizolačné vlastnosti. Keď je porovnaná vzorka č. 1 so vzorkami č. 4, 5, ktoré majú podobnú plošnú hmotnosť, je vidieť na výsledkoch, že merino vlna má lepšie tepelnoizolačné vlastnosti.



Obrázok 2 Ukážka aerodynamického tunela a testovacia vzorka

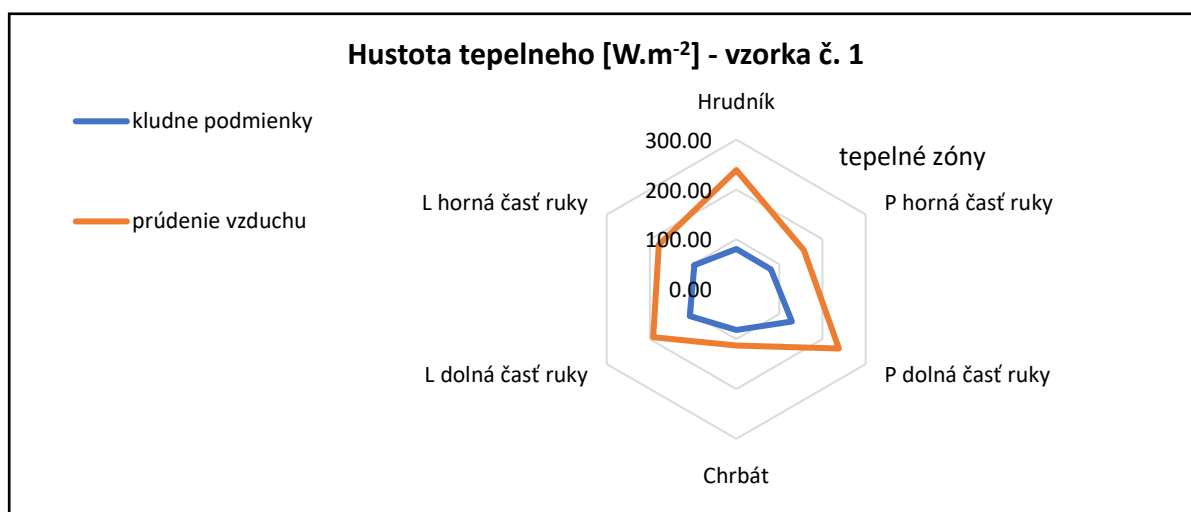
3.7 Tepelný manekýn

Vybrané vzorky boli testované na figuríne od firmy Thermetrics, Timmy. Je to tepelná figurína, ktorá testuje tepelný odpor, clo a hustotu tepelného toku. Pre testovanie boli podstatné hodnoty tepelného odporu a hustoty tepelného toku za kludných podmienok a podmienok prúdiaceho vzduchu. Boli ušité prototypy dresu so zipsom, pre ľahšie obliekanie figuríny. Veľkosť tepelnej figuríny je 10 ročný chlapec, veľkosť 140. Boli ušité tri prototypy dresu z troch testovacích materiálov po jednom kuse. Boli vybrané vzorky, na základe zloženia, a to vzorka č. 1, vzorka č. 2 zloženie a vzorka č. 4. Prebiehali dve testovania a to za kludných podmienok a za podmienok prúdenia vzduchu pomocou ventilátora (obr. 3). Testovanie jedného trička trvalo dve hodiny. Zber dát bol nastavený na jednu minútu, výsledkom bola spriemerovaná hodnota. Tepelný manekýn bol nastavený na teplotu 35,23 °C. Test za podmienok prúdenia vzduchu prebiehal ako experiment.



Obrázok 3 a) testovanie rýchlosti vzduchu, b) ukážka testu

Dôvod tohto testovania bol, aby bolo možné porovnať hodnoty, z tepelného manekýna, s aerodynamickým tunelom. Bol použitý ventilátor, kde bola testovaná rýchlosť fúkania. Ventilátor bol nastavený na najvyššiu rýchlosť, ktorá dosahovala po zmeraní 4,2 m.s⁻¹. Výsledky testovania hustoty tepelného toku, kde je vidieť na obrázku 4, kde za kludných podmienok a podmienok prúdenia vzduchu. Tento nárast hodnôt je vidieť aj na obrázku 4. Najvyšší nárast hodnôt predstavuje hodnota na hrudníku, ako náveternej strany a najnižší nárast chrbtová časť, ako záveterná strana.



Obrázok 4 Graf rozdielu hustoty tepelného toku pri kludných podmienok a podmienok prúdenia vzduchu

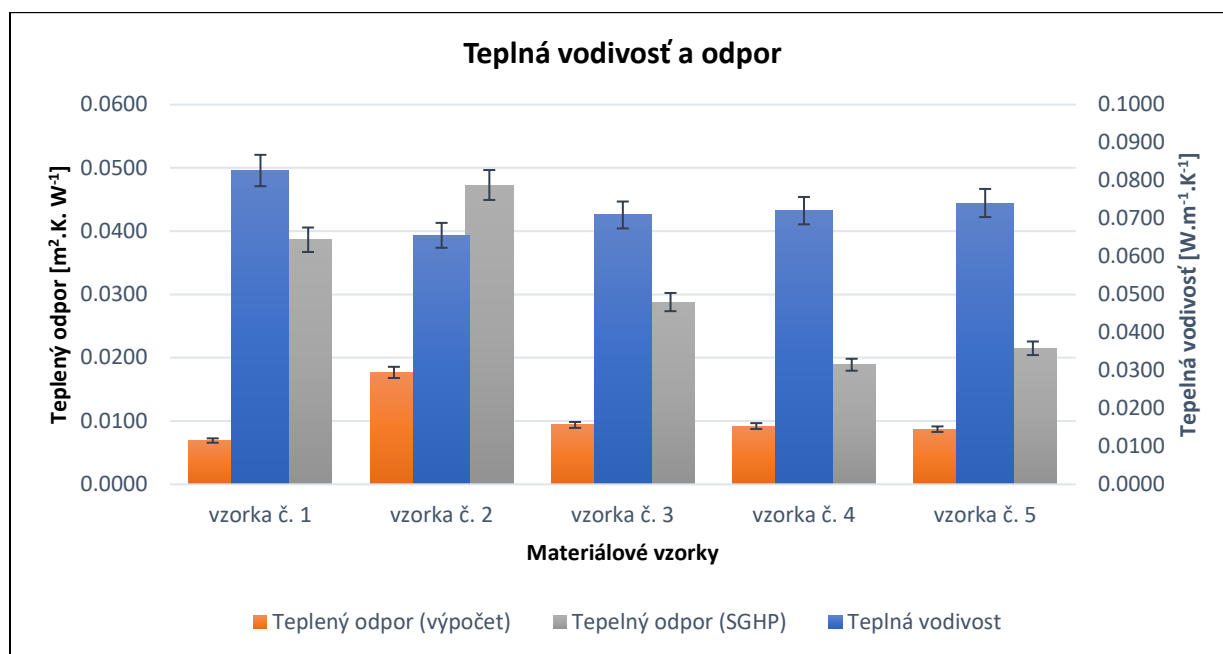
4 ZÁVER

4.1 Diskusia výsledkov

Experiment sa rozdeľuje na tri časti a to zistenie základných vlastností materiálov, testovanie vzoriek na prístroji SDL M 021 S, Thermal Conductivity Analyser-C-Therm (TCI) a Sweating Guarded Hot Plate (SGHP) a testovanie pri prúdiacom vzduchu, a to pomocou aerodynamického tunela a tepelného manekýna, za kludných podmienok a podmienok prúdiaceho vzduchu. Tieto prístroje boli vybrané na základe porovnania jednotlivých výsledných hodnôt medzi sebou a zistiť určité vlastnosti materiálov, pri simulácii bežných podmienkach prúdenia vzduchu na bicykli.

4.1.1 Porovnanie prístroja TCI a SGHP

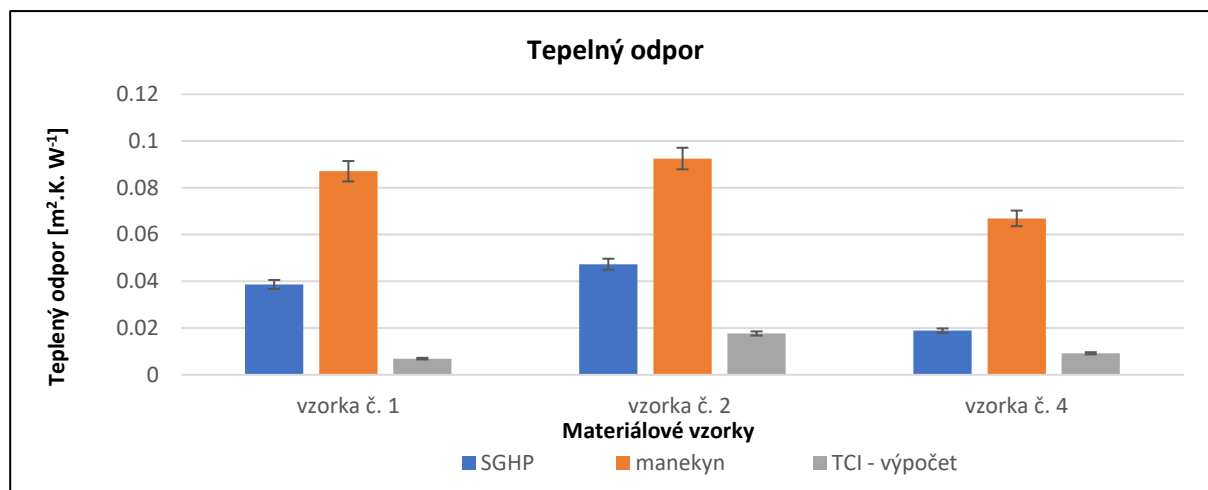
Pri týchto prístrojoch bola meraná iná veličina, TCI meria tepelnú vodivosť, na rozdiel od prístroja SGHP, ktorý meria tepelný odpor. Tieto prístroje bolo možné porovnať na základe vzorca, kde sme dostali z prístroja TCI tepelný odpor. Musí sa brať do úvahy, že prístroj SGHP meria presnejšie, nakoľko test prebieha oveľa dlhšie a vzorka je vložená do uzavretej skrine prístroja. Hodnoty týchto prístrojov sa síce líšia, ale trend majú rovnaký, ako je vidieť na obrázku 49. Najväčší tepelný odpor predstavuje vzorka č. 2, ktorá má najvyššiu plošnú hmotnosť. Pri vzorkách 1, 3, 4 a 5 ktoré majú podobnú plošnú hmotnosť, klesá tepelný odpor lineárne, čo môže byť spôsobené materiálovým zložením.



Obrázok 5 Graf tepelnej vodivosti a odporu

4.1.2 Porovnanie tepelného odporu SGHP a manekýna

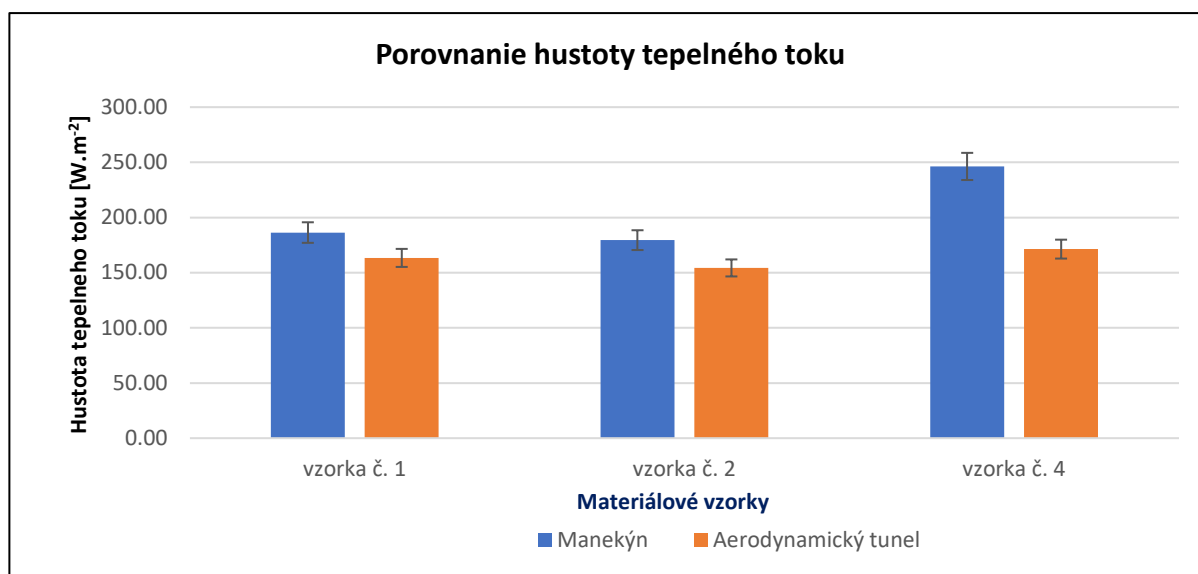
Pri porovnaní výsledkov z SGHP a manekýna je vidieť určitú závislosť (obr. 50). Síce hodnoty sú rozdielne, na základe toho, že manekýn sa nachádza vo voľnom prostredí. Ale môže sa určiť na základe trochu rôznych testovaní, že najvyšší odpor predstavuje materiálová vzorka č. 2



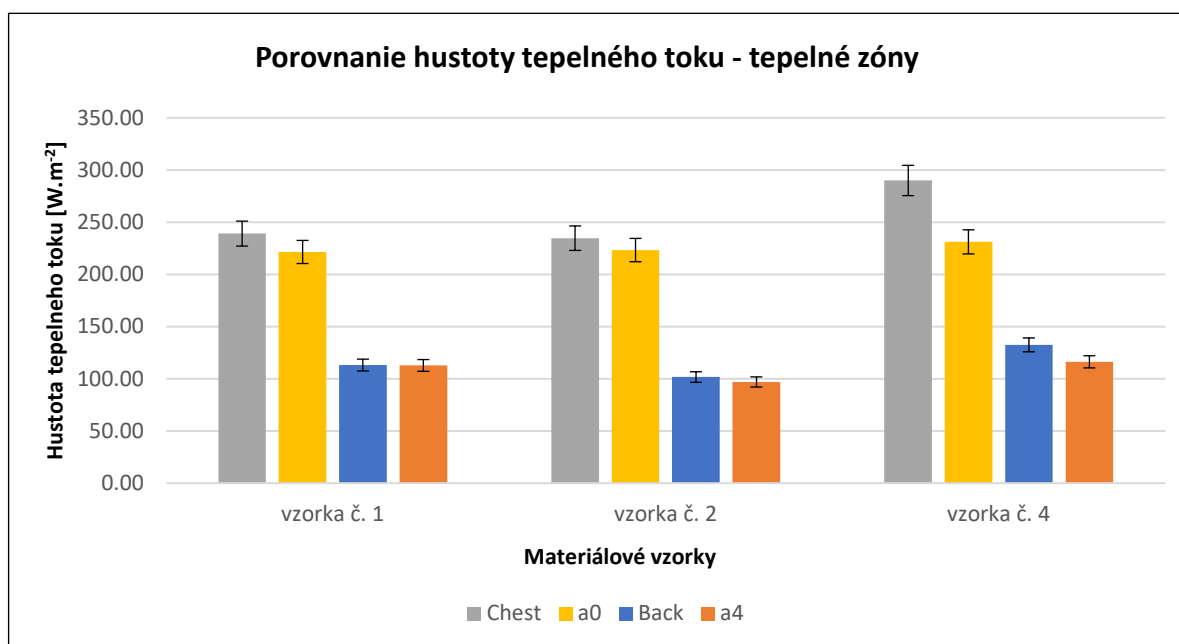
Obrázok 6 Tepelný odpor

4. 1. 3 Porovnanie hustoty tepelného toku manekýna a aerodynamického tunela

Pre porovnanie hodnôt hustoty tepelného toku aerodynamického tunela bol vybraný tepelný manekýn. Je to jeden z mála prístrojov, kde je možné meranie hustoty tepelného toku. V predchádzajúcich prácach totiž nebolo možné porovnať výsledky aerodynamického tunela s iným zariadením. Pri aerodynamickom tuneli sa vybrali namerané dáta z prvej skupiny merania a to 5 m.s^{-1} . Pri porovnaní zariadení boli aplikované dve varianty. Prvú variantu znázorňuje obrázok 7, kde bol vypočítaný priemer všetkých alfametrov a priemer všetkých tepelných zón na manekýnovi. V druhej variante boli brané do úvahy 4 senzory a to 2 na aerodynamickom tuneli a 2 na tepelnom manekýnovi. Jeden senzor predstavuje náveternú stranu a druhý záveternú stranu (obr. 8). Hodnoty sa medzi párovými zónami veľmi nelíšia, hrudník a $a0$ predstavuje náveternú stranu a chrbát a $a4$ záveternú stranu. Náveterná strana je priamo vystavená prúdeniu vzduchu, preto sa viac ochladzuje čo sa prejaví pocitom chladu. Vo všeobecnosti môže byť povedané, že tepelný manekýn predstavuje trochu vyššie hodnoty ako aerodynamický tunel čo platí aj pri porovnaní celkových priemerov ale aj pri porovnaní jednotlivých zón.



Obrázok 7 Porovnanie hustoty tepelného toku



Obrázok 8 Porovnanie hustoty tepelného toku - tepelné zóny

4.2 Zhodnotenie výsledkov

Cieľom testovania bolo určenie tepelnoizolačných vlastností za kludných podmienok a podmienok prúdiaceho vzduchu. Pre testovanie tepelnoizolačných vlastností pre kludné podmienky bol použitý prístroj TCI, SGHT a tepelný manekýn. Najpresnejšie meranie predstavuje prístroj SGHT, treba ale počítať s tým, že meranie je časovo náročné. Vzorky sa testujú v aklimatizovanej skrini prístroja, kde nedochádza k vplyvu okolitého prostredia ako to môže byť pri prístroji TCI a tepelnom manekýnovi. Pre simuláciu testovania pri prúdiacom vzduchu, ako dochádza k jazde na bicykli boli navrhnuté dva spôsoby. Testovanie prebehlo na aerodynamickom tuneli a použitím tepelného manekýna, kde bol nainštalovaný ventilátor. Aerodynamický tunel je zariadenie, ktoré sa bežne používa na zistenie tepelnoizolačných vlastností kde si vieme nastaviť požadované podmienky testovania. Testovanie vzoriek na manekýnovi pri prúdiacom vzduchu bolo uskutočnené v rámci experimentu. Test prebehol z časového hľadiska len na troch vybraných vzorkách a len pri jednej rýchlosti. Tento experiment sa prejavil ako úspešný, a to na základe toho, že hodnoty zodpovedajú aerodynamickému tunelu.

Pre ďalšie testovanie na tepelnom manekýnovi pri podmienkach prúdiaceho vzduchu je dôležité, aby merania prebiehali za rovnakých podmienok. A to zabezpečením rovnomerného prúdenia po celej ploche manekýna. Čo je možné dosiahnuť správnou geometriou lopatiek ventilátora a tiež dostatočnou veľkosťou. Dôležitou súčasťou testovania je nastavovanie rôznej rýchlosti prúdenia vzduchu, ktorá by sa dala porovnávať s aerodynamickým tunelom a tiež sledovanie priebežnej rýchlosti.

Na aerodynamickom tuneli bolo počas skúšobnej vzorky zistené, že vplyvom prúdenia silného vzduchu 15 m.s⁻¹ sa vzorka natiahla až o 1 cm. Po tomto zistení boli otestované vybrané testovacie vzorky, kde sa tento problém neprejavil. Návrh ďalšieho testovania, ktoré by sa zameralo na vplyv prúdenia vzduchu na natiahnutie vzorky.

V rámci testovania tepelnoizolačných vlastností materiálov pre cyklistické oblečenie, bolo zistené že najlepšie tepelnoizolačné má vzorka č. 2. Vplyv na tento výsledok má materiálové zloženie, ale aj plošná hmotnosť materiálu. Pri vzorkách s podobnou plošnou hmotnosťou vyšla najlepšie vzorka č. 1, ktorá je vyrobená zo 100% merino vlny, na rozdiel od vzoriek č. 4 a 5, ktoré sú vyrobené z 100 % polyesteru. Tento výsledok mohol ovplyvniť materiálové zloženie, kde merino vlna má lepšie tepelnoizolačné vlastnosti, ale aj vplyv väzby materiálu na priedušnosť.

Záver experimentu pri testovaní tepelnoizolačných vlastností pri prúdiacom vzduchu pomocou aerodynamického tunela a manekýna sa prejavil ako úspešný. Aj napriek experimentálnemu testovaniu, výsledky meraní vyšli podobne a navzájom korelujú. Prvýkrát bolo možné porovnanie rovnakých hodnôt aerodynamického tunela s druhým prístrojom. Postup ďalšieho testovania bol popísaný v hodnotení výsledkov.

LITERATURA

- [1] SHISHOO, Roshan, ed.: *Textiles for sportswear*. Cambridge: Woodhead publishing, 2015. ISBN 978-1-78242-229-7
- [2] HAYES, S. G., Praburaj VENKATRAMAN. *Materials and technology for sportswear and performance apparel*. Boca Raton: CRC Press, [2016]. ISBN 9781482220513.
- [3] LIZÁK, P., MURÁROVÁ, Z.: *Komfort odevov*. Krakow : Towarzystwo Słowaków Polsce, 2013. ISBN 978-83-7490
- [4] HES, L., SLUKA, P.: *Úvod do komfortu textilií – skripta katedry hodnocení textilií*
- [5] Havenith, G.: *Heat Balance When Wearing Protective Clothing*. *Ergonomics*. Ann. occup. Hyg., Vol. 43, No. 5, pp. 289±296,
- [6] Kireš, M., Labuda, J.; *Mechanika kvapalín a plynov* [online]. 2019. [cit. 2019-03-25]. Dostupné na: <<http://physedu.science.upjs.sk/kvapaliny/>>
ČSN EN ISO 5084 (80 0844): *Textilie – Zjišťování tloušťky textilií a technických výrobků*
ČSN EN ISO 9237 (800817) *A Textilie. Zjišťování prodyšnosti plošných textilií*
TCI [online]. 2017. [cit. 2018-06-20]. Dostupné na: <http://www.astelbg.com/files/file_22.pdf>
Sinclair, R.; *Textiles and Fashion, Materials, Design and Technology*. The Textile Institute and Woodhead Publishing, 2015. ISBN 978-0-85709-561-9 (online)
ŠUBERT, R.; *Hodnocení tepelně-izolačních vlastností textilií při vyšších rychlostech proudění vzduchu: Evaluation of thermal-isolating properties of textiles at higher air flow velocities*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2006.
Wenbin, L., XU, W., WANG, H., WANG, X.; *A dynamic tester to evaluate the thermal and moisture behaviour of the surface of textiles*. 2016. *Journal of Thermal Biology* [online]. vol 55, pp 14-19, [cit. 2019-04-01]. DOI: 10.1016/j.jtherbio.2015.11.005. ISSN 03064565. Dostupné z: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0306456515300395>>

LAMINOVANÉ NANOVLÁKENNÉ VRSTVY PRO FILTRACI VZDUCHU

Novotná Anna

Sekce - TEXTIL,

Fakulta textilní, 3. ročník

Bakalářský studijní program – Textilní technologie, materiály a nanomateriály

Abstrakt: Tato bakalářská práce se zabývá laminací nanovláknenné vrstvy o nízké plošné hmotnosti s předfiltry o samostatné účinnosti zachytu třídy M a G podle ČSN EN 779. Cílem práce bylo vytvoření vysoce účinného filtru s vhodnými filtračními vlastnostmi. V první části jsou vysvětleny pojmy filtrace a nanovláknena. V druhé části jsou uvedeny konkrétní parametry vláknenných vrstev a pracovní postup při optimalizaci laminace vzorků. Následuje hodnocení. S vybraným vzorkem byla provedena simulace testování odolnosti.

Klíčová slova: nanovláknenná vrstva, polyamid 6, atmosférická filtrace, laminace

1 Úvod

Filtrace je aktuální téma z důvodu ochrany životního prostředí a vlivu na lidské zdraví. Tato práce se zabývá atmosférickou filtrací, která se soustředí na odlučování prachu a látek z plynného prostředí. Na čistotu vzduchu je kladen větší důraz, v České republice se dodržují normy Evropské unie a mezinárodní ISO normy. Jednak se hlídají vypouštěné emise, a čištění je i vstupní vzduch budov. V tomto směru je tlak kladen především na omezování prašnosti, která je problémem zejména při smogu.

Lidé denně vdechnou přibližně $12,5 \text{ m}^3$ vzduchu, což odpovídá asi 16 kg vzduchu. Tělo má mechanismy pro filtraci přijímaného vzduchu, ovšem vývoj průmyslu je daleko rychlejší. Částice menší než $10 \mu\text{m}$ snáze projdou do dolních cest dýchacích. Při vdechování nevhodných látek může dokonce dojít k jejich přestupu z plic do krevního oběhu či kumulaci v organismu. Samozřejmě závisí na charakteru, největší riziko představují ty organické látky, jejichž penetrace do organismu je samovolná.

Běžné pozorování malých částic je omezeno okem, člověk nevidí jednotlivé částice například bakterií, virů, emulzních kapének, nanočástic a dostatečně jemného prachu. Právě na tyto částice se zaměřují především vysoce účinné filtry, které se používají v čistých provozech, při výrobě léčiv, v čističkách vzduchu nebo vysavačích.

Vláknenné filtry jsou dlouhodobě používané částicové filtry. Vláknena umožňují vytvořit hustou síť. Póry se zmenšují s použitím jemnějších vláken, které příliš nebrání proudění vzduchu.

Tato práce se zabývá vylepšením 2 základních materiálů pro výrobu stávajících filtrů s nižší účinností zachytu (dle ČSN EN 779 třídy G3 a M6) vhodnou laminací nanovláknenné vrstvy o nízké plošné hmotnosti za použití 3 typů pojiv ve formě vláknenné vrstvy.

Cílem je optimalizovat podmínky laminace a najít vhodnou kombinaci materiálů pro vytvoření vysoce účinného filtru. Testování bude zaměřeno na měření prodyšnosti, efektivitu zachytu částic a změny tlakového spádu škály vzorků s různou kombinací materiálů výsledného filtru, který se skládá z předfiltru, pojivové, nanovláknenné a krycí vrstvy.

2 Teoretická část

2.1 Filtrace

Filtrace je jeden z typů mechanické separace pevné, nebo kapalné fáze z tekutin. Zahrnuje separaci disperzního podílu z disperzního prostředí pomocí porézní struktury. Cílem je vyčistit disperzní prostředí za co nejméně změněného proudění. Mezi další metody separace látek patří sedimentace, adsorpce, difuze a absorpce, díky níž lze oddělovat i plyn z plynu a kapalinu z kapaliny [Sutherland, 2008].

Vstupními proměnnými procesu filtrace jsou filtrační charakteristiky a výstupními filtrační vlastnosti [Hrůza, 2005]. Filtrační vlastnosti se z principu mění v průběhu filtrace. Dochází k zachytávání částic a tím pádem i k jejich kumulaci v samotném filtru, a to ovlivňuje záchyt následujících částic [Brown, 1993].

Mezi charakteristiky ovlivnitelné výrobcem filtru nebo filtračního systému lze zařadit materiál, jeho mechanické vlastnosti, povrchové vlastnosti, parametry vláken, strukturu uspořádání vláken, plošnou hmotnost, stejnoměrnost, tloušťku, typ filtru a jeho plochu.

Filtraci popisuje Darcyho zákon. Při průchodu tekutiny porézním médiem dochází k odporu, který se projeví jako tlak, který je nutný vyvinout pro průchod viskózní tekutiny. Při zvětšení tlaku dochází k rychlejšímu toku, tlakový spád je poměrný rychlosti průtoku tekutiny. Tok souvisí s viskozitou média, která ani u vzduchu není zanedbatelná. Souvisí především s přítomností turbulentního nerovnoměrného proudění a vlivu tření [Brown, 1993].

Nejdůležitějšími vlastnostmi filtru jsou prodyšnost, odlučivost a tlakový spád. Efektivita záchytu (E) neboli odlučivost vyjadřuje, jaký je poměr částic, které projdou a které jsou zachyceny. Normy tento vztah dále upravují a vztahují na určitý interval velikostí částic. Pro částice větší jak $2,5 \mu\text{m}$ se místo koncentrace používá hmotnost, pro menší jejich počet, který měří optický počítač částic.

Tlakový spád (Δp) je rozdíl tlaků před a za filtrem. Vystihuje odpor materiálu vůči toku, který závisí i na rychlosti proudění. S nárůstem rychlosti roste lineárně a při plnění zachytávanými částicemi roste exponenciálně [Hrůza, 2005].

Prodyšnost je vyjádřena objemem tekutiny (vyjádřeným obvykle v litrech), který projde 1 m^2 filtru za 1 minutu při působení definovaného tlaku.

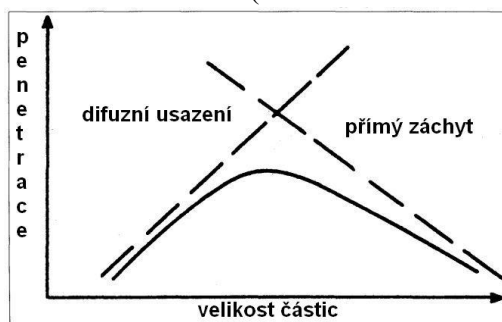
Porózita je objem pórů vztažený k objemu textilie. Je doplňkem zaplnění, souvisí s geometrií vláken, ovlivňuje prodyšnost i tlakový spád a navíc je ovlivňována zanášením filtru.

2.2 Prach

Prach je pevný aerosol. Vzniká přirozeně zvětráváním hornin, činností sopek a při mechanickém zpracování materiálů v pevném skupenství. Velikost prachu je přibližně do $100 \mu\text{m}$. Hrubý prach má velikost v desítkách mikrometrů a rychle sedimentuje. Při spalování organických látek vzniká kouř o velikosti $0,01\text{--}0,5 \mu\text{m}$ a při svařování dým, jehož částice mají nejčastěji velikost $0,1\text{--}1 \mu\text{m}$ [Hollerová, 2007].

Prachy mohou být inertní, dráždivé, infekční, toxické a karcinogenní. Legislativně jsou stanoveny přípustné expoziční limity [Hollerová, 2007].

Reálný prach je směs typů, s ohledem na konkrétní prostředí. Cílem je, aby došlo k záchytu nehledě na typ částice. Nejhuře zachytitelné částice jsou mezi 100 a 300 nm . Tento interval představuje minimum odlučivosti (MPPS). Částice menší než 100 nm se s klesajícím průměrem zachytávají lépe a částice větší než 300 nm se zachytávají lépe s rostoucím průměrem. Dále závisí i na průměru použitých vláken (ovlivňování přímého záchytu). Při zvyšování rychlosti proudění se minimum nejhuře zachytitelných částic posouvá k nižším velikostem (ovlivňování difuzního usazení) [Brown, 1993].



Obr. 1 Zobrazení penetrace částic s ohledem na jejich velikost. Upraveno podle [First, 1998]

2.3 Aplikace jemné filtrace a vysoce účinných filtrů

Filtrace jemného a středně hrubého prachu se zaměřuje především na částice od $0,5$ do $5 \mu\text{m}$, větší částice jsou zachyceny díky menším pórům. Při běžném větrání se jedná především o jemný prach.

Používají se jako druhý stupeň filtrace v klimatizační jednotce. Nejčastěji se jedná o netkané textilie z vláknatých polymerů či skelná vlákna. Při vysoké účinnosti záchytu pro interval velikostí částic

normovaný ČSN EN 779 nebo ČSN EN ISO 16890 se přistupuje k hodnocení průniku menších částic podle ČSN EN 1822.

Tato kategorie je známá pod názvem HEPA filtry. Byly vyvíjeny pro armádní účely v průběhu 2. světové války jako ochrana před biologickými, chemickými a radioaktivními částicemi, které měly všechny zachytit. Postupně se HEPA stalo synonymem vysoce účinných filtrů [First, 1998]. Jejich účinnost zachytu částic je od 85% do 99,99...95 %, podle normy ČSN EN 1822. Používají se na konci klimatizačních jednotek, jsou na výstupu vzduchu z vysavače, v mikrobiologických laboratořích, farmaceutických provozech, uplatní se i při výrobě elektroniky, v čistých provozech, ve flowboxech, při lakování [Sutherland, 2008].

Nejčastěji se vyrábí naplavováním krátkých skelných vláken, což má nevýhodu ve velkém objemu vody a malé produktivitě, či vrstva vzniká rovnou z taveniny. Další možností je technologie meltblown z termoplastických vláknitvorných polymerů. Vlákná mají průměr v řádu jednotek až desítek mikrometrů.

2.4 Nanovlákná

Filtrační vrstva z nanovláken je součástí experimentu této práce. Z názvu nanovlákná vyplývá, že nejméně jeden rozměr mají v nanometrech, tedy od 1 do 100 nm. Ovšem častěji se používá rozšířená definice se submikronovým průměrem vláken. Délka vlákna je mnohonásobně větší, v makroskopickém měřítku. Nanovlákná mají vysoký specifický povrch, jsou vysoce porézní a póry jsou velmi malé, vrstva je prodyšná. Tyto vlastnosti jsou předurčující pro využití ve filtraci. Mají nízkou hmotnost.

Nanovláknenná vrstva byla zvolena z polyamidu 6. Má nízké průměry vláken a jeho zvlákňování je dobře prozkoumané, což umožňuje výrobu homogenních vrstev. PA6 byl použit k předchozímu testování [Hrůza, 2005]. Volba vrstev nízkých plošných hmotností navazuje na předchozí výzkum [Hrůza a Hanuš, 2013] a konkrétní výběr probíhal na základě měření prodyšnosti a efektivity zachytu. Předmětem experimentu je zachování vhodných filtračních vlastností, především prodyšnosti.

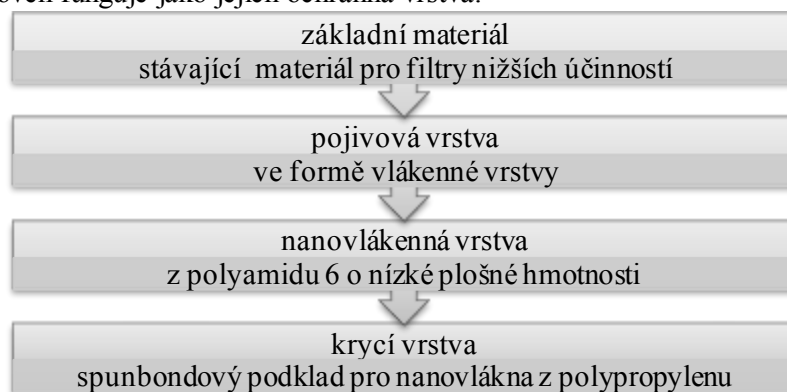
Nanovláknenná vrstva byla vyrobena na stroji Nanospider 1WS500U technologií kontinuálního bezjehlového elektrostatického zvlákňování. Nanovlákná byla zvlákňována z roztoku na polypropylenový spunbond o plošné hmotnosti 20 g/m² s antistatickou úpravou.

3 Praktická část

Cílem této práce je zlepšit filtrační účinnost vzduchových filtrů (tříd G a M dle ČSN EN 779) laminací nanovláknenné vrstvy o nízké plošné hmotnosti s ohledem na zachování prodyšnosti.

3.1 Materiály

Vyvíjený filtr má vícevrstvou konstrukci. Základem je komerčně používaný filtr, který se samostatně používá pro vzduchovou filtraci nižších kategorií. Další vrstvou je pojivo ve formě pavučiny o nízké plošné hmotnosti a hlavní filtrační vrstvou jsou nanovlákná, která byla zvlákňována na spunbondový poklad, který zároveň funguje jako jejich ochranná vrstva.



Obr. 2 Znáznornění konstrukce filtru. Směr proudění vzduchu představují šipky.

3.1.1 Základní materiály

Pro experiment byly vybrány 2 základní materiály komerčně používané k filtraci vzduchu. Netkaná textilie (SK) je připravená technologií odstředivého zvlákňování skla, která se běžně používá pro filtraci v budovách, je vhodná pro filtraci (středně) jemného prachu. Patří do třídy M6 podle ČSN EN 779 v případě přísného hodnocení. V jednom měření hodnota efektivita zachytu pro velikost částic $0,4\ \mu\text{m}$ poklesla pod 80%, i když celkový průměr zůstal v kategorii o třídu vyšší, tedy F7. Podle ČSN EN ISO 16890 patří do třídy ePM1 70%. Tato textilie byla vybrána pro časté zastoupení ve filtračních zařízeních, kde se používá zejména pro svou životnost. Spodní strana filtru je zpevněna polyesterovou podkladovou textilií typu spunbond pojenou rastrovaným kalandrem. Průměr vláken je asi $30\ \mu\text{m}$.

Jako druhý materiál byla vybrána netkaná textilie (VP) z firmy Mitop vyrobená ze staplových polypropylenových vláken, zpevněná technologií vpichování, s jednou stranou termicky pojenou kalandrem. Používá se pro filtraci hrubého prachu kategorie G3 podle ČSN EN 779. Termoplasty jsou ve filtraci konkurentem sklených vláken, jsou obecně levnější s nižší odolností.

K jejich charakterizaci byla provedena obrazová analýza, byly změřeny průměry vláken. Zároveň pohled mikroskopem identifikoval technologii výroby skleněného materiálu, s typickými vadami na vláknech, které vznikají při odstředivém zvlákňování.

Průměr PP vláken je $12,72 \pm 2,48\ \mu\text{m}$, skleněná vlákna mají $2,04 \pm 0,70\ \mu\text{m}$. Měření proběhlo za použití optického mikroskopu Nikon a softwaru NIS Elements.

3.1.2 Pojiva

Jako pojivo byly vybrány 3 vlákně vrstvy. Bikomponentní pavučina z vláken typu jádro-plášť z polypropylenu a polyetylen (biko) v poměru 4:1 o plošné hmotnosti $18\ \text{g/m}^2$ od firmy PFNonovens, dále pavučina z kopolyesteru (coPES) o plošné hmotnosti $8\ \text{g/m}^2$ od firmy Protechnic a kopolyamidová pavučina (coPA) PA1203 o plošné hmotnosti $10\ \text{g/m}^2$ od firmy Spunfab. Průměr vláken jednotlivých vrstev je orientačně $20\ \mu\text{m}$ (biko), $15\ \mu\text{m}$ (coPES) a $45\ \mu\text{m}$ (coPA).

3.1.3 Nanovlákna

Nanovlákněná vrstva byla zvolena z polyamidu 6. Má nízké průměry vláken a jeho zvlákňování je dobře prozkoumané, což umožňuje výrobu homogenních vrstev. Volba vrstev nízkých plošných hmotností navazuje na předchozí výzkum [Hrůza a Hanuš, 2013] a konkrétní výběr probíhal na základě měření prodyšnosti a efektivita zachytu. Předmětem experimentu je zachování vhodných filtračních vlastností, především prodyšnosti.

Nanovlákněná vrstva byla vyrobena na stroji Nanospider 1WS500U technologií kontinuálního bezjehlového elektrostatického zvlákňování. Nanovlákna byla zvlákňována z roztoku na polypropylenový spunbond o plošné hmotnosti $20\ \text{g/m}^2$ s antistatickou úpravou.

3.2 Příprava vzorků

3.2.1 Výběr nanovlákněné vrstvy

Spodní hranicí vyrobitelnosti je plošná hmotnost přibližně $0,1\ \text{g/m}^2$, ale stále vykazuje velkou variabilitu. Od $0,3\ \text{g/m}^2$ je vrstva dostatečně homogenní a stabilní. I tak je nutné přesně kontrolovat parametry roztoku a průběh zvlákňování. Roztok je proto ve stroji maximálně hodinu.

Horní hranicí plošné hmotnosti pro experiment byla hodnota $1,1\ \text{g/m}^2$. Výběr dvou plošných hmotností nanovlákněné vrstvy probíhal na základě měření vstupních parametrů, prvním bylo měření prodyšnosti.

Vzhledem k aplikaci s předfiltry relativně nízkých tříd byly vybrány vzorky s vyšší prodyšností. Vyřazeny tak byly 2 nanovlákněné vrstvy s plošnou hmotností $0,75$ a $1,1\ \text{g/m}^2$ z důvodu malé prodyšnosti ve srovnání s vrstvou o nejmenší plošné hmotnosti ($0,30$ - $0,35\ \text{g/m}^2$).

Poté se přistoupilo k měření na přístroji Palas MFP HEPA 1000, kde byla zjištěna efektivita zachytu pro nejhůře zachytitelné částice. Na základě výsledků byly pro experiment zvoleny plošné hmotnosti $0,30$ - $0,35\ \text{g/m}^2$ a $0,46$ - $0,54\ \text{g/m}^2$. V měření vykazovaly vysokou účinnost zachytu a zároveň vysokou míru prodyšnosti.

Vybrané 2 vrstvy byly vyrobeny zvlákňováním z roztoku 12% PA6 ve směsi kyseliny octové a mravenčí v poměru 2:1, který byl postupně dávkován na strunu v elektrostatickém poli za rozdílu

potenciálů 70 kV, při vlhkosti vzduchu 23 % (0,30-0,35 g/m²) nebo 27 % (0,46-0,54 g/m²). Rychlost odtahu materiálu byla 190 a 140 mm/min. Elektroda a kolektor byly vzdáleny 175 mm. Průměry nanovláken jsou u nižší plošné hmotnosti $111,4 \pm 17,4$ nm a vyšší $127,5 \pm 20,7$ nm.

3.2.3 Laminace filtrů

Laminování je dokončovací operace, slouží ke spojení více vrstev materiálu. Obvykle se používá za účelem modifikace vlastností jako je prodyšnost, propustnost, stabilita rozměrů nebo povrchových vlastností. Může probíhat za sucha, nebo mokra, tedy z rozpouštědlového systému, který obvykle přináší větší ekologickou zátěž a nutnost sušení.

Laminování za sucha probíhá pomocí termoplastického adheziva za zvýšené teploty nejčastěji mezi 75 a 200 °C a přtlaku. Vzniká kompozitní materiál, laminát. Tlak je použit pro přiblížení materiálů k sobě, nikoliv k velkým trvalým deformacím na základních materiálech [Russel, 2007]. Pro pojení vláknenných syntetických materiálů je nutné zohlednit teplotu tání všech používaných materiálů a vhodně zvolit pojivo i teplotu.

Vzorky byly připravovány ručně nařezáním dílčích částí jednotlivých materiálů a následnou kompletací a laminováním. Pro laminaci filtrů bylo zapotřebí připravit jednotlivé vrstvy vstupních materiálů. Z rolí vstupního materiálu byly ručně pomocí nožičky vyřezány čtverce za použití šablony a navrstveny na sebe v pořadí základní materiál, pojivo a nanovláknenná vrstva na spunbondovém podkladu. Práce s nanovláknem byla maximálně opatrná.

Připravený materiál byl přemístěn k lisu. Obě desky byly temperovány. Vzorek byl vložen mezi dvě předeřáté pryžové gumy oddělené pečicím papírem od kovových desek lisu.

Laminace probíhala na lisu 1 minutu za tlaku desek 14 kN. Teplota byla zvolena 120 a 130 °C pro pojiva kopolyamid a kopolyester. Pro pojivo z PP/PE bylo vyzkoušeno rozmezí teplot 120-140 °C po 5 °C intervalech. Při vyšší teplotě by docházelo ke srážení polypropylenu, při nižší teplotě nedošlo k roztavení pojiva. Nanovláknenná adheze k pokladovému materiálu byla uznána jako postačující pro manipulaci a nebyla vylepšována. Průběžně byla tato adheze testována při měřeních a přesunech vzorků.

3.3 Měření prodyšnosti

Měření prodyšnosti všech vzorků probíhalo na přístroji SDL ATLAS M02IA. Testovaná plocha byla 20 cm² za tlakového spádu 200 Pa dle normy ČSN EN ISO 7231. Postup spočíval ve vložení vzorku nad měřicí prostor, ukotvení pomocí upínací hlavy, které spouštělo samotné měření množství vzduchu před a za textilií za stanovených podmínek.

Důležité je, aby vzduch proudil vzorkem kolmo na plochu a nedocházelo k obtékání, které znemožňuje porovnání dat kvůli nerovnoměrnému proudění vzduchu. Plocha vzorku byla rovnoměrně proměřena. Výsledek je uveden s jednotkou l/m²s.

3.4 Měření efektivity zachytu částic

MFP 1000 HEPA od německé firmy Palas je spektrometrický přístroj pro testování malých, především plochých, filtrů. Snímá částice prošlé materiálem, vyhodnocuje jejich počet a velikost pomocí optického detektoru.

Částice jsou vzduchem hnány danou rychlostí skrz testovaný materiál, který je ukotven pomocí pneumatického držáku. Pak je vzduch definovaně zředěn tak, aby optický počítač částic mohl zaznamenat jednotlivé částice a jejich velikost. Určí je na základě jejich průletu paprskem, který částečně blokuje. Fotodetektor zaznamená pokles signálu a na základě jejich počtu je zjištěn počet částic a z amplitudy signálu velikost. Průtok částic musí být nízký a kapalina vysoce čistá.

Přetížení kontroluje software FTC, taktéž vyhodnocení. Získané informace o distribuci velikostí prošlých a zachycených částic jsou zpracovány v účinnost zachytu, která se nejčastěji vyhodnocuje pro nejhůře zachytitelné částice E_{MPPS} a dále podle norem. Rozsah částic je od velikosti 120 nm do 3 μm, což znamená malou odchylku od normy ČSN EN 1822, která zohledňuje částice od 100 do 300 nm.

Před každým měřením probíhala kalibrace přístroje, kdy test proběhnul bez vzorku. Aerosol DEHS byl rozprašován v částicích o velikosti od 120 nm do 2,5 μm. Poté se nastavilo optimální ředění vzduchu tak, aby optický počítač částic dokázal odlišit jednotlivé částice (při nedodržení této

podmínky bylo nutné nastavit větší definované ředění vzduchu a test opakovat). Následovalo vložení vzorku nad kruhový otvor o ploše 100 cm² a zajištění. Pomocí softwaru byl spuštěn test a aerosol DEHS byl rozprašován na testovaný vzorek.

Počet a velikost prošlých částic byl zaznamenáván. Na tomto základě byla zjištěna efektivita záchytu filtru, především nejhůře zachytitelných částic E_{MPPS} a další charakteristiky. Hodnocení probíhalo především na základě norem pro vzduchovou filtraci. Zároveň byl měřen i tlakový spád na externím měřiči s rozsahem 0-2000 Pa (z důvodu poruchy interního tlakoměru). Nárůst tlaku je také nutné zohledňovat, a to zejména pro použitelnost filtrů.

4 Hodnocení nanovlákného filtru na vpichované textilii

Základní materiál vpichované textilie z polypropylenu vykazuje sám nízkou filtrační efektivitu a řadí se do třídy zachytávající hrubý prach, konkrétně G3 podle normy ČSN EN 779. Proto bylo zlepšování efektivitu záchytu testováno pouze s nanovláknem o plošné hmotnosti 0,30-0,35 g/m².

Laminace probíhala s pojivem v podobě pavučiny kopolyamidu a kopolyesteru při teplotě 120 a 130 °C a bikomponentního PP/PE při teplotě 135 a 140 °C.

Nejvyšší prodyšnost má filtr pojený za 135°C bikomponentním pojivem, za vyšší teploty již docházelo k natavování vláken a zmenšování pórů. V případě pojení kopolyesterem má situace stejný trend, celkově je prodyšnost ještě menší. Při pojení kopolyamidem je prodyšnost za obou teplot přibližně stejná, hodnoty se s úvahou směrodatných odchylek překrývají.

Hodnoty počátečního tlakového spádu filtru by měly být nepřímo úměrné hodnotám prodyšnosti. Výsledky tomuto předpokladu zhruba odpovídají. Zároveň lze pozorovat vliv parametrů laminace na zvýšení počátečního tlaku oproti původní nanovlákně vrstvě přibližně dvojnásobně až šestnásobně. Z tohoto pohledu vycházejí jako nejlepší vzorky bikomponentního, a pak kopolyamidového pojiva.

Hodnoty konečného tlakového spádu vypovídají o rovnoměrnosti pojení vzorku a o vhodnosti kombinace plošné hmotnosti nanovláken s materiálem předfiltru. Ke zvýšení konečného tlakového spádu dochází tak, že během 1 minuty testu částice nalétávají na měřený vzorek a mění jeho strukturu. Nejmenší nárůst tlakového spádu byl zaznamenán u vzorku pojeného bikomponentním pojivem, největší nárůst byl zaznamenán při pojení kopolyesterem.

Struktura vpichované textilie je specifická. Obsahuje velké množství vazných bodů, kde jsou vlákna do sebe zaklesnuta. Soudržnost zajišťuje tření. Ve vazných bodech se nachází také mezera po vstupu jehly, která je dobře pozorovatelná. Proto se vpichované textilie používají pouze pro filtraci hrubého prachu. Celkově je struktura vpichované textilie poměrně otevřená. Velikost pórů je v řádech stovek mikrometrů.

S přidáním více vrstev se póry zmenšují, ale spodní vrstvy jsou více namáhány. Příliš otevřená struktura předfiltru nemá dostatečnou předfiltrační účinnost. Pojivo může účinnost více zhoršit zvýšením lokální rychlosti toku. Částice nalétávají rovnou na nanovláknem, kde dochází k rychlému ucpání pórů.

K horším výsledkům pavučin kopolyamidu a kopolyesteru pravděpodobně došlo především kvůli malé afinitě s PP a struktuře. Mohlo dojít k zalepení nanovlákně vrstvy, nárůstu tlaku, který následně lehce rozvolnil nanovláknem včetně poklesu efektivitu záchytu. Struktura pojiv byla velmi málo zaplněná, zvláště kopolyamidová vrstva měla vlákna s větším průměrem a většími mezerami. Kopolyesterová pavučina měla nižší plošnou hmotnost a vlákna měla menší průměr.

Bikomponentní pavučina měla zhruba 2x vyšší plošnou hmotnost z polymerů o nejnižší hustotě, vlákna byla průměrem blízko k kopolyesteru a díky bikomponentní struktuře se netavila celá, vznikaly bodové spoje. Vrstva pravděpodobně dokázala poskytnout jakýsi předfiltr více odkrytým nanovláknem, což se projevilo na malých hodnotách tlaků (při 135°C). Extrémní pokles účinnosti při pojení touto vrstvou při 140°C lze připsat přílišnému natavení pojiva a jeho srážením, což drobně porušilo zejména nejúčinnější nanovláknem vrstvu.

Nejlépe kombinace bylo docíleno u vzorku pojeného bikomponentním pojivem za 135 °C, tlaku 14 kN po 1 minutu základního polypropylenového předfiltru s nanovláknem vrstvou o plošné hmotnosti 0,30-0,35 g/m² a to díky výše zmíněným parametrům.

Efektivita zachytu zaznamenává minima, která mohou být lokální, a jako v tomto případě, se na prodyšnosti neprojeví. V zásadě platí, že nehomogenita struktury materiálu se výrazněji projevuje na účinnosti zachytu, než na prodyšnosti. Na účinnost zachytu částic o velikosti 0,1 – 0,5 μm má negativní vliv rychlost proudění, která může být vlivem menší prodyšnosti vyšší.

5 Hodnocení nanovlákného filtru na materiálu ze skleněných vláken

Netkaná textilie ze skelných vláken s polyesterovým podkladem dosahuje samostatné účinnosti odlučování třídy ePM1 70% podle ČSN EN ISO 16890. Bylo přistoupeno ke zlepšování filtračních vlastností oběma typy nanovlákných vrstev za využití 3 typů pojiva.

Předpoklad je, že počáteční tlakový spád filtru by měl být nepřímě úměrný prodyšnosti. Výsledky tomuto předpokladu odpovídají. Lze pozorovat vliv parametrů laminace a použité vrstvy nanovláken na zvýšení počátečního tlaku i na rozdílu přírůstku tlakového spádu za dobu testu. Z tohoto pohledu vycházejí jako nejlepší vzorky kopolyamidového pojiva, jehož vzorky mají vyšší prodyšnost a menší hodnoty tlaků než u kopolyesterových vzorků. Mezi sebou (coPA) se liší s použitím rozdílných nanovlákných vrstev, kdy se s vyšší plošnou hmotností zvýšil počáteční tlak o zhruba 18 % a prodyšnost klesla o 21%.

Pojení s nanovláknem o plošné hmotnosti 0,30-0,35 g/m^2 kopolyamidem se docílilo velmi nízkého tlakového spádu a účinnosti vyšší než samotná nanovlákná vrstva. Rozdíl v teplotách pojení není příliš znatelný, pojivo má širší teplotní optimum. Pojení kopolyesterem s nižší plošnou hmotností nanovláken mělo vyšší nárůst tlaku při měření, zejména při 130°C, kdy pravděpodobně docházelo k většímu natavení, což vedlo k zmenšení pórů a většímu namáhání nanovlákné vrstvy.

S vyšší plošnou hmotností vrstvy nanovláken se docílilo vyšší účinnosti zachytu. Nárůst tlaku při pojení kopolyesterem (za 130°C) může být z důvodu hustší struktury tenčích vláken, které více zalepily nanovláknou vrstvu a dochází k jejímu většímu namáhání.

Bikomponentní pojivo se podařilo spojit pouze za 135°C a po testování efektivitu zachytu se rozpojilo. Výsledky byly příznivé, účinnost je již na 99% zachytu částic pro částice mezi 120 a 300 nm, ale pro aplikaci je důležitá i mechanická stabilita. Afinity k podkladové textilií předfiltru nebyla dostatečná. S kopolyesterem za 120°C bylo dosaženo stejně jako u polypropylenového základního materiálu maximální efektivitu, konkrétně 99,19 $\pm$ 0,28 %, ale nevýhodou je vysoký počáteční tlak.

Jako nejlepší vzorek byl vyhodnocen filtr s nanovláknem o plošné hmotnosti 0,46-0,54 g/m^2 pojený kopolyamidovou pavučinou za 130°C, a to díky vysoké účinnosti zachytu částic, v rozmezí 120-300 nm 99,04 $\pm$ 0,31 % a nízkým hodnotám tlaků.

Pro materiálové složení základního filtru se ukázalo jako vhodné pojení kopolyamidem, jehož vlákna s menším počtem o větším průměru zajistila pevné spoje. Adheze s podkladovou textilií skleněného předfiltru se ukázala jako dobrá, materiálová afinita s nanovláknem byla předpokládána, jejich povrch navíc předurčuje dobrou adhezi. Bylo zjištěno, že větší průměr vláken za 120 ani 130 °C nezpůsobil problémy v neprůchodnosti vrstvy. Vyšší směrodatné odchylky při měření prodyšnosti jsou důsledkem tlustších vláken a větších mezer, tudíž se projevovala nehomogenita pojivové vrstvy v ploše, která se projevila při měření menší testované plochy prodyšnosti.

Kopolyesterová vrstva nevytvořila vhodné spoje, vrstva byla méně prodyšná a obsahovala více nehomogenit. Pojení bikomponentním pojivem se neukázalo jako vhodné z důvodu nedostatečné materiálové afinity s podkladovou textilií skleněného předfiltru. Ačkoliv nebyla předpokládána přílišná afinita ani s PA6, nanovlákná mají velký povrch, ke spojení došlo.

6 Testování stability vybraného vzorku

Vzorek SK coPA 05 130, tedy laminát ze skelných vláken na podkladu spunbondové NT pojený pavučinou z kopolyamidu za 130°C s nanovláknou vrstvou o plošné hmotnosti 0,46-0,54 g/m^2 z PA6 za 14 kN po dobu 1 minuty, s účinností zachytu pro nejhůře zachytitelné částice 99,04 $\pm$ 0,31 % byl podroben dalším dvěma testům, aby se zjistila odolnost nutná k výrobě a dalšímu využití.

6.1 Skládání

Prvním testem bylo ruční skládání vzorku, které mělo přibližně simulovat, zda filtr vydrží manipulaci a skládání, které by probíhalo při strojní výrobě. Bohužel laboratoř nedisponuje vlastním přístrojem na výrobu skládaných filtrů. Výsledek skládání je na fotografiích, Obr. 3-4. Sklady byly ještě na chvíli zatíženy, přitlačeny a uvolněny. Následně byl vzorek změřen na přístroji pro zjištění efektivity zachytu částic. Při skládání došlo k částečnému odlepení spunbondu od nanovláken, ale po zalepení do rámečku by nedocházelo ke ztrátě funkce krycí vrstvy.



Obr. 3 a 4 Po uvolnění skládání. Částečné odlepení krycí vrstvy.

6.2 Simulace namáhání prouděním vzduchu

Další měření probíhalo na přístroji VDI 3926 Filter Tester, v režimu, který simuluje průtok pomocí 2 ventilátorů, bez částic a za laboratorní teploty. Ze vzorku byl vyražen kruh o průměru 140 mm, který byl upevněn do testovací hlavy o testovací ploše 100 cm² v měřicí komoře přístroje. Poté byl vzorek 1 h profukován čistým vzduchem za průtoku 5 cm/s. Tento test sloužil k zjištění mechanické stability v provozu. Následně byla opět zjištěna efektivita zachytu, která prozradí případné poškození.

Test byl proveden na 2 vzorcích SK coPA 05 130, a to na původním a skládaném.

Základní měření je první měření připravovaného laminovaného filtru. Název skládaný označuje vzorek laminovaného filtru, který byl ručně poskládan a relaxován. Profukovaný označuje vzorek laminovaného filtru, který byl testován na přístroji profukováním. Profukovaný+ skládaný označuje vzorek, který byl nejdříve ručně poskládan, relaxován a následně byl testován na přístroji profukováním.

6.3 Diskuze

Skládání ovlivnilo tlakový spád, a to pozitivně, došlo k jeho poklesu, v průměru o 12,7 Pa. To může být způsobeno uvolněním pnutí v ohybech díky pohybům při skládání a následném rozvolnění. Dalším důvodem je i nepatrné zvětšení plochy, které vzniklo z důvodu trvalých deformací v materiálech. Měření probíhalo v plochém tvaru.

Výše uvedená měření byla provedena na vzorcích o stejném materiálovém složení. Při následujících operacích došlo ke snížení počátečního tlaku i tlakového spádu. Což pravděpodobně ukazuje na uvolnění napětí vloženém laminací. Jednotlivá vlákna se vlivem malého napětí stálého profukování pomalu relaxovala z pnutí, fixace pojivem byla zároveň dostatečně pevná a umožnila i relaxaci.

U předskládaného a profukovaného vzorku došlo k největšímu poklesu počátečního tlaku o 20 Pa. Bohužel pro nejmenší částice v rozmezí 120-190 nm došlo k poklesu účinnosti, E_{MPPS} je 97,62 %. Pravděpodobně došlo k posunům nanovláken ve vrstvě, kudy již dokázaly projít malé částice. Například v místech uvolněného ohybu. V reálném filtru by ohyb nebyl znovu relaxovaný, vlivem skládání dochází ke změnám struktury. Filtr zůstává ve třídě E11 podle ČSN EN 1822.

7 Závěr

Atmosférická filtrace je jeden z aspektů ochrany zdraví i životního prostředí. Vysoce účinné filtry se soustředí na velmi malé částice (často menší jak 2,5 μm), které nemusí být lidským okem pozorovatelné.

Cílem práce byl vývoj vysoce účinného filtru pomocí nanovlákněné vrstvy o velmi nízké plošné hmotnosti. V experimentu byly úspěšně optimalizovány parametry typu pojiva a teploty na základě měření filtračních vlastností konkrétních materiálů.

Byla připravena škála vzorků a sledovány filtrační vlastnosti. Z filtračních vlastností byla měřena prodyšnost, počáteční tlakový spád, konečný tlakový spád po minutě dávkování částic a účinnosti zachytu jednotlivých velikostí částic v rozsahu 0,12 – 2,5 μm . Pro vyhodnocení je zásadní velikost nejvíce pronikajících částic (MPPS). Z jejich počtu pak vychází nejnižší a uváděné procento odlučivosti filtru. Další hodnocení vychází z norem, konkrétně ČSN EN 779, ČSN EN ISO 16890 a ČSN EN 1822.

Měření probíhalo na menších vzorcích, než u reálného filtru, především kvůli dostupným přístrojům. Vyhodnocování bylo provedeno na základě nejhoršího výsledku, což odpovídá konceptu normy ČSN EN 1822. Vady v materiálu a nehomogenita se projevují v poklesu efektivity zachytu, a proto byl zvolen tento přísnější přístup, i když by průměr měření ještě zůstal ve vyšší filtrační třídě.

Filtrační charakteristiky byly dány používanými materiály. S polypropylenovým vpichovaným základním filtrem bylo vytvořeno 6 typů vzorků. Samostatně se používá pro hrubou filtraci. Z tohoto důvodu bylo laminování prováděno pouze pomocí nanovlákněné vrstvy o nižší plošné hmotnosti 0,30–0,35 g/m^2 . Nejlepších výsledků bylo dosaženo u vzorku VP biko 135. Tento filtr vykazuje velkou efektivitu zachytu částic, E_{MPPS} je $90,83 \pm 1,81 \%$, podle normy ČSN EN 1822 se řadí do třídy E10.

Ukázalo se, že otevřená struktura vpichované textilie klade nároky na pojivou vrstvu i jako předfiltr nanovlákněné vrstvy, jinak dochází k jejímu velkému namáhání, což se projevuje na zvýšení tlakového spádu a vede ke snížení efektivity zachytu. Struktura monokomponentních vlákněných vrstev byla příliš otevřená a neobjemná. Výhodou bikomponentního pojiva se ukázala vyšší plošná hmotnost a bikomponentní složení vláken, které tvoří bodové spoje.

Se základním filtrem připraveným technologií odstředivého zvlákňování skla na podkladovou spunbondovou netkanou textilií z polyesteru bylo vytvořeno 9 soudržných typů vzorků. Samostatná odlučivost základního materiálu je třídy ISO ePM1 70%. Optimálních výsledků bylo docíleno u vzorku SK coPA 05 130. Účinnost zachytu výsledného materiálu je $99,04 \pm 0,31 \%$, podle normy ČSN EN 1822 se řadí do třídy E11.

U tohoto filtru se neukázalo jako vhodné bikomponentní pojivo, a to z důvodu malé afinity s podkladovou textilií z předfiltru, ve všech případech došlo k rozpojení. Většina vytvořených vzorků se liší minimálně v účinnosti zachytu. Z hlediska tlaku je vhodné pojení kopolyamidem, počáteční tlaky jsou nízké a nedochází k přílišnému nárůstu vlivem zanášení částicemi po dobu testování, což je výhodné pro použití. Vlákná mají větší průměr a poskytují pevné spoje. Vyšší směrodatné odchylky prodyšnosti lze připisovat nehomogenitě pojivové vrstvy na malé testovací ploše tohoto měření. Kopolyesterová vrstva způsobovala vyšší nárůst tlaků, to přináší celkově nehomogenní tok, což ztěžuje jednoznačnou interpretaci výsledků.

S vybraným vzorkem vyvíjeného filtru byla provedena simulace operace výroby skládání a test stability v profukování. Nebyly zaznamenány závažné problémy. Vzorek lze doporučit k dalšímu vývoji aplikace například pro klimatizační jednotky ve formě skládaného filtru.

V dalším výzkumu by bylo vhodné reálné testování navrhnutého filtru ve skládané podobě.

Využití nanovlákněných vrstev pro vysoce účinné filtry se jeví jako aplikovatelné. Navíc laminace je bezrozpuštědlová technologie, kterou lze využívat kontinuálně, stejně jako výrobu předfiltrů, pojiv a nanovláken, ačkoliv zde se ještě nedosahuje průmyslových rychlostí v desítkách metrů za minutu.

Literatura

BROWN, R. C. 1993. *Air filtration*. 2nd edition, Sheffield.

ČSN EN 1822 1-5: 2010. Vysoce účinné filtry vzduchu (HEPA a ULPA). Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010.

ČSN EN 779: 2012. Particulate air filters for general ventilation. Requirements, testing, marking. Bruxelles: European Committee for Standardization, 2012.

ČSN EN ISO 7231 (645423): 2010. Měkké lehčené polymerní materiály - Stanovení hodnoty propustnosti vzduchu při konstantním tlaku. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010.

- FIRST, M. W., 1998. HEPA filters. *Journal of the American Biological Safety Association*, 3(1) pp. 33-42.
- HOLLEROVÁ, J. 2007. Prašnost na pracovišti. Státní zdravotnický ústav. [online] [cit. 2019-01-10]. Dostupné z <http://www.szu.cz/tema/pracovni-prostredi/prasnost-na-pracovisti-1>
- HRŮŽA J. a J. HANUŠ, 2013. Prototyp filtru s obsahem nanovláken pro částicovou filtraci [prototyp] Technická univerzita v Liberci, RIV/46747885:24220/13:#0002586.
- HRŮŽA, J. 2005. *Zlepšování filtračních vlastností vláknenných materiálů*. Disertační práce. TUL. Liberec.
- RUSSEL S. J., 2007. *Handbook of Nonwovens*. Woodhead Publishing Limited, Cambridge.
- SUTHERLAND, K., 2008. *Filters and filtration handbook*. 5. ed. Amsterdam: Elsevier, Butterworth-Heinemann. ISBN 978-1-85617-464-0.

Nanovláknenný implantát pro léčbu glaukomového onemocnění

Plucha Radim

Sekce - TEXTIL,

Fakulta textilní, 2. ročník

Navazující studijní program – TEXTILNÍ INŽENÝRSTVÍ

Absrtrakt: Práce je zaměřena na optimalizaci a analýzu nanovláknenného implantátu pro použití v oblasti léčby glaukomového onemocnění. Praktická část navazuje na již provedené experimenty v rámci autorovi bakalářské práci, konkrétně na výrobu drenážních implantátů z PVDF a jeho kombinace s PEO a Následné charakteristiky jeho hydrodynamických vlastností. V práci je dále popsána metodika výběru vstupních polymerů, technologie výroby implantátů. Dále jsou vzorky testovány z hlediska morfologie vláknenné vrstvy, materiálového složení a hydrodynamickou analýzu vyrobených vzorků. Poslední část je zaměřená na výrobu vláknenného kompozitu z PVDF/PEO a PVDF pro získání výhodných vlastností pro danou problematiku.

Klíčová slova: glaukom, polyvinylidenfluorid, polyetylenoxid, nitrooční tlak, drenážní implantát, elektrostatické zvlákňování

1. Materiály a zařízení pro výrobu vzorků

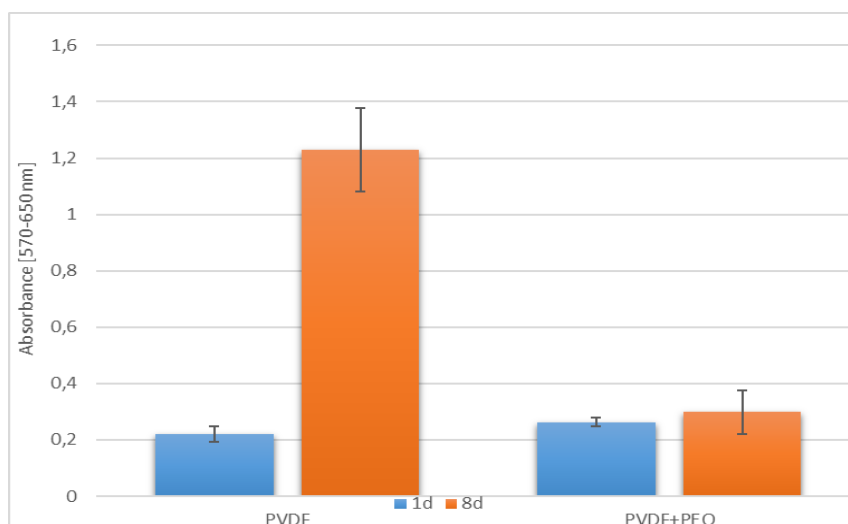
V experimentální části budou popsány materiály potřebné pro výrobu vzorků. Nejprve bude popsán výběr polymeru a vhodného rozpouštědla. Testována adheze buněk k materiálu. Pro danou aplikaci bylo nutné využít materiál s nízkou adhezí buněk pro snížení rizika fibrotické reakce implantátu.

1.1. Použité materiály

Pro výrobu implantátu byly vybrány polymery polyvinylidenfluorid (PVDF) a PVDF s přídavkem polyetylenoxidu (PEO). Tento výběr byl okomentován a obhájěn v autorově bakalářské práci. Výhodou materiálu je nízká fibrotizace, netoxičita a biokompatibilita v daném místě určení. V experimentu bylo použito PVDF od výrobce Sigma Aldrich o Mw: 180 000 g/mol a PEO od výrobce Sigma Aldrich o Mw: 900 000 g/mol. Jako rozpouštědlo byl zvolen dimethylacetamid (DMAC) a aceton oba od společnosti Penta Chemicals.

1.2. Testování proliferace buněk na PVDF a PVDF/PEO

Z hlediska procesu výroby a řízení procesu elektrostatického zvlákňování je samotné PVDF výrazně vhodnější materiál než PVDF/PEO z důvodu nutnosti práce při 60 °C s tímto polymerem. 60°C je nutné pro směsování PVDF a PEO. Při nižších teplotách není dosaženo plného rozpuštění a smísení polymerů. Pro porovnání buněčné proliferace mezi oběma materiály byl proveden tzv. MTT test, měřící metabolickou aktivitu buněk na samotném PVDF a PVDF/PEO a výsledky byly porovnány. Pro testování byla využita fibroblastová buněčná linie (myši 3T3 fibroblasty). Výsledky buněčné metabolické aktivity po 1 a 8 dnu kultivace jsou znázorněny v grafu 1.



Graf 1 výsledky MTT testu

Z výsledků je patrné, že PVDF/PEO vykazuje výrazně nižší proliferaci buněk než PVDF. Z důvodu adheze buněk a rizika fibrotizace implantátu je vhodnějším materiálem PVDF /PEO, avšak čisté PVDF je mnohem výhodnější z hlediska výroby. Proliferaci buněk je možné zamezit například antifibrotickými činidly, která inhibují růst buněk. V případě využití antifibrotik by tedy bylo možné využívat také implantáty vyrobené z čistého PVDF, z tohoto důvodu budou v dalších částech práce porovnávány jak materiály PVDF/PEO i vzorky z PVDF především v závislosti na průtoku tekutiny skrz vláknennou vrstvu.

2. Výroba nanovláknenných vrstev

V této kapitole bude popsána příprava a vlastnosti roztoku potřebného k produkci vzorků a samotná výroba implantátů. V další části bude popsána technologie elektrostatického zvlákňování a její modifikace. Postupně budou probrány metody přípravy planárních a tubulárních vzorků pomocí elektrostatického zvlákňování z jehly a technologie hladinového zvlákňování pomocí přístroje Nanospider™ od firmy Elmarco.

2.1. Příprava roztoku

Pro výrobu vzorků byl připravován roztok polyvinylidenfluoridu (PVDF; M_w : 180 000 g/mol) od výrobce Sigma Aldrich o koncentraci 20 hm. %. Do roztoku bylo přidáno 0,5 hm. % polyethylenoxid (PEO; M_w : 900 000 g/mol) od výrobce Sigma Aldrich z celkového roztoku, neboli 2,44 hm. % ze sušiny polymeru. Jako rozpouštědlo byl použit Dimethylacetamid (DMAC) od výrobce Penta Chemicals. Prvním krokem přípravy roztoku bylo rozpuštění PEO v DMAC při stálém míchání na magnetickém míchadle typu ARGO LAB M2-D Pro. Otáčky byly nastaveny na 300 ot/min a teplota byla udržována na 60°C. Rozpuštění probíhalo 45 minut. Po úplném rozpuštění PEO bylo do vzniklého roztoku přidáno PVDF a při stálém míchání a teplotě 60°C byl PVDF rozpouštěn po dobu 24 hodin. Při zvlákňování byla stále udržována teplota 60°C. Druhý využívaný roztok PVDF o koncentraci 26 hm. % byl rozpouštěn v systému DMAC/acetone oba od společnosti Penta Chemicals v poměru 8:2, míchán byl pomocí magnetického míchadla ARGO LAB M2-D Pro při 300 ot./min a zahříván na teplotu 55°C. Před zvlákňováním byl ochlazen na pokojovou teplotu. Takto připravené roztoky byly v dalším kroku elektrostaticky zvlákňovány.

2.1.1. Viskozita polymerních roztoků

Viskozita roztoku byla měřena pomocí rotačního viskozimetru Hakke viscotester E od společnosti Thermo scientific. Principem měření je vložení rotujícího tělesa do roztoku. Následně je zaznamenána síla, která musí být překonána rotujícím tělesem. Každý roztok byl proměřen 3x. Otáčky byly nastaveny na 100 ot/min. Jako rotující těleso bylo zvoleno nejmenší dostupné těleso s označením L1. Viskozita PVDF/PEO byla měřena při teplotě roztoku 60°C, protože při této teplotě byl roztok zvlákňován. Výsledky měření byly zprůměrovány a vypsány v tabulce 1.

2.1.2. Vodivost roztoku

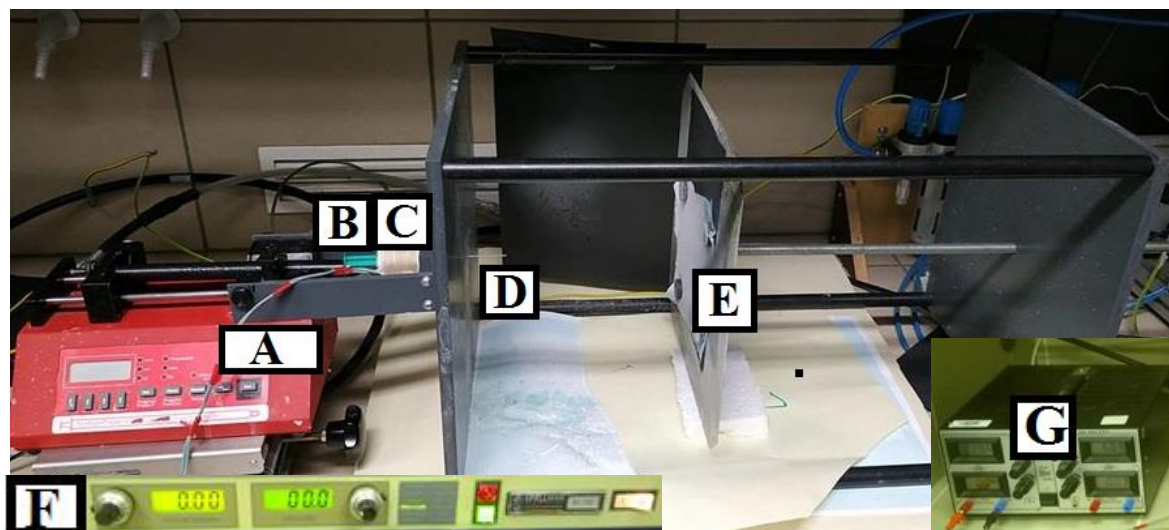
Vodivost roztoku byla měřena pomocí konduktometru typu K00091-L od firmy Schoot a k němu připojené vodivostní sondy typu CE21 od společnosti DHJ. Principem měření je naměření elektrické vodivosti mezi elektrodami, které jsou ponořeny do daného roztoku. Vodivost PVDF/PEO byla měřena při teplotě roztoku 60°C, protože při této teplotě byl roztok zvlákňován. Každý roztok byl měřen 3x výsledky byly zprůměrovány a popsány v tabulce 1.

Tabulka 1 Naměřená viskozita a vodivost využívaných roztoků

Roztok	Viskozita	Vodivost
20 hm. %. PVDF + 0,5 hm. % PEO při 60°C	173 mPa*s	27,5 μ S/cm
26 hm. % PVDF při pokojové teplotě	195 mPa*s	75,2 μ S/cm

2.2. Výroba planárních vzorků z PVDF/PEO

Zařízení je složeno ze synergické pumpy od firmy Labicom (A). Další částí je injekční stříkačka o objemu 2 ml (B). Pro nutné zahřívání na 60°C byl využit termočlánek (C) napojený na zdroj stejnosměrného napětí od firmy Straton od 0 do 40 V (G). Další částí byla jehla o vnitřním průměru 1,2 mm (D), která byla napojena na zdroj vysokého napětí typu Spellman (New York, USA, typ SL 150), který umožňuje nastavení elektrického napětí v rozmezí hodnot 0 – 70 kV (F). Poslední částí zařízení je kolektor určený pro zachytávání vláknenné vrstvy, kolektor je záporně nabíjen (E). Vláknena vznikají na základě rozdílů elektrických potenciálů (16 -17 kV) mezi kladně nabitou jehlou a záporně nabitým kolektorem. Zařízení je vyobrazeno na obrázku 1.



Obrázek 1 Zařízení pro výrobu planárních útvarů

2.3 Výroba planárních vrstev z PVDF

Technologie hladinového zvlákňování je oproti jehlové metodě mnohonásobně produktivnější. Principem je využívání struny, která je potírána polymerem. Na struně následně vzniká mnoho Taylorových kuželů, ze kterých jsou produkována nanovlákna.

Další výhodou je výrazně vyšší možnost kontroly vstupních proměnných, jako je vlhkost, teplota, nebo proudění vzduchu. Z hlediska produktivity a reprodukovatelnosti výroby je tato metoda mnohem vhodnější než metoda elektrostatického zvlákňování z jehly. Pomocí této metody však nelze zpracovávat polymery, které je nutné zahřívat ani vyrábět materiály, které vyžadují jako kolektor rotující tyčku. Pro výrobu planárních vzorků z čistého PVDF bylo využito zařízení Nanospider™, typ NS 1WS500U (Elmarco). Klimatické podmínky byly regulovány přesně řízeným klimatizačním systémem NS AC150/1000/2000 (Elmarco). Snímek zařízení je na obrázku 2.



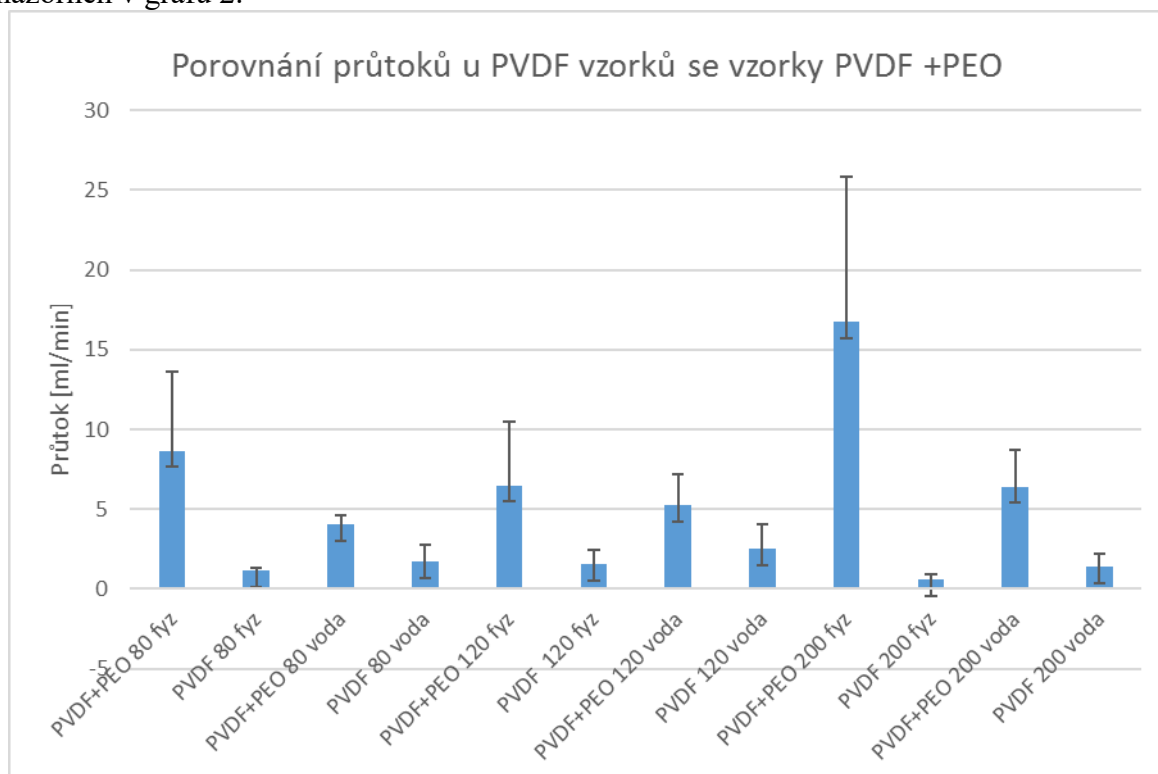
Obrázek 2 Nanospider™, typ NS 1WS500U (Elmarco)

2.4. Výroba tubulárních vzorků z PVDF/PEO

Zařízení pro výrobu tubulárních útvarů je také metoda elektrostatického zvlákňování z jehly. Metodika výroby vzorků je totožná s výrobou planárních vzorů. Rozdíl je v použitém kolektoru, kterým je místo desky rotující tyčka. Rotace tyčky je dosaženo pomocí rotačního zařízení Eurostar digital od firmy IKA, rotace byla nastavena na 500 ot/min.

2.5. Porovnání filtračních vlastností PVDF vzorků a vzorků PVDF/PEO

V této kapitole budou porovnány výsledky testování hydrodynamických vlastností planárních útvarů vyrobených z PVDF a planární vzorky z PVDF/PEO. Výsledek byl znázorněn v grafu 2.



Graf 2 Porovnání průtoků u PVDF vzorků se vzorky PVDF +PEO

Z grafu je zřejmé že vzorky vyrobené z PVDF jsou výrazně lepší z hlediska průtoku tekutiny oproti vzorkům z PVDF/PEO, což je zřejmě způsobeno nižší pórovitostí vláknenné vrstvy u čistého PVDF a množstvím defektů u PVDF/PEO.

2.6. Zhodnocení výsledků průtoků tekutiny tubulárních a planárních vzorků

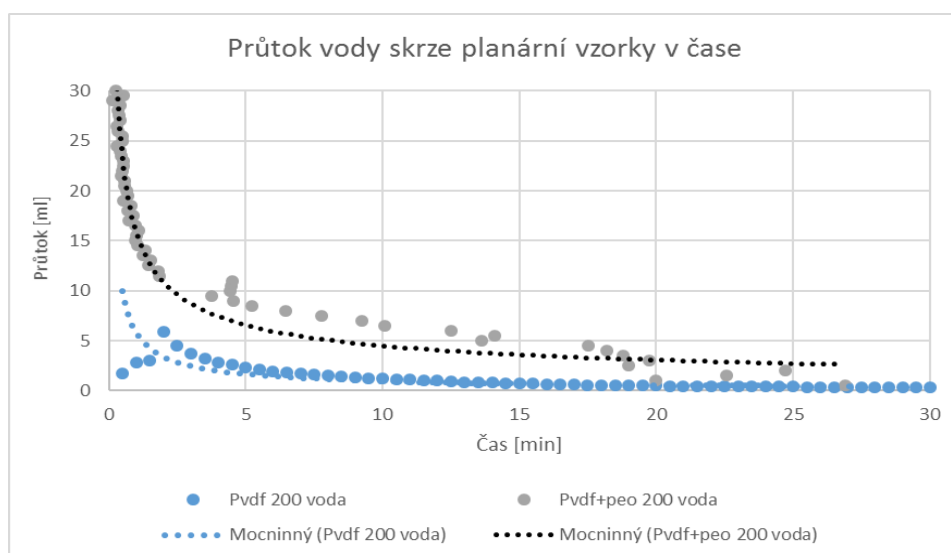
Tubulární vzorky vykazují dobré filtrační vlastnosti pro danou aplikaci, kde je možné vidět výsledky dosahující nejlepších hodnot průtoku okolo 1,37 ml/min, avšak problémem je složité uchycení nanovláknenného tubulárního implantátu v lidském oku. Poslední nevýhodou je náročnost výroby tubulárních vzorků. Planární implantáty vykazují lepší vlastnosti průtoků tekutiny oproti tubulárnímu vzorku. Hodnoty průtoků dosahují nejlepších hodnot okolo 0,59 ml/min u implantátu z PVDF o tloušťce 200 μm , z hlediska možnosti výroby i z hlediska aplikace jsou planární vzorky mnohem výhodnější. Dle aktuálních rešerší prozatím tato metoda není ve světě popsána. Z výše uvedených důvodů tedy bude v rámci této práce a v celém výzkumu opuštěno od tubulárních vzorků a práce se již dále bude zabývat pouze implantáty planárními.

2.7. Změny průtoku tekutiny v závislosti na čase

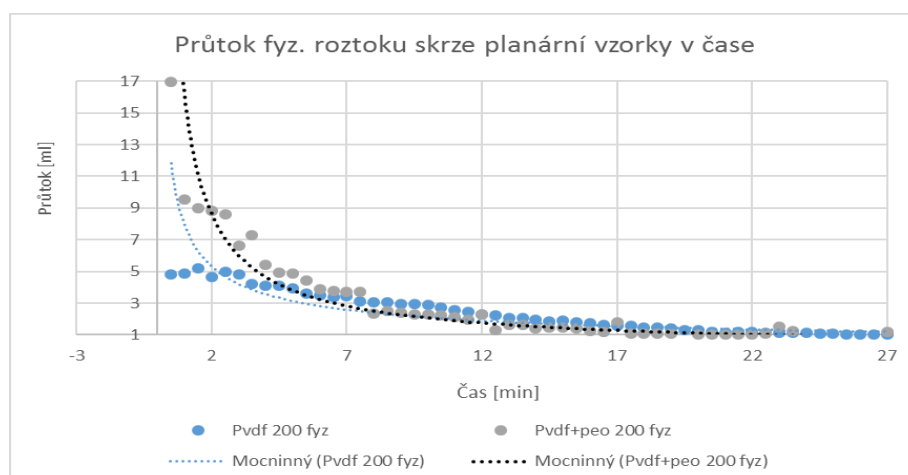
V této kapitole budou, popsány změny průtoků v závislosti na době protékání. Pro tento experiment byly využity planární vzorky z PVDF a PVDF/PEO o tloušťce 200 μm . Tato tloušťka byla zvolena z důvodu dobrých průtokových vlastností a přijatelným časem výroby. Tento experiment byl zhotoven z důvodu prokazatelných změn v rychlosti průtoku kapaliny při smáčení implantátu tekutinou.

2.7.1. Testování změny průtoků tekutiny skrz planární vzorky závislosti na čase

Pro každý materiál bylo provedeno měření s vodou a s fyziologickým roztokem. Pro měření byla využita aparatura s infuzním setem. Pro každé měření bylo naměřeno 60 hodnot průtoků, každý po 0,5 minutách protékání. Pro navážení množství proteklé kapaliny byly využity automatické váhy Scout od společnosti Ohaus a záznamové zařízení LabQuest 2 od firmy Vernier. Výsledky měření jsou zpracovány v grafech 3,4 a v tabulce 2.



Graf 3 Průtok vody skrz planární vzorky z PVDF a planární vzorky z PVDF/PEO o tloušťce 200 μm v čase



Graf 4 Průtok fyziologického roztoku skrz planární vzorky a planární vzorky z PVDF/PEO o tloušťce 200 μm v čase

Z grafů je zřetelné snižování rychlosti průtoku v čase po 30-ti minutách protékání tekutiny. Výsledky průtoků velmi dobré pro využití materiálů pro glaukomové implantáty z hlediska hypotonie, lepší vlastnosti v tomto případě opět vykazují vzorky z čistého PVDF výsledky jsou mimo grafů 3 a 4 znázorněny také v tabulce 2.

Tabulka 2 Testování průtoků v čase

Vzo + rek kapalina	PVD F 200 μm voda	PVD F + PEO 200 μm voda	PVDF 200 μm fyz. rozt.	PVDF + PEO 200 μm fyz rozt.
Prů měr za 30 minut protékání [ml/ min]	2,37	10,53	4,53	5,36
Smě rodatná odchylka [ml/min]	2,26	14,96	2,61	5,96
MA X [ml/min]	11,88	53,78	10,44	33,93
MIN [ml/ min]	0,65	0,26	1,76	0,81

Z tabulky lze velmi dobře vyčíst, rozdíl mezi maximální a minimální hodnotou. Hodnoty okolo maximálního průtoku jsou kumulovány v prvních minutách průtoků a výsledky z pozdního měření okolo 30-ti minut protékání. Kde jsou hodnoty několikanásobně nižší. Tento experiment ukazuje výrazně rozdílné hodnoty, než ukazuje prosté zprůměrování hodnot a je zde možné sledovat komplexnější obraz o chování transportních vlastností implantátu.

