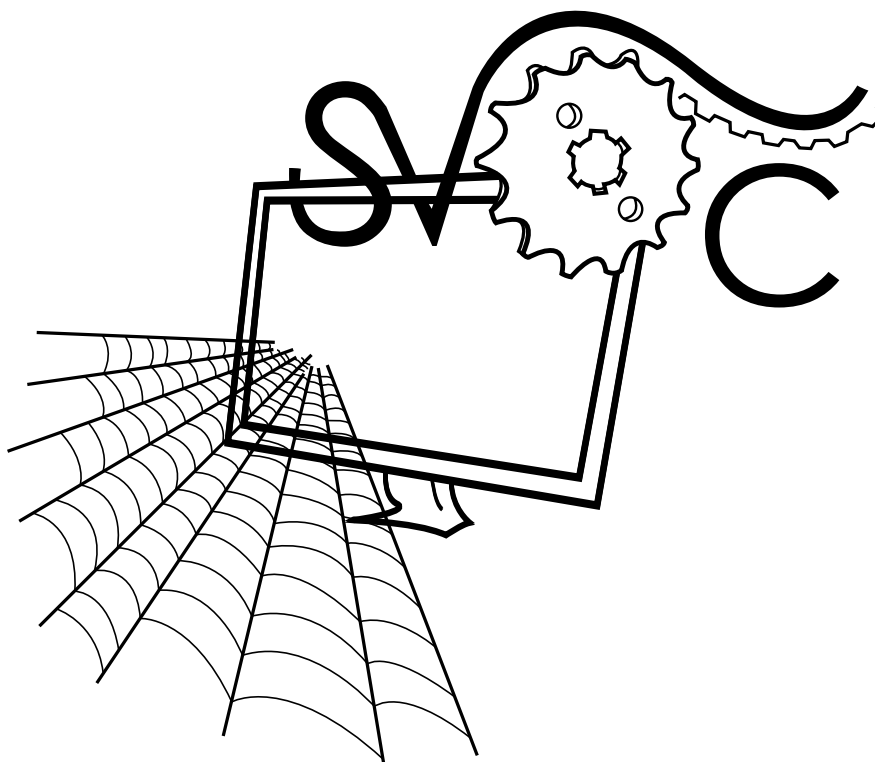


TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
www.tul.cz



Studentská vědecká a odborná činnost

28. květen 2013

**Institut průmyslového inženýrství, s.r.o.
Klášterní 131/14**

Recenzent: Maroš Tunák

Editor: Veronika Šafářová

© Technická univerzita v Liberci – 2013

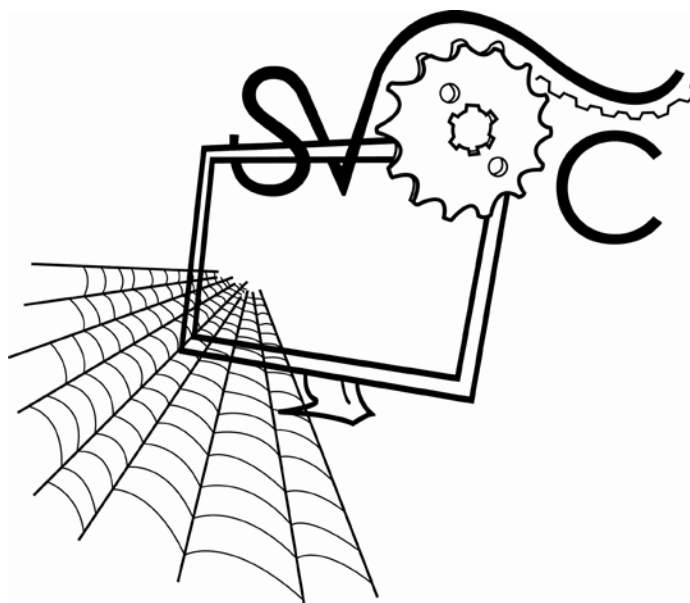
ISBN 978-80-7372-969-1

Obsah

Textil	5
Zuzana Bečicová	
VLIV POVRCHOVÉ ÚPRAVY ŠICÍ JEHLY NA JEJÍ ŽIVOSTNOST S OHLEDEM NA SPOJOVANÝ MATERIÁL	7
Marcela Cudlínová	
STUDIUM INKORPORACE FIBROBLASTŮ DO NANOVLÁKENNÝCH VRSTEV	19
Michal Kabátek	
HODNOCENÍ ŽMOLKOVISTOSTI NA ZÁKLADĚ 3D REKONSTRUKCE OBRAZU TEXTILÍ S VYUŽITÍM GRADIENTNÍCH POLÍ	27
Jana Kettnerová	
VÝVOJ FILTRAČNÍHO MATERIÁLU OBSAHUJÍCÍHO BIODEGRADABILNÍ NANOVLÁKENNOU MEMBRÁNU PRO VZDUCHOVOU FILTRACI	37
Jan Kopeček	
NÁVRH POSTUPU VÝROBY RECYKLOVATELNÝCH UMĚLÝCH TRÁVNÍKŮ	48
Marie Pešková	
ELEKTROSTATICKÉ ZVLÁKŇOVÁNÍ SMĚSI POLYKAPROLAKTONU A CHITOSANU A JEHO BIOLOGICKÉ TESTOVÁNÍ	58
Zdeňka Půlpánová	
NÁVRH ON-LINE DIAGNOSTIKY VŘETEN STROJŮ GROB PRO OBRÁBĚNÍ BLOKU MOTORU VE FIRMĚ ŠKODA AUTO, A.S.	67
Michal Rezek	
ANALÝZA KVALITY DODAVATELŮ TLAKOVÝCH ZAŘÍZENÍ	79
Michaela Řičicová	
MONITOROVÁNÍ VNITŘNÍ STRUKTURY NANOVLÁKENNÝCH VRSTEV POUŽITÍM OBRAZOVÉ ANALÝZY	89
Pavla Sykáčková	
VLIV HYDROFILNÍCH/HYDROFOBNÍCH VLASTNOSTÍ NANOVLÁKENNÝCH TKÁŇOVÝCH NOSIČŮ NA BUNĚČNOU ADHEZI	99
Petra Sýkorová	
VLIV TECHNOLOGIE SUBLIMAČNÍHO TISKU NA VYBRANÉ VLASTNOSTI PLETENIN PRO VOLNOČASOVÉ ODĚVY	109
Aleš Šaman	
STUDIUM POUŽITÍ POLYVINYLPIRROLIDONU PRO TKÁŇOVÉ INŽENÝRSTVÍ	120

Strojírenství	129
Jozef Čičo	
INOVACE UPÍNACÍHO MECHANISMU A ZÁKLADNÍHO LOŽE ULTRAZVUKOVÉHO SVAŘOVACÍHO STROJE	131
Aleš Dittrich	
TEPLOTY NA VENTILOVÝCH SEDLECH PŘI PROVOZU MOTORU NA RŮZNÁ PALIVA	140
Ondřej Dráb	
MĚŘENÍ TERMODYNAMICKÝCH DĚJŮ A ZTRÁTOVÉHO MOMENTU SPALOVACÍCH MOTORŮ	148
Martin Franc	
INOVACE VÝROBNÍHO ZAŘÍZENÍ NA VÝROBU LOKETNÍ OPĚRKY OSOBNÍHO AUTOMOBILU	154
Aleš Géczi	
INOVACE LEPENÍ TĚSNĚNÍ ZAVEDENÍM JEDNOÚČELOVÉHO STROJE	164
Kateřina Horáková	
NUMERICKÁ SIMULACE MAGNETOHYDRODYNAMICKÝCH TOKŮ	172
Radovan Kovář	
ZVÝŠENÍ PRODUKTIVITY TVORBY ANORGANICKÝCH NANOVLÁKEN	182
Milan Kubík	
ZKOUMÁNÍ TRVANLIVOSTI NÁSTROJE PRO FRÉZOVÁNÍ GEOPOLYMERNÍCH KOMPOZITNÍCH SYSTÉMŮ	188
Petr Kulhavý	
INOVACE ZÁVĚSU ZDANÍCH DVEŘÍ AUTOMOBILU	199
Bakaláři - Strojírenství	209
Jaroslav Kodeš	
REGENERACE VODY KONTAMINOVANÉ HLINÍKOVÝM PRACHEM – NÁVRH PŘÍSLUŠENSTVÍ K HYDRODYNAMICKÉ VANĚ	211
Michal Strnad	
KOTOUČOVÉ NŮŽKY S MECHANISMEM OTÁČENÍ NOŽE POMOCÍ OZUBENÉHO PŘEVODU	220
Tomáš Tisovský	
MĚŘENÍ VÝKONOVÝCH CHARAKTERISTIK TERMOAKUSTICKÉHO MOTORU	230
Josef Vašata	
ZAŘÍZENÍ PRO VÝROBU KRUHOVÉHO FILTRU	240

Studentská vědecká odborná činnost



Textil

VLIV POVRCHOVÉ ÚPRAVY ŠICÍ JEHLY NA JEJÍ ŽIVOTNOST S OHLEDEM NA SPOJOVANÝ MATERIÁL

Bečicová Zuzana

Sekce - TEXTIL,
Fakulta textilní, 2. ročník
Magisterský studijní program – PRŮMYSLOVÝ MANAGEMENT

Abstrakt: Projekt se zabývá testováním průmyslových strojních šicích jehel ve výrobním prostředí automobilového průmyslu. Testy jsou zaměřeny na zjištění životnosti strojních šicích jehel a příčiny a četnosti mechanického opotřebení jejich povrchu. Za účelem eliminace mechanického opotřebení šicích jehel je testována alternativa stávající chromované jehly prostřednictvím jehly s povrchovou vrstvou nitridu titanu v závislosti na vlivu chlazení ouška šicí jehly.

Klíčová slova: Šicí jehla, kůže, titan-nitrid, dekorativní šev, automobilový průmysl

Úvod

Projekt se zabývá řešením problému, který se vyskytl v závodě firmy Johnson Controls, který šije potahy na sedačky pro automobilový průmysl. Vlivem opotřebení šicí jehly dochází na dekorativním prošívacím stehu u kožených potahů k třepení nitě. Cílem je stanovit životnost používaných jehel a otestovat alternativu v podobě jehel s povrchovou úpravou.

V rámci projektu proběhnou dva hlavní testy, prostřednictvím kterých budou jehly testovány v reálných podmínkách výrobního procesu. Prvním z testů je tzv. plošný sběr, který spočívá v zavedení evidence spotřeby jehel z výroby, prostřednictvím kterého budou analyzovány hlavní vady jehel, jejich příčiny a bude stanovena životnost šicí jehly. Druhým testem bude stanovena vhodná povrchová úprava a vliv chlazení ouška šicí jehly. Doporučení vhodného typu jehly a podmínek šicího procesu bude stanoveno na základě finanční analýzy.

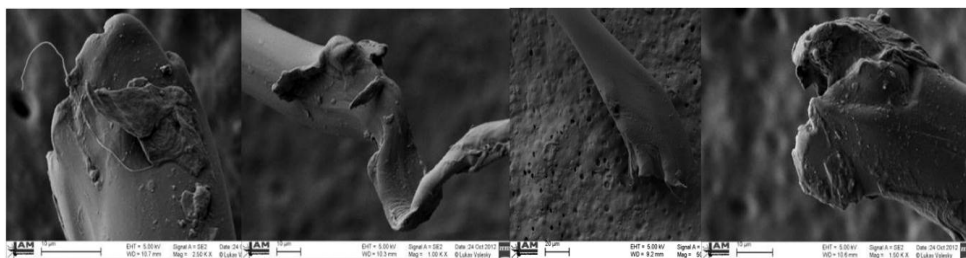
1 Výskyt a popis problému

Problém roztřepených nití na dekorativním stehu (štepování) se ve výrobním závodě vyskytl během května 2012, kdy bylo zapotřebí měnit šicí jehly na štepovacích strojích cca po jedné až dvou směnách. Hlavním důvodem by kožený materiál, který byl příliš tvrdý a tudíž obtížně zpracovatelný, přičemž byl záhy nahrazen lépe zpracovatelnou kůží, která problém třepení částečně eliminovala, ale neodstranila. Třepení nití se projevuje vyčnívajícími vlákny na stezích a výsledný šev se jeví chlupatý. Na obrázku 1 je vidět rozdíl mezi dobrým a poškozeným stehem.



Obr. 1: Vzhled dobrého a poškozeného stehu.

Mikroskopii poškozených nití bylo zjištěno, že konce vláken jsou natavené jak je vidět z obr. 2, přičemž bod měknutí PE se pohybuje v rozmezí od 235°C do 245°C.



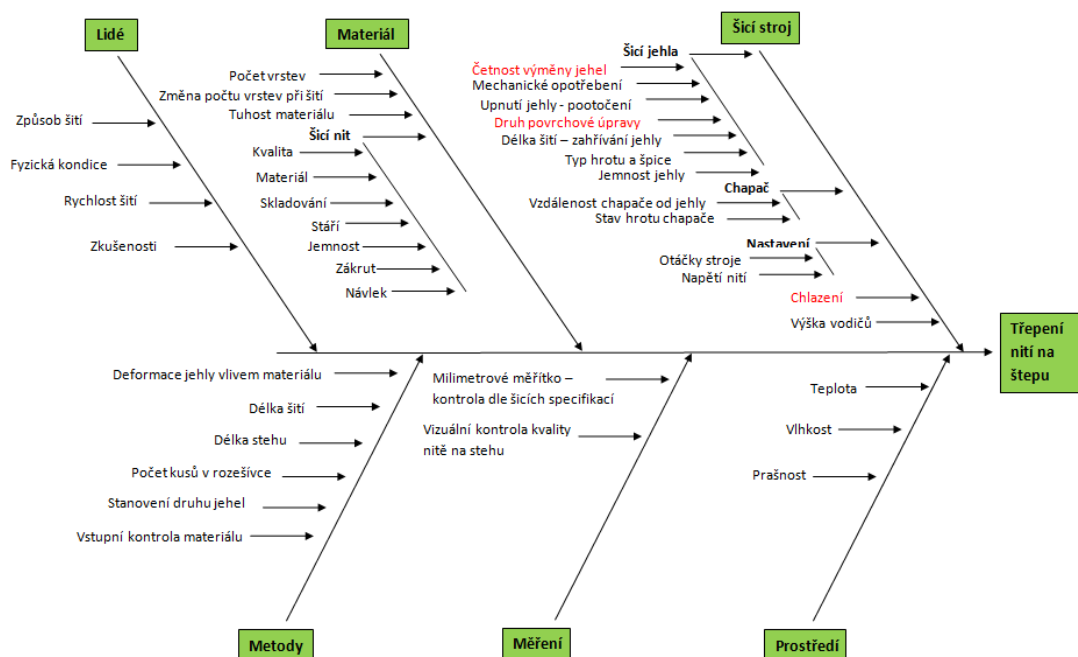
Obr. 2: Natavené konce vláken PE nití.

Prostřednictvím snímků z mikroskopu, které byly pořízeny v rámci předběžného testování, bylo zjištěno mechanické opotřebení šicích jehel. Tímto opotřebením vznikaly na šicí jehle ostré hrany a zdrsňený povrch, jak je vidět z přehledu fotografií obrázku 3.



Obr. 3: Mechanické poškození jehel z výroby.

Možné příčiny vzniku třepení vláken PE nitě na dekorativním prošívacím švu jsou znázorněny prostřednictvím Ishikawova diagramu příčin a následků na obr. 4. Projekt a následné testování bude zaměřeno na červeně znázorněné faktory.



Obr. 4: Ishikawův diagram příčin a následků.

2 Plošný sběr

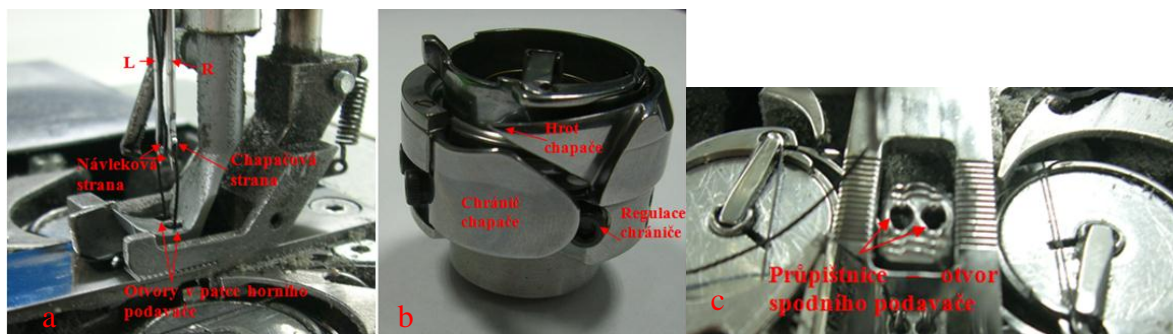
Pro stanovení životnosti šicí jehly na kožených potazích ve stávající výrobě je nutno zjistit četnost výměny jehel. Jelikož neexistují v současné době záznamy o spotřebách jehel, byl zorganizován tzv. plošný sběr, který spočíval ve sběru jehel z vytypovaných šicích strojů. Byly sbírány jehly použité na šití kožených potahů a to konkrétně u modelů LEATHER a R-DESIGN LEATHER.

Sběr probíhal na dvou dílnách a to na dílně Y283 a Y413. V každé z dílen probíhal sběr dat ve dvou buňkách, šijících levý a pravý Front Back (přední opěrák). Tyto buňky byly vybrány z důvodu dlouhého šití na šteповacích strojích a z hlediska významnosti tohoto potahu v rámci automobilu. V každé z buněk byly vybrány 3 stroje, vždy dvě dvojehly a jedna dvojehla odskočená. Na stroj byl umístěn formulář, do něhož měli zaměstnanci umisťovat opotřebené jehly, přičemž desky formuláře byly opatřeny pokyny pro sběr jehel. Dílny se liší produktivitou, přičemž dílna Y413 užije za hodinu v průměru 19 ks potahů a dílna Y283 užije 12 ks/hod.

2.1 Druhy opotřebení jehel z výroby a jejich příčiny

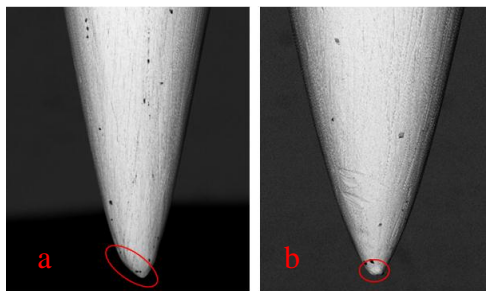
V průběhu sběru dat prostřednictvím Plošného sběru byly analyzovány nečastější druhy mechanického opotřebení šicích jehel a jejich příčiny. Šicí jehla byla rozčleněna na 5 základních částí, které se liší příčinou vzniku mechanického opotřebení.

Dříve než budou popsány jednotlivá opotřebení částí šicí jehly, je nutné seznámení s uložením jehel v jehelní tyči a stehotvornými částmi šicího stroje, které na míru mechanického opotřebení během šicího procesu působí. Na obr. 5a je znázorněno uložení jehel, které směřují nit'ovými drážkami k sobě a procházejí otvory v pomocné patce horního podavače. Na obr. 5b je znázorněno těleso chapače s vyznačeným hrotem pro zachycení smyčky, chráničem pro oddálení šicí jehly a regulátorem vzdálenosti chrániče. Na obr. 5c jsou vidět průpištnice, což jsou otvory dolního podavače materiálu, které slouží pro průchod jehel pod stehovou deskou.



Obr. 5: a) Uložení jehel b) těleso chapače c) průpištnice.

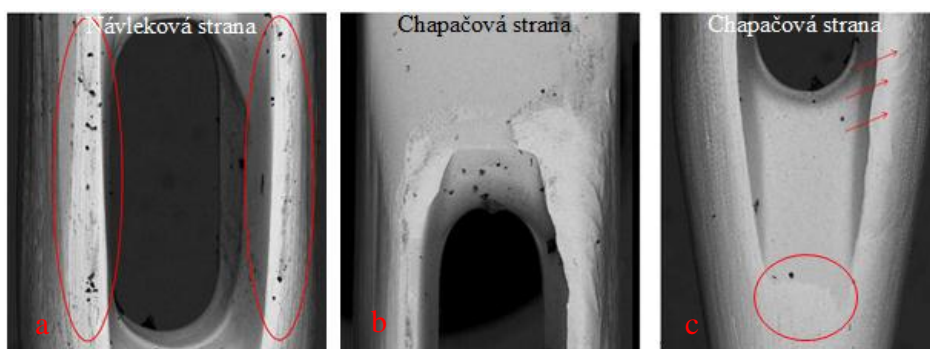
Hrot špice jehly je nejvíce namáhaná část jehly, neboť při každém vpichu překonává odpor materiálu. Špice je deformována (viz obr. 6a) průnikem několika vrstev koženého materiálu a změnami počtu vrstev materiálu v případě prošívání křížových švů, čímž je také jehla vychylována ze své osy šití směrem od chapače a může dojít k nárazům na stehovou desku nebo k tření o okraje průpištnice. Ke tření dochází zejména u silných jehel 160 Nm, na obrázku 6b, které mají vlivem své tloušťky oproti slabším jehlám menší prostor v otvoru průpištnice. Opatřením mechaniků je zvětšení otvoru průpištnice, čímž dojde i u vyosené jehly k menší pravděpodobnosti nárazu. Tvar poškozené špice se liší dle intenzity a místa dopadu hrotu.



Obr. 6: Poškozená špice a sražený hrot šicí jehly.

Návleková strana ouška jehly je typická naraženými a vybroušenými plochami na bočních stranách ouška, jak je patrné z obrázku 7a, která jsou důsledkem vychýlení jehly směrem od chapače, které je způsobeno při prostupu jehly vrstvami materiálu. Ouško jehly tak přichází do styku s okrajem průpištnice a dále se spodní hranou podavače pod stehovou deskou. Opatřením mechaniků je v tomto případě zvětšení otvorů průpištnice, které slouží k prevenci tření s jehlou.

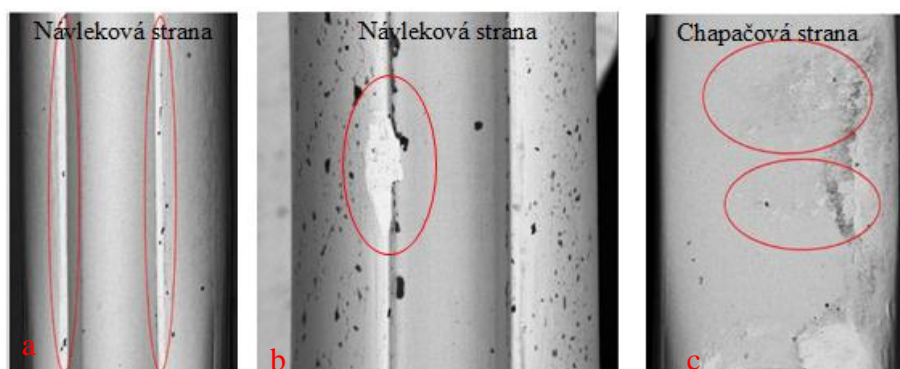
Na chapačové straně ouška se opotřebení vyskytuje nejčastěji v horní části, viz obrázek 7b, kde je vyvýšený zakulacený přechod do vybrání opotřebováván spodní hranou hrotu chapače a při zpětném chodu stroje chráničem chapače. Tato opotřebení vznikají při těsném seřízení pozice chapače a jehly z důvodu prevence vynechání stehu. Úkolem chrániče chapače je mírné posunutí jehly, která se pohybuje z dolní úvrati do zacházky, dále od chapače, přičemž se dotýká špice jehly v místě ukončení niťové drážky, kde následkem tohoto působení vzniká zbroušená plocha, viz obrázek 7c. Vychýlením jehly od chapače vzniká větší prostor pro zachycení smyčky chapačem. Při zpětném chodu stroje může chránič chapače mechanicky poškozovat jehlu v horní části ouška.



Obr. 7: Druh opotřebení ouška jehly.

Niťová drážka je charakteristická mírně odřenými delšími úseky hran, jak je vidět na obrázku 8a, které jsou způsobeny vychýlením jehel z osy šití a dochází ke kontaktu s hranami otvorů v pomocné patce pro horní posun materiálu nebo s hranami průpištnice. Větším rizikem poškození šicí nitě je výskyt špony na okraji niťové drážky na obrázku 8b, která je způsobena nárazem chapače v případě uvolnění jehly z jehelní tyče.

Vybrání jehly, které je znázorněno na obrázku 8c, je mechanicky poškozeno z důvodu střetu jehly s hrotem chapače vlivem těsného seřízení jejich vzdáleností z důvodu prevence vynechání stehu. Strana opotřebení ve vybrání se může lišit dle pootočení jehly v upnutí jehelní tyče.



Obr. 8: Opotřebení nit'ové drážky a vybrání jehly.

Prevenčí, nebo částečnou eliminací vzniku výše uvedených opotřebení jehel, je možnost změny povrchové úpravy šicí jehly, která bude vykazovat větší odolnost mechanickému opotřebení nebo výběr vhodněji konstrukčně řešené šicí jehly. Dále by mělo být provedeno seřízení vzdálenosti tělesa chapače a chrániče chapače tak, aby se tyto strojní součásti těsně míjely ve vzdálenosti 0,1mm. V tomto případě je však stávající těsné seřízení vzdáleností prevencí vynechání stehu, který by na dekorativním švu způsobil těžko opravitelnou chybu. Z ekonomických důvodů je vhodnější častější výměna jehly, která stojí v rozmezí 3 – 4 Kč, než riskovat ztrátu potahu za několik desítek euro.

Pro zabránění pootočení jehly v jehelní tyči při upínání, by bylo vhodné použití šicích jehel opatřených plochou stranou díku, na kterou dosedne upínací šroub a zabrání tak upnutí jehly v nesprávné poloze.

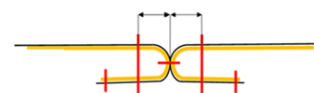
Na základě plošného sběru jehel z vytypovaných strojů lze říci, že životnost jehly a způsob jejího opotřebení závisí ve velké míře na seřízení šicího stroje, tloušťce jehly, tempu výroby a druhu šitých materiálů.

2.2 Četnosti opotřebení šicích nití plošného sběru

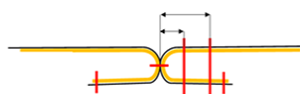
Z jehel shromážděných prostřednictvím plošného sběru byly získány údaje četností jednotlivých opotřebení. Z výsledků vyplývá, že nejčastěji se vyskytujícím mechanickým opotřebením šicích jehel je opotřebení v oblasti ouška na chapačové straně a ve vybrání a to jak u klasických dvojehel na obr. 9a tak i u dvojehel odskočených na obr. 9b. Důvodem vzniku těchto opotřebení je těsné seřízení vzdálenosti chapače a jehly za účelem prevence vynechání stehu.

Tabulka 1: Procentuální zastoupení vad jednotlivých kategorií.

Část jehly		Dvojehla	Odskočka
1. Špice	L	29,63%	40%
	R	41,67%	60%
2. Ouško chapačová str.	L	92,59%	80%
	R	83,33%	100%
3. Ouško návleková str.	L	70,37%	75%
	R	33,33%	40%
4. Vybrání	L	96,30%	80%
	R	91,67%	80%
5. Drážka	L	55,56%	60%
	R	16,67%	50%



Obr. 9: a) Řez švu na dvojehle.



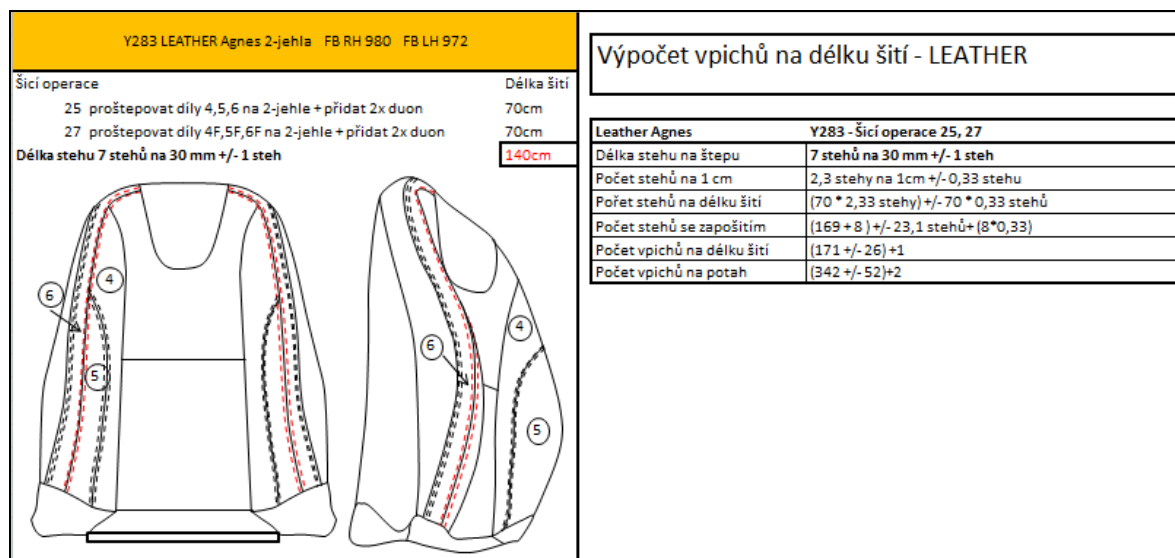
Obr 9: b) Řez švu na odscočené dvojehle.

Doporučením pro eliminaci mechanického poškození šicích jehel na chapačové straně je volba vhodné alternativy povrchu šicí jehly, která bude vykazovat menší známky opotřebení při stejných podmínkách zátěže šicí jehly.

2.3 Stanovení základní jednotky životnosti šicí jehly

Životnost šicí jehly musí být vždy určena pro stejný typ materiálu a počet prošívání vrstev. V případě dvou dílen s rozdílnou produktivitou nelze stanovit životnost jehly na počet hodin, neboť jehly na obou dílnách nejsou po stejnou dobu stejně zatíženy a v tomto případě je stěžejním údajem počet kusů potahů, který byl jehlami za dobu provozu vyroben.

Životnost jehel dle počtu ušitých kusů lze však porovnat pouze u strojů šijících stejně dlouhou operaci. V momentě, kdy se operace na různých strojích mezi sebou liší délkou šití, je nutno stanovit životnost jehly na počet stehů, či vpichů. Výsledný počet vpichů, kterým bude stanovena životnost jehly, poslouží jako základ pro určení počtu kusů, které je v rámci životnosti jehly možno odšít na konkrétním stroji. Vzorový příklad výpočtu vpichů je uveden na obr. 10 a stejným způsobem je dopočítán počet vpichů na potah pro všechny testované šicí stroje.



Obr. 10: Výpočet počtu vpichů na potah na konkrétním stroji.

2.4 Vyhodnocení plošného sběru

Data získaná prostřednictvím plošného sběru byla přepočtena na množství vpichů a prostřednictvím 99% intervalu spolehlivosti střední hodnoty byla stanovena životnost šicí jehly na (72 111,15 ~ 153 451,55) vpichů dle (1).

$$\bar{X} - t_{\frac{\alpha}{2}(n-1)} \frac{s}{\sqrt{n}}, \bar{X} + t_{\frac{\alpha}{2}(n-1)} \frac{s}{\sqrt{n}} \quad (1)$$

Data jsou charakteristická vysokou variabilitou, která je dána vlivy popsánymi prostřednictvím Ishikawova diagramu příčin a následků. Interval životnosti dle vpichů byl následně přepočítán zpět na počet kusů a hodiny (z důvodu aplikovatelnosti výsledků do výroby) pro každý stroj s ohledem na jeho konkrétní zátěž a produktivitu dílny, jak je vidět z ukázky pro stroje 980 a 972 v tabulce 2.

Tabulka 2: Interval životnosti šicích jehel v kusech a hodinách pro stroje 980 a 972.

Y 283 produktivita 12 ks/hod			
Stroj	Model	Počet vpichů na potah	Interval počtu vpichů
DJ 980, 972	Leather	(342 +/- 52) + 2	(292 ~ 396)
99% Interval Ks potahů (182 ~ 388)		99% Interval hodin (15,17 ~ 32,29)	

Testované šicí stroje z dílny Y413 jsou charakteristické podobným zatížením, u kterých se životnost jehel v průměru pohybuje v intervalu (209 ~ 445) ks potahů a (10,99 ~ 23,39) hodin. U dílny Y283 je zatížení šicích strojů různorodější přičemž nelze shrnout výsledky životnosti průměrem z výsledných hodnot a je tedy vhodné zohlednit životnost šicí jehly pro každý stroj zvlášť.

Doporučením na základě výsledků životnosti jehly je zvýšená kontrola stavu šicí nitě na štetu po překročení spodní hranice intervalu životnosti šicí jehly a preventivní výměna jehly při překročení horní hranice intervalu životnosti šicí jehly.

3 Organizace testování povrchových úprav šicích jehel

Druhým testem je test povrchových úprav šicích jehel, jehož podstatou bylo v reálných podmínkách otestovat a na základě výsledků zvolit vhodný typ povrchové úpravy šicí jehly v závislosti na chlazení ouška jehly. Test probíhal na dvoujehlovém štepovacím stroji šijícím odskočené štepování, u kterého je levá jehla více namáhána vlivem kratší vzdálenosti k rozloženému původnímu švu viz obr. 9b. Alternativou chromované šicí jehly 140 Nm s hrotem typu R, která se používá ve stávající výrobě, byla stanovena šicí jehla o stejných parametrech se speciálním povrchem nitridu titanu, dále uváděna jako titanová. Titanová šicí jehla byla zvolena z důvodu deklarované vyšší pevnosti a odolnosti proti ohybu a mechanickému a tepelnému namáhání. V mnoha zdrojích je také navrhována jako inovace, vhodná pro šití automobilových potahů. Podstatou testu bylo zjistit, zda jsou rozdíly mezi oběma typy jehel v závislosti na chlazení ouška jehly natolik zásadní, aby se investice do speciálních jehel vyplatila.

Test byl sestaven na základě ověření vhodných kombinací dvou faktorů, kterými je povrchová úprava šicí jehly a vliv chlazení ouška jehly. Kombinací těchto dvou faktorů byly navrženy čtyři testy, které byly provedeny po 3 opakováních, z čehož se vždy jedna ze tří replikací z každého testu dokumentovala prostřednictvím fotografií z rastrovacího elektronového mikroskopu. Úkolem pracovníků bylo kontrolovat stav ušitých výrobků v průběhu pracovní směny a zaznamenávat je do předpřipravených formulářů spolu s počtem odšitých kusů za každou pracovní směnu, kdy byla jehla v provozu. Test může být prohlášen za ukončený v případě výskytu třepení nitě alespoň na jedné jehle, čímž dostaneme údaj o životnosti šicí jehly v podobě počtu hodin a odšitých kusů.

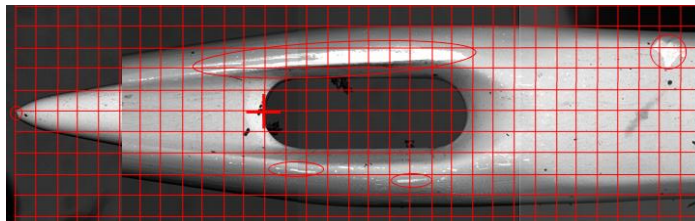
Fotografie, které byly pořizovány vždy u jedné replikace z každého testu a to po 8, 16 a 24 hod., budou sloužit pro vyhodnocení plochy mechanického opotřebení v závislosti na povrchové úpravě šicí jehly a na stavu chlazení ouška jehly. Aby nedošlo k záměně fotografií, byly jednotlivé snímky zakódovány.

3.1 Analýza systému měření

Pro měření plochy mechanického opotřebení šicích jehel byl navržen systém měření pomocí sítě, která bude na každou fotografii umístěna dle centrálního bodu. Centrálním bodem je v tomto případě červený kříž, umístěný dle typu fotografie na středouška jehly, viz obr. 11, nebo na jedné hraně dlouhé drážky. Umístění sítě pomocí centrálního bodu předchází jejímu

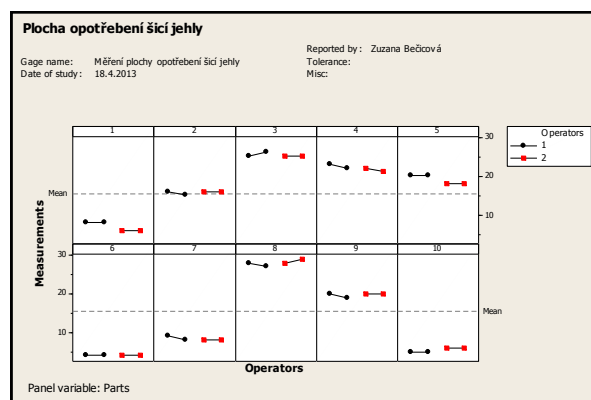
náhodnému umístění a zabezpečuje stejnou polohu sítě na stejné jehle po jednotlivých směnách, která je nutná pro pozorování zvětšujícího se opotřebení.

Plochu opotřebení jehly získáme součtem všech čtverců, do kterých opotřebení zasahuje, přičemž plocha jednoho čtverce sítě je $25281 \mu\text{m}^2$. Jednotkou pro výpočet a vyhodnocení, bude počet čtverců sítě.



Obr. 11: Vzorek pro hodnocení plochy mechanického opotřebení.

Pro zjištění opakovatelnosti a reprodukovatelnosti bylo připraveno 10 vzorků jehel, které byly hodnoceny dvěma operátory po dvou replikacích. Vyhodnocení bylo uskutečněno prostřednictvím softwaru Minitab 16 [1], ve kterém byl vytvořen seznam náhodně uspořádaných vzorků pro oba hodnotitele, do kterého se následně ukládaly naměřené hodnoty. V grafu na obr. 5-6 jsou znázorněny jednotlivé hodnoty měření operátorů, které představují počty čtverců mřížky, do kterých zasahovalo opotřebení šicí jehly. Pod čísly 1 – 10 jsou označeny jednotlivé vzorky jehel a přímka Mean označuje průměr celkového počtu čtverců ploch mechanického opotřebení všech vzorků. Z grafu je vidět nízkou variabilitu měření vzorku jedním operátorem, tedy opakovatelnost a nízkou variabilitu měření mezi operátory navzájem, tedy reprodukovatelnost. Největší variabilitu představují hodnoty měřených vzorků navzájem.



Obr. 12: Graf naměřených hodnot jednotlivých vzorků.

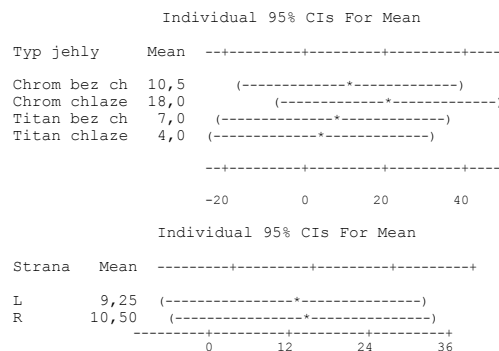
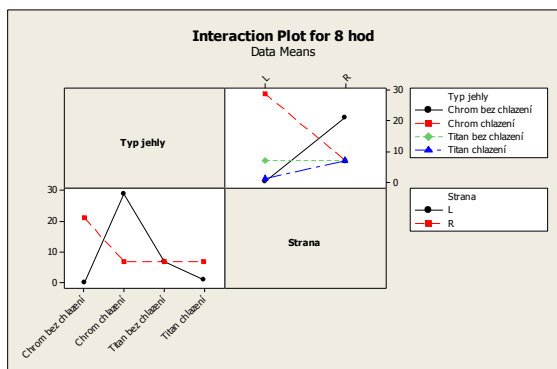
3.2 Vyhodnocení ploch opotřebení šicích jehel

Na základě přijatelného systému měření, bylo pomocí mřížky připraveno a naměřeno celkem 24 vzorků jehel, jejichž plochy opotřebení jsou vyjádřeny počtem čtverců. Vyhodnocení ploch mechanického opotřebení šicích jehel bude provedeno prostřednictvím dvoufaktorové metody ANOVA, přičemž jedním faktorem bude povrch šicí jehly s chlazením a bez chlazení, dále zvaný jako Typ jehly a druhým faktorem bude Strana jehly, která představuje pozici umístění jehly v jehelní tyči dvoujehlového šicího stroje s vázaným stehem. Hodnocení zmíněných dvou faktorů bude provedeno celkem třikrát a to po 8 hod., 16 hod. a 24 hod.

3.2.1 Vyhodnocení mechanického opotřebení jehel po 8 hodinách

Následující report sledává rozdíly mezi faktory Typ jehly ($P = 0,731$) a Strana ($P = 0,897$), dle P-hodnoty, jako nevýznamné. Po 8 hodinách provozu nemá na šicí jehlu z hlediska mechanického opotřebení vliv typ jehly, ani strana uložení šicích jehel v jehelní tyči.

Z grafu na obr. 13 a z průměru středních hodnot jednotlivých úrovní faktoru Typ jehly lze pozorovat nižší stav mechanického opotřebení povrchu u titanových jehel a sjednocené opotřebení levých a pravých jehel.

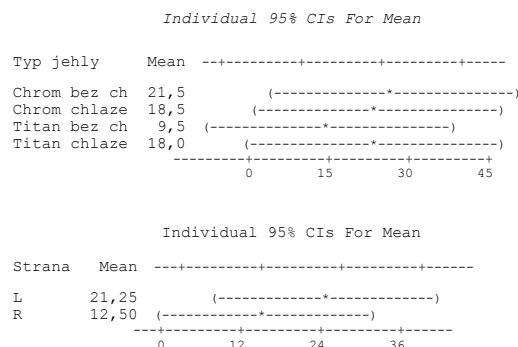
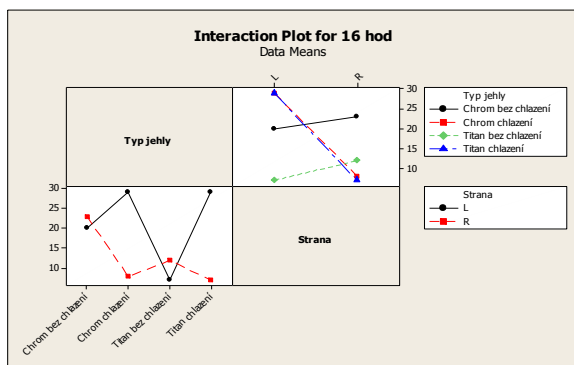


Obr. 13: Stav opotřebení šicích po 8 hod.

3.2.2 Vyhodnocení mechanického opotřebení jehel po 16 hodinách

Z reportu jsou dle P-hodnoty (Typ jehly $P = 0,714$, Strana $P = 0,321$) shledány oba faktory jako nevýznamné, avšak porovnáním s P-hodnotou testu po 8 hod je vidět, že faktor Strana začíná nabývat na významnosti.

Z hlediska Typu jehly projevuje titanová jehla nepatrně větší odolnosti mechanickému opotřebení, zatímco u faktoru Strana začíná výrazně stoupat opotřebení levých jehel. Aktivní chlazení ouška jehly neprokázalo kladné působení na plochu opotřebení šicí jehly, viz obr. 14.

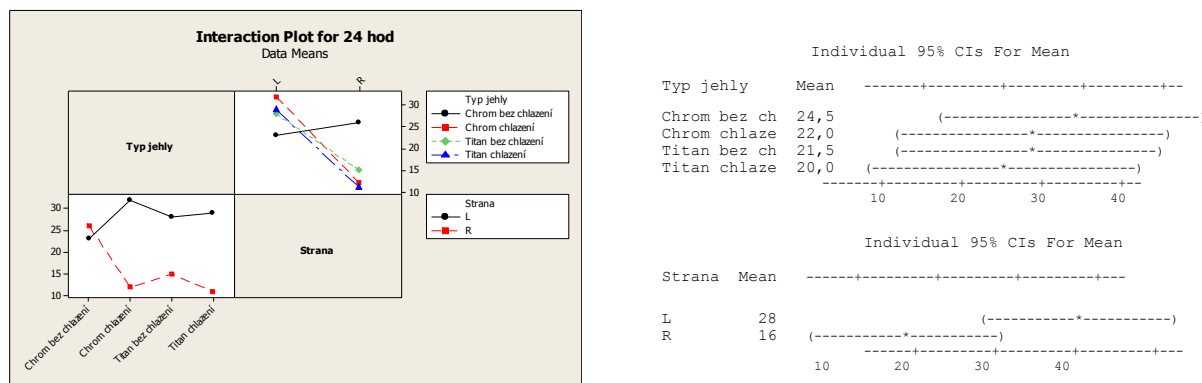


Obr. 14: Stav opotřebení jehel po 16 hod.

3.2.3 Vyhodnocení mechanického opotřebení jehel po 24 hodinách

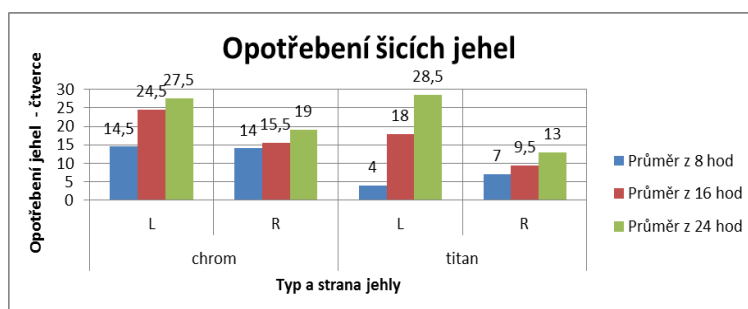
P-hodnota faktoru Strana ($P = 0,105$) nabývá po 24 hod. provozu na významnosti a lze předpokládat, že by v případě pokračování testu po dalších 8 hod. klesla pod hodnotu hladiny významnosti 0,05. P-hodnota faktoru Typ jehly je 0,937.

Trend opotřebení jehel se (dle obr. 15) po 24 hod. provozu sjednotil, přičemž nepatrně lepších výsledků v průměru dosahuje titanová šicí jehla. Faktor Strana jednoznačně poukazuje na větší plochu opotřebení levých šicích jehel.



Obr. 15: Stav opotřebení jehel po 24 hod.

Vynesením průměrných hodnot ploch opotřebení na L a R jehlách s chromovaným i titanovým povrchem (na obr. 16) je vidět, že hodnoty titanové L jehly a chromové R jehly spolu korespondují a je tedy možná jejich kombinace. I když je opotřebení L chromových i titanových jehel po 24 hodinách srovnatelné, jejich plochy opotřebení se po 8 a 16 hod. liší ve prospěch titanové jehly. Použitím titanové jehly na L stranu bude docíleno pomalejšího nárůstu opotřebení L jehly a zvýšení pravděpodobnosti prodloužení její životnosti a sjednocení s životností R chromované jehly. Výsledkem bude úspora mezioperačního času šičky, spotřebovávaného chůzí z důvodu výměny jehel.



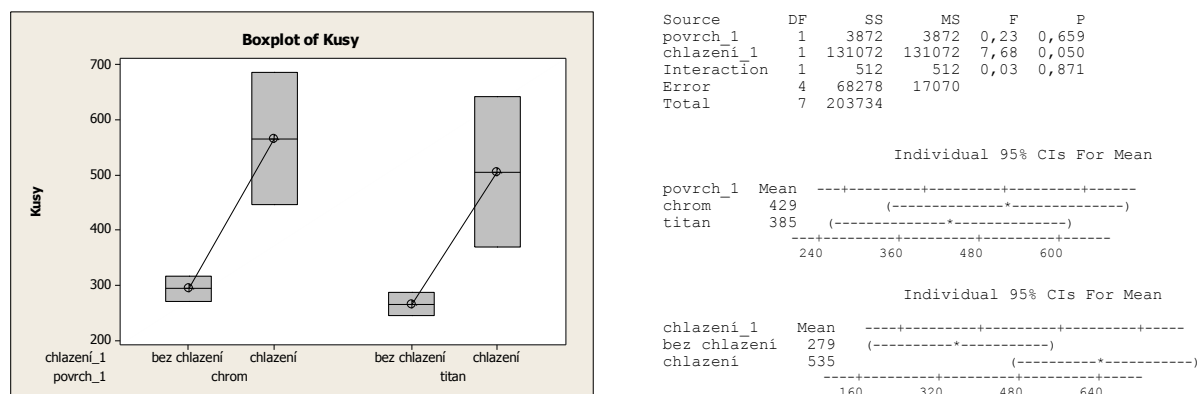
Obr. 16 Průměrné hodnoty opotřebení šicích jehel

3.3 Finální test povrchových úprav

Finální test povrchových úprav spočívá ve stanovení vhodné povrchové úpravy šicí jehly a doporučení přítomnosti či absence chlazení ouška jehly. K provedení vyhodnocení byla použita data získaná sestavením již dříve zmíněných čtyř testů se třemi opakováními, které jsou výsledkem kombinace dvou faktorů, a to povrchové úpravy a chlazení. Z důvodu nízkých hodnot v každém testu, které jsou zapříčiněny náhodnými vlivy, byla měření zredukována na dvě replikace z každého testu. Test byl vyhodnocen v Minitabu 16 metodou dvoufaktorové ANOVA s opakováním.

Graf na obr. 17 znázorňuje životnost šicích jehel prostřednictvím počtu odšitých kusů potahů. Z grafu je patrné, že z hlediska povrchové úpravy je nepatrně lepší chromovaná šicí jehla přičemž rozdíl je pouhých 44 kusů oproti titanovým jehlám a v případě chromových i titanových úprav dosahují vyšší použitelnosti jehly, u nichž je v průběhu šití aktivní chlazení ouška jehly.

Prostřednictvím P-hodnoty lze stanovit jako významný faktor chlazení, které výrazně prodlužuje dobu použitelnosti šicích jehly.



Obr. 17: Finální životnost z hlediska povrchových úprav.

3.3.1 Doporučení z hlediska finanční náročnosti

Doporučení pro následující postup z hlediska výběru vhodného druhu jehly a podmínek šití, bude stanoveno na základě shrnutí výsledků testu povrchových úprav v závislosti na ceně šicích jehel.

Z výsledků testu opotřebení šicích jehel byly zjištěny nepatrně lepší odolnosti proti mechanickému opotřebení u titanových jehel, které se však s přibývajícím dobou provozu jehly začínají sjednocovat s opotřebením jehel chromovaných. Na základě ztelně většího opotřebení levých jehel bylo na tuto stranu doporučeno nasazení titanových šicích jehel, které by měly sjednotit životnost s chromovou jehlou na pravé straně. Z hlediska finanční náročnosti není, dle cenového přehledu šicích jehel v tabulce 5-3, pořízení titanových jehel nadbytečnou investicí, naopak dojde v porovnání s cenou stávajících chromových jehel od firmy Schmetz dokonce i k úsporám. Za zvážení by stálo otestovat chromované jehly od výrobce Groz Beckert, který nabízí stejný typ jehly o 1,126 Kč na kuse levněji.

Tabulka 3: Cenové rozdíly jehel.

Dodavatel	Povrch jehly	Typ jehly	Cena Kč / ks
Schmetz	Chrom	140 Nm R	4,731 bez DPH s 8% slevou při odběru 1000ks
Groz Beckert	Chrom		3,605 bez DPH s 33% slevou pro JC
	Titan nitrid		4,523 bez DPH s 33% slevou pro JC

4 Závěr

V rámci projektu byly zorganizovány dva hlavní testy, z nichž bylo učiněno několik závěrů. Prvním testem byl tzv. plošný sběr, který byl založen na sběru opotřebovaných jehel ze dvou dílen s rozdílnou produktivitou. V průběhu plošného sběru byl makroskopicky kontrolován stav šicích jehel a bylo stanoveno 5 kritických oblastí opotřebení šicích jehel spolu s příčinami jejich vzniku. Nejkritičtější opotřebením se z hlediska četností ukázalo opotřebení stran ouška a vybrání jehly na chapačové straně, jež je zapříčiněno těsným nastavením vzdálenosti chapače a jehly, z důvodu kterého dochází mezi těmito součástmi ke tření. Z důvodu prevence vynechání stehu na štepu, jež představuje u kožených modelů potahů problematicky opravitelnou chybu, má však své opodstatnění. Doporučením je tedy v tomto případě

preventivní výměna šicích jehel, jež je dána intervalem životnosti šicí jehly, díky němuž bude po překročení spodní hranice intervalu životnosti zintenzivněna kontrola stavu nitě na štepu a po překročení horní hranice intervalu životnosti jehly bude jehla vyměněna za novou. Doporučením pro eliminaci nestejnomyšerného opotřebení stran ouška jehly vlivem pootočení jehly v jehelní tyči je zavedení jehel s plochou drážkou na dříku jehly, která pootočení jehly do nesprávné polohy zabrání.

Za účelem zvýšení životnosti šicí jehly byl sestaven druhý test, který se zabýval opotřebením šicích jehel v závislosti na povrchové úpravě. Pro měření plochy opotřebení šicích jehel byla stanovena a ověřena metoda měření pomocí sítě. Test byl prováděn na stroji šijícím odskočené štepování, který je charakteristický nestejnomyšerným zatížením pravé a levé jehly, což bylo následně mikroskopickými snímky po 8, 16 a 24 hodinách prokázáno. Testy prokázaly lepší odolnost a pomalejší nárůst plochy mechanického opotřebení u šicích jehel s povrchem nitridu titanu, přičemž po 24 hodinách provozu jehel dochází ke sjednocení ploch opotřebení titanových i chromovaných povrchů. Vliv chlazení na plochu opotřebení jehly nebyl prostřednictvím testů prokázán. V závislosti na výrazném opotřebení levých šicích jehel bylo doporučeno nasazení a testování titanových jehel na levou stranu za účelem prodloužení a sjednocení životnosti levých a pravých jehel a eliminace chůze šičky z důvodu výměny jehel.

Finálním testem povrchových úprav nebyla jednoznačně prokázána přidaná hodnota jehel s povrchem nitridu titanu, které však prokázaly v průměru jen o 4 hodiny nižší životnost oproti jehlám chromovaným. Velký vliv na délku použitelnosti jehly byl zaznamenán u jehel s aktivním chlazením ouška jehly a to u chromovaných i titanových jehel. Chlazením ouška jehly dochází k prodloužení použitelnosti jehly z důvodu menšího tepelného namáhání nitě, která zůstává pevnější a odolnější působení narušeného povrchu šicí jehly.

Finanční analýzou byly stanoveny možné kombinace šicích jehel, které představují v každém případě úspory, neboť chromované jehly používané ve stávající výrobě jsou tou nejdražší alternativou.

Literatura

[1] MINITAB Statistical software: Materiály školení ČSJ.

STUDIUM INKORPORACE FIBROBLASTŮ DO NANOVLÁKENNÝCH VRSTEV

Cudlínová Marcela

Sekce - TEXTIL,

Fakulta textilní, 2. ročník

Magisterský studijní program – TEXTILNÍ MATERIÁLOVÉ INŽENÝRSTVÍ

Abstrakt: Tato práce popisuje různé metody inkorporace fibroblastů do nanovláknenných vrstev. Fibroblasty jsou nejběžnější a zároveň nejvýznamnější buňky vaziva, které lze snadno kultivovat v laboratorním prostředí. Rozvoj Tkáňového inženýrství, které se zabývá problematikou výroby biologických náhrad, je velkým příslibem pro tvorbu kvalitních buněčných nosičů. Vzhledem k velikosti buněk se pro výrobu buněčných nosičů osvědčila nanovláknna, jejichž nespornou výhodou jsou průměry v nanometrech a velký měrný povrch vláken. Určitý problém představuje osidlování buněčného nosiče buňkami, které převážně probíhá pouze z povrchu nosiče. Cílem této práce je inkorporace fibroblastů do celého objemu buněčného nosiče metodou elektrostatického zvláknění. Součástí práce je také sledování proliferace fibroblastů do nanovláknenných struktur za použití růstových faktorů produkovaných krevními destičkami (trombocyty).

Klíčové slova: nanovláknna, elektrostatické zvláknění, fibroblasty, trombocyty.

1 ÚVOD

V současné době je zaznamenán velký rozvoj Tkáňového inženýrství, které se zabývá problematikou výroby biologických náhrad k obnově či zlepšení funkcí tkání. Pro rozvoj tkáňového inženýrství je nutné vyvíjet buněčné nosiče tzv. scaffoldy, které slouží jako podpůrné konstrukce pro růst buněk.

Nanovláknenné struktury dobře napodobují extracelulární matrici a tak poskytují buňkám přirozené prostředí.

Pro výrobu buněčných nosičů má velký význam tvorba nanovláknenných trojrozměrných struktur. Pokud jsou tyto buněčné nosiče osidlovány buňkami pouze z povrchu, proliferace buněk do celého objemu nosiče je komplikovaná a rozmístění buněk je nehomogenní.

Tato práce částečně navazuje na bakalářskou práci s názvem Vývoj a biologické testování nanovláknenných vrstev [1]. Metoda inkorporace kvasinek do nanovláknenné vrstvy pomocí elektrostatického zvláknění vodného roztoku polyvinylalkoholu s přimíchanými buňkami prokázala, že lze kvasinky vnést přímo do nanovláken, nebo do nanovláknenné vrstvy. Vyhodnocením této metody bylo zjištěno, že procento zvlákněných a přeživších kvasničných buněk bylo pouze 0,05 %.

Avšak metodou inkorporace buněk přímo do nanovláknenné vrstvy by mohly být buňky vneseny a kultivovány přímo v celém objemu vytvořené struktury.

V rámci této práce byla provedena literární rešerše vědeckých článků o různých metodách inkorporace buněk do nanovláknenných struktur [2, 3, 4].

Výsledky experimentů inkorporace buněk do nanovláken/nanovláknenných vrstev zamícháním do roztoku a následné elektrostatické zvláknění nepřinášejí velké naděje k úspěšné aplikaci. Perspektivnější se zdají být metody, kdy jsou buňky nasazeny do celého objemu nanovláknenné vrstvy vstříkáním nebo vkapáváním. Vzhledem k tomu, že musí být buňky stále ve vodném prostředí, měl by proces probíhat tak, aby buňky nebyly vystaveny dehydrataci. Dále je třeba celý proces provádět ve sterilním prostředí, aby mohla být buněčná proliferace sledována po dobu několika dní.

Další cestou, jak zvýšit proliferaci fibroblastů do nanovlákných vrstev, je použití růstových faktorů. Růstové faktory obsažené v krevních destičkách, tedy trombocytech, mají mimo jiné pozitivní vliv na proliferaci buněk [5]. Koncentrát krevních destiček, známý jako plazma bohatá na trombocyty, získal popularitu v ortopedii, orofaciální medicíně a traumatologii díky podpoře fyziologického hojení [6]. Také v tomto případě bývá problém s inkorporací trombocytů do celého objemu buněčného nosiče. V této práci byla použita metoda vstříkávání trombocytů do vytvářející se nanovlákně vrstvy přímo při procesu elektrostatického zvlákňování.

1.1 Nanovlákná

Nanovlákná jsou textilní vlákně útvary, jejichž průměr je menší než 1 μm . Pro jejich výrobu se používají různé syntetické i přírodní polymery. Nanovlákná se vyznačují mimořádnými vlastnostmi jako je velký měrný povrch (poměr povrchu vlákna k jeho objemu) a velká pórovitost vlákně vrstvy s malými rozměry pórů.

Mezi způsoby výroby nanovláken patří: dlužení, podložková syntéza, fázová separace, samo-organizování, centrifugace a elektrostatické zvlákňování.

1.2 Elektrostatické zvlákňování

Elektrostatické zvlákňování je proces, který využívá vysokého napětí k vyvolání kapalinové trysky z roztoku či taveniny polymeru a následnému vytvoření nanovlákněho útvaru [7]. Existuje řada metod elektrostatického zvlákňování, které jsou založeny na stejném principu, liší se pouze v konstrukci, dávkování, kontinuitě, apod.

1.3 Fibroblasty

Fibroblasty jsou nejběžnější a zároveň nejvýznamnější buňky vaziva. Nejčastěji je identifikujeme jako protáhlé, vřetenovité až hvězdicovité buňky s plochým a oválným jádrem. Fibroblasty produkují *trypokolagen* (předstupeň kolagenu), který teprve v mezibuněčném prostoru polymeruje a formuje kolagenní vlákna.

Druhým produktem fibroblastů je amorfní mezibuněčná hmota, která slouží jako matrice vyplňující mezery mezi buňkami a kolagenními vlákny v pojivové tkáni [8].

1.4 Růstové faktory

Růstové faktory jsou obvykle vyloučenými proteiny a jejich efekty jsou zprostředkovány interakcí se specifickými receptory na buněčných membránách. Tato interakce může probíhat v okolí secernující buňky a ovlivňovat tak buňky sousední nebo také samotnou produkující buňku [5].

V procesu regenerace pojivových tkání se nejvíce uplatňují polypeptidy primárně syntetizované megakaryocyty. V inaktivní formě se nacházejí v granulech trombocytů, ze kterých jsou uvolňovány například působením trombinu při hemostáze [9].

1.5 Trombocyty

Trombocyty (krevní destičky) jsou označovány jako neúplné buňky, protože nemají jádro. Jsou to drobná, kulovitá až vřetenovitá tělíčka o velikosti 2-4 μm . V krvi jich je $0,15-0,3 \times 10^{12}/\text{l}$ (150 000 – 300 000/ μl). Na krevních nátěrech se trombocyty vyskytují velmi často ve shlucích nebo agregátech [9].

2 EXPERIMENT

Experimentální část je rozdělena z koncepčního hlediska do dvou hlavních podkapitol, které popisují postup jednotlivých experimentů.

2.1 Inkorporace fibroblastů do nanovláčkových vrstev

Zařízení pro elektrostatické zvlákňování bylo umístěno do flowboxu z důvodu dodržení sterilního prostředí. Toto zařízení na Obr. 1 se skládalo ze stojanu, na kterém byla upevněna injekční stříkačka naplněná polymerem (1) a s jehlou na kterou byl připojen zdroj vysokého napětí (2). Pod jehlou byla umístěna Petriho miska (3) naplněná 20 ml kultivačního média, která byla uzemněna (4).

Materiály

Polymer pro zvlákňování byl zvolen PCL o molekulové hmotnosti 45.000 (Sigma Aldrich). Pro přípravu roztoku PCL o koncentraci 18hm% byla použita rozpouštědla chloroform a etanol v poměru 9:1.

K testování beněčné proliferace byly použity myší fibroblasty 3T3, kultivovány v Dulbecco's Modified Eagle's Medium (DMEM, Lonza) s přidavkem 10% fetálního bovinního séra (FBS, Lonza) a 1% směsi antibiotik (penicil, streptomycin, amfotericin B, Lonza).

Parametry elektrostatického zvlákňování:

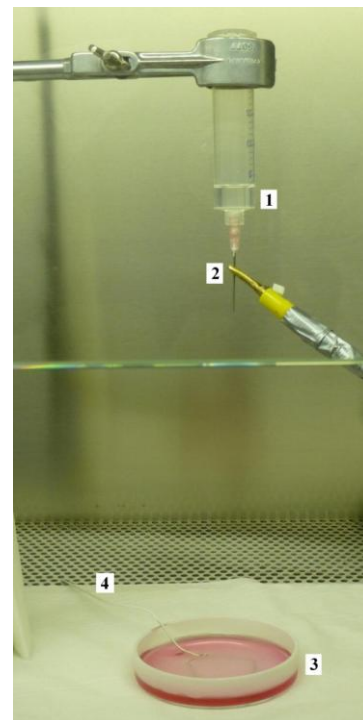
Teplota v laboratoři byla 25°C a relativní vlhkost vzduchu 22%. Vzdálenost kolektoru od kapiláry byla 17 cm.

Metody inkorporace buněk:

- a) Proliferace buněk z povrchu – metodou elektrostatického zvlákňování do kultivačního média byla vytvořena vrstva, na které byla následně zjišťována proliferace buněk pouze z jejího povrchu.
- b) Inkorporace buněk pasteuovou pipetou - buněčná suspenze byla v pravidelných intervalech (10 min) přidávána Pasteurovou pipetou do procesu elektrostatického zvlákňování
- c) Inkorporace buněk mechanickým rozprašovačem – buněčná suspenze byla v pravidelných intervalech (5 min) vstřikována mechanickým rozprašovačem přímo do procesu elektrostatického zvlákňování.

Testování buněčné proliferace:

Z vyrobených struktur byly vykrájeny vzorky odpovídající rozměrům 96-jamkové testovací destičky, do které byly vloženy kvůli testování proliferace buněk. Pro všechny metody bylo dodrženo stejné množství buněk přidané dovnitř nebo na povrch testovaných vzorků. V každé jamce testovací destičky tak bylo přibližně 8000 buněk



Obrázek 1 Schéma elektrostatického zvlákňování: 1 - stříkačka s polymerem, 2 - přivedené vysoké napětí, 3 - Petriho miska s médiem, 4 - uzemnění.

Inkubační podmínky byly pro všechny tyto experimenty stejné. Inkubace probíhala po dobu 7 dnů v termostatu za stálé teploty 37°C v atmosféře 5% CO₂. V průběhu kultivace bylo druhý a pátý den vyměněno kultivační médium. Hodnocení kultivace probíhalo 2. a 7. den.

2.2 Vliv trombocytů na proliferaci fibroblastů

Suspenze trombocytů byla do nanovlákněné vrstvy inkorporována mechanickým rozprašovačem při procesu elektrostatického zvlákňování. Proces elektrostatického zvlákňování probíhal uvnitř flow boxu z důvodu udržení sterilního prostředí během celého pokusu. Uspořádání zvlákňovacího aparátu je znázorněno na Obr. 2. V pravidelných intervalech (po 5 minutách) byla do vytvářející se nanovlákněné vrstvy vstříkována suspenze s trombocyty pomocí mechanického rozprašovače. Celkem bylo na vrstvu vytvořenou z 5.5 ml polymeru použito $4,382 \times 10^9$ trombocytů.

Pro porovnání proliferace fibroblastů v takto vytvořené nanovlákněné vrstvě byla vyrobena vrstva za stejných podmínek, ale bez použití trombocytů.

Materiály

Pro elektrostatické zvlákňování byl jako polymer použit polycaprolactone (PCL) o molekulové hmotnosti 45.000 (Sigma Aldrich). Pro přípravu roztoku PCL o koncentraci 18hm% byla použita rozpouštědla chloroform a etanol v poměru 9:1.

Pro experiment byly použity lidské fibroblasty z 1. pasáže (NHDF - Normal Human Dermal Fibroblasts, Lonza), které byly kultivovány ve Fibroblast Basal Mediu (FBM, Lonza) obohaceném 20% FBS, 1% fibroblastového růstového faktoru (FGF), 1% insulinu a 1% směsí antibiotik. Buněčná suspenze byla připravena v koncentraci 5×10^5 buněk/ml.

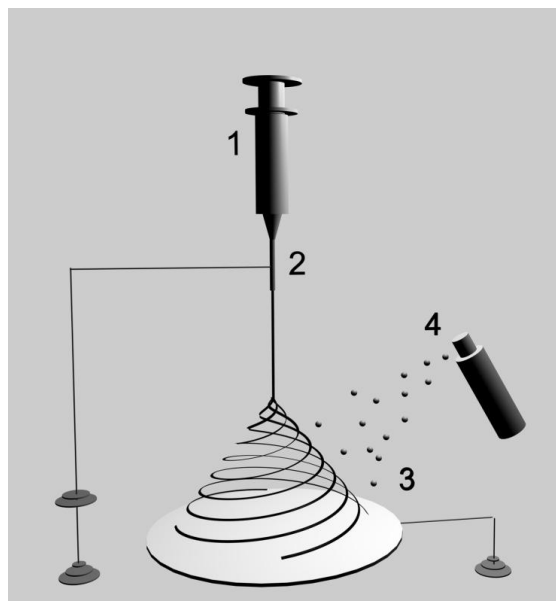
Koncentrát trombocytů (TRS – trombocyte rich solution) byl připraven Transfúzním oddělení Krajské nemocnice v Liberci o koncentraci 626×10^6 /ml.

Parametry elektrostatického zvlákňování:

Vzdálenost elektrody od uzemněného kolektoru byla 12 cm. Napětí při zvlákňování bylo 16kV. Na výrobu jedné vrstvy bylo využito 5.5 ml PCL. Teplota ve flow boxu byla 23.6°C, relativní vlhkost vzduchu 21%.

Testování buněčné proliferace:

Obě vrstvy byly následně nastříhány na kousky odpovídající rozměrům 96-jamkové testovací destičky a ponořeny do kultivačního média s buněčnou suspenzí fibroblastů. Následovala



Obrázek 2 Polymer ve stříkačce (1) vlivem gravitační síly kapal jehlou, která byla připojena ke zdroji vysokého napětí (2). Nanovlákněná vrstva se vytvářela na uzemněný kolektor (3). Mechanickým rozprašovačem (4) byla inkorporována suspenze trombocytů.

inkubace po dobu 14 dnů v termostatu za stálé teploty 37°C v atmosféře 5% CO₂. Hodnocení proliferace fibroblastů bylo provedeno 1., 4., 7. A 14. Den.

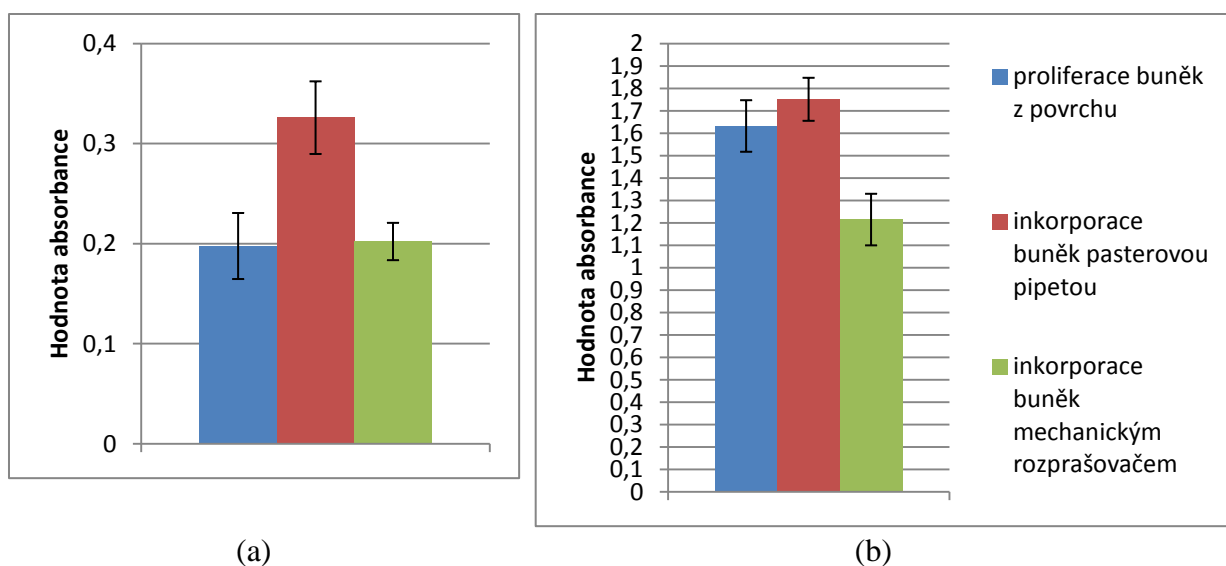
3 Výsledky

Pro vyhodnocení viability buněk byl použit MTT test. Vychází ze skutečnosti, že v živé buňce fungují mitochondriální dehydrogenasy, zatímco v buňce poškozené či mrtvé nikoliv. Buněčná kultura se inkubuje s roztokem tzv. methyltetrazoliové soli (odtud MTT), což je sloučenina, která v oxidovaném stavu má žlutou barvu a ve stavu redukovaném tmavě fialovou barvu. Stupeň konverze MTT na fialový produkt je tedy přímo úměrný aktivitě mitochondriálních dehydrogenas a tedy životnosti buněk. Formazan se rozpustí přidáním okyseleného isopropanolu a toto zabarvení se dále vyhodnocuje spektrofotometricky při vlnové délce 570 nm a referenční vlnové délce 650nm. Z měření je vyhodnocena průměrná hodnota absorbance a směrodatná odchylka (Obr.3).

Hodnota absorbance roztoku odpovídá množství živých buněk - čím tmavší barva, tím vyšší množství živých buněk.

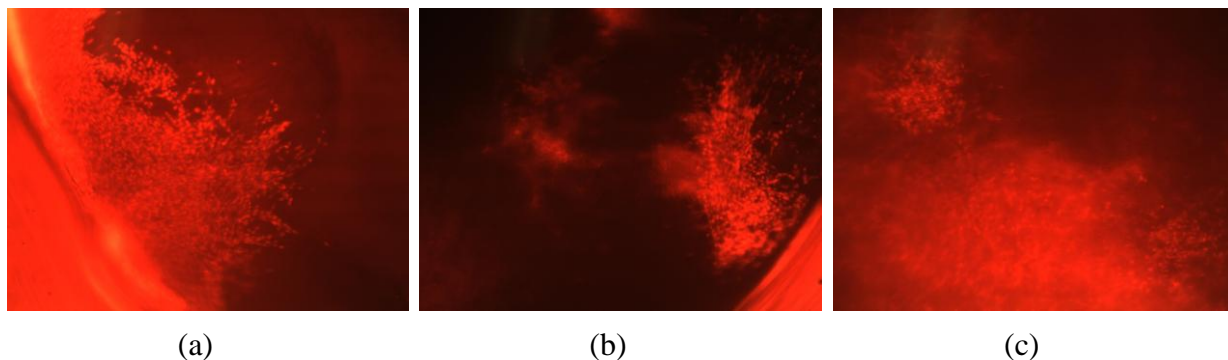
3.1 Inkorporace fibroblastů do nanovláčkových vrstev

Výsledky MTT testu prokázaly, že buňky inkorporované přímo do nanovláčkové vrstvy, byly schopny proliferace. Srovnání různých metod je zobrazeno na Obr. 3.



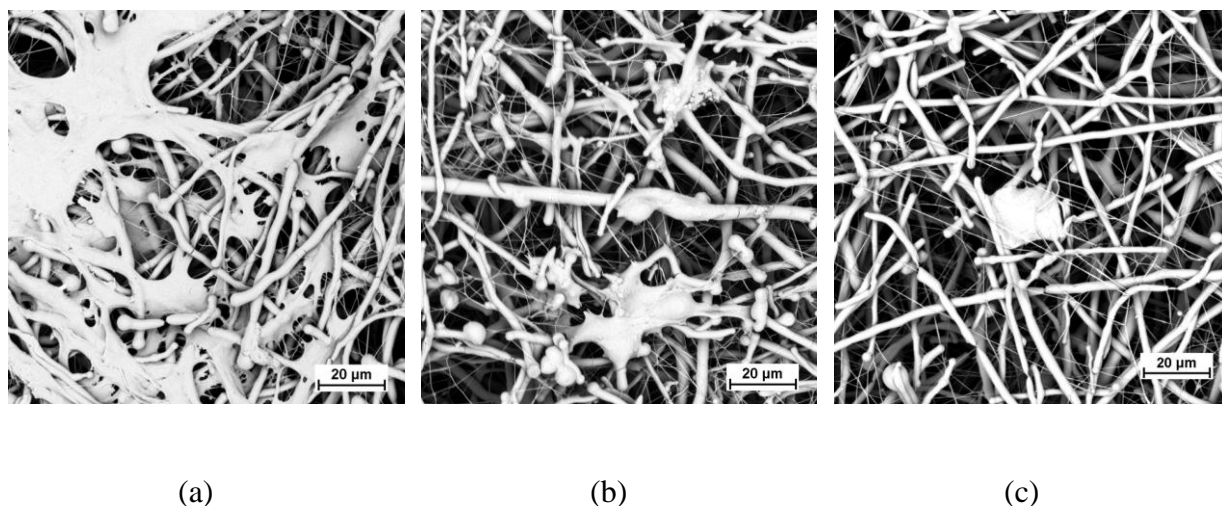
Obrázek 3 Výsledky MTT testu- hodnota absorbance roztoku odpovídá množství živých buněk : (a) hodnoty absorbance v 2. den kultivace, (b) hodnoty absorbance v 7. den kultivace.

Snímky z fluorescenčního mikroskopu (Obr. 4) jasně prokázaly přítomnost buněk v nanovláčkových vrstvách vyrobených všemi třemi metodami.



Obrázek 4 Fluorescenčním mikroskopem bylo možné pozorovat jádra buněk v nanovlákněných vrstvách (a) Proliferace buněk z povrchu, (b) Inkorporace buněk pasterovou pipetou, (c) Inkorporace buněk mechanickým rozprašovačem.

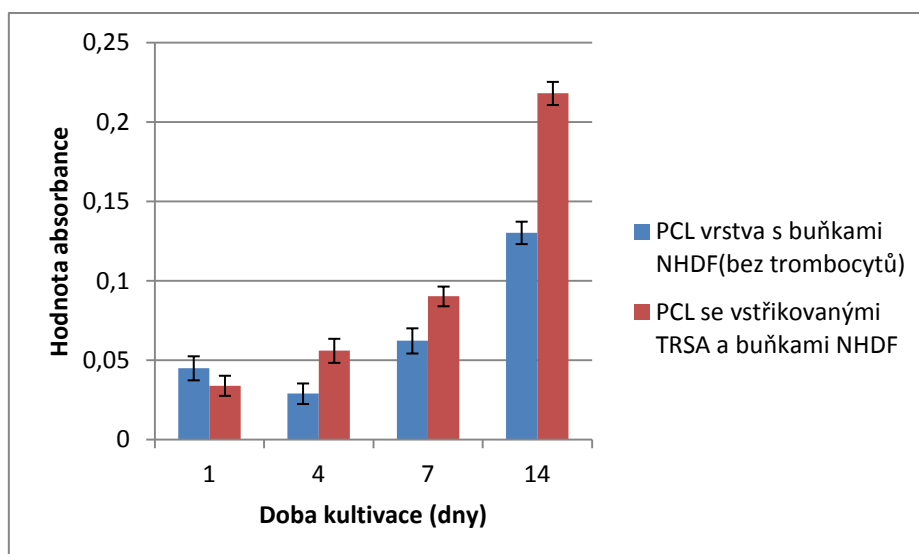
Snímky z elektronového mikroskopu (Obr. 5) ukazují povrch vyrobených vrstev všemi třemi metodami. U vzorků (b) a (c) byly pozorovány pouze jednotlivé buňky. Povrch vzorku (a) byl z velké části porostlý buňkami.



Obrázek 5 Snímky z elektronového mikroskopu 7. den kultivace : (a) Proliferace buněk z povrchu, (b) Inkorporace buněk pasterovou pipetou, (c) Inkorporace buněk mechanickým rozprašovačem.

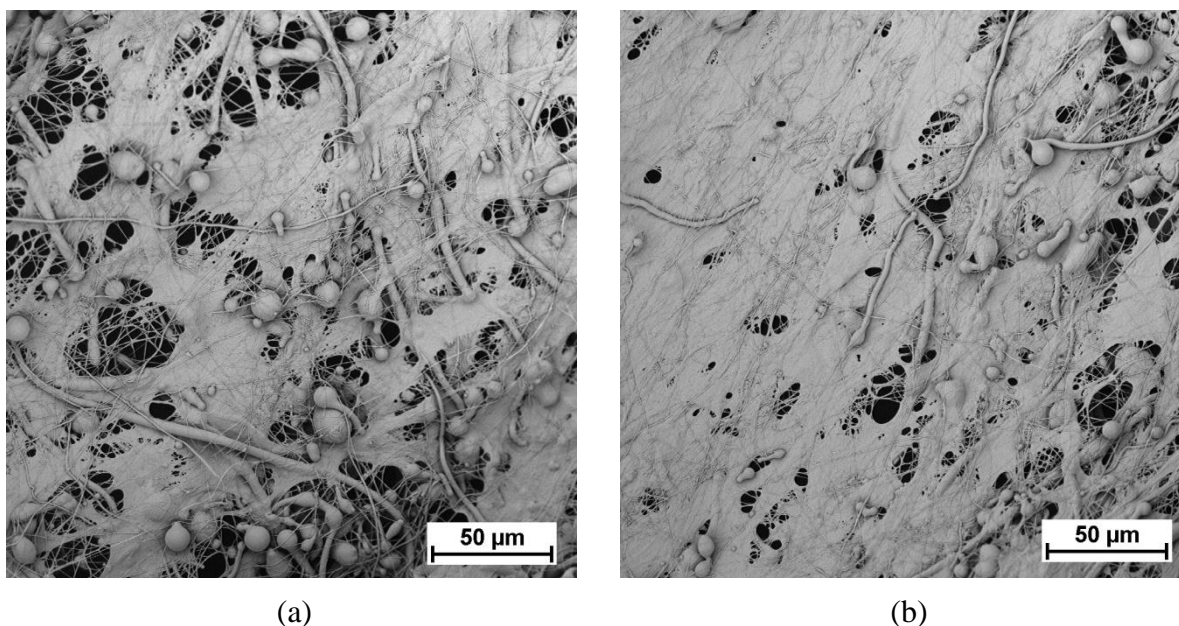
3.2 Vliv trombocytů na proliferaci fibroblastů

Vyhodnocování proliferace fibroblastů bylo provedeno metodou MTT testu. Výsledky tohoto testu prokázaly vyšší proliferaci fibroblastů v nanovlákněné vrstvě se vstříkovanými trombocyty. Výsledky jsou zřetelné z Obr. 6.



Obrázek 6 Vliv trombocytů na proliferaci fibroblastů.

Na snímcích z elektronového mikroskopu (Obr.7) jsou vidět nanovláčkové struktury porostlé fibroblasty po 14ti dnech kultivace.



Obrázek 7 Snímky z elektronového mikroskopu: (a) nanovláčková PCL vrstva s fibroblasty bez použití trombocytů, (b) nanovláčková PCL vrstva se vstříkovanými trombocyty a fibroblasty.

4 ZÁVĚR

Pomocí metod inkorporace fibroblastů do nanovláčkových vrstev přímo v procesu elektrostatického zvláknování, bylo možné buňky kultivovat v celém objemu vyrobené vrstvy. Celý proces probíhal ve sterilním prostředí, proto mohly být vzorky kultivovány více dní. Po sedmi dnech kultivace MTT test prokázal nejvyšší proliferaci fibroblastů u vzorků vyrobených metodou inkorporace Pasteurovou pipetou. Vzorky vyrobené metodou

inkorporace fibroblastů mechanickým rozprašovačem vykazovaly nejmenší počet buněk, ze všech třech použitých metod. Tento pokles viability buněk byl zřejmě způsoben už při průchodu mechanickým rozprašovačem. Snímky z fluorescenčního mikroskopu prokázaly, že buňky inkorporované Pasteurovou pipetou a mechanickým rozprašovačem jsou opravdu uvnitř nanovlákných vrstev a buňky nasazované z povrchu vrstev proliferují převážně z okrajů vrstvy.

Metodou, při které byly vstříkovány trombocyty do vytvářející se nanovlákné vrstvy, bylo zjištěno, že proliferace fibroblastů do takto vyrobených struktur je vyšší, než bez použití trombocytů.

Vzhledem k tomu, že je nutné vyvíjet buněčné nosiče trojrozměrných struktur, přináší získané výsledky nové možnosti, jak vytvářet buněčné nosiče osídlené buňkami homogenně v celém objemu.

Literatura

- [1] CUDLÍNOVÁ, Marcela. Vývoj a biologické testování nanovlákných vrstev. Liberec, 2011. Bakalářská práce. Technická univerzita v Liberci. Vedoucí práce prof. David Lukáš.
- [2] VAN AALST, John A., Courtney R. REED, Li HAN, Tony ANDRADY, Michael HROMADKA, Susan BERNACKI, Kamalkumar KOLAPPA, James B. COLLINS a Elizabeth G. LOBOA. Cellular Incorporation Into Electrospun Nanofibers. *Annals of Plastic Surgery*. 2008, vol. 60, issue 5, s. 577-583. DOI: 10.1097/SAP.0b013e318168db3e.
- [3] FATIH CANBOLAT, Mehmet, Christina TANG, Susan H. BERNACKI, Behnam POURDEYHIMI a Saad KHAN. Mammalian Cell Viability in Electrospun Composite Nanofiber Structures. *Macromolecular Bioscience*. 2011-10-10, vol. 11, issue 10, s. 1346-1356. DOI: 10.1002/mabi.201100108.
- [4] WEBSTER, Thomas J, Justin SEIL, Bikram BASU a Dhirendra KATTI. Spray deposition of live cells throughout the electrospinning process produces nanofibrous three-dimensional tissue scaffolds. *International Journal of Nanomedicine*. s. 1095-. DOI: 10.2147/IJN.S18803.
- [5] SLAPNÍČKA, Jan. Vliv aktivované a neaktivované plazmy bohaté na trombocyty (PRP) na proliferaci lidských osteoblastů a fibroblastů in vitro. Brno, 2009. Dizertační práce. Masarykova univerzita.
- [6] FREI, R., F.E. BIOSCA, M. HANDL a T. TRČ. Funkce růstových faktorů v lidském organismu a jejich využití v medicíně, zejména v ortopedii a traumatologii. *Acta Chirurgiae orthopaedicae et Traumatologiae czechoslovaca*. 2008, č. 75. Dostupné z: http://www.achot.cz/dwnld/0804_247.pdf
- [7] LUKÁŠ, D., A. SARKAR, L. MARTINOVÁ, K. VODSED'ÁLKOVÁ, D. LUBASOVÁ, J. CHALOUPEK, P. POKORNÝ, MIKEŠ, J. CHVOJKA a M. KOMÁREK. Physical principles of electrospinning (Electrospinning as a nano-scale technology of the twenty-first century). *Textile Progress*. 2009-05-29, roč. 41, č. 2, s. 59-140. ISSN 0040-5167. DOI: 10.1080/00405160902904641
- [8] Vazivová tkáň - vazivo. *Patobiomechanika & Patokineziologie* [online]. 1999 [cit. 2013-05-17]. Dostupné z: http://biomech.ftvs.cuni.cz/pbpbk/kompndium/anatomie/tkane_pojive_vazivo.php
- [9] ČECH, Svatopluk. *Přehled obecné histologie*. Masarykova univerzita, Lékařská fakulta, Brno 2005.

HODNOCENÍ ŽMOLKOVITOSTI NA ZÁKLADĚ 3D REKONSTRUKCE OBRAZU TEXTILIÍ S VYUŽITÍM GRADIENTNÍCH POLÍ

Michal Kabátek

Sekce - TEXTIL,
Fakulta textilní, 2. ročník
Magisterský studijní program – MANAGEMENT JAKOSTI

Abstrakt: V práci se testovalo objektivní hodnocení žmolkovitosti textilních materiálů na základě 3D rekonstrukce povrchu textilie s využitím metody gradientních polí. Základem 3D rekonstrukce povrchu materiálu je Frankot – Chellapův algoritmus aplikovaný na sadu 4 obrazů pro každý vzorek, které byly v temné komoře za umělého osvětlení ze čtyř stran nasvíceny a nasnímány. Obrazy se předzpracovaly a následně se podle Frankot – Chellapova algoritmu provedl výpočet hodnot gradientních polí na jejichž základě vznikla 3D rekonstrukce povrchu textilie. Následná detekce žmolků byla založena na technikách zpracování obrazu v programu MATLAB. Globálním prahováním se v obraze segmentovaly žmolky od pozadí. Následně byly morfologickými operacemi upraveny tvary detekovaných žmolků v obraze. Pomocí charakteristik žmolkovitosti bylo provedeno kvantitativní hodnocení žmolkovitosti a na základě koeficientů determinace byl přiřazen každému vzorku stupeň žmolkovitosti, který byl automaticky určen z rovnic lineární regrese daných charakteristik.

Klíčová slova: žmolkovitost, charakteristiky žmolkovitosti, obrazová analýza, 3D rekonstrukce povrchu textilií, gradientní pole, subjektivní a objektivní hodnocení žmolkovitosti materiálu.

1. Úvod

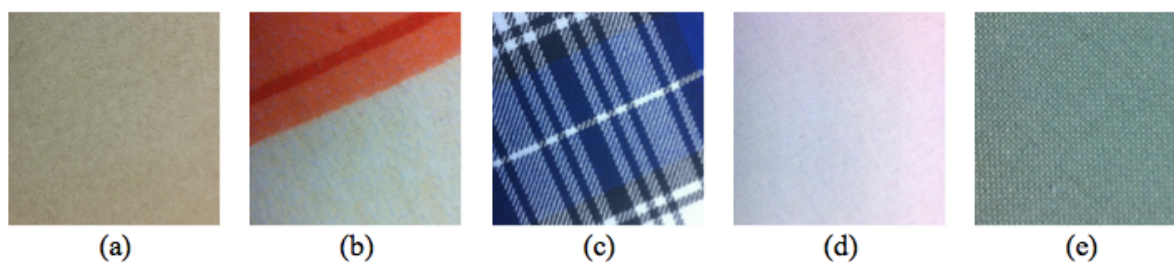
V textilním průmyslu se dnes nejčastěji používá hodnocení žmolkovitosti subjektivní metodou. V posledních letech se rozšiřuje možnost využití objektivního hodnocení žmolkovitosti, které je schopno eliminovat lidskou chybu a zajistit reprodukovatelnost výsledků. Ve většině případů se pro objektivní hodnocení žmolkovitosti využívají techniky zpracování obrazu a obrazová analýza realizovaná pomocí různých softwarů. Výhodou obrazové analýzy jsou velmi přesné údaje o detekovaných žmolcích. Jednotlivé charakteristiky žmolkovitosti, jako například plocha, obvod, kontrast či hustota, jsou velmi přesně měřitelné pomocí obrazové analýzy. Cílem této práce bylo vytvořit algoritmus pro automatické objektivní hodnocení žmolkovitosti [1], [2], [3].

2. Experimentální část

Pro objektivní hodnocení žmolkovitosti s využitím metody gradientních polí byl vytvořen v programu MATLAB algoritmus, který je schopný automaticky vyhodnotit stupeň žmolkovitosti daného vzorku textilie. Po předzpracování obrazů byla na základě algoritmu vytvořeného v práci provedena 3D rekonstrukce povrchu vzorků ze sady 4 obrazů vzniklých snímáním vzorku nasvíceného ze 4 stran. Následně po 3D rekonstrukci povrchu vzorků byla provedena segmentace žmolků od pozadí obrazu pomocí globálního prahování. Následným použitím morfologických operací se v obraze upravily tvary segmentovaných žmolků. Vzhledem k rozdílným vlastnostem každého materiálu bylo potřeba algoritmus v některých částech patřičně upravit dle potřeb každého vzorku tak, aby se dosáhlo co nejpřesnější detekce žmolků. Níže jsou popsány jednotlivé kroky, které byly použity v algoritmu pro automatické vyhodnocení žmolkovitosti pomocí objektivní metody.

2.1. Obrazová sada vzorků

Pro objektivní hodnocení žmolkovitosti na základě 3D rekonstrukce povrchu podle metody gradientních polí bylo v práci testováno 30 vzorků různého materiálového složení, vzoru a vazby. 20 vzorků bylo připraveno na přístroji Martindale a 10 vzorků na komorovém žmolkovacím přístroji. Celkem bylo vytvořeno šest sad po 5 vzorcích reprezentujících jednotlivé stupně žmolkovitosti v celém rozsahu hodnotící škály. Na obrázku 1 (a) – (e) jsou znázorněny všechny vzorky materiálu. V této práci bude podrobně popsán popis objektivního hodnocení žmolkovitosti pro vzorky z přístroje Martindale. Pro ukázkou funkčnosti algoritmu byl vybrán jako reprezentativní vzorek vzorek plátňové vazby A1. Vzorek A1 představuje textilií obr. 1 (a) subjektivně ohodnocenou na stupeň žmolkovitosti 1, tedy nejvíce ožmolkovaný vzorek.



Obrázek 1 Obrazová sada vzorků.

3. Subjektivní hodnocení žmolkovitosti

V praxi dnes běžné subjektivní hodnocení žmolkovitosti s sebou nese chyby lidského faktoru. Každý vzorek testovaný v této práci byl nejdříve subjektivně ohodnocen. Subjektivní hodnocení žmolkovitosti bylo provedeno k porovnání s výsledky objektivní metody hodnocení žmolkovitosti. Subjektivně lze změřit v obraze pouze počet žmolků, ostatní údaje nám dávají pouze subjektivní dojem. Tabulka 1 obsahuje údaje o subjektivním stupni hodnocení a počtu žmolků v obraze při subjektivním hodnocení.

Tabulka 1 Subjektivní hodnocení žmolkovitosti všech vzorků.

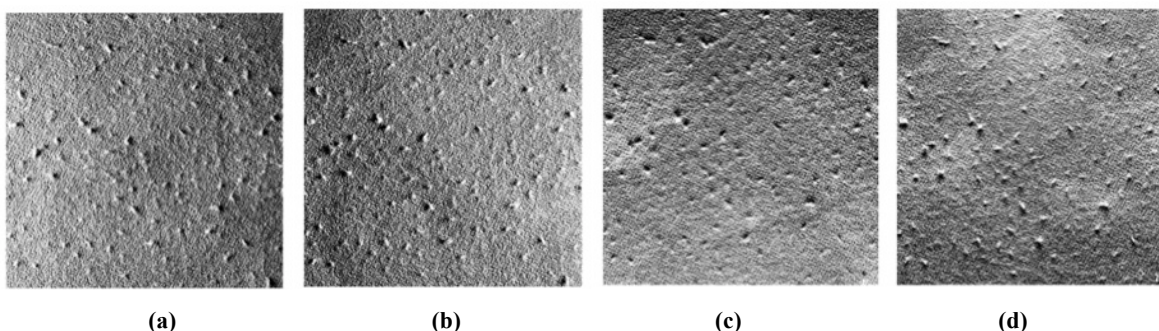
Vzorek	Hodnocení žmolkovitosti	Počet žmolků	Vzorek	Hodnocení žmolkovitosti	Počet žmolků	Vzorek	Hodnocení žmolkovitosti	Počet žmolků
A1	1	67	B1	1	114	C1	1	42
A2	2	55	B2	2	63	C2	2	36
A3	3	27	B3	3	22	C3	3	21
A4	4	16	B4	4	7	C4	4	15
A5	5	0	B5	5	0	C5	5	0
Vzorek	Hodnocení žmolkovitosti	Počet žmolků	Vzorek	Hodnocení žmolkovitosti	Počet žmolků	Vzorek	Hodnocení žmolkovitosti	Počet žmolků
D1	1	97	E1	1	35	F1	1	41
D2	2	76	E2	2	25	F2	2	19
D3	3	51	E3	3	20			
D4	4	28	E4	4	14			
D5	5	0	E5	5	0			

4. Objektivní hodnocení žmolkovitosti

V této práci byl vyvinut algoritmus pro automatické hodnocení stupně žmolkovitosti pro textilie na základě 3D rekonstrukce povrchu s využitím metody gradientních polí. Níže jsou popsány jednotlivé kroky vytvořeného algoritmu.

4.1. Pořízení obrazu

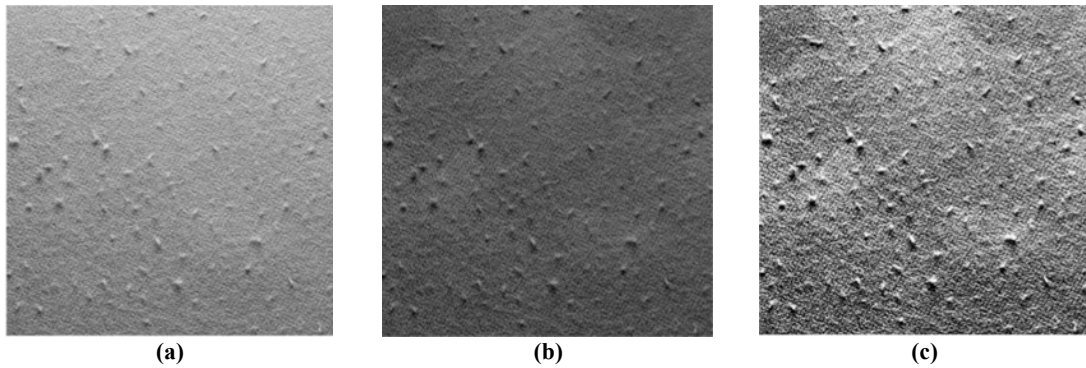
V rámci získání 3D rekonstrukce povrchu textilie bylo zapotřebí nejdříve pořídit sadu 4 obrazů pro každý vzorek. Ty byly získány pomocí fotoaparátu značky Canon EOS 400D. Způsob pořízení obrazu byl následující. Vzorky byly umístěny na střed čtvercové podložky. Na každé straně podložky byla připevněna 4 stejná světla, svírající mezi sebou úhel 90° tak, aby byly zachovány identické podmínky nasvícení z každé strany. Snímání obrazů vzorků probíhalo v temné komoře tak, aby na vzorky dopadalo pouze světlo ze světelného zdroje, a byly tak zajištěny vždy stejné světelné podmínky. Každý vzorek byl tedy nasnímán čtyřikrát, pokaždé při nasvícení vzorku z jedné strany. Fotoaparát byl umístěn na stativu nad pokladovou deskou a směřoval kolmo dolů na střed vzorku. Na obrázku 2 (a) – (d) je zobrazena sada obrazů vzorku A1.



Obrázek 2 Sada 4 obrazů vzorku A1, nasvícení (a) zleva, (b) zprava, (c) zespoda, (d) ze shora.

4.2. Předzpracování obrazu

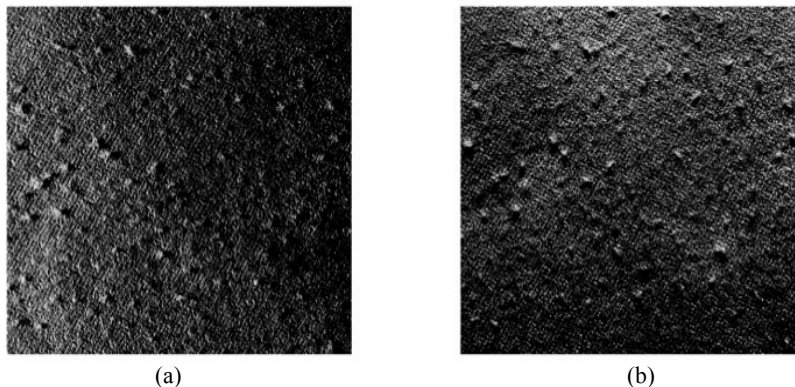
Předzpracování a zpracování obrazu vzorků bylo provedeno v programu MATLAB. Prvním krokem je načtení sady 4 obrazů vzorku do programu MATLAB. Dalším krokem je oříznutí všech obrazů vzorků z původní velikosti 2592x3888 pixelů na 1600x1600 pixelů. Dále se transformoval barevný obraz vzorku na monochromatický obraz. V monochromatickém obraze byl odstraněn vliv nerovnoměrného nasvícení vzorků a byl získán obraz s vyváženým kontrastem mezi objekty. Dále bylo zapotřebí zvýšit kontrast mezi žmolky a pozadím na povrchu vzorku, aby došlo k přesné a jednoduché segmentaci. V této práci se kontrast v obraze zvýšil pomocí ekvalizace histogramu. Na obrázku 3 (a) je znázorněn původní monochromatický obraz vzorku A1, (b) obraz vzorku A1 po odstranění nerovnoměrného nasvícení a (c) obraz vzorku A1 po ekvalizaci histogramu, kde je zřetelně vidět zvýšení kontrastu mezi žmolky a pozadím obrazu.



Obrázek 3 (a) Původní monochromatický obraz textilie, (b) obraz textilie po odstranění vlivu nasvícení, (c) obraz textilie po ekvalizaci histogramu.

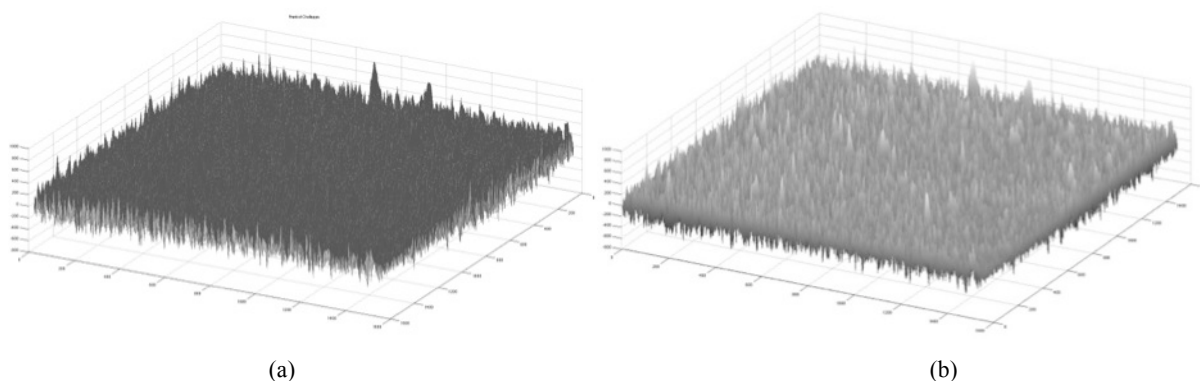
4.3. 3D rekonstrukce povrchu

Pro získání 3D rekonstrukce povrchu textilních vzorků byla použita metoda gradientních polí, vycházející z vypočtených hodnot gradientů v jednotlivých bodech v obraze. Hodnoty gradientů udávají změnu oproti svému okolí. V praxi bývají gradientní pole zpravidla nulová a nejsou integrovatelná. Ke zjištění hodnot gradientních polí je potřeba dosáhnout integrovatelnosti hodnot v gradientních polích pomocí jednotlivých funkcí. Pokud bylo dosaženo integrovatelných hodnot, tak je možné přistoupit k samotné rekonstrukci povrchu. Z hodnot gradientních polí se vytvoří 3D rekonstrukce povrchu materiálu např. podle Poisson – Neumannovy funkce nebo Frankot – Chellapova algoritmu. V této práci byl použit Frankot – Chellapův algoritmus, jehož základem byly dva obrazy, které vznikly ze sady 4 obrazů vždy odečtením protilehlých obrazů od sebe – obraz nasvícený zleva od obrazu nasvíceného zprava – a obraz nasvícený zespoda od obrazu nasvíceného zeshora. Obrazy vzorku A1 použité pro rekonstrukci povrchu jsou znázorněny na obrázku 4 (a) a (b). [4], [5], [6], [7].



Obrázek 4 Odečtené obrazy vzorku A1 pro 3D rekonstrukci povrchu, (a) obraz nasvícený zespoda od obrazu nasvíceného zeshora, (b) obraz nasvícený zleva od obrazu nasvíceného zprava.

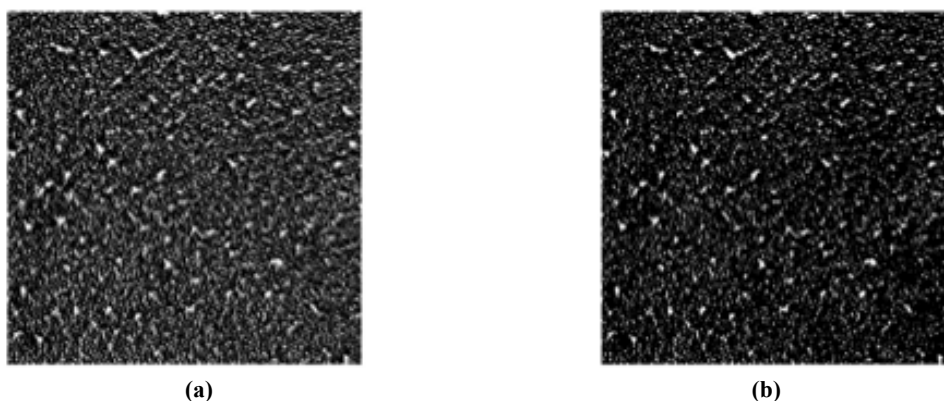
Frankot – Chellapův algoritmus navrhnul neintegrovatelné pole na sadu integrovatelných cest pomocí Fourierovy dvourozměrné transformace funkce aplikované na každý obraz zvlášť. Následně byl z hodnot gradientních polí vytvořen zrekonstruovaný 3D obraz povrchu vzorku materiálu, zobrazený na obrázku 5 (a). Na obraze jsou viditelné vrcholy jednotlivých objektů, avšak v obraze se vyskytuje také šum, který zde vznikl během aplikace Frankot – Chellapova algoritmu. Šum byl z obrazu odstraněn aplikací Gaussova filtru. Obraz po aplikaci Gaussova filtru je na obrázku 5 (b).



Obrázek 5 (a) Zrekonstruovaný 3D obraz podle Frankot - Chellapova algoritmu, (b) 3D zrekonstruovaný obraz po aplikaci Gaussova filtru.

4.4. Detekce žmolků

V získaném 3D obrazu textilie je možné zpozorovat významné vrcholy vyčnívající z povrchu textilie - žmolky. Následné převedení získaného 3D obrazu po aplikaci Gaussova filtru do monochromatického obrazu bylo dalším krokem k detekci žmolků v obraze. Na rozdíl od běžné detekce je možné z 3D obrazu detekovat žmolky mnohem přesněji včetně jejich okolí. V obraze jsou již dobře viditelné větší bílé objekty – žmolky, které bude nutné segmentovat od pozadí obrazu – povrchu materiálu, kde menší bílé objekty znázorňují vazné body materiálu. Segmentace se provádí globálním prahováním, kdy se stanoví prahová hodnota. Prahová hodnota je číslo od 0 do 1, které určuje hraniční hodnoty jasu pixelů. Hodnoty nad touto hranicí budou transformovány na hodnotu 1 – objekty, a naopak hodnoty pod touto hranicí budou transformovány na hodnotu 0, tedy pozadí. V této práci byla prahová hodnota v intervalu 0.55 – 0.7. Na obrázku 6 (a) je zobrazen monochromatický obraz vzorku A1 a na obrázku 6 (b) je binární obraz vzorku A1 převedený z monochromatického obrazu s prahovou hodnotou 0.66.

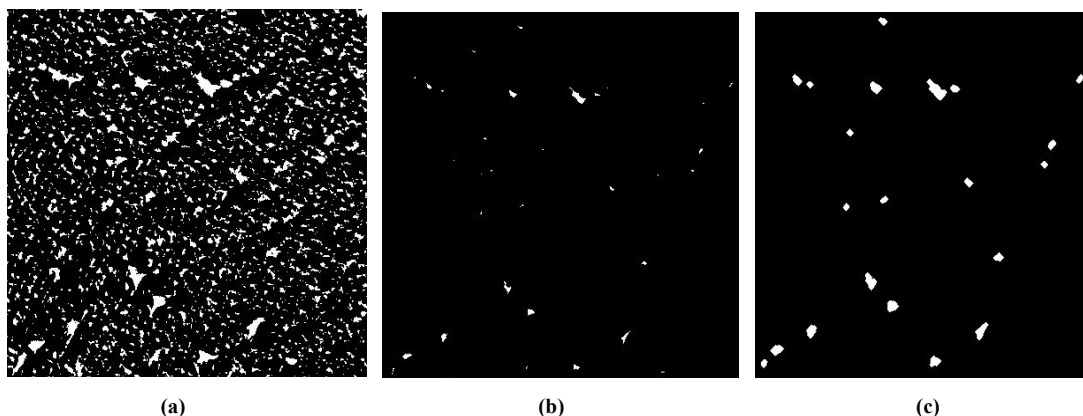


Obrázek 6 (a) Monochromatický obraz testovaného vzorku, (b) binární obraz segmentovaný prahovou hodnotou 0.66.

4.5. Extrakce tvaru žmolků

V binárním obraze jsou již žmolky rozlišeny jako bílé objekty na černém pozadí pomocí segmentace obrazu na základě globálního prahování. Pouhým prahováním ovšem nedostaneme pouze žmolky, ale i další menší objekty jako šum a vazné body. Pro určení přesnějšího tvaru žmolků se používají jednotlivé morfologické operace. Většina morfologických operací je založena na úpravě obrazu pomocí strukturního elementu. Velikost a tvar strukturního elementu ovlivňuje výsledný tvar objektů v obraze. V práci byl použit strukturní element typu *diamond* o velikosti 5 pixelů. Použitím morfologických operací jako jsou eroze a dilatace bylo možné velmi přesně odfiltrovat šumy v obraze a docílit přesnějšího

tvaru a velikosti žmolků. Na obrázku 7 jsou znázorněny binární obrazy (a) po globálním prahování, (b) po aplikaci eroze a (c) po dilataci obrazu [8].

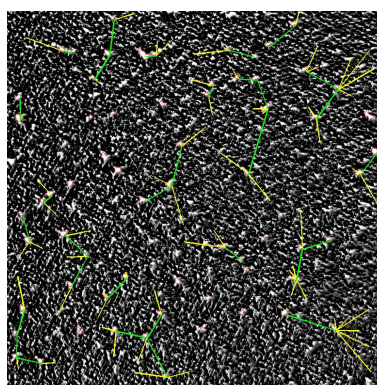


Obrázek 7 (a) Binární obraz vzorku A1 po prahování, (b) obraz vzorku A1 po aplikaci eroze, (c) obraz vzorku A1 po aplikaci dilatace.

4.6. Charakteristiky žmolkovitosti

Pro objektivní hodnocení žmolkovitosti textilií bylo zapotřebí získat charakteristiky žmolkovitosti, mezi něž patří počet žmolků, jejich velikost, hustota a jejich kontrast. Všechny jmenované charakteristiky lze změřit velmi přesně pomocí nástrojů technik zpracování obrazu v programu MATLAB. Kontrast žmolku k jeho okolí se počítá odečtením binárního obrazu od dilatovaného binárního obrazu s rozšířenými žmolky, kdy v obraze zůstává jen okolí žmolku. Tento obraz s okolím žmolků se vynásobí monochromatickým obrazem pro získání původních hodnot jasu. První jednoduše definovaná hustota D_1 je počet žmolků na plochu obrazu. Na obrázku 8 (b) je znázorněn obraz vzorku A1, kde je znázorněna hustota žmolkovitosti D_2 , která na základě náhodně generovaných bodů vyhledá nejbližší žmolek, a od něj druhý nejbližší, a je dána vztahem (1), kde n je počet žmolků, r_i je poloměr od náhodně generovaného bodu ke žmolku a x_i je poloměr od žmolku k jeho nejbližšímu sousedu.

$$D_2 = \frac{\sqrt{2n}}{\pi \sqrt{\sum(r_i^2) \sum(x_i^2)}} \quad (1)$$



Obrázek 8 Obraz vzorku A1 se zakreslenými detaily k hustotě D_2 .