3 Kompozitní sendvič PVDF/PEO – PVDF – PVDF/PEO

Cílem této části je vyrobit implantát, který bude výhodný, jak z hlediska dobrých filtračních vlastností, tak pro nízkou adhezi buněk. Důvodem jsou výsledky testů buněčné proliferace a hydrodynamických vlastností vyrobených implantátů. Vnější části implantátu budou tvořeny z PVDF/PEO, který vykazuje dobrou odolnost vůči adhezi buněk a vnitřní část bude tvořena PVDF, které vykazuje dobré hydrodynamické vlastnosti. Tloušťka vzorku bude 200 μm , kde vnitřní vrstva PVDF bude dosahovat tloušťky 80 μm a krajní vrstvy budou dosahovat tloušťky 60 μm . Schéma kompozitu je vyobrazeno na obrázku 3.



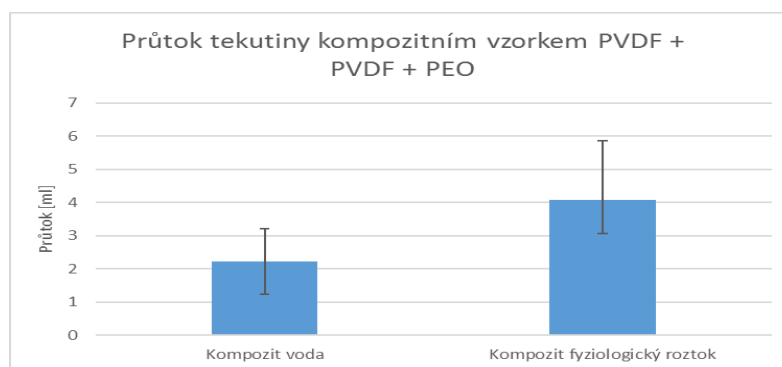
Obrázek 3 Schéma kompozitního sendviče PVDF a PVDF + PEO, černá: PVDF/PEO, šedá: PVDF

3.1. Testování průtoků skrz kompozit

Pro měření byly použity planární vzorky kompozitu o tloušťce 200 μm . Výroba vzorků je popsána v 5.1. V experimentu byla provedena dvě měření a to měření průtoku s vodou a s fyziologickým roztokem. Pro každé měření bylo naměřeno 20 hodnot průtoků, každý po 0,5 minutě protékání. Naměřené hodnoty byly popsány v tabulce 3 a vyneseny do grafu 15.

Tabulka 3 Průtok tekutiny kompozitním vzorkem PVDF + PVDF + PEO

Průtok	Kompozit 200 μm voda [ml/min]	Kompozit 200 μm fyziologický roztok [ml/min]
Průměr [ml/min]	2,23	4,07
Směrodatná odchylka [ml/min]	1,28	0,86
Interval spolehlivosti [ml/min]	0,98	1,78

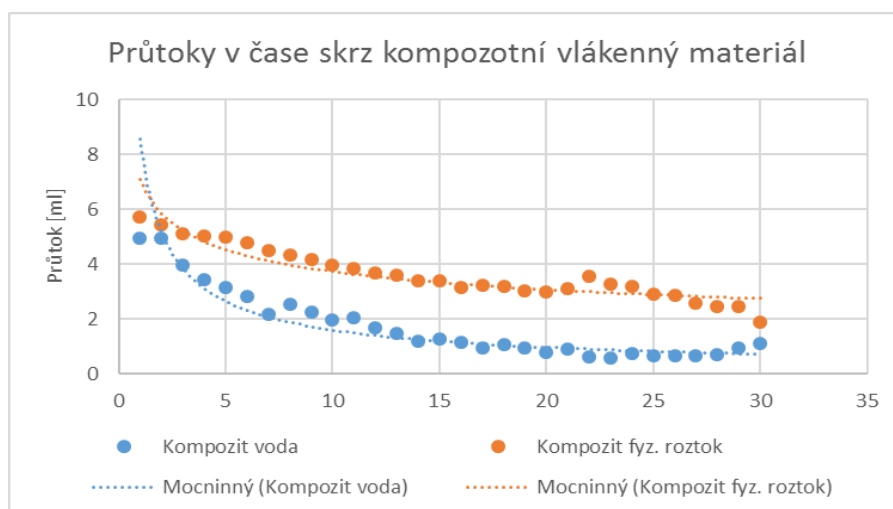


Graf 5 Průtok tekutiny kompozitním vzorkem PVDF/PEO, PVDF

Z grafu a tabulky je možné vyčíst, že filtrační vlastnosti kompozitního sendviče jsou velmi pozitivní a dosahují výsledků, které jsou srovnatelné se vzorky z PVDF. Dále je možné konstatovat, že drény vykazují dobrou stabilitu průtoku a to z důvodu nízkých směrodatných odchylek. Dalším jevem je opět výrazně odlišné chování při průtoku vody a při průtoku fyziologického roztoku, kde fyziologický roztok protéká přibližně dvakrát rychleji.

3.2. Testování průtoku skrz kompozitní materiál v čase

Pro měření byly použity planární vzorky z kompozitu 200 μm . V experimentu byly provedeny měření s vodou a s fyziologickým roztokem. Pro měření byla využita aparatura s infuzním setem. Měření bylo provedeno pro posouzení změn rychlosti průtoku tekutiny v čase. Výsledky měření jsou zpracovány v grafu 6 a v tabulce 4.



Graf 6 Průtoky v čase skrz kompozitní vláknenný materiál

Tabulka 4 Průtoky v čase skrz kompozitní vláknenný materiál

Vzorek + kapalina	Kompozit 200 μm voda [ml/min]	Kompozit 200 μm fyziologický roztok [ml/min]
Průměr [ml/min]	1,68	3,53
Směrodatná odchylka [ml/min]	1,28	1,15
MAX [ml/min]	4,93	5,71
MIN [ml/min]	0,56	1,90

Z grafů a tabulky je zřetelné snižování rychlosti průtoku v čase. Po 30 minutách protékání jsou hodnoty průtoků velmi dobré z hlediska filtračních vlastností implantátu. Hodnoty průtoku vykazují velmi pozitivní výsledky. Kde implantát vyrobený z kompozitního materiálu vykazuje mírně lepší filtrační výsledky než materiál z čistého PVDF a výrazně lepší vlastnosti v případě materiálu PVDF/PEO. Pro další vylepšení vlastností by bylo možné vyrobit vnitřní vrstvu z čistého PVDF pomocí technologie Nanospider™.

Závěr

V diplomové práci byl vyroben nanovláknenný drenážní implantát pro léčbu glaukomu. Pro studium jeho transportních vlastností bylo vyvinuto nové účinné měřicí zařízení, které přináší mnoho výhod oproti původní měřicí aparatuře, mezi které patří vyšší přesnost měření, přesné dávkování tekutiny a také snadná manipulace. Kromě zařízení pro měření tubulárních vzorků byla vyvinuta speciální komůrka pro měření planárních útvarů a bylo tedy možné mimo tubulárních drenážních systémů sledovat

průtokové vlastnosti planárních implantátů. Planární implantáty byly shledány jako velmi vhodné z hlediska transportních vlastností, kde vzorek o tloušťce 200 μm z PVDF při experimentu s vodou dosáhl rychlosti průtoku 0,59 ml/min. Tento průtok již je řádově srovnatelný s běžným průtokem nitrooční tekutiny v lidském oku, který je v literatuře uváděn 0,22 ml/min. Dalším významným výsledkem bylo chování průtoku tekutiny v čase, kde výsledek měření byl velmi pozitivní z hlediska prevence vzniku oční hypotonie. PVDF však přes velmi dobré filtrační vlastnosti nevykazovalo vhodné výsledky z hlediska odolnosti vůči adhezi buněk. V tomto ohledu byl lepším materiálem blend polymerů PVDF/PEO. Z tohoto důvodu byl vyvinut kompozit složený ze tří částí, kde vnější části byly vytvořeny z PVDF/PEO a vnitřní část byla tvořená z PVDF. PVDF/PEO v kompozitu tvořilo vrstvu odolnou vůči růstu buněk a PVDF tvořilo část kompozitu, která zajišťovala dobré hydrodynamické vlastnosti. Vývoj kompozitu byl úspěšný a implantát vykazoval srovnatelné výsledky se vzorky z čistého PVDF.

Pro budoucí experimenty doporučuji další práci s vlákenným kompozitem, kde je nutné jej otestovat z hlediska adheze buněk. Pro další vylepšení vlastností kompozitu doporučuji vyrobit vnitřní část z PVDF pomocí technologie NanospiderTM a otestovat různé tloušťky této vrstvy v souvislosti s transportními vlastnostmi výsledného implantátu. Dalším tématem do budoucna je vývoj systému s řízeným uvolňováním léčiv. Léčivem by mohla být antifibrotická činidla, která by zamezila adhezi buněk na materiál.

Lieratura

WISCHKE, C. a kol., 2013. A multifunctional bilayered microstent as glaucoma drainage device. *Journal of Controlled Release*. Vol. 172, no. 3. s. 1002-1010.

SCHARGEL, K. a kol., 2014. Improving the visualization of non-absorbable T-Flux? implants in deep sclerectomy. Colouring technique, *Archivos de la Sociedad Española de Oftalmología*. Vol. 89, no. 6. s. 226-228.

PRATA Jr., J. A. a kol., 1995. In vitro and in vivo flow characteristics of glaucoma drainage implants. *Ophthalmology*. Vol. 102, no. 6. s. 894-904.

LLOBET, A. a kol., 2003. Understanding Trabecular Meshwork Physiology: A Key to the Control of Intraocular Pressure. *Physiology Published*. Vol. 18, no. 5. s. 205-209.

Kombinace známých vlákenných technik pro vytvoření vhodného nosného materiálu pro sorbenty

Ulman Ivan

Sekce - TEXTIL,
Fakulta textilní, 2. ročník
Magisterský studijní program – TEXTILNÍ INŽENÝRSTVÍ

Abstrakt: Diplomová práce se zabývá návrhem a výrobou kompozitního materiálu s inkorporací sorbentu-aktivního uhlí, které je naprašováno na netkaný materiál. Finální produkt je potom složen z několika vrstev - spunbondu, netkané textilie s aktivním uhlím a nanovláken vyrobených technologií AC spinning. Zabývá se především návrhem vrstev způsobem naprašování aktivního uhlí a zpevněním hotových kompozitů. Hotový materiál je nakonec podroben několika zkouškám jako je prodyšnost, paropropustnost, úbytek částic aktivního uhlí a průchod chemických bojových látek. Výsledný materiál je porovnáván s armádním oblečením FOP-96. Finální produkt by měl sloužit jako ochranná vrstva pro vojenské účely a možné filtrační produkty.

Klíčová slova: Chemické bojové látky, vojenské oblečení, paropropustnost, nanovlákná, aktivní uhlí

Úvod: Práce je ve své podstatě zaměřena na výrobu funkční vrstvy, která je směřována především pro nahrazení stávajícího armádního oblečení, používaného armádou České republiky. Materiál byl podroben několika různým typům zkoušek pro zjištění textilního komfortu při nošení a funkčních vlastností. V první řadě byl materiál podroben statickému a dynamickému testování na úbytek částic, poté na prodyšnost, paropropustnost a ve spolupráci se státním ústavem pro jadernou, chemickou a biologickou obranu (SÚJCHBO) byl testován na průnik chemických bojových látek jako je soman, yperit a jejich netoxické náhrady.

1 Kombinace technologií meltblown a AC zvlákňování

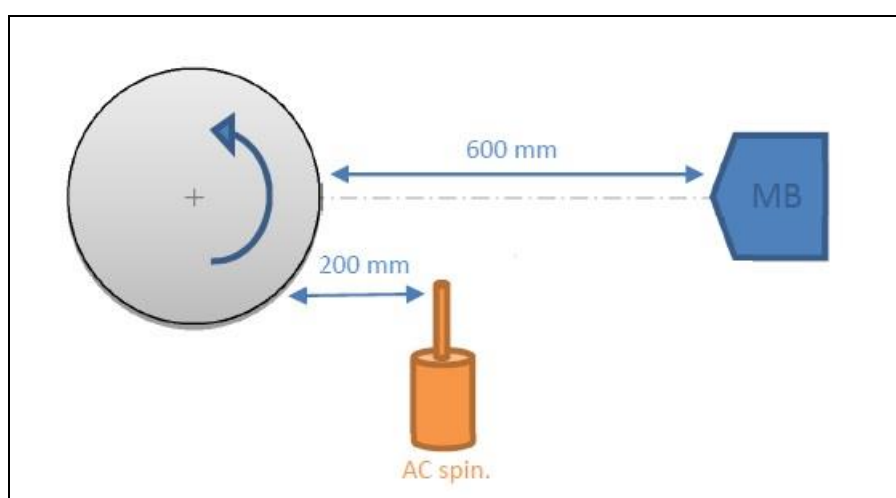
Inspirace kontinuální výrobou již skoro hotových vrstev přišla z diplomové práce s názvem “Kombinace výroby vlákenných vrstev technologií meltblown a střídavého elektrostatického zvlákňování“. Bc. Jan Kovačičin se zde zabývá návrhem vhodného uspořádání technologií meltblown a AC zvlákňování pro kontinuální výrobu vlákenné vrstvy [1].

Pro pochopení textu byly technologie a vstupní parametry (Tabulka 1) nastaveny podle předlohy, jak Kovačičin uvádí ve své práci. Pro testování byla použita jedna zvlákňovací tryska, umístěna na podstavec pod osu trysky stroje meltblown, znázorněno na obrázku 1, a ne dvě trysky, jak popisuje v kapitole 4.8 Metoda 3 – melt blown s elektrostatickým zařízením varianta A a B pod osou. Na kolektor byla připevněna podkladová textilie spunbond z bikomponentních vláken polypropylen/polyethylen (typ jádro/plášť – 80/20) a na ni nanovlákná vrstva z polyamidu, vyrobená střídavým zvlákňováním. Na nosné vrstvy byl potom zvlákňován kompozitní materiál složený ze střídavého zvlákňování a technologie meltblown. Nosné spunbond vrstvy slouží jako krycí materiál, zamezující poškození nanovláken a kompozitní vrstvy. Nanovlákná mají za úkol zamezit pohybu částic aktivního uhlí mimo textilií. Spuštěním technologií při tomto uspořádání jsme se opravdu setkali

s parazitními vzdušnými proudy, které strhávaly nanovláknennou vlečku pod kolektor. Nanovláknna kolektor po obvodu obepisovala a bylo nutné jim k zachycení na podkladovou vrstvu pomoci. Po jejich přichycení k podkladové textilií byla nanovláknenná vlečka schopna se sama navíjet, avšak docházelo k unášení části vlečky, která se proudem vzduchu kroutila, nekontrolovaně se ukládala na kolektor a docházelo k nestejnomyernému ukládání. I přes veškeré potíže jsme nechali proces běžet a pokusili se vyrobit slepý vzorek. Výroba slepého vzorku posloužila především k seznámení s procesem.

Tabulka 1: Vstupní parametry [1]

Tlak vzduchu meltblown trysky (kPa)	Rychlost extrudéru (otáček/min)	Rychlost kolektoru (otáček/min)	Vzdálenost kolektoru od trysky meltblownu (mm)
150	100	5,75	600



Obrázek 1: Sestavení technologií AC zvlákňování a meltblown [1]

Při druhém pokusu o výrobu vzorků jsme se rozhodli k přemístění zvlákňovací elektrody pod kolektor. Na rám kolektoru bylo také připevněno naprašovací zařízení pro dávkování aktivního uhlí, které bylo ve vzdálenosti asi 20 cm od kolektoru a do jehož zásobníku bylo nasypáno 10 g aktivního uhlí. Po spuštění procesu byla nanovláknenná vlečka, i přes veškerou snahu, unášena slabým parazitním proudem vzduchu. Pro ještě větší snížení účinků parazitních proudů větru byla pod osu trysky meltblownu uložena polystyrenová deska. Ta byla položena těsně ke kolektoru tak, aby nezasahovala do vyrobené vrstvy, ale nesměla být moc daleko, aby byla účinná proti proudům větru. Před spuštěním celého procesu společně s naprašováním bylo nutné nejprve povláknit nosný materiál, kterým byla opět spunbond textilie s vrstvou stejnoměrně zvlákněných nanovláken. Povlákněním nosného materiálu byla vyrobena záchytná vrstva pro aktivní uhlí a mohlo dojít ke spuštění naprašovacího zařízení, avšak už při jeho zapnutí bylo jasné, že se aktivní uhlí, nejen vzdušnými proudy od meltblownu, rozprašuje do celého laboratorního prostoru a není možné kontrolovat množství aktivního uhlí, které se dostane do vytvářené vrstvy. Z tohoto důvodu bylo rozhodnuto pro snížení vzdálenosti naprašovacího zařízení od kolektoru asi na 7 cm. Bohužel ani zmenšení vzdálenosti nepomohlo ke snížení prášení do okolí laboratoře. Vyrobený kompozitní materiál byl následně laminován při 132 °C při rychlosti dopravníku 2,3 m/min. Během laminování bylo manipulováno i s přitlakem, který byl postupně nastavován na 10 N, 5 N, 0,5 N a 0 N. Laminované vrstvy se však nejevily jako vhodné pro použití, neboť

byly dost tvrdé a neforemné. Zejména kvůli nepřesnému naprašování, rozptýlení částic do okolí a pro nízkou objemnost vzorku jsme se rozhodli od technologie odejít.

2 Kombinace dostupných vláknenných materiálů

Po sérii neúspěšného snažení bylo nutné změnit úhel pohledu a přistupovat k problému s jinou perspektivou, vzít výrobu vzorků z druhého konce. To znamená, že byly shromážděny netkané textilie různých technologií výroby, které představovaly hotové vrstvy, viz. Tabulka 2. Se snahou vytvořit vhodnou vrstvu pro sorbenty byly textilie na sebe logicky vrstveny. Pro vrstvený materiál bylo nutné najít kompromis mezi jeho objemností, možnou aplikací sorbentu a zachování jeho funkčnosti po aplikaci sorbentu. Dalšími požadavky na výsledný kompozit jsou: zachování vhodného omaku na vrchní vrstvě materiálu, dostatečná splývavost a dosažení vhodné prodyšnosti pro zachování komfortu při použití v textilním průmyslu.

Tabulka 2: Použité materiály

Typ materiálu-zkratka	Plošná hmotnost	Složení materiálu
Spunbond-SB	16 g/m ²	Polyetylen/Polypropylen
Meltblown-MB	150 g/m ²	Polypropylen
Vpichovaná NT-VP	80 g/m ²	Polyester
Struto-SVP	220 g/m ²	Polypropylen

Důležité je nejen vrstvy vytvořit, ale najít i vhodný technologický postup pro jejich pojení. Po vyhotovení vrstev tedy bylo uvažováno, kterou technologii použít. Častou oblíbenou technologií pro pojení kompozitního materiálu je laminace, a proto bylo rozhodnuto začít právě s ní. Důležitými parametry procesu technologie je teplota, čas a tlak. Při vhodně zvolených parametrech lze získat velice dobrý kompozitní materiál, při nevhodně zvolených parametrech je možné vytvořit materiál, který je dobře laminovaný, ale své funkční vlastnosti ztrácí. Pro experiment posloužil laminační stroj MEYER RPS-L 600. Nejprve bylo nutné najít parametry pojení. Nejnižší tajícím polymerem je v našem případě polyetylen, který má teplotu tání udávanou v rozmezí od 110 °C do 140 °C. Z důvodu nalezení mezních teplot pro laminaci byla teplota záměrně nastavena na 100 °C a následně zvyšována až na 135 °C. Nejvhodnější nastavení se projevilo mezi 120-130 °C s rychlostí dopravníku 2,3 m/min, kdy docházelo k laminaci i objemnějších materiálů.

Po laminaci bylo provedeno hodnocení na omak, které je velice subjektivní záležitostí a velkou mírou je ovlivněno citem hmatu hodnotitele. Dle hodnocení vyšel nejlépe vzorek složený v pořadí : SB, VP, MB, VP, MB, VP, SB.

3 Výroba kompozitních materiálů s inkorporací aktivního uhlí

V předchozí kapitole byly vyráběny různé vrstvy z rozdílných materiálů a finálně zvolen jeden, který byl určen pro aplikaci sorbentu. Tento materiál byl vybrán zejména pro své vlastnosti a strukturu skládání vrstev. Vybraný produkt byl však upraven a vrstvy meltblownu byly nahrazeny vrstvami nanovláken vyrobené střídavým zvlákňováním. Nanovláknenný materiál byl připraven zvlákňováním 10 % (hmotnostní %) roztoku polyvinyl butyralu firmy Kuraray s průměrnou molekulovou hmotností 60.000 g/mol.

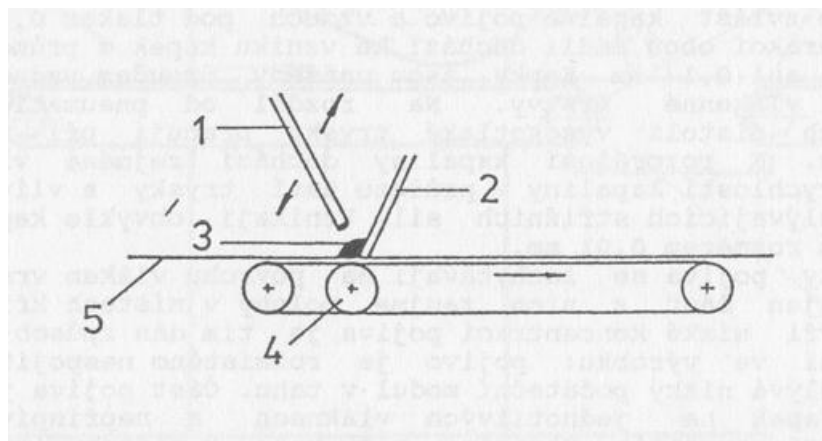
3.1 Výroba laminovaných vrstev

Pro výrobu prvních vrstev byly použity materiály popsané v tabulce 3. Na podkladovou spunbond textilií byla položena vpichovaná netkaná textilie, na ni nanovláknenná vrstva a na ni vpichovaná netkaná textilie s naprášeným aktivním uhlím. Na VP textilií s AU byly opět zrcadlově vrstveny netkané materiály, tedy nanovláknna, vpichovaná netkaná textilie

a spunbond. V počátku výroby bylo použito kartáčové naprašovací zařízení pro nanášení aktivního uhlí. Samotné zařízení pracovalo bez problému, ovšem naprašování bylo velmi nestejně, a proto bylo nutné vymyslet jiný způsob nanášení. Do kádinky bylo odváženo potřebné množství aktivního uhlí a rovnoměrným sypáním povrstvena VP textilie, opatrným sypáním se částice aktivního uhlí nerozptylovaly do okolí. Vrstva aktivního uhlí potom byla ještě štětcem rozprostřena po celé ploše netkané textilie, později byl štětec nahrazen papírovou kartou formátu 85x55 mm. Takovému postupu nanášení se říká raklování a v textilním průmyslu se používá k nanášení pojiva a potiskování textilií, schéma procesu nanášení je znázorněno na obrázku 2.

Tabulka 3: Použité materiály

Typ materiálu-zkratka	Plošná hmotnost	Složení materiálu
Spunbond-SB	16 g/m ²	Polyetylen/Polypropylen
AC nanovlákná	50 g/m ²	Polyvinyl butyral
Vpichovaná NT-VP	80 g/m ²	Polyester



Obrázek 2: Schéma procesu nanášení raklí: 1- přívod pojiva, 2 -rakle, 3 -pojivo, 4 -dopravník, 5 -vlákenná vrstva

V průběhu první výroby byly vyrobeny kompozitní vrstvy o velikosti 220x150mm, složených z vláknenných materiálů v tomto pořadí: SP, VP, AC, VP + aktivní uhlí, AC, VP, SB. Po zhotovení kompozitních vrstev je bylo nutné ještě zpevnit a ucelit. Kompozitní vrstvy byly zpevňovány laminováním při nastavených parametrech procesu: teplota byla nastavena na 130 °C, rychlost dopravníku 2,3 m/min a během laminace byl přítlak konstantně nastaven na 0 N. Výsledný kompozitní materiál měl trošku odlišné vlastnosti, než pro které byl vzorek původně vybrán. Změna vlastností je připisována použitým nanovláknenným vrstvám z polyvinyl butyralu, který má při průměrné molekulové hmotnosti 50.000 g/mol teplotu tání v rozmezí 135-175 °C. Zjevně došlo k jeho částečnému natavení a ke změně tuhosti finálního kompozitního materiálu.

3.2 Výroba vrstev pojených jinými technologiemi

Po otestování laminovaných vrstev ve Státním ústavu pro jadernou a chemickou obranu (SÚJCHBO) na rezistenci permeaci jódem nám bylo sděleno, že vrstvy s 3 gramy aktivního uhlí vycházely v testu nejlépe, a proto byla pro další testování a ověření předchozích testů vyrobena sada stejných laminovaných vrstev s navázkou 3 gramů aktivního uhlí. Při této příležitosti byly vyrobeny i další vrstvy stejným postupem jako doposud: SB, VP, AC, VP + AU, AC, VP, SB, o velikosti 220x150 mm. Na rozdíl od předešlých vrstev byly tyto vrstvy pojeny

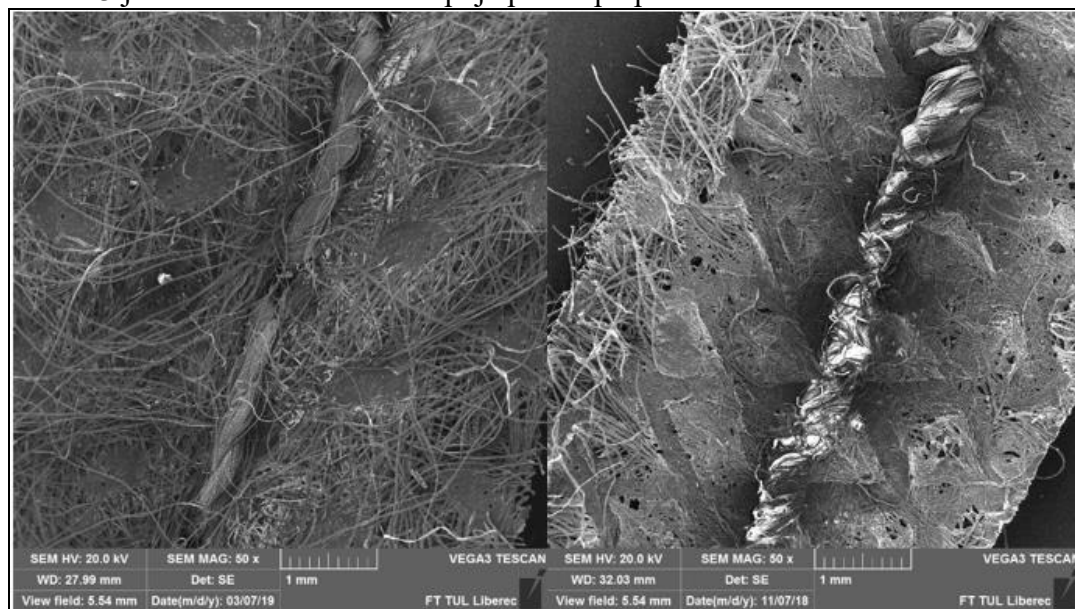
pomocí ultrazvuku, šití a technologie hot-melt. Stejným postupem byly vyrobeny i slepé vzorky, které neobsahovaly aktivní uhlí.

Pojení ultrazvukem – při pokusech pojit kompozitní vrstvu ultrazvukem bylo zjištěno, že se krycí spunbond vrstva (PE/PP) nepojí s vpichovaným netkaným materiálem (PES), což platí i při pojení pomocí laminace, kdy se vytváří “kapsa“. Pro lepší pochopení pojených materiálů byla vyzkoušena kombinace všech materiálů při pojení ultrazvukem. Jediné materiály, které nebylo možné pojit byla výše zmíněná bikomponentní spunbond textilie a vpichovaná netkána vrstva.

Šití – Další možností zpevňování a spojování vrstvených materiálů je klasické šití. Sešívání netkaných textilií není zrovna typickou technologií, používanou pro jejich spojování. Ve spojení s nanovláknny ji dokonce najít nelze. Nejčastěji používanými technologiemi pojení netkaných textilií je kalandrování, laminování, pojení ultrazvukem, a podobně. Šití je však důležitou technologií při výrobě oblečení, a proto je dobré jej vyzkoušet při možném spojování vrstev, neboť při výrobě oděvu bude šití nutné použít.

Kombinace šití a ultrazvuku – při šití takového materiálu je nutné dbát na zachování funkčnosti vrstev. Po průniku jehly materiálem se vytvoří díry větší, než je samotná nit, a snižují funkčnost vrstvy, tedy zvyšují možnost průchodu nebezpečných látek vytvořenými vpichy. Tady se nachází řešení pomocí pojení ultrazvukem. Prošitím vhodnou přízí je možné materiál dál pojit ultrazvukem, kdy dojde k roztavení příze a zacelení děr po průnicích jehly.

Po šití bylo nutné zacelit průniky po vpiších jehly. U technologie pojení ultrazvukem bylo postupováno stejně jako u prošívání vrstev. Nejprve bylo nutné vhodně nastavit parametry procesu a vyzkoušet je na zkušebním vzorku. Bylo zjištěno, že nesprávným nastavením je možné proříznout materiál a znehodnotit pojené místo. Technologie pojení ultrazvukem má také svá omezení, co se tloušťky materiálu týká. Použitím objemnějších materiálů není stroj schopný posouvat materiál a pojit jej v požadované délce. Pro pojení byla použita reliéfní sonotroda o výkonu 15,5 %, rychlosti posunu 2,5 m/min, tlaku 2 barů a vzdálenosti 0,8 cm. Na obrázku 3 je vidět struktura šitého spoje před a po použití pojení pomocí ultrazvuku.



Obrázek 1: Struktura šitého spoje před a po použití pojení pomocí ultrazvuku

Hot-melt pojení – pro pojení pomocí hot-melt technologie byl použit polymer s názvem Helmitin® 42048 patřící do skupiny amorfních poly-alfa-olefinů. Polymer se vyznačuje flexibilitou a odolností proti vlhkosti a prachu. Bod měknutí se nachází na hranici 112 °C,

doporučená aplikační teplota v rozmezí od 130-200 °C. Polymer byl aplikován na každou vrstvu pomocí stříkací pistole od Reka Klebetechnik s označením TR 80 LCD s konstantně nastavenými tlaky stlačeného vzduchu (3 bary) a teplotou 130 °C. Dílčím krokem tedy bylo nanést polymer na textilní vrstvu, na kterou byla manuálně přidána další vrstva. Vrstvením a aplikací polymerního lepidla mezi vrstvy byl vyhotoven celý vzorek.

Lisování – poslední technologií použitou pro pojení vrstev bylo lisování. Lisovací desky byly nastaveny na 130 °C, totožně s laminací. Vzdálenost desek od sebe byla nastavena na 0,8 cm. Již po zkušenosti s laminací bylo předpokládáno, že dojde k natavení nanovláken a zhoršení komfortních vlastností materiálu. Při lisování však nedošlo k roztavení nanovláken, nýbrž k jejím smrštění a došlo tak k deformaci a zvlnění celého vzorku.

4 Dynamická zkouška úbytku částic aktivního uhlí

Dynamická zkouška byla provedena na třepacím zařízení Heidolph Vibramax 100, které je primárně určené pro třepání zkumavek, lahví a Erlenmeyerových baněk. Přístroj vykonává horizontální kruhový pohyb s plynulou regulací frekvence třepání při rozsahu 150-1350 kmitů za minutu. Pro testování úbytku částic byly použity vzorky Laminát, Hot-melt a Ultrazvuk, frekvence třepání byla nastavena na 1050 kmitů po dobu 10 minut. V tabulce 4 jsou zaznamenány hodnoty naměřené při testování.

Tabulka 4: Úbytek částic aktivního uhlí při statické zkoušce

Materiál	Před měřením [g]	Po měření [g]	Úbytek [g]
Laminát	15,149	15,096	0,053
Hot-melt	29,732	29,696	0,036
Ultrazvuk	18,813	18,782	0,031

Při dynamickém měření úbytku částic byl měřen celý vzorek o velikosti 330 cm². Vzorky nebyly po krajích žádným způsobem zalepeny, a proto se aktivní uhlí mohlo při třepání dostat mimo vzorek přes kraje vzorku, a mohlo tak dojít k většímu vyprašování. I při takovém nedostatku však došlo k minimálnímu úbytku aktivního uhlí.

5 Prodyšnost

Materiály byly testovány na prodyšnost pomocí přístroje SDL Atlas M021A. Měření bylo prováděno v laboratořích budovy CxI Technické univerzity v Liberci dle normy ČSN EN ISO 9237 s doporučenými zkušebními podmínkami: měřicí plocha 20 cm² a tlakový spád 200 Pa. Naměřené hodnoty prodyšností pro vzorky se 3 gramy aktivního uhlí a bez aktivního uhlí jsou zapsány v tabulce 5. Spolu se vzorky byla proměřena i armádní bunda s označením FOP-96, která se skládá ze tří částí – podšívka, vpichovaná textilie s dispergovaným aktivním uhlím a vrchní tkaný materiál. Na internetových stránkách výrobce lze dohledat vlastnosti výrobku, prodyšnost materiálu zde udávají větší než 100 l/m²/s. Naměřená prodyšnost potom byla větší než 200 l/m²/s.

Tabulka 5: Prodyšnost vzorků se 3 gramy aktivního uhlí a bez něj

Materiál	S částicemi AU [l/m ² /s]	Bez částic AU [l/m ² /s]
Laminát	4,9	5,6
Hot-melt	20,3	26,3
Ultrazvuk	16,8	20

Z tabulky 5 je zřejmé, že nejlepší průchod vzduchu nastal u vzorku hot-melt, nejhorší potom u laminátu. Aplikováním pojivého polymeru u hot-melt vzorků byly vytvořeny distanční mezery, které jak je vidět zlepšují prodyšnost materiálu. Nejhorší průchod vzduchu nastává u laminátu. Bližším zkoumáním bylo zjištěno, že se laminací při 130 °C taví nanovlákná, která vytváří téměř jednotný textilní materiál a jeho propustnost vzduchu tak klesá. Vyšší hodnoty prodyšnosti však neznamenaají lepší vlastnosti materiálu, jak by se na první pohled mohlo zdát. Hodnoty určují množství propustnosti vzduchu, a vyšší hodnoty tedy vykazují nižší odolnost proti větru. Pro materiály vyráběné se zaměřením na filtraci je vyšší prodyšnost žádoucí, pro oblečení však nikoliv. Firma Faramugo, zabývající se outdoorovým oblečením se na svém blogu zmiňuje, že materiály s hodnotami prodyšnosti kolem 10 l/m²/s jsou prakticky už 100 % větru odolné [2].

6 Paropropustnost

S prodyšností jde ruku v ruce i paropropustnost, což je schopnost materiálu odvádět vodní páry pryč od těla. Vyšší prodyšnost materiálu však neznamenaá lepší paropropustnost, což bylo dokázáno při testování vzorků. Měření bylo provedeno na přístroji Permetest, umístěného na katedře Hodnocení textilií, patřící pod textilní fakultu Technické univerzity v Liberci. Pro měření paropropustnosti byly použity vzorky Hot-melt, Laminát a Ultrazvuk, tedy vzorky o sedmi vrstvách. S ohledem na velikosti vzorků bylo měření provedeno pouze dvakrát na každém vzorku. Měřená oblast se nesmí nijak překrývat s již naměřeným místem, neboť by došlo k ovlivnění měření. Pro lepší pochopení a posouzení materiálu je v tabulce 6, hodnotami MVTR i RET, uvedeno hodnocení textilií z hlediska paropropustnosti. Průměrné hodnoty potom byly zapsány do tabulky 7.

Tabulka 6: Hodnocení paropropustnosti z hlediska RET i MVTR

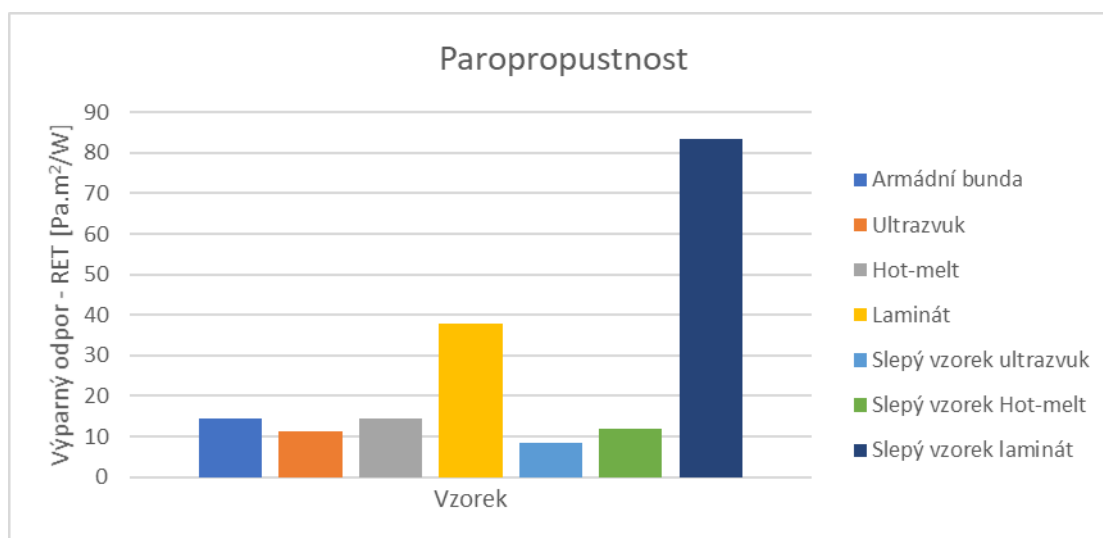
Hodnota Ret [Pa.m ² /W]	Slovní ohodnocení	Hodnota MVTR [g/m ² x 24 hodin]
6 a méně	Velmi dobrá	nad 20 000
6 až 13	Dobrá	9 000 - 15 000
13 až 20	Uspokojivá	5 000 – 9 000

Tabulka 7: Průměrné hodnoty z měření paropropustnosti

Materiál	Výparný odpor-RET [Pa.m ² /W]	Relativní propustnost pro vodní páry [%]
Armádní bunda	14,4	28,6
Ultrazvuk	11,4	32,9
Hot-melt	14,5	28,5
Laminát	38	13,3
Slepý vzorek ultrazvuk	8,5	40,2
Slepý vzorek Hot-melt	12	32,3
Slepý vzorek laminát	83,3	6,5

Z grafu na obrázku 4 jsou zřejmé jisté výkyvy, které nastaly u vzorku Laminát, neboť je zcela jisté, že u slepého vzorku by měla být hodnota RET nižší, stejně jako tomu bylo u slepého vzorku Ultrazvuk nebo Hot-melt. Jak je vidět, Laminát je tak či tak nepropustný pro vodní páry, a proto by byl pro použití do oděvního průmyslu velmi nevhodný. Lepších výsledků dosahuje vzorek Hot-melt, který se se svojí hodnotou RET sice přibližuje vzorku Armádní bundy, avšak hodnotu převyšuje. Nejlépe se při měření paropropustnosti projevil vzorek Ultrazvuk, který je hodnotou RET dokonce o několik jednotek nižší a poskytoval by tak lepší

komfortní vlastnosti. Při porovnání výsledků s tabulkou 6 lze zjistit, že vzorek ultrazvuk dokonce spadá do o stupeň lepšího komfortního oddílu než armádní bunda.



Obrázek 2: Graf naměřených hodnot paropropustnosti pro jednotlivé vzorky.

7 Odolnost vzorků proti pronikání bojových chemických látek

Vzorky byly testovány ve spolupráci se Státním ústavem jaderné, chemické a biologické obrany v Brně, kde byly podrobeny testům na průnik chemických bojových látek a jejich netoxickým náhradám. Hodnocení odolnosti vzorků se řídí normou ČSN EN 16523-1 a 16523-2. Hodnotícím kritériem je zvolena hodnota permeační rychlosti $F = 1 \text{ } \mu\text{g}/\text{cm}^2/\text{min}$.

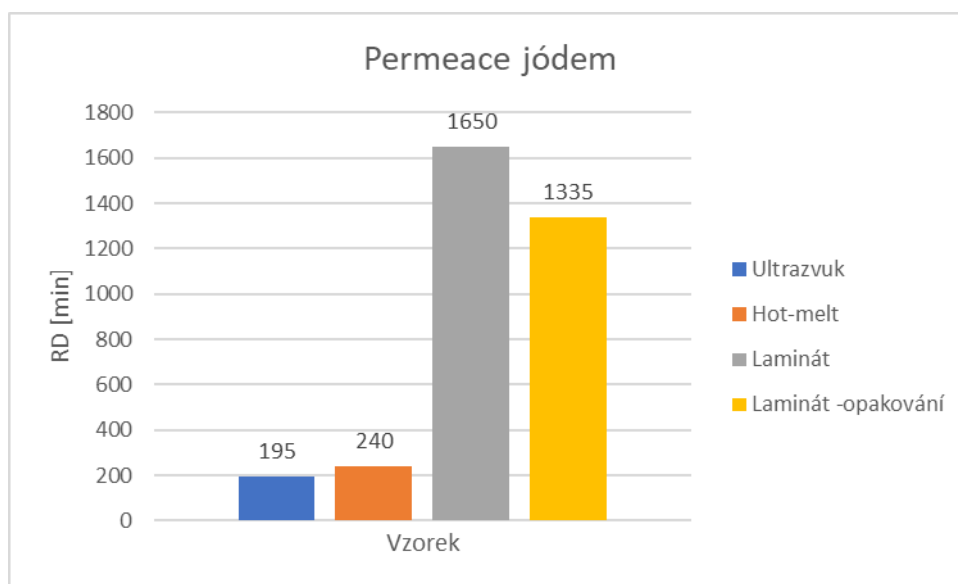
7.1 Odolnosti vzorků proti pronikání jódu

Pronikání jódu je první metodou testování, neboť je nejjednodušší a nejrychleji vypovídající technikou stanovení odolnosti materiálu. Zkouška ve své podstatě není složitá, ovšem je i tak náročná na čas, neboť po složení aparátu je důležité v daných časových intervalech sledovat změny na indikačním roztoku. Výsledky jsou znázorněny v tabulce 8.

Tabulka 81: Výsledky měření odolnosti vzorků proti pronikání jódu

Vzorek	Tloušťka [mm]	RD [min]	Hmotnost-před měřením [g]	Hmotnost-po měření [g]	Přívazek [g]
Ultrazvuk	$3,684 \pm 0,048$	195	0,956	1,007	0,051
Hot-melt	$4,819 \pm 0,070$	240	1,780	1,880	0,1
Laminát	$2,413 \pm 0,037$	1650	0,959	1,136	0,177
Laminát - opakování	$2,570 \pm 0,034$	1335	1,099	1,156	0,057

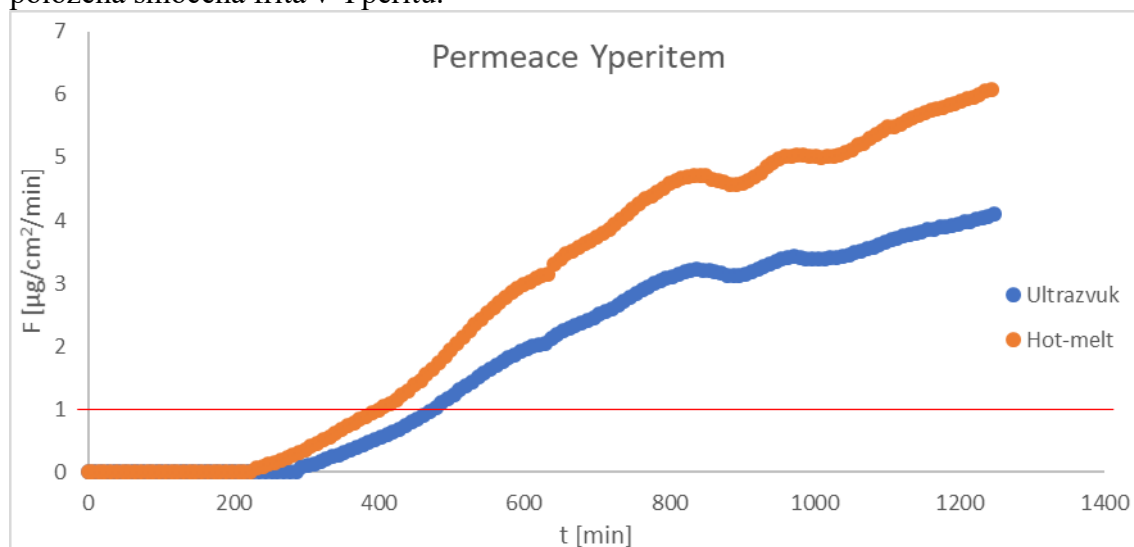
Hodnoty z tabulky 8 i z grafu na obrázku 5 s jistotou říkají, že nejlepší rezistenci vůči permeaci jódem má laminovaný vzorek, který měl tak vysoké hodnoty, že byl vyroben a proměřen s opakováním pro ověření správnosti testování. S ohledem na nekomfortní vlastnosti Laminátu, při případném použití do oděvů byl však vyřazen z dalšího testování pro prostup chemických bojových látek. Vzorek Ultrazvuk i Hot-melt splňují nejnižší požadovanou hodnotu rezistenční doby, která byla stanovena na 180 minut. Ačkoliv má vzorek Hot-melt vyšší rezistenční dobu, tak s ohledem na plošnou hmotnost a ostatní vlastnosti materiálu, je lepší vzorek Ultrazvuk.



Obrázek 5: Graf naměřených hodnot při permeaci jódem

7.2 Odolnosti vzorků proti pronikání Yperitu

Testování vzorků Hot-melt a Ultrazvuk proběhlo za stejných podmínek jako při testování při permeaci DMMP a DCH. Měření bylo provedeno za statických podmínek při 25 °C, na přístroji Carousel 2000[®] s plynovým chromatografem 1000. Vzorky Hot-melt a Ultrazvuk byly testovány kontaminací přes 0,5 mm silnou silikonovou membránu, na kterou byla položena smočená fritra v Yperitu.



Obrázek 6: Průběh testování vzorků při permeaci Yperitem

Tabulka 8: Naměřená rezistenční doba vzorků při permeaci Yperitem

	blank	Ultrazvuk	Hot-melt
RD min	4	470	398

V tabulce 8 jsou zapsány hodnoty při hodnotícím kritériu permeační rychlosti $F = 1 \mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{min}^{-1}$, tato hodnota je na obrázku 6 znázorněna červenou úsečkou. Graf na obrázku 7 popisuje průběh zkoušky odolnosti vzorků vůči pronikání Yperitu. Z tabulky i z grafu je opět zřejmé, že lepší hodnoty vykazuje vzorek Ultrazvuk, který převyšuje rezistenční dobu vzorku Hot-melt o 72 minut.

7.3 Odolnosti vzorků proti pronikání Somanu (GD)

Vzorky testovaného materiálu byly kontaminovány GD přes silikonovou membránu o tloušťce 0,5 mm. Samotná silikonová membrána má rezistenční dobu 5 minut, v tabulce 9 uvedeno jako blank. Měření probíhalo za statických podmínek při 30°C. Měření proběhlo obdobně jako v případě metodiky Jodotest – ve skleněných nádobkách s indikačním roztokem.

Tabulka 92: Naměřená rezistenční doba vzorků při permeaci GD

	blank	Ultrazvuk	Hotmelt
RD min	5	25,5 h	15,5 h

Vzorky bylo nutné v určitých intervalech kontrolovat, porovnávat se slepým vzorkem a standardním roztokem a pozorovat změnu zabarvení indikačního roztoku. Za průnik Somanu se považuje dosažení shodného zabarvení se standardním roztokem. I při takto subjektivním hodnocení tak lze dosáhnout přesně naměřených hodnot. Oba měřené vzorky vykazovaly velmi dobrou rezistenci vůči pronikání GD. Vzorek Ultrazvuk dokonce svou rezistencí převyšuje vzorek Hotmelt o celých 10 hodin.

8 Závěr

Testováním vlastností vzorků na prodyšnost byla prokázána větru odolnost materiálu a měřením paropropustnosti byla prokázána dobrá propustnost pro pot. Pomocí dynamického a statického měření úbytku částic bylo prokázáno, že nedošlo k jejich úbytku a použitá nanovlákna byla schopna udržet částice aktivního uhlí v nosné vrstvě a zachovat tak její funkčnost. Otestováním a porovnáním vzorků s armádním oděvem typu FOP-96 bylo prokázáno, že vzorek Ultrazvuk má ve všech směrech lepší vlastnosti než zmíněný oděv určený pro boj s chemickými bojovými látkami užívaný armádou České republiky. Materiál je jednou z vrstev, z které by se měl armádní oděv skládat, a proto je předpokládáno že se funkční vlastnosti celého obleku ještě zvýší, a to nejen díky oleofobní a hydrofobní úpravě vrchní vrstvy ale také začleněním další funkční vrstvy v podobě dekontaminační vrstvy.

Literatura

- [1] KOVAČIČIN, Jan. *Kombinace výroby vlákenných vrstev technologií meltblown a střídavého elektrostatického zvlákňování*. Liberec, 2015. Diplomová práce. Technická univerzita v Liberci. Vedoucí práce Ing. Ondřej Novák, Ph.D.
- [2] NANOMEMBRÁNOVÉ MATERIÁLY A FARAMUGO | Faramugo Blog. Český výrobce outdoorového vybavení [online]. Copyright © 2019 Faramugo Blog. All rights reserved. [cit. 17.03.2019]. Dostupné z: <https://www.faramugo.cz/blog/2016/01/nanomembranove-materialy-a-faramugo/>

NÁVRH NOVÉHO BEZPEČNOSTNÍHO SYSTÉMU PRO MOTORKÁŘE

Vápeník Matouš

Sekce - TEXTIL,
Fakulta textilní, 3. ročník
Bakalářský studijní program – TEXTILNÍ MARKETING

Abstrakt: Cílem práce bylo navrhnout bezpečnostní systém pro motorkáře pro zvýšení bezpečnosti za snížené viditelnosti, jeho detailní popis a následnou implementaci do motocyklové bundy, společně s ekonomickým zhodnocením celého systému. V teoretické části jsou uvedeny známá fakta optických vláken, zejména světelná intenzita. V práci byly vypočteny i parametry, které se týkaly bezpečného užívání oděvu se systémem. Práce sleduje síly potřebné k přetrhnutí konektoru a měří intenzitu vláken v závislosti na vzdálenosti od světelného zdroje. V praktické části je detailně navržena a popsána celková realizace bezpečnostního systému.

Klíčová slova: optické vlákno, bezpečnostní systém, intenzita svítivosti, síly v přetrhu, ekonomické zhodnocení

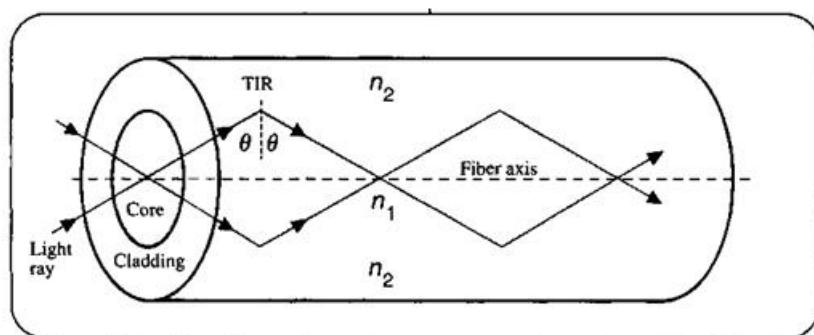
Úvod

Práce je zaměřena na navržení nového bezpečnostního prvku motocyklistů a popsat jeho vlastnosti. Cílem práce je zavést a navrhnout nový produkt na trh a tím zvýšit bezpečnost motorkáře na silniční komunikaci a zviditelnit ho. Zmiňovaným produktem je technologie lineárního kompozitu (LK) implementovaná do motocyklové bundy. LK tvoří spolu s elektroinstalací bezpečnostní systém, který výrazně zvyšuje bezpečnost řidiče motocyklu v silničním provozu. Podobnou myšlenkou zvýšit bezpečnost cyklistů se zabýval docent Havelka ve své práci „*Signalizační cyklistická a sportovní bunda*“ (FT), ve které osvětluje LED diodami cyklistu. Nicméně, mnou navrhovaný bezpečnostní systém pro motocyklistu by byl prvním svého druhu na trhu a v práci jsou popsány jeho veškeré technické podrobnosti. Práce obsahuje teoretické zpracování technologie stranově vyzařujících optických vláken a následné začlenění motocyklového oděvu na trh. Dále je v práci popsán samotný oděv s možnostmi dalších inovací. Tento kompletní návrh je podložen měřením světelné intenzity, spektrálním měřením a trhací zkouškou konektorového spoje. V závěru práce je navržen cenový odhad bezpečnostního systému a jeho varianty.

1. Lineární kompozit

Lineární kompozit (LK) se skládá z textilního obalu, stranově či koncově vyzařujícího optického vlákna, zdroje elektrické energie a LED. Textilní obal chrání vlákno proti UV záření, umožňuje implementovat LK do oděvu a zvyšuje intenzitu vysvitu. Obaly jsou plošné textilie tkané (vazba plátno, kepr, atlas) nebo pletené.

Optické vlákno je skleněné či polymerní vlákno, které vede datové signály či světelné toky podél vlastní osy. Vlákno má dvě části z hlediska materiálového složení. Vnitřní část je jádro, které má odlišný index lomu. Vnější obal jádra je plášť. Signál či světelný tok je veden vnitřním jádrem vlákna. Jednotlivé paprsky světla prochází jádrem vlákna, poté se odráží od pláště a vycházejí ven. Z toho vyplývá, že jádro vede světelný tok a plášť je vrstva, která zajišťuje odraz/průchod paprsku. Ochranná vrstva chrání tyto dvě části před poškozením.



Obr. 1: Princip šíření světelného signálu uvnitř optického vlákna [1]

Na tomto principu existují dva druhy vláken: *koncově* a *stranově* vyzařující optická vlákna. Koncově vyzařující mají za úkol na základně vyššího indexu lomu jádra přenést vláknem veškerý signál (světlo) na dlouhé vzdálenosti. Na druhé straně stranově vyzařující vlákna vyzařují světlo v průběhu své délky, tudíž dochází k postupnému vysvícení. [2], [3]

V dnešní době se optická vlákna používají v bezpečnostních textiliích, v oděvech pro efektní úmysl či jako osvětlení společenských prostor různých budov. Všeobecnou nevýhodou vlákna je jeho praktická nefunkčnost při překročení mezního rádiusu. Praktické zlomení vlákna změní negativně jeho přenosové vlastnosti.

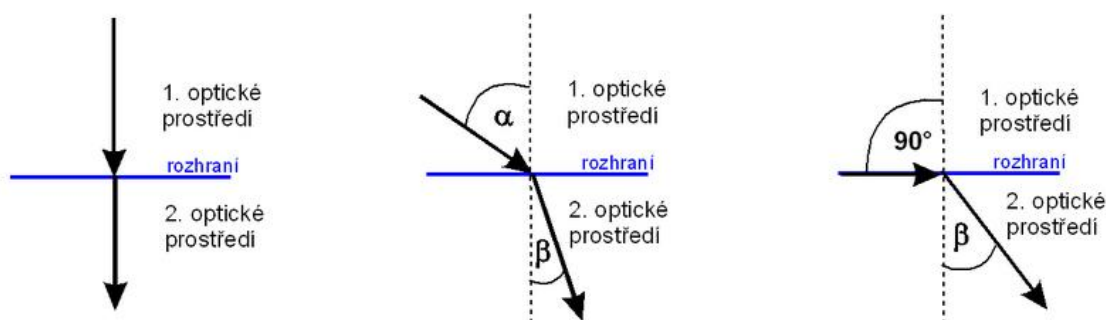
1.1 Snellův zákon, index lomu

Snellův zákon společně s teorií indexu lomu je základem fungování technologie přenosu světla optickým vláknem. Index lomu n je fyzikální bezrozměrná veličina, která vyjadřuje změnu rychlosti šíření paprsku světla při přechodu mezi dvěma rozdílnými prostředími. Podíl rychlosti světla ve vakuu a rychlosti světla v hmotném prostředí je tedy náš hledaný index lomu světla. Čím vyšší hodnota, tím je rychlost paprsku pomalejší v daném prostředí. [4] Tento stav vyjadřuje rovnice (1)

$$n = c/v \quad (1)$$

kde n je absolutní index lomu, v [m/s] je rychlostí světla v daném prostředí a c [m/s] je rychlost světla ve vakuu.

Ve Snellově zákonu je zmíněno o dvou rozdílných indexech, tzn. o indexu prostředí, ze kterého paprsek přichází a indexu prostředí, do kterého paprsek vniká. Na základě rozdílných hodnot se paprsek láme skokově. Z hustšího prostředí do řidšího prostředí se záření/paprsek láme směrem od kolmice. Opačně z prostředí řidšího do prostředí hustšího se paprsek láme směrem ke kolmici. Toto se určí díky základní rovnici (2) Snellově zákonu



Obr. 2: Lom světla při přechodu ze dvou rozdílných prostředí [3]

$$n_1 \cdot \sin \alpha = n_2 \sin \beta \quad (2)$$

kde n_1 je index lomu prvního optického prostředí=jádra vlákna, α je úhel svírající paprsek s osou prvního optického prostředí, n_2 je index lomu druhého optického prostředí=pláště vlákna a β je úhel svírající paprsek s osou druhého optického prostředí. [4]

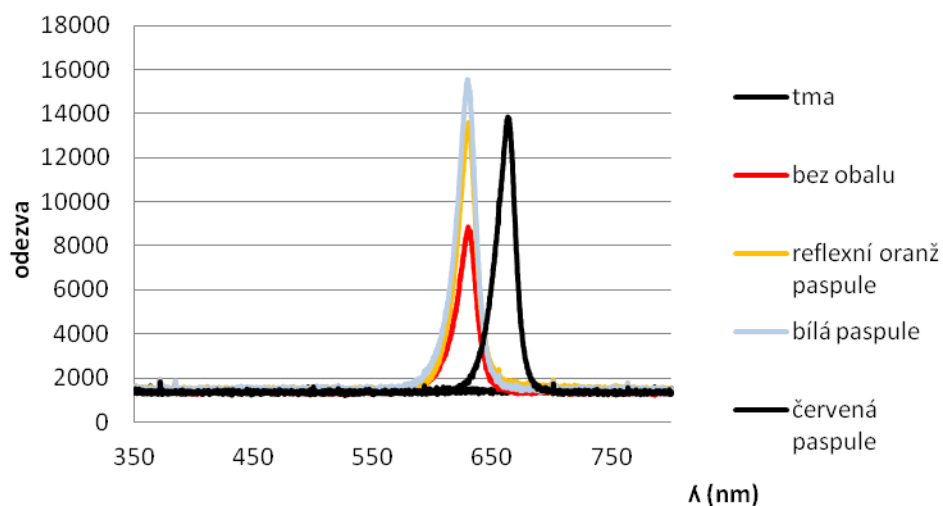
1.2 Měření světelné intenzity a spektra LK

Světelnou intenzitu můžeme měřit v ohybu vlákna či v napřímeném stavu. V tomto případě postačí napřímený stav z důvodu LK zašitých do oděvu, kde nejsou velké ohyby. Světelná intenzita SEPOF se měří pomocí senzoru, který snímá světlo uvnitř zařízení na principu fotodiody. Měří se na přístroji POFIN2, který měří intenzitu v napřímeném stavu a byl vyvinut a sestaven na TUL. POFIN2 je poloautomatický. Do přístroje pro samotné měření se musí LK navést ručně, ten je následně odtahován krokovým motorem skrz válečky a vyhodnocení probíhá přes připojený software. Měření probíhá ve světlo-nepropustné komoře se senzorem, který vyhodnocuje data v jednotlivých místech měřeného vlákna v závislosti na posunu krokového motoru.

Tabulka 1: Sumární intenzity vyzařování [$\text{Wm}^{-2}\text{mm}^{-1}$]

SEPOF / barva paspule / typ LED	bílá LED			červená LED		
	průměr	sm	hm	pr	sm	hm
SEPOF	0,122	0,110	0,128	0,028	0,020	0,035
Bílá	0,114	0,090	0,125	0,039	0,024	0,053
Reflexní oranžová	0,139	0,100	0,175	0,062	0,041	0,084
Červená	0,068	0,063	0,073	0,093	0,087	0,098

Při použití bílé i červené LED byla nelezena nejvyšší intenzita vyzařování u LK s textilním obalem (paspulí) reflexní oranžovou, nižší hodnoty byly nalezeny u LK s paspulí bílou a nižší hodnoty byly u samotného LK bez textilního obalu. U zkoumaných vzorků se vyskytuje zvýšená variabilita, takže rozdíly mezi intenzitami vyzařování LK jsou většinou statisticky nevýznamné. Interval spolehlivosti byl zvolen 95% na měřené délce vlákna 700 mm.

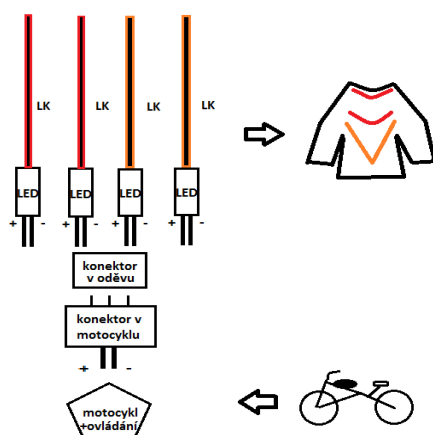


Obr. 3: Spektrum LK s textilními obaly různých barev - SEPOF nasvícené červenou LED

Na obr. č.3 je vidět, že jednotlivé křivky nemají počáteční pík. Tento pík má pouze bílá LED, nikoliv červená LED. Bílá LED simuluje denní světlo a má 2 píky, podobné spektrum lze nalézt u LK v bílé paspuli. Pokud se použije fluorescenční barva obalu, nevyskytuje se pík v oblasti cca 400 nm a dochází k vyššímu vyzáření.

2. Vlastní návrh oděvu

Do motocyklové bundy jsem umístil bezpečnostní systém, který zvýší především viditelnost řidiče v silničním provozu. Systém se skládá z LK, plastového krytu s řídicím obvodem a LED, vodiče elektrického napětí a konektoru, kterým se připojí oděv k motocyklu. Tento systém je schematicky znázorněn v náčrtu viz obr.4.



Obr. 4: Schematicky znázorněný bezpečnostní systém implementovaný do oděvu

Řidič tak přijde k motocyklu s bundou a implementovaným bezpečnostním systémem, konektorem se připojí k motocyklu, dojde k uzavření obvodu a po zapnutí pozičních světel vozidla se rozsvítí lineární kompozit v oděvu.

2.1 Rozvržení a umístění vláken

Konkrétní oděv měl převážně ideální rozmístění švů již z výroby pro instalaci paspulí i s optickými vlákny. Nové švy vznikly designovým překlátováním několika vrstev přes základní černou vrstvu bundy. Tam, kde tvar vrstvy nesplňoval technologické a funkční podmínky pro 100% účinnost vlákna, byla vrstva odpárána. Místo této vrstvy se udělala nová, vyhovující a ta byla po celé délce přišita na původní místo i s lineárním kompozitem (vlákno a paspule).

Umístění veškerých LK bylo voleno tak, aby jejich pracovní plocha byla co nejdelší a zaručila co nejbezpečnější viditelnost řidiče. Za plochu byla zvolena zadní část oděvu jakožto největší možné místo sedícího člověka na motocyklu. Směrové kompozity byly umístěny co nejdále symetricky na obou stranách od vertikální osy těla. Tím se podařilo zároveň docílit linearity a téměř nulové ztráty světelné intenzity vlivem možných radiusů. Délka použitých LK imitující směrová světla byla 45 cm pro konkrétní prototyp.

Lineární kompozit imitující funkci brzdového světla byl umístěn ve svrchní vrstvě oděvu podél vodorovné osy zad ve velkém poloměru kvůli ohybu LK. Opět i zde bylo zachováno největší užité plochy svitu pro co největší světelný efekt. Horizontální osa byla zvolena z důvodu dobré viditelnosti z jakéhokoliv zorného úhlu protijedoucích vozidel. Tento fakt byl umocněn i vyšší intenzitou vyzařovaného kompozitu, která byla docílena menší změnou elektrosoučástek (předřadného odporu) ve zdroji LED diody.



Obr. 5: Výsledná podoba bundy pro motocyklistu s LK

V prvotním náčrtu bylo umístění LK idealistické. Tvar vláken simulující blikáče měl být charakteristicky ohnut do tvaru šipky ve směru, kam by motocyklista odbočoval. Tento návrh jsem neshledal reálným kvůli konstrukci testované bundy. Švy oděvu neumožňovaly zašít paspuli do požadovaného tvaru bez jakéhokoliv nadbytečného zásahu do stříhu oděvu.

Obrysové světlo bylo umístěno do zvýšeného límce bundy. Rozpětí mezi obrysovémi světly na motocyklu a v oděvu přesahuje délku LK 1 metru. Účelem umístění do tak vysoké části bundy bylo docílit co nejvyššího svítícího předmětu na motocyklu a zvýšit tím větší bezpečnost uživatele oděvu.

Veškerá elektroinstalace byla umístěna tak, aby nebyla vizuálně narušena komplexnost oděvu a zároveň neomezovala pohyb a flexibilitu řidiče při jízdě. Též byla dodržena původní funkčnost oděvu. Paspule byly zašity externí firmou (švadlena) do již existujících švů. Konkrétní typ bundy neměl švy podlepené, tudíž nebyla nutnost švy podlepovat i po instalaci LK. Propojení s motocyklem zajišťuje 5ti pinový konektor.



Obr. 6: Bezpečnostní systém motorkáře v oděvu ve vzdálenosti 20m od objektivu fotoaparátu

Z již předchozích studií o LK je známo, že jejich viditelnost se hodnotila na stovky metrů. Tento konkrétní experiment mého systému se nafotil na základě reálných situací v běžném silničním provozu, které mohou nastat. Rozestupy jednotlivých vozidel v průměrné hustotě provozu jsou do 50m. Tudíž byla subjektivně zvolena vzdálenost 20m za stěžejní vzdálenost a v ní proběhlo zdokumentování fungujícího oděvu se systémem. Můžeme zleva vidět rozsvícené směrové světlo motocyklu a v porovnání s rozsvícením lineárním kompozitem v oděvu. Silueta řidiče se tak výrazně zvětšila. Následuje obrysové světlo mezi lopatkami a brzdové světlo v límci bundy. V práci docenta Havelky je měřena viditelná vzdálenost cyklistické bundy až do 400m, tudíž se dá předpokládat podobná viditelnost i u této technologie. [5]

2.2 Měření potřebné síly k rozpojení konektoru

Průběh zkoušky byl testován na 5 párech připojených konektorů stejného typu pro dva různé směry měření. Pro zprůměrování a zobecnění působících sil ve všech možných směrech za běžných podmínek provozu byl zvolen svislý směr (90°) a směr působící síly pod úhlem 45° . Tohoto úhlu bylo docíleno redukcí s volitelným úhlem úchopu zkoušeného vzorku. Krok, se kterým bylo měřeno, byl co nejpodobnější reálné situaci a to 2 mm/min. Měření nebylo měřeno dle normy ale pouze orientační. Průměrná síla pod úhlem 90° byla $F_{T1}=24.5\text{N}$ a pod pracovním úhlem 45° byla $F_{T2}=26.892\text{N}$. Teoretická síla působící na konektor byla spočtena dle 2. a 3. Newtonova zákona. Při zpomalení z $v_1=50\text{km/h}$ na $v_2=0\text{km/hod}$ byla spočtena síla

$F_1=3874\text{ N}$ a zpomalení z rychlosti $v_3=90\text{km/h}$ na $v_2=0\text{km/h}$ nulovou rychlost síla $F_2=5274\text{ N}$. Tím se potvrdila bezpečnost užívání konektorového spoje oděvu s motocyklem v porovnání s naměřenými silami na trhačí stoličce.

2.3 Cenová kalkulace bezpečnostního systému do pánské bundy

Běžná bunda pro motocyklistu se pohybuje od 3 000 Kč do 10 000 Kč. Celkový úbor (bunda, kalhoty, boty, rukavice,...) se tak pohybuje od 10 000 Kč. Na tomto faktu byla vytvořena cenová kalkulace bezpečnostního systému, který by neměl představovat na předešlých faktech žádnou finanční překážku. Bezpečnost je dnes na prvním místě. Pokud by cena byla příliš vysoká, snížil by se čistý zisk z prodeje. V tabulce č.2 jsou cenové odhady jednotlivých položek. Zákazník tedy přinese vlastní bundu a bude si moci zvolit připojení bezdrátové či drátové či délku a barvu jednotlivých LK

Tabulka 2: Cenová kalkulace

Celková kalkulace pánské bundy	
	Cena bez DPH
LK s příslušenstvím	2 418 Kč
Kabelové připojení	320 Kč
Bezdrátové připojení	1 400 Kč
Čistý zisk	2 700 Kč
Prodloužená záruka produktu (+1 rok navíc)	500 Kč
Práce švadleny	1 000 Kč
Celková cena	6 118 – 7 698 Kč

Celková cena mého výrobku bez samostatného oděvu se pohybuje v cenovém intervalu od **6 118 Kč** do **7 698 Kč**.

3. Závěr

Hlavním cílem bakalářské práce bylo navrhnout nový bezpečnostní prvek pro motocyklistu, který by zvýšil jeho bezpečnost za tmy či špatného počasí. Jednotlivé lineární kompozity představují brzdové, obrysové a směrové světlo. V práci byly naměřeny síly přetrhu. Tyto síly se porovnály s teoretickými silami, které byly vypočteny v situaci, kdy by nastala dopravní nehoda a ty byly stonásobně větší, než kolik byly naměřeny na trhačí stoličce. Tím se potvrdilo bezpečné užívání oděvu. V nepolední řadě byla navržena cena systému a to v ceně od 6 118 Kč do 7 698 Kč.

Literatura

- [1] *Electronics Word* [on-line]. [vid. 2019-03-07]. Dostupné z: <http://elektroarsenal.net/snell-s-law-and-total-internal-reflection-tir.html>
- [2] KŘEMENÁKOVÁ, D., Militký, J., Šesták, J.: *Vláknenné struktury a jejich aplikace. Část II: Optické vlastnosti textilií*. O.P.S. Kanina 2013.
- [3] MILITKÝ, J., Křemenáková, D., Šašková, J.: *Optical Attenuation of Linear Composites Containing SEPOF. 18th World Textile Conference AUTEX 2018. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 460 (2018) 012035 IOP Publishing*. 2018
- [4]. *Elektronická učebnice* [on-line]. [vid. 2019-03-07]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/2529>
- [5] TITOVÁ, Anna. *Signalizační cyklistická a sportovní bunda*. Liberec, 2017. Diplomová práce. Technická univerzita v Liberci. Vedoucí práce Havelka Antonín, doc. Ing. CSc.



Seznam prací soutěže SVOČ 2019 sekce **EKONOMIKA**

strana	Autor	Název práce
NMSP + DSP		
157	Hana BLÁHOVÁ	ZAVEDENÍ PERSONÁLNÍHO INFORMAČNÍHO SYSTÉMU VEVYBRANÉ SPOLEČNOSTI
167	Michal DOSTÁL	EXPERTNÍ SYSTÉM PRO PODPORU ŘEŠENÍ HELPDESKOVÝCH POŽADAVKŮ
176	Dominika HATZELOVÁ	THE PROBLEMATIC OF GIBRALTAR IN CONNECTION WITH BREXIT
182	Petr LÍMAN	CHANGES IN ECONOMIC INSTITUTIONS – IMPACT OF THE GREAT DEPRESSION ON THE UNITED STATE’S GOVERNMENT’S ROLE
189	Ondřej LINHART	LOAJALITA, SPOKOJENOST A HODNOTA ZÁKAZNÍKA
BSP		
200	Miroslav HERŠÁLEK	VLIV ČTVRTÉ PRŮMYSLOVÉ REVOLUCE NA SVĚTOVOU EKONOMIKU
208	Ondřej HINK	EKONOMICKÉ A SOCIÁLNÍ ASPEKTY PŘESUNU MĚSTA MOST
216	Jana KOŠTÁLOVÁ	FINANCOVÁNÍ JEZDECKÉHO SPORTU
223	Barbora LIPTÁKOVÁ	OBEZITA
231	Terezie ŠNOKHOUSOVÁ	ZERO WASTE
240	Michal TOMÍČEK	EFEKTIVITA INVESTIC VYBRANÉHO SPORTOVNÍHO KLUBU
250	Nikola VACHOVÁ	ŠŤASTNÝ ŽIVOT PODLE DÁNŮ A ŠVÉDŮ



ZAVEDENÍ PERSONÁLNÍHO INFORMAČNÍHO SYSTÉMU VE VYBRANÉ SPOLEČNOSTI

Bc. Hana Bláhová

Sekce - EKONOMIKA,
Ekonomická fakulta, 2. ročník
Navazující studijní program – PODNIKOVÁ EKONOMIKA

Abstrakt: Cílem práce je návrh na zavedení PIS ve vybrané společnosti. Návrh je připraven na základě podrobné analýzy potřeb využívání PIS v HR procesech vybrané společnosti a porovnání řady parametrů vybraných produktů poskytovatelů PIS. Jsou představeny možnosti implementace a je navrženo jak zavést komplexní personální informační systém. Dále bylo provedeno zmapování trhu dodavatelů PIS a vybráno pět vhodných systémů, které byly dále zhodnoceny. Na základě analýz byl vytvořen návrh obsahu a fungování systému. Porovnání a hodnocení vybraných systémů, které zahrnuje i finanční a časovou náročnost, proběhlo na základě čtyř doporučených kritérií. Vybrány jsou dva nejvíce vyhovující systémy dle vybraných kritérií a je navrženo jeden z nich implementovat.

Klíčová slova: personální informační systém, HR procesy, administrativní náročnost, implementace

Úvod

Moderní řízení lidských zdrojů je založeno na efektivním zajištění HR procesů a činností. K tomuto v dnešní době nejvíce pomáhají různé IT nástroje, jako aplikace, softwary a systémy, a také možnost digitalizace. Nejčastěji užívanými IT nástroji jsou tzv. personální informační systémy, které jsou specializovány přímo na personalistiku a mzdy. Díky těmto systémům je možné snadno vést veškerou evidenci personálních údajů, lépe plánovat lidské zdroje, zefektivnit a zrychlit HR činnosti a procesy a jednodušeji tvořit HR strategii.

Personální informační systém lze definovat jako softwarový systém, který uchovává, analyzuje, poskytuje, zpracovává a zjišťuje informace o personální práci a lidských zdrojích v organizaci. Určen je především k podpoře HR procesů a činností. Kromě HR podporuje také vedoucí pracovníky při jejich rozhodování. Součástí těchto systémů jsou také metody, pravidla a postupy týkající se zacházení s personálními informacemi [1] [2]

1 Analýza HR procesů vybrané společnosti

Společnost Z je IT softwarovou společností, zabývající se nejen vývojem mobilních a webových aplikací, ale i projektovým řízením, konzultacemi a analýzami v IT, projektovou podporou, strojovým viděním a konstrukcí a správou dat. Česká společnost částečně podléhá německé mateřské společnosti a nadnárodnímu indickému koncernu. Společnost v ČR má 140 zaměstnanců (k únoru 2019). Společnost řídí dva jednatelé, jeden je v Německu a jeden v ČR, který rozhoduje o většině věcí samostatně.

HR oddělení společnosti má na starosti všechny personální činnosti, včetně evidence všech personálních údajů, organizace a správy služebních cest, evidence a zpracování docházky, agendy BOZP a PO a dalších. Pouze zpracování mezd probíhá přes externí mzdovou účetní, avšak příprava podkladů probíhá interně. O všechny procesy a činnosti se stará jedna vedoucí oddělení a dvě personalistky.

Jelikož žádný informační systém HR oddělení nepoužívá, veškerá evidence a činnosti probíhají pomocí kancelářských programů jako Excel a Word. Užívaných souborů je mnoho a jejich údržba a správa je se zvyšujícím se počtem zaměstnanců stále složitější. Navíc tyto kancelářské programy nepracují s velkým množstvím dat příliš rychle a častokrát zamrzají. Pro každou činnost či evidenci musí být zvláštní soubor a data je nutné zapisovat na více míst duplicitně. Veškeré dokumenty, reporty a statistiky se připravují ručně.

Částečnou podporou jsou však interní HR aplikace (viz Tabulka 1), které pomáhají u některých procesů snížit administrativní náročnost. Většina z nich se užívá ke zjednodušení a zrychlení činností, avšak aplikace nejsou zcela dořešeny, a proto práci neusnadňují tak, jak by měly. Navíc většina z aplikací není navzájem propojena a fungují tedy samostatně.

Tabulka 1 : Seznam interních HR aplikací a jejich využití ve vybrané společnosti

Aplikace	Proces
Kandidáti	Nábor zaměstnanců
Osobní stránka zaměstnance	Sdružuje ostatní aplikace, základní přehled
Žádosti	Docházka – žádosti o nepřítomnost
Helpdesk	Nástup a výstup zaměstnanců – požadavky na IT
Evidence	Správa majetku
Projects	Docházka
HR reporting	Docházka
Approval	Služební cesty a Vzdělávání
Telefony	Benefity – třídění telefonních hovorů

Zdroj: vlastní zpracování

Na základě informací o fungování HR procesů společnosti Z je zřejmé, že jsou všechny činnosti kvůli absenci informačního systému velmi administrativně a časově náročné. Z tohoto důvodu je navrženo zavedení a implementace personálního informačního systému, který zrychlí, zefektivní a usnadní veškeré HR procesy a činnosti.

2 Možnosti zavedení personálního informačního systému

V předchozí kapitole je navrženo zavedení personálního informačního systému, který HR oddělení sníží administrativní náročnost vykonávaných činností. Naskytují se zde čtyři možnosti, které by pro společnost byly vhodné vzhledem k její velikosti, zaměření a ovlivnění mateřskou a koncernovou společností. Tyto možnosti jsou:

- lokální ERP systém,
- systém SAP,
- vývoj systému vlastními silami,
- komplexní personální informační systém.

Společnost Z nemá ani v ostatních oblastech řízení žádný informační systém, nabízí se zde tedy možnost zavedení ERP systému (Enterprise Resource Planning), neboli systému pro podnikové plánování zdrojů. Nicméně z hlediska HR oddělení a jeho požadavků není ERP systém příliš vhodný, jelikož HR moduly těchto systémů nejsou tolik propracované a častokrát neobsahují důležité funkce, které HR potřebuje.

O zavedení systému SAP se v současnosti ve společnosti Z uvažuje, jelikož jej využívá německá i indická mateřská společnost. Opět však jde to ERP systém, a to zahraniční, HR modul tedy nemusí být tak propracovaný a nemusí odpovídat požadavkům české legislativy, která se od zahraniční liší. V případě budoucího zavedení systému SAP je tedy doporučeno pro HR oddělení implementovat i speciální HR informační systém.

Jelikož je společnost Z softwarovou společností a sama jako svůj produkt vyvíjí systémy a aplikace, bylo by možné systém vyvíjet i vlastními silami. Avšak vlastní vývoj by byl velmi časově a finančně náročný. Bylo by potřeba zapojit celkem 9 zaměstnanců, od analytika a projektového manažera, přes grafika, HR specialistu až po vývojáře frontend a backend. Časová náročnost vývoje by odhadem byla 15,5 měsíce a náklady by se mohly dostat až do výše 4 400 000 Kč. Tato možnost tedy také není příliš vhodná.

Poslední možností je implementace komplexního personálního informačního systému. Tato možnost je z pohledu základních potřeb společnosti Z a jejího HR oddělení nejvhodnější. Je to z toho důvodu, že HR oddělení nyní nemá žádný systém a potřebuje takový systém, který bude uzpůsoben efektivnímu řízení HR procesů. Takové jsou právě komplexní personální informační systémy, které jsou zaměřeny pouze na HR a jsou tak mnohem propracovanější. Systém by měl být lokální, aby splňoval veškeré zákonné požadavky personální práce. Nyní je tedy nutné provést analýzu trhu dodavatelů personálních informačních systémů, aby bylo možné vybrat vhodné systémy na základě předem stanovených kritérií.

2.1 Analýza trhu dodavatelů personálního informačního systému

Analýza je provedena na českém trhu dodavatelů personálních informačních systémů. Nejprve byl trh zmapován a následně bylo vybráno pět systémů, které jsou pro společnost Z na základě základních parametrů, jako je velikost a zaměření společnosti a zaměření systému, vhodné. Těchto pět dodavatelů včetně názvů konkrétních systémů ukazuje Tabulka 2.

Tabulka 2 : Seznam vybraných dodavatelů a jejich personálních informačních systémů

Společnost	Program
KS-program spol. s r. o.	KS mzdy, KS personalistika
Vema, a. s.	Vema
OKSystem, a. s.	OKbase
PC HELP, a. s. (Kompas2)	PC HELP plusPortal
Kvasar spol. s r. o.	PERM 3, PermWeb

Zdroj: vlastní zpracování dle [3] [4] [5] [6] [7]

Následně byly u každého systému zjištěny informace o jeho modulech, obsahu modulů, veškerých funkcích, možnostech apod. Výstup z těchto informací je představen v kapitole 4.

3 Návrh obsahu a fungování personálního informačního systému

Na základě analýzy HR procesů vybrané společnosti, analýzy trhu dodavatelů personálního informačního systému a potřeb HR oddělení společnosti Z je vytvořen návrh obsahu a fungování systému, který by HR oddělení pomohl zrychlit a zefektivnit jejich činnosti.

Návrh (viz Tabulka 3 a Tabulka 4) představuje oblasti a konkrétní funkce, které by měl systém splňovat. Tyto požadavky jsou rozděleny na ty, které jsou nutně od systému vyžadovány, aby se HR práce zefektivnila a na ty, které nutně systém obsahovat nemusí, jelikož nejsou tak důležité, pokud je systém však bude mít, bude to výhodou, jelikož se může uvažovat např. o budoucí dodání těchto modulů a funkcí.

Tabulka 3: Seznam oblastí a funkcí nutně požadovaných v PIS pro společnost Z

Personální činnost	Obsah
Nábor zaměstnanců	• Evidence kandidátů • Evidence výběrových řízení • Fulltextové vyhledávání • Seznam pracovních pozic • Evidence požadavků na pracovní pozice • Archivace dokumentů kandidátů • Historie komunikací • Sdílení informací mezi HR oddělením a vlastníky výběrových řízení • Evidence souhlasů a hlídání výmazů osobních údajů dle GDPR
Evidence zaměstnanců	• Převedení kandidáta na zaměstnance • Evidence personálních dat (včetně historie a budoucnosti) • Evidence hlavních pracovních poměrů a dohod konaných mimo prac. poměr • Evidence souběžných pracovních poměrů • Archivace personálních dokumentů zaměstnance • Tvorba pracovněprávních dokumentů, včetně možnosti hromadného tisku • Evidence dovolené a výpočet jejího nároku • Možnost přístupu pro vedoucí, manažery a zaměstnance • Možnost nastavení přístupových práv a dat, která mají být zobrazena • Popisy pracovních míst, včetně požadavků na pracovníka • Historie obsazení pracovních míst • Automatické notifikace blížících se událostí týkajících se pracovníků (konec zkušební doby, konec pracovního poměru, narozeniny, apod.) • Provozní evidence o zaměstnancích
Docházka zaměstnanců	• Plánování dovolené • Propojení docházkového systému na mzdy • Schvalování docházky • Měsíční přehledy docházky • Automatická kontrola zákonných požadavků (pauzy, přestávky, apod.) • Možnost editace dat v docházce • Možnost nastavení pro zkrácené a nerovnoměrné úvazky či dohody • Kontrola nepřítomností (nemoc, dovolená, lékař) • Převádění přesčasů do dalších měsíců • Výpočet nároku na stravenky
Mzdy	• Evidence mezd jednotlivých zaměstnanců • Evidence historie mezd a bonusů • Zadávání proplacení přesčasů, mzdových položek, odměn, srážek
Benefity	• Nároky na benefity a jejich evidence • Evidence čerpání benefitů
Organizační struktura	• Začlenění zaměstnance v organizační struktuře • Přidělení jednotlivým vedoucím
Reporty a statistiky	• Počty zaměstnanců • Počty nástupů a výstupů • Sledování fluktuace • Personální náklady

Zdroj: webové stránky dodavatelů PIS (vlastní zpracování)

Tabulka 3 představuje oblasti a konkrétní požadavky HR oddělení na personální informační systém. Tyto oblasti a funkce jsou od systému nutně vyžadovány, jelikož to jsou stěžejní činnosti personální práce společnosti Z a jejich správa v rámci systému by velmi usnadnit práci personalistek. Všechny tyto činnosti, jak již bylo řečeno, jsou v současné době spravovány v Excel a Word souborech za podpory interních aplikací, které však nejsou příliš propracované a nejsou vzájemně propojeny.

Tabulka 4: Seznam oblastí a funkcí, které nejsou nutně vyžadovány v PIS pro společnost Z

Personální činnost	Obsah
Nábor zaměstnanců	• Automatické načítání informací z životopisu kandidáta
Evidence zaměstnanců	• Evidence svěřeného majetku zaměstnanci • Zadávání návrhů změn osobních dat přímo zaměstnanci • Možnost distribuce dokumentů zaměstnancům • Evidence dat rodinných příslušníků zaměstnanců
Mzdy	• Propojení na Cafeteria systém
Benefity	• Cafeteria systém
Školení a lékařské prohlídky	• Evidence a plánování zákonných školení (BOZP, PO, školení řidičů) • Hlídkání a evidence lékařských prohlídek • Archivace dokumentů • Plánování a evidence školení • Přihlašování se na školení • Evidence nákladů na školení zaměstnanců
Služební cesty	• Žádosti o tuzemské a zahraniční služební cesty • Evidence čerpaných záloh a zaznamenání výdajů na služební cestě • Schvalování služebních cest • Možnost evidence a připojení dokumentů • Import kurzů z webových stránek ČNB automaticky • Výpočet náhrad za používání soukromého vozidla • Přenos náhrad do mezd po schválení
Hodnocení zaměstnanců	• Evidence hodnocení za libovolné období • Možnost zadání hodnotících kritérií • Možnost propojení na mzdy, krácení/navýšení mzdy

Zdroj: webové stránky dodavatelů PIS (vlastní zpracování)

Tabula 4 ukazuje seznam HR oblastí a konkrétních funkcí, které systém splňovat nemusí, avšak pokud je splňovat bude, bude to vhodné pro případ přidání těchto modulů již nyní či v budoucnu. Tyto oblasti jsou v současnosti nějakým způsobem v rámci personální práce zajištěny a jejich současný stav by případně mohl zůstat stejný. Bylo by však vhodné v budoucnu i tyto oblasti zapojit do informačního systému, aby bylo možné procesy provázat.

Je navrženo komplexní personální informační systém implementovat s lokální databází, ne jako cloud řešení. Také je doporučeno, aby systém obsahoval možnost přístupu pro všechny zaměstnance včetně samoobsluhy, samozřejmě s možností udělování práv a aby byl součástí také zaměstnanecký portál.

4 Porovnání a zhodnocení vybraných systémů a návrh na zavedení personálního informačního systému ve společnosti Z

Po zmapování trhu dodavatelů personálních informačních systémů, výběru pěti vhodných systémů a zjištění informací o nich byl vytvořen návrh obsahu a fungování systému.

Na základě těchto všech údajů je nyní potřeba vybrat dle stanovených kritérií systém, který nejlépe odpovídá požadavkům a potřebám HR oddělení společnosti Z. Je navrženo hodnotit vybrané systémy dle následujících čtyř kritérií:

- splnění základních požadavků,
- splnění doplňkových požadavků,
- přívětivost uživatelského prostředí,
- celkové náklady na zavedení systému.

Některá z kritérií jsou primární a některá doplňková. Nejdůležitějším kritériem je splnění základních požadavků na systém a celkové náklady na zavedení systému obsahujícího všechny funkce a požadavky, jak základní, tak ty doplňkové (pro případ, že by se v budoucnu plánovala implementace dalších modulů). Doplňkovými kritérii je pak splnění požadavků nad rámec těch základních a přívětivost uživatelského prostředí. V rámci hodnocení systémů bylo nutné názvy systémů anonymizovat, jelikož některá získaná data jsou důvěrná.

4.1 Hodnocení splnění základních požadavků

V rámci hodnocení splnění základních požadavků bylo u každého vybraného personálního informačního systému posouzeno, zda splňuje požadované oblasti a kolik funkcí a požadavků v každé oblasti splňuje. Výsledky představuje Tabulka 5.

Tabulka 5 : Procento splnění základních požadovaných funkcí jednotlivými PIS

Personální činnost	Systém M	Systém S	Systém W	Systém K	Systém R
Nábor zaměstnanců	100 %	88,9 %	88,9 %	88,9 %	88,9 %
Evidence zaměstnanců	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %
Docházka zaměstnanců	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %
Mzdy	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %
Benefity	100 %	100 %	100 %	100 %	0 %
Organizační struktura	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %
Reporty a statistiky	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %
Procentuální průměr splnění základních požadavků	100 %	98,4 %	98,4 %	98,4 %	84,1 %

Zdroj: vlastní zpracování dle [3] [4] [5] [6] [7]

Tabulka 5 ukazuje, že všechny vybrané systémy obsahují všechny požadované oblasti, avšak ne všechny požadavky v rámci těchto oblastí jsou u některých systémů splněny. Nejlépe se umístil Systém M, který splňuje všechny zadané základní požadavky. Další systémy, které mají nejvíce splněných funkcí, konkrétně tedy nesplňují pouze jeden ze základních požadavků, je Systém S, Systém W a Systém K, ty splňují 98,4 % základních požadavků. Nejhorší je na tom systém R, který splňuje jen 84,1 % funkcí.

4.2 Hodnocení splnění doplňkových požadavků

Toto kritérium, jak již bylo řečeno, je doplňkové, avšak v budoucnu by mohlo být důležité, aby systém uměl splnit i tyto další funkce. Splnění doplňujících požadavků ukazuje Tabulka 6.

Tabulka 6 : Procento splnění doplňkových požadovaných funkcí jednotlivými PIS

Personální činnost	Systém M	Systém S	Systém W	Systém K	Systém R
Evidence zaměstnanců	100 %	100 %	75 %	100 %	100 %
Školení a lékařské prohlídky	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %
Služební cesty	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %
Hodnocení zaměstnanců	100 %	100 %	100 %	100 %	66,7 %
Další požadavky	100 %	66,7 %	66,7 %	0 %	33,3 %
Procentuální průměr splnění doplňkových požadavků	100 %	93,3 %	88,3 %	80 %	80 %

Zdroj: vlastní zpracování dle [3] [4] [5] [6] [7]

V Tabulce 6 jsou představeny oblasti a funkce, které systém nutně splňovat nemusí, ale je vhodné, aby jej obsahoval kvůli případné budoucí implementaci. I zde tyto oblasti obsahují všechny systémy, avšak zde je již více konkrétních funkcí, které systémy neobsahují. I zde opět splňuje nejvíce požadavků Systém M, a to 100 %. Druhý nejvyšší procentuální podíl splněných požadavků má systém S, tedy 93,3 %. Následuje pak Systém W s 88,3 % a Systém K a Systém R s 80 % splněných doplňkových požadavků.

Z pohledu splnění základních, doplňkových i všech požadavků dohromady se tedy nejlépe umístil systém M, který splňuje 100 % všech požadavků a Systém S, který splňuje 95,9 % všech zadaných požadavků.

4.3 Hodnocení přívětivosti uživatelského prostředí

Toto doplňkové kritérium hodnotí, jak je uživatelské prostředí každého vybraného systému přívětivé. Hodnocení se skládá z názorů 3 personalistek a 3 vybraných zaměstnanců společnosti Z. Jejich úkolem bylo na základě informací o systému, obrázků a ukázek ze systému přidělit každému z nich 0-100 bodů dle toho, jak se jim líbí vzhledově, jak by se jim v něm pracovalo, jak se jim líbí uspořádání tlačítek apod. Hodnocení tedy ukazuje, na kolik procent systém splňuje určitá očekávání hodnotících. Výsledky hodnocení ukazuje Tabulka 7.

Tabulka 7 : Hodnocení uživatelského prostředí vybraných PIS personalistkami a vybranými zaměstnanci

Hodnocení	Systém M	Systém S	Systém W	Systém K	Systém R
Průměrné hodnocení personalistkami	70 %	56,7 %	66,7 %	95 %	90 %
Průměrné hodnocení vybranými zaměstnanci	74,7 %	59,3 %	78 %	96,3 %	84 %
Celkové průměrné hodnocení	72,4 %	58 %	72,4 %	95,7 %	87 %

Zdroj: vlastní zpracování dle [3] [4] [5] [6] [7]

Z hodnocení vyplývá, že nejpříjemnější uživatelské prostředí má z pohledu personalistek i vybraných zaměstnanců Systém K, který získal 95,7 % bodů, dále pak Systém R s 87 % body

a Systém M a Systém W, které mají 72,4 % bodů. Nejhůře se umístil Systém S, získal pouze 58 % bodů.

4.4 Finanční náročnost implementace personálního informačního systému

Finanční náročnost implementace vybraných PIS je provedena na základě cenových kalkulací, které byly získány od dodavatelů těchto systémů. Náklady na implementaci zahrnují cenu licence, náklady na služby spojené s implementací a náklady samotné implementace. Nejsou tam však zahrnuty úplně všechny náklady, které mohou vzniknout, jelikož některé z těchto nákladů nelze určit odhadem dopředu. Tabulka 8 představuje náklady na implementaci vybraných PIS, a to při splnění jen základních požadavků, náklady na implementaci i dalších funkcí a náklady celkem, tedy za systém, který by obsahovat všechny zadané oblasti a funkce.

Tabulka 8 : Porovnání nákladů na implementaci vybraných PIS

Systémy	Základní požadavky	Doplňkové požadavky	Všechny požadavky
Systém S	305 884 Kč	45 601 Kč	351 485 Kč
Systém R	357 950 Kč	83 730 Kč	441 680 Kč
Systém M	422 210 Kč	7 650 Kč	429 860 Kč
Systém K	489 360 Kč	36 960 Kč	526 320 Kč
Systém W	556 560 Kč	145 130 Kč	701 690 Kč

Zdroj: cenové kalkulace od dodavatelů systémů (vlastní zpracování)

Z Tabulky 8 vyplývá, že nejnižší náklady na pořízení a implementaci systému, který splňuje všechny požadavky, má Systém S, a to 351 485 Kč. Druhým nejlevnějším systémem z hlediska nákladů je Systém M, kde jsou náklady ve výši 429 860 Kč. Dále je to pak Systém R s náklady 441 680 Kč a systémem s nejvyššími náklady je Systém K (526 320 Kč) a Systém W (701 690 Kč).

S finanční náročností jsou spojeny také náklady na údržbu a technickou podporu systému, tyto náklady představuje Tabulka 9, která ukazuje výši nákladů na roční technickou podporu vybraných PIS. I zde jsou náklady rozděleny na výši při implementaci jen základních požadavků, navýšení při implementaci i dalších modulů a celkové náklady za údržbu a podporu systému obsahujícího všechny zadané funkce.

Tabulka 9: Porovnání nákladů na roční technickou podporu vybraných PIS

Systémy	Základní požadavky	Doplňkové požadavky	Všechny požadavky
Systém S	29 393 Kč	4 149 Kč	33 542 Kč
Systém R	24 770 Kč	8 530 Kč	33 300 Kč
Systém M	57 954 Kč	1 913 Kč	59 867 Kč
Systém K	31 560 Kč	6 160 Kč	37 720 Kč
Systém W	105 960 Kč	18 930 Kč	124 890 Kč

Zdroj: cenové kalkulace od dodavatelů systémů (vlastní zpracování)

Tabulka 9 ukazuje, že nejnižší náklady na roční technickou podporu má Systém R, a to ve výši 33 300 Kč. Druhé nejnižší náklady má Systém S, a to 33 542 Kč. Následuje Systém K (37 720 Kč), Systém M (59 867 Kč) a nejvyšší náklady na údržbu jsou u Systému W (124 890 Kč).

4.5 Časová náročnost implementace personálního informačního systému

Zhodnocení nejvhodnějšího systému z hlediska časové náročnosti implementace PIS není jednoduchá, jelikož časová náročnost je u všech vybraných systémů velmi podobná. Do této doby jsou započítány celkem 3 fáze, které při implementaci probíhají, a to fáze předimplementační, fáze přípravy a fáze ostrého provozu. První, tedy předimplementační fáze zahrnuje analýzy HR procesů a systémů užívaných společností, návrh konečné nabídky a po schválení nabídky také podpis implementační smlouvy. Fáze přípravy obsahuje samotnou implementaci PIS, zaškolení uživatelů, testování a zkušební provoz. Poslední fází je potom ostrý provoz systému, který zahrnuje také technickou a konzultační podporu ze strany dodavatele. Celkem mohou tyto fáze zabrat 3–5 měsíců. Dobu nelze určit přesně, v průběhu implementace se může měnit.

4.6 Návrh na implementaci PIS ve společnosti Z

Na základě zhodnocení vybraných personálních informačních systémů a splnění zadaných kritérií je vytvořen návrh na zavedení konkrétního systému. **Prvním návrhem je Systém M**, který splňuje všechny základní i doplňkové požadavky a jeho náklady na implementaci jsou druhé nejnižší (429 860 Kč). Avšak náklady na roční údržbu jsou třetí nejvyšší a přívětivost uživatelského prostředí dle vybraných hodnotitelů je třetí nejlepší. **Druhý systém, který je na základě zhodnocení doporučen, je Systém S**, který splňuje druhý nejvyšší procentuální podíl základních, doplňkových i všech požadavků (95,9 %) a jeho náklady na implementaci systému splňujícího všechny zadané požadavky jsou z vybraných systémů nejnižší (351 485 Kč). Náklady roční technické podpory jsou druhé nejnižší, avšak hodnocení přívětivosti uživatelského prostředí z pohledu vybraných hodnotitelů je v rámci vybraných systémů nejhorší.

Společnosti Z a jejímu HR oddělení je doporučeno implementovat komplexní personální informační systém, který zrychlí, zefektivní a zlepší HR procesy a sníží tak administrativní náročnost HR činností a personalistkám ušetří čas. Díky systému bude navíc umožněno lepší strategické plánování a rozhodování nejen v rámci HR, ale u i vedoucích pracovníků. Také služby zaměstnancům se díky zavedení systému mohou zlepšit. Konkrétně je navrženo implementovat Systém M či Systém S. V případě, že se společnost Z rozhodne pro zavedení personálního informačního systému, je navrženo sjednání schůzky s dodavatelem dvou vybraných PIS, zodpovězení případných dalších otázek a praktická ukázka. Po akceptaci finální nabídky pak bude následovat podpis implementační smlouvy a dále pak samotná implementace systému.

5 Závěr

Procesy a činnosti HR oddělení společnosti Z jsou velmi administrativně náročné a zabírají spoustu času, který by bylo možné využít jinak, například k rozvoji zaměstnanců. Od administrativní zátěže může pomoci efektivní IT nástroj. Společnosti Z je tedy navrženo implementovat informační systém, který procesy zefektivní a zrychlí. Na základě analýzy HR procesů společnosti Z bylo navrženo zavést konkrétně komplexní personální informační

systém, který je zaměřen přímo na personalistiku a mzdy a je tak více propracovaný než např. ERP systémy. Z analýzy trhu dodavatelů PIS bylo vybráno 5 systémů, které byly dále porovnány a zhodnoceny na základě doporučených kritérií. Dle splnění kritérií pak byly vybrány dva vhodné systémy, a to Systém M, splňující všechny požadavky a mající druhé nejnížší náklady a Systém S, splňující druhý nejvyšší procentuální podíl splněných požadavků a nejnížší náklady na implementaci. Společnosti Z je tedy doporučeno jeden ze systémů implementovat a pomoci tak HR oddělení se zefektivněním, zrychlením a zjednodušením HR procesů a činností. Implementace PIS může pomoci nejen HR oddělení, ale i celé společnosti, a to s efektivnějším řízením.

Literatura

- [1] ARMSTRONG, Michael. *Armstrong's handbook of human resource management practise*. 14th edition. New York: Kogan Page, 2017. ISBN 978-0-7494-7411-9.
- [2] KOUBEK, Josef. *Řízení lidských zdrojů: Základy moderní personalistiky*. 4., rozš. a dopl. vyd. Praha: Management Press, 2012. ISBN 978-80-7261-168-3.
- [3] *KSprogram* [online]. Česká republika, c2014 [cit. 2018-10-20]. Dostupné z: <https://www.ksprogram.cz/>.
- [4] *Kvasar* [online]. Česká republika, c2018 [cit. 2018-10-20]. Dostupné z: <http://www.kvasar.cz/>.
- [5] *OKbase* [online]. Česká republika, c2017 [cit. 2018-10-20]. Dostupné z: <https://www.okbase.cz/cs/>.
- [6] *PlusPortal* [online]. Česká republika, c2016 [cit. 2018-10-20]. Dostupné z: <https://www.plusportal.cz/default.aspx>.
- [7] *Vema* [online]. Česká republika, c2018 [cit. 2018-10-20]. Dostupné z: <https://www.vema.cz/>.
- [8] BLÁHOVÁ, Hana. *Zavedení personálního informačního systému ve vybrané společnosti*. Liberec, 2019. Diplomová práce. Technická univerzita v Liberci, Ekonomická fakulta.

EXPERTNÍ SYSTÉM PRO PODPORU ŘEŠENÍ HELPDESKOVÝCH POŽADAVKŮ

Dostál Michal

Sekce – EKONOMIKA,
Fakulta ekonomická, 2. ročník
Navazující magisterský studijní program – MANAŽERSKÁ INFORMATIKA

Abstrakt: Práce se zabývá popisem expertního systému HDES, vyvinutého jako nástroj pro podporu řešení helpdeskových požadavků ve firmě vyvíjející vlastní informační systém a provozující IT služby. Jsou identifikovány možné problémy při nasazení či používání tohoto systému a je navrženo jejich řešení. V příspěvku jsou dále popsány aktuální trendy v oblasti expertních systémů a zákaznické podpory.

Klíčová slova: expertní systém, help desk, zákaznická podpora, helpdeskové požadavky

Úvod

Metody umělé inteligence nacházejí své uplatnění v mnoha oborech lidské činnosti. Není tomu jinak ani v oboru zákaznické podpory, kdy je třeba optimalizovat její činnosti. Cílem tohoto příspěvku je popsat autorem vytvořený systém HDES – expertní systém pro podporu helpdeskových požadavků, který byl vyvinut v rámci diplomové práce autora, identifikovat možné problémy při nasazování a používání systému, porovnat jej s podobnými systémy, ekonomicky jej zhodnotit a seznámit čtenáře se současnými trendy v oboru expertních systémů a zákaznické podpory. Tento příspěvek je rozdělen na jednotlivé kapitoly zabývající se uvedenými cíli.

1 Současné trendy

Tato práce se tematicky dotýká dvou témat – expertních systémů a zákaznické podpory. V těchto oborech existuje několik současných trendů a ty jsou popsány v následujících dvou podkapitolách.

1.1 Expertní systémy

Základní definicí expertního systému je, že se jedná o systém pracující se znalostmi experta převedenými do počítačově čitelné formy. Tyto znalosti jsou zachyceny určitou formou reprezentace. Tou mohou být například pravidla, rámce, sémantické sítě či logické výrazy. Expertní systém dokáže „usuzovat“ a své úsudky upravovat na základě jemu dostupných informací. Zjednodušeně, s expertním systémem konzultujeme problém v určité doméně tak, jako bychom jej konzultovali s lidským expertem.

Expertní systémy lze rozdělit na několik druhů, a to dle jejich způsobu použití. Může se jednat například o diagnostické, klasifikační, porovnávací či interpretační expertní systémy.

Expertní systémy od svých počátků působí v mnoha oborech. Wagner ve svém článku [1] zhodnocuje tři dekády vývoje expertních systémů. Uvádí, že většina případových studií popisující vytvořené expertní systémy spadaly do oblasti obchodu. V počátcích expertní systémy řešily problémy z oboru marketingu, lidských zdrojů, finančního řízení a účetnictví. V posledních 10 letech se ale vývoj soustředí především na oblast managementu a provozu. Wagner vývoj analyzoval také z pohledu průmyslového odvětví a zjistil, že nejoblíbenějšími

odvětvími pro použití expertního systému k řešení problému bylo účetnictví a finanční služby, výroba a medicína. Medicína v posledních letech převzala vedoucí pozici jako nejčastější odvětví vývoje těchto systémů. Není tedy divu, že jako nejčastější problémové doména byla označena diagnóza – diagnostické expertní systémy.

Od „klasických“ expertní systémů (popsaných v kapitole 2) se dnes pomalu upouští a do popředí se dostávají hybridní expertní systémy, které využívají dalších metod umělé inteligence jako je fuzzy logika či umělé neuronové sítě. Příklad takového hybridního expertního systému pracujícího s neurální sítí je popsán v článku [2]. Tento systém předpovídá přínosy zavedení ERP systému v podniku ještě před tím, než je systém implementován. Neurální síť je trénována daty z dotazníkového šetření popisující organizační profily a přínosy po zavedení ERP systémů do těchto organizací. Výsledkem je expertní systém, který dokáže s jistou mírou přesnosti předpovědět přínosy zavedení ERP systému, kde vstupem je profil zkoumané organizace.

Zvláštní skupinou expertních systémů jsou tzv. case-based systémy [3] (lze přeložit jako systémy pracující s tzv. případy). Případem se rozumí úspěšně vyřešený problém. Tyto systémy se snaží adaptovat řešení již vyřešených problémů na problém aktuálně řešený. Většinou působí jako tzv. recommender systémy, tedy doporučovací systémy – uživateli je nabízeno či doporučované řešení nějakého problému.

1.2 Zákaznická podpora

Do oblasti zákaznické podpory se dostávají současné moderní technologie. Zákazník očekává 24hodinovou dostupnost zákaznické podpory, a to nejen za pomoci počítačů, ale i mobilních zařízení. Ta se stávají téměř nedílnou součástí osobního i pracovního života. Baucom [4] uvádí, že uživatelé dnes poptávají tzv. samoobslužná řešení svých problémů. Jde tedy o takovou formu podpory, kdy má uživatel k dispozici například nějaký katalog obsahující servisní informace či návody jiných uživatelů. Tímto způsobem je pracovníkům zákaznické podpory sníženo množství tohoto typu práce a mohou se věnovat problémům větším či důležitějším, které již nemůže zákazník vyřešit svépomocí.

Většinou je ale pro dnešního uživatele výhodnější a rychlejší, pokud může použít formu komunikace skrze sociální síť. Používání sociálních sítí jako prostředku komunikace zákaznické podpory a koncového zákazníka je významným trendem dnešní doby. Lam a Hannah [5] zkoumali používání konkrétní sociální sítě jako prostředku helpdeskové podpory. Ve svém průzkumu zjistili, že pokud uživatel používá sociální síť pro komunikaci s firmou, má k tomu dva důvody. Prvním z nich je, že hledá řešení svého problému. Příkladem může být například twitterový účet O2 Guru (@O2GuruCZ), kdy se zákazníci společnosti O2 mohou se svými problémy obracet přímo na pracovníky služby O2 Guru. Odpovědi se jim dostává přímo skrze sociální síť. Druhým případem, kdy je ke komunikaci využito sociálních sítí, je vyjádření zákaznickova názoru na danou firmu. Zákazník tak může vyjádřit svou nespokojenost s produktem či službou. V nejlepším případě se pak firma snaží se zákazníkem jeho stížnost řešit a vyřešit ke spokojenosti obou stran.

Zajímavým trendem je zapojení metod umělé inteligence do zákaznické podpory. To může být například řešeno pomocí tzv. chatbotů. Chatboti jsou inteligentní chatovací roboti využívající technologie tzv. konverzační umělé inteligence [6]. Příkladem práce takového chatbota může být například „Guided Troubleshooting“ [6], v překladu řízené řešení problémů. Uživatel chatbotovi položí dotaz, který on zpracuje a pokládá uživateli doplňující otázky, které chatbotovi pomohou nalézt konkrétní řešení. Kupříkladu uživatel (zákazník) nemůže vytisknout dokument na tiskárně. Chatbot mu tedy položí doplňující otázky, kde se například

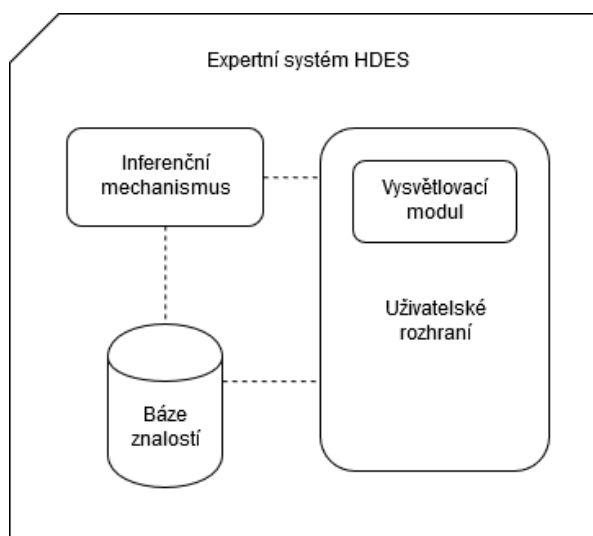
zeptá, zda je tiskárna zapojena do elektrické sítě, či je tiskárna připojena k počítači. Pomocí dalších otázek pak může identifikovat příčinu problému. Jak uvádí Kloeckner et al. [6], důležitými prvky správného fungování chatbota jsou dostatečné znalosti z domény problému, ke kterému se uživatelská otázka vztahuje, a dostatečné schopnosti rozpoznání lingvistického projevu uživatele komunikující s chatbotem. Zajímavým nástrojem v této oblasti je IBM Watson Assistant [7]. Jedná se o tzv. kognitivního bota, kterého je možné upravit konkrétním potřebám cílového zákazníka. Tento chatbot může komunikovat skrze několik kanálů (Slack či Facebook Messenger). Správce systému předem nařídí, na která témata bude chatbot schopen odpovídat. Jelikož se jedná o kognitivní systém, své chování upravuje na základě zkušeností, dokáže se tedy učit.

Trendem poslední doby je také změna přístupu k zákaznické podpoře. Od reaktivního přístupu je upouštěno a organizace začínají implementovat tzv. proaktivní přístup [8]. Využívají se technologie provádějící prediktivní analýzu a využívají různé senzory. Tím se snaží detekovat, kde by mohl nastat problém. Je tak možné detekovat události v konečném důsledku vedoucí k nějakému problému. Při odchylení této události je možné zahájit jeho řešení ještě před tím, než se projeví a snížit tak celkovou pravděpodobnost nastávání problémů.

2 Expertní systém HDES

Expertní systém HDES, jehož název je zkratkou pro Help Desk Expert System, je tzv. pravidlovým expertním systémem. To znamená, že znalosti, se kterými systém pracuje, jsou reprezentovány pomocí pravidel. To si lze představit jako: „pokud nastala určitá skutečnost, vykonaj tuto akci“. Klasické expertní systémy obsahují tři základní části: bázi znalostí, inferenční mechanismus a nějaký komunikační modul (uživatelské prostředí). Báze znalostí obsahuje znalosti uložené v takové formě, aby jí rozuměl inferenční mechanismus. Znalosti mohou být reprezentovány několika způsoby: pomocí pravidel, rámců, objektově či ve formě sémantických sítí. Inferenční mechanismus provádí usuzování nad těmito znalostmi a fakty, které jsou mu dostupné. Proto lze jednoduše expertní systém popsat jako systém, který emuluje rozhodovací schopnosti experta. Právě tyto expertní znalosti a schopnosti se snaží báze znalostí zachytit a obsáhnout. Uživatelské prostředí systému pak působí jako jakýsi komunikační kanál mezi uživatelem a daným systémem. Uživatel prostřednictvím uživatelského prostředí provádí konzultace s expertním systémem. V expertním systému HDES je obsažen ještě vysvětlovací mechanismus. Ten má na starosti uživateli „vysvětlit“ rozhodovací proces, kterým došel k určitému závěru. Model expertního systému HDES popisuje Obrázek 1.

Problematika, kterou expertní systém HDES řeší, spadá do oblasti zákaznické podpory. Firma, pro kterou byl systém vytvořen, se zabývá vývojem a údržbou informačních systémů pro zákazníky v oblasti výroby, logistiky, ale i zdravotnictví. Problematickou oblastí je zde příjem helpdeskových požadavků, kdy mnohdy dochází k řešení duplicitních požadavků. Tedy jsou řešeny požadavky, které již byly v historii jednou řešeny a pracovník nebyl schopen tuto skutečnost odhalit. Důvodů pro to může být několik: jedná se o požadavek od různých firem, v různém časovém období, či je požadavek popsán odlišným způsobem, který pracovník nedokáže ztotožnit s požadavkem již řešeným. Na pomoc by měl tedy přijít expertní systém HDES, který má za cíl jednotlivé příchozí požadavky kategorizovat tak, aby byl schopen pracovník helpdesku identifikovat případnou duplicitu. Toho je docíleno extrakcí klíčových slov u každého ze zpracovávaných požadavků. Tato klíčová slova zahrnují zkratky modulů informačního systému a databázových tabulek, či vybraná uživatelsky definovaná klíčová slova popisující požadavek.



Obrázek 1: Model expertního systému HDES

Zdroj: Vlastní zpracování

Zjednodušený proces práce expertního systému HDES je popsán v následujících řádcích. Práci systému HDES předchází sled určitých událostí. Poté, co uživatel zaznamená nějaký incident vyžadující řešení, kontaktuje zákaznickou podporu firmy, a to pomocí webového formuláře tvořící součást helpdeskové aplikace firmy. Vytvoří se tak helpdeskový požadavek, který je po přijetí delegován na předního pracovníka helpdesku v divizi, které se požadavek týká. Ten má na starosti jeho analýzu a následné řešení nebo delegaci na vhodnějšího řešitele. V této fázi zpracování požadavku vstupuje do procesu expertní systém HDES. Pracovník helpdesku předá potřebná data expertnímu systému. Má dvě možnosti: využít přímý vstup skrze formulář, nebo zaslat data pomocí aplikačního programového rozhraní. Řekněme, že použije vstup skrze formulář. Poté co vyplní potřebná data (nadpis požadavku, detail požadavku a konkrétní ID požadavku), odešle formulář a systém tato data zpracuje. Při zpracování vygeneruje z dat klíčová slova, která pak inferenční mechanismus porovnává v bázi znalostí. Pokud je například v textu požadavku uveden název modulu informačního systému (např. zkratka „SGUI“), systém ví, že se požadavek týká tohoto modulu („SGUI“ = „Uložené GUI masek“) a vyhledá relevantní, již dříve vyřešené, požadavky, které také obsahovaly toto klíčové slovo. Detekovaným klíčovým slovem může být i například slovo „databáze“. Tím pádem jsou pak nalezeny požadavky též obsahující toto klíčové slovo. Systém HDES pak na základě podobnosti jejich obsahu požadavky sestupně seřadí. Na vrcholu seznamu se tedy nacházejí nejpodobnější požadavky. Pracovník helpdesku tak má k dispozici množinu relevantních požadavků, ve které může snadněji identifikovat duplicitu ve vztahu k aktuálně řešenému požadavku, nebo alespoň rychleji nalézt řešení. Příklad výstupu práce expertního systému je možné vidět na Obrázku 2. Výstup obsahuje dvě hlavní části. Vysvětlovací modul a seznam podobných požadavků. Vysvětlovací modul popisuje, které moduly, tabulky a klíčová slova při zpracování požadavku detekoval. V seznamu podobných požadavků je zobrazen seřazený seznam požadavků ohodnocený procentní podobností těchto požadavků. Uživatel si také může obsah těchto požadavků zobrazit.

Zkratk a klíčových slov, které systém umí detekovat je přes 2000. Největší podíl tvoří názvy modulů informačního systému vyvíjeného cílovou firmou, kterých je od počátku jeho vývoje (počátek 90. let) v systému mnoho. To samé platí i pro databázové tabulky. Nejmenší podíl tvoří uživatelsky definovaná klíčová slova, která tvoří například „databáze“, „faktura“, „server“ či „tisk“. Pravidla, která jsou uložena v bázi znalostí a popisují tato klíčová slova a zkratky,

mají zjednodušeně tento tvar: „pokud je přítomno slovo faktura, označ jej jako klíčové slovo tohoto požadavku“ nebo „pokud je přítomna zkratka SGUI, označ ji jako klíčové slovo a najdi její plný název“.

Systém je vytvořen jako webová aplikace, a to pomocí HTML, CSS a skriptovacího jazyka PHP. Uživatelé k systému tedy přistupují pomocí svých webových prohlížečů. Důležitou součástí je plugin CLIPS, což je nástroj pro tvorbu expertních systémů. Pracuje s pravidly (znalostmi) v bázi znalostí, které jsou do něj v průběhu jeho práce nahrávány a provádí proces inference (uvažování) nad těmito znalostmi.

1. krok:

Rozbalit

2. krok:

Výsledek zpracování zadaných dat expertním systémem - vysvětlovací modul

Systém detekoval tento modul **Správa dodacích listů (srk-10)**

Systém detekoval tuto databázovou tabulku **Osoby (pro)**

Z oboru dalších klíčových slov bylo detekováno jedno klíčové slovo **databáze**

Seznam podobných požadavků

ID	Název	Popis	Podobnost	Akce
HD-4-2019-0	Problém s připojením do databáze	Dobrý den, nefunguje nám přístup do databáze z modulu SRK-L0.	67.09 %	Otevřít
HD-4-2019-1	Přístup do databáze	Dobrý den, včera nám přestal fungovat přístup do databáze skrze program SRK-L0. Děkuji.	57.75 %	Otevřít
HD_1_test	Zvětšení databázového prostoru	Žádáme zvětšení databázového prostoru na serveru. SRK-L0 nám kvůli tomu havaruje. Detaily problému zná pí Nováková. Děkuji.	27.47 %	Otevřít

Obrázek 2: Výstup expertního systému HDES

Zdroj: Vlastní

3 Podobné expertní systémy

V oblasti helpdesku a zákaznické podpory lze nalézt několik podobných řešení. Například autoři článku [9] vytvořili expertní systém pro diagnózu a řešení problémů s IT. Jejich systém je také postaven na prostředí CLIPS a též se jedná o pravidlový expertní systém. Jeho doména znalostí obsahuje problémy s tiskárnami, hardwarem, softwarem a připojením k internetu. Oproti systému HDES se systém IT Helpdesk Troubleshooter zabývá diagnózou a návrhem řešení problému, kdežto HDES se zaměřuje na klasifikaci problému (požadavku).

Chan et al. [10] pak vytvořili tzv. Case-Based Help Desk system, který funguje jako podpora call centra a zákaznické podpory americké IT firmy, kde pomáhá při diagnostice problému a hledání vhodného řešení pomocí CBR (Case-Based Reasoning), což je forma „uvažování“ systému, typická pro case-based systémy (viz kapitolu 1.1).

Wang et al. [11] vytvořili inteligentní online helpdeskový systém iHelp. Řadí se mezi case-based systémy, tedy snaží se hledat vzory v řešení minulých požadavků na základě komunikace mezi zákazníkem a řešitelem problému. Systém iHelp vyhledává a ohodnocuje minulé požadavky na základě jejich sémantické podobnosti a generuje vhodné řešení nového požadavku.

Zmíněné systémy se soustředí především na hledání a doporučení vhodného řešení problémů uživatelů. Rozdíl oproti systému HDES u case-based systémů je, že při svém usuzování pracují i s řešením požadavku. HDES má klasifikační charakter a jeho doplňující funkcí je generování seznamu podobných požadavků. Řešení požadavku však musí jeho uživatel najít v tomto seznamu sám či najít řešení nové. Systém se snaží mu v tomto pomoci.

4 Možné problémy při zavádění a používání systému

Při zavádění a používání expertního systému HDES může nastat několik problémů. Tato kapitola se snaží tyto problémy identifikovat a navrhnout možné řešení pro snížení jejich dopadu a zvýšení celkové spokojenosti s navrženým expertním systémem.

Prvotním problémem by mohla být nemožnost implementace řešení do stávajícího softwaru pro správu helpdeskových požadavků. Důvodem je, že tuto aplikaci využívají všechny divize společnosti, a ty nemusí se zavedením souhlasit. Toto by se dalo vyřešit jistou časovou prodlevou před zavedením systému, a to pro potřeby provedení úprav závislých na jednotlivých divizích. Všichni zaměstnanci pracující s helpdeskovou aplikací (na úrovni divizí) by tak mohli přednést své požadavky na úpravy systému HDES pro jejich potřeby a tím by se zvýšila jejich „náklonnost“ k systému. Použití systému by nemuselo být závislé na jeho implementaci do současného softwaru, ale rozhodně by se jednalo o pohodlnější a rychlejší způsob jeho užívání.

Jelikož je pro každý zpracovaný požadavek v bázi znalostí vytvořeno nové pravidlo popisující jeho klíčová slova, může se stát, že s postupem času dojde k určitému zpomalení systému, protože bude muset systém HDES pracovat s velkým množstvím dat. To může působit nejen na jeho rychlost, ale i na okolní systémy, a to především v případě, pokud systém HDES nebude implementován na vlastním dedikovaném serveru, ale poběží na serveru spolu s dalšími aplikacemi. K tomu, aby se zabránilo výraznému zpomalení, je možné vytvořit jakási indexová pravidla pro nejvíce zastoupené kategorie problémů. Teoreticky tyto problémy mají i podobná, ne-li stejná řešení, a tak lze tímto způsobem obsáhnout jejich řešení. V praxi to tedy může vypadat, že systém vrátí, místo zdlouhavého seznamu podobných požadavků, seznam požadavků, které se svým řešením výrazněji liší, spolu s požadavkem, který zastupuje několik identických, dříve vyřešených, požadavků.

Problematickou oblastí může být i sémantický význam některých klíčových slov, se kterými expertní systém pracuje. Jak již bylo uvedeno, systém například detekuje moduly informačního systému pomocí jeho zkratky. Pokud ale uživatel explicitně tuto zkratku do textu požadavku neuvede, systém v současném stavu není schopen modul informačního systému detekovat. Jelikož systém HDES v současnosti pracuje s více než 2000 pravidly obsahující zkratky modulů a databázových tabulek informačního systému, nelze dopředu řádně připojit k všem těmto zkratkám různé popisy a názvy. To lze řešit v určitém časovém horizontu, a to postupným doplňováním těchto informací do báze znalostí na základě zkušeností řešitele. To však vyžaduje aktivní zapojení pracovníků při zpracování helpdeskového požadavku, a to například ve formě jakési zpětné vazby. Pokud pracovník narazí na klíčové slovo vyjádřené odlišným způsobem, a toto slovo nebylo detekováno, mohl by tuto zkušenost systému „nahlásit“ a upravit tak pravidlo, které daný modul popisuje. Zvýšila by se tím přesnost detekce.

5 Ekonomické dopady

Expertní systém HDES je postaven výhradně na otevřených technologiích. Jeho provoz tedy není zatížen žádnou placenou licencí. Cílová firma se zabývá mimo jiné i provozem služeb IT infrastruktury. Hardwarově jsou tedy dostatečně vybaveni a pořizovací náklady na systém jsou tedy téměř nulové. Výhodou řešení pomocí webové aplikace je, že je dostupná ze všech zařízení, která mají přístup k internetu. Není tedy třeba pro přístup k systému pořizovat žádný speciální HW či SW. Pracovník helpdesku se k aplikaci dostane skrze svůj internetový prohlížeč. Tento přístup je také výhodný v případě řešení jakéhokoli problému, který s webovou aplikací může nastat. Jelikož má webová aplikace zdrojový kód uložený centrálně na serveru, stačí provést změnu tam a ta se okamžitě projeví na všech klientských stanicích. Aktualizace a opravy tedy nevyžadují žádnou distribuci aktualizovaných instalačních souborů či záplat. Tím je ušetřen čas, který by jinak byl stráven jejich instalací. Zároveň mohou být opravy webové aplikace prováděny jen jedním zaměstnancem, který tuto činnost dostane na starost.

Hlavní ekonomický přínos expertního systému HDES tkví v úspoře času, kterou přináší pomocí klasifikace a kategorizace helpdeskových požadavků a asistenci při hledání duplicit. Pokud je totiž duplicita detekována, ušetří pracovník čas, který by věnoval mnohdy zbytečnému hledání řešení a samotnému řešení požadavku. Pracovník se tak může věnovat dalším požadavkům a jiným důležitým činnostem. I v případě, že není pracovníkem detekována duplicita, systém HDES slouží jako klasifikátor požadavků – jsou seskupeny podobné požadavky a je šance, že v nich pracovník najde řešení problémů, který je v aktuálním helpdeskovém požadavku potřeba vyřešit.

Systém HDES tímto způsobem může napomoci ke zkrácení doby řešení požadavku zákazníka, což je jedna z důležitých metrik, ke které zákazník často přihlíží. Pokud je reakce a doba řešení požadavku rychlá, upevňuje se jeho loajalita k firmě a je velká pravděpodobnost, že se na firmu v budoucnu znovu obrátí se zájmem o nový produkt či službu.

Tento systém je možné implementovat i do jiných domén v podniku, čímž je umožněna jeho snadná komercializace. Například se může jednat o modul CRM, který je v současnosti hodně řešeným produktem firmy, pro kterou byl expertní systém HDES vyvinut. Jelikož se jedná o pravidlový systém s klasifikační funkcí, bylo by možné obsah pravidel a strukturu uživatelského rozhraní upravit dle potřeby. CRM systém například pracuje s emailovou komunikací mezi firmou a zákazníkem. Systém HDES by tak mohl tuto komunikaci klasifikovat (zda se například jedná o požadavek zákazníka, žádost o konzultaci nebo plánování schůzky). Díky této klasifikaci a kategorizaci jednotlivých prvků komunikace firmy a zákazníka by bylo možné provádět lepší vyhledávání nad veškerou komunikací a provádět další analýzy, jako v jakém je prováděn určitý typ komunikace se zákazníkem či čeho se komunikace týkala.

Vhodnou aplikací by také mohla být klasifikace logů informačního systému. V nich by bylo možné detekovat zkratky modulů či tabulek. V logu by se mohl například nacházet chybový kód, který by bylo možné systémem dešifrovat a zobrazit informaci o řešení této chyby.

Závěr

Tento příspěvek se zabýval popisem systému HDES – expertního systému pro podporu řešení helpdeskových požadavků. Nejprve byly shrnuty současné trendy dvou oborů, do kterých systém spadá – expertní systémy a zákaznická podpora. Dále byl systém HDES blíže představen a porovnán s dalšími systémy řešící podobnou problematiku. Byly popsány problémy, jež možná bude nutné řešit při zavádění nebo používání systému. Popsány byly též ekonomické dopady na firmu, která by měla systém využívat.

Expertní systém HDES je v současnosti ve stavu testování a je plněn testovacími daty. Jedná se o jeho první iteraci. Autor by rád systém dále vylepšoval a rozšiřoval na základě nově nabytých znalostí a zkušeností. Zajímavým rozšířením by mohlo být zavedení schopnosti systému učit se, a to například pomocí neurálních sítí. Systém by také mohl více pracovat se sémantickými vztahy v bázi znalostí.

Přínosem navrženého řešení pomocí expertního systému HDES je především úspora času při zpracování helpdeskových požadavků, zjednodušení práce řešitele požadavku pomocí klasifikace a v neposlední řadě možné snížení doby řešení požadavku z pohledu zákazníka.

Literatura

- [1] WAGNER, William P. Trends in expert system development: A longitudinal content analysis of over thirty years of expert system case studies. *Expert Systems with Applications* [online]. 2017, **76**, 85–96. ISSN 0957-4174. Dostupné z: doi:10.1016/J.ESWA.2017.01.028
- [2] RAVASAN, Ahad Zare a Saeed ROUHANI. An Expert System for Predicting ERP Post-Implementation Benefits Using Artificial Neural Network. *International Journal of Enterprise Information Systems* [online]. 2014, **10**(3), 24–45. ISSN 1548-1115. Dostupné z: doi:10.4018/ijeis.2014070103
- [3] PANTIC, Maja. *Introduction to Machine Learning & Case-Based Reasoning* [online]. 2012. Dostupné z: doi:10.1017/S0269888906210749
- [4] BAUCOM, Jay. *The Top 7 Global Service Desk Trends for 2018* [online]. 2018. Dostupné z: https://www.slideshare.net/Alphanumeric_IT/the-top-7-global-service-desk-trends-for-2018
- [5] LAM, Chris a Mark A. HANNAH. The social help desk. *Communication Design Quarterly Review* [online]. 2017, **4**(2), 37–51. ISSN 21661200. Dostupné z: doi:10.1145/3068698.3068702
- [6] KLOECKNER, Kristof, John DAVIS, Nicholas C. FULLER, Giovanni LANFRANCHI, Stefan PAPPE, Amit PARADKAR, Larisa SHWARTZ, Maheswaran SURENDRA a Dorothea WIESMANN. Conversational IT Service Management. In: Kristof KLOECKNER, John DAVIS, Nicholas C. FULLER, Giovanni LANFRANCHI, Stefan PAPPE, Amit PARADKAR, Larisa SHWARTZ, Maheswaran SURENDRA a Dorothea WIESMANN, ed. *Transforming the IT Services Lifecycle with AI Technologies* [online]. B.m.: Springer, Cham, 2018, s. 75–93. Dostupné z: doi:10.1007/978-3-319-94048-9_5
- [7] IBM CLOUD. *IBM Watson Assistant* [online]. 2018. Dostupné z: <https://console.bluemix.net/docs/services/assistant/index.html#about>
- [8] FUJITSU SERVICES. The White Book Of: The Next- Generation Service Desk [online]. 2016. Dostupné z: <https://www.fujitsu.com/uk/Images/White-Book-next-generation-service-desk.pdf>
- [9] AL-EMRAN, Mostafa a Hani AL CHALABI. Developing an IT Help Desk Troubleshooter Expert System for diagnosing and solving IT Problems [online]. 2015. Dostupné z: doi:10.14236/ewic/bcsme2014.16
- [10] CHAN, Christine W., Lin-Li CHEN a Liqiang GENG. Knowledge engineering for an intelligent case-based system for help desk operations. *Expert Systems with Applications* [online]. 2000, **18**(2), 125–132. ISSN 0957-4174. Dostupné z: doi:10.1016/S0957-4174(99)00058-5
- [11] WANG, Dingding, Tao LI, Shenghuo ZHU a Yihong GONG. IHelp: An intelligent online helpdesk system. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B: Cybernetics* [online]. 2011, **41**(1), 173–182. ISSN 10834419. Dostupné z: doi:10.1109/TSMCB.2010.2049352

THE PROBLEMATIC OF GIBRALTAR IN CONNECTION WITH BREXIT

Hatzelová Dominika

Sekce - EKONOMIKA,
Fakulta Ekonomická, 2. ročník
Magisterský studijní program – PODNIKOVÁ EKONOMIKA

Abstract: The aim of this study is to explore the actual information available about the topic of Gibraltar and its position in the Brexit situation. Using different types of official media the work summarizes the historical background behind Spanish and British relations, continuing till the present time, focusing on the British exit from the European Union and its impact on Gibraltar itself. The British exit from the EU lasts since 2016 when British people decided in a referendum to leave the EU. Until now, there are much confusing information about the process of leaving the EU and public is overloaded by information and confused about what is happening. Gathered results should help people understand the actual situation and future development of this problematic.

Key words: Gibraltar, Brexit, European Union, the United Kingdom, Spanish-British relations

Introduction

The problematic of Brexit is very actual and there are held many negotiations of the highest representatives of the EU members. The target is to solve the situation of leaving the UK from the EU. In a case of the leave of the UK from the EU what would happen with Gibraltar? Would it be separated from continental Europe? What would happen with trade's relations of Gibraltar with other states?

The aim of this research paper is to study this topic and try to answer the mentioned question above. By using official and trustworthy sources there are described the actual information related to this topic and possible development to the future. To understand well the relationship between the UK and the Spanish Kingdom it is necessary to know the historical background of these two states. The problem of information provided by official media is their big amount. People are not able to clearly understand what is really going on and what will happen in the future. This work focuses on the analysis of the information given by media and their clarifying.

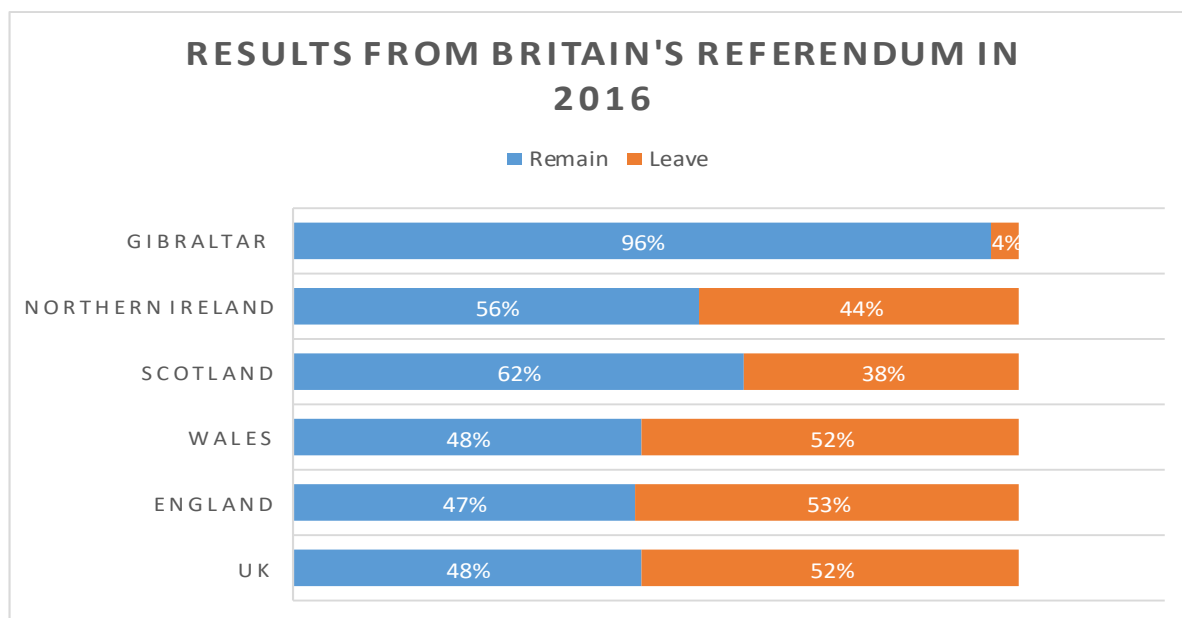
1 The objective of the study

In this research paper, I have decided to focus on the problematic of the overseas territory Gibraltar, called The Rock according to its majestic rock placed on the crucial part of this territory. This area is nowadays a British Overseas Territory. Gibraltar itself has a very interesting past in case of its sovereignty. It is located on the south corner of the Pyrenean peninsula and its neighbour is the Spanish Kingdom. The position is very strategic, because who controls Gibraltar has also an overview of activities happening in the Strait of Gibraltar and also of activities within the Atlantic Ocean and the Mediterranean Sea. The Strait of Gibraltar is also the shortest business way between Europe and Africa. The area of Gibraltar is only 6.5 km² and borders with Spain with the area of length 1.2 km. In Gibraltar lives only 27,776 inhabitants and the official language is English although most of the people are able to speak also fluently Spanish. [1]

Gibraltar officially belongs to England since 1713 after the Anglo-Dutch force when it was taken to Spain. Spain wanted always this place back but there were held two public referendums, in 1968 and 2002 where people of Gibraltar decided to be part of the UK rather than belong to Spain. [2]

In 2016 in Great Britain was held a referendum, where the public could vote and decide whether the UK should leave or remain in the European Union. It resulted that around 52% of voters decided to leave the EU. This situation is nowadays called Brexit which means “British exit”. The decision to leave the EU is not as easy as it sounds. It has been made a lot of negotiation and there has been made a deal known as the withdrawal agreement. In this agreement, there are mentioned the most important movements which have to be taken into account for leaving the EU. It says that the UK has to pay the EU £39bn in order to break the partnership, what will happen to UK citizens living elsewhere in the EU and also what will happen to EU citizens living in the UK, and at last how to avoid the physical border between Northern Ireland and the Republic of Ireland. In the withdrawal, agreement, there are also included information about the length of time to give businesses the time to adjust between the UK and EU, known as the transition period but the Withdrawal Agreement was not accepted by the UK government. According to the withdrawal agreement the UK was supposed to leave the EU on 29 March 2019. However, according to the new development it was postponed to 31 October because the government was not able to decide on any deal. [4]

On a day of the referendum in 2016 in the UK also citizens of Gibraltar since they are British citizens got to vote in the EU referendum. However, the results at this British overseas territory were opened and shut apart from the UK. A massive 96% of citizens voted for remaining in the EU but they have to leave as the rest of the UK. The following graph shows the results from the referendum in 2016 where British people could decide whether to leave or remain in the EU. [3]



Graph 1: Results from Britain's referendum in 2016

Reference: own creation according to THE NEW YORK TIMES. *How Britain Voted in the E.U. Referendum* [10]

2 Effects on Gibraltar

The main problem of Brexit which Gibraltar and Spain face an extensive cross-border movement between them. Every day cross the border circa 10,000 Spanish workers to travel to Gibraltar where they work, they are mostly from the city La Línea de la Concepción. Another thing is that Britain is one of Spain's largest economic partners. Gibraltar is an important hub for the finance and insurance industries, online gambling and gaming since it has been qualified as a tax haven due to its mild tax policy. Every year, Gibraltar spends around € 500 million on Spanish goods.

In the case, that Gibraltar would be separated from continental Europe, it will cause many problems. The biggest problem would cause hard Brexit which was fortunately refused a few days ago by the British government. Not only Gibraltar benefits from the cross-border trade between Spain and Gibraltar, but also the Spanish province of Cádiz. The leave of Gibraltar from the EU would definitely hurt Spain but the consequences on Gibraltar's economy would be unimaginable and irreparable.

Because of Gibraltar's special status, there has been made the subject of its own in the Brexit withdrawal agreement. However, in comparison to the equivalent protocol on Northern Ireland, is the one on Gibraltar relatively sparse. It includes a joint UK-Spain coordinating committee to discuss key issues for the future of Gibraltar. The key issues are, for example, employment conditions, air transport law, tax and fraud, smuggling and money laundering, waste management, scientific research, fishing and policing. Another difference between this protocol on Gibraltar and the one on Northern Ireland is on the scale of coming into effect. The protocol on Northern Ireland will come into effect after the Brexit period ends, although the protocol on Gibraltar is design to last until that point. It easily means that the relationship between UK, Spain, and Gibraltar is not solved yet.

The relationship between Gibraltar and Spain is so strong and special in terms of dependency that the European Union decided to give Spain a VETO power over any agreement between the UK and the EU. It basically means that even the UK would reach a deal with the EU it must not be applied on Gibraltar. It will depend on conditions which will be included in the deal and according it will Spain react. [3]

The position of Spain to the question of Gibraltar is remaining since the beginning of the Brexit issue. Spain just wants Gibraltar to have access to the European single market, Spain must be given co-sovereignty, at least for the transitional period. *“At the same time, the government of Gibraltar is empowered under the territory's 2006 Constitution to veto any changes in its sovereignty. That might seem like an extreme move but it is not an unlikely outcome, given that the government of Gibraltar may conclude that this is the only leverage it has over the UK-Spanish negotiations [4].”*

3 Actual situation

The UK still cannot decide what option to choose. It was supposed to leave the EU on 29 March but the government could not agree, so it was postponed till 12 April and again, after negotiation in the UK government, May was not successful with her deal proposals and Brexit was finally again postponed till 31 October. The deal of Theresa May does not really determine the UK-EU future relationship. *“The UK must hold the elections to the European Parliament and if it fails to do this, the UK will leave on 1 June [7].”* The European Council

reiterates there can be no reopening of withdrawal agreement negotiations [8]. *„The European Council notes that, during the he extension, the United Kingdom will remain a Member State with full rights and obligations in accordance with Article 50 TEU, and that the United Kingdom has a right to revoke its notification at any time. The European Council will remain seized of the matter and will review progress at its meeting in June 2019 [7]. “*

4 Brexit options

Even though inhabitants of Gibraltar voted in the referendum for remaining in the EU, Gibraltar has the follow the decision of the UK in the way of leaving the EU. The UK has the following options:

No deal

No deal situation will happen in that case that MP's would not be able to agree on anything. If this situation would happen, the UK would leave the EU without any transition period and the UK law would be separated from the EU law, using Standard International Trading Rules. A lot of experts are forecasting that it would cause chaos within the UK and the EU. Without no deal, could also cause a creation of a physical barrier between Northern Ireland and the Republic of Ireland and there would be also an immediate control over British borders. However, there would not be any support for British people living abroad because, with a deal, the EU says that they can stay, although, without a deal, there is no specific arrangement.

Leave the EU on the Theresa May's deal

Theresa May suggested a deal which describes the future and relationships with the EU and members of EU. Theresa May's deal was already three times rejected.

Another referendum

Holding another referendum is also a possibility. If there would be held a new referendum there are options to make a non-binding referendum, where the question must be determined or binding referendum with the options “the deal” or “remaining in the EU”. To create a new referendum is not easy at all. It cannot happen from the day to the day. There must be a new piece of legislation to make a referendum happen and describe the rules, such as who would be voting. Experts are suggesting the minimum time of 22 weeks to make a referendum happen.

Call a general election

To hold an early general election is necessary to be approved by two-thirds of MPs.

Another no/confidence vote

On 16th January the UK government won confidence with only 325 votes to 306. If the government would lose then May could resign and new Prime minister would be voted. There would be a 14-day countdown and if during this time any government would not be able to win the confidence, then an early general election would be called. [5]

No Brexit

The European Court of Justice has ruled that it would be legal for the UK to unilaterally revoke Article 50 to cancel Brexit (without the need for agreement from the other 27 EU countries). [5]

5 Summary

In the case that would happen a no deal option, it would mean a total disaster for Gibraltar. Nobody really knows what no deal would mean for Gibraltar. The problem of Gibraltar is also the fact, that it is not part of the EU's customs union, so there are already more detailed checks on goods moving over the Spanish-Gibraltar border. In case of no deal option, there would be necessary to make some deal between Spain and Gibraltar but it needs some time. There are also requirements from Gibraltar and Spain to include future relations with Spain into the deal between the EU and the UK. It is still not clear what will happen and what consequences it will cause. [6]

Sure is, that Gibraltar will definitely not want to be controlled by Spain. As the Chief Minister of Gibraltar Fabian Picardo said "*Gibraltar will never pay a sovereignty price access to a market*" and "*Gibraltar will never be Spanish whole, in part or at all* [9]." In case, that there would be a no deal option which would the UK go, there is a possibility that Gibraltar could be given an access to the Custom union and single market.

References

- [1] GOV.UK. *Gibraltar and the UK* [online] 2019 [cit. 05. 04. 2019]. Available at: <https://www.gov.uk/world/gibraltar/news>
- [2] BBC NEWS. *Brexit: Your simple guide to the UK leaving the EU* [online] 23. 11. 2018 [cit. 05. 04. 2019]. Available at: <https://www.bbc.com/news/uk-46318565>
- [3] BBC. *Gibraltar: What's it got to do with Brexit?* [online] 23. 11. 2018 [cit. 05. 04. 2019]. Available at: https://www.bbc.com/news/newsbeat-46316965?intlink_from_url=https://www.bbc.com/news/topics/cmwzv64y0lzt/effects-of-brexit-on-gibraltar&link_location=live-reporting-story
- [4] IRISH EXAMINER. *Gibraltar after Brexit: why Spain, not Ireland will decide the UK's fate* [online] 04. 03. 2019 [cit. 05. 04. 2019]. Available at: <https://www.irishexaminer.com/breakingnews/specialreports/gibraltar-after-brexit-why-spain-not-ireland-will-decide-the-uks-fate-908696.html>
- [5] BBC. *Brexit: What happens now?* [online] 11. 04. 2019 [cit. 12. 04. 2019]. Available at: <https://www.bbc.com/news/uk-politics-46393399>
- [6] BBC. *What could Brexit mean for Gibraltar?* [online] 03. 04. 2017 [cit. 12. 04. 2019]. Available at: <https://www.bbc.com/news/uk-39484900>
- [7] EUROPEAN COUNCIL. *Social meeting of the European Council (Art.50) - Conclusions* [online] 10. 04. 2019 [cit. 14. 04. 2019]. Available at: <https://www.consilium.europa.eu/media/39042/10-euco-art50-conclusions-en.pdf>
- [8] BBC. *Brexit: Theresa May defends 31 October delay to MPs* [online] 11. 04. 2019 [cit. 14. 04. 2019]. Available at: <https://www.bbc.com/news/uk-politics-47897784>
- [9] THE GUARDIAN. *Brexit: Gibraltar keeps calm but is ready to play hardball* [online] 05. 04. 2018 [cit. 14. 04. 2019]. Available at: <https://www.bbc.com/news/uk-politics-47897784>

- [10] THE NEW YORK TIMES. *How Britain Voted in the E.U. Referendum* [online] 24. 06. 2016 [cit. 14. 04. 2019]. Available at:
<https://www.nytimes.com/interactive/2016/06/24/world/europe/how-britain-voted-brexit-referendum.html>

Changes in Economic Institutions – Impact of The Great Depression on The United State's Government's Role

Líman Petr

Sekce - EKONOMIKA,
Ekonomická fakulta, 1. ročník
Doktorský studijní program – EKONOMIKA A MANAGEMENT

Abstract: The paper analyses how an existing institutional framework in a given country might be changed due to a large economic crisis. The paper analyses how the Great Depression and the responsive decisions of the then US leaders completely have transformed the government's role, particularly the role of economic policy, in the country's economy. The change occurred after the Great Depression, primarily during Franklin Delano Roosevelt's presidency and was performed through a set of reforms known as the New Deal. The data examined in this paper consist of the government's spending as a part of Gross Domestic Product, Social welfare expenditures and government civilian employment. The rising trend in all three aspects shows how basic economic institution such as the government's role in the economy can rapidly change in relatively short period of time.

Key Words: *Great Depression, economic institutions, 1929, New Deal, FDR*

Introduction

The purpose of this paper is to show how a major economic crisis can induce a change in elementar economic institutions. To prove this point, this article focuses on changes made during Franklin Delano Roosevelt (FDR)'s presidency and how they influenced government's role in the economy. For centuries before the Great Depression, the United States' government played a small part in the country's economy except for times of war. But after the Great Depression and the associated New Deal, government's role changed irretrievably.

The partial goal derived from the main purpose of this paper is to examine the impact of a major historical event, the Great Depression, on economic institutions and their development/change in following years. The United States were the largest economy in the world and were struck hard by the Great Depression. With high unemployment and negative GDP growth, American citizens wanted the government to act. Most reforms influencing United States' institutional environment were enacted 4 years after the event and it is the reason why this paper focuses mainly on reforms made during FDR's New Deal and their influence on institution environment. Even though the overall efficiency of FDR's New Deal and its impact on United States' economic performance is somewhat questionable their imprint on economic institutions is definitive. [3]

To be able to examine the impact of the Great Depression on changes in the institutional environment in the United states, it is essential to define the economic institutions. According to Geoffrey M. Hodgson [6], institutions are “*structures that can constrain and influence individuals*”. In other words, economic institutions are established sets of formal and informal rules that are a part of society and/or culture. This paper focuses on changes in institutions caused directly or indirectly by the Great Depression.

The Great Depression, starting in 1929, had a devastating impact on world economics and the United States as an epicentre of this event were especially suffering the consequences. Due to incessant economic downturn and lack of action from the then president Herbert Clark Hoover, voters came to a conclusion that there has to be an intervention implied to help overcome these hard times. FDR promised to make necessary precautions that will help the “*forgotten man*”, which was a euphemism for people “*living at the bottom of the economic pyramid*” [7]. Following his presidential campaign, FDR got into office in 1933 introducing a series of reforms aiming to cure American economics from the Great Depression’s aftermath. FDR’s reforms enacted between years 1933 and 1939 came to be known as the New Deal. [8]

Tab. 1: USA’s Economic Indicators 1929-1943

Year	GDP Growth	Inflation	Unemployment
1929	-	0,6 %	3,2 %
1930	-8,5 %	-6,4 %	8,7 %
1931	-6,4 %	-9,3 %	15,9 %
1932	-12,9 %	-10,3 %	23,6 %
1933	-1,2 %	0,8 %	24,9 %
1934	10,8 %	1,5 %	21,7 %
1935	8,9 %	3 %	20,1 %
1936	12,9 %	1,4 %	16,9 %
1937	5,1 %	2,9 %	14,3 %
1938	-3,3 %	-2,8 %	19 %
1939	8 %	0 %	17,2 %
1940	8,8 %	0,7 %	14,6 %
1941	17,7 %	9,9 %	9,9 %
1942	18,9 %	9 %	4,7 %
1943	17 %	3 %	1,9 %

Source: authors’ processing based on [1] and [2]

Even though, as it is visible in Table 1, FDR’s reforms (see year 1933) brought almost immediate stability into the United States’ economy through an increase in government spending, they did not stimulate private sector enough and did not prevent the arrival of another depression in 1938. The only thing which definitely ended the Great Depression’s aftermath was military mobilization accompanied by massive government spending in the arms industry, both connected to the outbreak of the World War II. [3]

Although the New Deal reforms did not bring the anticipated effect on United States’ economy, it certainly changed the United States’ government’s role in the society functioning.

1 Methods of Research

An american economist and a Nobel prize winner Oliver E. Williamson [12] came with an idea of the institutional hierarchy, as part of his theoretical work in the field of new institutional economics. Williamson [12] classified institutional change into four categories depending on their frequency and impact on functioning of societies and economies. According to the Williamson’s institutional hierarchy displayed in Table 2, the change in government’s role can be classified as L2 or change of formal rules of the game.

Tab. 2: Williamson's Institutional Hierarchy

	Level	Frequency (years)	Purpose
L1	Embeddedness: informal institutions, customs, traditions, norms, religion	100 to 1000	Often noncalculative; spontaneous
L2	Institutional environment: formal rules of the game –esp. property (polity, judiciary, bureaucracy)	10 to 100	Get the institutional environment right. 1st order economizing
L3	Governance: play of the game – esp. contract (aligning governance structures with transactions)	1 to 10	Get the governance structures right. 2nd order economizing
L4	Resource allocation and employment (prices and quantities; incentive alignment)	Continuous	Get the marginal conditions right. 3rd order economizing

Source: [12]

As mentioned in the previous section, the purpose of this paper is to show how one president's reforms can influence institutional environment of a whole country. In order to do that, this paper examines United State's historical data concerning government spending, government employment and their development after the Great Depression and during FDR's presidency. The collected data are analyzed and processed in a way that it is possible to interpret trends in United States' government's involvement, concerning how it changes its approach towards solving the crisis and government's overall participation in the country's economy. Larger government involvement meant that there were new ways and new legal framework influencing the day to day lives of America's citizens and it especially projected onto business environment and economic output. [6]

2 Results of the Research

Federal government's role in American society changed rapidly with the increase of government spending, see the table below. Over the previous centuries, government's spending was variously changing depending mainly on whether the country was at war and needed to mobilize or at peace trying to pay off national debt. [3]

Tab. 3: The USA's Government spending as part of GDP 1929-1943

Year	Government spending as part of GDP
1929	3 %
1930	4.1 %
1931	5.3 %
1932	7.2 %
1933	8.9 %
1934	8.9 %
1935	10.2 %
1936	10.8 %
1937	9.5 %
1938	9.7 %
1939	9.9 %
1940	9.8 %
1941	10.9 %
1942	21 %
1943	41 %

Source: author's processing based on [10]

Before the Great Depression, it was usual for the government to be mainly an administrative unit, whose concern was taking care of public property (e.g. roads), restoration of law and order and dealing with national defense [5]. This is the prime reason why the United States' government's role in the economy was estimated to be less than 3 % of GDP in years foregoing the Great Depression [3]. Contents of Table 3 suggest that the government, through series of fiscal expansions, grew bigger every year, notwithstanding there was no war promptly after the recession. This means that government participation on America's economy changed and there were consequences for institutional environment as well.

The most influential change in United States' economic institutions was the change that made people think differently about the government's role. Before the New Deal, citizens of America did not expect the government to help them with their problems and were taught that everybody has to take care of themselves. After the New Deal, there was no more question whether or not the government should act in case of economic discomfort of its citizens, but the new question was (and still is) how it should act. [5]

As said before, government's role in the economy shifted after the Great Depression and the following New Deal. The alteration was from government being an organization whose primary goal was to take care of national defense into an organization taking care of its citizens' wellbeing on a large scale. Social Security Act enacted in 1935 was the first attempt to establish a social welfare system in the history of the United States and up until today it is considered to be one of the biggest government reforms leading to a change in institutional environment.

Tab. 4: The USA's Social Welfare Expenditures Under Public Programs 1929-1940 and in selected years

Year	Social Welfare Expenditures (in millions of dollars)	Social Welfare Expenditures as part of GNP	Social Welfare Expenditures per capita
1929	3 921	3,9 %	32
1930	4 085	4.2 %	33
1931	4 201	5.1 %	33
1932	4 303	6.4 %	34
1933	4 462	7.9 %	35
1934	5 332	9.7 %	46
1935	6 548	9.5 %	51
1936	10 184	13.2 %	79
1937	7 858	9.1 %	60
1938	7 924	9.0 %	60
1939	9 218	10.5 %	70
1940	8 795	9.2 %	66
1950	23 508	8.9 %	158
1960	52 293	10.6 %	286
1970	145 893	15.3 %	701

Source: author's processing based on [11]

According to the US Bureau of The Census [11] data summarized in Table 4, it is obvious that there is a growing trend in social welfare part in the economy of the United States. Over the decade following the Great Depression, government expenditures on social welfare calculated in per capita almost doubled as a result of FDR's generous policies focused on unemployment compensations, support for the handicapped and other forms of reliefs for youth, elderly or stranded rural communities. As the data in Table 3 suggest, FDR's New Deal was just the beginning of government participation in subsidizing poor and infirm and in the following decades, people's dependence on social welfare only strengthened. US Bureau of The Census' data [11] also mention that social welfare expenditures as percentage of all government expenditures slightly increased over time (except for war times). Social welfare costs, as a fraction of United States' government budget, have risen from 36,3 % in 1929 to 49 % in 1940, but in the following decades, as the United States economy got out of the wave of recession, it de-escalated back and moved around 40 % of all government expenditures.

Tab. 5: US Government Employment 1929-1940 and in selected years

Year	Federal Civilian Employment	State and Local Government Employment (in thousands)	Total Civilian Public Employees
1929	579 559	2 532	3 111
1930	601 319	2 622	3 223
1931	609 746	2 704	3 313
1932	605 496	2 666	3 271
1933	603 587	2 601	3 204
1934	698 649	2 647	3 345
1935	780 582	2 728	3 508
1936	867 462	2 842	3 709
1937	895 993	2 923	3 818
1938	882 226	3 054	3 936
1939	953 891	3 090	4 043
1940	1 042 420	3 206	4 248
1950	1 960 708	4 087	6 047
1960	2 398 704	6 083	8 481
1970	2 981 574	9 830	12 811

Source: author's processing based on [11]

During Hoover's presidency, the number of public employees (employees of the Central Intelligence Agency and the National Security agency excluded) changed only slightly. After FDR got into presidential office in 1934, he established a number of programs. So-called alphabet agencies included e.g. Civilian Conservation Corps (CCC), Social Security Administration (SSA), Works Progress Administration (WPA), National Recovery Administration (NRA), Public Works Administration (PWA) and dozens more. Most of the agencies had a simple goal of creating jobs through public procurement, for example, CCC created approximately 2,75 million jobs for young men in forest industry and PWA paid \$3.3 billion to private companies realizing 34 599 construction projects enhancing country's infrastructure [9]. Nevertheless, the government also needed to man these agencies. Under FDR's leadership, the number of civilian public employees rose from 3,2 million in 1933 to 4,25 million in 1940 which equals to over 30 % increase. As the numbers in Table 5 show, this trend only continued over time.

3 Discussion and Conclusion

Under FDR's presidency, United States' government rapidly expanded increasing its spending alongside with number of its employees (military personel excluded). Question is, how would change government's role in the economy, if there was no Great Depression, or if there was no FDR. Would it expand either way, or was it the ultimate catalyst which made it possible? In recent years, United State's government made around 40 % of country's GDP [5], which inclines high level of redistribution in the economy. There is a possibility that, if the Great Depression was cured in different and more efficient ways (for example through monetary expansions as Milton Friedman suggested [4], economic institution of government would not have to be changed at all. There is also a possibility that the New Deal and the change in United State's institutional environment connected to it was not necessary at all and the Great Depression could be cured in time either way.

As the data collected and examined in this paper imply, the Great Depression was a spark which initiated the trend of United States' increased government participation in the country's economy. And FDR was the man who made it possible through a number of reforms known as the New Deal. Changes in institutional environment, such as the government's role, examined in this paper, are usually connected to big events [12]. The event which started and inspired change this large and influential on the United States' institutional environment has not been seen for decades foregoing the Great Depression. The events with comparable impact could be American civil war (1861-1865) and the 1973 Energy crisis. Events like these completely redefine the institutional environment, they bend and shape the rules of the game that economic subjects follow.

References

- [1] AMADEO, Kimberly. 2018. US GDP by Year Compared to Recession and Events. The Balance. New York, NY: The Balance. Available from <https://www.thebalance.com/us-gdp-by-year-3305543>.
- [2] AMADEO, Kimberly. 2018. Unemployment Rate by Year since 1929 Compared to Inflation and GDP. The Balance. New York, NY: The Balance. Available from <https://www.thebalance.com/unemployment-rate-by-year-3305506>.
- [3] FISHBACK, Price V. 2016. How Successful was the New Deal? The Microeconomic Impact of New Deal Spending and Lending Policies in the 1930s. Cambridge, MA: National Bureau of Economic Research. Available from: <https://www.nber.org/papers/w21925.pdf>.
- [4] FRIEDMAN, Milton. 1978. Milton Friedman – The Great Depression Myth. San Bruno, CA: Youtube. Available from: <https://www.youtube.com/watch?v=XQwbNfDeV8o>.
- [5] HILTZIK, Michael. 2011. The New Deal: A Modern History. New York, NY: Free Press. ISBN 978-1-4391-5448-9.
- [6] HODGSON, Geoffrey M. 2003. Recent Developments in Institutional Economics. Northampton, MA: Edward Elgar Publishing. ISBN 1840648856.
- [7] ROOSEVELT, Franklin Delano. 1932. Forgotten man. Albany, NY- Radio Address re a National Program of Restoration.
- [8] ROSEN, Ellion A. 2005. Roosevelt, the Great Depression, and the economics of recovery. Charlottesville, VA: University of Virginia Press. ISBN 0-8139-2368-9.
- [9] SMITH, Jason Scott. 2009. Building New Deal Liberalism: The Political Economy of Public Works, 1933-1956. Cambridge: Cambridge University Press. ISBN 978-0521139937.
- [10] USGovernmentSpending. 2018. Seattle, WA: Christopher Chantrill. Available from <https://www.usgovernmentspending.com/>.
- [11] US Bureau of The Census. 1975. Historical Statistics of the United States – Colonial Times to 1970. Bicentennial Edition. Washington, D.C.: US. Bureau of The Census. S/N 003-024-00120-9. Available from <https://www.census.gov/history/pdf/histstats-colonial-1970.pdf>.
- [12] WILLIAMSON, Oliver E. 2000. The New Institutional Economics: Taking Stock, Looking Ahead. Journal of Economic Literature. Pittsburgh, PA: American Economic Association. ISSN 0022-0515. Also available from: <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.128.7824&rep=rep1&type=pdf>.

LOAJALITA, SPOKOJENOST A HODNOTA ZAKAZNIKA

Bc. Ondřej Linhart

Sekce - EKONOMIKA,
Fakulta ekonomická, 5. ročník

Magisterský navazující studijní program – PODNIKOVÁ EKONOMIKA A MANAGEMENT

Abstrakt: V době postupující globalizace a blahobytu se konkurenční prostředí stává stále silnějším a zákazník stále náročnějším. Firmy vynakládají obrovské finanční prostředky za účelem upoutání pozornosti zákazníka a přesvědčení ho o koupi jejich výrobku. Tím samozřejmě sledují motivy ve formě vyššího zisku či vyššího podílu na trhu, toho je ale často dosaženo nejprve přes spokojenost zákazníka a později přes jeho loajalitu. Předmětem této práce je právě loajalita zákazníka, konkrétně k sirupům značky Kitl Syrob, kdy hlavním cílem práce je provést měření spokojenosti, loajality a hodnoty zákazníka. V práci se také podařilo odhalit názorové rozdíly loajálních a neloajálních zákazníků a ze získaných dat z dotazníkového šetření navrhnout řešení problematických částí. Dále byla sestavena multifunkční kalkulačka hodnoty zákazníka v programu MS Excel jako podpora manažerského rozhodování a jako zdůraznění důležitosti loajálního zákazníka mít.

Klíčová slova: loajalita zákazníka, spokojenost, kvalita, hodnota zákazníka, hodnota pro zákazníka, diferenční analýza, metoda ECSI

Úvod

Autoři moderních publikací o marketingu se obecně shodují na několika bodech, na kterých je moderní marketing postaven a jedním z nich je právě loajální zákazník. Posílení konkurenčního prostředí vlivem globalizace, zvětšení výběru finálního produktu pro zákazníka a tím také téměř neomezená možnost zákazníků měnit svého výrobce či dodavatele vede k nutnosti firem o své zákazníky pečovat, přinášet jim skutečnou hodnotu v podobě kvalitního zboží. Správná péče o zákazníka může firmě přinést zákazníka věrného, opakovaně nakupujícího a spokojeného.

Tato práce pojednává především o loajalitě – věrnosti zákazníka. Ta je v současné době velkou konkurenční výhodou firem a zároveň často vzdáleným nedosažitelným cílem. Aby se firma k tomuto cíli přiblížila, je nutné uvědomění si několika faktů – loajálním zákazníkem může být jen ten zákazník, který bude také spokojený. Loajalita zákazníka (ke značce sirupů Kitl Syrob firmy Kitl s.r.o.) byla měřena na základě komplexní metody spolu se spokojeností zákazníka. Metoda zde bude představena. Někdy firmy a hlavně pak linioví zaměstnatci trpí představou, že je zákazník při práci obtěžuje a chovají se pak nepříjemně. Tento přístup je naprosto nesprávný a znamená pro firmu mnohem větší ztrátu, než by se na první pohled mohlo zdát, protože ztráta zákazníka je zároveň ztrátou všech dalších nákupů, které by zákazník realizoval, pokud by spokojený byl. O tom mluví třetí aspekt, kterým se práce zabývá – hodnota zákazníka.

Důvodů ke zvolení tohoto tématu je několik, primárně však díky důležitosti, kterou loajální zákazník pro firmu má. Ne vždy si firma uvědomuje, nakolik je „vlastnění“ loajálních zákazníků pro ni výhodné.

Přínos práce:

Kromě níže uvedených cílů, kterými je určen směr práce, je zde ještě jeden cíl, který celé snažení v této práci zastřešuje. Práce má navíc záměr být pro uvedenou firmu skutečně prospěšná a přinést jí relevantní data a nástroje, které ji mohou v její činnosti pomoci. Provedení měření spokojenosti a loajality podle metody ECSI přineslo firmě velmi přesnou představu o tom, co si o ní její zákazníci myslí a jak je vnímána veřejností, dále firma zjistila, jaké procento zákazníků je k ní loajální a proč a co odlišuje po názorové stránce na firmu loajální a neloajální zákazníky. Další cennou položkou, kterou firma získala na základě této práce, je nástroj podpory manažerského rozhodování – kalkulačka hodnoty zákazníka. Hodnota zákazníka je sice primární údaj, který měří, sekundárně pak přináší i informace o návratnosti marketingových investic na základě různých scénářů, celkový zisk z marketingové investice a další zajímavé údaje. Profit, který může firma Kitl z této práce mít, je rozhodně značný. Vedení společnosti ještě před dokončením této práce vyjádřilo pozitivní očekávání k přínosu, který pro ni může mít. Zdali toho bude nakonec dosaženo, je už otázkou směřovanou na firmu, práce se však snažila k tomu podat ty nejlepší podklady.

Cíle

Hlavním cílem práce je provést měření spokojenosti a loajality zákazníka ke značce Kitl Syrob podniku Kitl s.r.o., odhalení toho, jaké faktory loajalitu těchto zákazníků ovlivňují, spočítat hodnotu zákazníka pro danou firmu a na základě získaných údajů navrhnout plán na zvýšení loajality.

Dílčí cíle byly stanoveny následovně:

- **Měření loajality a spokojenosti**
 - Identifikovat metody měření loajality zákazníka
 - Provést měření loajality a spokojenosti zákazníka
 - Zjistit slabá místa firmy
 - Potvrzení stanovených hypotéz týkajících se loajality
- **Měření hodnoty zákazníka**
 - Identifikovat metody měření hodnoty zákazníka
 - Sestavit funkční kalkulačku hodnoty zákazníka pro podnik
 - Změřit hodnotu zákazníka firmy Kitl s.r.o.
- **Návrh plánu na zvýšení loajality zákazníka a napravení nedostatků**

Stanovené hypotézy:

H1 – Loajalitu zákazníka ovlivňuje kvalita produktu

H2 – Loajalitu zákazníka ovlivňuje spokojenost se značkou

H3 – Loajalitu zákazníka firmy Kitl neovlivňuje jeho měsíční výše příjmu

Vymezení pojmů

Ve stručnosti budou vymezeny některé pojmy, kterými se práce zabývá a které jsou důležité pro pochopení celého smyslu a přínosu práce.

Loajalita zákazníka – Je rozlišováno více typů loajality zákazníka, v zásadě se jedná o věrnost zákazníka, projevovanou opakovanými nákupy, imunitou vůči reklamní komunikaci konkurenčních firem apod. Loajalita úzce souvisí se spokojeností (Burešová, 2018)

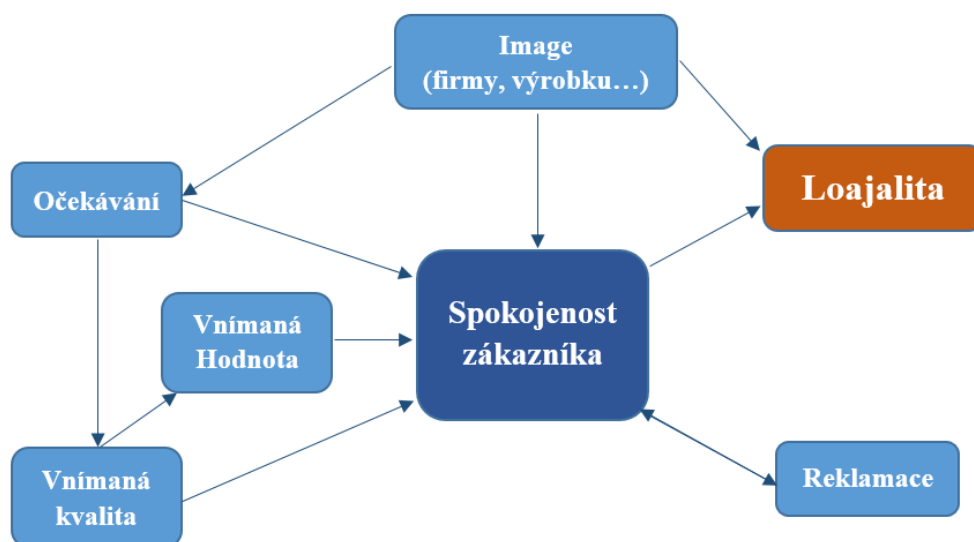
Spokojenost zákazníka - Spokojenost představuje pocit vyplývající z komparace reálného uspokojení a očekávaného uspokojení. Je ovlivňována mnohými faktory – kvalitou, hodnotou, očekávání apod.

Hodnota zákazníka - customer lifetime value, zkráceně CLV (možno přeložit jako hodnota zákazníka) je ukazatel, který říká, jaký je příjem ze všech prodejů jednomu zákazníkovi. Pro firmu je zákazník jistá forma aktiva, které má také svou hodnotu, která lze vyčíslit, nebo odhadnout.

Stručný popis použitých metod

Diferenční analýza – První metoda, která byla v práci použita. Jedná se o dotazníkovou metodu vhodnou pro explorační průzkum. Zjednodušeně se dá říci, že komparuje míru uváděné spokojenosti s mírou důležitosti různých atributů pro zákazníky. Na základě této metody byl sestaven dotazník pro detailní zjištění loajality a spokojenosti zákazníka.

Metoda ECSI (European Customer Satisfaction Index)– Komplexní metoda, měřící spokojenost a loajalitu zákazníka. Jedná se o strukturovanou dotazníkovou metodu s komplikovaným vyhodnocením, které ale přináší mnohem přesnější informace. Dotazník je rozdělen na do sedmi kategorií a vyhodnocen. Výsledkem je bezrozměrné číslo, které udává relativní spokojenost zákazníků (možno vynásobit stem a dostat tak procentuální vyjádření). Přestože se metoda může jevit na první pohled jako přehnaně komplikovaná, přináší kvalitnější data než jednodušší „intuitivní“ metody. Výsledné číslo popisuje celkovou spokojenost, nicméně ve výsledkové zprávě se lze rozepsat i o dílčích spokojenostech v rámci kategorií. Metoda pak jasně ukazuje, v jakých oblastech má firma slabiny. Pomocí dalších statistických metod pak mohou být data navíc vyhodnocena a změřena míra loajality zákazníků a ověřeny faktory, které ji ovlivňují.



Obrázek 1 Od image k loajalitě - schéma kategorií metody ECSI

Zdroj: vlastní zpracování podle Pavel Blecharz, 2015

Sesbíraná data jsou vypočítána podle vzorce pro celkovou spokojenost zákazníka. Vyjde vždy bezrozměrné číslo, které po vynásobení stem vyjádří procentuální spokojenost.

Hodnota zákazníka

Stejně jako zákazník dostává od podniku hodnotu, když si zakoupí produkt či službu, tak i on sám představuje pro podnik hodnotu – aktivum. Sledování hodnoty tohoto aktiva je klíčové pro určení strategie péče o zákazníky. Rozhodování firmy na základě krátkodobých údajů je obecně vnímáno jako chybné, firma by měla znát nebo se alespoň pokusit odhadnout hodnotu jejích zákazníků z dlouhodobého hlediska. Druhým důvodem, proč je dobré znát hodnotu zákazníka, je argument pro snahu o loajálního zákazníka. Pokud firma přijde o jednoho ze zákazníků například kvůli nepříjemnému personálu, nepřišla tím o jeden jeho nákup, ale i o všechny budoucí nákupy – tj. příjmy pro firmu. Pakliže firma bude znát, jakou hodnotu pro ni zákazník má, jistě provede nutná opatření, aby chybu napravila.

Rovnic pro výpočet hodnoty zákazníka je více, v této práci samozřejmě nebyla hodnota zákazníka počítána ručně, ale pomocí softwaru. V programu MS Excel byla sestavena multifunkční kalkulačka hodnoty zákazníka, která bude dále představena

Představení firmy Kitl s.r.o.

Firma Kitl s.r.o. byla založena roku 2005 v Jablonci nad Nisou s myšlenkou výroby medicínálních vín. Po prvních úspěších se začala rozšiřovat jak firma, tak její portfolio. Z původního výrobce alkoholických nápojů s bylinnými směsmi se brzy stala firma s bohatým sortimentem i nealkoholických nápojů. V roce 2012 byl na trh uvedený první produkt z řady Syrob, který je každý rok následovaný další příchutí. V současné době tak Kitl nabízí sedm různých příchutí značky Syrob. Právě k této značce je v této práci směřovaný výzkum loajality. (kitl.cz)



Obrázek 2 logo firmy

Myšlenka, hodnoty a charakter firmy

Firmu kitl by šlo s trochou nadsázky přirovnat k firmě Apple na trhu elektroniky. Jedná se o společnost, která se zaměřila na kvalitu. Její produkty jsou obecně vnímány jako velmi chutné, kvalitní a navíc zdraví prospěšné. To vše je samozřejmě vyváжено vysokou cenou, která často přesahuje trojnásobek ceny konkurentů. Firma si navíc zakládá na společenské odpovědnosti, pořádá veřejné sbírky a podporuje regionální rovnou a ekologické zemědělství.

Značka Kitl Syrob

Jelikož se výzkum v této práci zabývá značkou sirupů Kitl Syrob, bude tato značka detailně představena v této kapitole. V současné době nabízí Kitl sedm produktů řady Syrob, které jsou rozděleny do dvou typů: sirupy s ovocnou a neovocnou příchutí. Do sirupů s ovocnou příchutí patří Kitl Syrob Černý rybíz, Kitl Syrob Malinový, Kitl Syrob Grapefruit a Kitl Syrob Višňový. Do druhé skupiny patří Kitl Syrob Zázvorový, Kitl Syrob Bezový a Kitl Syrob Mátový.

Výsledky práce

V této kapitole budou detailně rozebrány výsledky tří použitých metod, které byly představeny v části teoretické. Nejprve byl proveden explorační průzkum pomocí diferenční analýzy. Ten sloužil k rychlé představě o spokojenosti zákazníků s firmou, ale hlavně jako odrazový můstek pro druhou metodu, a sice metodu ECSI, která již změřila jak míru loajality, tak zákaznické spokojenosti. Nakonec se práce zaměřila na hodnotu zákazníka. S ohledem na rozsah práce bude explorační průzkum přeskočen.

Metoda ECSI – hlavní dotazníkové šetření

V této kapitole bude rozepsána aplikace metody ECSI, která je pro měření loajality zákazníka v této práci stěžejní. Nejprve byl zkonstruovaný strukturovaný dotazník. V samotném šetření se podařilo posbírat data dohromady od 180 respondentů. Dotazník byl rozdělený podle sedmi kategoriích uvedených výše, respondent měl možnost hodnotit na desetistupňové škále souhlas se uváděnými tvrzeními o firmě a o značce. Takto sesbíraná data byla detailně vyhodnocena. Dotazník je možné nalézt na odkazu

<https://www.surveio.com/survey/d/E2Y8M7L2P4J5V4A8P>

Celková spokojenost zákazníka na základě této metody byla vypočítána jako 79% pro všechny zákazníky a 91,2% pro časté zákazníky. Dále bylo zjištěno, že loajálních zákazníků má firma Kitl s.r.o. přibližně 22%. Popis výpočtu bude pro komplikovanost vynechán (a ukázán v prezentaci), dále bude uveden největší přínost, který práce měla – rozdělení zákazníků na loajální, časté neloajální a neloajální zákazníky a odhaleny faktory, které brání neloajálním zákazníkům stát se loajálními.

Loajální zákazník a příčiny neloajality

Kritéria uvažování respondenta jako loajálního zákazníka jsou několikeré. V první řadě musí být respondent zákazníkem firmy (tzn., produkt si kupuje), v druhé řadě jeho odpověď na otázku z kategorie 7 – loajalita „*Kupujete kromě Kitl Syrobu i jiné sirupy?*“ musí být minimálně 8, tj. jiné sirupy téměř nekupuje a odpověď na otázku „*V dohledné době si zakoupím Kitl Syrob.*“ ze stejné kategorie musí být také minimálně 8.

Těchto respondentů bylo v celém vzorku dotazovaných 25. Další, nepočetnou skupinou, ale poměrně zajímavou, byli častí zákazníci, kteří ale nejsou loajální – to znamená, že nesplňují výše uvedená kritéria, nicméně na otázku, jak dobře firmu znají, odpověděli, že jsou pravidelnými zákazníky. Těchto lidí bylo pouze 10, i tak ale informace z analýzy jejich postojů jsou cenné. Poslední, tentokrát velmi četnou skupinou jsou neloajální zákazníci. Ti firmu znají, už si v historii alespoň jednou Kitl Syrob pořídili, ale loajalita se u nich nevytvořila (opověděli na výše zmíněné otázky jinak, než číslem 8, 9 nebo 10), ve vzorku dotazovaných jich byla naprostá většina, dohromady 78.