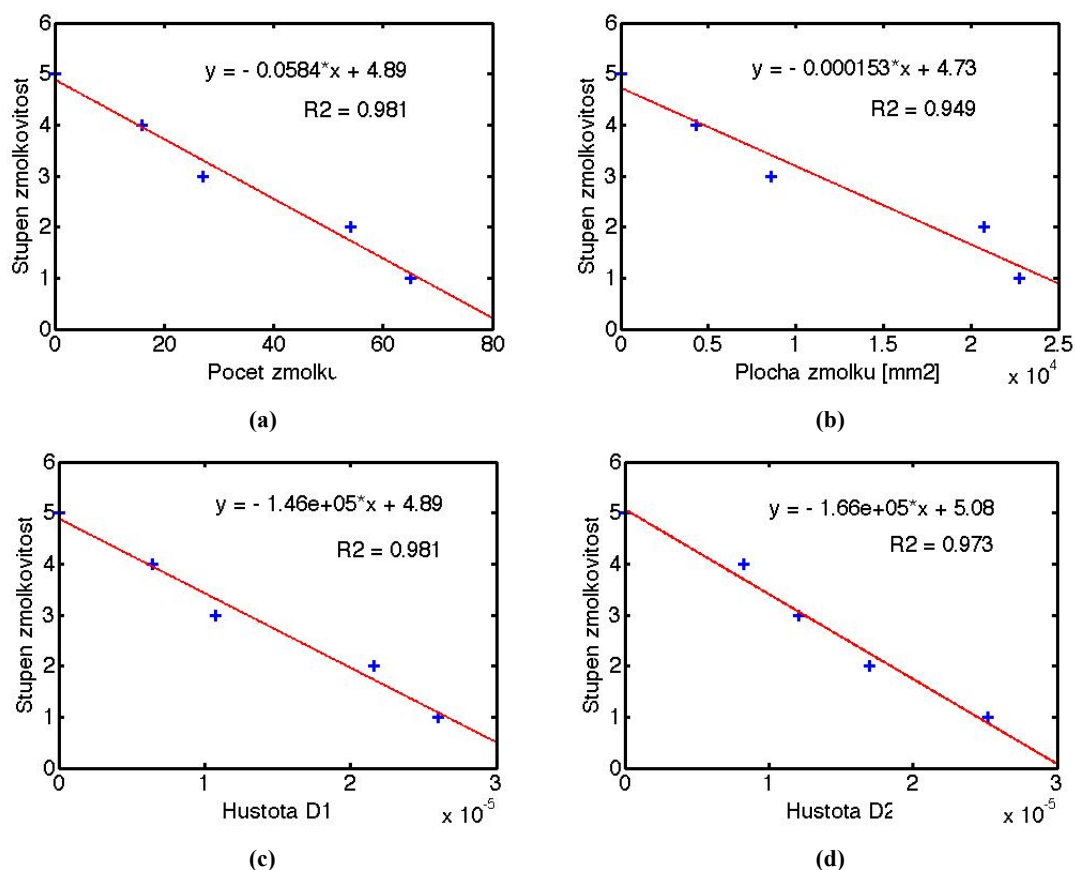
4.7. Vyhodnocení stupně žmolkovitosti

Ze zjištěných charakteristik žmolkovitosti bylo nutné zjistit jejich závislost na stupni žmolkovitosti, proto byly vytvořeny sady pěti vzorků v celé škále žmolkovitosti. Pouze čtyři charakteristiky žmolkovitosti vykazovaly vzestupnou závislost na stupních žmolkovitosti a

vysoké koeficienty determinace. Mezi tyto charakteristiky patřily počet žmolků, celková plocha žmolků, hustota žmolokovitosti D_1 a hustota žmolokovitosti D_2 . Na obrázku 9 jsou graficky znázorněny závislosti daných charakteristik na stupni žmolokovitosti pro sadu A, která byla zvolena jako reprezentativní pro vzorky z přístroje Martindale. Rovnice lineárních závislostí byly použity ke stanovení stupně žmolokovitosti pro dané charakteristiky. Výsledný stupeň žmolokovitosti byl průměrem výsledků čtyř rovnic. Tabulka 2 obsahuje hodnoty všech měřených charakteristik pro vzorky sady A.

Tabulka 2 Naměřené charakteristiky žmolokovitosti pro sadu A.

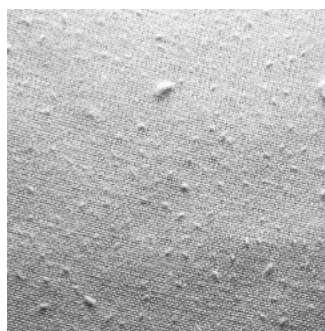
Sada A	Počet žmolků	Plocha žmolků [mm ²]						Obvod žmolků [mm]			Hustota žmolokovitosti		Kontrast G	Kruhovitosť C
		S Max	S Min	\bar{S}	σ	$\sum S$	$\frac{S_z}{S_c}$	\bar{O}	Max	Min	D_1	D_2		
A1	65	2.35	0.36	0.79	0.37	51.10	0.909	3.47	7.39	2.16	0.012	0.013	1.831	0.812
A2	54	2.58	0.41	0.86	0.46	46.57	0.828	3.69	8.55	2.40	0.010	0.012	2.053	0.798
A3	27	1.54	0.36	0.71	0.35	19.30	0.343	3.31	5.47	2.20	0.005	0.006	1.914	0.811
A4	16	1.47	0.44	0.61	0.25	9.70	0.173	3.04	5.86	2.46	0.003	0.004	1.878	0.832
A5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0



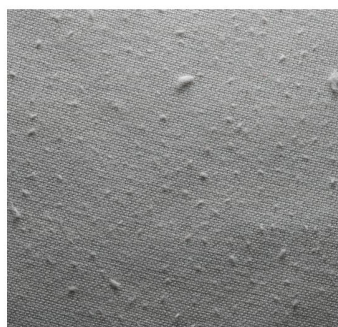
Obrázek 9 Grafy vynesných charakteristik proti stupni žmolokovitosti a jejich regresní přímky pro sadu A - Martindale, (a) počet žmolků, (b) celková plocha žmolků, (c) hustota D_1 , (d) hustota D_2 .

5. Ukázka postupu obrazové analýzy

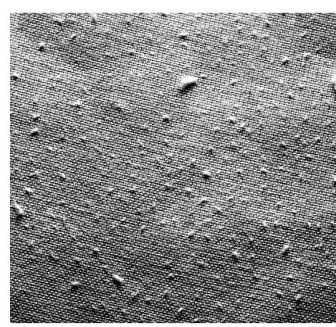
Vyvinutý algoritmus byl aplikován na různé textilie lišící se materiálem, barvou a vzorem. Na obrázku 10 je graficky zpracován postup pro objektivní hodnocení žmolokovitosti dle vyvinutého algoritmu pro jednobarevný vzorek D1. Na obrázku 11 je pro porovnání identicky zpracován vícebarevný vzorek C1. Jednotlivé obrazy jdou chronologicky po sobě přesně tak, jak byly zpracovávány a jak byly popsány v této práci.



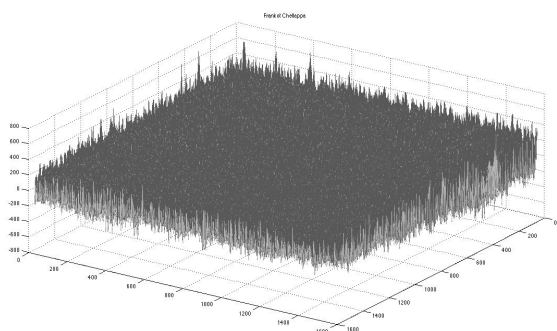
(a)



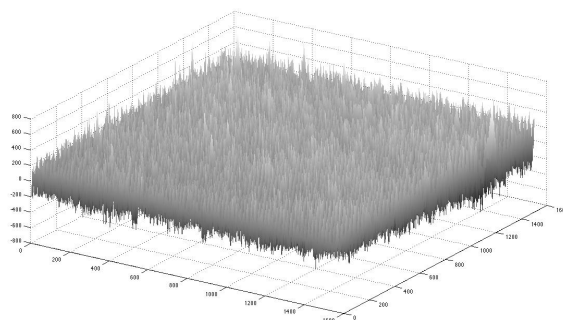
(b)



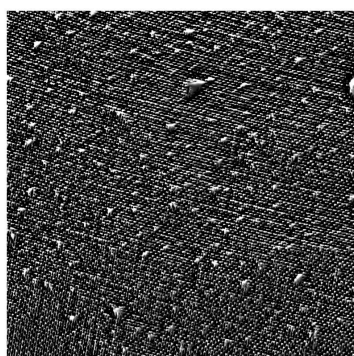
(c)



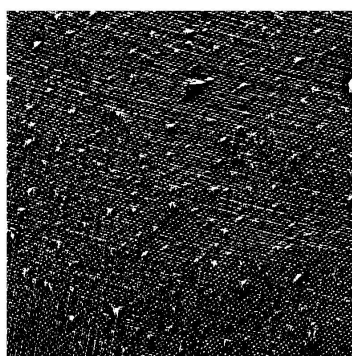
(d)



(e)



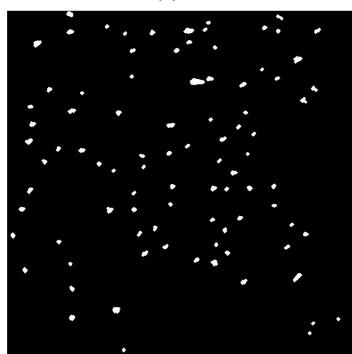
(f)



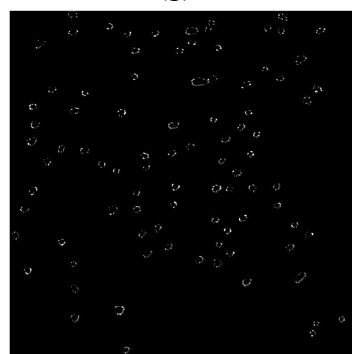
(g)



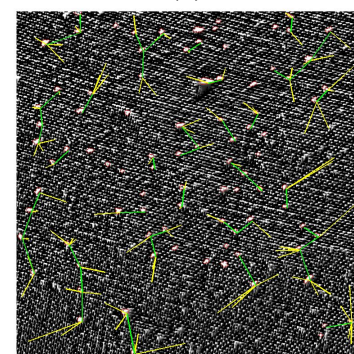
(h)



(i)

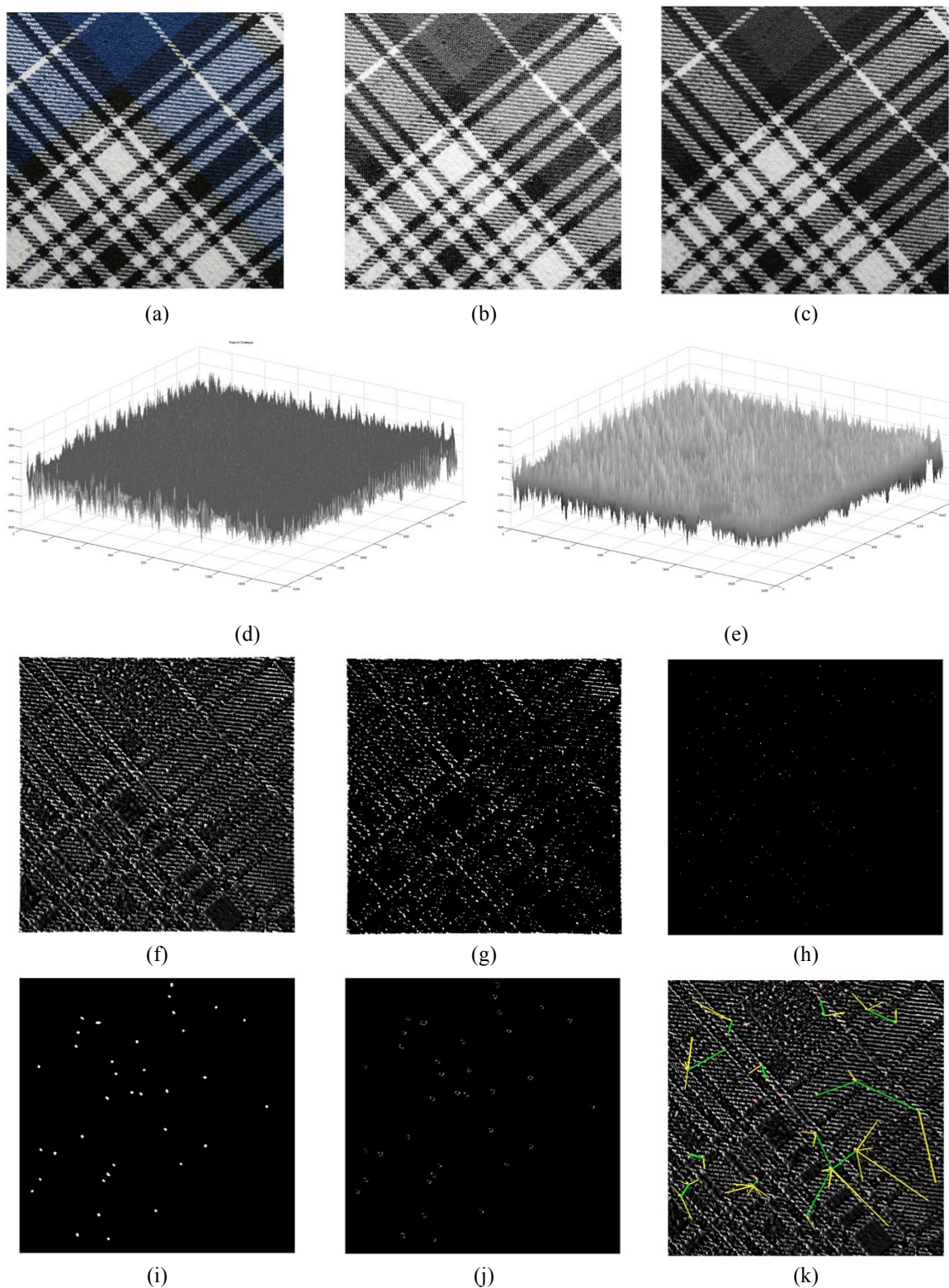


(j)



(k)

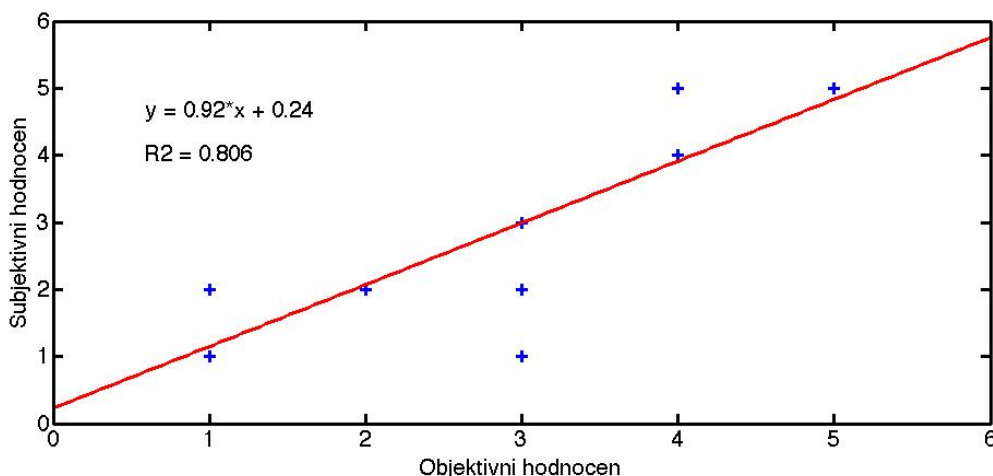
Obrázek 10 Obrazová analýza vzorku D1, (a) monochromatický obraz, (b) monochromatický obraz po jasové korekci, (c) Frankot – Chellapa, (d) úprava Gaussovým filtrem, (e) monochromatický obraz po 3D rekonstrukci povrchu, (f) binární obraz po globálním prahování, (g) binární obraz po erozi, (h) binární obraz po dilataci, (i) binární obraz po finální úpravě, (j) oříznuté objekty v obraze pro zjištění kontrastu, (k) obraz s vynásobenými hodnotami okolí žmolků, (l) detekované žmolky se zobrazením postupu výpočtu hustoty D_2 v obraze.



Obrázek 11 Obrazová analýza vzorku C1, (a) monochromatický obraz, (b) monochromatický obraz po jasové korekci, (c) Frankot – Chellapa, (d) úprava Gaussovým filtrem, (e) monochromatický obraz po 3D rekonstrukci povrchu, (f) binární obraz po globálním prahování, (g) binární obraz po erozi, (h) binární obraz po dilataci, (i) binární obraz po finální úpravě, (j) oříznuté objekty v obraze pro zjištění kontrastu, (k) obraz s vynásobenými hodnotami okolí žmolků, (l) detekované žmolky se zobrazením postupu výpočtu hustoty D_2 v obraze.

6. Hodnocení výsledků objektivní metody

Výsledky experimentu vykazují velmi vysokou shodu objektivního hodnocení žmolkovitosti se subjektivním hodnocením v případě jednobarevných textilií. V případě vzorovaných materiálů je zde ještě rezerva pro zlepšení. Zejména velké kontrasty barev v rámci vzorku vykazují určité nepřesnosti na základě zhoršené segmentace vzorku. Na obrázku 12 je graficky znázorněno porovnání objektivního a subjektivního hodnocení pro všechny vzorky testované na přístroji Martindale.



Obrázek 12 Graf porovnání objektivního a subjektivního hodnocení pro všechny vzorky z přístroje Martindale.

7. Závěr

V práci se testovala efektivita metody gradientních polí pro 3D rekonstrukce povrchu textilií. Pro detekci žmolků byly použity techniky zpracování obrazu v programu MATLAB. Z výsledků vyplývá, že tato metoda vykazuje výrazně lepší výsledky detekce žmolků nezávislých na druhu vazby. Vytvořený algoritmus aplikovaný na jednobarevné vzorky dosahuje výrazně přesnější detekce žmolků oproti běžné detekci v obrazové analýze. U barevných a vzorovaných vzorků dochází k horší segmentaci žmolků, která je ovlivněna zejména kontrastem dvou barev a vzorem materiálu. Metodu lze bez problémů aplikovat na jednobarevné materiály, ale u vícebarevných je stále prostor pro budoucí zkoumání.

Literatura

- [1] Semnani D., Ghayoor H.: Detecting and Measuring Fabric Pills Using Digital Image Analysis. *Engineering and Technology*. 2009, Vol. 49, s. 897-900
- [2] Xin, B.; Hu, J.: Objective Evaluation of Fabric Pilling Using Image Analysis Techniques. *Textile Research Journal*. December 2002, Vol. 72 (12), s. 1057- 1064.
- [3] Xiaojun, L., Huabing, H., Yushu, L., Hong, Z.: The Evaluation System of Fabric Pilling Based on Image Processing Technique, *Institute of Electrical and Electronics Engineers*, 2009.
- [4] Xu, B., Yu, W., Wang, R.: Stereovision for Three – Dimensional Measurements of Fabric Pilling. *Textile Res J*. 81 (20), s. 2168 – 2179, 2011.
- [5] Agrawal, A., Chellappa, R.: An Algebraic Approach to Surface Reconstruction from Gradient Fields. *8th European Conference on Computer Vision*. Vol. 1, s. 174-181, USA, 2005.
- [6] Agrawal, A., Raskar, R., Chellappa, R.: What is the Range of Surface Reconstructions from a Gradient Field? *9th European Conference on Computer Vision*. Vol. 2, s. 578-591, Austria, 2006.
- [7] Frankot, R. T., Chellappa, R.: A Method for Enforcing Integrability in Shape from Shading Algorithms, *IEEE Transactions on pattern analysis and machine intelligence*, Vol. 10, No. 4, July 1988.
- [8] Gonzales, R.C., Wood, R.E.: Digital Image Processing. 2nd edition, Prentice-Hall, 2002.

VÝVOJ FILTRAČNÍHO MATERIÁLU OBSAHUJÍCÍHO BIODEGRADABILNÍ NANO-VLÁKENNOU MEMBRÁNU PRO VZDUCHOVOU FILTRACI

Jana Kettnerová

Sekce – Textil

Fakulta textilní, 2. Ročník

Studijní program – PRODUKTOVÝ MANAGEMENT

Anotace: Diplomová práce je zaměřena na vývoj biodegradabilního filtru obsahujícího biodegradabilní nano-vlákennou membránu, určeného pro vzduchovou filtraci. V rešeršní části je popsána vzduchová filtrace, výroba nanovlákenných membrán pomocí elektrostatického zvlákňování a použití nanovláken ve vzduchové filtraci. Dále jsou zmíněny výhody použití biodegradabilního polymeru v závislosti na životním prostředí a testy biodegradability takovýchto materiálů. Úkolem experimentální části bylo připravit filtry s různou plošnou hmotností nanovlákenné membrány ze směsi chitosan/polyethylenoxid (CH/PEO), zvlákňovanou na dva různé typy substrátů. Zkoumány byly vlivy plošných hmotností na filtrační efektivitu a na tlakový spád filtru. Na závěr byl proveden test biodegradability vyvinutého filtru.

Klíčová slova: Filtrace, elektrostatické zvlákňování, biodegradabilita, nano-vlákna

1. Úvod

Populace žijící převážně ve městech a v průmyslových oblastech je stále více vystavena ohrožujícím částicím o nano-rozměrech, které se vyskytují v ovzduší. Tyto nanočástice mohou být dvojího původu, vznikají přírodními vlivy nebo je vytváříme my, lidé. K této situaci nejvíce přispívá automobilová doprava a průmysl celkově. Vdechnutí těchto škodlivých látek může u náchylnější populace způsobit různá onemocnění, především onemocnění dýchacích cest. K zabránění proudění těchto rizikových nano-částic do budov se používají různé klimatizační systémy. Součástí těchto systémů jsou vzduchové filtry, jejichž úkolem je tyto částice zachytávat a tím čistit přiváděný i odváděný vzduch. Jsou místa, kde jsou tyto klimatizace nezbytně nutné, jako jsou nemocnice, laboratoře, elektrárny apod. Například v nemocnicích je velice důležité izolovat pacienty od těchto nebezpečných nanočástic, které by při styku s pacientem mohly způsobit vážné komplikace, jako jsou záněty, infekce apod., tím by se prodloužila a hlavně zhoršila pacientova hospitalizace. Viry, bakterie a další škodlivé částice se mohou do těchto zařízení dostat vzduchem nebo na oděvech a částech těla pacientů nebo pracovníků. Na trhu existují filtry, které dokáží tyto částice zachytit, ale jsou vyrobeny ze syntetických materiálů nebo z různě modifikovaných polymerů. Tato diplomová práce je zaměřena na vývoj biodegradabilního filtru, který bude šetrný k životnímu prostředí. Filtr bude možné tzv. vhodit do volné přírody a působením mikroorganismů se rozloží a nebude tvořit odpad. Filtry dostupné na trhu, mají dostačující filtrační efektivitu, ale jsou z materiálů, které je nutné likvidovat spalováním, to přispívá

k vytváření dalších škodlivých nanočástic a tvorbě skleníkového efektu. Cílem práce je odlehčit životnímu prostředí, alespoň v oblasti vzduchové filtrace.

Z výše popsaných důvodů se diplomová práce zabývá vývojem filtračního média, které bude schopné vysoce-účinně odfiltrovat škodlivé nanočástice a zároveň po jeho použití bude lehce ekologicky odbouratelný např. kompostováním. Jako materiál vhodný pro výrobu nanovláknenné membrány byl vybrán polymerní roztok CH/PEO, který byl zvlákněn pomocí elektrostatického zvláknění na dva různé substráty, (i) na netkanou textilii vyrobenou technologií spun-bond (nano-filtr typu spun-bond) a (ii) na vyrobenou netkanou textilii technologií melt-blown (nano-filtr typu melt-blown). Jako surovina pro výrobu melt-blownu byl zvolen biodegradabilní kopolymer připraven ze směsi polyethylentereftalátu a kyseliny mléčné (PET/LA) vyrobený na Vysoké škole chemicko-technologické v Praze. Spojením těchto dvou komponent biodegradabilního melt-blownu a nanovláknenné membrány ze směsi chitosan/PEO a následným procesem výroby, vznikl filtr, který by měl být zcela biodegradabilní. Závěrem experimentu byl zrealizován test biodegradability, kde se ověřilo, zda bude vytvořený filtr schopný rozkladu v přírodě.

1.1. Biodegradabilní polymer

Syntetické polymery nelze biologicky rozložit a tak končí ve spalovnách. Spalování přispívá ke tvorbě skleníkových plynů a uvolňování dalších toxických látek. Syntetické polymery častěji končí na skládkách a tvoří zátěž pro další generace.

Výhodou biodegradabilního polymeru je jeho rozklad působením mikroorganismů. Bakterie, houby a řasy působí na polymer a rozloží ho na oxid uhličitý, vodu, methan a zbytkovou biomasu. Biodegradabilní polymery nezatěžují životní prostředí, neboť netvoří odpad. Jsou tedy recyklovatelné a nejsou toxické. Tyto polymery lze zařadit do obnovitelných zdrojů. Jsou nevyčerpatelné a v budoucnu by mohli nahradit zdroje neobnovitelné. Faktory, které brzdí vývoj biodegradabilních polymerů je jejich vysoká počáteční cena, obtíže při jejich zpracování a nižší mechanické vlastnosti. Proč rozvíjet výzkum těchto polymerů je prostý, jejich výroba je šetrnější k životnímu prostředí. U většiny polymerů není nutné používat organická rozpouštědla, to šetří životní prostředí i snižuje nebezpečí ohrožení pracovníků ve výrobě. Zároveň biomasa, která vzniká při rozkladu, se dále využívá, například jako ekologické palivo [1].

1.2. Nanovláknna ve vzduchové filtraci

Na udržení čistoty ovzduší jsou kladeny vysoké nároky, stále jsou hledány efektivnější filtrační materiály, které jsou schopny zadržet mikročástice, bakterie a viry. Vzduchové filtry čistí vzduch v klimatizačních a větracích zařízeních v průmyslovém odvětví, laboratořích, v domácnostech, ale také na operačních sálech a v nemocnicích. Vzduchové filtry s nanovláknny jsou schopny zachytit více nečistot než běžné vzduchové filtry. Nano-vláknna nebrání průchodu proudícího vzduchu skrz filtr [2]. Pokud se do filtračního substrátu přidá jen malé množství nanovláken, získá se o několik řádů vyšší filtrační efektivnost při současně nižším tlakovém spádu. Díky nano-vláknům získá filtr vysokou pórovitost, ale malou velikost pórů. To brání prostupu mikročásticím skrz filtr [3].

2. Experiment

V první fázi experimentu byl připraven polymerní roztok ze směsi CH/PEO. V další fázi bylo nutné otestovat chování tohoto polymerního roztoku při elektrostatickém zvlákňování a jeho optimální dávkování během zvlákňování z důvodu vyrobení nanovlákněných vrstev o různé plošné hmotnosti. Dalším bodem experimentu bylo elektrostaticky zvláknit biodegradabilní nano-vlákněnou membránu CH/PEO na dva různé substráty. Roztok CH/PEO byl zvlákněn nejdříve na netkanou textilii spun-bond a poté na předem připravený biodegradabilní melt-blown. Byly vytvořeny dva typy filtrů s různými plošnými hmotnostmi nanovlákněné membrány. Dalším krokem bylo otestovat filtrační efektivitu spolu s tlakovým spádem těchto vyrobených filtrů. Na závěr byla otestována jejich biodegradabilita.

2.1 Testování filtračních vlastností zhotovených nanofiltrů pomocí zařízení MFP 1000 HEPA

Pro testování filtračních vlastností jako je - filtrační účinnost a tlakový spád, bylo použito zařízení MFP 1000 HEPA od firmy Palas. Model typu welas® digital 1000. MFP filtrační zkušební zařízení je zařízení, které je sestaveno pro testování plochých filtrů a malých filtračních vložek. Pomocí přístroje se stanoví koncentrace aerosolu v tomto experimentu 1×10^8 částic/m³ (DEHS) a velikost částic, které filtrem procházejí. Tyto údaje poslouží k určení jednoznačné filtrační účinnosti, tlakového spádu a rozsah nejčastěji penetrující velikosti částic (MPPS) filtrů HEPA [4].

Zařízení MFP 1000 HEPA je obsluhováno pomocí počítačových programů PDControl a FTControl. Obsluha musí vložit testovaný filtr do prostoru k tomu určenému a nastavit ředění částic aerosolu, pokud je to nutné. Po zjištění a nastavení optimálních podmínek je celý proces měření řízen automaticky počítačem.

Měření probíhalo ve dvou krocích. Nejprve se provedlo měření bez filtru, kdy se získala – naměřená data počtu a velikosti částic před filtrem. V druhém kroku se vložil filtr do měřícího zařízení a měření proběhlo s testovaným materiálem. V tomto kroku se získala – data naměřená za filtrem. Testovaná plocha filtru byla 100 cm² a typ použitého aerosol byl DEHS. Po provedení několika sérií zkušebních testů, byly pro zhotovení experimentu stanoveny tyto optimální podmínky: Doba měření před filtrem 30s, doba měření za filtrem 60s, rychlost průtoku vzduchu 5 cm/s, celkový průtok vzduchu 30 l/min. Z toho průtok vzduchu pro částice aerosolu byl 2,5 l/min, průtok vzduchu pro filtr: 27,5 l/min.

2.2. Testování biodegradability filtračního materiálu – Kompostovací test v laboratorních podmínkách

Vzorky pro testování biodegradability směsi polymeru CH/PEO byly vytvořeny ve třech formách. Testovala se samotná nano-vlákněná membrána. Dále byly testovány nano-filtry typu melt-blown a poslední typ vzorku byla fólie, která se vytvořila odlitím roztoku do Petriho misky a následným vysušením spolu se zesíťováním vznikla finální fólie.

Každá forma vzorku byla rozdělena na 5 částí s přibližně stejnou hmotností. Každý vzorek byl následně zvážen a hmotnost se zaznamenala do tabulky č. 3. Jednotlivé vzorky byly po zvážení vloženy do silonové punčochy a zavázány. Punčocha plnila tu funkci, kdy držela kousky jednotlivých vzorků pohromadě, a vzorek po vytažení nebyl obalen zeminou a dal se zvážet. Přitom však punčocha nijak nebránila procesu biodegradace ani jej neovlivňovala nebo

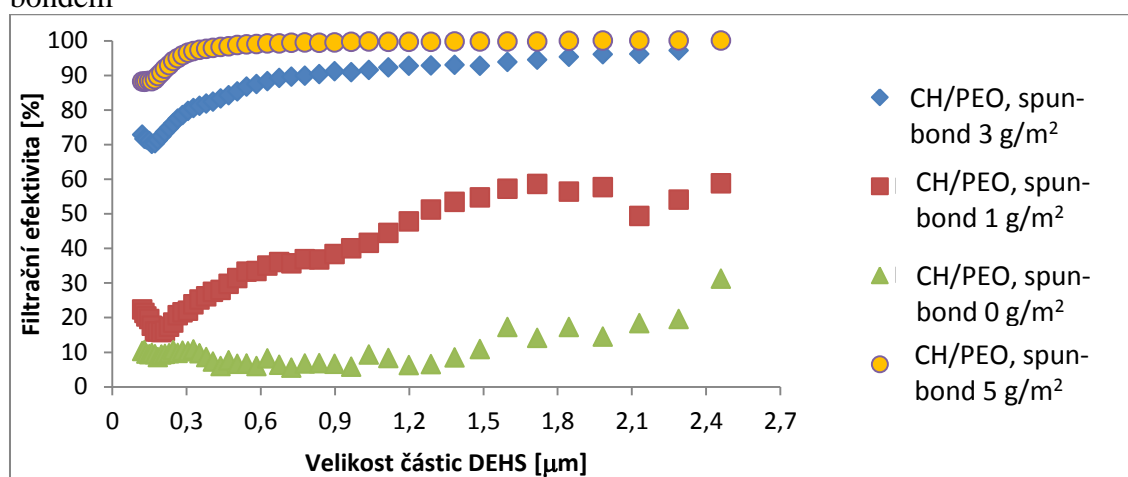
jen minimálně. Vzorky byly řádně označeny, aby se po vytažení z kompostu daly jasně rozlišit. Celkem bylo k zahrabání do zeminy připraveno 15 vzorků.

Kompostovací test byl realizován v laboratoři. Akvárium bylo naplněno kompostem asi do třetiny své výšky. Do akvária s kompostem se vložilo všech 15 vzorků ve stejné hloubce a následně se zasypaly zbytkem zeminy. Kompostovací test probíhal po dobu 14 dní.

2.3. Hodnocení nanofiltrů z hlediska filtračních efektivit a tlakových spádů

2.3.1. Výsledky filtračních efektivit a tlakových spádů nano-filtrů typu spun-bond

Graf 1 Filtrační efektivita filtru tvořeného nano-vláknennou membránou v kombinaci se spun-bondem



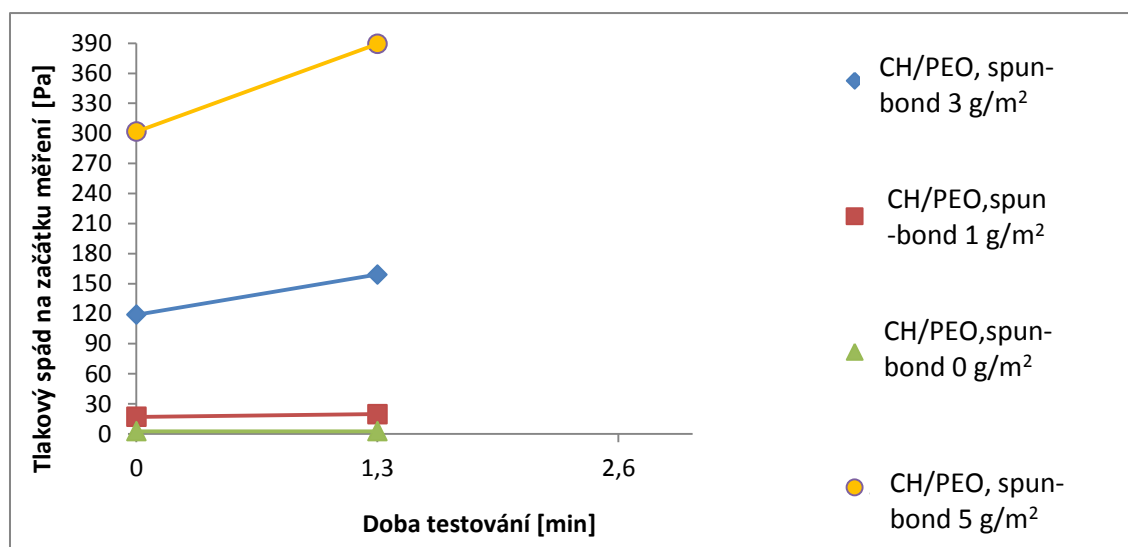
Z grafu 1 je na první pohled zřejmé, že čím je větší plošná hmotnost nanovláknenné membrány, tím se zvyšuje filtrační efektivita, filtr je schopen zachytit více částic. Pro filtr tvořený nano-vláknennou membránou o plošné hmotnosti 5 g/m² byla zjištěna filtrační efektivita velikosti částic 500 nm přibližně 98,7 %. Pro filtr s nano-vláknennou membránou o plošné hmotnosti 3 g/m² dosahovala filtrační efektivita záchytu částic o velikosti 500 nm hodnoty 85,4 %. Z tohoto pohledu je možné tvrdit, že pouhým zvýšením plošné hmotnosti nanovláknenné membrány z 3 na 5 g/m² je možné zvýšit efektivitu filtru o přibližně 13 %.

Daleko vyšších zlepšení účinnosti filtru je možné zaznamenat u filtrů s nižší plošnou hmotností nano-vláknenné membrány. Jako příklad lze uvést filtr s nanovláknennou membránou o plošné hmotnosti 1 g/m², kde filtrační efektivita pro nanočástice o velikosti 500 nm dosahovala hodnoty 31,3 %. V porovnání s filtrem bez nanovláknenné membrány, kde efektivita účinnosti filtru pro nanočástice o velikosti 500 nm dosahovala pouhých 7,6 %. V tomto případě můžeme tvrdit, že pouhý 1 g/m² zlepšil filtrační efektivitu pro průchod nanočástic o velikosti 500 nm až o 24 %.

Tabulka 1 Průměrný tlakový spád na začátku měření a na konci měření pro různé plošné hmotnosti nanovláknenné membrány v kombinaci se spun-bondem.

Plošná hmotnost	0 g/m ²	1 g/m ²	3 g/m ²	5 g/m ²
Tlakový spád na začátku měření [Pa]	2,67	17	119	301,7
Tlakový spád na konci měření [Pa]	2,67	19,7	159	389,3

Graf 2 Růst tlakového spádu během měření. Celková koncentrace částic za 1 minutu měření je 1×10^8 částic/m³.



Při dávkování stejné koncentrace částic je v grafu 2 jasně vidět, že filtr s vyšší plošnou hmotností se za 1 minutu měření zanesl rychleji, než filtry s nižší plošnou hmotností. U filtru s plošnou hmotností 0 g/m² nano-vlákenné membrány je tlakový spád na začátku i na konci měření 2,67 Pa. Z toho lze usuzovat, že spun-bond bez nano-vlákenné membrány zachytí jen minimum nano-částic a proto se jeho tlakový spád na konci měření nezvýšil. Při plošné hmotnosti nanovlákenné membrány 1 g/m² je počáteční tlakový spád zhruba o 14 Pa vyšší než u filtru bez nano-vlákenné membrány. Na konci měření tlakový spád u tohoto filtru vzrostl ze 17 na 19,7 Pa. Podle nepatrného zvýšení tlakového spádu, lze říci, že se filtr ze všech testovaných filtrů zanesl nejméně, tomu by měla odpovídat i jeho životnost, měla by být vyšší než u ostatních filtrů. Filtr by měl částice MPPS o rozměrech 120 nm až 505 nm filtrovat s účinností pouze kolem 20 % jak ukazuje předchozí graf 1. Filtr tedy částice o nano-rozměrech MPPS zachytí s malou účinností, ale výměna za nový filtr bude nutná až za delší dobu. Je schopen dobře plnit svou funkci například v klimatizacích, které jsou určeny pro rodinné domy, kde zachytává částice o rozměrech stovek mikrometrů například saze, pyl a další. Filtr s plošnou hmotností 5 g/m² nano-vlákenné membrány, což je nejvyšší plošná hmotnost z testovaných filtrů, jehož tlakový spád na začátku měření byl 301,7 Pa a za 1 minutu měření extrémně vzrostl na 389,3 Pa je schopen zachytit MPPS částice o rozměrech 120 nm až 505 nm s 95% účinností. Z hodnoty tlakového spádu, která během experimentu narostla nejvíce ze všech, lze říci, že filtr je schopen filtrovat částice MPPS pouze po omezenou dobu, má krátkou životnost, a je nutné jej brzy vyměnit. Tyto údaje naznačují oblast využití takového filtru. Může být vhodný do nemocnic, kde je důležité odfiltrovat částice o nano-rozměrech, jako jsou bakterie a viry s tím, že filtr poslouží jen určitou dobu, například po dobu provedení operace. Důležité je vždy vědět, na co má být filtr použit a jaké má plnit funkce. Volba filtračního média a parametrů filtrace závisí na účelu použití.

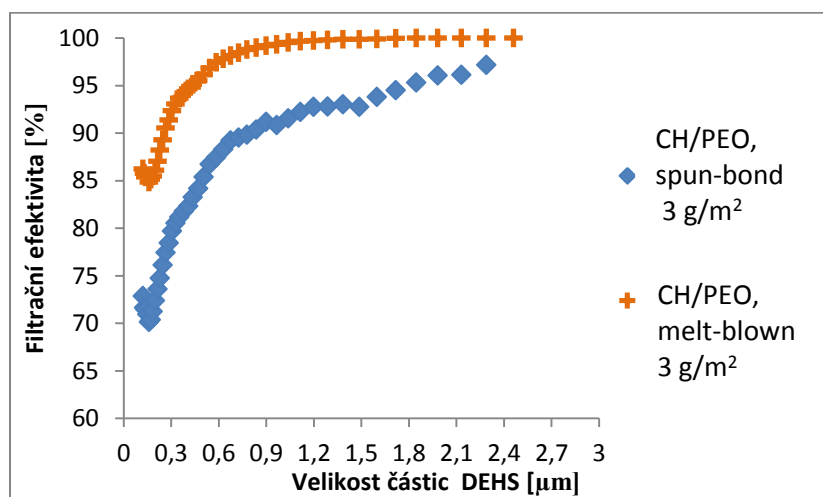
2.3.2. Výsledky filtračních efektivit a tlakových spádů nano-filtrů typu melt-blown

Z předchozích měření bylo patrné, že plošná hmotnost ovlivňuje efektivitu filtru do jisté míry. Tzn., že při vysokých plošných hmotnostech nanovlákněné membrány se filtrační efektivita zvyšuje už jen mírně. Z toho důvodu se v dalším experimentu zvolila pouze jedna plošná hmotnost nanovlákněné membrány, a to 3 g/m^2 , která byla v předchozím měření zvolena jako optimální v porovnání tlakového spádu a filtrační efektivitu filtru.

Tabulka 2 Průměrný tlakový spád na začátku měření a na konci měření pro plošnou hmotnost 3 g/m^2 .

Plošná hmotnost	3 g/m^2
Tlakový spád na začátku měření [Pa]	171
Tlakový spád na konci měření [Pa]	204

Graf 3 Porovnání filtrační účinnosti nano-filtru spun-bond a nano-filtru melt-blown při stejné plošné hmotnosti nanovlákněné membrány

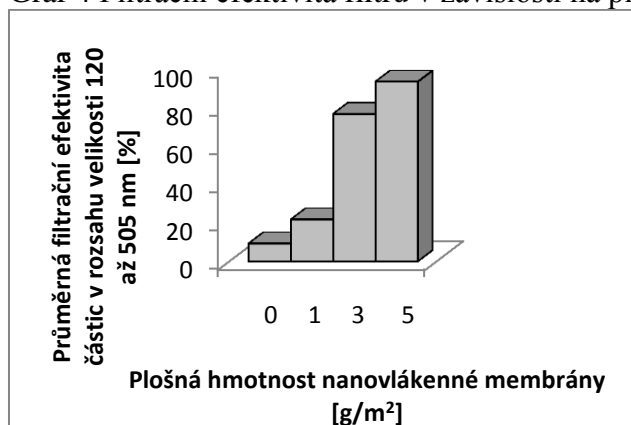


V grafu 3 je vidět lepší filtrační účinnost nano-filtru s podkladovým substrátem melt-blown při stejné plošné hmotnosti nanovlákněné membrány jako u filtru typu spun-bond. Filtrační efektivita je vztažena na velikost částic. Účinnost filtrů lze nejlépe porovnat při jedné velikosti částic. Částice velikosti 407 nm zachytí filtr typu melt-blown cca s 95 % účinností, zatímco filtr typu spun-bond zachytí částice téže velikosti s účinností 82 %. Z tohoto pohledu je zřejmé, že i typ podkladového materiálu má velký vliv na filtrační efektivitu výsledného filtru. V tomto případě lze tvrdit, že pouhá změna podkladového materiálu zlepšila efektivitu filtru o 13% pro nano-částice o velikosti 407nm. Zatímco tlakový spád na začátku měření byl v porovnání filtru vyrobeného ze spun-bondu nebo melt-blownu hodně podobný, a to 119 a 171 Pa.

2.3.3. Vliv plošné hmotnosti na filtrační efektivitu nano-filtru typu spun-bond

Závislost filtrační efektivitu na plošné hmotnosti nano-vlákněné membrány je znázorněna na následujícím grafu.

Graf 4 Filtrační efektivita filtru v závislosti na plošné hmotnosti nano-vlákenné membrány

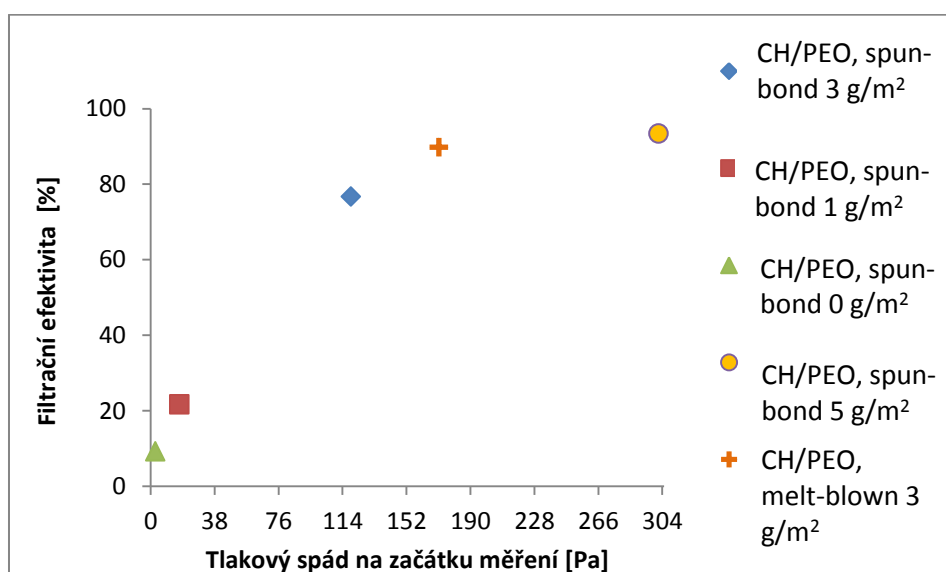


Graf 4 znázorňuje vliv plošné hmotnosti na filtrační efektivitu částic o velikosti 120 až 505 nm. Je zřejmé, že filtr s vyšší plošnou hmotností nanovlákenné membrány zachytává více částic. Velký rozdíl ve filtrační účinnosti je u plošné hmotnosti 1 g/m² a 3 g/m². Přičemž filtrační účinnost u plošné hmotnosti 5 g/m² se tak významně neliší od hodnot naměřených u nano-vlákenných membrán o plošné hmotnosti 3 g/m².

2.3.4. Vliv plošné hmotnosti na tlakový spád nano-filtru typu spun-bond a melt-blown

Z předchozí tabulky 1 je zřejmé, že s rostoucí plošnou hmotností nano-vlákenné membrány roste i tlakový spád filtru. V následujícím grafu je znázorněna průměrná efektivita pro zachyt částic velikosti v rozsahu 120 až 505 nm a tlakový spád na začátku měření filtrů o různých plošných hmotnostech nano-vlákenné membrány.

Graf 5 Průměrná filtrační efektivitu a tlakový spád na začátku měření při zachycení částic v rozsahu velikostí 120 až 505 nm.



Žádoucí pro filtraci je použit filtr s co nejvyšší filtrační efektivitou při co nejnižším tlakovém spádu. V tom případě se očekává od grafu závislosti tlakového spádu na filtrační efektivitě, aby „ideální“ filtr byl umístěn co nejvíce v levém horním rohu tohoto grafu. Body umístěné co nejvíce nahoře v grafu 5 patří filtru typu spun-bond s plošnou hmotností nano-vlákněné membrány 5 g/m² a filtru typu melt-blown s plošnou hmotností nano-vlákněné membrány 3 g/m². U prvního filtru se filtrační efektivita pohybuje nad 90 % a u druhého je filtrační efektivita těsně k 90 %. Tyto filtry jsou v grafu umístěny nejvíce nahoře, což tedy značí vysoký záchyt částic. Na druhou stranu jsou ze všech testovaných filtrů umístěny nejvíce vpravo, to znamená vysoký počáteční tlakový spád. Bod, který reprezentuje filtr typu spun-bond s plošnou hmotností 3 g/m², je umístěn více vlevo, což udává lepší tedy nižší tlakový spád, ale není umístěn nejvýše, takže jeho filtrační efektivita nedosahuje tak vysokých hodnot. Zbylé dva body v grafu, které patří filtrům typu spun-bond s žádnou nano-vlákněnou membránou a nejnižší plošnou hmotností nano-vlákněné membrány 1 g/m² jsou umístěny nejvíce vlevo, ze všech testovaných filtrů. Tudíž mají nejnižší počáteční tlakový spád, ale také jsou umístěny nejnižší na ose y, na které se zaznamenává filtrační efektivita.

2.4. Biodegradabilní test polymeru CH/PEO

Postup biodegradabilního testu je popsán výše v kapitole 2.2. Z akvária byly po 14 dnech vytaženy všechny vzorky. Vzorky byly očištěny od zeminy, která na nich ulpěla a vysušeny po dobu 3 hodiny při 50 °C. Dále byly postupně zváženy a jejich hmotnosti byly zapsány do tabulky 3, do sloupce Hmotnost po 14 dnech.

Tabulka č. 3 Hmotnosti vzorků před testem a po testu biodegradace

Vzorek	Hmotnost testovaného vzorku před kompostovacím experimentem [g]			Hmotnost testovaného vzorku po 14 dnech [g]		
	Nanovlák. Membrána Chitosan/PEO	Fólie	Nanofiltr typu meltblown, Chitosan/PEO 3g/m ²	Nanovlák. Membrána Chitosan/PEO	Fólie	Nanofiltr typu meltblown, Chitosan/PEO 3g/m ²
1	0,096	0,699	0,165	0,075	0,562	0,163
2	0,11	0,756	0,148	0,083	0,618	0,148
3	0,119	0,773	0,123	0,085	0,620	0,121
4	0,097	0,705	0,143	0,070	0,570	0,140
5	0,118	0,719	0,129	0,084	0,575	0,126

Po celou dobu kompostovacího testu, tj. po dobu 14 dní byla každý den zaznamenávána teplota a vlhkost v akváriu, která dosahovala průměrně 23 °C a 98 %.

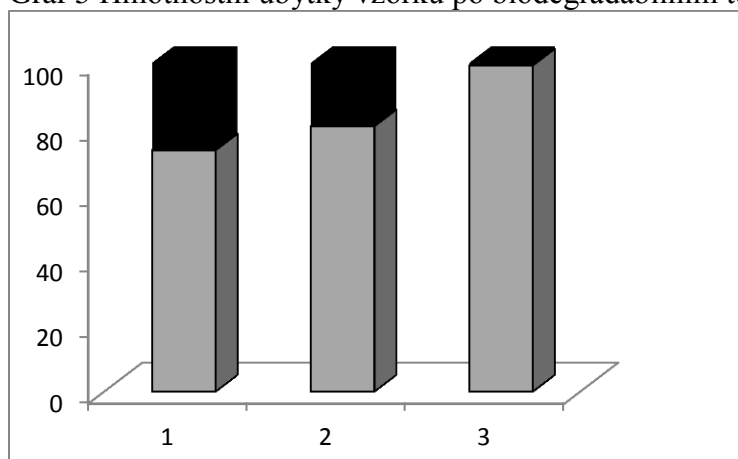
Úbytek hmotnosti byl spočítán podle vzorce: $(1 - \frac{\text{hmotnost vzorku po testu}}{\text{hmotnost vzorku před testem}}) * 100$ (1)

Výsledky úbytku hmotnosti pro vzorky vytažené po 14 dnech byly zaznamenány do následující tabulky 4.

Tabulka 4 Úbytky hmotností jednotlivých vzorků vytažených z kompostu po 14 dnech

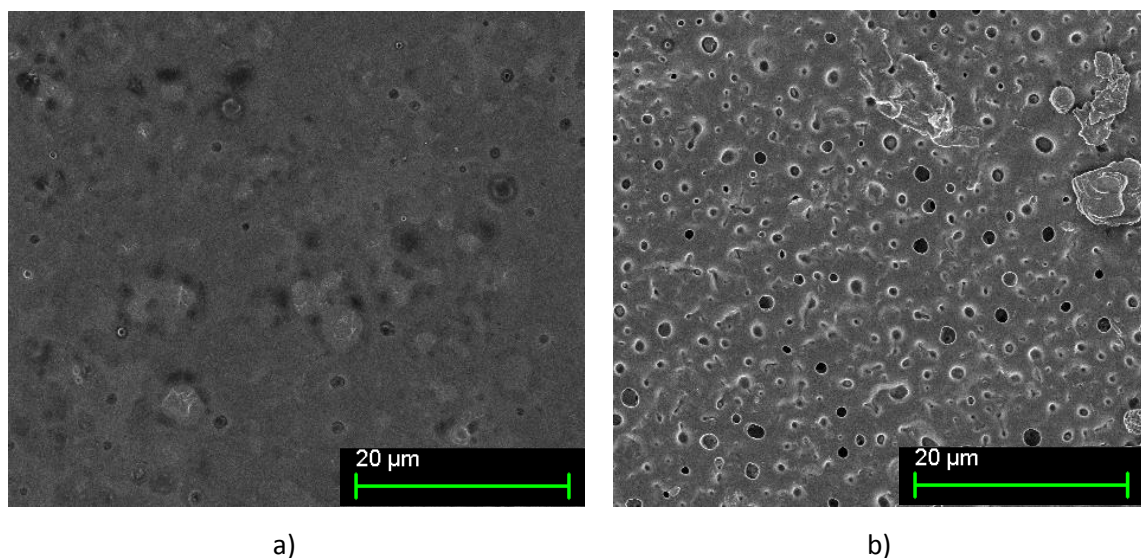
Vzorek	Úbytek hmotnosti vzorků vytažených z kompostu po 14 dnech [%]		
	Nanovlák. Membrána Chitosan/PEO	Fólie	Nanofiltr typu meltblown, Chitosan/PEO 3g/m ²
1	22	19,6	1,2
2	24,5	18,2	0,7
3	28,6	19,8	1,6
4	27,8	19	0,3
5	30	20	0,18
Průměr	26,58	19,3	0,796

Graf 5 Hmotnostní úbytky vzorků po biodegradabilním testu

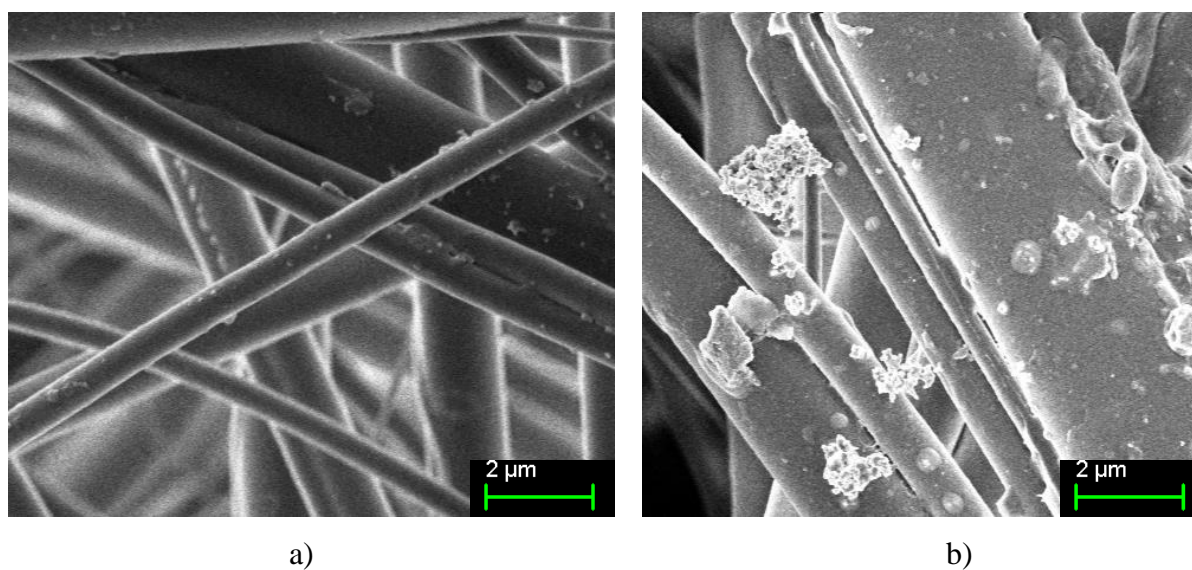


V grafu 5 je znázorněna průměrná hmotnost tří forem polymeru a to, nano-vlákenné vrstvy, fólie a nano-filtru typu melt-blown. Hmotnost před testem je pro všechny vzorky 100 %. Černou barvou je naznačen procentuální úbytek materiálu po biodegradabilním testu. Nejvyšší hmotnostní úbytek po testu měla nano-vlákenná membrána, která je v grafu 5 zaznamenána ve sloupci číslo 1, během 14 dní z její hmotnosti průměrně ubylo necelých 27 %. Takto velký úbytek hmotnosti je dán velkým měrným povrchem nano-vlákenné vrstvy a velkou pórovitostí, což zaručí vysokou prodyšnost. Nano-vlákenná membrána je pak velice dobře přístupná okolním vlivům jako jsou teplota, vlhkost a mikroorganismy. Sloupec číslo 2 ukazuje hmotnostní úbytek vytvořené fólie, který je 19 %. Nejnižší hmotnostní úbytek má filtr typu melt-blown s nano-vlákennou membránou, v tomto případě degradovaly najednou dvě složky, biodegradabilní netkaná textilie a nano-vlákenná membrána. Tento vzorek byl tvořen dvěma druhy biodegradabilního materiálu a to CH/PEO nano-vlákenné vrstvy a PET/LA melt-blownový podklad. Jelikož polymer PET/LA degraduje daleko pomaleji, než polymerní směs CH/PEO, lze předpokládat, že tím byla způsobena pomalejší biodegradace finálního filtru. Důvodem je, že nano-vlákenná vrstva tvoří pouze 13 % z celkové hmotnosti filtru. Důležité je, že u každého vzorku je vidět úbytek hmotnosti před a po testu.

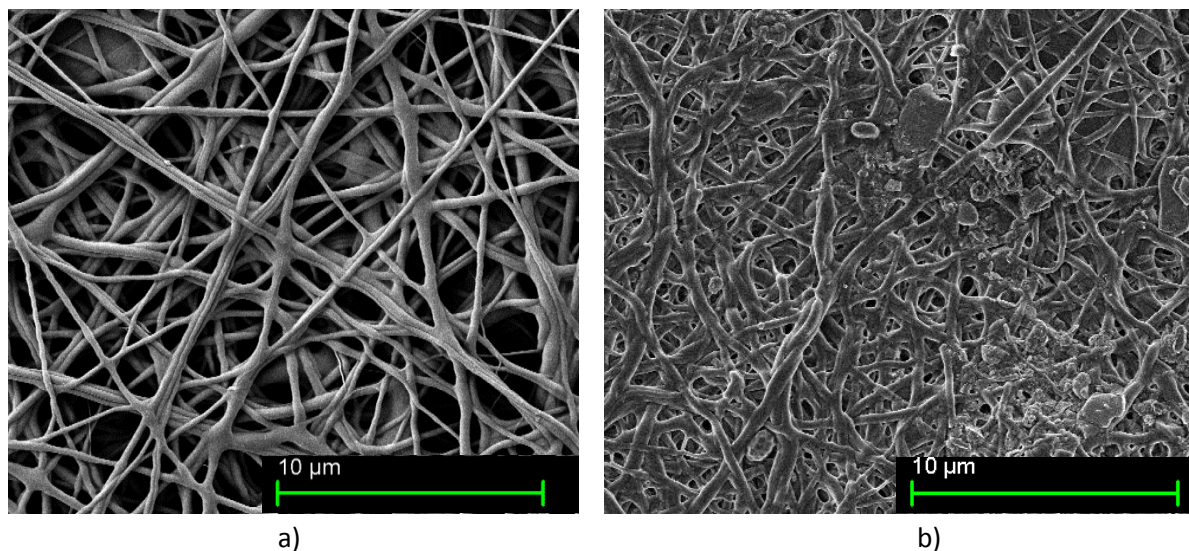
2.4.1. Snímky SEM nano-filtrů před a po testech biodegradace



Obrázek 1: SEM snímky fólie CH/PEO: a) Fólie před biodegradabilním testem; b) Fólie po biodegradabilním testu, po 14 dnech



Obrázek 2: SEM snímky melt-blown filtru s nano-vláknennou membránou CH/PEO
a) Melt-blown filtr s nanovláknennou membránou před biodegradabilním testem
b) Melt-blown filtr s nanovláknennou membránou po biodegradabilním testu, po 14 dnech



Obrázek 3: SEM snímky nanovlákněné membrány CH/PEO o plošné hmotnosti 3 g/m^2
 a) Nano-vlákněná membrána před biodegradabilním testem
 b) Nano-vlákněná membrána po biodegradabilním testu, po 14 dnech

Na obrázku 1 na snímku fólie po degradaci jsou jasně viditelné trhliny ve fólii. To naznačuje započatou degradaci. Na obrázku 2 na snímku před degradací jsou vidět hladká vlákna, na snímku po degradaci jsou vlákna částečně deformována a nabobtnávají. Na obrázku 3 na snímku po degradaci je vidět nano-vlákněná membrána, která vlivem podmínek, které na ni působily během biodegradabilního testu nabobtnala a více méně se slila do fólie. Tento jev lze přiřadit počátku degradace, která byla prokázána biodegradabilním testem.

Závěr

Závěrem lze říci, že se podařilo vytvořit biodegradabilní nano-filtr pro vzduchovou filtraci, který je schopen konkurovat v záchytu částic komerčním filtrům. Biodegradabilním testem, který byl realizován na závěr experimentu, se ověřila biodegradabilita nano-vlákněné membrány z CH/PEO i výsledného filtru v kombinaci s melt-blownem.

Literatura

- [1] KROISOVÁ, Dora. *Biodegradovatelné polymery - úvod do problematiky*. Vyd. 1. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2009, 78 s. ISBN 978-80-7372-468-9.
- [2] Vzduchové filtry s nanovláknem. *NAFIGATE: nanofibers gateway* [online]. [cit. 2012-12-10]. Dostupné z WWW: <<http://www.nafigate.com/cs/section/portal/app/portal-article/detail/4420-vzduchove-filtry-s-nanovlakny>>.
- [3] Air Filtration: Filtrace vzduchu. *Elmarco: nano for life* [online]. 2004 [cit. 2012-10-03]. Dostupné z WWW: <<http://www.elmarco.cz/aplikace/filtrace-vzduchu/>>.
- [4] MFP 1000 HEPA I Modular Filter Test System. *Palas: Aerosol Technologie Partikel Technologie* [online]. [cit. 2013-03-28]. Dostupné z WWW: <<http://www.palas.de/en/product/mfp>>.

NÁVRH POSTUPU VÝROBY RECYKLOVATELNÝCH UMĚLÝCH TRÁVNÍKŮ

Bc. Kopeček Jan

Sekce - TEXTIL,

Fakulta textilní, 2. ročník

Magisterský studijní program – TEXTILNÍ MATERIÁLOVÉ INŽENÝRSTVÍ

Abstrakt: Tato práce se zabývá recyklovatelností umělých trávníků. Nejdříve popisuje technologie výroby a materiály tohoto výrobků. V experimentální části se nachází výsledky testování a soustředuje se na optimalizaci výroby trávniku šetrnějšího k životnímu prostředí. Úspěšnou inovací výroby v oblasti plné recyklovatelnosti výrobku by JUTA a.s. získala prvenství a náskok v konkurenčním boji výrobců trávníků.

Klíčová slova: umělý trávník, polymery, netkaná textilie, recyklace, disperze

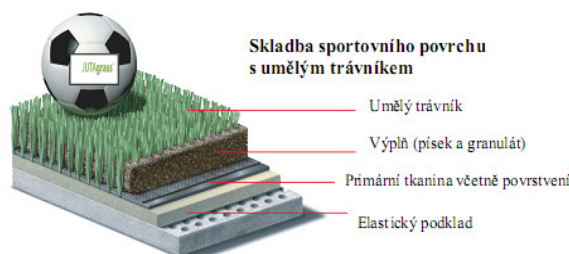
1 Úvod

Na katedře netkaných textilií Technické univerzity v Liberci se již po desítky let zbývají inovacemi textilních výrobků. Spolupráce s českými podniky má dlouhou tradici a v rámci prohloubení vědomostí studentů katedra organizuje pravidelné odborné exkurze do textilních podniků po celé České republice. Výrobní ředitelé a obchodní manažeři studentům osobně předávají zkušenosti z výroby včetně odborné diskuze. V JUTĚ ve Dvoře Králové nad Labem, přesněji v závodě 15, se rozjela před třemi roky velkovýroba umělých trávnickových povrchů. Dnes v portfoliu firmy nabízí více než deset variant a stále přidává nové výrobky. Ve snaze o udržení stálých zákazníků a osvojení nových trhů JUTA investuje do nových technologií. Jelikož moderní zákazník dává důraz více i na ekologii, zaměřil se vývoj směrem k plné recyklovatelnosti výrobků. Téma práce je: Návrh postupu výroby recyklovatelných umělých trávníků. Cílem práce je nalezení optimálního ukotvení vlasu trávniku nahrazením aktuální pryžové technologie za recyklovatelný materiál. V případě úspěšné aplikace nového materiálu je velká šance na výrobu šetrnějšího výrobku k životnímu prostředí. V září minulého roku jsem absolvoval v provozu podniku týdenní praxi se záměrem osvojit si technologie výrobního procesu a poznat pozitivní i stinné stránky výroby.

2 Základní charakteristika syntetického trávniku

První technologií výroby syntetického trávniku se zabývali vědci na začátku druhé poloviny 20. století ve Spojených státech amerických pouhou inovací klasické výroby kobereců. Náhradou přírodního trávniku syntetickým došlo k ulehčení péče o užitnou plochu a ušetření finančních nákladů na zavlažování. Odbyt byl převážně v jižních oblastech USA, kde je roční

teplota výrazně vyšší než na severu země. Postupem času se tento povrch prosadil na sportoviště a před administrativní budovy. Do polypropylenové tkaniny (PP) byly všity pásky též PP, ale ty byly kvůli nízké mechanické odolnosti vytlačeny vlákny polyetylenovými (PE). První trávníky byly tedy technologicky jednoduché. Dnes je typickým zástupcem moderních umělých trávníků kopaná a například v pozemním hokeji je syntetický trávník nezbytnou součástí profesionálního hřiště. Zobrazení skladby trávníku je na obrázku 1, který pochází z technické dokumentace JUTY [1].



Obr. 1 Znárodnění složení umělého trávníku [1]

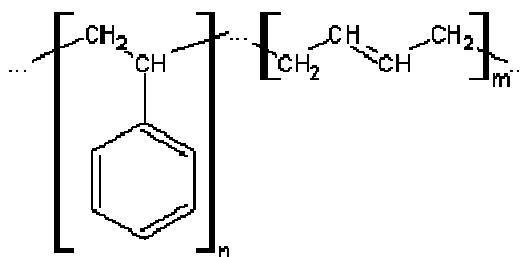
Aktuálně se PP trávníky vyrábějí spíše pro rozvíjející se trhy mimo Evropskou unii (EU), případně pro nejlevnější produktové řady výrobního portfolia. Vlasy trávníku vyráběného dnes v JUTĚ, jsou již pouze z PE, přesněji z lineárního nízko hustotního polyetylenu (PE-LLD) a to v podobě pásek nebo multifilů. Obsahují mnoho dalších aditiv na zlepšení mechanických vlastností. Položený trávník se dříve zasypával pouze pískem, nyní se nejvíce používá kombinace písek – chemický granulát. Nosná tkanina z PP je zachována a z rubní strany se nanáší styren-butadienová pryž (SBR), která se nanáší v podobě husté vodní napěněné disperze. Tato pryž znesnadňuje recyklaci, a zabraňuje tak možnosti znovu využití trávníků jako druhotné suroviny. Jelikož materiály PP i PE obsažené ve výrobku patří do chemické skupiny polyolefinu, jsou to tedy opakovaně tavitelné polymery, tzv. termoplasty.

Rubní zátěr je koagulovaná kopolymerní bloková disperze SBR. Během sušení dochází k emulzní radikálové polymerizaci. Dodané teplo v horkovzdušné komoře aktivuje peroxidové iniciátory, které naruší emulgátory v disperzi. Jejich přítomnost je nezbytná k oddělení monomerů svojí hydrofobní částí. Tak se vytvoří kolem monomeru micela s hydrofilní částí směrem do kapaliny. Následná polymerace je výhradně uvnitř spojených micel. Rychlost reakce nejdříve vzrůstá, ovšem následkem spojováním množství micel dochází ke zpomalování procesu. Výsledkem je polymer, který obsahuje kovalentní C - C vazby [2]. Tepelná energie potřebná k rozpadu všech vazeb je vyšší než energie, za které se materiál degraduje, a tím se stává nerecyklovatelným. Ostatní materiály v trávníku je možno vracet do výroby v podobě regranulátu, a tak zvýšit ochranu životního prostředí. Znamená to, že poslední krok výroby vytváří hlavní problematiku, čímž se umělý trávník stává ekologickou zátěží. Jediné reálné možnosti likvidace jsou skládkování a spalování.

2.1 Pryž pro ukotvení vlasu

Styren - butadienová disperze je složena převážně z monomerů styrenu a butadienu, jak znázorňuje schéma na obr. 2. Výrobcem je např. belgický EOC Belgium, divize kopolymerů. Různé koncentrace se připravují dle potřeby ředěním vodou v samotném výrobním závodě.

Stupeň polymerace má vliv na mechanické vlastnosti. S přibývajícím podílem butadienu stoupá pružnost, naopak s více styrenu se zlepšuje pevnost. Nejčastější poměr mezi těmito monomery je v rozmezí 70 – 80 ÷ 30 – 20, s vyšším podílem styrenu. Celou problematiku výroby a využití pryže detailně popsal ve své knize profesor Mleziva [2].



Obr. 2 Strukturální vzorec SBR; vlevo je znázorněn styren, vpravo butadien; značky n,m jsou zápisem polymeračního stupně [3]

Dalšími prvky jsou plnidla na bázi polyakrylátů, která zjednodušují zpracovatelnost a též zlevní výrobu. Saze se také využívají jako plnidla, která snižují cenu výrobku, a také mají vliv na pozitivní mechanické vlastnosti. Dalším plnidlem je mletý vápenec, přesněji uhličitán vápenatý (CaCO_3). Změkčovadla naopak zvyšují plastické vlastnosti směsi, aby se lépe nanášela na povrchy. Přemíra změkčovadel zhoršuje mechanické vlastnosti pryže a musí být tedy správně zvolený poměr. Podmínkou je také výborná mísitelnost s kaučukem. Antioxidanty v podobě sazí zamezují rychlému stárnutí pryže a zvyšují odolnosti proti povětrnostním podmínkám. Disperzní činidla zajišťují separaci kopolymerů při skladování a aktivují se až při tepelném zpracování, tedy zajišťují vytvoření vazeb. Viskozita je v rozmezí 55 – 60 Pa.s a kyselost mírně zásaditá (pH 8,0 – 10,0). Barva je zajištěna barevnými pigmenty, nejčastěji se využívá zbarvení sazí, které zbarví zátěr do černa. Tyto pigmenty vyžadují dobrou termickou odolnost a nesmějí negativně ovlivňovat proces vytvrzování.

2.2 Likvidace použitého trávníku

Trvale udržitelný rozvoj vyžaduje od výrobců inovace a snahy o snížení znečištění životního prostředí. Recyklaci umělých trávníků lze dosáhnout změnou myšlení spotřebitelů, a tím zvýšit zájem o třídění odpadu i v běžném společenském životě.

2.2.1 Skládování

Nejčastější metodou řešení likvidace trávníků je skládování na veřejných skládkách. Doba rozpadu takové chemického výrobků je v řádech desítek, stovek i tisíců let. Během postupné degradace navíc může dojít k uvolňování látek do půdy a podzemních vod. Skládování musí být prováděno s povolením dle zákonů o ochraně přírody. Jelikož ovšem polymerní suroviny nejsou zatím nahraditelné a jejich objem je omezený, není vyloučené v budoucnosti těžba surovin právě z takových skládek. Možné je dnes velmi omezeně využívat skládky k výrobě bioplynů. Aplikace náhrady reaktoplastů za polyolefiny či biopolymery není dnes aktuální z důvodu vysoké ceny. Rizika skládování jsou velká, hlavní únik toxických látek a též riziko rozlehlých požárů.

2.2.2 Spalování

Spalování je rychlý způsob řešení likvidace plastů za vzniku výhřevného tepla a elektřiny pro domácnosti a podniky. Je to možnost s velkým negativním vlivem na náš ekosystém. Spalování musí být realizováno při co nejvyšší teplotě, aby se spálily i nebezpečné plyny, které při špatném spalování vznikají. Při 100 % spalování se PE mění na oxid uhličitý (CO₂) a vodu v podobě páry. Ve výrobku ovšem není pouze tento polymerní materiál, ale i aditiva, která při spalování znečišťují a zatěžují ovzduší. Naopak výhřevnost polymerními výrobky je srovnatelná s minerálními oleji či ropou. Hlavními složkami vypouštěnými do ovzduší při nekvalitním spalování jsou CO₂, jedovatý oxid uhelnatý, nebezpečné polycyklické i těkavé uhlovodíky.

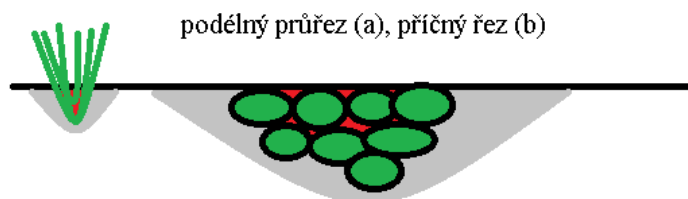
2.2.3 Regranulace

Třetí metodou je regranulace. Během tohoto procesu se trávnick drtí na kousky. Přidává se do produktů, které nejsou jakostní, ale zároveň plní jistou funkci např. z nich lze vyrábět ochranné zvukové bariéry u dálnic, syntetické povrchy příjezdových cest a hřišť, či jako dlaždice a obrubníky k chodníkům. Princip využití takového sekundárního materiálu je téměř identický s aplikacemi regranulátů pryže z pneumatik. Finanční nákladnost je v tomto případě vyšší, ovšem výsledkem je uspořené surovina pro další použití.

2.3 Nahrazení SBR zátěru

Běžné zátěry kobereců, tedy technologicky podobných textilií, jsou nejčastěji pomocí polyvinylchloridu (PVC), PP, polyvinylacetátu (PVAc) směsi či právě pomocí SBR pryže. Ve výrobě trávnicku je PP nevhodný, z důvodu vyšší teploty tání. Disperze PVAc bude v experimentální části testována a PVC zátěr není vhodný z důvodu obtížné recyklovatelnosti a obsahu chloru.

Styren - butadienový kopolymer je vodná disperze, jednou z variant náhrady tohoto materiálu je též disperze, ovšem termoplastická. Částičky v disperzi mají malé rozměry, tudíž proniknou do všech mezivlákněných prostor, čímž se eliminuje problém ukotvení všech vlasů trávnicku, viz obr. 3.



Obr. 3 Grafické znázornění ukotvení vlasu - podélný a příčný řez trávnickovým vlasem; šedá znázorňuje polymer, vlákna jsou zelenou a červená je neukotvený meziprostor

3 Experimentální část

K testování byly vzorky fotbalového multifilu *Power Ball 60* a páskového *Fast Track 18* určeného pro rychlé sportovní povrchy. Výseky trávnicku měly rozměry 0,2 x 0,2 m. Byly také

získány vzorky zatřeného trávnicku SBR pryží pro porovnávání mechanických vlastností s novým typem ukotvení.

Nejprve byly otestovány parametry dané výrobcem, které jsou pro každý model specifické. Hustota stehů, plošná hmotnost, jemnost vláken byla ověřena v souladu s technickým listem již ve společnosti JUTA během studijní praxe. Bod tání jednotlivých prvků trávnicku PE-LLD vlasu u multifilu i pásky, PP tkaniny a netkané textilie ověřilo tavení na zařízení pro zjišťování bodu tání. Teplota měknutí u vlasu byla 109 °C, tavení začalo na 122 °C. U PP netkané textilie teplota dosahovala vyšších hodnot, přesněji měknutí při 153 °C a bod tání 162 °C. Teplotně nejodolnější byla PP tkanina, kde bod tání dosahoval vyšších teplot, měknutí 157 °C a tavení až při 169 °C. Termickou podmínku pro aplikaci tavenin a tavných lepidel z důvodu měknutí PE vlasu byla 130 °C. Při teplotě přesahující tento limit, docházelo k změně morfologie molekuly dlouženého vlasu. Změna se projevila srážlivostí vlákna v podélném směru, a tím negativnímu ovlivnění celého produktu. Tavení vzorku s pryžovým zátěrem nebylo dosaženo, jelikož SBR i přes dodané teplo nevykazovalo tavení. Tím byla ověřena nerecyklovatelnost tohoto materiálu. Při ohřívání navíc docházelo k uvolňování specifického zápachu, který byl velmi intenzivní až dráždivý. Vlas z PE v tento moment byl již kompletně roztavený a začala zde celková degradace vlivem vysokých teplot.

3.1 Testování pevnosti ukotvení vlasu

Testování pevnosti ukotvení bylo primárním testem celého výzkumu. Po absolvování testů změn roztažnosti a vlivu změn teplot na ukotvení vlasu byl vzorek podroben testu pevnosti ukotvení. Do čelistí peánu byl zachycen jednotlivý vlasový výstup pásky či multifilu. Celý vzorek trávnicku byl pevně přichycen k podkladu a peán s trávnickovým vlasem byl pomocí trhacího zařízení napínán odtahem. Síla [N], potřebná k vytržení vláken z pokladové tkaniny byla zobrazena na digitálním monochromatickém displeji. Opakování testu bylo vždy desetkrát. Výsledky byly statisticky zpracovány v počítačovém programu MATLAB 2007b. Srovnávací tabulka je umístěna v závěrečné diskuzi.

3.2 Návrhy postupů ukotvení vlasu trávnicku

V první fázi se jedná o využití tavitelnosti materiálů vlasu, dále ukotvení pomocí přidané NT, laminování folií či hot-melt lepidla apod.. Závěrečná metoda je nahrazení SBR termoplastickou disperzí.

3.2.1 Využití termoplastického chování použitých surovin

Prvním pokusem o ukotvení smyčky vlasu bylo využití termoplasticity PE-LLD. Předpoklad byl, že při natavení povrchu vlasu dojde uchycení vlasu k podkladové textilií a sousednímu vlasovému výstupu. Tento způsob by byl nejméně finančně náročný na materiál. Ohřevem rubní strany vláken k bodu měknutí a mechanickým přítlakem dojde k ochlazení pod bod tavení a následná fixaci vláken navzájem k rubové straně.

Na ohřev rubní strany byly použity tři technologie:

- kontaktní ohřev
- infračervené záření
- horký vzduch

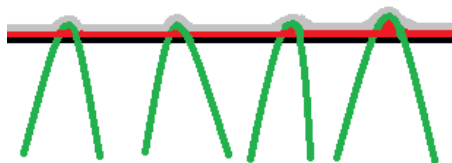
Rozmezí teplot při kontaktním ohřevu bylo volené v mezi 90 – 130 °C. Teplota testovaného povrchu materiálu v rozmezí 90 - 154 °C pomocí IČ byla dosažena vhodnou vzdáleností zdroje od textilie. Požadovaná teplota na povrchu textilie při ohřevu horkým vzduchem byla měřena pomocí bezdrátového IČ teploměru. Teplota se pohybovala v rozmezí 80 – 180 °C.

Po prohřátí rubní strany byl vytvořen přítlak pomocí válce, který roztavený polymer (PE-LLD) do tkaniny vtlačoval. Chlazení probíhalo: a) za laboratorní teploty, b) ponořením do vody o pokojové teplotě, c) v horkovzdušné komoře pozvolným chladnutím z teploty 105 °C na 60 °C.

3.2.2 Povrstvení rubní strany netkanou textilií

Ukotvení vlasu pomocí NT PETEX je z hlediska ochrany vlasu, homogenitě vrstvení či mechanických vlastností vynikající. Bod tání byl vhodný, tedy měknutí textilie začalo již na 90 °C a tavení při 104 °C. Různých plošných hmotností bylo dosaženo volbou počtu vrstev, kdy jedna vrstva dosahuje hmotnosti 70 g.m⁻². Ovšem nastal zde problém, viz obr. 3, kdy natavený PE nezatekl do všech mezivláčených prostor ani při zvýšeném přítlaku.

Během konzultací se zástupci JUTY byl navržen a vyroben vzorek trávníku, kdy se netkaná textilie z PP nahradila vrstvami NT PETEX. Následně byla prošita. Pro testování byla zvolena plošná hmotnost vrstev NT PETEX 140 g.m⁻². Očekávalo se zvýšení pevnosti a vytvoření sendvičového modelu, zobrazeného na obr 4.



Obr. 4 Schéma; *Grafické znázornění vrstev textilie PETEX v trávníku; zelené jsou vlákna, černá je nosná PP tkanina; červenou prošitá a šedou barvou krycí vrstva*

Aplikací dříve popsaných metod ohřevu (kontaktně, IČ a vzduchem) došlo k roztavení NT pod i nad prošitím při zachování rozměrových vlastností PE-LLD vlasů.

3.2.3 Aplikace hot – melt lepidla

V tavné pistolí se připravila tavenina polyvinylacetátu (EVA) o teplotě 120 °C a nanášela se na rubní stranu vlasů. Během několika minut došlo k vychladnutí lepidla. EVA je jednou z možností ukotvení vlasu, ovšem po provedení experimentu bylo získána informace, že EVA byla již pro JUTU testována. Nevýhody tohoto polymeru spočívají ve vyšší finanční náročnosti vstupního polymeru a optimálního vyplnění mezivláčených prostor. Také polymer při mrazu tvrdne a je málo elastický. Vlákna povrstvená EVA kopolymerem vykazovala také vyšší křehkost, pravděpodobně docházelo k degradaci struktury PE - LLD z důvodu vlivu působení taveniny. Při testu zamražením, kdy byl trávník v mrazící komoře při -18 °C, docházelo k praskání i samotného EVA kopolymeru.

3.2.4 Zažehlování PE-LLD folie

Čtvrtým návrhem ukotvení trávníkového vlasu bylo využití PE-LLD folie. Materiál, z kterého byla folie, byl stejný jako pro výrobu texturovaných pásků. Aplikace byla pomocí kontaktního

a IČ ohřevu. Využitím stejných materiálů při stejné teplotě měknutí se folie natavila, ovšem nepronikla do prostor mezi vlákny. Výsledek byl stejný jako u netkané textilie PETEX, ovšem pevnost byla vyšší z důvodu lepšího natavení.

3.2.5 Ukotvení pomoci nízkoviskózní PE taveniny

Tavenina byla čirá, maximální teplota dosahovala 136 °C z důvodu ochrany trávnickového vlasu. Při nánosu na rubní stranu trávnicku ihned chladla a nezatekla do prostor mezi vlákny. Vyšší teploty nad 130 °C deformovaly a degradovaly vlas. Tato metoda není vhodná pro aplikaci ukotvení trávnickového vlasu.

3.2.6 Využití disperzí

Z předešlých výsledků, které byly konzultovány v JUTĚ s výrobním ředitelem, bylo dohodnuto zaměřit se na změnu disperze. Výhodou je komplexní zatečení do prostor mezi vlákny. K testování bylo postupně získáno množství disperzí, které byly typu polyvinylacetátové, polyuretanové a polyetylenové.

3.2.6.1 Polyvinylacetátová disperze

Nanesení Duvilax BD 20 disperze bylo velmi snadné a vytvořila se homogenní vrstva. Jelikož byl Duvilax velmi hustý, byla provedena zkouška s poloviční koncentrací naředěnou vodou na ½ původní koncentrace, tedy 22,5 %. Naředění proběhlo za stálého míchání. Výsledná disperze vykazovala vysoký tok. Vhodnější pro aplikaci je tedy vyšší 55 % koncentrace, jelikož poloviční koncentrace protékala samotným vzorkem z rubní strany do lící, čímž znehodnocovala travnatou stranu.

3.2.6.2 Polyuretanové disperze

Nános obou disperzí byl aplikován na připravený vzorek trávnicku o rozměrech 0,2 x 0,2 m. Plošná hmotnost nánosů byla 400 g.m⁻², tedy 16 g disperze. Sancure 20025F se vykazoval vyšší viskozitou a žlutá barva byla sytější než u druhého PU vzorku, který měl pouze žlutý nádech. Průchodem textilie za přítlaku fuláru a stejnoměrného dávkování se dosáhlo homogenní vrstvy. Fixace filmu byla provedena v horkovzdušné komoře při teplotě 60 °C a 105 °C a sušení doprovázel nepříjemný odér.

Polymer TPU 20025F dosahoval lepších výsledků. Výsledná pevnost ukotvené trávnickového vlasu byla vynikající a doposud měla tato metoda nejlepší výsledky z hlediska průmyslového využití. U pásky byla pevnost výrazně nižší, ovšem u multifilu byla ukotvena dostatečně s fixací všech vláken ve svazku. Cena tohoto termoplastického polyuretanu je ovšem vyšší, než je požadavek zadavatele. Ani napětím není možno snížit cenu na únosnou hodnotu. I přes úspěšnou aplikaci bylo od zástupců JUTY požádáno o hledání polymeru bližšího k polyolefínům.

3.2.6.3 Polyetylenové disperze

Výsledkem usilovného vyjednávání s výrobcem a dodavatelem chemických produktů bylo získáno pět vzorků PE disperzí. Tyto polyolefínové disperze mají uplatnění v ochranných nátěrech kovů, textilu, betonu apod. Očekávalo se kompletní zatečení do prostoru mezi vlákny, ukotvení vláken i následná plnohodnotná recyklace tavením. Test tavení polymerního filmu ověřil u všech pěti termoplastické chování. Zátěr byl aplikován pomocí zatření disperze (200 - 600 g.m⁻²) stěrkou a následným průchodem textilie fulárem. Rozměry vzorku byly 0,2 x 0,2

metru a hmotnost disperze tedy dosahovala 4 - 24 g. Fixace probíhala opět v horkovzdušné komoře při 24 °C, 60 °C a 105 °C.

Pouze u PE vodné disperze HYPOD byla dosažena dostatečná elasticita, ostatní disperze byly velmi křehké a při ohybu praskaly a ukotvení nebylo dostatečné. Testování se tedy zaměřilo na ideální množství disperze HYPOD. Koncentrace byla 57 % namíchaná přímo od výrobce. Množstvím naneseného materiálu na rubní stranu se upravoval požadovaný obsah sušiny. Finančně je tato PE disperze několikrát dražší než běžný SBR zátěr, ovšem není zapotřebí k fixaci vlasu použít takové množství. V dalším testování tedy bylo zjištěno, jaké je minimální množství sušiny pro homogenní ukotvení vlasů.

3.2.6.4 Pěněná PE disperze

Napěněním disperze, která splňuje požadavky zadavatele, je možné zajistit nižší náklady na sušení z důvodu nižšího objemu vody. Viskozita takové disperze je zároveň nižší. Objem narůstá s podílem vzduchu. K napěnění dochází v mechanickém mixéru, kde se disperze směšuje s atmosférickým vzduchem. Samotné napěnění je snadno nastavitelné délkou mixování, kdy po dosažení maxima napěnění dochází naopak k její destrukci. Pro testování bylo použito povrchově aktivní látky (PAL) Aerosol OT-75, která napomáhala napěnění. Koncentrace této látky byla minimální a to pouhé 0,2 % hm. Od této metody se očekává snížení množství sušiny potřebné k homogenní fixaci vlasů trávnicku. Pěna s vyšším objemem než běžná disperze pokryje povrch snadněji a přítlačné válce zajistí vniknutí pěny do všech prostor mezi vlákny. Nalezením ideálního poměru sušiny se zajistí snížení nákladů na materiál při dodržení požadavků. Příklad PAL napomáhá zpěnění, díky hydrofobní a hydrofilní části podobně jako dispergátory u disperze.

4 Diskuze

Testování fixace PE-LLD vláken natavením bylo první, nejjednodušší, variantou ukotvení trávnickového vlasu. Ohřev kontaktním teplem, infračerveným zářičem a horkým vzduchem měl zajistit porovnání natavení jednotlivých technologií. Některé, jako například pojení ultrazvukem či změna vsívání, byly z důvodů finanční náročnosti a komplikovanosti technologie ihned zapovězeny.

Myšlenka využití netkané textilie z PE, která má nižší bod tavení, velice zaujala zástupce JUTY a výsledkem byla výroba vzorku trávnicku laminovaného NT PETEX. Mezi nosnou tkaninou a PE vlasem byly všity dvě vrstvy o celkové plošné hmotnosti 140 g.m⁻². Z rubní strany se dále natavoval PETEX pomocí mechanického, IČ a ohřevu vzduchem. Plošná hmotnost se upravovala vrstvením PETEX 70. Nejméně bylo použito 70 g.m⁻² až do maxima 350 g.m⁻². Polymer, ze kterého je vyrobena NT PETEX, má velmi vysoký index toku (MFI), který je ukazatelem viskozity a zatékavosti. Tento materiál byl zvolen ke kompozitnímu sendvičovému modelu. Tato metoda byla také kladně ohodnocena zadavatelem za inovaci. Jelikož ovšem výsledky neodpovídaly předpokladům, opustilo se od dalšího prohlubování hledání možností a nastavení. Jelikož je surovina pro PETEX vyráběna jiným chemickým producentem, je adheze mezi těmito polyetyleny nižší než se očekávalo.

Ukotvení pomocí EVA kopolymeru mělo velmi zajímavé a nadprůměrné výsledky pevnosti u multifilu. Praskání, vyšší náklady na vstupní surovinu a pořizovací cena linky jsou jedinými negativy této technologie. Zadavateli je nabízena možnost aplikace hot – melt lepidla soukromou společností Linocele. Tato společnost garantuje lepší mechanické vlastnosti

speciálního hot-melt lepidla, včetně vyšší pevnosti a elasticity. Zatím není rozhodnuto o koupi tohoto produktu, jelikož je tento směr výroby velmi finančně náročný a musí být připravená nová hot-melt linka. Po dalším dialogu se zástupcem JUTY není tento směr zatím aktuální.

Tab. 1 Kompletní porovnání výsledků pevností včetně hodnocení známkou

technologie			
ohřev samotných vláken	průměrná pevnost pásky/ multifilu [N]	známka	poznámka; hodnocení
kontaktně mechanicky	15,4/17,2	5	neukotvení všech vláken; energetický náročný
IČ zářičem	19,2/20,4	4	slabá pevnost; homogenita vrstvy
horkým vzduchem	10,1/13,4	5	neukotvení všech vláken
využití PETEX NT	průměrná pevnost pásky/ multifilu [N]	známka	poznámka; hodnocení
kontaktně mechanicky	10,6/12,3	5	slabá pevnost
IČ zářičem	13,5/14,3	5	neukotvení všech vláken
horkým vzduchem	7,89/7,5	4	neukotvení všech vláken; komplexní rychlé natavení
další metody	průměrná pevnost pásky/ multifilu [N]	známka	poznámka; hodnocení
hot-melt lepidlo EVA	21,76/40,5	3	drahý vstupní materiál; změna linky; deformace vláken
laminace PE folií	14,5/12,1	4	slabá pevnost; neukotvení všech vláken
PE tavenina	9,5/6,9	5	deformace vláken
disperze, koncentrace, sušina	průměrná pevnost pásky/ multifilu [N]	známka	poznámka; hodnocení
PVAc, 55 %, 165 g	17,4/15,6	4	slabá pevnost; dostupný; levný
TPU, 48 %, 144 g	15,8/30,5	3	štiplavý odér; vyšší cena
PE, 57 %, 171 g	19,6/23,8	3	Vyšší cena; homogenní vrstva
pěna PE, 57%, 171 g	22,6/26,7	2	finančně srovnatelné náklady s SBR; ukotvení pod 30 N – nutné další testování

Vzhledem ke stávající výrobní lince je volba disperze nejlepší. U disperzí bylo zapotřebí vhodně přizpůsobovat teplotu a délku sušení. Jelikož aktivátory jsou nastaveny na teplotu, při které iniciují, katalyzují a dokončují polymerní reakce, přesněji emulzní polymerizaci. Vysoušení vodného podílu bylo při působení teploty 24 °C / 24 hodin, 60 °C / 1 hodina a při 105 °C / 10 minut. Výsledky potvrdily, že vyšší teplota koagulace disperze blížící se až k teplotě měknutí PE-LLD vláken (109 °C), měla pozitivní vliv na pevnost ukotvení vlasu. Doba sušení se tím samozřejmě také snížila, což je pozitivní vzhledem ke kontinuální výrobě.

Testována PVAc disperze měla ideální předpoklady pro ukotvení vlasu, jelikož se používá v kobercovém průmyslu. Viskozita byla přibližně 7 Pa.s., tedy vhodná. Po koagulaci v horkovzdušné komoře při teplotě blízké měknutí polymerního filmu, který následně

nedokázal upevnit vlákna vlasu v PP tkanině. Byla testována i poloviční koncentrace 22,5 %. U této koncentrace byla ještě pevnost ukotvení vlasu nižší.

Získané PU disperze byly testovány souběžně pro srovnání, i když pouze u jedné z nich je termoplastické chování. TPU ukotvila vlas trávníku s různými výsledky. V závislosti na to bylo zjištěno, že u monofilu docházelo k vyšším pevnostem a naopak u pásky byla pevnost pod 30 N na jeden vlasový výstup. Z pozorování bylo vyhodnoceno, že do multifilu na rozdíl od taveniny disperze zatékají lépe. Vlas tvořený páskou naopak měl velmi slabé výsledky.

Zpěněné vzorky HYPOD disperze vykazovaly nejmenší požadavky na množství polymeru, tím pádem razantně snížily celkové náklady na aplikaci. Při aplikaci sušiny o plošné hmotnosti do 150 g.m⁻² je výsledná cenová hladina výrobku srovnatelná s aktuálně používanou technologií SBR pryže. Napěněná disperze měla lepší výsledky, viz tabulka 1, ovšem je zapotřebí dalšího zkoumání zvýšení adheze a nastavení teploty sušení. Možnosti zvýšení adheze je rozrušení povrchu vlákna či příčné rastrování vlasu apod. Pevnost ukotvení častěji přesáhla hodnotu 30 N než samotná nezpěněná disperze.

5 Závěr

Umělý trávník má své nezpochybnitelné místo alternativního speciálního povrchu. Dnes je realizováno nejvíce pokládek v odvětví rekreace a sportu. V této práci byly studovány možnosti nahrazení SBR pryže materiálem, který je chemickým složením bližší použitým surovinám pro výrobu vláken a podkladové textilie, tedy polyolefinům.

Vybrané kapitoly se též zabývají různými technologiemi a také využitím povrchově aktivních látek k zpěnění disperzí. Výsledky testování jsou statisticky zpracovány v programu Matlab 2007b. Na jejich základě je možné v závěrečné tabulce porovnat jednotlivé návrhy ukotvení vlasu z různých hledisek. Vše je doplněno o nákresy návrhů struktury a problematiky aplikace polymerního zátěru či laminace.

Výzkum dokázal experimentálně, že zle vyrobit plně recyklovatelný trávník. Potvrdil tím předpoklady, že nový výrobek bude plně recyklovatelný. Materiál, který bude nadále optimalizovat a testovat jako alternativa k současně používané SBR pryži, je vodná PE disperze HYPOD. Plně recyklovatelný umělý trávník jednoho dne vytlačí aktuální produkci trávníku s SBR zátěrem. Jelikož společnost JUTA již dnes pracuje na vzniku takového produktu, získá tím ekonomický i marketingový náskok nad konkurencí a zároveň bude vyrábět šetrnější produkty k životnímu prostředí.

Literatura

- [1] JUTA a.s. *Výroba plně recyklovatelných umělých trávníků nové generace s profilovanými pásky*, OPPI
- [2] MLEZIVA, J. *Polymery – struktura, vlastnosti a použití*. Česká republika: Sobotáles, 1993.
- [3] SEONGA, H. K. *Surface science of single-site heterogeneous olefin polymerization catalysts*. USA, 2013, PNAS vol. 103 no. 42, 15289–15294

Elektrostatické zvlákňování směsi polykaprolaktonu a chitosanu a jeho biologické testování

Marie Pešková

Sekce - TEXTIL

Fakulta textilní, 2. ročník

Magisterský studijní program – PRŮMYSLOVÝ MANAGEMENT

Abstrakt: Práce se zabývá elektrostatickým zvlákňování směsi polykaprolaktonu a chitosanu a jeho biologickým testováním. V práci je všeobecně popsáno tkáňové inženýrství, tkáňový nosič a jeho způsoby výroby a využití biodegradabilních polymerů v tkáňovém inženýrství. Hlavní pozornost je věnována chitosanu a polykaprolaktonu. Cílem této práce bylo vytvořit nanovláknenné vrstvy ze směsi polykaprolaktonu s chitosanem v různých koncentracích s vhodným rozpouštědlovým systémem a jejich biologické testování vitro s 3T3 myšimi fibroblasty. Z důvodu přítomnosti zbytkových kyselin v materiálu je zde věnována pozornost způsobu jejich vymytí. Pro ověření přítomnosti chitosanu po vymytí kyselin byla použita ART – FTIR spektroskopie. K vyhodnocení viability buněk v testovaném materiálu byl použit MTT test.

Klíčové slova: elektrostatické zvlákňování, biodegradabilní polymery, polykaprolakton, chitosan, tkáňové inženýrství, tkáňový nosič

1 Úvod

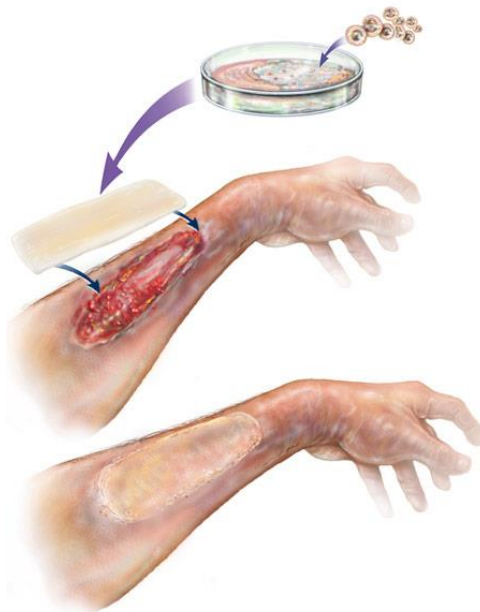
V posledních několika letech se polymery staly nedílnou součástí našeho života. S rostoucím vývojem se využití polymerů rozšířilo i do oblasti medicíny. Existují stovky polymerů, ale jen několik jich je použitelných pro medicínské účely, například jako tkáňová náhrada. Hlavní pozornost je dána na materiály, které podléhají degradaci. Výhodou těchto polymerů je, že nevyvolávají chronické reakce na cizí těleso, které při chirurgických zákrocích zůstává v těle, protože jsou postupně vstřebávány. Díky vstřebatelnosti nejsou potřebné další operace pro vyjmutí implantátu. Velké uplatnění nacházejí tyto polymery právě v tkáňovém inženýrství, kde se používají jako nosiče buněk. Buňky tkáňovou náhradou prorůstají a vytváří tak novou tkáň. Vše je regulováno příslušnými normami, které polymerní materiál musí splňovat.

Velký význam pro tkáňové inženýrství má právě chitosan. Tento přírodní polymer je vhodný hlavně z důvodu antibakteriálního účinku. Jeho samotné zvlákňování je obtížné a proto je vhodné ho směšovat s jinými polymery. Vhodným kandidátem je například polykaprolakton. Směsí polymerů vznikne materiál s novými vlastnostmi - antibakteriálním účinkem, dostatečnou pevností a zkrácenou dobou degradace oproti polykaprolaktonu samotnému.

2 Tkáňové inženýrství

První definici tkáňového inženýrství přinesli Robert Langer a Joseph Vacanti. Tkáňové inženýrství označili jako interdisciplinární obor, který využívá technické a biologické vědní obory k rozvoji biologických náhrad za účelem jejich obnovy, zachování, zlepšení nebo úplné náhrady [1]. Je to obor, ve kterém spolupracují biologové, chemici, fyzici, textilní a strojní inženýři a další vědci. Tkáňové inženýrství se dá definovat ale i jinak. Jedná se o remodelaci a

regeneraci tkáně *in - vivo*¹ a kultivaci funkčních tkání *in - vitro*² pro implantaci do organismu jako biologická náhražka poškozených nebo nefunkčních tkání a orgánů [2]. Tkáňové inženýrství se zabývá biologickými náhradami, jejich vývojem a využitím buněk a molekul k vytvoření nové vhodné tkáně. Je možné vytvořit náhradu kosti, chrupavky, krevní cévy, močového měchýře, srdeční chlopně, kůže a také svalů [3]. Tkáňová náhrada se skládá z nosiče buněk a z buněk na něm uchycených. Na obrázku 1 je zjednodušeně ukázáno použití tkáňové náhrady (dále scaffoldu). Nosičem buněk mohou být biologické molekuly (proteiny ECM, kolagen, elastin, kyselina hyaluronová) nebo umělý materiál (syntetické polymery, keramika, kovy a jejich slitiny). Scaffold³ dává buňkám prostor pro růst a množení, nahrazuje ECM, které bylo zničeno nemocí, zraněním nebo vrozenou vadou.



Obrázek 1 Použití tkáňové náhrady

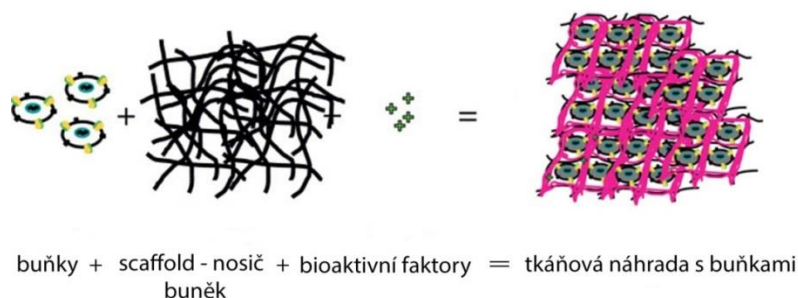
2.1 Tkáňový nosič

Tkáňový nosič zajišťuje buňkám dočasnou nebo trvalou podporu pro migraci, růst a podněty pro následné buněčné pochody [4]. Jedná se o trojrozměrnou tkáňovou matici (viz obrázek 2), která sama nebo v kombinaci s živými buňkami zajistí v místě poškození regeneraci či novou funkční tkáň. Poskytuje dočasnou podporu a usnadňuje její regeneraci. Od začátku až do fáze degradace by si měl scaffold udržet svůj tvar [5]. Nosiče mohou být vlákenné, pěnové, ve formě hydrogelu nebo kapsle. Scaffoldy by měly být reprodukovatelně zpracovatelné do požadovaných struktur a tvarů, měly by být schopné si udržet tvar i po implantaci. Důležitá je podpora materiálu pro růst buněk, spolupráce s transplantovanými buňkami a možnost zachovat si svoji funkci [6].

¹ *in - vivo* – z latiny v životě, v živém organismu

² *in - vitro* – z latiny ve skle, mimo tělo ve zkumavce

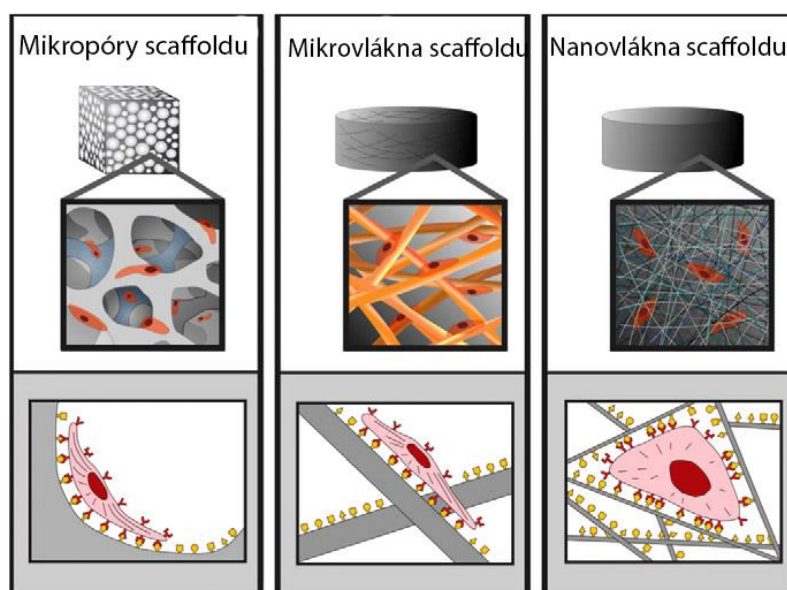
³ scaffold – tkáňový nosič, podpůrná konstrukce pro růst buněk a celých tkání



Obrázek 2 Struktura podpůrné konstrukce

Scaffolds se vyrábějí z tkaných, pletených a netkaných materiálů. Způsoby výroby se dělí na textilní a netextilní. Netextilní způsob výroby představuje různé technologie, kterými je možné vytvořit vhodný pórovitý povrch. Důležité je pro oba způsoby výroby, aby si scaffold zachoval svoji funkci a měl vyhovující vlastnosti.

Nanovláknenné materiály nabízejí vhodnější prostředí pro množení buněk. Hlavním význam pro biomedicínské aplikace má elektrostatické zvlákňování. Nanomateriály mají větší plochu pro pohlcování proteinů a také mají více vazebných míst pro receptory buněčné membrány, jak je vidět na obrázku 3. Správný výběr materiálu závisí na typu scaffoldu, požadovaných mechanických vlastnostech a také typu tkáně. [7].



Obrázek 3 Znázornění prorůstání buněk vybranými materiály

3 Biologicky rozložitelné polymery

Výběr vhodného materiálu pro zhotovení tkáňového nosiče ovlivňuje biodegradabilita a biokompatibilita. Je to klíčový faktor pro rozvoj tkáňového inženýrství a následnou lékařskou aplikaci. Biologicky rozložitelné polymery mají velkou řadu výhod v oblasti zdravotnictví. Uplatnění získávají hlavně v tkáňovém inženýrství. Využití nalézají i jako nosič léčiv s postupným uvolňováním účinné látky.

Syntetické materiály disponují dobrými mechanickými vlastnostmi. Jednou z hlavních výhod je vysoká mechanická pevnost. Je možné modifikovat rychlost rozkladu, lze kontrolovat jejich vlastnosti (pevnost, biodegradabilitu, porozitu, mikrostrukturu) [8].

Přírodní polymery jsou díky jejich složení tělu bližší, mají obecně lepší biokompatibilitu, a proto jsou vhodnější pro lidský organismus. Scaffoldy jsou vyvíjeny z polymerů různých vlastností, aby však bylo možné převést přírodní biopolymer na nanovlákná pomocí elektrostatického zvláknování, je to obvykle obtížnější než ze syntetického polymeru.

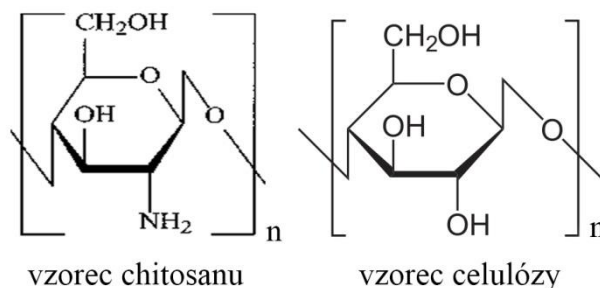
3.1 Chitosan

Jedná se o významný přírodní polymer. Získává se deacetylací⁴ z chitinu, který se nachází v ulitách mořských korýšů nebo v buněčných stěnách některých hub. Jedná se o dostupný lineární polysacharid, který je biokompatibilní, netoxický, biologicky rozložitelný s antimikrobiální aktivitou a kladným nábojem. Chitosan (dále CS) se vyskytuje hojně v přírodě, jeho produkce je nízkonákladová a ekonomicky výhodná.

V době jeho výroby se těžko předvídají jeho vlastnosti, proto současný přístup spočívá v analýze složení výsledného produktu a vlastností. Charakteristika chitosanu je velice důležitá, ale není jednoduchá. Chitosan není nikdy stejný, protože se jedná o přírodní produkt, nikdy nelze zajistit, aby byl vždy stejný se stejnými vlastnostmi. To je důvod, proč výrobci udávají především viskozitu polymeru než jeho molekulovou hmotnost. Chitosan je také špatně rozpustný, s výjimkou kyselého prostředí. Jeho rozpustnost je možná v roztoku s pH nižším než 6. K rozpuštění stačí slabá kyselina. Jako rozpouštědlo chitosanu zle použít například kyselinu mravenčí [9].

Vzhledem k vlastnostem je chitosan vhodným kandidátem pro výrobu scaffoldů, které mají nahradit poškozené nebo chybějící tkáň. Hlavní předností je jeho antibakteriální účinek. Zvláknit chitosan samotný je obtížné kvůli vysoké viskozitě roztoku. Příliš viskózní roztok je obtížně zvláknitelný, protože vysoká viskozita brání v překonání elektrického pole a proto elektrostatické zvláknování nemůže být úspěšné. Z toho to důvodu je snaha chitosan směšovat s dalšími vhodnými polymery určenými pro tkáňové inženýrství, aby roztok bylo možné elektrostaticky zvláknit. Jelikož chitosan vykazuje malou pevnost, směšováním se tato vlastnost zlepší [10].

Chitosan je svým strukturálním vzorcem velice podobný celulóze. Tak jako chitin (z něho se získává chitosan), který se nachází ve skořápkách hmyzu a korýšů, tak i celulóza vyskytující se ve stěnách rostlin, představuje důležitý polysacharid, který pomáhá utvářet jejich oporu. Nepatrný rozdíl ve strukturálním vzorci je vidět na obrázku 4.

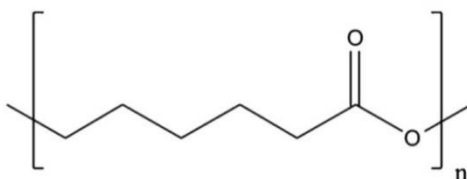


Obrázek 4 Vzorec chitosanu a celulózy

⁴ deacetylaze chitinu je odstranění acetylové skupiny, odebrání acetylové skupiny CH₃CO z cílového proteinu

3.2 Polykaprolakton

Polykaprolakton (dále PCL) je biokompatibilní a zároveň biodegradabilní polymer využitelný v medicíně například pro výrobu chirurgických nití, jako nosič léčiv nebo jako materiál pro výrobu scaffoldu pro buněčný implantát. Nevýhodou tohoto materiálu je relativně dlouhá resorpce⁵ dočasných implantátů. V první fázi rozkladu polymeru probíhá pouze hydrolytická degradace implantovaného materiálu, která trvá v závislosti na jeho hmotnosti řádově roky [11]. Biologická degradace je možná díky podobnosti chemické struktury s konstrukcí tuků a olejů využitelných mikroorganismy jako zdroje uhlíku. Díky biokompatibilitě je jeho využití možné v oblasti zdravotnictví – pro řízené uvolnění léků, zdravotnická lepidla, scaffoldy pro tkáňové inženýrství a ortopedické odlitky. Jedná se o univerzální polymerní materiál, který umožňuje snadné zpracování. [12]. Na obrázku 5 je znázorněn vzorec polykaprolaktonu.



Obrázek 5 Vzorec polykaprolaktonu

Tento polymer je biologicky odbouratelný, může tvořit kopolymery se škroby či jinými látkami, díky této možnosti se z něj stává velmi zajímavý materiál. Díky přítomnosti esterových vazeb v makromolekulách se dokáže přizpůsobit nebo být rozložen vlivem biologického faktoru – bakteriemi, plísněmi, kvasinkami nebo houbami. Rozklad je možný tedy různými druhy mikroorganismů vyskytujících se běžně v přírodě. Polykaprolakton je dále významný pro svoji biokompatibilitu s živým organismem, z toho to důvodu bylo jeho využití směřováno do oblasti biomedicíny.

Hlavní nevýhodou polykaprolaktonu je jeho dlouhá degradace. Dříve se používal jako nosič léčiv, ale na základě dlouhodobé degradace byl nahrazen jinými polymery. V současné době se dostává do popředí právě díky tkáňovému inženýrství [13].