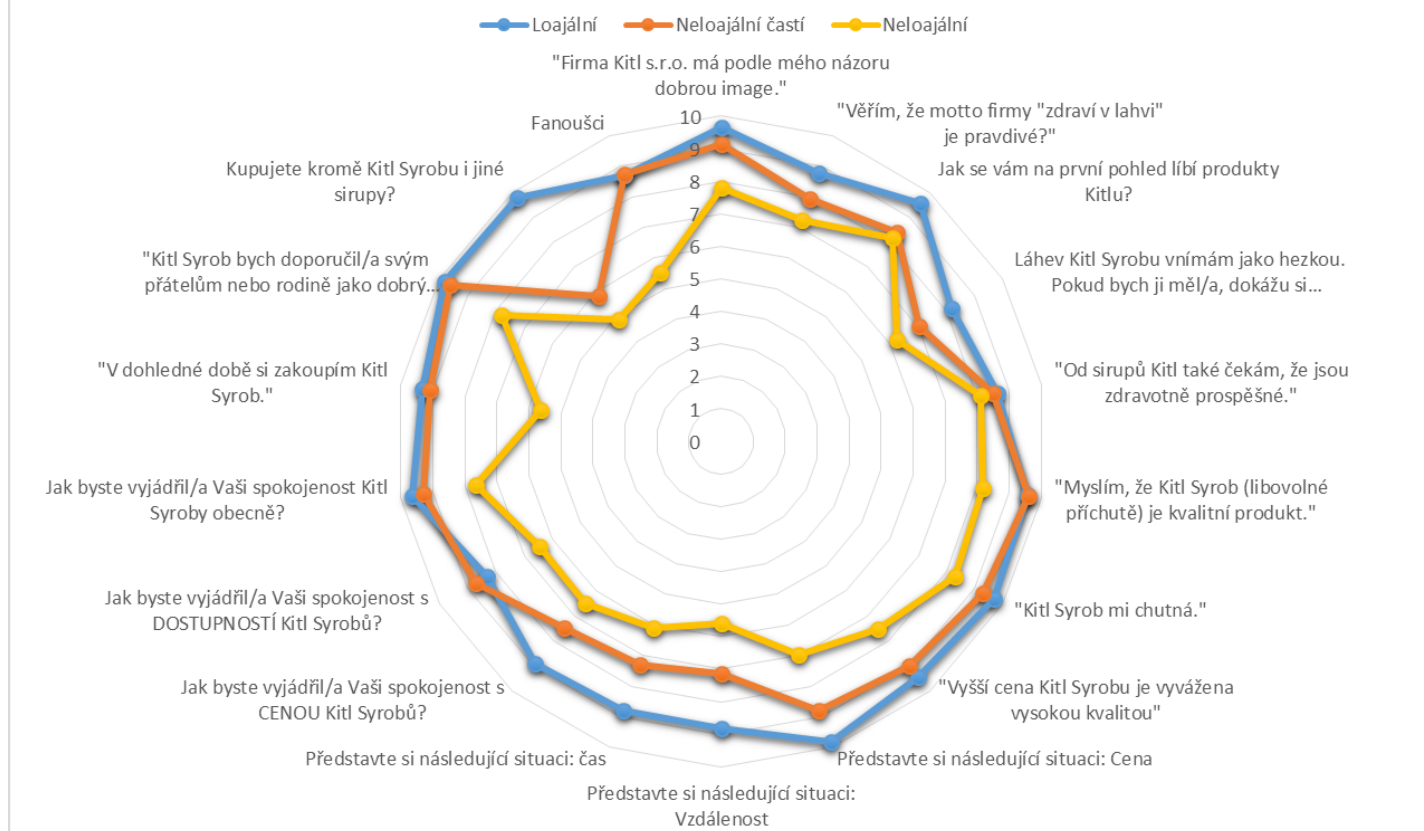
Odpovědi na některé z vybraných otázek těchto tří uvedených skupin jsou zaznamenány v pavučinovém grafu (obrázek č. 17). Nejsou zde uváděny všechny otázky, graf by byl poté velmi obsáhlý a naprosto nepřehledný.

Rozdíl loajálních a častých neloajálních zákazníků – Nejprve bude rozebrán rozdíl mezi dvěma méně početnými skupinami – proč častí zákazníci, kteří mají o firmě a značce Kitl Syrob vysoké mínění nejsou ke značce loajální. Obě dvě skupiny jsou si velmi podobné v mnohých názorech – například očekávají, že Kitl Syroby jsou zdraví prospěšné, chutnají jim a dokonce si myslí, že je vysoká cena vyváжена dobrou kvalitou. Ve spodní části grafu se křivky začínají oddalovat – zde se dostává dotazníkové šetření ke kategorii 4 – vnímaná hodnota. Neloajální skupina častých zákazníků je mnohem méně ochotna překonávat překážky časového a

vzdálenostního charakteru – nechtějí na láhev sirupu tolik čekat, ani pro ni vážit cestu do vzdálenějšího obchodu. S dostupností Syrobů jsou ale velmi spokojeni! V tom tedy jejich neloajalita spočívat nebude. Rozdíl zde bude hrát hlavně cena. I když si tito lidé myslí, že je vyšší cena vyvážená kvalitou a ze všech nákladů překonávají úbytek finančních prostředků nejochotněji, s cenou jsou mnohem méně spokojeni. Podle klasifikačních údajů se jedná o rodiče, jejichž průměrný hrubý měsíční příjem lehce přesahuje 26000 Kč. Loajální zákazníci jsou ale o trochu bohatší a tak to bude s největší pravděpodobností právě finanční stránka, která tyto dvě skupiny od sebe liší. Neloajální částí zákazníci jsou tedy přesvědčeni o kvalitě Kitl Syrobů, ale nejspíše nemají na to, aby svým dětem kupovali pouze sirup za takovou cenu, jakou si firma účtuje, Kitl Syroby kombinují s jinými značkami. Obě skupiny však pro společnost představují cenné aktivum, jelikož by Kitl Syrob doporučili svým přátelům nebo rodině. Neloajální částí zákazníci by tak loajální byli, kdyby na to měli peníze. Firma by je tak mohla podpořit nějakými slevovými akcemi (například zaměřenými na děti), nicméně má níže popsany důležitější problém, a tím jsou neloajální zákazníci.

Rozdíl loajálních a neloajálních zákazníků – Neloajalita zákazníků začíná už u první položené otázky, a tou je „Firma Kitl s.r.o. má podle mého názoru dobrou image“. Od neloajálních zákazníků získala společnost v této otázce o téměř 2 body menší hodnocení! To pokračuje tím, že nemají tak vysokou důvěru v motto firmy „zdraví v láhvi“ a právě zmíněná láhev se jim ani tolik nelíbí. Mírně v opozici je proti těmto tvrzením otázka na pravé straně grafu, kdy i neloajální zákazníci čekají, že budou Kitl Syroby zdraví prospěšné. V dalších otázkách je už propad ztelnější. Cena jim přijde vysoká a nejsou ji ochotni platit, dostupnost jim zase připadá špatná a nechtějí vynakládat ani další časové či vzdálenostní náklady. Co se příjmu týče, dosahuje průměrně větší částky, než částí neloajální zákazníci, a to téměř

Srovnání loajálních, neloajálních a častých neloajálních zákazníků



Obrázek 3 Srovnání loajálních, neloajálních častých a neloajálních zákazníků

30 000 Kč měsíčně. 54 respondentů z této skupiny ještě odpovědělo, že se zajímají o zdravý životní styl. V tom se shodují s loajálními zákazníky. Přibližně dvě třetiny neloajálních zákazníků Kitlu slyší na zdravý životní styl, což by mohl být skvělý podnět pro firmu – zaměřit svůj marketing tímto směrem, nebo toto zaměření ještě prohloubit. Nespokojenost s dostupností je ale největší odrazující faktor. Kdyby byly Kitl Syroby dostupné například i v supermarketech, situaci by to rozhodně zlepšilo.

Hodnota zákazníka v praxi

V této kapitole bude proveden odhad hodnoty zákazníka pro firmu Kitl s.r.o. Hodnotu zákazníka je v praxi nemožné vypočítat přesně, jelikož se pracuje s pouhými odhady. Je tedy pravděpodobné, že se vypočítaná hodnota zákazníka bude lišit od skutečné hodnoty zákazníka (kterou není možné spočítat), to však neznamená, že by provedený výpočet byl k zahození, firmě poskytne dobrý odhad v tom, jak vysoké aktivum pro něj zákazník představuje. Pokud by nakonec firma přišla na to, že některé proměnné uvedené ve vzorcích pro výpočet hodnoty zákazníka jsou odlišné od reality, není nic jednoduššího, než tuto hodnotu poupravit. Zde se také objevuje další z přínosů práce, vzorce pro výpočet hodnoty zákazníka budou zaneseny do přehledné tabulky MS Excel, takže jednotlivé proměnné bude možné kdykoli změnit, případně i použít jinou firmou.

Bohužel k výpočtu hodnoty zákazníka je třeba uvádět různé informace, které jsou interního charakteru – tj. kolik firma utrací na marketingu, kolik nových zákazníků tím ročně získává a obecně jsou nutné informace, které vzhledem ke konkurenčnímu prostředí trhu nejsou vhodné zveřejňovat. Firma ale jako výsledek spolupráce na této práci dostala přístup k tomuto měření. Jak bude ukázáno v prezentaci, kalkulačka hodnoty zákazníka vypočítává mnohé další údaje, kromě hodnoty zákazníka i návratnost marketingových investic, diskontovaný zisk a podobně.

Kalkulačna hodnoty zákazníka												
Inspirováno www.clv-calculator.com; Vytvořeno pro potřeby diplomové práce												
Marketingové náklady (Kolik bylo vynaloženo na získání zákazníků)		50000		diskontní sazba		2%						
počet získaných zákazníků		100		Uvažovaná doba v letech		10						
náklady na získání jednoho zákazníka		500										
Udaje musí být uváděny na jednoho zákazníka												
Roky	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	dále	součet za všechny roky
Průměrné roční tržby za zákazníka	720	720	720	720	720	720	720	720	720	720	720	7200
Průměrné náklady na produkty	420	420	420	420	360	360	360	360	360	360	360	3840
Průměrný hrubý zisk	300	300	300	300	360	360	360	360	360	360	360	3360
Náklady na stálého zákazníka	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	1000
Úspory za reklamu pro spokojené zákazníky	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	200
Průměrný čistý zisk za zákazníka	220	220	220	220	280	280	280	280	280	280	280	2560
Předpokládaná míra zůstání zákazníka		60,0%	85,0%	90,0%	90,0%	90,0%	90,0%	90,0%	90,0%	90,0%	90,0%	
Procento zákazníků, kteří u firmy zůstali	100,0%	60,0%	51,0%	45,9%	41,3%	37,2%	33,5%	30,1%	27,1%	24,4%	22,0%	
Průměrný čistý zisk za zákazníka který zůstal u firmy	220	132	112	101	116	104	94	84	76	68	61	1 107 Kč
Diskontovaný zisk za zákazníka který zůstal u firmy	220,00	129,29	107,63	94,88	106,44	93,83	82,71	72,91	64,27	56,65	49,94	1 029 Kč
Procentní roční úbytek zákazníků	40%	9%	5%	5%	4%	4%	3%	3%	3%	2%	22%	78%
Diskontní sazba v rocích	1,00	1,02	1,04	1,06	1,09	1,11	1,13	1,16	1,18	1,21	1,23	
Diskontované příjmy	220,00	129,29	107,63	94,88	106,44	93,83	82,71	72,91	64,27	56,65	49,94	52 859 Kč
CLV - Customer Lifetime Value Hodnota zákazníka bez nákladů		1029		Návratnost marketingové investice bez diskontování		121%						
CLV - Customer Lifetime Value Hodnota zákazníka se započítáním nákladů		529		Návratnost marketingové investice s diskontováním		106%						
Průměrný počet let, kdy je zákazník věrný firmě		2,31										

Obrázek 4 Ukázka kalkulačky hodnoty zákazníka

Závěrečná doporučení

Na základě dat bylo předneseno několik návrhů na zlepšení situace firmy Kitl, které budou také detailně v prezentaci představeny. V krátkosti se jedná o:

Cenovou strategii: - Zákazníci si na cenu obecně stěžují, firma ji ale upravovat nechce. Nicméně by mohla nabízet chlazené nápoje ze sirupů, rovnou připravené ke konzumaci – ředěné vodou. Ty by mohly být levnější, dostupnější a i méně movití zákazníci by tak měli šanci Kitl Syrob ochutnat.

Dostupnost - Co brání loajalitě zákazníků ke značce Kitl Syrob značně, je nízká dostupnost. Mnoho zákazníků hodnotilo v dotazníkovém šetření dostupnost jako slabou.

On-line loajalita - V literatuře bylo prokázáno pojítko mezi on-line a off-line loajalitou, od tohoto poznatku je tedy vhodné se odrazit pro další návrh. Z výsledků dotazníkového šetření vyplývá poměrně slabé povědomí o on-line činnosti firmy.

Závěr

Tato práce se zabývá tématem loajality zákazníka, konkrétně pak loajalitou zákazníka ke značce Kitl Syrob. Loajalita zákazníka se jako téma pomalu dostává do povědomí moderně smýšlejících firem,

Hlavním cílem této práce bylo zjistit, jaká je míra loajality zákazníka ke značce Kitl Syrob podniku Kitl s.r.o., dále jaká je jeho spokojenost, jaká je hodnota takového zákazníka a prokázat důležitost různých faktorů ovlivňujících loajalitu a následně navrhnout plán na zvýšení loajality na základě analýzy dat z dotazníkového šetření.

Metodika v této práci popisuje tři hlavní metody, které byly následně aplikovány. První metoda – Diferenční analýza, slouží pro rychlý explorační průzkum spokojenosti zákazníka a jeho názorů na různé atributy uvažovaného produktu, tím si může firma udělat relativně rychle představu o svých slabínách a o tom, co brání zákazníků stát se loajálními. Druhá metoda, která v práci vystupuje do popředí, slouží již k měření loajality a stanovení indexu zákaznické spokojenosti. Jedná se o poupravenou, původně Americkou metodu ACSI (American Customer Satisfaction Index), která pro odlišnosti Evropského trhu vyústila v samostatnou metodu ECSI – (European Customer Satisfaction Index). Tato metoda je v práci do rozvedena, aplikována složitějším strukturovaným dotazníkovým šetřením, které nakonec vedlo k zjištění indexu spokojenosti, na jehož základě byly odhaleny slabiny firmy a změřena míra loajality zákazníků k firmě. Třetí metodou, kterou práce předvádí, je metoda měření hodnoty zákazníka, která slouží v první řadě ke zdůraznění potřeby loajálních zákazníků, ale také jako podpora manažerského rozhodování o marketingových investicích. Na základě této metody byla zkonstruována kalkulačka v programu MS Excel, která ze zadaných dat spočítá hodnotu zákazníka a další zajímavé údaje.

Tím bylo dosaženo dalších dílčích cílů práce, a sice identifikací slabých míst firmy Kitl s.r.o. Na tyto dílčí cíle navázalo splnění dalšího, závěrečného dílčího cíle, kterým bylo sestavení návrhů pro zlepšení situace uvažované firmy. Pomocí vyhodnocení dotazníkového šetření korelační analýzou také byly potvrzeny všechny stanovené hypotézy v úvodu práce ohledně loajality zákazníka.

Celá práce tak od začátku až k jejímu závěru sleduje jasnou motivaci a tou je pomoci firmě v jejím snažení být úspěšným (lépe řečeno ještě úspěšnějším) hráčem na trhu. To z několika důvodů: firma Kitl představuje prototyp ekologicky a odpovědně fungující společnosti, zákaznický orientované a snažící se o maximální kvalitu své produkce. Přitom se stále jedná o firmu poměrně malého rozsahu. Její zákazníci se obecně vyznačují vysokou spokojeností s produkty firmy, ta jim navíc pomáhá k dosažení zdravějšího životního stylu, aniž by snižovala požitky ze skvělé chuti, kterou její produkty skutečně mají. Pakliže na základě této práce firma získá více loajálních zákazníků, čímž se zlepší jak její situace, tak život zákazníků k lepšímu, bude to velký úspěch a práce splní svůj smysl.

Seznam použité literatury

- BLECHARZ, Pavel. *Kvalita a zákazník*. Praha: Ekopress, 2015. ISBN 978-80-87865-20-0.
- BUREŠOVÁ, Jitka, 2018. *Budování loajality zákazníků ke značkám oblečení na Facebooku*. Brno: Masarykova univerzita. ISBN 978-80-210-9123-8.
- JAKUBÍKOVÁ, Dagmar, 2008. *Strategický marketing*. Praha: Grada. Expert (Grada). ISBN 978-80-247-2690-8.
- KELLER, Kevin Lane, 2007. *Strategické řízení značky*. Praha: Grada. Expert (Grada). ISBN 978-80-247-1481-3.
- KELLER, Kevin Lane, c2013. *Strategic brand management: building, measuring, and managing brand equity*. 4th ed. Boston: Pearson. ISBN 978-0-13-266425-7.
- KOTLER, Philip a Gary ARMSTRONG. *Marketing*. Praha: Grada, c2004. ISBN 978-80-247-0513-2.
- KOTLER, Philip a Fernando TRÍAS DE BES MINGOT, 2005. *Inovativní marketing: jak kreativním myšlením vítězit u zákazníků*. Praha: Grada. ISBN 80-247-0921-X.
- KOTLER, Philip a Kevin Lane KELLER, c2012. *Marketing management*. 14th [ed.]. Upper Saddle River, N.J.: Prentice Hall. Expert (Grada). ISBN 978-0-13-210292-6.
- KOTLER, Philip, 2007. *Moderní marketing: 4. evropské vydání*. Praha: Grada. ISBN 978-80-247-1545-2.
- LOŠŤÁKOVÁ, Hana, 2008. *Řízení vztahů se zákazníky (CRM) prostřednictvím diferencovaného hodnotového managementu*. Pardubice: Univerzita Pardubice. ISBN 978-80-7395-140-5.
- SPÁČIL, Aleš. *Péče o zákazníky: co od nás zákazník očekává a jak dosáhnout jeho spokojenosti*. Praha: Grada, c2003. Poradce pro praxi. ISBN 80-247-0514-1.
- SEWELL, Carl a Paul B. BROWN. *Zákazníci na celý život: jak udělat z náhodného klienta stálého zákazníka*. Praha: Talpress, 1996. ISBN 80-719-7024-7.
- VYSEKALOVÁ, Jitka, 2014. *Emoce v marketingu: jak oslovit srdce zákazníka*. Praha: Grada. Expert (Grada). ISBN 978-80-247-4843-6.
- Dictionary by Merriam-Webster: America's most-trusted online dictionary* [online], [cit. 2019-1-15] Dostupné také z: <https://www.merriam-webster.com>
- Cambridge Dictionary* [online], [cit. 2019-01-18]. Dostupné z: <https://dictionary.cambridge.org>
- Customer Lifetime Value: The complete guide [online], [cit. 2019-03-26]. Dostupné z: <https://www.clv-calculator.com>
- Kitl: Zdraví v láhvi* [online], [cit. 2019-04-01]. Dostupné z: <https://www.kitl.cz>
- Online Business Dictionary* [online], [cit. 2019-1-15]. Dostupné z: <http://www.businessdictionary.com>
- The American Customer Satisfaction Index* [online], [cit. 2019-01-21]. Dostupné z: <https://www.theacsi.org/>
- PROQUEST. 2019. Databáze článků ProQuest [online], Lukáš Kučera, ProQuest, [cit. 2019-03-16] FAKTORY OVlivňující ZÁKAZNICKOU LOAJALITU. Dostupné z <https://search.proquest.com>

Vliv čtvrté průmyslové revoluce na světovou ekonomiku

Miroslav Heršálek

Sekce - EKONOMIKA,

Fakulta ekonomická, 2. ročník

Bakalářský studijní program – PODNIKOVÁ EKONOMIKA

Abstrakt: Práce se zabývá pohledem na vliv spojený se změnami v hospodářství díky automatizaci výroby. Jak změny ovlivní pracovníky a globální ekonomiku. Pomocí modelových příkladů naznačuje, jaký dopad by některé změny měly na globální hospodářství a finance. Dále práce otevírá debatu o svobodě internetu a hrozbám s ní spojenými, rozebírá problém cenzury a manipulace s osobními daty. Rozebírá dopad umělé inteligence na společnost jako takovou, se zaměřením na ekonomický sektor. Cílem práce je z nasbíraných dat a znalostí nastínit budoucnost hospodářského sektoru spojenou s revolucí technologií, konektivity, inteligence a myšlení.

Klíčová slova: Průmysl 4.0, automatizace, globalizace, umělá inteligence, trh práce.

Úvod

Vzhledem k velkému pokroku v technologiích, automatizaci a kompletního myšlení naší společnosti se každým dnem svět přibližuje tzv. Průmyslu 4.0. Průmysl a celá ekonomika prochází zásadními změnami. Příčinnou je čím dál častější zapojování nových technologií a postupů do výroby i každodenního života.

Za jádro čtvrté průmyslové revoluce se považuje spojení virtuálního kybernetického prostředí s fyzicky reálným světem. Právě díky tomu se čtvrtá průmyslová revoluce pravděpodobně dotkne nejen průmyslu, ale významně ovlivní i informační technologie a sociální sféru.

Téma práce je rozděleno na 3 oddíly, automatizace výroby, konektivita a globalizace, umělá inteligence (dále jen AI neboli artificial intelligence). U každého oddílu je rozebráno téma, jeho problémy a potencionální vliv na společnost.

V posledním oddílu práce je cílem z nasbíraných teoretických znalostí navrhnout možnou prevenci a následně se pokusit předpovědět následky Průmyslu 4.0, neboli vytvořit “návod“ jak se na Průmysl 4.0 připravit a nastínit, jak bude ekonomický svět vypadat po revoluci Průmysl 4.0

1 Automatizace výroby

Automatizací výroby se rozumí zrušení jakýchkoliv zbytečných pohybů a postupů, dále vytvoření co nejjednoduššího postupu výroby při co nejmenší spotřebě energie a zdrojů. V souvislosti s tímto faktem jsou do výroby zařazeny zařízení jako autonomní stroje a roboti, kteří spolu komunikují prostřednictvím sítě. To umožňuje efektivně zrychlit výrobu a ušetřit náklady. [1]

Autonomní továrny dnes již nejsou science fiction. Již od roku 2015 stojí v čínském Dongguan city první továrna bez jakýchkoliv lidských pracovníků. V takové továrně není potřeba jediný montér, svářeč, operátor. Jediní, kdo jsou zde potřeba, jsou lidé, kteří umí továrnu v případě výpadku opravit. [2]

1.1 Ekonomika autonomní výroby

Současně je princip výroby v souladu s Průmyslem 4.0 velice levný. Některé studie uvádějí až 25 % snížení nákladů na výrobky, celkové náklady na výrobu je možné snížit až o 8 %. Využití interních autonomních dopravních systémů uspoří až 50 %. [3]

Pro mzdové oblasti jako jsou provozní a režijní náklady se v některých odvětvích objevují potencionální úspory až 30 %. V rámci bezpečnostních systémů se udává, že by se mohl snížit počet úrazů na pracovišti až o 25 %. [4]

1.2 Trh práce

OECD data udávají, že více jak 22 % zaměstnaných ze členských států pracují v průmyslu a více jak 4 % pracují v zemědělství. Vzhledem k automatizaci je možné předpokládat zrušení velké části těchto pracovních míst v důsledku nahrazení autonomními systémy. [5]

Svět ovšem drží krok a například Evropské středisko pro rozvoj odborného vzdělávání vydalo metodiku s praktickými opatřeními pro udržitelnost trhu práce. Příkladem takové publikace je například: Future skill needs in Europe: critical labour force trends. Toto a podobná opatření mají zmírnit negativní a posílit pozitivní dopady Průmyslu 4.0 na pracovní trh. [6]

„Každý, kdo se přestane učit, je starý, ať je mu dvacet nebo osmdesát. Každý, kdo se stále učí, zůstává mladý.“ — Henry Ford

A když je někdo starý, je naší lidskou povinností se o něj postarat. Naštěstí většina velkých firem a států již dnes dává důraz na neustálé vzdělávání a školení svých pracovníků a občanů. To pomáhá ke zvýšené kvalifikaci a pokud by se společnosti podařilo naučit každého stávajícího pracovníka, jak spravovat roboty a jak je programovat, pak by strach z průmyslu 4.0 byl jen strachem, a ne reálně možnou budoucností.

2 Globální komunikační infrastruktura

Z vlastní zkušenosti si dovolím argumentovat, že zatímco dříve byly naše hodnoty, bez kterých nepřežijeme, seřazeny takto: vzduch, voda, jídlo. V dnešní době to je vzduch, internet, voda, jídlo. Neboť vzduch je “zatím” všude, ale vodu a jídlo si buď objednáme, nebo za něj zaplatíme a ve většině případech kartou, nebo jiným elektronickým systémem. To znamená, že pokud by vypadl komplet internet, člověk bez hotovosti se nenajít ani nenapije.

Proto je důležité internet nejen neustále inovovat a zvyšovat jeho dostupnost po celém světě, ale je důležité, respektive nezbytné, aby byla zachována jeho svobodomyšlnost a neutralita. Na druhou stranu se stále častějšími hackerskými útoky jsou nutné regulace a bezpečnostní protokoly, které by zabránili ohromným potencionálním škodám.

2.1 Přenos dat

Pro komunikaci mezi jednotlivými zařízeními je možné využívat několik nástrojů. Pro bezdrátovou síť je charakteristické přenášení dat skrze využívání rádiového spektra, dále wi-fi, bluetooth a další. Pro kabelové spojení jsou dnes využívány telefonní kabely, síťové kabely a podvodní kabely táhnoucí se pod hladinou oceánů. Právě tyto kabely dnes zajišťují více jak 97 % celosvětové elektronické komunikace. [7]

Důležité je ovšem to, že vzhledem k narůstajícímu toku dat v síti je podle některých odhadů možné, že přenosová rychlost a kapacita serverů, datových center a cloudů nebude v budoucnu stačit. I díky tomu je v plánu položit 20 nových podvodních internetových kabelů. [1]

2.2 Ochrana a bezpečnost

Několik organizací vytvořilo studie o ochraně internetu a komunikačních sítí, například internet věcí. Jednou z nich je studie organizace European Union Agency for Network and Information Security (ENISA). V této studii jsou rozebrána možná rizika, útoky a výzvy týkající se ochrany a bezpečnosti dat tekoucích v síti. V případě chyb systému nebo hackerských útoků jsou potenciální škody velmi velké.

V modelovém příkladu si představme chybu v systému výroby. Je velice pravděpodobné, že se zastaví výrobní linka, dále je možné poškození některých drahých přístrojů, systémů, popřípadě i zranění pracovníků. Jelikož jsou na výrobu navázány i ostatní subjekty, zaměstnanci, dodavatelé, odběratelé, dopad takové chyby se postupně dotkne všech těchto subjektů. Vznikají náklady na opravu, zničený materiál, léčbu zraněných pracovníků a výzkum nových systémů schopných předcházet chybám.

V případě chyb v systému u malých podniků může být taková chyba fatální. Dalším rizikem je v případě hackerského útoku škoda vzniklá únikem informací. Příkladem je únik osobních údajů zaměstnanců, informací z probíhajícího vývoje a jiných interních dat. V tu chvíli se škody projeví i na veřejnosti nebo na jiných partnerských společnostech. [12]

3 Umělá inteligence

Několik největších světových kapacit ohledně robotizace, umělé inteligence a programování se ve svých obavách shodují v názoru, že umělá inteligence je jednou z největších hrozeb pro budoucnost lidstva. [9]

Na druhou stranu možné pozitivní dopady daleko přesahují rizika spojená s tvorbou AI a s předáním kompetence a zodpovědnosti na stroje. Výsledný produkt v podobě schopné umělé inteligence masově změní odvětví jako zdravotnictví, zemědělství, školství. Umělá inteligence se nemusí dotknout pouze těchto odvětví, ale je dost možné, že například nahradí telefonní call centra, infolinky, zákaznickou podporu, obsluhu obchodů, a dokonce je reálné, že se objeví sexuální roboti provozující prostituci. [9]

3.1 Rizika pro společnost

V jádru je AI je stejná jako jakýkoliv program, který dnes běží na počítači. Řeknete programu, co dělat a udělá to přesně jak tak, jak jste mu řekli, respektive napsali do kódu. Problém je, že vždy budou existovat lidé, kteří zneužívají technologie k vlastnímu užítku nebo ke zlomyslným činům. Dnes je částečně možné tento problém regulovat systémem, v kterém je množství lidí se schopnostmi něco takového provést velice malé. To ovšem nezabrání některým hackerům shodit stránky vlád, nebo krást peníze z kreditních karet.

U AI je ten problém, že pravděpodobně nebude vyžadovat znalost programování, ale dost možné jen hlasové pokyny jako například u produktů jako Alexa a Siri. V momentě, kdy se vám dostane do rukou, stačí říci, co chcete.

V předchozích letech se na celosvětový trh dostaly produkty jako Siri, Alexa a podobné. Jedná se o takzvané osobní asistenty. Umělá inteligence provozující tato zařízení vám plánuje kalendář, nákupy, budíky a podobně. Je přitom hlasově ovládaná.

V roce 2018 se objevilo několik skandálů pojících se systémem Alexa od Amazonu. Alexa nahrála rozhovor manželů, který později odeslala zaměstnavateli manžela. Nakonec se ukázalo, že chyba byla ve špatném rozpoznávání slov v konverzaci. [10]

Nejednalo se ovšem o jediný incident spojený se systémem Alexa. Dalším je například Alexin divný smích bez jakéhokoli důvodu. [11]

V případě takovýchto systémů jsou tyto chyby nevinné, bohužel v případě, že by se jednalo o chybu v AI řídící výrobní linku, škody a ztráty by byly potencionálně ohromné.

3.2 Regulace a dohled

V roce 2018 vydal institut AI now (New York University) zprávu ohledně zavádění umělé inteligence. Obsaženy jsou zde návrhy, jak by měla být AI monitorována a kontrolována.

Například vyzdvihla používanou regulaci AI v dopravních systémech, zdravotnictví, letecké dopravy a další. Další důležitou regulací je pak dohled nad systémy rozpoznávání tváří. Každý by měl mít právo na anonymitu a soukromí. Bohužel s takovýmto monitorovacím systémem je soukromí téměř nulové. Nejdůležitější je angažovanost vlád a politiky k tomuto tématu. Velkou zodpovědnost přitom nesou právě společnosti zprostředkovávající tyto systémy. [12]

4 Vliv na světovou ekonomiku

V rámci praktické části práce je využita analýza ze strategického managementu. Při odhadu budoucího stavu je důležité utřídit jednotlivé faktory ovlivňující světovou ekonomiku. K tomu poslouží SWOT analýza.

Konkrétní záměr analýzy je zhodnotit dopad zavedení Průmyslu 4.0 na světovou ekonomiku, v tomto případě bereme světovou ekonomiku jako celek, důsledkem toho není využita možnost rozdělení na vnitřní a vnější faktory, neboť v globálním měřítku je lepší počítat se všemi faktory jako s vnitřními.

4.1 SWOT analýza

SWOT analýza ze získaných dat na práci poslouží v praktické části při hledání reálných dopadů na hospodářství. Podle ní je později reálně navrhnout možná řešení problémů spojujících se s Průmyslem 4.0 a navrhnout opatření, jak se připravit na změnu společnosti.

4.1.1 Silné stránky

- Rozvinutí průmyslové výroby
 - Automatizace výroby
 - Zvýšená provázanost ekonomických subjektů
 - Snížení výrobních cen
- Vznik nových pracovních pozic
- Růst zaměstnanosti v IT
 - Růst IT gramotnosti
- Zvýšení kvalifikace pracovníků
- Zvýšení konektivity + globalizace

4.1.2 Slabé stránky

- Snížení, potencionálně vymizení manuálních a repetitivních pracovních pozic
- Prozatím nedostatečná celosvětová IT gramotnost
- Nedostatečná celosvětová infrastruktura (cesty, kapacity průplavů, přenos dat atd.)
- Celosvětová politická “stabilní” situace, například obchodní válka USA vs. Čína
- Nedostatečná kapacita světového školství, nedostatečná rozvinutost celoživotního vzdělávání
- Etická, morální asociální nevyspělost světa

4.1.3 Příležitosti

- Vznik nových pracovních pozic
- Vznik nových průmyslových a vědeckých oborů (například spojení biotechnologií a IT)
- Zjednodušení, zefektivnění a zlevnění produktů a služeb
- Zjednodušení recyklace, pozitivní vliv na globální ekologii

4.1.4 Hrozby

- Nejasný dopad na trh práce
- Nedostatek kapitálu
 - Finančního, materiálního
 - Nedostatek znalostí, kvalifikace a lidských zdrojů
 - Nepostačující síťové propojení
 - Náročnost, nákladnost výzkumů
- Nedostatečná informovanost ekonomických subjektů o probíhající průmyslové revoluci
- Nedostatečná regulace, kontrola a bezpečnost v IT

4.2 Výsledný pozitivní vliv

Ze silných stránek analýzy vyplývá kompletní posun společnosti směrem k “utopii“. Díky snížením nákladů na zemědělství a výrobu je možné předpokládat snížení výsledných produktů těchto odvětví. V důsledku se předpokládá snížení chudoby a hladomoru. To zapříčiní více ekonomicky aktivních obyvatel planety.

Vzhledem k akademické náročnosti obsluhy IT systémů je předpokládán nárůst gramotnosti v IT. Kompletně vyšší vzdělanosti populace. Které přinese další přidanou hodnotu do světové ekonomiky.

Zvýší se kompletně dostupnost internetu. V závislosti na principu klesání nákladů na službu při zvýšené produkci lze předpokládat snížení cen za konektivitu. To může zvýšit počet potencionálních zákazníků po celém světě a vést k většímu celosvětovému pohybu peněz.

V kontrastu s hrozbou vymizení velkého množství pracovních sil se v průběhu Průmyslu 4.0 předpokládá vznik mnohem více nových pozic, pracovních odvětví i vědních oborů. Při rekvalifikaci ekonomicky aktivních obyvatel lze předpokládat obsazení některých z těchto nových pozic právě rekvalifikovanými pracovníky.

Díky autonomní pracovní síle se nabízí příležitost vytvořit z dnes neatraktivních odvětví, jako například recyklace, ekonomicky výnosnou, ekologickou a perspektivní příležitost k podnikání. Jako důsledek je reálné snížení zatěžování planety neekologickým chováním. Při dostatečném snížení nákladů na recyklaci se může recyklovaný materiál stát konkurenční na trhu s komoditami. To může reálně snížit ceny surových materiálů.

4.3 Výsledný negativní vliv

Nejvíce vnímatelným negativním efektem je snížení repetitivních pracovních pozic, či jejich kompletní zrušení. Vzhledem k tomu, že je dnes ohromné množství ekonomicky aktivních občanů zaměstnáno právě v takovém odvětví práce, je pochopitelná důkladná příprava světa na Průmysl 4.0.

V případě, že se některé společnosti a pracovníci nepřipraví nebo nerequalifikují, je možné, že se na trhu práce objeví velké množství nekvalifikovaných pracovníků, pro které není práce. Pokud se nepřipraví společnost, nebude schopná držet konkurenceschopnou cenu, což může vést k jejímu krachu. V případě že by se jednalo o některé mezinárodní korporace, může jejich krach značně ovlivnit celosvětové hospodářství.

Přechod na Průmysl 4.0 je velice nákladný na všechny možné zdroje a kapitál. Zvýšená poptávka po nich může ovlivnit globální trh s produkty, jako jsou například elektřina a energetické zdroje. Je také velice pravděpodobné, že se enormně zvýší poptávka po lidském kapitálu. Například u IT pracovníků.

Nebude narůstat jen spotřeba, ale dalším stěžejním bodem je doprava. V dopravě je možné započítat silnice, železnice, průplavy a kabely na přenos dat. Již dnes jsou některé přepravní tepny přetěžovány a nestíhají. V rámci Průmyslu 4.0 se předpokládá ještě větší nárůst požadavků na přepravní síť. Při nedostatečné přípravě je možné, že se služby za přepravu zdraží, nebo omezí na lokální vzdálenosti.

4.4 Shrnutí

Dnešní svět se neustále mění, jednou takovou změnou je i Průmysl 4.0, za jeho cíl se považuje spojení reálného světa se světem digitálním. To s sebou nese jak rizika, tak výhody. Z výsledku práce je ovšem zřejmé, že výhody daleko přesahují rizika a nevýhody. Dopad na ekonomiku jako globální celek, bude velmi velký.

Je pravděpodobné, že některé profese naprosto vymizí, na druhou stranu se objeví velké množství nových pracovních odvětví. Bohužel opět bude záviset na přístupu a přípravě. Přechod na Průmysl 4.0 se neobejde bez změny myšlení a vzdělávání. Dnešní pracovníci si budou muset zvyknout na koncept celoživotního vzdělávání. Svět se pravděpodobně bude měnit tak rychle, že nebude stačit vystudovat jednu školu a stejnou profesi pak vykonávat celý život.

Dalším stěžejním faktorem vlivu je provázanost světových sítí. Zvýšená rychlost přenosu dat a dostupnost internetu ovlivní globální trh. Je reálné, že se společnosti budou přetahovat o zákazníky po celém světě. To by teoreticky mohlo snížit ceny některých celosvětově oblíbených produktů a služeb.

Tak, jako dnes všichni vlastníme telefony, za 20 let budou mít možná všichni i pitnou vodu. Vzhledem ke snižujícím se nákladům díky automatizaci se pravděpodobně sníží ceny produktů. V tom případě si je bude moci koupit více lidí.

Platby přes internet a komunikace mezi bankovními subjekty bude čím dál rychlejší. Zjednoduší se transfery peněz a cenných papírů. To může vést k většímu objemu obchodních transakcí, které přinesou do ekonomiky více peněz.

Čím dál více lidí bude online a čím dál více strojů bude online, to zapříčiní větší transparentnost a snížení vlivu šedé ekonomiky, i když služby jako například bitcoin dělají tuto možnost velice nepravděpodobnou, v případě regulace a dohledu na tyto služby je ovšem úspěšnost reálnější.

Klíčovou změnou ve společnosti bude integrace systémů umělé inteligence. V momentě, kdy bude vytvořena schopná AI se změní velké množství oborů. Pravděpodobně zaviní ztrátu pracovních míst, nebo snížení platů v některých oborech. Pravděpodobně se sníží nákladnost zdravotní péče a nákladnost v zemědělství. V průmyslu AI dokáže změnit strukturu designu a výroby. Snížení nákladů se projeví v téměř všech oborech hospodářství. To by mohlo vyvolat snížení cen.

Jedno je ale jisté, přechod na průmysl 4.0 drasticky sníží zatížení lidí ve výrobních procesech a v některých službách. To bude znamenat buď zvýšení nezaměstnanosti, nebo přechod velké části ekonomicky aktivních obyvatel do jiných odvětví hospodářství.

Závěr

Přínosem práce bylo nastínit, jak bude hospodářský svět vypadat po skončení průmyslové revoluce 4.0. Jak se připravit na změny, které nás čekají v pracovním, finančním i osobním životě. Uspořádat jednotlivé faktory ovlivňující světovou ekonomiku a ukázat jak.

I přes to, že revoluce 4.0 přinese velké celosvětové změny, je reálné se na ně připravit. V rámci přípravy je důležité neustálé vzdělávání a školení pracovníků, neboť změny na trhu práce budou čím dál častější.

Dále je velice důležitá správná manipulace se zdroji a kapitálem. V průběhu revoluce Průmysl 4.0 se zvýší poptávka po zdrojích a kapitálu všeho druhu. To znamená, že správné strategické rozhodování o svém majetku je kritické.

Čím dál větší pokrok v umělé inteligenci bude mít dopad na množství odvětví. Umělá inteligence by mohla mít vliv na snížení chyb v důsledku lidského faktoru. To by mohlo značně ovlivnit ekonomické odvětví jako je například lékařství a tím ušetřit množství zdrojů a peněz. S umělou inteligencí se ovšem pojí i strach z jejího nesprávného fungování, ovšem k vzhledem k současnému stavu je tato budoucnost ještě velmi vzdálená, neboť AI ještě není masově využívána a má velké rezervy na zlepšení.

Průmysl 4.0 přinese jak pozitivní, tak negativní změny. Na druhou stranu perspektiva, kterou naznačují pozitivní změny, daleko převyšuje rizika a negativa. To znamená, že přechod na průmysl 4.0 je jakousi investicí, u které je nutná příprava, správné směřování a kontrola.

Literatura

- [1]. MAŘÍK, Vladimír. Průmysl 4:0 výzva pro Českou Republiku, Praha: Management Press, 2016. ISBN 978-80-7261-440-0.
- [2]. The Economic Times: Business [online],
Dostupné z: <https://economictimes.indiatimes.com/news/international/business/china-sets-up-first-unmanned-factory-all-processes-are-operated-by-robots/articleshow/48238331.cms> [Cit. 27. Břez. 2019].
- [3]. Industry 4.0: The Future of Productivity and Growth i Manufacturing industries, The Boston Consulting Group, 2015. [online]
Dostupné z: <https://www.zvw.de/media/media.72e472fb-1698-4a15-8858-344351c8902f.original.pdf> [Cit. 28. Břez. 2019].
- [4]. The Internet of things: Mapping the Value Beyond the Hype; Mc Kinsey Global Institute; 2015 [online]
Dostupné z: <https://www.mckinsey.com/~media/McKinsey/Business%20Functions/McKinsey%20Digital/Our%20Insights/The%20Internet%20of%20Things%20The%20value%20of%20digitizing%20the%20physical%20world/The-Internet-of-things-Mapping-the-value-beyond-the-hype.ashx> [Cit. 10. Dub. 2019].
- [5]. OECD; Data Labour: Labour market statistics [online]
Dostupné z <https://data.oecd.org/emp/employment-by-activity.htm> [Cit. 8. Dub. 2019].
- [6]. Cedefop. 2019. Future skill needs in Europe: critical labour force trends. [online]
Dostupné z: <http://www.cedefop.europa.eu/en/publications-and-resources/publications/5559> [Cit. 8. Dub. 2019].
- [7]. Chattopadhyaya, S. 2019. Submarine Cables in APAC – Current Status & Outlook for 2019-20 - Submarine Networks. [online] Submarinenetworks.com.
Dostupné z: <https://www.submarinenetworks.com/en/insights/submarine-cables-in-apac-current-status-outlook-for-2019-20> [Cit. 8. Dub. 2019].
- [8]. Enisa.europa.eu. (2019). Cybersecurity is a key enabler for Industry 4.0 adoption. [online]
Dostupné z: <https://www.enisa.europa.eu/news/enisa-news/cybersecurity-is-a-key-enabler-for-industry-4-0-adoption> [Cit. 10. Dub. 2019].
- [9]. YouTube. 2019. Artificial Intelligence & the Future - Rise of AI (Elon Musk, Bill Gates, Sundar Pichai)|Simplilearn. [online]
Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=wTbrk0suwbg> [Cit. 27. Břez. 2019].
- [10]. Warren, T. 2019. Amazon explains how Alexa recorded a private conversation and sent it to another user. [online] The Verge.
Dostupné z: <https://www.theverge.com/2018/5/24/17391898/amazon-alexa-private-conversation-recording-explanation> [Cit. 28. Břez. 2019].
- [11]. Liao, S. 2019. Amazon has a fix for Alexa's creepy laughs. [online] The Verge. Dostupné z: <https://www.theverge.com/circuitbreaker/2018/3/7/17092334/amazon-alexa-devices-strange-laughter> [Cit. 28. Břez. 2019].
- [12]. New York University 2018, AI Now Report [online]
Dostupné z: https://ainowinstitute.org/AI_Now_2018_Report.pdf [Cit. 5. Dub. 2019].

EKONOMICKÉ A SOCIÁLNÍ ASPEKTY PŘESUNU MĚSTA MOST

Ondřej Hink

Sekce - EKONOMIKA,
Fakulta ekonomická, 2. ročník
Bakalářský studijní program – EKONOMIKA A MANAGEMENT SLUŽEB

Abstrakt: Muselo by se v dnešní době dlouho pátrat, než by se našel někdo, kdo v poslední době alespoň neslyšel o seriálu Most!. Zábavná dramata s občasnou dávkou absurdity se v posledních měsících dostala do povědomí téměř každému. Ale co je na tom pravdy? Jsou opravdu severní Čechy pouze lokalitou nevzdělců, nezaměstnanosti, zničené krajiny a přetřhaných historických vazeb? V tomto kontextu je možné parafrázovat nejmenovaného poslance, který pronesl, že severní Čechy nejsou hezké, ani ošklivé - jsou však plné kontrastů. Práce by čtenáři měla přiblížit ekonomický a sociální kontext aktuální situace Mostecká ve spojení s historickými událostmi a zároveň nastínit směřování z hlediska územního rozvoje a potenciálu této lokality.

Klíčová slova: město Most, Mostecko, ekonomika, společnost, Sudety, budoucnost

1 Historický a společenský kontext

Mostecko mělo vždy vývoj úzce spjatý s hornictvím. V praxi to probíhalo tak, že při založení dolu se obyvatelé stěhovali do vesnic v jeho blízkém okolí, než byla naplněna pracovní kapacita dolů. K enormní centralizaci, na rozdíl od pozdější doby nedocházelo právě proto, že nově otevírané doly byly menšího charakteru a najednou se jich zakládalo více v různých částech pánevní oblasti.

K největší migraci však docházelo mezi lety 1890-1910. V té době se také mění složení obyvatelstva a z německého prostředí se stává mísením česko-německé. Z této, ale již i dřívější doby pocházejí první nesváry obou národů v pohraničí. Děje se tak v důsledku dlouhodobé germanizace území a její následné rychlé bohemizace.

A kde tedy má počátek německé osídlení? Osidlování častokrát nehostinného pohraničí probíhalo již od období přemyslovců, kdy do pohraničních oblastí mohli přicházet a osidlovat/zakládat města německí přistěhovalci. Právě jimi byla lokalita Mostecká už od 12. století kultivována a noví osadníci se zde během generací začali cítit jako doma, s prostředím se sžili a své pocity sounáležitosti s touto lokalitou předávali z generace na generaci.

Následné počesťování oblasti (ačkoliv ani dříve k 100% poněmčení oblasti Podkrušnohoří nedošlo) se začalo dít tedy až s rozvojem dolů. Příchod českých horníků do neznámého prostředí podněcoval pocit příslušnosti k českému národu a jeho hodnotám. A tak z nových dělnických osad a kolonií vznikala následně česká střediska. Koncem 19. století tvořila česká menšina na Mostecku již 1/4 obyvatelstva, ze které 1/3 tvořily hornické rodiny.

Na posilování kulturní a národní příslušnosti vznikaly tzv. ochranné spolky. Ty se soustřeďovaly na udržení českých tradic, výchovy a kultury. Dále se zakládaly české školy atd. Velkou podporou pro tyto menšiny a jejich snažení bylo založení českého státu v roce 1918. [3]

V té chvíli se však cítila ohrožena německá, nyní již menšina v novém státě, která však v některých okresech dosahovala procentuální převahy. Neshody dále eskalovaly například i s

příchodem české správy a umísťování českých příslušníků na veřejné posty. V důsledku dalších historických událostí došlo k podepsání Mnichovské dohody a odchodu velké části českého obyvatelstva.

Po vysídlení německého obyvatelstva v důsledku uplatnění Benešových dekretů mezi lety 1945-47 bylo uvolněno mnoho usedlostí a zemědělské půdy. Kromě předválečných obyvatel "místních Čechů", kteří odešli po mnichovské dohodě do vnitrozemí, se do oblasti začala hromadně stěhovat z vnitrozemí i venkovská chudina a čeští reemigranti, jejichž předkové odešli dříve za obživou do zahraničí. V nemalé míře přicházeli také Slováci.

Tímto vznikala nestabilní společnost, která procházela náročnou tvorbou způsobu života a kultury. Vzhledem k nejednotnosti kulturní a životní úrovně, životem v novém cizím prostředí, a odlišné bonitě půdy bylo nutné se naučit úplně novému způsobu hospodaření a života všeobecně. S těmito úkoly se musela však vyrovnat společnost a jednotlivci sami po svém.

Vzhledem k živelným řešením problémů souvisejících s migrací se začal tvořit společenský slepenec, jehož soužití nadále komplikovala násilná migrace během ústupu před povrchovou těžbou. Vysídlování a ničení již tak křehkého prostředí mělo za následek znovu jen rozvrat ve společnosti.

2 Vysídlení "podruhé" - přesun obyvatel do nového Mostu

Vysídlení mělo za následek vyvolání negativních sociálně psychologických a patologických změn. Většinou neměli obyvatelé jinou možnost než přemístění se na nově vybudovaná sídliště. Panelová výstavba navíc jako náhrada za původní bytový fond a související infrastrukturu vedla kromě jiného k dalšímu snížení venkovského osídlení a zániku malých sídel. [4]

V důsledku hromadného exodu byly zpřetrhány vazby k bydlišti, rodové vztahy i všeobecně vztahy mezi lidmi/sousedy. Lidé nenacházeli pocit bezpečí, spoluodpovědnosti a mnozí prožívali pocit odcizení a frustraci.

Průmyslové zóny s vysokou koncentrací obyvatel byly kontrastem k horským lokalitám s minimálním osídlením a docházelo stále k většímu rozevírání pomyslných nůžek ve smyslu komplexního rozvíjení regionu. Chybí řemeslná a rukodělná výroba, infrastruktura a dopravní obslužnost. Mostecko se potýká s vysokou migrací obyvatel, nízkou vzdělaností a úpadku venkova. To dokazuje i statistika čítající 116 obcí, které zmizely z map mezi lety 1945 až 1990. V regionu dochází k vysoké absenci malých obcí. Zábory zemědělské půdy výrazně ovlivnily tamní zemědělství. I přes rekultivaci a návrat půdy od počátku 90. let stále není obnoven význam tehdejšího zemědělství a samozřejmě i půda dávno ztratila svou bonitu. Okres Mostecka nedosahoval ještě v roce 2010 ani zdaleka průměrných celostátních hodnot v zemědělské činnosti. [3]

Tabulka 1: Vývoj počtu obyvatel na území starého Mostu

Vývoj počtu obyvatel ve městě Most (na území starého Mostu), dnes místní část Starý Most														
rok	1869	1880	1890	1900	1910	1921	1930	1950	1961	1970	1980	1991	2001	2011
počet obyv.	7 351	11 662	17 576	26 961	32 659	34 587	35 872	30 544	47 199	8 035	5		3	73

zdroj: vlastní úprava na základě dat ČSÚ

3 Ekonomická stránka těžby

Otázkou do dnešních dnů také zůstává, zda likvidace starého Mostu byla efektivní nebo nikoliv. Na základě dostupných podkladů byly náklady a výnosy vyhodnoceny následovně:

Tabulka 2: Náklady a výnosy spojené s likvidací města Most

ČINNOST	Kč
náklady na likvidaci města	868 139 415
náklady na výstavbu náhradního města	5 884 533 000
náklady na rekultivaci lomu Ležáky (předběžné kalkulace)	2 600 000 000
výnosy za prodej uhlí z vytěženého prostoru	12 278 740 000
Celkový zisk	2 926 067 585

zdroj: vlastní úprava na základě dat z bakalářské práce zpracované Bc. Jaroslavem Červenkou (2000)

Z čistě ekonomického hlediska se jednalo o projekt se ziskem, tedy klasifikovaný jako úspěšný. Celkově bylo vytěženo 89 275 007 tun kvalitního uhlí. Ekonomická charakteristika však nemůže objektivně zhodnotit úspěšnost projektu, neboť není schopna reflektovat takové hodnoty, jako je ztráta významných historických budov, a to nikoliv jednotlivých, ale jako historického sídelního celku, náklady na přizpůsobení a zušlechtnění současných sídlišť apod. [1]

Pro představu doplnění čísel k likvidaci města. Během let 1965 až 1987 došlo ke kompletnímu vymazání města z map. Dle statistik bylo jenom ze sektoru nebytového (kostely, sklady, prodejny, divadlo,...) zlikvidováno přes 260 objektů. Celkově měl starý Most přes 3200 domů.

4 90. léta, přechod na nový systém ekonomiky a podmínky revitalizace

Důsledkem nedokončené restrukturalizace těžkého průmyslu je ve starých průmyslových regionech¹ dlouhodobá plošná míra nezaměstnanosti. Děje se tak samozřejmě v návaznosti na masivní propojenost s těžebním průmyslem a jeho postupným útlumem. Ještě v polovině 90. let bylo v okrese Most zaměstnáno 40 % ekonomicky činného obyvatelstva přímo a nepřímo závislého na oborech spojených s těžbou. Pro porovnání, v okrese Chomutov činil podíl 30 %, v Teplicích 15 % a v Ústí nad Labem dokonce pouze 5 %. [4]

Privatizace po roce 1989 nevyřešila problém nízkého lidského potenciálu, naopak ho ještě zhoršila. Během změny tržních mechanismů se zapomínalo na subjektivního činitele přeměn při ekonomické transformaci. Lidský faktor byl odsunut stranou. Pozornost se přílišně nevěnovala ani podmínkám a kvalitě prostředí, kde lidé žijí a pracují. V procesu transformačních změn se opomnělo zabývat regionální problematikou a lidskými hodnotami, stejně jako regionálními specifiky. Příkladem je otázka tvorby nových pracovních míst a řešení míry nezaměstnanosti. Útlum jedné činnosti nebyl do dnešní doby adekvátně nahrazen pracovními možnostmi v oboru jiném. Transformace také eskalovala etnické problémy, které

¹Starý průmyslový region - lokalita vyznačující se atypickými vazbami mezi výrobními, přírodními a lidskými prvky.

narušovali sociální, politické i kulturní prostředí. Spolužití a vztahům se zde desítky let nikdo nevěnoval.

Sociální potenciál nebyl v tomto důsledku přeměněn (a ani nemohl být) do optimální podoby sociálního kapitálu. Podmínky fungování okresů na základě těžby a energetického průmyslu nastolily v tržních podmínkách řadu problémů a především plošnou nezaměstnanost.

Ekologické prostředí se oproti 80. a 90. letům lepší, nicméně stále znečištění prachem, oxidy dusíku a síry i profilace terénu a exhalace společně se směry větru způsobují inverzní stavy. Ve společnosti stále panuje obava z prolomení limitů těžby a přibližování se těžebních strojů k velkým městům, devastace krajiny, likvidace obcí apod. Zkrátka to, co je mnohým obyvatelům z historie již bohužel známé.

Nový přístup politiky důlních podniků se začíná projevovat pozitivními výsledky v krajině. Například vznikají nová chráněná území a rezervace. [6]

Dalšími velkými změnami prošlo regionální vědomí obyvatel, tj. znalosti a postoje obyvatelstva k regionu, jejich vztah, sounáležitost a identita s místem, kde žijí. Během socialismu se utužovalo vědomí systematickým nadřazováním významu regionu, zdůrazňováním cti a hrdosti k fyzické práci horníků. Důkazem této politiky byly vyšší mzdy, rychlejší přiřazování bytů, materiální výhody apod. Takové výhody byly běžnou součástí života v těchto lokalitách. Jednalo se o jakýsi "státní úplatek" za všeobecnou devastaci kulturního a sociálního prostředí v oblasti a neřešení ekologické zátěže spojené s intenzivní důlní expanzí.

Nabízí se otázka, zda v dnešní hektické době má smysl upevňovat něco, jako je sociální ukazatel typu regionálního vědomí a to i kontextu akcentace na individualismus při způsobu života naší společnosti. Navíc převádět tuto snahu do regionů, kde se nelze v krátkém časovém horizontu vyrovnat s dědictvím minulosti. Zahraniční zkušenost však ukazuje, že je to smysluplné a dokonce nutné pro rozvoj, neboť pouze návrat ke kořenům regionálního a národního dědictví je cesta k nastolení mravních a vzdělávacích principů. S tím přichází i potřeba nastolení sociálního systému, který umožní důstojný život pro všechny obyvatele regionu.

Předpokladem je fungující veřejná správa a ochota alespoň části obyvatel upevňovat občanskou společnost. Inspirací můžou být lokality z Porúří v Německu nebo Limburgu v Nizozemí, kde se realizoval rovněž útlum těžby ve velkém měřítku.

Posílení regionálního vědomí je tedy důležitým motorem při hledání sebedůvěry, pocitu sounáležitosti a zodpovědnosti za místo, ve kterém žijí, pracují a mají k němu vztah. Zároveň pomáhá k akceptaci často nelibivých ekonomických změn, které ale časem vedou k optimálnímu rozvoji regionu a života obyvatel. [4]

Aby došlo k sociální i ekonomické revitalizaci, je nutný i aktivní přístup státu. Jmenovitě, přesné definitivní stanovení verze energetické politiky a to ve vztahu k ekologické zátěži, dopravní obslužnosti, ale i směrem k využívání brownfieldů k průmyslové a komerční činnosti všeobecně, než zástavbou tzv. zelených luk, kterých je pro aktivní zemědělskou produkci v dané lokalitě již tak nedostatek. Nesmí se opomenout ani otázka odpadového hospodářství, půdní eroze atd. Shrňme-li, je nutné formulování vize a zájmu regionu,

strategické rozvojové cíle a definovat přesnou strategii hnědouhelného průmyslu včetně souvislosti s limity těžby.

V ideálním případě by revitalizace napomohla proti vyliďňování venkova, ve všech zmíněných faktorech je však důležitá úloha regionálních orgánů a jejich profesionality i zájem státu na jejich preferencích. Jedná se o faktory, jejichž určení je nutné činit z regionální úrovně, nikoliv plošnými nařízeními, které se mohou častokrát míjet účinností.

5 Potenciál do budoucnosti

Tato kapitola se věnuje rozvoji Mostecka ve dvou odvětvích na základě SWOT analýzy. Jednotlivé body jsou dále rozepsány a je zde obsažen i názor autora.

Tabulka 3: SWOT analýza potenciálu lokality

SWOT analýza	
SILNÉ STRÁNKY	SLABÉ STRÁNKY
Nižší náklady	Nízká kvalifikovanost
Geografická poloha	Nedostatečná propagace
Objekty a služby CR	jazyková kompetence
PŘÍLEŽITOSTI	HROZBY
Zahraniční klientela	Politické změny
Destinační management	Pomalá reakce orgánů VS
Revitalizace	Konkurence velkých destinací

zdroj:vlastní

5.1. Výrobní průmysl

Velkým potenciálem pro přesun kapitálu z přelidněných center je nižší cena za nemovitosti, pozemky, nájemné i služby. Výhoda levnější pracovní síly kvůli vysoké nezaměstnanosti může být také zajímavým faktorem pro přesun. Nevýhodou je, že po určitou dobu se nebude jednat o sílu kvalifikovanou. V tomto směru lze aktivně zapojit mechanismy veřejného sektoru.

5.2. Cestovní ruch

Ačkoliv by se tak nemuselo zdát, i tato oblast má potenciál i v budování cestovního ruchu, který by poskytl další možnosti rekultivace a rozvoje regionu. Z poslední doby si mnozí vzpomenou na seriál Most, který byl produkován Českou televizí a jehož několik dílů dokázalo uchvátit celý národ. Reakce na sebe nenechala dlouho čekat. Most a zvláště natáčecí lokality zažívaly velký rozmach, který však brzy opadl. O Mostu a celém okolí se tedy ví, nicméně na seriálovém účinkování se nedá stavět udržitelnost cestovního ruchu v oblasti do té doby nerozvinuté.

Most a Mostecko mohou nabídnout již nyní velké spektrum služeb a aktivit spojených s cestovním ruchem a navázanými službami. V samotném městě je to nejznámější objekt, s nímž se váže na tehdejší dobu náročný přesun o téměř 850 m od zamýšlené lokality těžby -

Kostel Nanebevzetí Panny Marie, nad městem poté tyčící se hrad Hněvín. Pro vyznavače sportu je zde Hipodrom nebo Golfové hřiště, oboje vystavěno na rekultivované Velebudické skládce na jižním okraji města. Dále se zde nachází autodrom Most s dlouhou závodní historií a v návaznosti na rekultivaci a zatopení povrchových dolů, vzniklá jezera. Jmenovitě jezero Matylda s okružní cyklostezkou a Inline dráhou, sportovně rekreační areál Benedikt nebo největší jezero Most, které se nachází přesně v místě bývalého historického města. V širším okolí města je možné navštívit poté zámky, vyhlídky a dokonce i vinice, které vznikly také díky rekultivaci některých důlních výsypek. Největším potenciálem je poté blízkost Krušných hor a Českého středohoří.[8]

Na základě výše jmenovaného lze tvrdit, že s kvalitní propagací lze již nyní (během procesu revitalizace) nabízet lokalitu jako cílovou destinaci cestovního ruchu. O to se také snaží krajská veřejná správa pomocí nástroje propagace oblastních destinačních agentur. Ústecký kraj je dělen na 4 destinační oblasti. V jedné z nich je zahrnuto i Mostecko. Všechny lokality mají vlastní webovou prezentaci a jsou zaštiťovány sdružujícím webem s názvem "Brána do Čech". Ten má působit jako první rozcestník při návštěvě Ústeckého kraje.

Přesto lze říci, že jsou dosavadní úkony stále nedostačující. Město a lokalita by se měla zabývat i vlastní prezentací, případně podnítit vznik místní destinační agentury pro Most a okolí. Při tomto tvrzení se vychází z faktu, že všechny prezentace oblastí v rámci webu "Brána do Čech" mají stejnou úroveň, ačkoliv jsou mezi nimi značné rozdíly. Například České Švýcarsko má odlišnou výchozí situaci než Krušnohoří, které zahrnuje i oblast Mostu. Naopak okolí Mostu směrem do vnitrozemí už spadá zase do jiné oblasti propagace (České středohoří).

Poslední roky prochází i cestovní ruch řadou změn a příležitost dostávají i dříve neobjevené destinace, častokrát zaměřené i na technickou stránku lokality. V tomto může Mostecko znovu bodovat a stát se díky svému zázemí a případným prohlídkám důlní techniky a všeobecně pracovních postupů zajímavým cílem pro návštěvníky vyhledávající tato odvětví.

Bezesporu velkou výhodou je i příhraniční poloha a možnost cílení i na zahraniční, v tomto případě německou, klientelu. Dopravní dostupnost je pro tyto účely dostatečná. V tomto kontextu lze vynést i možnost cílení na vícedenní pobyty, které lze nabízet během letní i zimní sezony. Aby bylo možné tento záměr realizovat, je v tomto směru nutné cílit i na jazykovou otevřenost jednotlivých poskytovatelů služeb cestovního ruchu, tedy jazykovou gramotnost zaměstnanců, kteří přicházejí do kontaktu se zahraničními návštěvníky. Samozřejmě součástí této podmínky a nároků na zaměstnance je i dostatečné platové ohodnocení, což v cestovním ruchu bývá často problematické.

Otázkou tedy zůstává, zda by se Mostecko nemělo prezentovat jako samostatný útvar, který by sdružoval čistě oblast spojenou s těžbou a následnou rekultivací. Je tedy důležité stále podporovat propagaci regionu, neboť přidanou hodnotu a ekonomický motor mu může poskytnout i právě cestovní ruch a udržitelné projekty v tomto oboru. [7]

Závěr

Tato esej shrnula sociální a ekonomickou stránku přesunů v rámci Mostecká, a to i v historickém kontextu, který je důležitý pro pochopení všech okolností. Zároveň navrhuje některá možná řešení k nastartování regionu a to na principech udržitelného rozvoje.

Jak bylo možné se dočíst, tato část naší země má opravdu pohnutou minulost, která dohání obyvatele i v dnešní době. Bude pravděpodobně ještě otázkou mnoha let a možná i desetiletí, než se důsledky jedné konzumní socialistické ideje napraví. Ačkoliv ekologické a ekonomické prostředí se začíná postupně vylepšovat, ztracené historické hodnoty již nikdo nikdy nenahradí. Nejen architektonicky cenné území, které by si nezaslalo hodnotou například s Libercem nebo Olomoucí by dnes zajisté bylo zajímavým a vyhledávaným místem s ohromným potenciálem. Jisté je v tomto kontextu jedno. Nikde na našem území, ani ve světě, nemá takovýto čin obdoby, z hlediska kulturního se jedná o naprosté barbarství. Pro lepší představu čtenáře je doporučeno vyhledání dobových snímků z Mostu, aby bylo možné posoudit osobně architektonické a historické kvality starého města.

Úplným závěrem ještě jedna zajímavost. Konec města Most měl být předpovězen už o několik století dříve. Mělo se tak údajně stát během věznění magistra E. Kellyho na hradě Hněvín nad městem. Kelly údajně proklel hrad i město, aby zmizely z povrchu zemského za příkoří, kterých se mu zde dostalo. Ve výsledku se tak i stalo. Hrad zmizel během třicetileté války a byl obnoven až na přelomu 19. a 20. století a jak to bylo s městem, to bylo popsáno již dostatečně. Že by tedy socialistický záměr byl pouze nástrojem msty magistra Kellyho? [2]

Literatura

- [1] ČERVENKA, Jaroslav. Posouzení správnosti likvidace starého Mostu v rámci těžby hnědého uhlí, 2000, Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, Ostrava [online]. [cit. 2019-04-18]. Dostupné z: <http://starymost.web2001.cz/>
- [2] Město Most, *Alchymista E. Kelly na hradě Hněvín*. [online]. [cit. 2019-04-18]. Dostupné z: <http://www.mesto-most.cz/alchymista-edward-kelley-na-hrade-hnevin/d-3904>
- [3] *Osud Mostecka: člověk a životní prostředí včera a dnes : sborník odborných prací*. Most: Okresní muzeum. Most, 1996, 339 s.
- [4] *Sociální potenciál v sociologické reflexi: sociální potenciál starého průmyslového regionu - případ Mostecka*. Editor František ZICH. Ústí nad Labem: Univerzita Jana Evangelisty Purkyně, 2010, 186 s. . Acta Universitatis Purkynianae, 162. ISBN 978-80-7414-297-0.
- [5] SPURNÝ, Matěj. *Most do budoucnosti: laboratoř socialistické modernity na severu Čech*. Praha: Univerzita Karlova v Praze, nakladatelství Karolinum, 2016, 287 s. ISBN 978-80-246-3332-9.
- [6] ŠTÝS, Stanislav. *Mostecko - země znovuzrozená: Die Region Most - ein wiedergeborenes Land = The region of Most - a new born landscape*. Most: Ecoconsult Pons, c2000, 31 s.
- [7] Ústecký kraj, *turistický informační portál "Brána do Čech"*. [online]. [cit. 2019-04-18]. Dostupné z: <http://www.branadocech.cz/>
- [8] *Vítejte na Mostecku*. Most: Okresní úřad v Mostě, referát regionálního rozvoje na podporu cestovního ruchu, 1999, 30 s.

Financování jezdeckého sportu

Jana Košťálová

Sekce – EKONOMIKA,

Fakulta ekonomická, 2.ročník

Bakalářský studijní program – PODNIKOVÁ EKONOMIKA

Abstrakt: Tato práce se zabývá možnostmi financování jezdeckého sportu. Snažila jsem se poukázat na finanční náročnost tohoto sportu a velmi obtížné financování cizími zdroji.

Klíčová slova: jezdecký sport, finance, finanční náročnost

1 Úvod

Cílem této práce je poukázat na finanční náročnost jezdeckého sportu a představení možností jeho financování. Hlavním smyslem je poukázání na vrstvu společnosti, která se v jezdeckém sportu pohybuje, a zda se může prosadit talentované dítě bez dostatečného finančního zázemí. Z jezdeckého sportu se zaměřím pouze na disciplínu parkurové skákání, které je v dnešní době velice populární. Zvyšující se zájem o tento sport lze přisuzovat růstu ekonomiky, kterému mimo jiné přispěla Česká národní banka intervencemi na devizovém trhu.

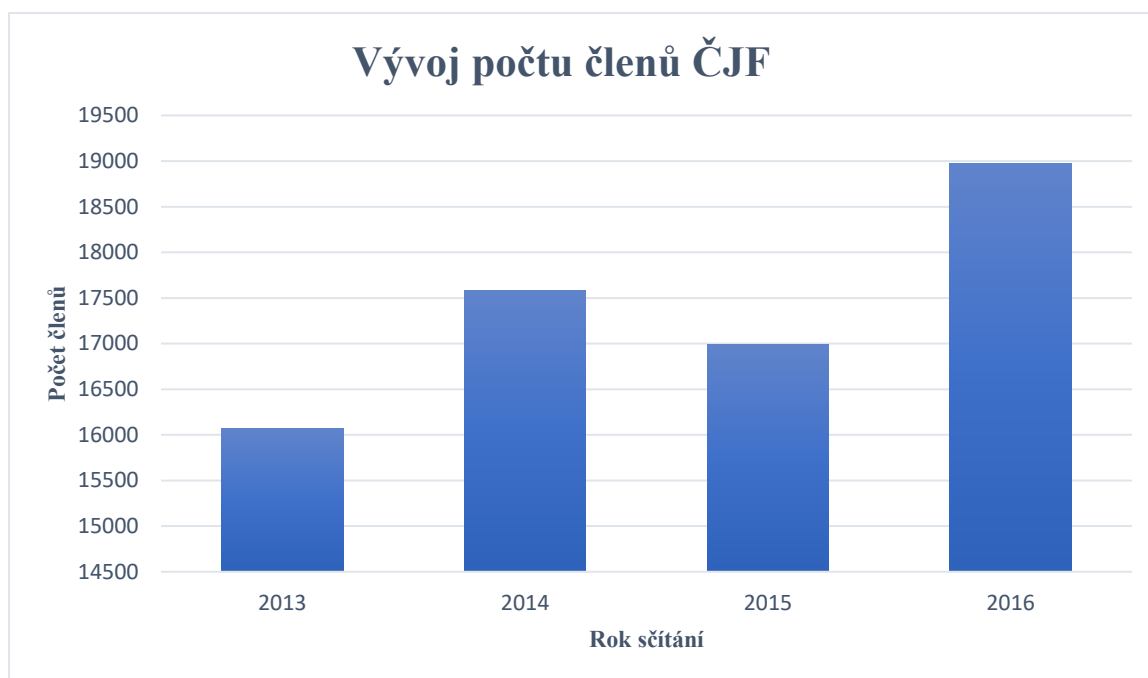
2 Rozvoj jezdeckého sportu

Sport je v dnešní době velice populární, ale neobejde se bez finanční podpory a v jezdeckví to platí bez kompromisů. Výše výdajů na jezdecký sport se stejně jako v jiných sportech podstatně liší podle úrovně. Tato práce se zaměřuje na financování parkurového skákání na závodní úrovni.

Počátek jezdeckého sportu je v České republice datován od založení jezdeckého spolku pražského Sokola v roce 1891. Velký rozdíl oproti dnešní době byl, že dříve koně patřili státu. Za dob komunismu lidé nemohli vlastnit svého koně, ani provozovat podnikatelskou činnost. Po pádu komunismu sametovou revolucí 17. listopadu 1989 a začátkem demokracie se začal rozvíjet jezdecký sport tak, jak ho známe dnes.

Od roku 2008 je jezdecký sport svědkem výrazného růstu zájmu o tento sport, a to ve všech disciplínách. Jezdecký sport zahrnuje celkem 7 základních disciplín – parkur, drezuru, všestrannost, spřežení, voltiž, reining a endurance (vytrvalost). Parkurové skákání je momentálně nejpopulárnější disciplínou v České republice. Ve srovnání s ostatními disciplínami tvoří 80 % z celkového počtu startů.

Nárůst je patrný i v počtu koní v České republice. Jak uvádí ministerstvo zemědělství, za posledních 10 let se množství těchto zvířat více než zdvojnásobilo. Aktuálně se na našem území nachází dokonce více než 85 tisíc koní. Nárůst je možno vidět jak u počtu startů, kde celkový počet vzrostl o téměř 300 startů oproti předešlému roku, tak i v počtu členů České jezdecké federace. (Viz Obrázek 1: Vývoj počtu členů ČJF)



Obrázek 1: Vývoj počtu členů ČJF
(Zdroj: vlastní)

3 Finanční náročnost

Před uvedením možností financování jezdeckého sportu, je nutné upřesnit, jak nákladný tento sport je. Částky se nedají vyčíslit v úplné přesnosti, ceny koní jsou velmi individuální a velikost režie záleží na požadavcích majitele. Proto jsou zde uvedeny průměrné náklady na koupi koně a nákladů spojených s reží. Pokud se jezdec věnuje parkurovému skákání na evropské úrovni, potřebuje na sezónu více koní, více vybavení, více členů týmu... Následné výdaje jsou vyčísleny v předpokladu jednoho koně. Dále se předpokládá, že jezdec již úspěšně absolvoval zkoušky základního výcviku, což je výchozím předpokladem pro získání jezdecké licence. Ta je nejen podmínkou pro účast v soutěžích na oficiálních závodech, ale také podmínkou pro eventuální následné zvyšování kvalifikace v jezdeckém sportu. Přibližné náklady se pohybují kolem 900 Kč až 1000 Kč.

a) Počáteční investice

Jak už bylo uvedeno, cena koně je velice individuální věc. Pokud má kůň dobrý původ, cena roste. Pokud je zákazníkem bohatý člověk, prodejce tomu také přizpůsobí cenu. V České republice se nákup kvalitního koně do vysokého sportu pohybuje okolo 5 milionů korun.

Vybavení se může zdát v tomto porovnání jako zanedbatelná částka, ve skutečnosti tomu tak není. Zde je přehled základního vybavení koně a jezdce. V tabulce jsou uvedeny průměrné ceny vybavení, které jsou použity z velmi oblíbeného obchodu pro jezdecké potřeby Equiservis (Tabulka 1: Přehled cen vybavení), značky jsou vybrány podle oblíbenosti na trhu.

Skokové sedlo (Prestige)	80 000 Kč
Uzdečka (Kentaur)	3000 Kč
Kloubové chrániče nohou (Kentaur)	6000 Kč
Podsedlová dečka, beránek (Equiline)	4000 Kč
Podbřišník (Kentaur)	2 850 Kč
Deky (výběhové, stájové)	8000 Kč

Helma (KEP)	20 000 Kč
Jezdecké boty (DeNiro)	15 000 Kč
Jezdecké kalhoty (Pikeur)	4 000 Kč
Jezdecké sako (Pikeur)	5000 Kč
Třmeny (Free Jump)	6 875 Kč

Tabulka 1: Přehled cen vybavení

Zdroj: www.equiservis.cz

Pořizovací cena se vyšplhala na částku 5 152 725 Kč, a to nelze opomíjet běžnou režii.

b) Režie koně, týmu

Každý, kdo vlastní nebo vlastnil jakékoliv zvíře ví, že režie je mnohdy daleko nákladnější, než samotný nákup. Ustájení koně se v České republice pohybuje kolem 10000 Kč za měsíc, krmení je opět velmi individuální, ale sportovní koně potřebují celou řadu doplňků a jedná se tedy zhruba o částku 5000 Kč na měsíc. Dále je potřeba zahrnout plat ošetřovatelky a trenéra, zhruba 50 000 Kč na měsíc. Pokud kůň sportuje, je velká pravděpodobnost nějakého zranění, musíme tedy započítat i náklady na veterináře, v průměru přibližně 2000 Kč na měsíc. Konec se musí kovat každých 6-8 týdnů, okování všech čtyřech nohou stojí přibližně 3000 Kč. Celkem se jedná o částku 70 000 Kč za měsíc.

c) Režie na závodech

Poměrně velké navýšení nákladů přichází, pokud se jedná o závody. Je nutné zahrnout cenu dopravy, pokud jezdec nemá vlastní, platí částku 20 Kč/km. Ustájení koní se pohybuje ve výši 1000 Kč na den, záleží tedy jak dlouho bude jezdec na závodech. Průměrná cena za jeden start je 500 Kč, přičemž může kůň absolvovat maximálně dva starty za den. Ubytování, pokud jezdec nevlastní kamión, se pohybuje v částkách od 500 Kč do 1000 Kč/noc v areálu pořadatele závodů. Celkové náklady tedy přibližně činí 4000 Kč za 1 den/ 1 kůň/ 1 jezdce včetně dopravy.

Z výše uvedených částek je zřejmé, že finanční náročnost jezdeckého sportu je opravdu enormní. Proto je nutné objasnit možnosti jeho financování.

4 Možnosti financování

4.1 Česká jezdecká federace (ČJF)

Česká jezdecká federace je organizace, která vznikla 12. června 1990 a zastřešuje jezdecký sport v České republice pro disciplíny skoky, drezura, všestrannost, spřežení, voltiž, reining, vytrvalost a parajejdeckví. Česká jezdecká federace je vnitřně členěna do 12 oblastí. Na úroveň oblastí jsou delegovány kompetence především související s výchovou talentů a organizací jezdecké činnosti vůbec. Níže jsou uvedeny možné způsoby podpory od jezdecké federace.

a) Reprezentace

Jedním ze základních možností financování jezdeckého sportu je stát se členem reprezentačního družstva České republiky. Nominace přichází od českých trenérů, kteří se pohybují po celý rok na závodech a mají možnost vidět talentované dvojice (kůň + jezdec) v průběhu celé sezóny. Tyto návrhy na nominace posoudí a potvrdí hlavní trenér českých reprezentantů - německý trenér Tjark Nagel. Pro dvojici to neznamena nějaký velký finanční podíl na sezónu, má proplacené zimní soustředění SCM, o kterých se zmíním v další kapitole. Dále česká jezdecká federace proplácí mezinárodní starty například v soutěžích Pohárů národů. „Podpora od české jezdecké federace není až tak úžasná, jak se může zdát. Největší přínos vidím v možnosti trénování s mezinárodními trenéry,“ uvedla česká juniorská reprezentantka Linda Portychová.

Finanční odměnu je možno získat za úspěšnou reprezentaci ČR na mezinárodních jezdeckých závodech. Velikost peněžní odměny se liší podle druhu soutěže a umístění. Jako příklad si je možné uvést Olympijské hry, kde jsou finanční odměny pochopitelně nejvyšší.

1. místo	50 000 Kč	Konto na výjezd	100 000 Kč
2. místo	40 000 Kč	Konto na výjezd	80 000 Kč
3. místo	30 000 Kč	Konto na výjezd	60 000 Kč
4. – 10. místo	20 000 Kč	Konto na výjezd	20 000 Kč

Tabulka 2: Finanční ocenění na Olympijských hrách

Zdroj: www.cjf.cz

Konto na výjezdy představují finanční prostředky vázané na proplacení řádně zúčtovatelných nákladů sportovce.

b) Sportovní centrum mládeže (SCM)

Jedná se o program zařazený do systému přípravy talentované mládeže se státní podporou, výběr se týká věkových kategorií od 8 do 21 let. Účastníky SCM vybírají jmenovaní trenéři na základě výsledků v celé jezdecké sezóně. Výběr účastníků se dělí do skupin A a B, které se liší velikostí finanční podpory. Být členem tohoto centra znamená pro dvojici pravidelnou účast na tréninkových dnech a absolvování kontrolních závodů.

Tréninkové dny znamenají, že se členové SCM sejdou v předem stanoveném jezdeckém areálu. V současné době se jedná o jezdecké centrum Zduchovice. Dvojice zde stráví prodloužený víkend pod vedením hlavního trenéra Tjarka Nagela. Jedním z cílů SCM je dlouhodobá příprava jezdců směřující k zařazení do reprezentačního výběru dané disciplíny a kategorie. Být zařazen do SCM je velmi zajímavé nejen z finančního hlediska.

Dvojice mají soustředění hrazené, ale mnohem větším přínosem je možnost trénovat s takto úspěšným trenérem, se kterým by se jinak neměli možnost setkat. Tento model také pomáhá k rozvoji vzdělanosti trenérů v České republice, zahraniční trenéři předávají své know-how našim trenérům přímo při práci s mladými jezdci.

Obecně lze říci, že podpora v České republice od České jezdecké federace je téměř nulová v porovnání se zahraničím. Lze to přikládat poměrně novým způsobům získávání objemu peněz do České jezdecké federace. Pro porovnání v roce 2010 tvořil celkový výsledek hospodaření České jezdecké federace 1 362 729 Kč, v roce 2011 se jedná o částku 2 000 853 Kč. Postupný vzestup je zřetelný, však stále nekonkurenceschopný zahraničí. Proto je nutné uvést další možnosti financování.

4.2 Sponzoring

a) Tvář určité značky

Být tvář určité značky je velmi častý druh podpory, kdy talentovaní sportovci dostávají zdarma produkty určité značky například Longines, Premin, Litex for riders, Galante a ty poté propagují. Určitě se jedná o důležitou podporu, a to už kvůli částce potřebné na vybavení, které nám značky jako Galante nebo Litex for riders poskytnou. Možnost provozovat jezdecký sport nám to však nezajistí.

b) Profesionální jezdec

Za předpokladu potenciálního a zkušeného jezdce je možnost jezdit koně pro jejich majitele. Aby se však jezdec stal zkušeným a profesionálním jezdcem je „běh na dlouhou trať“, na začátku své cesty potřebuje finanční podporu od rodičů či sponzorů. Příkladem jsou dva úspěšní

čeští reprezentanti parkurového skákání, kteří na počátku své cesty dostali finanční podporu od rodičů, svou pílí se vypracovali na světovou úroveň a nyní jsou profesionálními jezdci.

4.2.b.1 Zuzana Zelinková

Zuzana Zelinková je jedna z nejúspěšnějších českých parkurových jezdkyň. Jezdí koně pro Olgu Plachou (stávající prezidentku České jezdecké federace), společnost DANOLI, a.s. a LICA servis s.r.o. Zuzana se dostala mezi nejlepší české jezdce právě zásluhou Plaché, která založila spolek Jumping team For Pleasure, který vznikl na základě její iniciativy s cílem propagovat talentované sportovce, podporovat výcvik mladých koní, účastnit se závodů na českých i mezinárodních kolbištích. Spolek nese název For Pleasure, což podle jejich slov vyjadřuje její vztah ke koním.

4.2.b.2 Aleš Opatrný

Aleš Opatrný je nejlepší český parkurový jezdec. Do povědomí veřejnosti se dostal především díky spolupráci s Petrem Kellnerem a účastí na prestižním seriálu závodů Global Champions League. Na jeho kariéře je možné představit, jak je těžké udržet si podporu majitelů koní.

Jak je situace složitá, lze vidět na odchodu Aleše Opatrného z družstva Prague Lions, kterého na sezónu 2019 vystřídali jezdci Marc Houtzager, dále Belgičan Wilm Vermier a Němec Marco Kutsche.

V roce 2016, když Anna Kellnerová začínala soutěžit v rámci Global Champions League, její otec Petr Kellner vzal do týmu Aleše Opatrného. Dostal skvělé podmínky, koně světové úrovně, a to vše proto, aby připravil koně pro jeho dceru a předal jí své zkušenosti. Už na konci sezóny 2017 Anna Kellnerová začala závodit na valachu Balguero, kterého Aleš Opatrný připravoval, dostavily se první úspěchy a do týmu se začali dostávat nejlepší jezdci světa. Na konci 2018 Aleš Opatrný ukončil svoji působnost v Prague Lions a Petr Kellner přestal se sponzoringem. Není přesně stanoven důvod, ale kvůli vývoji celé situace, se dá předpokládat, že nyní už je Anna Kellnerová natolik zkušená a tým Prague Lions už má tak kvalitní jezdce světové úrovně, že Aleš Opatrný už není TOP 1.

5 Kdo se pohybuje v jezdeckém sportu

Z kalkulací, které jsou uvedeny v předchozí kapitole, je jednoznačně vidět, že jezdeckví je velmi nákladný sport. Z odpovědi na otázku, kdo se pohybuje v jezdeckém sportu, je zřejmé, že se jedná o velmi majetné podnikatele. Otázkou zůstává, proč se rozhodli právě pro jezdecký sport, a ne pro jiný nákladný sport jako je například jachting.

5.1 Proč se věnují právě jezdeckému sportu?

Na tuto otázku zřejmě není jednoznačná odpověď. Jako důvod lze zmínit světový seriál Global Champions Tour, jehož finálové kolo se díky Petru Kellnerovi a jeho obrovským finančním přirázkám konalo v prosinci 2018 v pražské O2 aréně, je zřejmé, že se v podstatě jedná o seriál závodů pro „smetánku“. Ve startovním poli najdeme slavná jména jako Jessica Springsteen, Jennifer Gates, Athina Onassis, Anna Kellnerová. Jedná se o dcery miliardářů nebo o arabské šejky. Nabízí se otázka, zda jde ještě o sport, nebo jen o ukázkou bohatství? Jako příklad lze uvést velmi mediálně propagovaný nákup klisny Catch me if you can, kterou Petr Kellner pořídil své dceři na konci roku 2018 za neuvěřitelných 250 miliónů eur.

V současné době, při velké popularitě tohoto sportu, se jedná i o formu reklamy.

6 Ceny koní

Tato kapitola je věnovaná cenám koní, proč jsou ceny tak vysoké a jestli takovou cenu opravdu mají. Pro zajímavost je zde ukázka nejdražších koní světa.

6.1 Proč jsou ceny tak vysoké?

Cena koní se odvíjí od fungování ekonomiky a poměru nabídky a poptávky. Díky ekonomickému růstu se ceny v posledních letech vyšplhaly až do stovek miliónů korun.

Nejprve je důležité definovat, jaká je skutečná hodnota koně, pro posouzení, zda je tato částka reálná či ne. Na začátku je nutné předpokládat, že jsme vlastníci chovné kobyly. Náklady na připuštění a péči až do porodu se běžně pohybují ve výši 70 000 Kč. Dále se cena skládá z nákladů na péči a výcvik hříběte až do jeho 5 - 6 let věku, kdy je kůň připraven začít se svou sportovní kariérou. Hodnota takového koně se pohybuje v rozmezí 500 000 - 700 000 Kč. Pokud je kůň pořízen v jeho nejlepších letech, což je mezi 8.-9. rokem, cena se zvedne o další náklady, které už jsou zde uvedeny. Obecně se dá říci, že režie průměrného koně v tomto věku se pohybuje kolem 1 000 000 Kč, o zbytku ceny se dá hovořit jako o zisku. Je nutné si však uvědomit, že ne každý kůň je vhodný do vysokého sportu a lze ho prodat za „velké“ peníze. Ty nejdražší koně světa pocházejí z chovů, kde se výběr selektuje z množství až 2000 koní. Procento úspěšnosti se pohybuje kolem 0,5 %. Proto jsou prodejní ceny takových koní navýšené i o „nepovedená“ hříbata.

Ceny se odvíjí od poptávky, jak je vidět na ceně klisny Catch me if you can, o které byla zmínka v předešlé kapitole. Částka se vyšplhala na tak vysokou hodnotu kvůli souboji mezi Petrem Kellnerem a Billem Gatesem. Oba chtěli klisnu pro své dcery, Petr Kellner však Billa Gatese přeplatil o téměř 4 milióny eur. Zde je vidět, že cenu neovlivňuje pouze kvalita koně, ale vliv má také prestiž chovatele, hodnota majetku kupujícího a rodokmen koně. Cenu je možné až zdvojnásobit, pokud otec prodáváného koně byl velmi úspěšný ve sportu a má již také další potomky s výbornými výsledky.

6.2 Nejdražší koně světa

V tomto případě platí nepsané pravidlo, že špičkoví mezinárodní jezdci ty nejlepší koně vlastní jen výjimečně, neboť majiteli jsou nejbohatší lidé světa. Není neobvyklé, že špičkového parkurového koně vlastní i více společností či majitelů. V jezdecké oblasti se objevují i známé osobnosti jako Bruce Springsteen, Bill Gates a již zesnulý Steve Jobs, jejichž dcery mají k dispozici nejdražší koně světa.

Zde je ukázka nejdražších známých koní světa, částky se často neuvádí, spíše se odhadují.

- a) Valach Palloubet d'Halong byl koupen roku 2015 za 342 miliónů Kč katarským národním týmem. Jedná se o nejdražšího parkurového koně v historii.
- b) Klisna Dunstan Delphi byla prodána jezdecké federaci Saudské Arábie za 230 miliónů Kč.

7 Závěr

Jezdeckému sportu se aktivně věnuji už pět let, proto jsem si vybrala toto téma. V průběhu celého roku se setkávám s kontrastem bohatých potomků a talentované mládeže, kteří nemají zdaleka takové podmínky, jaké mají právě jejich „bohatí“ soupeři. Toto mě dovedlo k zájmu o možnosti financování jezdeckého sportu a zda lze uspět bez finanční podpory rodičů. Na základě vypracování této studie mohu konstatovat, že finanční podpora od České jezdecké

federace je téměř nulová, což mě poměrně negativně překvapilo. Získání a udržení podpory sponzorů je velice obtížné a zdaleka nepokryje ani poměrnou část nákladů na provoz. Z vlastní zkušenosti vím, jak velmi nákladný tento sport je, avšak nyní po důkladném prostudování celé problematiky si mnohem více uvědomuji, že bez podpory rodičů, alespoň v začátcích, není možné uspět a velmi si vážím svých rodičů za obrovskou finanční podporu, které se mi dostává.

Zdroje:

- [1] BLAŽEK, Martin. Vývoj jezdeckého sportu v letech 2002 - 2017. *Jezdecký informační systém ČJF* [online]. 6.9.2018 [cit. 2019-03-23]. Dostupné z: https://www.jezdectvi.org/clanek/statistika-vyvoj-jezdeckeho-sportu-v-letech-2002-2017?fbclid=IwAR1dBae5btZlSbv1Ej81YBV3_97MURE4j0bRTyAXKQ-mNJNFt0pANbgx12M
- [2] *Bohemia Energy* [online]. [cit. 2019-03-23]. Dostupné z: <https://www.bohemiaenergy.cz/o-spolecnosti/>
- [3] Česká jezdecká federace. *Jezdecký informační systém ČJF* [online]. 8.11.2016 [cit. 2019-03-23]. Dostupné z: <http://www.cjf.cz/files/stranky/dokumenty/fineko/finance-a-ekonomika/2016/5.1.1%20Odměny%20reprezentace.pdf>
- [4] Forbes: 80 nejbohatších Čechů 2018. *Forbes* [online]. 2018, 1.9.2018 [cit. 2019-03-23]. Dostupné z: <https://miliardari.forbes.cz>
- [5] Zuzana Zelinková [online]. [cit. 2019-03-23]. Dostupné z: <http://www.zuzanazelinkova.cz/cs/index.php?pg=teamforpleasure>
- [6] *Jezdecké potřeby - Equiservis* [online]. Praha, 1993 [cit. 2019-03-24]. Dostupné z: <https://www.equiservis.cz/>
- [7] SPIWOKOVÁ, Lucie. Škatulata v Global Champions: Kam se poděli Pražští lvi. *Jezdci.cz* [online]. 22.2.2019 [cit. 2019-03-24]. Dostupné z: <http://www.jezdci.cz/clanky/skatulata-v-global-champions-aneb-kam-se-podeli-byvali-prazsti-lvi/?fbclid=IwAR0JbcRE7xUZPjAEPgiROJwBjl1l1BCQ2B1vB58U7pwqr4KzSSjrzIR68GE>

OBEZITA

Liptáková Barbora

Sekce - EKONOMIKA,

Fakulta ekonomická, 2. ročník

Bakalářský studijní program – EKONOMIKA A MANAGEMENT MEZINÁRODNÍHO
OBCHODU

Abstrakt: Obezita se stává stále větším problémem dnešní společnosti. Už nyní lze říci, že se nachází na počátku celosvětové pandemie. Množství populace s nadváhou neustále stoupá a také dochází k růstu objemu pacientů bojujících s nadváhou. Proč to tak ale je? Dá se tomu předejít? Cílem této práce bude najít odpověď na tyto otázky. Hlavním subjektem pozorování bude Česká republika a cílem bude zjistit, jak je na tom v porovnání se světem. Práce se bude zkoumat, proč lidé upřednostňují koupi nezdravých potravin před jejich zdravějšími variantami, dále jejich motivaci k požívání těchto nezdravých potravin a jak nebo zdali vůbec lze předejít obezitě. Také se zaměří na způsoby, kterými se snaží bojovat proti obezitě stát, zavedením různorodých opatření.

Klíčová slova: obezita, fastfood, cena, nabídka, regulace

1 Obezita

Obezita je onemocnění, které primárně vzniká nepoměrem mezi příjmem a výdejem energie. Jakmile tělesný tuk nahromaděný v těle přesáhne u žen hranici 30 % a u mužů 25 %, dostávají se do ohrožení života. Komplikace způsobené tímto onemocněním výrazně zkracují délku života. Faktorů, které se podílejí na vzniku obezity, existuje hned několik. Jedním z nich je například genetická dispozice. Je až 80% šance, že dítě s obézními rodiči bude trpět stejným problémem. Mezi další faktory patří i hormonální nebo metabolický vliv, užívání některých léků, dokonce i silně emoční situace a mnoho dalších psychogenních faktorů.

1.1 Obezita v České republice

Dnes už každý druhý člověk a téměř každé šesté dítě trpí nadváhou nebo obezitou. I když si nejen Češi tento fakt nechťejí přiznat, stále více se začínají přibližovat Američanům. USA má obrovský vliv na Evropu hlavně v oblasti fastfoodu, avšak tento trend už dávno není jen jejich záležitostí. Více než polovina české populace trpí nadváhou, kde téměř 30 % lze považovat za obézní. (viz např. dennik.cz [1])

Více než 20 % dospělých žen v České republice trpí obezitou, a nadváhu má více než 50 %. Muži jsou na tom překvapivě ještě hůře. Data u mužů zachycují obezitu u přibližně 25 % a téměř 70 % má nadváhu, což není málo. Jsou to překvapivá čísla, protože je všeobecně známo, že ženy mají pomalejší metabolismus a vyšší náchylnost k přibírání na hmotnosti. Tento jev může být způsoben větším zájmem žen o zdravější životní styl. Ženy často řeší svůj vzhled a snaží se dosáhnout toho, aby vypadaly co nejlépe, zatímco muži se o svůj zevnějšek až tak nezajímají.

U dětí jsou tato čísla o něco nižší. Dívek s obezitou je v České republice jen kolem 5 %, u chlapců se čísla pohybují okolo 10 %. Nadváhu zachycujeme u 20 % dívek a u téměř 25 % chlapců. (viz např. Worldobesity, 2018 [2])

Tato čísla jsou pro zdravotnictví alarmující, protože jsou opravdu vysoká a očekává se, že budou i nadále stoupat. Za poslední léta Češi přibírají, ale v porovnání s jinými krajinami jsou na tom výrazně hůře. Podle průzkumu IDEA (Institut pro demokracii a ekonomickou analýzu) jsou hodnoty obezity dvakrát vyšší než v Itálii nebo Španělsku, a o více než 50 % vyšší než v západoevropských zemích. Do roku 2030 se očekává růst o dalších 10 - 30 % na celém světě. (viz např. OECD, 2017 [3])

1.2 Obezita, domácí příjem a vzdělání

Obezitu ovlivňuje několik faktorů, jedním z nich je například výše příjmů. V průměru u žen největší problém s nadváhou a obezitou má střední vrstva, kdežto u mužů to vždy neplatí. Ve věku 18 - 34 let a následně nad 65 let se trápí s nadváhou hlavně muži s vyššími příjmy. Naopak u věkové kategorie 45 – 54 muži s nadváhou mají většinou nižší příjmy. Z celkových statistik to však platí stejně jako u žen. (viz např. Worldobesity, 2018 [2]) Platově se do střední vrstvy zařazují například zaměstnanci v bankách nebo IT firmách na běžných pozicích. Tito lidé bývají častokrát hodně vystresovaní, což je jeden z faktorů způsobující přejídání se, a také celý den pouze sedí a jsou bez pohybu.

Rozdíly jsou pozorovatelné i v oblasti vzdělání. U mužů, hlavně u mladší generace, platí, že lidé s nejnižším vzděláním jsou nejhubenější, což je způsobeno pravděpodobně náročností manuální práce, kterou často vykonávají, zatímco ti s maturitou jsou objemnější. U žen si svou váhu nejlépe hlídají ženy s vyšším vzděláním, ale pro změnu nejhůře jsou na tom ženy s nejnižším vzděláním. (viz např. Worldobesity, 2018 [2]) Vzdělané ženy mají často vyšší ambice a úplně jiné zájmy. Jejich cílem je častokrát najít uplatnění v práci a dostat ze sebe to nejlepší, zatímco ženy bez vzdělání trápí to, jak se postarat o domácnost a děti, přičemž mezitím zapomínají na starostlivost o sebe.

2 Fastfood

Slovo fastfood neboli rychlé občerstvení zná pravděpodobně každý. Jsou všude, v každém obchodním centru, na náměstí a dokonce i ve firmách. Ve zrychleném světě je to často první volba stravování. Mnohokrát jsou spojovány právě s nezdravým stravováním, ale je to opravdu tak? Většina Čechů si hned představí řetězce jako McDonald's nebo Burger King. To však není ani zdaleka vše, co je v nabídce. Čím dál tím více se dostává do povědomí zdravý životní styl, a to vede k vzniku nových poboček nabízejících zdravé jídlo. Volba je pouze na spotřebiteli, co si zvolí. Co ale vede zákazníka k rozhodnutí pro formu stravování?

2.1 Oblíbené fastfoody v České republice

Mezi nejlepší fastfoody podle Čechů patří McDonald's, který je nejnavštěvovanější, preferuje ho až 45 % populace, eventuálně má i nejlepší dostupnost v okolí. KFC, které má nejširší nabídku, preferuje 30 % spotřebitelů. Döner kebab, který vyhrává díky cenám, si nenechá odepřít 12 % a Ugo, které nabízí nejkvalitnější jídlo, mají v oblibě jenom 4 % české populace. Paradoxně jenom Ugo má nabídku zdravějších jídel z těchto fastfoodových řetězců.

Přibližně 37 % navštíví fastfood alespoň jednou měsíčně a kolem 8 % se sem chodí najíst jednou za týden. Nejčastěji zavítá do těchto řetězců mladší generace ve věku 15 až 24 let. Starší věková skupina nad 55 let nenavštěvuje fastfoody ve 40 %, u nejmladších chodí do řetězců s rychlým občerstvením 91 %, přičemž průměrný Čech utratí 188 Kč za jednu návštěvu, z čehož ženy utratí přibližně o 30 Kč více než muži. Také platí, že průměrná útrata klesá s vyšším vzděláním. (viz např. mediar.cz [4])

2.2 Zdravé fastfoody

I když jsou fastfoody často spojovány s nezdravou stravou, není to vždy úplně pravda. Český trh nabízí i několik zdravějších variant. Dokonce i například McDonald's má ve své nabídce salát, ovoce nebo wrap, který představuje zdravější formu hamburgeru. Naneštěstí toto jídlo obsahuje i omáčky, které nepatří zrovna mezi nejzdravější, ale snaha se cení. Milovníci zdravého životního stylu nemusí zoufat, protože postupně přibývají i provozovny s ideální nabídkou právě pro ně. Jedna z těchto zdravějších provozoven byla již zmíněna v předchozí podkapitole a tou byla salaterie Ugo. Ta však není jediná. Známa je například i prodejna Vegg Go, kde se dobře nají nejen vegani. Známa bageterie Subway také nezaostala a do své nabídky zařadila i celozrnné bagety. Další bageterie Boulevard nabízí mnohem víc než jenom bagety. Prodávají zde několik druhů salátů, ryby a mnoho dalších vynikajících jídel. Trh se postupně zahlučuje podobnými provozovnami, ale stále jich je mnohem méně než těch nezdravých. Například Vegg Go má jenom 8 provozoven v rámci celé České republiky, což ve srovnání s řetězcem jako je McDonald's, který jich má více než 8 jen v hlavním městě, je málo.

3 Porovnání cen

Z předcházejících kapitol již bylo poukázáno na fakt, že čísla obézních lidí jsou alarmující. Otázka zní, proč i přes to, že trh nabízí možnost vybrat si zdravější jídla, stále spotřebitelé preferují nákup toho méně prospěšného pro naše zdraví. Určitě první problém je dostupnost těchto fastfoodů, je jich málo v porovnání s těmi nezdravými. Všeobecně se také tvrdí, že právě cena je problém. Je to ale opravdu tak?

3.1 Ceny jídla ve fastfoodech

Pro nalezení pravdy se autorka práce rozhodla porovnat 2 nejoblíbenější řetězce v České republice, Ugo a McDonald's. V nabídce obou podniků si autorka vybrala salát Ceasar. Ano, mělo by se jednat v obou případech o zdravou formu stravování, a jedná se také o ten samý produkt, ale přesto zde vzniká problém s tím, že salát v Ugo by si autorka mohla dopřát za 129 Kč, zatímco o 10 Kč levněji si lze dopřát stejný salát v McDonald's. Na první pohled to nemusí být až tak závratný rozdíl, rozhodla se však, že si ho chce dopřát každé pondělí v práci. Za měsíc se jí to vyšplhá na 40 Kč a za rok na 480 Kč, což už je částka, za kterou by si mohla tento salát kupovat o měsíc déle. Pro objektivnější názor si zkusila porovnat menu, která řetězce nabízí. Nejdražší menu v McDonald's by ji vyšlo na 169 Kč, zatímco menu v Ugo se vyšplhá až na 205 Kč. To už dává rozdíl v ceně 36 Kč, což když si ho objedná jedenkrát týdně, za měsíc zaplatí o 144 Kč víc a ročně to následně vychází až na 1 728 Kč. Za tuto sumu by se mohla stravovat nezdravě ještě dalších 2,5 měsíce. Milovníky dezertů taky nepotěší. V McDonald's zaplatí konzument mezi 29 až 55 Kč zatímco v Ugo nejlevnější dezert vytáhne z peněženky 56 Kč. Každý člověk si určitě zváží kolik je vlastně ochoten utratit.

Aby ale nekřivdila autorka práce jenom 2 prodejnám, podívala se i na podniky jako jsou KFC a Vegg Go. V KFC salát Ceasar vyjde na 119 Kč, stejně jako v McDonald's. Společnost Vegg Go nenabízí tento konkrétní salát, ale má v nabídce jiné saláty, kde se cena pohybuje u malého kolem 105 Kč a velký je k dostání za zhruba 140 Kč. V tomto případě by ji vyšlo nejlevněji zajít si do Vegg Go, porce malého salátu má eventuálně 300g, co by mělo běžnému smrtelníkovi stačit. Že bychom měli lidé šanci se stravovat správně? Rozhodla se podívat na menu. Ceny v KFC se pohybují kolem 119 – 209 Kč, Vegg Go v nabídce menu nemá, takže to porovnála s teplým pokrmem, které se pohybuje v cenách 105 až 140 Kč, záleží na velikosti porce. Kdyby si k tomu chtěla jako v rámci obědového menu vychutnat i polévku, ta

by ji stála 40 Kč a celková cena se vyšplhá na 180 Kč. K menu samozřejmě nesmí chybět nápoj, který navýší cenu o dalších 29 - 49 Kč. Konečná suma za jídlo by teda byla 219 – 239 Kč. Bohužel znovu cenově vyhrává nezdravý fastfood. Zachrání ji alespoň cenová nabídka dezertů? Vegg Go nabízí cookies za 29 Kč, zatímco KFC má na výběr muffin za 49 Kč nebo shake za 39 Kč. Sladká odměna se teda vyplatí víc u Vegg Go. Nesmí se ale zapomenout na nabídku McDonald's, kde se dezert cenově pohybuje od 29 Kč stejně jako zdravá cookies. V tomto případě má zákazník ideální stav a je už jenom na něm, pro který se rozhodne, protože cena není určitě rozhodující.

Svým výzkumem autorka zjistila, že se jí víc vyplatí stravovat se v nezdravých fastfoodech. Osobně si myslí, že je to způsobeno nízkou konkurencí a vysokou poptávkou vyvolanou enormní propagací zdravého životního stylu, jehož jsou plná sociální média.

3.2 Ceny potravin

I když už autorka práce ví, že v průměru je levnější stravovat se ve fastfoodech s nezdravou nabídkou jídla, a má svou domněnku proč to tak je, rozhodla se ověřit, jestli tento fakt je pravdou, nebo zda se odvíjí od cen potravin. Pro srovnání si vytvořila jeden zdravý a jeden nezdravý jídelníček na den.

Začala s analýzou cen u zdravé stravy. Řekla si, že začne s 50 g ovesných vloček s 1 banánem a lžící medu. Vločky by ji stály jenom 2 Kč, banán 6 Kč a med sotva 1 Kč. K tomu si může dopřát zelený čaj za 1 Kč. Takže u snídaně se dostala na 10 Kč. K svačině si dala jedno jablko (4 Kč) a hrst mandlí (20 Kč). Na oběd si uvařila rýži (4 Kč) s cuketou (12 Kč) a kukuřicí (2 Kč). Na dochucení použila olivový olej (4Kč), koření (3,5 Kč) a bylinky (3,5 Kč). Na odpolední svačinku měla Cottage cheese (20 Kč) s ředkvičkou (9 Kč). A den ukončila krutím masem (24 Kč), rukolou (19 Kč), rajčetem (7 Kč) a parmezánem (12 Kč), už jen dochutila stejně jako oběd (11 Kč) a za celý den se dostala na cenu 165 Kč.

Potom si napsala nezdravý jídelníček. Ráno začala s čokoládovými kuličkami (8 Kč) s mlékem (2 Kč). Na svačinu by měla housku (4 Kč) se šunkou (4 Kč) a máslem (3 Kč). K obědu si naservíruje kuřecí řízek (24 Kč) s bramborovou kaší (6 Kč). K odpolední svačině ji její „mlsná“ dovedla ke Snickers tyčince (14 Kč). A na večeři se jí nechtělo vařit, tak si dala párky s kečupem a rohlíkem (16 Kč). Celý den ji nakonec stál 81 Kč, což je o polovinu méně jako zdravé jídlo, je to opravdu velký rozdíl.

Ceny jsou hodně orientační, záleží na každém spotřebiteli, jaké potraviny si zvolí a jaké množství reálně zkonzumuje. Bohužel stále rozdíl za 1 den je vysoký, a proto i toto může být jeden z ukazatelů, proč lidé upřednostňují nezdravé stravování a následně to mívá následky, jako jsou nadváha nebo dokonce až obezita. Autorka práce si už dříve všimla, že když se snažila nakupovat zdravější potraviny, nechala v obchodě hrozně moc peněz, tímto výzkumem se jí potvrdilo, že zdravá strava není levná. Rozdíl v cenách může být způsoben precizními normami, které si pěstování a výroba těchto produktů vyžaduje. Také se vyrábí v menším množství, což se odráží na vyšších nákladech.

4 Opatření pro boj proti obezitě

Obezita již dávno není neznámý problém. I vláda v některých státech se snaží zasahovat různými regulacemi, které mají vést lidi k zdravějšímu životnímu stylu. Jedná se hlavně o členské státy OECD, jako je Belgie, Chile, Finsko, Francie, Maďarsko a Mexiko. Dokonce i Evropská unie schvaluje různá nařízení.

4.1 Komunikační politika

Ve světě vzniká množství cenových a daňových taktik, jak snížit obezitu. Tyto taktiky jsou zaměřené hlavně na školáky a pracující. Zavádí se například zvýšené množství hodin tělocviku, také se upravuje velikost porcí a upravují se i potraviny v jídelníčku, které stát konzultuje se specialisty. V pár zemích se dokonce zavedla vyšší daň na potenciálně nezdravé jídlo, které má vysoký obsah solí, cukrů, tuků nebo slazené nápoje. Také se využívá síla sociálních sítí na poukázání problému jménem obezita a vyzdvihování zdravějšího životního stylu.

4.2 Označení jídla

Nutriční seznam na potravinách byl zaveden z vícero důvodů. Jednak aby si spotřebitelé uvědomili, jaké mají složení a vedlo je to k volbě zdravějšího suplementu, ale také aby si výrobce uvědomoval škodlivost daného výrobku a snažil se tak upravit jeho složení. Označení potravin už je nedílnou součástí členských států Evropské unie. Tato metoda však ještě není dokázaná, že funguje, protože vyžaduje několik let na sledování. Přišlo se i s nápadem takzvaného „semafor“ označení, které barevně rozlišuje jednotlivé nutriční hodnoty. Tvrdí se, že tento systém by měl donutit o 18 % víc lidí k volbě zdravějšího jídla a snížit o 4 % příjem kalorií. (viz např. OECD, 2017 [3]) Tato metoda byla odzkoušena ve Francii na dobu 10 týdnů a ukázala se jako jedna z nejefektivnějších, a tak byla následně zařazena do používání v dubnu 2017. Se zajímavým označením přišla i Kanada. Vytvořili logo označující potraviny s vysokým obsahem sodíku, cukrů a nasycených tuků. Zajímavý systém mají i v Austrálii, kde se hodnotí kvalita potravin hvězdičkami 1 – 5, kde čím víc hvězdiček potravina má, tím je zdravější. V krajinách jako Dánsko, Norsko a Švédsko zavedli logo s obrázkem klíčové dírky, která označuje potraviny s nízkým obsahem cukru, soli a tuku.

V státech jako Spojené státy americké, Kanada a Austrálie se rozhodli zavést nutriční popis do menu v restauracích. Podle australského průzkumu tato informace dovedla lidi k volbě jídla, které obsahuje v průměru o 120 kilokalorií méně.

4.3 Mediální kampaň

Jednou z cest je i mediální kampaň. Propagaci se tak snaží krajina nabádat, aby spotřebitelé například kupovali víc ovoce a zeleniny a to přinášením zdravých receptů nebo typů na zdravější stravování. Tato forma boje proti obezitě není na škodu, ale potřebuje delší periodu na změnu chování u konzumentů. Na kampaně se využívají různé distribuční kanály jako televize, billboardy a dokonce i sociální sítě. Dalším úspěšným krokem jsou právě mobilní aplikace, které mají potenciál snížit váhu o 1 kilogram a BMI (body mass index – index tělesné hmotnosti) o kolem 0,43 kg/m² (viz např. Mateo et al., 2015 [3]). Na hodnocení této metody je ještě poměrně brzy, ale například kampaň v Spojeném království, Change4life, úspěšně zasáhla svoji cílovou skupinu, kde 58 % dospělé populace se rozhodlo zaměnit mléčné produkty s vysokým obsahem tuků za ty s nižším, na rozdíl od 26 % u porovnávací skupiny (OECD, 2017 [3]). Na výběr existuje neskutečně mnoho aplikací, které nabízejí rozmanitou škálu receptů a cvičení upravených na míru. Dokonce zákazníci mají možnost stáhnout si aplikace, které jim počítají přijaté kalorie a živiny.

5 Vývoj příjmů a spotřeby potravin

Jednou z příčin vzniku obezity je přejídání se. Je všeobecně známo, že se lidé mají lépe než v době socialismu. Ranní čekání na banány je už dávno minulostí. Mají všeho víc než dost.

Proto se nabízí otázka, zda právě neomezený přístup k jídlu, změna příjmů a vývoj cen nemůže mít nějaký podíl na růstu obezity.

5.1 Vývoj příjmů

Česká ekonomika si momentálně vede velmi dobře. Dá se dokonce říci, že už dosáhla svého vrcholu. Na trhu je nedostatek pracovních sil, a tak se zaměstnavatelé doslova perou o lidi. Jedna z cest jak je získat, je právě nabídka vyššího platu. Od roku 2009, který zachytil výrazný pokles po zásahu krize, platy neustále rostou. Výjimkou byl jedině rok 2013, kdy byl pokles asi o 1 %. (viz např. mpsv.cz, 2015 [15]) Zatímco průměrná mzda v roce 2014 byla 25 768 Kč, dnes už přesahuje 30 200 Kč. To se odráží i na celkové spotřebě domácností, která se v roce 2014 pohybovala kolem 504 000 Kč a za poslední rok vzrostla o více než 100 000 Kč na 614 812 Kč (viz např. Hospodářské noviny, 2018 [14]). České domácnosti si vedou také docela dobře. Dá se říct, že až dvě třetiny obyvatelstva jsou schopny i něco ušetřit.

5.2 Vývoj spotřeby potravin

V předešlé podkapitole se ukázalo, že za poslední roky se výrazně zvýšily příjmy i celková spotřeba domácností. Tento rostoucí trend se ale nepotvrzuje u všech potravin. Nejvyšší spotřeba byla zaznamenána v roce 1950, kdy nastal rozvoj socialistického zemědělství. Právě tehdy mnoho potravin jako maso, mléčné výrobky, vejce, olej a také cukr, dosáhlo maximální spotřeby. Klesající trend spotřeby do roku 2015 byl zachycen například u chleba, brambor nebo obilnin. Brambory Češi nakoupili o trochu více v roce 2016, ale další rok v rostoucím trendu nepokračovali. Rostlinné tuky a oleje si oblíbili více než živočišné, proto u živočišných tuků bylo zaznamenán menší růst. Prvenství u masa si drží vepřové. Celková spotřeba se za poslední léta zvýšila, ale je stále nižší než v 90. letech. Rostoucí trend je pozorovatelný u potravin jako rýže, sýry nebo těstoviny.

U alkoholu, podle průzkumu OECD je Česká republika na druhém místě spolu s Francií, kde jeden člověk vypije v průměru 11,7 litrů čistého alkoholu ročně, předběhla ji jenom Litva (viz např. globe24.cz, 2018 [22]). I když vede v pití alkoholu, ve srovnání s předchozími roky je celková spotřeba alkoholu o zhruba 10 litrů nižší než před 10 lety (viz např. czso.cz, 2017 [17]). Největšího nárůstu došlo jen u vína, i když prvenství ve spotřebě si stále drží pivo. U toho ale není možnost vidět výrazný růst nebo pokles. V průměru vypije Čech 20 litrů vína ročně, zatímco u piva to přesahuje 150 litrů (viz např. czso.cz, 2017 [16], [17]).

Všeobecně nelze říci, že právě široká nabídka potravin je jedním z důvodů obezity, protože spotřeba je hodně variabilní, nenašli se v průzkumu výrazné zvýšení ani změny.

6 Závěr

Cílem této práce bylo poukázat na dlouhodobě známý problém s obezitou. Autorka práce zanalyzovala trh a snažila se najít hlavní faktor, který má na tento problém vliv. Zaměřila se hlavně na ceny zdravých a nezdravých potravin. Ukázalo se, že právě cena může zasahovat do rozhodování u spotřebitele. Obecně platilo, že nezdravé stravování stojí méně. Také zjistila, že nabídka zdravého jídla je nižší a má horší dostupnost, což ztěžuje lidem rozhodování ke správnému výběru životního stylu. Ceny rychlého občerstvení nebyly až tak výrazně rozdílné, ale dalo by se při nezdravých fastfoodech ročně celkem výrazně ušetřit. Horší už to bylo při domácím stravování. Průměrná cena na den u zdravé stravy byla téměř dvojnásobná, proto si například rodina s nižším příjmem velmi rychle rozmyslí, které potraviny nakoupí. Ani běžný student si nemůže dovolit nákup dražších potravin, pokud dostává omezený měsíční rozpočet od rodičů. Tento stav není samozřejmě neřešitelný. Pomohlo by například zavedení vyšší

daně na nezdravé produkty, případné snížení u těch zdravých. V některých státech to tak funguje, takže klidně na to mohou přistoupit i jiné. Také by mohl stát zavést příspěvky pro podnikatele, kteří se zaměřují na produkci zdravých produktů, aby jim usnadnil podnikání a motivoval je k činnosti. Pokud by výrobci měli nižší náklady, při vstupu na trh by si mohli dovolit konkurovat s nižšími cenami.

Po analýze spotřeby potravin autorka zjistila, že příčinou obezity není široká nabídka, kterou potravinové řetězce přinášejí. Spotřeba je o něco nižší, než byla před 20 lety. Znamená to, že propagace menších porcí není nejefektivnější řešení. Proto je lepší se zaměřit na propagaci zdravého stravování.

Také by měl být důraz na pohybovou činnost hlavně u mladých lidí, kteří sedí celé dny za počítačem. Efektivní by mohlo být například vytvoření aplikace, kde by dostávali pozitivní body za procházku v přírodě nebo jiné sportovní aktivity. Případně kdyby se zavedlo omezení času strávené hraním počítačových her. Po zablokování přístupu by byli nuceni najít si jinou činnost. Dnes už je častokrát problém hlavně u sociálně slabších rodin cena, která se platí za členství ve sportovních klubech. Stát by měl více podporovat sport, aby měli lidé šanci sportovat. Možností je mnoho, jen je třeba je realizovat. Naštěstí si svět začíná problematiku s obezitou uvědomovat a snaží se zavádět různá opatření pro boj s ní. Již jen může doufat, že se bude ubírat správním směrem a za několik let to bude minulost.

Literatura

- [1] VOJÍŘ A., DENIK.CZ [ONLINE]. [CIT. 14. 04. 2019]. DOSTUPNÝ Z: <https://www.denik.cz/zdravi/cesi-jsou-nejtlustsi-v-historii-deti-nevyjimaje-20180206.html>
- [2] PERTOLD, F., ŠATAVA, J., OBEZITA V ČESKÉ REPUBLICE: MEZINÁRODNÍ SROVNÁNÍ S VYUŽITÍM DAT Z PROJEKTU SHARE, IDEA, SRPEN 2018, [ONLINE]. [CIT. 16. 04. 2019]. DOSTUPNÝ Z: https://idea.cerge-ei.cz/files/IDEA_Studie_9_2018_Obezita_v_Cesku/files/downloads/IDEA_Studie_9_2018_Obezita_v_Cesku.pdf
- [3] OECD, OBESITY UPDATE 2017, [ONLINE]. [CIT. 16. 04. 2019]. DOSTUPNÝ Z: <https://www.oecd.org/els/health-systems/Obesity-Update-2017.pdf>
- [4] SEMERÁDOVÁ, Z., ČEŠI A FASTFOODY, MEDIAR.CZ, [ONLINE]. [CIT. 17. 04. 2019]. DOSTUPNÝ Z: <https://www.mediar.cz/cesi-a-fast-foody-kvalitou-kraluje-Ugo-cenou-doner-kebab/>
- [5] ARSENIE, S., FASTFOOD: KAM NA ZDRAVÉ JÍDLO, KDYŽ VÁS TLACÍ ČAS, ICONIQ.CZ, [ONLINE]. [CIT. 17. 04. 2019]. DOSTUPNÝ Z: <https://www.iconiq.cz/kdyz-jidlo-neni-cas-aneb-zdrave-fast-foody/>
- [6] MARTINÁKOVÁ, L., NEJZDRAVĚJŠÍ JÍDLA, KTERÁ SI MŮŽEME OBJEDNAT V ČSKÝCH FAST FOODECH, SHUT-DOWN.CZ, [ONLINE]. [CIT. 17. 04. 2019]. DOSTUPNÝ Z: <http://www.shut-down.cz/2016/11/12/nejzdravejsi-jidla-ktera-si-muzete-objednat-ceskych-fastfoodech/>
- [7] MCDONALD'S, MCDONALD'S NABÍDKA, [ONLINE]. [CIT. 18. 04. 2019]. DOSTUPNÝ Z: <https://ceniky.mcdonalds.cz/cenik/cenik.jsp?restaurace=56&podtyp=11>
- [8] DÁMEJIDLO.CZ, [online]. [cit. 18. 04. 2019] Dostupný z: <https://www.damejidlo.cz/ugo-salaterie-karlin>
- [9] KFC.CZ, [ONLINE]. [CIT. 18. 04. 2019]. DOSTUPNÝ Z: <https://kfc.cz/menu/>
- [10] DÁMEJIDLO.CZ, [ONLINE]. [CIT. 18. 04. 2019] DOSTUPNÝ Z: <https://www.damejidlo.cz/vegg-go-praha2>
- [11] TESCO, ITESCO.CZ, [ONLINE]. [CIT. 18. 04. 2019]. DOSTUPNÝ Z: https://nakup.itesco.cz/groceries/cs-CZ?_ga=2.112302660.1319544767.1555791653-1549642095.1554292072

- [12] MOJEMEDICINA.CZ, [ONLINE]. [CIT. 21. 04. 2019]. DOSTUPNÝ Z: https://www.mojemedicina.cz/cs_cz/pruvodce-pacienta/diagnozy/obezita/priciny-vzniku-obezity.html
- [13] KUNEŠOVÝ, M., OBEZITA – ETIOPATOGENEZE, DIAGNOSTIKA A LÉČBA, INTERNÍ MEDICÍNA PRO PRAXI, 2004, [ONLINE]. [CIT. 22. 04. 2019]. DOSTUPNÝ Z: <https://www.internimedicina.cz/pdfs/int/2004/09/04.pdf>
- [14] PROKEŠ, J., CHRIPÁK, D., HOSPODÁŘSKÉ NOVINY, IHNEDE.CZ, 2018, [ONLINE]. [CIT. 23. 04. 2019]. DOSTUPNÝ Z: <https://infografiky.ihned.cz/domacnosti-a-prijmy/r~f3cc15d68f3911e8b0fbac1f6b220ee8/>
- [15] ANALÝZA VÝVOJE PŘÍJMŮ A VÝDAJŮ DOMÁCNOSTÍ ČR V 1. POLOLETÍ 2015 A PREDIKCE NA DALŠÍ OBDOBÍ, MPSV.CZ, 2015, [ONLINE]. [CIT. 23. 04. 2019]. DOSTUPNÝ Z: https://www.mpsv.cz/files/clanky/23055/Analyza_1-pol_2015.pdf
- [16] SPOTŘEBA LIHOVIN A VÍNA, CZSO.CZ, 2017, [ONLINE]. [CIT. 24. 04. 2019]. DOSTUPNÝ Z: <https://www.czso.cz/documents/10180/61565936/2701391804g8.pdf/822765f4-d60a-4379-a306-24978ac63399?version=1.0>
- [17] SPOTŘEBA ALKOHOLICKÝCH NÁPOJŮ, CZSO.CZ, 2017, [ONLINE]. [CIT. 24. 04. 2019]. DOSTUPNÝ Z: <https://www.czso.cz/documents/10180/61565936/2701391804g7.pdf/1e17532b-e652-4117-b5e3-7ca508eb3146?version=1.0>
- [18] SPOTŘEBA ZELENINY V HODNOTĚ ČERSTVÉA BRAMBOR, CZSO.CZ, 2017, [ONLINE]. [CIT. 24. 04. 2019]. DOSTUPNÝ Z: <https://www.czso.cz/documents/10180/61565936/2701391803g6.pdf/ea9d7bcd-7500-40cd-bdf5-395ae9b7c168?version=1.0>
- [19] SPOTŘEBA TUKŮ A OLEJŮ, CZSO.CZ, 2017, [ONLINE]. [CIT. 24. 04. 2019]. DOSTUPNÝ Z: <https://www.czso.cz/documents/10180/61565936/2701391802g4.pdf/bd0db198-8832-4ad2-adbd-a1d69d3736b3?version=1.0>
- [20] SPOTŘEBA MASA V HODNOTĚ NA KOSTI, CZSO.CZ, 2017, [ONLINE]. [CIT. 24. 04. 2019]. DOSTUPNÝ Z: <https://www.czso.cz/documents/10180/61565936/2701391801g2.pdf/efecdbf2-4b99-4d9e-bae7-e5264ee85bc8?version=1.0>
- [21] SPOTŘEBA ALKOHOLICKÝCH NÁPOJŮ A CIGARET, CZSO.CZ, 2017, [ONLINE]. [CIT. 24. 04. 2019]. DOSTUPNÝ Z: <https://www.czso.cz/documents/10180/61565936/2701391802.pdf/7ab14a35-6a5e-4c57-b153-4d5cdd69864e?version=1.1>
- [22] NÁROD ALKOHOLIKŮ? ČESKO SE PERE O NELICHOTIVÉ PRVENSTVÍ, GLOBE24.CZ, 2018, [ONLINE]. [CIT. 24. 04. 2019]. DOSTUPNÝ Z: <https://globe24.cz/svet/59220-narod-alkoholiku-cesko-se-pere-o-nelichotive-prvenstvi>
- [23] SPOTŘEBU POTRAVIN SLEDUJÍ STATISTICI TĚMĚŘ STO LET, STATISTIKAAMY.CZ, 2017, [ONLINE]. [CIT. 24. 04. 2019]. DOSTUPNÝ Z: <http://www.statistikaamy.cz/2017/02/spotrebu-potravin-sleduji-statistici-temer-sto-let/>

ZERO WASTE

Šnokhousová Terezie

Sekce - EKONOMIKA,
Fakulta ekonomická, 2. ročník
Bakalářský studijní program – MEZINÁRODNÍ OBCHOD

Abstrakt: Cílem této práce je představit čtenáři pojem zero waste. Nejvýznamnější část této práce se zabývá principem a vysvětlením pojmu. Pro zero waste je důležitých tzv. 5P, ty jsou zde analyzovány. Zero waste se snaží odpadu předcházet, a proto značná část této práce je zaměřená na předcházení odpadu. Na tuto část volně navazují kapitoly týkající se bezobalového nakupování. Největším přínosem tohoto druhu nakupování je uspoření částí peněz, která představuje samotný obal, a také z ekonomického hlediska zvýšení zaměstnanosti v daném regionu, jelikož se jedná ve většině o lokální prodejny.

Klíčová slova: zero waste, prevence, bezobalu

1 Zero waste

Pojem zero waste byl poprvé použit v roce 1996 v australském hlavním městě – Canbeře. Zde byla sjednána dohoda mezi politiky a veřejností o snížení množství skládek a spaloven.

Termín zero waste lze přeložit jako nulový odpad, nulová ztráta či jako nulové plýtvání. Jedná se o životní styl, cíl či filozofii, na jejímž konci stojí minimalizace produkovaného odpadu. Dosáhnout nulové produkce odpadu je v současnosti nereálné, proto je cílem se nule co nejvíce přiblížit a poslat tak minimum produktů do spaloven, na skládky či je recyklovat. [1] [2]

V zero waste se často hovoří o tzv. 5R. Jedná se o anglickou zkratku ze slov: refuse, reduce, reuse, recycle a rot, které v překladu znamenají odmítnout, omezit, znovu použít, recyklovat a kompostovat. Lidé, žijící v souladu se zero waste, by se měli těmito body řídit. [1] [2]

1.1 Odmítnout

V zero waste je důležité přemýšlet o potřebě věcí předem – nejen u nakupování, zda-li je opravdu nutné pořizovat si tolik produktů, ale také u věcí, u nichž je možnost získat je zdarma. Lidé, kteří se rozhodují podle zero waste přemýšlí nad každou pořizovanou věcí, jestli ji plně využijí, nebo jestli jim bude pouze ležet v domácnosti a následně ji vyhodí, čímž vyprodukuje odpad. [1]

Odmítnout lze tak nepotřebné dary, výhry, v tomto případě spíše zapojení v soutěžích, nebo i reklamní sdělení, které je vhazováno do poštovních schránek. Ročně se v jedné poštovní schránce nashromáždí mezi 15 až 20 kg nevyžádaných reklamních materiálů. Tomuto odpadu lze přitom jednoduše zabránit, a to označením schránky cedulkou s nápisem „PROSÍM, NEVHAZUJTE REKLAMNÍ MATERIÁLY“. Tuto žádost pošta eviduje a v důsledku toho se pak snižuje objem produkce reklamních sdělení. [3]

1.2 Omezit

Omezit lze spotřebu prakticky čehokoliv, může se proto jednat o množství skladovaných potravin, vytisknutých stránek, oblečení nebo spotřeby energií nejen v domácnostech. Vše, co člověk vlastní, by mělo odpovídat jeho potřebě, a tudíž by neměl vlastnit zbytečně mnoho věcí. [1]

Jeden z nejvíce vyprodukovaných odpadů v současné době jsou PET lahve. Jeden člověk vyhodí v průměru 9,5 kg polyethylentereftalátových lahví za rok, což je v přepočtu okolo 200 až 500 kusů plastových lahví. Problémem lahví z této látky není jen to, že biologická rozložitelnost se pohybuje v řádech stovek let a odpad se tak hromadí např. ve světových oceánech nebo na skládkách, ale také to, že lahve jsou primárně určeny pouze na jedno použití z toho důvodu, že mohou při opětovném použití propouštět ionty těžkých kovů, které následně mohou narušovat činnost hormonální soustavy. Vhodnou alternativou k používání PET lahví je proto pití vody z vodovodu, kterou si lze naplnit vlastní skleněnou lahev. Kohoutková voda je v současnosti jedním z nejvíce sledovaných produktů, a proto je zde opravdu nízké riziko její závadnosti. [3] [4]

Omezit by se také měla spotřeba potravin, jimiž se v posledních letech enormně plýtvá. Podle statistik dostupných na webu eatresponsibility.eu se ročně vyhodí 35 % ulovených ryb a mořských plodů, 30 % vypěstovaných obilnin a až 45 % vypěstovaného ovoce a zeleniny. V průměru se potom vyhodí kolem 95 až 115 kg potravin na osobu za rok. Nejčastěji se vyhazují potraviny, které ovšem lze dále využít, jako příklad lze uvést suché pečivo nebo ovoce z vlastních zahrad – to lze odnést do lesa zvířatům, nebo trvanlivé potraviny lze věnovat do potravinových bank, které potraviny dále darují potřebným. V České republice je také od 1.1.2018 v platnosti zákon o plýtvání potravinami, jenž uděluje obchodům nad 400 m² povinnost darovat nezávadné potraviny, které by jinak vyhodily, charitám. Často se zde jedná o potraviny, jenž mají pouze pomačkaný obal, nebo nepřesné informace na etiketách. [3] [5] [6]

Od 90. let minulého století také výrazně stoupla spotřeba jednorázových papírových kapesníků či jednorázových dětských plen. Nejenže pro výrobu dětských plen je vysoká spotřeba vstupních zdrojů, jsou ale také obtížně recyklovatelné. Jedna dětská plena se rozkládá 200 až 300 let a jedno dítě vyprodukuje v průměru 1 tunu odpadu v podobě těchto plen. Řešení je zde však velmi jednoduché, a to navrácení se k bavlněným plenám, jenž byly využívány před nástupem plen papírových. [3]

1.3 Znovu použít

Ti, kteří žijí v souladu se zero waste, se snaží o maximalizaci využití produktů. Nejenže tyto činy vedou ke snížení vlastní produkce odpadu, ale také šetří zdroje, které byly vynaloženy na jejich výrobu. Důležité je zvážit před samotným nákupem produktů, jestli předmět znovu využijí, nebo by bylo přínosnější jeho vypůjčení. Věci, které už nejsou v domácnostech potřeba lze darovat na různé charitativní sbírky (oblečení, hračky, boty), jenž jsou pořádány různými, mnohdy neziskovými, organizacemi, církvemi nebo je vhodit do bílých kontejnerů. Nepotřebné knihy lze darovat do knihoven, kde zhodnotí jejich stav, a buď je zařadí mezi půjčované knihy, nebo je umístí do regálů pro volné rozebrání. [7]

Existuje celosvětová organizace s názvem RREUSE, která se zabývá sběrem, opravami, prodeji a využitím starých a nepotřebných věcí. Tato organizace čítá přes 77 000 zaměstnanců a přes 66 000 dobrovolníků, kteří sbírají textil, nábytek a elektrospotřebiče, jenž následně opravují. V České republice vznikají obdobné organizace, jako příklad lze zmínit komunitní recyklační dílnu „Zdrojovka“ nebo projekt „Oprávrna“. [7]

Opětovné využití lze praktikovat mnoha způsoby. Nejjednodušším způsobem je nosit na nákupy vlastní, nejčastěji plátěné, tašky. Tento krok je opravdu důležitý, neboť spotřeba igelitových tašek v České republice se pohybuje okolo 150 až 300 kusů na osobu za rok, přičemž toto číslo se bude v posledních letech snižovat díky legislativě, která od 1.1.2018 nařizuje igelitové tašky zpoplatnit. V předchozích letech je mnohdy obchody rozdávaly zdarma k nákupu. [7]

Spoustu nepotřebných věcí lze také věnovat do bazarů, nebo darovat přes některý z mnoha internetových serverů. [7]

1.4 Recyklace

K recyklaci by mělo docházet až poté, co se věc nepodaří odmítnout, omezit nebo opětovně využít. Jedná o mnohonásobně lepší způsob zbavení se odpadu, než je samotné vyhození do kontejneru na smíšený odpad, ze které by odpadek putoval na skládku či do spalovny. [3]

Recyklace je dobrým začátkem pro život v souladu se zero waste, ovšem snaha o tento styl života, by neměla skončit v tomto bodě, jelikož zero waste se zabývá prevencí vzniku odpadu, ale recyklace je už řešením vzniklého problému s odpadem a nadměrnou spotřebou. [8]

Ohledně recyklace existuje mnoho pozitiv i negativ. Díky třídění (tj. oddělení jednotlivých složek komunálního odpadu) do barevných kontejnerů lze některé materiály opakovaně využít. Nejlepším příkladem je zde sklo, to lze přetavovat stále dokola nekonečně dlouho. Toto ovšem nelze říci o papíru, ten zvládne pouze okolo čtyř až sedmi procesů. Při těchto procesech se zkracují vlákna a papír tak postupně ztrácí své na kvalitě. Tento proces je obecně nazýván jako „downcycling“. Ovšem nejhůře je na tom v recyklaci plast. Ten zvládne pouze jeden recyklační proces a poté míří na skládku. [8]

Problémů zde vzniká hned několik. Jako první lze zmínit, že i přes třídění odpadů do barevných kontejnerů nemají lidé 100 % jistotu, jak bude s odpadky dále nakládáno – zda budou opravdu využity anebo zda budou vyvezeny na skládku např. v Indii. Druhým problémem, který zde vystupuje, je cena. Recyklace je finančně náročný proces, a proto může mít kolikrát recyklovaný produkt vyšší cenu, než by měl produkt zcela nový. [8]

1.5 Kompostování

Největší složkou odpadů vytvořených domácnostmi je bioodpad. Kompostování je díky absenci svozu, evidenci i následnému zpracování považováno za předcházení vzniku odpadu a má také veliký přínos pro půdu samotnou – navrací jí živiny. Množství tohoto odpadu lze ovšem také eliminovat, například omezením sečení trávníků. Díky sečení trávníků je produkováno až kolem 2 tun odpadu na hektar a také časté sečení neprospívá biodiverzitě. [3] [9]

Podle průzkumů provedených ve Velké Británii dokáže jeden kompostér odvrátit až 150 kg odpadu, jenž by byl vyhozen do popelnic. Recyklovat lze opravdu rozmanitou škálu produktů – od ovoce a zeleniny, přes čajové sáčky a lógr z kávy, až ke znečištěnému papíru. [9]

Při kompostování ale také může vzniknout řada problémů, jimiž jsou zápach nebo hlodavci. Oba tyto problémy mají ale snadná řešení, těmi jsou provzdušnění kompostéru či nevhazování vařených potravin či masa. [9]

2 Předcházení odpadu

Především díky prevenci lze uspořít mnoho surovin a energií potřebných ve výrobním a spotřebním procesu. Díky prevenci lze také předcházet vznikajícímu znečištění. Obecně platí pravidlo, že je levnější a výhodnější odpadu předcházet než následně řešit co dělat se vzniklým odpadem. [10]

K předcházení odpadů napomáhá směrnice Evropské unie č. 98/2008. Tato směrnice sděluje, že je potřeba přijmout taková opatření, která omezí množství odpadu ve výrobě a tím i dopad na životní prostředí a lidské zdraví. [11]

U předcházení odpadu je důležité začít s uvědomováním si problému a začít ho řešit, jelikož v součtu mnoha lidí má nevytváření odpadu opravdu značný význam. Odpadu lze předcházet i nákupem lokálních potravin. Z ekonomického hlediska vede nákup lokálních potravin k podpoře zaměstnanosti v daném regionu. Z hlediska zero waste se zde ušetří zdroje potřebné při skladování, chlazení, přepravě a hlavně balení. Balení je u přepravy některých cizokrajných potravin zvláště zbytečné, příkladem může být citrusový plod zvaný pomelo. Tento plod pochází z jihovýchodní Asie a vyznačuje se opravdu širokou vrstvou kůry, jenž je potřeba před konzumací plodu oloupat. Je tak zcela zbytečné plod balit do plastové folie a přes tu umístit ještě síťku. [11]

Nadměrné produkci odpadu je možné také předcházet koupí výrobků z kvalitních materiálů. Tyto výrobky bývají sice mnohdy dražší než výrobky z méně kvalitních materiálů, ovšem z dlouhodobého hlediska se spotřebiteli rozhodně vyplácí investovat do kvalitnějších produktů, jež vydrží i řadu let.

V České republice je možné na produktech najít hned několik označení. Prvním označením je ekoznačka na výrobku. Tato značka vyjadřuje, že má produkt příznivější vliv na životní prostředí a je znázorňována zeleným kolečkem s nápisem „Ekologicky šetrný výrobek“. Dalším označením je certifikát FSC, toto označení zaručuje původ dřeva – dřevo pochází z šetrně obhospodařovatelného lesa. Certifikát je znázorněn symbolem stromu s nápisem FSC. Posledním zmíněným označením je Fair Trade. Toto označení zaručuje, že lidem v zemích Afriky, Asie a Latinské Ameriky bylo řádně zapláceno a děti těchto producentů tak mají možnost chodit do škol. Produkty označené Fair Trade jsou také pěstovány s ohledem na životní prostředí. [11] [12]

Obaly v dnešní době tvoří téměř 50 % objemu komunálního odpadu. Vhodné je proto využívat již dříve zmíněných vlastních tašek pro přenos nákupu, vlastních sáčků na pečivo, ovoce a zeleninu není nutné vkládat do sáčků vůbec. Při nutnosti koupě výrobku v obalu jsou vhodnějším řešením velká balení. Ovšem tato balení jsou výhodná pouze z hlediska odpadu vzniklého vyhozením obalu, protože objem potravin v těchto baleních bývá opravdu značný a spotřebitel ho nemusí stihnout zkonzumovat včas. Potraviny se proto zkazí a vzniká odpad v podobě potravin. Při výběru potravin v obchodě je vhodné vyhnout se obalům tvořeným z PVC nebo hliníku. PVC může emitovat nebezpečné sloučeniny, a navíc se jedná o látku, kterou nelze recyklovat. Hliník je potom extrémně energeticky náročný na výrobu a podle některých studií může být i karcinogenní. V oblasti nakupování je proto nejlepším řešením využití bezobalových prodejen. [11]

3 Zero waste & každodenní život

Zero waste se stává v posledních letech opravdu velkým trendem. Existuje celá řada bloggerů, kteří se tomuto tématu věnují na svých blozích, kde vyvěšují plno rad, jak žít zero waste.

Mezi největší ikony zero waste patří bez pochyb americká bloggerka Bea Johnson. Bea se věnuje psaní blogu zerowastehome.com a také vydala knihu Domácnost bez odpadu, ve které popisuje svou cestu k zero waste a vymezuje i užitečné rady. Je také považována za rekordmanku v produkovaní nulového odpadu – roční odpad její čtyřčlenné rodiny má objem jedné litrové zavařovací sklenice. Snaží se také o minimalizaci osobních věcí všech členů domácnosti, a proto každý člen rodiny vměstná všechn svůj majetek do cestovního kufru. Jedinou věc, kterou rodina Bei používá jednorázově je toaletní papír. I ten se Bea v minulosti snažila nahradit (mechem či houbou), ale neúspěšně. [20]

Bloggerka tvrdí, že díky životu v souladu se zero waste je její rodina schopna ušetřit až o 40 % více. Dále je také zastánkyní názoru tvrdícího, že by se měly zvýšit poplatky za obaly, vedlo by to k menšímu plýtvání a neleželo by v přírodě tolik PET lahví. [20]

Ovšem nejen čtenáři těchto blogů se snaží o minimalizaci odpadu ve vlastních životech. Jelikož vzniká stále více bezobalových prodejen po celé České republice, a tyto nově otevřené prodejny přilákají plno zvědavců, kteří doposud neměli o zero waste ponětí. Tito zvědavci se prostřednictvím prodejen dozví o principech zero waste a pokud je osloví, začnou se těmito principy řídit.

3.1 Bezobalové prodejny

Trend nakupování bez obalu je nejvíce rozšířen v zemích západní Evropy, USA či Kanadě, ovšem v posledních letech začíná pronikat také do České republiky. Hlavním důvodem vzniku těchto prodejen je snaha minimalizovat vyprodukovaný odpad při nakupování. Jedná se především o lokální prodejny, jelikož posílání potravin například v papírových sáčkích je v rozporu s ideou zero waste a případné rozesílání ve skleněných láhvích, které by se daly dále využít, není také ideální, protože sklo by se muselo na cestu zabezpečit před rozbitím a tato ochrana je dalším odpadem. Potraviny jsou proto do těchto prodejen dováženy ve velkých pytlech či kanystrech a v prodejnách jsou často z estetického hlediska přesypávány či přelévány do skleněných zavařovacích lahví, odkud je obsluha zákazníkovi nasype do vlastní nádoby. [14] [15]

Bezobalové prodejny jsou také založeny na důvěře, a to ve všech směrech. Producenti bezobalových výrobků důvěřují odběratelům, že nebudou tekuté produkty ředit. Zákazník pak věří, že prodejny pouze výrobky nevysypaly z plastových pytlíků a obaly neskrývají. Kdyby tato důvěra nefungovala, neměly by bezobalové prodejny žádný smysl. [17]

Za první bezobalovou prodejnu v Česku lze považovat prodejnu Bezobalu, jež spravuje nezisková organizace s totožným názvem. Tato organizace také šíří v České republice filozofii zero waste přednášením na školách a různých akcích. Náplní organizace je prověřování a konzultace technických, skladovacích a logistických řešení v bezobalovém prodeji. Dále také sdílí své know-how s dalšími evropskými bezobalovými prodejnami. Zkoumá preference zákazníků, vyhledává dodavatele a v neposlední řadě také motivuje ke spolupráci. Tato organizace také rozděluje spotřebitele na dvě skupiny, na tzv. „člověka obalového“ a „člověka bezobalového“. Člověk obalový je zde charakterizován jako někdo, kdo očekává od každého nákupu nové obaly, sáčky a tašky. Vždy nakupuje balené potraviny a spížírnou má až po okraj naplněnou produkty v jednorázových obalech nehledě na riziko napadení škůdci či rychlejšího kažení již načatých balení. Oproti tomu je člověk bezobalový přesným opakem člověka

obalového. Jedná se proto o člověka, jenž má vždy v záloze vlastní nákupní tašky a potraviny skladuje v kvalitních materiálech, jako jsou sklo, porcelán či nerez. A primárně pro tento typ člověka jsou určeny bezobalové prodejny. [13]

Největší bezobalový obchod v České republice je situován v pražské čtvrti Dejvice. Tento obchod má rozlohu přes 127 m² a jeho sortiment čítá kolem 450 položek. Množství položek má v plánu prodejna zvýšit v budoucnosti až na trojnásobek. Provoz této prodejny se nepatrně liší od jiných bezobalových prodejen – a to tak, že tato prodejna je zcela samoobslužná. Zákazník si při vstupu zváží donesené nádoby u vstupní váhy a následně je jim přidělen štítek s hmotností. Dále si už jen zákazník odsype nebo nalije kolik čeho potřebuje. Prodejna je také připravena pro zákazníky, kteří princip bezobalových prodejen neznají a nepřinesli si tak vlastní nádoby. Tito zákazníci mají možnost si zde nádoby zakoupit. Pestrá škála nabízených produktů zahrnuje trvanlivé potraviny, ovoce a zeleninu, pečivo či aviváže, jary, šampony a kosmetiku. Kosmetika je vkládána do vratných nerezových nádob. Prodejna funguje jako společnost s ručením omezeným, ovšem v budoucnosti má v plánu svou ideu šířit v podobě poskytování licence. O licenci projevovalo zájem už přes 200 osob z celého Česka. Dle majitelů mají bezobalové prodejny ekologické i ekonomické přínosy. Mezi ekologické se řadí absence obalů, a ta se přenáší i do ekonomických přínosů díky uspoření části peněz, jenž by na ně byla vynaložena. [14]

Obaly podle italské studie tvoří kolikrát 20-50 % z maloobchodní ceny výrobku. Důvodem takto vysokých procent jsou náklady vynaložené nejen na samotné obaly, ale také na balící linky či marketing. Proto úspora u bezobalových potravin činí až 15 % z běžné ceny ve srovnatelné bio či organic kvalitě. [15]

Server reduca.cz zveřejnil online interaktivní mapu bezobalových prodejen po celé České republice. [16]

3.3 Snaha firem o zero waste

O zmírnění objemu odpadků se v posledních letech začalo zajímat i mnoho firem. Nejvíce diskutovaným krokem, byl krok společnosti Procter & Gamble, která v roce 2017 oznámila, že do roku 2018 vyrobí 170 tisíc šamponů Head & Shoulders z recyklovatelného plastu ve spolupráci s firmami TerraCycle a Suez. Přestože se jedná o ani ne 0,6 % z celkové prodeje šamponů této firmy, je podle šéfa TerraCycle Toma Szakyho krok označován jako největší využití plastů z moře. Nápad je také oslavován jako technologický průlom, jelikož dle vědců by v roce 2050 mohlo být v mořích více odpadu než ryb. Označován je také jako první udržitelný obchodní model propagující kruhovou ekonomiku. Plast pro tento účel byl získán za pomoci tisíců dobrovolníků a stovek neziskových organizací jenž, plasty posbírali na plážích. [18] [19]

Procter & Gamble tak navazuje na kroky firmy Adidas, která v roce 2016 vyrobila z mořského odpadu 7 000 párů bot, nebo na kolekce Pharella Williamse pro značku G-Star RAW, kde byla vytvořena džínovina s obsahem plastů z moře. [18] [19]

I přes tuto snahu zůstávají nadále problémem e-shopy, konkrétně přeprava zboží. Při přepravě je nutno zboží zabezpečit proti poškození, na což je využito velké množství bublinkových folií, polystyrenu, lepicích pásek či plastů, které po rozbalení výrobku již kolikrát nemají další využití a končí tak v kontejnerech. Nejlepším řešením, v souladu se zero waste, je omezení či úplné vyřazení objednávek přes internet, ušetří se tak nejen obalový materiál, ale také zdroje nutné pro přepravu zboží. V případě nutnosti objednávky přes e-shop je poté vhodné volit takový e-shop, který balí objednávky do recyklovaného papíru či krabic a místo klasické plastové lepicí pásky volí pásku papírovou. Tyto e-shopy se o balení výrobků často zmiňují již na webových stránkách.

3.4 Rady pro život v souladu se zero waste

Rady ohledně minimalizace odpadu neposkytují pouze bloggeři na svých blozích, ale existuje také mnoho knih týkajících se tohoto tématu, jako příklad lze uvést knihu Barbory Tlusté s názvem Bez obalu. Tato kniha je první českou knihou o životním stylu zero waste, vychází 30. dubna 2019 a autorka v ní představí, podobně jako ikona zero waste Bea Johnson ve své knize, cestu k zero waste a své zkušenosti s tímto životním stylem.

Ovšem mnoho rad již bylo publikováno na různých internetových stránkách již dříve, a mezi nejvýznamnější rady patří :

- Omezení jídla z donášky, které obsahuje další obaly, jež jsou ještě navíc znečištěné mastnotou. Vhodné je proto vařit doma, což navíc přináší výhodu znalosti přísad využitých pro přípravu pokrmu.
- Výměna klasického zubního kartáčku za kartáček vytvořený z bambusu. Bambusový kartáček je plně kompostovatelný, zatímco klasický kartáček vytvořený z polypropylenu a vláken z polyesteru je prakticky nerecyklovatelný.
- Nerecyklovatelné jsou také jednorázové holící strojky a strojky s vyměnitelnými hlavicemi. Proto by bylo vhodné je vyměnit za klasickou sadu na holení s vyměnitelnou žiletkou.
- Plýtvání potravin lze také jednoduše snížit naučením se vyprázdnit ledničku a nakupovat nové zásoby až po spotřebě všech starých. Dobrým pomocníkem se zde stává nákupní seznam sepsaný přesně podle naplánovaného jídelníčku.
- Jednou z největších zbytečností využívanou v domácnostech jsou i plastová brčka. Ty je vhodné zcela vyřadit z používání, nebo je nahradit skleněnými či nerezovými alternativami.
- Při krmení domácích mazlíčků lze jednoduše využít, místo kapsiček a konzerv zakoupených v obchodech, mazlíčkům vařit maso od místního řezníka. Nejen, že tento krok vychází mnohem levněji a ušetří se mnoho obalů, ale také mazlíčci mají záruku 100 % obsahu masa, což kolikrát v zakoupených krmivech není.

4 Závěr

Životní styl zero waste má ve snaze předcházení odpadu do budoucna opravdu mimořádný význam. Protože naše planeta je pomalu, ale jistě zaplňována miliardami tun odpadků, má i rozhodnutí jednoho jedince, žít v souladu s touto myšlenkou značný význam. K životu s minimem odpadu přispívají bezpochyby také bezobalové prodejny, jejichž množství se rapidně zvyšuje po celé České republice a napomáhají tak ke zvyšování povědomí obyvatel o problému s odpadem. Sama autorka se o zero waste velice zajímá, ovšem zpracování této práce přineslo spoustu nových poznatků i pro ni.

Literatura

- [1] O Zero Waste | Bez popelnice. *Bez popelnice* [online]. Dostupné z: <http://bezpopelnice.cz/o-odpadcich/zero-waste/>
- [2] Zero Waste – Arnika. *Hlavní stránka – Arnika* [online]. Copyright © 2014 [cit. 07.04.2019]. Dostupné z <https://arnika.org/zero-waste>
- [3] Prevence vzniku odpadů – Méně odpadu. *Prevence vzniku odpadů – Úvod* [online]. Copyright © 2019 Arnika [cit. 07.04.2019]. Dostupné z: <http://pvo.arnika.org/mene-odpadu>
- [4] Vážně může BPA ohrozit naše zdraví, nebo je to jen mýtus? *Eshop s eko produkty pro méně odpadu | Meneodpadu.shop* [online]. Copyright © meneodpadu.shop, všechna práva vyhrazena [cit. 07.04.2019]. Dostupné z: <https://www.meneodpadu.shop/blog/co-je-vlastne-bpa-a-je-pro-nas-opravdu-tak-skodlive/>
- [5] Škoda vyhazovat. *Menu pro změnu* [online]. Copyright © 2019 [cit. 07.04.2019]. Dostupné z : <https://www.eatresponsibly.eu/cs/foodwaste/1#section-bin>
- [6] Neprodejné jídlo ze supermarketů putuje od ledna povinně charitám — ČT24 — Česká televize. *ČT24 — Nejdůvěryhodnější zpravodajský web v ČR — Česká televize* [online]. Copyright © [cit. 07.04.2019]. Dostupné z: <https://ct24.ceskatelevize.cz/regiony/2350567-neprodejne-jidlo-ze-supermarketu-putuje-od-ledna-povinne-charitam><http://pvo.arnika.org/opetovne-pouziti>
- [7] Prevence vzniku odpadů - Opětovné použití. *Prevence vzniku odpadů - Úvod* [online]. Copyright © 2019 Arnika [cit. 07.04.2019]. Dostupné z: <http://pvo.arnika.org/opetovne-pouziti>
- [8] *Bez popelnice* [online]. Dostupné z: <http://bezpopelnice.cz/o-odpadnich/zakopany-pes-recyklace>
- [9] Prevence vzniku odpadů - Kompostování. *Prevence vzniku odpadů - Úvod* [online]. Copyright © 2019 Arnika [cit. 07.04.2019]. Dostupné z: <http://pvo.arnika.org/kompostovani>
- [10] Jak předcházet odpadům – Arnika. *Hlavní strana – Arnika*. [online]. Copyright © 2014 [cit. 07.04.2019]. Dostupné z: <http://arnika.org/jak-predchazet-odpadum-2>
- [11] Prevence vzniku odpadů – Zásady prevence. *Prevence vzniku odpadů – Úvod* [online]. Copyright © 2019 [cit. 07.04.2019] Dostupné z: <http://pvo.arnika.org/zasady-prevence>
- [12] fair trade. *fair trade* [online]. Copyright © Autorem fotografií je Pablo Tosco [cit. 07.04.2019]. Dostupné z: <https://www.fairtrade.cz>
- [13] O nás – Bezobalu. *Bezobalu* [online]- Copyright © 2019 Bezobalu. All right reserved. [cit. 07.04.2019]. Dostupné z: <https://bezobalu.org/o-nas/>
- [14] Bezobalu: Nasypete si rýži, natočíte jar – iDNES.cz. *iDNES.cz – s námi víte víc* [online]. Copyright © © 1999–2019 MAFRA, a. s., a dodavatelé Profimedia, Reuters, ČTK, AP [cit. 07.04.2019] Dostupné z: https://www.idnes.cz/ekonomika/test-a-spotrebitel/bez-obalu-obchod-potraviny-drogerie-ekologie.A170919_121754_test_fih
- [15] Idea obchodů bez obalů zapouští v Česku kořeny, brzy vám nalijí i šampon – iDNES.cz. *iDNES.cz – s námi víte víc* [online]. Copyright © © 1999–2019 MAFRA, a. s., a dodavatelé Profimedia, Reuters, ČTK, AP [cit. 07.04.2019]. Dostupné z: https://www.idnes.cz/ekonomika/domaci/v-cesku-otevire-druhy-bezobalovy-obchod.A160608_205343_ekonomika_fih
- [16] Bezodpadová mapa :: Reduca.cz. *Bezodpadová mapa :: Reduca.cz* [online]. Dostupné z: <https://mapa.reduca.cz/@8,50.7231,14.6906,1.2.3.4.5.6.7.8.9.10.11.12.13>
- [17] Nakupování jídla a méně obalů. Dva kroky dopředu, jeden zpět | Žijeme minimalismem. *Žijeme minimalismem | Více prostoru pro to důležité* [online]. Copyright © 2015 [cit. 07.04.2019]. Dostupné z: <https://zijememinimalismem.cz/rok-zero-waste-nakupovani-jidla-a-mene-obalu-dva-kroky-dopredu-jeden-zpet/>

- [18] Šampony v lahvích, které vyplavil oceán. Firmy recyklují mořský odpad – iDNES.cz. *iDNES.cz – s námi víte víc* [online]. Copyright © © 1999–2019 MAFRA, a. s., a dodavatelé Profimedia, Reuters, ČTK, AP [cit. 07.04.2019] Dostupné z: https://www.idnes.cz/ekonomika/zahranicni/sampony-v-lahvich-ktere-vyplavilo-more.A170125_092838_eko-zahranicni_nio
- [19] SYBA – OBALOVÝ PORTÁL – První šampony na světě v „plážovém“ plastu. SYBA – *OBALOVÝ PORTÁL* [online]. Copyright © 2019 © OBALOVÝ INSTITUT SYBA, s.r.o [cit. 07.04.2019]. Dostupné z: <http://syba.cz/prvni-sampony-na-svete-v-plazovem-plastu>
- [20] Útěk z konzumu. Američanka žije bez odpadů, na toaletě používala mech – iDNES.cz. *iDNES.cz – s námi víte víc* [online]. Copyright © © 1999–2019 MAFRA, a. s., a dodavatelé Profimedia, Reuters, ČTK, AP [cit. 07.04.2019] Dostupné z: https://www.idnes.cz/ekonomika/zahranicni/rozhovor-s-beou-johnson.A160610_130809_eko-zahranicni_fih

EFEKTIVITA INVESTIC VYBRANÉHO SPORTOVNÍHO KLUBU

Tomíček Michal

Sekce - EKONOMIKA,
Ekonomická fakulta, 3. ročník
Bakalářský studijní program – EKONOMIKA A MANAGEMENT

Abstrakt: Práce se zabývá problematikou efektivit investic vybraného sportovního klubu. Cílem práce je prokázání rozlišené efektivit investic do zahraničních a tuzemských fotbalových hráčů. V teoretické části jsou popsány statistické metody, které jsou v praktické části použity, uvedeny příklady použití statistiky ve sportovním odvětví. Dále je představen vybraný sportovní klub po ekonomické a sportovní stránce. Následuje praktická část práce aplikující uvedené statistické metody na prostředí klubu. Na základě statistických analýz jsou zodpovězeny otázky týkající se splnění cíle práce.

Klíčová slova: aplikovaná statistika, český fotbalový klub, efektivita investic, fotbaloví hráči, korelační analýza, regresní analýza

Úvod

Příjmy z prodeje hráčů tvoří vedle uzavřených sponzorství, prodaných vstupenek a odměn z televizních vysílání podstatnou část příjmů fotbalových klubů. Kluby si buď své hráče vychovávají ve svých fotbalových akademiích, nebo je mezi sebou překupují. Především v západní Evropě můžeme najít mnoho významných „líhní“ fotbalistů pro největší a nejbohatší kluby. Mezi vyhlášené akademie patří Ajax Amsterdam, RedBull Salzburg, Dinamo Záhřeb nebo například Sparta Praha, která se v žebříčku serveru football-observatory.com umístila před slavnou Barcelonou FC nebo londýnskými kluby Chelsea a Arsenalem. [1]

Právě situaci na trhu s fotbalovými hráči se práce zabývá. Z pohledu růstu přestupních částek a oceňování hráčů světovými servery a organizacemi se jedná o rychle se měnící segment klubových příjmů. I pro malé a středně velké kluby začíná být důležité dokázat se na tomto trhu orientovat a vynaložit za hráče správnou částku v závislosti na jejich hodnotě dle výkonnosti a dalších faktorů.

Cílem práce je prokázat zřetelně odlišnou efektivitu investic do zahraničních hráčů a do hráčů tuzemských. Předpokladem je existence závislosti mezi tržní hodnotou hráče (TH) a získaným bodovým ohodnocením (ZBO) reprezentujícím sportovní výkon hráče. Ty jsou přiděleny každému hráči, který v určité sezoně alespoň jednou figuroval jako hrající hráč.

1 Statistické metody

Pro zkoumání závislosti jedné závislé veličiny na jedné nezávislé je v práci použita metoda jednoduché lineární regrese – Simple Linear Regression (SLR). Těžko lze předpokládat, že lze komplexně shrnout závislost tržní hodnoty na sportovním výkonu hráčů. Na druhou stranu je zde logický předpoklad možné závislosti, ze které by se dalo poučit v budoucích krocích klubu na přestupovém trhu.

I podle Hebáka (2013) je často vhodnější nahradit nepozorovatelný vzorec více či méně idealizovanou formou popisu reality (modelu). Je třeba také počítat s odchylkou měření, která udává, že jen výjimečně jsou odchylky skutečných hodnot nulové. Cílem regresní analýzy

je odhad parametru funkčního předpisu, s jehož pomocí bude možné dosazením vysvětlující proměnné odhadnout proměnnou vysvětlovanou. Užití právě jedné vysvětlující proměnné, a právě jedné vysvětlované proměnné v sobě pochopitelně skrývá omezení úlohy. Vysvětlujících činitelů je s největší pravděpodobností více. Práce využívá korelační a regresní analýzy pro popis statistických vlastností vztahu proměnných. [2]

Využití korelační tabulky a regresního grafu přibližuje rozdělení sledovaných proměnných. Pomocí grafu je možné ihned definovat hodnoty, které jsou příliš odlehlé od ostatních, nebo nehomogenitu vztahu. [3]

1.1 Korelační analýza

Korelační analýza se zabývá vzájemnou závislostí dvou číselných proměnných. Zkoumá, nakolik můžeme hodnotu jedné proměnné vysvětlit hodnotou druhé proměnné. Korelace označuje stupeň asociace dvou proměnných neboli jejich vzájemný vztah. To znamená, že pokud se jedna proměnná změní, změní se korelativně (dle míry korelace) i druhá (a naopak). Míru korelace vyjadřuje korelační koeficient $\rho(x,y)$. Ten nabývá hodnot v intervalu $\langle -1; 1 \rangle$.

Pokud je korelační koeficient kladný, je zde určitá přímá závislost mezi veličinami x a y . V opačném případě pozorujeme nepřímou závislost. Problém nastává v situaci, kdy se korelační koeficient rovná nebo blíží nule. V takovém případě není mezi dvěma proměnnými žádná nebo jen slabá lineární závislost. Slabá závislost však nemusí být znakem statisticky nevýznamné závislosti.

Nejpoužívanějším korelačním koeficientem je Pearsonův korelační koeficient. Ten ovšem měří pouze sílu lineárního vztahu. Mezi nezávislými veličinami má koeficient hodnotu 0. Nulová hodnota korelačního koeficientu je se stoupajícím počtem pozorování méně pravděpodobná. Extrémních hodnot $-1, 1$ nabývá koeficient jen v případě, že všechny body (X_i, Y_i) leží na jedné přímce. Žádný korelační koeficient nerozlišuje mezi závislou a nezávislou proměnnou a nezmění se, pokud zaměníme jednotky měření proměnných X a Y . Vzorec Pearsonova koeficientu je dán vztahem (1).

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}} \quad (1)$$

Ať je hodnota korelačního koeficientu jakákoli, nemůže sama o sobě prokázat, že změny jedné proměnné skutečně působí na druhou. Především ve výběrech o malém rozsahu je vhodné nakládat s výsledky zkoumání opatrně. Korelace také nutně neznamená kauzalitu. [4]

1.2 Regresní analýza

Regresní analýza se používá v situacích, kdy zkoumáme závislost kvantitativní proměnné na jedné nebo více kvantitativních proměnných. Tyto se nazývají regresory. Regresní analýza se zabývá jednostrannými závislostmi. Jedná se o situace, kdy proti sobě stojí *vysvětlující* (nezávislá) a *vysvětlovaná* (závislá) proměnná.

Nejčastějším typem regrese je lineární regrese. Jedná se o situaci, kdy je regresní funkce lineární v parametrech. Výsledné parametry regresní přímky grafu lineární regrese jsou vypočteny pomocí některých z metod, nejčastěji metodou nejmenších čtverců.

Pomocí ní odhadujeme parametry tak, aby byl pro ně součet čtverců reziduí (zůstatků) minimální. Rozptýlenost bodů okolo přímky je dána zbytkovým rozptylem nebo směrodatnou chybou odhadu regrese. [3]

Mezi nejčastější typy lineární regresní funkce patří přímková, parabolická, polynomická, hyperbolická a logaritmická regrese. Obecně lze zapsat lineární regresní funkci ve tvaru následující rovnice (2)

$$\eta = \beta_0 + \beta_1 f_1(x) + \dots + \beta_p f_p(x), \quad (2)$$

kde η představuje závislou veličinu, β jsou jednotlivé regresní koeficienty a x vyjadřuje proměnnou funkce $f_i(x)$.

Cílem regresní analýzy je nejen hlubší poznání rysů vztahů, ale také bližší seznámení se se souvislostí konstrukce vhodných regresních modelů a popsání této závislosti. Při výpočtech i interpretacích dochází často k prolínání regresní a korelační analýzy. Ona rezidua je pro možnost porovnávání vhodné „studentizovat“. Studentizace je podobná standardizaci, ale používá odhadovanou směrodatnou odchylku namísto neznámé standardní odchylky. Postup studentizování reziduí popisuje následující vzorec (3)

$$r_i = \frac{e_i - \mu_i}{s_{e_i}}, \quad (3)$$

kde odhadovaná směrodatná odchylka s_{e_i} je dána vztahem (4)

$$s_{e_i} = s \sqrt{1 - \frac{1}{n} - \frac{(X_i - \bar{X})^2}{\sum (X_i - \bar{X})^2}}. \quad (4)$$

2 Představení vybraného fotbalového klubu

Slovan Liberec je jedním z nejúspěšnějších fotbalových klubů v České republice. V počtu titulů se se svými třemi mistrovskými tituly ze sezon 2001/2002, 2005/2006 a 2011/2012 řadí na čtvrté místo za pražské celky Spartu (12 titulů) a Slavii (4 tituly) a za Viktorii Plzeň (5 titulů). Slovan patří mezi jediných pět klubů v české nejvyšší fotbalové soutěži, které dokázaly získat alespoň jeden mistrovský titul. [5]

2.1 Finance klubu

Slovan se opírá o finanční zázemí společnosti Preciosa, a. s., svého jediného akcionáře. Díky tomu mohl od společnosti Preciosa, a. s. čerpat půjčku 15 mil. Kč v rámci ujednané úvěrové linky. Jedinou čerpanou dotací z veřejných fondů byla v roce 2017 částka 7 tis. Kč na ženský fotbal od města Harrachov. Z jiných veřejných rozpočtů Slovan žádné finanční prostředky nečerpal.

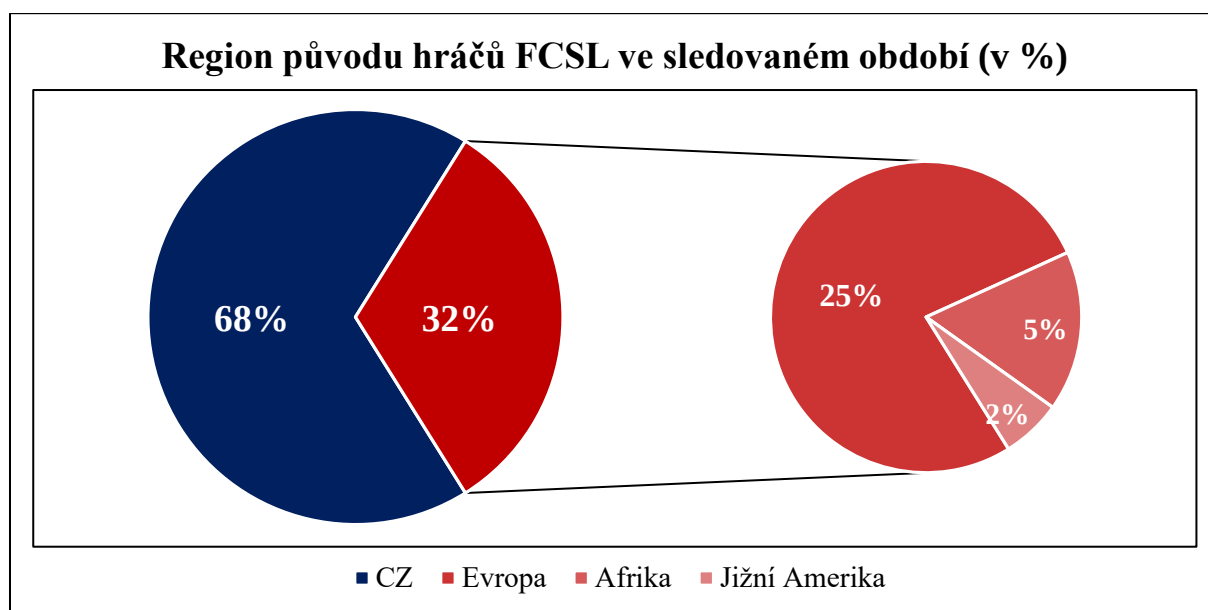
Jako jeden z mála českých klubů působících v nejvyšší fotbalové soutěži je Slovan Liberec z dlouhodobého pohledu v kladných číslech. V hospodaření klubu se střetávají přístupy účetní a sportovní. I proto, že je majitelem silná skupina Preciosa, včele s konzervativním Ludvíkem Karlem, převážila na severu Čech preference finančních výsledků nad sportovní strategií a koncepcí. Důsledkem jsou vysoké příjmy klubu z přestupů, kde je Slovan tradičně velmi aktivní, nad výdaji na nové hráče.

V sezoně 2013/2014 měl Slovan naposledy základní kapitál ve výši 251 116 000 Kč. Od následující sezony se základní kapitál zmenšil o 90 % na desetinu této sumy. Snížením základního kapitálu reagoval Slovan na nařízení UEFA o tzv. Financial Fair Play. Ta přesně stanovuje minimální výši základního kapitálu klubů v poměru k jejich ztrátě. Nové nařízení umožnilo klubu po sezoně 2012/13 radikální snížení svého základního kapitálu. Strategie Financial Fair Play je od roku 2012 ze strany UEFA každé tři roky aktualizována (naposledy 2018). [6]

3 Aplikace statistických metod

Výše zmíněné statistické metody byly aplikovány na 149 hráčů prvního týmu prvoligového klubu FC Slovan Liberec, a. s. (FCSL), kteří za klub nastupovali v sezonách 2008/2009 až 2017/2018. Mezi těmito bylo celkem 48 hráčů jiné národnosti než české. Cizinci tak tvořili 32,21 % všech hráčů.

Nejvíce zahraničních hráčů pocházelo z Evropy (37), nejčastěji ze Slovenska a Ukrajiny. Ze zemí bývalé Jugoslávie pocházelo 10 hráčů. Exotické hráče z afrického kontinentu doplňovali po jednom hráči pro českou ligu neméně nevšedních národností z Nizozemska a Litvy. Hráčů z Brazílie bylo v klubu více než pro Českou republiku demograficky bližších Rusů, Bosňanů nebo Slovinců. Grafické znázornění procentuálního zastoupení regionů je vidět na grafu níže. (Obr. 1)



Obr. 1 Region původu hráčů FCSL v období sezon 2008/09 až 2017/18

Zdroj: vlastní zpracování

Z grafu je patrné, že FCSL sází z podstatné části (32,21 %) na zahraniční hráče. Jedná se o třetí nejvyšší podíl mezi českými kluby (po Spartě a Slavii Praha). Pro každého hráče (včetně brankářů) platí pro potřeby práce následující výkonnostní rovnice (5)

$$X = [G + (C_1 \times Go) + A + (C_2 \times CS)] - [YC + (C_3 \times RC)], \quad (5)$$

kde proměnná X představuje bodové ohodnocení sportovního výkonu hráče za sezonu. Pravá strana rovnice je pomyslně rozdělena na dvě poloviny, rozdíl pozitivních a negativních herních statistik. Sportovní výkon ovlivňuje počet odehraných zápasů hráče (G), počet

vstřelených branek (**Go**) zesílený koeficientem (**C₁**) ve výši 5, počet asistencí (**A**) a čistá konta (**CS**) upravená o koeficient (**C₂**) dle hráčského postu. V rovnici jistě nejsou zmíněny všechny ukazatele, tyto jsou však jasně měřitelné a je možné je přiřadit individuálně každému jednomu hráči. Agregací proměnných do jednoho celku se může ztratit informace pro hodnocení a měření vztahů a závislostí proměnných, ale pro práci je tento postup z důvodu zjednodušení výstupu vhodný.

Od zmíněných výkonových statistik odečítáme tzv. negativní herní statistiky, mezi které patří udělené žluté (**YC**) a červené karty (**RC**). Červené karty jsou na rozdíl od žlutých zesílené o koeficient (**C₃**) ve výši 2,5. Vychází se z předpokladu, že červená karta může být získána buď součtem dvou žlutých karet v jednom zápase, nebo získána přímo. V takovém případě je však disciplinární trest pro hráče neúměrně vyšší. Hráč, který dostal dvě žluté karty v jednom zápase, a tudíž červenou kartu, bude v drtivé většině případů týmu chybět pouze jeden zápas (§ 46 Disciplinárního řádu FAČR). Na rozdíl od toho za přestupek ohodnocený přímo červenou kartou dostává hráč obvykle trest na 3 a více zápasů dle příslušného přestupku v disciplinárním řádu FAČR. [7]

3.1 Výsledky korelačních analýz

U všech zkoumaných skupin byla zjištěna pozitivní korelace výše získaného bodového ohodnocení a tržních hodnot hráčů. Vyšší korelační koeficient byl zjištěn u zahraničních hráčů, nižší u hráčů tuzemských, ne však významným rozdílem, jak bylo zjištěno testem shody korelačních koeficientů. Hodnoty korelačních koeficientů zachycuje tabulka níže (Tab. 1).

Tab. 1 Korelační koeficienty u zkoumaných skupin hráčů

Skupina x_i	Absolutní četnost n_i	Pearsonův korelační koeficient
Množina všech hráčů	149	0,813713
Čeští hráči	101	0,895039
Zahraniční hráči	48	0,906316

Zdroj: vlastní zpracování

Pozorujeme relativně vysokou hodnotu korelačního koeficientu u všech třech zkoumaných skupin. Všimněme si, že se se zvyšováním počtu pozorování snižuje hodnota korelačního koeficientu. Nejvyšší hodnotu Pearsonova korelačního koeficientu vykazuje množina zahraničních hráčů. Rozdíl mezi hodnotou korelačního koeficientu českých hráčů a hráčů zahraničních je přibližně jedna setina.

3.2 Výsledky regresních analýz

Do regresní analýzy byli zahrnuti všichni hrající hráči, kteří ve sledovaném období za FCSL nastupovali k soutěžním ligovým zápasům. První analýza se zabývá výběrem českých hráčů, druhá pak hráčům zahraničním z množiny všech hráčů. Konečné porovnání obou analýz je zpracováno formou jednoho grafu, který obsahuje grafické znázornění obou regresních analýz. Pro svou přiměřenou jednoduchost a přehlednost byl použit u všech regresních analýz lineární model (6)

$$Y = b_0 + b_1X, \quad (6)$$

kde parametr b_0 určuje hodnotu y pro $x = 0$ a parametr b_1 udává sklon regresní přímky. Důvodem použití stejného modelu u všech analýz je možnost porovnání výsledných zjištění a konstatování porovnatelných závěrů.

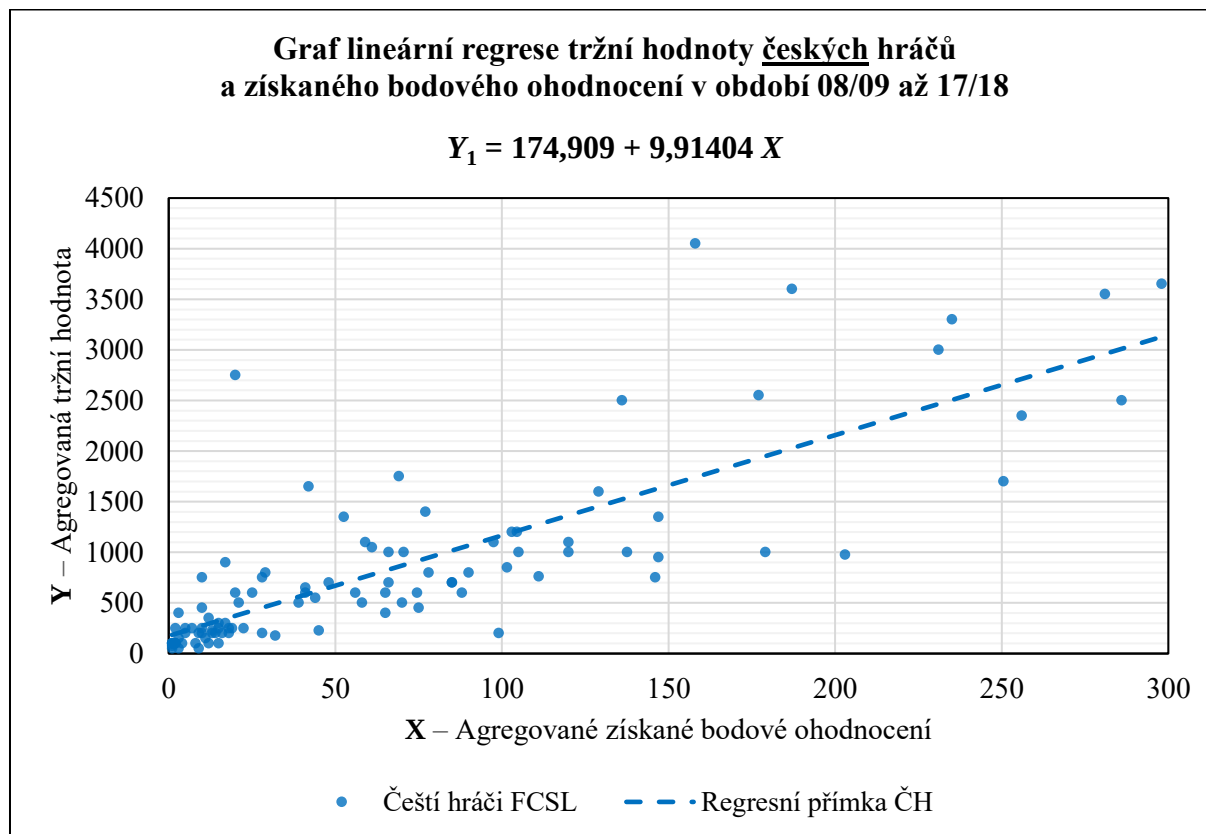
3.2.1 Regresní analýza českých hráčů FCSL

Analýza zabývající se *českými hráči FCSL*, kteří ve sledovaném období nastupovali v týmu FCSL, prokazuje statistickou významnost obou parametrů (b_0, b_1). Zvoleným modelem regresní analýzy je lineární model, který popisuje nezávislou proměnnou Y (TH) pomocí závislé proměnné X (ZBO). Regresní přímka má předpis (7)

$$Y_1 = 174,909 + 9,914 X \quad (7)$$

kde parametr b_0 o velikosti 174,909 udává minimální hodnotu hráče, i kdyby nezískal žádné bodové ohodnocení. Parametr b_1 stanovuje sklon regresní přímky. Z hodnoty P-Value nižší než hladina významnosti (0,05) vyplývá, že jsou oba parametry statisticky významné. Lze konstatovat, že agregovaná tržní hodnota závisí na výši agregovaného získaného bodového ohodnocení a že síla této závislosti je vzhledem k hodnotě P-Value vysoká.

Graficky znázorněnou regresní funkci skupiny *českých hráčů FCSL* ve sledovaném období zobrazuje následující graf (Obr. 2). Na ose y leží agregovaná tržní hodnota uváděná v tisících eur, na ose x agregované získané bodové ohodnocení. Největší hustotu bodů pozorujeme u počátku grafu, kde se nacházejí čeští hráči s relativně podprůměrnou hodnotou získaného bodového ohodnocení a nízkou tržní hodnotou. Spolu s rostoucí hodnotou x klesá hustota a stoupá rozptýl bodů kolem regresní přímky.