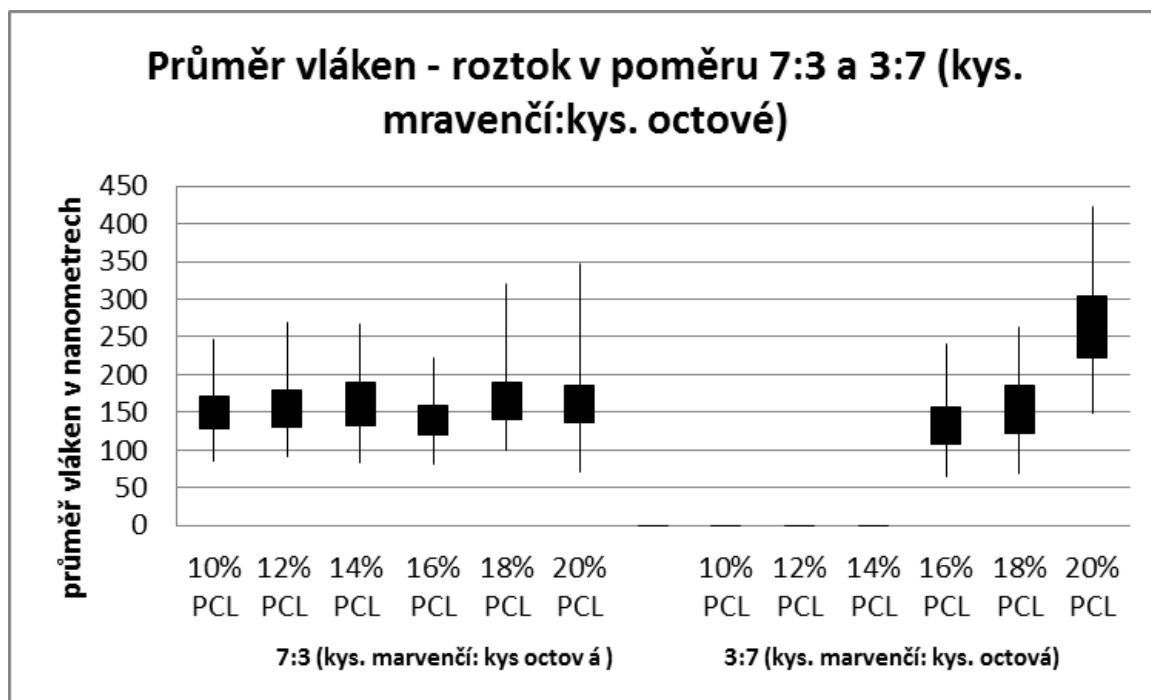
4 Výroba tkáňového nosiče a jeho biologické testování

Elektrostatické zvláknování polykaprolaktonu bylo provedeno v řadě 8%, 10%, 12%, 14%, 16%, 18% a 20%-ního roztoku. Jako rozpouštědlo byla zvolena kyselina mravenčí a octová od firmy Penta. Pro rozhodnutí, která kyselina bude mít vyšší poměr v roztoku, bylo provedeno zvláknování PCL rozpuštěného v kyselině octové a mravenčí v poměru 7:3 a 3:7. Zvláknování bylo provedeno z jehly. Účelem hledání nejvhodnějšího poměru pro zvláknění, bylo nalézt nejnižší možnou koncentraci PCL, ze které bude možné vytvořit nanovlákná.

Na základě výsledků zvláknování je možné tvrdit, že nanovlákná PCL rozpuštěného v kyselině octové a mravenčí v poměru 7:3 se tvoří už od 14 % koncentrace. Nižší koncentrace PCL v tomto rozpouštěcím systému neumožní vytvořit nanovlákná, vznikají vlákna silná s mnoha defekty. Při poměru kyseliny octové a mravenčí 3:7 vznikají nanovlákná už z 10 % PCL. Pro zhodnocení nanovláknenných vrstev byly změřeny průměry vláken pomocí softwaru NIS-Elements. V grafu 1 je znázorněno srovnání vláken obou zvolených poloměrů. Na první

⁵ resorbce – uvolnění a vstřebávání

pohled je vidět, že vlákna z poměru rozpouštědel 7:3 vznikají už při 10% koncentraci polykaprolaktonu. U poměru rozpouštědel 3:7 vlákna vznikají až při 16% koncentraci PCL. Na základě výsledků bylo rozhodnuto, že pro další zvláknování bude použit rozpouštěcí systém kyseliny octové a mravenčí v poměru 3:7.



Graf 1 Průměrné hodnoty průměrů vláken - roztok v poměru 3:7 a 7:3 (kyselina octová : kyselina mravenčí)

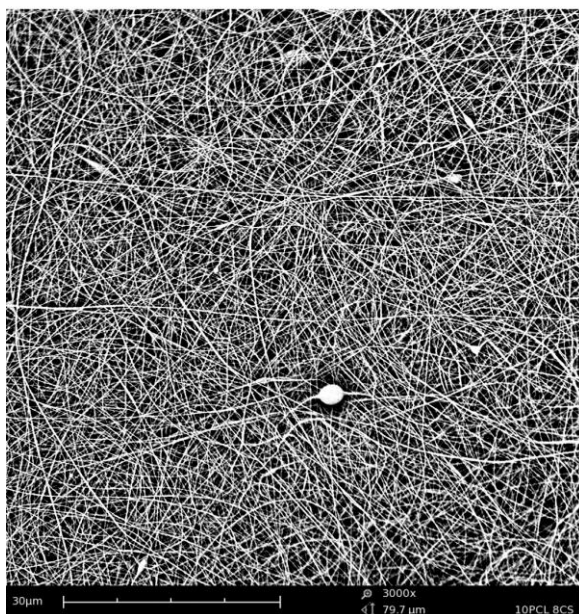
Během hledání vhodné koncentrace roztoku bylo také zjištěno, že dochází ke stárnutí roztoku. Rozvinuté řetězce zdegradovali a roztok pak nebylo možné zvláknit. Důsledkem stárnutí roztoku dochází k depolymeraci, není možné vytvořit vlákna, řetězce v roztoku se rozpadají.

Ze zvlákněné řady 8-20% PCL byli vybrány koncentrace s vyhovujícími výsledky. Podle výsledků zvláknování byly vybrány čtyři nejnižší koncentrace, při kterých vznikala vlákna a to 10%, 12%, 14% a 16% PCL. Na základě toho to výsledku byly zvoleny koncentrace výsledných směsí. S rostoucí koncentrací chitosanu, klesala koncentrace polykaprolaktonu. Výsledkem byly tedy roztoky 10% PCL+8% CS, 12% PCL+6% CS, 14% PCL+4% CS a 16% PCL+2% CS. Polymery byly v kyselinách rozpouštěny zároveň. Polymer polykaprolaktonu je v základní formě v pevném stavu ve formě granulátu, polymer chitosanu je v pevném stavu ve formě prášku. Roztok pro elektrostatické zvláknování byl připraven ze směsi chitosanu s polykaprolaktonem v poměru rozpouštědla kyseliny octové a mravenčí 3:7. Aby bylo možné roztok použít pro zvláknování, nechaly se polymery rozpouštět 24 hodin. Pro vytvoření tkáňových nosičů určených pro biologické testování byl zvolen zvláknovací systém dvou jehel, pro zrychlení zvláknování. Z nanovlákněných vrstev směsi PCL/CS byly pořízeny snímky elektronovým mikroskopem (viz obrázek 6, 7). Defekty, které obsahoval samotný polykaprolakton, skoro zcela vymizely. Jejich přítomnost byla pouze u vzorku s nejnižším zastoupením chitosanu. Z důvodu přítomnosti defektů byl materiál 16% PCL+2% CS vyřazen. Vlákna v koncentraci 10% PCL+8% CS, 12% PCL+6% CS, 14% PCL+4% CS byla homogenní a proto byly zvoleny pro použití při biologickém testování.

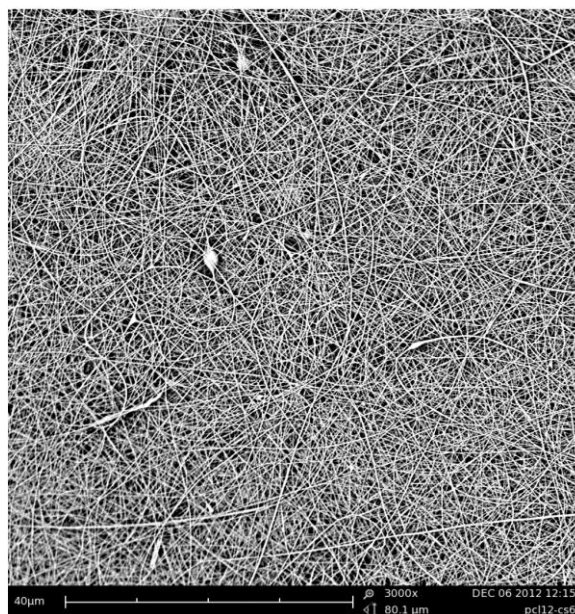
Bohužel se nepodařilo z jehly elektrostaticky zvláknit samotný použitelný 10% polykaprolakton rozpouštěný v kyselinách pro biologické testování. Materiál se po zvláknění rozpa-

dal. Z toho důvodu byl použit polykaprolakton pro zhodnocení viability buněk vyrobený zařízením Nanospider. Rozpouštědlem byl zde chloroform s acetonem v poměru 8:2.

10% PCL+8% CS (zvětšení 3000x)

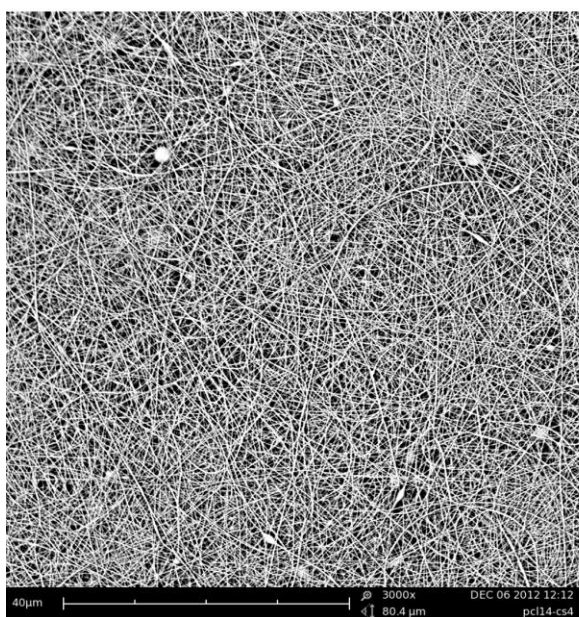


12% PCL+6% CS (zvětšení 3000x)

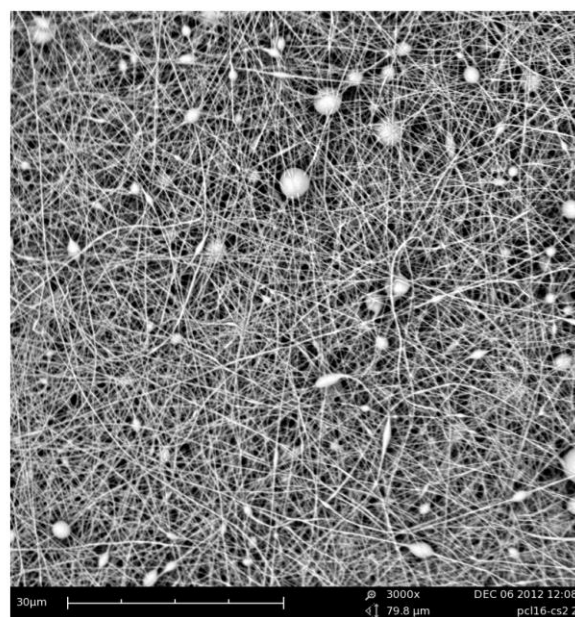


Obrázek 6 SEM snímky zvlákněného PCL/CS z roztoku kyseliny octové a kyseliny mravenčí v poměru 3:7

14% PCL+4% CS (zvětšení 3000x)



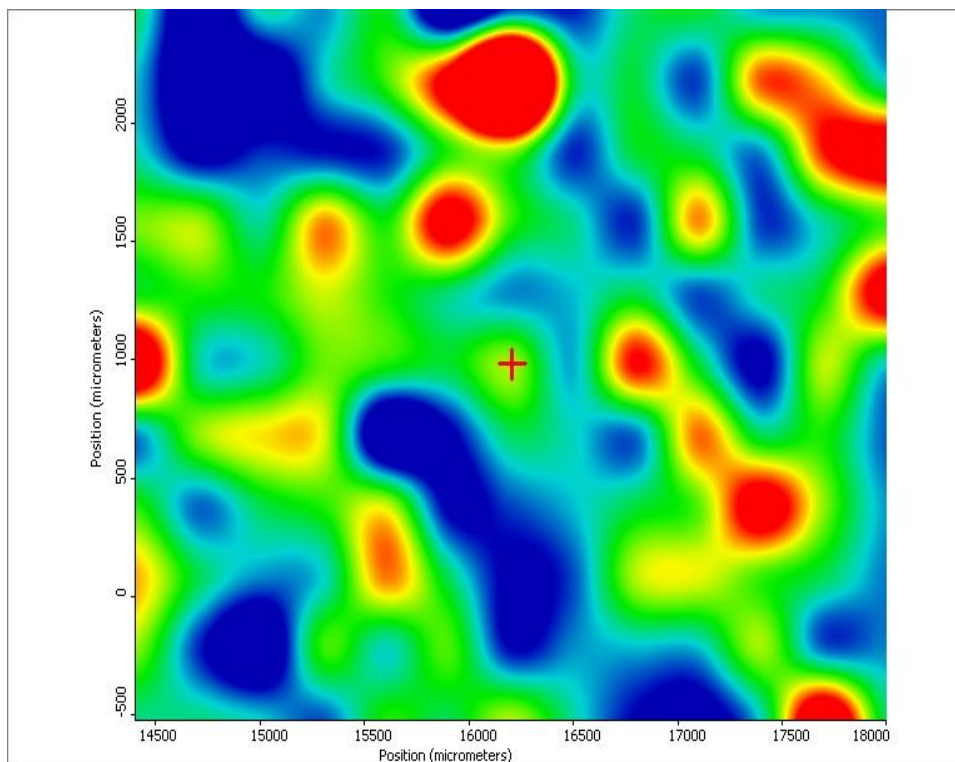
16% PCL+2% CS (zvětšení 3000x)



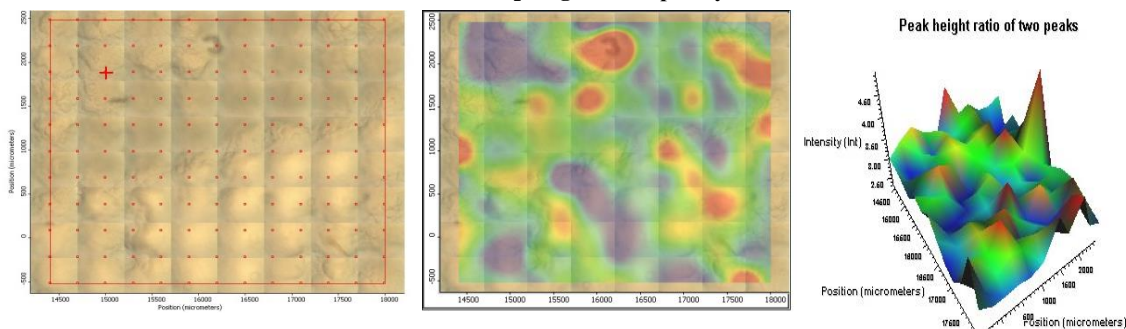
Obrázek 7 SEM snímky zvlákněného PCL/CS z roztoku kyseliny mravenčí a kyselina octové v poměru 7:3

Vzorky 10%PCL+8%CS, 12% PCL + 6% CS a 14% PCL + 4% CS o velikosti 10 cm x 10 cm a váze cca 0,065 g byly promývány v 25 ml 96 % ethanolu. Celkem bylo provedeno 13 promytí, po té se pH ustálilo. Vzorek byl po promytí podroben mappingu plochy z důvodu zjištění plošného rozptýlení PCL a CS. Měření bylo provedeno reflexní technikou na Al podložce přístrojem Nicolet iN10 za použití detektoru chlazeného kapalným dusíkem. Výsledkem

byla mapa se zobrazením zastoupení polymerů pomocí barevné škály (viz obrázek 8). Červená barva v mapě charakterizuje PCL, modrá chitosan. Barevná škála postupuje od modré přes zelenou a žlutou k červené vzestupně. Na obrázku 9 je znázorněno překrytí mikroskopického obrazu a barevné mapy rozložení složek, z toho je zhotoveno vykreslené do 3-D. Absolutní hodnoty nelze bez standardů určit, lze jen určit čeho je "více" a "méně, o homogenitě to ale vypovídá.



Obrázek 8 Mapping 13-krát promytého PCL/CS



Obrázek 9 Mapping vzorku a 3D zobrazení

5 Závěr

Experimentem byly nalezeny vhodné koncentrace polymerní směsi polykaprolaktonu s chitosanem. Vlákna z nich vytvořené byly homogenní a skoro zcela bez defektů. Po zjištění změny pH destilované vody po louhování zvlákněných vrstev se muselo vyřešit vymytí zbytkových kyselin. Jelikož je chitosan rozpustný v roztocích s pH pod 6, při louhování ve vodě dojde k jeho rozpuštění. Tento fakt se bohužel potvrdil, a proto se musel najít vhodný roztok, který vrstvu zbaví kyselin, neznění výrazně její strukturu a nerozpustí chitosan. Pro odstranění kyselin by nakonec zvolen 96% EtOH. Po promytí byla ověřena přítomnost chitosanu pomocí

FTIR spektra ATR techniky a mappingu plochy. Výsledkem bylo potvrzení, že chitosan je ve vrstvě po 13-ti promytí 96% EtOH přítomný. Materiál zbavený kyselin byl poté použit pro biologické testování v porovnání se samotným polykaprolaktonem. Výsledky testování po dvou, sedmi a dvanácti dnech ukázaly, že směs PCL/CS nejeví výrazné zhoršení ve viabilitě buněk v nanovlákněné vrstvě oproti PCL samotnému. Z tohoto důvodu lze tvrdit, že nanovlákněné vrstvy směsi polykaprolakton s chitosame jsou vhodné pro zhotovení tkáňových nosičů. Směsí polymerů vznikl materiál s novými vlastnostmi - antibakteriálním účinkem, dostatečnou pevností a zkrácenou dobou degradace oproti polykaprolaktonu samotnému. Antibakteriální účinek a zrychlenou degradaci zajistí přítomnost chitosanu., další vlastnost - pevnost nosiče zajistí přítomnost polykaprolaktonu.

Literatura

- [1] LANGER, Rober a Joseph VACANTI. Tissue engineering. *Science*. 1993, č. 260, s. 920-926. ISSN 0036-8075
- [2] SIPE, Jean, Christine Kelley a Loré Anne MCNICOL. Reparative Medicine: Growing Tissues and Organs. *Annals of the New York Academy of Sciences*. 2006, roč. 1, č. 961, s. 13-14.
- [3] *Wikipedia* [online]. 2012 [cit. 2013-01-21]. Dostupné z: http://en.wikipedia.org/wiki/Tissue_engineering
- [4] TŘESOHLAVÁ, Eliška a František RYPÁČEK. *Buněčná terapie* [online]. 2009 [cit. 2012-09-21]. Dostupné z: <http://www.bunecna.cz/>
- [5] CHEUNG, Hoi-Yan, Kin-Tak LAU, Tung-Po LU a David HUI. A critical review on polymer-based bio-engineered materials for scaffold development. *Composites: Part B*. 2007, č. 38, 291–300.
- [6] SAXENA, Amulya a ANTONIOS MIKOS. Tissue engineering: Present concepts and strategies. *Review Article*. 2005, roč. 10, č. 1, s. 14-19.
- [7] AGARWAL, Seema, Joachim WENDORFF a Andreas GREINER. Use of electrospinning technique for biomedical applications. *Polymer*. 2008, č. 49, s. 5603–5621.
- [8] GUNATILLAKE, Pathiraja A. a Raju ADHIKARI. BIODEGRADABLE SYNTHETIC POLYMERS FOR TISSUE ENGINEERING. *European Cells and Materials*. 2003, č. 5, s. 1-16. DOI: 1473-2262.
- [9] CROISIER, Florence Croisier a Christine JÉRÔME. Chitosan-based biomaterials for tissue engineering. *European Polymer Journal*. 2013, roč. 49, č. 4, s. 780-792.
- [10] ELSABEAA, Maher Z., Hala F. NAGUIBA a Rania Elsayed MORSI. Chitosan based nanofibers, review. *Materials Science and Engineering: C*. 2012, roč. 32, č. 7, s. 1711-1726.
- [11] HERMANOVÁ, Soňa. *Chempoint* [online]. 2012 [cit. 2012-09-21]. Dostupné z: <http://www.chempoint.cz/polykaprolakton-biodegradabilni-polyester>
- [12] HELÁNOVÁ, Valerie. *Chempoint* [online]. 2012 [cit. 2012-09-21]. Dostupné z: <http://www.chempoint.cz/plynova-chromatografie-pomocnik-pri-studiu-degradace-polykaprolaktonu>
- [13] WOODRUFF, Maria Ann a Dietmar Werner HUTMACHER. The return of a forgotten polymer—Polycaprolactone in the 21st century. *Progress in Polymer Science*. 2010, roč. 35, č. 10, s. 1217-1256.

NÁVRH ON-LINE DIAGNOSTIKY VŘETEN STROJŮ GROB PRO OBRÁBĚNÍ BLOKU MOTORU VE FIRMĚ ŠKODA AUTO, A.S.

Půlpánová Zdeňka

Sekce - TEXTIL,
Fakulta textilní, 2. ročník

Navazující magisterský program – PRODUKTOVÝ MANAGEMENT- STROJÍRENSTVÍ

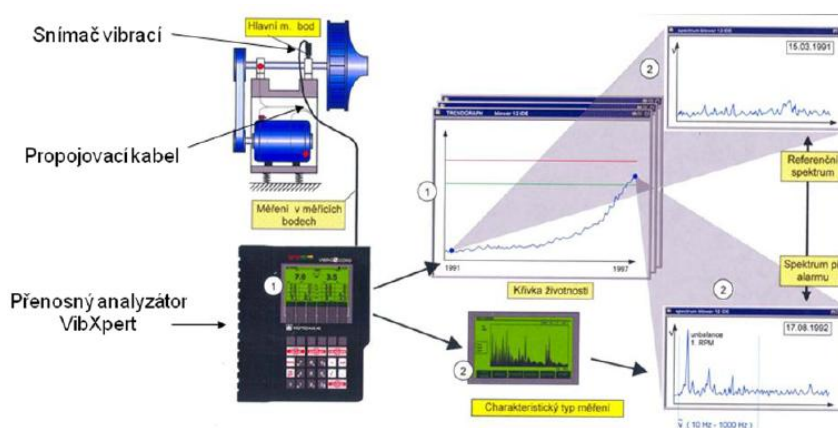
Abstrakt: Diplomová práce se zabývá celkovým návrhem ON-LINE diagnostiky strojů GROB pro výrobu bloků motorů ve firmě Škoda auto a.s. Návrh slouží jako podklad pro zavedení ON-LINE sledování vřeten strojů GROB za účelem zvýšení životnosti strojů, navýšením výrobních kapacit a zlepšení kvality výroby a snížením nákladů na opravy strojů a neplánovaných odstávek ve výrobě na minimum.

Klíčová slova: Stroje GROB, motor, ON-LINE diagnostika

1 Vlastní návrh ON-LINE diagnostiky

Mechanický kmitočet neboli vibrace vzniká vždy při provozu zařízení, u kterých probíhá rotační pohyb. Dynamické namáhání stroje se odvíjí od technického stavu hřídel, ložisek, převodovek, nesousostí a nevývah rotujících částí. Vibrodiagnostika je založena na měření vibrací, které následně analyzuje, a určí objektivní technický stav daného zařízení, který následně promítne při strategickém plánování údržby. [1]

Dosud nejpoužívanějším typem diagnostického měření je měření OFF-LINE (obrázek 1). Snímač vibrací je připevněn na stroji natrvalo a předem určený pracovník z kanceláře technické diagnostiky chodí snímat analyzátozem hodnoty v předepsaných intervalech. Další možností snímání dat je připevňování snímačů pomocí magnetu na vytipované měřicí místo. Zde je nutno dodržovat bezpečnost při instalaci i během měření, jelikož probíhá v obráběcím prostoru stroje. V obou případech chodí pracovník v daných intervalech. Periody jsou předepsány v ročním plánu měření, který je sestavován na začátku roku a je průběžně upravován podle technického stavu strojů. Nevýhodou OFF-LINE měření je, jak už ze samotného názvu vyplývá, že osoba pověřená snímáním dat musí docházet ke strojům, což značně navyšuje čas sběru dat. Další nevýhodou OFF-LINE metody je nutnost přítomnosti kvalifikované obsluhy strojů, která zadává a spouští stroj do měřicího módu.



Obrázek 1: Způsob měření OFF-LINE [2]

Druhý typ sběru dat se nazývá měření ON-LINE, u něhož je snímač vibrací i měřící zařízení trvale připevněno ke stroji a jsou drátově nebo bezdrátově spojeny s kanceláří technické diagnostiky. Výhodou ON-LINE metody je, že pracovník technické diagnostiky nemusí měřit data u stroje a hodnoty může kdykoli získat přímo do počítače ve své kanceláři ON-LINE. Díky této metodě také lze:

- zkrátit časy pro měření vibrací,
- eliminace lidského faktoru,
- snížit prostoje ve výrobě,
- snížit spotřebu náhradních dílů a tím i nároky na skladovací prostory,
- omezit neplánované opravy na minimum,
- zvýšit životnosti strojů,
- navýšit výrobní kapacity a zlepšit kvalitu výroby.

Nevýhodou ON-LINE metody je vyšší finanční náročnost při instalaci do výrobního systému. [2]

1.1 Opracování bloku válců motoru – stroje GROB

Blok válců motoru EA 211 je hliníkový odlitek, který se zhotovuje tlakovým litím. Polotovary horního dílu bloku motoru se odlévají ve slévárně hliníku v mladoboleslavském areálu Škoda auto a.s. Zde, přímo v hutních provozech, se následně polotovary předobrábí. Obrábění bloku válců motoru probíhá na lince EA 211 za třísměnného provozu v nákladovém středisku 2172, které se nachází v hale s označením M2 Mladá Boleslav.

Na výrobní lince bloku motoru je celkem prováděno 5 výrobních operací 23 automatizovanými CNC centry GROB (obrázek 2). Počty obráběcích center na jednotlivých operacích jsou přizpůsobeny náročnosti jednotlivých obrábění tak, aby bylo možné dosáhnout předepsané výrobní kapacity. Automatizovaná centra GROB jsou vyráběna ve dvou provedeních – jednovřetenová a dvouvřetenová. Na vybraném nákladovém středisku 2172 jsou všechna centra dvouvřetenová, tedy vřetena při obrábění konají totožný synchronní pohyb. [2], [3]



Obrázek 2: Obráběcí centrum GROB [3]

1.2 Volba a příprava měřících míst

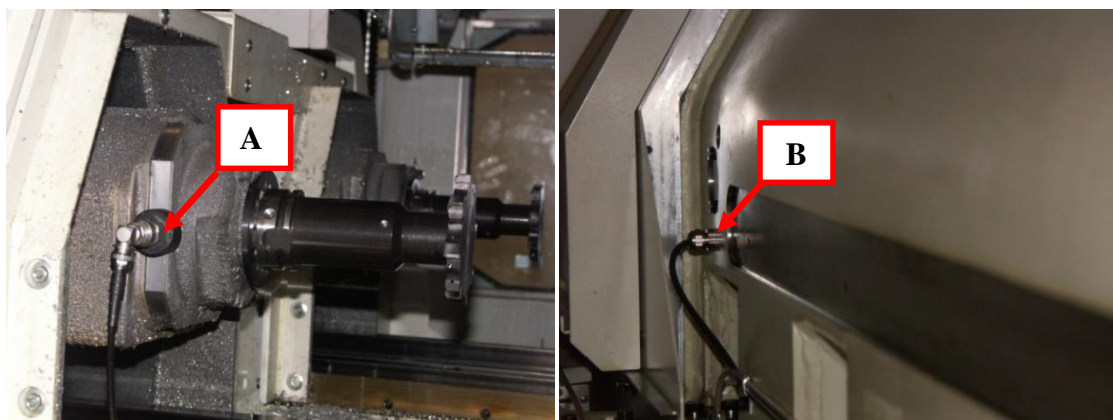
Prvním krokem při návrhu měřícího systému je volba měřících míst, kde se umístí snímače vibrací. Měřící místa lze definovat jako plochy, kde se provádí pravidelná monitorování stavu vibrací. Umístění snímačů se odvíjí podle měřeného objektu a na vibrodiagnostických parametrech, které se mají snímat. Mezi základní zásady volby měřících míst patří:

- Volí se místa s nepravděpodobnějšími maximálními hodnotami vibrací (např. uprostřed hřídele, u ložisek atd.) na základě provozních zkušeností,
- cesta šíření signálu musí být co nejkratší (bez přechodů či přerušení materiálu),
- hlavní osa snímače musí být umístěna v ose maximálního zatížení,
- měření se musí být realizováno za provozních podmínek (ustálených). [4], [5]

Aby získaná data byla kvalitní, je důležité postupovat pečlivě a zajistit při měření vhodné podmínky, aby měřící zařízení nebylo ovlivněno vnějšími vlivy prostředí, mezi které patří například kolísání teploty, zvuková a magnetická pole, orientace snímače, kolísání napájecího zdroje a jiné. Dále je nezbytné, aby snímače vibrací byly správně připevněné a způsob upevnění nesnižoval přesnost měření. [6]

Na základě výše uvedených pravidel byla zvolena měřící místa pro ON-LINE měření na vybraném stroji GROB. Při dosud používaném OFF-LINE měření vibrací se snímač vibrací při jednotlivých měřeních vibrací instaloval do obráběcího prostoru strojních zařízení na nerotační část tělesa vřetena, kterou je nutno důkladně očistit (obrázek 3 - A). Ve vybraném měřícím místě dochází ke snížení intenzity signálu vlivem vzdálenosti od měřených ložisek. U OFF-LINE způsobu měření, ovlivňuje přesnost získaných dat lidský faktor, jelikož je nutné při každém měření instalovat na totožná měřící místa snímače vibrací.

Pro měření ON-LINE bylo zvoleno měřící místo mimo obráběcí prostor strojního zařízení za upevňovací přírubou vřetena. Zvolené měřící místo je ideální z důvodu nejbližší možné blízkosti od předních ložisek vřetena a čistoty nevýrobního prostoru (obrázku 3 - B). Zvolený způsob umístění je bezpečný a je minimalizována možnost mechanického poškození výrobního zařízení. Měřící místo bylo schváleno výrobcem strojního zařízení.



Obrázek 3: Umístění snímače na stroji GROB
A - OFF-LINE měření, B - ON-LINE měření

1.3 Návrh snímačů vibrací

V mechanice se pohyb popisuje dráhou (tzv. výchylkou), rychlostí a zrychlením. Ve vibrodiagnostice se mechanické kmitání měří pomocí tří základních diagnostických veličin:

- **Dráha kmitů s** [μm] – výchylka měřeného bodu z jeho klidové polohy,
- **Rychlost kmitání v** [$\text{mm}\cdot\text{s}^{-1}$] – rychlost měřeného bodu kolem jeho klidové polohy,
- **Zrychlení kmitání a** [$\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$] – zrychlení měřeného bodu kolem jeho klidové polohy.

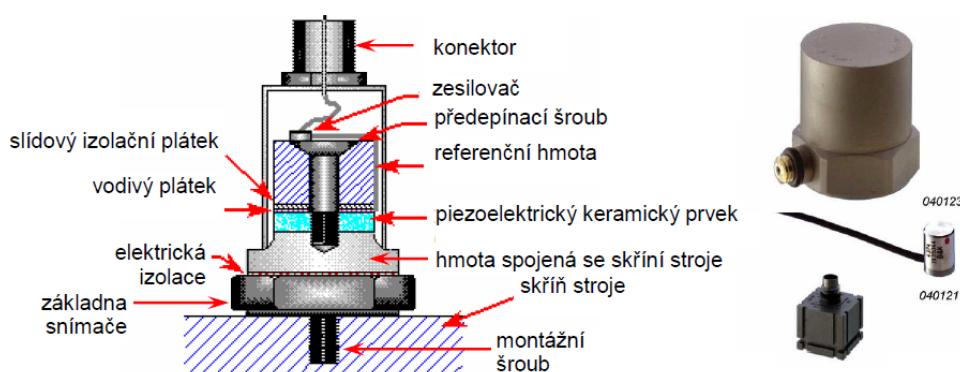
Snímače vibrací se dělí podle typu měřené veličiny, které slouží k popisu kmitavého pohybu. Proto rozlišujeme tři typy snímačů vibrací:

- **Snímače výchylky** – jsou velmi složité a v současnosti se využívají pouze při měření vibrací hřidelů,
- **Snímače rychlosti** (velometry) – jsou levné a velice citlivé, avšak jejich konstrukce je velice křehká, a tak jsou náchylné na otřesy,
- **Snímače zrychlení** (akcelerometry) – v současnosti využívány jako základní snímače vibrací. [2], [7], [8]

Snímače zrychlení - akcelerometry

Snímače vibrací jsou v současné době nejvíce využívány při měření na nepohyblivých částech rotačních strojů. Akcelerometry (obrázek 4) mají z výše zmíněných snímačů vibrací nejméně nevýhod a lze jimi změřit pomocí integrace signálu také rychlost nebo výchylku.

Funkce akcelerometru je založena na deformaci destičky z piezoelektrického keramického materiálu, na kterém vzniká elektrický náboj. Velikost tohoto náboje roste přímo úměrně s mírou deformace destičky, jež je pružně upnuta mezi seismickou (setrvačnou) referenční hmotou a pouzdrem snímače, který je napevno spojen se skříní stroje. Čili pokud měřený stroj kmitá, přenáší vibrace přes hmotu spojenou s pouzdrem snímače. Jelikož referenční hmota je uložena pružně, ta zůstává v klidu. Takto vzniklá síla vytváří deformace destičky a následně elektrický náboj, který je přímo úměrný velikosti zrychlení zařízení. Akcelerometr tedy snímá absolutní vibrace. Pokud by ve snímači zrychlení nebyla instalována setrvačná hmota, snímač by měřil relativní vibrace, jako tomu je například u snímačů výchylky. [8], [9]



Obrázek 4: Snímač zrychlení (typ tlakový) [8]

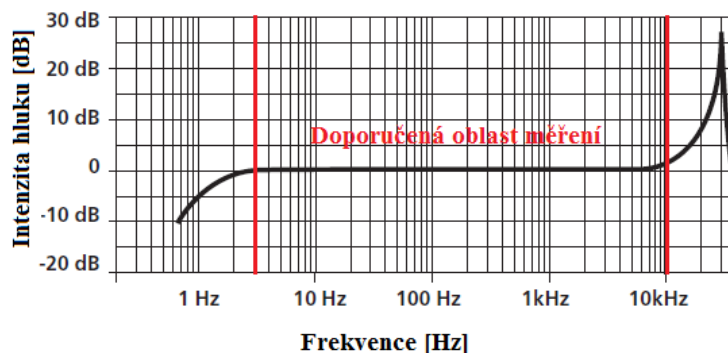
1.4 Volba typu snímačů vibrací

Při návrhu měření ON-LINE na obráběcích strojích je jeden z nejdůležitějších kroků samotný výběr typu snímačů. Při návrhu se musí počítat s vlastnostmi obráběcích strojů, jelikož ty hrají největší roli. Pokud by snímač z jakéhokoliv důvodu nevyhovoval, přenášel by při měření nekorektní informace a celý sběr dat by byl zkreslený. Mezi základní parametry snímačů vibrací patří jejich velikost, hmotnost, citlivost a dynamický rozsah. Cílem je zvolit co nejcitlivější snímač s co nejmenšími rozměry a hmotností, jelikož snímač zůstane trvale instalován ve stroji, je důležité, aby v pracovním prostoru stroje nepřekážel a byl montovatelný i na méně přístupná měřicí místa.

Pro měření na obráběcích centrech GROB byl zvolen typ snímače VIB 6.202, jenž je určen pro průběžné sledování vibračních hodnot strojních zařízení. Předností tohoto akcelerometru je nízká hmotnost 22 g a malé rozměry 23 x 19 mm. Součástí balení je 3 – 6 m dlouhý stíněný koaxiální kabel, který pro zvolenou instalaci vyhovuje. Tento kabel musí být stíněný z důvodu eliminace jiných frekvenčních zdrojů vibrací. Plášť snímače vibrací je z antikorozi oceli a jeho doporučené připevnění je pomocí závitu. Snímač je možné používat pro měření vibrací při teplotách v rozsahu od $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $+80\text{ }^{\circ}\text{C}$. V kapitole 1.2 byla zvolena měřicí místa na obráběcích strojích. Na každém vřetení bylo zvoleno jedno měřicí místo. Což znamená, že na každém dvouvřetenovém obráběcím zařízení se umístí dva snímače vibrací. Na obráběcí lince bloku motoru je celkem instalováno 23 obráběcích center GROB, což znamená, že celkem bude potřeba 46 snímačů vibrací. [10], [11]

Aby byla naměřená data pomocí snímačů vibrací přesná a opakovatelná. Měření mají přípustnou toleranci $\pm 10\%$ kalibrační citlivosti pro požadovaný amplitudový a frekvenční rozsah měření. Pokud jsou měření vibrací prováděna s většími odchylkami od kalibrační citlivosti $\pm 10\%$, data nejsou reprezentativní. Důležitá je také opakovatelnost měření, jinak nemohou být prováděny porovnávání a sledování trendů signálů o technickém stavu stroje. Opakovatelnosti měření lze dosáhnout snímáním dat se stejně nastavenými citlivostmi a kalibracemi. Každý typ snímače vibrací má své vlastní charakteristiky. Pro zvolený snímač vibrací VIB 6.202 je frekvenční charakteristika znázorněna na obrázku 17. [9], [12]

Dále je důležité znát frekvenční charakteristiku daného akcelerometru. Na obrázku 5 je znázorněna frekvenční charakteristika snímače vibrací VIB 6.202. Snímač vibrací může měřit vibrace od 1 Hz, ale do dosažení intenzity hluku 0 dB jsou získaná data nepřesná a mohou sloužit pouze jako data orientační. V katalogu výrobce doporučuje používat tento snímač vibrací při měřeních vibrací v rozsahu od 5 Hz do 10 kHz, kdy intenzita hluku dosahuje 0 dB a snímač vibrací je nejcitlivější a nejpřesnější. U měření nad 10 kHz snímač začne snímat vlastní rezonance a získaná data jsou nepřesná a pouze orientační.



Obrázek 5: Frekvenční charakteristika snímače vibrací VIB 6.202 [10]

1.5 Připevnění snímačů vibrací

Při volbě snímače je nezbytné se zamyslet nad jeho montáží ke skříní stroje. Snímač je schopný měřit kvalitní data pouze v případě, když je upevněn tak, aby se s ním dělo totéž, co se skříní stroje a mohl tak sám kopírovat vibrace probíhající na snímaném zařízení. Pokud by byl způsob připevnění snímačů špatně zvolen, měřená data by se stala nepoužitelná. V normě ČSN ISO 5348 lze nalézt způsoby připevnění snímačů k zařízením. Mezi nejčastější způsoby patří zejména:

- tuhým šroubovým spojem – nejspolehlivější způsob uchycení,
- tuhým lepidlem – musí se sledovat provozní teplota zařízení, jinak lepidlo měkne,
- dotekem (rukou držený snímač) – pouze pro orientační měření,
- permanentním magnetem – rychlý způsob uchycení, používají se speciální silné magnety.[8]

Momentálně pracovníci technické diagnostiky používají při aretaci snímače způsob upevnění permanentním magnetem, protože snímače se po ukončení měření demontují z měřících míst. Jelikož u měření ON-LINE zůstávají snímače vibrací trvale umístěny mimo pracovní prostor mezi vřetenem a tubusem vřetena, je zvolen u tohoto návrhu způsob upevnění šroubem. Způsob upevnění šroubem umožňuje sledovat vysokofrekvenční signály bez žádné ztráty signálu. V normě ČSN 13373-1 je doporučeno, aby povrch snímaného strojního zařízení byl hladký, plochý a čistý. Dále je v ní doporučeno aplikovat tenkou vrstvu lepidla na dosedací plochy snímačů, aby se zlepšil přenos a přesnost signálu. [12]

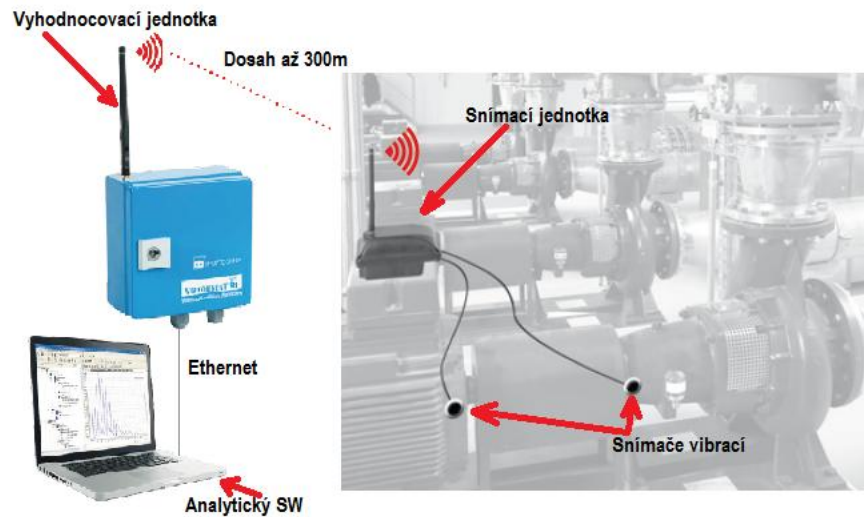
1.6 Propojení snímačů s kanceláří technické diagnostiky

V dnešní době je několik možností, jak propojit snímače vibrací umístěné na obráběcích zařízeních s kanceláří technické diagnostiky. Na výběr je ze tří typů propojení online systémů – VIBCONNECT RF, VIBROWEB a VIBGUARD. V diplomové práci byl doporučen jako nejvhodnější způsob propojení monitorovací systém VIBCONNECT RF, jenž vyhovuje strojním zařízením, rozpočtu ale i technickým požadavkům.

VIBCONNECT RF je monitorovací systém, který je určen pro ON-LINE měření obráběcích strojů. Tento systém je založen na bezdrátovém přenosu dat, což činí systém flexibilní a je tedy výhodný zejména u rozsáhlých strojních parků, kde by pokládání kabeláže bylo velice nákladné a obtížné. VIBCONNECT RF pracuje se snímači vibrací a teploty a se softwarem OMNITREND, jež umožňuje analyzovat a archivovat naměřená data. Výhodou tohoto systému je jeho jednoduchá rozšiřitelnost. Rozšíření lze provést levně, jelikož stačí pouze přikoupit snímací jednotku a nainstalovat ji na nové strojní zařízení. Ta se automaticky spáruje vyhodnocovací jednotkou.

Základní princip tohoto bezdrátového systému je znázorněn na obrázku 6. Snímače vibrací se umístí na strojích dle již výše zmíněných pravidel. Dále se snímače propojí pomocí krátkých kabelů se snímacími jednotkami, které musí být na strojích umístěny tak, aby měřily co nejkvalitnější diagnostický signál a aby vysílaly co nejsilnější rádiový signál na maximální přímou vzdálenost 300 m k vyhodnocovací jednotce. Snímače vibrací zaznamenávají současně vibrace, teplotu a aktuální stav valivých ložisek. Za účelem dosažení co nejmenší spotřeby energie, jsou snímací jednotky mezi měřícími cykly v režimu standby, aby byla minimalizována spotřeba energie. Snímací jednotky jsou dále propojeny s řídicím systémem stroje, aby bylo možné nastavit v CNC programu konstantní otáčky při měřící úloze mimo výrobní cyklus strojního zařízení. Vyhodnocovací jednotka je rádiová buňka, která slouží k příjmu naměřených dat ze snímacích jednotek a následnému vypočítání charakteristických hodnot, spekter a obálek. Zpracovaná data se následně přenáší pomocí drátového propojení (pomocí ethernetu) nebo bezdrátového propojení (pomocí SIM karty) do softwarové platformy OMNITRNEED. Analytický systém umožňuje trvalý uživatelsky nenáročný přístup

k informacím o stavu výrobních zařízení. Zde je možné dále analyzovat získaná data, následně tvořit zprávy a archivovat. Pomocí alarmů je možné nastavit zvýraznění kritických hodnot v příslušných protokolech. Tak je možné okamžitě reagovat na zhoršení provozního stavu strojních zařízení a udržovat co nejdelší provozuschopnost strojů při zachování vysoké kvality. V případě potřeby konfigurace měřících úloh, lze snadno pomocí analytického programu a vyhodnocovací jednotky zanést změny do systému. Dále je možné provést na vyžádání okamžitá měření. [10], [11]

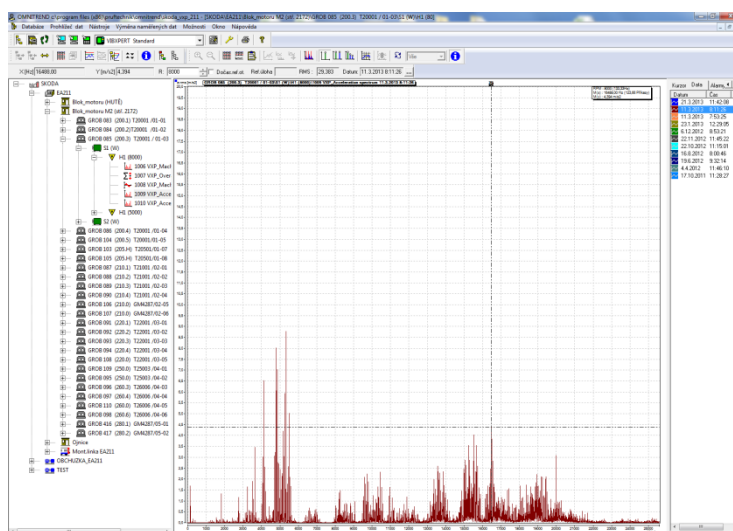


Obrázek 6: Instalace VIBROCONNECT RF [11]

1.7 Volba programu pro vyhodnocování

Software OMNITREND je univerzální program od firmy PRŮFTECHNIK. Lze v něm konfigurovat dle potřeby obchůzky pro přístroje, sledovat trendy vibrací, analyzovat spektra s časovými signály, sledovat aktuální stav ložisek, vyvažování, atd. Pracovníci kanceláře technické diagnostiky program vlastní a využívají při měřeních OFF-LINE, byl pro vyhodnocování dat získaných metodou ON-LINE zvolen právě software OMNITREND. Finanční náklady na vyhodnocovací program se tak eliminují pouze upgrade. Program umožňuje vytvářet protokoly založené na analýzách měření podle norem, archivovat data a vytvářet databáze k jednotlivým strojům s jejich poruchovou historií a časovým vývojem.

V horní liště pracovního prostředí (obrázek 7) programu se nachází lišta nástrojů, klasické povely jako uložit, otevřít, ale také katalog ložisek od výrobců, ve kterém lze označit typ ložiska, doplnit měřené otáčky a samo vypočítá poruchové frekvence. Katalog ložisek je součástí pouze u tohoto programu, u ostatních programů je nutné počítat poruchové frekvence ručně nebo pomocí jiných katalogů ložisek. Poruchové frekvence lze konvertovat přímo do jednotlivých spekter vibrací. V liště je dále možné automaticky vygenerovat měřící protokoly, zadání alarmů k jednomu měřicímu bodu nebo k více vybraným bodům, atd. V levém kraji pracovní plochy se nachází strom se sledovaným strojním parkem, který lze rozkliknout pro získání dat na jednotlivých větvenech s měřicími úlohami. V pravém kraji se nachází po otevření měřících úloh časový sled jednotlivých měření. Uprostřed se nachází pracovní plocha programu, ve které se zobrazují jednotlivá měření – spektra vibrací. Ta si lze v ploše zobrazit jednotlivě nebo více. U jednotlivých spekter vibrací si lze měnit podle potřeby rozsahy. [11]



Obrázek 7: Pracovní prostředí softwaru OMNITREND

1.8 Volba orientačních mezních hodnot vibrací

Volba orientačních mezních hodnot vibrací byla provedena na základě normy ČSN ISO 10816-3, která obsahuje obecné požadavky pro hodnocení vibrací strojních zařízení na základě měření na nerotujících částech. [6]

Podle normy ČSN 10816-1 jsou mohutnosti vibrací u různých tříd strojních zařízení posuzovány podle dvou kritérií. První kritérium zohledňuje velikost širokopásmových vibrací. Druhé kritérium zohledňuje změny velikosti zvyšujících se a snižujících se vibrací. [6]

Doporučené hodnoty velikosti vibrací lze nalézt v normě ISO 10816-3, která slouží pro vyhodnocování vibrací na nerotujících částech průmyslových strojů. Hodnoty vibrací a jejich význam při vyhodnocování je znázorněn na obrázku 22. V pásmu A by se měly nacházet vibrace nově přejímaných strojních zařízení. Stroje, jejichž vibrace leží v pásmu B, mohou být v provozu používány po neomezenou dobu. V pásmu C se nachází stroje, jejichž technický stav je neuspokojivý pro dlouhodobý provoz. Stroje s touto velikostí vibrací mohou zůstat v tomto pásmu do doby, než se nalezne způsob nápravy a také dokud nenastane v provozu možnost provést opravu bez snížení výroby. V pásmu D se nachází stroje, jejichž velikost vibrací může vyvolat poškození výrobního zařízení. Pro přehlednost byla výše zmiňovaná pásma v obrázku 22 pojmenována podle stupně poškození strojních zařízení, tedy od bezporuchového stavu A – dobrý stav až po havarijní stav D – nepřijatelný stav. Podle tabulky 21 se strojní zařízení GROB (třída 2) pohybuje v pásmu A $1,12 \text{ mm.s}^{-1}$, B $2,8 \text{ mm.s}^{-1}$, C $7,1 \text{ mm.s}^{-1}$ a D více než 18 mm.s^{-1} . [6], [12]

Pracovní otáčky dnešních moderních strojů se pohybují v desetitisících otáček za minutu, konkrétně obráběcí centra GROB na NS 2172 pracují při provozních otáčkách až $18\,000 \text{ min}^{-1}$. Proto se normy ISO 10816-3 využívá pro stanovení doporučených mezních hodnot, avšak limity se upravují na základě praktických zkušeností diagnostiků, požadavků na zajištění kvality výrobků a životnosti stroje. [13], [14]

Vzhledem k požadavkům dosažení požadované kvality finálního výrobku byly normou doporučené hodnoty vibrací pracovníky technické diagnostiky zpřísněny. V rámci diplomové práce byly mezní hodnoty vibrací stanoveny na základě praktických zkušeností pracovníků technické diagnostiky. Konkrétní zvolené hodnoty jsou uvedeny v obrázku 8.

Efektivní rychlost vibrací [mm.s^{-1}]		
Doporučené meze	Třída 2	Navrhované meze
1,12	A	0,6
2,8	B	1,2
7,1	C	1,8
	D	

Obrázek 8: Pracovní prostředí softwaru OMNITREND

A - dobrý stav, B - přijatelný stav, C - nepřijatelný stav, D - nepřijatelný stav

Alarmové provozní meze

Druhé kritérium zohledňuje změnu velikosti vibrací vůči předem definované referenční hodnotě vibrací – alarmové provozní mezi. Přestože velikost vibrací nedosahuje hodnot v pásmu C podle prvního kritéria, mohou se vyskytnout změny ve velikosti širokopásmových vibrací, u kterých je nezbytné provést preventivní opatření. Na základě těchto změn vibrací by totiž mohly vzniknout různá poškození, která by mohla ovlivnit kvalitu výroby a v případě vzniku okamžitého poškození by mohlo dojít až k úplné ztrátě provozuschopnosti výrobního zařízení. Kritérium je stanoveno na základě změny velikosti širokopásmových vibrací, které se vyskytují za ustálených provozních podmínek. Při posuzování změn velikostí vibrací musí být předem stanovené hodnoty provozních mezí porovnávány s naměřenými hodnotami vibrací, které byly naměřeny za shodných podmínek, tedy při shodném umístění a orientaci snímače vibrací a za přibližně stejných provozních podmínek. U ON-LINE měření jsou tyto shodné podmínky zaručeny, jelikož snímače vibrací zůstávají napevno ve výrobním zařízení a stejné provozní podmínky jsou zaručeny předem nastaveným programem měření. Při použití druhého kritéria se stanovují tzv. provozní meze vibrací.

Pro strojní zařízení se stanovují dva typy alarmových provozních mezí vibrací, nazývají se VÝSTRAHA A PŘERUŠENÍ PROVOZU. Provozní mez VÝSTRAHA slouží k varování, že došlo k významné změně hodnot vibrací. Během této provozní meze může zůstat během detekování vznikající závady a stanovení nápravných opatření výrobního zařízení v provozu. Naopak pokud změna vibrací dosáhne hodnot v provozní mezi PŘERUŠENÍ PROVOZU, musí být provedeno okamžité nápravné opatření za účelem snížení vibrací stroje, jinak se stroj vypne. [6]

Na vybraném stroji GROB G524A24K byla provozní mez VÝSTRAHA zvolena mezi stavy B a C. Při překročení efektivní hodnoty vibrací $1,2 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$ bude vystaven měřicí protokol, na jehož základě budou zajištěny potřebné náhradní díly nebo nové vřeteno na výměnu. Zároveň se zvýší četnost měření vibrací a v případě zhoršení kvality výroby (geometrických veličin) bude provedena okamžitá včasná výměna vřetena mimo pracovní cyklus, aby nedošlo k neplánovanému prostoji. Provozní mez PŘERUŠENÍ PROVOZU byla zvolena mezi stavy C a D. Při překročení efektivní hodnoty vibrací $1,8 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$ bude vřeteno ponecháno ve výrobním cyklu pouze po nezbytnou dobu, aby bylo možné zajistit náhradní díly pro opravu nebo připravit nové vřeteno.

1.9 Finanční kalkulace

Finanční náročnost implementace ON-LINE měření vibrací do preventivního sledování technického stavu zařízení se odvíjí od zvoleného typu propojení snímačů vibrací s kanceláří technické diagnostiky. Nejvíce vhodný a zároveň také nejlevnější systém sledování je možnost propojení VIBCONNECT RF. Na každém vřeteni bylo zvoleno jedno měřicí místo. Což znamená, že na každém dvouvřetenovém obráběcím zařízení se umístí dva snímače vibrací. Na obráběcí lince bloku motoru je celkem instalováno 23 obráběcích center GROB, což znamená, že celkem bude potřeba 46 snímačů vibrací VIB 6.202. Na každém obráběcím centru GROB je dále nutné nainstalovat snímací jednotku, jež bude získaná data přeposílat do vyhodnocovací jednotky. Snímací jednotka musí být také propojena s řídicím systémem strojního zařízení (25 m ethernetového kabelu). Počet snímacích jednotek závisí na četnosti strojů na sledované lince, tedy 23. Jelikož linka není prostorově náročná a obráběcí centra jsou blízko u sebe v okruhu do 300 m, bude potřeba pouze jedna vyhodnocovací jednotka. Pro spojení vyhodnocovací jednotky s kanceláří technické diagnostiky bude zapotřebí přibližně 80 m dlouhého ethernetového kabelu. Pro vyhodnocování získaných dat je dále zapotřebí počítač a vyhodnocovací software. Kancelář technické diagnostiky již vlastní počítače i s vyhodnocovacím softwarem OMNITREND, bylo by tedy pouze nutné upgradovat

program, aby umožnil ON-LINE sledování. Do finanční kalkulace je dále nezbytné započítat práci při instalaci monitorovacího systému a zaškolení pracovníků technické diagnostiky se seřizovači výroby.

Finanční náročnost zavedení metody ON-LINE na vybraném nákladovém středisku se přibližně rovná hodnotě jednoho repasovaného obráběcího vřetena Weiss, kterých je celkem navrženým systémem současně hlídáno 46.

2 Závěr

V rámci diplomové práce byl proveden vlastní návrh ON-LINE diagnostiky vřeten strojů GROB na lince obrábějící blok motoru ve firmě Škoda auto a.s. Podle předem určených pravidel, byly zvoleny měřicí místa na vřetenech strojů GROB. Jelikož při ON-LINE způsobu snímání vibrací zůstávají snímače vibrací trvale upevněny na měřicím místě v obráběcím prostoru stroje GROB, byl navrhnout způsob upevnění pomocí šroubu (popřípadě pomocí šroubu a lepidla), který umožňuje díky předpětí trvalé umístění. Dále byl zvolen snímač vibrací, jenž vyhovoval svými základními parametry (velikost, hmotnost, citlivost). V práci byly uvedeny možné monitorovací systémy pro ON-LINE sledování vibrací, jako nejvhodnější byl zvolen systém VIBCONNECT RF. Jako vyhodnocovací program vibrací byl zvolen software OMNITREND, který umožňuje jednoduše analyzovat naměřená data. V rámci práce byly navrženy vlastní mezní hodnoty vibrací s alarmovými mezemi.

Finanční náročnost zavedení metody ON-LINE na vybraném nákladovém středisku se rovná nepatrné části pořizovací hodnoty hlídaných strojních zařízení. Přínosem zavedení metody ON-LINE je zvýšení sledování aktuálního technického stavu strojních zařízení, zpřesnění prediktivní údržby, zachování požadované četnosti výroby, minimalizace neplánovaných prostojů a havárií, snížení nákladů na údržbu strojních zařízení spolu s dodržením bezpečnosti a ekologie provozu.

Literatura

- [1] HELEBRANT, F., 2007. *Vibrační diagnostika VIB01 – Základy vibrační diagnostiky*, Bohumín, s. 159.
- [2] PŮLPÁNOVÁ, Z., 2011. *Bakalářská práce - Problematika životnosti vřeten strojů GROB pro obrábění hlavy válců při tříválcový motor Škoda 1,2 litru ve firmě Škoda auto a.s.*, TUL, s. 73.
- [3] Podklady Škoda auto a.s. Mladá Boleslav.
- [4] TOMEH, E., NĚMEČEK P., 2010. *Vibrační diagnostika základních závad strojů*, Liberec, s. 64.
- [5] SKF Condition Monitoring – *Průvodce technickou diagnostikou*, 1995, CM5003-CZ
- [6] ISO 10816-3 zavedena v ČSN ISO 10816-3 (011412) *Mechanical vibration - Evaluation of machine vibration by measurements on non-rotating parts - Part 3: Industrial machines with nominal power above 15 kW and nominal speeds between 120 r/min and 15000 r/min when measured in situ*
- [7] SCHENCK, 1989. *Preventivní údržba strojů*, Brno, str. 346.
- [8] BILOŠ, J., BILOŠOVÁ A., 2012. *Aplikovaný mechanik jako součást týmu konstruktérů a vývojářů: část vibrační diagnostika*, Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, Ostrava, s. 142, ISBN 978-80-248-2755-1.
- [9] JANOUŠEK, I. aj. 1988. *Technická diagnostika*, Praha, SNTL - Nakladatelství technické literatury, L13-B3-IV-31f/22802.
- [10] PRÜFTECHNIK - Condition Monitoring, Oskar Messter, s. 19-21, Germany, Version 06.2010.
- [11] Podklady firmy LAMI KAPPA.
- [12] ISO 13373 zavedena v ČSN ISO 13373-1 (011440) *Condition monitoring and diagnostics of machines - Vibration condition monitoring - Part 1: General procedures*
- [13] ANDERSSON, J., 1997. *Základní příručka o vibracích*, Teplice, s. 71.
- [14] ADASH S.R.O.: *Jak začít provádět vibrační diagnostiku – Metodická příručka* [online]. [vid 12. 1. 2013]. Ref: 09052003.
Dostupné z: http://www.adash.cz/doc/ApplicationNotes/jak_snadno_zacit_man_cz.pdf

Analýza kvality dodavatelů tlakových zařízení

Bc. Michal Rezek

Sekce - TEXTIL,
Fakulta textilní, 2. ročník

Magisterský studijní program – Průmyslový management ve strojírenství

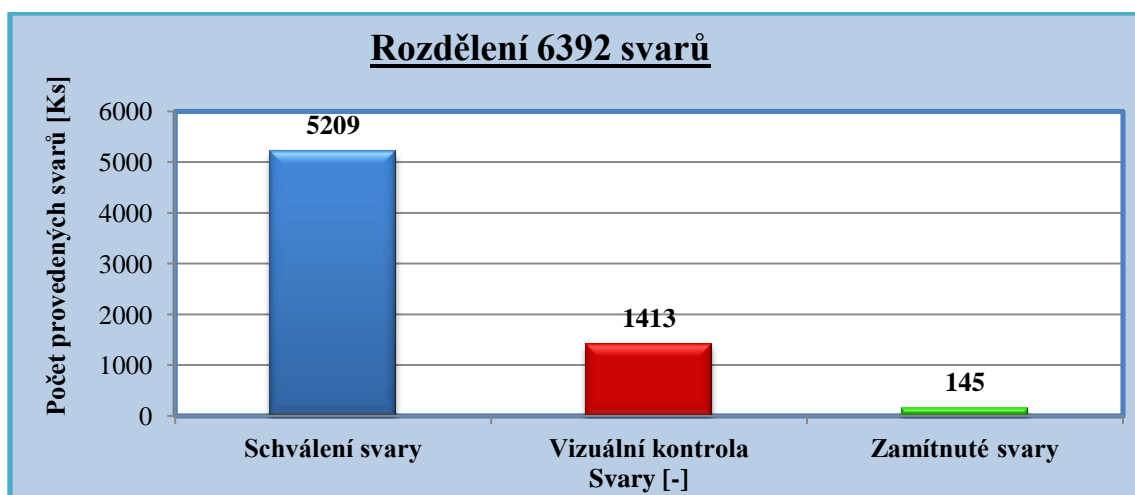
Abstrakt: Cíl práce je, že se zabývá porovnáním dodavatelů v oblasti svařování z pohledu jejich kvality výroby. Je porovnáváno celkem sedm výrobců potravinářských a chemických zařízení. Mezi hlavní body této práce patří jednotlivá porovnání jakosti jednotlivých výrobků, které jednotliví výrobci vyprodukovali. Hlavním srovnávacím ukazatelem je porovnání všech výrobců z hlediska jakosti výrobků. Dále je zkoumáno, jak svářeči odvádějí svoji práci. Vlastním přínosem jsou navrhnuta jednotlivá opatření pro zvýšení jak technologického, tak administrativního procesu zvýšení jakosti výroby.

Klíčová slova: svářeč, zamítnuté svary, podíl zamítnutých svarů ke celkovému počtu svarů

1. Rozdělení svarů

Firmy pravidelně dodávají jak jednotlivá celá zařízení, tak malé subdodávky. Na základě zjištěných údajů za posledních 5 let, lze tímto vyhodnotit jednotlivé dodavatele z hlediska jejich kvality a spolupráce s nimi při řešení vzniklých problémů. Ze získaných hodnot byl proveden rozbor jednotlivých zakázek vyrobených konkrétním výrobcem, dále se přihlíželo, jak na splnění dodacích lhůt, tak na spolupráci při výrobě a případné řešení nastalých problémů. Ze svařovacího plánu bylo zkoumáno, jak jednotliví svářeči jsou výkonní, a také jak se jim daří dodržovat předepsanou kvalitu. Ve svařovacím plánu je uvedeno číslo svářeče i způsob kontroly příslušného svaru. Všechny svary procházejí minimálně vizuální kontrolou. Na svarech, které jsou zatěžovány během provozu, jsou prováděny zkoušky nedestruktivní.

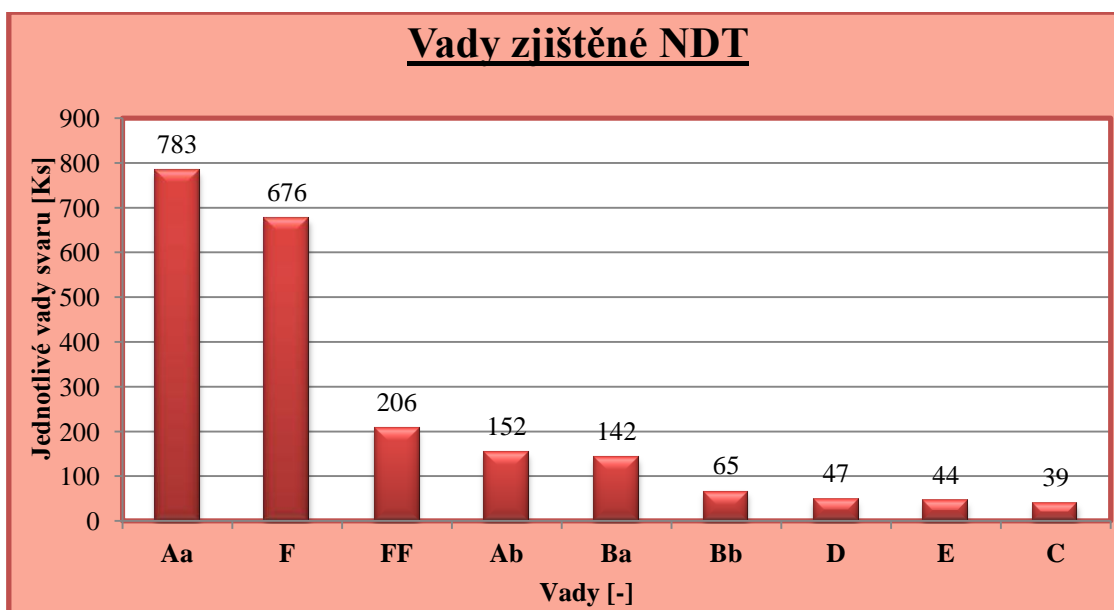
Obrázek 1 vychází z celkového počtu provedených 6747 svarů. Počet schválených svarů činí 5187 svarů tj. 76,9 %. Svarů, které prošly jen vizuální kontrolou, protože na ně nebyl požadavek o jejich dalším zkoušení je 1413 svarů tj. 20,9 %. Poslední složkou jsou na obrázku 1 zamítnuté svary. Těch bylo 145, což je 2,1 %. U těchto svarů musela být provedena oprava.



Obrázek 1: Rozdělení svarů

Veškeré vady byly zjišťovány pomocí nedestruktivních zkoušek. Byly použity tyto jednotlivé zkoušky: zkouška prozářením, zkouška ultrazvukem a penetrační zkouška.

Na obrázku 2 bylo znázorněno devět typů vad svarů. Tyto vady jsou seřazeny podle četnosti. Celkem bylo zjištěno **2154** vad. Vada **Aa** „bubliny“ tvoří podíl z počtu vad ve výši **36,35 %**. Na druhém místě je vada **F** „zápalý“. Tato vada je definována procentuálním podílem **31,38 %**. Na třetím místě je vada **FF** s procentuálním podílem **9,56 %**. Čtvrté místo zastává vada **Ab** s podílem **7,06 %**. Na pátém místě je druh vady **Ba** s podílem **6,59 %**. Na šestém místě najdeme vadu **Bb** s podílem **3,02 %**. Na sedmém místě je typ vady **D** s procentuálním podílem **3,01 %**. Na předposledním místě je vada **E** s procentuálním podílem **2,04 %**. Na posledním místě, a to devátém, je vada **C** s procentuálním podílem **1,81 %**. Podle jednotlivých četností vad je zřejmé, že největší zastoupení mají vady **Aa** a **F**. Vady závažného charakteru na bezpečnost provozu jsou vady **D**, **E** a **C**.

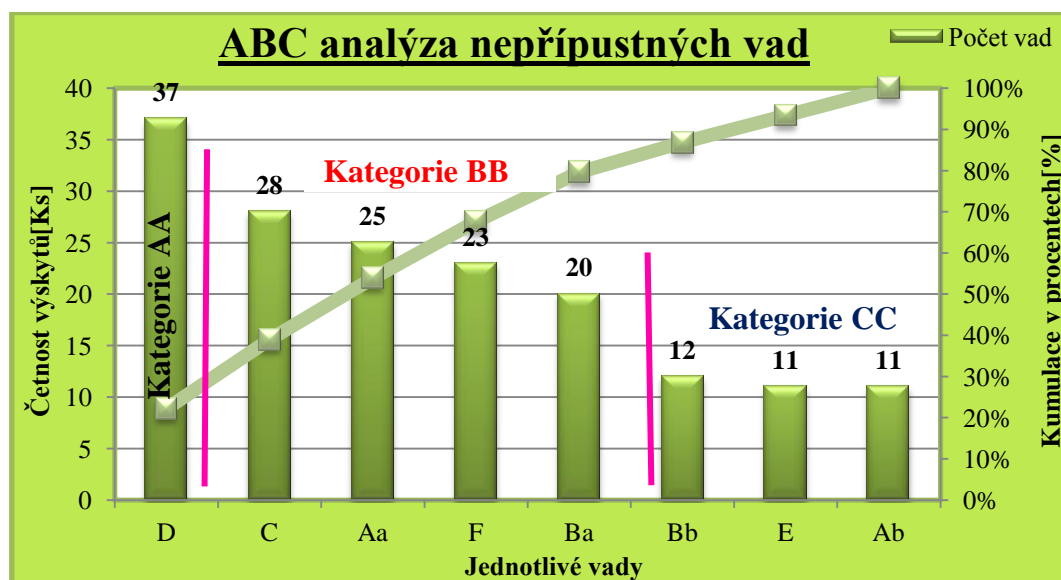


Obrázek 2: Zjištěné vady NDT

1.1. Nepřípustné vady

V této části jsou řešeny nepřípustné vady. Nepřípustné vady jsou vady, které překročily příslušnou toleranci, kterou stanovují normy buď ASME Code a nebo ČSN. Tyto vady musejí být opraveny. Oprava v našem případě znamená, že svár musí být odstraněn a znovu zavařen. Díky tomu vzniká více práce a vznikají další náklady na výrobu.

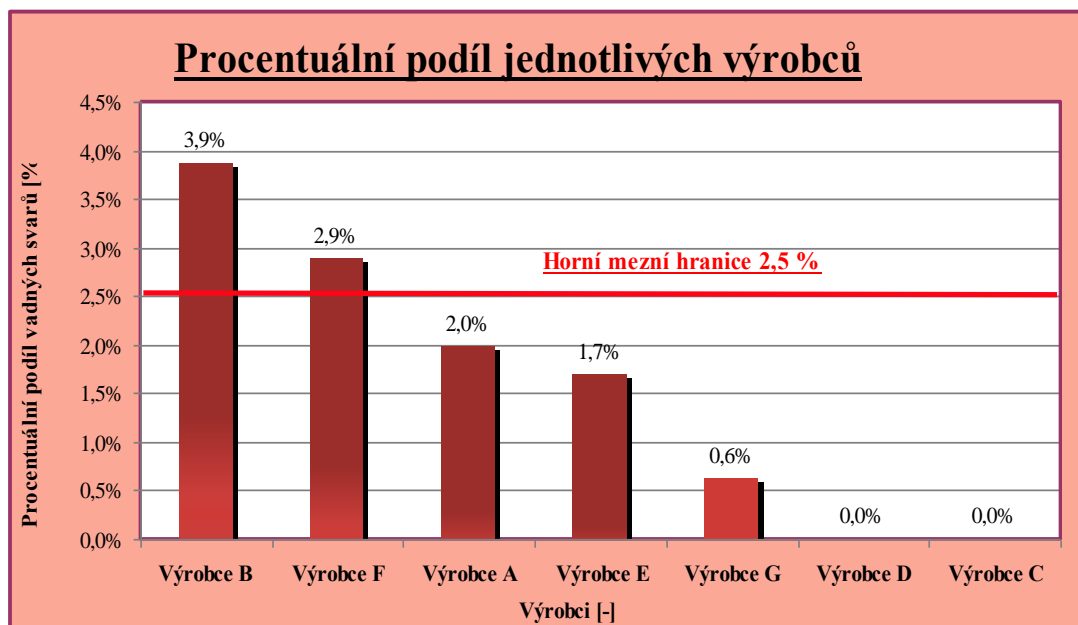
Nepřípustné vady byly rozděleny podle ABC analýzy do tří kategorií. Do **kategorie AA** spadají pouze vady typu **D** s počtem 37 vad z celkového počtu vad 167. To činí procentuální podíl 22,16 %. Do **kategorie BB** spadají vady typu **C, Aa, F, a Ba**. U vady **CC** je procentuální podíl roven 16,77 %. Vada **Aa** je dána podílem 14,97 %. V případě **F** je dána hodnotou procentuálního podílu 13,77 %. Vada **Ba** zastupuje podíl vad 11,98 %. Vady **Bb, E a Ab** řadíme do **kategorie C**. Vada **Bb** má hodnotu 7,19 %. Vady **E a Ab** mají stejnou hodnotu, a to 6,59%. Všechny tyto údaje jsou graficky znázorněny na obrázku 3.



Obrázek 3: ABC - Analýza nepřípustných vad

1.2. Hodnocení výrobců

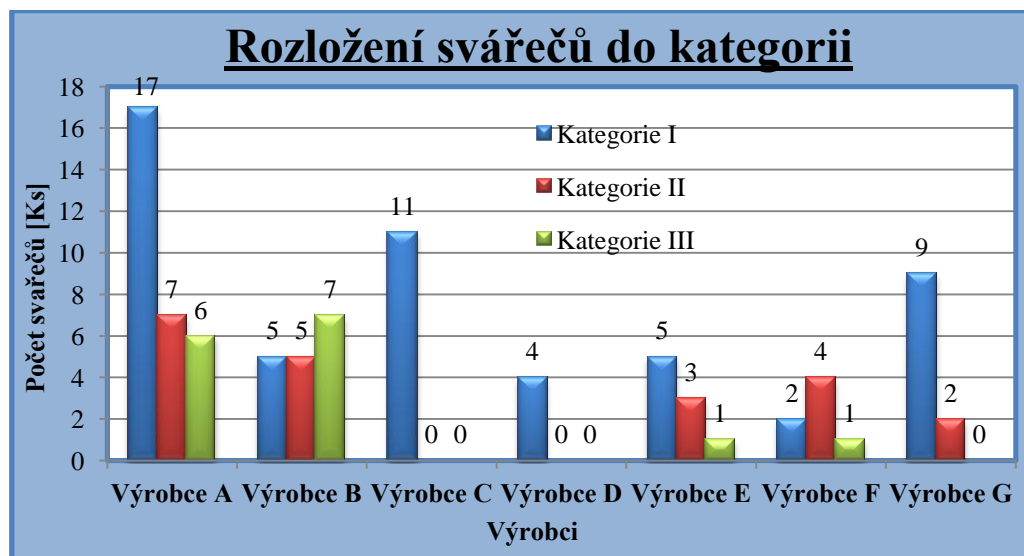
Dalším kritériem hodnocení je podíl zamítnutých svarů k provedeným svarům. U tohoto podílu je mezní hranice 2,5 %. Výrobci nad touto hodnotou nesplňují požadovanou kvalitu jakosti. Jde o **Výrobce B a F**. **Výrobce B** je na hodnotě 3,87 % a **výrobce F** dosahuje podílu 2,89 %. Pod mezní hodnotou se pohybují tři výrobci v rozsahu 0,62 % až 2,00 %. Jsou to **výrobci A, E a G**. Tito výrobci drží příslušnou kvalitu. **Výrobce D a C** dopadli z tohoto hlediska kvality nejlépe. Jejich výroba totiž neprodukuje žádné zamítnuté svary, tudíž je tento podíl 0 %. Tyto dva výrobci mají ve srovnání s ostatními menší počet provedených svarů. U výrobců **B a F** se budou zavedena jistá opatření ke snížení podílu zamítnutých svarů k počtu provedeným svarům.



Obrázek 4: Procentuální podíl jednotlivých výrobců.

1.3. Přehled svářečů v jednotlivých kategoriích

Celkem bylo ohodnoceno **89** svářečů. Tito svářeči byli rozděleni do tří kategorií **I**, **II** a **III**. V kategorii **I** je zařazeno **53** svářečů. Tato kategorie má největší zastoupení tj. **59,6 %** procent všech porovnávaných svářečů. Do kategorie **II** bylo zařazeno **21** svářečů, což je **23,6 %** všech svářečů. V poslední kategorii **III**, kdy svářeči překročili podíl nepřijatelných vad 5 %, je **15** svářečů, což tvoří **16,9 %**. V kategorii **III** si vedli nejhůře výrobci **A** a **B**. U výrobce **A** jde o **7** svářečů. U výrobce **B** bylo o jednoho svářeče méně než u výrobce **A**. Ostatní výrobci **E** a **F** mají po **jednom** svářeči. Přehled rozdělení jednotlivých kategorií je na obrázku číslo 5.



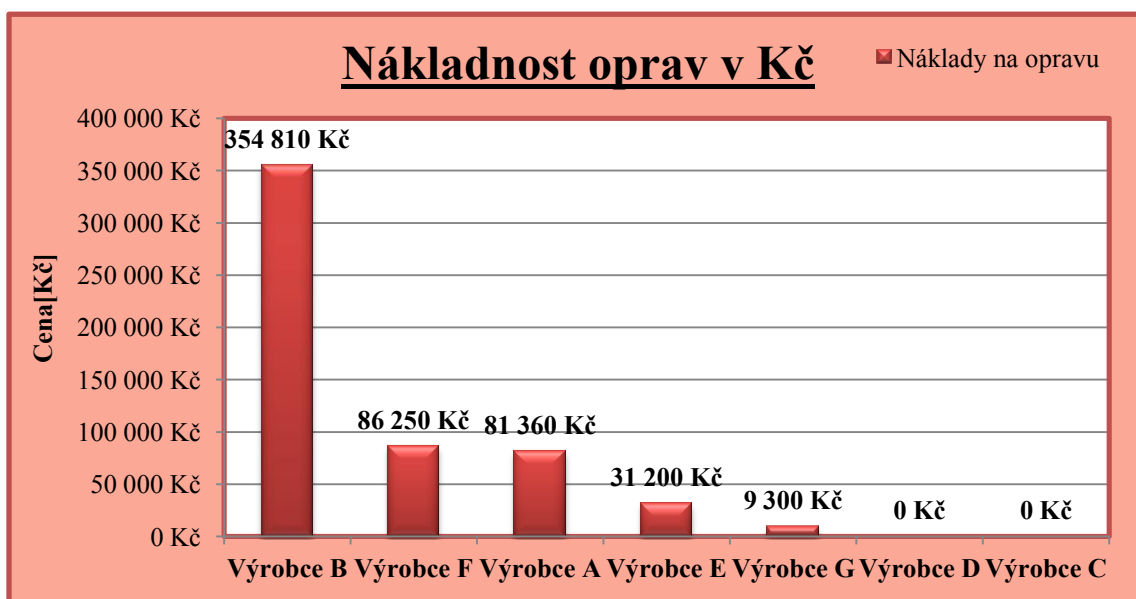
Obrázek 5: Rozložení svářečů do jednotlivých kategorií

1.4. Celkové vyčíslení nákladů na opravu svarů

Po vyhodnocení jednotlivých dodavatelů byla stanovena cena na opravu svarů. Celková náklady činí **562 920 Kč**. Na obrázku 6 je zřejmé, že největší náklady má výrobce B. Jeho náklady byly vyčísleny na hodnotu **354 810 Kč**, a to je **63 %** ze všech nákladů na opravu. Dále jsou tu dva výrobci F a A, kteří mají srovnatelnou cenu. Rozdíl mezi nimi je rozdíl necelých 5 000 Kč. Ale daleko za větší rozdíl bych považoval to, že výrobce F má menší normohodinu, než u výrobce A. Tento rozdíl je 180 Kč na hodinu. Přesto, že výrobce F má zamítnutých svarů o 4 méně než výrobce A, rozdíl mezi těmito výrobci je takový, že u výrobce F jsou opravy rozloženy do čtyř svářečů. Například výrobce A má 30 zamítnutých svarů a tyto svary jsou rozloženy mezi 10 svářečů.

Šest svářečů má po jednom zamítnutém svaru a jejich oprava je stanovena na 1 hodinu. U výrobce F představují náklady **86 250 Kč**. Tato částka tvoří **15,3 %** celkových nákladů. Podobné je to i u výrobce A. Jeho náklady jsou vyčísleny na hodnotu **81 360 Kč**, což je **14,5 %** ze všech nákladů na opravu. Dalším výrobcem je výrobce E, jehož náklady na opravu jsou vyčísleny na **31 200 Kč**. Tato částka tvoří **5,5 %** ze všech nákladů. Poslední výrobcem, který má náklady na opravu je výrobce G, jehož náklady jsou **9 300 Kč**. Tato částka je **1,7 %** ze všech nákladů.

Výrobce C a D nemají náklady na opravu, protože se nevyprodukovaly žádné zamítnuté svary. Po této stránce jsou na tom nejlépe a nejhůře na tom je výrobce B.



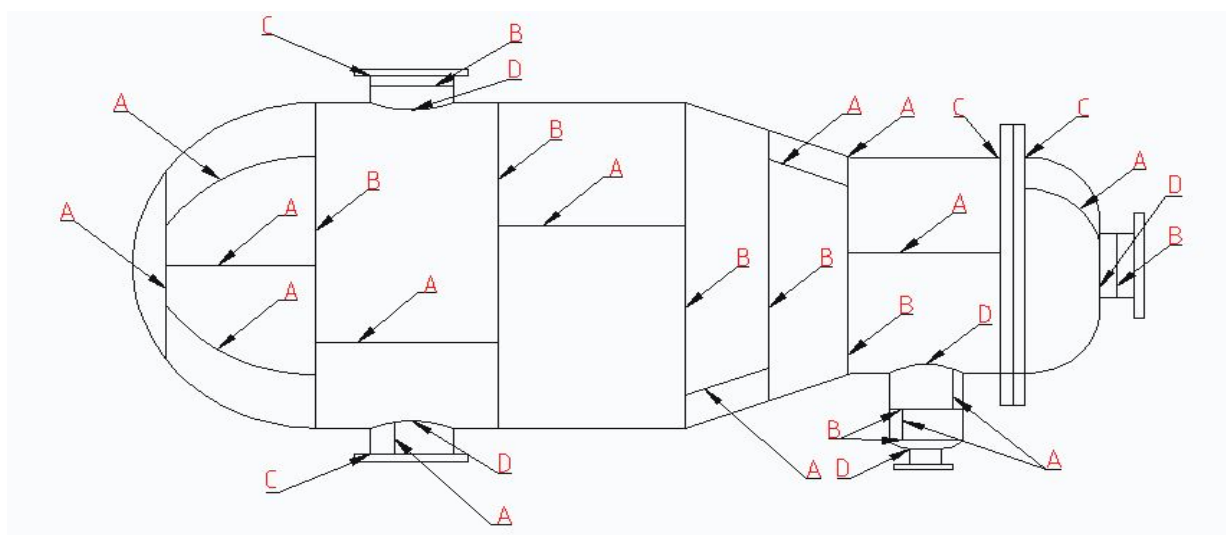
Obrázek 6: Celkový přehled všech výrobců jejich nákladů na opravu svarů

1.5. Rozdělení zamítnutých svarů podle typu spoje

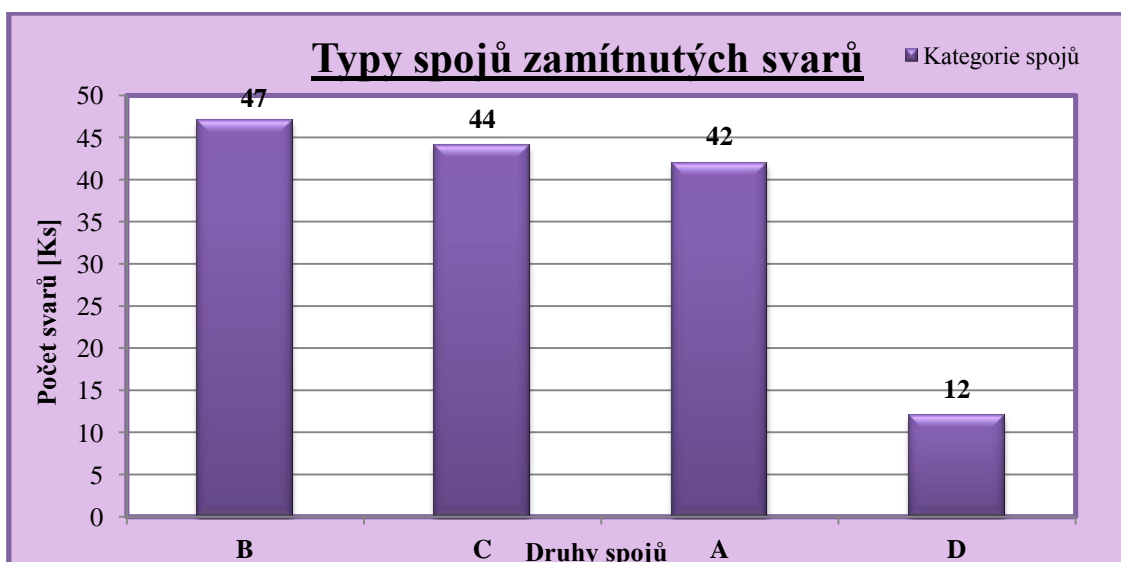
Při svařování tlakových zařízení existují čtyři kategorie typů spojů. První kategorie spojů je označována jako A. Do této kategorie spadají spoje podélné. Do druhé kategorie označována jako B,

kam spadají svary příčné. Třetí kategorie je označována písmenem C. Do kategorie C spadají spoje pomocí přírub a základního materiálu. Poslední kategorií jsou spojení typu D, ve kterém jde o spojení základního materiálu s armaturami či kontrolními vstupy a výstupy. Ze zamítnutých svarů u jednotlivých výrobců byl proveden rozbor jednotlivých zamítnutých svarů, které byli postupně zařazeni do čtyř kategorií, které odpovídají příslušným typům spojů. Přehled, jak si jednotliví výrobci vedli, je na obrázku 39. Z dat je zřejmé, že nejvíce vad bylo u spojení typu B, což jsou příčné spoje mezi jednotlivými díly aparátu.

Na dalším místě s nepatrnou ztrátou jsou spoje typu C. Dalším spojením je typ A. Mezi těmito typy spojů jsou malé rozestupy. Poslední typ spojení je D. U tohoto typu spojení byl nejmenší výskyt zamítnutých svarů s počtem 12. Toto rozdělení se odvíjelo od počtu zamítnutých svarů, proto u výrobce C a D nejsou žádné hodnoty, jelikož u jejich výroby nebyly zamítnuté svary. Nejhůře na tom byl výrobce B s počtem 68 zamítnutých svarů, které byly rozděleny do čtyř kategorií. Kategorie s největším výskytem zamítnutých svarů byla C s počtem 26. Další kategorie je B s 19 zamítnutými svary. Další kategorie je A s 14 zamítnutými svary. Výrobce A měl 30 zamítnutých svarů. Do kategorie A připadlo celkem 15 zamítnutých svarů. Ještě stojí za zmínění, že od výrobce A bylo zařazeno 12 zamítnutých svarů do kategorie B. Výrobce F má stejný počet zamítnutých svarů, tj. 9 zamítnutých svarů, v kategorii B a C. Další kategorie A má o jeden zamítnutý svar méně než kategorie B. Poslední výrobce G má největší zastoupení v kategorii B s počtem 4 zamítnutých svarů. Jeden zamítnutý svar byl zařazen do kategorie D. Charakter jednotlivých spojů je znázorněn na obrázku 7. A na obrázku 8 je znázorněna četnost jednotlivých spojů pro zamítnuté svary.

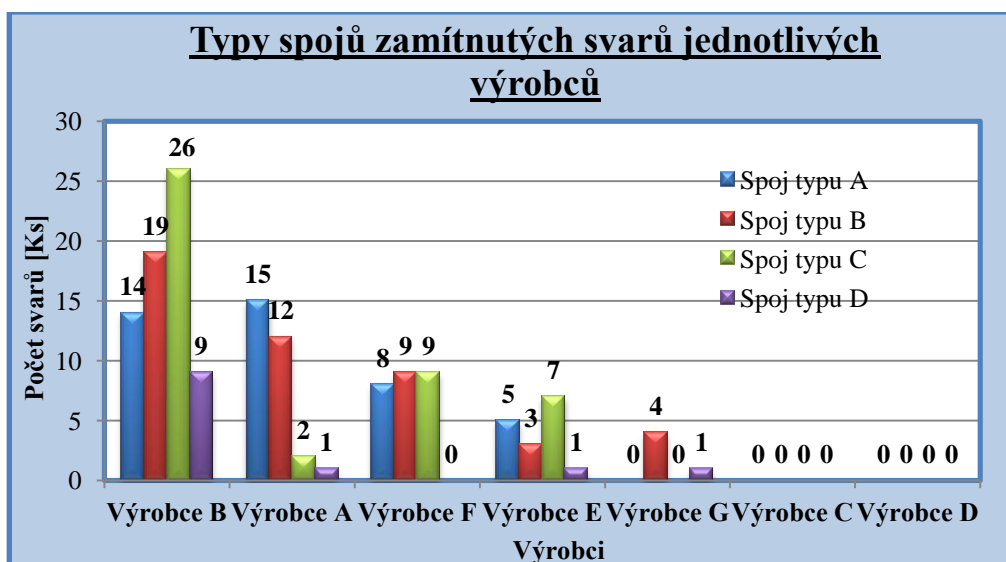


Obrázek 7: Kategorie svarů tlakových zařízení



Obrázek 7: Typy spojů zamítnutých svarů rozdělení do jednotlivých kategorií

Na obrázku 7 jsou znázorněny typy spojů, ve kterých byla diagnostikována nepřipustná vada. Na základě obrázku je vidět, že jsou zde tři vyrovnané druhy spojení. Tyto spojení se mezi sebou liší minimálními rozdíly. U těchto typů byla doporučena větší intenzita kontrol, aby došlo ke snížení počtu vad. Na posledním místě je typ spoje D, tento spoj představuje spojení se základním aparátem a přírubou. Jedná se o spoje elipsoidních tvarů a těžko přístupných míst. Tyto spoje jsou náročnější na výrobu.



Obrázek 8: Typy spojů pro jednotlivé výrobce

1.6. Motivačně represivní systém

Opatření pro zvýšení kvality vychází z rozdělení svářečů do tří základních skupin **I**, **II**, **III**. Na základě rozdělení byl navržen systém opatření pro zvýšení kvality. Byla stanovena motivace

jednotlivých svářečů a také represivní opatření vůči jednotlivým svářečům. Motivační opatření bylo navrženo tak, že byl snížen základ hrubé mzdy. Na druhou stranu byla zvýšena motivační složka. Motivační složka by se skládala ze dvou částí. První část by byla určena podle navrženého systému odměňování. Druhou částí pohyblivé složky je finanční ohodnocení za dlouhodobé udržení stálosti kvality.

První část motivační složky:

- **Kategorie I** – svářeči zařazení do této kategorie, budou získávat navíc **25 %** ze základu hrubé mzdy.
- **Kategorie II** – tato kategorie je nadále dělena do dalších tří podskupin.
 - **II₁** – svářeči spadající do podílu zamítnutých svarů v rozmezí **0 ÷ 2 %** budou finančně motivováni zvýšením mzdy o **15 %** ze základu hrubé mzdy.
 - **II₂** – svářeči spadající do podílu zamítnutých svarů v rozmezí **2 ÷ 4 %** budou finančně motivováni zvýšením mzdy o **10 %** ze základu hrubé mzdy.
 - **II₃** – svářeči spadající do podílu zamítnutých svarů v rozmezí **4 ÷ 5 %** budou finančně motivováni zvýšením mzdy o **5 %** ze základu hrubé mzdy. Nadále budou upozorněni na aktuální zařazení do určité kategorie a dále budou upozorněni na zvyšující se riziko zařazení do kategorie **III**.
- **Kategorie III** – tato kategorie je nadále dělena do dalších tří podskupin.
 - **III₁** – svářeči spadající do podílu zamítnutých svarů v rozmezí **5 ÷ 10 %** budou finančně sankciováni snížením mzdy o **5 %** ze základu hrubé mzdy. Dále bude muset svářeč úspěšně absolvovat proškolení svářečů.
 - **III₂** – svářeči spadající do podílu zamítnutých svarů v rozmezí **10 ÷ 15 %** budou finančně sankciováni snížením mzdy o **10 %** ze základu hrubé mzdy. Dále bude muset svářeč úspěšně absolvovat rekvalifikační svářečský kurz. To znamená znovu získání svářečského oprávnění.
 - **III₃** – svářeči spadající do podílu zamítnutých svarů v rozmezí **15 ÷ 20 %** budou finančně sankciováni snížením mzdy o **15 %** ze základu hrubé mzdy. Dále bude muset svářeč úspěšně absolvovat rekvalifikační svářečský kurz. To znamená znovu získání svářečského oprávnění. Svářeč bude přeřazen na jednodušší práci. Bude upozorněn na blížící se možnost zařazení do následující kategorie **III₄** nebo možnost ukončení pracovního poměru.
 - **III₄** – Při opakovaném překročení podílu zamítnutých svarů o **20%** bude rozvázáno pracovní poměr s dotyčným svářečem.

Druhá část motivační složky

Druhou částí motivační složky je ohodnocení za dlouhodobé dobré výsledky práce. Myšleno je to tak, nedochází-li k pravidelnému přesunu jednotlivých svářečů do jiných kategorií. Svářeč bude hodnocen za období 3 měsíců. Pokud si svářeč udrží aktuální kategorii, anebo se posune o kategorii výše, dostane finanční přílepkování 2,5 % ze základu hrubé mzdy. Tato motivace platí pouze za předpokladu, že svářeč nepřekročí hodnotu 5 % z podílu zamítnutých svarů. Pokud by svářeč byl podle výkonu zařazen do horší kategorie, tak automaticky nemá na tuto odměnu nárok.

1.7. Návrh opatření pro zvýšení kvality výrobků

Návrhem opatření pro zvýšení kvality je myšleno systém kontroly výroby. Systém kontroly je u každé zakázky odlišný, a těžko se dá zvolit obecně jeden postup. Bylo navrženo zvýšit počet kontrol při výrobě. Kontroly by probíhaly dvojího typu. První typ kontroly je ohlášená kontrola v průběhu výroby celého zařízení. Tyto kontroly by měly probíhat od přípravných prací až po dokončení realizace. Druhým typem kontroly navrhuji náhodnou kontrolu výroby, kde by měly být obecně dodržovány technologické výrobní postupy. Tato opatření by měla přinést dodržování smluvních termínů. Díky častějším kontrolám se dá daleko dříve odhalit konstrukční problém. Vzniklý problém se dá operativně vyřešit a nedojde k časovému posunu zhotovení výrobku.

Dalším návrhem opatření ke zvýšení kvality je každodenní reporting provedené práce. V reportingu bude popsáno to, co bylo provedeno podle plánu i mimo něj. K reportu bude přidán obrazový záznam o aktuálním stavu výroby. Na pracovníkovi, který má na starost řízení jakosti, je, aby report od výrobce následně ověřil a zjistil jeho pravdivost. Ověření reportu lze provádět dvěma cestami. První cesta je sledování obrazových záznamů poskytnuté výrobcem. Při podezření, že daný výrobek nabírá zpoždění výroby, se může vyskytnout situace, že výroba zařízení bude pozastavena na úkor jiného výrobku, pokud problém nebyl projednán s příslušným zodpovědným pracovníkem řízení jakosti. Realnost reportingu se dá ověřit již jednou zmíněnou neohlášenou kontrolou. Tímto bude vyvíjen tlak na správnost a úplnost jednotlivých reportů o stavu dané výroby.

Další možností kontroly je sledování online výroby. Tento princip by byl realizován pomocí wifi-kamer, které by sledovaly průběh výroby celého zařízení. Wifi- kamera by odeslala snímek každou minutu o průběhu výroby. Druhou možností je záznam videa. Tento způsob záznamu je mnohonásobně náročnější na datové úložiště než u pořizování snímků po určité časové době.

Sledováním výroby pomocí wifi kamer se můžeme dostat do sporu se zaměstnanci, kteří se podílejí na výrobě. Zaměstnancům se nemusí líbit, že budou během výroby sledováni. Výhodou pro zaměstnance je, že se může ukázat u některých pracovníků mnohem menší pracovní vytížení. Dále záleží jen na daném zaměstnavateli, jak s těmito daty naloží. Jednou z výhod sledování výroby je bezpečnost v daném objektu.

2. Závěr

Přínosem této práce je, že byla prováděna ve spolupráci s firmou ZVU Engineering. Bylo porovnáváno 7 výrobců. Celkem bylo analyzováno 89 svářečů. Tito svářeči provedli 6392 svarů. U počtu 1413 byla provedena vizuální kontrola. Nepřípustných svarů bylo 145. Těchto 145 svarů bylo nadále zkoumáno. Byly zjištěny jednotlivé vady jak u přípustných a nepřípustných svarů. U nepřípustných svarů byla provedena ABC analýza, které určila jako vadu D. Tato vada D tedy neprovařeny kořen se vyskytl v počtu 37 vad. Dále byli zkoumáni jednotliví výrobci, jak jsou na tom s kvalitou výroby. Byla stanovena horní mezní hranice 2,5 % podílu zamítnutých svarů ke všem svarům. Pět ze sedmi výrobců se vešlo pod tuto hranici. Výrobci B a F překročili tuto přípustnou hranici. Pro tyto výrobce znamená, že dojde ke zvýšení kontrol.

U každého výrobce bylo provedeno rozřazení navrhnutého motivačně represivního opatření, které je rozebráno v kapitole 1.6. Grafické znázornění jednotlivých svářečů je na obrázku 8.

Přínosem této práce je zjištění výskytu vad při spojení jednotlivých částí tlakových zařízení. Touto cestou se můžeme dospět ke snížení výskytu zamítnutých svarů. A tím ušetření nákladu na opravu.

Posledním bodem je, že byl navrhnut systém kontroly kvality. Kontrola je možná třemi způsoby. Prvním případem je pravidelná kontrola stavu výroby a denní report o stavu výrobu. Na tuto část reaguje neohlášené inspekce výroby. Ta může odhalit pravdivost reportů. A poslední možností je sledování výroby online pomocí wifi kamer.

Mohu říci, že došlo k aplikování některých návrhů do systému kontroly. Dále bylo potvrzeno, jak si jednotliví výrobci stojí s kvalitou výroby. Pro oddělení řízení a jakosti byla tato práce podnětem k zvýšení dohledů při výrobě. Zde je nadále možnost pokračování další spolupráce mezi Technickou univerzitou a firmou ZVU Engineering.

Literatura

- [1] ČVUT.cz. [online]. [cit. 2013-02-09]. Dostupné z:
http://u12133.fsid.cvut.cz/podklady/TE1/def_kontrola_sv.pdf
- [2] BALEJ, Zdeněk, Vladimír KUDĚLKA a Jan OPLETAL. *Základní kurs svařování metodou 141 se souborem testových otázek*. 2009. Vyd. ZEROSS, 2009.
- [3] ČSN EN 13445-1. Netopené tlakové nádoby – Část 1: Všeobecné, Praha: Český normalizační institut, červen 2003
- [4] ASME Boiler & Pressure Vessel Code VIII Division 1: RULES FOR CONSTRUCTION OF PRESSURE VESSLS, The American Society of Mechanical Engineers, 1.6. 2007

Monitorování vnitřní struktury nanovláknenných vrstev použitím obrazové analýzy

Bc. Řičicová Michaela

Sekce - TEXTIL,
Fakulta textilní, 2. ročník
Magisterský studijní program – MANAGAMENT JAKOSTI

Abstrakt: Monitorování vnitřní struktury nanovláknenných vrstev je složitý proces, jehož cílem je přesné stanovení kvantitativních nebo kvalitativních parametrů objektů zájmu, za které považujeme vlákna, mezivláknenné póry nebo celé vláknenné systémy. Metody stanovení parametrů nanovláken vychází především z nástrojů obrazové analýzy, jejímž výstupem jsou obrazová data popisující vlastnosti definovaných objektů. Příspěvek se zabývá představením navržených objektivních algoritmů v prostředí programu MATLAB a popisem posloupných kroků v programu ImageJ vedoucích k určení základních charakteristik nanovláknenných vrstev, jakými je průměr vláken, parametry mezivláknenných pórů, vlastnosti vyskytujících se defektů a orientace vláknenných systémů.

Klíčová slova: Nanovláknna, póry, průměr vláken, detekce defektů, orientace, obrazová analýza, algoritmus navržený pro MATLAB, posloupnost kroků v ImageJ.

Úvod

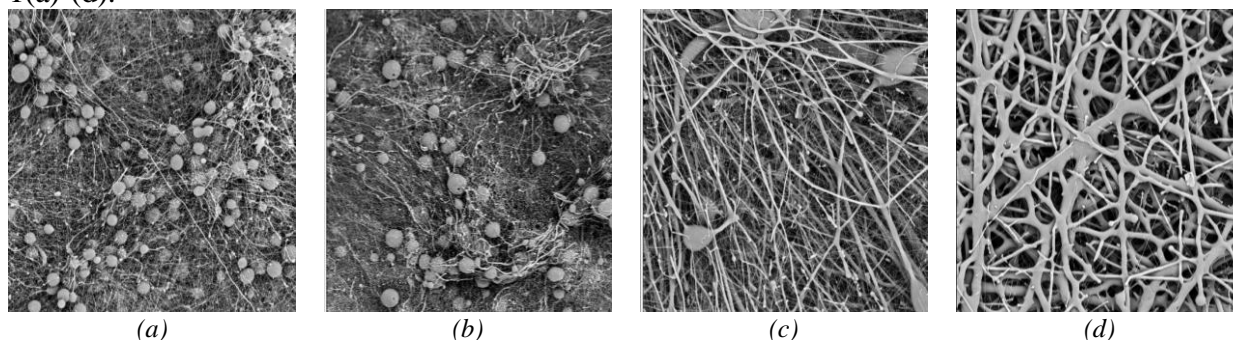
Nanovláknna jsou vlákna v rozsahu desítek až stovek nanometrů, jejich zanedbatelná struktura je nositelem unikátních vlastností, které jsou určující pro aplikace, ve kterých jsou obsaženy. Vzhledem ke svým vlastnostem jsou nanovláknna úspěšně aplikována v různých průmyslových oborech jako je například automobilový průmysl, zdravotnictví, tkáňové inženýrství, stavební průmysl a další. Pro maximální využití vlastností nanovláken mezi které patří velký měrný povrch, vysoká poróznost, zanedbatelný průměr a velikost pórů, je nutné dokonale identifikovat jejich strukturní parametry. Starší metody stanovení parametrů nanovláken jsou založeny především na manuálních metodikách měření realizovaných pomocí primitivních nástrojů obrazové analýzy, mezi které patří například digitální pravítka. Tyto metody jsou nefektivní, subjektivní, špatně interpretovatelné a nepřesné.

V tomto příspěvku jsou uvedeny automatizované metody identifikace základních parametrů nanovláknenných vrstev navržené v rámci řešení diplomové práce ve dvou programových prostředích umožňujících obrazovou analýzu. Mezi parametry nanovláken pro které byly stanoveny v rámci řešení diplomové práce algoritmy usnadňující jejich detekci patří

- stanovení základních charakteristik mezivláknenných pórů,
- detekce a určení parametrů defektů vyskytujících se v nanovláknenných vrstvách,
- stanovení orientace nanovláken,
- určení průměru nanovláken.

Prvním programem ve kterém byly navrženy objektivní algoritmy pro stanovení parametrů nanovláknenných struktur je interaktivní program MATLAB, druhým programem ve kterém byla navržena posloupnost kroků identifikace parametrů nanovláknenných struktur je volně dostupný a uživatelsky atraktivní program ImageJ. V obou programových prostředích byly parametry nanovláknenných vrstev stanoveny na základě SEM snímků polykaprolaktanových nanovláknenných vrstev vytvořených v laboratoři KNT elektrostatickým zvlákněním. Jednotlivé vytvořené nanovláknenné vrstvy se lišily koncentrací zvlákněného polymeru, na snímcích určených k testování metodik stanovení základních parametrů byly například

zobrazeny vrstvy zvlákněného PCL o koncentracích 14%, 16%, 18% a 20% zobrazené na obr. 1(a)-(d).



Obr. 1 Monochromatický snímek 14% PCL (a), 16% PCL (b), 18% PCL (c), 20% PCL (d).

1. Určení parametrů pórů nanovlákněných vrstev

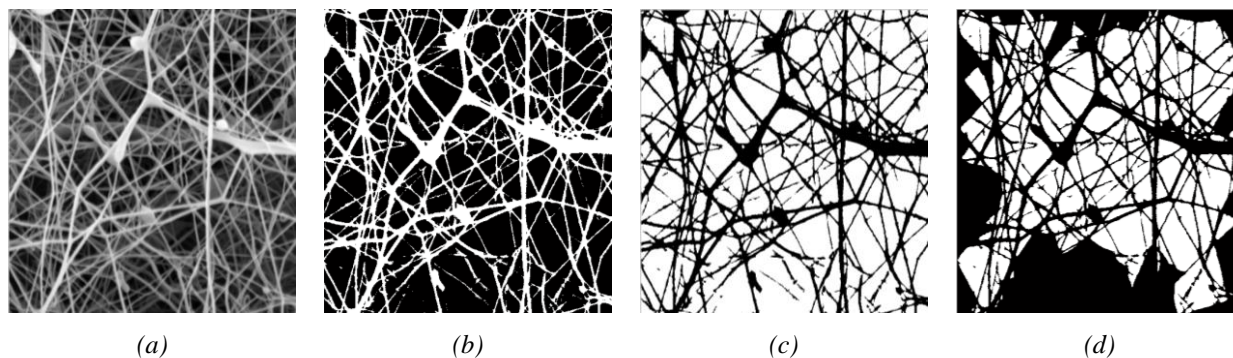
Poróznost je vlastnost nanovlákněných vrstev, která ovlivňuje prodyšnost a prostupnost jiných medií materiálem. V následujících podkapitolách jsou uvedeny metody stanovení parametrů mezivlákněných pórů v prostředí programu MATLAB a prostředí programu ImageJ.

1.1 Metodika navržená ke stanovení parametrů pórů v programu MATLAB

V prostředí programu MATLAB bylo stanovení parametrů nanovlákněných pórů realizováno na základě navrženého algoritmu, jehož princip vychází ze segmentace obrazu. Metoda je demonstrována na monochromatickém snímku 14% PCL uvedeném na obr. 2 (a), po odstranění šumu následuje binarizace obrazu pomocí prahování a sada morfologických operací (například vyplnění děr objektů). Binární obraz je uveden na obr. 2(b). Dalším krokem je převod binárního obrazu na negativ (obr. 2(c)) a potlačení nekompletních objektů ležících na obrazové hranici. Takto upravený obraz uvedený na obr. 2 (d) slouží jako vstup pro vyhodnocení základních parametrů pomocí dostupné zaimplementované funkce. Posloupnost jednotlivých kroků tvořících algoritmus spolu s uvedenými zaimplementovanými funkcemi programu MATLAB jsou uvedeny níže.

- Odstraň šum vstupního obrazu použitím mediánového filtru (`medfilt2.m`).
- Převed' vstupní obraz na binární, použij operaci prahování, hodnotu prahu T nalezní experimentálně (`im2bw.m`).
- Odstraň malé objekty z obrazu (`bwareaopen.m`).
- Potlač nekompletní struktury dotýkající se hranic obrazu (`imclearborder.m`).
- Převed' pixely nesoucí informaci 1 na 0 a naopak, (vytvoř negativ obrazu).
- Detekuj jednotlivé regiony, vytvoř vstupní matici pro získání informací o objektech (`bwlabel.m`).
- Detekuj hranice pórů, vykresli je do vstupního obrazu (`imerode.m`).
- Proveď kalibraci, převed' pixely jednotlivých regionů na mikrometry.
- Vypočítej parametry jednotlivých regionů, vyhodnoť parametry pórů celého obrazu (`regionprops.m`).

Na základě uvedeného algoritmu byly prostřednictvím navržené metody stanoveny v prostředí programu MATLAB parametry mezivlákněných pórů nanovlákněných vrstev lišících se koncentrací PCL uvedené v tab. 1.



Obr. 2 Vstupní monochromatický snímek nanovláknenné vrstvy 14% PCL (a), transformovaný binární snímek (b), negativní obraz po sérii morfologických operací (c), obraz s potlačenými nekompletními objekty (d).

Tab. 1 Výsledky stanovení základních parametrů pórů nanovláknenných vrstev lišících se koncentrací v Matlabu.

Koncentrace	Počet pórů	Celková plocha [μm^2]	Průměrná plocha [μm^2]	Std [μm^2]	Porózita [%]	Průměrný obvod [μm]	Std [μm]
14 PCL [%]	266	180.78	0.67	1.09	45	3.25	3.13
16 PCL [%]	248	238.88	0.96	1.58	59	3.99	3.85
18 PCL [%]	116	160.07	1.37	2.79	40	4.95	5.55
20 PCL [%]	124	31757	256.11	331.79	35	85.11	84.98

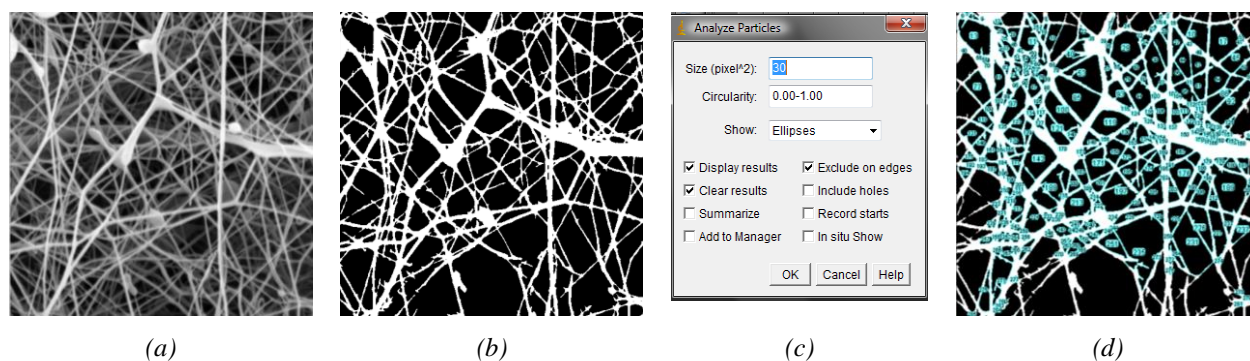
1.1 Metodika navržená ke stanovení parametrů pórů v programu ImageJ

V prostředí programu ImageJ byl aplikován stejný princip stanovení základních parametrů mezivláknenných pórů jako tomu bylo v prostředí programu MATLAB. Navržené kroky vedoucí ke stanovení základních parametrů pórů jsou uvedeny v tab. 2.

Tab. 2 Kroky navržené v programu ImageJ vedoucí k zjištění základních charakteristik pórů.

Analyze → Set Scale	Proveď kalibraci pixelů na reálné jednotky
Image → Crop	Vyřež vstupní obraz
Process → Noise → Despeckle	Odstraň šum mediánovým filtrem
Image → Adjust → Threshold	Transformuj vstupní obraz na binární prahováním
Process → Binary → Fill Holes	Vyplň díry morfologickou operací
Analyze → Set Measurements	Nastav parametry určené k vyhodnocení
Analyze → Analyze Particles	Analyzuj jednotlivé objekty
Results → Distribution	Zobraz distribuci naměřených parametrů
Analyze → Summarize	Stanov výsledky měření použitím statistických operací

Na obr. 2(a) je uveden vstupní snímek 14% PCL po odstranění šumu, na obr. 2 (b) je zobrazen binarizovaný snímek po aplikaci série morfologických operací. Na obr. 2(c) je zobrazeno dialogové okno *Analyze Particles* sloužící v prostředí programu ImageJ jako nástroj pro určení parametrů pórů a na obr. 2(d) jsou pomocí indexů označeny póry, které byly vyhodnoceny. Stejně jako v MATLABU nebyly vyhodnoceny nekompletní objekty ležící na hranici obrazu. V tab. 3 jsou uvedeny výsledky stanovení parametrů pórů v programu ImageJ.