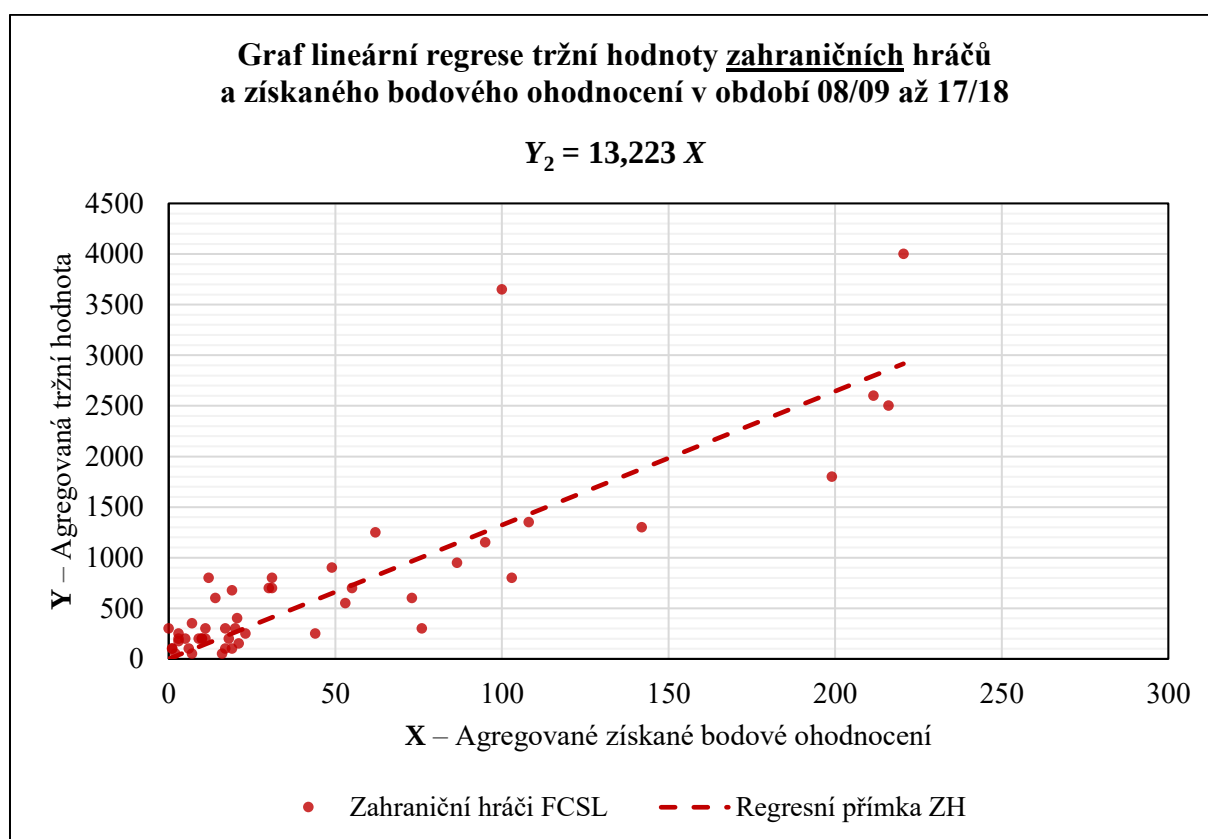
Obr. 2 Graf lineární regrese tržní hodnoty českých hráčů a získaných bodů v období 08/09 až 17/18
Zdroj: vlastní zpracování

3.3 Regresní analýza zahraničních hráčů FCSL

Pomocí druhé regresní analýzy je zkoumána závislost tržní hodnoty (TH) na získaném bodovém ohodnocení (ZBO) *zahraničních hráčů FCSL* ve sledovaném období. Zvolen byl lineární model, kde jako nezávislá proměnná Y vystupuje TH a jako závislá proměnná X je ZBO. V tomto případě neodhalila analýza statistickou významnost parametru b_0 , díky hodnotě $P\text{-Value} > 0,05$ (hladina významnosti). Regresní funkce sestává pouze ze směrnice b_1 , která má po vyřazení parametru b_0 hodnotu 13,223.

Sklon regresní přímky je vyšší než u předchozího zkoumání. Graficky znázorněnou regresní funkci skupiny *zahraničních hráčů FCSL* ve sledovaném období zobrazuje následující graf (Obr. 3). Na ose y leží agregovaná tržní hodnota uváděná v tisících eur, na ose x agregované získané bodové ohodnocení. Počátek regresní přímky je vzhledem k hodnotě parametru $b_0 = 0$ v počátku soustavy souřadnic, tj. $[0; 0]$. Regresní přímka závislosti TH na ZBO zahraničních hráčů má předpis (8).

$$Y_2 = 13,223 X \quad (8)$$



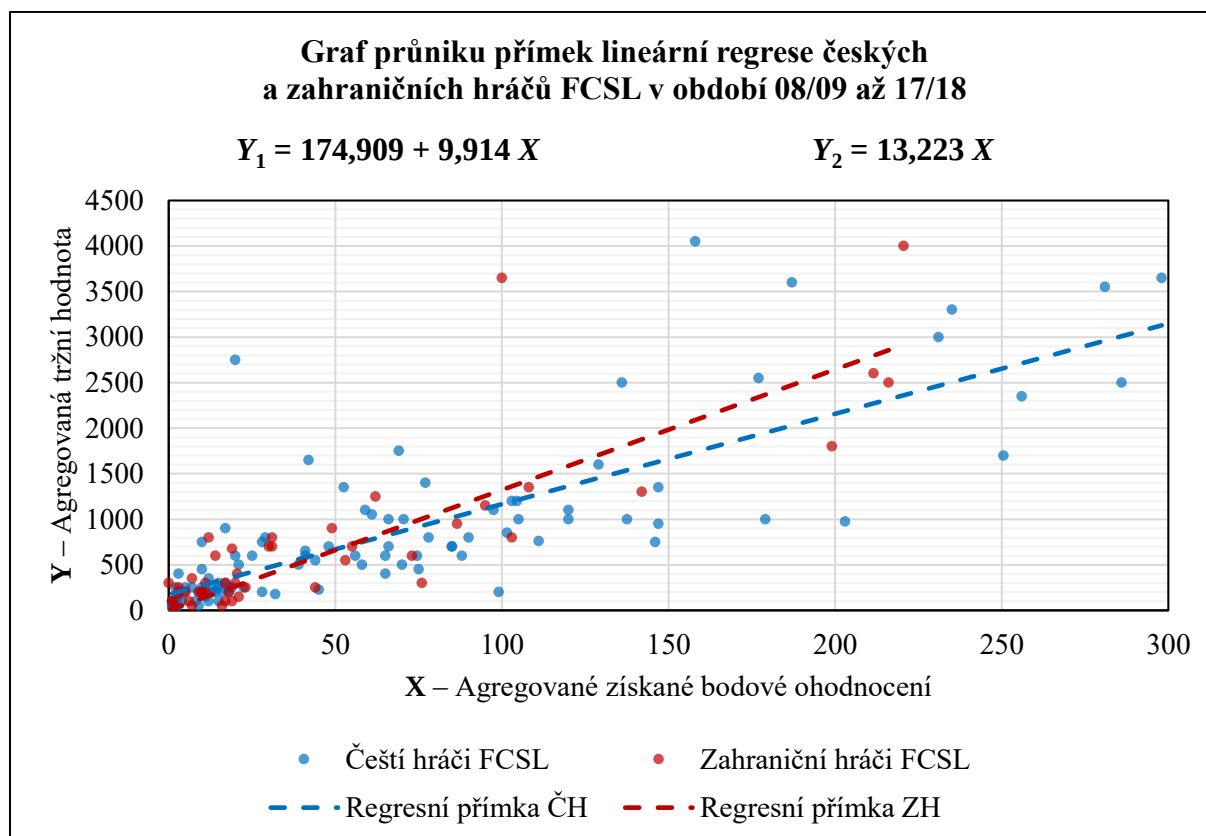
Obr. 3 Graf lineární regrese tržní hodnoty zahraničních hráčů a získaných v období 08/09 až 17/18
Zdroj: vlastní zpracování

Z hodnoty parametru $b_1 = 13,223$ vyplývá, že se zahraniční hráči zhodnocují v průměru o jednu třetinu více ve vztahu k dosaženému bodovému ohodnocení, které se snaží co nejvěrněji popisovat skutečné hráčské výkony na hřišti než čeští hráči.

3.4 Efektivita investic dle regresních analýz

V práci je efektivita investic popsána jako zhodnocování tržní hodnoty hráče. Cílem je ověřit rozdílnou efektivitu investic do zahraničních a českých hráčů. Grafickým znázorněním je lépe

patrná rozdílnost obou přímek, která je díky provedení testu statisticky významná. Z grafu (Obr. 4) je patrné rozdílné zhodnocování hráčů ve vztahu k získanému bodovému ohodnocení. Přímkou nejen že vychází z rozdílných výchozích bodů, navíc s osou x svírají různé úhly. Pro přesnější interpretaci analýz popíšeme bod průniku $S = [53; 699]$ obou křivek. Průsečík regresních přímek českých a zahraničních hráčů udává, od jakého získaného bodového ohodnocení se zahraniční hráči více zhodnocují v porovnání s českými hráči.

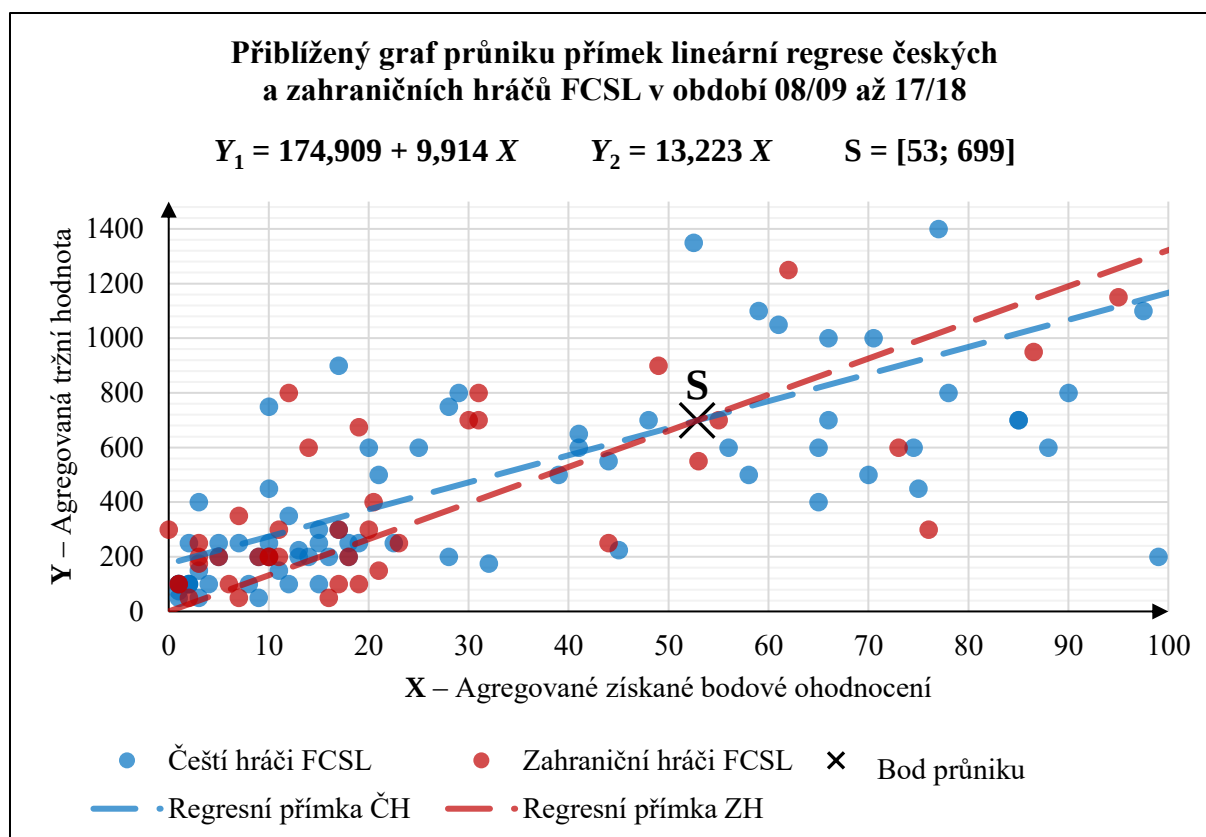


Obr. 4 Graf průniku přímek lineární regrese českých a zahraničních hráčů

Zdroj: vlastní zpracování

Přibližný graf (Obr. 5) je výřezem z předešlého grafu (Obr. 4). Oproti němu navíc zobrazuje bod průniku obou regresních přímek. Tento se, po zaokrouhlení na celá čísla, nachází na souřadnicích $[53; 699]$.

V intervalu $(0; 53)$ na ose x se klubu vyplatí investovat do tuzemských hráčů. V praxi může klub využívat tuzemské hráče „na zkoušku“ formou hostování nebo zařazením mladých hráčů z akademie do A týmu FCSL a následně je v poměru k zahraničním hráčům prodat za vyšší peněžní částky. O nákupu zahraničního hráče by měl klub uvažovat ve chvíli, kdy si je jistý, že u něj bude tento hráč nastupovat a získávat vyšší bodové ohodnocení než čeští hráči. V ten moment se bude klubu zhodnocovat lépe než český hráč a efektivita investice do zahraničního hráče poroste.



Obr. 5 Přibližný graf průniku přímek lineární regrese českých a zahraničních hráčů

Zdroj: vlastní zpracování

Závěr

Z provedených analýz můžeme závěrem potvrdit skutečnost, že zvolené proměnné nejsou nezávislé, díky vysoké hodnotě korelačního koeficientu lze vyvozovat jejich úzký vztah. Všechny provedené regresní analýzy potvrzují lineární závislost tržní hodnoty hráčů (TH) na získaném bodovém ohodnocení (ZBO) na zvolené hodnotě statistické významnosti.

Zahraničním hráčům roste hodnota při stejném bodovém ohodnocení v průměru o 33,38 % rychleji. Klubu se vyplatí investovat do zahraničních hráčů v případě, že je herně adekvátně vytíží (hráči budou bodově ohodnoceni). V případě nízkého bodového zisku zapříčiněným například nízkým herním vytížením mají čeští hráči tržně vyšší hodnotu než hráči zahraniční, což zahraniční hráče zvyhodňuje v očích klubů při potenciálním nákupu.

Z regresních analýz vyplývá, že se klubu vyplatí přivést pouze takové zahraniční hráče, kteří mají potenciál se v klubu prosadit. Zahraniční hráči se klubu k získaným bodům zhodnocují rychleji, avšak z nižšího základu než čeští hráči. Z toho plyne vyšší tržní hodnota podprůměrných českých hráčů než stejně podprůměrných zahraničních hráčů. Za možné doporučení klubu může sloužit model nákupu mladých perspektivních zahraničních hráčů, u kterých klub vidí potenciál prosazení se v týmu. K tomu lze ještě dodat, že se klub při nákupu zahraničních hráčů zaměřuje na mladé hráče, 34 hráčům z celkového počtu 48 cizinců (tj. 71 %) bylo v sezonách v průměru méně než 24 let.

Interpretace výsledků je složitá i díky mnoha faktorům působícím na tržní cenu hráče. V tomto smyslu se práce nesnaží stanovovat závěry, ale popisovat pravděpodobné souvislosti.

Přínos práce spočívá především v prvotním nastolení tématu efektivity investic do sportovců pro veřejnost i akademickou, ekonomickou a sportovní obec.

Rozšíření a navázání na práci by v budoucích zkoumáních zahrnovalo analýzu více sportovních celků případně celých ligových soutěží, jejich porovnání a rozšíření vzorce sportovní výkonnosti o další znaky charakteristické pro vybrané sportovce. Použití skutečné přestupové částky namísto v práci použité tržní hodnoty by výsledky analýz více přiblížilo reálné situaci sportovního prostředí. Je zde mimo jiné možnost přenesení podstaty práce do jiného odvětví, ať už do jiného sportu, nebo do od sportu znatelně rozdílného prostředí, například do umění, kde se některá umělecká díla překupují podobně jako fotbaloví hráči.

Literatura

- [1] POLI, Raffaele, Roger BESSON a Loïc RAVENEL, ed., 2016. Training clubs: Real Madrid and Ajax head the rankings, Barcelona downgrades. CIES Football Observatory [online]. Neuchâtel, Švýcarsko: CIES Football Observatory, 31.10.2016 [cit. 2019-03-03]. Dostupné z: <http://www.football-observatory.com/IMG/sites/b5wp/2016/163/en/>.
- [2] HEBÁK, Petr, 2013. Statistické myšlení a nástroje analýzy dat. Praha: Informatorium. ISBN 978-80-7333-105-4.
- [3] HENDL, Jan, 2012. Přehled statistických metod: analýza a metaanalýza dat. 4., rozš. vyd. Praha: Portál. ISBN 978-80-262-0200-4.
- [4] HINDLS, Richard, 2007. Statistika pro ekonomy. 8. vyd. Praha: Professional Publishing. ISBN 978-80-86946-43-6.
- [5] Informace o klubu FC Slovan Liberec, 2018. Fortunliga.cz: statistiky [online]. LFA & 2Score, eSports [cit. 2018-07-30]. Dostupné z: <https://www.fortunliga.cz/klub/2019/statistiky/7-fc-slovan-liberec#tab>
- [6] Financial Fair Play, 2018. UEFA.com: Inside UEFA [online]. Nyon: UEFA, 26. 6. 2018 [cit. 2019-02-09]. Dostupné z: <https://www.uefa.com/insideuefa/protecting-the-game/club-licensing-and-financial-fair-play/index.html>
- [7] Disciplinární řád FAČR 2018, 2018. Fotbal.cz: Úřední deska [online]. Praha: FAČR, 24. 7. 2018 [cit. 2019-04-23]. Dostupné z: <https://urednideska.fotbal.cz/document/download/724>

ŠŤASTNÝ ŽIVOT PODLE DÁNŮ A ŠVÉDŮ

Nikola Vachová

Sekce - EKONOMIKA,
Fakulta ekonomická, 2. ročník
Bakalářský studijní program – EKONOMIKA A MANAGEMENT MEZINÁRODNÍHO
OBCHODU

Abstrakt: Cílem této práce je představit čtenáři aktuální trend hygge a lagom. Jsou to pojmy, které označují životní styl Dánů a Švédů. Jelikož se Dánsko a Švédsko řadí mezi země s nejšťastnějšími obyvateli na světě, tak se lidé z ostatních zemí snaží jejich životní styl napodobit, nebo se jím alespoň inspirovat. Tato práce představí nejprve historii Vikingů, kteří dané státy ovlivnili a poté se zaměří na indexy a průzkumy, které dokazují, že jsou tyto dvě země nejšťastnější na světě. Dále jsou v této práci představeny zmíněné životní styly hygge a lagom a je zde uvedeno pár příkladů, které pomohou člověku být v životě šťastnějším.

Klíčová slova: Dánsko, Švédsko, životní styl, hygge, lagom

Úvod

Je známo, že země Skandinávie mají dlouhodobě nejšťastnější obyvatele na světě. Potvrzují to i různé průzkumy, světové indexy a statistiky. Aktuálně je skandinávský životní styl čím dál více obdivován a napodobován. Mnoho lidí ve vyspělých státech totiž v současné době neumí žít šťastný a pohodový život. Neustále se stresují, spěchají za kariérou a penězi, a spousta z nich se nedokáže jen tak zastavit a vychutnat si okamžiky štěstí.

Skandinávské země mají drsné podnebí, mají v celosvětovém kontextu relativně vysoké výdaje na sociální systémy, a přesto jsou zdejší lidé naprosto spokojeni a šťastní. Uspěchaní lidé z jiných zemí si pak kladou otázku, jak je toto možné a snaží se zjistit, co je klíčem k takovému životu. Tato práce se tedy zabývá hlavním současným trendem životního stylu a to konkrétně Dánů, kteří svůj životní styl označují slovem hygge [:hüge], a Švédů, jejichž životní styl se nazývá lagom [:lágom].

1 Šťastné národy Dánsko a Švédsko

Tato kapitola obsahuje podklady, které dokazují, že Dánsko a Švédsko se řadí mezi nejšťastnější národy na světě.

1.1 Vikingové

Na životní styl a podmínky má kromě jiného i vliv historie dané země. Na Skandinávské země, kam patří i Dánsko a Švédsko, měli v historii velký vliv právě Vikingové.

Už kolem roku 800 po Kr. se začali objevovat první Vikingové. Co se však týče jejich výpravných plaveb a prozkoumávání území, tak toto období je datováno v 9. až 10. století. Vikingové byli pohanští barbaři, kteří si stavěli své osady na území Skandinávie. Původně to byli prostí farmáři, kteří se snažili uživit i v tak nepříznivých přírodních podmínkách, které Skandinávie přináší. (*Bednaříková [1]*)

Později si Vikingové vyráběli lodě a začali praktikovat výpravné plavby i do jiných oblastí, jako byly Britské ostrovy, Pyrenejský i Apeninský poloostrov, Island a Grónsko a Rusko. Zde

rabovali a bojovali o zlato, šperky a drahé kovy. Vznikal zde rozdíl mezi dánskými a švédskými Vikingy. Dánští Vikingové chtěli hlavně plnit, zatímco švédští měli v úmyslu postupně začít obchodovat. Postupem času se z malých osad stala obchodní centra se zbožím. Obchodovali na Dálném východě, s Grónskem a dokonce i s Čínou. (*Bednaříková* [1])

Dá se říct, že již v této době se objevily prvopočátky dánského stylu hygge. Vikingové totiž trávili nejčastěji večery ve společném okruhu u praskajícího ohně, zachumlání v kožešinách. Dopřávali si dobré jídlo a pití a vyprávěli si různé historky. Objevil se tu však i znak švédského životního stylu lagom, protože Vikingové byli závislí na jejich úrodě, na mase a rybách, které lovíli a tudíž museli žít ve skromnosti a přiměřenosti. Říká se, že právě z doby Vikingů pochází slovní spojení laget om, které se dá přeložit jako pro celou skupinu. Roh s medovinou putoval od jednoho člena kmene k druhému a každý se napil jen přiměřeně, aby zbylo na každého. (*Wiking* [2], *Bronesová* [3], *Brantmarková* [4])

1.2 Indexy a průzkumy

Skandinávské země, kam patří právě Dánsko a Švédsko, lze rozdělit na relativně bohaté země, kam tyto dvě zmíněné spadají a na chudší země jako je Finsko, Norsko a Island. Tento rozdíl byl viděn spíše dříve, protože v současné době tyto tři státy dohnaly Dánsko i Švédsko, a tak se všechny Skandinávské země řadí mezi vyspělé státy, které mají otevřené a exportně orientované ekonomiky a vysokou životní úroveň. Ovšem tyto státy mají i vysoké výdaje na sociální systémy. (*Businessinfo* [5])

V současné době se na základě indexů a studií řadí tyto země mezi ty nejšťastnější na světě. Podle **Indexu prosperity**, který každoročně zhodnocuje 149 zemí světa, a to nejen v ekonomických údajích, jako je výše HDP, míra inflace a nezaměstnanosti. Tento index se také zabývá radostí ze života, jeho kvalitou, vyspělostí zdravotnictví a dalšími ukazateli. V roce 2018 se na pátém místě umístilo Dánsko a šesté místo obsadilo Švédsko. Pro srovnání, Česká republika skončila na 27. místě. (*Legatum Institute Foundation* [6])

Gender Gap Index – v jehož rámci se hodnotí více než 149 zemí z pohledu ekonomických příležitostí, rovnosti mužů a žen atd., se v roce 2017 v globálním měřítku na 5. místě umístilo Švédsko a Dánsko skončilo na 14. místě. (*The World Economic Forum* [7])

Podle **Indexu hrubého národního štěstí** v roce 2019 skončilo Dánsko na 2. místě a Švédsko na 7. místě. (*Countryeconomy* [8])

Podle **Indexu životních nákladů** bylo Dánsko v roce 2018 na 7. místě. To znamená, že patří mezi země s nejvyššími životními náklady. (*WorldData* [9])

Mezi základní faktory, které ovlivňují mezinárodní žebříčky štěstí a které jsou základem pro měření štěstí daných států, patří např. výše HDP na obyvatele, svoboda rozhodování o volbách, sociální podpora, dobrá veřejná správa a další. (*Wiking* [2])

1.3 Institut pro výzkum štěstí

V roce 2013 založil Meik Wiking společnost, která se nazývá Institut pro výzkum štěstí. Sídli v Kodani a úkolem této instituce je na základě vědeckého přístupu zjistit, proč jsou některé společnosti šťastnější než jiné. Informuje osoby s rozhodovací pravomocí o příčinách a důsledcích lidského štěstí a také se snaží hledat řešení, aby byly i další společnosti více šťastné a prosperující. (*The Happiness Research Institute* [10])

Institut staví na pokynech organizací OECD a OSN. Pro zjištění úrovně blahobytu, štěstí a kvality života, využívá různé metody. Meik Wiking zastává názor, že lidská pohoda je více než bohatství, protože ve vyspělých zemích je HDP vysoké, lidé jsou bohatší, ale ne

šťastnější. Z tohoto faktu vycházejí i vlády, které zkoumají, jak může výzkum štěstí přispět k veřejné politice. Díky zvýšení kvality života ve společnostech můžeme dosáhnout např. vyšší produktivity a dlouhověkosti. (*The Happiness Research Institute* [10])

Úroveň štěstí člověka ovlivňuje spousta aspektů, jako např. genetika, věk, sociální vztahy, zdravotní stav, ale také příjem, stav zaměstnání, politika dané země a další. Mezi stěžejní faktory, které ovlivňují rozdílnost štěstí ve světě, patří pospolitost, peníze, zdraví, důvěra a také svoboda a laskavost. (*The Happiness Research Institute* [10])

Institut spolu s Meikem Wikingem vydal také mnoho publikací. Jednou z nich je např. *In The Shadow Of Happiness*, kde se zabývají tím, že se země Skandinávie řadí mezi ty nejšťastnější, ale existují zde i oblasti, kde lidé trpí nebo bojují o přežití. (*The Happiness Research Institute* [10])

1.4 Meik Wiking

Meik Wiking je ředitel Institutu pro výzkum štěstí, který založil ve 34 letech. Odešel z dobře placené a příjemné práce, protože v ní neviděl takovou vášeň. Je také výzkumný partner Světové databáze štěstí, ale v současné době je známý hlavně jako autor světového bestselleru, knihy *Hygge* – prostě šťastný způsob života, kde vysvětluje, proč se Dánové řadí mezi nejšťastnější lidi na světě a přináší i spoustu typů, jak se mohou i lidé z jiných států cítit šťastněji. Také v knize uvádí, že Dáni odvedou až 52 % z daně příjmů. I přes takhle vysoké daně si Dánové nestěžují a jsou šťastní, protože mají pevný sociální systém a kromě pohodového přístupu k životu věří tomu, že jim díky placení daní stát pomůže v oblasti sociální politiky. Vidí to jako kvalitní investici. Knihu vydal v roce 2017 a navázal na ní druhou knihu s názvem *Lykke* – tajemství nejšťastnějších lidí na světě, kde se zabývá hledáním a nalézáním dobra, které je ve světě kolem nás. V rámci práce pro Institut pro výzkum štěstí procestoval spoustu zemí, jako Dubaj, Finsko, Rio de Janeiro, Jižní Koreu i USA a hledal tajemství nejšťastnějších lidí, které zahrnul do této knihy. (*Jota* [11])

2 Hygge

Hygge je označení pro dánský životní styl. Doslovný překlad tohoto slova je útulnost. Hygge se však dá vnímat i jako schopnost „hodit problémy za hlavu“ nebo důvěrná pospolitost. (*Wiking* [2])

Je to atmosféra, která člověka obklopuje a je to také vědomé prožívání štěstí. Dá se říct, že tento pojem znamená štěstí a pohodu, kterou zažíváme při oblíbených činnostech. Je to také pocit bezpečí, klidu a nostalgie. Pod pojmem hygge si každý může svým způsobem představit něco jiného. Může to být např. oběd s nejbližšími přáteli a rodinou, vychutnávání si vynikající kávy, čtení oblíbené knihy pod dekou a další. (*Wiking* [2])

Dánové tento styl života praktikují denně. Dokážou se radovat z maličkostí a vědomě si tuto klidnou atmosféru umí vytvořit. I přesto, že žádný člověk na světě nemůže být každý den, každou minutu šťastný, může svou špatnou náladu alespoň zmírnit, což právě Dánové dělají. Hygge se dá nalézt ve všech oblastech života, ať už v oblékání, v pracovním prostředí, doma i mimo domov, v oblasti gastronomie a další. Kromě toho má také tento styl, jako každý jiný, své specifické znaky. (*Wiking* [2])

2.1 Původ Hygge

Dánský životní styl hygge je datován na začátek 19. století. Zajímavostí však je, že původem je to označení norské. Dánové ho začali praktikovat, protože v letech 1397 – 1814 bylo

Dánsko a Norsko jedním královstvím. Přesný vznik tohoto označení není známý. Mohlo vzniknout a souviset s mnoha slovy cizích původů, jako např. z angličtiny, germánských jazyků atd. Nejvíce se přiklání k tomu, že hygge je složeno ze dvou slov pocházejících ze staré norštiny, a to ze slova hygga, což znamená utěšit a ze slova hugr, které má význam nálada. Původní obsah tohoto označení v norštině znamenal životní pohodu a blahobyt. (Wiking [2])

2.2 Charakteristické znaky Hygge

Hygge má 10 charakteristických znaků, kterými je tento životní styl definován:

- **Atmosféra** – Dánové jsou největšími spotřebiteli svíček na světě. Zapalují je v podstatě denně a to hlavně na podzim a v zimě. Podle výzkumu až 28 % Dánů svíčky zapaluje denně. Kromě svíček je důležité také správné osvětlení. Dánové si zakládají na tlumeném, žlutě zabarveném osvětlení. Dávají přednost více lampám v místnosti před jedním lustrem a jsou ochotni do správného osvětlení investovat spoustu peněz.
- **Přítomnost** – Důležitým znakem hygge je umění si užívat přítomný okamžik. Vypnout telefony a věnovat se přátelům, užívat si slunce a další. Není také dobré neustále řešit minulost a obávat se budoucnosti.
- **Potěšení** – Pro Dány je typické, že si rádi dopřávají dobré jídlo a pití, které si sami uvaří, ideálně spolu s přáteli. Jejich forma potěšení zahrnuje dorty a sladké zákusky ke kávě či čaji.
- **Rovnost** – Dánové věří, že všichni lidé by si měli být rovni a měli by si umět pomáhat a vycházet si vstříc.
- **Vděčnost** – Každý den může být člověk vděčný i za úplné maličkosti. Měl by si jich vážit a radovat se z toho. Mezi maličkosti se řadí například i to, že vysvitlo slunce.
- **Soulad** – Dánové věří, že není potřeba předvádět své úspěchy, není potřeba spolu soutěžit a dokazovat si, kdo je lepší. Lepší je, pokud se lidé vzájemně podporují.
- **Pohodlí** – Jedna z hlavních podstat životního stylu hygge. Je důležité se uvolnit, zastavit se a nespěchat.
- **Příměří** – Lidé by si měli umět odpouštět a neměli by zbytečně vyvolávat konflikty.
- **Pospolitost** – Dánové jsou velmi společenští a věří, že podstatou hygge je sdílet svůj čas s přáteli a rodinou a vytvářet si společné příběhy a vzpomínky.
- **Útočiště** – Dánové si užívají hygge hlavně doma, ale i kdekoli jinde si vytvářejí útulné prostředí, které jim poskytuje pocit bezpečí a pohody. (Wiking [2])

2.3 Hygge v oblasti gastronomie

Co se týče stylu hygge v oblasti gastronomie, tak Dánové dávají přednost domácí levné kuchyni. Nejraději pořádají večery, kdy se domluví s přáteli a vždy společně vaří tradiční pokrmy. Nepotrpí si na luxusní restaurace a raději si uvaří své vlastní pokrmy. Je to spojeno i s tím, že většina Dánů končí svoji pracovní dobu nejdéle v pět hodin odpoledne a tudíž mají dost času na to, aby si zašli na nákup a uvařili si poctivou večeři. (Wiking [2])

Hygge stravování se také dá označit pojmem tzv. slow food – doslovně pomalým jídlem. Souvisí to s tím, že Dánové jsou ochotni vařit i spoustu hodin a poté si pokrmy v klidu vychutnávají třeba celý večer, spolu s dobrým vínem. (*Wiking* [2])

Podle slov Meika Wikinga jsou Dánové milovníci sladkého a spotřeba cukrovinek je oproti evropskému průměru dvojnásobná. Dopřávají si je velmi často ke kávě či čaji, v kavárnách a cukrárnách. Jedna z nejpopulárnějších cukráren v Dánsku je La Glace, která byla založena v roce 1870. Má zde velmi silnou tradici a vynikající zákusky. Podle jednoho výzkumu Meika Wikinga si přes 60 % Dánů spojí se slovem hygge právě sladkosti a dorty. Na prvním místě se pak umístily teplé nápoje, protože přes 80 % Dánů si je spojí právě s hygge chvílemi. Nejraději pijí kávu, různé čaje, horkou čokoládu a kakao. (*Wiking* [2])

2.4 Hygge doma

Pro dánské hygge je typické, že je nejčastěji prožíváno v pohodlí domova. Dánové si tudíž velmi zakládají na krásném designu v jejich interiéru domova. Jsou ochotni utrácet vysoké sumy za nábytek i dekorace, jen aby jejich dům byl útulný a ve stylu hygge. Meik Wiking ve své knize uvádí, že podle dánského ministerstva životního prostředí je v Dánsku 750 000 krbů a kamen na dřevo, protože Dánové krby milují a díky nim mají doma tu správnou atmosféru. Jejich styl interiéru se značí starožitnými věcmi hlavně ze dřeva. Mají rádi vzdušné a čisté barvy stěn, krb a svíčky. Jejich dřevěné knihovničky obsahují mnoho knih a mezi hlavní dekorace se také řadí spousta polštářků, dek a kožešin. (*Wiking* [2])

2.5 Hygge v pracovní době

Dánové věří, že hygge by měli zažívat i v pracovním prostředí. Podle průzkumu Institutu pro výzkum štěstí s touto myšlenkou souhlasí až 78 % Dánů. Některé dánské kanceláře obsahují kromě klasických konferenčních stolů a židlí také křesla nebo gauče, kde probíhají různá obchodní jednání či schůzky. V očích Dánů to vytvoří mnohem uvolněnější atmosféru. Kromě toho i v dánských kancelářích dbají na dobré osvětlení a využívají hojně svíčky. (*Wiking* [2])

2.6 Hygge v oblékání

Oblékání Dánů musí být hlavně ležérní, ale také stylové. Dánská móda je spíše minimalistická a elegantní. Jelikož v období podzimu a zimy je počasí málo přívětivé, tak se místní neobjedou bez šály. Ideální je velká a huňatá. Nosí ji však i v létě jako módní doplněk. Většinou se zde nosí černá barva a tlumené barvy. Kvůli počasí jsou zde preferovány teplé svršky a důležitým prvkem skandinávské módy je vrstvení. Dánové mají také rádi pletené svetry a ponožky, které jim kromě tepla, přidávají pocit pohody. (*Wiking* [2])

2.7 Negativní stránka Hygge

Životní styl hygge se tváří jako dokonalý způsob jak prožívat štěstí. Každá věc i okamžik na světě mají ale i svou negativní stránku a jinak tomu není ani u tohoto životního stylu. Dánové svůj čas nejraději tráví s úzkou skupinou přátel, většinou v počtu 3 – 4 lidí a pro cizince, nebo někoho, kdo je jim neznámý, je velmi těžké proniknout do místních sociálních kruhů, protože neochotně přijímají „nováčky“. Neradi si pouští nové lidi blízko k tělu. Žít tímto stylem je svým způsobem i náročné pro introverty, kteří příliš neradi hovoří ve větších skupinách lidí. Hygge se dá ovšem prožívat i samostatně, ale aby to bylo hygge v pravém slova smyslu, je dobré alespoň někdy prožít čas i s ostatními lidmi. (*Wiking* [2])

Podle slov českého ekonoma Aleše Michla je hygge popsáno až moc pozitivně. Tento styl má řadu výhod a Dánové jsou díky němu doopravdy šťastní, ale podle jiných faktorů a jiných indikátorů, než je Index národního štěstí, ani hygge nezabrání tomu, aby se neobjevila negativa. Podle Světového výzkumného fondu pro výzkum rakoviny se Dánsko v roce 2018 umístilo na 8. místě, co se týče míry rakoviny. Bylo zde 340 lidí s rakovinou na 100 000 obyvatel. Pro zajímavost, Česká republika se umístila na 22. místě. (*American Institute for Cancer Research* [13])

Dále podle slov ekonoma Michla je v Dánsku vysoký počet žen, které zažily fyzické nebo sexuální násilí, je to také velmoc v množství vyprodukovaného odpadu na osobu a velká spousta lidí trpí alkoholismem. (*Graf týdne* [12])

Zajímavým faktem je, že země Skandinávie se řadí mezi státy s nejvyšším počtem sebevražd. Podle časopisu Reflex v současné době drží prvenství Grónsko, které je stále kolonií Dánska. Příčinou je, že obyvatelé v Grónsku se nedokáží přizpůsobit moderní době. Kromě toho se v těchto zemích střídá období tmy a období, kdy slunce téměř nezapadá. Velkou roli na počtu sebevražd má také vysoké požívání alkoholu. (*Reflex* [14])

3 Lagom

Kromě Dánska se na prvních příčkách v uvedených indexech objevují také Švédí. Opět patří mezi nejšťastnější národ na světě i přesto, že mají drsné přírodní podmínky. Stejně jako Dánové mají svůj styl života hygge, tak Švédí žijí stylem, který se nazývá lagom. Toto slovo se dá přeložit jako přiměřeně nebo ne příliš mnoho a ne příliš málo. Podstatou tohoto stylu je žít v rovnováze. V dnešním chaotickém světě chtějí mít Švédí ve svém životě rovnováhu, vyrovnanost a jednoduchost. Lagom je zčásti osobní životní rovnováha a zároveň i společenské porozumění a nachází krásu ve zdánlivě jednoduchých věcech. Životní styl lagom se dá rozdělit do tří hlavních kategorií, a to na lagom v osobním životě, dále v rodině a vztazích a třetí kategorie je lagom v širším kontextu. (*Bronesová* [3], *Brantmarková* [4])

4 Lagom v osobním životě

Životní styl lagom v osobním životě je velmi individuální záležitost. Jde o to, aby každý člověk našel rovnováhu ve vlastním životě a to ve všech možných oblastech. Rovnováhu lze nalézt např. v oblasti oblékání, gastronomie, osobních pocitů, pracovního života a dalších. I přesto, že je to osobní záležitost, existují různé zásady a typy, kterými se lidé mohou inspirovat. (*Brantmarková* [4])

4.1 Domov ve stylu Lagom

Podle Švédů i různých průzkumů začíná štěstí doma. Okolní prostředí totiž ovlivňuje míru stresu, který má vliv na naši fyzickou i psychickou kondici. Typický švédský domov je v umírněném stylu. Švédí nemají doma příliš luxusní a přepychové vybavení, ale ani příliš minimalistické. Dávají přednost světlým barvám a přírodním materiálům. Naprostým základem je však úklid, na kterém si Švédí potrpí, jelikož jsou pořádkumilovni. Neshromažďují kolem sebe příliš věcí a pravidelně je třídí. Vyměňují je, nebo prodávají na bleších trzích. Věří tomu, že volný prostor přispívá k duševní pohodě a vyrovnanosti. Velmi často také kupují vybavení svého domu tzv. z druhé ruky. V knize Lagom – tajemství spokojeného života autorka sepsala mnoho typů, jak bydlet jako Švédí. Zajímavým tabu ve Švédsku je to, že kdykoliv přijde návštěva, nikdy dovnitř domu nevstupují obutí a chodí

v ponožkách nebo v připravených papučích, které jsou ale připraveny již před vchodovými dveřmi, nikoliv např. na chodbě. (*Brantmarková [4]*)

4.2 Lagom v oblasti gastronomie

Základem švédské kuchyně ve stylu lagom jsou potraviny z místní produkce. Využívají se hojně čerstvé a sezónní potraviny a průmyslově nezpracovaná jídla. Tradiční švédská strava byla založená právě na sezónním ovoci a zelenině. V zimě se hojně využívá kořenová zelenina, jako je mrkev, celer, dále brambory, pastinák a řepa. Naopak v létě probíhá sběr lesních plodů, jako jsou brusinky, pěstují se čerstvé bylinky a využívá se listová zelenina. Mezi další suroviny využívané ve Švédsku patří mléčné výrobky, jako je smetana, máslo a zakysané mléčné výrobky. Tradiční zakysané mléko se nazývá Filmjölk. Základem pro švédskou stravu jsou také ryby a maso. Jedí se zde hojně makrely, sledi a obecně ryby s bílým masem. Nejoblíbenější rybou Švédů je herynek. Tradiční metodou uchovávání ryb je nakládání. Typickým, již u nás známým, pečivem je chlebový suchar, který se nazývá Knäckebröd. Co se týče sladkého pečiva, tak ho Švédi milují, stejně jako Dánové. Nejraději si dávají skořicové bulky a podle knihy Lagom – tajemství spokojeného života, kterou v roce 2018 napsala Niki Brantmarková, mají dokonce ve Švédsku 4. října svátek skořicových bulek. V roce 2013 provedl Nordic Centre of Excellence průzkum, že zdravá švédská strava má pozitivní vliv na hladinu cholesterolu a snižuje riziko srdeční ischemické choroby. (*Bronesová [3]*, *Brantmarková [4]*)

4.3 Lagom v zaměstnání

Většina lidí si úspěch spojuje s dokonalou kariérou, velkým množstvím peněz a luxusem. Švédi toto vnímají trochu jinak a spokojí se s tím, že mají všeho tak akorát. Nepotřebují příliš luxusu. Místo dokonalé kariéry se snaží, aby byli šťastní a vyrovnaní v osobním životě a soustředí se hlavně na rodinu, přátele a činnosti, které mají rádi. Co se týče zaměstnání, tak jsou Švédi velmi pilní a pracovití. Zároveň ale nepracují zbytečně přesčas a raději se věnují rodině. Pravidelně si také dopřávají společnou pauzu na kávu a něco dobrého. Tuto pauzu nazývají fikapaus. Kromě toho si Švédi také vždy vychutnávají naprosto v klidu oběd. Z výzkumu psychologek z Hankamer School of Business na Baylor University vzešlo, že pokud si lidé dopřávají dopolední pauzu v práci, tak jsou pak mnohem energičtější a více se soustředí. Švédi také dbají na správné sezení v práci, tudíž v kancelářích používají křesla s ergonomickými prvky včetně podložek na nohy a zápěstí, tak aby každému zaměstnanci bylo místo pohodlné, ale zároveň aby seděl tak jak má. Také využívají v kancelářích rostliny, protože z výzkumu vyšlo, že zeleň pomáhá zvyšovat produktivitu až o 15 %. (*Brantmarková [4]*)

Co se týče dovolené, tak tu si Švédi bez výčitek užívají. Většinou si vyberou 3 – 4 týdny v kuse a plně se věnují rodině. Během této doby většinou nečtou žádné e-maily ani nepřijímají pracovní hovory. Autorka ve své knize Lagom uvádí, že Glassdoor-Harris provedl průzkum, ve kterém vyšlo, že každý čtvrtý Američan si svou dovolenou ani nevybere a až 61 % lidí při své dovolené pracuje. Je dokázáno, že pokud si člověk vezme dovolenou, kterou si užije na 100 %, tak sníží riziko stresu a vyčerpání a poté bude produktivnější. (*Brantmarková [4]*)

5 Lagom v rodině a vztazích

Co se týče vztahů a rodiny, tak pro Švédy je tato oblast vždy na prvním místě. Důležité je budovat vzájemný respekt, důvěru a porozumění. Švédi si zakládají na upřímnosti a umění naslouchat. Dále si potrpí na nezávislosti a věří, že je důležité, aby partneři trávili čas spolu,

ale také měli své vlastní koníčky a prostor. Jejich společenský systém je nastavený tak, aby se o sebe každý dokázal postarat sám. Např. mají vysoce dotované školky, a tudíž se očekává, že po mateřské dovolené budou opět oba rodiče pracovat. Ve Švédsku platí také rovnovážnost vztahů a není zde neobvyklé, že spousta otců chodí na rodičovskou dovolenou. Také dbají na to, aby každý přispíval rovným dílem. Není proto nijak zvláštní, že Švédi nerozdělují domácí práce na typicky ženské a mužské. Rozdělují si je na půl a také podle toho, koho co baví víc. Tudíž muž klidně může vařit, žehlit a prát prádlo a žena se může věnovat i typicky mužským pracím. Základem pro udržení dlouhodobého vztahu vidí Švédi kromě zmíněných vlastností také laskavost. Partneři by si měli svou lásku často projevovat, ale spíše drobnostmi a měli by být k sobě za každých okolností laskaví. (*Brantmarková [4]*)

6 Lagom v širším kontextu

Švédi svůj životní styl lagom nepřenášejí pouze na osobní život a vztahy, ale snaží se ho zařadit i do všeobecného kontextu. (*Brantmarková [4]*)

6.1 Lagom ve společnosti

Tento životní styl se snaží, aby lidé žili v lepší a spravedlivější společnosti. Proto Švédi velmi často pomáhají ostatním a přihlašují se i do různých komunit. Z průzkumu, který provedl Harvard Business School vyplynulo, že pokud člověk pomáhá ostatním, cítí se sám mnohem šťastnější a více vyrovnaný. Také ho to nutí přemýšlet nad tím, zda jsou jeho problémy opravdu tak veliké, jak si zrovna myslí. Švédsko má velmi liberální přístup ohledně uprchlíků a pokouší se jim vyjít vstříc. Lidé mají snahu, aby se jim v nové zemi povedlo najít si střechu nad hlavou a zabydlet se. Malin Nihlbergová, dobrovolnice pracující ve švédské neziskové organizaci, která se nazývá Kompis Sverige, potvrdila, že díky podpoře jedné rodiny, která uprchla do Švédska, má mnohem větší pochopení pro ostatní a je také svobodomyslnější. (*Brantmarková [4]*)

6.2 Lagom ve vztahu k přírodě

V současné době je známo, že si lidstvo ničí svými aktivitami planetu. A tak se i Švédsko snaží minimalizovat škody, které lidstvo páchá.

Švédi se snaží podpořit růst vegetace a rozmnožování zvířat. Dělají to tak, že např. pokud vlastní zahradu či travnatý pozemek, nechávají alespoň na pár metrech vyrůst vysokou travu, kterou nesekejí. Dělají to proto, aby se zde usídlil hmyz, ježci a další zvířata. Také snad každý z nich má doma nějaké krmítko nebo budku a v období zimy tímto krmí ptáky, kterým se hůře shání potrava. (*Brantmarková [4]*)

Švédské město Mölndal již zavedlo opatření a vytvořilo tzv. hmyzí hotel. Ten má přivábit různé druhy hmyzu, motýly, divoké včely, ale i ptáky a další tvory. Hmyzí hotely však už nejsou pouze ve Švédsku, ale tento trend se rozmáhá po celém světě. Existují i v České republice. Obyvatelé ve Stockholmu mají dokonce i tzv. včelí zónu a snaží se je tam přivábit a zařídit jim dostatečnou potravu. (*Brantmarková [4]*)

Jak již bylo zmíněno, Švédové jsou velmi pořádkumilovní. Neplatí to však jen u nich doma, ale i ve společnosti. I přesto, že ve Švédsku fungují veřejné úklidové služby, mnoho obyvatel se snaží dobrovolně pomáhat a uklízet veřejné plochy. (*Brantmarková [4]*)

V současné době se ve světě, tudíž i ve Švédsku, řeší problém s nadměrnou produkcí plastů. Stejně jako jinde ve světě, se zde nosí na nákup látkové a papírové tašky a projevuje se také snaha nakupovat spousta potravin bez plastových obalů a další. Probíhá tu hojně recyklace a

podle knihy Lagom, Švédi v roce 2010 recyklovali až 88 % PET lahví a hliníkových plechovek. (Brantmarková [4])

Podle statistik OSN by v roce 2025 měla až ¼ obyvatel trpět nedostatkem vody, což je velmi znepokojivá situace. I přesto, že Švédsko je zemí tisíců jezer a má přístup k moři, tak se místní obyvatelé snaží vodou velice šetřit a vážit si jí. Spousta švédských chat využívá i venkovní solární sprchy, které fungují díky solárním panelům. (Brantmarková [4])

Co se týče globálního plýtvání jídlem, tak i v této oblasti již Švédové podnikají různé kroky ke zmírnění tohoto problému. Kromě známých opatření, jako je kupovat méně potravin, nevyhazovat zbytky, využívat potravinových bank a tak dále, přišli Švédi s dalším významným řešením. V mnoha částech země dávají místní úřady lidem papírové tašky na organický odpad, ty později vybírají a z tohoto odpadu vyrábí bioplyn, kterým jsou poháněny městské autobusy. Např. město Stockholm vyrobí každý měsíc 115 000 m³ bioplynu na pohon autobusů a taxíků. Je vyroben zhruba z 993 kg tun zbytků potravin, což je zhruba 1 kg na osobu. Spousta obyvatel také hojně kompostuje a pěstuje si své bylinky, ovoce a zeleninu. (Brantmarková [4])

Švédi se snaží chovat ekologicky, a tudíž se prosazuje využívání jízdních kol a e-kol místo jízdy autem a na motorkách. Kromě ekologičtějšího způsobu dopravy to má pozitivní vliv na jejich psychickou a fyzickou stránku. (Brantmarková [4])

Závěr

Závěrem lze říct, že oba životní styly jsou založeny na psychické i fyzické pohodě. Pokud chtějí lidé žít šťastný a spokojený život, tak by se měli zaměřit na důležité věci, jako je rodina, přátelé, zdraví a psychická pohoda. Měli by umět odpočívat a ne se neustále stresovat penězi a kariérou. Podle autorčina názoru, je život Dánů a Švédů velmi inspirativní. Mají drsné přírodní podmínky a stejně se dokážou radovat z maličkostí. Lidé v jiných zemích by si také měli uvědomit, že placení daní a příspěvky na sociální politiku jsou pro ně důležité a vrátí se jim to, když je potřeba. Žít spokojený život není velká věda a každý člověk si jen musí umět srovnat své priority. Autorku toto téma velmi bavilo, a také naučilo novým věcem. Rozhodně je to pro autorku velká inspirace k tomu, aby také žila spokojený život a zbytečně se nestresovala.

Literatura

- [1] BEDNAŘÍKOVÁ, Jarmila. *Stěhování národů a sever Evropy: Vikingové na mořích i na pevnině* [online]. 1581. vydání. Praha: Vyšehrad, 2017 [cit. 2019-04-13]. ISBN 978-80-7429-840-0. Dostupné z <https://books.google.cz/books?isbn=8087497406>
- [2] WIKING, Meik. *Hygge: Prostě šťastný způsob života*. Brno: Jota, 2017. ISBN 978-80-7565-111-2
- [3] BRONESOVÁ, Anna. *Žijme lagom: Inspirujte se švédským životním stylem*. Praha 4: Mladá fronta, 2018. ISBN 978-80-204-4661-9.
- [4] BRANTMARKOVÁ, Niki. *Lagom: Tajemství spokojeného života*. Brno, 2018. ISBN 978-80-265-0723-9.
- [5] Na skandinávské stezce úspěchu. *Na skandinávské stezce úspěchu* [online]. Copyright © 2019 [cit. 2019-04-13]. Dostupné z <https://www.businessinfo.cz/cs/clanky/na-skandinavske-stezce-uspechu-53079.html>

- [6] Legatum Institute Foundation: *THE LEGATUM PROSPERITY INDEX™* [online]. Copyright © 2018 [cit. 2019-04-13]. Dostupné z <https://www.prosperity.com/rankings>
- [7] The World Economic Forum – *Global Gender Gap Report* [online]. Copyright © 2019 [cit. 2019-04-13]. Dostupné z <http://reports.weforum.org/global-gender-gap-report-2017/dataexplorer/>
- [8] Countryeconomy.com: *World Happiness Index* [online]. Copyright © 2019 [cit. 2019-04-13]. Dostupné z <https://countryeconomy.com/demography/world-happiness-index>
- [9] WorldData.info: *Cost of living and purchasing power related to average income* [online]. Copyright © 2018 [cit. 2019-04-13] Dostupné z <https://www.worlddata.info/cost-of-living.php>
- [10] *The Happiness Research Institute* [online]. [cit. 2019-04-13]. Dostupné z <https://www.happinessresearchinstitute.com>
- [11] *Meik Wiking* [online]. Copyright © 2019 [cit. 2019-04-13]. Dostupné z <https://www.jota.cz/meik-wiking>
- [12] Graf týdne: *Proč Dánové nejsou zas tak šťastným národem* [online]. Copyright © 2019 [cit. 2019-04-13]. Dostupné z <https://www.forbes.cz/graf-tydne-proc-danove-zas-tak-moc-stesti-nepobrali/>
- [13] American Institute for Cancer Research: *Global cancer data by country* [online]. Copyright © 2018 [cit. 2019-04-13]. Dostupné z <https://www.wcrf.org/dietandcancer/cancer-trends/data-cancer-frequency-country>
- [14] Reflex: *Volby v Grónsku: Sny o nezávislosti na Dánsku, Číňané kroužící kolem nerostného bohatství a sebevraždy* [online]. Copyright © 2019 [cit. 2019-04-13]. Dostupné z <https://www.reflex.cz/clanek/komentare/86762/volby-v-gronsku-sny-o-nezavislosti-na-dansku-cinane-krouzici-kolem-nerostneho-bohatstvi-a-sebevrazdy.html>

Seznam prací soutěže SVOČ 2019 sekce **MECHATRONIKA**

strana	Autor	Název práce
BSP + NMSP		
261	Zoltán DOLENSKÝ	OPTIMALIZACE 3D TISKU SLS TECHNOLOGIÍ
271	Marcel HAVRDA	PŘÍPRAVA NANOČÁSTIC ZLATA LASEROVÝMI TECHNIKAMI A JEJICH IN SITU FUNKCIONALIZACE
281	Matěj CHUMLEN	ODHAD ČEKACÍ DOBY POMOCÍ ZPRACOVÁNÍ OBRAZU
294	Anna KAVÁNOVÁ	HODNOCENÍ UŽITNÝCH VLASTNOSTÍ TENKÝCH VRSTEV A JEJICH APLIKACE V PRŮMYSLU
303	Karolína SEDLÁČKOVÁ	DIGITÁLNÍ HOLOGRAFICKÁ MIKROSKOPIE S VYSOKÝM ROZLIŠENÍM
311	Ondřej SEIBERT	VLIV PŘÍDAVKU NANOČÁSTIC PŘIPRAVENÝCH ZELENOU SYNTÉZOU NA TRIBOLOGICKÉ VLASTNOSTI LUBRIKANTU

Optimalizace 3D tisku SLS technologií

Dolenský Zoltán

Sekce – MECHATRONIKA,

Fakulta mechatroniky, informatiky a mezioborových studií, 3. ročník

Bakalářský studijní program – ELEKTROTECHNIKA A INFORMATIKA

Abstrakt: Cílem této práce je vývoj optimalizačního software pro technologii Selective Laser Sintering (SLS), jehož vstupem je libovolný virtuální model. Implementovaný algoritmus navrhne optimální natočení modelu pro dosažení co nejvyšší kvality výtisku.

Klíčová slova: 3D tiskárna, virtuální model, optimalizace,

1. Úvod

Technologie 3D tisku se ve světě vyvíjí již od 80. let minulého století a v posledních letech lze dokonce zaznamenat snahu o zapojení některých z těchto technologií i do procesu průmyslové sériové výroby. Primárním využitím technologií 3D tisku je však v dnešní době snadná výroba prototypů. Jednou z mnoha metod 3D tisku je také Selective Laser Sintering. Jedná se o proces vypalování jednotlivých vrstev výtisku laserem do plastového nebo kovového prášku. Tato technologie je poměrně oblíbená, jelikož se hodí na tisk komplikovaných struktur a topologicky optimalizovaných dílů. Stejně jako u každé jiné technologie však existují určitá pravidla, jenž je nutné pro dosažení kvalitního výtisku dodržet. Tato práce se zabývá vývojem software sloužícího k analýze vstupních dat pro 3D tiskárnu a návrhu neoptimálnější kombinace natočení modelu dle osy X a Y v kartézském systému.

2. Selective Laser Sintering

Selective Laser Sintering zástupcem technologií aditivní výroby využívajících jako vstupní materiál prášek. Při tisku pomocí této technologie jsou do tiskového prostoru postupně nanášeny vrstvy prášku, který je následně selektivně spékán laserovou hlavou. Tisková komora bývá většinou vyhřívána na teplotu těsně pod bod tání tištěného materiálu, čímž se snižují nároky na výkon laseru. V praxi se lze setkat se dvěma způsoby provedení těchto tiskáren. Laser může být buď stabilně ukotven nad tiskovou komorou a paprsek je pomocí zrcadel usměrňován po pracovní ploše, nebo je možné použít laserový plotter opisující do prášku jednotlivé vrstvy. V tiskárně se dále nachází dvě komory s pístovým mechanismem, z nichž jedna slouží jako zásobník materiálu pro tisk a druhá jako samotná pracovní plocha. Materiál je během tisku přenášán ze zásobní komory na pracovní plochu pomocí mechanismu, jenž se nazývá recoater. Přebytečný prášek je po nanesení každé vrstvy smeten do přepadové nádoby [11].

Velikou výhodou této technologie je možnost tisku komplikovaných struktur a topologicky optimalizovaných dílů. SLS také umožňuje skládání výtisků v tiskovém prostoru nad sebe, jelikož okolní nespečený prášek slouží jako důkladně očistit od nespečeného prášku [4]. Většina materiálů pro tuto technologii je složena z velice jemných částic (20-150 um), a tudíž je velice obtížné udržovat čistotu v okolí tiskárny z důvodu extrémní prašnosti.

3. Problematika polohování dílů pro tisk pomocí SLS

Při tisku pomocí technologie SLS vzniká několik problémů, jenž jsou pro tuto technologii specifické a jiné jimi netrpí. Největším z problémů je komplikovaný tisk velkých ploch, které po spečení nabydou na hustotě a jejich středy se propadají do nespečeného prášku pod nimi. Výsledkem je tedy oblý tvar místo rovné plochy. Řešením tohoto problému je polohování výtisku tak, aby docházelo k rozvoji spekané plochy jednotlivých vrstev postupně od téměř nulové hodnoty až k maximu. Také tisk masivních modelů s velkou plochou jednotlivých vrstev může být problematický, model je však možné vytisknout jako dutý objekt, přičemž nespečený prášek uvnitř zůstává a slouží jako výplň. Touto metodou lze docílit také výrazného zrychlení tisku [1].

Další problémem je distribuce tepelné energie v tiskovém prostoru, kdy se při umístění několika modelů nad sebe nebo špatném polohování jednoho dílu teplo akumuluje na určitých místech, jenž může při chladnutí tiskového prostoru po tisku způsobit zkroucení výtisku nebo jeho části. Tato problematika je řešena již při přípravě dat a díly je nutno polohovat takovým způsobem, aby mohlo teplo ze všech výtisků stoupat rovnoměrně směrem vzhůru a neakumulovat se. Výtisky kupolovitého tvaru nebo obsahující neprůchozí otvory jsou pro tisk obzvlášť problematické a pro dosažení maximální možné kvality je potřeba je polohovat tak, aby nedošlo k akumulaci tepelné energie v žádné jejich části [2].

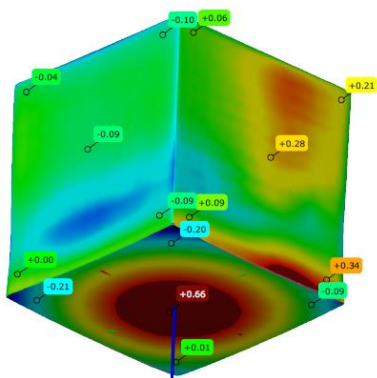
4. Analýza testovacích výtisků

Pro využití 3D tisku pomocí technologie SLS v laboratoři CXI vznikla potřeba vývoje software, který umožní automaticky vyřešit jeden z největších problémů při využití této technologie, komplikovaný tisk velkých ploch. Algoritmus je navržen tak, aby analyzoval rozvoj plochy modelu po jednotlivých vrstvách, a našel jeho optimální natočení pro dosažení co nejvyšší rozměrové přesnosti výtisku. Plocha mezi výtiskem a okolním nespečeným práškem sloužícím jako podpora by zároveň měla dosahovat maximální možné hodnoty.

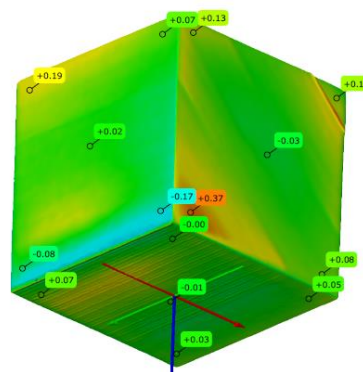
Typickým příkladem pro testování různých metod polohování je tisk jednoduchých geometrických těles, v případě této práce krychle. Použita byla krychle o délce stran 40 mm a za účelem praktického ověření byla vytištěna třemi různými způsoby. V prvním případě bez jakéhokoliv polohování, což se výrazně projevilo na kvalitě

výtisku. Při spečení velké plochy došlo k propadu vrstev do prášku pod výtiskem a výsledkem byla nepřesná, pokrivená krychle s oblým tvarem na její spodní straně [3].

V druhém případě, kdy byla krychle pootočená dle jedné osy o 45 °C a v tiskovém prostoru tedy stála na hraně, došlo k výraznému zlepšení kvality výtisku z důvodu zvýšení styčné plochy mezi výtiskem a okolním nespečeným práškem sloužícím jako podpůrný materiál. Výtisk polohovaný touto metodou dosahoval nejlepší rozměrové přesnosti.

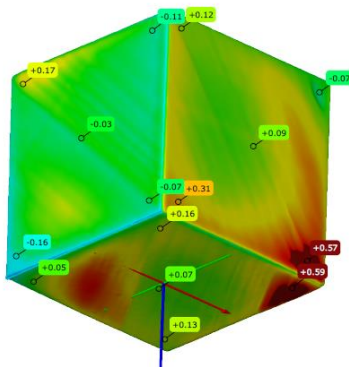


Obrázek 1 - Výtisk bez polohování (výrazná deformace na spodní straně)



Obrázek 2 - Druhá metoda polohování

Podobného výsledku bylo dosaženo i při rotaci výtisku o 45 °C ve dvou osách, kdy krychle stála na jednom z vrcholů a plocha výtisku se rozvíjela od nuly. V této poloze je také nejefektivněji využít okolní nespečený prášek díky velikosti jeho kontaktní plochy s výtiskem. Na výtisku se však projeví nerovnosti způsobené pravděpodobně recoaterem tiskárny a při analýze tedy nedosáhl stejné kvality jako výtisk polohovaný druhou metodou. Výtisky byly v laboratoři 3D měření a digitalizace naskenovány na 3D skeneru Atos Triplescan a po porovnání získaných dat s CAD modelem bylo zjištěno, že při použití druhé a třetí metody lze dosáhnout velice podobné kvality výtisku. Maximální rozměrová odchylka při těchto metodách dosáhla hodnoty 0,47 mm. Na jednom místě výtisku se však projevila chyba způsobena recoaterem, zde vznikla odchylka až 0,59 mm. Tato závada je však náhodná a nelze ji počítat do rozměrové přesnosti tiskárny.



Obrázek 3 - Třetí metoda (průběh plochy kopíruje Gaussovu křivku)

Podrobnější analýza v software Matlab následně ukázala, že rozvoj plochy výtisku po jednotlivých vrstvách při tomto způsobu polohování nabývá podobnosti s Gaussovou křivkou. Toto zjištění je klíčovou informací při tvorbě optimalizačního algoritmu a později bylo zjištěno, že jej lze využít i při polohování složitých konstrukčních dílů. Ačkoliv tedy dopadl výtisk polohovaný třetí metodou hůře druhou, pro analýzu průběhu plochy v závislosti na výšce modelu se Gaussova křivka ukázala jako vhodnější než průběh plochy u druhého výtisku. Nepřesnost navíc nebyla způsobena špatným polohováním, ale chybou tiskárny.

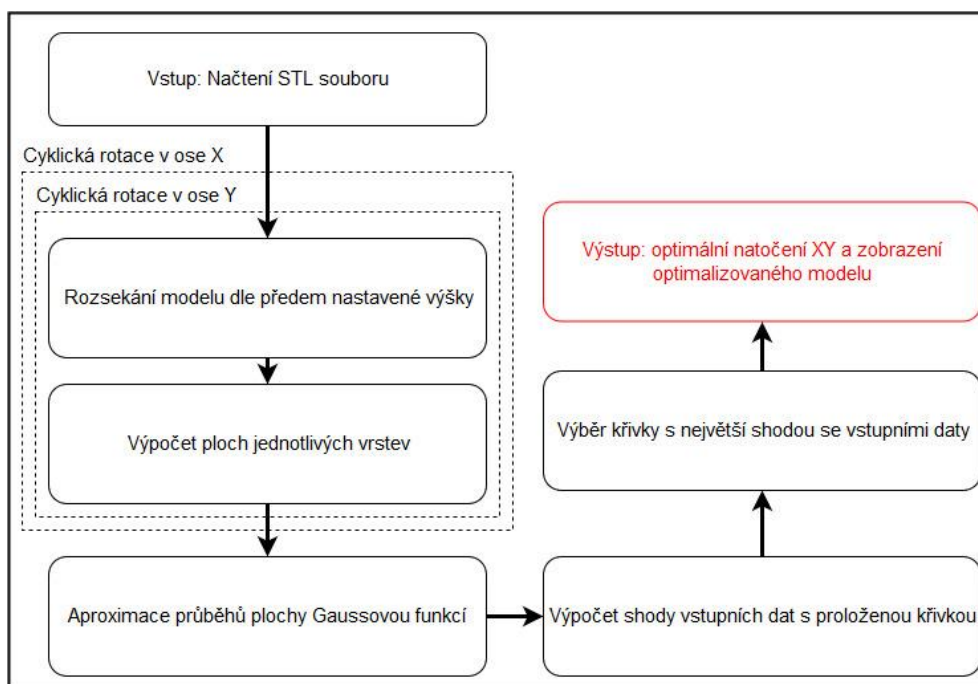
5. Implementace polohovacího algoritmu

1.1. Formát STL

Vstupními daty pro optimalizační algoritmus byly soubory ve formátu STL. Tento formát je v dnešní době standardem využívaným ve všech sférách aditivní výroby. Vytvořen byl společností 3D Systems a popisuje geometrii trojrozměrného objektu bez informace o jeho barvách či texturách, jak je tomu u jiných formátů využívaných v CAD software. [4] Při exportu CAD modelu do tohoto formátu je objekt triangulován, tzn. popsán pomocí trojúhelníků a jejich jednotkových normálových vektorů v kartézské souřadnicové soustavě. [5] Při exportu lze zároveň určit hustotu triangulace, díky čemuž může být dosažena lepší kvalita dat pro 3D tiskárnu, s narůstajícím počtem trojúhelníků však roste také velikost souboru výpočetní náročnost při jeho dalším zpracování. Nižší hustota trojúhelníků se výrazně projeví na kvalitě modelu a může dokonce dojít k jeho znehodnocení.

Díky informacím získaných analýzou testovacích výtisků jednoduchého geometrického útvaru byl vytvořen optimalizační algoritmus vycházející z podobnosti nejvhodnějšího rozvoje plochy při tisku s Gaussovou křivkou. Vstupem do programu je soubor ve formátu STL (binární nebo ASCII). Model následně cyklicky rotuje dle osy X a Y o předem zadaný úhel α v rozsahu 0 až $(360^\circ - \alpha)$, kvůli shodě polohy modelu při $\alpha = 0^\circ$ a 360° . Velikost tohoto úhlu je volitelná a udává přesnost optimalizace modelu, zároveň však při použití příliš malých hodnot roste výpočetní náročnost algoritmu. Velikost úhlu α je vhodné volit tak, aby jí bylo možné beze zbytku dělit maximální hodnotu rotace, tedy 360° .

Při každé kombinaci rotace XY je model následně rozsekán na jednotlivé vrstvy dle předem nastavené výšky, která je také volitelná. Výstupem je matice bodů tvořících kontury jednotlivých vrstev. Tento postup je typický pro všechny software typu slicer. Po slicingu je cyklicky spočítána plocha každé vrstvy a hodnoty jsou uloženy do matice. Pro každou kombinaci rotace XY tedy vznikne průběh plochy v závislosti na stavební výšce, ke kterému lze přistupovat jako k matematické funkci. Každý z průběhů je proložen Gaussovou křivkou, přičemž za neoptimálnější lze zvolit tu, která se nejvíce shoduje s aproximovanými daty.



Obrázek 4 - Blokové schéma algoritmu

Pro realizaci polohovacího algoritmu byl použit software Matlab, který umožňuje jednoduchou práci s maticemi a díky tomu se ukázal jako nejvhodnější vývojové prostředí. Díky komunitě na portálu MathWorks File Exchange již navíc existují hotové funkce přímo pro práci s STL soubory, které tedy nebylo nutné implementovat. Pro načtení STL souboru do Matlabu byl použit open source skript od autora Sunil Bhandari, zdarma dostupný na File Exchange. Stažený balík obsahoval několik funkcí, z nichž jedna umožňuje načtení souboru v binárním formátu STL a vygenerování matice obsahující vrcholy všech trojúhelníků popisujících daný model. Funkce se nazývá *read_binary_stl_file* a po zavolání přečte STL soubor zadaný jako argument, detekuje v něm počet trojúhelníků a uloží souřadnice jejich vrcholů do výstupní matice. Pro získání jednotlivých vrstev je následně použita funkce *slice_stl*, jejímiž vstupními parametry jsou matice vrcholů trojúhelníků a předem deklarovaná výška vrstvy. Funkce následně nalezne průsečíky plochy jednotlivých trojúhelníků s plochu aktuální vrstvy a vytvoří konturu modelu v dané výšce. Tyto kontury jsou společně s hodnotami výšky jednotlivých vrstev výstupem funkce [6].

Použitím stažených, již hotových funkcí byl zajištěn import vstupních dat pro další zpracování a následně na ně bylo navázáno implementací vlastního algoritmu. Během slicing modelu se pro každou vrstvu spočítá její plocha. Pro každou kombinaci rotace XY vznikne průběh plochy v závislosti na výšce Z, který lze dále analyzovat jako matematickou funkci.

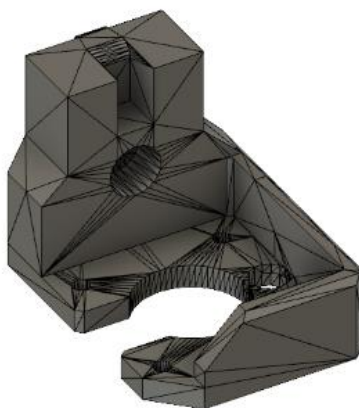
Po ukončení těchto dvou do sebe vnořených cyklů je pro další analýzu k dispozici matice rozvoje plochy modelu ve výšce Z pro každou z kombinací rotace osy X a Y. V této fázi optimalizace je vycházeno ze zásadního zjištění podobnosti průběhu plochy krychle, při tisku natočené na vrchol, a Gaussovy křivky. Data získaná při cyklické

rotaci a slicing modelu jsou tedy proložena křivkou gauss1, jenž je argumentem funkce *fit*, obsažené v balíku Curve fitting toolbox. Použitím této funkce na data každé z kombinací rotace osy X a Y vznikne matice aproximovaných křivek o velikosti $(n \times 1)$, kde n značí počet aproximovaných průběhů, tj. $(360^\circ/\alpha)^2$.

Díky Curve fitting toolboxu lze u každé aproximované křivky určit i takzvaný goodness of fit, tj. údaje o kvalitě aproximace. Ačkoliv se v této struktuře nachází 6 statistických parametrů, pro úspěšné porovnání aproximovaných křivek a výběr nejvhodnější kombinace rotací osy X a Y je využit pouze jeden. Parametr R-square, udávající procentuální shodu vstupních dat a aproximované křivky. Pomocí tohoto parametru lze vybrat průběh nejvíce se shodující s Gaussovou křivkou a označit jej za optimální. Přesnost aproximace se ve většině případů pohybovala ve vyšších desítkách procent [7].

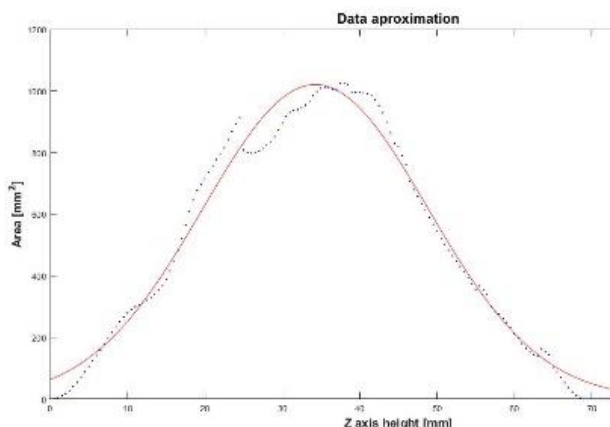
5. Testování algoritmu na prakticky využitelných dílech

Ačkoliv se algoritmus ukázal jako funkční, nedošlo doposud k jeho otestování na prakticky využitelných modelech. U takových dílů se model většinou skládá z velkého množství trojúhelníků, obsahuje velké množství hran a pro dosažení optimální kvality tisku jej lze polohovat několika různými způsoby. Pro ověření optimalizačního algoritmu na funkčních dílech byly zvoleny dva modely. Prvním z nich je konstrukční díl používaný při stavbě hobby 3D tiskárny, sloužící k uchycení krokového motoru k jejímu rámu.

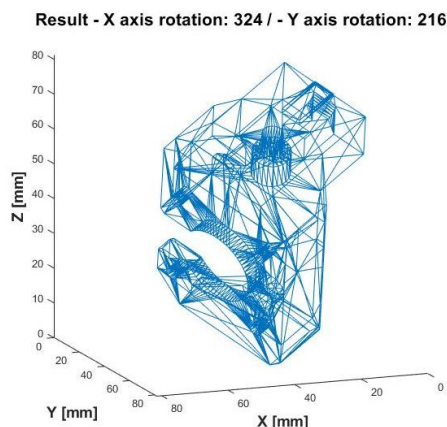


Obrázek 5 - CAD model dílu

Model byl rotován v každém cyklu o 18° , celkově tedy dvaceti různými způsoby v rámci jedné osy. Počet kombinací rotace XY dosáhl 400. Při polohování dílu před tiskem je důležité dodržet sled rotací, tedy nejprve pootočit model dle osy X a následně dle Y. Opačný postup by vedl k jinému rozvoji plochy při tisku a neodpovídal by tedy optimální křivce.



Obrázek 6 – Průběh plochy vrstev



Obrázek 7 - Optimální poloha při tisku

Při volbě druhého modelu vznikla myšlenka otestovat algoritmus na topologicky optimalizovaných dílech. Možnost tisku dílů odlehčených pomocí topologické optimalizace by měla být hlavní výhodou práškových technologií, jelikož okolní prášek slouží jako podpůrná struktura.



Obrázek 8 - Topologicky optimalizovaný model pedálu

U pedálu byly dodrženy stejné podmínky tisku jako u konstrukčního dílu 3D tiskárny, tzn. vytištěny byly dva kusy, jeden polohován technikem laboratoře a druhý polohován algoritmem.

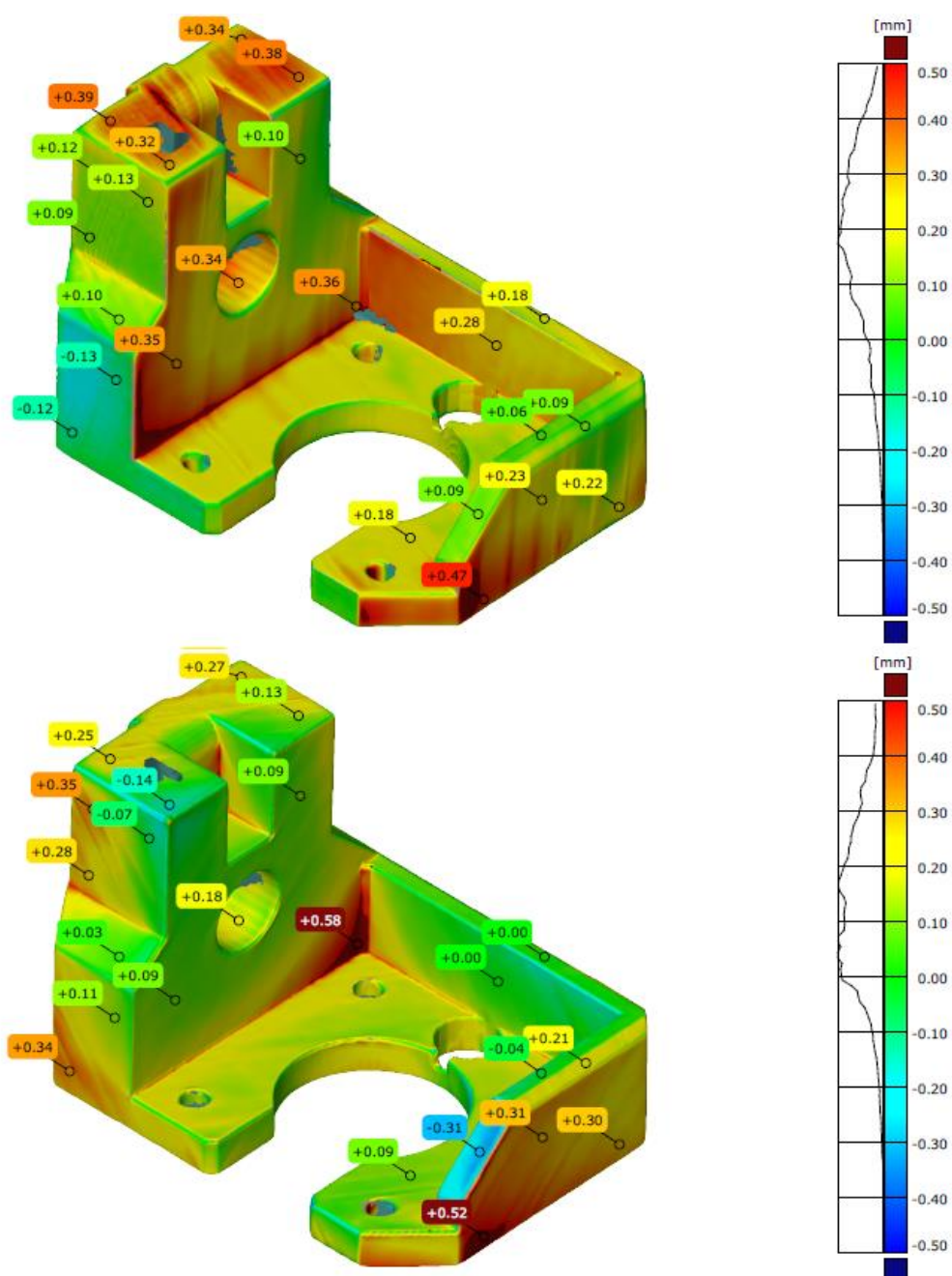
6. Porovnání rozměrové přesnosti testovacích výtisků

Objektivní srovnání výtisků proběhlo v laboratoři 3D měření a digitalizace na Katedře výrobních systémů Fakulty strojní. Pro zjištění rozměrové přesnosti byl využit 3D skener Triplescan od společnosti Atos. Výtisky byly nasnímány ze všech stran a následně v software Atos Professional, dodávaném ke skeneru, porovnány s CAD modelem. Výsledky u prvního ze skenovaných modelů, krychle, přinesly důležité informace týkající se vlivu polohování modelu na kvalitu výtisku [8].

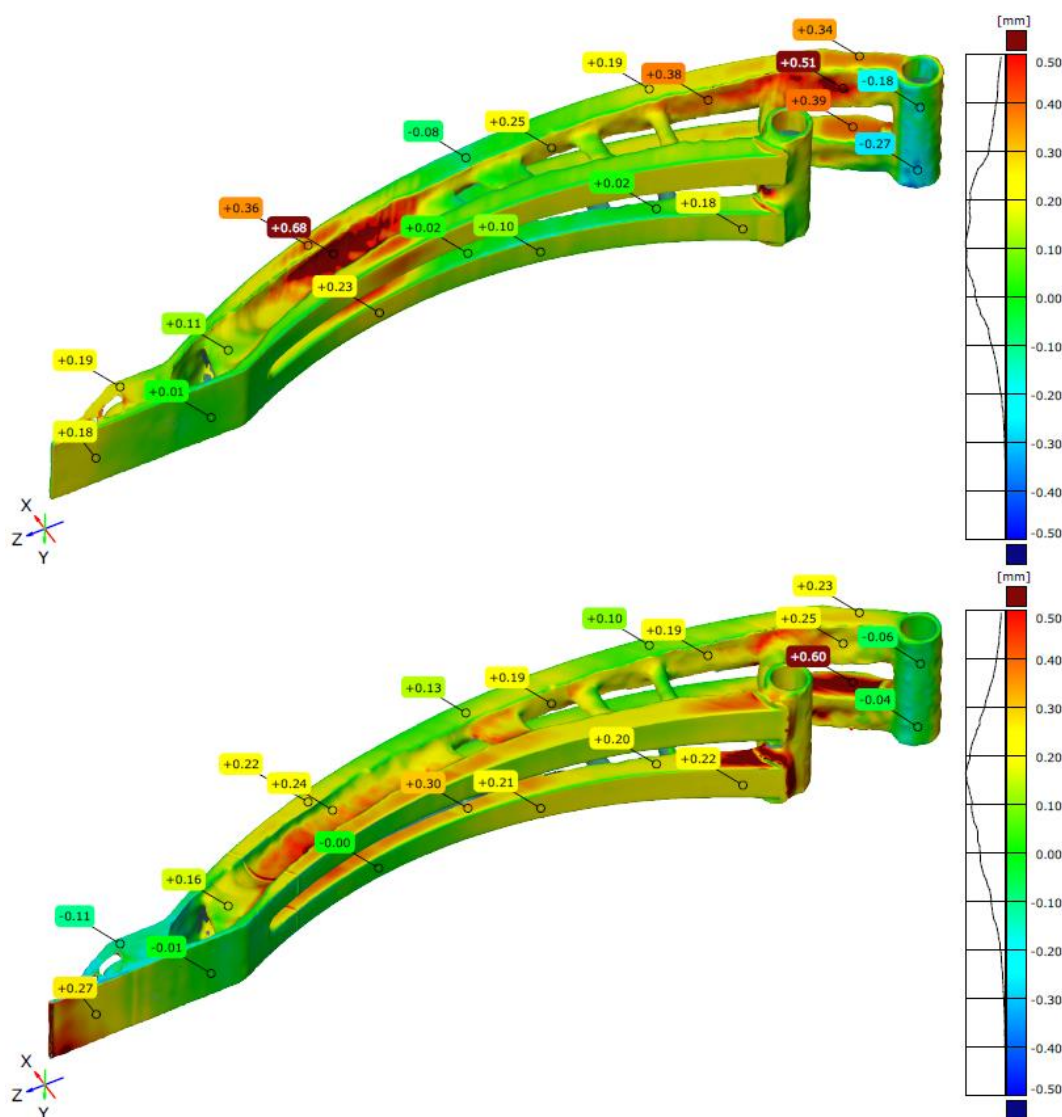
U modelu konstrukčního dílu na 3D tiskárnu se funkce optimalizačního algoritmu výrazně projevila na rozměrové přesnosti. S výjimkou několika nerovností na výtisku,

způsobených recoaterem tiskárny, lze vidět na výsledcích z 3D skeneru posun hodnot na stupnici odchylek minimálně o 0,15 mm. Tohoto zlepšení bylo docíleno díky optimálnímu rozvoji plochy při tisku. Při správném natočení modelu lze také snížit chybu opakovatelnosti laserové hlavy, jenž slouží ke spékání prášku.

V případě topologicky optimalizovaného dílu nedošlo k výraznému zlepšení, jelikož v modelu nedosahuje plocha jednotlivých vrstev hodnot dost vysokých na to, aby byla ovlivněna kvalita výtisku.



Obrázek 9 – Shora: Model polohovaný ručně a s použitím algoritmu



Obrázek 10 - Shora: Model polohovaný ručně a s použitím algoritmu

7. Závěr

Z porovnání výsledků 3D skenování bylo zjištěno u modelu klasického konstrukčního dílu výrazného zlepšení rozměrové přesnosti. Na testovacích výtiscích se také snížilo množství nerovností povrchu, způsobených tiskárnou, a tudíž bylo dosaženo vyšší estetické kvality výtisku. U topologicky optimalizovaného dílu se již zlepšení tak znatelně neprojevilo. Vzhledem k principu funkce algoritmu se tento výsledek dal očekávat, jelikož algoritmus analyzuje rozvoj plochy výtisku v jednotlivých vrstvách. Díly po topologické optimalizaci mají díly tyto plochy podstatně menší, než klasické konstrukční díly a po automatickém polohování algoritmem se zlepšení neprojeví tak výrazně. Pro tisk klasických konstrukčních dílů pomocí práškových technologií se však realizovaný algoritmus ukázal jako funkční pomůcka, jenž usnadní technikovi laboratoře přípravu dat na tiskový proces.

Citovaná literatura

- [1] FRASCATI, Joseph. *Effects Of Position, Orientation, And Infiltrating Material On Three Dimensional Printing Models*. Orlando, Florida, 2007. Master thesis. University of Central Florida.
- [2] DONG, L., N. BARTH, J. P. M. CORREIA a S. AHZI. Modeling and numerical simulation of selective laser sintering. In: *2016 17th International Conference on Thermal, Mechanical and Multi-Physics Simulation and Experiments in Microelectronics and Microsystems (EuroSimE)*. 2016, s. 1-4. DOI: 10.1109/EuroSimE.2016.7463376.
- [3] TAUFIK, Mohammad a Prashant JAIN. *Role of build orientation in layered manufacturing: A review: A review*. 2014, **27**, pp.47. DOI: 10.1504/IJMTM.2013.058637.
- [4] CHUA, Chee Kai, Kah Fai LEONG a Chu Sing LIM. *Rapid prototyping: principles and applications*. 2nd ed. New Jersey: World Scientific, 2003. ISBN 978-981-238-120-0.
- [5] FARIN, Gerald E., Josef HOSCHEK a Myung-Soo KIM. *Handbook of computer aided geometric design*. 1st. Boston, Mass.: Elsevier, 2002. ISBN 978-0-444-51104-1.
- [6] Slice_stl_create_path(triangles,slice_height): slice stl files and create continuous contour along the slices. *File Exchange: Matlab central* [online]. b.r. [cit. 2019-04-25]. Dostupné z: https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/62113-slice_stl_create_path-triangles-slice_height
- [7] Curve Fitting Toolbox. *MathWorks* [online]. b.r. [cit. 2019-04-25]. Dostupné z: <https://www.mathworks.com/products/curvefitting.html>
- [8] DOKOUPIL, FILIP. *Stanovení odchylek měření 3D optického skeneru*. b.r. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Ing. David Paloušek, Ph.D.
- [9] Meet Sinterit Lisa Pro. *Sinterit* [online]. b.r. [cit. 2019-04-25]. Dostupné z: <https://www.sinterit.com/sinterit-lisa-pro/>

PŘÍPRAVA NANOČÁSTIC ZLATA LASEROVÝMI TECHNIKAMI A JEJICH IN SITU FUNKCIONALIZACE

Bc. Marcel Havrda

Sekce - MECHATRONIKA,
Fakulta mechatroniky, informatiky a mezioborových studií, 2. ročník
Navazující magisterský studijní program – NANOTECHNOLOGIE

Abstrakt: V rámci této práce byl syntetizován 6^A-sulfanyl-6^A-deoxy- β -CD, jenž sloužil k in situ funkcionalizaci zlatých nanočástic díky afinitě síry ke zlatu. Dále byla provedena příprava zlatých nanočástic fotochemickou syntézou pomocí pulzního laseru. Částice byly charakterizovány transmisí elektronovou mikroskopií a testovány na odezvu biologicky aktivní látky propamidinu 2-hydroxyethansulfonátu.

Klíčová slova: cyklodextriny, funkcionalizace, laser, zlaté nanočástice

1 Úvod

Historii nanotechnologií jako vědního oboru lze datovat od konce 50. let minulého století. Za jednoho z prvních průkopníků této vědní disciplíny se považuje nositel Nobelovy ceny americký fyzik Richard Phillips Feynman. Tento vědec se mimo jiné zabýval přírodními ději a zaměřoval se především na fungování těchto procesů na úrovni atomů a molekul. Svoji základní myšlenku představil v přednášce „Tam dole je spousta místa“ (z anglického There's Plenty of Room at the Bottom), kterou přednesl roku 1959 na výroční schůzi Americké společnosti fyziků, která se konala na Kalifornském technologickém institutu [1].

Od vyslovení Feynmanovi myšlenky bylo v průběhu let vyrobeno velké množství nových materiálů, jejichž velikost se pohybuje v řádu nanometrů. Tyto materiály se dostaly rychle do popředí zájmu především díky unikátním fyzikálně-chemickým vlastnostem. Z tohoto důvodu je v dnešní době kladen veliký důraz na optimalizování již známých procesů a vývoj nových metod přípravy nanomateriálů. V posledních letech se dostávají ke slovu metody, které k výrobě nanočástic používají různé typy laserů [2,3]. Lze takto vyrobit nanočástice požadovaných velikostí s dobrou reprodukovatelností, přičemž výhodou je šetrnost většiny laserových procesů k životnímu prostředí. Další výzvou je příprava funkcionalizovaných nanočástic, které lze využít například k transportu léčiv [4] či jako senzorové systémy [5] atd.

2 Zlaté nanočástice

Zlato je známé již tisíce let a bylo předmětem jednoho z nejstarších témat vědy. Mohlo by se zdát, že v této oblasti jsou již všechna fakta a zajímavosti dokonale prozkoumané a popsány, ale není tomu tak. V posledních letech se zlato dostává do popředí vědeckého zájmu, a to především v souvislosti s rychlým rozvojem nanotechnologií, což dokazuje exponenciálně rostoucí počet vědeckých publikací. Přehled v následujících kapitolách bude omezen zejména na zlaté nanočástice (AuNPs), tedy 0D útvary a koloidní zlato, což je disperzní soustava, která je tvořena částicemi zlata o velikosti 1 nm až 100 nm rozptýlených v kapalném médiu nejčastěji ve vodě [6].

2.1 Vlastnosti zlatých nanočástic

Povrchové vlastnosti

Nanočástice o rozměrech od jednoho až do několika set nanometrů vykazují řadu vlastností kvantitativně i kvalitativně odlišných od makroskopických materiálů. Jedním ze základních důvodů odlišnosti je vzrůstající podíl povrchových atomů se zmenšujícími se rozměry objektu. Povrchové atomy mají nižší počet sousedů to znamená, že vytvářejí menší počet vazeb než atomy v objemu materiálu. Tento jev má vliv na vazebné energie atomů, prostorové uspořádání či lišící se meziatomové vzdálenosti. Velikost částic ovlivňuje například hustotu nebo teploty fázových přeměn materiálu [7,8]. Jedním ze speciálních případů jsou nanočástice menší než 2 nm, které se často označují jako klastry. Jedná se o soubor až několika tisíc molekul. Příkladem lze uvést Schmidovy klastry $\text{Au}_{55}[\text{P}(\text{C}_6\text{H}_5)_3]_{12}\text{Cl}_6$. Tyto malé částice představují pomyslnou hranici mezi klasickým a kvantovým chováním nanočástic [9].

Optické vlastnosti

Již M. Faraday zaznamenal, že zlaté nanočástice mají specifické optické vlastnosti. Zlaté nanočástice absorbují a rozptylují světlo s dobrou účinností. Jejich silná interakce se světlem nastává z důvodu excitace elektronů na kovovém povrchu, které procházejí kolektivní oscilací, známou také jako povrchová plazmonová rezonance, ta způsobuje, že nanočástice zlata vykazují vyšší intenzitu absorpce a rozptylu, než je tomu u podobně velkých nanočástic jiných kovů. Absorpce a rozptyl světla je závislý na velikosti, tvaru částic i indexu lomu prostředí v blízkosti povrchu částice.

U monodisperzních koloidních roztoků zlata lze pozorovat barevnou odlišnost podle velikosti AuNPs. Zlaté nanočástice s průměrem okolo 20 nm se jeví jako růžové či světle červené, zatímco větší nanočástice přibližně 100 a více nanometrů se jeví jako fialové. Tento jev je způsoben odlišnou absorpcí a rozptylem jednotlivých vlnových délek viditelného světla, které začínají na 390 nm u fialové barvy a končí vlnovou délkou 800 nm, jenž se jeví jako barva červená. Vlnové délky v oblasti rozhraní barev modré a zelené, což je okolo 500 nm, jsou absorbovány koloidními systémy různých velikostí, na rozdíl od barvy červené s vlnovou délkou, která začíná na 650 nm. V této vlnové oblasti malé nanočástice cca 20 nm a menší absorbují jen minimálně a většina těchto vlnových délek je odražena, či propuštěna a koloidní roztok se jeví jako červený. U větších AuNPs či agregovaných částic je tato vlnová oblast silně absorbována a koloidní roztok má fialovou barvu [9].

Katalytické vlastnosti

V 70. letech 20. století skupina vědců v čele s G. Parravanovem využívala aktivitu zlata při transferových reakcích kyslíku a vodíku, ale tyto studie se neprosadily do povědomí širší veřejnosti [10,11]. Z tohoto důvodu bylo velkým překvapením, když se v roce 1987 publikovalo použití AuNPs spolu s Co_3O_4 , Fe_2O_3 a TiO_2 jako vysoce aktivního katalyzátoru k oxidaci CO na CO_2 . Mechanismus oxidace nebyl tehdy ještě dokonale popsán, avšak výsledky reakce nesporně potvrdily katalytickou aktivitu, která je podmíněna výrazným podílem povrchových atomů, což je splněno pouze u malých AuNPs [12]. Na makroskopických částicích zlata či větších AuNPs katalytická aktivita není pozorována.

V posledních letech se s rostoucím zájmem o katalyzátory na bázi zlata rozšířila i aplikační oblast. Zlaté katalyzátory už se využívají v oblastech chemie, ve vývoji palivových článků či v boji proti znečištění přírody. Kromě schopnosti snížení aktivační energie u chemických reakcí jsou u katalyzátorů další důležité aspekty: životnost, tepelná stabilita a schopnost

regenerace. Schopnost degradovat zlatý katalyzátor mají většinou pouze sloučeniny síry a fosforu [13,14].

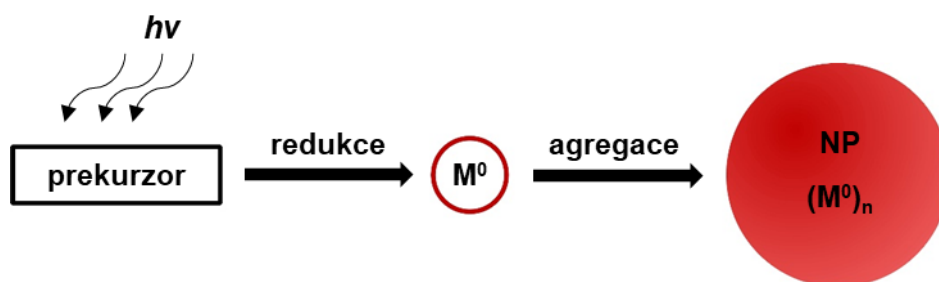
3 Příprava nanočástic pomocí laserových technik

Konvenční metody chemické syntézy nanočástic a koloidů jsou založeny na reakcích s prekurzory nebo na výměně ligandů, což nevyhnutelně vede ke kontaminaci připravených NPs jinými chemickými látkami. Kontaminace může mít za následek agregaci [15,16] či deaktivaci katalytických vlastností nanočástic [17]. V biomedicínských i katalytických aplikacích vyžaduje chemická příprava stabilních a čistých nanočástic, myšleno bez povrchově aktivních látek, vždy další čistící postupy k odstranění zbytkových reakčních složek nebo nechtěných povrchově aktivních látek. Stále častěji je kladen důraz na nové způsoby přípravy NPs, díky kterým lze získat nemodifikované elektrostaticky stabilizované nanočástice, či takové, jenž obsahují přesně stanovené povrchové látky, jejichž zásluhou jsou částice stabilizovány a zároveň modifikovány k dalšímu použití. Velký důraz je kladen také na škálovatelnost a reprodukovatelnost vzniku NPs.

Po několika desetiletích vývoje se laserová syntéza a zpracování koloidů jeví jako vhodná, reprodukovatelná a škálovatelná metoda pro přípravu nanomateriálů. Hlavním důvodem rychlého rozvoje laserových technik v posledních letech je neustále rostoucí výstupní výkon pulzních laserových systémů, které umožňují zvýšit produkci připravovaných nanomateriálů. Zároveň výrazně klesají investiční náklady na pořízení laseru. V současnosti je kladen důraz rovněž na vývoj udržitelných výrobních procesů, v tomto ohledu je velkou výhodou, že většina laserových technik je v souladu s 12 principy k přírodě šetrných chemických procesů [2].

3.1 Laserová fotochemická syntéza

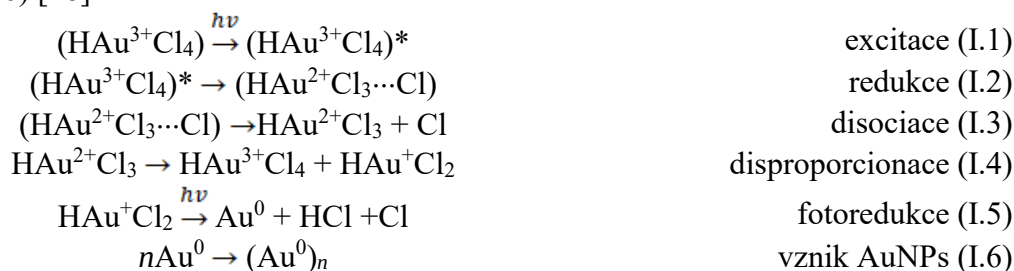
Laserová fotochemická syntéza je další metoda, kterou lze použít k přípravě NPs. Jedná se o tzv. „bottom-up“ metodu, která využívá agregaci jednotlivých atomů kovu (M^0) za vzniku nanočástic. Podstatou fotochemického přístupu je vyredukování atomů kovu z molekulárních nebo iontových prekurzorů například solí či komplexů kovu za použití laserového ozařování (obrázek 1). Velká všestrannost fotochemické syntézy umožňuje vyrobit NPs v různých médiích např.: emulzi, buněčném mediu, polymerních filmech atd. [3].



Obrázek 1: Schéma laserové fotochemické syntézy NPs.

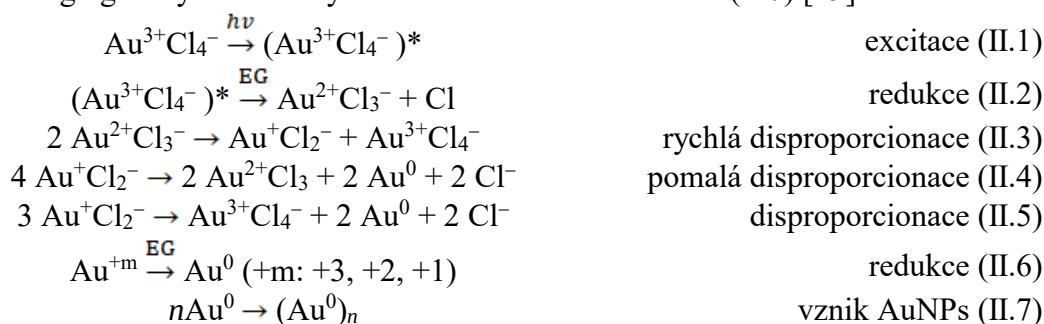
Již roku 1983 skupina vědců v čele s K. Kuriharou publikovala článek, ve kterém zkoumali přípravu zlatých koloidů pomocí laserové fotochemické syntézy. Jako prekurzor zlata sloužila kyselina tetrachlorozlatitá, jejíž vodný roztok byl ozařován laserem s následujícími parametry: vlnová délka 353 nm, frekvence 10 Hz, délka pulzu 5 ns a celkový výstupní výkon 60 mJ. Také byl navržen reakční mechanismus (I) redukce zlata za vzniku AuNPs. V prvním kroku je kyselina tetrachlorozlatitá excitována pomocí energie laserového pulzu (I.1). Po excitaci dochází k redukci zlatitého kationtu za vzniku dvojmocného zlata (I.2). Následně dochází

k disociaci (I.3) a disproportionaci (I.4) kationtů zlata. V předposledním kroku dochází k fotoredukci jednomocného zlata (I.5) a následně nenabitě atomy zlata agregují a tvoří AuNPs (I.6) [18].



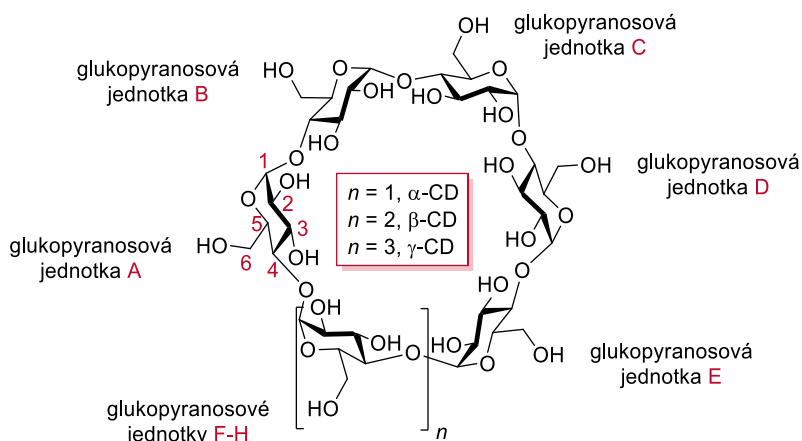
V roce 2005 S. Eustis se spoluautory publikovali článek, ve kterém se zabývali fotochemickou redukcí zlatitých kationtů s přidáním stanoveného množství ethylenglykolu (EG). K fotoredukci není v tomto případě používán laser ale xenonová lampa s pásovým filtrem pro vlnové délky 250–400 nm. Mechanismus redukce je citlivý na koncentraci EG následkem jeho redukčních vlastností a viskózní povahy. Autoři předpokládají, že redukční vlastnosti EG jsou s velkou pravděpodobností využívány také u redukce dvoumocného a jednomocného kationtu zlata [19].

Z pozorovaných výsledků a dříve navrhovaných mechanismů autoři navrhli následující reakční mechanismus (II). Počáteční krok je stejný jako uvedli K. Kurihara a kolegové [18] – zlatitý kationt přijme energii ve formě fotonu a dochází k jeho excitaci (II.1). Excitovaný stav je redukován na dvoumocný kationt zlata. Excitované stavy lze redukovat pomocí EG za pokojové teploty, jak je znázorněno v krocích (II.2, 6) na rozdíl od neexcitovaných stavů, který EG redukuje pouze za zvýšené teploty. Dvoumocný kationt zlata je nestabilní, a proto dochází k první disproportionaci (II.3), která vede k dalším dvěma dismutacím (II.4, 5). V předposledním kroku dochází k redukcí (II.6) fotoaktivovaných kationtů zlata pomocí EG a následné agregaci vyredukovovaných atomů zlata za vzniku NPs (II.7) [19].



4 Cyklodextriny

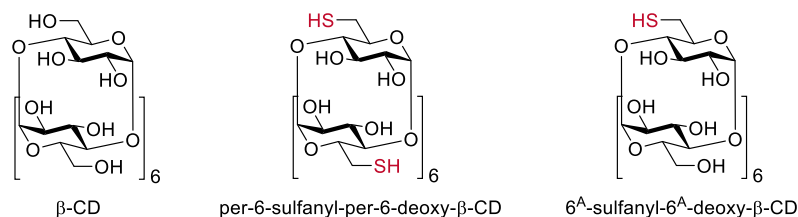
Cyklodextriny (CD) dříve nazývané též jako cykloamylosy nebo cyklomaltodextriny, jsou cyklické oligosacharidy složené z α -D-glukopyranosových jednotek v židličkové konformaci $^4\text{C}_1$ dohromady propojených pomocí $\alpha(1\rightarrow4)$ glykosidické vazby. Na základě počtu spojených glukopyranosových jednotek v cyklu dělíme CD na tři nejčastěji používané typy (obrázek 2): α -CD (6 jednotek), β -CD (7 jednotek) a γ -CD (8 jednotek). Mimo těchto tří převládajících typů byly připraveny CD i s jinými počty jednotek například s pěti, devíti a deseti glukopyranosovými jednotkami, tyto oligosacharidy jsou označovány po řadě jako pre- α -, δ - a ε -CD. Základní tři typy CD obsahují velký počet hydroxylových skupin 18 (α -CD), 21 (β -CD) a 24 (γ -CD), které lze libovolně modifikovat a získávat tak nepřeberné množství derivátů s různými fyzikálně-chemickými vlastnostmi.



Obrázek 2: Struktura cyklodextrinů [20].

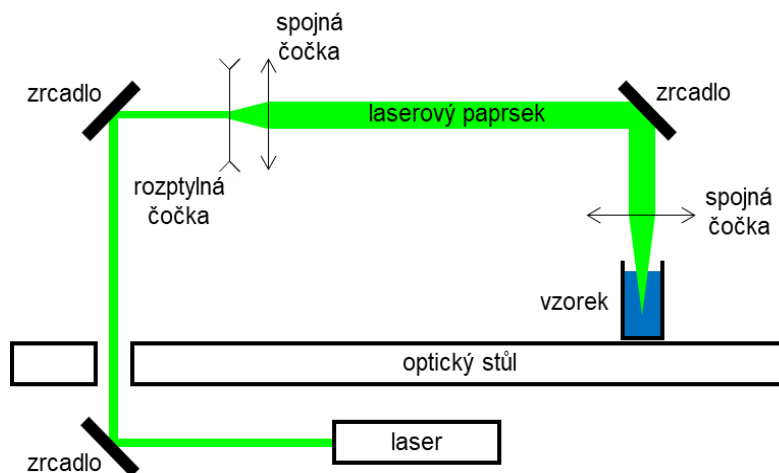
5 Výsledky a diskuze

Příprava zlatých nanočástic za použití pulzního laseru a jejich in situ funkcionizace vyžadovala otestování několika vzorků s řadou proměnných. Při pilotní studii (tabulka 1) byly použity dva typy zlatého prekursoru, přičemž byl měněn použitý rozpouštědlový systém a k funkcionizaci byl použit $\beta\text{-CD}$ a jeho dva deriváty (obrázek 3). Byly měněny koncentrace reaktantů, doba laserového ozařování, avšak objem vzorků zůstal ve všech případech stejný (3 ml).



Obrázek 3: Činidla použité k funkcionizaci.

Při ozařování všech připravených vzorků bylo použito vždy stejné nastavení Nd:YAG laseru (vlnová délka 532 nm, doba pulzu 10 ns, frekvence 20 Hz a výstupní energie 40 mJ) i optická cesta laserového paprsku zůstala beze změn. Laser byl umístěn pod optickým stolem, laserový paprsek byl pomocí zrcadel a optických čoček fokusován do vialky se vzorkem (obrázek 4). Všechny vzorky (obrázek 5) se během ozařování nepřetržitě míchaly pomocí magnetického míchadla.



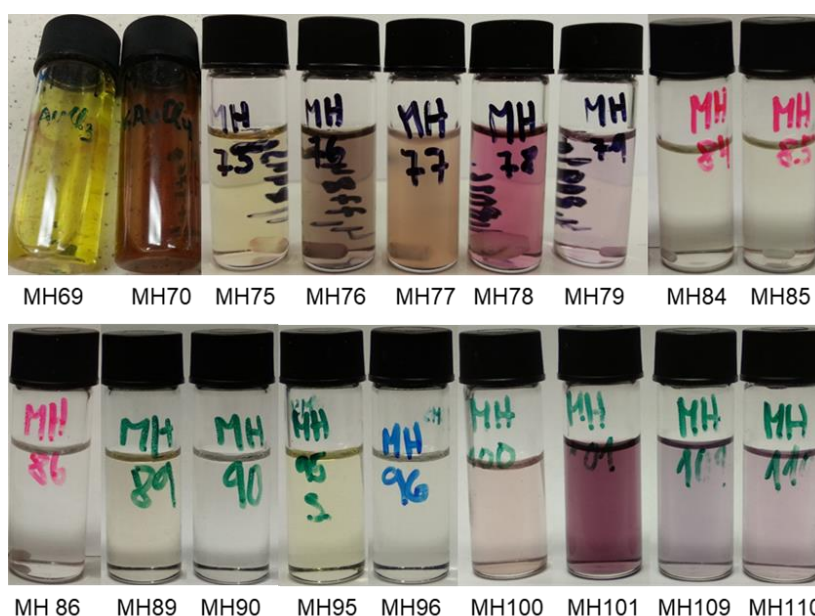
Obrázek 4: Schéma fokusace laserového paprsku.

Tabulka 1: Testované vzorky pro přípravu in situ funkcionizovaných AuNPs.

označení	prekurzor	hmotnost [mg]	rozpuštědlový systém	funkcionalizace *	hmotnost [mg]	čas [min]
MH69	AuCl ₃	30	H ₂ O	β-CD	45	40
MH70	KAuCl ₄	30	H ₂ O	β-CD	45	40
MH75	KAuCl ₄	3	H ₂ O	-	-	20
MH76	KAuCl ₄	3	H ₂ O	β-CD	4,5	20
MH77 ¹	KAuCl ₄	3	H ₂ O + NaOH	β-CD-perSH	4,5	20
MH78	KAuCl ₄	0,3	H ₂ O	β-CD	4,5	20
MH79	KAuCl ₄	0,3	H ₂ O	β-CD	0,45	20
MH84 ²	KAuCl ₄	3	H ₂ O + NaOH	β-CD-perSH	4,5	20
MH85 ²	KAuCl ₄	0,3	H ₂ O + NaOH	β-CD-perSH	4,5	20
MH86 ²	KAuCl ₄	0,3	H ₂ O + NaOH	β-CD-perSH	0,45	20
MH89	KAuCl ₄	0,3	DMF	β-CD-perSH	5,8	10
MH90	KAuCl ₄	0,3	DMF	β-CD-perSH	0,58	10
MH95	KAuCl ₄	0,3	DMSO	β-CD-perSH	5,8	30
MH96	KAuCl ₄	0,3	DMSO	β-CD-perSH	0,58	10
MH100	KAuCl ₄	0,3	H ₂ O	β-CD-SH	4,5	10
MH101	KAuCl ₄	0,3	H ₂ O	β-CD-SH	0,45	20
MH109	KAuCl ₄	0,3	H ₂ O	β-CD-SH	0,045	10
MH110	KAuCl ₄	0,3	H ₂ O	β-CD-SH	0,0045	10

*β-CD-perSH: per-6-sulfanyl-per-6-deoxy-β-CD, β-CD-SH: 6^A-sulfanyl-6^A-deoxy-β-CD

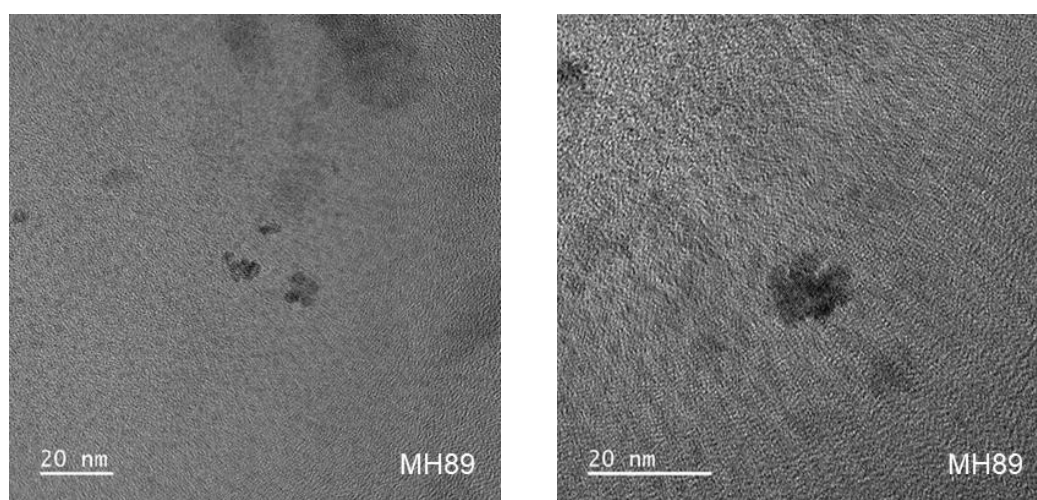
¹MH77: roztok NaOH $c = 6,6 \text{ mol/dm}^3$, ²MH84-86: roztok NaOH $c = 24,4 \text{ mol/dm}^3$



Obrázek 5: Vzorky po ozáření pulzním laserem.

5.1 Charakterizace zlatých nanočástic v dimethylformamidu

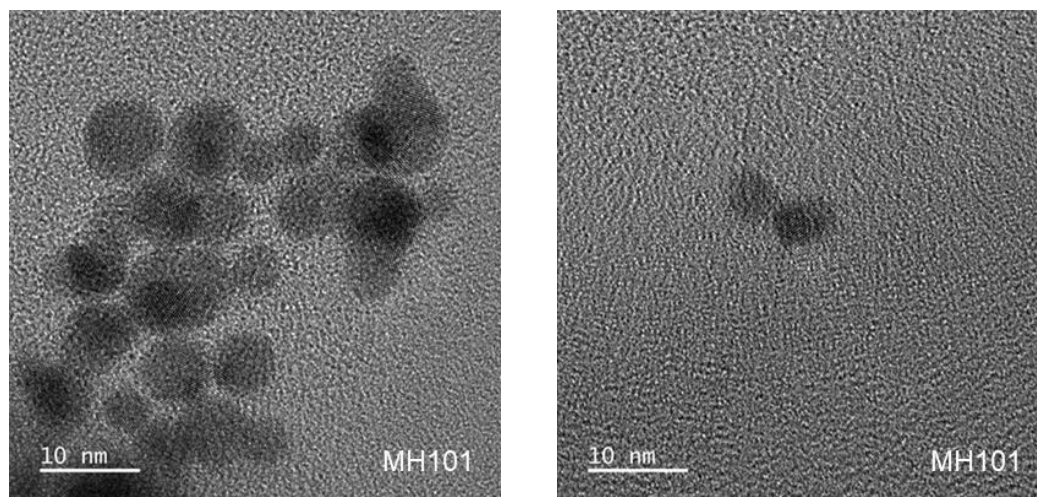
Z DLS byl detekován vznik nanočástic, ačkoli vzorek MH89 nevykazoval viditelnější barevnou změnu. Následně došlo k charakterizaci pomocí SEM, bohužel nebylo možné nanočástice dobře zaostřit z důvodu jejich velmi malých rozměrů, a proto byly částice změřeny na TEM. Ze snímků lze určit velikost částic od 10 do 30 nm (obrázek 6), počet vzniklých nanočástic byl však velice malý. Stabilita zlatého koloidu byla určena pomocí zeta potenciálu, který činil (27 ± 5) mV, přičemž za hraniční hodnotu stability je považováno 30 mV. Proto je možné, že částice ještě dále agregovaly. Jelikož další pilotní test jevil lepší výsledky, nebyl tento vzorek testován na odezvu s biologicky aktivní látkou a nelze tedy říci, zda jsou zlaté nanočástice funkcionalizované či nikoli. Jedna z nevýhod tohoto koloidního vzorku je rozpouštědlo DMF, které je hořlavé, toxické a může způsobovat respirační problémy. Výhodu vodného prostředí splňoval vzorek MH101, kterému byla věnována větší pozornost.



Obrázek 6: Snímky zlatých částic (vzorek MH89) pořízené pomocí TEM.

5.2 Charakterizace zlatých nanočástic funkcionalizovaných 6^A-sulfanyl-6^A-deoxy- β -CD ve vodě

Již barevná změna vzorku MH101 signalizovala vznik nanočástic, což potvrdilo i měření koloidního roztoku pomocí DLS. První charakterizace částic proběhla na SEM. Velikost částic byla opět příliš malá a dobré zaostření i pořízení snímků nebylo možné. Proto i pro tento vzorek následovalo charakterizování pomocí TEM (obrázek 7). Velikost částic určená ze snímku je v rozmezí 8 až 15 nm. Stabilita částic byla zjištěna pomocí zeta potenciálu, který byl (48 ± 12) mV, z tohoto pohledu bylo předpokládáno, že částice budou stabilní. Tento předpoklad se potvrdil a koloidní roztok neměnil barvu ani nesedimentoval po dobu delší, nežli jsou dva měsíce.



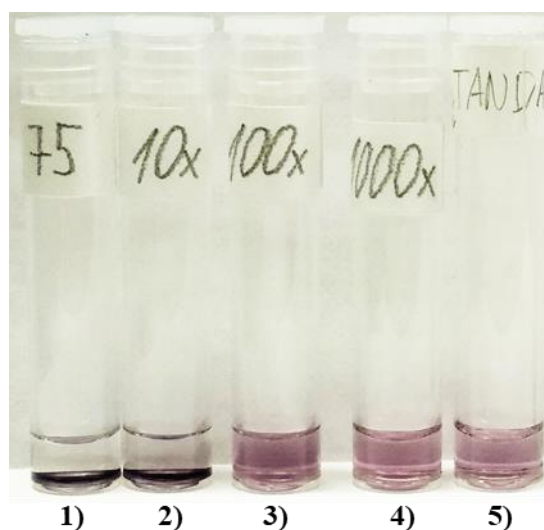
Obrázek 7: Snímky zlatých částic (vzorek MH101) pořízené pomocí TEM.

5.3 Test odezvy zlatých nanočástic funkcionalizovaných 6^A-sulfanyl-6^A-deoxy-β-CD na biologicky aktivní látku

Pro ověření funkcionalizace AuNPs byly připraveny čtyři různě koncentrované roztoky propamidinu 2-hydroxyethansulfonátu s AuNPs ve vodě (tabulka 2). Po 24 hodinách došlo k sedimentaci dvou vzorků s největší koncentrací léčiva (obrázek 8), což potvrdilo navázání β-CD na povrch AuNPs. V tomto konkrétním případě lze považovat in situ funkcionalizované AuNPs za senzorový systém. Pomocí tohoto systému je možné rozpoznat přítomnost propamidinu 2-hydroxyethansulfonátu ve vodném roztoku do koncentrace 0,02 mmol/dm³.

Tabulka 2: Testování odezvy funkcionalizovaných AuNPs na léčivo.

vzorek	1)	2)	3)	4)	5)
koncentrace propamidin 2-hydroxyethansulfonátu	0,2 mmol/dm ³	0,02 mmol/dm ³	2 μmol/dm ³	0,2 μmol/dm ³	-
sedimentace (obrázek 8)	ANO	ANO	NE	NE	NE



Obrázek 8: Testování odezvy funkcionalizovaných AuNPs na propamidinu 2-hydroxyethansulfonátu.

6 Závěr

Cílem práce bylo připravit nanočástice zlata za použití pulzního laseru a in situ je funkcionalizovat. Laserová příprava funkcionalizovaných zlatých nanočástic v jednom kroku se jeví jako vhodná, avšak dosud dostatečně neprobádaná část nanotechnologií, a proto věřím, že diplomová práce posunula výzkum v této oblasti opět o malý krůček vpřed.

V rámci experimentální části byl nejprve syntetizován 6^A-O-tosyl-β-CD, který sloužil jako meziprodukt při přípravě monosubstituovaného thiolového derivátu 6^A-sulfanyl-6^A-deoxy-β-CD, jenž byl použit jako funkcionalizační činidlo. Následně bylo přistoupeno k optimalizaci přípravy nanočástic pomocí laserové fotochemické syntézy. Tento proces zahrnoval provedení pilotní studie, během které došlo k vyzkoušení odlišných prekurzorů za různorodých podmínek. Výsledkem je popsána příprava zlatých nanočástic v DMF a H₂O. Na nanočásticích připravených ve vodném prostředí bylo provedeno testování senzorové odezvy pomocí propamidinu 2-hydroxyethansulfonátu. Při koncentraci léčiva 0,02 mmol/dm³ a vyšší byla pozorována sedimentace a odbarvení roztoku, což potvrdilo in situ funkcionalizaci připravených zlatých nanočástic.

Literatura

- [1] Feynman R P 1960 There's Plenty of Room at the Bottom *Eng. Sci.* Vol. 23, 22–36
- [2] Zhang D, Goekce B and Barcikowski S 2017 Laser Synthesis and Processing of Colloids: Fundamentals and Applications *Chem. Rev.* Vol. 117, 3990–4103
- [3] Sakamoto M, Fujistuka M and Majima T 2009 Light as a construction tool of metal nanoparticles: Synthesis and mechanism *J. Photochem. Photobiol. C-Photochem. Rev.* Vol. 10, 33–56
- [4] Ghosh P, Han G, De M, Kim C K and Rotello V M 2008 Gold nanoparticles in delivery applications *Adv. Drug Deliv. Rev.* Vol. 60, 1307–1315
- [5] Yue G, Su S, Li N, Shuai M, Lai X, Astruc D and Zhao P 2016 Gold nanoparticles as sensors in the colorimetric and fluorescence detection of chemical warfare agents *Coord. Chem. Rev.* Vol. 311, 75–84
- [6] Daniel M-C and Astruc D 2004 Gold Nanoparticles: Assembly, Supramolecular Chemistry, Quantum-Size-Related Properties, and Applications toward Biology, Catalysis, and Nanotechnology *Chem. Rev.* Vol. 104, 293–346
- [7] Řezníčková A, Novotná Z, Kolská Z, Ulbrich P and Švorčík V 2014 Preparation, Functionalization and Grafting of Noble Metals Nanoparticles to Activated Polymer *Chem. Listy* Vol. 108, 865–874
- [8] Siegel J, Staszek M and Švorčík V 2014 Nanočástice ušlechtilých kovů připravené v kapalinách *Chem. Listy* Vol. 108, 1102–1112
- [9] Sapsford K E, Algar W R, Berti L, Gemmill K B, Casey B J, Oh E, Stewart M H and Medintz I L 2013 Functionalizing Nanoparticles with Biological Molecules: Developing Chemistries that Facilitate Nanotechnology *Chem. Rev.* Vol. 113, 1904–2074
- [10] Cha D Y and Parravano G 1970 Surface reactivity of supported gold: I. Oxygen transfer between CO and CO₂ *J. Catal.* Vol. 18, 200–211
- [11] Parravano G 1970 Surface reactivity of supported gold: II. Hydrogen transfer between benzene and cyclohexane *J. Catal.* Vol. 18, 320–328
- [12] Haruta M, Kobayashi T, Sano H and Yamada N 1987 Novel Gold Catalysts for the Oxidation of Carbon Monoxide at a Temperature far Below 0 °C *Chem. Lett.* Vol. 16, 405–408

- [13] Veith G M, Lupini A R, Rashkeev S, Pennycook S J, Mullins D R, Schwartz V, Bridges C A and Dudney N J 2009 Thermal stability and catalytic activity of gold nanoparticles supported on silica *J. Catal.* Vol. 262, 92–101
- [14] Hussain A 2010 A computational study of catalysis by gold in applications of CO oxidation. Eindhoven: Technische Universiteit Eindhoven
- [15] Levy R, Thanh N T K, Doty R C, Hussain I, Nichols R J, Schiffrin D J, Brust M and Fernig D G 2004 Rational and combinatorial design of peptide capping Ligands for gold nanoparticles *J. Am. Chem. Soc.* Vol. 126, 10076–10084
- [16] Ojea-Jimenez I and Puentes V 2009 Instability of Cationic Gold Nanoparticle Bioconjugates: The Role of Citrate Ions *J. Am. Chem. Soc.* Vol. 131, 13320–13327
- [17] Lopez-Sanchez J A, Dimitratos N, Hammond C, Brett G L, Kesavan L, White S, Miedziak P, Tiruvalam R, Jenkins R L, Carley A F, Knight D, Kiely C J and Hutchings G J 2011 Facile removal of stabilizer-ligands from supported gold nanoparticles *Nat. Chem.* Vol. 3, 551–556
- [18] Kurihara K, Kizling J, Stenius P and Fendler J H 1983 Laser and Pulse Radiolytically Induced Colloidal Gold Formation in Water and in Water-in-Oil Microemulsions *J. Am. Chem. Soc.* Vol. 105, 2574–2579
- [19] Eustis S, Hsu H-Y and El-Sayed M A 2005 Gold nanoparticle formation from photochemical reduction of Au^{3+} by continuous excitation in colloidal solutions. A proposed molecular mechanism *J. Phys. Chem. B* Vol. 109, 4811–4815
- [20] Řezanka M 2016 Monosubstituted Cyclodextrins as Precursors for Further Use *Eur. J. Org. Chem.* Vol. 2016, 5322–5334

ODHAD ČEKACÍ DOBY POMOCÍ ZPRACOVÁNÍ OBRAZU

Chumlen Matěj

Sekce - MECHATRONIKA,
Fakulta mechatroniky, informatiky a mezioborových studií, 3. ročník
Bakalářský studijní program – INFORMAČNÍ TECHNOLOGIE

Abstrakt: Tato práce se zabývá čekáním ve frontě. Cílem práce je navrhnout systém, který na základě obrazové informace z videozáznamu fronty odhadne čekací dobu zákazníka. Tento problém byl řešen detekcí za pomoci objektového detektoru založeného na konvolučních neuronových sítích *Faster R-CNN* a trackováním pomocí *KCF* trackeru. Ze zjištěných informací o časech průchodu a počtu čekajících je vypočten odhad čekací doby. Vytvořené řešení je využitelné v optimálních podmínkách. Jeho funkčnost závisí na umístění kamery vzhledem ke scéně, velikosti scény a kvalitě obrazu. Navržený systém by mohl pomoci ke zpříjemnění čekání ve frontě.

Klíčová slova: rozpoznávání obrazu, počítačové vidění, neuronové sítě, fronta, detekce osob, čas čekání, trackování, objektový detektor, *Faster R-CNN*

1 Úvod

Tato práce se zabývá návrhem prototypu systému, který by s využitím detekčních algoritmů umožnil odhadnout čekací dobu ve frontě. Takový systém může významně pomoci s optimalizací využívání zdrojů v provozech jako jsou letiště, supermarket, menší obchody a další služby a tím zpříjemnit zákaznický prožitek při udržení co nejnižších nákladů. Jeho nasazení počítá s využitím stávajících kamerových systémů. Ačkoliv podobné systémy již existují, jedná se o komerční produkty. Dokumentace těchto produktů nenabízí informace o technologii použité při implementaci, ani informace o úspěšnosti.

V rámci této práce jsou prozkoumány existující algoritmy, které jsou pro řešení problému odhadu čekací doby z videozáznamu potřebné. Implementace těchto algoritmů jsou následně otestovány a porovnány z hlediska přesnosti a výpočetní náročnosti. Za jejich využití je implementován prototyp systému pro odhad čekací doby.

Potenciál navrhovaného systému spočívá v široké škále provozů, kde může být uplatněn, vzhledem k relativně malým nákladům, které jsou s tím spojeny.

Navrhovaný prototyp systému sestává z několika částí, které jsou na sobě jen omezeně závislé. Systém, který odhaduje čekací dobu ve frontě musí řešit následující dílčí problémy:

- separace oblasti fronty v obraze
- stanovení počtu čekajících osob ve frontě
- stanovení rychlosti obsluhy osob ve frontě

2 Výběr prostředků pro použití v systému

2.1 Testovací data

Hledání vhodných prostředků pro použití ve výsledném systému vyžaduje testovací data. Datasets typu Pascal VOC nebo COCO svou obecností nedávají relevantní obraz úspěšnosti pro úlohu rozpoznávání z fronty. Bylo tedy třeba testovací data nasbírat. Jedním z přístupů k jejich shromáždění bylo využití veřejně dostupných snímků front z internetu. Byly prozkoumány možnosti web scrapingu. Jako nejschůdnější se ukázala možnost použití služby

Google Images, která poskytuje API pro vyhledávání a filtrování. Podstatným parametrem filtru jsou práva pro další použití a rozlišení. Bohužel bylo zjištěno, že obrázků front které splňují výše zmíněné parametry je relativně málo (desítky). Zároveň by bylo nutné dohledávat zdroj obrázků pro upřesnění licence pro opětovné použití, což je v mnoha případech obtížné. Velká část obrázků obsahovala ikonický záběr fronty. Dále bylo pro testování trackerů nezbytné disponovat nejen snímky, ale i videozáznamy front. Tento postup byl tedy zamítnut ve prospěch vytvoření vlastních videozáznamů front.

Pro účely práce byla tedy dále vytvořena testovací data v podobě několika videozáznamů fronty (viz obr. 2). Videozáznamy zachycovaly frontu z různých úhlů ve dvou variantách. První variantou byla optimální fronta s dobrou separací jednotlivých osob bez okluze. Fronta se pohybovala přímo. Druhá varianta zachycovala frontu bližší realitě: osoby v zákrytu, předbíhající osoby, osoby vybočující pohybem ze směru fronty.

Byl navzorkován soubor snímků. Byl doplněn volně dostupnými snímky front z internetu a byla vybrána sada 20 snímků, které obsahovaly pro detekci a klasifikaci neoptimální scény. Osoby stojící ve frontě na těchto snímcích se značnou měrou zakrývají (např. snímky 2, 3, 5), nebo jsou viditelné z netradičního úhlu (snímky 2 a 6). Na těchto snímcích bylo pomocí softwaru Labelme [1] označeno 220 instancí osob pomocí polygonů (viz obr. 1).



Obrázek 1: Segmentace osob v obraze

V dalším kroku byl vytvořen testovací dataset. Vzhledem k ucelenému způsobu vyhodnocování výsledků byl zvolen formát COCO. Software Labelme nenabízí možnost exportu anotovaných snímků a anotací do formátu, který by se dal využít na trénování nebo testování detekčního modelu. Tento krok bylo nutné zprogramovat. V rámci práce byl vytvořen skript, který na vstupu přijímá výstupní soubory s anotacemi ze softwaru Labelme ve formátu *.json a na výstupu vrací soubor anotací *.json, který odpovídá specifikaci testovacího datasetu COCO pro detekci, tak jak je popsána v [2]. Tento dataset byl použit v další části práce na testování úspěšnosti detekce vybraných modelů.



Obrázek 2: Videozáznamy front

2.2 Porovnání modelů detekce

Při rešerši bylo zjištěno, že tradiční klasifikační metody založené na ručně vytvářených příznacích (HOG, SIFT) nedosahují ani zdaleka takových výsledků, jako metody založené na konvolučních neuronových sítích [3][4][5], do výběru tedy nebyly zahrnuty.

Při volbě detekčních algoritmů bylo přihlédnuto k tomu, že ve frontě se z podstaty lidé pohybují pomalu (viz 3.5). Navrhovaný systém by měl nalézt uplatnění v institucích jako jsou letištní odbavení, letištní bezpečnostní kontrola nebo hypermarket. Dá se tedy předpokládat, že nová osoba se bude ve sledované oblasti nacházet alespoň 10 sekund (čas průchodu scénou + čas obsluhy).

Vzhledem k tomu není potřeba detekce v reálném čase. Tato podmínka umožňuje volbu detektoru, který dosahuje lepší přesnosti při klasifikaci na úkor času. Na základě práce Speed/accuracy trade-offs for modern convolutional object detectors [6], která provnávala metody Faster R-CNN R-FCN a SSD byla pro testování vybrána metoda Faster R-CNN, která vykazuje nejlepší přesnost klasifikace za cenu pomalejší detekce.

Další zvolenou metodou byl detektor YOLOv3 [7], který oproti Faster R-CNN vykazuje větší rychlost detekce, ale o něco nižší přesnost.

Kritéria pro volbu detektoru byla zvolena následovně:

- Detektor dosahuje dobré úspěšnosti při detekci malých instancí objektů. Bezpečnostní kamery zabírají relativně velkou scénu, v které jedna osoba standardně zabírá oblast o velikosti desítek pixelů.
- Detektor dosahuje co nejvyšší hodnoty mAR. Pro správné stanovení čekací doby je podstatné nevynechávat osoby.
- Úspěšnost detekce při IoU 0,75 je dobrá. Pro zjišťování oblasti obsahující osobu není tak zásadní, aby byla oblast určena zcela přesně. Pro následné užití v trackeru je mAP při IoU 0,75 dostatečná a větší prioritu hraje mAR.
- Průměrný čas detekce na jednom snímku z testovacího datasetu by neměl zabrat déle než 10 sekund.

Vzhledem k dostupnosti kvalitních open-source implementací výše zmíněných detektorů a k nim odpovídajícím předtrénovaným vahám nebyl v rámci této práce vytvořen detektor. Pro porovnání byly využity existující implementace:

- Detectron.pytorch (Faster R-CNN a Mask RCNN) [8] - Při testování byly použity předtrénované váhy na datasetu COCO. Extraktor příznaků byl předtrénován na ImageNet, viz [9]
- Yolov3 [10] - PyTorch implementace YOLOv3. Při testování byly využity předtrénované váhy na databázi COCO. Extraktor příznaků byl předtrénován na ImageNet, viz [7]

Z dostupných modelů byl vybrán vzorek sedmi s různými extraktory příznaků. Na těchto modelech byl spuštěn test na testovacím datasetu popsáném v 2.1. Velikost testovacích obrázků na vstupu byla u všech testovaných modelů nastaveny tak, aby kratší strana měla 800 pixelů. Vybrané výsledky z COCO metriky jsou k vidění v tabulce 1.

Tabulka 1: Výsledky testování detekčních modelů

Model	mAP[0,75]	mAP (malé instance)	mAR	čas
Faster RCNN X-101-32x8d-FPN	77,6	41,9	71,7	18,5
Faster RCNN X-101-64x4d-FPN	74,9	12,4	70,5	19,4
Mask RCNN R-50-C4	75,5	25,9	72,2	20,2
Mask RCNN X-101-32x8d-FPN	78,7	20,0	74,0	20,7
Mask RCNN X-101-64x4d-FPN	77,7	21,0	74,3	22,0
Mask RCNN X-152-32x8d-FPN-IN5k7	86,3	11,9	81,6	850,9
YOLOv3 Darknet-53	64,5	15,1	58,1	8,0

Z testování vyplynulo, že detektory mají všeobecně problém s detekováním malých instancí osob.

Dále test ukázal, že YOLOv3 je nejrychlejší, ale dosahuje špatné úspěšnosti na malých instancích. Tato vlastnost zřejmě souvisí se způsobem, jakým YOLO navrhuje kandidátní oblasti pro klasifikaci. Jeho autoři tento problém přímo adresují v [7] s poznámkou, že se týkal prvních dvou verzí a ve třetí verzi se jej podařilo odstranit. Tento test ukazuje opak. YOLO také dosáhlo nejnižší úspěšnosti v mAP[0,75] a mAR.

Největší úspěšnosti dosáhl model s hlubší architekturou ResNeXt-152-32x8d-FPN. Časová náročnost detekce s tímto modelem však výrazně přesahovala mez stanovenou pro použití.

Zbývajících 5 modelů dosáhlo na testovacím datasetu podobných výsledků mAP[0,75], mAR a času. Jediným výrazným rozdílem ve výsledcích byla úspěšnost klasifikace malých instancí objektů. Tato vlastnost je vzhledem k povaze navrhovaného systému podstatná (lze předpokládat, že kamera bude zabírat scénu z větší vzdálenosti), a proto byl pro další použití v prototypu zvolen model Faster RCNN X-101-32x8d-FPN.

2.3 Porovnání trackovacích algoritmů

Pro sledování rychlosti fronty je nezbytná znalost času, za jaký dojde k obsluze jedné čekající osoby. Objektový detektor ale nezachová identitu nalezených osob, což je nezbytná podmínka pro zjištění, zda osoba prošla oblastí obsluhy. Pro tento účel navrhovaný systém využívá trackovací algoritmus. Knihovna OpenCV obsahuje implementace osmi různých trackovacích algoritmů: MOSSE, KCF, CSRT, TLD, MIL, GOTURN, MedianFlow a Boosting. Ty byly otestovány. Při použití Boosting trackeru program selže. Tato chyba se podle fór vyskytuje, ovšem v době psaní této práce se nepodařilo nalézt v oficiální dokumentaci informace o její opravě (OpenCV verze 3.4). Metoda testování ostatních algoritmů byla následující:

1. Na vstup bylo přivedeno video fronty z testovacích dat (2.1).
2. Na prvním framu byla provedena detekce a objekty osob byly předány trackeru.
3. Tracker následujících 100 framů sledoval předané osoby. Pokud objekt prošel oblastí obsluhy (3.4), inkrementovalo se počítadlo osob a tracker byl odstraněn.
4. Po 100 framech byla provedena další detekce osob a výsledné oblasti byly porovnány s oblastmi, které sledoval tracker. Pokud oblast detekovaná a oblast trackovaná dosáhly skóre $\text{IoU} > 0,3$, trackeru byla předána detekovaná oblast jako nová oblast sledování a byla zachována identita objektu. Pokud trackovaná oblast neměla odpovídající detekci, byl detektor oblasti odebrán. Pokud detekovaný objekt neměl odpovídající trackovanou oblast, byl vytvořen nový tracker.
5. Kroky 3 a 4 se opakovaly do konce testovacího videa.

Výstupem z testování byly tři hodnoty. Počet osob, které prošly oblastí obsluhy, počet unikátních ID, které byly přiděleny trackovaným oblastem v průběhu celého videa a průměrný počet FPS. Ke každému videu použitému při testování byly hodnoty počtu osob, které prošly a počtu unikátních osob, které se ve videu objevily také spočítány ručně pro referenci. Výsledky tohoto testu zachycuje tabulka 2.

Test ukázal, že i při relativně přehledné scéně testované trackery často ztrácí sledovaný objekt, ale pokud je oblast obsluhy přehledná a sledované osoby do ní vstupují jednotlivě, lze na základě informací z trackeru počítat procházející osoby s velkou mírou konfidence.

Jednou z požadovaných vlastností trackeru je malá výpočetní náročnost. Mělo by být možné provádět trackování i v situacích, kdy se ve scéně nachází desítky osob. Některé z testovaných trackerů v nepřehledných scénách s více osobami, kdy docházelo k častému selhání sledování, vzniku nových sledovaných oblastí a zvýšení výpočetní náročnosti, začaly výrazně zpomalovat, což je činí nepoužitelnými.

Ze všech otestovaných trackerů dosahoval dobré přesnosti za podmínky zachování velké rychlosti tracker KCF, a proto byl zvolen jako optimální pro další použití v navrhovaném prototypu systému.

Tabulka 2: Výsledky testování trackerů

Tracker	Video	ID	Počet	FPS
Očekávaný	1	11	6	
	2	13	9	
	3	11	6	
CSRT	1	21	6	6,21
	2	34	9	3,69
	3	23	5	1,79
GOTURN	1	94	16	15,12
	2	101	15	27,64
	3	50	6	33,5
KCF	1	16	6	10,87
	2	32	9	6,43
	3	20	4	2,5
MedianFlow	1	30	6	37,38
	2	53	12	24,64
	3	35	4	8,97
MIL	1	18	7	4,44
	2	34	11	2,74
	3	22	5	2,05
MOSSE	1	36	6	54,26
	2	66	8	40,17
	3	25	6	17,42
TLD	1	31	6	6,33
	2	51	9	4,13
	3	32	1	1,53

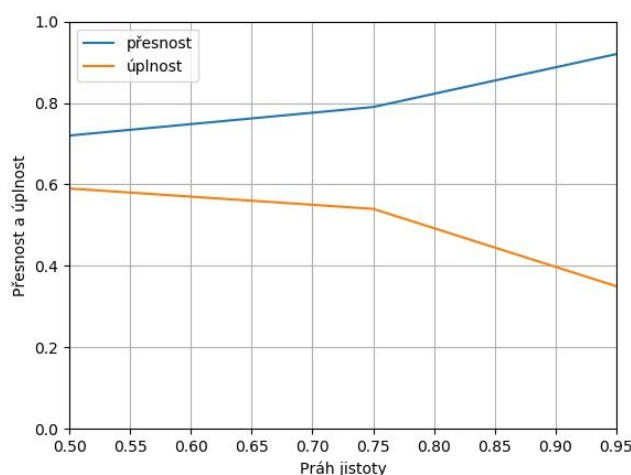
2.4 Vliv umístění kamery

Jak již bylo zmíněno, velká část problémů navrženého systému vychází z faktu, že dostupné detekční a především trackovací algoritmy špatně zvládají okluzi sledovaných objektů. Tato nevýhoda je v případě fronty lidí inherentní. Její odstranění by bylo teoreticky možné do značné míry, pokud by kamera zabírající frontu byla umístěna kolmo k rovině tvořené podlahou. Toto řešení naráží v realitě na dva problémy.

První problém je ekonomický. Nasazení navrhovaného systému počítá s využitím již instalovaných kamer, které jsou bezpečnostní a přirozeně tedy umístěné tak, aby bylo možné

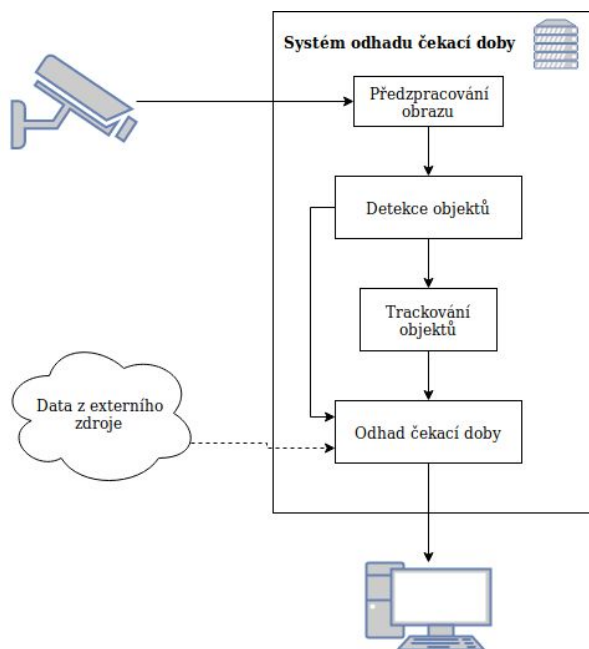
identifikovat osoby na záběrech, tzn. přibližně v úhlu 45° . Instalace jednoúčelových kamer představuje velkou investici.

Druhý problém představuje robustnost detekčního systému. K jejímu otestování byly z testovacího datasetu vybrány snímky stejné scény ve stejném čase zachycené ze dvou úhlů: kolmo a rovnoběžně k podlaze. Obě scény zachycovaly frontu bez okluze. Ve snímcích byly detekovány osoby na třech prazích jistoty (0,5; 0,75; 0,95). U rovnoběžné scény dosáhl detektor 100% přesnosti i úplnosti. Výsledky testu na kolmé scéně jsou vidět v grafu na obrázku 3. Detektor nebyl úspěšný ani u osob, které byly dobře separované od pozadí. Z toho lze vyvodit, že trénovací data neobsahují instance osob zachycených shora v dostatečném množství.



Obrázek 3: Umístění kamery

3 Systém



Obrázek 4: Systém odhadu čekací doby

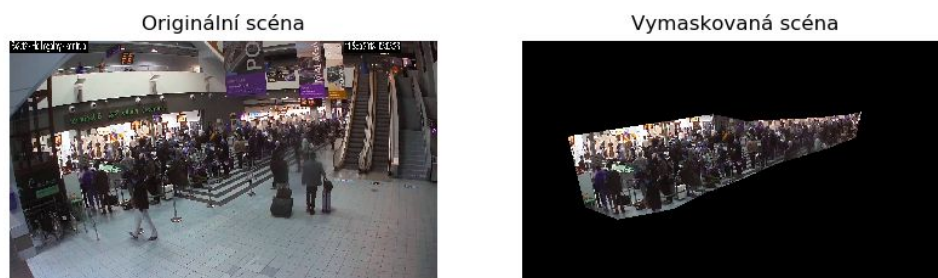
3.1 Izolace fronty ve scéně

Jak je vidět na obrázku originální scény 5, v reálném prostředí je třeba počítat s tím, že ve většině případů kamera nezabírá pouze oblast fronty. V důsledku nelze provádět detekci na celém záběru, neboť by zjištěný počet osob zahrnoval i osoby procházející a rostla by chyba odhadu. Tuto situaci lze vyřešit vymaskováním oblasti, která není validní, pomocí binární masky, tak jak je to znázorněno na obrázku 5.

Tento přístup s sebou nese další výhodu, a tou je aplikace detekce a trackování pouze na validní část záběru. Díky tomuto přístupu lze snížit výpočetní náročnost práce se záznamem, neboť se veškeré výpočty dějí s menším objemem dat.

Navrhovaný systém umožňuje řešit vytvoření binární masky dvěma způsoby. Prvním způsobem je načtení souboru *.json, který obsahuje slovník s polem bodů definujících v obraze polygon fronty. Z tohoto souboru bodů je pomocí knihovny PIL vytvořeno pole typu numpy, které obsahuje nulové hodnoty na všech souřadnicích, které se nachází vně validní oblasti. Vstupní obraz je pak za běhu programu vymaskován pomocí logického indexování, což je výpočetně nenáročné.

Druhý způsob se liší způsobem, jakým je načteno pole bodů polygonu. Jeho vznik byl motivován skutečností, že oblast, ve které se fronta nachází, se může s časem měnit (obsluha provozu využívá přenosných vymežovacích sloupků podle aktuální situace a vytížení), a vytváření *.json souboru je v tu chvíli časově nevýhodné. Možným řešením této situace je využití programu třetí strany, jako je například Labelme (viz 2.1) a jeho úprava. Tato možnost byla zamítnuta z důvodu zbytečného bobtnání kódu programu a závislosti na programu třetí strany. Vhodným řešením s optimální mírou abstrakce je použití OpenCV, které umožňuje vytvoření callback funkce, která zachytává souřadnice kliknutí na zobrazený snímek. Byla vytvořena funkcionalita, která po načtení videa zobrazí uživateli první snímek a umožní mu ohraničit oblast fronty. Po dokončení předá načtené souřadnice funkci, která vytváří binární masku.



Obrázek 5: Vymaskování scény

3.2 Detekce osob ve frontě

Při inicializaci systému je detekční systém inicializován souborem yaml s parametry detekčního algoritmu, souborem s váhami ve formátu pickle a prahu jistoty, který je vyjádřen jako desetinné číslo v intervalu $[0,1]$ a určuje, zda bude nalezená instance objektu vrácena, nebo ne.

Detekční systém komunikuje s hlavním programem funkcí *detect*, která jako parametr přijme výřez z předzpracovaného obrazu obsahující oblast fronty. Na tomto obraze provádí detekci osob a jako návratovou hodnotu předává dvojici objektů -- list ohraničujících obdélníků pro nalezené instance osob a vstupní výřez s anotacemi.

Váhy použitého modelu zvoleného v sekci 2.2 jsou předtrénovány na datasetu COCO, který klasifikuje na výstupní vrstvě 81 tříd objektů. Toto je neoptimální z několika důvodů. Detekované objekty by bylo v hlavním programu nutné dále třídit s tím, že objekty klasifikované jinak, než jako osoby, by byly zahozeny. Detektor také určuje predikovanou třídu jako třídu s největším skóre na vstupu do funkce softmax. V situaci, kdy by detekovaný objekt představoval osobu, ale skóre predikce osoby by nebylo maximální, osoba by nebyla detekována.

Tento problém lze vyřešit přenastavením předtrénovaných vah a biasů na vstupu do funkce softmax. Váhy a biasy pro třídy 0 a 1, které v COCO představují pozadí a osobu byly ponechány, zatímco zbylé váhy byly nastaveny na zápornou hodnotu, což je při detekci diskriminuje a dochází pouze k detekci tříd pozadí a osoba.

Dále byl model nastaven, aby vracel 200 predikcí s největší jistotou namísto původních 100. Tato změna vychází z faktu, že v testovací scéně z letiště ve Vratislavi je 121 instancí osob.

Minimální míra jistoty detekce byla nastavena na 0,2 z původních 0,05 aby nevznikaly málo pravděpodobné predikce, které se musí dále zpracovávat. Dále bylo nastaveno použití Soft NMS namísto normální NMS, což slibuje lepší schopnost zachovat predikce objektů, které se vzájemně významně překrývají. Toto nastavení podle [11] může znamenat na třídě osoba více jak 2% zlepšení (testováno na COCO).

Nakonec byl navýšen počet návrhů na výstupu RPN na 2000.

3.3 Trackování osob ve frontě

Trackovací API knihovny OpenCV neobsahuje prostředky pro trackování více objektů. Za účelem vyřešení tohoto problému byla vytvořena třída trackování. Tato třída udržuje list aktivních trackerů. S hlavním programem komunikuje funkcemi *update*, *add* a *remove*. Třída dále uchovává informace o identitě jednotlivých objektů. Při spuštění systému je vytvořena instance třídy a seznam trackerů je inicializován vstupem z detekce provedené na prvním framu vstupního videa.

3.4 Oblast obsluhy

Odhad čekací doby lze provést několika způsoby. Jednou z nabízených možností je měření rychlosti, jakou se pohybují čekající osoby. Tento přístup naráží na limity zpracování obrazu. S výjimkou scény, kdy tvoří fronta rovnou linii a kamera ji zabírá kolmo a scény, kdy je kamera umístěna shora, je stanovení rychlosti měřením posunu po obraze těžko proveditelné, neboť vzdálenosti jsou deformovány a ztrácí se linearita vzdálenosti v obraze a reálné vzdálenosti. Taková situace by vyžadovala měření reálné vzdálenosti pokaždé, kdy by došlo ke změně linie fronty (pomocí vytyčovacích pásek). Takovýto přístup by také kladl mnohem větší nároky na trackery. Dalším problémem tohoto řešení je fakt, že předpokládá rovnoměrnou hustotu osob ve frontě. Ve chvíli, kdy by se ve frontě nacházela hustší a řidší místa by odhad touto metodou nebyl správný. Bylo by dále nutné, v případě fronty jiného půdorysu než přímky, tvar této fronty stanovit jako křivku a pohyb osob v ní počítat v nejbližším bodě křivky. Kvůli těmto překážkám je takový postup prakticky neaplikovatelný.

Přístup, který používá navržený systém vychází ze základního znaku fronty. Přístup předpokládá, že každá fronta má jednu nebo více oblastí obsluhy, které jsou v čase ve scéně nepohyblivé a dobře viditelné. Tyto oblasti obsluhy, tvoří úzké hrdlo celé fronty. Osoby čekající ve frontě do oblastí obsluhy vstupují jednotlivě, nedochází v ní tedy k okluzi.

Oblast obsluhy je v navrhovaném systému reprezentována obdélníkovou oblastí v obraze. Tato oblast je buď načtena při spuštění systému z předaného souboru *.json, který obsahuje i informace o binární masce, a nebo zadána uživatelem následně po zadání binární masky v GUI.

3.5 Odhad čekací doby

Znalost vlastností fronty je zásadní pro správné fungování systému. V první řadě znamená, že zákazník nebo management bude mít správnou informaci o době čekání ve frontě. Dále také znamená, že lze optimálně stanovit, s jakou frekvencí je nutné provádět detekci, aby nedošlo k průchodu zákazníka uzlem obsluhy aniž by byl zaznamenán.

Tyto vlastnosti byly zjištěny experimentálně. Bylo provedeno 5 měření dob obsluhy v obchodech. Časy měření byly zvoleny tak, aby zahrnovaly doby, kdy lze předpokládat menší provoz (všední dny dopoledne), a doby, kdy lze předpokládat větší provoz (víkend, všední dny odpoledne). Byl měřen čas od načtení první položky nákupu do předání dokladu o zaplacení zákazníkovi. Předpokládá se, že během měření je tok zákazníků stacionární. Podrobnosti o měřeních zachycuje tabulka 3.

Tabulka 3: Měření dob odbavení

	Počet vzorků	Čas měření (od)	Místo měření
Měření č. 1	50	28. 3. 2019 10.00	Albert Atrium Flóra
Měření č. 2	50	31. 3. 2019 10.00	Kaufland Ml. Boleslav
Měření č. 3	50	1. 4. 2019 10.00	Albert Ml. Boleslav
Měření č. 4	50	4. 4. 2019 9.00	Kaufland Ml. Boleslav
Měření č. 5	50	8. 4. 2019 16.00	Albert Ml. Boleslav

Na naměřených datech byly provedeny testy dobré shody za účelem zjištění příslušnosti k rozdělení pravděpodobnosti. Na hladině spolehlivosti 0,05 byla otestována hypotéza o původu dat z Weibullova rozdělení. Pro všech pět měření nebyla hypotéza zamítnuta. Dále tedy lze předpokládat, že data pochází z tohoto rozdělení. Z distribuční funkce teoretických rozdělení pravděpodobnosti bylo zjištěno následující: Průměrná pravděpodobnost, že doba obsluhy bude kratší než 5 sekund je 2,29%, pro dobu kratší než 1 sekunda je to 0,18%. Tímto postupem lze stanovit vhodnou vzorkovací frekvenci pro detekci. Dále lze využít znalost parametrů teoretického rozdělení k výpočtu střední doby obsluhy

$$E = k * \Gamma(1 + b^{-1})$$

a směrodatné odchylky

$$\sigma = k^2 [\Gamma(1 + 2b^{-1}) - \Gamma(1 + b^{-1})],$$

kde k a b jsou parametry Weibullova rozdělení.

Z těchto informací je možno vypočítat čekací dobu nově příchozího zákazníka jako $n \times E$, kde n je počet detekovaných čekajících.

Je nutno podotknout, že naměřený soubor má omezený rozsah, a proto závěry nemají obecnou platnost. Předpoklad původu dat z Weibullova rozdělení může být pro jiné typy provozů chybný. U některých provozů (Starbucks, Costa Coffee atp.) se z podstaty jejich fungování dá předpokládat téměř rovnoměrné rozdělení časů obsluhy. Naproti tomu v hypermarketech, jak se ukázalo i při sběru dat, můžou být rozdíly mezi minimem a maximem velké.

Přístup k tomuto problému v této práci je výpočet času obsluhy na základě posledních k časů průchodů, což může při malém k lépe popisovat časový úsek (například je pravděpodobnější předpoklad, že ráno v menším obchodě budou mít časy odbavení menší rozptyl, než v průběhu celého dne), zároveň však může dojít k většímu zkreslení v důsledku výskytu extrému.

Zároveň bylo zjištěno, že na naměřených datech se střední hodnota vypočtená podle střední hodnoty Weibullova rozdělení a aritmetický průměr neliší více, než o zlomek sekundy.

4 Běh systému pro odhad čekací doby

Spuštění systému je prováděno z příkazové řádky. Uživatel pomocí přepínačů může nastavit práh jistoty, pro který bude přijata detekce, cestu k binární masce fronty, cestu k videosouboru se záznamem fronty, práh IoU mezi trackovaným objektem a detekovaným objektem, pro který bude zachována identita objektu a vzorkovací frekvenci, s kterou bude prováděna detekce osob.

Poté co je program spuštěn je načtena binární maska a oblast obsluhy (buď ze souboru nebo z GUI). Program zároveň stanoví validní oblast v obraze, která bude zpracovávána následovně.

Program provede detekci osob na prvním framu videa a vrácené ohraničující obdélníky předá třídě trackeru, který inicializuje pro každý obdélník ID a tracker. Ačkoliv je trackování méně výpočetně náročné, není tak spolehlivé a není možné předpokládat, že dojde k úspěšnému trackování osob skrz celou scénu. Zároveň je třeba trackovat nově příchozí osoby. Tento problém je řešen následovně: na každém n -tém snímku je znovu provedena detekce. Detekované a trackované ohraničující obdélníky jsou vzájemně porovnány. Pokud je mezi dvěma obdélníky hodnota IoU $> 0,3$, je trackeru předán obdélník z detektoru a je zachována identita trackované osoby (korekce polohy). Pokud obdélník z trackeru neodpovídá žádnému obdélníku z detektoru, je odstraněn. Pokud detekovaný obdélník neodpovídá žádnému obdélníku z trackerů, předpokládá se, že detekovaná osoba je buď nově příchozí, nebo došlo k selhání jejího trackeru. V takovém případě je inicializován nový tracker s novými identitami.

Konstanta n je parametrem celého systému a představuje detekční frekvenci. Vzhledem k tomu, že detekce je oproti trackování circa $10\times$ pomalejší, ale pomáhá zpřesňovat trackované oblasti, je možné její změnou prioritizovat buď rychlost, nebo přesnost celého systému.

Pokud se některý z obdélníků trackeru překrývá s obdélníkem oblasti obsluhy, znamená to, že trackovaná osoba byla obsloužena. Její tracker je odstraněn, počítadlo průchodů osob je inkrementováno a je uložen údaj o času obsluhy. Pro případ, že by ve

stejnou chvíli došlo k detekci, což by způsobilo vznik nového trackeru právě započítané osoby, je v okamžik průchodu oblast obsluhy deaktivována po dobu dvou sekund, což je dostatečný čas, aby procházející osoba opustila sledovanou scénu.

Na základě dat o počtu aktivních trackerů a časech obsluhy je vypočtena čekací doba pro nově příchozího zákazníka způsobem popsáním v 3.5.

Na obrázku 6 je náhled vytvořeného systému. Zelená oblast s ID 0 představuje oblast obsluhy. Dále jsou k dispozici informace o počtu osob, které prošly PC, rychlosti zpracování FPS, průměrné čekací době jednoho člověka AWT, počtu aktivních trackerů (počtu čekajících osob) PW a odhadované čekací době nově příchozí osoby EWT.



Obrázek 6: Snímek prototypu systému

5 Budoucí práce

Prototyp představený v této práci využívá detekční model vytrénovaný na COCO datasetu. Pokud by v rámci nasazení systému v reálném provozu byl nasbírán videozáznam v dostatečné délce, bylo by možné na jeho základě vytvořit dataset pro dotrénování (transfer learning) detekčního modelu. To by mohlo vést ke zmírnění problému detekce na záznamu z kamery umístěné shora.

Významným zdrojem potenciálních chyb v odhadu čekací doby je oblast obsluhy reprezentovaná oblastí v obraze. Možným budoucím řešením je vstup dat o časech obsluhy z externího systému (viz obr. 4). Může se jednat o informace z pokladního systému, z bezpečnostních rámců, z turniketů nebo z čidel.

Implementace KCF trackeru z OpenCV, která byla využita pro navržený prototyp, využívá pro svůj chod CPU. Možným zlepšením je tedy nasazení implementace využívající GPU, což by mohlo vést ke zrychlení běhu systému.

Detekce v navrhovaném prototypu probíhá pro všechny poměry stran a měřítko. Za předpokladu, že jsou známy vlastnosti scény, kterou zabírá kamera s běžícím prototypem by

bylo možné přizpůsobit kotvy pro volbu kandidátních oblastí tak, aby nedocházelo k návrhům oblastí, které jsou reálně příliš velké nebo mají špatný poměr stran, než aby mohly obsahovat osobu.

6 Závěr

Cílem této práce bylo porovnat detekční algoritmy a na základě porovnání vybrat nejvhodnější algoritmus pro praktickou implementaci prototypu systému. Za využití těchto algoritmů následně systém navrhnout.

V kapitole 2 je popsáno testování prostředků pro použití v systému. Pro provedení testů byly v rámci této práce vytvořeny videozáznamy front z různých úhlů. Ze snímků z těchto záznamů a z volně dostupných snímků byl vytvořen testovací dataset ve formátu COCO pro otestování implementací detekčních algoritmů. Pro testování byly na základě rešerše vybrány implementace algoritmů Faster R-CNN, Mask R-CNN a YOLOv3. Na základě testových kritérií, které se zaměřovaly na úspěšnost detekce na malých objektech, všeobecnou úspěšnost detekce a čas detekce byl pro použití v prototypu vybrán algoritmus Faster R-CNN s FPN a extraktorem příznaků ResNeXt-101-32x8d.

Pořízené videozáznamy byly dále použity k otestování trackerů. Byly testovány trackery z Tracking API OpenCV. Na základě testů byl pro použití zvolen KCF tracker.

Dále bylo na snímcích z testovacích dat provedeno zkoumání závislosti úhlu kamery k rovině země a úspěšnosti detekce. Zkoumání ukázalo, že úhly blízké 90° znamenají velký propad úspěšnosti detekce.

Výstupem práce je prototyp systému pro odhad čekací doby. Jeho fungování je popsáno v kapitole 4. Systém umožňuje izolaci fronty ve scéně, detekci osob ve frontě a jejich následné trackování. Systém také pomocí *oblasti obsluhy* v obraze počítá průchozí osoby. Na základě těchto informací systém vypočítává odhad čekací doby pro nově příchozí osoby.

Přístup k problému odhadu čekací doby popisuje sekce 3.5. Časy odbavení byly experimentálně zkoumány. Na jejich základě byl navržen přístup k odhadu čekací doby. Jsou zde informace o způsobu výpočtu odhadu čekací doby a jeho limity.

V kapitole 6 byly popsány možná vylepšení navrženého detekčního systému, která nebylo z různých důvodů možné realizovat.

Ukázalo se, že problém odhadu čekací doby může být účinně řešen pomocí rozpoznávání obrazu. Byly popsány limity tohoto přístupu a způsoby, jak je některé z nich možné překonat.

Literatura

- [1] KENTARO, Wada. *labelme*. GitHub [online]. 2011 [cit. 2019-04-27]. Dostupné z: <https://github.com/wkentaro/labelme>
- [2] COCO Data Format. COCO [online]. [cit. 2019-04-27]. Dostupné z: <http://cocodataset.org/#format-data>
- [3] LECUN, Y., L. BOTTOU, Y. BENGIO a P. HAFNER, Gradient-based learning applied to document recognition. *Proceedings of the IEEE*. **86**(11), 2278-2324. DOI: 10.1109/5.726791. ISSN 00189219. Dostupné také z: <http://ieeexplore.ieee.org/document/726791/>

- [4] LECUN, Y., B. BOSER, J. S. DENKER, D. HENDERSON, R. E. HOWARD, W. HUBBARD a L. D. JACKEL, 1989. Backpropagation Applied to Handwritten Zip Code Recognition. *Neural Computation*. **1**(4), 541-551. DOI: 10.1162/neco.1989.1.4.541. ISSN 0899-7667. Dostupné také z: <http://www.mitpressjournals.org/doi/10.1162/neco.1989.1.4.541>
- [5] GIRSHICK, Ross, Jeff DONAHUE, Trevor DARRELL a Jitendra MALIK, 2014. Rich Feature Hierarchies for Accurate Object Detection and Semantic Segmentation. *2014 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*. IEEE, 2014, 580-587. DOI: 10.1109/CVPR.2014.81. ISBN 978-1-4799-5118-5. Dostupné také z: <http://ieeexplore.ieee.org/document/6909475/>
- [6] HUANG, Jonathan, Vivek RATHOD, Chen SUN, et al., 2017. Speed/Accuracy Trade-Offs for Modern Convolutional Object Detectors. *2017 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*. IEEE, 2017, 3296-3297. DOI: 10.1109/CVPR.2017.351. ISBN 978-1-5386-0457-1. Dostupné také z: <http://ieeexplore.ieee.org/document/8099834/>
- [7] REDMON, Joseph a Ali FARHADI, 2018. YOLOv3: An incremental improvement. *ArXiv*. Dostupné také z: <https://arxiv.org/pdf/1804.02767.pdf>
- [8] ROYTSENG-TW. *A Pytorch Implementation of Detectron*. GitHub [online]. 2017 [cit. 2019-04-27]. Dostupné z: <https://github.com/roytseng-tw/Detectron.pytorch>
- [9] FACEBOOK RESEARCH. *Detectron Model Zoo and Baselines*. GitHub [online]. 2018 [cit. 2019-04-28]. Dostupné z: https://github.com/facebookresearch/Detectron/blob/master/MODEL_ZOO.md
- [10] ULTRALYTICS LLC. *Yolov3*. GitHub [online]. 2018 [cit. 2019-04-27]. Dostupné z: <https://github.com/ultralytics/yolov3>
- [11] BODLA, Navaneeth, Bharat SINGH, Rama CHELLAPPA a Larry S. DAVIS. *Soft-NMS — Improving Object Detection with One Line of Code*. 2017 IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV). IEEE, 2017, 5562-5570. DOI: 10.1109/ICCV.2017.593. ISBN 978-1-5386-1032-9. Dostupné také z: <http://ieeexplore.ieee.org/document/8237855/>

HODNOCENÍ UŽITNÝCH VLASTNOSTÍ TENKÝCH VRSTEV A JEJICH APLIKACE V PRŮMYSLU

Anna Kavánová

Sekce – MECHATRONIKA,
Fakulta mechatroniky, 2. ročník
Magisterský studijní program – Nanotechnologie

Abstrakt: Pro diplomovou práci byly vybrány tenké vrstvy s označením TiC/C, ta-C, WC/C na dvou typech substrátu oceli ČSN 14220.3 a oceli ČSN 19573, nitridovaný povrch a vrstva TiAlN/WC/C na základním substrátu oceli ČSN 14220.3. Hodnocena byla změna drsnosti povrchu, adheze, tvrdost nanesených povlaků, tribologické chování, odolnost vůči opotřebení, tloušťka a homogenita vrstev, smáčivost povrchu s vodou i olejem PARAMO CLP 320. Další částí této práce bylo hodnocení vlastností samotného oleje, který byl použit při tribologickém testování. Tento olej byl následně modifikován nanočásticemi SiO_2 a kombinací nanočástic $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3$ a porovnáván rozdíl v tribologickém chování s olejem bez přídavku nanočástic. Hodnocena byla viskozita oleje, sedimentace, velikost a distribuce nanočástic v oleji. Nejlepší vlastnosti pro použití v průmyslu vykazovaly vrstvy WC/C, TiAlN/WC/C a ta-C. Opotřebení vrstev se lišilo dle typu použitého aditiva, nejmenší poškození bylo pozorováno u oleje s aditivací nanočástic SiO_2 .

Klíčová slova: Tenké vrstvy, TiC/C, DLC, WC/C, TiAlN/WC/C, tribologie, opotřebení, nanočástice SiO_2 a Al_2O_3 .

1 Úvod

U součástí, které jsou při práci v třecím kontaktu, jsou největší ztráty zaznamenávány v podobě tepla, které vzniká vlivem tření. Navíc v některých případech dochází k nadměrnému opotřebení těchto dílů, které obvykle vede k jejich poškození a ztrátě funkčnosti. Z tohoto důvodu je zapotřebí zkoumat nové možnosti, jak snížit koeficient tření a tím snížit energetické ztráty a zlepšit tak funkčnost a životnost součástí strojů.

Při provozu stojí se u většiny dílů, které přicházejí do vzájemného kontaktu, využívá mazacích olejů. Vzniká tak kapalně tření, které výrazně snižuje koeficient tření, opotřebení součástí a zvyšuje jejich životnost. V rámci pracovního procesu součástí však může dojít vlivem různých okolností i k suchému tření, ať už kvůli nedostatku maziva či jeho vytlačení z prostoru mezi třecími plochami. Z tohoto důvodu je zapotřebí zkoumat nejen vliv maziva, ale i tribologické vlastnosti povrchů v případě, kdy dojde k tření na sucho. Pro tyto případy lze na povrch dílu nanést vrstvu, která je schopna zajistit dobré kluzné vlastnosti, aby nedošlo k opotřebení součástky či jejímu poškození. Nanesené tenké vrstvy musí vykazovat vysokou tvrdost, chemickou inertnost, odolnost a při tribologickém testování dosahovat nízkého koeficientu tření. Povlaky by měly také disponovat vysokou adhezí k substrátu, aby nedošlo k odtržení vrstvy od základního materiálu. Všechny tyto vlastnosti jsou nedílnou součástí využití vrstev v daných průmyslových aplikacích.

Cílem diplomové práce je zkoumat užité vlastnosti tenkých vrstev, které jsou používány v průmyslových aplikacích jako povlaky třecích dvojic vaček, a vyhodnotit nejvhodnější typ vrstvy.

2 Experimentální část

2.1 Použité vzorky

Pro hodnocení užitných vlastností tenkých vrstev bylo připraveno celkem deset testovaných vzorků. Jednalo se o dva typy substrátu, ocel ČSN 14220.3 a ocel ČSN 19573, tyto základní substráty s nanesenými vrstvami ta-C (amorfní uhlík), WC/C, TiC/C (výroba - firma SHM

Šumperk). Dále byl zkoumán nitridovaný povrch a vrstva TiAlN/WC/C (výroba - firma Balzers) na základních substrátech oceli ČSN 14220.3.

Tetraedrický amorfní uhlík (vrstva ta-C) má svou strukturu nejvíce podobnou samotnému diamantu (Obr. 1a). Je to způsobeno až 50 % podílem sp^3 vazeb. Podobně jako diamant má proto vysokou tvrdost, modul pružnosti, chemickou stálost a transparentnost. Tyto vrstvy jsou na vzduchu stabilní až do teplot kolem 600 °C.

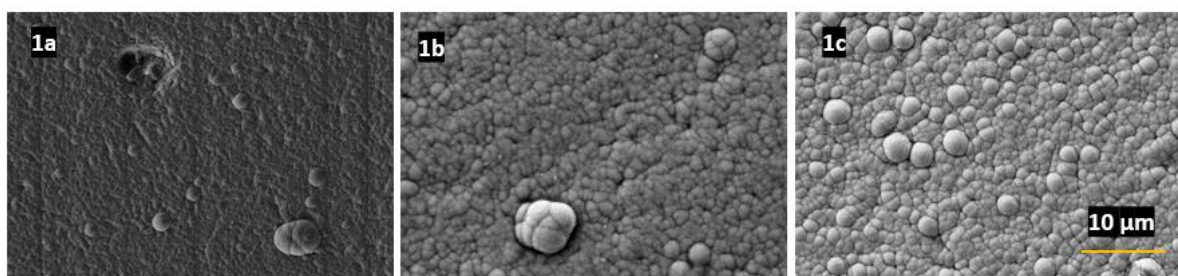
Průmyslově nejrozšířenějším povlakem ze skupiny MeC/a-C:H povlaků je povlak WC/C (Obr. 1b), který se aplikuje převážně na komponenty. Tenká vrstva WC/C je nanášena na povrchu substrátu za teplot do 250°C. Povlak WC/C chrání velmi dobře proti adhesivnímu oděru (zadírání) a jeho nízký součinitel tření snižuje riziko únavy povrchu a tribo-oxidace.

Povlak TiC/C (patří do stejné strukturní skupiny MeC/a-C:H) je velmi atraktivní i díky možnostem přípravy širšího spektra poměrů prvků Ti:C:N s různými výslednými vlastnostmi – od adhezivní vrstvy TiN přes TiCN a TiC, které mají vysokou tvrdost až po konečnou kluznou variantu TiC/C s nadstechiometrickým obsahem uhlíku. Výsledný povlak kombinuje v principu všechny tyto čtyři vrstvy.

Tenká vrstva TiAlN/WC/C (Obr. 1c) - jedná se o kompozitní povlak, spojující vysokou tvrdost (2600 HV) a teplotní odolnost TiAlN s kluznými vlastnostmi a lubrikačními vlastnostmi vnější vrstvy WC/C. Pracovní teplota povlaku je 800 až 1000 °C. Povlak je vyvinut pro povlakování vrtáků, závitových fréz a závitníků k dosažení dobrého odvodu třísky.

Další ze zkoumaných substrátů byl podroben nitridaci. Proces probíhá tím, že je povrch materiálu nasycený atomárním dusíkem, získaným např. rozkladem čpavku na vodík a dusík, při teplotě přibližně 500-550 °C.

Po nitridaci vznikají v povrchové vrstvě oceli velmi tvrdé nitridy, které zvyšují její tvrdost (až 1200 HV). Řezné nástroje se nitridují jenom do hloubky několika setin milimetru, aby nehrozilo vyštípnutí křehkého břítu. Větší hloubky nitridace se používají u tvářecích nástrojů.



Obr. 1 Morfologie povrchu u vrstev a) ta-C, b) WC/C a c) TiAlN/WC/C (uvedené měřítko je ke všem obrázkům)

2.2 Použité metody hodnocení

Morfologie a chemické složení testovaných vzorků: Vzorky byly testovány pomocí mikroskopu Zeiss Ultra Plus s EDS detektorem Oxford X-Max se zpracováním v programu SW AzTec. Bylo provedeno měření morfologie povrchu pomocí SE detektoru a analýza chemického složení vrstev pomocí EDX detektoru. Kvantitativní hodnocení bylo provedeno se zohledněním korekce týkající se uhlíku, aby nedocházelo ke zkreslení výsledků zbytky

etanolu, obsaženými v poměrně porézních vrstvách. Tloušťka a homogenita vrstev byla vyhodnocena na připravených výbrusech. Hodnocení bylo provedeno pomocí lineární a plošné analýzy chemického složení a SE detektoru. Dále byl pomocí mikroskopu Zeiss Ultra Plus změřen profil opotřebení vrstev při použití oleje.

Měření drsnosti povrchů: Před samotným měřením byl povrch každého vzorku očištěn etylalkoholem. Na konfokálním mikroskopu SENSOFAR S Neox byla hodnocena drsnost povrchu (zvětšení 10 x), plošná průměrná drsnost S_a a výška nerovností profilu z deseti bodů S_z povrchu.

Měření kontaktního úhlu: Přístroj Surface Energy Evaluation byl použit pro změření kontaktního úhlu. Před samotným měřením byl povrch každého vzorku očištěn etylalkoholem. Hodnocení bylo provedeno s destilovanou vodou a posléze, pro přiblížení se reálným podmínkám, i s testovaným olejem PARAMO CLP 320. Při měření kontaktního úhlu byla použita kapka s objemem 5 μL (destilovaná voda i olej).

Hodnocení kluzných vlastností tenkých vrstev a míry opotřebení: Pomocí tribometru TRB metodou „Ball-on-Disc“, firmy Anton Paar, bylo provedeno tribologické měření. Koeficient tření a třecí síla byla vyhodnocována mezi danými vrstvami a protikusem, kterým byla keramická kulička (Al_2O_3). Tribologické chování bylo nejprve zkoumáno při suchém tření, dále při kapalném tření s použitím oleje PARAMO CLP 320 a následně s tímto stejným olejem po aditivaci nanočásticemi SiO_2 a kombinací nanočástic SiO_2 a Al_2O_3 s poměrem 1:1. V případě použití oleje s přídavkem i bez přídavku nanočástic bylo mazivo zahříváno na teplotu 45 °C pro přiblížení se reálným podmínkám.

Opotřebení po tribologii bylo vyhodnocováno na konfokálním mikroskopu SENSOFAR S Neox. Opotřebení a poškození bylo měřeno na kuličce i na testovaném povrchu. V případě povrchu byl profil drážky měřen na čtyřech různých místech vzorku (hloubka a šířka) při zvětšení 20 x.

Hodnocení adheze tenkých vrstev k substrátu – Scratch test: Pro měření adheze testovaných vrstev byl použit přístroj CETR UMT Multi-Specimen Test System s hrotem typu Rockwell C s vrcholovým poloměrem 200 μm . Použité zatížení dosahovalo hodnot od 2 do 80 N s rychlostí zatěžování 60 N/min. Na každém povrchu byly naměřeny čtyři vrypy. Byly vyhodnoceny dva druhy kritického zatížení L_{c1} a L_{c3} pomocí změny akustické emise, použitým zatížením, koeficientu tření a optické revize vrypu.

Měření tvrdosti: Tvrdost vrstev byla testována na přístroji CSM Instruments Indentation s indentorem Berkovich. Opět bylo provedeno celkem 10 vpichů na každém vzorku z důvodu opakovatelnosti měření.

Příprava aditivovaných olejů nanočásticemi: Pro hodnocení kluzných vlastností při kapalném tření byl použit olej s obchodním názvem PARAMO CLP 320. Celkem bylo připraveno sedm testovaných olejů. První referenční vzorek (čistý olej), byl použit pro porovnání výsledků s aditivovanými oleji. Dále byly připraveny oleje s třemi různými koncentracemi komerčně dostupných nanočástic SiO_2 a dále s kombinací nanočástic $\text{SiO}_2+\text{Al}_2\text{O}_3$ s poměru 1 : 1. Použité koncentrace byly vybrány 0,5 g/L, 1 g/L a 1,5 g/L. Tyto koncentrace byly zvoleny dle článku [1].

Dále byly připraveny oleje pro vyhodnocení stability disperzí pomocí sedimentace, kde bylo do objemu 70 mL přidáno 0,035 g (0,07 g či 0,11 g) SiO_2 NPs. Dále bylo do objemu 70 mL přidáno 0,035 g (0,07 g či 0,11 g) kombinace $\text{SiO}_2+\text{Al}_2\text{O}_3$ NPs v poměru 1:1. Po přidání nanočástic do oleje, byly tyto mechanicky rozmíchané pomocí skleněné tyčinky. Připravené oleje s NPs byly upevněny do míchačky s následujícími parametry: pro velké kádinky 180 ot/min na 1 hodinu a malé kádinky 240 ot/min na 1 hodinu. Po částečném rozmíchání v míchačce, byly kádinky vloženy do ultrazvukové lázně s teplotou 60 °C na 1,5 hodiny.

Měření viskozity olejů: Měření viskozity pomocí viskozimetru Rheometer MCR 502 od firmy Anton Paar bylo provedeno s deskovým nástavcem. Byla proměřena viskozita oleje bez přídavku nanočástic pro zjištění, zda se jedná o newtonovskou či neneutronovskou kapalinu. Dále byla měřena viskozita základního oleje i oleje s přídavkem nanočástic při teplotě 25 °C. Měření u každého oleje bylo provedeno třikrát z důvodu opakovatelnosti výsledků. Celkem bylo v rámci jednoho měření získáno 30 hodnot viskozity jednotlivých olejů s lineárně se zvyšujícím počtem otáček. Zpočátku byl získán jeden bod za 10 s a závěrem jednotlivých měření byl získán jeden bod za 1 s. Obdobně hodnota Shear rate rostla lineárně z 1/s až na 100/s. Celkový interval jednoho měření byl 165 s.