Obr. 2 Vstupní monochromatický snímek nanovlákněné vrstvy 14% PCL (a), transformovaný binární snímek po sérii morfologických operací (b), dialogové okno Analyze Particles (c), indexy označené póry jejichž parametry byly vyhodnoceny (d).

Tab. 3 Výsledky stanovení základních parametrů pórů nanovlákněných vrstev lišících se koncentrací v ImageJ.

Koncentrace	Počet pórů	Celková plocha [μm^2]	Průměrná plocha [μm^2]	Std [μm^2]	Poróznost [%]	Obvod [μm]	Std [μm]
14 PCL [%]	253	175.60	0.69	1.10	45	3.35	3.08
16 PCL [%]	238	237.23	1.00	1.61	60	4.10	3.81
18 PCL [%]	110	159.01	1.45	2.84	40	5.18	5.53
20 PCL [%]	117	31008.18	265.03	325.24	35	89.06	82.74

Navržené metodiky stanovení parametrů pórů v prostředí programu MATLAB i prostředí programu ImageJ lze považovat za přesné, vzhledem ke shodě dosažených výsledků.

2. Určení parametrů kulovitých defektů nanovlákněných vrstev

Na pořízených snímcích PCL nanovlákněných vrstev zobrazených na obr. 1(a)-(c), jsou viditelné nežádoucí kulovité útvary - defekty, způsobené nízkou koncentrací PCL ve zvlákněvaném roztoku. Parametry těchto defektů byly v prostředí programu MATLAB a v prostředí programu ImageJ zjišťovány dvěma rozdílnými způsoby. Uvedené metody jsou pro demonstraci realizovány na snímku nanovlákněné vrstvy 14% PCL uvedené na obr. 1(a). První způsob vyhledává defekty za použití korelační metody. Druhý způsob je založen na segmentaci defektů z obrazu.

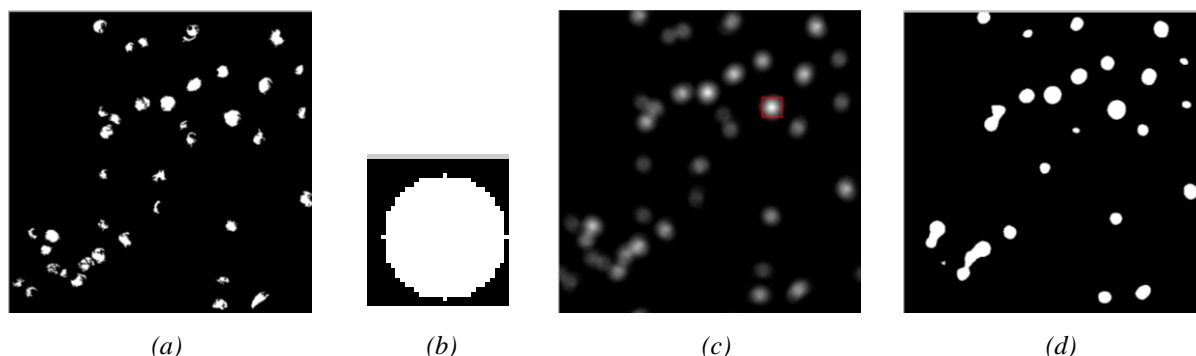
2.1 Metodika stanovení parametrů defektů korelační metodou v programu MATLAB

Princip metody vychází z práce autorů *Gonzalez a Woodse* [1] a je založen na vzájemné korelaci upraveného binárního obrazu 14 % PCL zobrazeného na obr. 3(a) a vytvořené šablony uvedené na obr. 3(b) definující tvar hledaných objektů ve všech místech obrazu. Výstupem metody je korelovaný obraz zobrazený na obr. 3(c), místa, ve kterých byl detekován hledaný objekt jsou místa s nejvyšší vzájemnou korelací a jsou reprezentována nejsvětleji, na obr. 3(b) je místo nejvyšší shody označeno červeným rámečkem. Parametry defektů jsou určeny z binarizovaného korelovaného obrazu uvedeného na obr. 3(d). Navržený algoritmus pro stanovení parametrů defektů v prostředí programu MATLAB je uveden níže.

- Převed' vstupní obraz na binární, použij operaci prahování, hodnotu prahu nalezní experimentálně jako interval, ten odvod' od hodnot úrovně šedi defektů (`imtool.m`).
- Uprav obraz použitím morfologických operací, odstraň malé objekty, vyplň díry v objektech, potlač objekty ležící na hranici obrazu. (`bwareaopen.m`, `imclearborder.m`, `imfill.m`).
- Vytvoř vzorovou šablonu pro detekci defektů (`strel.m`, `padarray.m`).

- Použitím filtru rozostří obraz (`imfilter.m`, `fspecial.m`, `unsharp.m`).
- Proveď korelaci mezi šablonou a obrazem, najdi a vyznač místo s nejvyšší korelací (`dftcorr.m`).
- Proveď prahování korelovaného obrazu (`im2bw.m`).
- Vytvoř vstupní matici pro získání informací o jednotlivých regionech (`bwlabel.m`).
- Proveď kalibraci, převed' pixely jednotlivých defektů na mikrometry.
- Vypočítej a vyhodnot' parametry jednotlivých defektů (`regionprops.m`).
- Vykresli obvody nalezených defektů do vstupního obrazu (`bwmorph.m`, `remove.m`).

Výsledky detekce a stanovení parametrů defektů nanovlákných vrstev jsou uvedeny v tab. 4. V nanovlákné vrstvě 20% PCL nebyly nalezeny žádné defekty. Bylo zjištěno, že se zvyšující se koncentrací klesá výskyt defektů ve všech zkoumaných PCL nanovlákných vrstvách.



Obr. 3 Upravení binární obraz 14% PCL (a), vyhledávací šablona (b), korelovaný obraz (c), výsledný obraz (d).

Tab. 4 Základní parametry defektů nanovlákných vrstev v závislosti na koncentraci určené v MATLABU.

Koncentrace	n	Celková plocha [μm^2]	Průměrná plocha [μm^2]	Std [μm^2]	Celkový obvod [μm]	Průměrný obvod [μm]	Std [μm]
14 PCL [%]	24	3337.70	139.07	103.14	1016.40	42.35	21.40
16 PCL [%]	13	12080.40	929.51	423.65	1396.20	107.40	28.17
18 PCL [%]	5	1315.90	263.18	281.64	252.88	50.57	39.39

2.2 Metodika stanovení parametrů defektů korelační metodou v programu ImageJ

Stanovení defektů korelační metodou v prostředí programu ImageJ bylo realizováno prostřednictvím volně stahovatelného pluginu *Create Template*. Posloupnost kroků navržených pro určení parametrů defektů v prostředí programu ImageJ je uvedena v tab. 5. Výsledky stanovení parametrů defektů jsou uvedeny v tab. 6. V případě nanovlákné vrstvy o koncentraci 20% PCL nebyly opět nalezeny žádné defekty.

Tab. 5 Posloupnost kroků stanovení základních parametrů defektů korelační metodou v programu ImageJ.

Analyze → Set Scale	Proveď kalibraci pixelů na reálné jednotky
Image → Crop	Vyřež vstupní obraz na požadovanou velikost
Image → Adjust → Threshold	Transformuj vstupní obraz na binární prahováním
Process → Binary → Fill Holes	Vyplň díry morfologickou operací
Plugins → Create Template	Vytvoř šablonu Proveď korelaci mezi vstupním obrazem a šablonou Proveď prahování korelovaného obrazu a vyhodnot' výsledky

Tab. 6 Základní parametry defektů nanovláknenných vrstev v závislosti na koncentraci určené v ImageJ.

Koncentrace	n	Celková plocha [μm^2]	Průměrná plocha [μm^2]	Std [μm^2]	Obvod [μm]	Std [μm]
14 PCL [%]	37	3558.13	96.17	27.60	38.93	6.30
16 PCL [%]	16	6642.00	415.18	118.02	78.57	9.92
18 PCL [%]	3	348.86	87.21	57.15	39.75	12.31

2.3 Metodika stanovení parametrů defektů segmentací v programu MATLAB a ImageJ

Dalším metodou stanovení parametrů defektů vyskytujících se v nanovláknenných vrstvách vláken je přístup založený na segmentaci obrazu. Metoda je totožná s metodou určení základních parametrů pórů s tím rozdílem, že jsou jako objekty zájmu vnímány defekty a transformace na binární obraz je realizována prostřednictvím použití prahové hodnoty, která je definovaná jako interval ohraničený minimální a maximální hodnotou šedi kulovitých defektů vyskytujících se v nanovláknenných vrstvách. Výsledky stanovení parametrů defektů založené na segmentaci získané v prostředí programu MATLAB jsou uvedeny v tab. 7, výsledky stanovení parametrů defektů zjištěné v programu ImageJ jsou uvedeny v tab. 8. V obou případech nebyly ve vrstvě 20% PCL nalezeny žádné defekty.

Tab. 7 Základní parametry defektů nanovláknenných vrstev v závislosti na koncentraci určené v MATLABU.

Koncentrace	n	Celková plocha [μm^2]	Průměrná plocha [μm^2]	Std [μm^2]	Celkový obvod [μm]	Průměrný obvod [μm]	Std [μm]
14 PCL [%]	33	2868.20	86.91	38.37	1600.7	48.51	9.89
16 PCL [%]	20	1201.20	600.61	306.39	2687.6	134.38	43.67
18 PCL [%]	7	1504.50	214.93	168.60	751.42	107.35	39.27

Tab. 8 Základní parametry defektů nanovláknenných vrstev v závislosti na koncentraci určené v ImageJ.

Koncentrace	n	Celková plocha [μm^2]	Průměrná plocha [μm^2]	Std [μm^2]	Obvod [μm]	Std [μm]
14 PCL [%]	34	2755.28	81.04	40.03	36.95	9.26
16 PCL [%]	21	12471.63	593.89	331.73	105.5	41.85
18 PCL [%]	9	1669.56	185.51	180.30	69.74	37.76

Stanovení parametrů defektů vyskytujících se v nanovláknenných vrstvách je komplikovaný proces. V rámci řešení diplomové práce se osvědčily metody vycházející ze segmentace obrazu, vzhledem k tomu, že v obou programech bylo dosaženo podobných výsledků shodujících se s reálnými rozměry a počtem defektů. Stanovení parametrů defektů založené na vzájemné korelaci obrazu a vyhledávací šablony, se jeví jako nevhodné z důvodu velkých rozdílů zjištěných výsledků v jednotlivých programových prostředích.

3. Určení orientace nanovláken ve vláknenné vrstvě

Orientace vláken je velmi důležitým parametrem, který ovlivňuje výsledné vlastnosti výchozích struktur, například kompozitních materiálů. Na orientaci vláken závisí především mechanické vlastnosti, tzn., pokud jsou vlákna plošné či délkové textilie orientovaná v jenom směru, textilie vykazuje v tomto směru vyšší pevnost. Dále orientace vláken ovlivňuje prodyšnost, propustnost a absorpci kapalin vláknenných porézních materiálů.

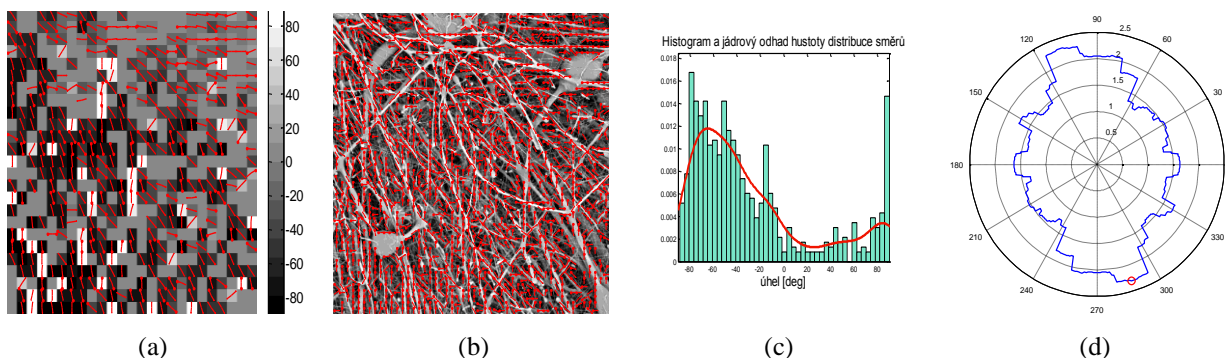
V práci *Rataje a Saxla* [2] je uvedena grafická metoda pro odhad anizotropie vláken, grafická metoda je experimentální a špatně interpretovatelný proces. Z tohoto důvodu je vhodné manuální grafickou metodu nahradit technikou založenou na obrazové analýze.

Podstata aplikovaných metodik určených ke stanovení orientace vláken vlákenné struktury vychází dle [3] z vlastností Fourierova spektra. Monochromatický snímek vlákenné vrstvy je nejprve Fourierovou transformací převeden do frekvenční oblasti, směr vláken je určen na základě výskytu vysokých hodnot frekvenční oblasti. Pokud se jedná o náhodně orientovanou strukturu, obraz ve frekvenční oblasti má kruhovitý tvar. Všechny uvedené metodiky stanovení orientace vláken jsou pro demonstraci aplikovány na snímku 18% PCL nanovlákněné vrstvy zobrazeném dříve na obr. 1(c).

3.1 Metodika stanovení orientace vláken v programu MATLAB

Pro přesné určení směru nanovláken bylo nutné rozdělit vstupní obraz 18% PCL uvedený na obr. 1(a) na mnoho podobrazů, pro každý podobraz byla na základě Fourierovy transformace stanovena orientace vláken. Převládající orientace vláken v jednotlivých podobrazech je na obr. 4(a) graficky znázorněna pomocí směrových vektorů, na obr. 4(b) jsou uvedeny směrové vektory ve stupním obraze. Výsledky stanovení orientace jednotlivých snímků byly interpretovány prostřednictvím polárního diagramu obr. 4(c), histogramu a jádrovému odhadu distribuce směrů obr. 4(d). Algoritmus navržený pro stanovení orientace vláken spolu s funkcemi aplikovanými v prostředí programu MATLAB je uveden v následujícím textu.

- Uprav kontrast vstupního snímku (`imadjust.m`).
- Definuj velikost okna ohraničující oblasti, pro které má být určena orientace.
- Pro jednotlivé podobrazy proved' 2D Fourierovu transformaci (`fft2.m`).
- Přiřaď počátek oblasti frekvenčních polí do středu podobrazu (`fftshift.m`).
- Zredukuj dynamický rozsah koeficientů logaritmickou transformací.
- Najdi hlavní a vedlejší osu elipsy definující tvar frekvenční oblasti.
- Definuj nejnižší přijatelný poměr hlavní a vedlejší osy elipsy (`regionprops.m`).
- Přiřaď směrový vektor jednotlivým frekvenčním oblastem.
- Vytvoř histogram distribuce směrů vláken a proved' jádrový odhad hustoty.
- Vytvoř polární diagram orientace vláken.



Obr. 4 Směrové vektory určené pro jednotlivé podobrazy vstupního snímku (a), směrové vektory zobrazené ve vstupním obraze (b), histogram a jádrový odhad hustoty distribuce směrů (c), polární diagram orientace (d).

3.2 Metodika stanovení orientace vláken v programu ImageJ

Stanovení orientace vláken v prostředí programu ImageJ vycházelo z aplikace dvou volně dostupných pluginů, v obou případech realizovaných v prostředí programu ImageJ byla orientace vláken stanovena na základě analýzy Fourierova frekvenčního spektra. Program ImageJ má otevřenou architekturu, kterou je možné rozšiřovat pomocí volně dostupných pluginů. Prvním aplikovaným pluginem byl plugin *OrientationJ*, který poskytuje uživateli možnost plně automatizovaného stanovení orientace vláken v nanovlákněné vrstvě

prostřednictvím nástroje *Distribution*. Výstupem nástroje *Distribution* je graf popisující četnost výskytu vláken nanovlákněné vrstvy 18% PCL o zjištěných orientacích uvedený na obr. 5(a) a RGB mapa směrů zobrazená na vstupním snímku uvedená na obr. 5(b). Posloupnost kroků zjištění orientace vláken prostřednictvím pluginu *OrientationJ* je uvedena v tab. 9.

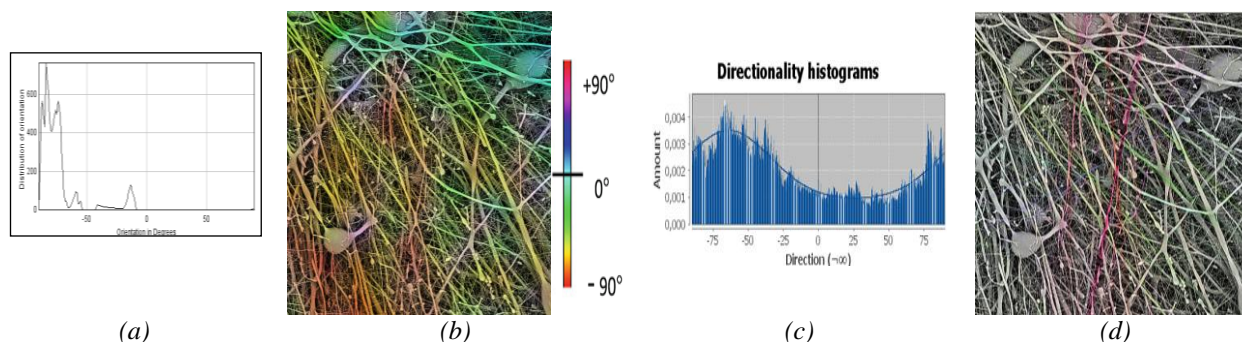
Tab. 9 Posloupnost kroků zjištění orientace vláken v programu *ImageJ* použitím pluginu *OrientationJ*.

Image → Crop	Vyřež vstupní obraz
Plugins → OrientationJ → Distribution	Automatizované stanovení orientace vláken

Druhým aplikovaným pluginem vedoucím k zjištění orientace nanovláken ve vrstvě byl plugin *Directionality*, jenž je součástí volně dostupného balíčku *Fiji* rozšiřujícího funkce programu *ImageJ*. Tento plugin nabízí uživateli velmi snadné a intuitivně ovladatelné rozhraní umožňující rychlou a efektivní metodu stanovení orientace vláken v nanovlákněné vrstvě. Posloupnost kroků je uvedena v tab. 10. Výstupem je histogram orientace a mapa směrů vláken. Na obr. 5(c) je uveden histogram orientace vláken nanovlákněné vrstvy 18% PCL, na obr. 5(d) je uvedena odpovídající mapa směrů.

Tab. 10 Posloupnost kroků zjištění orientace vláken v programu *ImageJ* použitím pluginu *Directionality*.

Image → Crop	Vyřež vstupní obraz
Analyze → Directionality	Automatizované stanovení orientace vláken



Obr. 5 Graf popisující četnost orientace vláken snímku 18% PCL na základě pluginu *OrientationJ* (a), odpovídající mapa směrů (b), histogram orientace vláken zjištěná pluginem *Directionality* (c), odpovídající mapa směrů (d).

V prostředí programu *MATLAB* je stanovení orientace vláken podmíněno tvorbou složitého algoritmu, což je možné považovat za uživatelsky nevýhodné. Prostředí programu *ImageJ* je ujištění orientace vláken uživatelsky přístupnější a to především díky volně dostupným pluginům.

4. Určení průměrů nanovláken ve vlákněné vrstvě

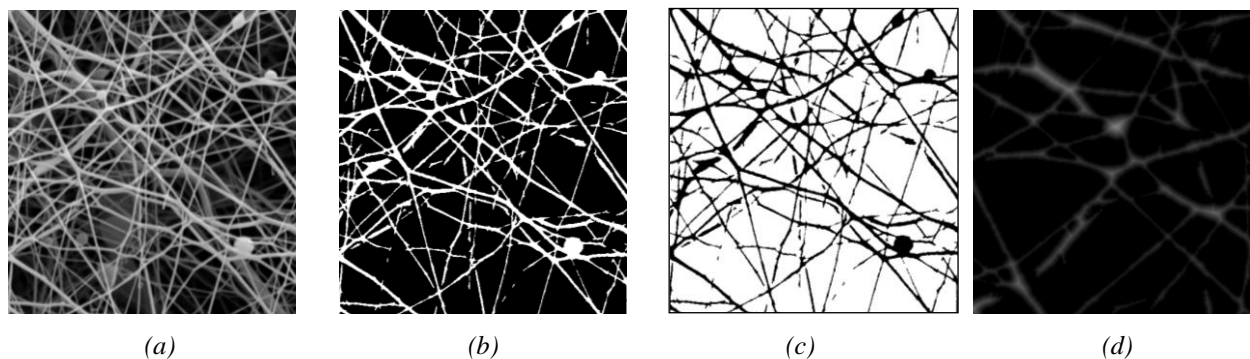
Průměr vláken je jedním ze základních strukturních parametrů, od kterého se odvíjí vlastnosti celé vlákněné struktury. Často používanou metodou určenou k získání informací o průměrech vláken ze snímků vlákněných vrstev je manuální metoda, při níž je uživatel nucen naměřit a zaznamenat velké množství průměrů. Tato metodika je zdlouhavá, málo efektivní, obtížně reprodukovatelná a vzhledem k subjektivitě hodnocení nepřesná. Z tohoto důvodu bylo dalším cílem práce nalézt automatizovanou metodu stanovení průměrů vláken, která by byla efektivní a dobře reprodukovatelná.

Metoda, která byla pro stanovení automatického průměru v obou programových prostředích v rámci řešení diplomové práce navržena, byla inspirována studií autorů *Pourdeyhimi a Dent* [4] a vychází ze stanovení Euklidovských vzdáleností pro objektové pixely, tzn. vzdáleností jednotlivých obrazových pixelů (pixelů vláken) od jejich nejbližšího pixelu reprezentujícího pozadí tzv. hranového pixelu.

4.1 Metodika stanovení průměrů vláken v programu MATLAB

Stanovení orientace vláken vstupního snímku 14% PCL zobrazeného na obr. 6(a), převedeného na binární obraz uvedený na obr. 6(b), bylo provedeno na základě stanovení Euklidovských vzdáleností obrazových pixelů z transformovaného binárního obrazu na negativní, který je uveden na obr. 6(c). Mapa získaných Euklidovských vzdáleností je uvedena na obr. 6(d). Nejsvětlejší místa vzdálenostní mapy jsou hledané poloměry vláken. V prostředí programu MATLAB byl pro stanovení orientace vláken navržen následující algoritmus s přiřazenými zaimplementovanými funkcemi, které toto prostředí nabízí. Výsledky stanovení průměrů vláken jsou uvedeny v tab. 12.

- Převed' vstupní binární obraz na negativ.
- Vypočti Euklidovskou vzdálenost mezi všemi nulovým a jejich nejbližšími nenulovými pixely, vzdálenosti zapiš jako matici (`bwdist.m`).
- Proveď skeletonizaci obrazu ztenčením, tím vyčleň poloměry vláken (`bwmorph.m`).
- Detekuj průsečíky skeletonizované struktury.
- Každému průsečíku vykresli kružnici o poloměru rovném průměru daného vlákna (`imcircle.m`).
- Proveď kalibraci a vyjádři průměry vláken.
- Sestroj histogram průměrů vláken.



Obr. 6 Vstupní monochromatický snímek nanovláknenné vrstvy 14% PCL (a), binární obraz (b), negativ (c), získaná mapa Euklidovských vzdáleností (d).

4.2 Metodika stanovení průměrů vláken v programu ImageJ

Algoritmus uvedený v prostředí programu MATLAB byl použitím odpovídajících nástrojů aplikován v prostředí programu ImageJ. Princip zjištění průměru nanovláken je založen na průniku kostry vláken a mapy Euklidovských vzdáleností, čímž jsou ponechány pouze poloměry vláken. Posloupnost kroků navržených v prostředí programu ImageJ vedoucí ke stanovení průměru vláken je uvedena v tab. 11. Výsledky stanovení průměrů vláken jsou uvedeny v tab. 12.

Tab. 11 Posloupnost kroků zjištění průměrů vláken v programu ImageJ.

Process → Filters → Median	Odstraň šum mediánovým filtrem
Image → Adjust → Threshold	Transformuj vstupní obraz na binární

Image → Duplicate	Vytvoř kopii binárního obrazu
Process → Binary → Distance Map	Vytvoř mapu Euklidovských vzdáleností vláken
Process → Binary → Skeletonize	Vytvoř skeleton (kostru) vláken
Process → Image Calculator → AND	Získej poloměry vláken prostřednictvím průniku dvou obrazů
Process → Math → Multiple	Vynásob obraz konstantou, získej průměr vláken
Analyze → Histogram	Interpretuj výsledky měření histogramem

Tab. 12 Výsledky stanovení průměrů vláken v závislosti na koncentraci PCL v obou programech.

Koncentrace	Výsledky dosažené v MATLABU		Výsledky dosažené v ImageJ	
	Průměr [μm]	Std [μm]	Průměr [μm]	Std [μm]
14% PCL	0.16	0.09	0.16	0.09
16% PCL	0.22	0.15	0.21	0.13
18% PCL	0.19	0.22	0.17	0.14
20% PCL	0.65	0.70	0.56	0.41

Pro ověření přesnosti navržených automatických metodik stanovení průměru vláken bylo provedeno i manuální měření průměrů, dosažené výsledky se shodovaly s výsledky získanými v prostředí programu MATLAB i programu ImageJ. Na základě tohoto zjištění lze k vyhodnocení průměrů vláken doporučit algoritmus navržený v programu MATLAB nebo uživatelsky lépe aplikovatelnou metodu vytvořenou v prostředí programu ImageJ.

5. Závěr

Cílem příspěvku bylo představení objektivních algoritmů navržených v prostředí programu MATLAB a posloupných kroků vytvořených v prostředí programu ImageJ, vedoucích k určení kvantitativních charakteristik PCL nanovlákněných struktur lišících se koncentrací. Mezi charakteristiky, které lze na základě uvedených metodik spolehlivě identifikovat patří stanovení parametrů nanovlákněných pórů a kulovitých defektů vyskytujících se v nanovlákněných vrstvách, dále stanovení orientace a průměrů nanovláken. Všechny uvedené metodiky jsou efektivní, snadno interpretovatelné a lze jimi objektivně stanovit uvedené základní parametry nanovlákněných struktur. Přínos práce je mimo identifikaci parametrů nanovlákněných struktur i ve snadné interpretaci algoritmů navržených v prostředí programu MATLAB prostřednictvím uživatelsky lépe pochopitelného a přístupného programu ImageJ. Navržené posloupné kroky v prostředí programu ImageJ mohou být vhodnou předlohou pro stanovení datových informací z obrazu bez nutnosti tvorby složitých algoritmů, jako je tomu v prostředí programu MATLAB. Navržená posloupnost kroků vedoucích ke stanovení parametrů nanovlákněných struktur najde uplatnění nejen v oblasti nanovláken, ale i oblasti tkáňového inženýrství, kde může sloužit k identifikaci a popisu strukturních parametrů buněk nebo buněčných systémů.

Literatura

- [1] GONZALES, R.C., WOODS, R.E. *Digital Image Processing*, 2nd edition, Prentice-Hall, 2002.
- [2] RATAJ J., SAXL I. Analysis of Planar Anisotropy by Means of Steiner Compact: A Simple Graphical Method. *Acta Stereologica*, **7**(2), 107 – 112, 1988.
- [3] KULA, J., CHOJKA, J., TUNÁK, M. Odhad orientace vlákněných systémů. In: *REQUEST12, Reliability, Quality and Estimation*. Praha, Czech Republic, 2012.
- [4] POURDEYHIMI, B., DENT, R. Measuring Fiber Diameter Distribution in Nonwovens. *Textile Research Journal*, **69**, 233 (1999).

VLIV HYDROFILNÍCH/HYDROFOBŇNÍCH VLASTNOSTÍ NANOVLÁKENNÝCH TKÁŇOVÝCH NOSIČŮ NA BUNĚČNOU ADHEZI

Pavla Sykáčková

Sekce - TEXTIL,
Fakulta textilní, 2. ročník
Magisterský studijní program – PRŮMYSLOVÝ MANAGEMENT

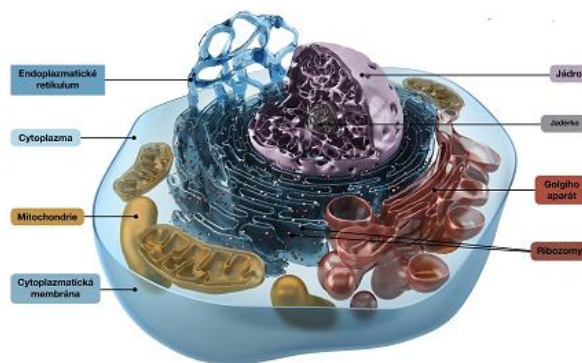
Abstrakt: Rešerše této diplomové práce se zabývá problematikou tkáňového inženýrství a biologie obecně. Dále je zde popsána metoda elektrostatického zvlákňování, parametry ovlivňující tento proces a v neposlední řadě vlastnosti vláknotvorných polymerů. Poslední kapitola rešerše se zabývá tématem smáčivosti, která je v této práci základním kamenem pro vyhodnocování testovaných polymerních materiálů. Polymery byly vybrány k testování pro jejich speciální vlastnosti, jako je biokompatibilita, případně biodegradabilita. Materiály byly elektrostaticky zvlákňovány a následně podrobeny zkoušce měření kontaktního úhlu, kde se zjišťovalo, zda se jedná o materiály hydrofilní nebo hydrofobní. Tyto ve vodě nerozpustné scaffoldy byly dále biologicky testovány. Na základě získaných výsledků se prokázalo, zda je pro adhezi a proliferaci buněk vhodné hydrofilní nebo hydrofobní prostředí.

Klíčové slová: Buňka, scaffold, adheze, proliferace, hydrofobicita, hydrofilita

1 Teoretická část

1.1 Základní pojmy

Teoretická část se zabývá především přiblížením odborných termínů týkajících se buňky, tkáňového inženýrství a biologie obecně. Dále jsou zde popsány polymerní materiály, které budou dále použity k experimentu. Důležitými pojmy v této diplomové práci jsou biokompatibilita a biodegradabilita materiálu, které již byly vysvětleny výše. Dále se práce zabývá složením buňky, prostředím ve kterém žije a kultivačními podmínkami.



Obrázek 1: Živočišná buňka.

Adheze a proliferace buněk jsou další pojmy, ovlivňující výsledek této práce. Adheze („přilnavost“) je schopnost materiálu (především dvou rozdílných materiálů) spolu přilnout. Je podmíněna účastí adhezních proteinů, které tvoří specifické receptory na povrchu buněk. Proliferace (z lat. proles – potomstvo, fero-nesu) znamená hojné množení a bujení například

skupiny buněk. Množství adherovaných buněk a jejich následné množení na materiálu určuje rychlost vzniku nové tkáně na scaffoldu.

Scaffold je tkáňová náhrada, která se skládá z nosiče a buněčné složky. Scaffoldy mohou být dvojího typu a to buď z biologických molekul (proteiny extracelulární matrix, např. kolagen, elastin, fibronectin, laminin, fibrin, kyselina hyaluronová) nebo z umělých materiálů (syntetické polymery, materiály na bázi uhlíku, kovy a jejich slitiny, keramika).

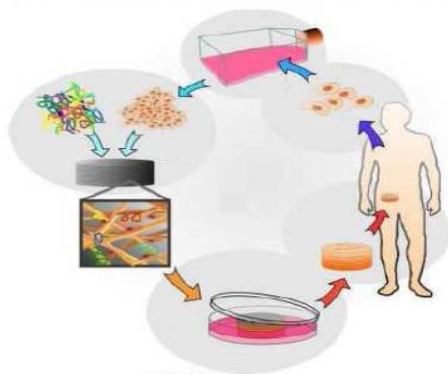
Obor zabývající se výrobou tkáňových náhrad za pomoci scaffoldů se nazývá tkáňové inženýrství.

1.2 Tkáňové inženýrství

Tkáňové inženýrství můžeme chápat jako využití chemických, biologických a lékařských principů vedoucích k obnovení, restaurování nebo regeneraci tkání, tedy pro tzv. regenerativní medicínu. Moderní tkáňové inženýrství se snaží vyvíjet takové materiály, které budou organismem snáze přijímány a které by nahradily dnešní konvenční transplantace orgánů nebo umělé implantáty.

Proces tkáňového inženýrství se skládá při standardním postupu z několika částí, jak je vidět na obrázku 2. U náhrady chrupavky se např. v první řadě odebere z těla pacienta štěp autologních chondrocytů. Dále se provede kultivace buněk *in-vitro*. Současně je nutné vyrobit scaffold s požadovanými vlastnostmi. Po dosažení potřebného množství buněk se tyto buňky aplikují na připravený scaffold. Sleduje jejich adheze, růst a proliferace skrz celý objem scaffoldu. Po určité době kultivace buněk je možné scaffold implantovat na postižené místo. Očekává se jeho degradace, která musí být shodná s dobou, za kterou se vytvoří nová tkáň v těle. Tkáňové inženýrství se věnuje především výzkumu umělé chrupavky, srdeční chlopně, náhrady cév aj.

Tkáňové náhrady mohou být vyrobeny z polymerního roztoku. Jejich výroba spočívá v elektrostatickém zvlákňování, kdy dochází ke vzniku nanovláknenného materiálu. Scaffold musí kromě biokompatibility, popřípadě biodegradability splňovat další vlastnosti. Schopnost rozmnožování buněk závisí na fyzikálních a strukturních vlastnostech materiálu, například porozita, propojení pórů, povrchová struktura, drsnost povrchu, smáčivost atd. Vliv smáčivosti materiálu byl testován v praktické části této práce[1].



Obrázek 2: Princip procesu tkáňového inženýrství.

2Praktická část

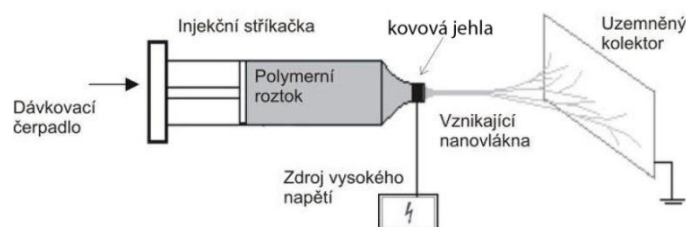
K testování byly vybrány polymerní materiály– polyvinylalkohol(PVA), polykaprolakton(PCL), polyvinylpirrolidon(PVP), polyamid(PA6), polyakrylonitril(PAN), polyethylenoxid(PEO), chisosan a rybí želatina. Z těchto polymerů se musí nejprve namíchat roztok tvořený rozpouštědlem, pokud se jedná o vodný roztok, přidávají se síťovací činidla. Z roztoků se poté vyrobí scaffoldy elektrostatickým zvlákňováním.

2.1 Elektrostatické zvlákňování

Elektrostatické zvlákňování (elektrospinning) je nejběžněji užívanou metodou zvlákňování. Obr. 3 znázorňuje schéma zvlákňování z trysky. Tato technika umožňuje výrobu polymerních nanovláken ve velikosti od 50 - 1000nm. Vlastnosti, které mohou ovlivňovat proces je vodivost, viskozita, povrchové napětí, molekulová hmotnost aj. Mezi proměnné, které můžeme řídit, patří průtok, elektrická intenzita pole, vzdálenost mezi spinnerem a kolektorem, typ spinneru (tyčka, jehla, váleček), geometrie aj.

Podstatou technologie je využití elektrostatického pole na elektricky nabitě viskoelastické kapaliny (obvykle roztok polymeru). K tvorbě vláken dochází mezi dvěma opačně nabitými elektrodami, z nichž jedna je v kontaktu s kapalinou, které tak předává část svého náboje. Nabitá kapalina je vystavena přitažlivým elektrostatickým silám opačné elektrody, je k ní tažena a dojde ke vzniku velmi tenkých vláken.

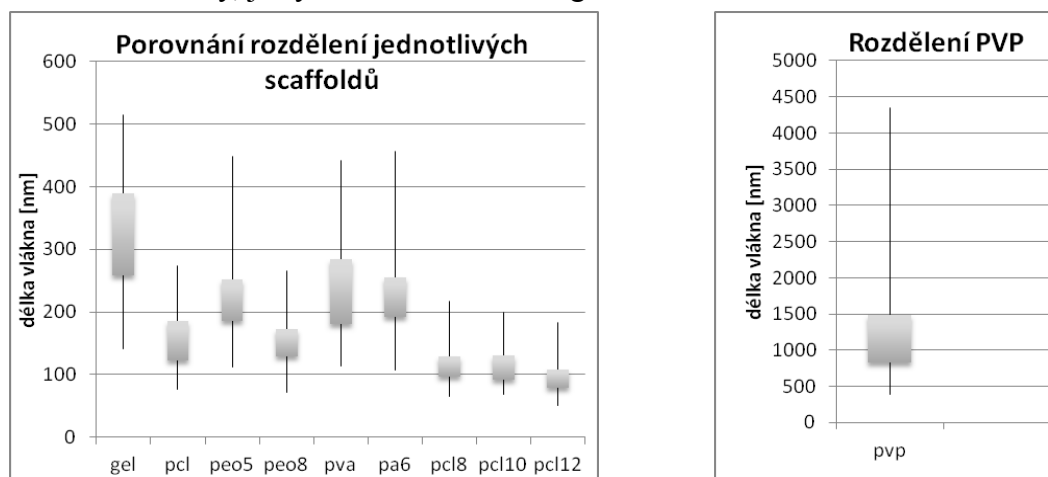
Některé materiály použité k experimentu byly zvlákňeny na průmyslovém přístroji nanospider, další byly vyrobeny elektrostatickým zvlákňováním ze stříkačky



Obrázek 2: Zvlákňování z trysky.

2.2 Analýza vlastností

Připravené materiály byly následně podrobeny analýze vlastností. Na testovaných materiálech bylo provedeno měření průměru vláken. Z tohoto měření byl získán nejen průměr vláken, ale také směrodatná odchylka a maximální či minimální průměr měřeného vlákna. Níže uvedený graf porovnává rozdělení jednotlivých scaffoldů. Jelikož PVP má oproti ostatním vláknům extrémní hodnoty, je vyobrazen ve vlastním grafu.



Graf 1, 2: Porovnání rozdělení scaffoldů.

Scaffolds vyrobené z rybí želatiny a PEO byly vyrobeny z vodného roztoku a tudíž jsou rozpustné ve vodě. Jejich síťování by bylo příliš komplikované, proto nebyly v dalším testování použity. V práci je navrženo řešení pro síťování těchto polymerních materiálů.

2.3 Smáčivost

Další pro tuto práci stěžejní měřenou vlastností byla smáčivost. Smáčivost je schopnost kapaliny udržovat kontakt s pevným povrchem, vyplývající z mezimolekulární interakce. Stupeň smáčení je určen projevem adhezních a kohezních sil. Koheze je soudržnost molekul vody mezi sebou, zatím co jejich přilnavost vůči pevným povrchům nazýváme adhezí. Je-li soudržnost molekul vody větší než přilnavost k určitému povrchu, jedná se o povrch nesmáčivý. V praxi to znamená, že kontaktní úhel na tomto povrchu je větší než 90° . Pokud je adheze větší než koheze označujeme povrch smáčivý. Kontaktní úhel je v tomto případě menší než 90° . Jestliže se použije k testování voda, potom mluvíme o hydrofilním, případně hydrofobním povrchu[2].

Smáčivost materiálu se měří za pomoci kontaktního úhlu. Měření kontaktního úhlu bylo prováděno metodou sedící kapky. Záznamy v tabulce 1 odpovídají smáčivosti PCL s CS. U těchto materiálů nejde o princip sedící kapky, jelikož se do pevného povrchu vsakuje a dochází k tzv. vzlínání. Tabulka 1 znázorňuje dynamiku kapky neboli velikost kontaktního úhlu v závislosti na čase. Kapka kapaliny (vody) byla sledována po dobu 180 sekund, dokud se její tvar nepřestal měnit. Kapka vody na čistém PCL byla neměnná, proto byl kontaktní úhel změřen na pěti různých místech vzorku a poté byl vypočten aritmetický průměr hodnot. Další testované materiály – PVA, PVP, PAN a PA6 byly extrémně hydrofilní, tzn., že jejich kontaktní úhel nemohl být změřen. Rychlost vsáknutí do polymeru byla okamžitá.

Tabulka 1: Smáčivost PCL+ CS.

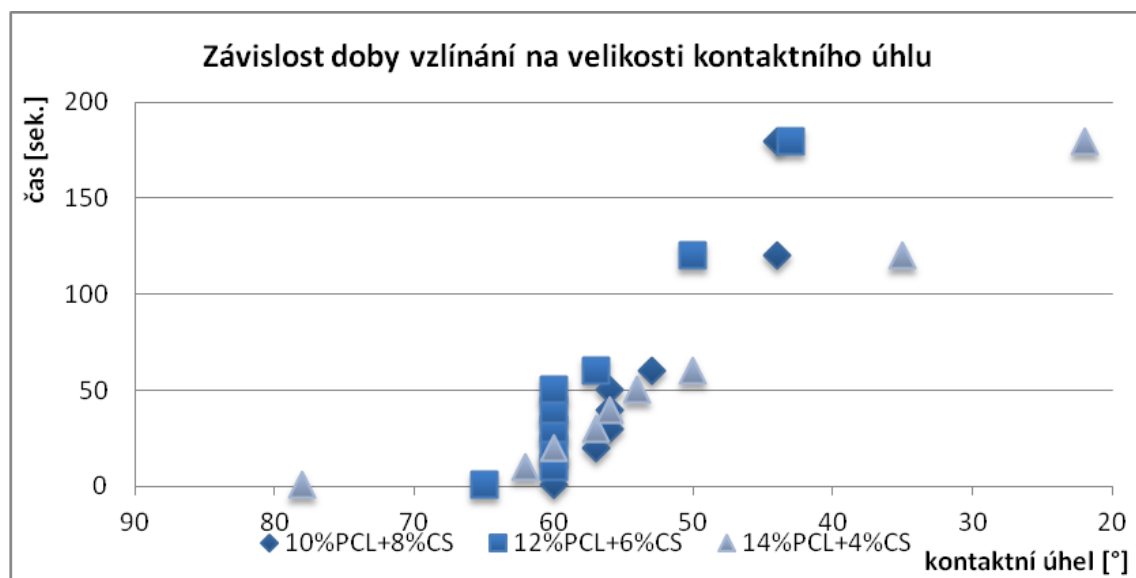
	10%PCL+8%CS	12%PCL+6%CS	14%PCL+4%CS
1sek.	60°	65°	78°
10sek.	60°	60°	62°
20sek.	57°	60°	60°
30sek.	56°	60°	57°
40sek.	56°	60°	56°
50sek.	56°	60°	54°
60sek.	53°	57°	50°
120sek.	44°	50°	35°
180sek.	44°	43°	22°

Tabulka 2: Smáčivost PCL.

	PCL
1. měření	$114,9^\circ$
2. měření	$116,4^\circ$
3. měření	$119,6^\circ$
4. měření	$108,7^\circ$
5. měření	$118,5^\circ$
průměr	$115,62^\circ$

Tabulka 3: Smáčivost PVA, PVP, PAN, PA6.

	PVA	PVP	PAN	PA6
1sek.	0°	0°	0°	0°



Graf 1: Závislost doby vzlínání na velikosti kontaktního úhlu

2.4 Testování polymerních scaffoldů

Promývání etalonem a vodou

Před začátkem biologického testování byly jednotlivé scaffoldy promyty vodou a etanolem. Tento experiment měl vést ke zjištění, zda tyto kapaliny ovlivní strukturu materiálu. Vzorky velikosti 15x15mm byly vloženy do 2ml kapaliny, kdy byly ponechány působení 30minut. Po vysušení materiálu byly provedeny snímky na rastrovacím elektronovém mikroskopu.

Biologické testování

V první řadě je zapotřebí připravit vzorky k testování a médium. Pro testování jednoho druhu polymeru je nutno vyrobit dvacet vzorků. Vzorky jsou umístěny do mikrotitrační 96 jamkové destičky s rovným dnem. Tento typ destiček je určen pro mikroskopická měření. K testování in vitro byly použité buňky 3T3 myší fibroblasty. Médium se skládalo z PBS, EDTA/Trypsin, DMEM, FBS, penicilin/streptomycin/amfotericin B.

Vzorky scaffoldů byly testovány po dvou, sedmi a dvanácti dnech. Čtyři vzorky byly použity pro MTT test, zbylé dva pro rastrovací elektronovou a fluorescenční mikroskopii.

Rastrovací elektronová mikroskopie

Příprava vzorku pro elektronovou mikroskopii: vzorek polymeru se ponoří na 20 minut do 2ml metanolu. Následně jsou vzorky promývány etanolovou řadou o koncentraci 60%, 70%, 80%, 90% a 100%. Po promytí jsou vzorky scaffoldů umístěny na destičku (obr.5) a vysušeny.

Řádkovací (rastrovací) elektronová mikroskopie umožňuje plastické zobrazení buněk a jejich povrchových částí.

Princip metody spočívá v pohybujícím se úzkém svazku primárních elektronů po povrchu vzorku. Každý bod vzorku, který je jimi zasažen, vysílá sekundární elektrony, rentgenové, světelné a jiné druhy záření. Druh a intenzita tohoto sekundárního záření je závislá na složení objektu v místě zásahu a je využívána k řízení světelnosti odpovídajícího obrazového bodu na

obrazovce monitoru. Obraz tedy vzniká postupně prostřednictvím řádkovacího rastru (odtud řádkovací neboli rastrovací SEM).

Metoda je vhodná ke studiu tvaru a povrchových struktur různých biologických objektů, např. mikroorganismů, krvinek, kostí, chrupavek, kůže a jejich derivátů, rostlinných pletiv, pylových buněk aj. Objekty je potřeba před samotným snímáním pokovovat (nejčastěji zlatem), aby jejich obraz byl dostatečně kontrastní. Předností metody je veliká hloubka ostrosti, důležitá při zobrazení většiny biologických objektů.

Fluorescenční mikroskopie

Příprava vzorku pro fluorescenční mikroskopii: vzorek scaffoldu se nejprve ponoří na 20 minut do 2ml methanolu a následně vloží do 2ml PBS. Poté se zalije 2ml fluorescentu, v tomto případě propidiem. Po tomto procesu je již vzorek připravený pro fluorescenční mikroskop.

Fluorescenční mikroskopie umožňuje zobrazit určité látky obsažené v buňkách. Metoda je založena na skutečnosti, že některé chemické látky (fluorochromy) po dopadu světla o kratší vlnové délce září světlem o delší vlnové délce - tedy světlem jiné barvy. Tento jev se nazývá fluorescence.

Princip nejčastěji užívaného postupu spočívá ve vazbě fluorochromu na určitou buněčnou složku (polysacharid, protein), která pak např. v zeleném budícím světle září červeným světlem. Aby zelené světlo budící fluorescenci nevadilo při pozorování, musí být odstraněno bariérovým filtrem. Ten pohltí zelené světlo vycházející z preparátu do objektivu a do okuláru propustí jen světlo červené. Výsledkem je tedy obraz červeně zářících struktur v temném poli.

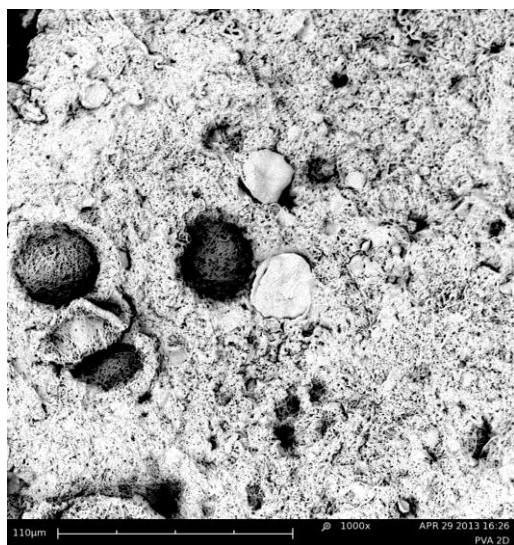
MTT test

Test MTT je kolorimetrický test pro měření aktivity buněčných enzymů. Metoda je založena na redukci žlutého solubilního 3-[4,5-dimethylthiazol-2-yl]-2,5-difenyln tetrazolium bromidu (MTT) na nerozpustný formazan (modré krystaly hvězdicovitého tvaru). Formazan se rozpustí přidáním silného detergentu a zabarvení se vyhodnocuje spektrofotometricky při vlnové délce 570 a 650 nm. Hodnota absorbance roztoku odpovídá množství živých buněk. Čím tmavší barva roztoku (vyšší absorbance), tím vyšší procento živých buněk. Výsledek absorbance může být kvantifikován pomocí spektrofotometru.

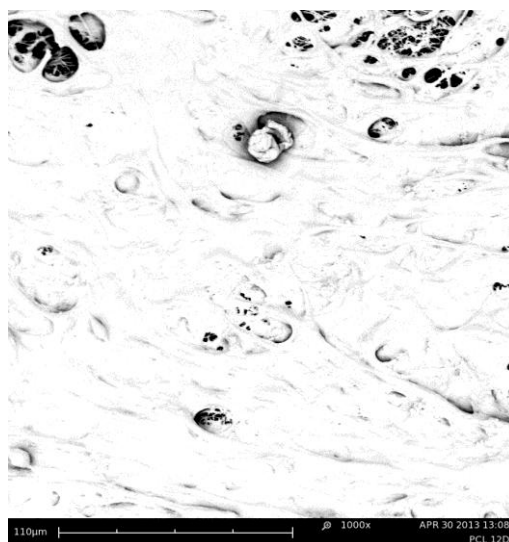
V tabulce můžeme vidět hodnoty aritmetického průměru a směrodatné odchylky, které byly vypočteny z hodnot absorbancí jednotlivých polymerních scaffoldů. Z hodnot měření můžeme vyčíst, že například buněčný růst na scaffoldu z PCL mezi druhým a sedmým dnem je strmý a naopak po dvanácti dnech byl zaznamenán úbytek buněk. Podobný výsledek můžeme pozorovat i u 10%PCL+8%CS a PVP. Z výsledků zbylých scaffoldů můžeme vidět, že se jejich buněčný růst každým dnem zvyšuje. Největší absorbanci a tedy nejvyšší procento živých buněk má PAN, naopak nejnižší procento živých buněk obsahuje scaffold z PVP.

Tabulka 4: MTT test

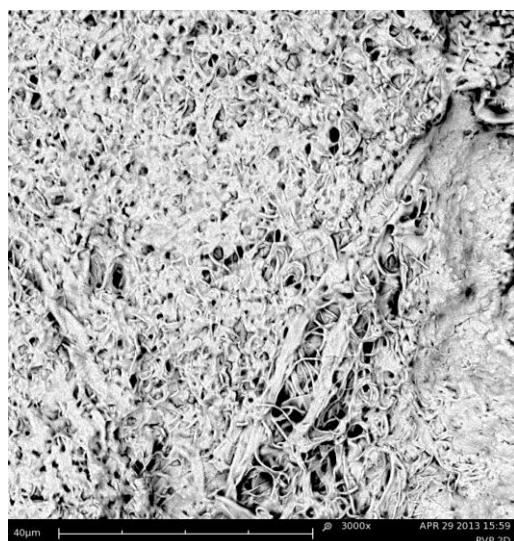
	2.den	2.den	7.den	7.den	12.den	12.den
	Aritmetický průměr	Směrodatná odchylka	Aritmetický průměr	Směrodatná odchylka	Aritmetický průměr	Směrodatná odchylka
PVA	0,15	0,02	0,27	0,11	0,46	0,43
PCL	0,58	0,08	2,44	0,13	2,29	0,15
PVP	0,07	0,06	0,1	0,066	0,75	0,22
PA6	0,18	0,04	1,66	0,5	2,25	0,17
PAN	0,65	0,04	2,57	0,24	3,42	0,4
10%PCL+8%CS	0,58	0,11	2,19	0,18	1,43	0,19
12%PCL+6%CS	0,56	0,09	1,73	0,11	2,61	0,45
14%PCL+4%CS	0,55	0,10	1,85	0,31	2,21	0,07



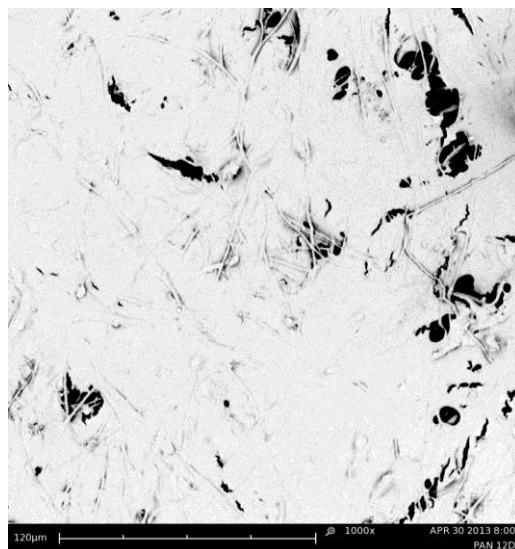
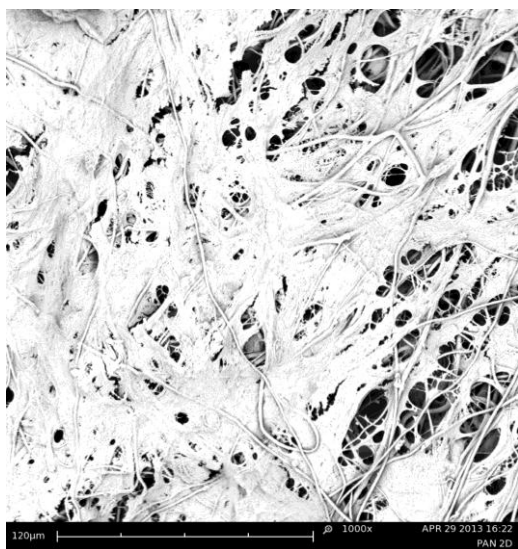
Obrázek 3: PVA - biologické testování, 2. a 12. den.



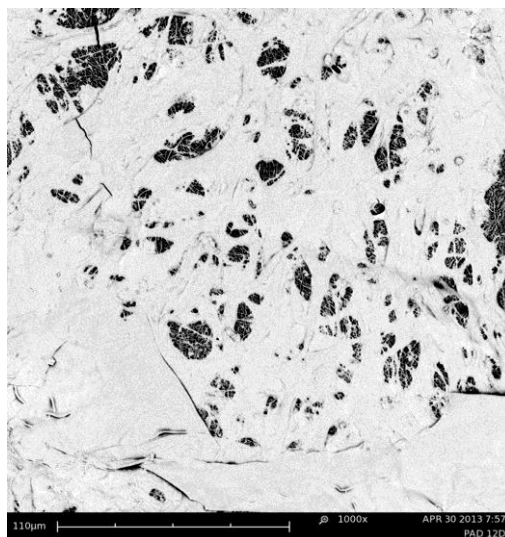
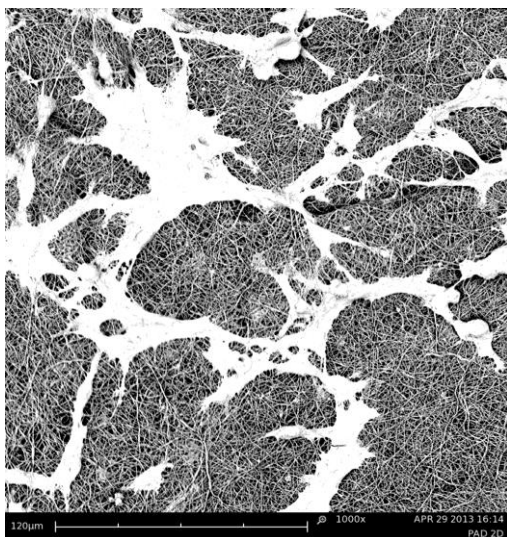
Obrázek 4: PCL- biologické testování, 2. a 12. den



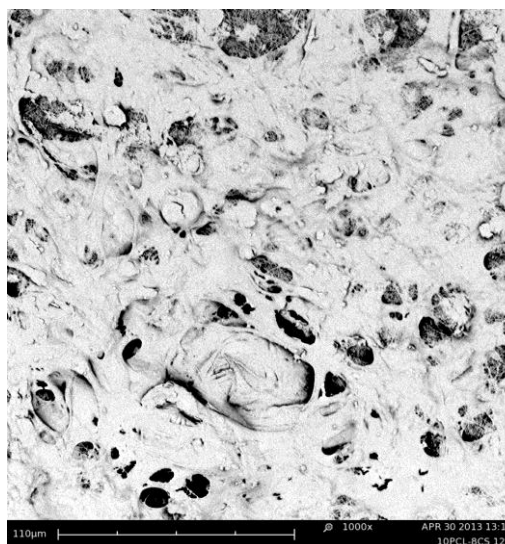
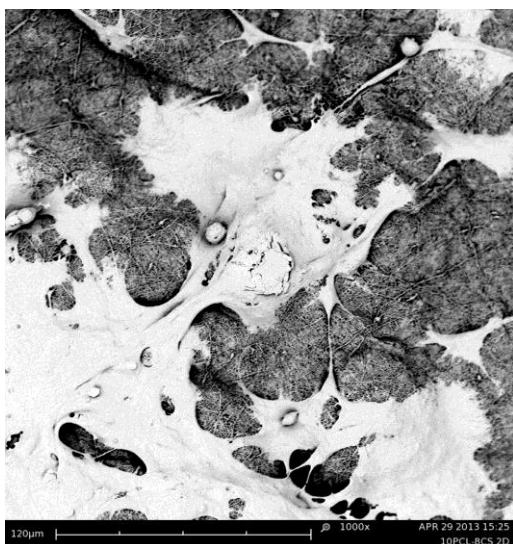
Obrázek 5: PVP- biologické testování, 2. a 12. den



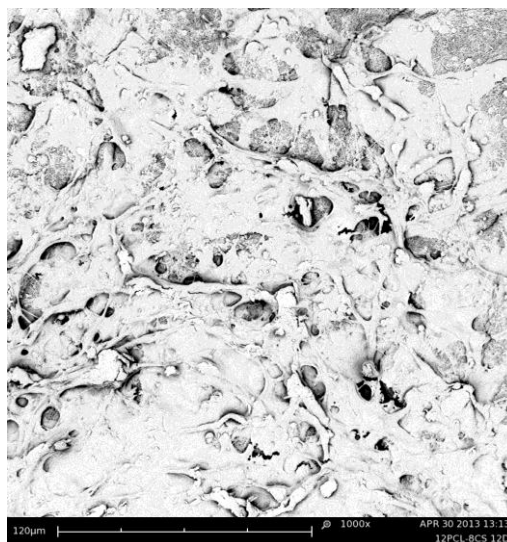
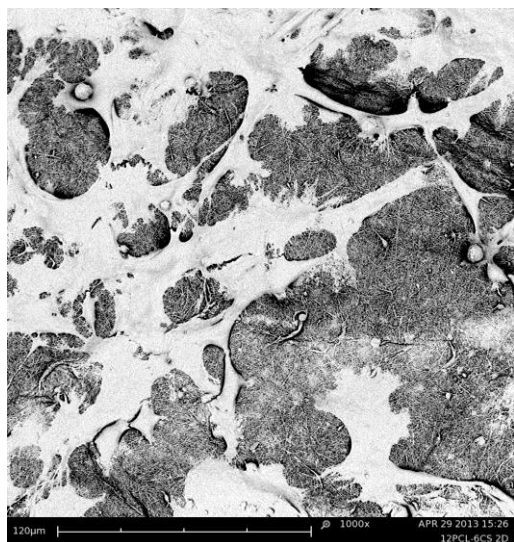
Obrázek 6: PAN- biologické testování, 2. a 12. den



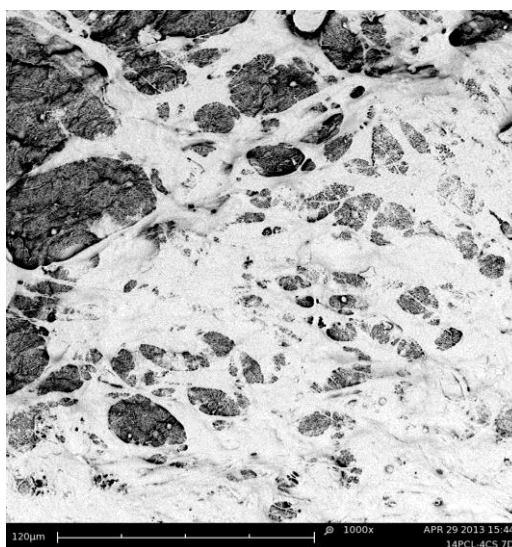
Obrázek 7: PA6- biologické testování, 2. a 12. den



Obrázek 8: 10%PCL+8%CS- biologické testování, 2. a 12. den



Obrázek 9: 12%PCL+6%CS- biologické testování, 2. a 12. den



Obrázek 10: 14%PCL+4%CS- biologické testování, 2. a 12. den

3 Závěr

Z porovnání hodnot smáčení a absorbance jednotlivých scaffoldů je zřejmé, že kontaktní úhel, neboli hydrofilita/hydrofobicita, nemá vliv na adhezi a proliferaci buněk. To vyvrací studii, která říká, že optimální prostředí pro buňky je mírně hydrofilní povrch (Bačáková et al, 2011.). Buňky dobře adherovaly na povrch materiálu i přesto, že byl extrémně hydrofilní. Tyto buňky jsou ale vázány molekulami s poměrně slabými silami, které by mohly vést k oddělení těchto molekul, zejména v pozdějších časových intervalech a pokud vážou velké množství buněk. Nevýznamnost velikosti kontaktního úhlu prokazuje hydrofobicita samotného polykaprolaktonu, na který buňky také dobře adherovaly. Lze tedy říci, že adhezi a proliferaci buněk ovlivňují jiné vlastnosti, například porozita, drsnost povrchu, polarita materiálu atd.

Literatura

- [1] LUKÁŠ, David. Lékařské textilie. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2009. ISBN 978-80-7372-475-7.
- [2] Wetting. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2013-05-13]. Dostupné z: <http://en.wikipedia.org/wiki/Wetting>

VLIV TECHNOLOGIE SUBLIMAČNÍHO TISKU NA VYBRANÉ VLASTNOSTI PLETENIN PRO VOLNOČASOVÉ ODĚVY

Sýkorová Petra

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

Abstrakt: Práce se zabývá vlivem technologie sublimačního tisku na vybrané termofyziologické vlastnosti pletenin určených pro výrobu tepelně-izolační vrstvy sportovního volnočasového oděvu. Práce se věnuje oděvnímu komfortu, termoregulaci organismu a mechanismům pro udržování stálé tělesné teploty. Shrnuje parametry a strukturu textilie, která je vhodná pro výrobu tepelně-izolační vrstvy oděvu a poznatky o sublimačním tisku. Vlastní experiment se zabývá zjištěním rozdílů ve vlastnostech textilie (tloušťka, prodyšnost, termofyzikální parametry) před úpravou pleteniny a po úpravě pleteniny pomocí sublimačního tisku. Další část práce se zabývá návrhem potisku na konkrétní výrobek s využitím zjištěných změn ve vlastnostech zkoumané textilie. Návrh vzoru si klade za cíl zatraktivnit výrobek pro zákazníka. Potištění částí výrobku podle zón produkce potu má za úkol zvýšit psychologický a termofyziologický oděvní komfort.

Klíčová slova: oděvní komfort, pletenina, prodyšnost, přenosový sublimační tisk, tepelná izolace, termoregulace, volnočasový (outdoorový) oděv

Úvod

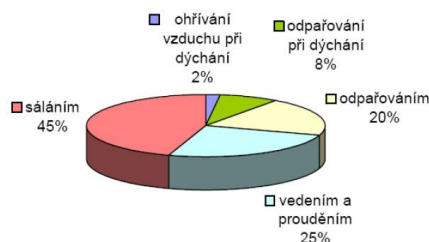
Termofyziologické vlastnosti, mezi něž patří mimo jiné prodyšnost a tepelně-izolační vlastnosti, jsou pro sportovní oděvy velmi důležité. Využitím zušlechťovacích technologií se ovšem mohou změnit vlastnosti výrobku, které jsou pro jeho užívání významné. Obzvláště ve sportovním odvětví, kdy je třeba lidskému organismu zajistit vynikající podmínky při fyzické aktivitě a zabezpečit tak termoregulaci organismu k udržení stálé tělesné teploty, je nutné zajistit vhodné užité vlastnosti, které budou odpovídat účelu použití oděvního výrobku.

1. Fyziologie odívání

Fyziologie a hygiena odívání studuje fyziologicko-hygienické vlastnosti, zejména propustnosti rozlišené podle druhu prostupujícího média (vzduch, vodní pára, voda, teplo) a soustředí se na nové experimentální metody. Zaobírá se fyziologicko-hygienickým hodnocením textilií. Výzkum fyziologie a hygieny odívání souvisí s výzkumem struktury textilie a jejích vlastností. Oděvní systém v soustavě organismus – oděv – okolní prostředí sestává z oděvních mezivrstev. Jednu vrstvu lze podle [1] uvažovat jako základní jednotku skládající se z vrstvy textilního materiálu, vrstvy vzduchu v něm uzavřeném a vrstvy volného vzduchu.

2. Termoregulace organismu

Lidský organismus se dokáže sám regulovat. Zajišťuje si tak rovnováhu mezi množstvím tepla, které vytvoří, a tepla, které předá okolnímu prostředí. Je schopen udržovat stálou tělesnou teplotu [2]. Tělesná teplota se může měnit díky vlivu teploty prostředí, ve kterém se člověk nachází. Tyto výkyvy se vyrovnávají termoregulačními mechanismy. Tělesnou teplotu organismu také zvyšuje tělesná práce a přijetí energeticky hodnotné potravy [2, 3]. Termoregulační systém lidského těla podporuje zvětšení přestupu tepla při přehřátí organismu účinkem vnějšího tepla nebo při zvýšení uvolňování tepla v organismu. Podněcuje zmenšení přestupu tepla do okolního prostředí a zvýšení tvorby tepla v organismu při ochlazení organismu. Tepelná regulace se rozděluje na chemickou a fyzikální [2]. Procentuálně rozdělené způsoby sdílení tepla podle [4] jsou uvedeny na obrázku 1.



Obr. 1 Procentuální zastoupení způsobů sdílení tepla podle [4]

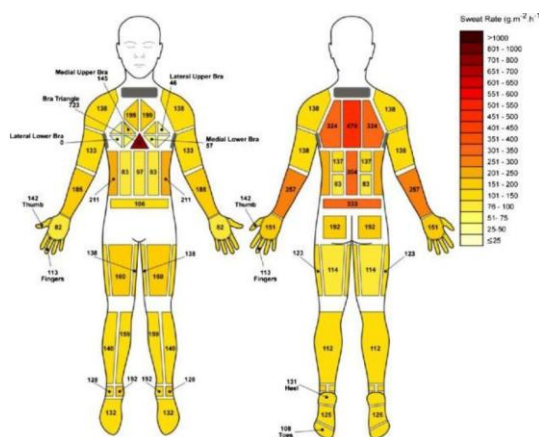
2.1. Transport vlhkosti

Ztráty tepla z lidského organismu jsou doprovázeny pocením. Velká fyzická zátěž organismu může vést k situaci, kdy se pro zabezpečení tepelné rovnováhy stane odpařování potu významnější než jiné způsoby přenosu tepla. Pro to, aby okolní prostředí mohlo vodní páru přijmout, je nutné, aby rozdíl parciálních tlaků byl v ideálním případě co nejvyšší. Rychlost, jakou bude vlhkost odvedena, závisí právě na rozdílu parciálních tlaků. U oblečeného člověka je vlhkost z pokožky odvedena následujícími způsoby: kapilárně, migračně, sorpčně a difuzí [5]. Transport vlhkosti je popsán v dostupné české i zahraniční literatuře, např. [1, 5, 6, 7].

2.2. Rozdíly v produkci potu na různých částech těla

Pocení je způsobeno sekreční činností potních žláz, která nastává při teplotě kůže nad 29 °C. Pot se skládá z vody, chloridu sodného, močoviny, kyseliny mléčné, mastných kyselin a jiných látek. Každý člověk má přibližně 2,5 milionu potních žláz. Potní žlázy nejsou v kůži rozmístěny rovnoměrně [3]. Nejvíce je jich umístěno v obličeji, na čele, v dlaních, na chodidlech, v podpaží a na přední ploše hrudníku. Potní žlázy se nachází ve škáře, kde začínají stočenými klubičky a vedou směrem k povrchu kůže [8].

Havenith a Smith se ve svém výzkumu [9] zabývají mapováním pocení na různých částech těla s porovnáním rozdílů mezi pocením u mužů a u žen. Produkce potu byla sledována při dvou intenzitách cvičení (I1 a I2) u třinácti žen v mírně teplých podmínkách (teplota vzduchu 25 °C, relativní vlhkost vzduchu 45 %, rychlost proudění vzduchu 2 m·s⁻¹). Produkce potu u žen byla srovnávána s produkcí potu u devíti mužů, sledovaných za stejných podmínek. Bylo zjištěno, že při nižší intenzitě cvičení je pot u žen produkován nejvíce v horní části zad, na patách, v zadní části nohou a mezi prsy. Nejnižší hodnoty byly naměřeny v oblasti přes prsa a ve střední a dolní vnější části zad. Při vyšší intenzitě cvičení (obr. 2) byla zjištěna nejvyšší produkce potu v oblasti centrální horní části zad, v dolní části zad a v oblasti trojúhelníku mezi prsy. Oblasti na prsou a dlaních vykazovaly nejnižší produkci potu při vyšší intenzitě cvičení.



Obr. 2 Zóny produkce potu u žen při vyšší intenzitě cvičení [9]

U mužů byla pozorována výrazně vyšší celková produkce potu než u žen při obou intenzitách cvičení.

3. Oděvní komfort

Oděv svému nositeli zajišťuje mimo jiné tepelnou pohodu, díky které je člověk schopen vykonávat životní činnosti. Oděvní komfort se podle [1] rozděluje na čtyři složky: termofyziologický komfort, psychologický komfort, senzorický komfort a patofyziologický komfort. Dle [6] je do rozdělení oděvního komfortu zařazena ještě pátá složka: komfort ergonomický.

Termofyziologický komfort, důležitý aspekt oděvního komfortu, přímo ovlivňuje termoregulaci člověka [6]. Při pociťování komfortu se teplota lidské pokožky pohybuje v rozmezí od 33 – 35 °C, relativní vlhkost vzduchu je $50 \pm 10 \%$, rychlost proudění vzduchu dosahuje $25 \pm 10 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$, obsah oxidu uhličitého je 0,07 % a na pokožce se nenachází žádná voda.

Psychologický komfort je ovlivněn módou, stylem, ideologií, kulturou, společností, osobními preferencemi, barvou, konstrukčním řešením oděvu atd. Ukazuje na individualitu nositele oděvu. Jedná se o individuální aspekt oděvu, psychologický komfort může být hodnocen pouze subjektivně [5, 6].

Senzorický komfort je možné rozdělit na omak a na komfort nošení. Komfort nošení obsahuje vybrané mechanické vlastnosti, které ovlivňují rozložení tlaků a sil v oděvním systému, povrchovou strukturu materiálu a schopnost materiálu absorbovat a transportovat kapalnou nebo plynnou vlhkost s vlivem na své kontaktní vlastnosti. Zde se senzorický oděvní komfort prolíná s termofyziologickým komfortem. Omak je veličinou velice individuální. Je vnímán pomocí dlaně a prstů. Je možné ho zjednodušeně popsat tuhostí, objemností, hladkostí a tepelně-kontaktním vjemem [1].

4. Vrstvení oděvu

Outdoorové oděvy (*outdoor* = určený pro venkovní prostředí) jsou takové oděvy, které umožňují použití v různých klimatických podmínkách. Aktivity v přírodě lze rozdělit podle [10] na rodinnou turistiku, cykloturistiku, turistiku, vysokohorskou turistiku a horolezecké expedice. Neexistuje textilie, která by dokázala zajistit zároveň transport vlhkosti, stálou tělesnou teplotu, tepelnou izolaci a ochranu před vlivy počasí. Vrstvení má zajistit koordinaci přenosu tepla a vlhkosti a zamezit nepříjemným pocitům, které se mohou objevit v chladném nebo vlhkém prostředí. Jak je uvedeno v [11] základní systém vrstvení zahrnuje tři vrstvy: transportní, izolační a ochrannou. Tato práce se věnuje cíleně struktuře a vlastnostem tepelně-izolační vrstvy oděvu.

4.1. Tepelně-izolační vrstva

Úkolem izolační (většinou druhé) vrstvy je zajišťovat tepelnou izolaci. Materiál musí být lehký, hřejivý, na omak příjemný a nesmí zadržovat vlhkost. Využívají se různé druhy tepelně-izolačních vláken (vlákna jsou nekonečná a upravují se kroucením) a textilií. Obvykle se jedná o zátažné jednolící pleteniny s vazbami jako plyšová, výplňková nebo hladká, které jsou navíc intenzivně počesané. Pleteniny jsou nejčastěji polyesterové nebo polyamidové. Výrobně se jedná o různé mikiny, bundičky, vesty o plošné hmotnosti od 100 do 300 g·m⁻² [10, 11]. Jako textilní struktury s odpovídajícími vlastnostmi se využívají zátažné jednolící pleteniny. Ve velké míře se používají také vazby s doplňkovými nitěmi. K základní struktuře

těchto vazeb se dodávají další nitě, jež nejsou potřebné pro to, aby pletenina byla pleteninou, ale zásadně mění její vlastnosti. Spojení doplňkových nití se základní strukturou může být vytvořeno očky, chytovými kličkami, případně jiným způsobem. V případě krytého výplňku je výplňková nit provázána pouze s jednou nití základní kryté pleteniny. K dosažení lepších tepelně-izolačních vlastností pak lze pleteninu počesat [12, 13]. Počesáním se kromě změněného vzhledu vlasového povrchu, dosáhne tepelně-izolačních vlastností a plného, měkkého a vlněného omaku pleteniny. [14].

5. Přenosový tisk

Přenosový tisk je termín užitý k popisu tiskacího procesu, který je specifický svým speciálním pracovním postupem. Nejprve je potištěn netextilní substrát (podložka, nejčastěji papír) a poté je z tohoto substrátu tisk přenesen samostatným procesem na textilií [15, 16]. Výhodou sublimačního přenosového tisku je jeho možnost využití široké škály barev a různých efektů. Umožňuje reprodukovat na textilií např. fotografii. Vzory mohou být tištěny okamžitě, což je ideální pro stále rostoucí tempo módního průmyslu, kde myšlenky potřebují být bezodkladně realizovány. V současné době jsou disperzní barviva dostupná jako náplň pro velkoformátové a stolní tiskárny. Tisk je ve velkém rozsahu používán v marketingové propagaci. V textilním průmyslu se tato technologie ve velké míře využívá na potisk sportovních oděvů a plavek [17].

6. Experiment

Experimentální část práce se zabývá zjištěním vlivu technologie sublimačního tisku na vybrané vlastnosti pletenin určených pro výrobu tepelně-izolační vrstvy oděvu. Výzkum sestává ze sledu experimentálních měření, jež zahrnují propustnost vzduchu, termofyzikální parametry a tloušťku textilie.

6.1. Charakteristika vzorků a úprava potiskem

Pro experiment byla zvolena zátažná jednolící pletenina Tecnostretch od firmy Pontetorto. Vzorky pleteniny pro experiment poskytla firma Direct Alpine, s.r.o. Výrobky z této pleteniny jsou používány jako tepelně-izolační vrstva oděvu. Pletenina je v práci označována jako FP (FP = fialová pletenina). V následující tabulce 1 jsou uvedeny charakteristiky vzorku.

Tab. 1 Charakteristika pleteniny

Označení vzorku	Složení	Plošná hmotnost	Vazba	Úprava
FP	polyester 88% /elastan 12%	206 [g.m ⁻²]	zátažná jednolící	počesaná rubní strana pleteniny

Vzorky pletenin byly z lícové strany potištěny technologií sublimačního tisku na zařízeních tiskařské dílny katedry designu FT TUL. Přenosový papír byl potištěn pomocí digitální tiskárny JV4-130 firmy Mimaki sublimačními inkousty. Tato digitální tiskárna umožňuje jak tisk pigmentovými inkousty přímo na textilií, tak potisk papíru inkousty sublimačními [18].

Měření se uskutečnila na třech vzorcích pleteniny FP označených následovně: nepotištěná pletenina (N), potištěná pletenina (P), nepotištěná pletenina po působení tepla a tlaku (lisovaná, bez barviva – L).

První část se věnuje vlivu technologie sublimačního tisku na měřené vlastnosti. Podmínky přenosu byly nastaveny následovně: teplota při přenosu: 180 °C, doba přenosu: 57 s, přítlak byl regulován tak, aby zajistil celoplošný styk textilie s přenosovým papírem a zabránil posunu papíru po textilií v průběhu sublimace barviva.

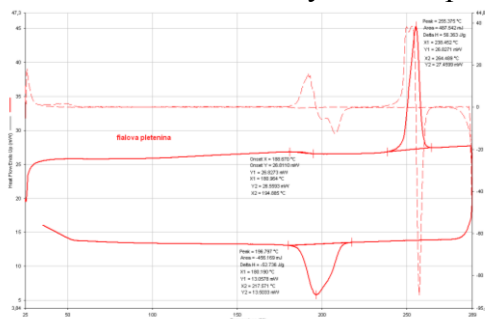
Další část zkoumá vliv podmínek při procesu přenosu barviva na měřené vlastnosti. Podmínky přenosu byly pro zjištění **vlivu teploty** nastaveny následovně: teplota při přenosu: 180 °C, 190 °C, 200 °C, 210 °C a 220 °C. Rozsah teplot byl zvolen na základě typické přenosové teploty, kterou uvádí Rattee [16], doba přenosu: 57 s, přítlak byl regulován tak, aby zajistil celoplošný styk textilie s přenosovým papírem a zabránil posunu papíru po textilií v průběhu sublimace barviva. Podmínky přenosu byly pro zjištění **vlivu přítlaku** nastaveny následovně: teplota při přenosu: 190 °C, doba přenosu: 57 s, použitý lis neumožňuje změřit přítlak, proto byly pro potřeby práce zavedeny termíny „*vysoký přítlak*“ a „*nizký přítlak*“.

6.2. Vyhodnocení experimentu

Vlastní experiment je pro přehlednost rozdělen do tří částí. V první části jsou určeny charakteristiky vláken. Druhá část se věnuje vlivu technologie sublimačního tisku na měřené vlastnosti. Třetí část zkoumá vliv podmínek při procesu přenosu barviva na měřené vlastnosti.

6.2.1. Charakteristika vláken

Pro ověření materiálového složení vzorku byla využita metoda termické analýzy na přístroji DSC 6 (diferenční skenovací kalorimetr). Průběh křivky ukazuje na složení materiálu (polyester). Po derivaci funkce se zjistí její extrémy. Z obrázku 3 lze vypočítat, že dochází k tání v rozmezí teplot 238,5 – 264,5 °C. Materiál byl fixován při teplotě 181,0 °C.



Obr. 3 Křivka DSC pro vzorek FP

6.2.2. Vliv technologie sublimačního tisku

Vliv technologie sublimačního tisku na tloušťku textilie

Tloušťka textilie je podle normy [19] definována jako kolmá vzdálenost mezi základní deskou, na které je umístěn vzorek materiálu a deskou, která na textilií působí definovaným přítlakem. Tloušťka textilie byla měřena v rámci měření termofyzikálních parametrů na přístroji Alambeta. Na tomto přístroji byl po celou dobu měření termofyzikálních parametrů nastaven přítlak 250 Pa. Vzhledem k úpravě rubové strany textilie – počesání – je vhodné zvolit nižší přítlak, proto byla tloušťka měřena též na přístroji SDL M034A při přítlaku 100 Pa.

Lze konstatovat, že:

- Finální úpravou dochází ke snížení tloušťky, a to o cca 9 %.

- Mezi potištěnou a lisovanou textilií v hodnotě tloušťky textilie není statisticky významný rozdíl.

Vliv technologie sublimačního tisku na prodyšnost textilie

Propustnost vzduchu (prodyšnost) je podle normy [20] definována jako rychlost proudu vzduchu, který prostupuje kolmo plochou vzorku. Jsou stanoveny určité podmínky pro zkušební plochu, dobu a tlakový spád. Pro zjišťování prodyšnosti byl využit přístroj METEFEM FF 12/A. Zkušební podmínky byly následující: plocha upínací čelisti: 20 cm², tlakový spád: 40 Pa, 50 Pa, 100 Pa, 150 Pa. V průběhu provádění experimentu se vyskytly jisté problémy, kdy bylo třeba upravit metodiku, případně hodnocení. Experiment měření a hodnocení prodyšnosti je dělen do následujících částí: vliv tlakového spádu, vliv lícové/rubové strany textilie, vliv finální úpravy – potištění, lisování, vliv vyprání na prodyšnost.

Lze konstatovat, že:

Vliv tlakového spádu na prodyšnost

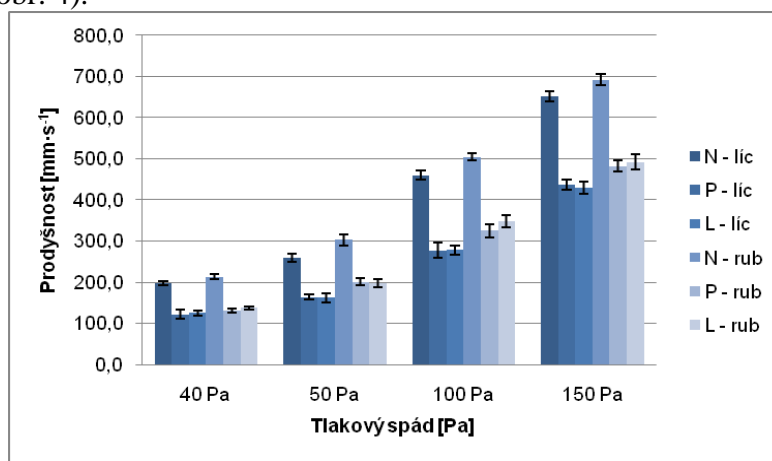
- Se stoupajícím tlakovým spádem prodyšnost textilie vzrůstá u všech vzorků textilie.

Vliv lícové/rubové strany textilie (rubová strana textilie je počesaná)

- Při tlakovém spádu 40 Pa není statisticky významný rozdíl v prodyšnosti v závislosti na směru prostupu vzduchu textilií. U vyšších tlakových spádů (50 - 150 Pa) dochází k diferenciaci a prodyšnost z rubové strany textilie je vyšší u tlakového spádu 50 Pa o cca 14 %, u tlakového spádu 100 Pa o cca 9 % a u tlakového spádu 150 Pa o cca 6 %.

Vliv finální úpravy – potištění, lisování

- Nepotištěná textilie vykazuje nejvyšší prodyšnost ve směru prostupu vzduchu z lícové i rubové strany.
- Potištěná textilie a lisovaná textilie mají ve směru prostupu vzduchu z lícové i rubové strany stejnou hodnotu prodyšnosti, která je nižší než u původních nepotištěných vzorků (obr. 4).



Obr. 4 Vliv finální úpravy – potištění, lisování

Vliv praní

- Hodnoty prodyšnosti po vyprání textilie se statisticky významně nezměnily. Byl potvrzen předpoklad, že fixace struktury textilie v průběhu procesu přenosu barviva na textilií je trvalá.

Finální úpravou dochází tedy k poklesu prodyšnosti. Lze vyvodit, že je tato změna způsobena změnou struktury textilie vlivem podmínek lisování při procesu přenosu barviva

z přenosového papíru na textilii za působení tepla a přítlaku. Došlo ke zmenšení mezinitných a mezivláknenných pórů, a byla tak snížena porozita pleteniny.

Vliv technologie sublimačního tisku na termofyzikální parametry textilie

Termofyzikální parametry textilie, kterými jsou měrná tepelná vodivost, měrná teplotní vodivost, tepelná jímavost, plošný odpor vedení tepla a tepelný tok, byly měřeny na přístroji Alambeta. Je provedeno hodnocení vlivu: lícové/rubové strany textilie, finální úpravy – potištění, lisování.

Lze konstatovat základní trendy, které jsou v souladu s tím, co jednotlivé charakteristiky popisují.

- Z hlediska hodnocení lícové a rubové strany textilie se hodnoty termofyzikálních parametrů liší u měrné teplotní vodivosti, tepelné jímavosti a tepelného toku. Charakter rubové strany textilie – počesání – určuje vyšší měrnou teplotní vodivost, nižší tepelnou jímavost, nižší tepelný tok. Měrná tepelná vodivost a plošný odpor vedení tepla nabývají z lícové a rubové strany textilie stejných hodnot.
- Ačkoliv měrná tepelná vodivost nabývá stejných hodnot u nepotištěné a potištěné textilie, u plošného odporu vedení tepla se projevil vliv tloušťky textilie. Plošný odpor vedení tepla je u potištěné textilie nižší. Nepotištěná textilie má z lícové strany vyšší měrnou teplotní vodivost, nižší tepelnou jímavost a nižší tepelný tok, než potištěná textilie. U rubové strany se rozdíl v těchto parametrech mezi nepotištěnou a potištěnou textilií neprojevil.

6.2.3. Vliv podmínek technologie sublimačního tisku

Vliv podmínek technologie sublimačního tisku na tloušťku textilie

Jako faktor, nejvíce ovlivňující termofyziologické vlastnosti textilií z polyesterových vláken, který je silně ovlivněn podmínkami technologie (teplota, přítlak), se jeví tloušťka textilie. Tloušťka textilie byla měřena v rámci měření termofyzikálních parametrů na přístroji Alambeta při přítlaku 250 Pa. Vzhledem k úpravě rubové strany textilie – počesání – je vhodné zvolit nižší přítlak, proto byla tloušťka měřena též na přístroji SDL M034A při přítlaku 100 Pa. Zkušební podmínky jsou shodné s podmínkami z předchozího měření tloušťky. Lze konstatovat tyto trendy:

Vliv teploty

- Tloušťka nepotištěné textilie je větší než tloušťka potištěné textilie (pokles u P 180 °C o cca 39 % /SDL M034A/, resp. o 46 % /Alambeta/).
- Se stoupající teplotou při procesu přenosu barviva hodnota tloušťky textilie klesá. Rozdíl mezi textilií potištěnou při teplotách při procesu přenosu barviva 210 °C a 220 °C již není statisticky významný u obou metod měření.

Vliv přítlaku

- Se stoupajícím přítlakem při lisování hodnota tloušťky textilie klesá u obou metod měření.

Jak vlivem rostoucí teploty, tak vlivem přítlaku při lisování dochází k nevratným deformacím ve struktuře textilie.

Vliv podmínek technologie sublimačního tisku na prodyšnost textilie

- Se stoupající teplotou při procesu přenosu barviva prodyšnost klesá, ale statisticky významný rozdíl je při teplotách 180 °C a 190 °C. Mezi teplotami 190 – 220 °C již statisticky významný rozdíl z lícové ani z rubové strany textilie není.
- S rostoucím přitlakem při lisování prodyšnost klesá.

Vliv podmínek technologie sublimačního tisku na termofyzikální parametry textilie

Změny termofyzikálních parametrů textilie, kterými jsou měrná tepelná vodivost, měrná teplotní vodivost, tepelná jímavost, plošný odpor vedení tepla a tepelný tok, jsou logickým důsledkem změn tloušťky textilie. Zkušební podmínky jsou shodné s podmínkami z předchozího měření termofyzikálních parametrů.

Lze konstatovat následující trendy: s klesající tloušťkou (se stoupající teplotou i se stoupajícím přitlakem při lisování):

- V hodnotách měrné tepelné vodivosti mezi vzorky potištěnými při odlišných teplotách při procesu přenosu barviva není statisticky významný rozdíl, se stoupajícím přitlakem je v hodnotách měrné tepelné vodivosti pozorován mírný pokles.
- Hodnoty plošného odporu vedení tepla klesají. Rozdíl mezi textilií potištěnou při teplotách při procesu přenosu barviva 210 °C a 220 °C není statisticky významný.
- Měrná teplotní vodivost klesá. Rozdíl mezi textilií potištěnou při teplotách lisování 210 °C a 220 °C již není statisticky významný.
- Hodnoty tepelné jímavosti vzrůstají. Rozdíl mezi textilií potištěnou při teplotách při procesu přenosu barviva 210 °C a 220 °C není statisticky významný.
- Hodnoty tepelného toku vzrůstají. Rozdíl mezi textilií potištěnou při teplotách při procesu přenosu barviva 210 °C a 220 °C není statisticky významný.

7. Návrh oděvu s využitím zjištěných změn

V další části práce je řešen návrh daného typu oděvu s využitím zjištěných změn. Vychází se z následujících zjištěných změn.

Finální úpravou textilie – potištěním pomocí technologie sublimačního tisku (podmínky procesu: teplota 180 °C, přitlak nízký):

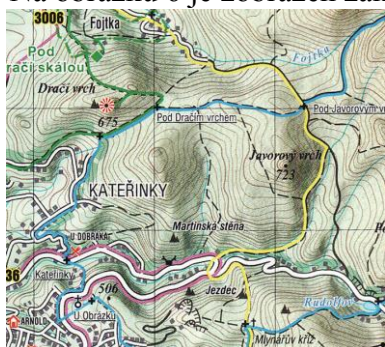
- Zmenší se tloušťka textilie o cca 9 %.
- Klesá prodyšnost textilie až o cca 40 %.
- V hodnotách termofyzikálních parametrů nejsou procentuální rozdíly mezi nepotištěnou a potištěnou textilií tak markantní, jako procentuální rozdíl v hodnotách prodyšnosti.

Návrh oděvu je řešen pro konkrétní výrobek firmy Direct Alpine, s.r.o. Mikina Gavia lady (kolekce léto 2013) je vyrobena z materiálu Tecnostretch, jehož vybrané vlastnosti byly zjišťovány v experimentální části práce. Technický náskres pro účely práce poskytla firma Direct Alpine, s.r.o. Potištění částí výrobku podle zón produkce potu má za úkol zvýšit psychologický a termofyziologický oděvní komfort. Návrh vzoru si klade za cíl zatraktivnit výrobek pro zákazníka.

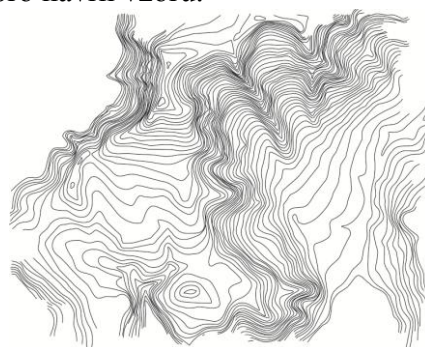
7.1. Inspirace pro vzor

Vzor je inspirován vrstevnicemi. Vrstevnice (na obrázku 5) jsou křivky, jež na mapě nebo v terénu spojují body o stejné nadmořské výšce. Vrstevnice jsou na mapě hustěji u sebe,

pokud je v terénu strmější svah. Uvažovaná souvislost s volnočasovými oděvy je zřejmá: volnočasový sportovní oděv je určen pro člověka vykonávajícího sport nebo turistiku, ať už rodinnou turistiku, cykloturistiku, turistiku, vysokohorskou turistiku nebo horolezecké expedice. Na obrázku 6 je zobrazen základní motiv pro návrh vzoru.



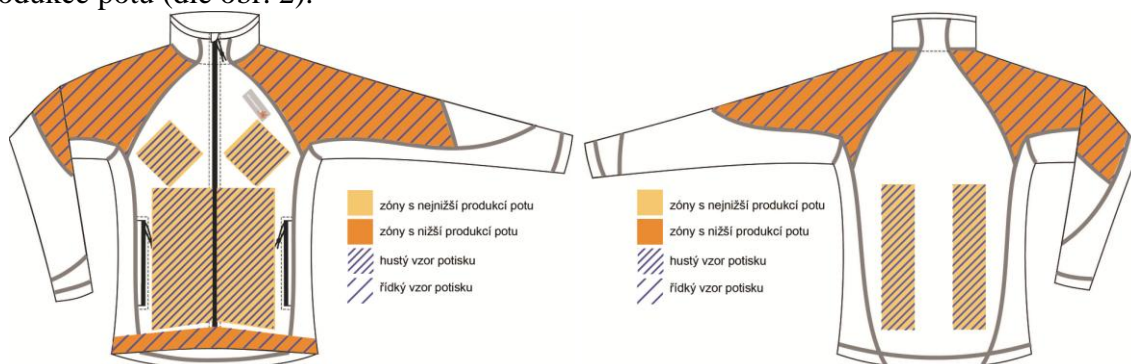
Obr. 5 Inspirace [21]



Obr. 6 Základní motiv pro návrh vzoru

7.2. Vyznačení zón produkce potu

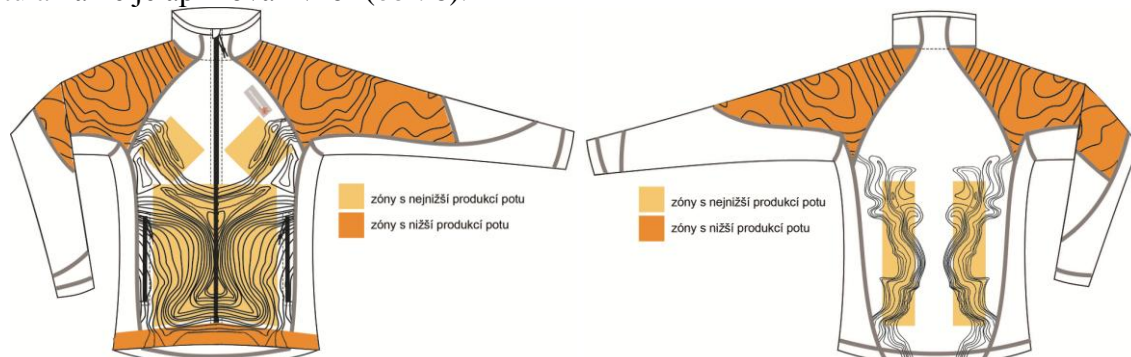
Při uvažování změn, které nastaly ve struktuře textilie, a za předpokladu, že jde o snížení prodyšnosti, je vhodné potisknout ty části oděvu, kde je prodyšnost nežádoucí. Na obrázku 7 je zobrazen technický náčrtek oděvu předního a zadního dílu mikiny spolu s vyznačením zón produkce potu (dle obr. 2).



Obr. 7 Vyznačení zón s nízkou a nejnižší produkcí potu

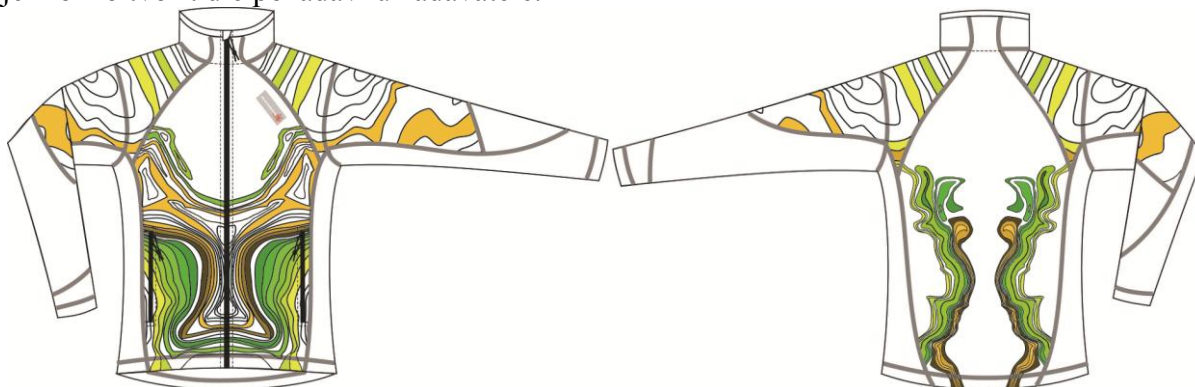
7.3. Návrh vzoru potisku dle zón produkce potu

V dalším kroku tvorby vzoru jsou v technickém náčresu mikiny ponechány zóny produkce potu a na ně je aplikován vzor (obr. 8).



Obr. 8 Vzor aplikovaný do zón s nízkou a nejnižší produkcí potu

Na obrázku 9 je zobrazen finální návrh vzoru v barevném provedení. Výchozí barevnost byla zvolena tak, aby souvisela s inspirací a evokovala přírodu, terén. Další barevné varianty oděvu je možno tvořit dle požadavků zadavatele.



Obr. 9 Finální návrh vzoru v barevném provedení

Závěr

Cílem práce bylo zjistit, zda a jak technologie sublimačního tisku ovlivňuje vybrané termofyziologické vlastnosti pletenin, které se využívají jako tepelně-izolační vrstva volnočasového (outdoorového) oděvu. Práce se věnuje oděvnímu komfortu, zabývá se termoregulací organismu a mechanismy pro udržování stálé tělesné teploty. Pojednává o parametrech a struktuře textilie, která se využívá jako tepelně-izolační vrstva oděvu, a shrnuje důležité vlastnosti této oděvní vrstvy. Dále se zabývá jednou z metod přenosového tisku: sublimačním tiskem. V experimentální části práce jsou zkoumány vlastnosti pleteniny určené pro výrobu tepelně-izolační vrstvy oděvu. Úpravou textilie pomocí technologie sublimačního tisku dochází ke změnám v hodnotách tloušťky textilie a následně v hodnotách prodyšnosti textilie a v hodnotách termofyzikálních parametrů. Tepelné procesy při přenosu barviva mění strukturu textilie. Patrně dochází k tepelné fixaci polohy vláken při současném stlačení. Textilie je tzv. zhuštěna, dochází ke zmenšení její tloušťky na úkor snížení objemu mezivlákněných a mezinitných pórů. V důsledku těchto strukturních změn dochází i ke změnám v dalších měřených charakteristikách. Výsledkem zkoumání vlivu podmínek technologie sublimačního tisku (teplota, přítlak) je doporučení nastavení strojního zařízení pro přenos (diskontinuálního lisu). Zvyšování těchto parametrů (teplota, přítlak) vede sice k mírným změnám struktury textilie (tloušťky textilie), které vedou k mírným změnám prodyšnosti a termofyzikálních parametrů, ale zároveň jsou tyto parametry (především teplota fixace při tisku) na hranici vyvolání nežádoucích změn ve vláknech. Práce se dále zabývá návrhem potisku na konkrétní výrobek s využitím zjištěných změn ve vlastnostech zkoumané textilie. Návrh vzoru je řešen s ohledem na zóny produkce potu lidského organismu. Potištění částí výrobku podle zón produkce potu má za úkol zvýšit psychologický a termofyziologický oděvní komfort. Návrh vzoru si klade za cíl zatraaktivnit výrobek pro zákazníka. Doporučením pro další uplatnění poznatků ve vývoji tohoto typu výrobku je přizpůsobit střih oděvu zónám produkce potu dalším členěním, protože tiskacím procesem prochází vždy celý díl oděvu a vlivem podmínek procesu jsou tedy změněny vlastnosti celého dílu (nejen části dílu, na které je uplatněn vzor). Dalším doporučením před uvedením výrobku na trh je zpracování nových zjištění do marketingové strategie.

Literatura

- [1] HES, Luboš a Petr SLUKA. *Úvod do komfortu textilií*. 1. vyd. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2005, 109 s. ISBN 80-708-3926-0.

- [2] DELLJOVÁ, Roza Andrejevna, Rallema Fjodorovna AFANASJEVOVÁ a Zora Stěpanovna ČUBAROVOVÁ. *Hygiena odívání*. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1984, 144 s. 04-844-84.
- [3] *Přehled fyziologie člověka*. 1. vyd. Redaktor Jaroslav Pokorný. Praha: Karolinum, 2002, 255 s. ISBN 80-246-0229-6.
- [4] *Oděvní komfort, fyziologie odívání*. Katedra oděvnictví [online]. 2009, elektronická skripta [cit. 2013-03-16]. Dostupné z: http://www.kod.tul.cz/predmety/OM/prednasky/OM_prednaska6_2012.pdf
- [5] RŮŽIČKOVÁ, Dagmar. *Oděvní materiály*. 1. vyd. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2003, 221 s. ISBN 80-7083-682-2.
- [6] SHISHOO, Roshan. (Ed.) *Textiles in sport*. Boca Raton, FL: CRC, 2005, 364 s. ISBN 978-185-5739-222.
- [7] STANĚK, Jaroslav. *Nauka o textilních materiálech, díl 1., část 4., Vlastnosti délkových a plošných textilií*. 1. vyd. Liberec: Vysoká škola strojní a textilní v Liberci, 1988, 151 s. 55-801-88.
- [8] SELIGER, Václav a Richard VINAŘICKÝ. *Přehled fyziologie člověka*. Praha: Státní pedagogické nakladatelství, 1967, 302 s.
- [9] HAVENITH, George a Caroline J. SMITH. *Body Mapping of Sweating Patterns in Athletes: A Sex Comparison*. *Medicine and science in sports and exercise*, 2012, roč. 44, č. 12, s. 2350-2361. DOI: 10.1249/MSS.0b013e318267b0c4. Dostupné z: <http://www.medscape.com/viewarticle/775404>
- [10] STANĚK, Jaroslav. *Standardizace textilních výrobků I*. 1. vyd. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2005, 98 s. ISBN 80-737-2029-9.
- [11] *Fyziologické vlastnosti oděvních materiálů I*. Katedra oděvnictví [online]. 2009, elektronická skripta [cit. 2013-04-01]. Dostupné z: http://www.kod.tul.cz/predmety/OM/prednasky/OM_prednaska7_2012.pdf
- [12] KOVÁŘ, Radko. *Pletení*. 2. vyd. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2001, 96 s. ISBN 80-708-3446-3.
- [13] ŠTOROVÁ, Renata. *Zátažné jedolící a zátažné oboulicí vazby s doplňkovými nitěmi*. Elektronická skripta [online]. [cit. 2013-04-02]. Dostupné z: <https://skripta.ft.tul.cz/databaze/data/2007-01-02/15-34-43.pdf>
- [14] PASTRNEK, Rudolf a Petr VLACH. *Finální úpravy textilií*. Liberec, 2002, elektronická skripta [online]. [cit. 2013-04-02]. Dostupné z: <https://skripta.ft.tul.cz/databaze/data/2003-01-16/12-38-58.pdf>
- [15] BELLA, Josef, Vladimír PIVEC a Oldřich ŠTĚPÁNEK. *Potiskování textilií ze syntetických vláken*. Bratislava: SNTL - Nakladatelství technické literatury, n. p. a Alfa, vydavatelstvo technickej a ekonomickej literatúry, 1981, 336 s. 04-821-81.
- [16] MILES, Leslie W. C. (Ed.) *Textile printing*. 2. vyd. Bradford: Society of Dyers and Colourists, 2003, 339 s. ISBN 09-019-5679-1.
- [17] BOWLES, Melanie a Ceri ISAAC. *Digital textile design*. London: Laurence King, 2009, 192 s. ISBN 18-566-9586-7.
- [18] FRYDECKÁ, Emilie, Jarka VAŇOVÁ a Svatoslav KROTKÝ. *Textil - technika - současnost*. 1. vyd. Liberec: Technická univerzita, 2005, 16 s. ISBN 80-737-2031-0.
- [19] ČSN EN ISO 5084 (80 0844). *Textilie - Zjišťování tloušťky textilií a textilních výrobků*. Brno: Textilní zkušební ústav, s. p., 1998.
- [20] ČSN EN ISO 9237 (800817). *Textilie - Zjišťování prodyšnosti plošných textilií*. Praha: Český normalizační institut, 1996, 12 s.
- [21] *Jizerské hory: Krkonoše - západ 1:50 000*. Vizovice: SHOCart, s.r.o., 2005.

STUDIUM POUŽITÍ POLYVINYLPYRROLIDONU PRO TKAŇOVÉ INŽENÝRSTVÍ

Bc. Šaman Aleš

Sekce - TEXTIL,
Fakulta textilní, 2. ročník

Studijní program: (N3106) Textilní inženýrství, Studijní obor: Textilní materiálové inženýrství

Abstrakt

Cílem této práce je prostudovat vliv změny koncentrace roztoků PVP 5- 30 hm. % v závislosti dochází-li k elektrostatickému zvlákňování nebo elektrostatickému sprejování. V další části experimentu se práce zabývá studiem vlivu ultrafialového záření při expoziční době 1- 60 min na PVP nanovláknou vrstvu a inkorporaci FITC-dextranu do PVP částic.

Klíčová slova: Elektrostatické zvlákňování, elektrostatické sprejování, cílená doprava léčiv, polyvinylpyrrolidon, nanočástice, síťování.

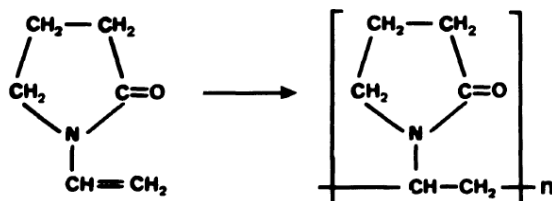
Úvod

V posledních několika letech rychle přibývá pracovišť, která se zabývají výzkumem nanotechnologií. Pod pojmem nanotechnologie se skrývá technický obor, který se zabývá tvorbou a využíváním technologií v měřítku řádově nanometrů tzn. 10^{-9} m. Nanotechnologie jsou předmětem neustálého vývoje a hledání nových aplikací, které by mohly kladným způsobem ovlivnit život člověka. Nanomateriály jsou v poslední době konzultovány především pro aplikace s využitím v medicíně. Vlákna s průměrem pod 1 μm resp. tkáňové nosiče jsou hojně využívány pro výzkum tkáňových nosičů v oboru tkáňového inženýrství. Další oblastí využití nanomateriálu v medicíně je takzvaná řízená doprava léčiv, kde se využívá kompozitních nanočástic. Nanočástice mohou překonat anatomické a fyziologické bariéry dodávky léků a tím je účinněji dopravovat do cílových míst, čímž dochází k eliminaci vedlejších účinkům (Labhasetwar 2007).

Tato práce se zabývá studií Polyvinylpyrrolidonu a jeho případné využití v medicíně. Práce je zaměřena na výzkum v oblasti elektrostatické zvlákňovitosti PVP roztoků. Snaží se objasnit vliv koncentrace roztoků PVP 5- 30 hm. % dochází-li k el. statickému zvlákňování nebo el. statickému sprejování. Práce také prověřuje vliv ultrafialové záření na nanovláknennou PVP vrstvu a jeho dopady na zesílení. V poslední části inkorporaci FITC-dextranu do PVP částic.

1. Polyvinylpyrrolidon

Polyvinylpyrrolidon v další části textu používána zkratka PVP, je ve vodě rozpustný polymer vyrobený z monomeru n-vinylpyrrolidonu. Můžeme se setkat z dalšími názvy jako např. povidon, polyvidon (Foltmann 2008). PVP je jedním z mnoha produktů acetylenové chemie založené W. Reppe, kdy tento polymer byl poprvé syntetizován v lednu 1939.



Obr. 1 V pravé části monomer polyvinylpyrrolidonu. Haff (1985)

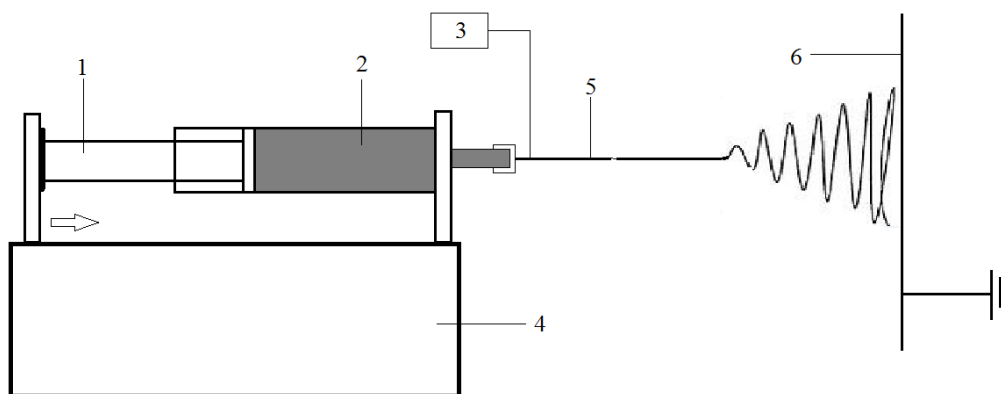
2. Příprava roztoků PVP

K přípravě roztoků byl použit polymer PVP dodávaný společností Sigma-Aldrich. Udávaná molekulová hmotnost výrobcem je průměrně 40000 g/mol.

Byly vytvořeny dvě řady roztoků polymeru. V první z nich bylo jako rozpouštědlo použito ethylalkoholu a naváženy koncentrace 5, 7.5, 10, 15, 18, 20, 25, 30 hm. %. V druhé řadě se polymer rozpouštěl isopropylalkoholu, kde byla stanovena řada o koncentracích 5, 7.5, 10, 15, 20, 25, 30 hm. %. Rozpouštění probíhalo rychleji v případě ethylalkoholu. Po stálém míchání byly roztoky sejmuty z míchadla a byly použity v experimentu.

2.1 Elektrostatické zvlákňování z jehly PVP roztoků

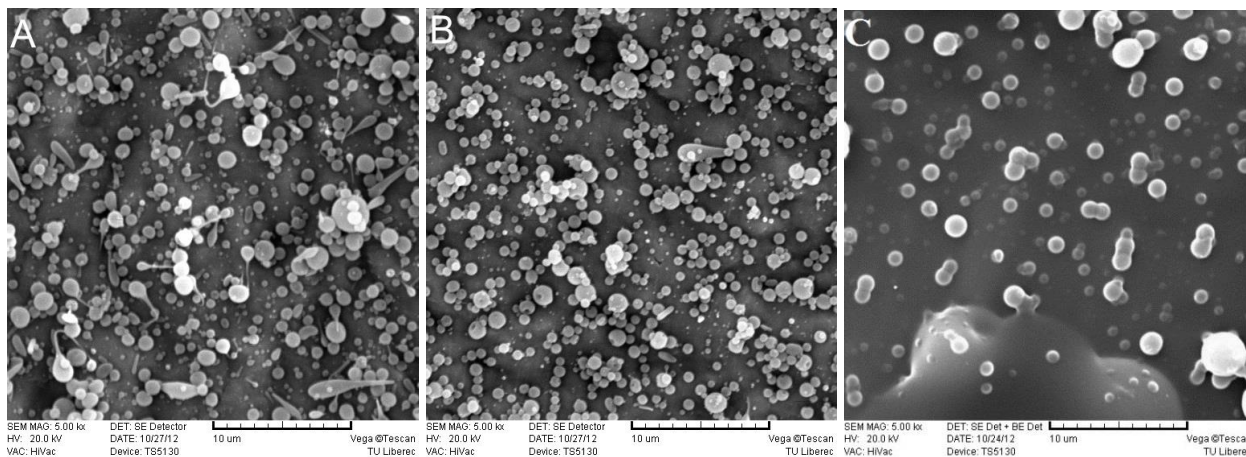
Elektrostatické zvlákňování je zvlákňování pomocí vysokého napětí, které prochází mezi elektrodou a kolektorem. Zvlákňování roztoků Polyvinylpyrrolidonu probíhalo na zařízení elektrostatického zvlákňování z injekční stříkačky. Schéma laboratorního zařízení je znázorněno na obr.2.

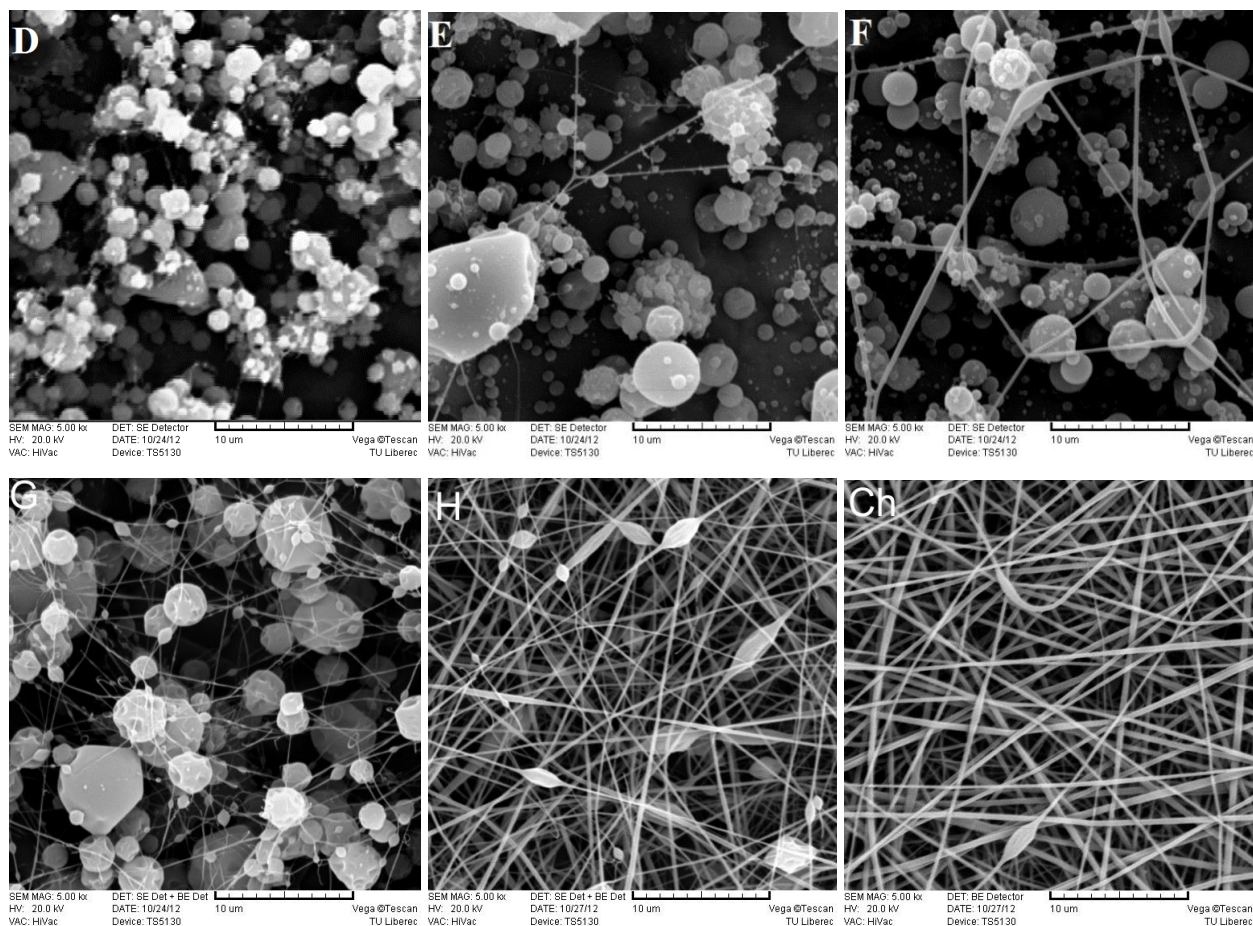


Obr. 2 Schéma zařízení pro elektrostatické zvlákňování z injekční stříkačky. 1- Injekční stříkačka, 2- Polymer, 3- Zdroj vysokého napětí, 4- Lineární pumpa, 5- Injekční jehla, 6- Kolektor.

2.1.1 Vliv koncentrace roztoků PVP (ethylalkohol) na výsledný produkt

Polymer byl přenesen do injekční stříkačky a vložen do dávkovacího zařízení. Dávkování polymeru bylo 3 ml/h. Vzdálenost mezi koncem jehly a kolektorem byla 15 cm. Větší vzdálenost byla nastavena z důvodu dostatečného odpaření rozpouštědla. Zvlákňování probíhalo při napětí 15 kV. Kolektor byl opatřen hliníkovou folií, jelikož byla při nízkých koncentracích očekávána tvorba nanočástic a na hladké folii by byly lépe analyzovatelné elektronovým mikroskopem. Klimatické podmínky při zvlákňování byly 40 % relativní vlhkosti a 21 °C.

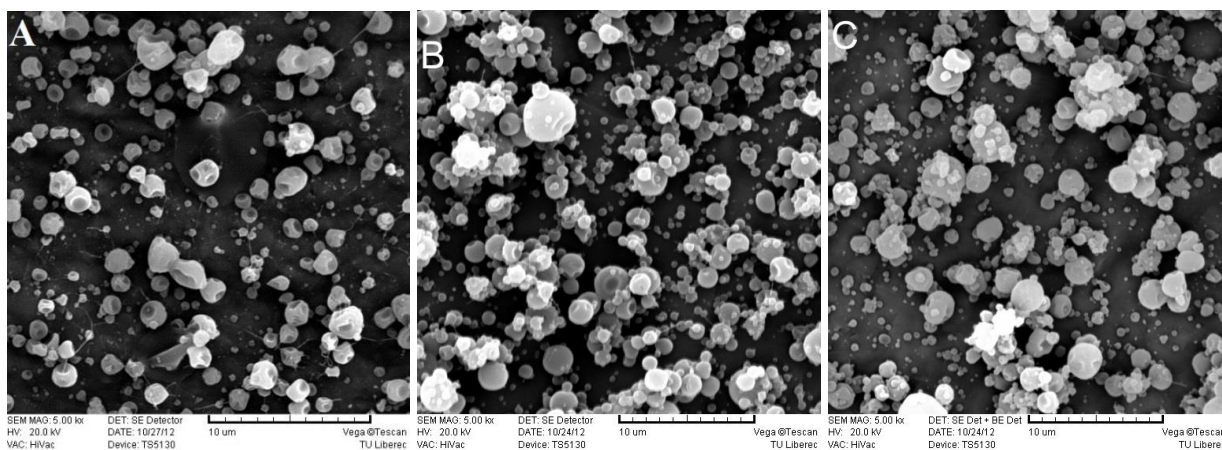


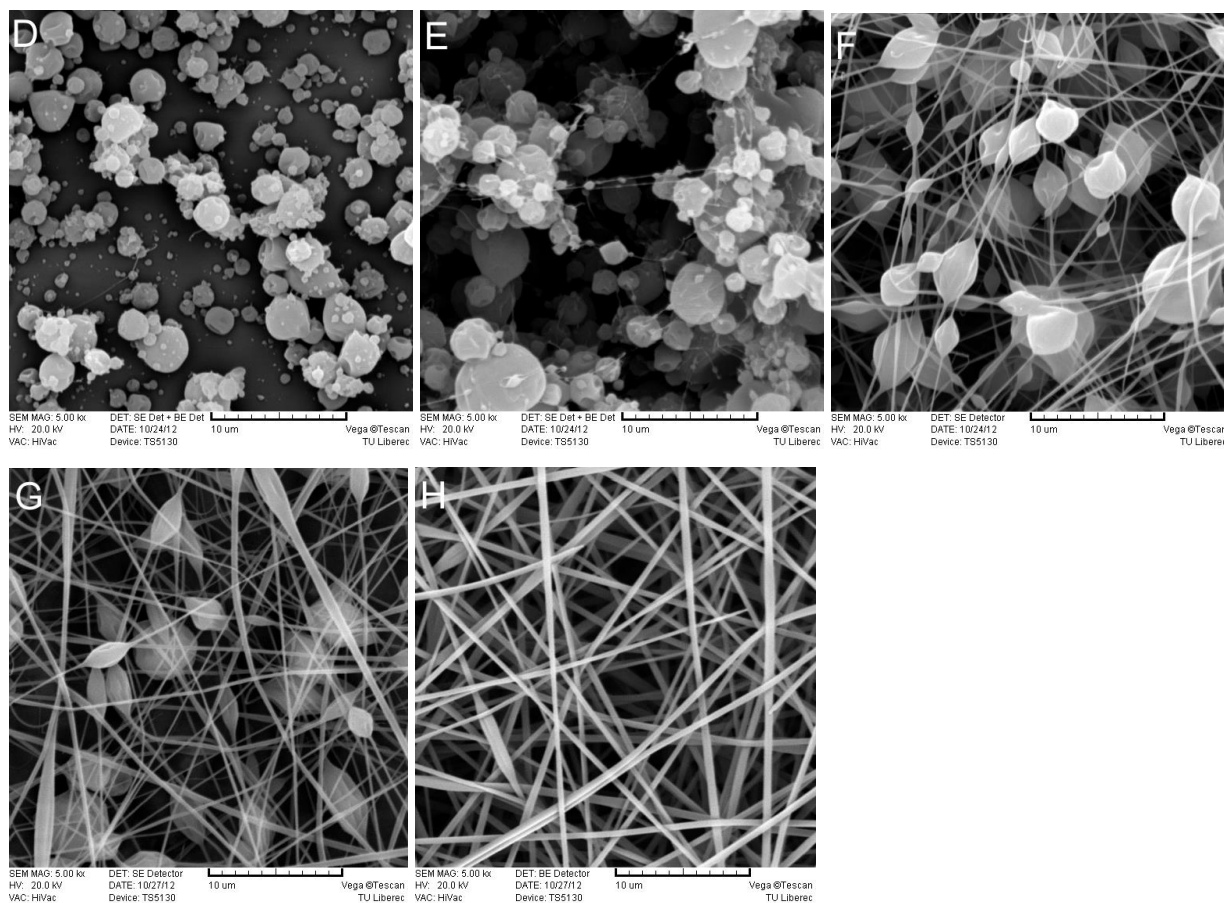


Obr. 3 Snímky z elektronového mikroskopu. Závislost koncentrace PVP na tvar produktu při elektrostatickém zvlákňování (rozpuštědlo ethylalkohol), 5 hm. % (A), 7.5 hm. % (B), 10 hm. % (C), 12 hm. %, (D) 15 hm. % (E), 18 hm. % (F), 20 hm. % (G), 25 hm. % (H), 30 hm. % (CH). Zvětšení 5000x.

Z obr. 3 je viditelný pozvolný nárůst velikosti průměru částic resp. nanovláken blíže v grafu 1. Nanovláčna se sporadicky objevují již od 15 hm. % PVP tedy obr. 3 (E). Jako přechod mezi tvorbou částic a nanovláken byla stanovena oblast 20 hm. % PVP. Následovala tvorba nanovláčkové vrstvy s četnými defekty viz obr. 3 (H). Poslední zvlákňovanou koncentrací byla 30 hm. % PVP, kde se již tvořila pravidelná nanovláčna.

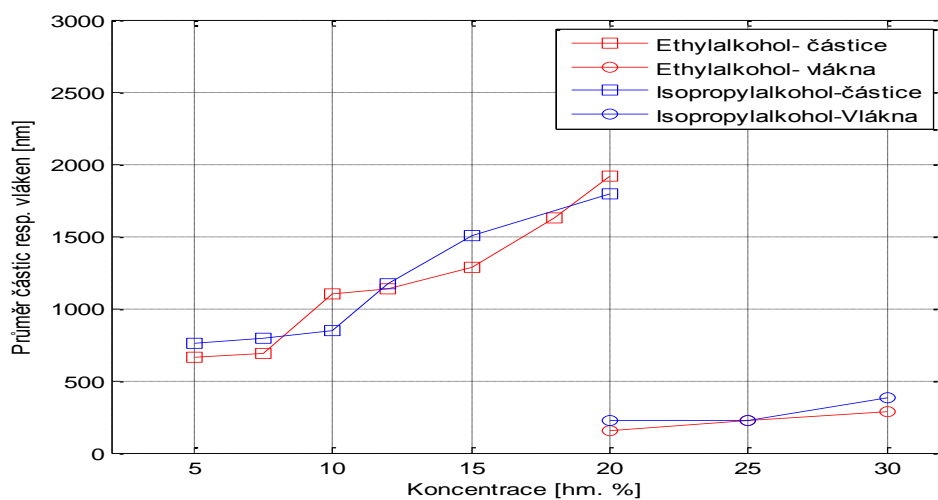
2.1.2 Vliv koncentrace roztoků PVP (Isopropylalkohol) na výsledný produkt





Obr. 4 Snímky z elektronového mikroskopu. Závislost koncentrace PVP na tvar produktu při elektrostatickém zvlákňování (rozpouštědlo isopropylalkohol), 5 % (A), 7.5 % (B), 10 % (C), 12 % (D), 15 % (E), 20 % (F), 25 % (G), 30 % (H). Zvětšení 5000x.

Obr. 4 tedy roztoky vzniklé rozpouštěním PVP v isopropylalkoholu mají stejný charakter jako roztoky rozpuštěné v ethylalkoholu. Jako na přechodím obrázku je patrné, že přelom mezi tvorbou částic a nonovláken je v oblasti 20 hm. % PVP. V případě částic se především v nízkých koncentracích objevují časté defekty pravidelného kulovitého tvaru (propady částic). Tyto defekty jsou způsobeny nerovnoměrným odpařováním rozpouštědla při zvlákňování.

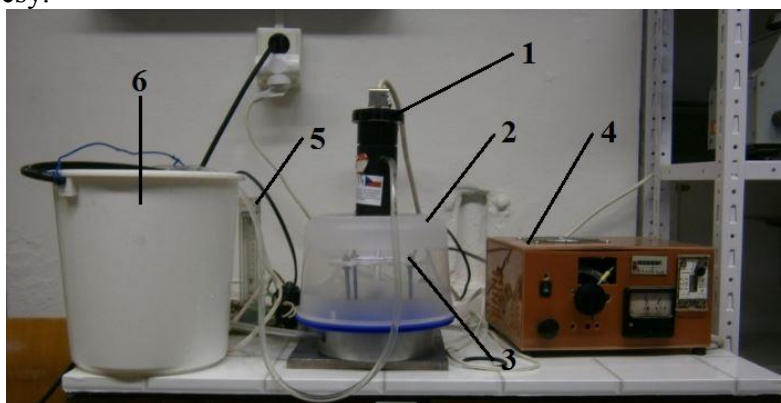


Graf. 1. Závislost koncentrace (5 -30 hm. % PVP Pro obě rozpouštědla) na průměr částic resp. vláken

3. Vliv ultrafialového záření a jeho dopady na zasít'ování nanovláčenné vrstvy

Pro tento experiment byla využita deuteriová lampa Noblelight Heraeus 200F. Noblelight Heraeus 200F je vysoce výkonná UV deuteriová lampa, jejíž příkon je 200 W. Světelný zdroj má spektrální rozsah od 160 nm do 400 nm. Lampa dosahuje největšího výkonu kolem 200 nm. Maximálního využití potenciálu UV deuteriové lampy je možné při ozařování za vakua, nebo dusíkové atmosféry. Bližší informace jsou k dostání na stránce výrobce (Vacuum UV Lamps from Heraeus Noblelight).

Zařízení na obr. 5 Bylo vytvořeno na katedře netkaných textilií, fakulty textilní v Liberci. Jeho hlavním úkolem je zjišťování vlivu záření na různé polymerní substráty. Studují se síťovací a degradační procesy.



Obr. 5 Zařízení pro ultrafialové ozařování. 1- lampa Noblelight Heraeus 200F, 2- kryt, 3- stolek pro vzorek, 4- napájení, 5- průtokoměr plynu (N_2), 6- zásobník pro chladicí medium.

3.1 Dlouhodobý test stability ozářené nanovláčenné vrstvy ve fyz. roztoku

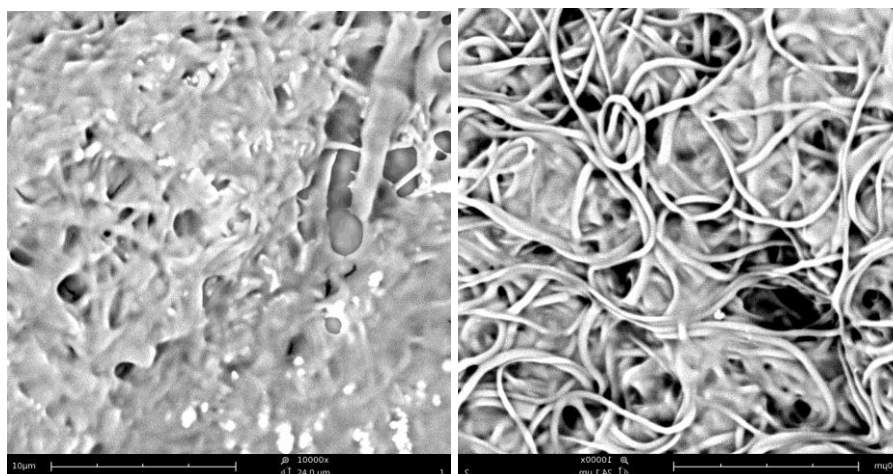
Fyziologický roztok je 0,9 % vodný roztok chloridu sodného, tedy 9 g NaCl rozpuštěného v 1 litru H_2O . Je to roztok, který má osmolaritu stejnou jako krevní plazma. Nejčastěji se využívá jako nosná látka pro léky.

Pro tento test byla zvolena následující stupnice ozařování. 1, 2, 5, 10, 15, 20, 30, 45, 60 minut. Vzorek 50x 50 mm byl položen na stolek pro vzorek viz. obr. 26. Za vzorkem byl uzavřen kryt a po určitou dobu byl prostor pod krytem sycen dusíkem N_2 . Poté teprve docházelo k ozařování. Experiment byl vyhodnocován dle jednotlivých dob ozařování. Vyhodnocení je na základě subjektivního vizuálního hodnocení. Tento experiment, byl započat 5. 2. 2013.

Tab.1 Subjektivní postřehy ze sledování degradačních procesů.

Doba expozice vzorku [min]	Poznátky
1	Vzorek se okamžitě při dotyku s hladinou roztoku rozpouští.
2	Vzorek se okamžitě při dotyku s hladinou roztoku rozpouští.
5	Vzorek se okamžitě při dotyku s hladinou roztoku rozpouští.
10	Při dotyku hladiny s nanovláčennou vrstvou se vrstva okamžitě smáčí a vzniká na hladině tenký polymerní film, který se do 1 minuty zcela rozpustí.
15	U této Expozice ozáření již docházelo k síťování. Při dotyku hladiny s nanovláčennou vrstvou se vrstva okamžitě smáčí a vzniká na hladině tenký polymerní film, který se do 10 minuty zcela rozpustí. Tento film má z počátku elastické vlastnosti, (Při posunu po hladině je stabilní a vykazuje tento film elastické chování)

20	Nadále zůstává vysoká hydrofilita k fyziologickému roztoku. Vrstva při dotyku s vodou již neměla charakter tvorby polymerního elastického filmu. U nanovláčkové vrstvy došlo k rozpadu na menší kusy, které se do 35 minut beze zbytku zcela rozpustily.
30	Tato doba ozáření již měla velký síťovací vliv na nanovláčkovou vrstvu. Vrstva se při dotyku s hladinou ihned smočila a vnořila se do něj. První dva dny byla stabilní. Třetí den došlo k rozpadu na malé části. Dvacátý pátý den byl fyziologický roztok bez známek nanovláčkové vrstvy PVP.
45	Čtyřicetipět minutový vliv expozice PVP nanovláčkové vrstvy ultrafialovým zářením je již velmi stabilní. Materiál zůstal v podobě celistvé vrstvy 2 měsíce. Po této době došlo k rozpadu na malé části, které stále odolávají vlivu fyziologického roztoku a konstantní teplotě 37,1 °C.
60	O vlivu ultrafialového záření na síťování nanovláčkové vrstvy PVP svědčí, že vrstva, která byla ozařovaná jednu hodinu je stále stabilní. Beze změn 4 měsíce a více ...

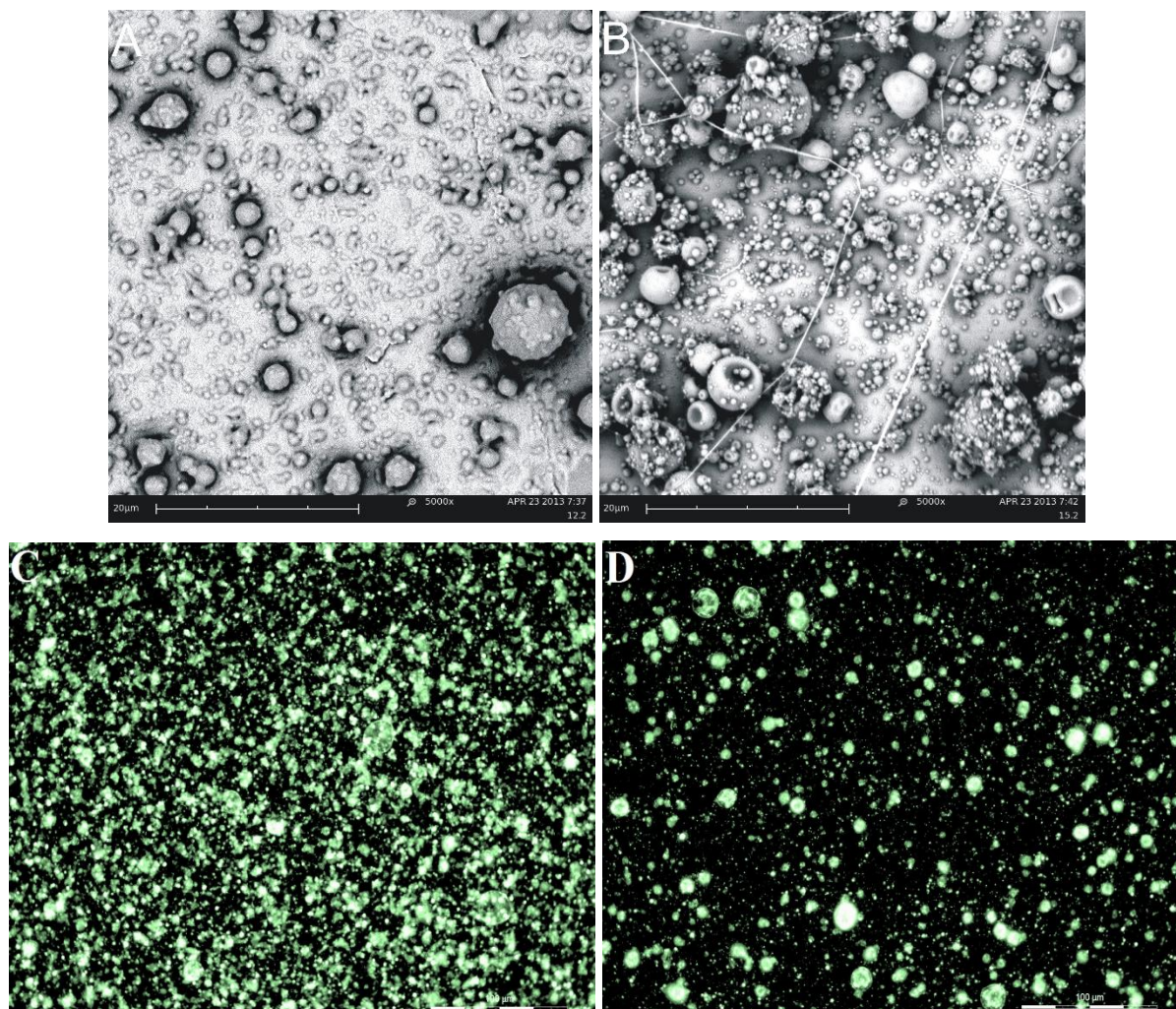


Obr.6 Vlevo 30 min expozice UV záření, doba umístění ve fyz. roztoku jeden den. Vpravo 60 min expozice UV záření, doba umístění ve fyz. roztoku jeden den. Zvětšeno (10000x).

Z obrázku 6 pravé části tedy hodinové expozici UV záření je viditelná plasticita a stopy vláken. Při porovnání s 30 min expozicí je viditelná vysoká narušenost nanovláčkové vrstvy.

4. Tvorba nanočástic PVP s Fluorescenční látkou

Cílem tohoto experimentu bylo zjistit, zda PVP při smísení s fluorescenční látkou tvoří nanočástice. Jako fluorescenční látky bylo využito Fluorescein isothiocyanate-dextran od společnosti Sigma-Aldrich, dále jen FITC-dextran. FITC-dextran byl rozmíchán s destilovanou vodou v poměru 0,05 : 2 destilované vody. Takto připravený roztok (100 µg) bylo vmíseno do deseti g dvanácti a 15 hm. % PVP (ethylalkohol). Vznikly dvě sady snímků, první na elektronovém mikroskopu „PHENOM“ a druhá fluorescenčním mikroskopu „Zeiss OBSERVER.Z1“.



Obr. 7(A) Snímek z elektronového mikroskopu 12 hm. % PVP + FITC-dextran. Zvětšeno (5000x).
 (B) Snímek z elektronového mikroskopu 15 hm. % PV+P FITC-dextran. Zvětšeno (5000x).
 (C) Snímek z fluorescenčního mikroskopu 12 hm. % PVP+ FITC-dextran. Zvětšeno (400x).
 (D) Snímek z fluorescenčního mikroskopu 15 hm. % PVP+ FITC-dextran. Zvětšeno (400x).

Na obr. 7 (A) je zobrazena 12 hm. % koncentrace PVP mísené s fluorescenční látkou. Je patrné, že přídavek 100 µg roztoku FITC-dextran ovlivnil polymerní roztok a docházelo k částečnému rozpouštění jednotlivých kapslí. Na obr. 7 (B) jsou již viditelné pravidelné částice bez známek slévání ve fólii. U malého podílu částic především nad 2 µm jsou viditelné propady částic známé z předchozích experimentů. Obr. 7 (C, D) jsou zastoupeny 12 a 15 hm. % PVP s dextranem. Při pořizování těchto snímků bylo využito modrého osvětlení a maximálního zvětšení 400x. Na obr. 31 (D) je vidět, FITC-dextran se aglomeruje pouze do částic. Opakem tomu je obr. 7 (C), kde docházelo k částečnému rozpouštění částic. FITC-dextran se slévá společně se slévajícími se částicemi a z toho vyplývá charakter snímku.

Závěr

Práce byla zaměřena na hledání možných aplikací polyvinylpyrrolidonu pro medicínské použití především „drug delivery system“, tedy řízená či cílená doprava léčiv. Hlavní výhody těchto systémů spočívají v maximálním využití léčiva, minimalizování vedlejších účinků a aplikace přímo na postižené místo pacienta. Cílem této práce bylo analyzovat jednotlivé vlivy ve vztahu k potřebám polyvinylpyrrolidonu na již zmiňované aplikace.

Prvním zkoumaným vlivem bylo, zda vlivem změny koncentrace roztoků PVP lze tvořit jednak nanočástice tak i nanovlákná. Tento vliv se potvrdil s výsledky, kdy od 5 hm. % do 20 hm. % PVP se tvořily nanočástice, které vzestupně s narůstající koncentrací zvětšovaly svou velikost. Koncentrace od 20 hm. % do 30 hm. % vykazovala tvorbu jemných nanovláken, tudíž 20 hm. % PVP byla označena jako přechodová koncentrace mezi tvorbou nanočástic a nanovlákná. Toto vyjádření platí pro obě zkoumaná rozpouštědla isopropylalkohol i ethylalkohol.

Hlavním cílem této práce bylo objasnit vliv ultrafialového záření na nanovláknenný substrát PVP. Tento vliv byl s kladným výsledkem potvrzen. Minutová až 10 minutová expozice UV neměla téměř žádný vliv. Přelom byl kolem 15 min, kdy došlo k tvorbě elastického polymerního filmu. Následující dvacetiminutová expozice již měla velký síťovací účinek a degradace probíhala v řádech minut. U třicetiminutové expozice v řádech dnů. U hodinové expozice je vzorek velmi stabilní a po započítání experimentu do této doby (4 měsíce) nedošlo ke změnám.

Byl také studován vliv FITC-dextranu při electrosprayingu. Kde lepších výsledků nabývala patnácti hm. % PVP oproti 12 hm. % PVP. U dvanácti hm. % docházelo k nedostatečnému odpaření rozpouštědla a částice se slévaly ve folii. Tento vjem byl podpořen i u snímků z fluorescenčního mikroskopu kde FITC-dextran se neaglomeroval do částic tak jako u 15 hm. %.

Literatura

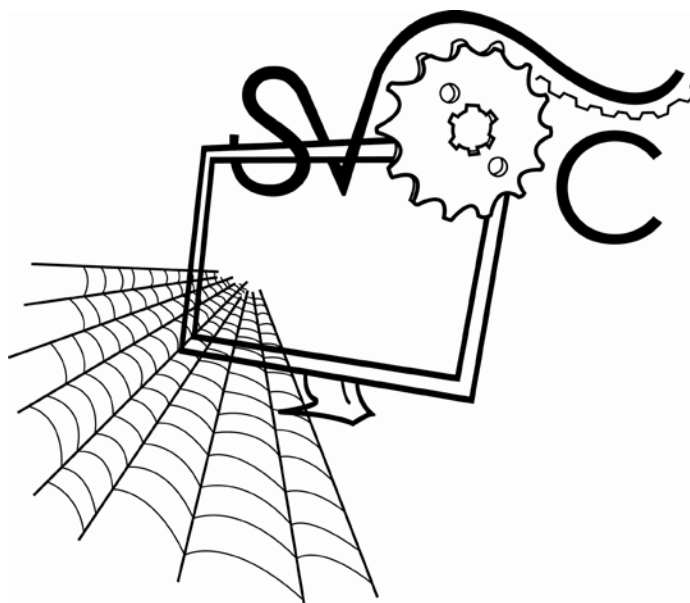
FOLTTMANN, H., QUADIR, A. (2008), Polyvinylpyrrolidone (PVP) – One of the Most Widely Used Excipients in Pharmaceuticals: An Overview, *Excipient update.* , Vol.8, No.6, 4 s.

HAAF, F., SANNER, A., STRAUB, F. (1985), Polymers of N- Vinylpyrrolidone: Synthesis, characterization and uses, *Polymer Journal*, Vol. 17, No. 1, s. 143-152.

LABHASETWAR,V., DIANDRA, L., L., P. (2007), *Biomedical Applications of Nanotechnology*. Wiley-Interscience, first edition. 257 s., ISBN-13 : 978-0-471-72242-7.

Vacuum UV Lamps from Heraeus Noblelight ,sscintific Chromatographie-Handel GmbH - Produkte für Chromatographie, Spektroskopie, Liquid Management, Probenvorbereitung und Temperierung[online]. [cit. 2013-15-02]. Dostupné z:
http://www.msscintific.de/vacuum_uv_lamps.htm

Studentská vědecká odborná činnost



Strojírenství

INOVACE UPÍNACÍHO MECHANISMU A ZAKLÁDACÍHO LOŽE ULTRAZVUKOVÉHO SVAŘOVACÍHO STROJE

Bc. Jozef Čičo

Sekce - Strojírenství,
Fakulta strojní, 2. ročník
Magisterský studijní program – STROJNÍ INŽENÝRSTVÍ

Abstrakt

Práce se zabývá inovací systému upínání a svařování jednotlivých plastových dílů odkládací schránky spolujezdce Audi B8 na jednoúčelovém svařovacím stroji Branson. Cílem práce je eliminovat nestejnou spáru a plošnou návaznost mezi víkem odkládací schránky a bočnicí (blendou). Výchozím bodem pro navržení inovace, jež řeší systém upínání jednotlivých plastových dílů do svařovacího lože, jsou poznatky získané z analýzy původního stavu. Analýza byla provedena pomocí termokamery, siloměru a 3D skeneru ATOS. Výsledkem práce je nové konstrukční řešení upínání plastových dílů, které nejenom sníží náklady na zmetkovitost, ale také celkově zvýší jakost plastového svařence a zefektivní proces výroby na svařovacím stroji Branson.

Klíčová slova

ultrazvukové svařování; svařovací stroj; zakládací lože; odkládací schránka; bočnice; spára

1 Úvod

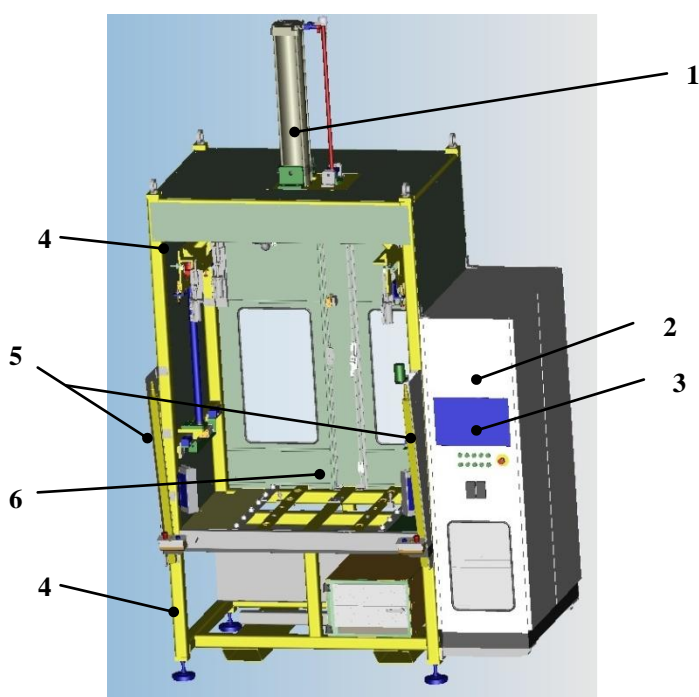
Práce s názvem *Inovace upínacího mechanismu a zakládacího lože ultrazvukového svařovacího stroje* se bude snažit vyřešit nestabilitu stroje Branson a neschopnost zakládacího lože minimalizovat vliv rozměrové nestability plastových výlisků na konečnou kvalitu celého svařence – odkládací schránky spolujezdce v automobilu.

V první části práce dojde k popisu ultrazvukového svařování a k rozboru výrobku, který podléhá častým reklamacím ze strany zákazníka. U výrobku dochází k nestejně spáře a plošné návaznosti mezi bočnicí (blendou) a víkem odkládací schránky. V další části práce bude výrobek podroben silové, rozměrové a tepelné analýze, které odhalí možné důvody vzniku rozměrových a tvarových vad. Následně dojde k tvarové analýze zakládacího lože pomocí 3D skeneru ATOS. Po vyhodnocení těchto měření bude navrženo pět variant možného zakládání a upínání jednotlivých plastových dílů svařence do zakládacího lože.

Z těchto pěti variant bude následně vybrána varianta, která podle rozhodovací tabulky vyjde nejlépe a na ní bude realizován celý zbytek projektu.

2 Ultrazvukový svařovací stroj

Ultrazvukový svařovací stroj (*obr. 1*) vyrobený firmou Branson s označením 5.V097.0 A10 je velkosériový jednoúčelový stroj na svaření jednotlivých plastových dílů a tlumícího filcu odkládací schránky (*obr. 2,3*) spolujezdce v automobilu. Jedinou možnou variabilitou tohoto stroje je výměna svařovacího ustrojí v podobě kazety pro pravostranné nebo levostranné řízení vozidla.



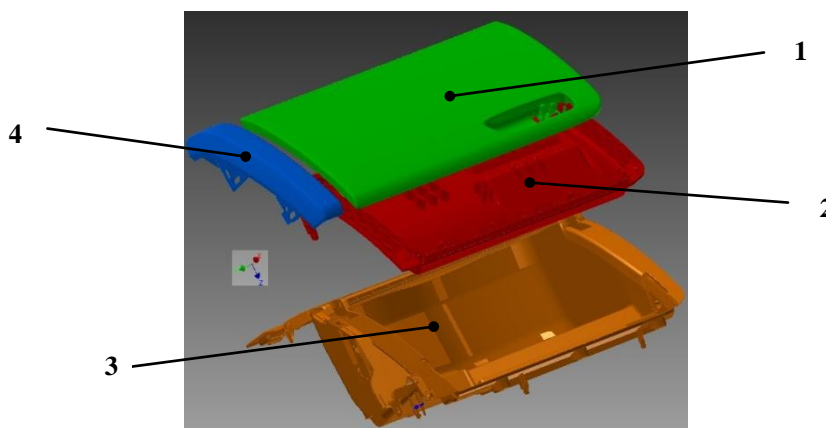
- 1 hlavní pneumatický válec zajišťující centrální posuv
- 2 řízení svařovacího stroje
- 3 ovládací dotykový panel
- 4 hlavní nosný rám stroje
- 5 optická bezpečnostní závora
- 6 vnitřní prostor svařovacího stroje

Obr. 1 Ultrazvukový svařovací stroj



Obr. 2 Odkládací schránka spolujezdce

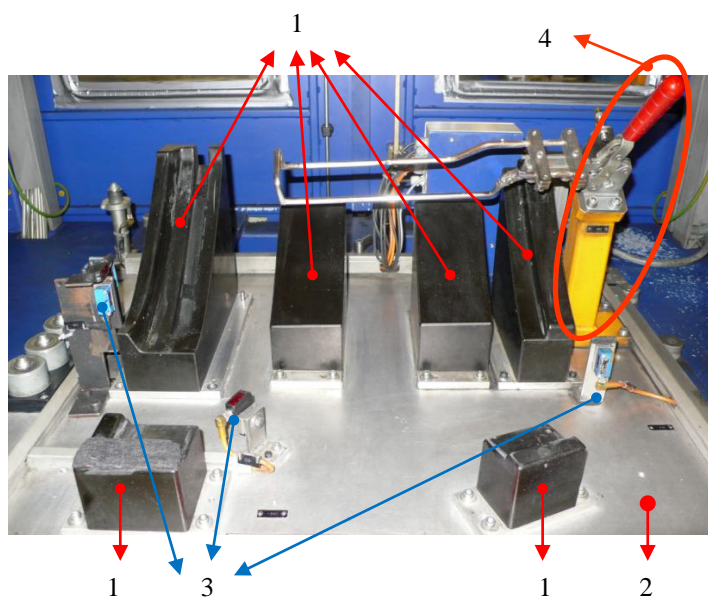
- 1 Hlavní vnější víko schránky
- 2 Vnitřní víko s kluznými panty
- 3 Samotné tělo odkládací schránky
- 4 Bočnice (blenda) zajišťuje plošnou návaznost na přístrojovou desku



Obr. 3 Sestava odkládací schránky spolujezdce

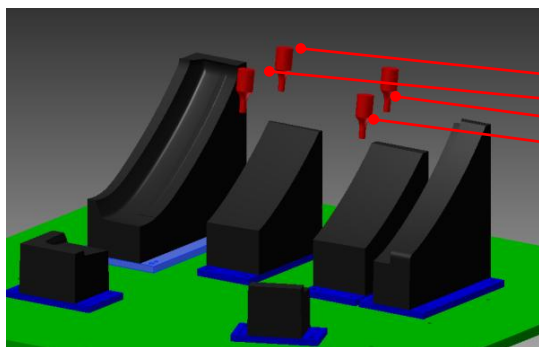
2.1 Zakládací svařovací lože Branson

Zakládací lože Branson (obr. 4) slouží k upnutí jednotlivých plastových dílů a zvukoizolačního filcu do správné polohy, před tím než dojde k najetí svařovací jednotky do pracovní polohy. Dosedací části lože jsou vyfrézované z tvrzené pryže, které slouží jako měkká opora bočnici (blendě) a víku schránky proti prohnutí při opření svařovacích sonotrod o plastové piny a žebra.



- 1 Dosedací část zakládacího lože – vyrobeno z tvrzené pryže
- 2 Hlavní nosná deska svařovacího lože
- 3 Optická čidla – kontrola přítomnosti a úplnosti svařovaného dílu
- 4 Pákový mechanismus pro uchycení zvukoizolačního filcu než dojde k jeho přivaření ke schránce

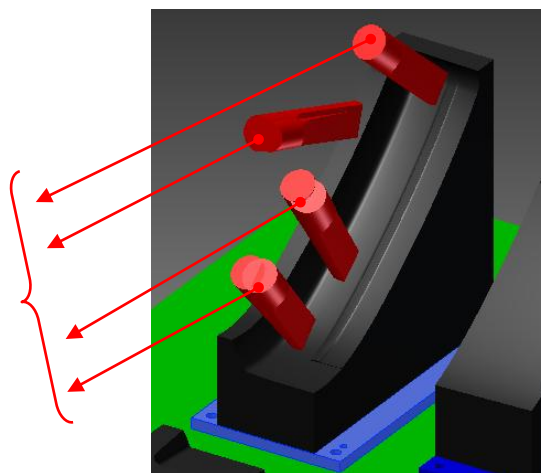
Obr. 4 Zakládací svařovací lože Branson



Pozice svařovacích sonotrod pro přivaření zvukoizolačního filcu k tělu odkládací schránky.

Obr. 5 Pozice sonotrod pro přivaření zvukoizolačního filcu

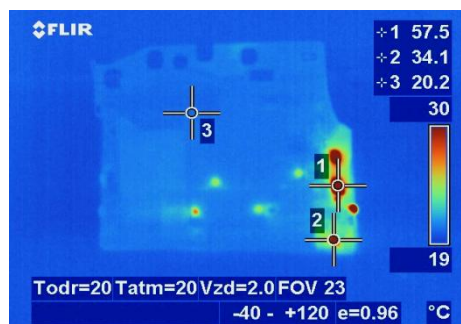
Pozice svařovacích sonotrod pro rozvaření plastových pinů a spojení bočnice (blendy) s hlavním tělem odkládací schránky.



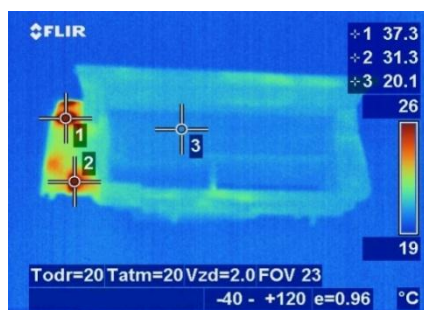
Obr. 6 Pozice sonotrod pro přivaření bočnice

3 Analýza svařence prostřednictvím termokamery

Tato kapitola se zabývá analýzou tepelného namáhání a průběh chladnutí celého svařence. Pro analýzu výchozího stavu na stroji Branson byla použita termokamera ThermoCAM P65 výrobce FLIR.



Obr. 7 Pohled na díl ze spodní strany (tam, kde probíhá rozvaření vlastních pinů)



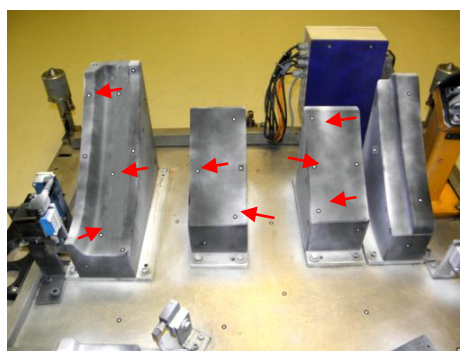
Obr. 8 Pohled do otevřené schránky ihned po svaření

4 Tvarová analýza základacího lože za pomoci 3D scanneru ATOS Triple scan



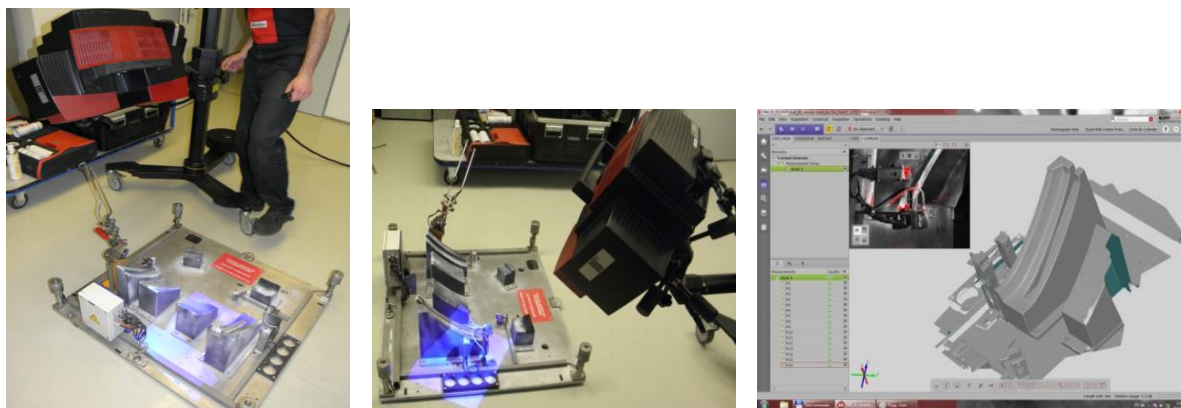
Obr. 9 ATOS Triple scan

Aby bylo možné realizovat tvarovou analýzu za pomoci 3D scanneru ATOS Triple scan, bylo nutné vyjmuté svařovací lože ze stroje nejprve dokonale očistit od mastnot a od částecek plastu a prachu. Dále byla nanesena křídová antireflexní vrstva, protože na loži se vyskytují lesklé a černé oblasti. Takto upravené lože bylo polepeno referenčními body (obr. 10).



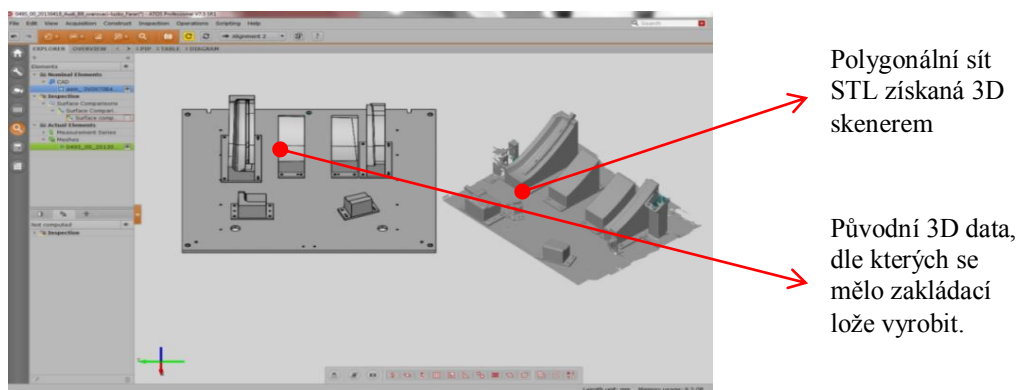
Obr. 10 Lože nastříkané křídovým antireflexním sprejem a polepené referenčními body

Použitím referenčních bodů systém automaticky zjistí aktuální polohu senzoru a transformuje jednotlivé záběry do společného souřadného systému měřeného objektu a transformuje každý následující snímek na snímek předchozí. Velikost referenčních bodů jsme zvolili z tabulky parametrů podle měřícího objemu. Referenční body byly umístěny pouze na rovné nebo velice málo zakřivené plochy.

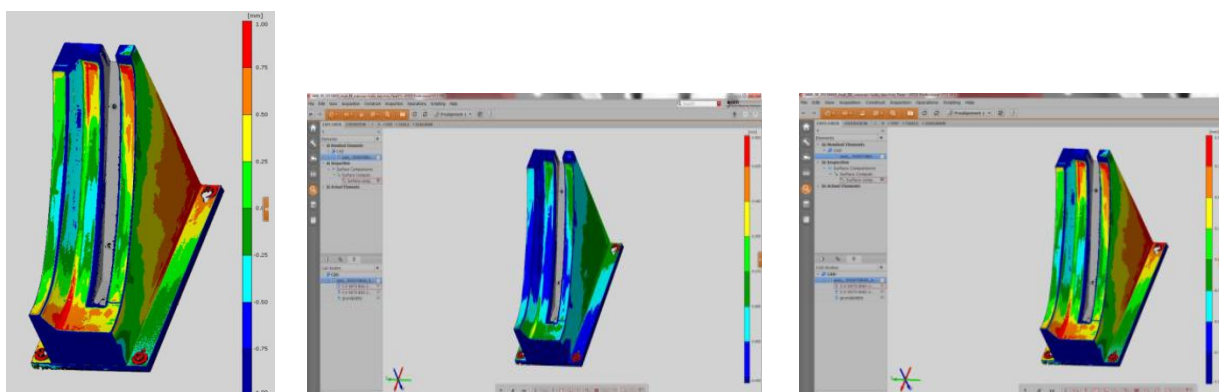


Obr. 11 Promítnutí vzoru proužků ze senzoru a průběh skenování na obrazovce monitoru

Abychom vyloučily všechny možné příčiny nepravidelné spáry bočnice (blendy) a víka odkládací schránky, byla naskenovaná data porovnána s daty, které byly výrobcí lůžka zadány, zda nedošlo k odchýlení od požadovaného tvaru. Toto vyhodnocení měřících bodů byla provedena v GOM Inspect Professional (obr. 12).



Obr. 12 Porovnání a vyhodnocení získané polygonální sítě s původním 3D modelem

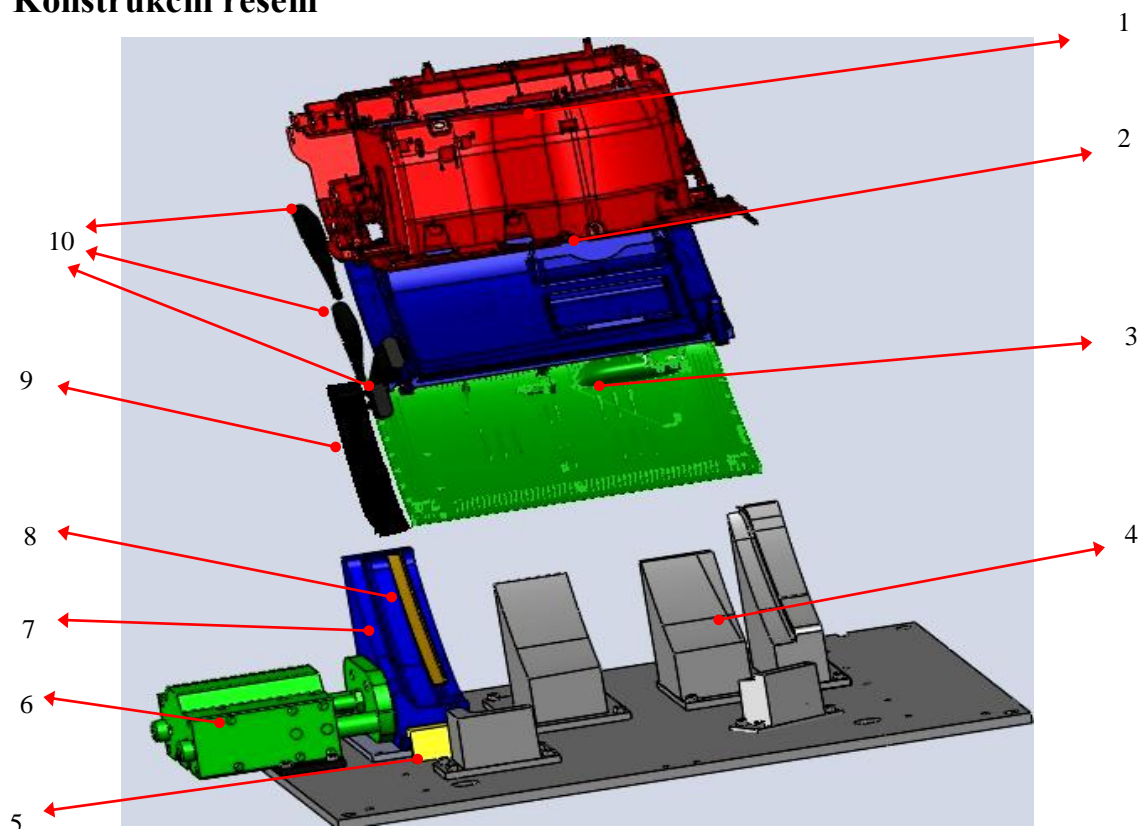


Obr. 13 a,b Levá část lože - porovnání s původními 3D daty

Nejvíce jsme se při porovnání původních 3D dat a získané polygonální sítě STL zaměřili na levou část lože tam, kde dochází k rozvaření žeber a pinů bočnice (blendy).

Z obrázku třináct je patrné, že v místech, kde dochází k rozvaření plastových žeber a pinů a tam, kde nejvíce dosedá svařenec do lože, je rozdíl od původního tvaru o velikosti 2 mm. Největší rozdíl od původních dat byl do minusových hodnot (*obr. 13*) tzn., že při dotlačení dílu do lože docházelo k prohnutí a deformaci. Tento rozdíl je nepřijatelný, proto bude na základě tohoto zjištění vyrobena nová levá část dosedacího lože.

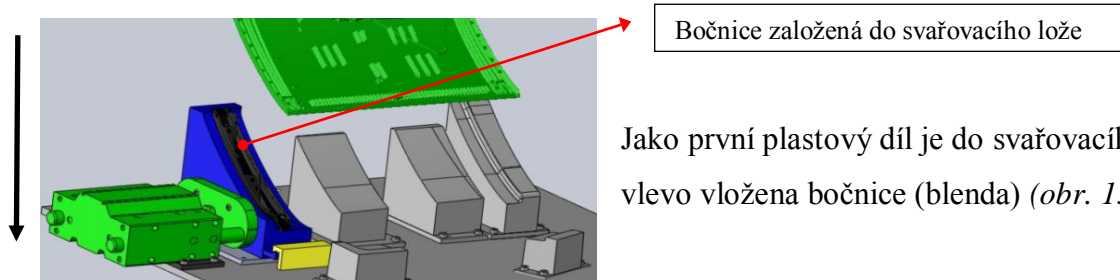
5 Konstrukční řešení



Obr.14 Výsledné konstrukční řešení svařovacího lože

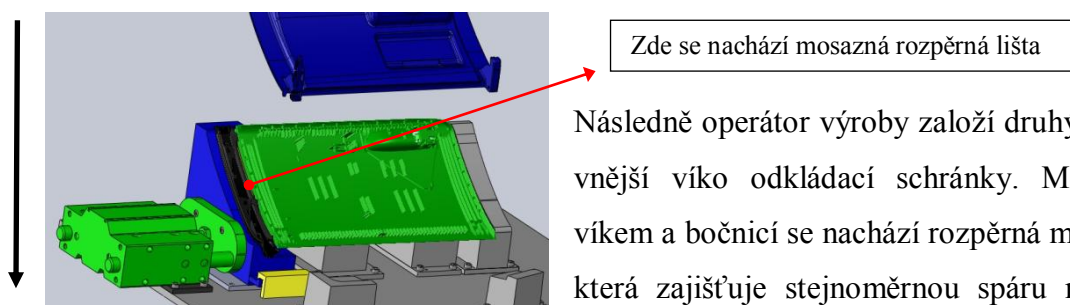
- 1 Hlavní část těla odkládací schránky spolujezdce
- 2 Vnitřní víko odkládací schránky
- 3 Vnější víko (vzhledová část) odkládací schránky
- 4 Původní část svařovacího lože
- 5 Kluzné uložení pro novou část svařovacího lože
- 6 Vzduchový pracovní píst
- 7 Nová část svařovacího lože
- 8 Rozpěrná mosazná lišta mezi bočnicí a víko odkládací schránky
- 9 Bočnice – blenda (vzhledová část)
- 10 Svařovací sonotrody

5.1 Postup založení jednotlivých plastových dílů do základacího lože svařovacího stroje a jejich následné svaření.



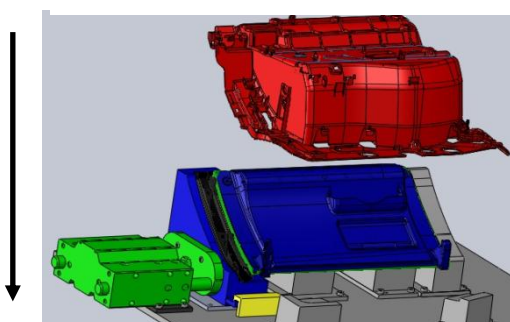
Jako první plastový díl je do svařovacího lože vlevo vložena bočnice (blenda) (obr. 15).

Obr. 15 Bočnice založená do svařovacího lože



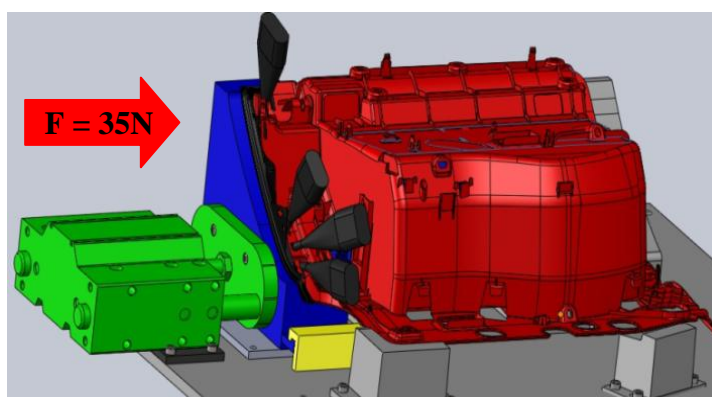
Následně operátor výroby založí druhý díl, jímž je vnější víko odkládací schránky. Mezi vnějším víkem a bočnicí se nachází rozpěrná mosazná lišta, která zajišťuje stejnou spáru mezi oběma

Obr.16 Bočnice a vnější víko odkládací díly (obr. 16).
schránky vložené do lože



Třetím dílem sestavy je vnitřní víko odkládací schránky, které je zacvaknuté do vnějšího vzhledového víka (obr. 17).

Obr. 17 Třetí díl sestavy - vnitřní víko odkládací schránky

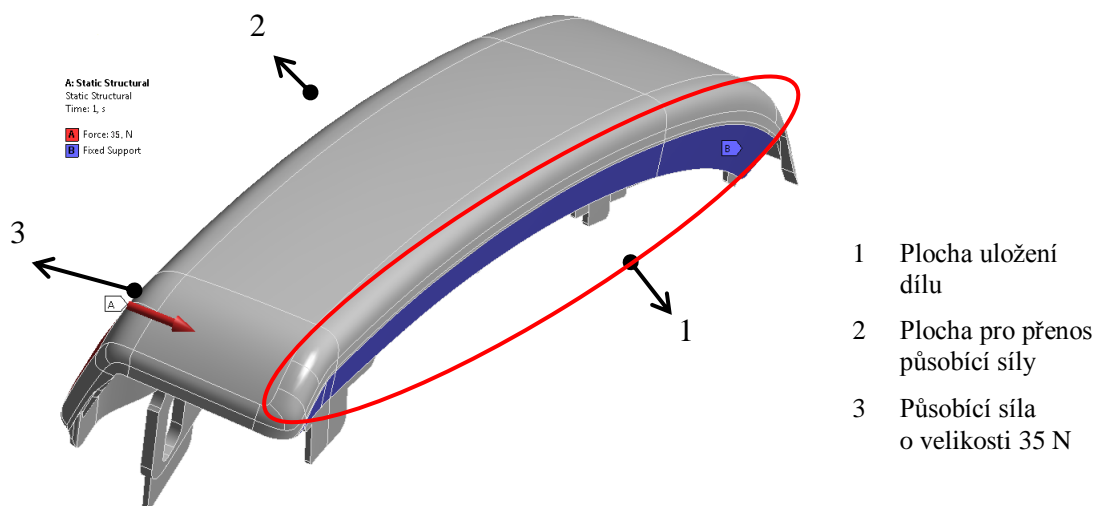


Obr. 18 Kompletní sestava se sjetými sonotrodami do svařovací polohy

Posledním dílem sestavy je tělo odkládací schránky. Po jeho usazení do lože dojde k dotlačení celé sestavy z levé strany (ve směru červené šipky) za pomoci vzduchového pístu, následně sjedou do pracovní pozice sonotrody a dojde k rozvaření plastových pinů a žeber (obr. 18).

6 Deformace blendy v simulačním softwaru Ansys

Cílem analýzy byla kontrola napětí v bočnici a její deformace. Geometrický model byl načten ve formátu iges.



Obr. 19 Definování okrajových podmínek - zavedení uložení a působící síly

7 Závěr

Práce se zabývala problematikou spojenou s ultrazvukovým svařováním. Práce byla vytvořena pro firmu Magna Exteriors & Interieors (Bohemia) s.r.o., za účelem snížit zmetkovitost na ultrazvukovém svařovacím stroji firmy Branson a tím zároveň eliminovat reklamace ze strany zákazníka. V průběhu práce jsme se snažili odstranit vady na výrobku, jímž byla odkládací schránka spolujezdce ve vozidle Audi B8. Docházelo zde k nestejněměrné spáře a plošné návaznosti mezi bočnicí (blendou) a víkem odkládací schránky.

V úvodu práce došlo k seznámení s technologií ultrazvukového svařování, s procesem vzniku ultrazvukových vln a přenosem těchto vln přes konvertory a sonotrody na díl. Následně byla popsána problematika výrobku. Bylo použito několik typů analýz (silová, rozměrová, tepelná), které nám ukázaly četnost výskytu vad v podobě nesouměrné spáry a souvislost mezi závislostí síly potřebné k uzavření víka odkládací schránky na velikosti spáry, která se nachází mezi bočnicí (blendou) a víkem.

Pomocí tepelné analýzy, při níž byla použita termokamera ThermaCAM P65, bylo zjištěno, že dochází k velkému tepelnému namáhání dílu v oblasti sváru

a to i po dlouhém časovém úseku, kdy je díl vyjmut ze svařovacího lože a dochází tím k dodatečným deformacím dílu. Na základě tohoto zjištění, bylo provedeno opatření v podobě mosazné lišty, která byla vložena mezi víko odkládací schránky a bočnici (blendu). Mosazná lišta tak způsobila lepší odvod tepla z místa svaru a nedocházelo k následné deformaci dílu po vyjmutí ze svařovacího lože. Díl byl po vyjmutí ze svařovacího lože znovu prověřen termokamerou s velmi kladným výsledkem – došlo zde ke snížení teploty o 30%.

V další části jsme využili technologie 3D skeneru ATOS, který nám posloužil k porovnání současného tvaru lože s původními daty, které byly zadány firmě Branson k výrobě dosedací části zakládacího lože. Zjistili jsme, že současný stav neodpovídá požadovaným hodnotám tvaru. Odchyłka tvaru jde do minusových hodnot právě v oblasti, kde dochází k rozvaření plastových pinů a žeber bočnice (blendy) k hlavní části odkládací schránky. Tato odchyłka způsobila prohnutí bočnice (blendy) při opření sonotrod o piny a žebra a tím došlo k jejímu vychýlení ze své dané pozice a ke vzniku nesouměrné spáry.

Na základě zjištěných údajů z předchozích měření byla aplikována úprava dosedací a upínací části zakládacího lože v podobě výroby nového dílu dosedacích ploch a rozpěrné lišty. Vložením mosazné lišty jsme zajistili stejnoměrnou spáru mezi víkem a bočnicí a také jsme dosáhli lepšího odvodu tepla ze svařované oblasti. Dále byla navržena změna upínání plastových dílů přidáním vzduchového pístu, který by nám zajistil a vymezil veškeré vůle mezi plastovými díly odkládací schránky. Abychom tento krok mohli realizovat, bylo by nutné změnit první dosedací část lože z pevné na pohyblivou za pomoci kluzného uložení.

Závěrem byla zhodnocena úspěšnost projektu vyčíslením finanční úspory, která ročně činila 2 527 200 Kč.

Literatura

Firemní literatura

PEŠÍK, Lubomír. *Části strojů: stručný přehled. 1. díl.* Vyd. 2., dopl. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2005, 158 s. ISBN 80-7083-938-4.

PEŠÍK, Lubomír. *Části strojů: stručný přehled. 2. díl.* Vyd. 2., dopl. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2005, 155 s. ISBN 80-7083-958-6.

LEINVEBER, Jan, VÁVRA, Pavel. *Strojnické tabulky.* 3. dopl. vyd. Úvaly: ALBRA, 2006, 914 s. ISBN 80-736-1033-7.

TEPLOTY NA VENTILOVÝCH SEDLECH PŘI PROVOZU MOTORU NA RŮZNÁ PALIVA

Dittrich Aleš

Sekce - STROJÍRENSTVÍ,
Fakulta strojní, 3. ročník

Doktorský studijní program – KONSTRUKCE STROJŮ A ZAŘÍZENÍ

Abstrakt: Příspěvek popisuje důvody, které vedou k měření teplot v obtížně dostupných místech v hlavě válců motoru při provozu na alternativní palivo – konkrétně na butanol a jeho směs s benzinem. Příspěvek navazuje na předchozí práci autora.

Klíčová slova: butanol, benzin, hlava válců motoru, teplota, termočlánek, sedla ventilů

1 Úvod

V současné době probíhá neustále zájem a úsilí o využití paliv z obnovitelných zdrojů, motivovaného konečnými zásobami a cenovou nestabilitou fosilních paliv, energetickou bezpečností a obavou z klimatických změn vyvolaných fosilními palivy. Pro silniční dopravu, které je přičítán velký podíl z celkové energetické spotřeby a je takřka závislá na pístových spalovacích motorech spalujících fosilní paliva, má hledání paliv z obnovitelných zdrojů prvořadý význam. Mnoho rozličných paliv bylo vyzkoušeno jak v zážehových, tak ve vznětových motorech s různým stupněm technického a celkového úspěchu. V současnosti je přidáváno malé množství etanolu a methylesteru mastných kyselin do benzínu, respektive motorové nafty.

Butanol je čtvrtý z homologické řady alkoholů, který může být produkován z biomasy stejně jako etanol, ale ve srovnání s etanolem má významné výhody jako vyšší energetickou hustotu, nižší absorpci vzdušné vlhkosti, nižší korozní účinky, nižší výparné teplo, vyšší bod vzplanutí a nižší tlak nasycených par [1]. Zájem o butanol je poměrně nový a stále se formuje, přičemž publikovaných výsledků je relativně málo a s mezerami, které je potřeba zaplnit. Publikované práce se omezují zejména na provoz v několika pracovních bodech motoru v laboratorních podmínkách za typických provozních podmínek odpovídajících jízdě [2], [3].

Tento příspěvek je zaměřen na sledování teplot na ventilových sedlech hlavy válců motoru při provozu na benzin, butanol a směsné palivo benzin butanol s hmotnostním podílem 50% butanolu.

2 Laboratorní měření, záznam měřených veličin

Měření proběhla na motoru Škoda, jehož parametry jsou uvedeny v tabulce 1. Motor byl řízen elektronickou řídicí jednotkou s verzí softwarového řízení SIMOS 11. V rámci měření bylo jako palivo použito n-butanolu. Jedné se o izomer butanolu s přímým řetězcem a hydroxylovou skupinou vázanou na krajní atom uhlíku. Tento izomer vykazuje, s ohledem na možnosti výroby s přihlédnutím k jeho vlastnostem, nejvyšší potenciál jakožto palivo

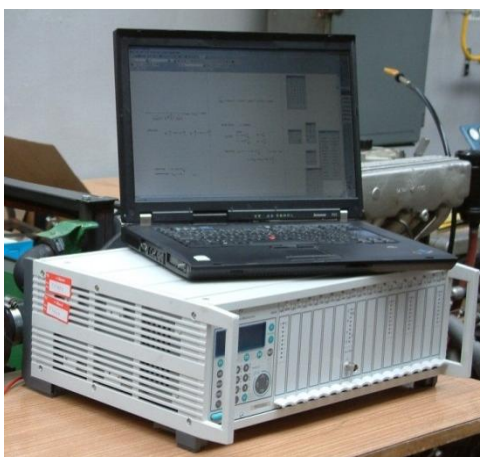
Tabulka 1: Parametry motoru určeného pro laboratorní měření. [2]

Parametry motoru	
Typ	Čtyřdobý zážehový motor, 12 ventilů, DOHC
Vrtání X zdvih	76,5 X 86,9 mm
Počet válců	3, řadový
Zdvihový objem	1198 cm ³
Maximální výkon	51 kW
Maximální točivý moment	112 Nm
Kompresní poměr	10,5 ± 0,3 :1
Chlazení	Kapalinou

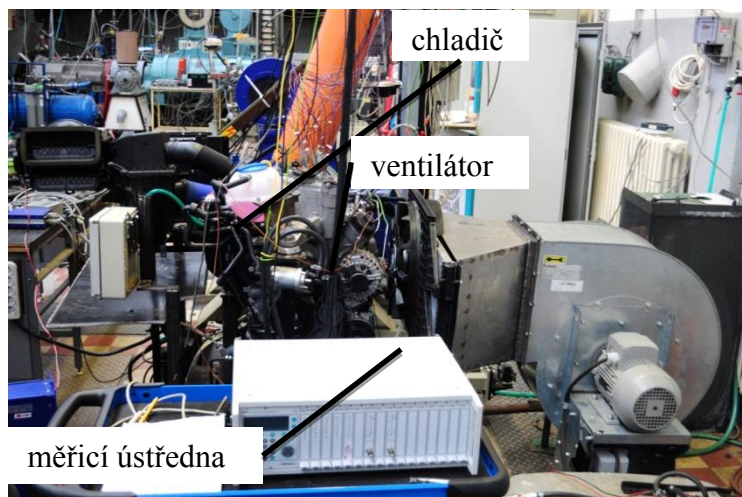
Hlavní částí měřicího obvodu je ústředna MGCplus, umožňující snímat až 2 400 vzorků za sekundu v osmi-kanálovém provedení zesilovače (použity jsou 4 zesilovače v osmi-kanálovém provedení). Pracovní prostředí pro měření a záznam dat je vytvořené pomocí SW Catman Easy. Hodnoty ze snímačů je možné zaznamenávat vzorkovací frekvencí 2400 vzorků za sekundu, délka záznamu není omezena. Výstup pracovního prostředí pro sledování online zaznamenávaných hodnot je na obr. 8.

Tabulka 2: Použitá technika pro měření a zpracování signálu na zkušebním zařízení.

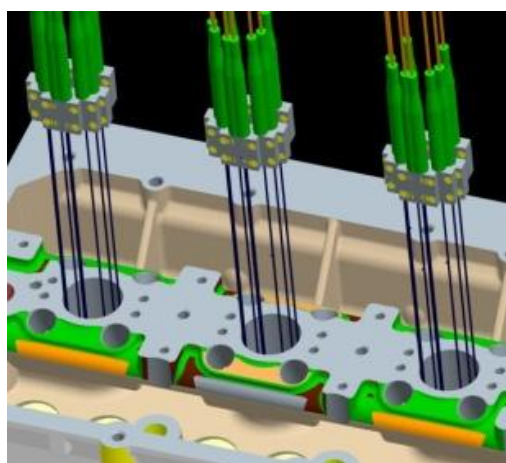
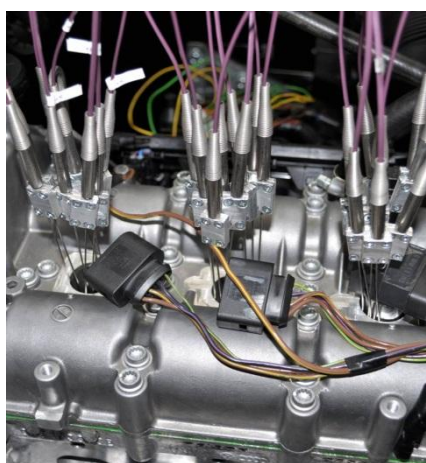
Snímání údajů:	
Měřicí ústředna MGCplus (fy Hottinger) software Catman®Easy	
Použité snímače	
Teplota	Termočlánek typu E, průměr 0,5mm, délka 200mm (fy Omega) – 24 kusů
Teplota	Termočlánek typu E, průměr 0,75mm, délka 200mm (fy Omega) – 6 kusů

**Obr. 1:** Pohled na záznamové zařízení – ústředna MGCPlus.

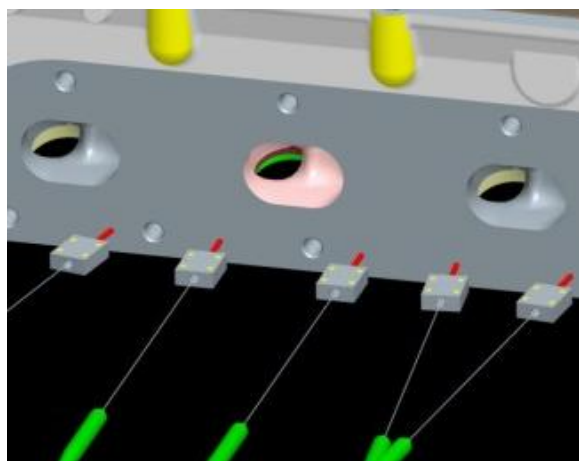
Motor na zkušebním stanovišti v laboratoři Katedry vozidel a motorů FS na TU v Liberci ukazují obr. 2 – obr. 4.



Obr. 2: Pohled na měřicí stanoviště.



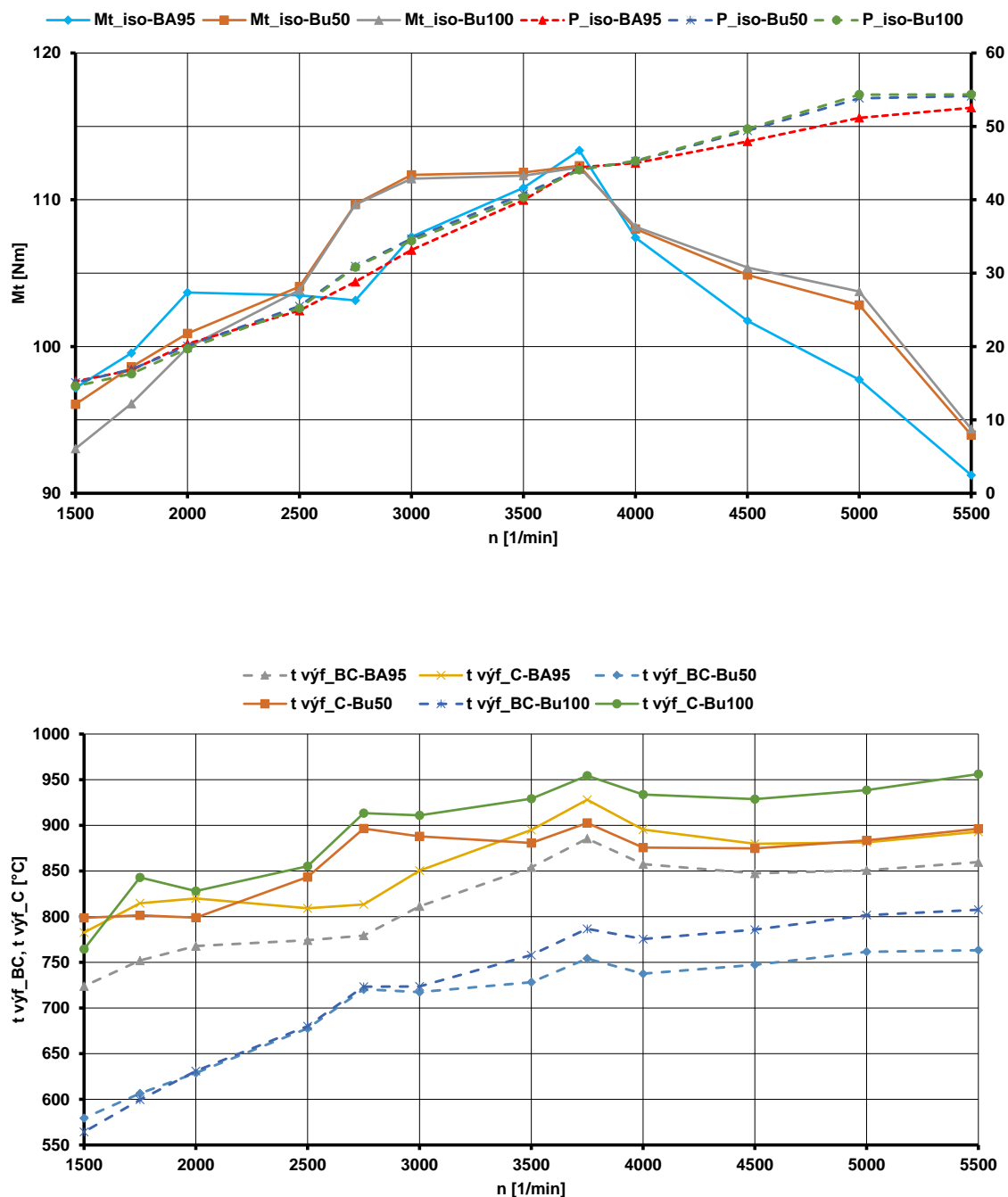
Obr. 3: Pohled na termočlánky upevněné pomocí fixačních přípravků svěrným spojením s tenkostěnnými trubičkami v šachtě zapalovacího modulu před montáží zapalovacích modulů. Vlevo je zobrazen reálný stav na stanovišti, vpravo 3D model.



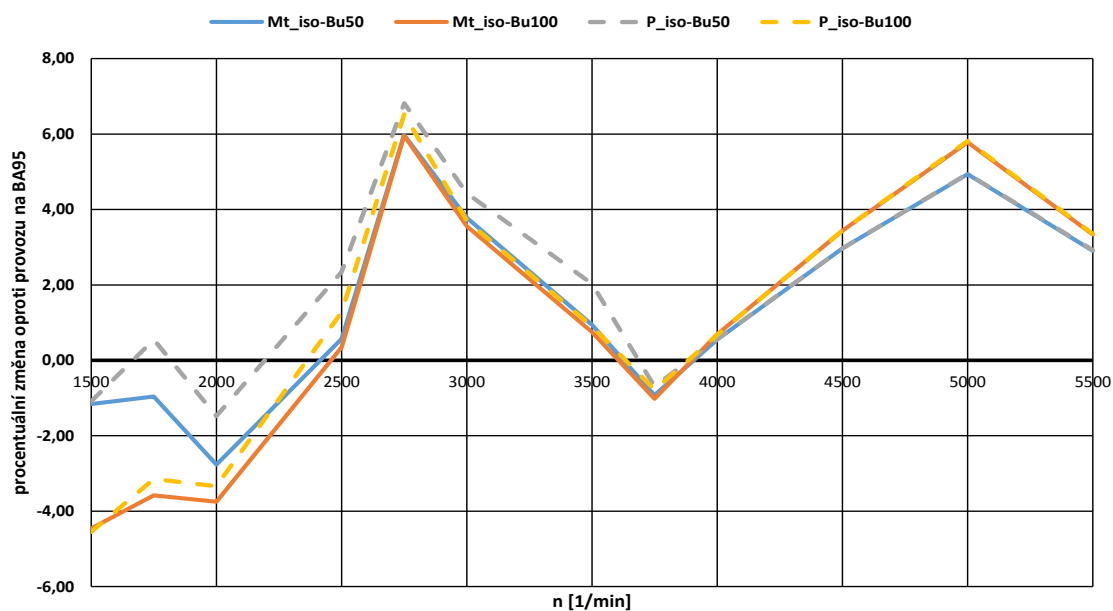
Obr. 4: Pohled na termočlánky upevněné pomocí fixačních přípravků svěrným spojením s tenkostěnnými trubičkami ze strany výfuku. Tenkostěnné trubičky ze strany výfuku jsou vedeny přes kanály s chladicí kapalinou. Tyto trubičky jsou do předvrtaných děr vlepeny. Takto upravená hlava válců motoru prošla zkouškou těsnosti. Vlevo je zobrazen reálný stav na stanovišti, vpravo 3D model.

3 Výsledky měření

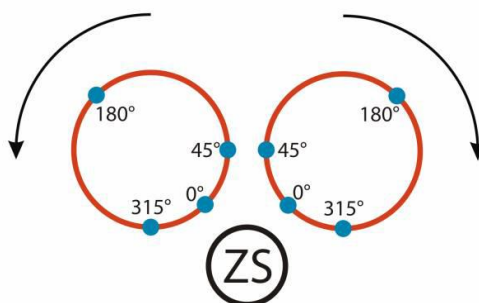
Měření byla provedena v režimech vnější otáčkové charakteristiky motoru. Motor byl osazen kabeláží a standardní řídicí jednotkou. Výsledky sledovaných provozních vlastností motoru ukazují následující grafy. Přiřazení úhlové polohy měřených bodů po obvodu obou sedel výfukových ventilů při „rozvinutí“ do osy x a polohu obou sedel v hlavě válců ukazuje obr. 7, ve kterém je rovněž uvedeno označení 1. a 2. ventilového sedla v jednotlivých válcích ve vztahu k poloze zapalovací svíčky. Grafy průběhů teplot po obvodu 1. a 2. ventilového sedla jsou zakresleny v „zrcadlovém“ zobrazení, jak ukazují šipky kolem ventilových sedel na obr. 7 a budou uvedeny v prezentaci příspěvku z důvodu značné obsáhlosti. Označení měřicích míst na ventilových sedlech v jednotlivých válcích ukazuje obr. 8.



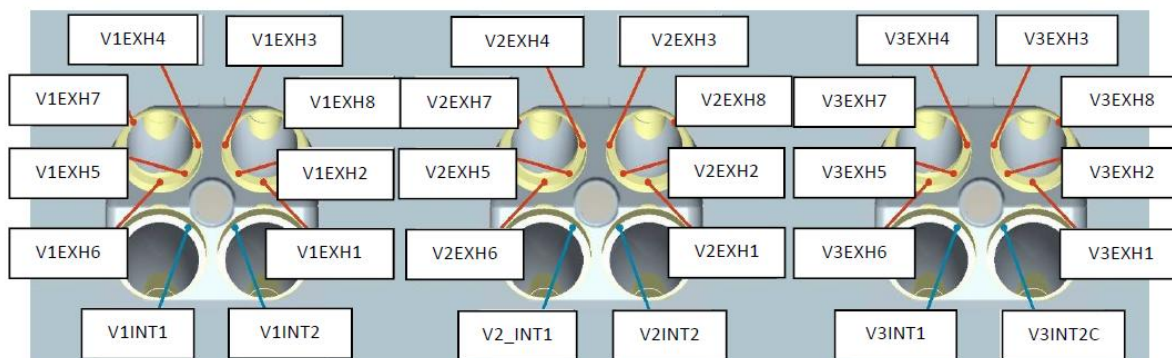
Obr. 5 Provozní sledované parametry motoru v režimu vnější otáčkové charakteristiky při provozu na BA95, Butanol a směsné palivo.



Obr. 6 Procentuální změna výkonových parametrů motoru při provozu na alternativní palivo (butanol, směs butanol a benzin) oproti provozu na benzin.



Obr. 7 Schéma označení úhlové polohy měřicích míst po obvodu na 1. a 2. sedle výfukových ventilů a orientace 1. a 2. sedla výfukových ventilů k poloze zapalovací svíčky (ZS) v hlavě válců motoru.



Obr. 8 Označení všech měřicích míst a jejich poloha na obvodu ventilových sedel v jednotlivých válcích.

Následující tabulka zobrazuje hodnoty naměřených teplot na ventilových sedlech při provozu na benzin. Tabulky teplot při provozu na butanol a na směsné palivo butanol benzin s hmotnostním podílem butanolu 50% zobrazují hodnoty procentuální změnou oproti provozu na benzin. Kladné hodnoty zobrazují nárůst teploty vyjádřené v procentech oproti provozu na

benzin (v tabulce jsou zobrazeny tmavě zelenou barvou), záporné hodnoty zobrazují pokles teplot oproti provozu na benzin (v tabulce jsou zobrazeny tmavě červenou barvou).

Tabulka 3 Naměřené hodnoty teplot na ventilových sedlech při provozu motoru na benzin.

n [1/min]	5500	5000	4500	4000	3750	3500	3000	2750	2500	2000	1750	1500
V1_EXH1	162,3	152,1	149,3	147,5	148,0	145,3	141,0	138,9	140,2	139,5	138,0	134,2
V1_EXH2	199,8	188,3	183,7	179,3	178,5	174,3	167,3	163,1	164,5	162,6	159,2	153,6
V1_EXH3	176,5	166,1	162,8	160,2	160,2	156,6	151,6	148,1	149,0	147,7	145,6	141,0
V1_EXH4	184,5	173,5	169,8	166,9	167,3	163,2	157,5	153,4	154,2	152,6	150,2	145,1
V1_EXH5	202,8	191,3	186,2	181,9	181,5	176,9	169,8	164,8	166,3	164,5	161,0	155,0
V1_EXH6	156,4	147,5	144,3	142,4	142,5	140,1	136,3	133,8	135,3	135,1	134,0	130,6
V1_EXH7	131,0	125,3	123,9	123,9	124,7	123,0	120,9	118,9	119,2	118,7	118,4	115,9
V1_EXH8	147,1	139,3	137,6	137,1	138,0	135,4	132,0	129,6	129,3	128,6	127,8	125,0
V2_EXH1	158,4	149,0	145,3	143,5	143,6	140,6	136,4	134,7	136,1	135,9	134,6	131,5
V2_EXH2	201,1	189,4	183,2	179,2	178,8	173,4	165,9	162,2	163,8	162,2	158,8	153,4
V2_EXH3	187,8	176,0	171,2	168,7	169,4	164,6	158,3	154,8	155,5	154,3	151,7	146,8
V2_EXH4	183,5	170,5	168,7	167,1	168,2	163,3	157,5	154,0	154,6	153,3	150,9	146,4
V2_EXH5	190,8	179,9	174,3	171,3	171,5	166,7	160,4	156,6	157,8	156,7	154,2	149,3
V2_EXH6	162,1	152,2	149,3	148,0	148,9	145,5	141,4	138,9	140,0	140,1	139,0	135,6
V2_EXH7	140,2	132,5	129,7	129,9	130,7	128,1	125,9	124,1	123,8	123,7	123,8	121,4
V2_EXH8	152,9	143,3	140,3	139,7	141,1	137,5	133,2	131,4	131,1	130,7	129,7	126,8
V3_EXH1	160,5	152,1	147,8	145,9	146,2	143,8	138,9	137,3	138,5	137,7	136,6	133,2
V3_EXH2	180,5	171,1	165,2	162,0	162,0	158,7	152,2	149,7	150,8	149,1	147,3	143,0
V3_EXH3	193,2	182,7	176,6	173,4	174,3	169,9	162,4	158,8	159,4	156,8	154,9	149,7
V3_EXH4	194,6	184,0	177,8	174,5	175,7	171,0	163,3	159,6	159,9	157,3	155,5	150,2
V3_EXH5	183,1	173,7	168,2	164,7	165,4	161,8	155,0	152,4	153,1	151,2	149,8	145,2
V3_EXH6	158,2	149,9	145,9	143,7	144,6	141,9	137,3	135,6	136,4	135,7	135,4	132,1
V3_EXH7	133,7	126,3	123,8	123,8	124,8	122,7	120,2	119,0	119,4	119,3	119,8	117,9
V3_EXH8	145,2	137,2	133,8	132,9	133,9	131,3	127,8	126,3	126,3	125,7	125,6	123,4
V1_INT1	178,3	167,9	162,9	159,0	158,3	155,3	150,1	147,2	150,0	150,3	147,7	143,7
V1_INT2	170,6	160,7	156,1	153,0	152,3	149,3	145,0	142,8	145,8	146,4	144,2	140,4
V2_INT1	172,6	162,9	157,0	154,3	154,3	150,0	145,1	142,7	145,6	146,3	144,2	140,4
V2_INT2	180,8	170,4	164,3	160,8	160,6	155,9	150,1	147,7	150,7	151,2	148,6	144,7
V3_INT1	165,1	157,1	151,6	148,0	149,0	146,1	140,7	139,7	141,4	141,3	140,6	137,2
V3_INT2	162,4	154,3	149,0	145,9	146,2	143,9	139,0	137,8	140,2	140,3	139,3	136,1

Tabulka 4 Teploty na ventilových sedlech při provozu na směsné palivo butanol benzin v hmotnostním poměru 50% vyjádřené procentuální změnou oproti provozu na benzin.

n [1/min]	5500	5000	4500	4000	3750	3500	3000	2750	2500	2000	1750	1500
V1_EXH1	-3,9	0,3	0,1	-1,6	-2,1	-1,7	-0,5	1,5	-1,0	-3,4	-2,7	-1,1
V1_EXH2	-5,2	-1,7	-1,6	-2,6	-2,9	-2,3	-0,9	1,6	-1,4	-4,4	-3,4	-1,7
V1_EXH3	-2,9	0,6	0,4	-0,8	-1,0	-0,4	0,8	2,8	0,0	-2,5	-1,9	-0,2
V1_EXH4	-2,2	1,4	1,3	0,1	-0,3	0,4	1,7	3,7	0,7	-2,0	-1,4	0,3
V1_EXH5	-4,4	-1,1	-0,9	-1,9	-2,3	-1,5	-0,1	2,1	-1,2	-4,3	-3,4	-1,6
V1_EXH6	-3,6	0,1	0,6	-0,8	-1,3	-0,9	0,0	1,6	-1,1	-3,3	-3,1	-1,3
V1_EXH7	0,1	3,9	4,3	2,5	2,5	2,6	3,3	3,9	1,9	-0,1	-0,7	0,4
V1_EXH8	0,3	4,1	3,9	2,1	2,0	1,8	2,7	4,5	2,5	0,5	0,3	1,5
V2_EXH1	-4,0	0,3	-0,1	-1,5	-2,4	-1,7	-0,6	0,9	-1,8	-3,2	-2,5	-0,8
V2_EXH2	-5,6	-1,4	-1,8	-2,8	-3,8	-2,5	-0,9	1,3	-2,2	-4,3	-3,2	-1,4
V2_EXH3	-3,0	1,2	0,3	-1,0	-1,9	-0,9	0,6	2,8	-0,4	-2,6	-1,8	-0,1
V2_EXH4	-3,1	2,2	0,1	-1,3	-2,1	-1,1	0,3	2,5	-0,5	-2,6	-1,9	-0,2
V2_EXH5	-5,2	-1,0	-1,2	-2,3	-3,3	-2,2	-0,7	1,6	-1,7	-3,7	-3,0	-1,2
V2_EXH6	-4,0	0,5	-0,2	-1,8	-2,7	-1,9	-0,6	1,4	-1,4	-3,0	-2,7	-0,9
V2_EXH7	-0,5	4,6	3,9	1,7	1,5	1,6	2,6	4,4	2,8	1,0	0,6	2,0
V2_EXH8	0,3	4,9	3,7	2,1	1,1	1,7	2,7	4,1	2,0	-0,1	0,1	1,1
V3_EXH1	-4,1	-1,2	-1,8	-2,9	-3,4	-2,9	-1,8	-0,6	-2,6	-3,9	-3,4	-2,5
V3_EXH2	-4,3	-1,5	-1,9	-2,6	-3,1	-2,5	-1,1	0,3	-2,0	-3,5	-2,9	-2,1
V3_EXH3	-2,8	0,2	-0,3	-1,4	-1,8	-1,0	0,5	2,4	-0,5	-2,2	-1,7	-0,9
V3_EXH4	-2,7	0,3	-0,2	-1,2	-1,6	-0,9	0,7	2,6	-0,3	-2,1	-1,5	-0,6
V3_EXH5	-4,1	-1,3	-1,8	-2,4	-2,8	-2,1	-0,7	0,7	-1,6	-3,2	-2,7	-1,7
V3_EXH6	-3,7	-0,4	-0,7	-1,6	-2,0	-1,5	-0,4	0,8	-1,1	-2,5	-2,2	-1,1
V3_EXH7	-0,2	3,9	3,4	1,5	1,2	1,3	2,1	3,3	1,3	0,5	0,5	1,5
V3_EXH8	0,3	5,1	3,9	2,2	1,1	1,8	2,8	4,2	2,1	-0,1	0,1	1,1
V1_INT1	-10,3	-7,6	-7,2	-8,3	-8,3	-7,8	-6,6	-3,4	-6,2	-8,5	-7,1	-5,0
V1_INT2	-10,8	-7,7	-7,6	-9,0	-8,3	-8,5	-7,2	-3,9	-6,6	-8,5	-7,1	-5,1
V2_INT1	-11,1	-7,2	-7,6	-8,6	-9,7	-8,1	-7,0	-4,3	-7,5	-7,9	-6,5	-4,3
V2_INT2	-10,9	-6,7	-7,3	-8,3	-9,5	-7,9	-6,7	-3,8	-7,1	-7,7	-6,3	-4,1
V3_INT1	-8,6	-6,4	-7,1	-7,8	-7,3	-7,0	-6,2	-4,1	-5,6	-7,1	-5,9	-4,8
V3_INT2	-9,1	-6,8	-7,2	-7,3	-7,7	-7,0	-5,4	-4,3	-5,9	-6,4	-5,5	-4,6

Tabulka 5 Teploty na ventilových sedlech při provozu butanol vyjádřené procentuální změnou oproti provozu na benzin.

n [1/min]	5500	5000	4500	4000	3750	3500	3000	2750	2500	2000	1750	1500
V1_EXH1	-5,5	-1,5	-1,6	-2,2	-2,8	-2,3	-1,9	-0,2	-2,5	-4,8	-4,9	-3,1
V1_EXH2	-6,3	-2,8	-2,8	-2,8	-3,1	-2,5	-2,1	0,0	-2,8	-5,6	-5,7	-4,0
V1_EXH3	-2,9	0,6	0,2	-0,2	-0,7	0,0	0,2	2,0	-0,8	-3,5	-3,6	-1,8
V1_EXH4	-1,8	1,8	1,4	0,9	0,3	1,0	1,2	3,1	0,1	-2,9	-3,0	-1,3
V1_EXH5	-5,0	-1,5	-1,5	-1,7	-2,2	-1,5	-0,9	1,0	-2,3	-5,4	-5,4	-3,6
V1_EXH6	-5,0	-1,3	-0,8	-1,2	-2,0	-1,4	-1,0	0,3	-2,5	-4,6	-5,0	-2,9
V1_EXH7	1,2	4,4	4,9	3,6	3,2	3,9	3,5	4,5	2,0	-0,6	-1,3	0,3
V1_EXH8	1,4	5,3	4,6	3,5	2,6	2,9	2,8	4,9	2,5	0,0	-0,4	1,1
V2_EXH1	-5,7	-1,8	-1,8	-1,6	-3,3	-2,1	-1,3	-0,2	-2,5	-4,8	-4,1	-2,6
V2_EXH2	-6,7	-2,8	-3,1	-2,4	-4,2	-2,7	-1,5	0,2	-2,6	-5,8	-5,0	-3,7
V2_EXH3	-2,5	1,3	0,3	0,1	-1,5	-0,5	0,5	2,2	-0,6	-3,8	-3,4	-1,9
V2_EXH4	-2,2	2,4	0,4	0,0	-1,4	-0,4	0,5	2,1	-0,7	-3,7	-3,3	-1,7
V2_EXH5	-5,8	-2,2	-2,2	-1,8	-3,5	-2,4	-1,3	0,7	-2,0	-5,3	-4,8	-3,4
V2_EXH6	-4,9	-1,0	-1,3	-1,4	-3,1	-2,1	-1,3	0,5	-1,9	-4,9	-4,5	-2,9
V2_EXH7	0,6	5,2	4,6	3,4	2,4	3,1	3,1	4,6	2,7	0,0	-0,3	1,3
V2_EXH8	1,8	6,0	4,8	4,1	2,2	3,1	3,3	4,3	2,6	-0,3	-0,5	0,9
V3_EXH1	-5,4	-2,7	-2,5	-3,3	-4,1	-3,7	-2,7	-1,4	-3,9	-5,9	-6,1	-4,6
V3_EXH2	-5,2	-2,5	-2,2	-2,9	-3,5	-3,1	-1,9	-0,4	-3,1	-5,4	-5,7	-4,5
V3_EXH3	-2,3	0,5	0,4	-0,5	-1,1	-0,6	0,4	2,2	-1,0	-3,7	-4,1	-3,1
V3_EXH4	-2,2	0,7	0,6	-0,3	-0,9	-0,4	0,6	2,4	-0,8	-3,5	-3,9	-2,9
V3_EXH5	-4,7	-1,9	-1,9	-2,5	-3,0	-2,5	-1,3	0,1	-2,5	-4,9	-5,3	-4,1
V3_EXH6	-4,7	-1,6	-1,3	-1,8	-2,5	-2,1	-1,1	0,2	-2,0	-4,2	-4,5	-3,2
V3_EXH7	0,9	4,6	4,2	3,1	2,1	2,6	2,6	3,7	1,5	-0,3	-0,5	1,0
V3_EXH8	0,2	4,1	3,1	1,8	0,9	1,4	2,2	3,4	1,7	-0,1	0,1	0,9
V1_INT1	-16,4	-13,4	-13,3	-13,2	-12,5	-12,0	-11,2	-8,0	-10,6	-11,6	-11,1	-8,7
V1_INT2	-18,1	-15,0	-14,9	-14,2	-13,2	-13,0	-11,8	-9,1	-11,2	-11,5	-11,2	-9,0
V2_INT1	-19,0	-16,1	-15,9	-14,1	-16,4	-14,9	-12,7	-9,8	-11,8	-12,6	-10,7	-8,6
V2_INT2	-18,1	-14,8	-14,9	-13,3	-15,4	-13,7	-11,9	-8,7	-10,7	-12,0	-10,1	-8,2
V3_INT1	-14,9	-13,0	-12,9	-13,6	-12,9	-12,9	-11,0	-8,4	-10,1	-11,3	-10,8	-8,8
V3_INT2	-14,7	-12,8	-11,9	-12,3	-12,2	-12,0	-9,7	-8,0	-10,3	-10,1	-9,9	-8,0

4 Závěr

Provoz pístového spalovacího motoru na alternativní palivo butanol a jeho směsi s benzinem se ukazuje jako zcela možný. Při provozu motoru s řídicí jednotkou obsahující nepozměněný software vykazuje motor oproti provozu na benzin lepší výkonové parametry. V rámci tohoto příspěvku byly hlavním sledovaným parametrem především změny teplot na ventilových sedlech v hlavě motoru. Z výsledků vyplývá, že při provozu na butanol a směsné palivo butanol benzin s hmotnostním obsahem 50% butanolu dochází k mírnému poklesu teplot na ventilových sedlech. K výraznému poklesu teplot dochází především na straně sacích ventilů.

Literatura

- [1] JIN, Ch.; YAOC, M.; LIUC, H.; LEED, Ch. F.; JI, J.: Renewable and Sustainable Energy Reviews, *Volume 15*, Issue 8, October 2011, Pages 4080-4106
- [2] SZWAJA, S.; NABER, J. D.: Combustion of n-butanol in a spark-ignition IC engine Fuel, *Volume 89*, Issue 7, July 2010, Pages 1573-1582
- [3] ALASFOUR, F. N.: Butanol - A single-cylinder engine study: availability analysis, *Applied Thermal Engineering*, Volume 17, Issue 6, June 1997, Pages 537-549
- [4] BEROUN, Stanislav, Vozidlové motory, *Technická univerzita v Liberci*, 2003, 108 stran, studijní text
- [5] Konfigurátor Škoda auto [online] [cit. 2013-05-18]. Dostupné z: <http://cc.skoda-auto.com/cze/pages/step3.aspx>

[6] DITTRICH, Aleš. Měření teplot v obtížně přístupných místech v hlavě válců motoru. In: *Studentská vědecká a odborná činnost 2012*. Liberec: TUL, c2012. ISBN 978-80-7372-857-1.

Poděkování

Tato práce vznikla za přispění účelové podpory určené na specifický vysokoškolský výzkum v rámci studentské grantové soutěže TUL.

MĚŘENÍ TERMODYNAMICKÝCH DĚJŮ A ZTRÁTOVÉHO MOMENTU SPALOVACÍCH MOTORŮ

Dráb Ondřej

Sekce - STROJÍRENSTVÍ

Fakulta strojní, 4. ročník

Doktorský studijní program – STROJNÍ INŽENÝRSTVÍ

Abstrakt: Příspěvek ukazuje výsledky z měření mechanických ztrát spalovacích motorů. Testovaný spalovací motor byl umístěn na stanovišti na protáčení spalovacích motorů, umístěném v laboratoři Katedry vozidel a motorů na Technické univerzitě v Liberci. Při měření byly zaznamenávány provozní hodnoty spalovací pohonné jednotky (mezi tyto hodnoty patřily teploty chladicí kapaliny a teplota motorového oleje) a měřené hodnoty závislé na provozních podmínkách, k těmto hodnotám patřily hodnoty ztrátového momentu a indikace tlaků ve válci spalovacího motoru (sledování termodynamických dějů ve válci spalovacího motoru).

Klíčové slova: spalovací motor, mechanické ztráty, termodynamické děje

1 Úvod

Prováděná měření pasivních odporů byla prováděna na stanovišti pro měření mechanických ztrát spalovacích motorů v laboratořích KVM na Technické univerzitě v Liberci.

Zvyšování celkové účinnosti spalovacích motorů cestou snižování mechanických ztrát v motoru (snižování mechanických ztrát při tření mezi jednotlivými komponenty jako je např. píst s pístními kroužky a vložkou válce nebo v kluzných ložiscích na klikovém hřídeli a vačkovém hřídeli) nebo snižováním neúčelných příkonů skupin příslušenství (k prvkům příslušenství patří např. zvyšování účinnosti alternátoru, vodního čerpadla atd.), je v současné době velmi aktuální téma v oblasti pohonných jednotek.

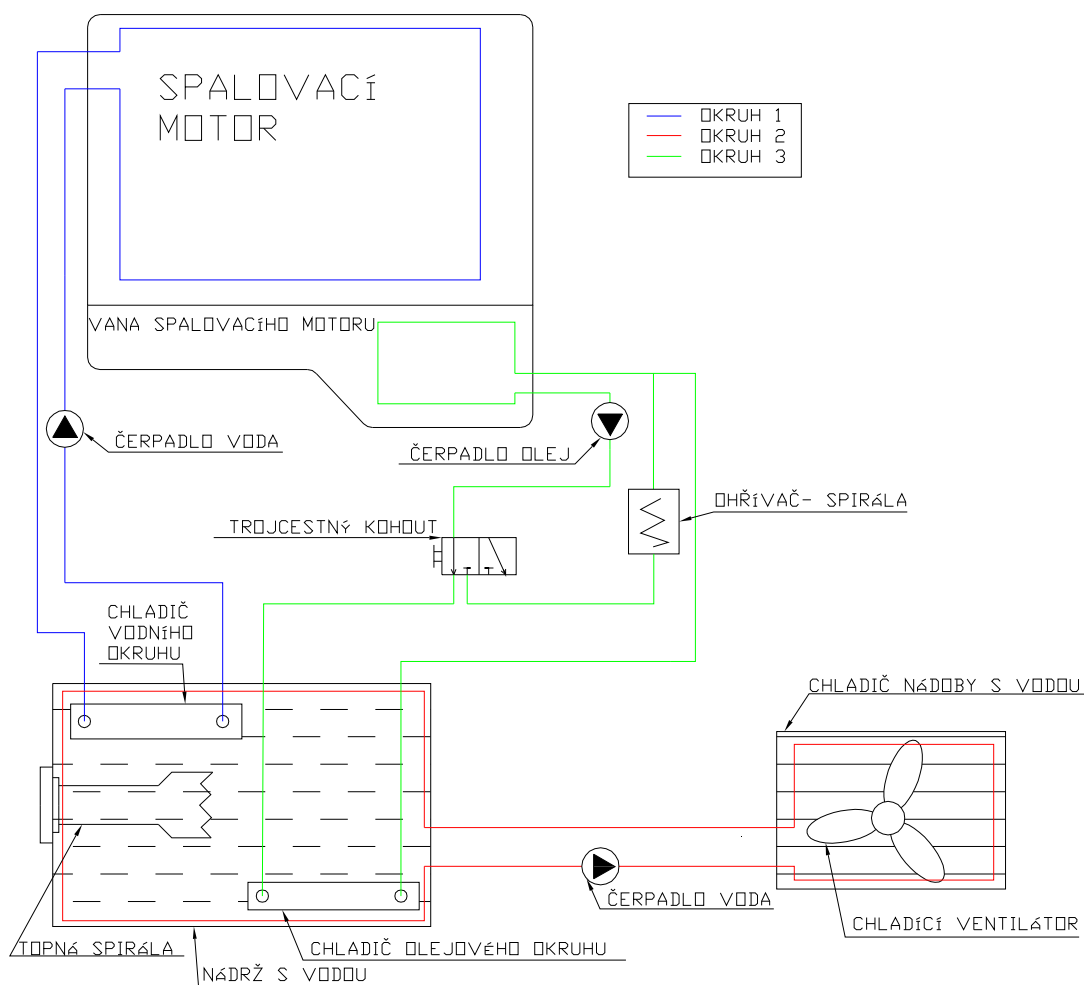
Výzkumné a vývojové programy výrobců motorů (obecně automobilového průmyslu) proto zaměřují pozornost na hledání účinných opatření, ke zvýšení celkové účinnosti pístových spalovacích motorů. Důležitou součástí těchto prací jsou i metody na zjišťování mechanických ztrát a jejich vyhodnocení za účelem pozitivních změn ke zvyšování účinnosti spalovacích motorů.

Jedním z často používaných způsobů zjišťování mechanických ztrát v motoru je protáčení motoru na brzdovém stanovišti s elektrickým dynamometrem. Z takového měření kompletního motoru lze získat vcelku spolehlivý výsledek. Moderní zkušební stanoviště jsou osazena sběrem měřených dat, stabilizací teplot mazacího oleje a teplotou chladicí kapaliny motoru. Pro vyhodnocení mechanických ztrát spalovacích motorů jsou využívány snímače točivého momentu s vysokou přesností. Snímače točivého momentu udávají hodnotu ztrátového momentu komplexně, pro detailnější pohled a rozbor ztrát spalovacích motorů jsou používána další měřicí zařízení, ke kterým patří např. indikace průběhu tlaků ve spalovacím prostoru válce motoru (sledování termodynamických jevů v motoru). Všechna tato měření probíhají za simulovaných provozních podmínek, kterými jsou teploty provozních medií (teplota mazacího oleje a teplota chladicí kapaliny motoru).

2 Popis zkušebního zařízení pro měření mechanických ztrát spalovacích motorů

2.1 Topné okruhy chladicí kapaliny a mazacího oleje

K dosažení vysoké reprodukovatelnosti měření ztrátového točivého momentu protáčením pístového spalovacího motoru je potřeba zajistit konstantní provozní podmínky teplot mazacího oleje a teplot chladicí kapaliny motoru. Ohřívání nebo chlazení chladicí kapaliny v okruhu chlazení a podobně ohřev nebo chlazení mazacího oleje z okruhu mazání motoru, je regulováno řízeným ohřevem pomocí elektrických topných těles, resp. řízenou činností ventilátoru na přídavném chladiči. Schéma celého systému pro ohřev nebo chlazení je zobrazeno na Obr.1.



Obrázek 1: Schéma topného okruhu mazacího oleje a vodní náplně motoru

Na obrázku 1 je vidět uspořádání systému pro řízení změny teploty chladicí kapaliny a mazacího oleje měřeného motoru. Zkušební zařízení má celkem tři pracovní okruhy:

- primární okruh s chladicí kapalinou (modrá barva), který prochází přes blok motoru spalovacího motoru a nádrž sekundárního okruhu s vodou
- okruh s mazacím olejem procházející vanou motoru (zelená barva), který má dvě přepínatelné větve, jedna větev vede přes výměník umístěný v nádrži sekundárního okruhu s vodou a druhá přes topnou spirálu

- sekundární okruh s chladicí kapalinou – vodou (červená barva), jehož součástí je nádrž s topnými spirálami a chladič voda-vzduch.

Každý okruh má vlastní čerpadlo. Teplotní stabilizace pracovních okruhů je zajištěna automatickou regulací teploty, která je řízena pomocí PID regulátorů.

2.2 Měření veličiny a snímače

Hlavní částí měřicího obvodu je ústředna MGCplus, umožňující snímat až 2 400 vzorků za sekundu v osmi-kanálovém provedení zesilovače. Pracovní prostředí pro měření a záznam dat je vytvořené pomocí SW Catman Easy.

<i>Tab. 1: Použitá technika pro měření a zpracování signálu na zkušebním zařízení</i>	
Snímání údajů:	
Měřicí ústředna MGCplus (fy Hottinger) software Catman®Easy	
Použité snímače	
Točivý moment	snímač T10F 50 Nm (fy Hottinger)
Otáčky	snímač T10F (fy Hottinger)
Teplota voda vstup a výstup z bloku motoru, mazacího oleje ve vaně motoru	3x snímač teploty Pt 100
Indikace tlaků v prostoru válce	AVL INDIMETR 442
Tlak oleje v hlavním mazacím kanálu hlavy motoru	tlakový snímač JSP, typ DMP331 s rozsahem do 600 kPa
Profuky přes pístní kroužky	Blow by meter AVL L 442

Maketa spalovacího motoru je měřena v různých teplotních režimech (teplota mazacího oleje a teplota chladicí kapaliny se pohybuje ve třech teplotních úrovních 35°C / 35°C, 90 °C / 90°C, 130 °C/ 90 °C) a různých otáčkových režimech (1500 až 5500 1/min změny otáček jsou po 250 1/min). V těchto provozních režimech jsou měřeny a ukládány hodnoty ztrátového točivého momentu, provozních režimů makety spalovacího motoru, profuků přes pístní kroužky a průběh tlaků ve válci spalovacího motoru. Na maketě spalovacího motoru jsou umístěna speciální technická zařízení pro spouštění motoru a následně pro měření požadovaných veličin a provozních stavů makety motoru.

Pro spouštění makety spalovacího motoru jsou upraveny indikační svíčky (viz Obr. 2), které jsou klasicky umístěny v prostoru pro zapalovací svíčku spalovacího motoru. Jedná se o maketu zapalovací svíčky (při namontování nedošlo ke změně velikosti a tvaru kompresního prostoru, což je důležitým hlediskem při konstrukci) s úpravou na funkčnost. Při rozběhu makety spalovacího testovaného motoru na stanovišti pro měření mechanických ztrát je umístěn přírubový snímač točivého momentu, T 10 F, který je pro vysokou přesnost měření zvolen s nízkým jmenovitým rozsahem (50 Nm a přesností +/- 0,1%). Při rozběhu dosahovaly špičky měřeného točivého momentu až 150% jmenovitého rozsahu snímače (snímač by mohl být poškozen). Tato maketa zapalovací svíčky má odstranit špičky točivého momentu při rozběhu motoru. Na maketě zapalovací svíčky jsou vytvořeny dvě drážky pro odvod vzduchu

z válce spalovacího prostoru. Maketa svíčky má dvě funkce. První funkcí je při provozním běhu motoru utěsnit spalovací prostor (stejně jako klasická zapalovací svíčka). Druhou funkcí je zajistit volné proudění vzduchu při rozběhu motoru (stejně jako kdyby byla zapalovací svíčka při rozběhu odstraněna) a zároveň dobř makety motoru.



Obrázek 2: Maketa zapalovací svíčky (umístění tlakového snímače pro indikaci tlaků)

Pro aparaturu na měření průběhu spalovacích tlaků AVL INDIMETR 442 (viz. Obr. 3) bylo zapotřebí umístit na maketu spalovacího motoru inkrementální snímač otáček (viz. Obr. 4). Pro tento inkrementální snímač byla vytvořena příruba umístěná na řemenovém kole v přední části makety spalovacího motoru.