Výbrusy na vybraných vrstvách a hodnocení jejich tloušťky a homogenity

Po hodnocení užitečných vlastností povlaků byly zvoleny vrstvy s nejlepšími vlastnostmi a na ně byly vyhotoveny výbrusy, což umožnilo hodnocení tloušťky a homogenity vrstev v řezu. U vrstev ta-C musely být vzorky pokoveny stříbrem, aby nedocházelo ke zkreslení obsahu uhlíku. Před samotným měřením byly vrstvy uloženy v komoře SEM na déle než 48 hod. za nízkého tlaku.

3 Diskuse dosažených výsledků

Tloušťka a homogenita vrstev

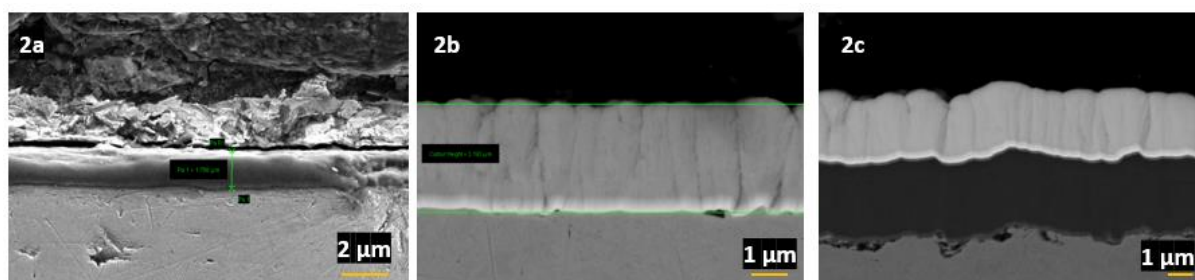
Vrstva TiC/C je k substrátu spojena mezivrstvou TiN a má ve zkoumané oblasti tloušťku 2,144 μm , tloušťka mezivrstvy TiN je 346 nm.

Vrstva WC/C se skládá ze slabé vrstvy wolframu, která postupně přechází ve vrstvu WC, jedná se o tzv. gradientní vrstvu (Obr. 2b). U vrstvy byly zaznamenány defekty. Na určitých místech docházelo ke špatné adhezi vrstvy k substrátu, pravděpodobně způsobené nesprávným očištěním povrchu vzorku. Tloušťka této vrstvy ve zkoumané oblasti je 3,19 μm .

Vrstva TiAlN/WC/C je složena z vrstvy TiAlN, která je od vrstvy WC/C oddělena mezivrstvou chromu (Obr. 2c). Tloušťka vrstvy TiAlN ve zkoumané oblasti je 2,84 μm , mezivrstvachromu má tloušťku 93 nm a vrstva WC/C začíná wolframem naneseným na mezivrstvu chromu a pokračuje gradientní vrstvou v kombinaci s uhlíkem. Gradientní vrstva wolframu má cca 67 nm a zbývající část vrstvy WC má tloušťku 2,28 μm . Celková tloušťka vrstvy ve zkoumané oblasti je zhruba 6 μm .

Tloušťka vrstvy ta-C ve zkoumané oblasti je 1,76 μm a je značně homogenní (Obr. 2a). Mezi základním substrátem a vrstvou ta-C byl zaznamenán chrom. Prvek je součástí přechodové vrstvy CrN mezi základním materiálem a vrstvou ta-C. Dusík nebyl zaznamenán pravděpodobně proto, že se jedná o „lehký“ prvek.

Nejvyšší míra homogenity byla prokázána u vrstvy ta-C a nejmenší míra homogenity byla naměřena na vrstvě TiC/C.



Obr. 2 Znáznornění tloušťky a homogenity u vrstev a) ta-C, b) WC/C a c) TiAlN/WC/C

Drsnosti povrchu

Po povlakování došlo u všech druhů povlaků ke zvýšení drsnosti povrchu oproti základnímu substrátu. Největší průměrná drsnost byla naměřena u TiC/C na oceli ČSN 14220.3 s hodnotou $0,3 \mu\text{m}$. Nejmenší naměřená hodnota průměrné drsnosti byla zaznamenána na vrstvě WC/C na oceli ČSN 14220.3 s hodnotou $0,2 \mu\text{m}$ a dále na vrstvě WC/C na oceli ČSN 19573 s hodnotou $0,21 \mu\text{m}$. Vrstvy nanesené na substrátu oceli ČSN 14220.3 mají průměrnou drsnost S_a cca o 3 % větší než základní materiál. Vrstvy, které byly nanесeny na substrát oceli ČSN 19573, mají průměrnou drsnost S_a o 13 % větší oproti základnímu substrátu.

Porovnání kontaktního úhlu vody a oleje s povrchy při použití objemu kapky $5 \mu\text{L}$

Nejmenší úhel při kontaktu vrstev s oleji byl zaznamenán u TiC/C na oceli ČSN 14220.3 s hodnotou $50,3^\circ$ a u vrstvy ta-C na oceli ČSN 14220.3 s hodnotou $51,8^\circ$. Nejvyšší úhel byl potom naměřen na vrstvě WC/C na oceli 19573 s hodnotou $56,8^\circ$ a dále na nitridovaném povrchu s hodnotou $56,3^\circ$ a u vrstvy WC/C na oceli ČSN 14220.3 s hodnotou $54,2^\circ$. U vrstev TiC/C a ta-C se kontaktní úhel v porovnání se základními typy substrátu nepatrně snížil. Naměřené hodnoty kontaktního úhlu oleje s povrchy se příliš nelišily. Oproti tomu, při porovnání kontaktního úhlu povrchů s vodou, kde jsou značné odchylky u jednotlivých vrstev. Při použití vody tento rozdíl činí 17 %.

Koeficient tření bez použití oleje (suché tření)

Oproti základnímu substrátu došlo u všech vrstev k výraznému snížení koeficientu tření, s výjimkou nitridovaného povrchu. Nejvyšší hodnota koeficientu tření byla naměřena na površích oceli ČSN 19573 (0,681) a oceli ČSN 14220.3 (0,671). U vrstvy ta-C na oceli ČSN 19573 se koeficient tření oproti základnímu substrátu snížil téměř o 86 %. Nejmenší koeficient tření byl zaznamenán právě u této vrstvy s hodnotou 0,097 a dále na vrstvě ta-C na oceli ČSN 14220.3 s hodnotou 0,112. Nejvyšší hodnota koeficientu tření u testovaných vrstev byla zaznamenána na TiC/C na oceli ČSN 19573 s hodnotou 0,240; což je však stále o 75 % méně než u základní substrát.

Wiklund et al., 2000 uvádí ve své studii [2], že díky koeficientu tření v rozmezí 0,14 - 0,2 u vrstvy TiC/C, může být tato vrstva alternativou komerčně dostupné vrstvy WC/C. Při tribologii byla použita metoda „Ball-on-Disc“ a kulička byla z kalené oceli (AISI 52100). Koeficient tření se u vrstvy WC/C pohyboval v rozmezí mezi 0,1 až 0,2.

Změřený koeficient tření u vrstvy TiC/C (0,24) téměř spadá do uvedeného rozmezí v publikaci (0,14-0,2) [2]. Malé odchylky koeficientu tření jsou způsobeny druhu zvoleného protikusu (kulička protikusu Al_2O_3 a ocelová kalená kulička). Vrstva WC/C spadá svým koeficientem tření (0,18) do uvedeného rozmezí v publikaci (0,1-0,2).

V publikaci [3] M. Stuber uvádí, že při použití protikusu z materiálu 100Cr6 byla hodnota koeficientu tření u vrstvy TiC/C 0,8 - 0,9 v případě vrstvy o složení 70 mol. % a TiC a 30 mol. % C. V případě složení vrstvy TiC/C 50 mol. % TiC a 50 mol. % C byl koeficient tření v rozmezí hodnot 0,4 - 0,5. U posledního druhu vrstvy 30 mol. % TiC a 70 mol. % C byl koeficient tření naměřen v rozmezí hodnot 0,08 - 0,14. Ve srovnání s výsledky v rámci diplomové práce jsou tyto hodnoty koeficientu tření vyšší. Důvodem je druh zvoleného protikusu při tribologickém experimentu.

Opotřebení tenkých vrstev při suchém tření

Nejmenší šířka profilu byla změřena na vrstvě ta-C na substrátu oceli ČSN 19573 s hodnotou 89 μm , kde nebylo možné změřit hloubku profilu. U vrstev WC/C na obou typech substrátu a vrstvě ta-C na oceli ČSN 19573 nebylo možné změřit hloubku profilu, jelikož došlo k velmi malému opotřebení. Největší opotřebení bylo naměřeno na nitridovaném povrchu s šířkou profilu 543 μm .

Koeficient tření při použití oleje (kapalné tření)

V případě kapalného tření s použitím oleje se koeficient tření základních typů substrátu oproti vrstvám nijak významně neliší. Koeficient tření se pohybuje v rozmezí od 0,094 do 0,126. Nejnižší koeficient při kapalném tření byl zaznamenán u vrstvy ta-C na oceli ČSN 19573 s hodnotou 0,094 a u vrstvy ta-C na oceli ČSN 14220.3 s hodnotou 0,105. Nejvyšší koeficient tření byl naměřen na oceli ČSN 19573 s hodnotou 0,13, vrstvě TiC/C s hodnotou 0,123, dále na oceli ČSN 14220.3 a vrstvě WC/C (ČSN 14220.3) se shodnými hodnotami 0,122. Po zjištění předchozího tribologického chování byly pro tento experiment vybrány již jen vrstvy WC/C, ta-C a TiAlN/WC/C.

Koeficient tření při použití oleje s aditivací SiO₂ NPs

U vrstvy WC/C na substrátu oceli ČSN 19573 došlo po 94 minutách k poškození. Pravděpodobně je to zapříčiněno špatnou adhezí této vrstvy k základnímu substrátu. Hodnota adheze této vrstvy je z testovaných vrstev nejnižší - 20,8 N.

Oproti koeficientu tření v případě čistého oleje a oleje s aditivem SiO₂ NPs s koncentrací 0,5 g/L nedochází k patrným rozdílům.

Koeficient tření při použití oleje s aditivací SiO₂+Al₂O₃ NPs

Před i po aditivaci olejů nanočásticemi nedošlo u hodnot koeficientu tření k výrazným změnám. U vrstvy WC/C na substrátu oceli ČSN 19573 došlo po 93 minutách k poškození.

Opotřebení tenkých vrstev při použití oleje s aditivací SiO₂ NPs a oleje s aditivací SiO₂+Al₂O₃ NPs

Z detailních snímků (pomocí SEM) při porovnání vzhledu drážky i její šířky je patrné, že v případě vrstvy ta-C (ČSN 14220.3) došlo při použití SiO₂ NPs ke snížení opotřebení oproti čistému oleji. Při použití oleje s SiO₂+Al₂O₃ NPs se opotřebení vrstvy vzhledem k čistému oleji zvýšilo. U tohoto typu vrstvy došlo ke vzniku prasklin v drážce během tribologického testování ve všech typech oleje. V případě použití oleje s SiO₂ NPs byly praskliny vrstvy zredukovány a při použití oleje s SiO₂+Al₂O₃ NPs došlo k jejich zvětšení. Šířka profilu opotřebení vrstvy s použitím čistého oleje je 51,66 μm , při použití oleje s SiO₂ NPs je šířka opotřebení 37,53 μm a při použití oleje s SiO₂+Al₂O₃ NPs je šířka drážky 68,71 μm . U vrstvy ta-C na oceli ČSN 19573 nebylo možné měřitelné opotřebení jak při použití oleje bez aditiv, tak při použití oleje aditivací NPs. Nebylo zaznamenáno žádné opotřebení, jen stopa organické látky (olej), která se do vrstvy zakomponovala v průběhu experimentu.

U vrstvy WC/C na oceli ČSN 14220.3 došlo ke stlačení pórů vrstvy. Na snímku je možné pozorovat, jak olej vnikl do pórů vrstvy a nebylo ho možno odstranit. Šířka stopy po kuličce na vrstvě s použitím čistého oleje je 160,3 μm , při použití oleje s SiO_2 NPs je šířka opotřebení 130,4 μm a při použití oleje s $\text{SiO}_2+\text{Al}_2\text{O}_3$ NPs je šířka drážky 148,7 μm . U vrstvy WC/C (ČSN 19573) došlo k odtržení vrstvy až na substrát, což bylo zapříčiněno špatnou adhezí povlaku k základnímu materiálu ($\text{Lc}_3 = 20 \text{ N}$).

U vrstvy TiAlN/WC/C došlo k podobnému efektu jako u vrstvy ta-C. Šířka profilu opotřebení vrstvy s použitím čistého oleje je 105 μm , při použití oleje s SiO_2 NPs je šířka opotřebení 103,2 μm a při použití oleje s $\text{SiO}_2+\text{Al}_2\text{O}_3$ NPs je šířka drážky 125 μm . V tomto případě však nedošlo ke vzniku prasklin v drážce. Vrstva TiAlN/WC/C má obdobný charakter opotřebení jako vrstva WC/C. Vrstvy se od sebe liší strukturou, kde u vrstvy TiAlN/WC/C je povrch více drsný a při tribologii dochází k odtrhávání jednotlivých zrn z povrchu vrstvy.

Dle pořízených snímků lze předpokládat, že olej s aditivací SiO_2 NPs mírně snižuje opotřebení oproti čistému oleji. Olej s aditivací $\text{SiO}_2+\text{Al}_2\text{O}_3$ opotřebení vrstvy mírně zvyšuje. Dále samotný olej vniká do pórů vrstev, kde zůstává, což je výhodou, pokud dojde ke tření na sucho.

Adheze vrstev

Nejvyšší hodnota adheze byla změřena na vrstvě amorfního uhlíku (ta-C), nanesené na oceli ČSN 19753 a ČSN 14220.3. Nejnižší adheze byla změřena na WC/C na oceli ČSN 19573 ($\text{Lc}_3 = 20 \text{ N}$). Požadavkem pro průmyslové použití, je hodnota adheze alespoň 25 N. Tato vrstva nesplňuje výše zmíněnou podmínku pro průmyslové využití. Špatná adheze je pravděpodobně zapříčiněna nesprávnou přípravou vzorku (čištění) před nanášením vrstvy. Ostatní zkoumané vrstvy prokázaly velmi dobrou adhezi k základním materiálům. Adheze vrstev nanesených na oceli ČSN 19573 je lepší oproti vrstvám nanesených na oceli ČSN 14220.3. Adheze jednotlivých vrstev je postupně TiC/C s hodnotami 44,7 a 47,7 N, WC/C (14220.3) s hodnotou 48,4 N, TiAlN/WC/C s hodnotou 53,7 N. Nejvyšší hodnoty adheze byly naměřeny u vrstev ta-C - 56,5 a 58,8 N.

M. Stuber ve své studii [3] používá vrstvy o složení 70 mol.% TiC a 30 mol.% C s tloušťkou 5 μm na substrátu tvrdokovu. Adheze této vrstvy byla mezi 20 – 30 N. Při složení vrstvy TiC/C 50 mol.% TiC a 50 mol.% C byla hodnota adheze 30 – 35 N. Při složení 30 mol.% TiC a 70 mol.% C se pak hodnota adheze snížila na 26 N.

Vrstva TiC/C zkoumaná v této práci by měla mít složení zhruba 50 mol.% TiC a 50 mol.% C. Při porovnání hodnoty adheze této vrstvy s jednotlivými vrstvami zkoumanými v práci M. Stuber, se hodnota adheze liší.

Tvrdosti základních materiálů

Tvrdost základních materiálů byla hodnocena podle Vickerse a bylo konstatováno, že ocel ČSN 14220.3 má menší tvrdost než ocel ČSN 19573 a to o 16 %.

Tvrдость zkoumaných vrstev podle Knoop a podle Berkoviche

Nejvyšší tvrďost byla naměřena u vrstvy ta-C na oceli 19573 s hodnotou 3029 HV, TiC/C (14220.3) s hodnotou 2751 HV a TiC/C (19573) s hodnotou 2433 HV. Nejmenší tvrďost z testovaných vrstev vykazovaly WC/C (19573) s hodnotou 828 HV, nitridovaný povrch s hodnotou 926 HV. Dále vrstva ta-C (14220.3) měla tvrďost 2109 HV, vrstva WC/C (14220.3) měla tvrďost 1103 HV.

Sedimentace NPs

Jako metoda pro vyhodnocení stability olejů s aditivací NPs byla vybrána sedimentace [4–7]. Olej v kádinkách byl ponechán sedimentovat. Každý den byla pořizována fotodokumentace jednotlivých koncentrací a porovnávána velikost sedimentace oproti referenčnímu vzorku, a to po dobu jednoho měsíce. Dále byla pozorována barva a čírost hodnocených olejů.

Následující dny byla pozorována u koncentrace 1 g/L nanočástic $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3$ sedimentace s drobnými sedimenty na dně kádinky. U koncentrace 1,5 g/L je vzorek SiO_2 matný a není skrz něj vidět. U $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3$ při koncentraci 1,5 g/L je patrná větší sedimentace než v případě koncentrace 1 g/L.

Po měsíci od namíchání NPs do olejů

Teprve po jednom měsíci od namíchání olejů došlo k sedimentaci u $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3$ při koncentraci 0,5 g/L. Ani po jednom měsíci nebyla u vzorku oleje s aditivací NPs SiO_2 a koncentrací 0,5 g/L zaznamenána žádná sedimentace. V případě vzorků s přídavkem Al_2O_3 došlo ke vzniku většího množství sedimentu na dně kádinek, což je pravděpodobně způsobeno především vyšší hmotností Al_2O_3 NPs. U vzorků s SiO_2 NPs s koncentracemi 1 g/L a 1,5 g/L došlo k zmatnění olejů a částečné sedimentaci na dně kádinky. Jelikož nedošlo u oleje s aditivací SiO_2 NPs o koncentraci 0,5 g/L k žádné sedimentaci, byl tento vybrán pro další zkoumání. U skupiny olejů s aditivací $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3$ došlo u všech koncentrací k částečné sedimentaci. Proto byla vybrána pro další zkoumání koncentrace 0,5 g/L, u níž došlo k nejmenší sedimentaci.

4 Závěr

Cílem diplomové práce bylo zhodnotit užité vlastnosti tenkých vrstev pro jejich použití pro konkrétní průmyslovou aplikaci a zvolit vrstvy s nejlepšími charakteristikami. Diplomová práce se skládá z teoretické části, která je zaměřena na integritu povrchu, tribologické chování a na metody vyhodnocování tenkých vrstev. Další částí mé diplomové práce je část experimentální, kde se zaměřuji na zkoumání drsnosti povrchu vrstev, jejich adhezi k podkladovému materiálu, tvrďost, tribologické chování a smáčivost. Všechny stanovené cíle diplomové práce byly splněny a výsledky jsou následující :

Z testovaných vzorků bylo největší drsnosti povrchu dosaženo u vrstvy s označením TiC/C (ČSN 14220.3), u vrstvy ta-C (ČSN 19573), TiC/C (ČSN 19573) a TiAlN/WC/C. Nejlepší adhezi prokázala vrstva ta-C na obou typech substrátu (na oceli ČSN 14220.3 a oceli ČSN 19573). Po nanesení tenkých vrstev bylo zaznamenáno zvýšení tvrďosti povrchu testovaných vzorků ve srovnání se základními materiály. U substrátu oceli 14220.3 byla původní tvrďost 652 HV a po nanesení vrstev se tvrďost pohybovala v rozmezí 926–2751 HV. U substrátu oceli 19573 byla hodnota tvrďosti 731 a po nanesení vrstev se její hodnota pohybovala v rozmezí 828–3029 HV. Nanesené tenké vrstvy na povrchu snížily koeficient tření až o 85 % ve srovnání se základními materiály při tření na sucho. Nejlepší třecí vlastností prokázaly

vrstvy TiAlN/WC/C, WC/C a ta-C. Nejmenší opotřebení u modifikovaných povrchů prokázaly vrstvy ta-C na obou podkladových materiálech (ČSN 14220.3 a ČSN 19573) a vrstva WC/C na oceli ČSN 14220.3. Nejmenší opotřebení protikusu (Al_2O_3) bylo naměřeno při kontaktu s vrstvami WC/C a TiAlN/WC/C. Vrstvy do dílčího výzkumu byly zvoleny ta-C (amorfni uhlík), WC/C a TiAlN/WC/C.

Sedimentace nebyla pozorována u vzorku oleje s SiO_2 NPs s koncentrací 0,5 g/L. U skupiny olejů s aditivací $\text{SiO}_2+\text{Al}_2\text{O}_3$ byla nejmenší sedimentace zaznamenána u koncentrace 0,5 g/L. Tyto dva typy olejů byly zvoleny pro tribologické testování vzorků.

U oleje s aditivací SiO_2 NPs a kombinací $\text{SiO}_2+\text{Al}_2\text{O}_3$ NPs nebyla zaznamenána změna viskozity oproti čistému oleji.

Při použití čistého oleje došlo k výraznému snížení koeficientu tření u substrátů oceli, které se svými hodnotami významně přiblížily testovaným vrstvám. U vrstev došlo k mírnému snížení koeficientu tření, tyto rozdíly však byly v rámci tolerance měření. Při použití oleje s aditivací NPs nedošlo u hodnot koeficientu tření k žádným změnám oproti čistému oleji, či byly tyto změny v rámci chyby měření.

Dle pořízených snímků bylo zjištěno, že olej s aditivací SiO_2 NPs snižuje opotřebení oproti čistému oleji až o 27 %. Kdežto olej s aditivací $\text{SiO}_2+\text{Al}_2\text{O}_3$ opotřebení vrstvy zvyšuje až o 33 %. Vrstvy ta-C a WC/C (14220.3) v kombinaci s mazivem PARAMO s aditivací SiO_2 NPs vedly k nejlepším výsledkům.

Literatura

- [1] BAKALOVA, Totka, Lucie SVOBODOVÁ (KŘIKLAVOVÁ, Petra ROSICKÁ, Karolína BORŮVKOVÁ, Lukáš VOLESKÝ a Petr LOUDA. *The application potential of SiO_2 , TiO_2 or Ag nanoparticles as fillers in machining process fluids* [online]. 2016. Dostupné z: doi:10.1016/j.jclepro.2016.11.054
- [2] WIKLUND, U, M NORDIN, O WÄNSTRAND a Mats LARSSON. *Evaluation of a flexible physical vapor deposited TiC–C coating system* [online]. 2000. Dostupné z: doi:10.1016/S0257-8972(99)00627-1
- [3] STÜBER, M. Microstructure and properties of low friction TiC-C nanocomposite coatings deposited by magnetron sputtering [online]. nedatováno, **150** (2–3), 218–226. Dostupné z: doi:10.1016/S0257-8972(01)01493-1
- [4] AKBULUT, M. Nanoparticle-Based Lubrication Systems [online]. 2019, **2012** (1). ISSN 2168-9806. Dostupné z: doi:10.4172/2168-9806.1000e101
- [5] JIANG, B., J. J. HE, X. S. XIA, Z. T. JIANG, J. H. DAI a F. S. PAN. Effect of SiO_2 nanoparticles as lubricating oil additives on the cold-rolling of AZ31 magnesium alloy sheet AU - Xie, H. M. *Materials Research Innovations* [online]. 2015, **19** (sup4), S127–S132. ISSN 1432-8917. Dostupné z: doi:10.1179/1432891715Z.0000000001531
- [6] X. PENG, D, Yuan KANG, R M. HWANG, S S. SHYR a Yeon CHANG. *Tribological properties of diamond and SiO_2 nanoparticles added in paraffin* [online]. 2009. Dostupné z: doi:10.1016/j.triboint.2008.12.015
- [7] LEONOR GUZMAN BORDA, Fatima, Sylvio JOSÉ RIBEIRO DE OLIVEIRA, Leticia MARIA SEABRA MONTEIRO LAZARO a Albino LEIROZ. *Experimental investigation of the tribological behavior of lubricants with additive containing copper nanoparticles* [online]. 2017. Dostupné z: doi:10.1016/j.triboint.2017.08.012

Digitální holografická mikroskopie s vysokým rozlišením

Sedláčková Karolína

Sekce - MECHATRONIKA,

Fakulta mechatroniky, informatiky a mezioborových studií, 3. ročník
Bakalářský studijní program – APLIKOVANÉ VĚDY V INŽENÝRSTVÍ

Abstrakt: Tato práce se zaměřuje na problematiku optimalizace holografického mikroskopu. Cílem této práce je prozkoumat možnosti pro zlepšení laterálního rozlišení dané mikroskopové soustavy. Díky aplikaci principu takzvané syntetické apertury se zlepšilo rozlišení mikroskopu z 8,311 μm na 2,8 μm .

Klíčová slova: mikroskopie, digitální holografie, digitální holografická mikroskopie, rozlišení, interference, syntetická numerická apertura

1 Úvod

Digitální holografie byla poprvé popsána před více než 70 lety, původně jako prostředek pro zvýšení rozlišení elektronového mikroskopu, ale její vynálezce Denis Gabor si uvědomil, že difrakční obraz elektronového svazku obsahuje komplexní informaci o amplitudě a fázi elektronové vlny. Záznam difraktující elektronové vlny je pak využit k optické syntetizaci pole objektu. Digitální holografie přebírá základy klasické holografie, tedy informaci o 3D podobě zkoumaného objektu, ale přidává možnost digitálního zpracování.

Digitální holografická mikroskopie pak propojuje vlastnosti digitální holografie a mikroskopie. Díky mikroskopii získáme úhlově zvětšený snímek, z něž se dá díky holografii vytvořit trojrozměrný model. Digitální holografická mikroskopie (DHM) dokáže změřit topografii pozorovaného objektu ve zlomcích vlnové délky, ovšem laterální rozlišení je dáno použitou optikou. Laterální rozlišení je udáváno pomocí numerické apertury a vlnové délky. DHM nám tedy umožňuje zobrazit přiblížený 3D model, a zároveň zachovat jeho životnost. Digitální holografická mikroskopie (DHM) navíc umožňuje trojrozměrné zobrazení vzorků numerickým přeastřením dvourozměrného (2-D) obrazu v různých rovinách objektu bez použití opto - mechanického pohybu.

Lepšího rozlišení je možné dosáhnout několika způsoby. Jedním ze způsobů zlepšení je zvýšení numerické apertury. Numerická apertura (NA) nám udává stranové rozlišení čočky. Budeme - li zvětšovat úhel osvětlení, bude se nám zvětšovat i numerická apertura.

2 Metodologie

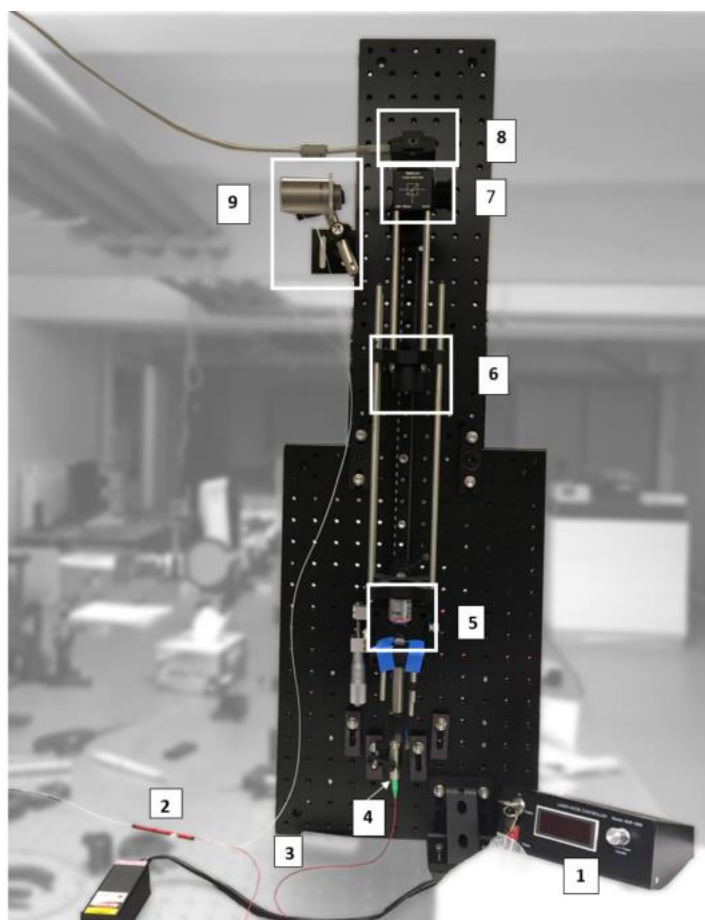
Abychom dosáhli vysokého rozlišení, používáme techniku syntetické apertury digitální holografie. V zachyceném poli jsou virtuálně zahrnuty dvou dimenzionální snímky a síť 3D mnohoúhelníků. Výsledné zrekonstruované snímky zahrnují veškeré hloubkové podněty, ale digitálně zpracovatelné.

2.1 Popis holografického mikroskopu

Standardní digitální holografický mikroskop se skládá ze zdroje, interferometru s mikroskopovou soustavou, kamery počítače na zpracování.

Při konstrukci digitálního holografického mikroskopu v této práci je využit laser ADR - 1805, generující laserový svazek o vlnové délce 635 nm a maximálním výkonu 4 mW. Laser je rozdělen optickým vláknem na referenční a objektový svazek. V tomto konkrétním případě bylo použito optické vlákno od

TW670R5A1 od firmy Thorlabs, které dělí svazek v poměru přibližně 50:50. Na konci optického vlákna je připevněn vláknový kolimátor, díky němuž je svazek z vlákna kolimovaný. Tento kolimátor obsahuje jednu asférickou čočku. Kolimátor je tvořen čočkou, která transformuje se sbíhavého (rozbíhavého) svazku, svazky kolimované, tedy rovnoběžné. Svazky prochází přes vzorek, který je uchycen na pohyblivý stolek. S paprskem jsme schopni hýbat v horizontální ose. Zvýšením úhlu snímání jsme schopni dosáhnout vyššího rozlišení. Nepřesáhne-li úhel 90° , získáme zvětšenou numerickou aperturu. Dále světlo pokračuje do objektivu. V této soustavě používáme objektiv od firmy Olympus, konkrétně typ RMS4X. Zvětšení tohoto objektivu je 4x, pracovní vzdálenost objektivu je 18,5 mm, efektivní ohnisková vzdálenost je 45 mm a numerická apertura 0,1. svazek vycházející z objektivu prochází čočkou. Čočka kolimuje svazky a zároveň zaostřuje objekt. Svazky pokračují na dělič, kde spolu referenční svazek a objektový svazek interferují. Referenční svazek je kolimovaný parabolickým kolimátorem RC12SMA-P01.



Obrázek 1 Popis obrázku holografického mikroskopu na obrázku: 1 - laser, 2 - dělič optického vlákna, 3 - větve optického vlákna, 4 - kolimátor, 5 - objektiv Olympus RMS4X, 6 - čočka, 7 - dělič, 8 - čip, 9 - parabolický kolimátor.

2.2 Popis zkoumaného vzorku

Jako zkoumaný vzorek byl použit měřicí terč USAF 1951 (Obrázek 2 USAF 1951Obrázek 2), který se používá pro testování rozlišení optických přístrojů. USAF 1951 tvoří skupiny šesti pruhů, kde tři pruhy jsou horizontální a tři vertikální. Skupiny jsou označena čísla. Abychom rozeznali rozlišení soustavy, srovnáme hodnotu čísla vedle pruhu s číslem skupiny (Tabulka 1). [1]



Obrázek 2 USAF 1951

	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7
1	2000,0	1000,0	500,0	250,0	125,0	62,5	31,3	15,6	7,8	3,9
2	1781,8	890,9	445,4	222,7	111,4	55,7	27,8	13,9	7,0	3,5
3	1587,4	793,7	396,9	198,4	99,2	49,6	24,8	12,4	6,2	3,1
4	1414,2	707,1	353,6	176,8	88,4	44,2	22,1	11,0	5,5	2,8
5	1259,9	630,0	315,0	157,5	78,7	39,4	19,7	9,8	4,9	2,5
6	1122,5	561,2	280,6	140,3	70,2	35,1	17,5	8,8	4,4	2,2

Tabulka 1 Rozlišení USAF 1951 v mikrometrech

2.3 Popis experimentu

DHM soustava se skládá z interferometru, objektivu a čipu. Koherentní zdroj světla o vlnové délce 635nm byl použit pro vytvoření interference mezi objektem a referenčním paprskem a nahrání mimoosé digitálního hologramu na CCD čip. V experimentu jsme měřili rozlišení pomocí 1951 USAF. Obraz byl zaznamenán a zrekonstruován na základě syntetické apertury, Fourierova difrakčního teorému a prostorového rozlišení. Díky tomu může být prostorová absorpce a index lomu kvantitativně rekonstruován a analyzován.

Když proběhne celý proces, multiplexujeme prostorovou informaci ze vzorku, ta se nám uloží do paměti počítače hologramy zaznamenané v mimoosé geometrii. Pak zpracujeme komplexní amplitudu distribuovanou z přenášené frekvence tak, že na ně aplikujeme Fourierovu transformaci soustředěnou v jednom z difrakčních řádů. Potom, co najdeme střed, všechny elementární snímky mohou být numericky zpracovány, abychom je rozšířili do různých délek.

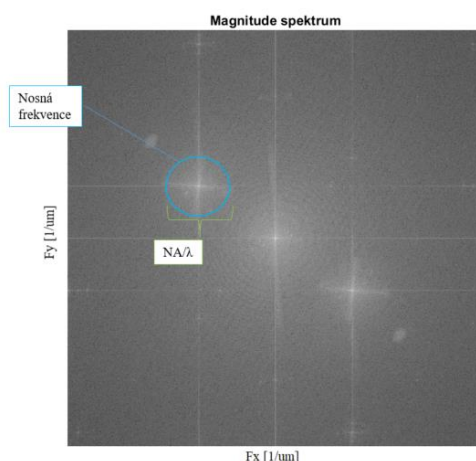
Pro numerické přestřžení můžeme využít difrakční integrál. Difrakce Rayleigh-Sommerfeldova integrálu může být přibližně vyřešena pomocí buď Fresnelovou rekonstrukcí, nebo konvoluční rekonstrukcí. První metoda je běžně používaným zjednodušením difrakčního integrálu. Použití druhého algoritmu nám umožňuje efektivně provést operace bez aproximace, což znamená, že difrakční integrál je počítán použitím tří Fourierových transformací přes konvoluční teorém, což je $RS(x, y, d) = FT^{-1}\{P(u, v) H(u, v, d)\}$, kde $RS(x, y)$ je propagované vlnové pole, (x, y) jsou prostorové souřadnice, FT je Fourierova transformace d je vzdálenost. Numerický výpočet Fourierovy transformace je realizován FFT algoritmem.

V této práci používáme konvoluční metodu. Abychom snížili časovou náročnost výpočtů, definovali jsme Fourierovu transformaci z impulsní charakteristiky:

$H(u, v, d) = FT\{h(x, y, d)\}$, kde (u, v) jsou souřadnice prostorové frekvence. Při definování $H(u, v, d)$ jsme použili Fresnelovu aproximaci. Navíc jsou předchozí zaznamenané hologramy dříve zpracovány. Výpočet propagovaného vlnového pole na libovolnou vzdálenost d se zjednoduší na $RS(x, y, d) = FT^{-1}\{U(u, v) H(u, v, d)\}$, kde $U(u, v)$ je každý zaznamenaný hologram. [2], [3]

2.4 Digitální zpracování s generováním syntetické apertury

V první řadě si inicializují parametry. Prvotní parametry zjistíme potom, co provedeme FFT algoritmus se snímkem, jehož úhel osvětlení nebyl upraven. Tento snímek upravíme do tvaru čtverce pro snadnější práci.

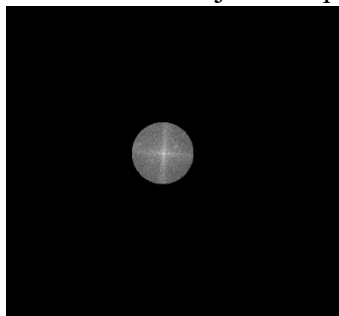


Obrázek 3 Fourierova transformace pro on - axis snímek

Z výsledného snímku pak určíme rozsah prvního difrakčního řádu. Vybereme kruhové okolí tak, že první difrakční řád bude přesně ve středu (viz modrý kruh v Obrázek 33). Najdeme střed prvního difrakčního řádu (zároveň je zde i maximální intenzita), a souřadnice středu jsou zároveň souřadnice nosné frekvence.

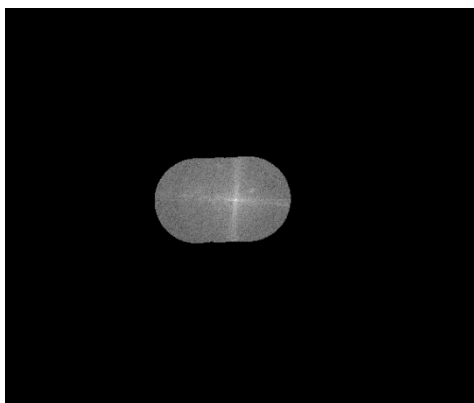
Definujeme vlastnosti mikroskopové soustavy a velikost jednoho pixelu, kterou určí pomocí hodnot z tabulky hodnot pro USAF (5 čar vynásobím jejich velikostí, a to celé vydělím počtem pixelů na obrázku).

Díky těmto hodnotám určíme velikost masky, kterou aplikujeme na obraz. Maska má průměr, který je rovný maximálnímu rozsahu prostorových frekvencí, který je objektiv schopný přenést. Ten se vypočítá jako podíl numerické apertury a vlnové délky. Díky tomu se nám zobrazí pouze výše zmíněný výřez obrazu obsahující komplexní pole (Obrázek 4).



Obrázek 4 Vymaskovaný referenční snímek

Po určení parametrů ze snímku bez změny úhlu osvětlení zpracujeme mimoosé snímky. Zpracujeme postupně všechny mimoosé snímky od maximálních úhlů do obou stran od osy. Snímky opět upravíme na stejnou velikost a provedeme Fourierovu transformaci. Opět vybereme kruhovou masku odpovídající průměru difrakčního limitu, kde je nosná frekvence středem kružnice. Pomocí korelace mezi výřezem z referenčního a off - axis snímku hledáme, jak se posunul střed kružnice. V následujícím kroku posunu střed off - axis snímku o vzdálenost, o kterou je posunutý oproti referenčnímu, zobrazím snímek a uloží do proměnné, kam uloží postupně všechny snímky. Postupně seskládám komplexní pole z různých směrů dohromady (viz Obrázek 5). Podaří-li se nám pole zvětšit, zvětší se nám i rozsah frekvencí, které se přenášejí.



Obrázek 5 Výsledné frekvenční spektrum po seskládání hologramů z několika osvětlovacích směrů (syntetická apertura)

Po seskládání uděláme zpětnou FFT a zobrazíme intenzitu/fázi u pospojovaného snímku. Pro porovnání si uděláme zpětnou FFT a zobrazím intenzitu a fázi u referenčního. Oproti původní situaci se nám zvýšila numerická apertura o 15%. Tím se posune i difrakční limit soustavy.

3 Výsledky měření

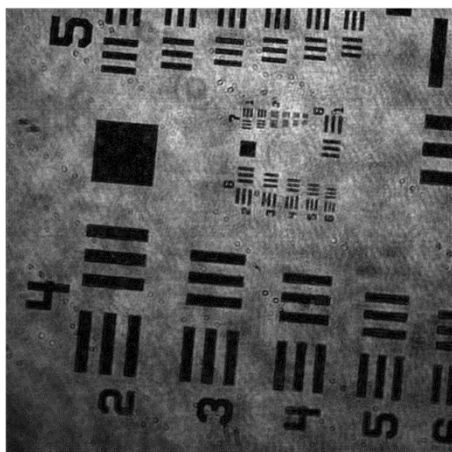
Měření probíhalo v laboratoři LOMM na Technické Univerzitě v Liberci, kde je sestavený mikroskop umístěn.

Cílem této práce bylo zvýšit rozlišení mikroskopu pomocí takzvané syntetické numerické apertury (SNA). Numerická apertura objektivu byla rovná 0,1. Po nasnímání 7 hologramů (jeden v ose, 6 mimo osu), byly hologramy uloženy do paměti počítače a následně digitálně zpracovány. Změnou úhlu osvětlení se změnila jeho numerická apertura na 0,2. Aby bylo možné odhadnout výsledné rozlišení, vypočetli jsme numerickou aperturu zařízení. Syntetickou numerickou aperturu vypočítáme dle rovnice:

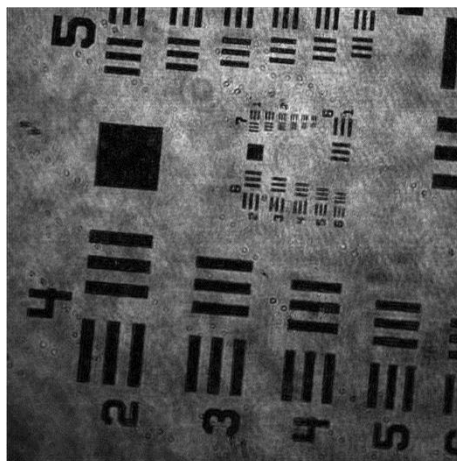
$$SNA = NA_{\text{čočky}} + NA_{\text{osvětlení}}$$

Po nasnímání je superrozlišený obraz zrekonstruován pomocí inverzní Fourierovy transformace, která obsahuje i generovanou syntetickou aperturu. Původní syntetická numerická apertura se rovnala 0.15, což podle Rayleighova kritéria znamená, že mikroskop schopný rozlišit bod o velikosti 8,311 μm, ale po aplikaci navrhovaného postupu, kdy se syntetická numerická apertura rovná 0,3053, se velikost rozlišitelného bodu změnil na 3,275 μm.

Jako vstupní objekt byl použit měřicí terč USAF 1951, který se používá pro testování rozlišení optických přístrojů. USAF 1951 tvoří skupiny šesti pruhů, kde tři pruhy jsou horizontální a tři vertikální. Skupiny jsou označena čísly. Abychom rozeznali rozlišení soustavy, srovnáme hodnotu čísla vedle pruhu s číslem skupiny.

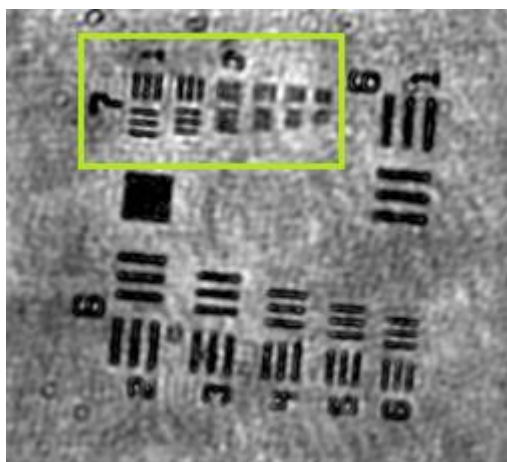


Podobrázek 1 Referenční snímek měřicího terče USAF 1951

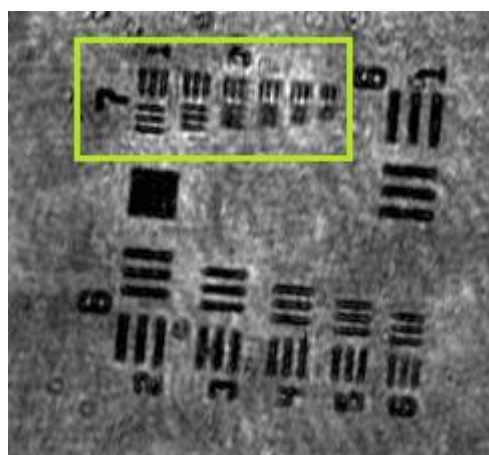


Podobrázek 2 Výsledný snímek měřicího terče USAF 1951

Obrázek 6 Srovnání referenčního a výsledného snímku



Podobrázek 3 Detail referenčního snímku



Podobrázek 4 Detail výsledného snímku

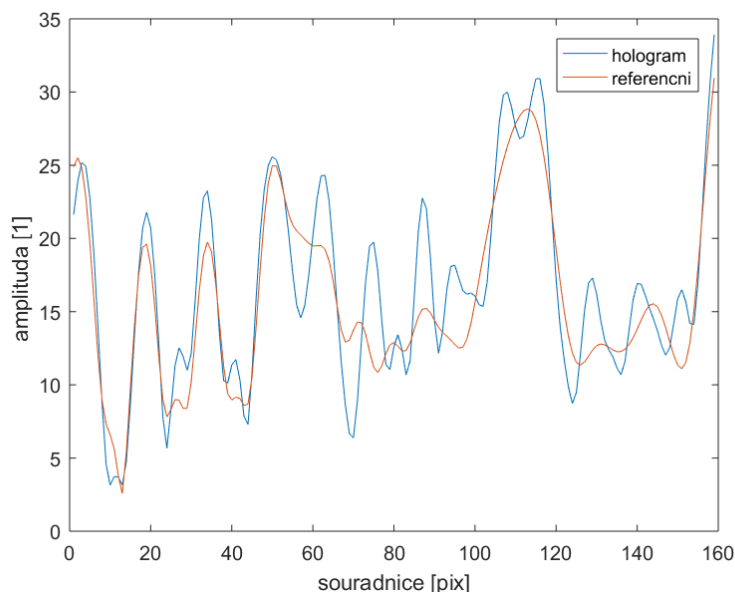
Obrázek 7 Detail referenčního snímku a detail téhož snímku po zvýšení rozlišení

Referenční snímek jsme snímali pod nulovým úhlem, numerická apertura byla tedy rovna 0,15. Poslední rozlišitelné čáry snímku (Podobrázek 3 Detail referenčního snímku) měly hodnotu 7+2, takže maximální rozlišení bylo v hodnotě 3,5 μ m. Poté jsme nasnímali několik snímků s různým úhlem osvětlení. Ty pak byly složeny algoritmem popsaným a složil se z nich snímek. Poslední rozlišitelné čáry (Podobrázek 4) se posunuly na 7+5 a maximální rozlišení se zvýšilo. Nyní jsme schopni rozlišit objekty do velikosti (2,8 μ m). Rozdíl ve výsledcích je zobrazen na Obrázek 7.

Snímek jsme nasnímali pod celkovým úhlem 28° v horizontálním směru, abychom zvýšili numerickou aperturu. Jejím zvýšením dosáhneme vyšší světelnou účinnost objektivu, a tím i kvalitnějšího snímku. Hodnota numerické apertury se změnila pouze v horizontálním směru a ve vertikálním směru zůstala stejná, a proto je vertikální rozlišení shodné u obou snímků Obrázek 6.

V Obrázek 8 je vidět, jak se mění hodnoty podle čar USAFu. Schodky dolů (tedy nízké hodnoty) představují tmavá místa. U červeného 7+2 (koresponduje s modrou, ale má menší

kontrast (výšku schodku)), ale od 7+3 má červená čára nižší kontrast, zatímco modrá čára má rozeznatelné schodky do 7+4.



Obrázek 8 Porovnání výřezu USAF 1951 v sekci 7 v konvenčním zobrazení (bez změny úhlu osvětlení) a po aplikaci navrhovaného postupu. Velikost jednoho pixelu odpovídá $0.4960\mu\text{m}$.

4 Závěr

Cílem práce bylo seznámit se s principy digitální holografické mikroskopie a rekonstrukce digitálních hologramů, navrnutí experimentálního uspořádání reálného digitálního holografického mikroskopu a zkoumání limitů laterálního rozlišení možných modifikací pro jeho zvýšení.

Zkoumaný mikroskop se skládá z Mach - Zehnderova interferometru, ten je tvořen laserem o vlnové délce 635 nm a rozdělené optické vlákno, objektivu, který umožňuje čtyřnásobné zvětšení, zobrazovací čočky, děliče a kamery. Z kamery se ukládají snímky do počítače, v němž pak probíhá zpracování. Pro změnu úhlu osvětlení vzorku byla použita manuální změna úhlu. Osvětlení vzorku bylo měněno postupně až do úhlu 14° od hlavní osy do obou stran. Snímky byly ukládány do počítače a následně synteticky složeny tak, aby se zvýšila numerická apertura snímku, a tedy zvýšilo rozlišení mikroskopu.

Při použití digitálního holografického mikroskopu v transmisním módu a prostorového multiplexování svazku při ozařování vzorků můžeme ukázat, že je možné zrekonstruovat vlnové pole vzorku s vysokým rozlišením. Po aplikování syntetické apertury jsme dostali vysoce rozlišené zobrazení 3-D modelu vzorku. Jakmile jsou zaznamenány úplné informace o optickém poli s difraktujícím vzorkem, je možné zpracovat snímky, jak jsou uvedeny v standardních technikách optické mikroskopie.

Jako testovaný vzorek byl použit měřicí terč USAF 1951, kterým se zjišťuje rozlišení soustavy. Při jeho snímání bez aplikace syntetické apertury bylo jeho maximální rozlišení $8,311\mu\text{m}$. Po nasnímání více snímků pod různými úhly a jejich následném složení se díky využití syntetické apertury zvýšilo rozlišení dané mikroskopové soustavy na $2,8\mu\text{m}$. Je tedy jasné, že se nám rozlišení v horizontálním směru zlepšilo.

Literatura

- [1] T-20 USAF 1951 Chart Standard Layout Product Specifications. *Applied Image Inc.* [online]. 1653 East Main Street Rochester, NY 14609 USA [cit. 2019-03-22]. Dostupné z: https://www.appliedimage.com/wp-content/uploads/2017/09/USAF-1951-Test-Target-T-20_v1-04.pdf
- [2] MICÓ, Vicente, Zeev ZALEVSKY, Carlos FERREIRA a Javier GARCÍA. Superresolution digital holographic microscopy for three-dimensional samples. *Opt. Express* 16,. 2008, 10. DOI: <https://doi.org/10.1364/OE.16.019260>.
- [3] CHENG C., X. LAI, Y. LIN and H. TU, Superresolution imaging in synthetic aperture digital holographic microscopy, *2013 IEEE 4th International Conference on Photonics (ICP)*, Melaka, 2013, pp. 215-217. DOI: 10.1109/ICP.2013.6687118

Vliv přídavku nanočástic připravených zelenou syntézou na tribologické vlastnosti lubrikantu

Bc. Ondřej Seibert

Sekce - MECHATRONIKA,
Fakulta mechatroniky, informatiky a mezioborových studií, 2. ročník
Navazující studijní program – Nanomateriály

Abstrakt: Práce se zabývá zelenou syntézou nanočástic oxidu měďnatého, oxidu zinečnatého, oxidu hlinitého a sulfidu molybdeničitého. Jako vhodná metoda byla zvolena metoda self-combustion pro oxidické nanočástice a syntéza v mikrovlnném reaktoru pro sulfid molybdeničitý. Syntetizované nanočástice byly spolu s koupným oxidem křemičitým aditivovány do motorového oleje. Byla zkoumána nejvhodnější metoda dispergace nanočástic v oleji. Účinek aditivace byl zkoumán pomocí tribometru. Na základě měření opotřebení ocelového disku byla vyhodnocena nejvhodnější metoda dispergace a nejvhodnější typ nanočástic.

Klíčová slova: Zelená syntéza, self-combustion, nanočástice, tribologie, opotřebení, aditivace

1. Úvod

V dnešní době stále narůstá popularita tzv. nanomateriálů, protože mají zajímavé vlastnosti, často odlišné od materiálů bulkových. Rozlišuje se nepřeberné množství materiálů dle velikosti, tvaru, metod vzniku či použití.

Intenzivně zkoumanou metodou přípravy nanočástic je tzv. zelená syntéza [1]. Zelená syntéza se zabývá takovými syntézami, které minimalizují dopad na životní prostředí a snižují riziko a náklady syntéz.

Používanými reaktanty jsou rostlinné extrakty [2], [3] či čisté, levné a netoxické látky (tzv. paliva), jako je např. močovina [4], kyselina citronová [5] či glycin [5]. Při použití těchto jednoduchých chemikálií se mluví o syntézách zvaných self-combustion.

Zajímavou možností uplatnění nanočástic je modifikace/vylepšení tribologických vlastností olejů a maziv [6]. V naší zemi jezdí přes 5 milionů aut, která v pravidelných intervalech musí jezdit na výměnu motorového i jiného oleje. Snížení koeficientu tření ve spalovacím motoru by vedlo k jeho nižšímu opotřebení, zvýšilo jeho životnost a také vedlo ke snížení jeho spotřeby, čili i k nižším emisím skleníkových plynů.

2. Experimentální část

2.1. Příprava nanočástic

Nanočástice oxidu měďnatého, oxidu zinečnatého a oxidu hlinitého byly připraveny metodou self-combustion.

Nanočástice sulfidu molybdeničitého byly připraveny hydrotermální reakcí v mikrovlnném reaktoru [7].

Syntéza self-combusiton

Výchozími látkami jsou pro každou syntézu oxidu příslušné dusičnany. Konkrétně trihydrát dusičnanu měďnatého, hexahydrát dusičnanu zinečnatého a nonahydrát dusičnanu hlinitého. Jako paliva byla zvolena: glycin, močovina, kyselina citronová, etylenglykol a glukóza.

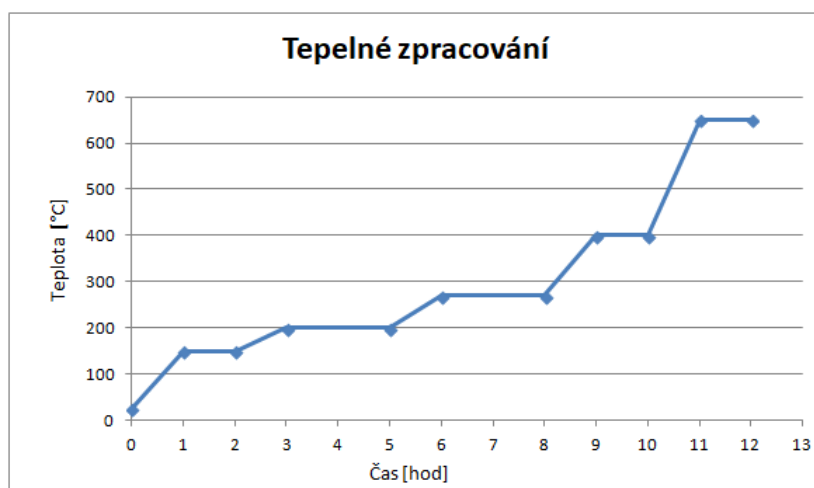
Pro každou dvojici palivo-dusičnan bylo experimentováno s množstvím dle stechiometrické rovnice [5] a v přebytku.

Dusičnany byly rozpuštěny v 10 ml destilované vody a ke každému dusičnanu byla přidána paliva dle Tabulky 1.

		Glycin [g]	Močovina [g]	Kyselina citronová [g]	Ethylenglykol [g]	Glukóza [g]
Al ₂ O ₃	Dle rovnice	0,33	0,40	0,61	0,41	0,27
	3 moly	0,60	0,96	1,53	0,50	1,30
ZnO	Dle rovnice	0,28	0,34	0,36	0,55	0,22
	2 moly	0,76	0,61	1,29	0,63	1,63
CuO	Dle rovnice	0,32	0,38	0,41	0,24	0,26
	2 moly	0,58	0,46	1,47	0,48	1,20

Tabulka 1. Tabulka navážek na 1 g dusičnanů.

Dalším krokem byla homogenizace roztoku mícháním. Po míchání byly vzorky vysušeny v sušárně při teplotě 90 °C po 12 hodin. Následujícím krokem bylo pálení sušiny v peci dle Obrázku 1.

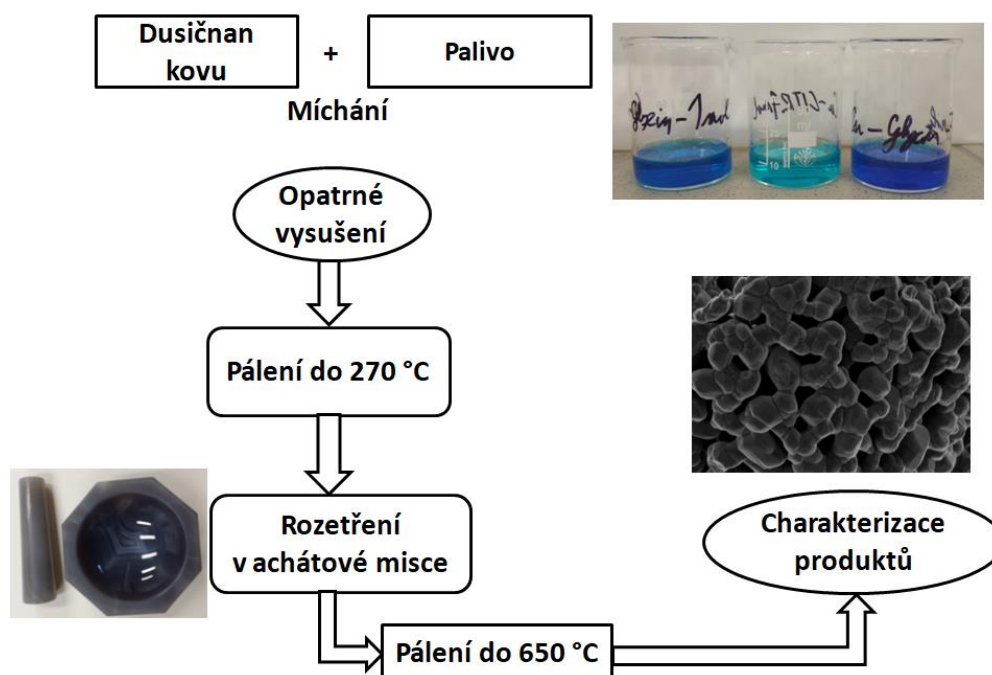


Obrázek 1. Graf tepelného zpracování.

Po teplotě 270 °C následuje rozetření práškového oxidu v achátové třecí misce. Tím se rozbijí největší shluky nanočástic. Dále jsou vzorky tepelně zpracovány až při teplotě 650 °C.

Posledním krokem celé syntézy je charakterizace vzorků pomocí rastrovací elektronové mikroskopie s EDS analýzou.

Celá syntéza je přehledně shrnuta ve schématu na Obrázku 2.



Obrázek 2. Schéma metody self-combustion

Hydrotermální reakce v mikrovlnném reaktoru

Pro syntézu sulfidu molybdeničitého není možné využít spalovací syntézy, protože za vyšších teplot hrozí naoxidování sulfidu a místo sulfidu by výsledným produktem byl oxid.

Z tohoto důvodu byla zvolena hydrotermální reakce v mikrovlnném reaktoru.

Byly provedeny 3 prvotní pokusy pro zjištění vhodných parametrů experimentu. Výchozími látkami byl dihydrát molybdenanu sodného ($\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$), thiomočovina a kyselina chlorovodíková (HCl). Prvním krokem bylo odvážení 0,5 g molybdenanu sodného, který byl rozpuštěn v 30 ml destilované H_2O . Po rozpuštění molybdenanu bylo odváženo a přisypáno 0,47 g thiomočoviny. Roztok byl míchán do úplného rozpuštění thiomočoviny na magnetické míchačce za pokojové teploty. Pro syntézu je dle citované literatury [7] třeba snížit pH pomocí HCl .

Během 3 experimentů byly zjištěny vhodné parametry nastavení mikrovlnného reaktoru a hodnota pH.

2.2. Charakterizace nanočástic

Nanočástice byly charakterizovány pomocí rastrovací elektronového mikroskopu Zeiss ULTRA PLUS s EDS analýzou. Snímky byly zpracovány obrazovou analýzou v softwaru NIS Elements.

2.3. Adivitace nanočástic do motorového oleje

Pro zjištění nejvhodnější metody aditivace a dispergace nanočástic byly prvotní experimenty realizovány se zakoupenými nanočásticemi SiO_2 o velikosti 15-20 nm. Aditivováno bylo 0,2 hm. % nanočástic. Ověřena byla metoda dispergace pomocí excentrické míchačky, ultrazvuku z ultrazvukové čističky a ultrazvukového homogenizátoru, jako zdroje ultrazvukových rázů. Na základě tribologických měření byla vyhodnocena nejvhodnější metoda dispergace a ta byla použita i pro syntetizované vzorky.

2.4. Tribologické měření

Tribologické měření probíhalo na tribometru Anton paar metodou ball-on-disk. Jako kulička (ball) byl zvolen korund a disk byl vyroben z oceli ČSN 14 220. Měření probíhalo na dráze 500 m, při teplotě 90 °C (snaha o simulaci reálného provozu) a zatížení 10 N.

3. Výsledky

3.1. Syntéza nanočástic

Self-combustion

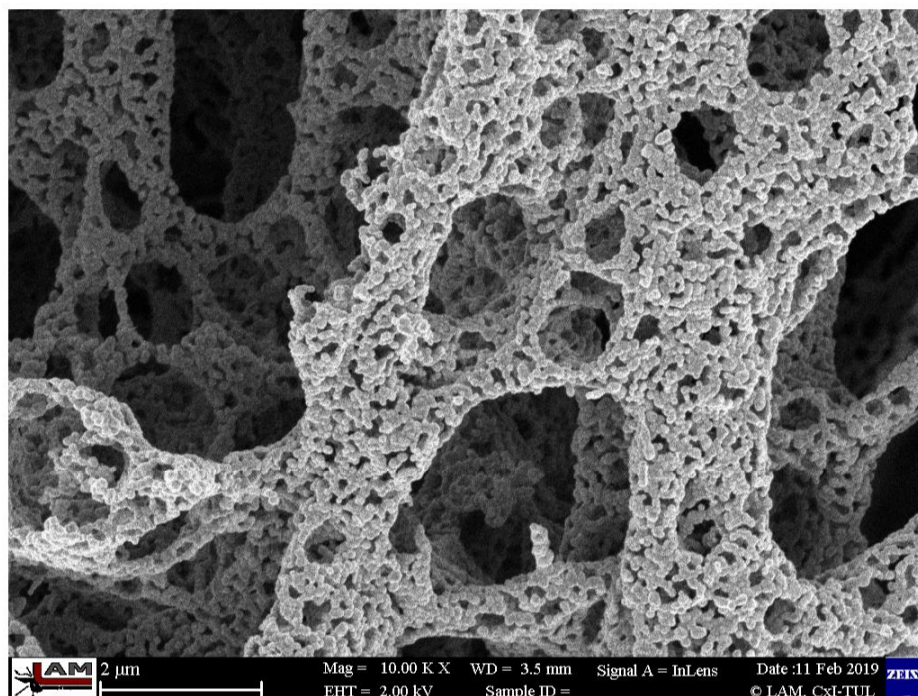
Úspěšně byly syntetizovány nanočástice oxidu měďnatého a oxidu zinečnatého. Částice oxidu hlinitého neměl rozměry v řádu nanometrů, a proto se jimi tato práce dále nezabývá.

Společným trendem je shluknutí nanočástic do mikronových útvarů s póry a prostorem mezi částicemi (Obrázek 3). Tyto útvary postupem času sami degradují, jak je patrné z Obrázku 4.

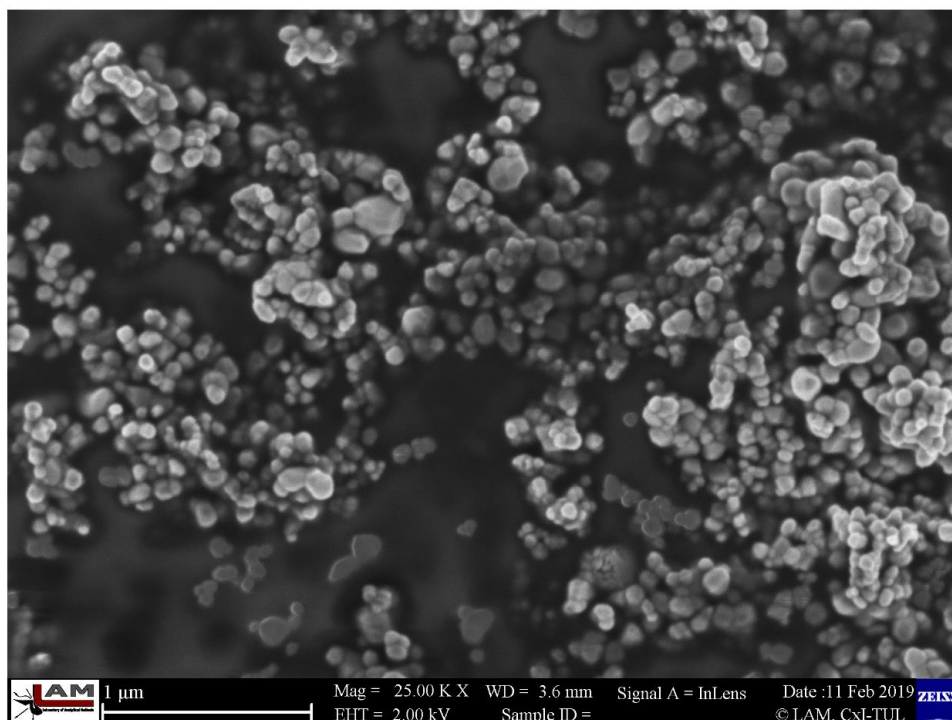
Výsledné velikosti částic jsou shrnuty v Tabulce 2. Pokud se v buňce tabulky vyskytují 2 hodnoty velikostí nanočástic, vyskytovaly se ve vzorky dvě dominantní velikosti nanočástic.

		Glycin [nm]	Močovina [nm]	Kyselina citronová [nm]	Ethylenglykol [nm]	Glukóza [nm]
Al ₂ O ₃	Dle rovnice	-	-	-	-	-
	3 moly	-	-	-	-	-
ZnO	Dle rovnice	96 ± 21	126 ± 26, 79 ± 17	145 ± 27, 69 ± 15	171 ± 37, 82 ± 17	55 ± 13
	2 moly	109 ± 36	130 ± 28	138 ± 26, 79 ± 22	146 ± 33, 71 ± 15	43 ± 13
CuO	Dle rovnice	106 ± 29	151 ± 39	153 ± 43	134 ± 28	181 ± 41
	2 moly	141 ± 33	200 ± 51	175 ± 48	264 ± 84	89 ± 19

Tabulka 2. Přehled výsledných velikostí nanočástic.

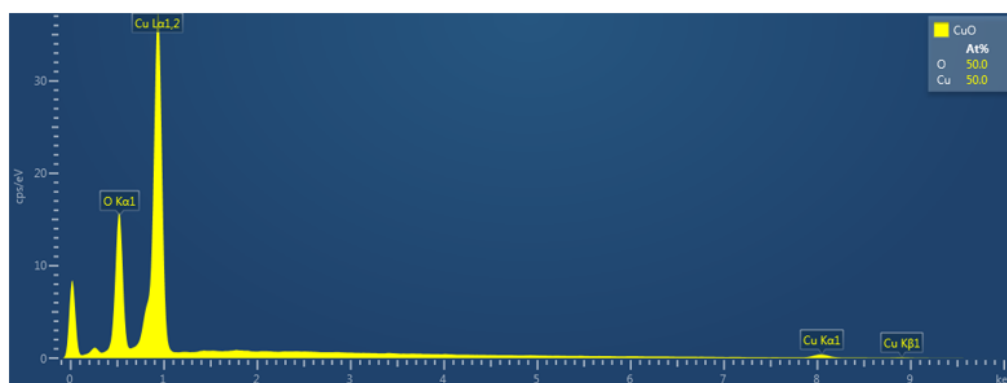


Obrázek 3. Nanočástice ZnO vytvořené pomocí glycinu dle stechiometrické rovnice.

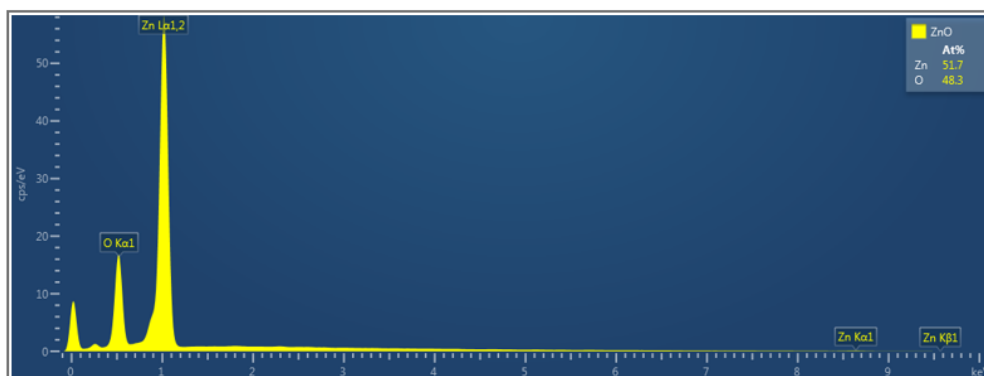


Obrázek 4. Degradace nanočástic ZnO připravených pomocí glukózy v poměru dle chemické rovnice

Z provedených EDS analýz je patrné, že vzorky jsou skutečně čisté. Atomární množství odpovídá požadovaným oxidům (Obrázek 5 a 6).



Obrázek 5. EDS spektrum CuO

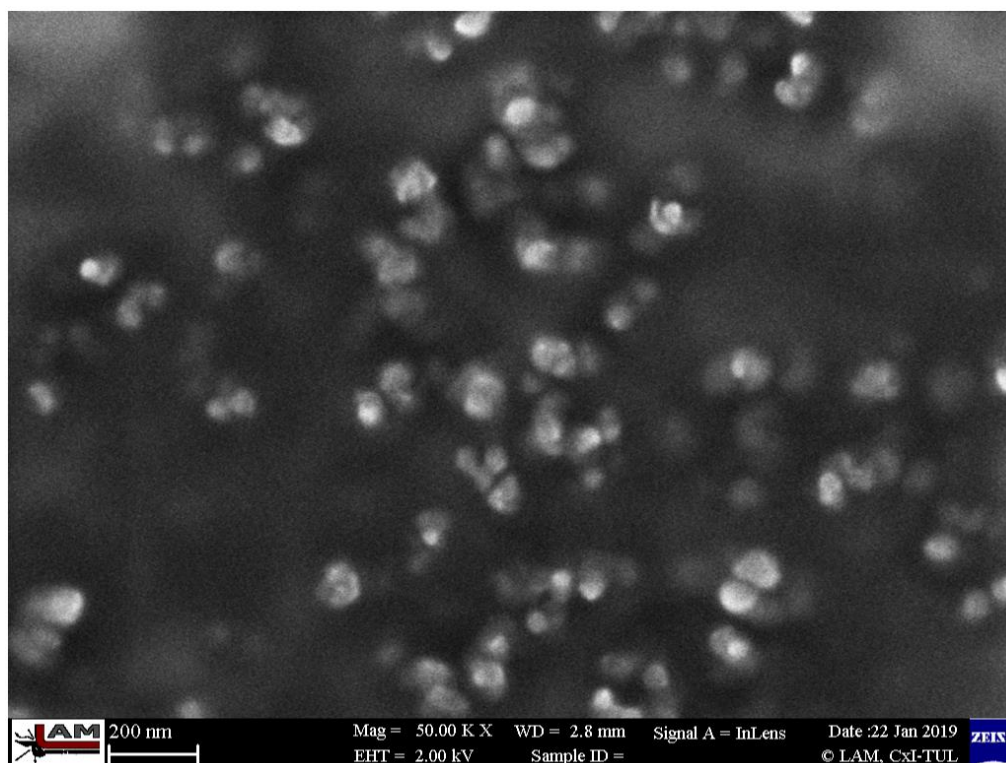


Obrázek 6. EDS spektrum ZnO.

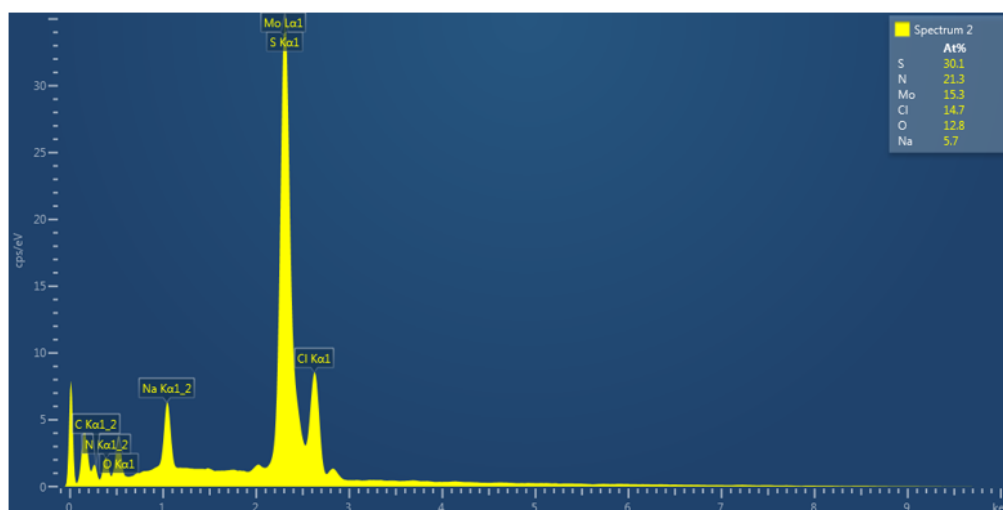
Hydrotermální syntéza v mikrovlnném reaktoru

Syntézami v mikrovlnném reaktoru vznikly nanočástice o velikosti 55 ± 13 nm pro 1. syntézu, o velikosti 49 ± 9 nm pro 2. syntézu. Výsledkem těchto syntéz byl koloidní roztok. Ze třetí syntézy nevznikly vhodné částice.

Při této syntéze nedochází k tepelnému zpracování sulfidů a proto se v EDS spektru (Obrázek 8) vyskytují rezidua.



Obrázek 7. Nanočástice MoS_2 , vytvořené v 2. experimentu.



Obrázek 8. EDS spektrum MoS_2 .

3.2. Adivitace nanočástic do motorového oleje

Na základě tribologických měření a opotřebení třecí dvojice byla vyhodnocena účinnost dispergačních metod. Ultrazvukový homogenizátor poškodil strukturu oleje a zhoršil mazné vlastnosti. Ultrazvuková leštička při krátkém účinku olej nepoškozuje a dispergace nanočástic je úspěšná. Při ultrazvukování po dobu 3 hodin již dochází k mírnému zhoršení vlastností. Nejlepšího účinku se dosáhlo při použití obyčejné excentrické míchačky. Z tohoto důvodu byla používána jen excentrická míchačka a ultrazvuková čistička pro syntetizované nanočástice.

3.3. Tribologické měření

Opotřebení korundové kuličky bylo zanedbatelné, proto bylo pracováno pouze s daty naměřenými na konfokálním mikroskopu pouze pro ocelový disk. Data byla vyhodnocena pomocí softwaru Gwyddion.

Výsledné vyhodnocení šířky a hloubky drážky je shrnuto v Tabulce 3. Zkratka UZ = ultrazvuková čistička, zkratka UZD = ultrazvukový homogenizátor, M = excentrická míchačka.

	Šířka drážky [μm]	Hloubka drážky [μm]	Změna šířky [%]	Změna hloubky [%]
1 olej	281	1,94	-	-
2 olej UZD	290	2,03	-3,1	-4,3
3 olej UZ	265	1,83	6,0	6,0
4 SiO ₂ UZ	264	1,72	6,4	12,7
5 SiO ₂ M	247	1,46	13,8	32,9
6 SiO ₂ UZ 3 hod	286	2,09	-1,7	-7,0
7 ZnO M	277	1,87	1,4	3,7
8 ZnO UZ	275	1,83	2,2	6,0
9 CuO M	281	1,90	0,0	2,1
10 CuO Uz	278	1,83	1,1	6,0

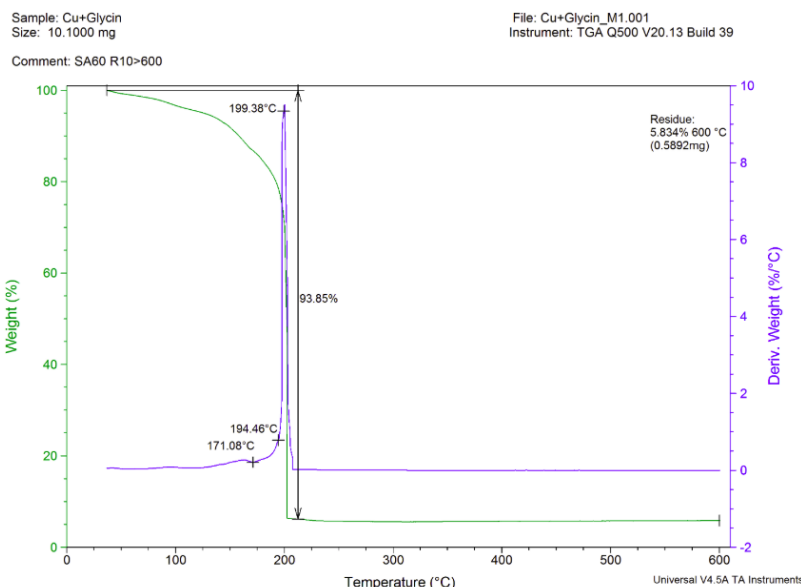
Tabulka 3. Výsledky tribologických měření.

4. Diskuze

Pro tvorbu nanočástic metodou self-combustion je kritická teplota 200 °C. Při této teplotě dochází k zásadnímu jevu, tzv. samovznícení reakce (viz Obrázek 9). Při tomto jevu se vznítí unikající plyny z dusičnanu a paliva. Při tomto bouřlivém ději vznikají krystalizační jádra pro růst nanočástic. Díky komplexaci kovového iontu molekulou paliva dochází k tepelné dekompozici komplexu až za vyšších teplot a díky tomu vzniká větší množství menších jadérek, která se narůstající teplotou formují do velikosti nanočástic.

Vyšší teplota termického zpracování po roztření v achátové misce slouží k zajištění čistoty vzorků, aby došlo k evaporaci organických reziduí. Při této teplotě také dochází ke krystalizaci částic [5].

Negativním důsledkem tepelného zpracování je shluknutí částic vysokou teplotu do velkých bloků, které je následně třeba dispergovat.

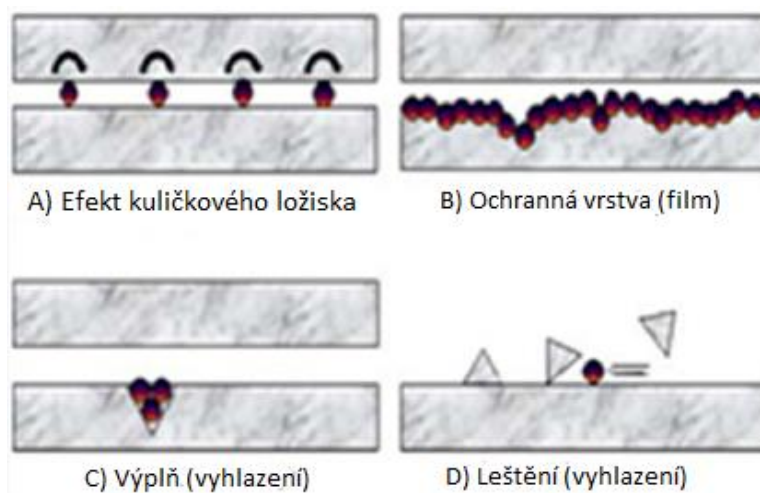


Obrázek 9. TGA křivka reakce dusičnanu měďnatého s glycinem. Zeleně je označena hmotnost vzorku, modře její změna (derivative).

Hydrotermální reakcí v mikrovlnném reaktoru byly vytvořeny dobře definované nanočástice MoS_2 . Pro správný průběh syntézy je nutné lehce snížit pH, udržovat teplotu na 220 °C a tlaku 50 barů.

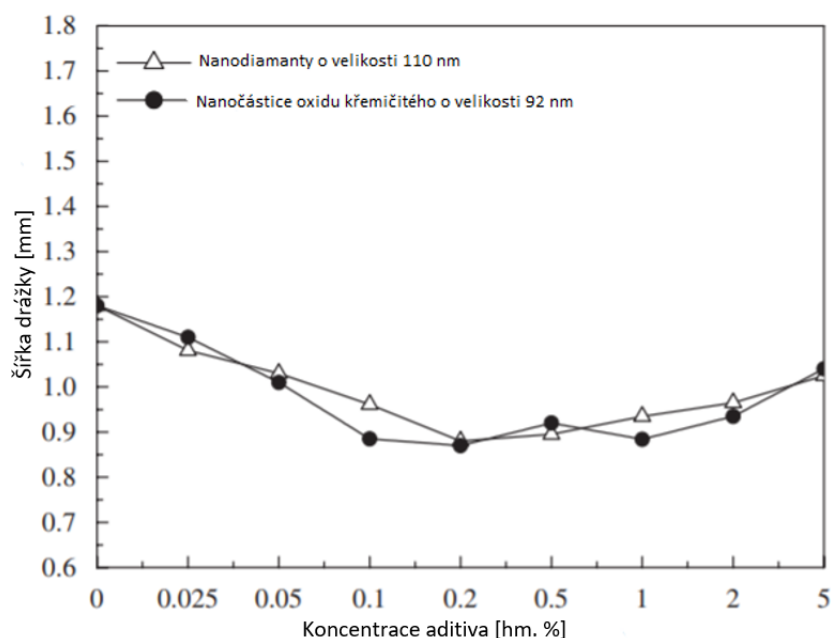
Pro účel aditivace je nevýhodou výsledný koloidní roztok. Z něj se musí nanočástice vyseparovat a následně vyčistit. Pro nalezení vhodného způsobu separace nanočástic sulfidu molybdeničitého je třeba dalšího bádání.

V dalším výzkumu aditivace olejů je vhodné se zaměřit na kombinace více tvarů a druhů nanočástic. Kulovité částice mohou sloužit jako nanoložiska (Obrázek 10 A), tvrdé, ostré nanočástice mohou sloužit jako leštidla pro vyhlazení povrchu (Obrázek 10 D). Je ovšem nutné nezavrhnout nanočástice, které samy o sobě mají dobré kluzné vlastnosti, jako je např. MoS_2 či grafen (Obrázek 10 B). Kombinace více možných účinků se jeví jako potenciálně nejefektivnějším řešením problematiky účinné aditivace lubrikantů.



Obrázek 10. Grafické znázornění principů účinku nanočástic, Maharaja [8]

Otázka vyvstává také nad množstvím přidaných aditiv. V této práci bylo na základě prostudované literatury aditivováno 0,2 hm. % nanočástic. Vyšší koncentrace nanočástic již nepřinášejí žádný další benefit [9]. V případě vyšších koncentrací se může projevit např. nežádoucí sedimentace nanočástic či zvýšení viskozity maziva.



Obrázek 11. Křivka závislosti šířky drážky na koncentraci aditiva. Peng [9]

5. Závěr

V této práci byly metodou self-combustion připraveny nanočástice oxidu měďnatého a oxidu zinečnatého. Tvar a velikost těchto částic byly vhodné pro aditivaci do oleje. Syntéza oxidu hlinitého nevedla k uspokojivým výsledkům. Experimentálně byla úspěšně ověřena možnost syntézy sulfidu molybdeničitého v mikrovlnném reaktoru. Všechny vytvořené částice byly charakterizovány elektronovou rastrovací mikroskopií.

Excentrická míchačka, ultrazvuková čistička a ultrazvukový homogenizátor byly použity pro dispergaci nanočástic v lubrikantu. Studium lubrikačních vlastností čistého a aditivovaného oleje bylo provedeno metodou Ball-on-disk; jakožto třecí dvojice byly zvoleny disk z oceli ČSN 14 220 a korundová kulička.

Jako nejvhodnější se ukázalo použití nanočástic oxidu křemičitého dispergovaného pomocí excentrické míchačky. Nanočástice SiO_2 byly schopny v oleji vytvořit nejstabilnější suspenzi a současně se snížila šířka drážky o 13,8 % a hloubka drážky o 32,9 %. Ze syntetizovaných nanočástic prokázaly nejlepší výsledek nanočástice ZnO UZ, které snížily šířku drážky o 2,2 % a hloubku drážky o 6 %. Z těchto měření je možné říci, že pro významné ovlivnění mazných vlastností oleje je třeba částice syntetizovat co nejjemnější a v případě spečení následkem tepelného zpracování řádně dispergovat.

Literatura

- [1] PARVEEN, Khadeeja, Viktoria BANSE a Lalita LEDWANI. *Green synthesis of nanoparticles: Their advantages and disadvantages*[online]. In: . 2016, s. 020048- [cit. 2019-04-24]. DOI: 10.1063/1.4945168. Dostupné z: <http://aip.scitation.org/doi/abs/10.1063/1.4945168>
- [2] ÇOLAK, Hakan a Ercan KARAKÖSE. Structural, electrical and optical properties of green synthesized ZnO nanoparticles using aqueous extract of thyme (*Thymus vulgaris*). *Journal of Materials Science: Materials in Electronics* [online]. 2017, **28**(16), 12184-12190 [cit. 2019-04-24]. DOI: 10.1007/s10854-017-7033-0. ISSN 0957-4522. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1007/s10854-017-7033-0>
- [3] MANIKANDAN, V., P. JAYANTHI, A. PRIYADHARSAN, E. VIJAYAPRATHAP, P.M. ANBARASAN a P. VELMURUGAN. Green synthesis of pH-responsive Al₂O₃ nanoparticles: Application to rapid removal of nitrate ions with enhanced antibacterial activity. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry* [online]. 2019, **371**, 205-215 [cit. 2019-04-24]. DOI: 10.1016/j.jphotochem.2018.11.009. ISSN 10106030. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1010603018312802>
- [4] DE FREITAS, Normanda Lino, Elias FAGURY-NETO, Hélio Lucena LIRA, Lucianna GAMA, Ruth Herta Goldsmith Aliaga KIMINAMI a Ana Cristina Figueiredo DE MELO COSTA. Combustion Synthesis of α -Al₂O₃ Powders. *Materials Science Forum* [online]. 2006, **530-531**, 631-636 [cit. 2019-04-24]. DOI: 10.4028/www.scientific.net/MSF.530-531.631. ISSN 1662-9752. Dostupné z: <https://www.scientific.net/MSF.530-531.631>
- [5] DHANANJAYA, N., H. NAGABHUSHANA, B.M. NAGABHUSHANA, B. RUDRASWAMY, S.C. SHARMA, D.V. SUNITHA, C. SHIVAKUMARA a R.P.S. CHAKRADHAR. Effect of different fuels on structural, thermo and photoluminescent properties of Gd₂O₃ nanoparticles. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy* [online]. 2012, **96**, 532-540 [cit. 2019-04-24]. DOI: 10.1016/j.saa.2012.04.067. ISSN 13861425. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1386142512004192>
- [6] MUZAKKIR, S. M. Enhancement of Wear Performance of Commercial Lubricant using Zinc (Zn) Nano-Particles as Anti-Wear Additive under Mixed Lubrication Conditions. *International Journal of Current Engineering and Technology* [online]. April 2015, **5**(2), 1109-1111 [cit. 2019-04-25]. ISSN 2277 – 4106. Dostupné z: <http://inpressco.com/wp-content/uploads/2015/04/Paper941109-1111.pdf>
- [7] PARK, Seung-Keun, Seung-Ho YU, Seunghee WOO, Jeonghyun HA, Junyoung SHIN, Yung-Eun SUNG a Yuanzhe PIAO. A facile and green strategy for the synthesis of MoS₂ nanospheres with excellent Li-ion storage properties. *CrystEngComm* [online]. 2012, **14**(24) [cit. 2019-04-24]. DOI: 10.1039/c2ce26447a. ISSN 1466-8033. Dostupné z: <http://xlink.rsc.org/?DOI=c2ce26447a>
- [8] [1] DENG, Mengyu, Yuan QIAO, Chang LIU, et al. Tricolor core/shell polymeric ratiometric nanosensors for intracellular glucose and oxygen dual sensing. *Sensors and Actuators B: Chemical* [online]. 2019, **286**, 437-444 [cit. 2019-04-24]. DOI: 10.1016/j.snb.2019.01.163. ISSN 09254005. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0925400519301169>
- [9] PENG, D.X., Y. KANG, R.M. HWANG, S.S. SHYR a Y.P. CHANG. Tribological properties of diamond and SiO₂ nanoparticles added in paraffin. *Tribology International* [online]. 2009, **42**(6), 911-917 [cit. 2019-04-26]. DOI: 10.1016/j.triboint.2008.12.015. ISSN 0301679X. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0301679X09000061>

Název	Studentská vědecká a odborná činnost 2019
Autor	Kolektiv autorů
Vydavatel	Technická univerzita v Liberci, Studentská 1402/2, Liberec
Určeno pro	studenty TUL
Schváleno	Rektorátem TUL dne 9. 5. 2019, čj. RE 18/19
Vyšlo	v květnu 2019
Vydání	1. vyd.
Č. publikace	55-018-19

Tato publikace neprošla redakční ani jazykovou úpravou

ISBN 978-80-7494-471-0

ISBN 978-80-7494-471-0