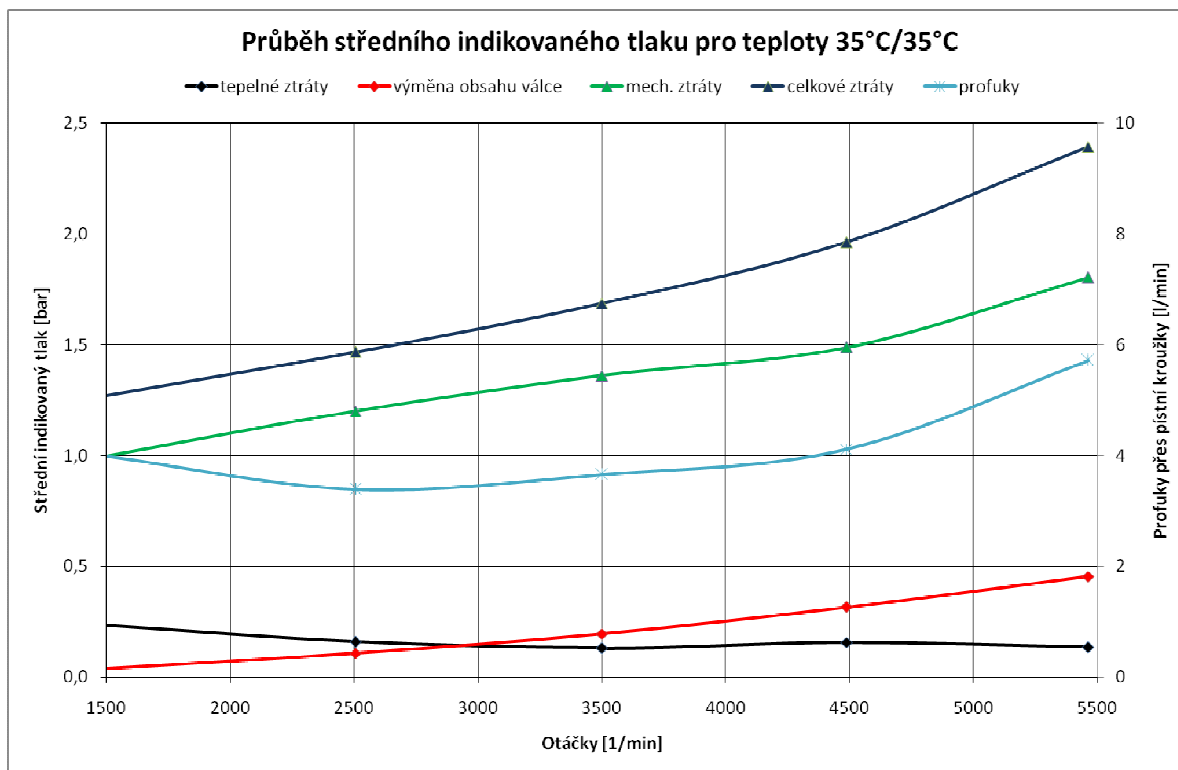


Obrázek 3: Umístění aparatury AVL INDIMETR 442

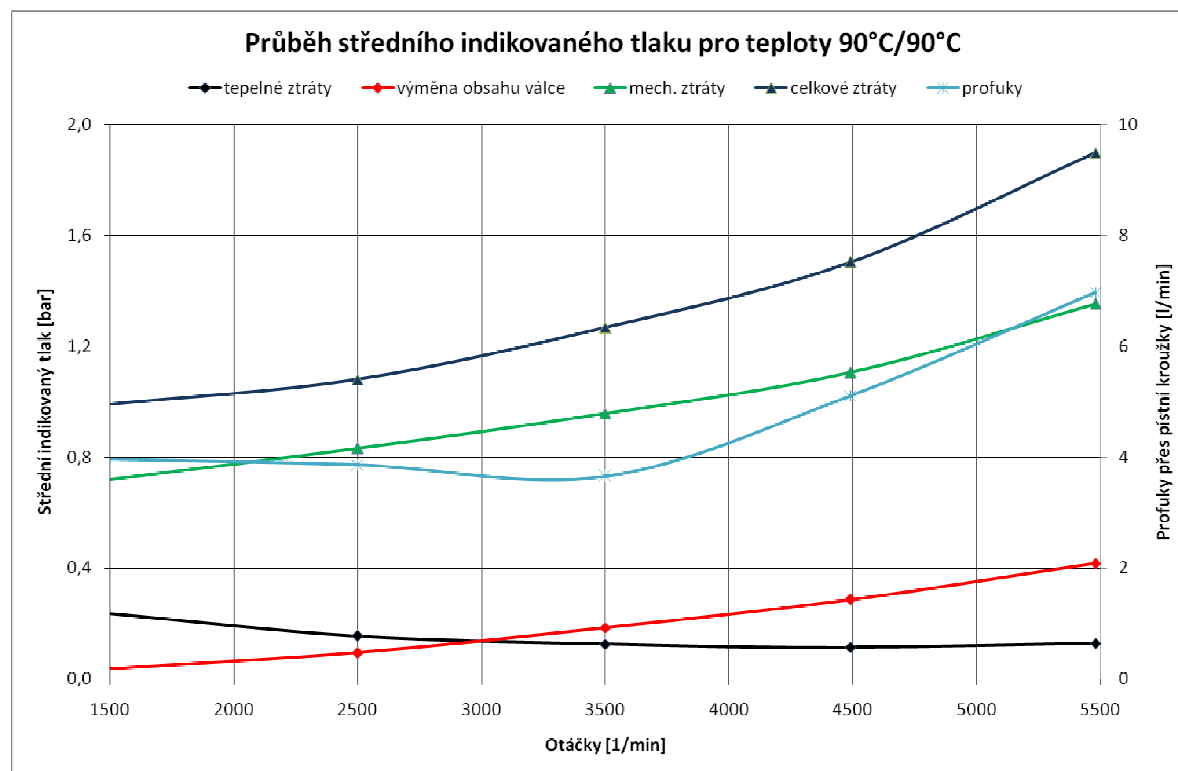
3 Výsledky experimentálního výzkumu

Výsledky experimentálního měření jsou zobrazeny v následujících obrázcích.

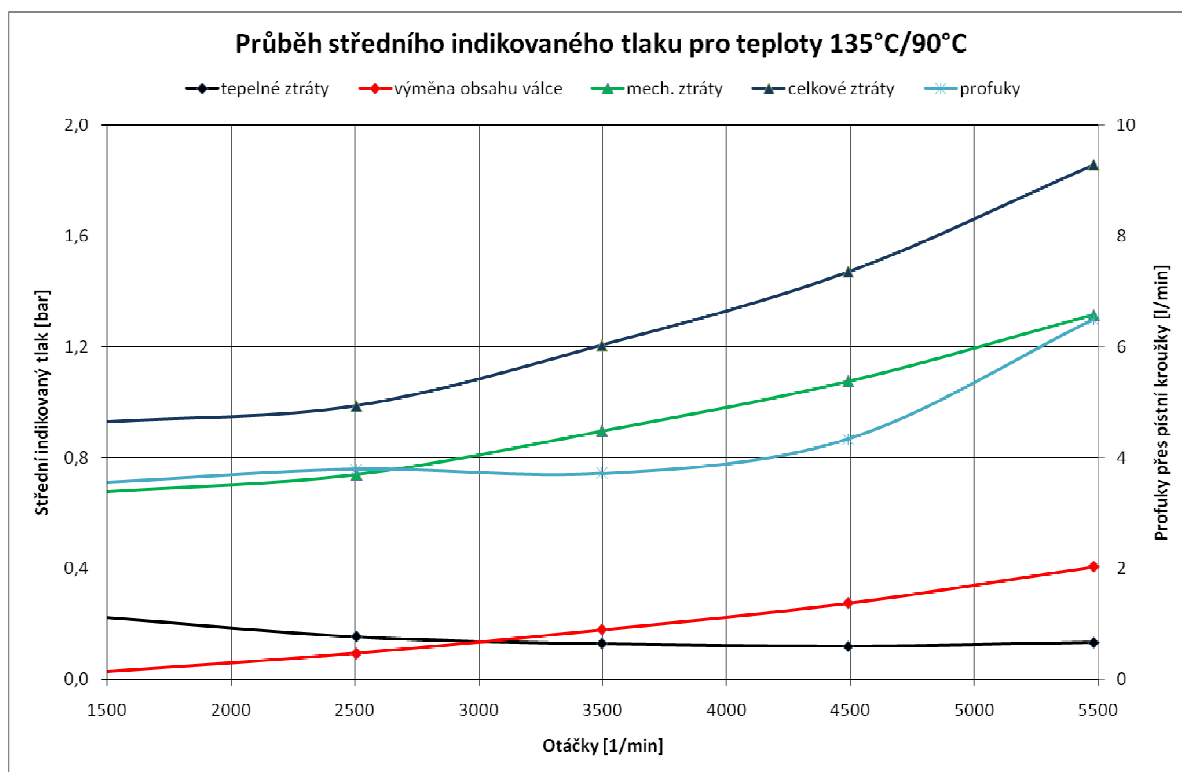
Zobrazeny jsou hodnoty ztrátového tlaku pro teplotní režimy 35 °C / 35°C, 90 °C / 90°C a 135 °C / 90°C (teplota mazacího oleje / teplota chladící kapaliny).



Obrázek 4: Ztrátový tlak pro 35 °C/35 °C



Obrázek 5: Ztrátový tlak pro 90 °C/90 °C



Obrázek 6: Ztrátový tlak pro 135 °C/90 °C

4 Závěr

Cílem tohoto výzkumu je rozbor termodynamických dějů a mechanických ztrát spalovacího motoru za simulovaných provozních teplotních podmínek. Tyto měření probíhají pro různé kombinace jednotlivých komponentu spalovacího motoru. Na jednotlivých komponentech k úpravám povrchu nebo se měří komponenty od jiných výrobců. Měření varianty jsou následně připraveny na měření při dlouhodobých zkouškách. Toto měření bylo provedeno v laboratořích katedry vozidel a motorů na Fakultě strojní Technické univerzity v Liberci.

Poděkování

Tato práce vznikla za přispění účelové podpory určené na specifický vysokoškolský výzkum v rámci studentské grantové soutěže TUL

Inovace výrobního zařízení na výrobu loketní opěrky osobního automobilu

SVOČ

Bc. Martin Franc

Sekce: STROJÍRENSTVÍ

Fakulta STROJNÍ, 2. Ročník

Magisterský studijní program – INOVAČNÍ INŽENÝRSTVÍ

Abstrakt: Práce se zabývá inovací výrobního zařízení na výrobu loketní opěrky osobního automobilu. Práce obsahuje kombinované řešení uchopovacího mechanismu a automatizovaného pracoviště, pracující bez zásahu obsluhy. Pro celý proces návrhu výrobku až po zkonstruování bylo využito metod inovačního inženýrství. Z navržených konceptů byly vybrány vítězné varianty a byly optimalizovány z hlediska DFX, FMEA a MKP.

Klíčová slova: inovace, loketní opěrka, uchopovací mechanismus, pracoviště, DFX, FMEA, MKP

1. Úvod

V dnešní moderní době je kladen důraz na kvalitu zboží, jeho dílenské zpracování a snižování výrobních nákladů s ponecháním kvalitativního standardu. Z pohledu inovačního inženýra je tato doba výzvou pro uplatnění jeho znalostí k zefektivnění procesu výroby a snížení nákladů nebo k vývoji výrobku, kterým se podaří něčím oslovit zákazníka a firma tak získá výhodu před konkurencí. Firma neschopná dnešní silné konkurenci čelit, dříve nebo později zanikne, a proto je nutné se inovačnímu procesu věnovat systematicky.

1.1. Představení společnosti Fehrer, Fehrer Bohemia s.r.o.

Nadnárodní společnost Fehrer, která byla založena v roce 1875 v Kitzingen, je mezinárodním specialistou automobilových součástek. Tato společnost je charakterizována mnoha orientovanými servisními středisky po celém světě a výrobními závody v těsné geografické blízkosti svých partnerů.

Fehrer Bohemia s.r.o. je hlavním specialistou na trhu pro pohodlí v interiérovém vybavení vozidla. Jako národní koncern má v České republice pobočky v České Lípě a Liberci s celkovým počtem 1000 zaměstnanců. Hlavní produkty společnosti tvoří tvarové díly z přírodních vláken a polyuretanové pěnové díly pro autosedačky a systémové díly pro interiéry osobních automobilů.

2. Současný výrobní postup

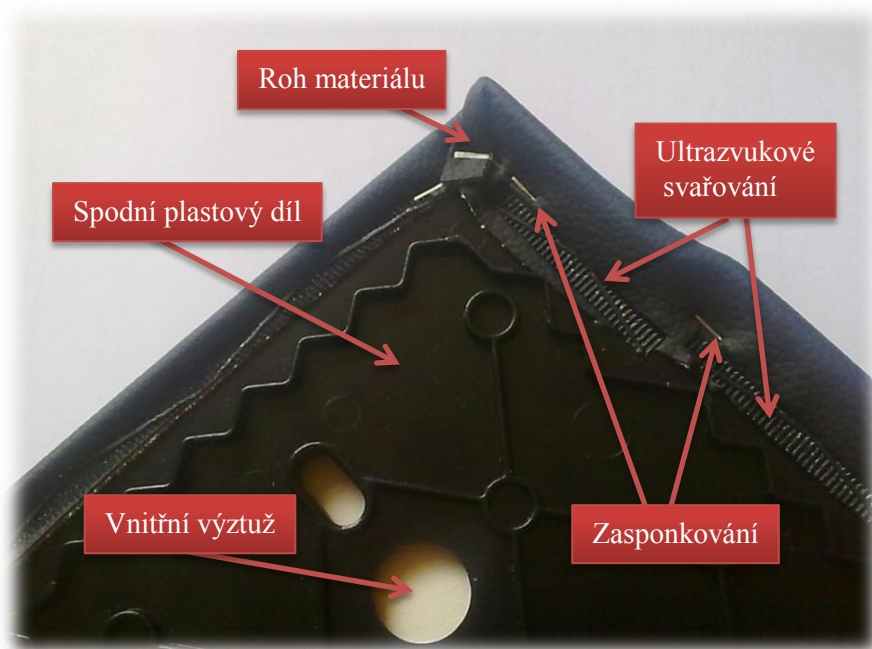
Výroba loketní opěrky je složena z několika operací, u kterých je vždy potřeba dodržet stanovené normy, tolerance, přitlačné síly, množství nanášeného lepidla a mnoho dalších faktorů ovlivňující celkovou kvalitu výsledného výrobku. Tyto normy jsou stanoveny společností Fehrer.

Sled operací pro výrobu loketní opěrky:

- 1) Ustanovení spodního plastového dílu do strojové šablony
- 2) Nalisování vnitřní výztuže na spodní plastový díl
- 3) Nanesení lepidla na zvolený druh materiálu (textilie, koženka nebo kůže) opěrky a jeho následné přilepení.
- 4) Strojové ohnutí povrchu do vnitřní (nepohledové) strany budoucí loketní opěrky
- 5) Po celém obvodu je provedeno ultrazvukové svařování materiálu (textilie, koženka nebo kůže) se spodním plastovým dílem – bez rohů
- 6) Zasponkování materiálu (textilie, koženka nebo kůže) – bez rohů
- 7) Ruční natažení a ohnutí rohů
- 8) Zasponkování rohů

Operace v krocích 1-6 jsou prováděny zcela automatizovaně. Pouze operace 7 a 8 jsou prováděny za pomoci lidského faktoru, který je potřeba také plně zautomatizovat a tím se i tato diplomová práce bude dále zabývat.

Dále na Obr. 1 je uveden podrobný popis části loketní opěrky, která je zadána pro inovaci této diplomové práce.



Obr. 1: Detail místa zasponkování rohu na části loketní opěrky

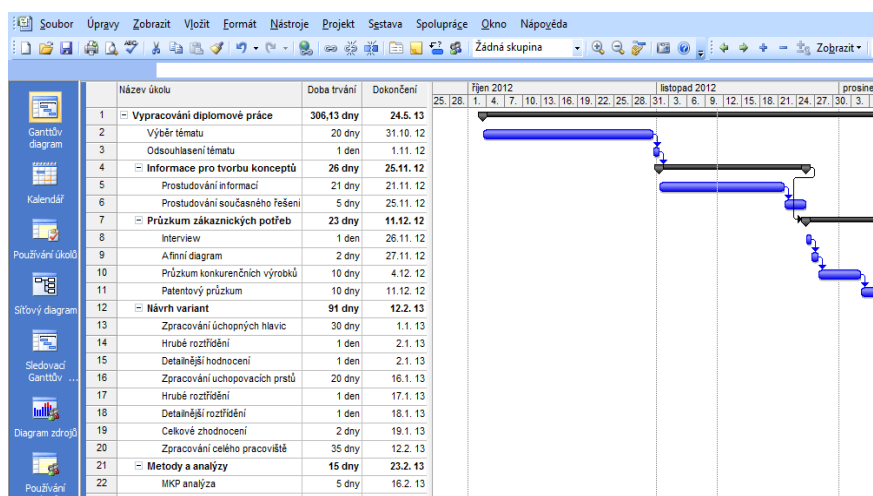
V současné době je uchycení rohu prováděno pracovníkem, který roh uchopí mezi palec a ukazováček. Tento způsob je velmi individuální a nepraktický. Jelikož cíl společnosti je dosažení minimálních výrobních nákladů a minimum odřezků materiálů, jsou tyto rohy velice malé k uchopení a pracovníci s touto operací mají obtíže. Dále tento způsob může způsobit jak nepřesné uchycení rohu, tak i ztížení následné operace zasponkování z mnoha důvodů, jako mohou být velké prsty pracovníka. Dále je toto řešení z časového hlediska velmi neproduktivní, a proto je cílem takové úkony nahrazovat automatizovanými prvky, které se obejdou bez zásahu obsluhy a mohou tento proces provádět nepřetržitě po celou pracovní dobu.



Obr. 2: (zleva) Uchycení rohu materiálu, správné zasponkování rohu materiálu

3. Postupy inovace

K této práci bylo přistupováno jako k projektu. V prvotní fázi každého projektu je potřeba určit především termín odevzdání a cíle, které je nutno splnit v požadovaném časovém rozmezí. Proto byl vytvořen harmonogram.



Obr. 3: Harmonogram

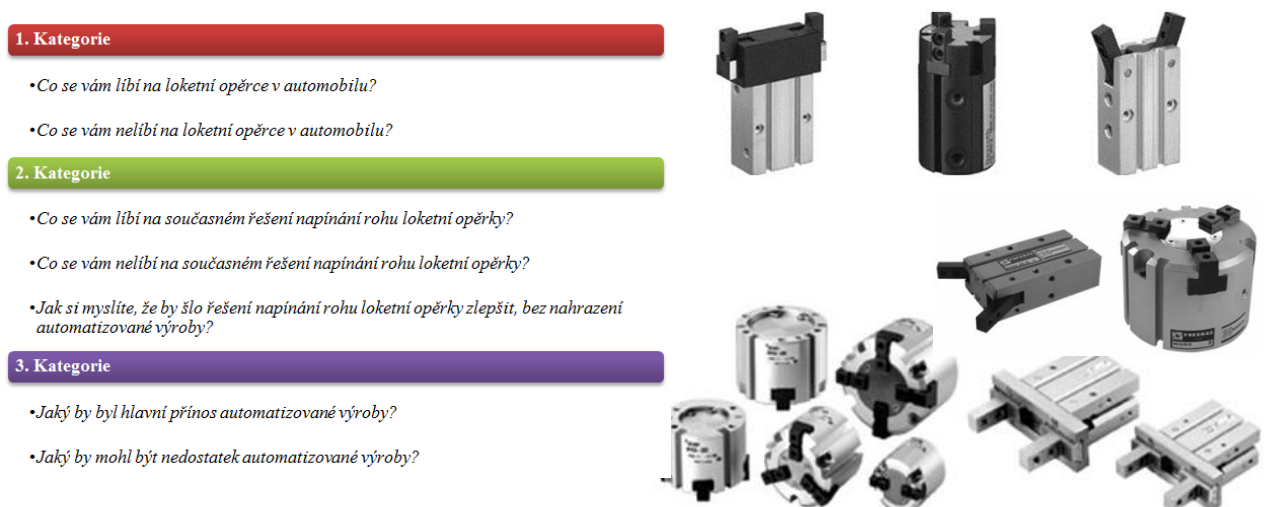
Po vypracování harmonogramu bylo nutné provést před – projektovou fází, kde se posuzovala daná příležitost a prozkoumávala možnost její realizace. Byly vytvořeny základní otázky a odpovědi.

Otázky	Odpovědi
O jaký typ projektu se jedná?	Produktový projekt, interní vývoj, projekt s TU v Liberci
Předmět a rozsah projektu?	Inovování výrobního zařízení na výrobu loketní opěrky v rozsahu práce
Cíle projektu?	Metoda S.M.A.R.T.
V jakém kontextu?	Zohlednění požadavků společnosti Fehrer a TU v Liberci
Výchozí podmínky?	Veškeré zdroje jsou dostupné
Výchozí předpoklady?	Nižší výrobní náklady, zvýšení produktivity, bezpečnost, spolehlivost, opakovatelnost
Zdroje financování?	Nejsou známy – jedná se o prvotní vývoj automatizovaného zařízení pro tuto operaci
Kritéria úspěchu?	Zhotovení uchopovacího mechanismu, obhájení konstrukčního řešení

Tab. 1: Základní otázky a odpovědi

3.1. Interview a průzkum trhu

V první řadě bylo provedeno interview se zaměstnanci společnosti Fehrer, kteří se podílejí na vývoji výrobního procesu loketních opěrek. Pro toto interview bylo vypracováno 7 otázek. Dále byl proveden průzkum výrobců, kteří se zabývají problémem uchopení součástí.



Obr. 4: (zleva) Interview, uchopovací hlavice

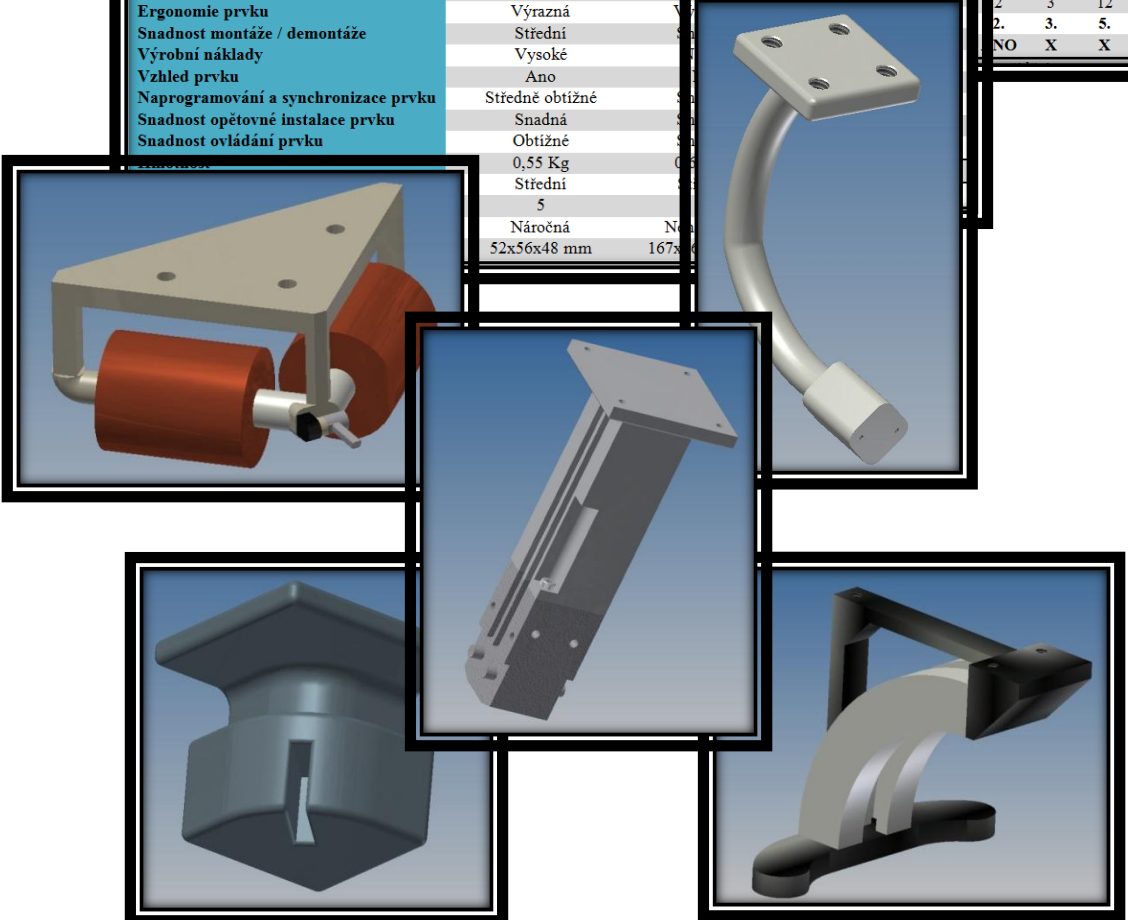
3.2. Volba částí uchopovacího mechanismu

Tato volba částí byla rozdělena do dvou kategorií, kde v první byla volba úchopné hlavice, která bude připojena k průmyslovému robotu, a v druhé kategorii byly uchopovací prsty. Tyto části byly podrobeny hrubému hodnocení, které rozhodlo, jaké varianty postoupí do dalšího detailnějšího vyhodnocení, které určilo konečného vítěze. Na základě vybraných vítězných variant byl zkonstruován uchopovací mechanismus a následně celé pracoviště ve 3D.

Kritérium	Varianty					
	1	2	3	4	5	6
Snadná manipulace s prvkem	+	+	+	+	+	+
Lehkost konstrukce	-	-	+	+	-	+
Spolehlivost	+	+	+	+	+	+
Snadnost změny poloh	+	+	+	+	+	+
Trvanlivost při častém používání	-	+	-	-	-	+
Servisní nenáročnost	+	+	+	+	+	+
Ergonomie prvku	+	+	-	-	-	+
Snadnost montáže / demontáže	+	+	+	+	+	+
Výrobní náklady	+	-	-	-	-	+
Vzhled prvku	+	+	+	+	+	+
Naprogramování a synchronizace prvku	+	+	+	+	+	+
Snadnost opětovné instalace prvku	+	+	+	+	+	+
Snadnost ovládání prvku	+	+	+	+	+	+

Kritérium	Váha (%)	Varianty			
		3		6	
		Hodnota	Vážená hodnota	Hodnota	Vážená hodnota
Snadná manipulace s prvkem	10	5	0,5	10	1
Lehkost konstrukce	5	5	0,25	8	0,4
Spolehlivost		0,16	6	0,24	
Snadnost změny poloh		0,2	8	0,4	
Trvanlivost při častém používání		0,24	8	0,32	
Servisní nenáročnost		0,09	7	0,21	
Ergonomie prvku		0,14	7	0,14	
Snadnost montáže / demontáže		0,1	5	0,1	
Výrobní náklady		0,16	8	0,32	
Vzhled prvku		0,08	4	0,04	
Naprogramování a synchronizace prvku		1,12	10	2,8	
Snadnost opětovné instalace prvku					16
Snadnost ovládání prvku					15
					6
					17
					2
					3
					12
					1
					2.
					3.
					5.
					1.
					NO
					X
					X
					ANO

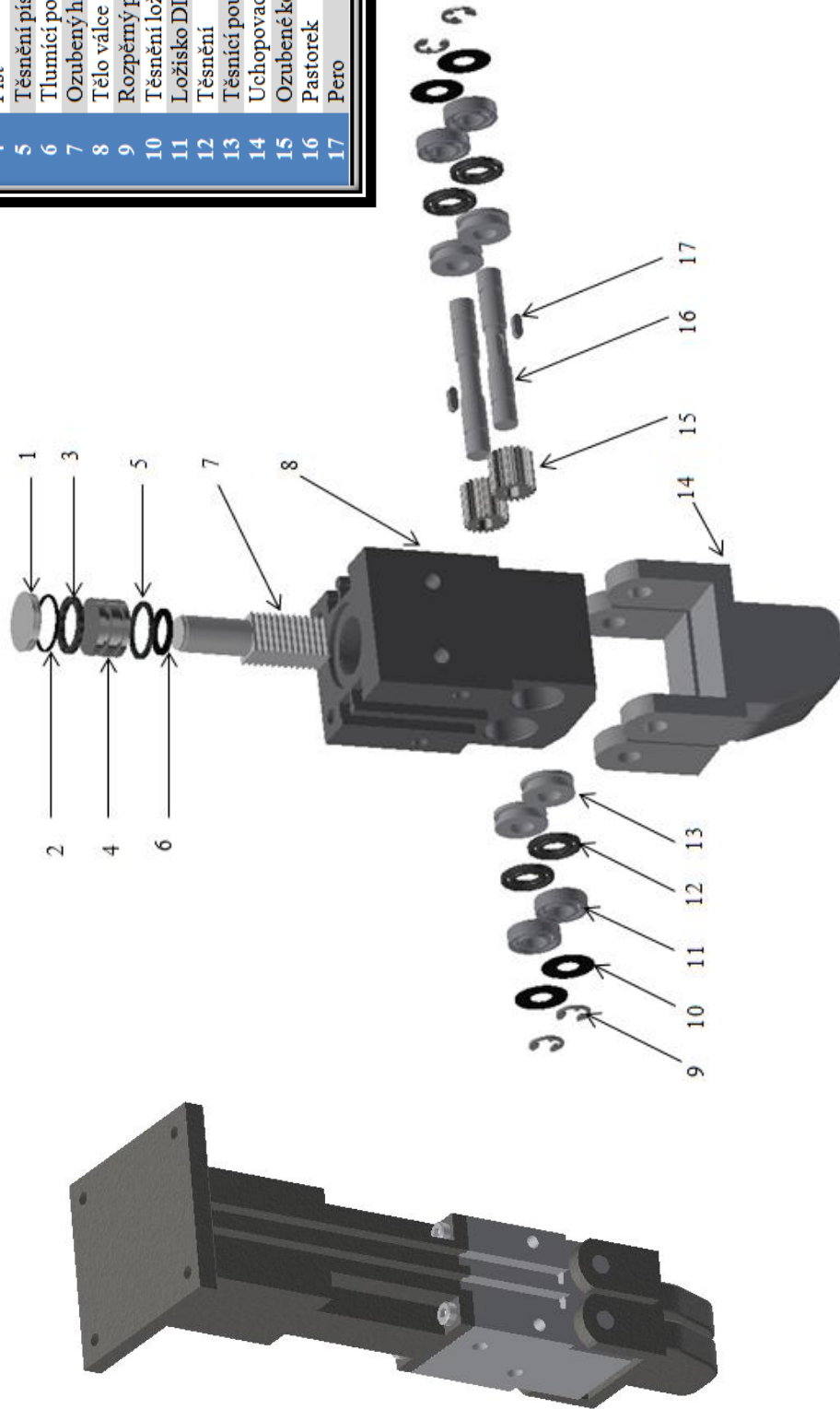
Kritéria	Varianty	
	3	6
Snadná manipulace s prvkem	Obtížná	Snadná
Lehkost konstrukce	Středně těžká	Lehká
Spolehlivost	Střední	Snadná
Snadnost změny poloh	Střední	Snadná
Trvanlivost při častém používání	Dobrá	Dobrá
Servisní nenáročnost	Obtížná	
Ergonomie prvku	Výrazná	
Snadnost montáže / demontáže	Střední	
Výrobní náklady	Vysoké	
Vzhled prvku	Ano	
Naprogramování a synchronizace prvku	Středně obtížné	
Snadnost opětovné instalace prvku	Snadná	
Snadnost ovládání prvku	Obtížné	
	0,55 Kg	
	Střední	
	5	
	Náročná	
	52x56x48 mm	167x



Obr. 5: Volba jednotlivých variant

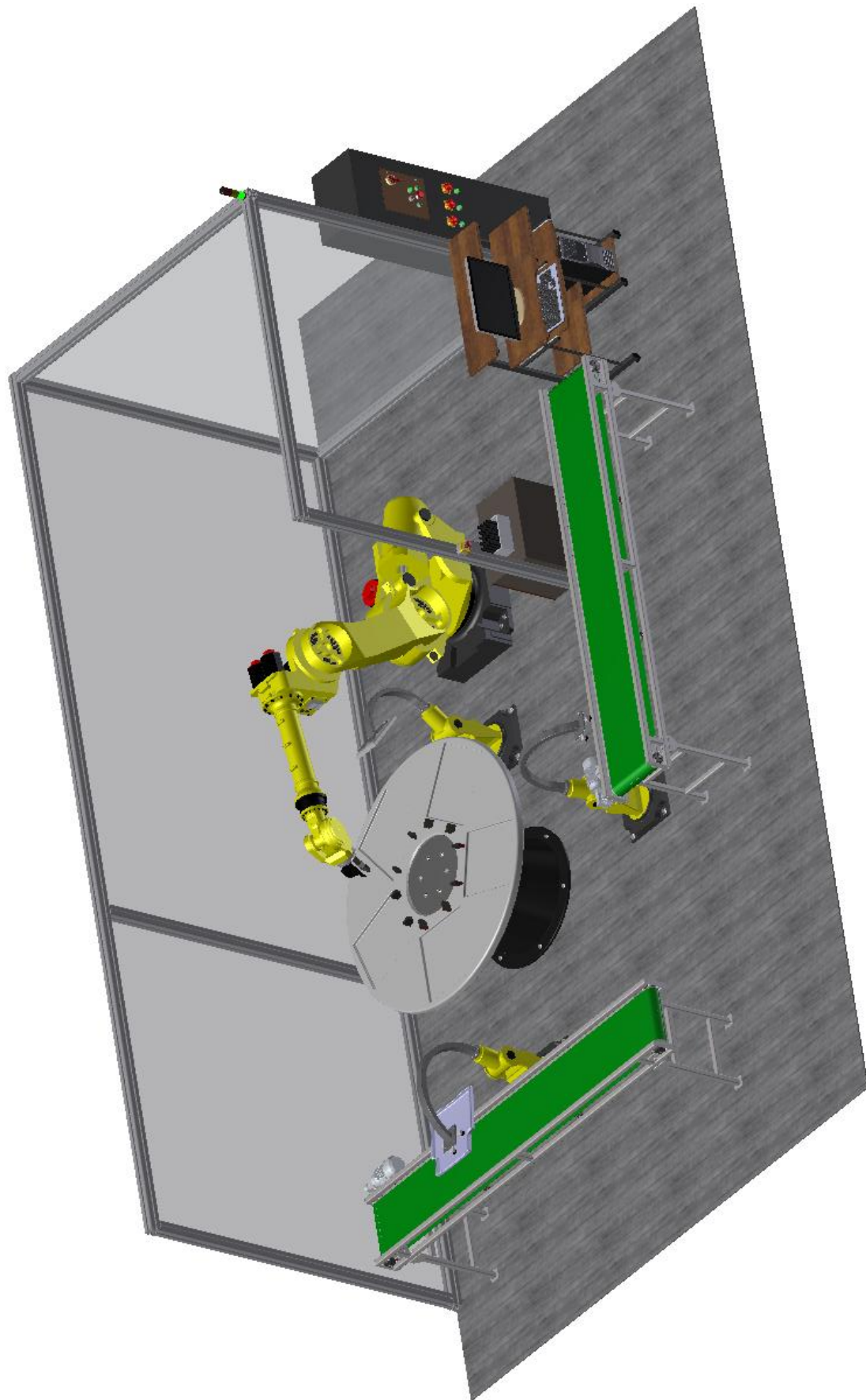
3.3. Uchopovací mechanismus, rozpadové schéma

Číslo dílu	Jméno dílu	Četnost
1	Dno válce	1
2	Těsnění dna válce	1
3	Magnet	1
4	Píst	1
5	Těsnění pístu	1
6	Tlumící podložka	1
7	Ozubený hřebec	1
8	Tělo válce	1
9	Rozpěrný pojistný kroužek	4
10	Těsnění ložiska	4
11	Ložisko DIN 625 SKF-618	4
12	Těsnění	8
13	Těsnící pouzdro	1
14	Uchopovací prst	2
15	Ozubené kolo	2
16	Pastorek	2
17	Pero	2



Obr. 6: Uchopovací mechanismus + rozpadové schéma

3.4. 3D pracoviště



Obr. 7: Uchopovací mechanismus, 3D pracoviště

3.5. Zhodnocení inovovaného stavu

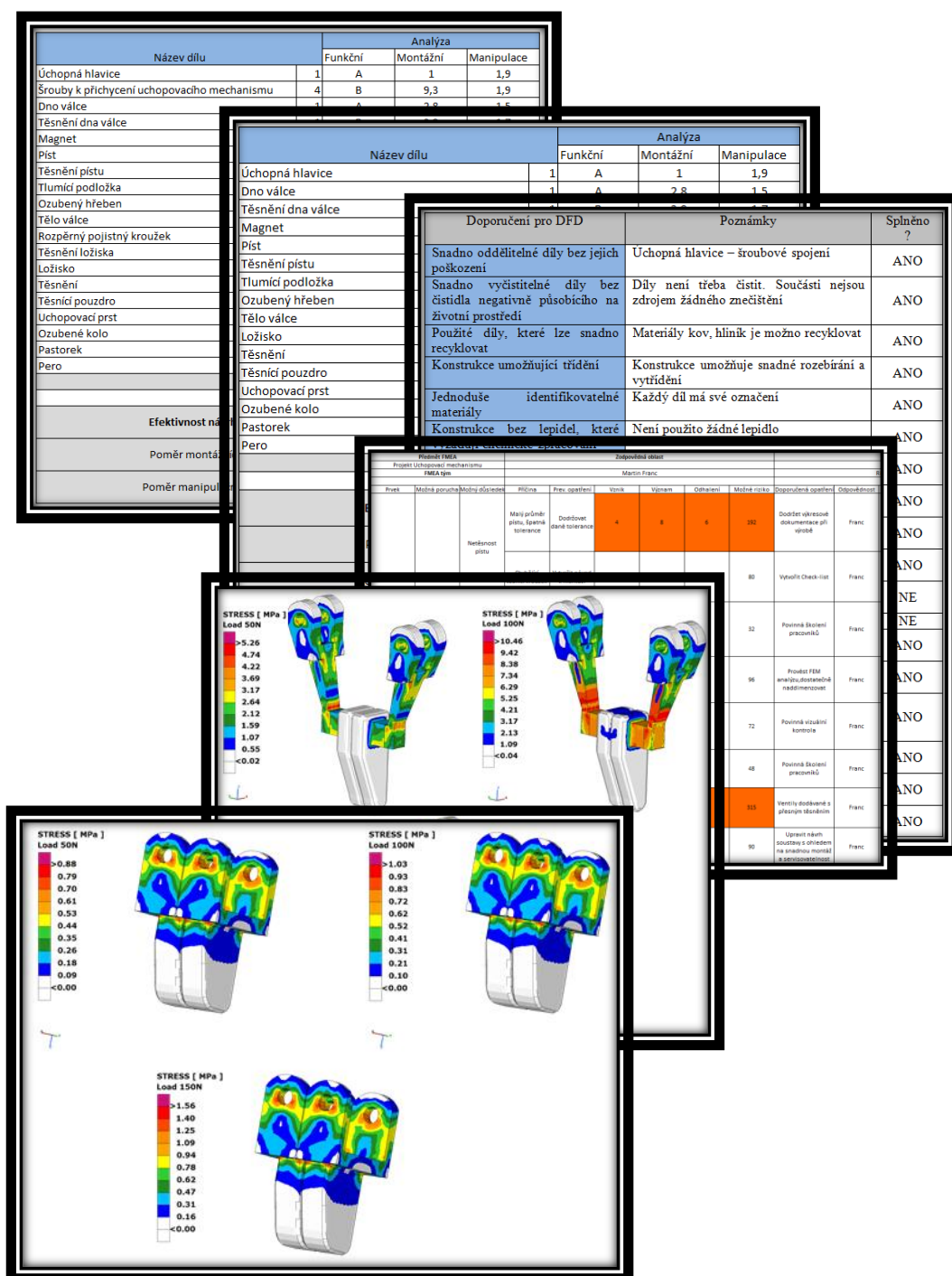
Obr. 6 zobrazuje uchopovací mechanismus, který bude sloužit k uchopení rohu materiálu loketní opěrky a následně jeho natažení, aby mohlo dojít k operaci zasponkování. Dále na tomto obrázku je vytvořeno rozpadové schéma, ze kterého je vidět princip způsobu uchopení materiálu. Jedná se o ozubené soukolí tzv. ozubený hřeben a ozubená kola. Díky tomuto principu je umožněno, aby uchopovací síla byla konstantní po celou dobu procesu. Dále je uvedeno 3D pracoviště viz Obr. 7, ze kterého je patrné, že bude pracovat plně automatizovaně bez zásahu obsluhy, což bylo hlavním požadavkem této práce. Pracoviště se skládá z již zmíněného uchopovacího mechanismu, dále ze sponkovačky, která je společně s mechanismem připojena k průmyslovému robotu FANUC R-2000iA/165F. Dále je použit otočný stůl karusel pro 5 ks loketní opěrky, 3x otočná ramena, kde dvě ramena pomocí přísavek přepravují opěrky z pásu na karusel a na třetím rameni je závaží pro zafixování polohy opěrky. Na následujících tabulkách je znázorněno porovnání současného stavu a inovovaného stavu za ponechání stejných kritérií. Na tabulce zleva jsou prvotní zákaznické požadavky na pracoviště a v druhé tabulce he znázorněno splnění všech požadavků a celkové shrnutí.

Zákaznické požadavky		Popis
Přehlednost na pracovišti – jasně a zřetelně definovaná místa (<u>lay-outy</u>)	●	Pracovníci se pohybují okolo strojů – může dojít ke zranění, jsou však seznámeni s předpisy
Bezpečnost na pracovišti – každá operace řádně zabezpečena	●	Pracovníci se pohybují okolo strojů – může dojít ke zranění, jsou však seznámeni s BOZP
Opakovatelnost – stále stejná rychlost při operaci natažení a zasponkování materiálu	●	Pracovníci ztrácí rytmus během pracovní doby (př. únavou)
Bezporuchovost – způsobilost plnit bez poruchy požadované funkce po stanovenou dobu a za stanovených podmínek	●	Ruční výměna zásobníku sponkovačky je zdlouhavá a může dojít k poškození dílů
Úspory materiálu – využít jen tolik materiálu, kolik je potřeba na zasponkování	●	Pracovníci mají různé velikosti prstů (muži/ženy), proto jsou vytvořeny větší velikosti rohů materiálu
Životnost	●	Věkem pracovníci ztrácejí koncentraci v práci, rychlost – takt.
Uchopovací síla – stále stejná síla při uchopení i natažení materiálu	●	Pracovníci ztrácejí cit a sílu během pracovní doby

Zákaznické požadavky	Současný	Inovovaný	Popis
Přehlednost na pracovišti – jasně a zřetelně definovaná místa (<u>lay-outy</u>)	●	●	Pracoviště je přehledné, jasné a místa strojů a robotů jsou zřetelně definována
Bezpečnost na pracovišti – každá operace řádně zabezpečena	●	●	Jelikož se jedná o plně automatizované pracoviště, pracující bez zásahu obsluhy, je zajištěna i bezpečnost. Pracoviště je navíc ze strany robota ohraničené klecí.
Opakovatelnost – stále stejná rychlost při operaci natažení a zasponkování materiálu	●	●	U strojů je zajištěna stále stejná rychlost při vykonávání operací
Bezporuchovost – způsobilost plnit bez poruchy požadované funkce po stanovenou dobu a za stanovených podmínek	●	●	Stroje jsou servisované a tím se předchází poruchovosti. Sponkovačka má vlastní nabíjecí zásobník
Úspory materiálu – využít jen tolik materiálu, kolik je potřeba na zasponkování	●	●	Pro snížení výrobních nákladů, je zmenšena plocha materiálu – tzn. méně zbytkového materiálu
Životnost	●	●	Stroje splňují normy i dlouhou životnost.
Uchopovací síla – stále stejná síla při uchopení i natažení materiálu	●	●	Uchopovací mechanismus má konstantní sílu po celou dobu díky ozubenému hřebenu

3.6 MKP analýza, metody inovačního inženýrství

V poslední části bylo využito metody konečných prvků pro namáhané konstrukční prvky, které v tomto případě byly uchopovací prsty. Dále byla použita metoda FMEA-K pro definování možných potencionálních vad a tím vytvořit preventivní opatření. V poslední řadě bylo využito metod Design for Assembly a Design for Disassembly.



Obr. 8: Shrnutí použitých metod

3.7 Závěrečné zhodnocení

Zákaznické požadavky	Současný	Inovovaný	Popis
Přehlednost na pracovišti – jasně a zřetelně definovaná místa (<u>lay-outy</u>)	●	●	Pracoviště je přehledné, jasné a místa strojů a robotů jsou zřetelně definována
Bezpečnost na pracovišti – každá operace řádně zabezpečená	●	●	Jelikož se jedná o plně automatizované pracoviště, pracující bez zásahu obsluhy, je zajištěna i bezpečnost. Pracoviště je navíc ze strany robota ohraničené klecí.
Opakovatelnost – stále stejná rychlost při operaci natažení a <u>zasponkování</u> materiálu	●	●	U strojů je zajištěna stále stejná rychlost při vykonávání operací
Bezporuchovost – způsobilost plnit bez poruchy požadované funkce po stanovenou dobu a za stanovených podmínek	●	●	Stroje jsou servisované a tím se předchází poruchovosti. Škonkovačka má vlastní nabíjecí zásobník
Úspory materiálu – využít jen tolik materiálu, kolik je potřeba na <u>zasponkování</u>	●	●	Pro snížení výrobních nákladů, je zmenšena plocha materiálu – tzn. méně zbytkového materiálu
Životnost	●	●	Stroje splňují normy i dlouhou životnost.
Uchopovací síla – stále stejná síla při uchopení i natažení materiálu	●	●	Uchopovací mechanismus má konstantní sílu po celou dobu díky ozubenému hřebenu

	Současný stav	Navrhovaný stav
Pracovníci	7	1
Takt (ks/hod)	30	189
Produktivita (ks/den)	2700	3 024
Produktivita (ks/rok)	704 700	789 264
Náklady pracovník (Kč/rok)	2 310 000	330 000
Energie (Kč/rok)	30 000	100 000
Nutná investice (Kč)	-	3 373 800
Marže (Kč/ks)		300
Čistý zisk (Kč/rok)	211 410 000	236 779 200
Rozdíl (Kč)		+ 25 369 200
Návratnost investice (měs.)	-	1,6

4. Závěr

Ze závěrečného zhodnocení je patrné, že veškeré zákaznické potřeby byly splněny. Přínosem této diplomové práce je možnost nového pohledu na plně automatizované pracoviště ve společnosti Fehrer a tím i zvýšení konkurenceschopnosti a produktivity. Přesto, že se jednalo o nahrazení pracovníků za automatizované pracoviště, které bude pracovat bez zásahu obsluhy, nebyl přesně stanoven zástavbový prostor. Jelikož však byly všechny zákaznické požadavky splněny, bylo společností Fehrer rozhodnuto, aby tato práce sloužila jako podklad pro vývoj automatizovaného pracoviště v roce 2013.

Literatura

- [1] Bc. Martin Franc. *Inovace výrobního zařízení na výrobu loketní opěrky osobního automobilu*

[Diplomová práce]. Liberec 2013

INOVACE LEPENÍ TĚSNĚNÍ ZAVEDENÍM JEDNOÚČELOVÉHO STROJE

Aleš Géczi

Sekce - STROJÍRENSTVÍ,
Fakulta strojní, 2. ročník
Magisterský studijní program – INOVAČNÍ INŽENÝRSTVÍ

Abstrakt: Příspěvek se zabývá inovací současného stavu lepení těsnění na filtr, které je doposud realizováno ruční výrobou. Byly provedeny návrhy konceptů řešení, kde na základě klíčových kritérií byl vytvořen konstrukční návrh jednoúčelového stroje. Při návrhu byla zohledněna nízká cena, snadná montáž a výroba dílů prostřednictvím technologií firmy GEA, pro kterou byla práce vypracována. Při tvorbě konceptu byly použity metody a nástroje inovačního inženýrství, např.: Paretova analýza, Brainstorming, dekompozice problému, FMEA a pro vybrané části návrhu stroje byla provedena pevnostní kontrola. Byla provedena konstrukce jednoúčelového stroje, který dodrží zadané požadavky a zároveň zkrátí čas potřebný pro lepení těsnění na filtr.

Klíčové slova: jednoúčelový stroj, lepení těsnění, filtr

1 Problematika současného stavu

Na pracoviště lepení těsnění přichází hotové Hepa filtry a těsnění od dodavatele. Rám filtru má rozměry v rozmezí 305x305 mm až 762x762 mm. Materiál rámu filtru může být z hliníku, MDF nebo pozinkovaného plechu. Výška rámu je od 42 mm do 292 mm. Maximální hmotnost největšího filtru je cca 20 kg. Těsnění je obdélníkové nebo čtvercové, tj. má rozměry jako filtr, viz obr. 1(a) a obr. 1(b). Protože je těsnění vyrobeno z pryže, nezachovává při manipulaci konstantní tvar, jak ukazuje obr. 2(b). Operátor natírá spojované plochy rámu a těsnění pomocí štětce. Těsnění musí v průběhu operace napínat, což zvyšuje časovou náročnost celého procesu, viz obr. 2(a). Spojení je realizováno pomocí tlaku, který ručně vyvine operátor. Spojovacím materiálem je lepidlo Alkaprén 50 Plus. Pokud je rám vytvořen z MDF, pak hlavní nedostatek této technologie spočívá v nutnosti dvojího nátěru rámu, a to z důvodů poréznosti materiálu. Po technologickém čekání na zaschnutí první vrstvy lepidla, které odstranilo pórovitost povrchů, následuje další natření lepidlem, které realizuje vlastní spojení filtru a těsnění. Délka operace se pohybuje kolem 6,8 min v závislosti na velikosti filtru. Z důvodů velké pracnosti a časové náročnosti této operace vznikl požadavek na návrh jednoúčelového stroje pro lepení těsnění na filtry.



(a)



(b)

Obrázek 1: (a) Filtr s těsněním, (b) Detail A z obr. 1(a)



(a)



(b)

Obrázek 2: (a) Ukázka ruční montáže, (b) Těsnění

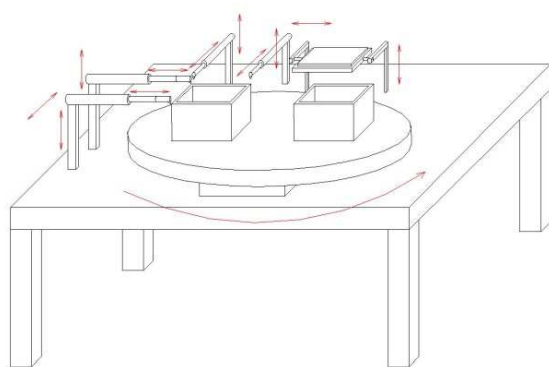
2 Konstrukční návrhy a kritéria pro jednoúčelový stroj

2.1 Kritéria pro jednoúčelový stroj

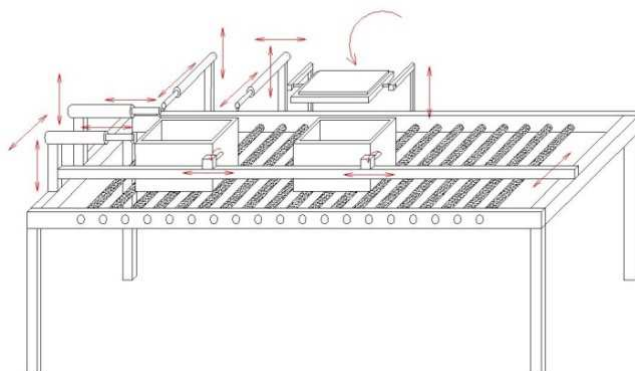
Navrhovaný jednoúčelový stroj by měl zaručit 100% spojení filtru a profilového těsnění. Hlavní přínos stroje spočívá ve zkrácení celkového času (samotná operace a technologický čas) pro vykonání této operace a to na 2 min a v eliminaci ručních operací, čehož se má docílit zavedením částečné automatizace. Náklady na výrobu tohoto zařízení by měly být do 200 000 Kč. Měl by se zachovat stávající počet operátorů pro tuto operaci, tj. tento jednoúčelový stroj by měl být obsluhován jedním operátorem. Na hale je možno využít pouze pneumatický rozvod vzduchu o tlaku 6 barů a přívod elektrické energie. Důležitým hlediskem, na které by měl být kladen důraz, je co nejmenší zástavbová plocha.

2.2 Koncepty

Výsledkem všech analýz návrhů je pět možných konceptů jednoúčelového stroje, které jsou zobrazeny na následujících obrázcích (obr. 3-5) Byl vybrán a rozpracován koncept 5.

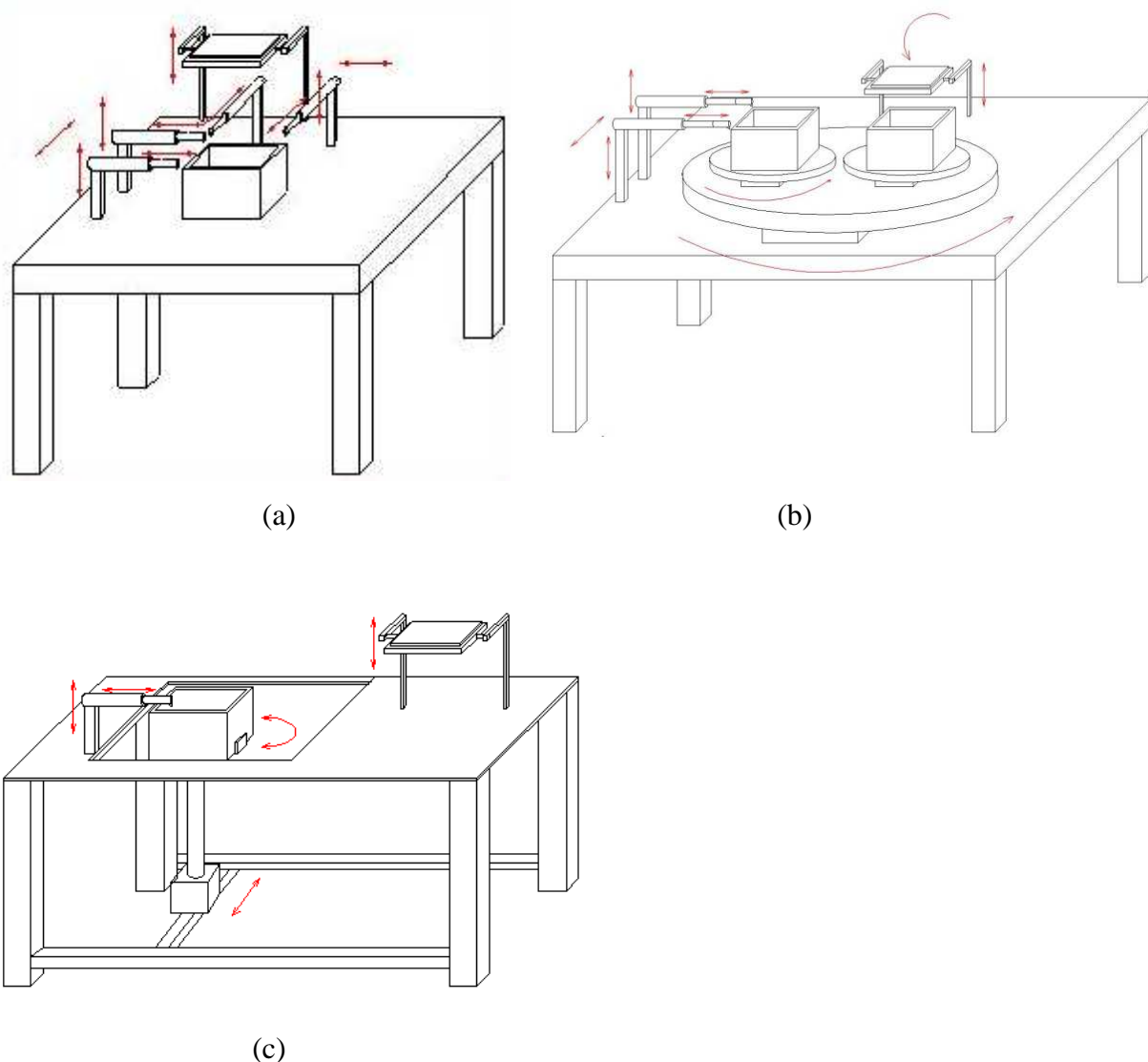


(a)



(b)

Obrázek 3: (a) Princip funkce konceptu 1, (b) Princip funkce konceptu 2



Obrázek 4: (a) Princip funkce konceptu 3, (b) Princip funkce konceptu 4,
(c) Princip funkce konceptu 5

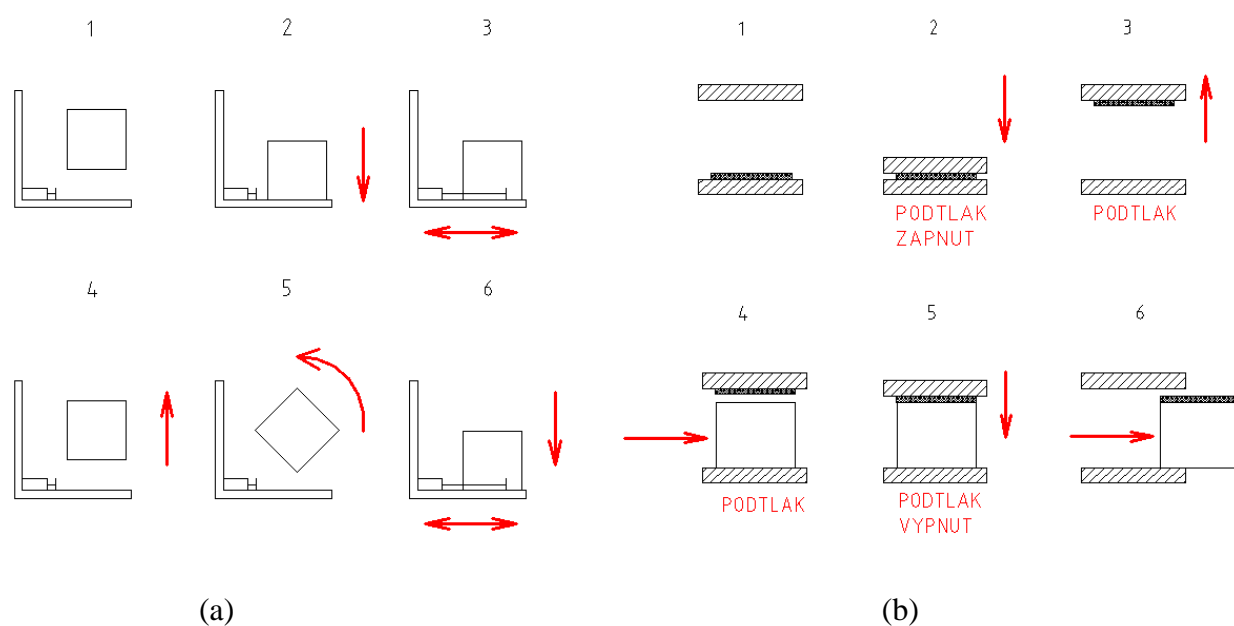
2.3 Povedení návrhu jednoúčelového stroje pro lepení těsnění

Celý proces lepení těsnění na filtr je rozdělen do dvou samostatných výrobních operací. První výrobní operací, viz obr. 5(a), je nanášení lepicí pásky na filtr pomocí pístu, který posouvá po vedení nanášecí hlavičky. Nanášecí proces probíhá následujícím způsobem:

- 1) Operátor upne filtr.
- 2) Filtr se přesune do nanášecí pozice.
- 3) Zde následuje automatické nanesení oboustranné lepicí pásky na jednu hranu filtru.
- 4) Filtr je přesunut do oblasti pro otočení.
- 5) Filtr se otočí o 90° .
- 6) Následuje návrat do nanášecí pozice a nanesení lepicí pásky. Tyto operace probíhají do té doby, než je na celém obvodu filtru nanesena lepicí páska. Během této doby operátor pracuje na druhé pozici.

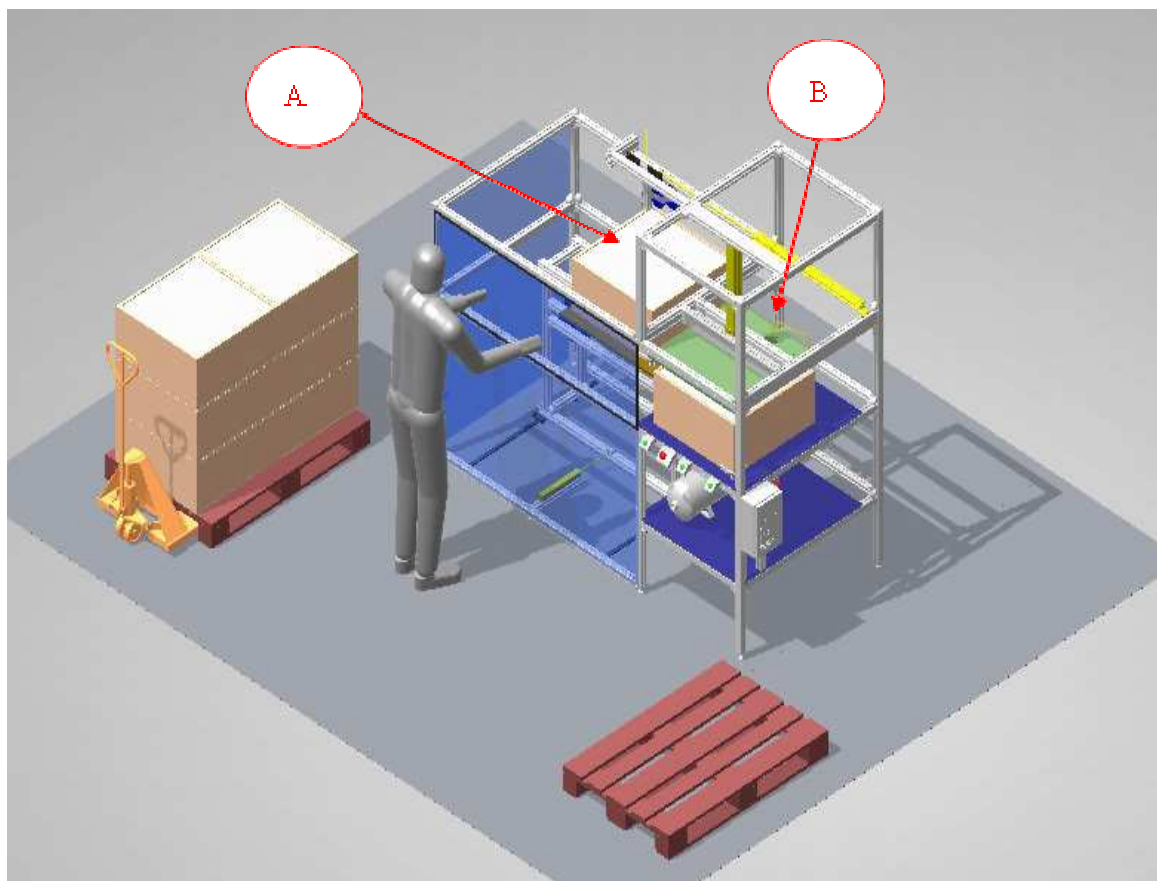
Druhá výrobní operace, viz obr. 5(b), se skládá z následujících bodů:

- 1) Operátor založí těsnění do příslušné vodící drážky.
- 2) Přítlačná deska, obsahující otvory pro přísátí těsnění, sjíždí do dolní pozice. Tato deska nepatrně stlačí těsnění a zapne se podtlak (vyráběný ejektorem), který přichytí těsnění k přítlačné desce.
- 3) Přítlačná deska vyjede do horní pozice a za stálého podtlaku drží těsnění v horní pozici.
- 4) Je umístěn filtr (na přesném místě) s páskou nanesenou po obvodě.
- 5) Přítlačná deska sjíždí do dolní pozice a přitlačí těsnění na filtr, vypíná se podtlak a dochází ke spojení těsnění a filtru.
- 6) Přítlačná deska vyjede do horní pozice a je vyjímán filtr s přilepeným těsněním.

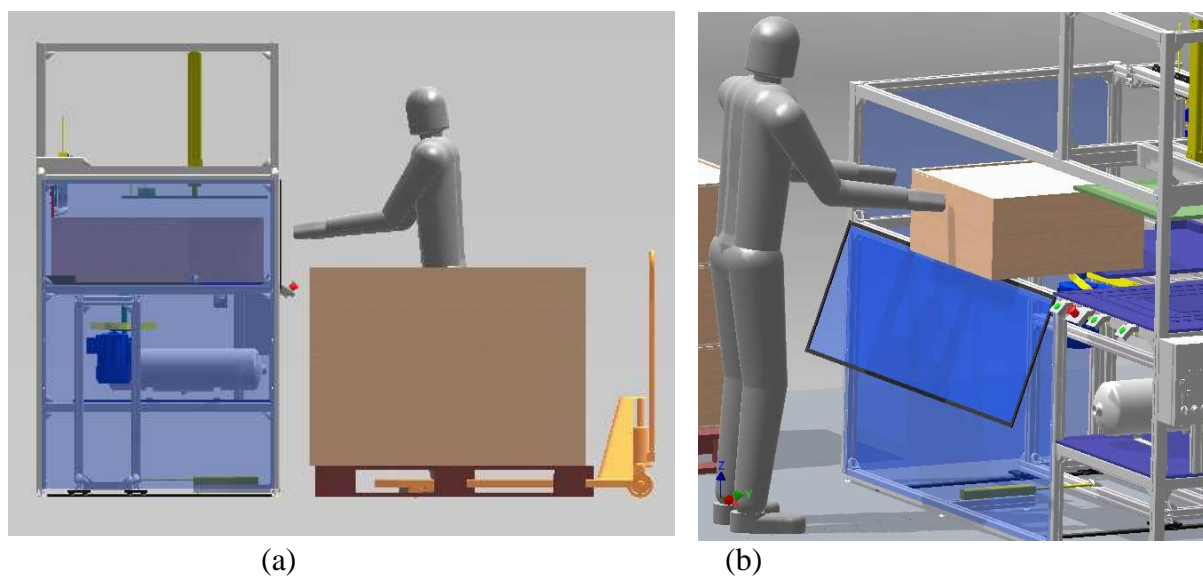


Obrázek 5: (a) Princip nanášení pásky, (b) Princip připevnění těsnění

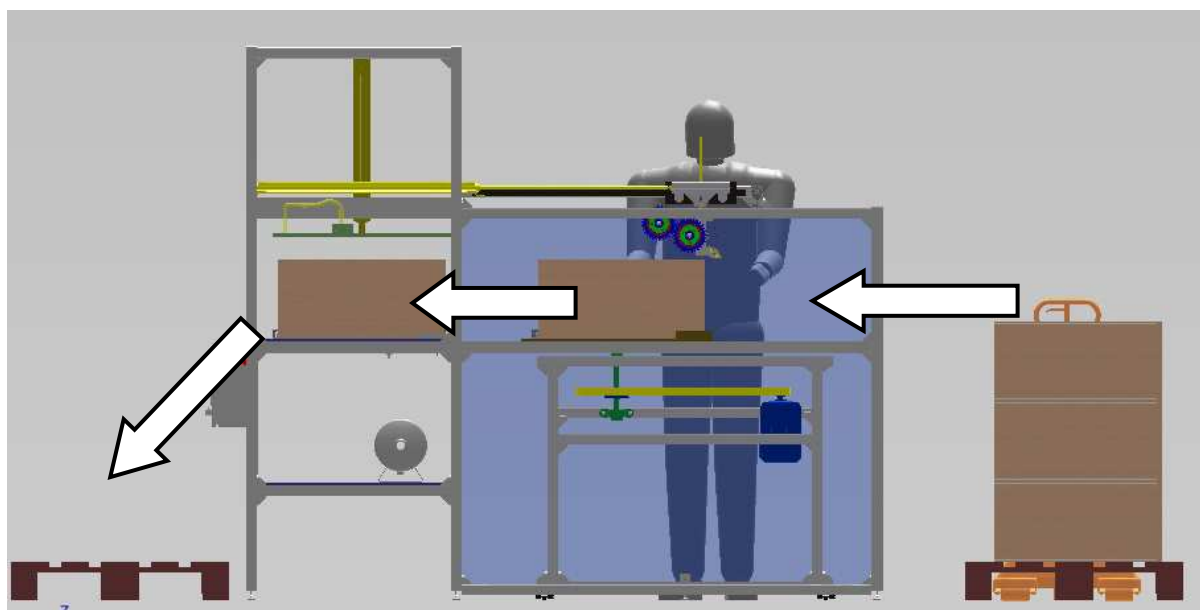
Jednoučelový stroj se skládá ze dvou pracovišť: pracoviště pro nanášení pásky (A) a pracoviště pro připevnění profilového těsnění (B) viz obr. 6. Celá nosná konstrukce jednoučelového stroje je sestavena z hliníkových profilů řady 8 o rozměru 40x40 mm od firmy Industrietechnik GmbH, které jsou spojeny rohy, ve kterých jsou imbusové šrouby M6. Na obr. 7(a) a obr. 8 je vidět bokorys a nárys jednoučelového stroje, které dokreslují ergonomii stroje. Model figuríny v obrázcích reprezentuje průměrnou postavu muže a je patrné, že manipulace s filtrem probíhá v úrovni pasu. Jednoučelový stoj je také výškově nastavitelný pomocí šesti vysouvacích nohou. Dále na obr. 8 je zobrazen průchod filtru jednoučelovým strojem. Přesun mezi výrobními operacemi zajišťuje operátor. Protože na pracovišti pro nanášení lepicí pásky dochází k rotačnímu pohybu stolu s filtrem, je tato část stroje zakryta průhledným plexisklem a to z důvodů zajištění bezpečnosti operátora. Obr. 7(b) zobrazuje vkládání filtru do jednoučelového stroje, kterému předchází otevření dveří z plexiskla. Aby tyto dveře zabíraly co nejméně prostoru a nemusely být zvedány do výšky hlavy a tak neohrožil jejich pád, jsou uchyceny na pantech v rovině stolu.



Obrázek 6: Realistický 3D pohled na celý jednoúčelový stroj

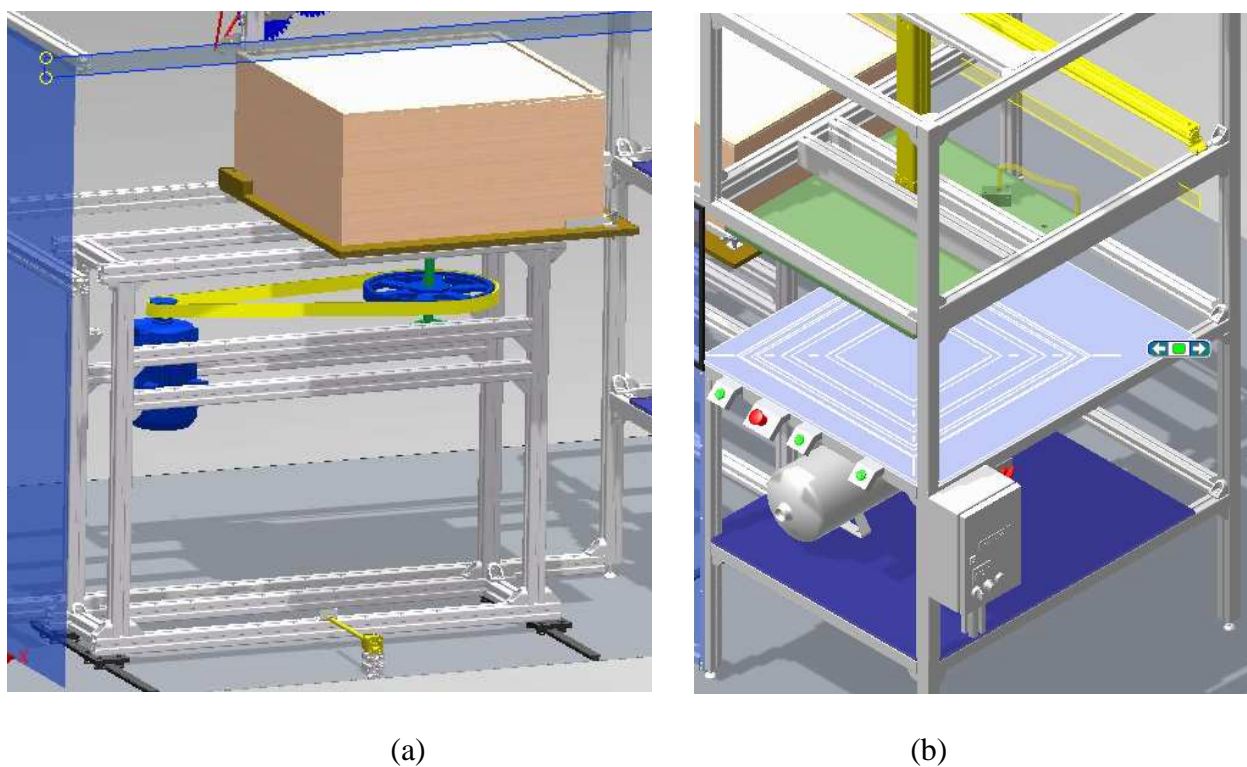


Obrázek 7: (a) Bokorys jednoúčelového stroje, (b) Detail vkládání filtru



Obrázek 8: Nárys jednoúčelového stroje zobrazující tok filtrů jednoúčelovým strojem

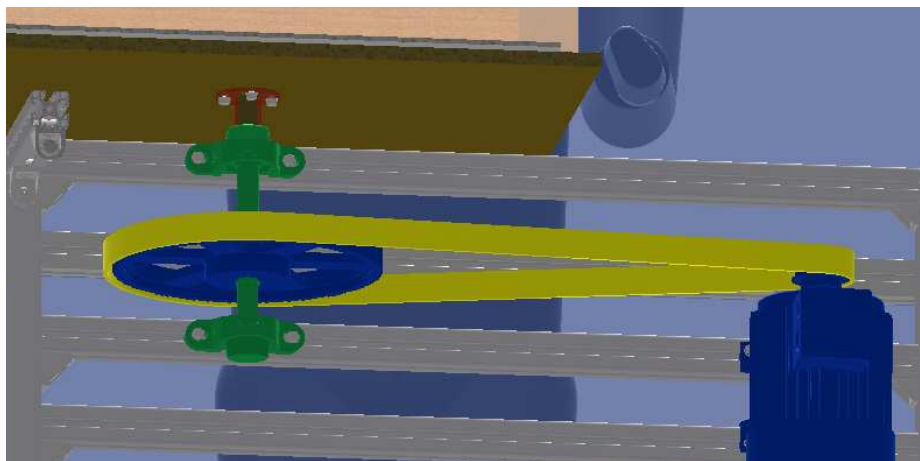
Na obr. 9(a) obr. 10 je detail zařízení, které zajišťuje posun filtru do nanášecí pozice a otočení filtru o 90°. Pracoviště pro připevnění těsnění ukazuje obr. 9(b). Na obr. 12 je zobrazeno nanášecí zařízení, které zprostředkovává nanesení pásky na obvod filtru (vždy na jednu hranu na jedno vysunutí pístu).



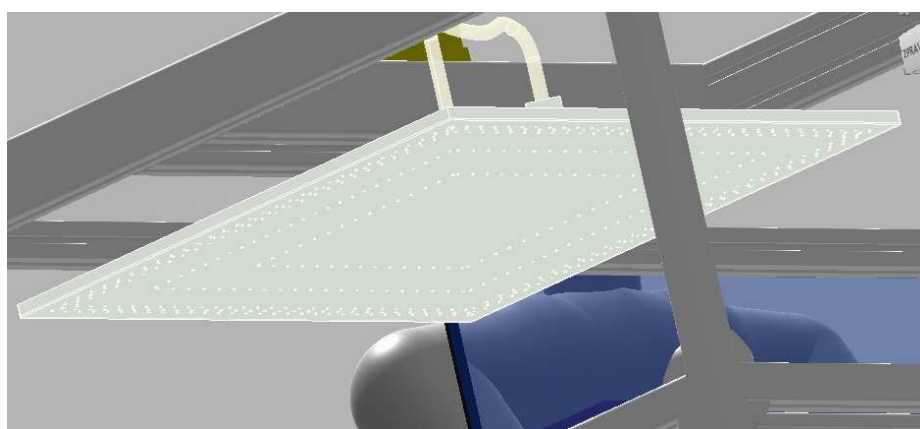
(a)

(b)

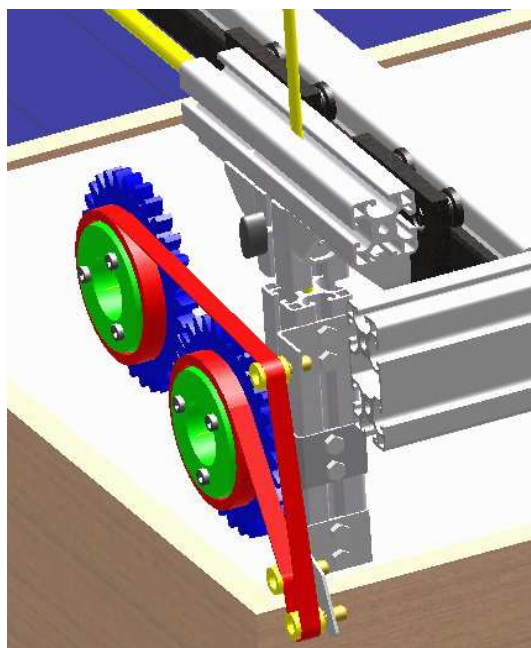
Obrázek 9: (a) Detail 1 posouvacího zařízení, (b) Detail pracoviště pro připevnění těsnění



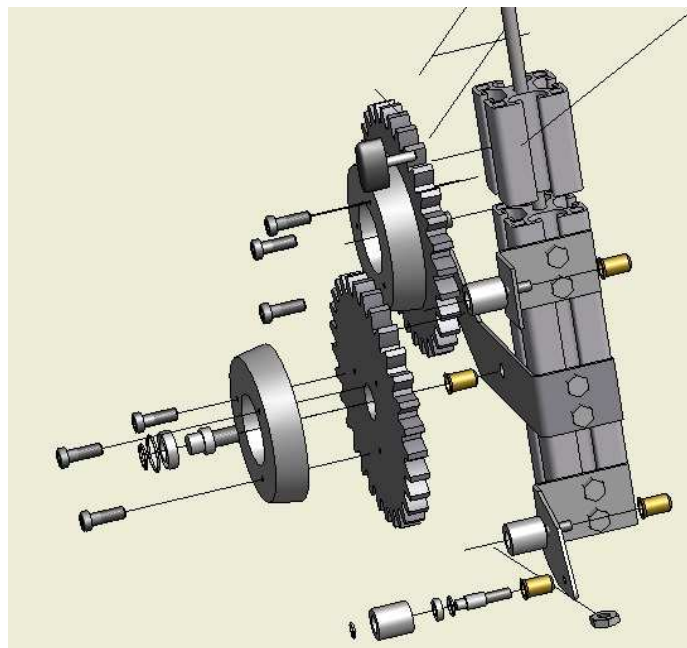
Obrázek 10: Detail 2 posouvacího zařízení



Obrázek 11: Detail přítlačné desky



(a)



(b)

Obrázek 12: (a) Detail nanášecího zařízení, (b) Nanášecí člen

3 Závěr

Navržené konstrukční řešení jednoúčelového stroje je inovací lepení profilového těsnění na filtry. Konstrukce splnila požadavek na obsluhu jedním operátorem, dále využívá pouze elektrickou energii a rozvod pneumatického vzduchu, což byly zadané požadavky na jednoúčelový stroj. Těsnost spojení, které bylo lepeno pomocí lepicí pásky je dostatečná a tudíž se dá předpokládat, že tento požadavek splní i stroj. Zástavbová plocha stroje je 2,53m² (půdorys 2,3x 1,1 m). Tento stroj je konstruován k nalepení těsnění na filtr o maximální velikosti 610x610 mm, a proto je velikost zástavbové plochy akceptovatelná.

Kromě doby otočení stolu, která musela být, z konstrukčních důvodů, prodloužena o 8 s (na všechny fáze) by měl být dodržen časový plán konceptu 5. Tudíž se dá očekávat, že čas výroby jednoho kusu by se měl pohybovat okolo 70s. Přesný čas v době návrhu nejde zjistit a bude ověřen až reálným provozem. Přesto se dá předpokládat, že požadovaný čas taktu 2 minuty bude splněn.

Přínosem konstrukčního řešení jednoúčelového stroje je podstatného zkrácení doby výroby jednoho kusu, s čím souvisí i snížení výrobních nákladů. Dalším nezanedbatelným přínosem je eliminace ruční práce zavedením částečné automatizace.

Literatura

- [1] PEŠÍK, L. Části strojů, I. díl 4.vyd. Skripta. Liberec: TU v Liberci, 2010. 226 s. ISBN 987-80-7372-573-0.
- [2] PEŠÍK, L. Části strojů, II. díl 4.vyd. Skripta. Liberec: TU v Liberci, 2010. 236 s. ISBN 987-80-7372-574-7.
- [3] BOLEK, A.; KOCHMAN, J. a kol.: Části strojů (svazek 1 a 2), SNTL – Nakladatelství technické literatury, Praha, 2012, str. 712, ISBN 80-03-00426-8
- [4] MAŠÍN, I – ŠEVČÍK, L. Metody inovačního inženýrství. Inovace, plánování a navrhování výrobku. 1.vyd. 2006 ISBN 80-903533-0-4
- [5] PETRU, M.; NOVAK, O, LEPSIK, P.: Increase of the efficiency of the production lines for the spinning of inorganic nanofibers by the electrostatic field intensity optimization, MM Science Journal, 2012, str. 382 -385, ISSN 1805-0476
- [6] ŠEVČÍK, L. : PLM systém a principy návrhu výroby. Liberec 2010

NUMERICKÁ SIMULACE MAGNETOHDRODYNAMICKÝCH TOKŮ

Horáková Kateřina

Sekce - STROJÍRENSTVÍ,
Fakulta STROJNÍ, 6. ročník
Doktorský studijní program – STROJNÍ INŽENÝRSTVÍ

Abstrakt: Tato práce se zabývá účinky rotačního magnetického pole na vodivou taveninu v nádobě. Pro efektivní využití magnetického pole (např. při výrobě polovodičů) je velice důležité předem vědět, jak se bude tavenina pod vlivem magnetického pole chovat, jaké proudění toto pole vyvolá a jaké bude primární a sekundární proudění. V softwaru Ansys Fluent je provedena numerická simulace proudění vyvolaného tímto rotačním magnetickým polem, vykresleny jsou silové účinky i vzniklé rychlostí pole. Simulace jsou provedeny pro válcovou a krychlovou nádobu. Pro válcovou nádobu byl dále odvozen analytický vztah pro sílu, která uvádí taveninu do pohybu (Lorentzovu sílu) a výsledky byly porovnány se simulacemi ve Fluentu. Pro krychlovou nádobu byly silové účinky porovnány s výsledky z nekomerčního kódu NS-FEM3D.

Klíčové slova: Fluent, Lorentzova síla, magnetohydrodynamika, nestacionární proudění

1 Úvod

Magnetohydrodynamika (MHD) je nauka o chování elektricky vodivé tekutiny v magnetickém poli. První zmínky o MHD se objevovaly v souvislosti s astrofyzikou a geofyzikou. V padesátých letech se zájem o MHD zaměřil hlavně na řízení termionukleární fúze (Doležal [1]). Později se zájem o MHD rozšířil i do průmyslových odvětví. V technické praxi se MHD využívá např. při kontinuálním lití oceli, při výrobě polovodičů, levitačním tavení (při výrobě superčistých kovů) a také při bezkontaktním míchání taveniny v metalurgii. Vhodně použitý druh a intenzita pole zlepšuje homogenitu a výslednou strukturu taveniny zlepšením přenosu tepla a hmoty.

Téma této práce navazuje na odborný výzkum týmů z Německa, z Lotyšska, Izraele, Francie a dalších států. Protože experimentální výzkum MHD je poměrně náročný, jako vhodný způsob řešení magnetohydrodynamických toků se ukázaly být numerické simulace. V odborných publikacích (např. Mößner [2], Barz [3]) se zkoumají různé druhy magnetického pole a jejich vliv na taveninu. Jako nejlépe využitelné se v posledních letech zdá rotační magnetické pole (Dold [4], Stiller [5]). Zkoumá se však např. i skládání různých magnetických polí dohromady (Doležal [1]), skládání několika stejných (rotačních) polí, avšak s různou intenzitou, úhlovou rychlostí či smyslem rotace (Spitzer [6]). Pro efektivní využití magnetického pole je nutné vhodně zvolit intenzitu magnetického pole a další parametry, jinak by se místo pozitivního vlivu magnetického pole na taveninu objevily či zvýraznily vlivy negativní (mikrosegregace - Dold [7] a makrosegregace - Willers [8]).

1.1 Popis problematiky

Magnetohydrodynamické jevy v tekutých kovech jsou vyvolány vnějším, zpravidla časově či prostorově proměnným elektromagnetickým polem, jehož rozložení je popsáno Maxwellovými rovnicemi. V elektricky vodivé tavenině se indukují vířivé proudy, které generují silové účinky působící na částice taveniny. Tyto účinky jsou příčinou proudění, které je popsáno Navier – Stokesovou rovnicí a rovnicí kontinuity (Doležal [1]). Síla, která uvádí taveninu do pohybu, se nazývá Lorentzova síla.

Cílem práce je popis zejména silového účinku rotačního magnetického pole na taveninu v nádobě (viz obr. 1). Je uvažována válcová a krychlová nádoba. Numerická simulace proudění ve válcové i krychlové nádobě je provedena pomocí komerčního softwaru Ansys Fluent s použitím nadstavbového modulu MHD. Výsledky silových účinků v krychlové nádobě jsou porovnány s výsledky nekomerčního softwaru NS-FEM3D. Pro válcovou nádobu byl proveden celý systém odvození vedoucí na analytický vztah pro Lorentzovu sílu a výsledky byly porovnány se silovými účinky z Fluentu. Simulace byla provedena pro Taylorovo číslo proudění: $Ta = 1.10^6$. Taylorovo číslo je definováno:

$$Ta = \frac{\sigma \cdot \varpi \cdot B_0^2 \cdot R^4}{2 \cdot \rho \cdot \nu^2} \quad (1)$$

kde B_0 je amplituda magnetické indukce, ϖ je úhlová rychlost magnetického pole, R je poloměr nádoby (pro krychli polovina strany krychle), ρ je hustota, ν kinematická viskozita a σ je elektrická vodivost materiálu.

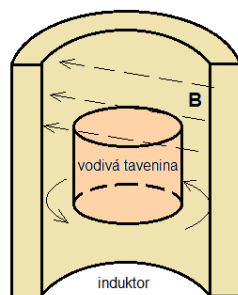
2 Ansys Fluent

Pro řešení MHD ve Fluentu byl použit nadstavbový modul MHD, což je přídatný modul pro standardní verzi Fluentu. Tento modul dovoluje analyzovat chování elektricky vodivé taveniny ovlivněné střídavým nebo stejnosměrným proudem. Externě buzené magnetické pole může být generováno pomocí vložených rovnic a knihoven, nebo mohou být data vložena externě pomocí datového souboru. Více informací o MHD modulu je v publikaci *Ansys* [9]. Rovnice v MHD modulu jsou vloženy pomocí již nadefinovaných tzv. user-defined functions (UDF) – funkce vložené uživatelem. MHD modul obsahuje UDF knihovnu a předpřipravenou knihovnu schémat. MHD modul je poměrně nový a existují ještě některé limity řešení (např. pokud je vyšší frekvence pole, je vyžadován velice malý časový krok (*Ansys* [9])) a některé další části (tuhnutí, modelování volné hladiny, vícefázové proudění atd.) budou součástí až vyšších verzí modulu a Fluentu.

2.1 Válcová nádoba

V Ansys meshingu byl vytvořen model válcové nádoby. Okrajové podmínky celého pláště i podstav byly zvoleny jako „wall“ – stěna, všechny elektricky izolované. Počet elementů sítě byl cca 550 000 (včetně zjemnění v oblasti mezní vrstvy). Model turbulence byl nastaven DDES s RANS modelem Spalart – Allmaras. Řešení MHD rovnic bylo ve Fluentu rozšířeno o výpočet Lorentzových sil. Protože jsou k dispozici pro pozdější porovnání data z proudění v krychlové nádobě z nekomerčního softwaru NS-FEM3D (*Fraňa* [10, 12]), hodnoty fyzikálních veličin taveniny byly nastaveny stejně jako v tomto kódu: hustota $\rho = 6361 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$, kinematická viskozita $\nu = 3,4 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$, elektrická vodivost $\sigma = 3,3 \cdot 10^6 \text{ S}$. Tyto hodnoty veličin byly dále použity i do odvozeného analytického vztahu pro Lorentzovu sílu. Dále byly nastaveny hodnoty externího magnetického pole – střídavé pole, úhlová rychlost magnetického pole $\varpi = 439 \text{ s}^{-1}$ a amplituda magnetického pole $B_0 = 4.478 \cdot 10^{-3} \text{ T}$. V publikaci *Ansys* [9] je popsán limit současné verze MHD modulu - pro AC pole je možnost pracovat pouze s relativně malými frekvencemi pole, pro vyšší frekvence je vyžadován velice malý časový krok. Dle nastavených parametrů bylo v tomto případě nutné použít časový krok na počátku výpočtu 10^{-6} s , poté byl zvýšen na $2 \cdot 10^{-5} \text{ s}$. Toto omezení však značně prodloužilo dobu výpočtu. Celý výpočet byl proveden na výpočetní stanici na 8 jádrech. Výpočet trval 9 měsíců a bylo dosaženo celkového času 10 s.

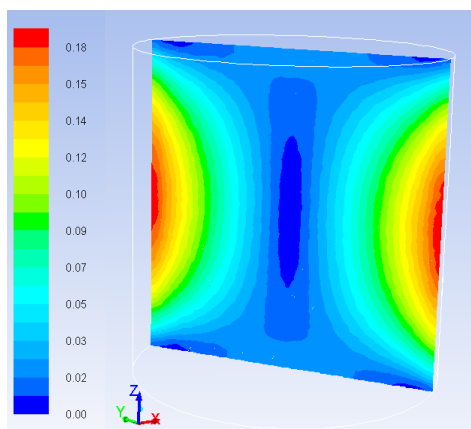
Na obr. 1 je zobrazen fyzikální popis problematiky. Válcový induktor je v řezu a uvnitř je válcová nádoba s elektricky vodivou taveninou. Tato tavenina je vlivem rotačního magnetického pole (RMF) roztáčena dominantně v azimutálním směru (primární proudění).



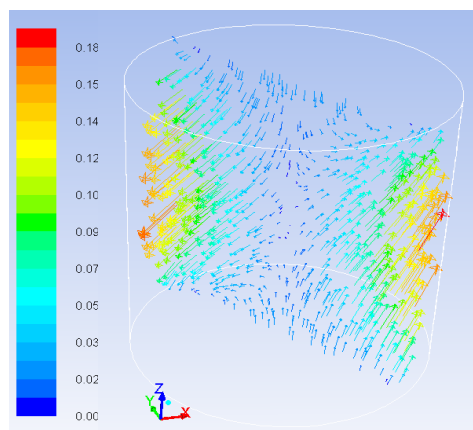
obrázek 1: Popis problematiky – proudění vodivé taveniny ve válcové nádobě vlivem RMF

Lorentzovy síly lze ve Fluentu zobrazit pouze jako okamžité, nikoli časově středované. Časové středování magnetických veličin není v modulu implementováno (*Ansys* [9]). Aby bylo možné provést porovnání hodnot a kontur Lorentzových sil pro Fluent a analytický vzorec, byl v průběhu výpočtu zobrazován graf vývoje Lorentzových sil v čase a z něho odvozena hodnota časově středovaných Lorentzových sil. Smysl Lorentzových sil se vlivem střídavého proudu mění každou periodu.

Maxima Lorentzových sil (zobrazena červeně) se nacházejí v polovině výšky nádoby v blízkosti pláště nádoby, minima (zobrazena modře) jsou u podstav a u axiální osy nádoby.



obrázek 2: Kontury celkové Lorentzovy síly (v Newtonech)



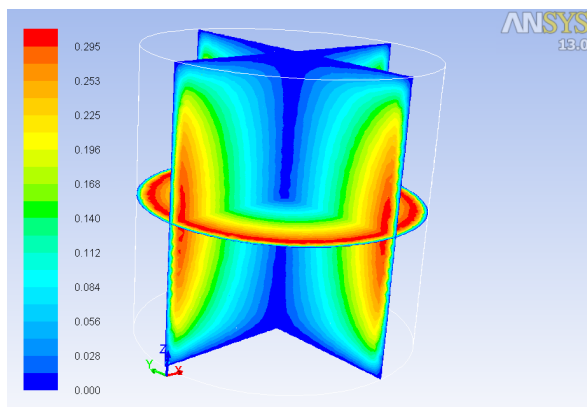
obrázek 3: Vektory sil zbarvené podle celkové velikosti síly (v Newtonech)

Na obr. 4 - 6 jsou zobrazena vyvolaná rychlostní pole. Na obr. 4 jsou zobrazeny časově středované rychlosti v azimutálním směru, na obr. 5 axiální a na obr. 6 radiální rychlosti. Maxima jsou zobrazena červeně, minima modře. Je vidět, jak je tavenina roztáčena vlivem rotačního magnetického pole dominantně v azimutálním směru. Maxima se nacházejí blízko u pláště (cca $0,9 R$), minima u horní a dolní podstavě a částečně u axiální osy.

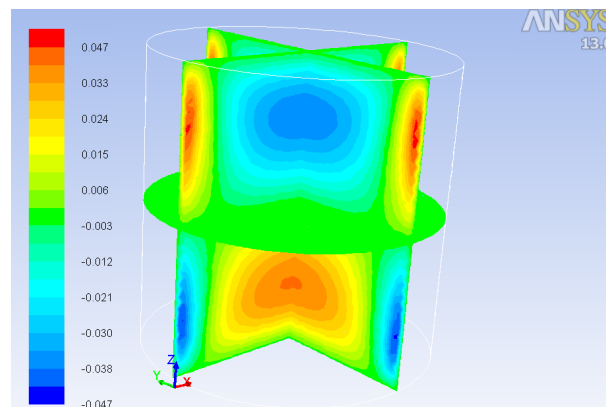
I když je tavenina vlivem rotačního magnetického pole dominantně roztáčena v azimutálním směru (primární proudění), pro promíchávání taveniny je vznikající sekundární proudění též velmi důležité. Sekundární proudění vzniká tlakovým gradientem v Ekmanově mezní vrstvě (v mezní vrstvě na horní a dolní podstavě). Ekmanovo pumpování vzniká kdykoli je rozdílná rotace mezi viskózní tekutinou a pevnou stěnou (*Davidson* [11]).

Sekundární proudění v tomto případě je zobrazeno zvlášť (obr. 5 – 6) pomocí axiálního a radiálního rychlostního pole. Kontury jsou dle teorie správně – v Ekmanově vrstvě vznikají vírové struktury, až se v tavenině vytvoří protisměrné toroidální víry (*Davidson*

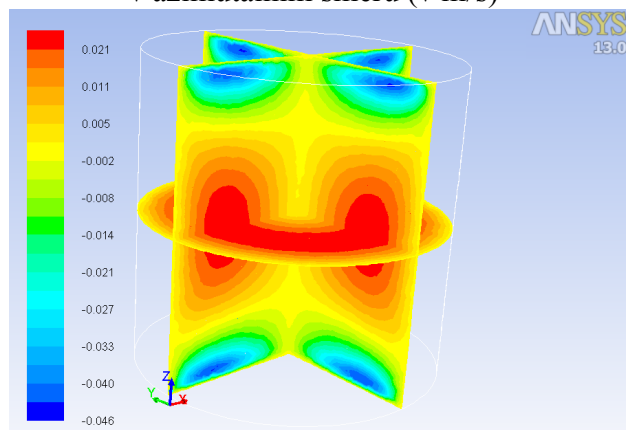
[11]). Radiální proudění je proti axiálnímu přibližně poloviční. Vznik protisměrných vírů je nejlépe vidět na zobrazení vektorového rychlostního pole (obr. 7).



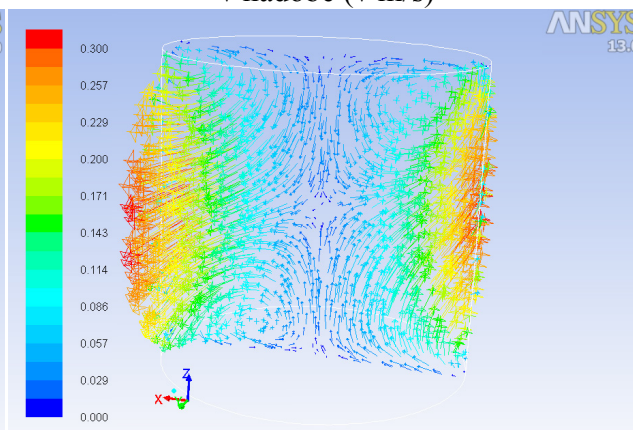
obrázek 4: Časově středované rychlostní pole v azimutálním směru (v m/s)



obrázek 5: Časově středované axiální rychlosti v nádobě (v m/s)



obrázek 6: Časově středované radiální rychlosti v nádobě (v m/s)

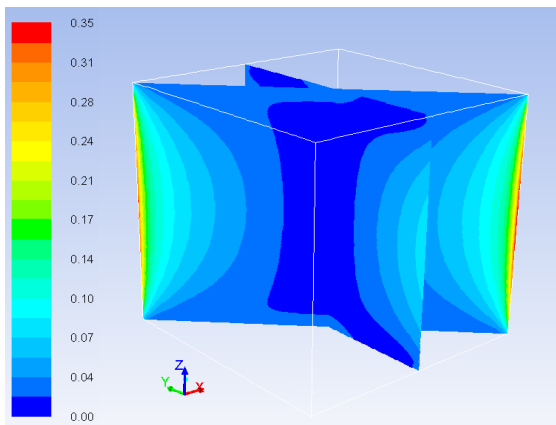


obrázek 7: Vektory celkových rychlostí zbarvené podle velikosti celkových rychlostí v nádobě (v m/s)

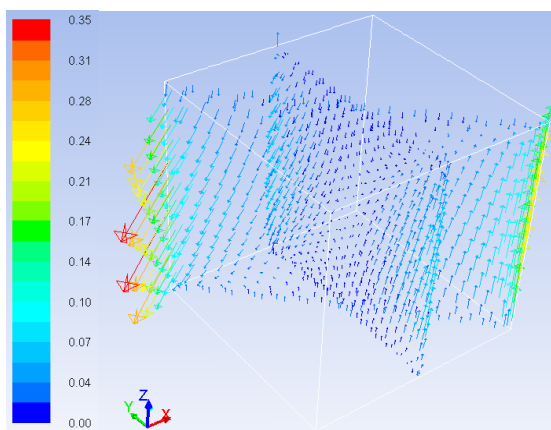
2.2 Krychlová nádoba

Stejně nastavení jako u válcové nádoby bylo nastaveno i u modelu krychle. Počet elementů sítě byl cca 850 000 (včetně zjemnění v oblasti mezní vrstvy). Pro výpočet byl opět zvolen DDES model turbulence s RANS modelem Spalart – Allmaras. Tento turbulentní model byl pro tuto problematiku již verifikován (*Fraňa* [10]). Výpočet byl proveden na pracovní stanici na 8 jádrech. U výpočtu byl nastaven velice malý časový krok – na počátku výpočtu 10^{-6} s, který byl postupně zvedán až na $2 \cdot 10^{-5}$ s. Tento malý krok byl nastaven hlavně z důvodu limitu MHD modulu (viz válcová nádoba). Za cca 9 měsíců výpočtu na výpočetní stanici byl dosažen celkový čas 10 s.

Maxima jsou opět zobrazena červeně, minima modře. Maximální Lorentzovy síly (obr. 8) se tedy nacházejí v polovině výšky nádoby v hranách pláště nádoby, minima u horní a dolní podstavy a u axiální osy nádoby. Kontury Lorentzových sil jsou podobné konturám z výpočetního kódu NS-FEM3D (*Fraňa* [12]). Hodnoty v rozích nádoby vykazují poměrně dobrou shodu ve velikosti Lorentzových sil, další hodnoty jsou však ve Fluentu o něco menší. Výsledná velikost sil je ovlivněna i tím, že Fluent počítá i se složkou síly f_z .



obrázek 8: Kontury celkových Lorentzových sil (v Newtonech)

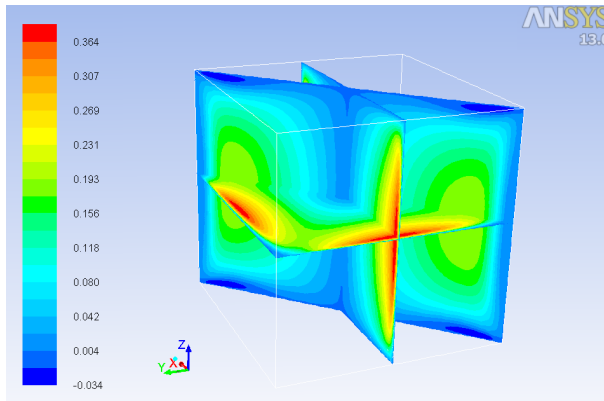


obrázek 9: Vektory Lorentzových sil zbarvené podle celkové velikosti síly – v daném v čase (v Newtonech)

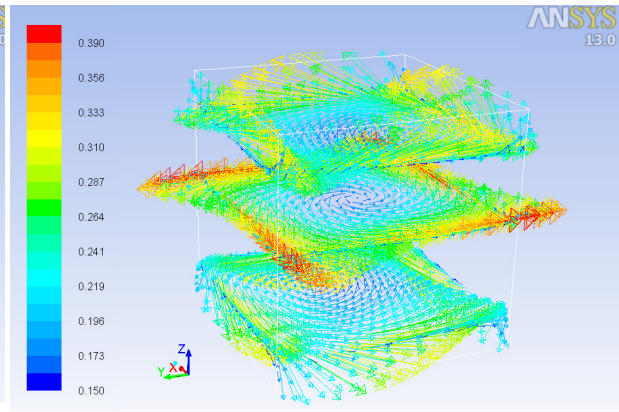
Fluent řeší parciální diferenciální Maxwellovy rovnice numericky a počítá se všemi složkami sil. Složka f_z je nenulová hlavně u horní a dolní podstavy. V těchto místech hraje roli, obzvlášť pro krychlovou nádobu, uzavření proudové smyčky a vliv hran a rohů.

Na obr. 10 je zobrazeno časově středované rychlostní pole v azimutálním směru. Maxima jsou zobrazena červeně, minima modře. Maxima se vyskytují u vnějšího pláště (v polovině výšky nádoby) v oblasti pláště pomyslného vepsaného válce, minima jsou v rozích, u axiální osy a u podstav. U horní a dolní podstavy je tavenina ovlivněna hranami a frikčními jevy. V polovině výšky nádoby je možné si povšimnout čtyř oblastí s nejvyššími rychlostmi proudění. Jsou to oblasti s nejmenším poloměrem od axiální osy (osy z), v polovině výšky nádoby (v oblasti pláště pomyslného vepsaného válce). Tavenina je v těchto oblastech urychlována, aby v rozích následně zpomalila. Tyto čtyři oblasti maximálních rychlostí se objevují u jakékoli intenzity magnetického pole.

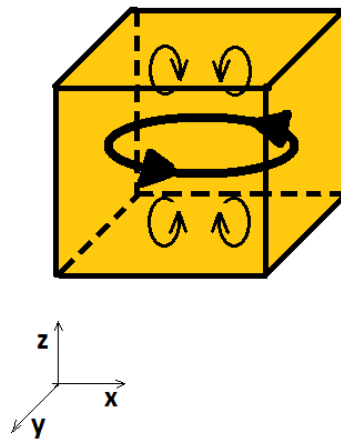
Na vektorovém rychlostním poli (obr. 11) je názorně vidět, jak je tavenina roztáčena vlivem rotačního magnetického pole dominantně v azimutálním směru. I když je dominantní proudění (primární – na obr. 12 vyznačeno tlustě) v azimutálním směru, i sekundární proudění (obr. 12 – vyznačeno tenče) hraje významnou roli. Jeho velikost je však mnohem menší než primární proudění. Vlivem sekundárního proudění se vytváří u horní a dolní podstavy protisměrné vírové struktury (obr. 12), které taveninu promíchávají axiálními a radiálními rychlostmi. Tavenina je promíchávána vlivem sekundárního proudění hlavně v blízkosti horní a dolní podstavy. V oblasti poloviny výšky nádoby převažuje primární – azimutální – proudění. Rychlostní pole v axiálním směru je zobrazeno na obr. 13. Kontury axiálních rychlostí potvrzují, že se tvoří protisměrné víry, proudění dosahuje nejvyšších axiálních rychlostí v hranách stěn pláště. Nejméně je ovlivněna oblast v polovině výšky nádoby.



obrázek 10: Kontury časově středovaných rychlostí v azimutálním směru

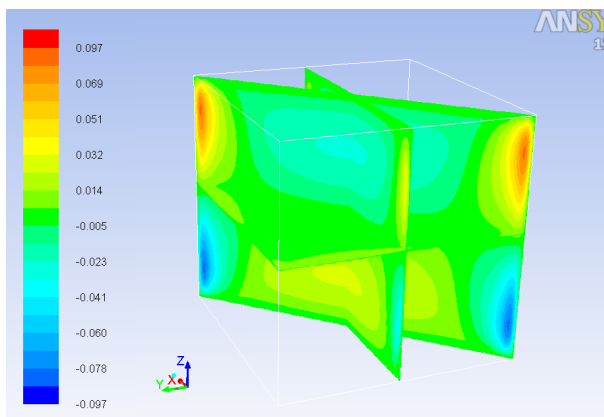


obrázek 11: Vektory celkových rychlostí zbarvené podle celkových rychlostí

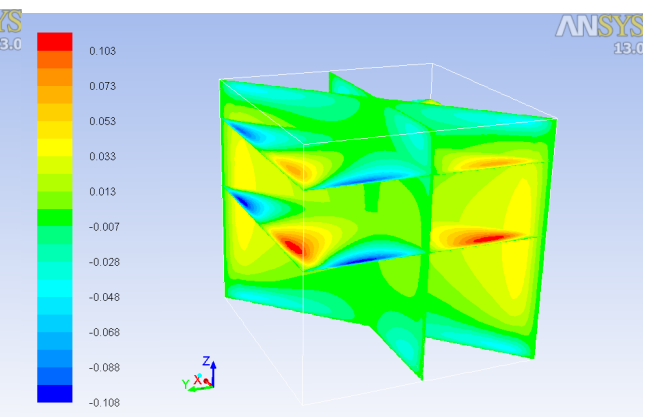


obrázek 12 : Primární a sekundární proudění taveniny v krychlové nádobě

Kontury radiálních rychlostí jsou zobrazeny na obr. 14. Maximální radiální rychlosti proudění dosahuje tavenina poblíž stěn nádoby. Ze střídání maximálních a minimálních hodnot lze usuzovat, že se vytvářejí rotující vírové struktury, které promíchávají taveninu.



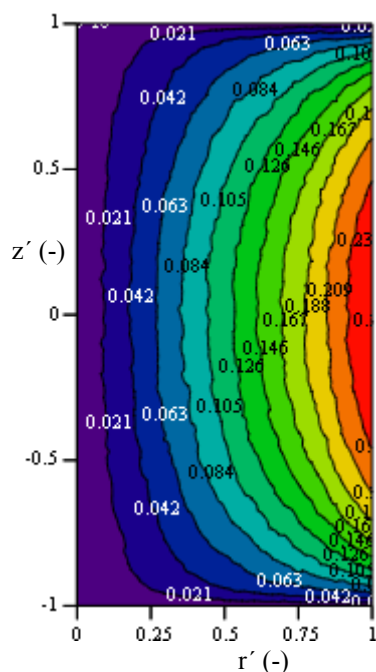
obrázek 13 Kontury axiálních rychlostí



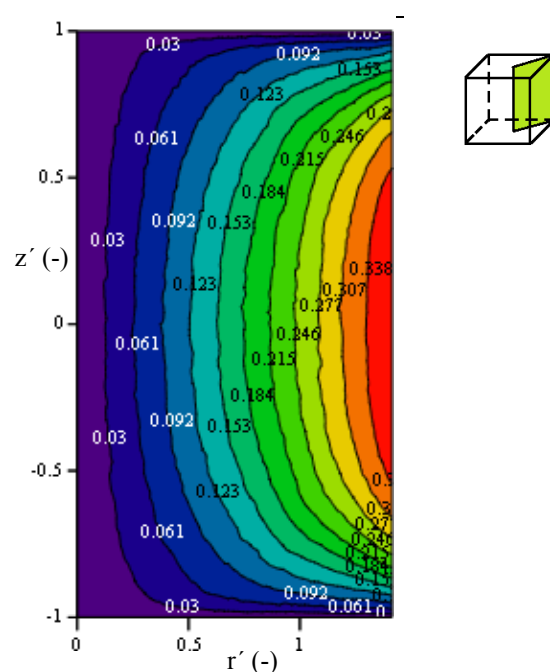
obrázek 14 Kontury radiálních rychlostí

Pro porovnání silových účinků zjištěných z Ansys Fluentu (numerickým řešením Maxwellových rovnic s uvažováním nenulových složek sil v x,y i z) je možné použít výsledky z nekomerčního softwaru NS-FEM3D, který je k dispozici na katedře. Výsledky z tohoto výpočetního kódu byly verifikovány např. v *Fraňa* [12]. Nastavení kódu je podobné jako ve Fluentu, opět použit DDES turbulentní model, avšak při řešení je využito toho, že se dá zanedbat oscilační složka Lorentzových sil a je možné uvažovat pouze časově středovanou azimutální složku sil. Řešení je provedeno na síti o cca 2 mil. elementů a řešení není závislé na časovém kroku.

Kontury sil v jednotlivých rovinách jsou zobrazeny pomocí MathCadu, a proto si barevné škály na obr. 15 a 16 neodpovídají. Jednotlivé barevné stupnice platí pouze pro jeden daný obrázek (červeně maxima, modře minima). Kontury sil z kódu NS-FEM3D jsou si velice podobné s výsledky z Fluentu a v hranách pláště nádoby vykazují dobrou shodu i velikosti sil. Hodnoty sil v jiných místech jsou ve Fluentu o něco menší. Maxima i minima se nacházejí na stejných místech.



obrázek 15 Kontury Lorentzových sil z kódu NS-FEM3D (v Newtonech)



obrázek 16 Kontury Lorentzových sil z kódu NS-FEM3D - v šikmé rovině (v Newtonech)

3 Analytický vztah pro Lorentzovu sílu

Pro odvození analytického vztahu pro Lorentzovu sílu u válcové nádoby je uvažováno, že nádoba má elektricky izolované stěny a tavenina uvnitř nádoby je elektricky vodivá. Tavenina je roztáčena vlivem rotačního magnetického pole o magnetické indukci (uvedeno v cylindrických souřadnicích):

$$\mathbf{B} = B_0 \cdot \sin(\varphi - \varpi \cdot t) \cdot \mathbf{e}_r + B_0 \cdot \cos(\varphi - \varpi \cdot t) \cdot \mathbf{e}_\varphi \quad (2)$$

Předpokládá se, že magnetické pole je generované ideálním induktorem nekonečné délky (z důvodu co nejmenšího rozptylu magnetického pole na koncích induktoru) a vysoké permeability materiálu uvnitř *Priede* [13]). Magnetická indukce má jen složky B_r a B_φ , protože se předpokládá, že vertikální velikost dvupólového induktoru je větší než výška taveniny, resp. výška nádoby. V praxi je možné (vzhledem ke konečné délce induktoru), že se vyskytne v rovnici 2 i závislost na z (vznikne B_z), nicméně pro většinu aplikací toto význam nemá. Dvě složky B_φ a B_r odpovídají i pro reálné případy (*Barz* [14]).

Pomocí rovnice $\mathbf{B} = \nabla \times \mathbf{A} = \text{rot } \mathbf{A}$ se zjistí vektorový potenciál \mathbf{A} a následně intenzita elektrického pole dle vztahu:

$$\mathbf{E} = -(\nabla \Phi_{\text{rot}} + \frac{\partial \mathbf{A}}{\partial t}) \quad (3)$$

$\Phi_{\text{rot}}(r, \varphi, z, t)$ je skalární potenciál. V této práci je uvažováno, že penetrační hloubka (δ) je větší než radius taveniny, resp. nádoby a úhlová rychlost pole ω je výrazně větší než úhlová rychlost taveniny ω_m . Skalární potenciál Φ_{rot} lze tedy rozložit do 2 částí (*Priede* [13]):

$$\Phi_{\text{rot}}(r, \varphi, z, t) = \Phi_1(r, z) \cdot \sin(\varphi - \varpi \cdot t) + \Phi_2(r, z) \cdot \cos(\varphi - \varpi \cdot t) \quad (4)$$

Proudová hustota \mathbf{j} se dle Ohmova zákona pro pohybující se médium vypočítá (*Priede* [13]):

$$\mathbf{j} = \sigma(\mathbf{E} + \mathbf{v} \times \mathbf{B}) \quad (5)$$

Ve vztahu pro proudovou hustotu je \mathbf{v} vektor rychlosti proudění.

Protože se však předpokládá nízká magnetická indukce a nízká frekvence magnetického pole, můžeme využít pro výpočet proudové hustoty určité zjednodušení. Magnetické pole ovlivňuje pohyb taveniny, ta ale zpětně neovlivňuje (nebo jen velice málo) magnetické pole. Člen vektorového součinu rychlosti proudění a magnetické indukce (v rovnici 5) lze tedy zanedbat (úhlová rychlost tekutiny je mnohem menší než úhlová rychlost magnetického pole) a redukovaný Ohmův zákon je potom:

$$\mathbf{j} = \sigma \cdot \mathbf{E} \quad (6)$$

Pomocí rovnice $\nabla \cdot \mathbf{j} = \text{div } \mathbf{j} = 0$, což je podmínka kontinuity elektrického proudu (absence zdroje elektrického střídavého proudu - *Davidson* [11]), lze vyjádřit složky proudové hustoty, kde jediné neznámé jsou derivace skalárního potenciálu v prostoru. Řešení pro skalární potenciál je poměrně komplikované, protože složky Φ_1 a Φ_2 jsou funkce dvou proměnných (r, z). Další výpočty jsou uvedeny pouze pro výpočet Φ_1 , protože ten je spojený s azimutální složkou proudění. Φ_2 je spojený s meridionálním prouděním a je možné ho zanedbat (*Priede* [13]).

$$(\nabla^2 - \frac{1}{r^2}) \cdot \Phi_1 = 0 \quad (7)$$

Řešení pro Φ_1 (rovnice 7) bylo provedeno pomocí Fourierovy metody separace proměnných, kdy se předpokládá, že lze řešení rozdělit na část závislou pouze na r a druhou pouze na z (*Stewart* [15]), vyřešit každou část zvlášť a pak vynásobit řešení mezi sebou. U části závislé pouze na z se hledá řešení diferenciální rovnice druhého řádu s konstantními koeficienty. Tato rovnice se řeší pomocí charakteristické rovnice. U části závislé pouze r se rovnice převede na tvar Besselovy rovnice, jejíž řešením jsou Besselovy funkce. Pomocí těchto postupů se zjistil analytický vztah pro skalární potenciál. Následně se dosadily okrajové podmínky. Protože se uvažují elektricky izolované stěny, kdy není umožněn prostup proudové hustoty skrz stěny, okrajová podmínka je: $j_n = 0$, tzn., že na stěnách je proudová hustota v normálovém směru rovna nule.

Lorentzovy síly (síly, které uvádějí taveninu do pohybu – obr. 17) jsou definovány :

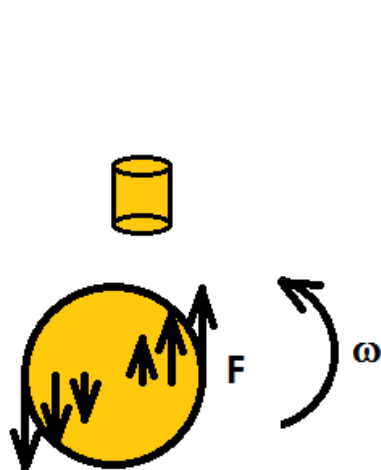
$$\mathbf{f}_{\text{rot}} = \mathbf{j} \times \mathbf{B} \quad (8)$$

Elektromagnetická síla je dle rovnice 8 dána součinem dvou proměnných, které jsou obecně závislé na čase. Výsledná síla proto obsahuje složku časově středovanou a oscilační. Předpokládá se však, že frekvence rotačního magnetického pole je dostatečně velká, aby mohla být oscilační složka (následkem setrvačnosti) zanedbána – vzhledem k časově středované složce (*Priede* [13]). Oscilační složka Lorentzovy síly rotuje s dvojnásobnou frekvencí. Ovšem tekutina, z důvodu její dostatečně vysoké setrvačnosti, není schopna dosáhnout tak velké změny složky síly. Z tohoto důvodu se oscilační složka síly zanedbává a

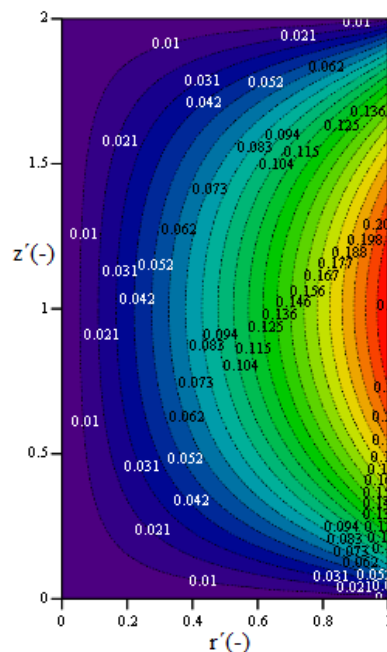
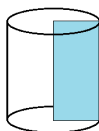
sleduje se pouze časově nezávislá složka (Möβner [2]). Provede se tedy časové zprůměrování přes jednu periodu a jediná nenulová složka Lorentzových vychází ta v azimutálním směru. Výsledný analytický vztah pro časově průměrovanou Lorentzovu sílu v azimutálním směru je:

$$\overline{f_{\text{rot } \varphi}} = \frac{\sigma \cdot B_0^2 \cdot \omega}{2} \cdot \left(r - \sum_{i=1}^{\infty} \frac{2 \cdot J_1(m_i \cdot r)}{(m_i^2 - 1) \cdot J_1(m_i)} \cdot \frac{\sinh(m_i \cdot z) + \sinh(m_i \cdot (H - z))}{\sinh(m_i \cdot H)} \right) \quad (9)$$

Veličiny jako poloměr, velikost nádoby ve směru osy z a celková výška nádoby H jsou v této rovnici (a dále i v zobrazení výsledků) uvažovány jako bezrozměrné, tzn. vyděleny velikostí poloměru nádoby R.



obrázek 17 Lorentzova síla F



obrázek 18 Kontury Lorentzových sil ve válcové nádobě – z analytického vzorce

Rovnice analytického vyjádření Lorentzových sil v azimutálním směru (rovnice 9) je ve shodě s publikovanými výsledky jiných autorů, viz (např. Marty [16]).

Při zobrazení kontur časově středovaných Lorentzových sil v azimutálním směru se maxima vyskytují u vnějšího okraje nádoby v oblasti poloviny výšky nádoby, minima se vyskytují u axiální osy nádoby a u horní a dolní podstavy. Členy výsledného analytického vztahu pro Lorentzovu sílu byly dále testovány na vliv velikosti nádoby, vliv počtu členů řady, vliv velikosti Taylorova čísla atd.

Kontury Lorentzových sil ve válcové nádobě vypočítané z Fluentu jsou velice podobné konturám vycházejícím z analytického vzorce (rovnice 9). Velikost Lorentzových sil z analytického vzorce (obr. 18) se s Fluentem poměrně slušně shodují (ve Fluentu jsou o cca 10 % menší). Tvar kontur i směr vektorů Lorentzových sil na obr. 2 – 3 je ovlivněn tím, že nenulová je i síla v axiálním směru. Axiální síla má však mnohem menší velikost než dominantní azimutální. Dle odvozeného analytického vzorce pro Lorentzovu sílu je jediná nenulová složka sil ta v azimutálním směru.

4 Závěr

V této práci byl popsán vliv rotačního magnetického pole na vodivou taveninu v nádobě. Numerická simulace silových účinků a proudění byla provedena v softwaru Ansys Fluent s použitím nadstavbového modulu MHD. Pro válcovou nádobu byl odvozen analytický vzorec pro Lorentzovu sílu. Kontury a velikost sil vykazují poměrně dobrou shodu s výsledky z Fluentu. Pro krychlovou nádobu byly silové účinky porovnány s výsledky nekomerčního kódu NS-FEM3D. Poměrně dobrá shoda byla u maximálních hodnot sil, ostatní jsou ve Fluentu o něco menší. Jako velký limit řešení MHD ve Fluentu se ukázala nutnost velice malého časového kroku (pro danou frekvenci pole). Toto omezení velice prodloužilo čas výpočtu.

Práce bude dále pokračovat použitím odvozeného analytického vzorce pro Lorentzovu sílu na krychlovou nádobu. Toto použití předpokládá určité zjednodušení, které platí u válcové nádoby, ale u krychlové již méně, a proto na oblasti s největší odchylkou (rohy nádoby) bude nasazena tlumicí funkce.

Literatura

- [1] DOLEŽAL I, MUSIL L.: Moderní průmyslové technologie založené na procesech v tekutých kovech řízených elektromagnetickým polem, GA ČR 102/03/0047, Praha, 2003
- [2] R. MÖSNER, G. GERBETH: Buoyant melt flows under the influence of steady and rotating magnetic fields, *Journal of Crystal Growth* 197, 1999
- [3] R. U. BARZ, G. GERBETH: Modelling of the isothermal melt flow due to rotating magnetic fields in crystal growth, *Journal of Crystal Growth* 180, 1997
- [4] P. DOLD, K. W. BENZ: Rotating magnetic fields: Fluid Flow and Crystal Growth Applications, *Progress in Crystal Growth and Characterization of Materials* (1999)7-38
- [5] J. STILLER, K. KOAL, K. FRAŇA, R. GRUNDMANN: Stirring of melts using rotating and traveling magnetic fields, *Fifth International Conference on CFD in the Process Industries, Melbourne, Australia, 2006*
- [6] K.-H. SPITZER: Application of Rotating Magnetic Fields in Czochralski Crystal Growth, *Progress in Crystal Growth and Characterization of Materials*, vol. 38, pp 39 – 58, 1999
- [7] P. DOLD, K. W. BENZ: Modification of Fluid Flow and Heat Transport in Vertical Bridgman Configurations by Rotating Magnetic Fields, *Crystal Research and Technology*, 32, 1997, 51-60
- [8] B. WILLERS, S. ECKERT, P. A. NIKRITYUK, D. RÄBINGER, J. DONG, K. ECKERT, G. GERBETH: Efficient Melt Stirring Using Pulse Sequences of Rotating Magnetic Field: Part II. Application to Solidification of Al-Si Alloys, *The Minerals, Metals and Materials Society and ASM International 2007, Metallurgical and Materials Transactions B*, volume 39B, April 2008
- [9] ANSYS FLUENT 12.0 *Magnetohydrodynamics (MHD) Module Manual*, 2009
- [10] K. FRAŇA, V. HONZEJK: Comments about a Self-developed Finite-Element Code Used in Incompressible Flow Simulations, *2nd WSEAS International Conference on Finite Elements, Finite Volumes, Boundary Elements*, Tbilisi, Georgia, June 26-28, 2009
- [11] P. A. DAVIDSON: *An Introduction to Magnetohydrodynamics*, Cambridge, 2001
- [12] K. FRAŇA, V. HONZEJK, K. HORÁKOVÁ: A Numerical Simulation of the Magnetically Driven Flows in a Square Container Using the Delayed Detached Eddy Simulation, *Computational Fluid Dynamics 2010*, pp 745-751, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2011
- [13] J. PRIEDE: Theoretical study of a flow in an axisymmetric cavity of finite length, driven by a rotating magnetic field, *Ph. D. thesis*, Latvia, 1993
- [14] R. U. BARZ, G. GERBETH, U. WUNDERWALD, E. BUHRIG, Y. M. GELFGAT: Modelling of isothermal melt flow due to rotating magnetic fields in crystal growth, *Journal of Crystal Growth*, Volume 180, Issues 3–4, 1 October 1997, p. 410–421
- [15] J. V. STEWART: Intermediate Electromagnetic Theory, *World Scientific*, 2001
- [16] MARTY PH, M. WITKOWSKI L.: On the stability of rotating MHD flows, *Transfer Phenomena in Magnetohydrodynamic and Electroconductiong Flows*, 1999

ZVÝŠENÍ PRODUKTIVITY TVORBY ANORGANICKÝCH NANOVLÁKEN

Ing. Radovan Kovář

Sekce - STROJÍRENSTVÍ,
Fakulta strojní, 2. ročník
Doktorský studijní program – KONSTRUKCE STROJŮ A ZAŘÍZENÍ

Abstrakt: V současné době je již znám a hojně využíván proces výroby nanovláken. Použitelnost nanovláken je pozorovatelná v mnoha odvětvích a setkáváme se s nimi prakticky každý den. Stále přibývají možnosti jejich uplatnění. Zájem o jejich využití roste, proto je snaha o jejich výrobu v co možná největším měřítku, při minimálních nákladech. Zvyšováním produktivity výroby nanovláken se snižují nároky na spotřebu energií a přírodní zdroje. Optimalizací konstrukce stroje nebo jeho částí pro tvorbu nanovláken při procesu elektrostatického zvlákňování lze zvýšit produktivitu jejich výroby.

Klíčové slová: Nanovláknno, elektrospinning, kartáč, účinnost

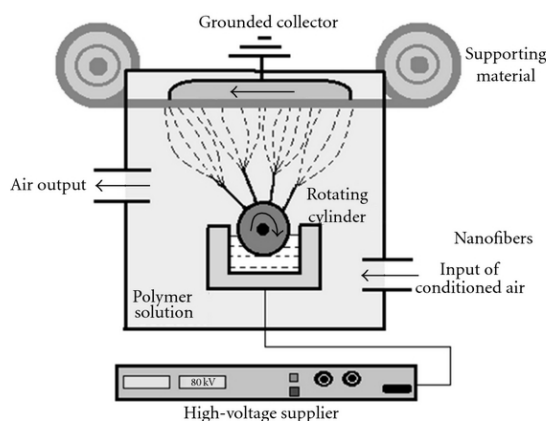
1 Úvod

Nanovláknno je textilní výrobek, jehož průměr se pohybuje v měřítku menším než 1 mikrometr. Pro porovnání je často uváděn rozměr lidského vlasu, kdy nanovláknno je tisíckrát menší. Možnosti uplatnění nanovláken jsou v dnešní době široké. Bývají označována jako materiál třetího tisíciletí. Prosadit se mají v oblastech medicíny, filtrace, automobilového průmyslu, nanokompozitů, ochranných pomůcek a dalších. První produkt na trhu vyrobeným z nanovláken byl pozorován v 80. letech minulého století. Stále však v problematice výroby nanovláken je mnoho neznámých. První pokusy o elektrostatické zvlákňování se datují na počátek 20. století. V průběhu času bylo vyzkoumáno několik principů výroby nanovláken. Uvedme zde především předemní průtahem, zvlákňování fázovým dělením, samosběrem, ale především elektrostatickým zvlákňováním. Právě poslední zmiňovaný princip vyčnívá nad ostatní svou produktivitou. Proto se v současné době stal nejrozšířenějším způsobem výroby. Do provozu se dostal ve spojitosti ze zařízením, ve kterém je prováděn. Tento přístroj je nazýván Nanospider. Funkčnost procesu elektrostatického zvlákňování je však závislá na mnoha parametrech. Je zde vliv použitého polymeru, hodnota přivedeno napětí do prostoru zvlákňování, materiál zvlákňování elektrody, materiál a konstrukce kolektoru, vzdálenost kolektoru od zvlákňování elektrody, teplota a vlhkost prostředí, proudění vzduchu, velikost boxu kde zvlákňování probíhá, překážky v prostoru boxu [1-6].

2 Proces elektrostatické zvlákňování

Nejrozšířenějším způsobem jak vyrábět nanovláknna v průmyslovém měřítku je princip zvlákňování z "válečku". Zařízení, které tento způsob výroby nanovláken umožňuje se nazývá Nanospider. Jedná se laboratorní zařízení vyrobené z izolačních materiálů. Uvnitř zařízení se nachází prázdný prostor, ve kterém probíhá proces zvlákňování. Velikost tohoto prostoru je různý. Nejmenší jsou určeny pouze pro jednu vanu s kolektorem. Do velkých se bez problémů vejdu i čtyři lidé. Nevodivá konstrukce je osazena dvěma vysokonapěťovými zdroji, které dodávají napětí o velikosti až 100 kilovoltů do prostoru zvlákňování. Komora je napojena na

klimatizaci. Proudění vzduchu skrze komoru, stejně jako teplota a vlhkost, hraje nemalou roli v úspěšnosti spuštění procesu. Uprostřed komory je umístěna vana do které se nalije roztok polymeru. Lze zvláknovat jak organické, tak anorganické plastové roztoky. Ve vaně se otáčí zvláknovací elektroda, která je ani ne z poloviny ponořena do polymeru. Na ni je přiveden zdroj napětí. Nad elektrodou je kolektor, který je uzemněný a přes který je přetahován spunbond. Ten slouží jako podporující materiál, protože pomocí nich jsou vlákna odvedena z prostoru komory. Pro ochranu vláken je na ně ihned po jejich opuštění labu přiložen další podporující materiál a vzniká tím tzv. sandwich. Rotace elektrody je zajištěna pomocí elektromotoru, který je však připevněn ke konstrukci mimo pracovní prostor stroje. Krouticí moment je přiveden na elektrodu přes hřídel motoru a kuželové soukolí. Schéma principu funkce Nanospideru je znázorněn na obr. 1. [7]

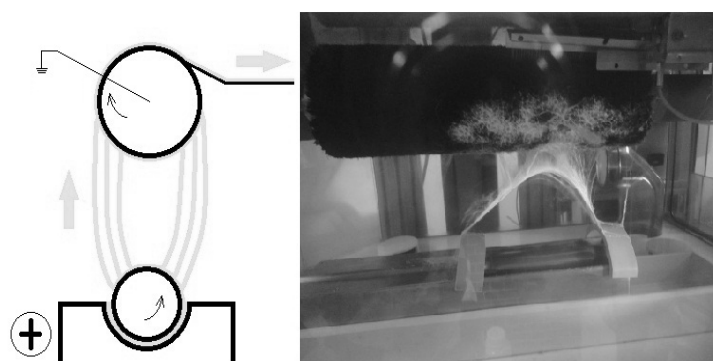


Obrázek 1: Schéma funkce laboratorního zařízení Nanospider

2.1 Optimalizace komponentů zajišťující proces

Nevýhodou předchozího řešení je výroba vláken, která jsou nesena dalším elementem, v tomto případě pomocí spunbundu. Myšlenka v zavedení nepřetržitého provozu spočívá v získání samostatných vláken pro možnost dalších úprav. Z principu je vhodné zachovat počáteční kombinaci elektrody a vany s polymerem. Toto nanášení je zaběhnuté a jeho fungování je ověřené. Pro optimalizaci tedy zůstává úprava kolektoru. Je potřeba aby kolektor byl uzemněn. Dále je třeba aby plocha pro zvláknění byla neustále čistá, jinak nedojde k vytvoření vláken. Z dřívějších pokusů vyplývá, že se zvyšující hustotou položených vláken na kolektoru se snižuje jejich vytváření na zvláknovací elektrodě. Pro nepřetržitý proces je stěžejní podmínkou zachování minimální účinnosti zvláknování během jeho trvání. Dá se tedy říci, že musí být v jeden okamžik materiál zvlákněn a zároveň musí být zvlákněný materiál stržen. Dle metodiky TRIZ, která pomáhá řešit technické problémy, je možné řešení v rozdělení problému v čase nebo v prostoru. Této podmínce vyhovuje nahrazení pevného kolektoru rotačním prvkem. Rotační prvek má osu rovnoběžnou s osou rotace elektrody. Jeho otáčky jsou nižší, než otáčky elektrody. Během jedné otáčky je jedna jeho polovina povlákněna zatím co na jeho druhé straně dochází ke strhávání vláken z jeho povrchu. Při začátku druhé otáčky se již do prostoru zvláknování dostává opět čistý materiál. Problematikou však zůstává, jaký rotační prvek zvolit. Jeho povrch musí splňovat podmínku potřebnou pro proces zvláknování a zároveň musí existovat způsob, jak vlákna z takového povrchu sejmout. Pro snímání je nevhodnější hladký čistý povrch. Takový tvar je však nedostatečný pro vytvoření ideálního procesu zvláknování. Vzhledem k tomu, že prioritní podmínkou je spuštění procesu elektrovláknování, byl nahrazen hladký povrch povrchem tvarovým. Můžeme říci, že čím více uzemněných bodů, tím více vlá-

ken se po dobu procesu vytvoří. Takové podmínky splňuje válcový rotační kartáč. Jedná se o rotační prvek, který má po rozdělení střední rovinou dvě identické části. Zároveň je zde mnoho samostatných bodů, které tvoří dráty kartáče. Počet bodů je získán průměrem drátů a jejich hustotou osazení. Všechny dráty musí být uzemněny, aby mohly fungovat jako kolektor. Kartáč se otáčí rychlostí od 1 otáčky za 5 minut, až po rychlost 1 otáčky za 10 minut. Pro zachování kontinuálního procesu je třeba nahromaděná vlákna z povrchu kartáče odstranit. Proto je nutné do systému následně integrovat strhávací zařízení s mechanickými nebo vzduchovými prvky na opačnou stranu kartáče, než kde probíhá povlákňení. Vzhledem k vysokému napětí uvnitř komory stroje, nesmějí být použity v zařízení jakékoliv elektronické prvky. Strhaná vlákna jsou potom odváděna mimo prostor stroje. Princip procesu zvlákňování na rotační válcový kartáč je znázorněn na obr. 2.



Obrázek 2: Princip nepřetržitého procesu elektrovlákňování

3 Komponenty optimalizovaného procesu

Nastává otázka, jaké parametry kartáče jsou nejvhodnější pro co možná nejvyšší účinnost zvlákňování. Volbou rotačního kartáče, co by elektrody, vzniká technický problém ve strhávání naneseného materiálu z jeho povrchu. Parametry jako hustota, délka a materiál drátů určují jak efektivitu zvlákňování, tak složitost strhávání vláken z kartáče. Výhodou je, že není podstatná forma vláken, v jaké budou strhány.

3.1 Kartáč

Protože rotační válcový kartáč nahrazuje jednu z elektrod, musí být jeho celý povrch vodivý v co možná maximální míře. Proto při výběru materiálů, ze kterých budou vyrobeny dráty kartáčů, byl kladen důraz na vysoké hodnoty vodivosti. Prvním způsobem je spirálový válcový kartáč, kdy dráty jsou upevněny do plechu. Ten je následně stočen do spirály, čímž drží požadované rozměry. Vodivost drátů je zajištěna pomocí plechu, na který je přiveden náboj. Takový kartáč je vidět na obr. 3. Druhým způsobem výroby válcového rotačního kartáče je vsazování trsů drátů do plastového jádra. V plastovém válcovém jádru požadovaného rozměru jsou předvrtány díry v pravidelných rozestupech, do kterých jsou usazeny trsy drátů. Náboj je na jednotlivé trsy přiváděn přes vodivý drát, který je propleten mezi nimi. Rozměry kartáčů jsou závislé na okolních parametrech v průběhu procesu. Délka kartáče musí být větší než délka zvlákňovací elektrody. V našem případě byla zvolena délka kartáčů 340 mm při délce zvlákňovací elektrody 250 mm. Průměr kartáčů byl sjednocen na 120 mm. Zde byly limitním faktorem zástavbové rozměry komory, protože vzdálenost povrchů elektrody a kolektoru musí být 180 mm pro spuštění optimálního průběhu procesu pro testovaný polymer. Variabilita mezi jednotlivými kartáči byla zajištěna v poměru průměrů jejich jader a délkou použitých drátů.



Obrázek 3: Princip nepřetržitého procesu elektrovlákňování

3.2 Strhávací mechanismus

Pokud použijeme kartáč s vhodně vybranými parametry dojde ke kompletnímu pokrytí jeho povrchu silnější vrstvou vláken. Pro nepřetržitý proces je třeba tuto vrstvu strhnout tak, aby na kartáči nezůstala žádná vlákna. Strhávání je možné zajistit kontaktně nebo bezkontaktně. kontaktní strhávání spočívá v použití externího nástroje, který přeruší vazby mezi vlákny a konci drátů kartáče. Bezkontaktní strhávání si můžeme představit jako odsávání proudem vzduchu. Při návrhu mechanismů je třeba mít na paměti vlastnosti nanosené vrstvy anorganických vláken. Při jakémkoli kontaktu se vlákna lepí. Je zřejmé, že hlavní problém spočívá v elasticitě vlasců kartáče a v tloušťce hřebenu. Proto byl použit kartáč s ocelovými dráty a kovový hřeben. Ocelové dráty mají při délce 20 mm a průměru 0,2 mm menší elasticitu než plastové vlasce a neohýbají se tak o hřeben. Ten zajíždí tečně na povrch kartáče do hloubky 2 mm a koná přímočarý vratný pohyb kolmo na osu kartáče. Celý systém byl doplněn o odsávání, které má zajistit odtažení vláken zachycených na hřebenu. Strhávací systém se spustí po vytvoření souvislé vrstvy vláken. Kompletní systém bez zapnutého odtahu je znázorněn na obr. 4. Tato varianta řešení vykazovala téměř dokonalou schopnost vyčistit povrch kartáče od nanovláken a zároveň je odvést z pracovního prostoru. Jedná se o kombinaci kontaktního a bezkontaktního strhávání. [8]

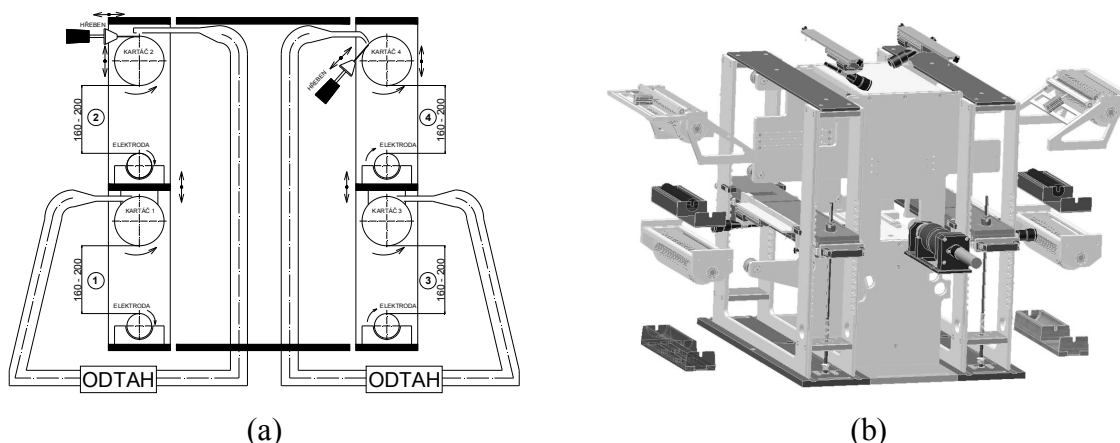


Obrázek 4: Princip nepřetržitého procesu elektrovlákňování

4 Konstrukce testovacího stroje

Po vyselektování kartáčů, vhodných pro aplikaci na elektrostatické zvlákňování, byl navržen stroj, pro odzkoušení procesu v reálném měřítku. Schéma stroje je znázorněno na obr. 12.

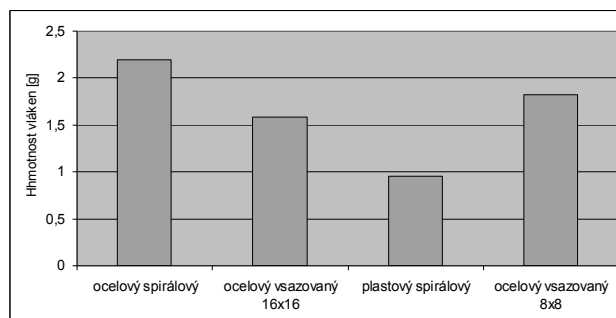
Na stroji jsou použity 4 zvláknovací elektrody a 4 kartáče jako kolektory. Elektrody jsou ve všech případech stejné. Rozdílné jsou však vany, ve kterých jsou elektrody usazeny a zároveň je v nich nalit polymerový roztok připravený ke zvláknování. Každá vana je z jiného materiálu a je vyrobena jinou technologií. Jako materiály van jsou použity: sklo, dřevo, plech s modifikací jeho vlastností plasmou, plast. Na každý kartáč byl aplikován jeden ze strhávacích systémů pro odvod vláken. Konstrukce stroje byla navržena s ohledem na funkčnost, jednoduchost a variabilitu. Důraz byl kladen na jednoduchost výměny kartáčů a vaniček mezi sebou. Na obr. 5 je vidět modulární návrh konstrukce. Jako modul lze uvést: pohon kartáčů, jednotlivé vany, jednotlivé kartáče s uložením, odsávání. Hlavním prvkem bylo zajištění pohonů kartáčů řemenovým převodem. Všechny 4 kartáče museli být napojeny na jeden pohon. Veškeré pohonné prvky nesmí být elektricky řízené, proto pro pohon kartáčů, stírání a odsávání byl aplikován pneumatický pohon. Na každou elektrodu umístěnou ve vaně musel být přiveden krouticí moment. Ten byl jako jediný realizován elektromotorem, který byl umístěn mimo zvláknovací komoru a byl od ní odstíněn. Stroj byl rozdělen do 4 částí. Každá část byla tvořena vanou s polymerem, zvláknovací elektrodou a kartáčem se strháváním a odtahem. Proces zvláknování je závislý na mnoha faktorech. Jedním z nich je vzdálenost mezi elektrodou a kartáčem. Ideální hodnota pro zvláknovaný anorganický roztok je 180 mm. Pro možnost testování bylo zvoleno rozmezí mezi 160 mm a 200 mm s krokem 20 mm. Bylo tedy možné testovat ve všech čtyřech částech na maximální i minimální vzdálenosti.



Obrázek 5: (a) Schéma experimentálního zařízení, (b) Modularita zařízení.

5 Experiment

Pro nepřetržitý provoz byly odzkoušeny všechny varianty kombinací jednotlivých prvků. Tedy každý z popisovaných kartáčů byl vyzkoušen se všemi variantami strhovacího systému. Podmínky testu byly pro všechny pokusy stejné. Zvláštní pozor byl dán na klimatické podmínky ve zkušebním prostoru, na vzdálenost mezi elektrodou a kolektorem, na rychlost otáčení elektrody a kolektoru. Pro testy byl použit anorganický polymer, konkrétně oxid titanu. Hodnoty napětí se pohybovaly v rozmezí 70 000 voltů až 80 000 voltů. Pro nepřetržitý provoz je nejvhodnější použít spirálový kartáč s ocelovým drátem o průměru 0,15 až 0,25 mm. Během experimentu vykazoval nejvyšší účinnost. Porovnání účinností všech kartáčů na jednu otáčku je znázorněno v graf. 1. Takto dimenzovaný kartáč byl ve všech testech potažen souvislou vrstvou vláken bez viditelných defektů.



Graf 1: Porovnání účinností kartáčů

6 Závěr

Princip elektrostatického zvlákňování je nejrozšířenějším způsobem výroby nanovláken. Tento způsob se vyznačuje dobrou účinností ve srovnání s ostatními způsoby. Proto je vhodné se na tento princip zaměřit a pokusit se o jeho optimalizaci. Nepřetržitý provoz je možný s využitím válečku jako zvlákňovací elektrody a rotačního kartáče jako kolektoru. Kartáč má schopnost nabídnout ve stejný okamžik jednu svou polovinu plochy pro zvlákňování a druhou polovinu pro strhávání. Ve správné kombinaci rychlosti otáčení elektrody, rychlosti otáčení kartáče, bezporuchovosti strhovacího zařízení a síly odsávání je možné zajistit dostatečné očištění kartáče. Tím se jeho povrch stále nezanášá přebytečnými vlákny a je možné tak hovořit o nepřetržitém provozu výroby nanovláken pomocí elektrostatického zvlákňování. Pro nepřetržitou výrobu je vhodné použít spirálový ocelový kartáč v kombinaci s jednoosým strhovacím mechanismem. Tato varianta je zvolena na základě experimentu.

Literatura

- [1] ANGAMMANA, C. J. – JAYARAM S. H. (2011): “*Effects of Electric Field on the Multi-jet Electrospinning Process and Fiber Morphology*”. IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. 47 (2), pp. 1028 – 1035.
- [2] Wang, X. et al. (2007): “*Investigation of Dielectric Strength of Electrospun Nanofiber Based Thermal Interface Material*”, In: Proceedings of High Density packaging and Microsystem Integration, HDP '07, pp.1-6.
- [3] PETRŮ, M. – NOVÁK, O. – LEPŠÍK, P. (2012): “*Increase of the efficiency of the production lines for the spinning of inorganic nanofibers by the electrostatic field intensity optimization*”, MM Science Journal, No. 4, pp. 382-385.
- [4] VEJRYCH, D. – ŠEVČÍK, L. (2012): “*Assessing the distribution of deformation in layers in 3D nanostructures spinning into another space*”, In: Proceedings of 5th International Mechanical Engineering Forum, Prague, pp. 962-970
- [5] PETRŮ, M. – NOVÁK, O. (2010): “*Mechanical properties measurement and comparison of polyurethane foam substitute*”. ACC Journal, Vol.16, Issue A, Natural Sciences and Technology, pp. 50-59.
- [6] LUKÁŠ, D. - SAKAR, A. - MARTINOVÁ, L. - VODSEĎÁLKOVÁ, K. - LUBASOVÁ, D. - CHALOUPEK, J. - POKORNÝ, P. - MIKEŠ, P. - CHVOJKA, J. - KOMÁREK, M. (2009): “*Physical principles of electrospinning (Electrospinning as a nano-scale technology of twenty-first century)*”, Textile Progress, No.41, pp. 59-140.
- [7] JIRSÁK, O. (2004): *Method of nanofibres production from a polymer solution using electrostatic spinning and a devic*. Patent, WO 0127365.
- [8] KOVÁŘ, R. (2012): “*Ways to Pull Down Spinning Nanofibers from the Rotating Brush in High Voltage Area*”. In: 53rd International Conference of Machine Design Departments, Brno, pp. 141-144.

ZKOUMÁNÍ TRVANLIVOSTI NÁSTROJE PŘI FRÉZOVÁNÍ GEOPOLYMERNÍCH KOMPOZITNÍCH SYSTÉMŮ

Kubík Milan, S10000849

Sekce - STROJÍRENSTVÍ

Fakulta strojní, 5. ročník

Magisterský studijní program – OBRÁBĚNÍ A MONTÁŽ

Abstrakt: Tato práce je věnována zkoumání obrobiteľnosti geopolymerních materiálů při frézování. Cílem této práce bylo navrhnoutí ideálních řezných podmínek pro nové revoluční geopolymerní materiály. V průběhu zkoumání a měření byly naměřeny hodnoty opotřebení vyměnitelných břitových destiček a závislost opotřebení na druhu obráběného geopolymerního materiálu.

Klíčová slova: OBROBITELNOST GEOPOLYMERŮ, FRÉZOVÁNÍ GEOPOLYMERŮ, TRVANLIVOST, KOMPOZITNÍ MATERIÁLY, ŘEZNÉ PODMÍNKY, VBD

1. ÚVOD

Na otázku co je to vlastně geopolymer (dále pak GP) není ve skutečnosti tak lehké odpovědět. Kdybychom měli být co možná nejstručnější, doslovně by pak slovo „Geopolymer“ znamenalo umělý kámen, respektive uměle vytvořený kámen. Přesněji by pak geopolymery byly amorfní až semikrystalické nanokompozitní materiály vznikající tzv. geosyntézou. V posledních letech byly zaznamenány pokroky ve vývoji těchto nových geopolymerních materiálů. Na základě geopolymerační reakce je možno získat materiály, které jsou konkurencí tradiční keramice, a to bez nároků na vysokoteplotní procesy [6].

Různé části strojů, přístrojů a zařízení, ale také výrobky denní potřeby se vyrábějí obráběním na obráběcích strojích, kterými se dosahuje vyšší tvarová i rozměrová přesnost a požadovaná kvalita povrchu. Souhrn vlastností obráběného materiálu z hlediska jeho vhodnosti pro třískové obrábění nazýváme obrobiteľností materiálu. Obrobiteľnost daného materiálu není možno stanovit absolutní hodnotou, lze ji pouze srovnávat podle určitých kritérií s obrobiteľností jiných materiálů. V běžné praxi se obrobiteľnost posuzuje podle řezné rychlosti, protože podstatně ovlivňuje požadavky výkonu obrábění. Vyjadřuje se přímo řeznou rychlostí, která odpovídá určité trvanlivosti břitu za předem stanovených řezných podmínek

obrábění. Z ekonomického hlediska se volí takové řezné podmínky, při jejichž použití obrobíme danou součástku při minimálních nákladech a s vysokou produktivitou při zajištění předepsaných konstrukčních a technologických požadavků. Řezné podmínky, které splňují tyto předpoklady, se označují jako optimální [7].

Cílem této práce je zjištění trvanlivosti nástroje při frézování geopolymerních materiálů: GP s plnivem 40% popílek, GP s plnivem 40% kámen a GP s plnivem 40% lupek. V souvislosti s těmito úkoly bylo uloženo několik dalších cílů. Jaký typ slinutého karbidu by byl nejvhodnější pro obrábění daného typu geopolymery? Jak ovlivňují řezné podmínky trvanlivost nástroje při obrábění geopolymery během operace frézování? Odpovědi naleznete v této práci.

2. Geopolymery

V letech 1976-1979 navrhl Davidovits nový pojem geopolymery. Podle Davidovitsovy definice je geopolymery produkt, který vzniká anorganickou polykondenzací tzv. geopolymery [1].

Geopolymery patří do skupiny alkalicky aktivovaných materiálů, které se pohybují na hranici mezi skelnými, keramickými materiály a klasickými hydratovanými anorganickými pojivky (cementy a hydraulická vápna) [2]. Jsou to materiály obsahující křemík, hliník a alkalické prvky jako jsou sodík či draslík. Geopolymery nevznikají geologickými procesy, ale jsou uměle připravené [3]. Název geopolymery hlavně popisuje způsob přípravy materiálu (GEOsyntéza) a pak využívá přirovnání výsledného produktu k běžně používanému materiálu, jakým jsou plasty (POLYMER) [4]. Geopolymery jsou na první pohled nerozeznatelné od kamene, ale svými vlastnostmi jej jednoznačně předčí. Nabízejí totiž různé možnosti modifikací a dosažení jedinečných kombinací vlastností, díky nimž materiál přečká tisíce let [5].

2.1 Historie GP

V roce 1974 francouzský vědec Joseph Davidovits přišel s objevem, že úplně každý kámen se dá vytvořit uměle. Zaujala ho záhada egyptských pyramid a pokusil se dokázat, že před více jak 4500 lety znalo lidstvo dosud nejdokonalejší stavební materiál na Zemi. Nakonec dospěl k závěru, že Egypťané využili období záplav, transportovali písek z okolí, napěchovali ho do forem (dřevěné předem připravené), smísili s aktivačními prostředky (voda, jíl, soli, vápenec) a slunce přeměnilo směs na litý kámen. Tehdy objev u egyptologů

vyvolal veliké pobouření. Dnes ale vše nasvědčuje, že měl pravdu. Jeho odvážná hypotéza se opírala o náročné a zdlouhavé laboratorní zkoušky, například nukleární rezonanci, prokazující, že nerost, ze kterého jsou pyramidy postaveny, obsahuje vodu a pohlcuje záření. To se u přírodního kamene stát nemůže. Když Davidovits provedl průřez kvádrem z pyramidy, zjistil, že je ve spodní části hutnější než v horní části. Profesor Davidovits tak vyvrátil názor o využití ramp a lešení ke zvedání kamenných bloků pyramid [5].

2.3 Vzorky GP

Příprava zkušebních vzorků byla realizována v laboratořích katedry materiálů (KMT) na TU v Liberci. K dispozici byla poskytnuta jedna sada vzorků GP s plnivem 40% popílek, 40% kámen a 40% lupek (obr. 1).

Vzorky ve tvaru hranolu o rozměrech 110mm x 50mm x 50mm.



Obr. 1 Vzorky GP

Vizuální kontrolou byly vzorky klasifikovány jako vhodné pro následující zkoušky. Nebyly zjištěny žádné praskliny ani viditelná pórovitost na povrchu materiálu.

3. Metodiky prováděných experimentů

Všechna prováděná měření byla prováděna v laboratořích KOM TU Liberec. Žádný z prováděných experimentů nebyl v rozporu s bezpečností práce.

3.1 Metodika zkoumání trvanlivosti VBD

Měření bylo zahájeno na stroji FNG 32. Dále bylo rozhodnuto, že další měření budou prováděna na stroji FA4A-V z důvodu nízké trvanlivosti vyměnitelné břitové destičky (dále jen VBD) a možnosti nastavení nižší hodnoty minimálního posuvu. Tím bylo docíleno většího množství naměřených hodnot pro danou VBD v intervalu opotřebení břitu VBD. Tento interval opotřebení byl stanoven na mezní hranici 0,5mm. Dalším důvodem přemístění experimentu na stroj FA4A-V byla také extrémní prašnost obráběných vzorků GP. Nutnost zakrytí ložných ploch stroje fólií (obr. 2) se stala snazší a šetrnější pro stroj FA4A-V.



Obr. 2 Zakrytí ložných ploch fólií a použití odsávání

3.2 Příprava a postup provedení experimentu

Před zahájením experimentu byla vždy realizována kontrola a příprava pracoviště a stroje. Bylo instalováno odsávací zařízení dostupné v laboratořích katedry KOM.

Dalším krokem bylo upnutí vzorků do prizmatického svěráku a následné orovnění plochy pomocí VBD určené pro hrubovací operace při frézování. Tento krok byl prováděn vždy v případě záměny vzorku.

Dalším krokem byla volba jednotlivých řezných podmínek: řezná rychlost, posuv a hloubka záběru. Způsob frézování byl zvolen čelní nesousledný a použitá VBD byla upnuta do nástrojové frézy. Byla použita nástrojová fréza s jedním zubem záběru.

Po provedení výše uvedených bodů mohl být stroj spuštěn a bylo zahájeno vlastní měření. Přimo na pracovišti bylo provedeno měření hodnoty opotřebení břitu VBD pomocí nástrojové lupy Brinell.

4. Frézka FNG 32

Frézování bylo prováděno na nástrojařské frézce FNG 32 (obr. 2) od výrobce TOS Olomouc, s.r.o., která je vybavena číslicovou indikací polohy od firmy HEIDENHAIN, s.r.o.

Tento stroj je určen pro frézovací, vrtací, vyvrtávací a závitové operace v malosériové výrobě. Stroj je vybaven vertikální hlavou a pevným úhlovým stolem. Dokonalé upnutí nástroje je zajištěno pneumaticko-hydraulickým upínáním nástroje. Optimální mazání funkčních ploch je zajištěno pomocí mazacího agregátu s dávkovači. Stroj je rovněž vybaven chlazením nástroje, svítidlem a bezpečnostním krytem pracovního prostoru.

Nástrojová fréza:

Nástrojem při frézování byla čelní negativní rovinná fréza o průměru 120mm s 8 lůžky pro VBD.

5. VBD

Pro frézování geopolymerních materiálů byly zvoleny VBD od firmy Pramet Tools, s.r.o. označená SNUN 120412;S26, SNUN 120412;S30 a SNUN 120412;8230 (obr. 3). Podrobnější informace o aplikaci VBD a materiálové listy VBD jsou k nalezení v přílohách, které budou dodány v průběhu prezentace.

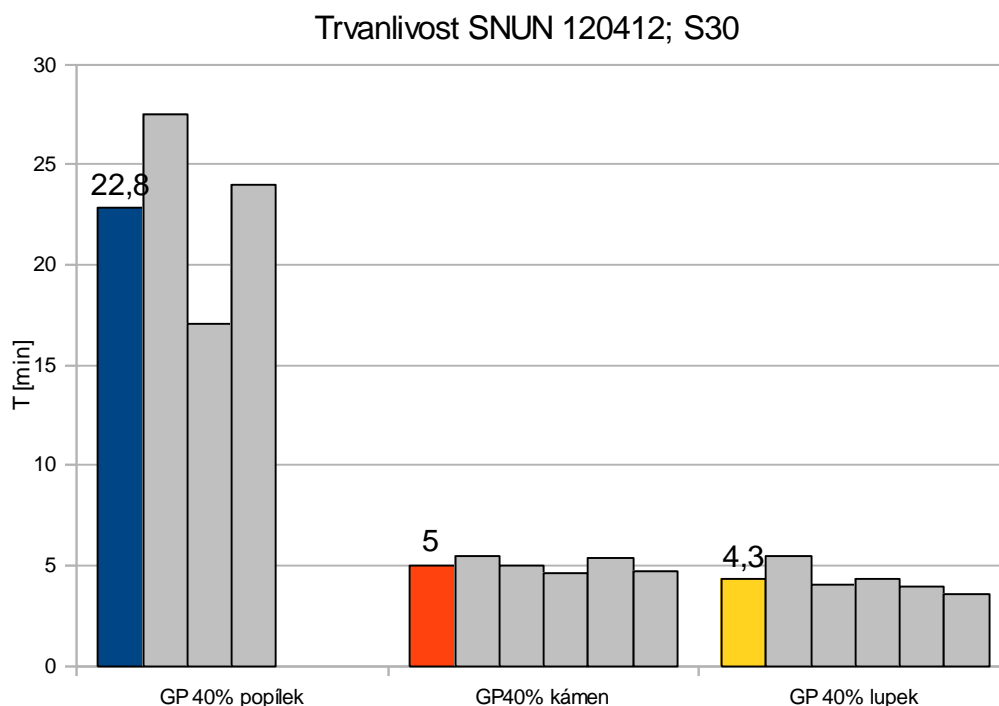


Obr. 3 Povlakované VBD SK 8230 od firmy Pramet

6 Měření trvanlivosti nástroje

Hranice opotřebení bříty byla stanovena na $VB_{max} = 0,5\text{mm}$. Tabulkové hodnoty jsou zapsány pro tuto limitní hranici. Pokud při měření došlo k překročení VB_{max} , hodnoty byly zaneseny do grafu a následně dopočítány a zaznamenány do tabulky náležící ke grafu, tak aby byly hodnoty srovnatelné pro trvanlivost všech břitů VBD. Všechny naměřené hodnoty budou dodány v prezentaci.

6.1 Hodnocení trvanlivosti nástroje a obrobiteľnosti GP



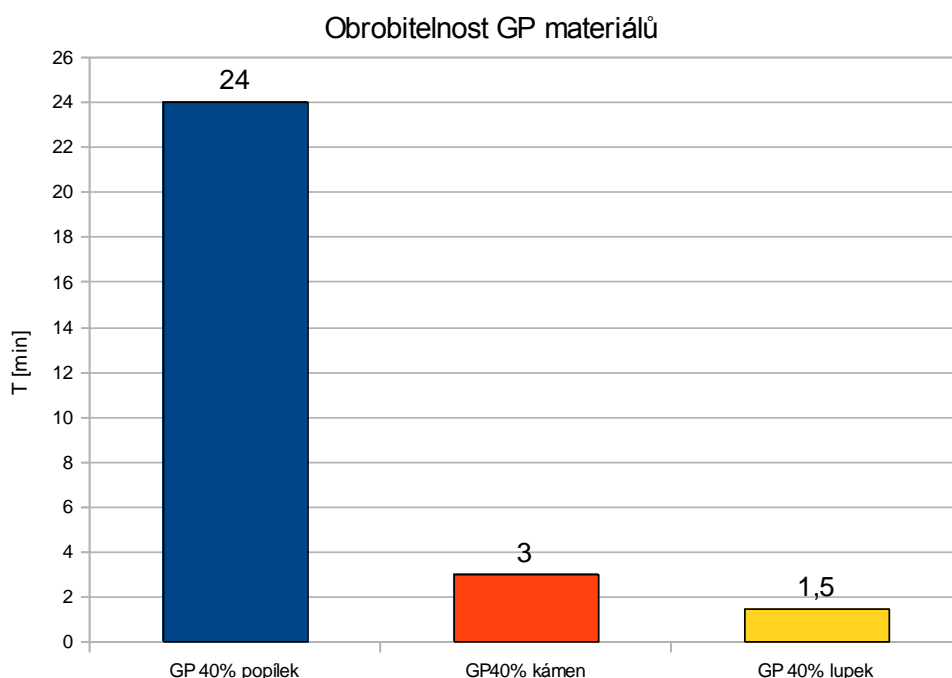
Obr. 4 Trvanlivost VBD při obrábění GP materiálů

Z grafu (obr. 4) lze odečíst průměrné trvanlivosti břitů při nesousledném frézování bez použití procesní kapaliny. Graf je řazen od nejvyšší po nejnižší trvanlivost.

Trvanlivost VBD SNUN120412;S30 u obráběného materiálu GP 40% popílek byla z průměrných hodnot (šedivé sloupce) určena 22,8 minut (modrý sloupec). Trvanlivost VBD byla přibližně 4krát vyšší než u obrábění GP 40% kámen a přibližně 4krát vyšší než u GP 40% lupek. Trvanlivost byla hodnocena na prvním místě ze zkoumaných vzorků.

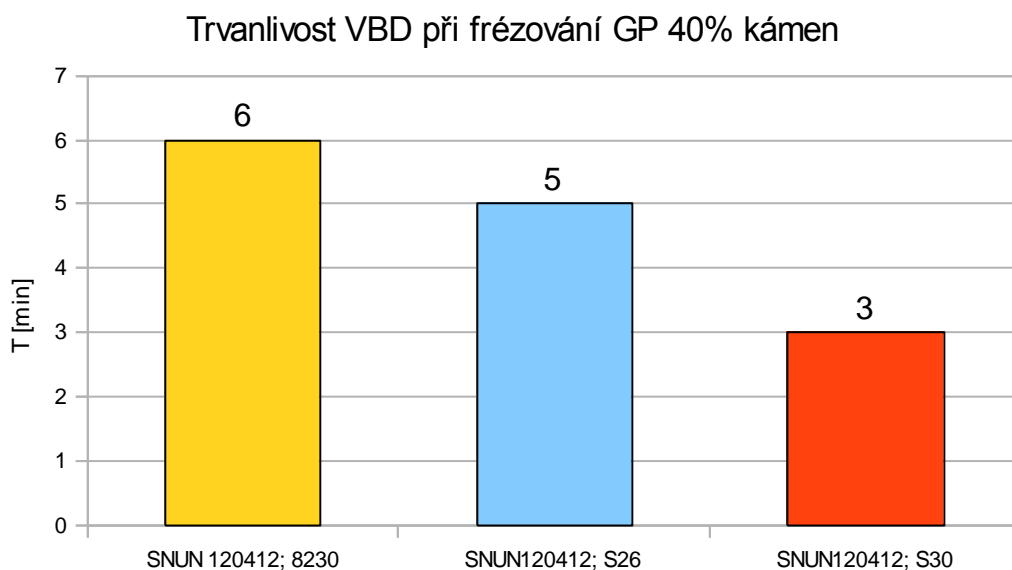
Trvanlivost VBD SNUN120412;S30 u GP 40% kámen (červený sloupec) byla přibližně 4krát nižší než při obrábění GP popílku a přibližně stejná jako u GP 40% lupek. Trvanlivost byla hodnocena na druhém místě ze zkoumaných vzorků.

Trvanlivost VBD SNUN120412;S30 u GP 40% lupek (žlutý sloupec) byla přibližně 4krát nižší než při obrábění GP popílku a přibližně stejná jako u GP 40% lupek. Trvanlivost byla hodnocena na třetím místě ze zkoumaných vzorků.



Obr. 5 Obrobitelnost GP materiálů

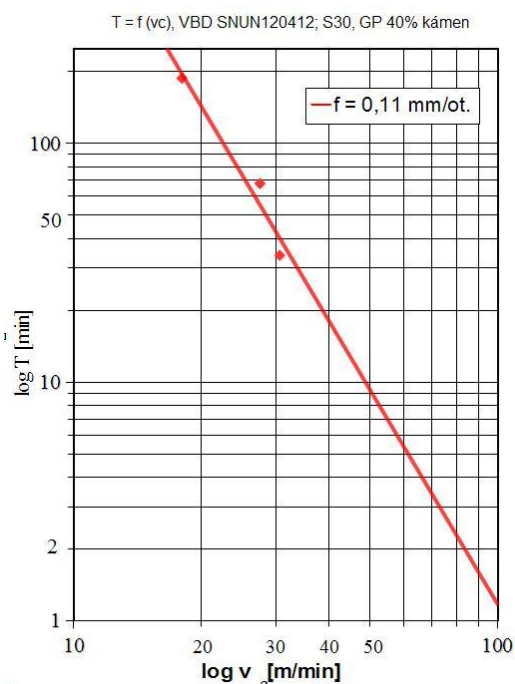
Porovnání obrobitelnosti GP materiálů je znázorněno ve sloupcovém grafu na obr. 5. Bylo dokázáno, že obrobitelnost GP 40% popílku je 8krát lepší než obrobitelnost GP 40% kamene a 16krát lepší než obrobitelnost GP 40% lupku při obrábění VBD SNUN120412;S30 za stejných rezných podmínek.



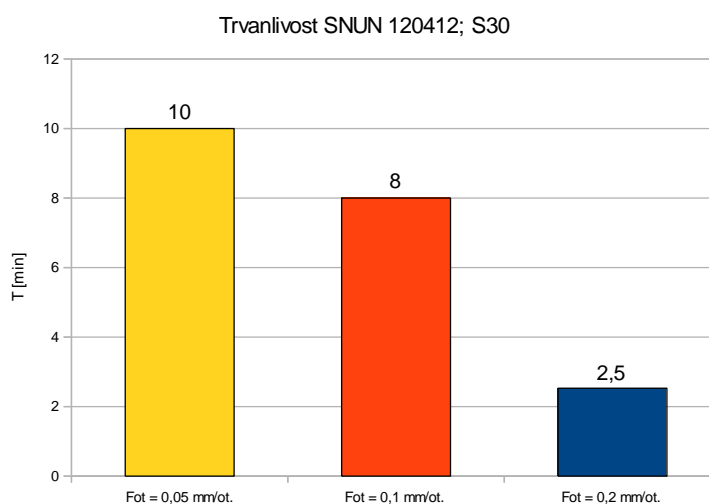
Obr. 6 Trvanlivost VBD

Na obr. 6 jsou znázorněny hodnoty trvanlivosti různých VBD při frézování opět bez použití procesní kapaliny. Bylo zjištěno, že VBD SNUN120412;S26 umožňuje zvýšit trvanlivost nástroje 1,6-1,7krát než VBD SNUN120412;S30. Povlakovaná VBD SNUN120412;8230 umožňuje zvýšit trvanlivost přibližně 2krát v porovnání s VBD SNUN120412;S30, to vše při obrábění GP 40% kámen za stejných řezných podmínek.

6.2 Hodnocení vlivu řezných podmínek



Obr. 7 Taylorův diagram v závislosti řezné rychlosti na trvanlivosti VBD



Obr. 8 Vliv posuvu na trvanlivost VBD

Bylo zjištěno, že největší vliv na trvanlivost VBD má řezná rychlost (obr. 7). Při zvětšení řezné rychlosti 2krát se trvanlivost VBD snížila téměř 2krát. Posuv má výrazně menší vliv na trvanlivost VBD než řezná rychlost. Jak je patrné ze sloupcového grafu na obr. 8, například zvětšením posuvu 2krát se zmenšila trvanlivost VBD o 33%. Hloubka záběru nemá téměř žádný vliv na trvanlivost VBD. Při zvětšení hloubky záběru 4krát zůstala trvanlivost VBD na stejných hodnotách.

7. ZÁVĚR

Tato práce byla zaměřena na zjištění trvanlivosti nástroje vyměnitelné břitové destičky (VBD) technologií nesousledného frézování. Obrábění bylo realizováno pomocí nástrojové frézky FNG 32 a následně pomocí nástrojové frézky FA4A-V. Nástrojem byla čelní rovinná fréza osazená jedním lůžkem pro VBD, byly použity VBD z nepovlakovaného slinutého karbidu S30 a S26. Dále byla použita VBD z povlakovaného slinutého karbidu ozn. 8230 od výrobce Pramet Tools, s.r.o.

Cílem této práce bylo zjištění trvanlivosti VBD a zjištění vlivu opotřebení břitu na drsnost povrchu při frézování geopolymerních (GP) materiálů bez použití procesní kapaliny (tzv. obrábění na sucho). Testovanými vzorky byly GP s příměsí 40% popílek, GP s příměsí 40% kámen a GP s příměsí 40% lupek.

Pro posouzení trvanlivosti byl za hlavní parametr určen čas obrábění do opotřebení hřbetu břitu 0,5mm.

Vyvozené závěry jsou následující:

- Během experimentu bylo dokázáno, že obrobiteľnosť GP 40% popílků je přibližně 8krát lepší než obrobiteľnosť GP 40% kamene a přibližně 16krát lepší než obrobiteľnosť GP 40% lupku při obrábění VBD S30 za stejných řezných podmínek.
- Bylo zjištěno, že VBD S26 umožňuje zvýšit trvanlivost nástroje 1,6 – 1,7krát než VBD S30. Povlakovaná VBD 8230 umožňuje zvýšit trvanlivost přibližně 2krát v porovnání s VBD S30, to vše při obrábění GP 40% kamene za stejných řezných podmínek.
- Bylo zjištěno, že největší vliv na trvanlivost nástroje má řezná rychlost v_c . Při zvětšení řezné rychlosti 2krát se trvanlivost VBD snížila téměř 2krát. Posuv f má výrazně menší vliv na trvanlivost VBD než řezná rychlost. Např. zvětšením

posuvu 2krát se zmenší trvanlivost VBD o 33%. Hloubka záběru a_p má minimální vliv na trvanlivost VBD, při zvětšení hloubky 4krát byla trvanlivost VBD stejná.

- Bylo zjištěno, že při hloubce záběru 0,75mm bylo vyštipování materiálu při výstupu frézy z obrobku minimální. S hloubkou 1,5mm a 3mm vznikají potíže s vyštipováním GP. Doporučujeme obrábět hloubkami do 0,75mm.
- Vizuální kontrolou byla prokázána minimální pórovitost u GP 40% kámen, jako druhým materiálem s četností pórů byl zjištěn GP 40% lupek a maximální pórovitost byla zjištěna u GP 40% popílek.

Pro praxi vyplývají následující doporučení:

- Pro obrábění GP materiálů při operaci frézování se doporučuje používat VBD ze slinutého karbidu, a to ze slinutého karbidu povlakovaného.
- Vzhledem k malé životnosti VBD během frézování se doporučuje nastavení nízkých řezných rychlostí.
- Z pohledu obrobiteľnosti se doporučuje používat GP s příměsí 40% popílek, jelikož obrobiteľnost tohoto materiálu je řádově několikanásobně lepší než obrobiteľnost GP s příměsí 40% kámen a GP s příměsí 40% lupek.
- Nedoporučuje se obrábět hloubkami záběru převyšující hodnotu 0,75mm z důvodu vyštipování hran obráběného GP materiálu.
- Během operace frézování se doporučuje používat odsávací zařízení z důvodu vysoké míry prašnosti při utváření třísky.

V návaznosti s touto prací by bylo vhodné pokračovat ve zjišťování trvanlivosti VBD ze SK s vícevrstevným povlakem, případně s VBD ze supertvrdých a revolučních řezných materiálů.

LITERATURA

- [1] DĚDEČKOVÁ, L. *Geopolymery budoucnost mostního stavitelství?*. [online]. 2010, [cit. 3. února 2013]. Dostupné z <<http://www.silnice-zeleznice.cz/clanek/geopolymery-budoucnost-mostniho-stavitelstvi/>>
- [2] ŽAMBERSKÝ, M. *Geopolymery*. [online]. 2010, [cit. 3. února 2013]. Dostupné z <http://www.matrix-2012.cz/index.php?option=com_content&view=article&id=1149:geopolymery&catid=64:rzne&Itemid=88>

- [3] SLAVÍK, R. *Geopolymery a jejich použití pro nakládání s odpady*. [online]. 2006, [cit. 3. února 2013] Dostupné z <http://odpady.ihned.cz/c4-10066110-18251200-E00000_d-a-jejich-pouziti-pro-nakladani-s-odpady>
- [4] ČTK. *Češi vyvinuli revoluční stavební materiál*. [online]. 2007, [cit. 3. února 2013]. Dostupné z <http://www.tyden.cz/rubriky/veda-a-technika/veda/cesi-vyvinuli-revolucni-stavebni-material_7194.html>
- [5] DOLEŽAL, J., ŠKVÁRA, F., SVOBODA, P. *Concrete based on Fly ash Geopolymer*. [online]. 2006. [cit. 21. února 2013]. Dostupné z <http://www.geopolymery.eu/aitom/upload/documents/publikace/2006/iba-usil_2006_text_verzebook.pdf>
- [6] ŘEPÍK, M. *Příprava geopolimerů*. [online]. 2007, [cit. 12. ledna 2013]. Dostupné z <<http://soc.nidm.cz/archiv/getWork/hash/40A11MT150591A>>
- [7] AB SANDVIK COROMANT – SANDVIK CZ s.r.o. *Příručka obrábění: kniha pro praktiky*. Přeložil Kudela Miroslav. 1. vyd. Praha: Scientia, s.r.o.. 1997. 857 s. ISBN 91-97 22 99-4-6

Inovace závěsu zadních dveří automobilu

Kulhavý Petr

Sekce - STROJÍRENSTVÍ,

Fakulta strojní, 2. ročník

Navazující magisterský studijní program – Inovační inženýrství

Abstrakt: Diplomová práce se zabývá inovovaným řešením otevírání zadních dveří automobilu. Řešení je navrženo pro menší sportovní automobil, v jehož konceptu se uvažuje o hybridním pohonu. Jedná se o platformu bez „B“ sloupku a s opačným otevíráním dveří. Inovace byla provedena s cílem nového, moderního řešení, jehož cílem je kromě samozřejmého zajištění primární funkce bezpečného a spolehlivého otevírání dveří současně upoutat zákazníka. Při návrhu konceptů bylo použito průzkumu nejnovějších světových patentů a metod inovačního inženýrství. Z navržených konceptů byla vybrána nejvhodnější varianta, jež byla vymodelována s využitím moderních CAD systémů, DFX metod a současně pevnostní ověření pomocí FEM analýzy.

Klíčová slova: inovace, zadní dveře, opačné otevírání, FMEA, MKP

1. Úvod

Od osobního automobilu již dávno neočekáváme pouze jeho primární funkci přemístění z jednoho bodu do druhého. Vozidlo se dnes v častých případech stalo stylingovým doplňkem svého majitele, nástrojem k prezentaci jeho osobnosti, životního stylu či společenského postavení. V některých, většinou manažerských postech je dokonce stejně nutné a společensky žádané obdobně jako společenský oblek, luxusní hodinky a kožené boty. Většina výrobců v daných cenových třídách vozidel nabízí vesměs podobné modely a zákazník se mezi nimi nerozhoduje podle nejnovější použité technologie výroby, či optimalizovaným konstrukčním řešením, které on sám víceméně ani nepoznává. Důležité je dnes zákazníka oslovit na úrovni emoční, tzn. nabídnout kromě zcela samozřejmých jízdních, ekonomických a bezpečnostních vlastností i maximální uživatelský komfort a především design. Design si v dnešní době, kdy automobilky spolupracují v koncernech a vozidla jsou na podobných platformách, dovoluji označit za jedno z nejdůležitějších kritérií prodejnosti či metody k oslovení nových zákazníků.

1.1. Vývojová společnost Swell

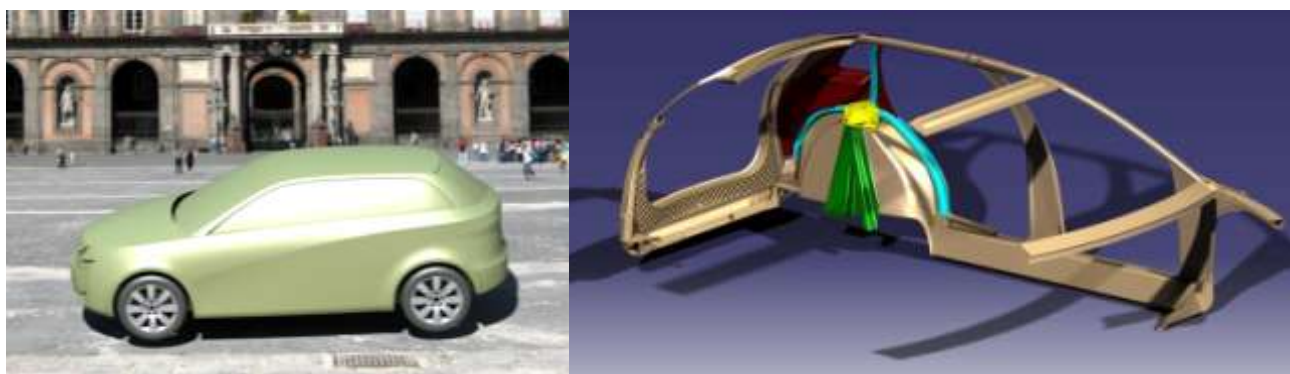
Společnost SWELL je předním dodavatelem vývojových služeb do automobilového průmyslu v České republice. Zabývá se vývojem dílů a sestav od návrhů až po přípravu částí vozu pro sériovou výrobu. Dále se zaměřuje na oblasti zkoušení, stavby prototypů a lisovacích nástrojů, konstrukce a numerické simulace.



Obr. 1 Úvodní obrázek webu společnosti s oficiálním logem Swell®

1.2. Představení současného stavu výrobku

Klasický osobní automobil dnešní doby má celkem čtyři boční a jedny zadní dveře. Dveře jsou samostatnými montážními celky, tzn. že se při montáži upevňují do karoserie plně osazené všemi komponenty. Dveře jsou složeny ze dvou vylisovaných profilů – vnějšího, vnitřního a několika dalších výztuh. Vnější a vnitřní profil je po obvodu spojován zalemováním s použitím lepicího tmelu. Ostatní díly dveří jsou přivařeny nebo spojeny kombinací sváru a lepení. Dveře se klasicky zavěšují do "klobouku karoserie" na B sloupek dvěma pevnými závěsy pomocí šroubů umožňujících snadnou montáž, seřízení dveří a nakonec i možnost následné demontáže dveří bez porušení slícování. Závěsy jsou obvykle složeny ze dvou tvářených částí. Jedna část bývá přišroubována či přivařena k B sloupku, druhá strana závěsu potom přišroubována ke dveřím. Dalším spojujícím prvkem je omezovač, jenž umožňuje aretaci dveří v polootevřené a otevřené poloze. U běžných osobních automobilů se úhel otevřených dveří pohybuje okolo 67°.



Obr. 2,3 Koncept vozidla společnosti Swell, Catia_V5

1.3. Hlavní nedostatky a příležitosti současného řešení

Stávající řešení je nevyhovující především z pohledu velkého počtu konstrukčních dílů, množství montovaných spojů a velké komplexity dílů. Celkem 4 samostatné prvky spojují dveře a automobil (dva závěsy, jeden omezovač a jeden svazek elektro kabelů).

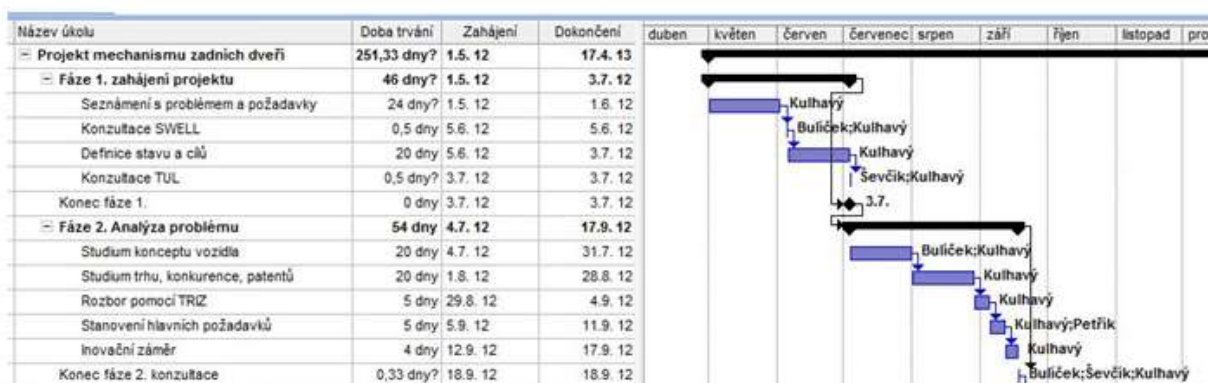
Z celkového pohledu na automobil je nezanedbatelné omezení vstupního prostoru. Omezení je způsobené otevíráním dveří, kdy tím že se otevírají sousledně za sebou, dochází k omezení celkového možného prostoru na méně než polovinu místa. Máme-li např. vzadu dítě v sedačce, či odloženou bundu, musíme nejprve nepřírozeně obejít zadní dveře.

Příležitost k inovaci:

- Snížení celkového počtu prvků propojujících dveře a automobil.
- Zjednodušení přístupu k zadním sedadlům z předních míst (dítě na sedačce)
- Zatraktivnění "klasického mechanismu" netradičním designem

2. Projekt - Inovace závěsu zadních dveří

Inovace je komplexní proces, z toho důvodu byla práce řešena formou projektu a v Microsoft Project vypracován harmonogram.

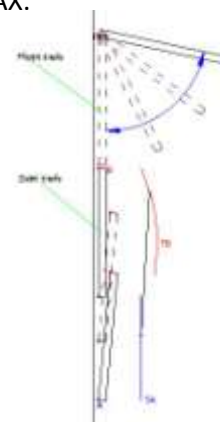


Obr.4 Plán projektu, Ganttův diagram, MS Project

2.1. Bechmarking konkurenčních řešení

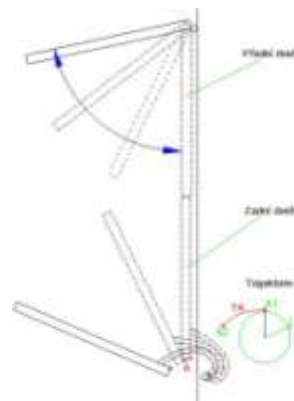
"Suicide door" původní anglické označení pro dveře s panty vzadu. Toto konstrukční řešení se prvně objevilo v meziválečném období, ale postupně bylo opuštěno. V dnešní době ovšem opět došlo k jeho "znovuobjevení". Pro ukázkou jsou představeny nejznámější sériově vyráběná vozidla s opačným otevíráním zadních dveří.

- V roce 2012 představila automobilka Ford nový model nazvaný B-MAX.



Obr.5 Ford-B max, web výrobce, Obr.6 schéma AutoCad

- Sportovní auto vyráběné Mazda Motor Corporation - Mazda RX8. Poprvé již v roce 2001.



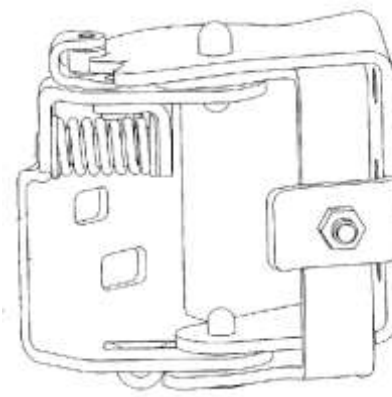
Obr.7 Mazda RX8, web výrobce, Obr.8 schéma AutoCad

2.2. Patentový průzkum

Jako inspirace k navrhovaným konceptům byl proveden průzkum patentových databází serverů google patents a espace.net. Jedním ze zajímavých patentů, jenž bude použit pro inspiraci, je patent na funkci aretačního krokového omezovače.

- **"Door hinge aseembly"**

Unites states patent Number 5 926 917



Obr.9 Sestava závěsu s implementovaným krokovým omezovačem

2.3. Hledání inspirace metodou TRIZ

Metoda TRIZ je určena pro techniky, inženýry a všechny ostatní, kteří hledají tvůrčí řešení technických problémů. Metodika TRIZ v poslední době zaujímá mezi ostatními metodami podpory technické tvůrčí práce (brainstorming,...) rovnocenné postavení, protože respektuje potřebný systémový přístup ve fázi rozboru řešeného problému.

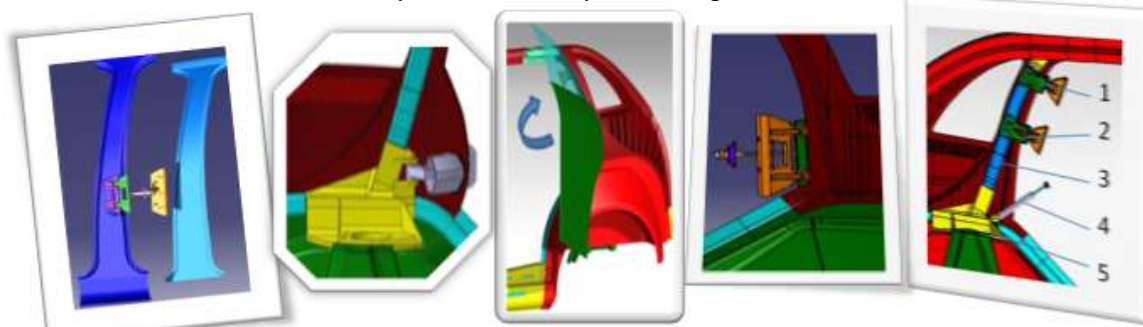
Dle hlavních stanovených nedostatků bylo pomocí databáze TRIZ určeno několik základních principů, jež by měly nastínit směr možného řešení problému.

- **7. Princip jeden v druhém**
Jeden objekt má v sobě umístěn druhý, jež má v sobě třetí atd.
- **17. Princip přechodu na jiný rozměr**
Změna trajektorie pohybu

3. Navrhované koncepty řešení

Byl proveden návrh základních konceptů řešení a výběr nejvhodnějšího. Pro výběr se nejčastěji využívají rozhodovací tabulky, kdy je analyzovaný systém rozložen na množství dílčích kritérií, jež lze hodnotit. Na základě např. marketingového průzkumu, týmové diskuze a podobně, se jednotlivým kritériím přiřadí významnosti a posoudí vliv jednotlivých parametrů z hlediska požadavků přínosu pro zákazníka.

Obr.10 Výběr z navržených konceptů řešení, Catia

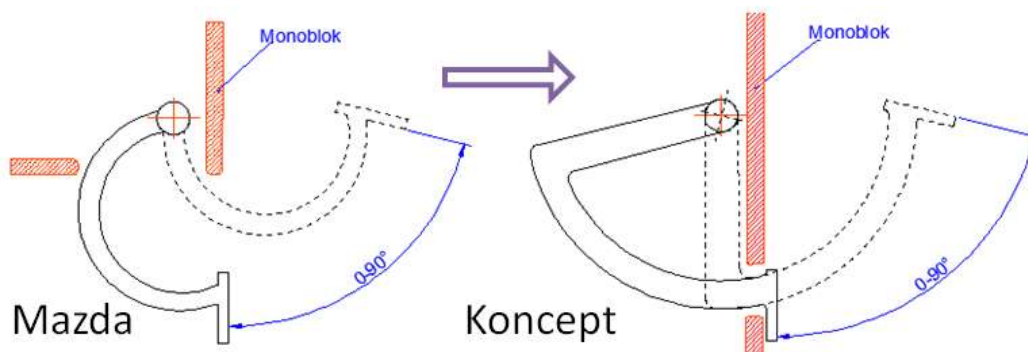




Kritérium	Váha	Koncepty					
		3		4		5	
		hodnota	vážená hodnota	hodnota	vážená hodnota	hodnota	vážená hodnota
Vnímání změny zákazníkem	9	4	0,36	3	0,27	4	0,36
Modernost řešení	7	3	0,21	3	0,21	5	0,35
Spolehlivost mechanismu	3	4	0,12	4	0,12	4	0,12
Požadavky na údržbu, seřizování	5	3	0,15	4	0,2	4	0,2
Požadavky na čištění	5	2	0,1	3	0,15	3	0,15
Změna principu dosavadního řešení	8	3	0,24	4	0,32	5	0,4

Obr.11 Detailní rozhodovací tabulka výběru konceptu - výřez

Jako nejlepší řešení vyšel koncept č. 5, což je opačné otevírání dveří s výsuvným svařeným ramenem, jenž bude celé ukryto v monobloku. Hlavní myšlenka konceptu vychází ze studie vozidla Mazda, ovšem s podstatnou změnou konstrukce ramene. Přídavným mezičlenem je u vlastního ramene docíleno pohybu po kružnici, jenž nabízí nový pohled na možnosti řešení.



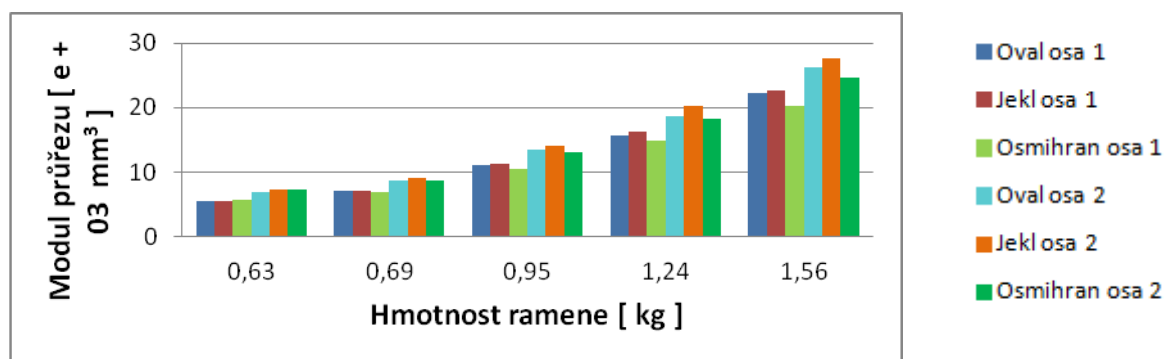
Obr. 12 Schematické porovnání principu pohybu ramene závěsu

4. Konstrukce inovovaného výrobku

Volba ideálního tvaru a průřezu ramene

Hlavním prvkem bude zahnuté duté rameno s konstantním poloměrem křivosti v celém svém pracovním rozsahu tj. 0-90°. Z jedné strany osazené přírubou, jež se pomocí předepjatého šroubového spojení přimontuje ke dveřím. Ze strany druhé bude pomocí spojného prvku spojeno s přírubou otočného čepu, umístěné ve středu křivosti rotace.

Pro těleso ramene závěsu byl hledán a analyzován ideální průřez pomocí numerického výpočtu (citlivostní analýza v sw Creo) a ověření výpočtem ve FEM modulu. Počátečním průřezem byl jekl 64x40x4 a všechny ostatní profily v dané kategorii byly zvětšeny při zachování konstantní plochy průřezu.



Graf1. Vztah závislosti velikosti (hmotnosti) ramene a modulu průřezu

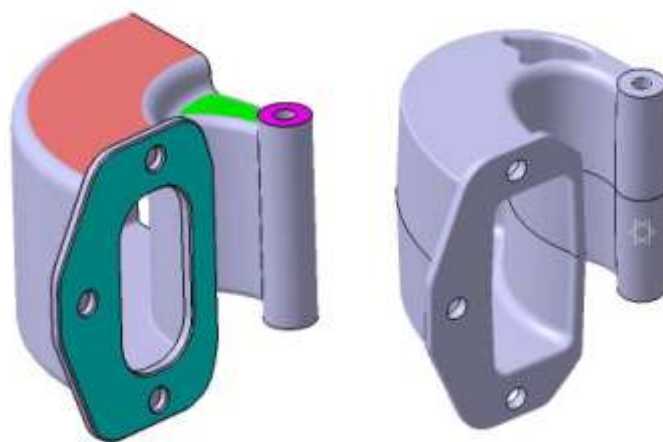
Jako nejvhodnější profil stanoven obdélník - jechl. Následně byly navrženy dva koncepty, jež z hlediska hmotnostního i mechanického vycházejí velmi podobně.

- Ocelové provedení - ideální průřez vyšel jechl 65x45x4
- Hliníkové provedení - jako nejlepší vyšlo rameno průřezu jecklu 110x65x6.

4.1. Optimalizace řešení pomocí metody DFM

Design For Manufacturability je z pohledu strojírenství umění navrhování výrobků takovým způsobem, aby byly co nejsnadněji vyrobitelné s minimalizací výrobních nákladů. Původní navrhované řešení je svařenec spojený ze 4 součástí (barevně označeno na obr.13 vlevo). Hlavní nevýhodou z hlediska výroby bude tedy nutnost svaření celé konstrukce, časové náročnosti a požadavku následných tepelných úprav dílu. Jako optimalizované řešení (obr.13 vpravo) bylo navrženo rameno z jednoho celistvého materiálu v kuse jako odlitek.

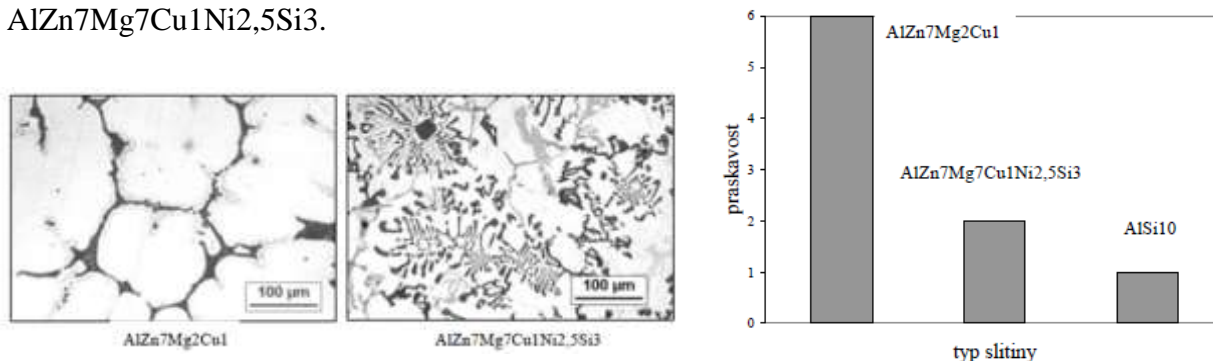
Prvek odlitku vychází ze základního tvaru profilu obdélníku, rotovaného o 110deg z důvodu požadavku otevření dveří až do pravého úhlu, vzhledem k rovině tečné boku automobilu. Dělicí rovina odlitku je plánována do roviny procházející polovinou výše závěsu a k tomuto místu se tedy vztahují i technologické úkoly, vně a uvnitř profilu, nutné z hlediska požadavku na zaformování a vyjmutí z formy. Jako technologie lití pro tento díl bude nejvhodnější gravitační lití. U lití tlakového vlivem velkého stlačení vzduchu ve formě dochází ke vzniku značné pórovitosti, a tím i poklesu mechanických hodnot hliníkového odlitku. Použitý materiál, je hliníková slitina AlZn7Mg7Cu1Ni2,5Si3.



Obr. 13 Původní navržené svařené a inovované odlité rameno

4.2. Materiál součásti

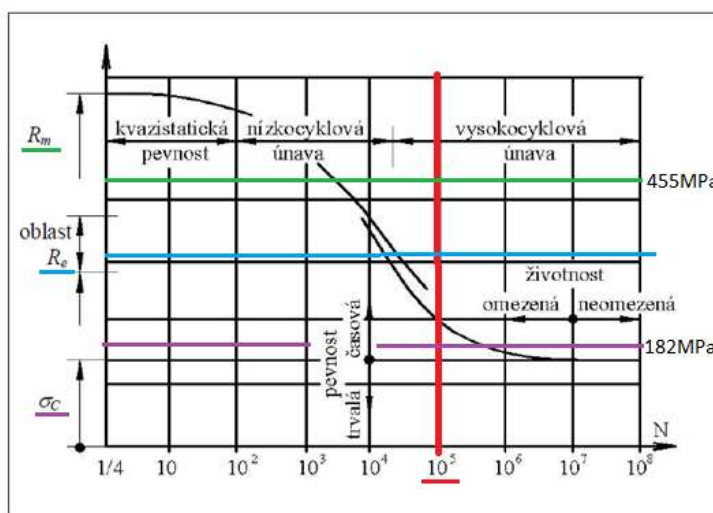
Jako konstrukční materiál byla zvolena vysoce pevná slitina hliníku. Slitiny hliníku se nazývají vysoce pevnými, pokud jejich pevnost v tahu převyšuje 350 až 400 MPa. Slitiny na bázi AlZnMgCu mají ovšem obecně horší slévárenské vlastnosti, zejména špatnou zabíhavost a tendenci k tvorbě trhlin za tepla, což je způsobeno širokým intervalem krystalizace. Nastal tedy rozpor, kdy požadavkem byl materiál s mechanickými vlastnostmi AlZnMgCu, ovšem na straně druhé se slévárenskými vlastnostmi co nejvíce podobnými AlSi10. Jako nejvodnější řešení byl, pomocí průzkumu databází materiálů u komerčních výrobců, nalezen materiál AlZn7Mg7Cu1Ni2,5Si3.



Obr. 14 Vzájemné porovnání mikrostruktury a praskavosti při odlévání [6]

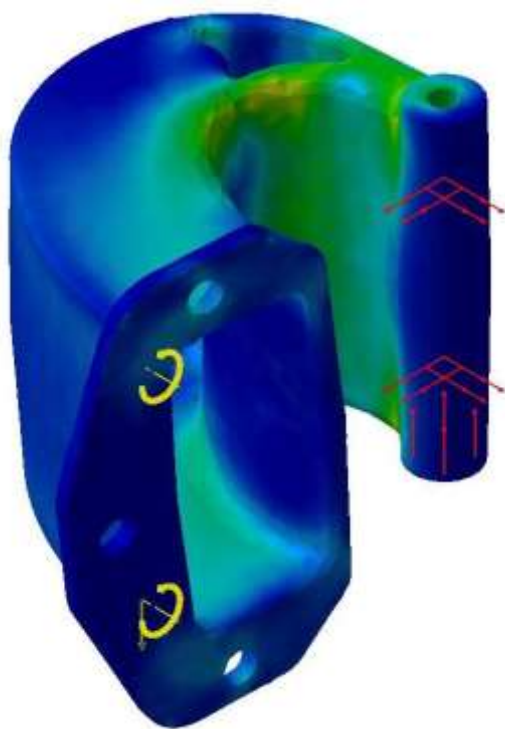
4.3. Únavové namáhání součásti

Reálné strojní součásti jsou často podrobeny zatěžování, které je proměnné v čase. Proměnlivé namáhání představuje z hlediska bezpečnosti a spolehlivosti součásti podstatně větší riziko, než statické namáhání. Opakované zatěžování vede ke kumulaci plastické deformace. U slitin hliníku je posuzování únavového chování odlišné od ocelí, protože u nich dochází k lomu při konečném počtu cyklů, hodnota definovaná jako napětí, ke kterému se klesající únavová pevnost konverguje, tudíž neexistuje. V praxi se hodnoty cyklů pohybují do $N = 10^8$. Mez únavy je pro zvolenou hliníkovou slitinu AlZn7Mg7Cu1Ni2,5Si3 stanovena $\sigma_c = 0,40R_m = 182\text{MPa}$.



Obr. 15 Oblasti únavové pevnosti a životnosti [2]

4.4. FEM analýza modelů ramene



Von Mises stress (nodal values).1

Max : 1,19204e+008 N_m2

Min : 2,38287e+006 N_m2

1.9e+008

1.7e+008

1.5e+008

1.3e+008

1.1e+008

9.6e+007

7.7e+007

5.9e+007

4e+007

2.1e+007

2.4e+006

Použitý systém FEM Catia - GSA. Pro návrh sítě byl použit parabolický element s maximální velikostí prvku 0,1 mm a povoleným potlačením nepřesnosti okrajových hran 0,05mm. Zobrazené napětí dle Von Mises Stress, nodal values. Legenda v červené oblasti znamená mez časové pevnosti pro daný materiál.

Obr.16 Napětí v modelu odlitku - GSA Catia

4.5. Porovnání jednotlivých návrhů ramene.

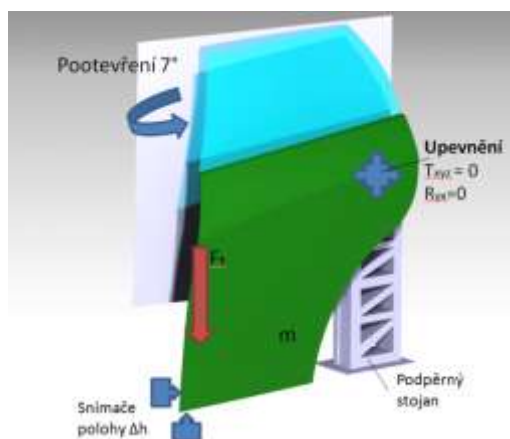
		Svařenec ocel	Svařenec hliník	Odlitek hliník
Rozměry	[mm]	OB 65x40x4	OB 115x65x5	OB 115x65x5
Hmotnost	[kg]	1,3	1,1	0,96
Max napětí	[MPa]	300	130	120
Max deformace	[mm]	0,78	0,82	0,7

Tab.1 Porovnání parametrů jednotlivých konstrukcí ramene

4.6. Kontrola dveří na prověšení

Primárním zatížením, na které je nutné dimenzovat konstrukci dveří s výsuvným ramenem, bude ohybový moment a krut, kterým působí dveře na jejich závěs. Závěs následně přenáší zatížení prostřednictvím svého uložení a čepu do konzole upevněné ke vzpěrám C sloupku a vzpěry, spojky a zadního monobloku.

Dle platné normy pro testování součástí automobilů, se křídlové dveře spolu se závěsným prvkem kontrolují na prověšení.



Obr.17 Schéma principu provedení testu

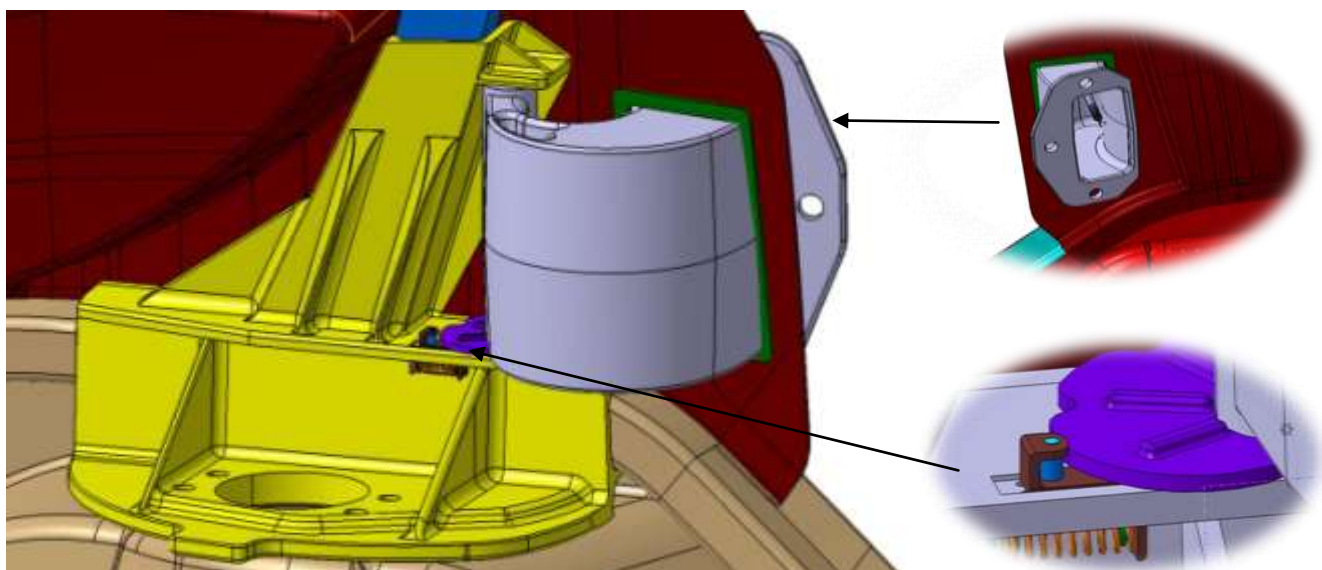
Vlastní průběh testu spočívá v zavěšení dveří za závěs do upevňovacího zařízení, pootevření o 7°, kontrolní zatížení a měření poklesu dle obrázku níže. Δh_{\max} je maximální přípustná hodnota v zatížení, Δh_{odl} následně hodnota odečtená po odlehčení. Experiment se provede celkem třikrát a všechny výsledky musí vyhovovat.

Pro naše konstrukční řešení model dveří dosud neexistuje, takže byly pro kontrolní výpočet uváženy pouze jako dokonale tuhé těleso "rigid body" a jejich celkové provedení ve sledovaném bodě se určí pomocí úhlu natočení příruby ramene závěsu α a poklesu dh . Maximální hodnota poklesu vychází $\Delta h_{\max} = 3,3\text{mm}$.

m [kg]	Ft [N]	Δh_{\max} [mm]	Δh_{odl} [mm]
25	1000	10	1

5. Konstrukce sestavy závěsu

K navrženému ramenu byla následně zkonstruována konzola, pomocí které bude rameno pevně upevněno ke karosérii. Rotační čep zajišťující spojení ramene s konzolou a krokový omezovač, navržený dle nalezeného patentu, tvarově spojený s ramenem, zajišťující jednodušší uzavření a aretaci dveří při úhlu otevření 45 a 90°.



Obr.18 Sestava mechanismu závěsu dveří, detail omezovače a příruby ramene

6. Závěr

V začátku práce je představena konstrukční společnost Swell a koncept vozidla, včetně popisu použitých konstrukčních materiálů. Detailně je popsán princip konstrukce současného závěsu a stanoveny hlavní nedostatky. Z nalezených nedostatků je pomocí metodiky TRIZ stanoveno několik základních směrů možného řešení. Následujícím krokem bylo studium historického vývoje. V auto lexikonech byly nalezeny informace o tom, že myšlenka zrcadlového otevírání není vůbec nová. Ke slovu přišla prvně již v době meziválečné. Tomuto řešení dodnes zůstalo označení "Suicide door". V práci jsou představena některá současná řešení, jako např. modely od Mazdy, Fordu či Opelu.

Dle nalezených informací byly stanoveny hlavní požadavky, které byly uváženy do návrhu celkem pěti vytvořených konceptů. Výsledně byl vybrán 1 vítězný koncept k dalšímu propracování. Pro navržené součásti byl zvolen výchozí materiál, jenž musel být posouzen především z hlediska únavového namáhání. Pomocí CAD software Creo byla provedena citlivostní analýza tvaru a velikosti průřezu ramene na modulu průřezu. Dále byl v sw Catia pomocí metody GSA (FEM) ověřen ideální profil ramene. Metodou DFM bylo následně z původního svařeného konceptu optimalizováno na rameno odlité. Byla nalezena slitina na bázi AlCuMg, jež díky optimálnímu poměru legujících prvků a přítomnosti eutektických fází Mg₂Si a NiAl₃ v mikrostruktuře zrna dosahuje znatelně lepších slévárenských vlastností.

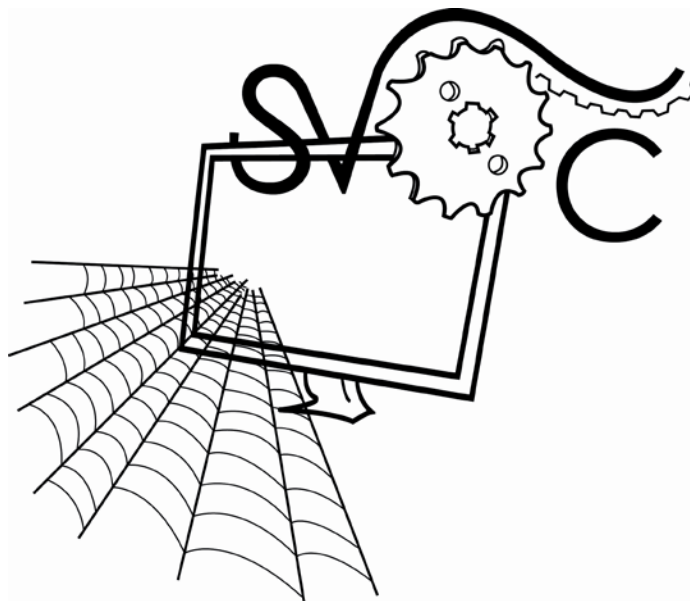
Celá sestava mechanismu byla vytvořena v software Catia. V závěru práce byla dle normy Škoda a.s., nutná kontrola dveří na prověšení. Výpočet byl proveden pomocí modulu GSA a současně byl ověřen v systému PamCrash. Všechny body určené v inovačním záměru byly splněny. Konstrukční část projektu inovace je nyní u konce. Dále by se v běžném provozu přešlo k tvorbě funkčních modelů a reálnému ověření funkčnosti celého zařízení.

Hlavním přínosem práce je návrh zcela nového principu závěsného ramene. Jedná se o řešení, jež by se mohlo stát charakteristické pro dané vozidlo, zviditelnit výrobce a oslovit nové zákazníky.

Použitá literatura:

- [1] Bušov B., Jirman P., Dostál V.: *Tvorba a řešení inovačních zadání*, IndusTRIZ, Brno, 1996
- [2] RŮŽIČKA, Milan. Únavová pevnost a životnost: Výpočtové metody. In: [online]. CVUT, 2007.
- [3] Sebevražedné dveře. *Wikipedie* [online]. 2010 [cit. 2013-02-04].
- [4] Pešík, L.: *Části strojů. 1. díl*. Liberec, TU 2005. ISBN 80-7083-938-4
- [5] Machan, J.: *Aplikace metod kvality ve fázi vývoje výrobku : příklady užití v automobilovém průmyslu*, Praha, ČVUT 2008, ISBN 978-80-01-04057-7
- [6] EKRT, Ondřej. VYSOCEPEVNÉ HLINÍKOVÉ SLITINY SE ZLEPŠENÝMI SLÉVÁRENSKÝMI VLASTNOSTMI. *VŠCHT, Ústav kovových materiálů a korozního inženýrství*. 2002.
- [7] KULHAVÝ, Petr. *Inovace zadního mechanismu zadních dveří*. Liberec, 2013. Diplomová práce. TUL. Vedoucí práce Petřík.

Studentská vědecká odborná činnost



Bakaláři - Strojírenství

REGENERACE VODY KONTAMINOVANÉ HLINÍKOVÝM PRACHEM - NÁVRH PŘÍSLUŠENSTVÍ K HYDRODYNAMICKÉ VANĚ

Kodeš Jaroslav

Sekce - Bakaláři - Strojírenství,
Fakulta strojní, 3. ročník
Bakalářský studijní program – STROJNÍ INŽENÝRSTVÍ

Abstrakt: Tématem bakalářská práce je separování hliníkového prachu z kontaminované vody (vizualizační kapaliny). Na přivedenou vodu z vodovodního řádu se nanese na její hladinu disperze (vizualizační přísady). Vizualizační kapalina je v experimentálním zařízení a slouží k experimentům na ní. Po ukončení experimentu bude ve výtokové části experimentálního zařízení docházet k separaci hliníkového prachu. Cílem bakalářské práce je konstrukce příslušenství k experimentálnímu zařízení, které povede ke kontinuálnímu odstraňování hliníkového prachu z vizualizační kapaliny po experimentech na experimentálním zařízení (hydrodynamické vaně).

Klíčová slova: Hliníkový prach, hydrodynamické vana, separace, vizualizace, disperzní soustava, sběrné příslušenství, separace.

1 Úvod

V experimentální mechanice tekutin jsou metody, které nazýváme vizualizační. Význam těchto metod spočívá, že nám poskytují obraz proudění, podle něhož si můžeme vytvořit kvalitativní názor na proudění tekutiny. Tyto metody pomáhají vyjasnit fyzikální podstatu dějů probíhajících při různých podmínkách (laminárního, turbulentního) proudění. Metody nám ulehčují vytvoření fyzikálního modelu přibližující se realitě, který je dále základem teoretické analýzy.

Realizující se experimenty na hydrodynamické vaně jsou charakteru dvourozměrného proudění. Lze i realizovat třírozměrné proudění, které dále slouží pro numerické simulace, kde musíme nadefinovat počáteční a okrajové podmínky.

Proudící prostředí - tekutinu, můžeme považovat za spojité prostředí, jehož jednotlivé části (částice tekutiny) mají stejné fyzikální vlastnosti jako celek, takže jejich pohyb, popřípadě seskupení nelze prostým okem zachytit. Z existujících vizualizačních metod jsou uvedeny jen metody, které je možno realizovat na experimentálním zařízení.

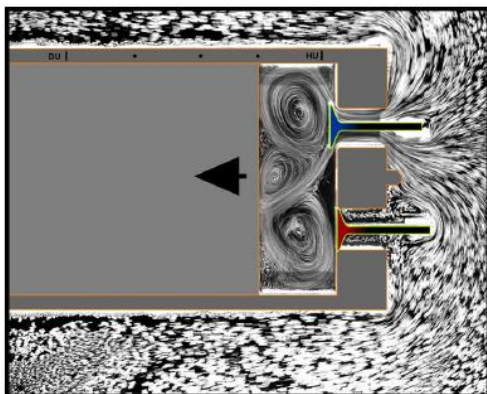


Obr.1 Hydrodynamická vana [2]

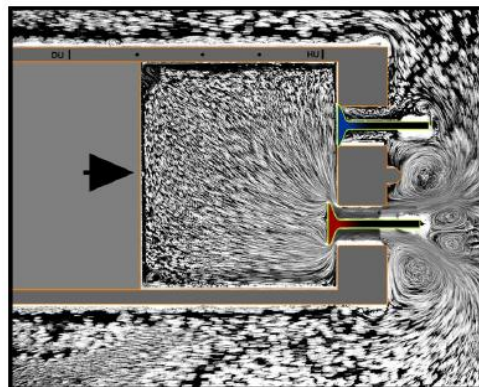
1.1 Vizualizace proudění sledováním částic v tekutinách

Poměrně rozšířené jsou metody vizualizace proudění tekutin sledováním částic tvořících souvislé oblasti v tekutinách. Tyto metody jsou vhodné pro vizualizaci proudění kapalin, plynů i pro vizualizaci dvoufázového proudění. Pokud tekutina neobsahuje uvedené částice, je třeba tyto do tekutiny zavádět. Musíme však dbát na to, aby zaváděné částice sledovaly proudnice a neovlivňovaly charakter sledovaného proudění.

Pro vizualizační experimenty na hydrodynamické vaně se používají stopovací částice, které plavou na volné hladině, nebo v objemu vizualizační kapaliny. Metoda zavádění jednotlivých částic spočívá v nanášení hliníkových, nebo lycopodiových částic na volnou hladinu kapaliny. Pro vizualizaci se využívá nádrž naplněná kapalinou. Při pohybu kapaliny částice na hladině vytvoří obraz proudění. Metoda zavádění sledovaných částic na povrch kapaliny umožňuje dvojrozměrnou vizualizaci proudění. Používá se nejčastěji nádrž obdélníkového tvaru, která je naplněná vodou a na povrchu kapaliny jsou nanášeny částice hliník. Metoda zavádění do objemu kapaliny může být zviditelnění proudění pomocí barviva, nebo pomocí nížových sond.



Obr.2 Nasávání-jednotlivé fáze [2]



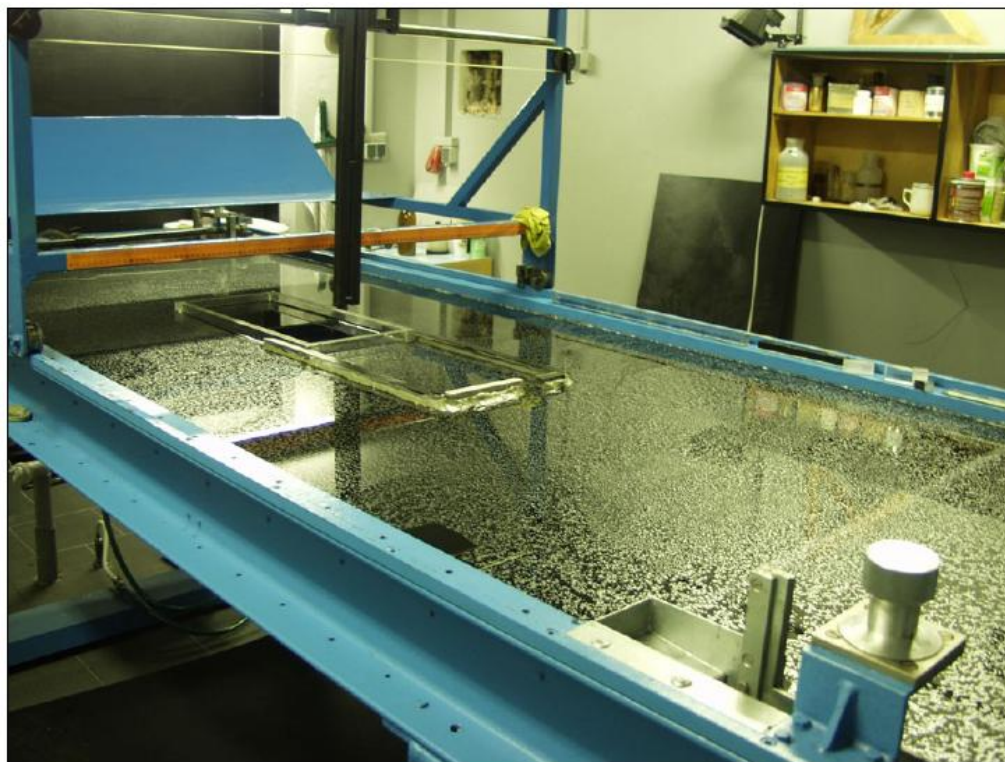
Obr.3 Komprese-jednotlivé fáze [2]

1.2 Koloidní disperze

Pro realizaci experimentu na hydrodynamické vaně musíme vytvořit koloidní disperzi, bez které jinak nemůžeme experiment realizovat.

Koloidní disperze (koloidně disperzní soustavy, koloidní soustavy) jsou významné především díky svým unikátním fyzikálně chemickým vlastnostem (např. závislost absorpce světla na velikosti částic). Specifické chování koloidně disperzních soustav souvisí mimo jiné s jejich velkou plochou fázového rozhraní mezi disperzní fází a disperzním prostředím v porovnání s vlastním objemem (množstvím) rozptýlené disperzní fáze.

Tyto fyzikálně chemické vlastnosti lze názorně sledovat i na hliníkovém prachu (disperzní fáze) rozptýleném ve vodě (disperzním prostředí). Díky povrchně aktivní látce (minerálnímu oleji) vznikající při výrobě mletím hliníkového prachu plave na hladině vody. Tato vlastnost nám umožňuje vybrat metody separace, které využijí této vlastnosti k odstranění hliníkového prachu z vody.



Obr.4 Koloidní disperze-disperzní prostředí(voda), disperzní fáze(hliníkový prach)[2]

1.3 Hliníkový prach

1.3.1 Vlastnosti prášku

Chemické vlastnosti

K chemickým charakteristikám prášku patří jeho chemické složení - čistota. Nejčastější nečistotou v kovových prášcích je kyslík a jeho množství výrazně závisí na způsobu přípravy prášku. Mezi chemické vlastnosti prášku patří i schopnost samovznícení, vyplývající především z afinity daného práškového kovu ke kyslíku. Důležitou chemickou charakteristikou prášku je jejich toxicita.

Fyzikální vlastnosti

K fyzikálním vlastnostem prášků patří tvar – morfologie a velikost částic, jejich granulometrické složení, měrný povrch, měrná hmotnost a mikrotvrdość částic. Morfologie, velikost a měrný povrch částic závisí na způsobu přípravy práškových kovů. Mikrotvrdość charakterizuje pevnostní vlastnosti práškových částic a je ovlivněna chemickým složením, strukturou a vnitřní pórovitostí částic. Fyzikální charakteristiky podmiňují technologické vlastnosti prášku.

Technologické vlastnosti

Technologické charakteristiky práškových kovů jsou: sypná měrná hmotnost, měrná hmotnost po setřesení, tekutost a lisovatelnost. Tekutost je důležitá vlastnost a dobrá tekutost je potřebná z hlediska možnosti automatizace procesů lisování, stejně jako z hlediska dosažení rovnoměrné měrné hmotnosti výlisků. Tekutost je ovlivněna morfologií, velikostí, granulometrickým složením, jakostí povrchu a vlhkostí částic. Např. pro tekutost je výhodná kulovitá morfologie a střední hodnoty vlhkosti.

1.3.2 Vlastnosti hliníkového prášku

Hliníkový prášek je možné charakterizovat jako lehký, stříbrobílý až šedý prášek bez vůně. Je velmi reaktivní a hořlavý. Vyznačuje se vysokou afinitou ke kyslíku, a proto okamžitě vytváří oxidy. Hliníkové práškové částice jsou vždy pokryté vrstvičkou oxidu a bez oxidického povlaku se vyskytují pouze v momentě přípravy - „čerstvé“. Některé prášky se proto ošetřují působením určitých látek, např. stearinu, s cílem minimalizovat jejich oxidaci povrchu. Hliníkový prášek vykazuje vysokou afinitu i k vlhkosti. Navlhly prášek se na vzduchu rozzhaví, přičemž se vytváří zápalný vodíkový plyn. Při styku s vodou, silnými kyselinami, silnými zásadami nebo alkoholy se také vytváří zápalný hořlavý vodíkový plyn. Hliníkový prášek může explozivně reagovat s množstvím anorganických a organických látek. Z důvodu potlačení hořlavosti se některé prášky povlakuji polystyrenem. Práškový hliník je netoxický.

Fyzikální vlastnosti hliníku se výrazně mění i v závislosti na čistotě prášku a přítomnosti legur. Fyzikální a technologické parametry práškových částic hliníku jsou výrazně podmíněny způsobem a konkrétními podmínkami přípravy prášku. Například hliníkový prášek získaný rozstříkáním vodou je charakteristicky částicemi menší velikosti s nepravidelným tvarem, drsnějším a více z oxidovaným povrchem než plynem rozstříkovaný prášek. V tabulce je uvedena závislost tvaru částic hliníkového prášku vzhledem ke způsobu jeho výroby.

ZPŮSOB PŘÍPRAVY	TVAR ČÁSTIC
rozstříkování vzduchem	nepravidelný, pórovitý
rozstříkování plynem	kulovitý
odstředivé rozstříkování	kulovitý až jehlicový
mletí	zrnitý, polyedrický talířovitý, vícevrstvý

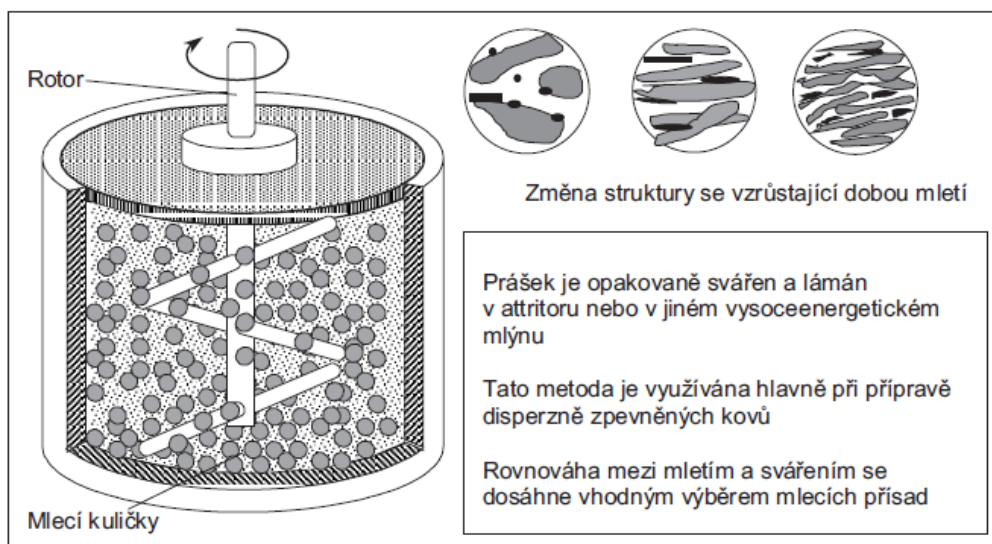
Tab.1 Závislosti tvaru částic práškového hliníku vzhledem ke způsobu přípravy[3]

1.3.3 Výroba práškového hliníku

Práškový hliník může být připraven různými způsoby. Nejčastěji používanými technikami přípravy, které jsou využívány také při průmyslové výrobě, jsou metoda rozstříkání taveniny, metoda rychlého tuhnutí, metoda mechanického mletí, metoda reakčního mletí. Zde bude uveden pouze způsob výroby prachového hliníku, který se používá při experimentech.

Metoda mechanického legování

Mechanické legování umožňuje tvorbu mikrolegovaných kompozitních částic prášku v tuhém stavu, v procesu vysoce energetického mletí prášků ve velmi výkonných kulových mlýnech. Při mechanickém legování tedy není nutná výrazná rozpustnost legur v tekutém stavu. Metoda mechanického legování je založena na kombinaci plastické deformace, opakovaného lámání se, svaření a drcení částic v průběhu vysoce energetického mletí kovových prášků. Udržování rovnováhy mezi částicemi svařenými a drcenými (stejně jako i velikost částic) je možné přidáním přísad uhlíku (resp. dusíku), které vytvoří submikronové disperzoidy. Tyto karbidy a jemné oxidické částice tvořící se lámáním oxidických filmů a povrchu částic stabilizují submikronovou velikost zrna hliníkové matrice. Důležité je přidání povrchově aktivních činidel, které zabraňují kontaktu „čerstvých“ povrchů kovového prášku a potlačují přilepování prášku na stěny mlecí nádoby-kontejneru, mlecí vrtule i na mlecí kuličky. Výsledkem vysoce energetického mletí je homogenní a jemná mikrostruktura s rovnoměrným rozložením sekundárních částic v matricovém kovu.



Obr.5 Schéma vysoce energetického mletí v attritoru[3]

1.3.4 Využití hliníkového prášku

Hliníkový prášek má široké spektrální využití. Velké množství rozstříkovaného hliníkového prášku nachází uplatnění v chemickém průmyslu při výrobě anorganických a organických sloučenin. Značné využití nachází hliníkový prášek při výrobě tiskařských barev a i jako ochranných povlaků, využívaných např. v automobilovém a leteckém průmyslu. Hliníkový prášek se používá též při výrobě různých brusiv a keramik. Další uplatnění nachází prášek hliníku v zábavném pyrotechnickém průmyslu, i ve směsích s uhlíkem určených na přípravu ohňostrojů. Je možné ho i použít k vizualizačním metodám na experimentálních zařízeních.

2 Separační metody

Separační metody (dělicí metody) jsou fyzikálně-chemické metody spočívající v oddělení (separování, izolování) složek směsí. Obvykle spočívají na principu rozdílné distribuci dělených látek mezi různé nemísitelné fáze. Využívá se schopnost separovat látky na základě určitého parametru (např. různé teploty varu, těkavosti, velikosti molekul, rozdílné hustoty). Patří sem metody srážení, sublimace, destilace, dialýza, atd. Je zde uveden způsob možného rozdělení separačních metod.

Dělení podle mechanismu separace

Mechanický:

podle velikosti: dialýza, filtrace, ultrafiltrace, GPC, GSC
podle hustoty: sedimentace, centrifugace, ultracentrifugace

Chemický:

změna stavu: srážení, elektrodepozice
specifická vazba: afinitní chromatografie
iontová výměna: IEC

Fyzikální

rozdělování: GSC, GLC, LSC, LLC, LLE
změna stavu: destilace, sublimace, krystalizace
migrace: elektroforéza.

Jsou zde uvedeny metody separace hliníkového prachu, které je možno realizovat za konkrétních konstrukčních úprav na hydrodynamické vaně.

2.1 Sedimentace

Je proces usazování pevných a těžších částic, které jsou rozptýlené v plynu nebo kapalině (kapalně nebo plynně směsi). Usazují se na základě gravitačních sil. Pohyb částice v gravitačním poli je rovnoměrný, částice s větší hustotou klesají ke dnu (disperzní fáze má větší hustotu než disperzní prostředí). Sedimentace závisí na poměru hustot částic, velikosti a tvaru částic a viskozitě disperzního prostředí.

Sedimentace by se mohla realizovat v odtokové části hydrodynamické vany, protože hliník je těžší než voda. Po výrobě mechanickým mletím hliníkový prach obsahuje minerální olej a tím tedy nejde tuto možnost realizovat na hydrodynamické vaně. Právě díky minerálnímu oleji (aktivní povrchové látce) se realizuje vizualizační sledování hliníkových částic na hladině vody.

2.2 Centrifugace

K oddělení některých velmi jemných suspenzí je filtrace neúčinná, protože tuhá fáze buď prochází filtrem, nebo se filtrační materiál s menšími póry krátkodobě ucpe. V takových případech oddělíme složky odstředováním. Při odstředování je dělení tuhé fáze a kapalně fáze závislé na rozdílu jejich hustot, na odstředivé síle, která je úměrná frekvenci otáčení, a na poloměru otáčení. V odstředivém poli sedimentují částice radiálním směrem, těžší částice směrem od osy otáčení a lehčí částice naopak. Rychlost pohybu částic se mění s jejich vzdáleností od osy otáčení.

Centrifugace má podobné vlastnosti jako sedimentace. Nevýhodou je, že hliník se odděluje od vody a tím by mohlo dojít k nežádoucí explozi, proto tato metoda není vhodná.

2.3 Filtrace

Filtrace je metoda dělení pevné částice od kapaliny na porézní přepážce (pórovitým materiálu) - filtru. Filtr zachycuje pevné částice a propouští tekutinu (filtrát). Částice na filtrační přepážce vytvářejí filtrační koláč, obsahující prakticky veškerou pevnou látku ze zpracovávané směsi. Hnací síly filtrace jsou gravitace, rozdíl tlaků (filtrace tlaková, vakuová) nebo odstředivá síla (filtrační odstředivka). Heterogenní směs pevných částic s kapalinou se nazývá suspenze. Filtrace se nepoužívá, jsou-li částice menší než asi 100 μm . Jako filtr slouží nejčastěji filtrační papír, ale v určitých situacích lze jako filtr použít i látku nebo písek. Tekutina suspenze filtrem protéká, zatímco pevné částice filtr zachycuje.

Filtrace by mohla být jednou z metod separace hliníku na hydrodynamické vaně. Filtrační zařízení by mohlo být umístěno pod odtokovou částí hydrodynamické vany.

2.4 Vypařování

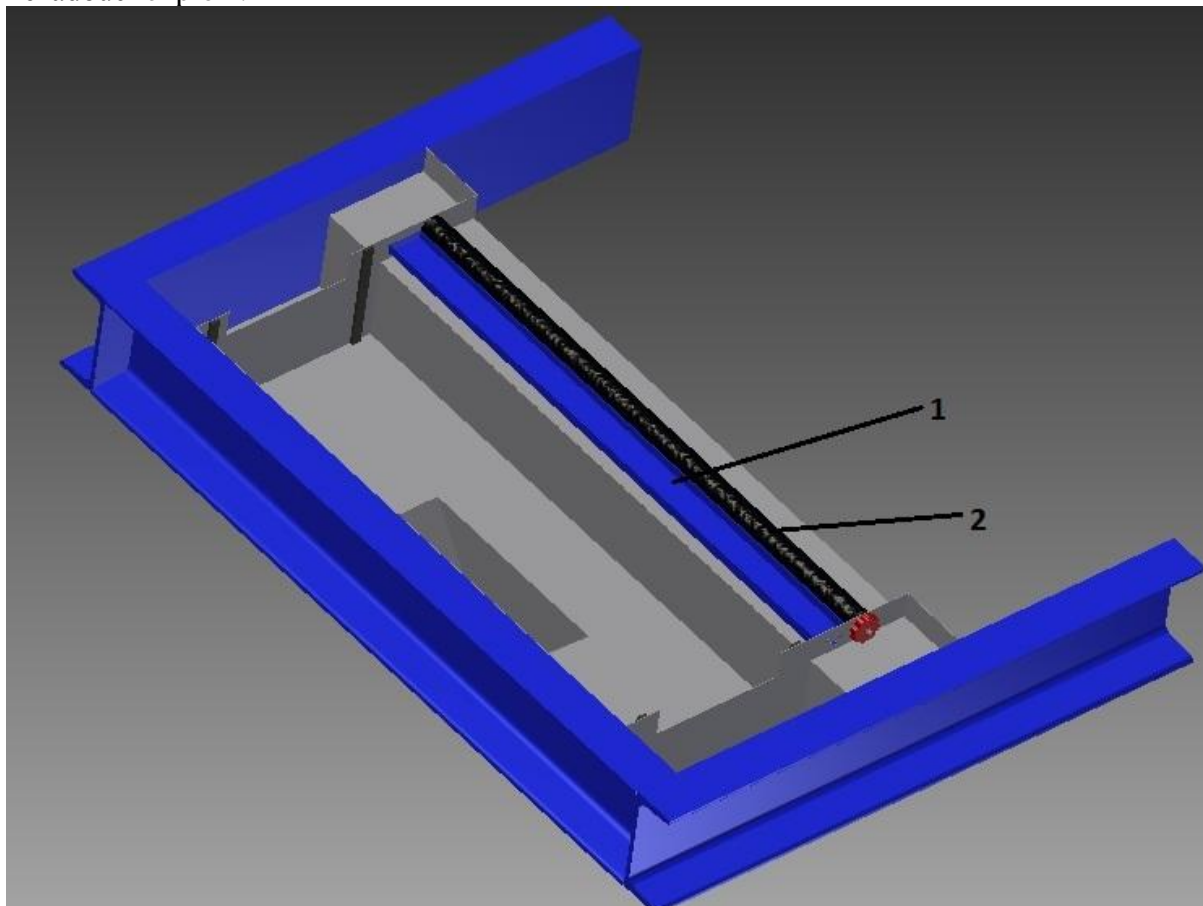
Vypařování je skupenská přeměna, při které se kapalina mění na plyn pouze z povrchu (ne z celého objemu jako při varu). Kapalina při vypařování odebírá teplo z okolí.

Podle kinetické teorie se z kapaliny vypařují ty molekuly, jejichž energie je dostatečná k překonání kohezních sil, a jejichž pohyb směřuje k volnému povrchu kapaliny, takže projdou povrchovou vrstvou a opustí kapalinu. Kapalinu tedy opouštějí molekuly s největší energií. Množství tepla, které je při dané teplotě potřebné k přeměně jednoho kilogramu kapalné látky v plynnou fázi, se nazývá skupenské teplo výparné (vypařovací). Při vypařování vzniká plyn. Tento plyn nazýváme pára nebo páry.

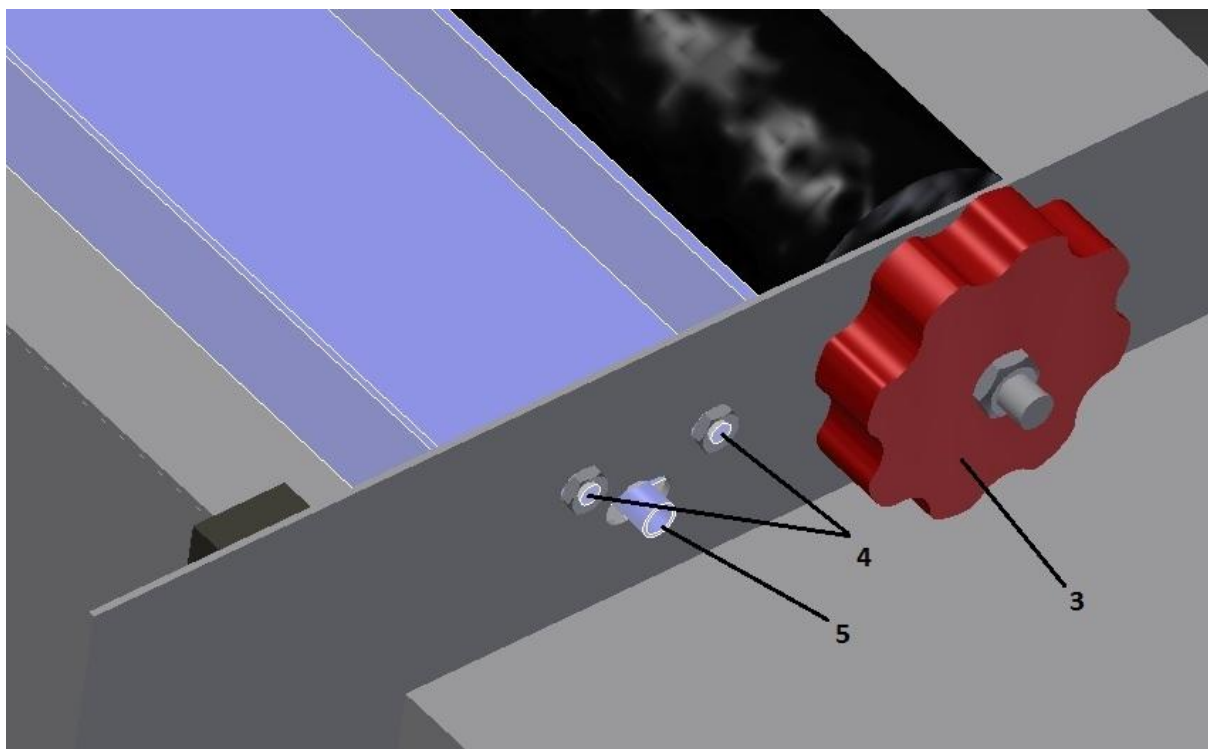
Vypařování není možné realizovat díky již zmíněné vlastnosti hliníku tedy explozi v přítomnosti vzduchu.

2.5 Vlastní návrh separace hliníku

Na obr.6 je uveden částečný model hydrodynamické vany a konstrukce příslušenství pro separaci hliníkového prachu. Konstrukce je navržena tak, aby při otáčení z hladiny proudící vizualizační kapaliny odebírala hliníkový prach, který se přichycuje na sběrný váleček a o nádobku se setře a tím oddělí od sběrného válečku. Váleček je z materiálu, který zajišťuje přichycení hliníkového prachu a také snadné oddělení. Tento materiál je buď plast, nebo guma, které splňují námi požadované vlastnosti. Sběrná nádobka je navržena tak, aby oddělený hliníkový prach samovolně stékal směrem k odtokovému kanálku, kterým pak teče dál do sběrné nádoby. Nádobka je skloněna pod úhlem, aby došlo k samovolnému stékání. Přítlak na sběrný váleček je možno volit libovolně díky posuvnému uchycení. Toto příslušenství nám zajišťuje odtok hliníkového prachu s vodou a tím tedy nemůže dojít k nežádoucí explozi.



Obr.6 - 1-Nádobka na separovaný hliník,2-Sběrný váleček



Obr.7 - 3-Uchycení pro otáčení sběrného válečku, 4-Posuvné uchycení, 5-Odtokový kanálek.

3 Závěr

Při zhodnocení všech uvedených metod separace hliníkového prachu lze realizovat filtraci a sběrné příslušenství. U sběrného příslušenství nemůže dojít k ucpání jako u filtrace. Další výhodou je, že váleček odděluje hliníkový prach od odtokové části a tím se nemusí použít tolik hliníkového prachu při experimentu a také je stále v kontaktu s vodou.

Literatura:

- [1] Řezníček, R.: Visualisace proudění, Academia Praha, 1972
- [2] Petříková, M.: Hydrodynamická vana s nízkou hladinou, In.: Mechanical Engineering, 2007
- [3] Michna: vlastnosti práškových kovů...příští týden něco seženu
- [4] Kvítek, L., Panáček, A.: Základy koloidní chemie, Univerzita Palackého Olomouc, 2007
- [5] Sklenák, L.: Preparativní a separační metody, Technická univerzita Ostrava, 2005

Kotoučové nůžky s mechanismem otáčení nože pomocí ozubeného převodu

Michal Strnad

Sekce - Bakaláři - Strojírenství

Fakulta strojní, 3. ročník

Bakalářský studijní program: Katedra textilních a jednoúčelových strojů

Abstrakt: Bakalářská práce se zabývá návrhem, výrobou a experimentálním měřením prototypů kotoučových zahradnických nůžek s nuceným otáčením řezného kotouče. Nucené otáčení řezného kotouče je realizováno ozubeným převodem, se dvěma různými převodovými poměry. Experimentálním měřením byl zjištěn vliv převodového poměru pohonu řezného kotouče na velikosti střížné síly. Dále byla posouzena kvalita střížné plochy ve srovnání s klasickými zahradnickými nůžkami. Byly navrženy a vyrobeny čtyři prototypy kotoučových nůžek. Se dvěma různými převodovými poměry a dvěma typy stříhu. Kotoučové nůžky byly navrženy jako dvousečné a dvoje jednosečné (kovadlinkové).

Klíčové slova: Čepel, ozubený převod, kovadlinka, zámek, siloměr, zahradnické nůžky,

Úvod:

Nůžky na stříhání větví jsou důležitým pomocníkem všech zahradníků. Na trhu se jich objevuje celá řada. Většina z nich funguje na principu jednoduchého pákového převodu, který zvětšuje sílu na čepelích nůžek. Slabinou těchto nůžek je jednak větší síla nutná na přestříhnutí větví a jednak kvalita střížné-řezné plochy, která není nejlepší. Důvodem problému je síla, která působí pouze v jednom směru a to ve směru normály v místě dotyku. Názorný příklad je při řezání chleba, nebo salámu na kotoučovém kráječi. Pouhá jedna síla ve směru normály by musela být velmi veliká a kvalita střížné plochy by nebyla dostatečná, proto se musí vykonávat dvě síly současně. Jsou to síly ve směru normály a tečny. To obstarává rotace kotouče. Zahradní kotoučové nůžky se dvěma směry řezání v současnosti nejsou. Tečný směr u zahradnických je částečně řešen tvarem čepelí. Tvar je srpovitý a je umožněn jenom částečně tzv. klouzavý stříh. Povrch čepelí se navíc chemicky upravuje, aby se snížil koeficient tření při vnikání nože do dřeviny a nedocházelo k deformaci střížné plochy.

Cílem této práce je navrhnout a vyrobit nůžky s kotoučovým řezacím nožem a jeho nuceným otáčením pomocí ozubeného převodu. To by mělo zajišťovat kvalitnější řez a menší potřebnou sílu na přestřížení větve. Celkem se navrhnou a vyrobí čtyři prototypy nůžek. Dvě varianty budou s menším převodem otáčení a dvě s větším převodem otáčení. Dvoje nůžky budou dvousečné, to znamená, že se střížné čepele budou navzájem míjet a větev bude stříhaná oběma čelistmi, a dvoje jednosečné, kdy místo jedné čelisti bude kovadlinka, na kterou bude druhá čelist dosedat. K dispozici je užitečný vzor 21703, přihlášen Technickou univerzitou v Liberci, který řeší nucené otáčení řezného kotouče pomocí lanka. Dalšími podklady pro práci budou katalogy a prospekty výrobců zahradních nůžek. Návrh konstrukce nůžek je usnadněn díky firmě ROSTEX, s.r.o., která poskytla plastové rukojeti. Kvůli těmto rukojetím je konstrukce zjednodušena, protože stačí navrhnout jednoduché trny, na které se tyto rukojeti nasadí. Firma zaslala také potřebou výrobní dokumentaci, podle které se jednotlivé trny zhotoví.

Na všech navržených a realizovaných nůžkách se provedou testy, které budou zjišťovat rozdíl ve střížné síle. Střížná síla bude závislá na tom, jestli se řezný kotouč otáčí

jednou nebo druhou rychlostí a pokud řezný kotouč stojí. Vše se porovná s klasickými pákovými nůžkami od značkových výrobců zahradnických nůžek.

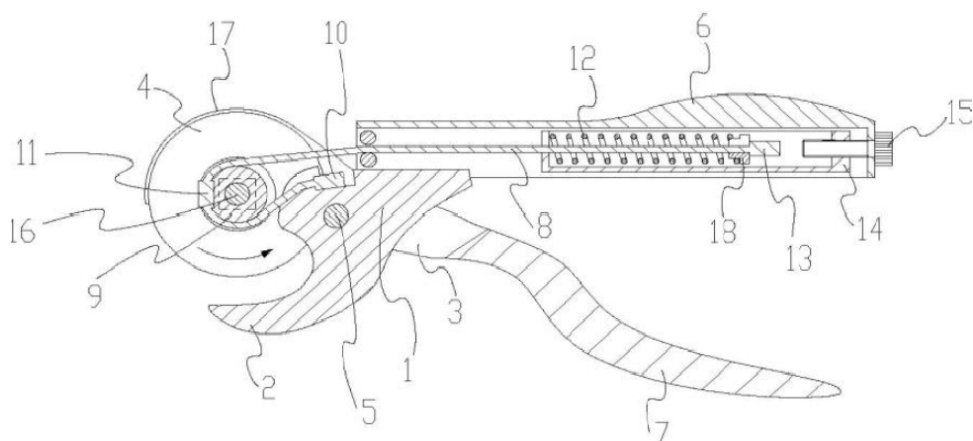
Součástí této práce je také navrhnout měřicí přístroj, pomocí kterého lze měřit velikost střížné síly.

1. Kotoučové nůžky

Při stříhání klasickými mechanickými pákovými nůžkami tlačí řezná čelist na stříhaný materiál a tím se materiál stříhá. Síla působí ve směru normály k ostří v bodě, kde dosedá nůž. V jiných, než zahradnických odvětvích, je při stříhání použit i posuv nože v tečném směru. To zajišťuje lepší střížnou plochu a snazší ustříhnutí materiálu. Využití v praxi je ke stříhání velkých vrstev papíru, jako jsou například knižní vazby, kde je vyžadováno přestříhnutí velkého množství papíru s velmi kvalitní střížnou-řeznou plochou. Další využití je při řezání chleba, salámu apod. na ručním, nebo elektrickém kotoučovém kráječi, kdy pouhý tlak řezaného materiálu na kotoučový nůž by nestačil k uříznutí. Aby došlo ke kvalitnímu řezu, musí se kotouč otáčet. Tento systém stříhání-řezání pomocí kotoučového řezného kotouče by měl mít také vliv na snížení střížné síly a zkvalitnění řezné plochy při stříhání větví ručními zahradnickými nůžkami.

Dosavadní zahradnické nůžky jsou založeny na principu vtlačování ostří čepel do stříhaných větví. Síla působí pouze v normálovém směru v místě stříhu. Na velikosti normálové síly závisí několik faktorů. Především úhel břitu řezných čelistí. Čím menší úhel, tím menší potřebná síla. Jenomže úhel břitu se nemůže neustále zmenšovat, protože břit je pak tenký a může dojít k jeho nižší životnosti a deformaci. Dalším vlivem je povrchová úprava břitu čepel. Nejčastěji je čepel potažena vrstvou PTFE. Částečnou tečnou sílu se výrobci snaží docílit srpovitým tvarem horní čepel a tím snížit potřebnou střížnou sílu. Uvedená myšlenka řezného kotoučového nože byla využita v užitném vzoru 21703 obr. 1 přihlášeném Technickou univerzitou v Liberci, který slouží na stříhání větví. Tyto zahradnické nůžky mají jednu čelist nahrazenou řezným kotoučem 4, který se při stisknutí rukojetí 6 a 7 otáčí a vniká do stříhaného materiálu. Tím vzniká potřebná tečná síla. Nucené otáčení kotouče je zajišťováno ocelovým lankem 8.

Cílem této práce je navrhnout a zkonstruovat kotoučové nůžky s nuceným otáčením řezného kotouče při stříhání pomocí ozubeného převodu. Otáčení kotoučového nože bude zajišťovat ozubený převod se dvěma variantami převodových poměrů a jednou variantou, kdy se kotouč otáčet nebude. Součástí práce je také praktické měření střížné síly s navrženými kotoučovými nůžkami na různých typech dřevin a s různými převodovými poměry. Různé převodové poměry by měly ukázat, zda je nucené otáčení řezného kotouče prospěšné a jestli dojde k žádanému snížení střížné síly. Jak velké jsou tečné síly v závislosti na převodovém poměru, budou vysvětleny v následující kapitole.



Obr. 1 Užitný vzor 21703 - kotoučové nůžky [10]

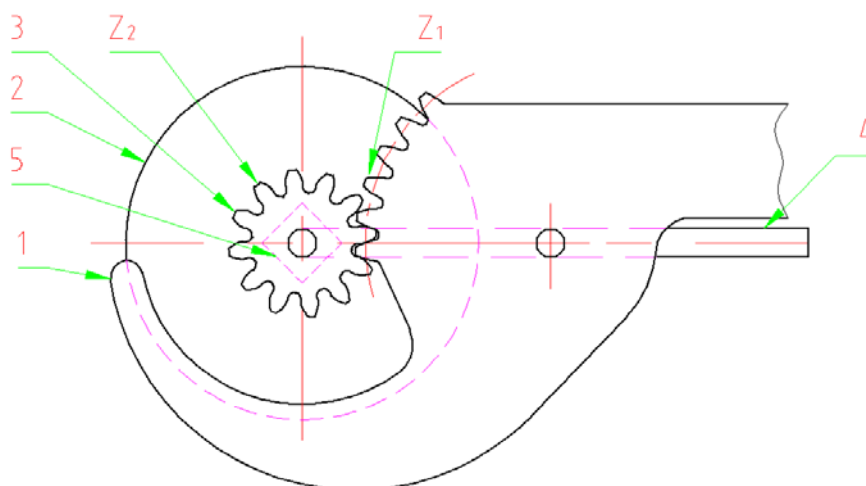
1.1 Návrh kotoučových nůžek

Při realizaci kotoučových nůžek se nahradí jedna řezná čelist řezným kotoučem, který má na sobě pevně nasazené ozubené kolo. Ozubené kolo, které slouží zároveň jako unašeč pro řezný kotouč, musí být při stisknutí rukojeti odvalováno po ozubeném hřebenu druhé čelisti, protože jinak nedojde k otáčení řezného kotouče.

Obr. 2 Schéma kotoučových nůžek - zavřený stav [1]

Na obr. 2 je jednoduché schéma kotoučových nůžek. Základem je spodní čelist 1 a řezný kotouč 2. Horní čelist zde byla nahrazena třemi součástkami, kterými jsou: ozubené kolo 3, řezný kotouč 2 a spodní rukojeť 4. V náboji řezného kotouče 2 je vsazen čtyřhran 5, který je součástí ozubeného kola 3. Prostřednictvím čtyřhranu 5 je řezný kotouč 2 poháněn. Ozubené kolo 3 je rotačně připevněno ke spodní rukojeti 4. Spodní rukojeť 4 a spodní řezná čelist jsou spojeny čepem 6 a mohou se kolem něj volně otáčet. Tvarová vazba mezi ozubeným hřebenem na čelisti 1 a ozubeným kolem 3 umožňuje rotaci řezného kotouče 2 při stlačování rukojeti spodní čelisti 1 a spodní rukojeti 4, jak je znázorněno šipkami. Opětovné rozevření nůžek zajistí pružina, která je vsazena do plastových rukojetí.

Aby došlo k přestřižení větve, musí se řezný kotouč 2 míjet se spodní čelistí 1. Proto je rádius řezného kotouče 2 větší, než rádius ostří řezné čelisti 1. Na obr. 3 je schéma nůžek v zavřeném stavu, kde je rozdíl rádiusů patrný.



Obr. 3 Schéma kotoučových nůžek - otevřený stav. [1]

1.2 Převodový poměr

Ozubené převody mají v důsledku definované tvarové vazby konstantní převodový poměr i určený vztahem

$$i_{1,2} = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{n_1}{n_2} = \frac{z_2}{z_1} \quad (4.1)$$

kde ω_1 a ω_2 jsou úhlové rychlosti, n_1 a n_2 jsou otáčky a z_1 a z_2 je počet zubů ozubených kol. Index 1 je kolo hnací a index 2 kolo je hnané.

Vztah vychází z předpokladu, že ozubená kola v záběru mají stejnou obvodovou rychlost a nedochází k prokluzu. V literatuře se také uvádí veličina zvaná velikost převodu I . Ten se vypočítá jako převrácená hodnota převodového poměru i .

$$I = \frac{1}{i_{1,2}} = \frac{\omega_2}{\omega_1} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{z_1}{z_2} \quad (4.2)$$

Z rovnic (4.1) a (4.2) vyplývá, že pro jedno soukolí jsou dvě převodová čísla, která nemají stejnou hodnotu, ale ve výsledku udávají ten samý mechanický převod. V této práci se počítá s převodovým poměrem z rovnice (4.1). To znamená, pokud bude převod do rychla, bude hnací kolo větší, než kolo hnané a převodový poměr bude menší než 1.

1.2.1 Menší převodový poměr

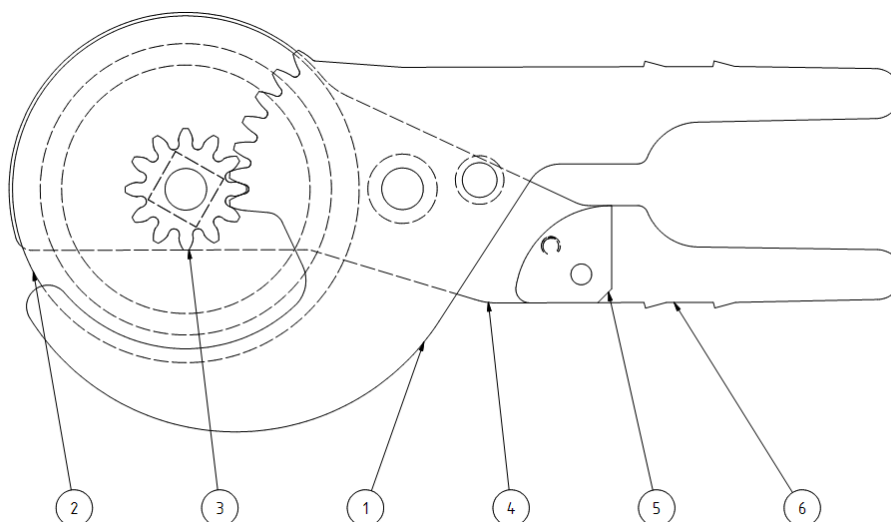
S menším ozubeným kolem z_2 se kotouč při stříhání otočí o větší úhel, než s větším ozubeným kolem z_2 . To znamená, že nůž "víc" řeže. Na druhou stranu při převodu do rychla, to je s menším ozubeným kolem, se teoreticky zvyšuje moment nutný otočení kotouče, který přestřihne-přeřízne větev. Je to způsobeno velikostí tečné síly, která je konstantní pro stejný řezaný-stříhaný materiál.

Parametry:

Tabulka 1 Výpočty menší převodový poměr [1]

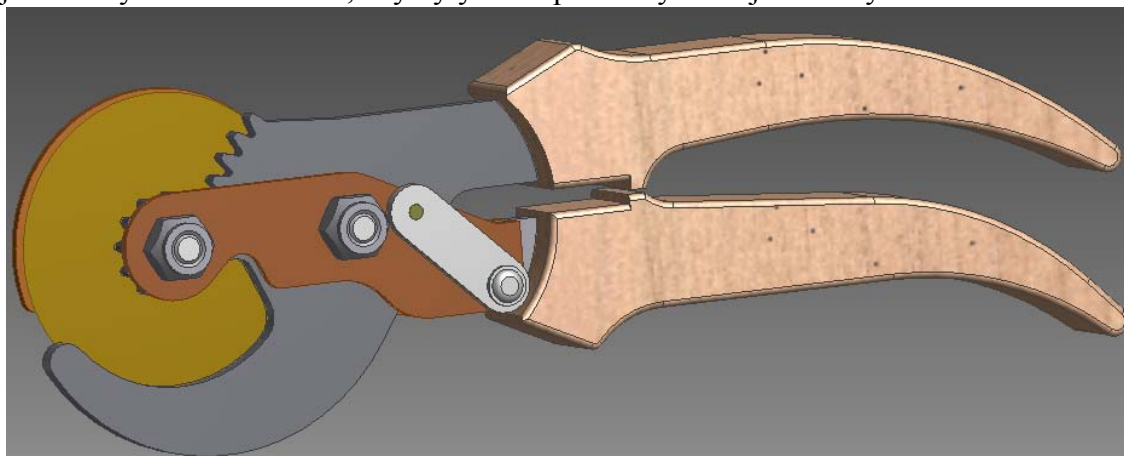
Parametr	Ozubené kolo	Ozubený hřeben
Modul m	1,25 mm	
Počet zubů	12	38
Rozečtná kružnice d	15 mm	47,5 mm
Hlavová kružnice d_a	17,5 mm	50 mm
Patní kružnice d_f	11,875 mm	44,375 mm
Osová vzdálenost	31,25 mm	
Převodový poměr $i_{2,1}$	0,316	
Velikost převodu I	3,167	

Na obr. 4 je zobrazen výkres sestavy kotoučových nůžek s převodovým poměrem. Aby byly vidět ozubená kola a výkres byl přehlednější, není ve výkresu zobrazen kryt ozubeného kola a jistící mechanismus. Na řezné čelisti 1 není vymodelováno celé ozubené kolo, ale jen ozubená výseč, protože při stříhání by zbytek ozubení nebyl využíván. Maximální úhel rozevření nůžek je 40°. Většímu rozevření zabraňuje distanční plech 5 a trn 6. Aby docházelo k čistému řezu a větev nebyla místně zmáčknuta ozubeným kolem, nebo krytem na ozubené kolo, musí se stříhat větve do průměru 14 mm. Při stříhání větších průměrů nebude plně využito řezného kotouče, větve bude přitlačována na spodní čelist 1 a přestřihnutí větve bude zabráněno.



Obr 4 výkres sestavy kotoučových nůžek - dvousečné menší převodový poměr

3D model vytvořený v programu Inventor 2012 je zobrazen na obr. 5. Takto vypadá i skutečný prototyp nůžek, jen barva je u všech kovových součástí stejná. Ve 3D modelu jsou barvy součástí různé, aby byly vidět přechody mezi jednotlivými



Obr. 5 Model nůžek s menším převodovým poměrem - zavřené [1]

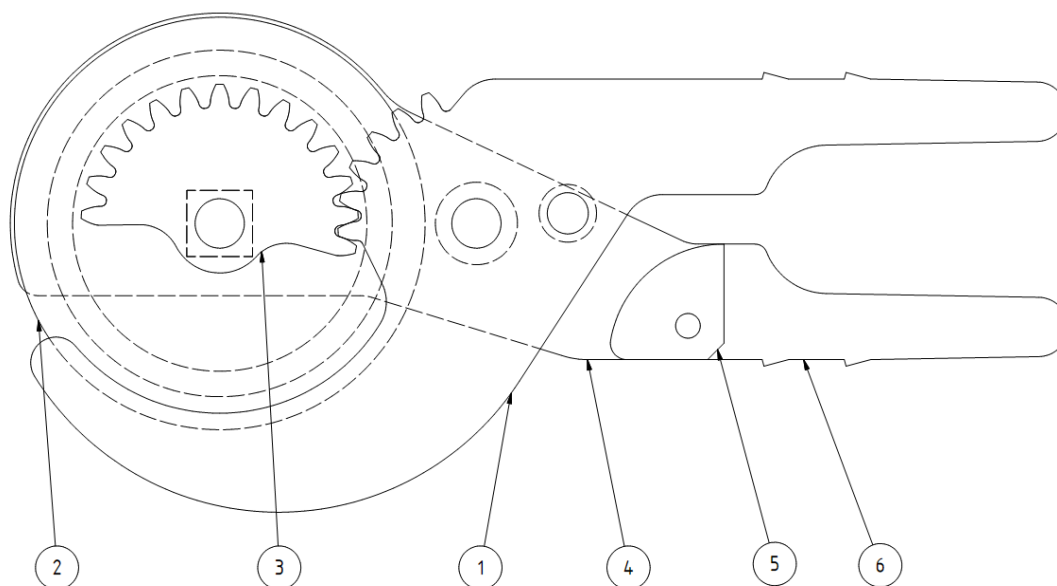
prvky. Na modelu je jistící mechanismus v zavřeném (zajištěném) stavu (bude vysvětleno dále). Model obsahuje i plastové rukojeti od firmy Rostex s.r.o. ve kterých je vsazena pružina na otevírání nůžek.

1.1.2 Větší převodový poměr

Parametry:

Tabulka 2 Výpočty větší převodový poměr [1]

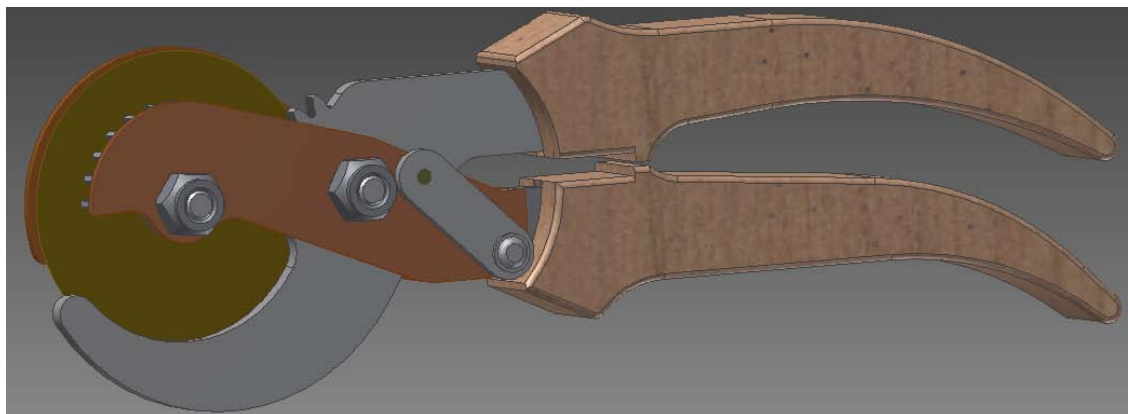
Parametr	Ozubené kolo	Ozubený hřeben
Modul m	1,25 mm	
Počet zubů	25	25
Roztečná kružnice d	31,25 mm	31,25 mm
Hlavová kružnice d_a	33,75 mm	33,75 mm
Patní kružnice d_f	28,125 mm	28,125 mm
Osová vzdálenost	31,25 mm	
Převodový poměr $i_{2,1}$	1	



Obr. 6 Výkres kotoučových nůžek s větším převodovým poměrem-zavřené [1]

Výkres kotoučových nůžek s větším převodovým poměrem obr. 6. Ozubené kolo je skoro z poloviny uříznuto, aby nepřekáželo při stříhání a využil se z větší části řezný kotouč. V tomto případě se mezi ozubené kolo 3 a spodní čelist 1 vejde také větev o maximálním průměru 14 mm, aniž by došlo ke stlačování větve ozubeným kolem 3, nebo krytem na řezný kotouč 4.

Na obr. 7 je 3D model nůžek s větším ozubeným kolem. Vše bylo vytvořeno co nejjednodušeji, aby co nejvíc dílů bylo stejných. Rozdíl mezi nůžkami s větším převodovým poměrem a menším převodovým poměrem je pouze ve třech součástkách. Jsou to: ozubené kolo 3, řezná čelist 1 a kryt na ozubené kolo.

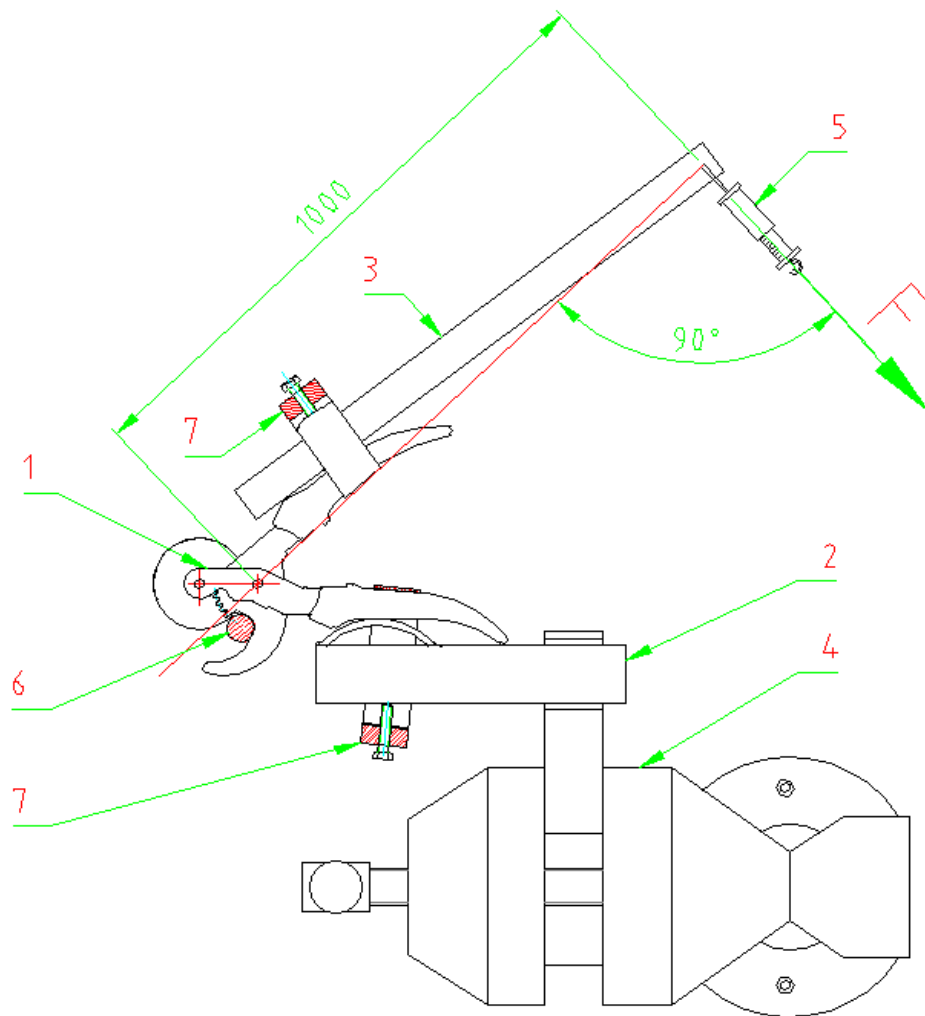


Obr. 7 Model nůžek s větším převodovým poměrem - zavřené [1]

Pro oba převodové proměry byly hotoveny i nůžky ve variantě jednosečné.

2. Měřicí zařízení pro měření řezného odporu

Zařízení pro měření řezného odporu měří sílu, kterou musí uživatel vykonat na ustřížení větve. Hlavním cílem je porovnat rozdíly střížných sil při otáčení řezného kotouče se dvěma rychlostmi otáčení a variantou bez otáčení řezného kotouče. Aby při stříhání nedocházelo k otáčení řezného kotouče, musí se nahradit ozubené kolo unašečem, který bude držet ozubené kolo v jedné pozici. Výsledky se mezi sebou porovnají a zjistí se, o kolik se řezná síla liší mezi nůžkami kotoučovými a nůžkami běžně dostupnými na našem trhu.



Obr. 8 Měřicí zařízení [1]

Měřicí zařízení obr. 8 je tvořeno sedmi součástkami. Hlavní součást jsou kotoučové nůžky 1. K jedné rukojeti je připevněna páka 3 a k druhé rukojeti je přidělán držící člen 2, který rukojeť pevně drží. Držící člen 2 je pomocí svěráku 4 pevně zajištěn a jsou k němu připevněny nůžky 1 pomocí jistícího členu 7. Jistící člen 7 je tvořen ohnutým pásovým plechem, který na konci přivařen k železnému hranolu s vnitřním závitem. Stejný jistící člen drží i druhou rukojeť pevně k páce 3. Cíla sestava na držení nůžek 1 je zobrazena na obrázku 28.

Měření bude probíhat v horizontální poloze, aby byla eliminována nepřesnost měření způsobena vahou páky 3. Protože je páka 3 podložena podstavou, aby nedošlo k ulomení nůžek vlivem tíhy páky 3, musí se změřit síla potřebná na uzavření nůžek bez vložené větve. Tato hodnota se následně odečte od naměřené střížné síly. Následné měření bude probíhat takto:

Větev 6 o zvoleném průměru se vloží do nůžek 1 a táhne se za siloměr 5. Siloměr 5 začne ukazovat hodnoty síly, opíše se ta největší hodnota, která se na displeji zobrazí. Měření stejného průměru větve se bude u každého typu nůžek provádět 12 krát. Výsledkem bude 12 hodnot. Největší a nejmenší hodnoty se budou ignorovat. Ze zbylých deseti hodnot se vypočítá průměr potřebné síly na přestřížení konkrétního průměru větve, která se vynese do grafu. Pro každý typ nůžek bude volen soubor dvou typů dřevin pokaždé se čtyřmi průměry větvi. Měření bude prováděno na všech typech kotoučových nůžek a na jednom typu pákových nůžek Fiskars kvůli porovnání střížných sil za stejných podmínek.

3. Praktické měření

Při měření střížné síly jsou výsledky ovlivněny nekonstantními vlastnostmi dřeva v jedné větvi. Tato nehomogenita dřeva je způsobena nerovnoměrnou stavbou dřeva. Jedná se o výskyt vad dřeva. Těmito vadami mohou být suky, smolníky a odklony vláken. V důsledku této nehomogenity, má dřevo relativně široký rozptyl vlastností ve srovnání s kovy a plasy. Aby se tyto vlivy co nejvíce eliminovaly, měření se 12 krát opakuje a nejvyšší hodnota a nejnižší hodnota ze souboru se zanedbá.

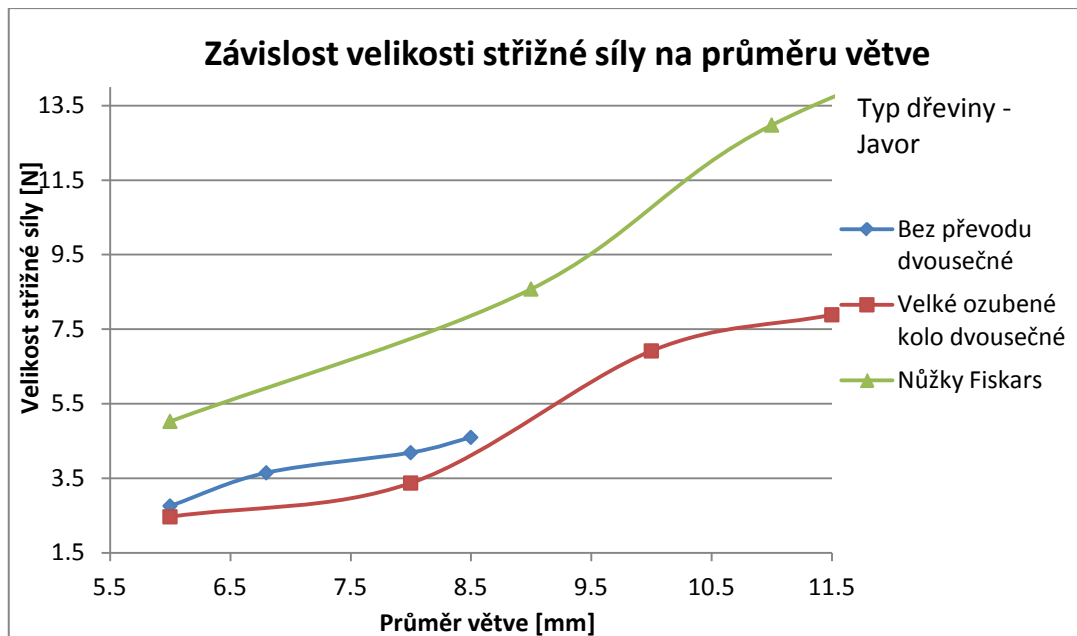
3.1 Měření střížné síly

Praktické měření střížné síly kotoučových nůžek a nůžek Fiskars bylo prováděno na dvou typech dřevin. Na javoru a olši. Měření začínalo od nižších hodnot průměrů větví, aby bylo zabráněno případnému zničení nůžek na větvi s velkým průměrem.

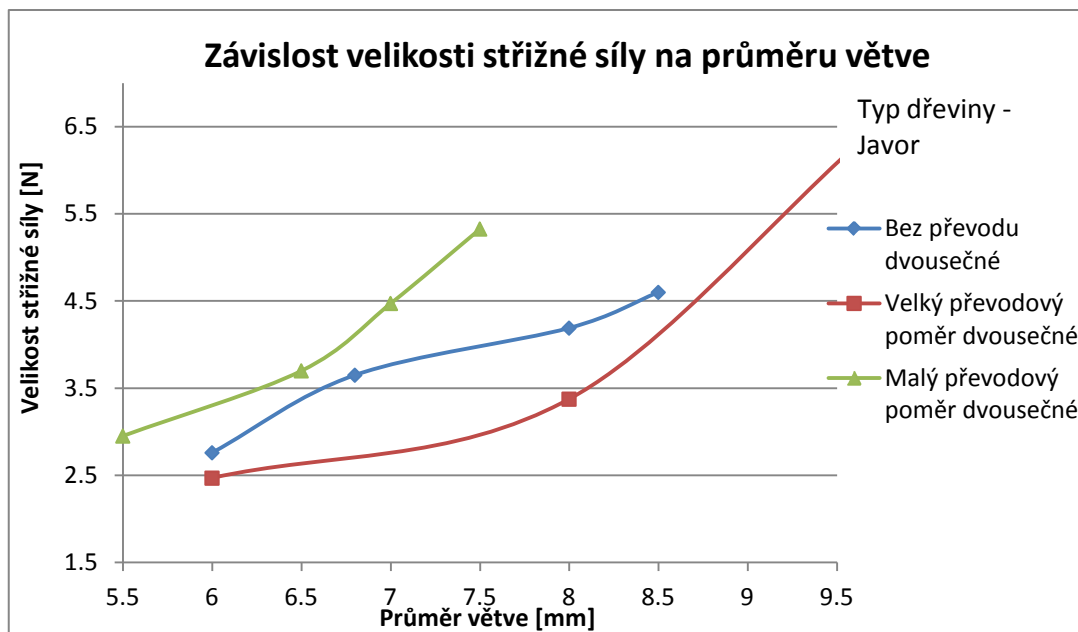
První měření bylo prováděno na nůžkách Fiskars P90. Tyto nůžky patří mezi nejlepší, které firma Fiskars nabízí. Jde o nůžky pákové dvousečné.

Při měření na nůžkách kotoučových se objevil značný problém u nůžek s menším převodovým poměrem tzv. do rychla. Nůžky nebyly schopné přestříhnout větve silnější než 8mm, proto s nimi bylo provedeno pouze jedno měření a poté byly z testu vyřazeny. Při stříhání silnějších větví se plastové rukojeti ohýbaly a hrozilo jejich ulomen. Vada nebyla zapříčiněna chybnou konstrukcí nůžek, ale chybnou konstrukcí upínacího mechanismu, kdy rukojeti nekopírovali přesně upínací členy, a mohly se při působení velkých momentů ohýbat. Nůžky jsou jinak plně funkční a v ruce se dají silnější větve, za působení větších sil, přestříhnout.

Vyhodnocení:



Graf 1: nůžky dvousečné



Graf 2: Porovnání jednotlivých převodových poměrů

4. Hodnocení kvality stříhu

Kvalita stříhu je velmi důležitá, protože při stříhání živých částí stromů je kvalitnější stříh vždy výhodnější. Dřevina se lépe hojí, pokud je stříh čistý a není částečně, nebo úplně rozdrčený. Kvalita stříhu se bude hodnotit podle čistoty řezu a míry zbortění okrajů střížné plochy. K měření kvality střížné plochy byly opět použity všechny typy kotoučových nůžek a jeden typ pákových dvousečných nůžek Fiskars.

Nůžky Fiskars



Obr. 9. Střížná plocha nůžky Fiskars [1]

Kvalita střížné plochy u nůžek Fiskars (obr. 9) není moc uspokojující u větších průměru větví. Řez není čistý a okraje střížné plochy jsou místy zbortěné. Takto ustřižené větve jsou pro strom nepříjemné. Hojení rány trvá dlouho a u mladých stromů může způsobit špatný růst.

Kotoučové nůžky

Kotoučové nůžky dvousečné:



Obr. 10. Velký převodový poměr [1]



Obr. 11. Malý převodový poměr [1]

Dvousečné kotoučové nůžky s velkým převodovým poměrem (obr. 10) obstály nejlépe z celého testu kvality stříhu. Řez je čistý a na žádné hraně střížné plochy není zbortění. Nůžky s malým převodovým poměrem dopadly (obr. 11) trochu hůře, ale stále je kvalita stříhu dostačující.

Kotoučové nůžky při zastaveném ozubeném kole:



Obr. 12. Dvousečné nůžky

Kvalita stříhu je výborná u nůžek dvousečných (obr 12). V jednom ze tří stříhů je kvalita trochu horší, než u nůžek dvousečných s větším převodovým poměrem.

5. Závěr:

Praktické měření dokázalo, že pomocná tečná síla při řezání materiálu, ať už dřevin, chleba, papíru apod., ulehčuje celkovou potřebnou střížnou sílu a že vhodně zvolený převodový poměr má za následek ještě větší snížení střížné síly. Naopak nevhodně volený převodový poměr vše zhorší a střížná síla může být větší, než při zastaveném řezném kotouči.

Kvalita střížné plochy dřeviny jednotlivých typů nůžek je také závislá na převodovém poměru jednotlivých nůžek. Dvousečné nůžky s větším převodovým poměrem mají nejkvalitnější stříh. O trochu horší výsledek měly nůžky dvousečné s menším převodovým poměrem. Přesně opačný výsledek kvality stříhu měly nůžky jednosečné. Menší převodový poměr dopadl v testu lépe než převodový poměr větší. Špatná byla kvalita stříhu u nůžek Fiskars. Tyto nůžky dopadly z celého testu nejhůře.

O konstrukční řešení kotoučových nůžek s hnaným kotoučovým nožem projevila zájem firma ROSTEX s.r.o., proto bude pro uvedené řešení vypracována přihláška užitného vzoru.

Měření výkonových charakteristik termoakustického motoru

Tisovský, Tomáš

Sekce: Bakaláři - Strojírenství

Fakulta strojní, 3. Ročník

Bakalářský studijní program - strojírenství

Abstrakt: Teoretická část práce obsahuje úvod do termoakustického jevu. Vychází ze základních vztahů termodynamiky a akustiky a podává jak kvalitativní, tak i kvantitativní popis termoakustického jevu. Druhá část práce se zabývá návrhem a průběhem experimentu. Získaná data jsou zpracována graficky i početně a následně je provedena diskuze výsledků.

Klíčová slova: Termoakustický motor, termoakustický efekt, stack, rezonátor, akustický tlak, teplota, výkon

1 Úvod

1.1 Úvod do termoakustiky

Jak již samotný název naznačuje, termoakustika kombinuje termodynamiku a akustiku a popisuje tak interakci mezi zvukem a teplem.

Obvykle je zvuková vlna v plynu brána jako jev složený z oscilací tlaku a rychlosti. V důsledku takových tlakových oscilací (které jsou vlastně izoentropickým dějem) však dochází rovněž k tepelným oscilacím. Ve volném prostoru budou tepelné rozdíly malé a částice plynu budou expandovat a komprimovat adiabaticky. Pokud však dovolíme plynu tepelně reagovat s pevnými stěnami, dojde k přenosu tepla mezi plynem a pevným tělesem a může se uplatnit termoakustický jev.

Bylo zjištěno, že za správných provozních podmínek může být tento jev využit k vytvoření dvou druhů termoakustických zařízení: tepelná čerpadla, která využívají zvuku k přenosu tepla, a tzv. termoakustické motory, které převádí teplo na užitečnou akustickou energii. Užitečná akustická energie může být dále přeměněna na energii elektrickou za pomoci piezoelektrického krystalu, nebo může být využita k chlazení.

Termoakustická zařízení mohou přečerpávat teplo nebo produkovat mechanickou práci při dobré účinnosti, díky čemuž mohou mít značné praktické využití.

Navíc mohou, na rozdíl od konvenčních motorů a chladících zařízení, fungovat bez přítomnosti klik a pístů. Odpadá tedy tření a tím pádem mazání. Díky této skutečnosti a jejich vlastní jednoduchosti jde o velmi spolehlivá zařízení, nemající velké nároky na údržbu a mohou být vyrobena s minimálními náklady. V neposlední řadě jsou termoakustické motory ekologicky nezávadné, jelikož využívají ekologicky nezávadné plyny, neprodukují žádný toxický odpad a dají se jednoduše přizpůsobit k využívání solární energie nebo odpadního tepla jako zdrojů energie.

V plánu bylo například využití biomasy k pohonu termoakustického zařízení pro potřeby rozvojových zemí Afriky a těžko dostupných pohoří Asie. Rovněž bylo navrženo termoakustické zařízení plánované využít jako generátor elektrické energie na palubách kosmických lodí, jelikož se ukázalo být o 11% efektivnějším než do té doby uvažované termoelektrické generátory [9].

Navzdory mnohým nesporným výhodám existuje stále ještě mnoho překážek, které budou muset být překonány, aby byla termoakustická zařízení konkurenceschopná ve větším měřítku. Vzhledem k oscilační povaze toku a k interakcím pracovní látky s pevnými stěnami mohou vznikat komplikace např. v podobě turbulence. Dále i samotný přenos tepla je daleko od ideálního a dochází ke zvyšování entropie. Kombinovaný efekt těchto fenoménů může způsobit, a v konečném důsledku i způsobí, snížení výkonnosti a zadržuje tak vývoj vysoce účinných termoakustických zařízení. [1]

1.2 Druhy termoakustických zařízení

Motor a tepelné čerpadlo/chlazení

Teplem poháněná TA zařízení označujeme jako motory a zvukem poháněná zařízení jako tepelná čerpadla. TA motor absorbuje teplo ze zdroje o vysoké teplotě a odvádí teplo do místa o nízké teplotě, přičemž produkuje termoakustickou práci na výstupu. Tepelné čerpadlo, popř. chladnička, absorbuje teplo ze zdroje o nízké teplotě a vyžaduje dodání termoakustické práce k přenosu tepla do místa o vysoké teplotě. Jediným rozdílem mezi chladničkou a tepelným čerpadlem je, zda je

naším cílem odebrat teplo z místa o nižší teplotě (chlazení), nebo zda chceme dodat teplo do místa o vyšší teplotě (topení).

2 Akustika a základy termoakustiky

2.1 Zvuk jako mechanické vlnění, stojaté vlnění

Zvuk

Stojaté vlnění vzniká interferencí původní vlny a vlny odražené. Pro otevřený/uzavřený rezonátor vzniká stojatá vlna o vlnové délce $\lambda=4L$, jde tedy o tzv. čtvrtvlnový rezonátor.

Pro frekvenci zvuku v našem rezonátoru platí

$$f = \frac{c}{\lambda} = \frac{c}{4L} \quad (1)$$

2.2 Termodynamický cyklus, stack

Stack

Stack je nejdůležitější částí TA zařízení. Skladá se z množství pórů, jež jsou seřazeny paralelně k ose rezonátoru. Účelem stacku je poskytnout médium pro přenos tepla zatímco zvuková vlna osciluje rezonátorem. Zařízení se stackem jsou často též nazývaná zařízeními založenými na stojatém vlnění.

Vlastnosti stacku

Stack by měl být z materiálu s nízkou tepelnou vodivostí a zároveň s dostatečně velkou měrnou tepelnou kapacitou vzhledem k měrné tepelné kapacitě plynu c_p , aby bylo možno považovat teplotu desky za neměnnou. Tato kritéria splňuje dobře keramika.

Tepelná penetrační hloubka δ_k

Podle G. W. Swifta je ideální šířka póru $d=4\delta_k$ [7].

Tepelná penetrační hloubka je vzdálenost, kterou může teplo v plynu proniknout za daný čas (zhruba $1/\pi f$). Jelikož částice vzduchu v rezonátoru neustále oscilují, můžeme tepelnou penetrační hloubku považovat za konstantní.

Tepelná penetrační hloubka pro oscilující zdroj tepla je rovna

$$\delta_k = \sqrt{\frac{k_T}{\pi f \rho_m c_p}} \quad (2)$$

Předpokládejme nyní TA zařízení se stackem, tj. zařízení, kde zvuková vlna po odrazu interferuje sama se sebou a vzniká

stojaté vlnění. Dále předpokládejme, že částice plynu osciluje ve vzdálenosti y od plochy póru stacku. Částice prodělá zvýšení tlaku (kompresi) a pokles tlaku (expanzi) zatímco se přemísťuje.

V závislosti na velikosti y vzhledem k tepelné penetrační hloubce δ_k může dojít i k přenosu tepla.

Uvažujeme tři možnosti [1]:

Žádný tepelný kontakt ($y \gg \delta_k$) (příliš velký stack)

Pokud nedochází k tepelnému kontaktu mezi částicí plynu a deskou, částice bude expandovat a komprimovat vratně adiabaticky a nedojde k přenosu tepla.

Dokonalý tepelný kontakt ($y \ll \delta_k$) (regenerátor)

V prvním kroku je částice plynu stlačena a vychýlena směrem k horkému konci stacku. Ve stejném okamžiku bude částice ohřívána (TA motor) nebo ochlazována (TA tepelné čerpadlo). Protože dochází k dokonalému tepelnému kontaktu, tepelná výměna a komprese proběhnou současně. V dalším kroku je částice plynu vychýlena zpět směrem ke studenému konci a nastane obrácený děj. Částice bude ochlazována v případě TA motoru a ohřívána v případě TA tepelného čerpadla.

Nedokonalý tepelný kontakt ($y \approx \delta_k$) (klíčový pro TA)

Díky vzdálenosti mezi plynem a ploškou póru nastává zpoždění mezi pohybem částice a přenosem tepla. Ve výsledku pak částice prodělá cyklus o 4 krocích, tzv. Ericsson-Braytonův cyklus (viz. Obr. 2.2 [6]). V případě TA motoru jsou částice komprimovány a vychýleny ze své původní polohy, ohřáty, expandovány a vychýleny zpět a ochlazeny. [1]

3 Rovnice termoakustiky

Vlnová rovnice

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = \left(\frac{dp}{d\rho}\right)_0 \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \quad (3)$$

$$, \text{ kde } \left(\frac{dp}{d\rho}\right)_0 = c^2$$

Podélný teplotní spád

Teplotní gradient podél stacku je vyvozený (v případě TA motoru) výměníkem tepla o vysoké teplotě na jednom konci a

výměníkem tepla o nízké teplotě na druhém konci stacku. Právě tento gradient způsobuje produkci nízkofrekvenčního zvuku a musí být větší než kritický [6].

Kritický teplotní spád

$$\nabla T_{\text{krit}} = \frac{2T_1}{2u_1} \quad (4)$$

Kritický teplotní gradient jako funkci polohy stacku x vůči rezonátoru (x je měřeno od uzavřeného konce) získáme

$$\nabla T_{\text{krit}} = \cotg\left(\frac{2\pi x}{4L}\right) (\kappa-1) T_m \frac{2\pi}{4L} \quad (5)$$

Výkon termoakustického zařízení

$$\dot{W} = \omega \frac{4n\pi \delta_k L_S p_1^2 (\kappa-1)}{\rho_m c^2} \left(\frac{\nabla T_m}{\nabla T_{\text{krit}}} - 1\right) = P \quad (6)$$

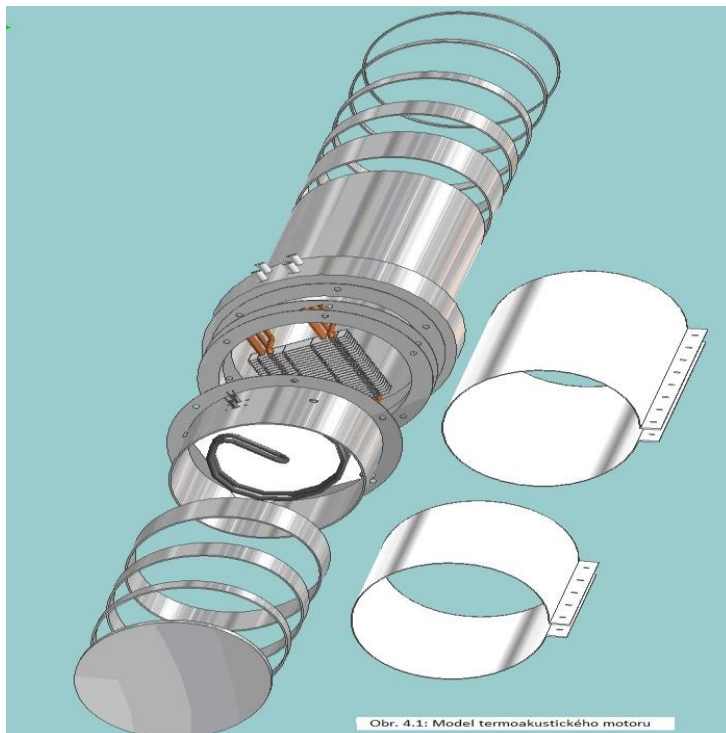
Účinnost

$$\eta = \frac{L_S T_1 \beta}{u_1} = \frac{L_S \nabla T_{\text{krit}} \nabla T_m}{T_m \nabla T_m} = \eta_c \frac{\nabla T_{\text{krit}}}{\nabla T_m} \quad (7)$$

Z čehož vidíme, že pro nenulový výkon TA motoru je jeho účinnost vždy menší než Carnotova o faktor $\frac{\nabla T_{\text{krit}}}{\nabla T_m}$.

4 Návrh experimentu

4.1 Základní popis zařízení



Obr. 4.1: Model termoakustického motoru

Naše experimentální zařízení je znázorněno na obrázku 4.1 [3]. Jedná se o rezonátor o průměru $D_r=200$ mm. Rezonátor je uzavřený na spodní straně a otevřený na straně horní. Jeho důležitou vlastností je možnost měnit délku, stejně jako relativní vzdálenost stacku. Těchto vlastností je docíleno díky přidavným dílům rezonátoru (viz. Obr. 4.1), které jsou k rezonátoru přilepovány pomocí teplotně odolné hliníkové pásky.

Stack je složen z velkého množství čtvercových kanálků o šířce stěny $s=0,35$ mm, vnitřní délce hrany kanálku $a=1,5$ mm. Výška stacku je $L_s=50$ mm. Celkový počet pórů stacku je přibližně $n=6000$. Plocha stacku je dána čtvercem o straně $A=140$ mm. Tzv. užitečná délka, po které dochází k přenosu tepla mezi částicí vzduchu a stěnou stacku je Π .

Bezprostředně pod stackem leží topná spirála o odporu $R=25\Omega$ připojená na zdroj střídavého napětí.

Nyní se dostáváme k hornímu konci stacku, kde existují dvě varianty chlazení:

Výměnný chladič stacku – jedná se o několik měděných trubek protékaných chladicí vodou, jež prochází souborem vrstvených hliníkových plechů.

Chladič stěny – jde o prstenec, který je součástí vrchního dílu rezonátoru a jímž je opět protékána chladicí voda.

5 Vyhodnocení výsledků, výpočty

5.1 Přímá získaná data

Byla získána data celkem z devíti měření a jednotlivá měření se liší jak délkou rezonátoru, tak topným výkonem.

V programu Matlab byly numerickou integrací spočítány jak střední hodnota rozdílu teplot na teplotním poli stacku platí ΔT_s , tak střední absolutní teplota vzduchu ve stacku T_m .

5.2 Vypočtené hodnoty některých základních veličin termoakustiky

Tabulky hodnot:

Číslo měření	L [m]	x_s [m]	L_s [m]	n.Π [m]	U [V]	P_{topny} [W]	$f_{hlukomer}$ [Hz]	L_p [dB]
1	1,7	0,525	0,05	3,6	100	400	52	126,3
2	1,7	0,525	0,05	3,6	120	576	52	131,1
3	1,7	0,525	0,05	3,6	140	784	52	133,3
4	1,7	0,525	0,05	3,6	160	1024	52	135,1
5	1,7	0,525	0,05	3,6	180	1296	52	135,3
6	1,45	0,295	0,05	3,6	100	400	60	125
7	1,45	0,295	0,05	3,6	120	576	60	128,3
8	1,45	0,295	0,05	3,6	140	784	60	132,5
9	1,85	0,525	0,05	3,6	140	784	48	134,5

Tab. 5.1

Číslo měření	δ_k [m]	T_m [°C]	ΔT_s [°C]	∇T_m [$\frac{K}{m}$]	∇T_{krit} [$\frac{K}{m}$]	P [W]	$T_{s,rez.}$ [°C]	$\frac{\nabla T_{krit}}{\nabla T_m}$ [1]
1	0,000513	220	73	1468	154	0,016	38	0,105
2	0,000551	280	89	1782	196	0,054	38	0,110
3	0,000575	320	106	2117	224	0,105	38	0,106
4	0,000598	360	120	2407	252	0,178	38	0,105
5	0,000619	400	137	2744	280	0,212	38	0,102
6	0,000509	280	94	1877	367	0,007	28	0,195
7	0,000531	320	110	2197	419	0,018	28	0,191
8	0,000536	330	111	2225	432	0,048	28	0,194
9	0,000535	220	54	1083	156	0,069	41	0,144

Tab. 5.2

Tab. 5.1 - Udává základní rozměry rezonátoru pro dané měření včetně umístění a rozměrů stacku, dále topný výkon a hladinu akustického tlaku pro změřený frekvenční pík.

Tab. 5.2 - V této tabulce je vypočtena tepelná penetrační hloubka a tloušťka viskózní vrstvy, z hodnoty ΔT_s je získán teplotní gradient, je vypočten kritický teplotní gradient a výkon TA motoru.

Z frekvence naměřené hlukoměrem je získána hodnota teploty $T_{s,rez.}$, jež odpovídá rychlosti zvuku pro tuto frekvenci.

5.4 Diskuze výsledků

Výpočtová část

Frekvence vypočtená z absolutní hodnoty střední teploty ve stacku se poměrně značně liší od píkové frekvence naměřené hlukoměrem. Z hodnot v tabulce můžeme usoudit, že frekvence TA zařízení závisí primárně na délce rezonátoru. Vzhledem k tomu,

že teplota $T_{S,rez.}$ vyšla pro měření se stackem blízko uzavřenému konci malá, lze usoudit, že frekvence závisí v malé míře i na průběhu teplot ve stacku, jelikož při malé vzdálenosti mezi stackem a uzavřeným koncem ohřívá spirála přímo menší množství vzduchu.

Porovnání tepelné penetrační hloubky a tloušťky viskózní vrstvy ukazuje, že viskozita bude mít ve skutečnosti na chod zařízení velký vliv a její zanedbání bylo velkým zjednodušením.

Dle rovnice (7) závisí účinnost přímo na faktoru $\frac{\sqrt{T_{krit}}}{\sqrt{T_m}}$, lze tedy usoudit, že nejlepší účinnosti dosahuje zařízení při relativní poloze stacku co nejbližší uzavřenému konci rezonátoru. Na druhou stranu však zároveň s rostoucí účinností roste i kritický gradient. Je tedy zřejmé, že je nutné najít rovnováhu mezi těmito dvěma skutečnostmi.

Důležitým faktem je závislost amplitudy tlaku na poloze hlukoměru a v konečném důsledku tedy závislost výkonu na místě, kde je odebírán.

Hodnoty výkonu v tabulce 5.2 byly spočteny pro vzdálenost hlukoměru od volného konce $h = 130$ mm. Hodnota akustického tlaku však závisí na relativní poloze místa měření k rezonátoru. K vyhodnocení výkonu je tedy třeba hodnoty „sjednotit“. Vypočítejme tedy maximální hodnotu amplitudy akustického tlaku. Zřejmě platí

$$p_1 = p_0 \cos\left(\frac{\pi x}{2L}\right) \quad (8)$$

Následující tabulka pak ukazuje maximální amplitudy akustického tlaku p_0 a jim příslušející výkony.

Číslo měření	p_0 [Pa]	P_{max} [W]
1	488	1,089
2	847	3,759
3	1091	7,292
4	1343	12,416
5	1374	14,735
6	358	0,377
7	524	0,930
8	850	2,458
9	1363	5,655

Tab. 5.3

Porovnáme-li výkony při napětí na spirále $U = 140V$, tj. měření 3, 8 a 9; dojdeme k závěru, že nejvýhodnější délkou rezonátoru je délka 1. Určujícím parametrem pak zřejmě bude relativní

vzdálenost stacku vzhledem k rezonátoru. Zároveň je zřejmé, že výkon TA motoru závisí zhruba lineárně na topném výkonu. Literatura se zmiňuje o ideální poloze stacku v 1/3 délky rezonátoru od uzavřeného konce, čemuž zde uvedené hodnoty dobře odpovídají.

6 Závěr

Z prezentovaných dat vyplývá, že největší vliv na výkon motoru má hladina akustického tlaku. Překvapivým výsledkem je, že právě tam, kde je dosaženo nejvyšší účinnosti zařízení, je dosaženo zároveň i nejnižší hladiny akustického tlaku. Do budoucna by mohlo být zajímavým úkolem zjištění optimální konfigurace, tedy jakési rovnováhy mezi účinností a výkonem.

Překážkou ve snaze docílit takového provedení mohou být netěsnosti. Krom zřejmého vnějšího utěsnění rezonátoru by bylo vhodné zvážit i izolaci stacku tak, aby co nejméně tepla proudilo ke studenému konci okolo.

Rovněž bude nutné navrhnout takový chladič, který by rovnoměrně odebíral teplo ze studeného konce stacku a zároveň nebránil oscilacím vzduchu.

Nakonec je třeba zdůraznit, že v celé práci byl předpokládán ideální plyn o nulové viskozitě, stack o nekonečně velké tepelné kapacitě a nulové tepelné vodivosti, a nulová tepelná vodivost vzduchu. v podélném směru. Tyto skutečnosti mají samozřejmě na provoz zařízení vliv a proto jsou výše uvedené výpočty pouze aproximací skutečného stavu. Především vliv viskozity bude díky podobnosti viskózní mezní vrstvy a tepelné penetrační hloubky značný.

Literatura:

- [1] IN 'T PANHUIS, Peter. Mathematical Aspects of Thermoacoustics. Eindhoven University of Technology, 2009. <http://alexandria.tue.nl/extra2/200911305.pdf>
- [2] NEWMAN, Jonathan, CARISTE, Bob, QUEIRUGA, Alejandro, DAVIS, Isaac, PLOTNICK, Ben, GORDON, Michael a SAN MARTÍN, Sydney. Thermoacoustic Refrigeration. GSET Research Journal, 2006.
- [3] KOLOUCH, Jakub. Návrh a konstrukce termoakustického zařízení

- [4] BAJER, Jiří. Mechanika 3.
<http://muj.optol.cz/~bajer/skripta/kap7.pdf>
- [5] GARRET, Steven L. Thermoacoustic Engines and Refrigerators. The 4th International Meeting of Advances in Thermofluids, Melaka, Malaysia
- [6] NOVOTNÝ, Petr, VÍT, Tomáš, VESTFÁLOVÁ, Magda, LOPES, José - Standing-wave thermoacoustic engines
- [7] SWIFT, Gregory W. Thermoacoustic engines and refrigerators. J. Acoust. Soc. Am. 84(4), 198.
- [8] SCHAUER, Pavel. Vybrané statě z akustiky
http://fyzika.fce.vutbr.cz/doc/vyuka_schauer/vybrane_st_ate_z_akustiky.pdf
- [9] <http://www.theengineer.co.uk>
- [10] HIGGINS, B. Journal of Natural Philosophy and Chemical Arts 129 (1802), 22.
- [11] LORD RAYLEIGH. Theory of sound, Vol. II, Dover, New York, 1945.
- [12] STŘEDA, Ivo. Základy rovnovážné termodynamiky. Technická univerzita v Liberci, 2009.
- [13] KOPAL, Antonín. Fyzika I. Technická univerzita v Liberci, 2009.
- [14] HALLIDAY, D., RESNICK, R., WALKER, J. Fyzika. Vysoké učení technické v Brně, 1997.
- [15] DVOŘÁK, VÁCLAV. Úvod do proudění stlačitelných tekutin, Technická univerzita v Liberci, 2009.
- [16] <http://www.engineeringtoolbox.com/>
- [17] TIJANI, Moulay El Hassan. Loudspeaker-driven thermoacoustic refrigeration. Technische Universiteit Eindhoven, 2001.

ZAŘÍZENÍ PRO VÝROBU KRUHOVÉHO FILTRU

Vašata Josef

Sekce – Bakaláři - Strojírenství
Fakulta strojní, 3. ročník

Bakalářský studijní program – Katedra textilních a jednoúčelových strojů

Abstrakt: Tato práce je zaměřena na návržení a zkonstruování strojního zařízení pro výrobu kruhového filtru, jehož filtrační vložka je vyrobena z netkané textilie. Při návrhu strojního zařízení můžeme zohlednit i lidský člen, který je v současné době téměř při každé výrobě filtrů. Filtrační vložka, z netkané textilie, je velmi křehké konstrukce, tudíž se bude muset dbát na opatrnost při manipulaci, aby nedošlo k jejímu poškození či nevratné deformaci.

Klíčové slová: filtr, netkaná textilie, stroj, čelo, automatizace

1 Úvod

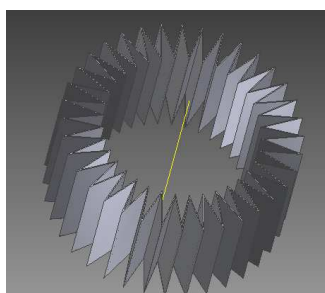
Jedinou naší specifikací, při vyvíjení strojního zařízení je tvar čel filtrů a tvar filtrační vložky z netkané textilie. Kruhový filtr má po obvodě žebra, která mají za úkol chránit filtrační vložku před poničením, či přímým kontaktem cizích těles při manipulaci. Při skládání filtru je potřeba dbát na přichycení filtrační vložky mezi obě čela tak, aby mezi těmito vrstvy nedošlo k průniku filtrovaného vzduchu, tj. aby veškeré částice procházeli skrz netkanou textilií.

Obrázek – kruhový filtr

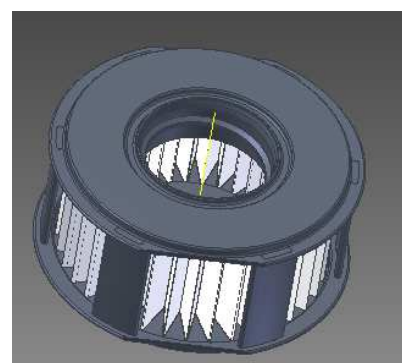
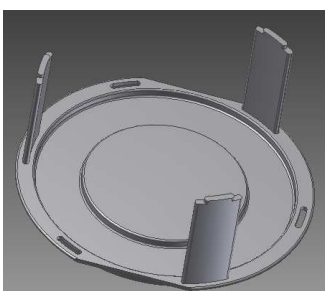
-čelo filtru



-filtrační vložka



-čelo filtru



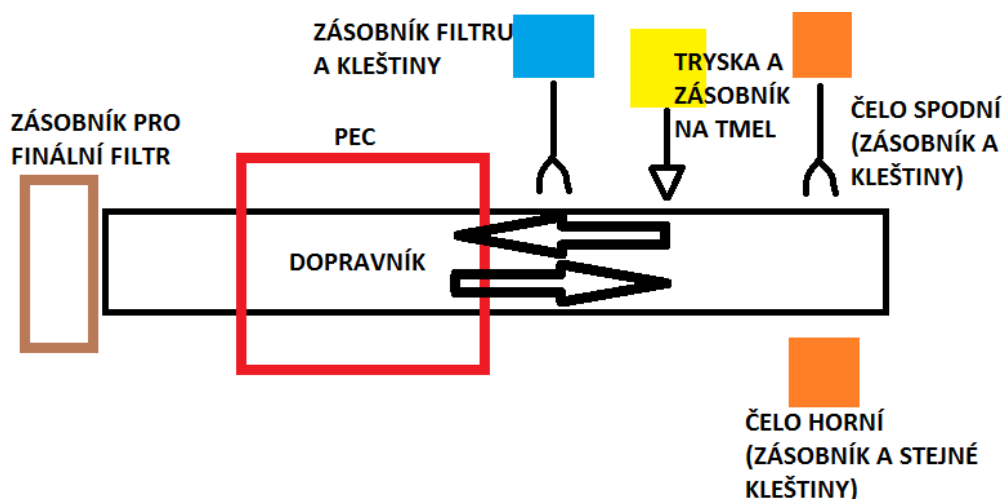
2 Rozdělení strojních zařízení

Při návrhu strojních rozdělení jsme na začátku použili dopravníkový typ stroje a teplem vytvrzovací tmel (jednosložkový či dvousložkový), který se nanášel mezi čela filtru a filtrační vložku.

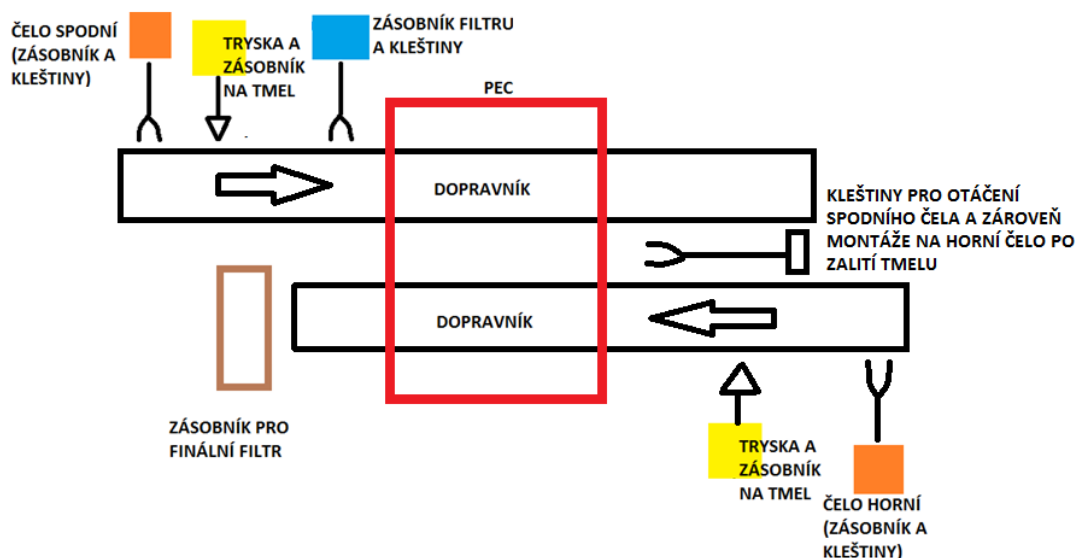
Nakonec se ukázalo, že o mnoho jednodušší bude použití laku, který se vytvrzuje pod UV světlem při daném typu stroje – karuselový.

- 2.1) Stroj pro malosérie, kde chceme ušetřit na komponentech stroje (zvyšuje se výrobní čas)

- požíváme pouze jedny kleštiny a s nimi spjatý pohon a posuv pro obě dvě čela
- dopravník by musel jezdit tam i zpět při každém zapékání tmelu v čelech
- při poloautomatickém stroji, obsluha bude stát za tryskou a po naplnění druhého čela a prvního zapečeného čela, druhé čelo ručně nasadit a následně jej poslat do pece

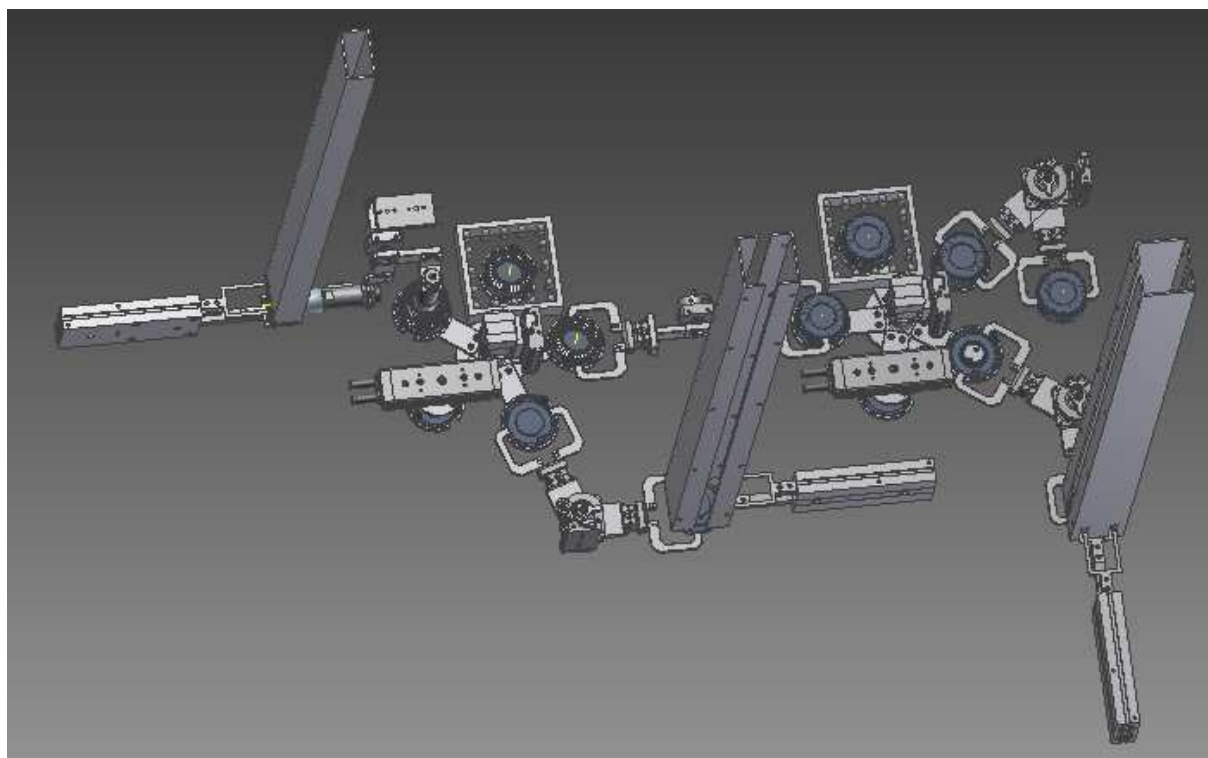


- 2.2) Stroj pro větší série, kde je možnost zajistit neustálý chod stroje (při stálém doplňování zásobníků) zde je potřeba více dopravníků, kleštin, motorů a pojezdů.

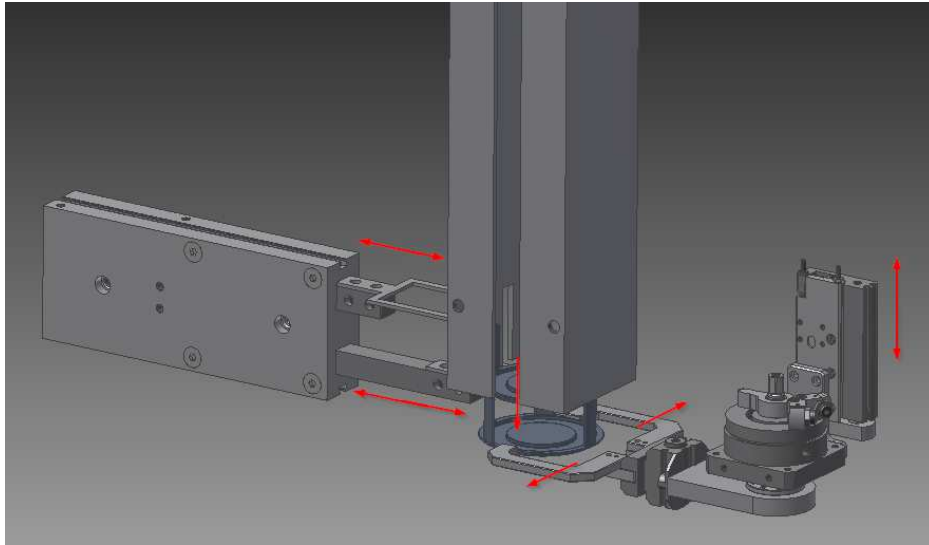


2.3) Karuselový typ stroje

- plně automatizovaný jednoúčelový stroj pro výrobu filtrů
- obsluha pouze zajistí doplňování zásobníku čel filtrů, filtračních vložek a UV laku
- vysoká kadence stroje při použití UV laku
- zajištěná čistota při manipulaci s komponenty (výhoda pro výrobu filtrů do sterilních prostředí)
- Festo komponenty (vzduchotechnika)



3 Konstrukce strojního zařízení

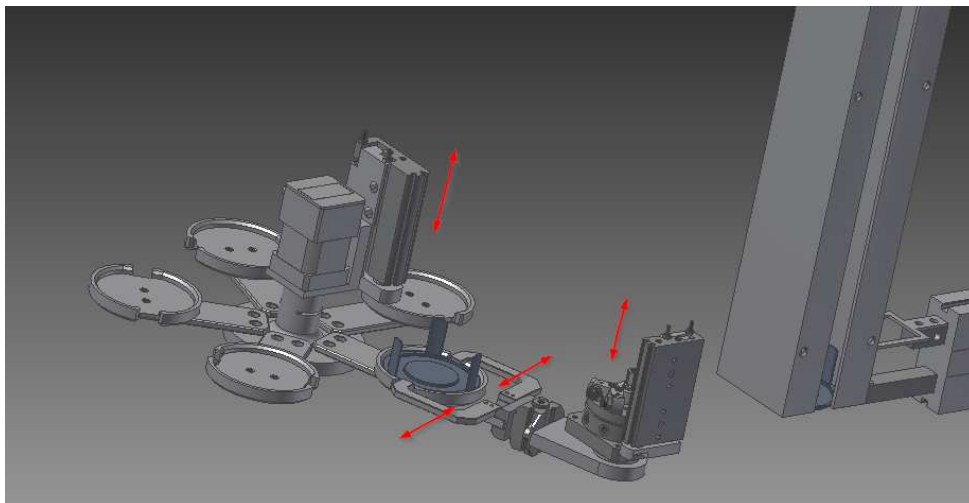


Oddělovač pracující v cyklech:

horní rameno vysunuté, spodní vysunuté
 horní rameno zasunuté, spodní vysunuté
 horní rameno vysunuté, spodní vysunuté
 horní rameno vysunuté, spodní zasunuté

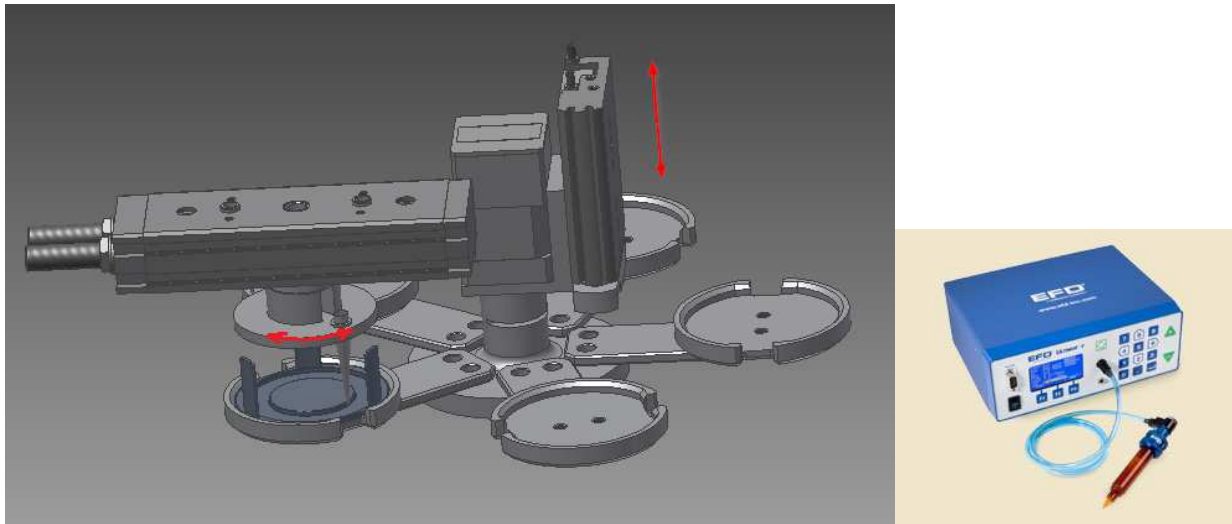
Paralelní čelisti sevřou víko filtru a pomocí saní umístěných na kyvném mechanismu celé zařízení sjede směrem dolů od zásobníku pro čela.

Dále se může celý mechanismus otočit a příslušný úhel aniž by nastala kolize mezi čelem filtru a zásobníkem.



Mini saně, kyvný mechanismus s čidli a paralelní čelisti: mechanismus sjede dolů, začíná se celý otáčet až ke karuselu, u karuselu se zastaví, počká až se celý karusel zvedne a čelisti se otevřou, mechanismus se otáčí směrem k zásobníku, kde se opět zvedá a čelisti uchopí další víko filtru

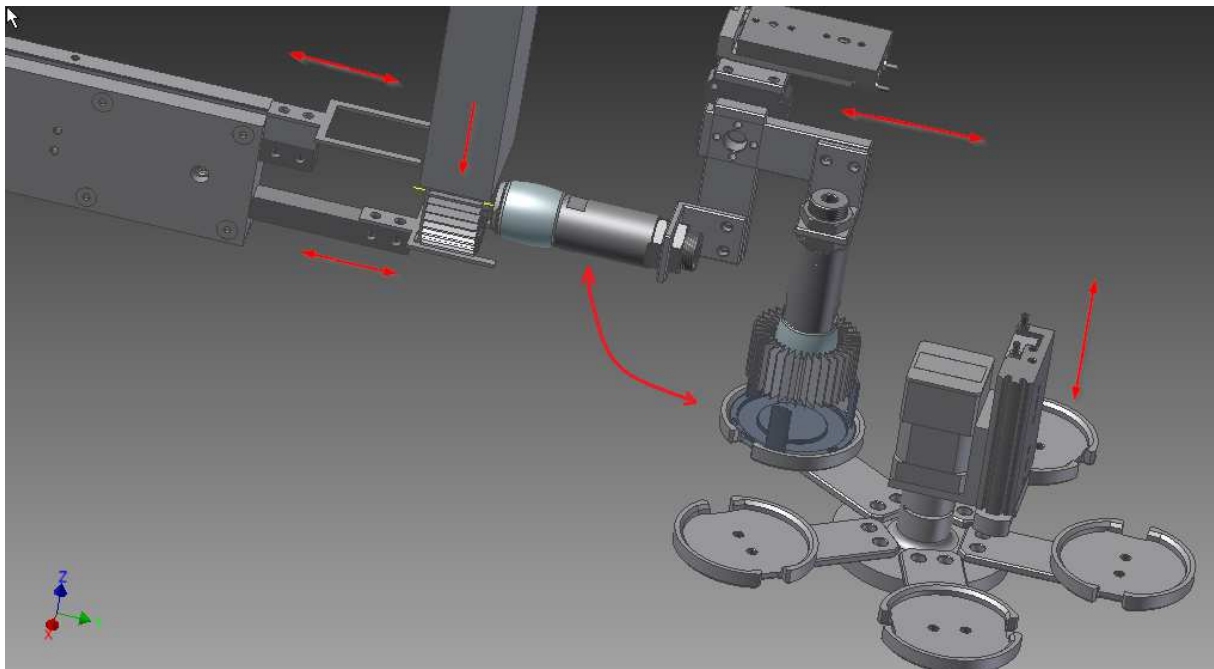
Karusel - saně a krokový motor otáčející se o 72°: pouze otáčení a příslušný úhel a zajíždění a vyjíždění v daných koncových polohách



Kyvný mechanismus (360°): pouze pohyb o 360° po přijetí víka filtru, na pipetu je připojeno zařízení, které pomocí integrovaného dávkovače a zásobníku (pneumatický dávkovač řady Performus III) dodává přesné množství laku do drážky pro filtrační vložku

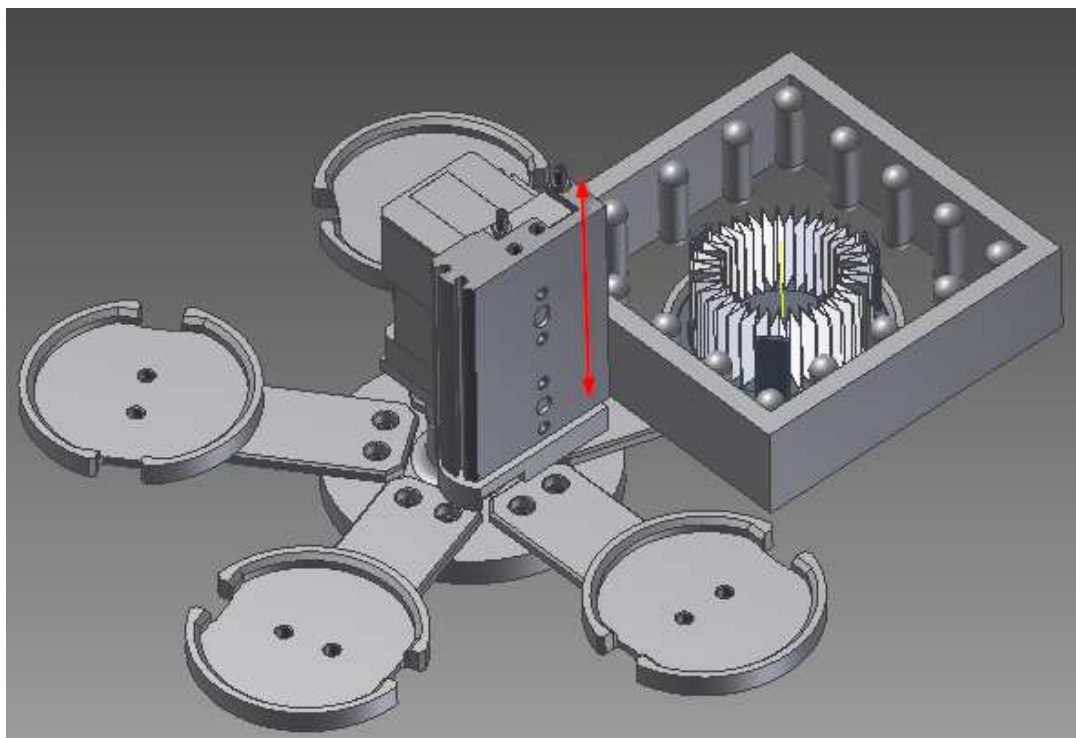
UV lak (Typ AR / UR) > UV40-250 - 1.06 g / cm³

HumiSeal ® UV40-250 je jednosložkový, UV vytvrditelný, má vynikající chemickou odolnost, tvrdost nanesené vrstvy, pružnost a odolnost proti vlhkosti.

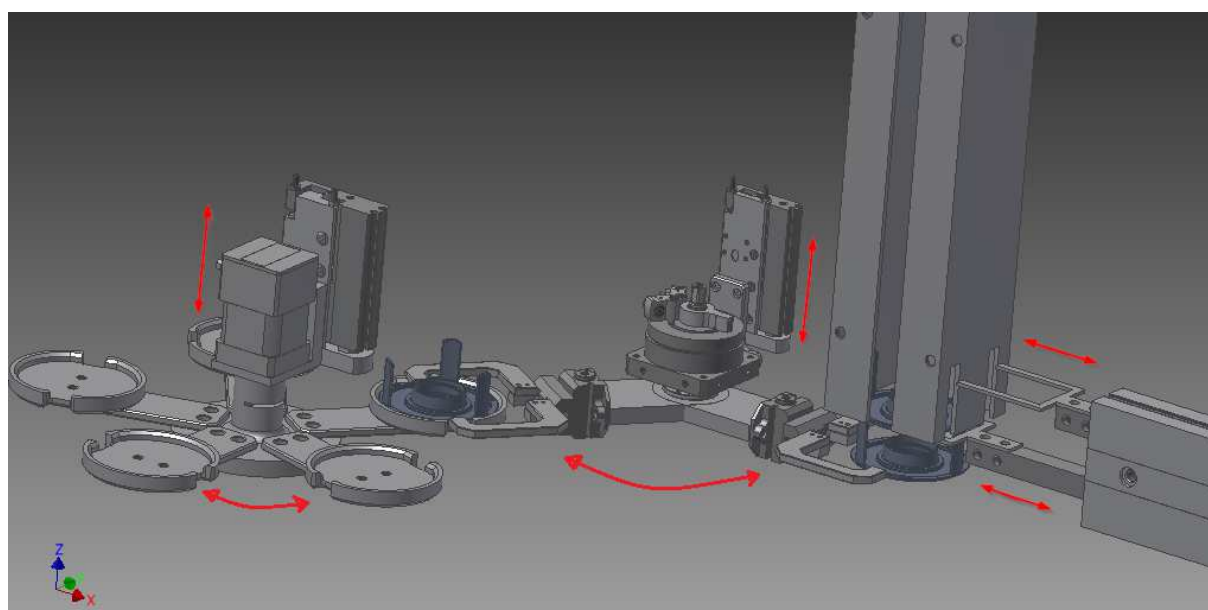


Mini saně, měchové chapadlo a kyvný mechanismus s čidli: saně přijedou s chapadlem natočeným k zásobníku kde se měch „nafoukne“ saně se zatáhnou a mechanismus se natočí o 90°, přijede karusel a měch povolí – filtr se položí do víka filtru

(princip oddělovače je zde stejný jako u zásobníku pro čela filtru)



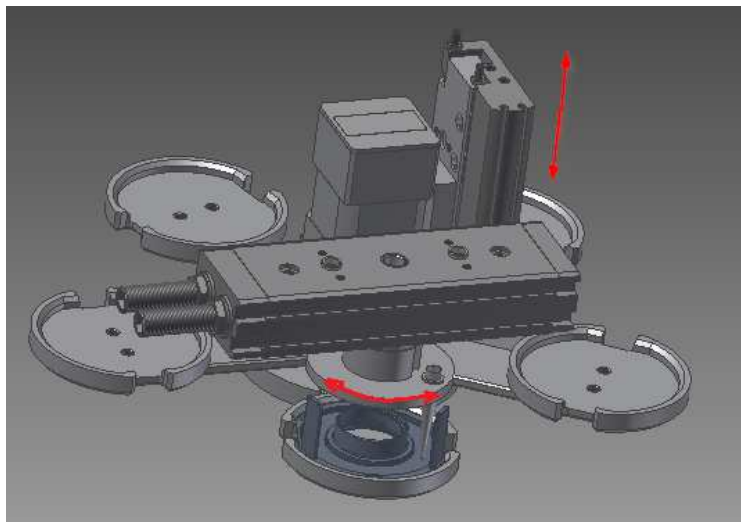
Karusel vyjede pomocí saní nahoru do boxu s UV světly, kde UV světlo zaktivuje vytvrzování laku v krátkém časovém intervalu, poté opět karusel sjede dolů a pokračuje na další středisko



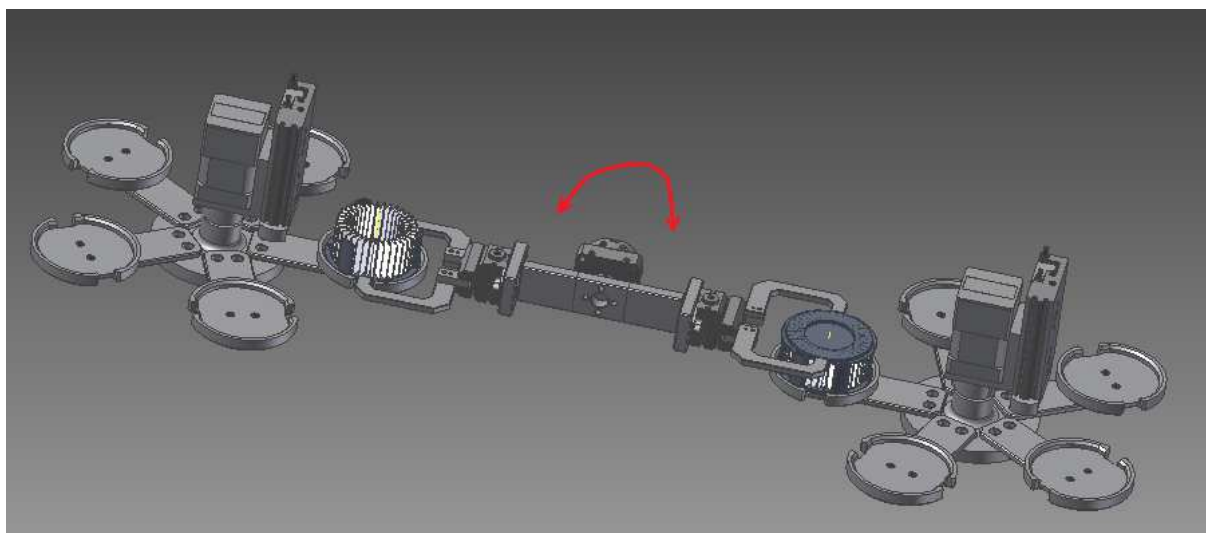
Oddělovač pracující v cyklech:

horní rameno vysunuté, spodní vysunuté
 horní rameno zasunuté, spodní vysunuté
 horní rameno vysunuté, spodní vysunuté
 horní rameno vysunuté, spodní zasunuté

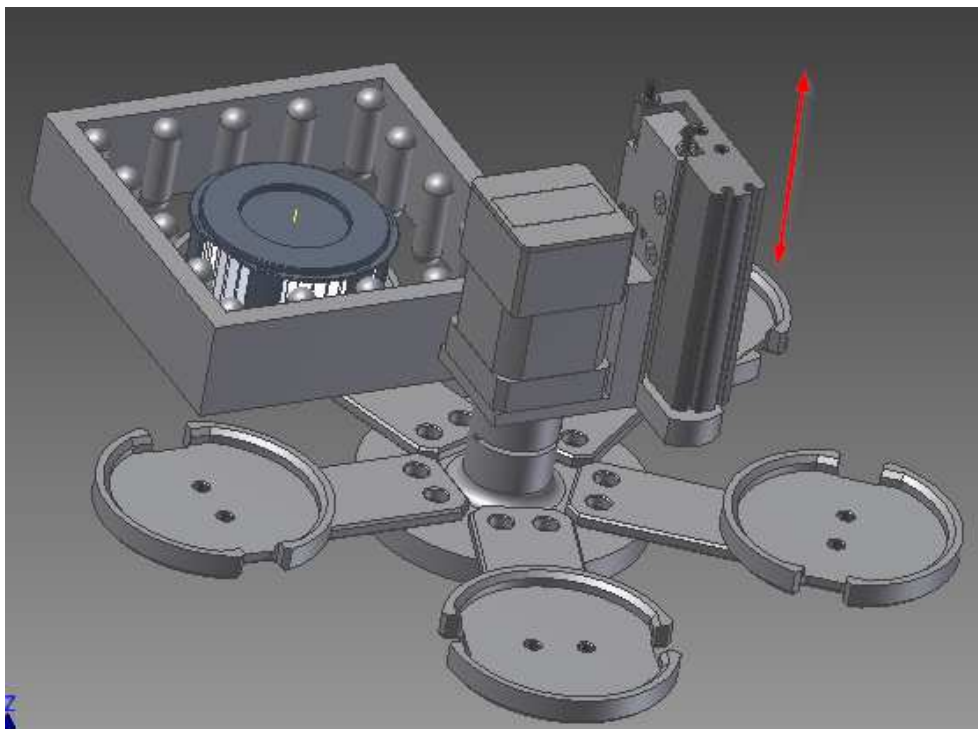
Mini saně, kyvný mechanismus s čidli a paralelní čelisti: čelisti sevřou víko v zásobníku, mechanismus sjede dolů, začíná se celý otáčet až ke karuselu, u karuselu se zastaví a čelisti se otevřou, mechanismus se otáčí směrem k zásobníku, kde se opět zvedá a čelisti uchopují víko filtru



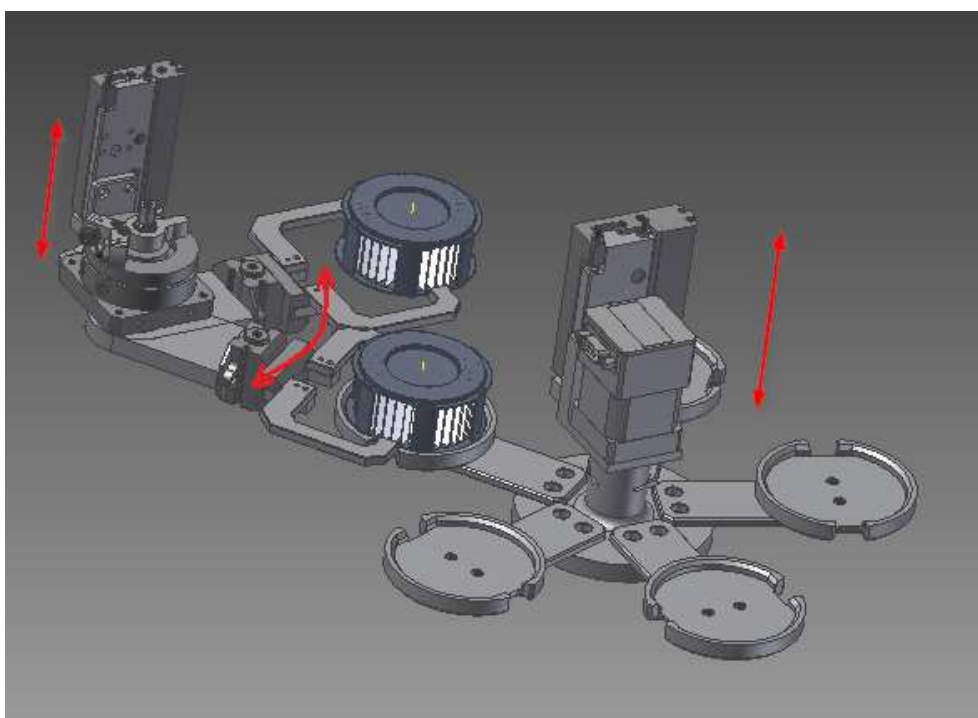
Kyvný mechanismus (360°): pouze pohyb o 360° po přijetí víka filtru, na pipetu je připojeno zařízení, které pomocí integrovaného dávkovače a zásobníku (pneumatiký dávkovač řady Performus III) dodává přesné množství laku do drážky pro filtrační vložku



Kyvný mechanismus (180°) a paralelní čelisti: po uchopení čela filtru s filtrační vložkou, přesun o 180° na druhý karusel na druhé připravené čelo filtru a rozevření čelistí – z hlediska výšky čel, je jeden karusel posunut vertikálně o 16mm



Karusel vyjede pomocí saní nahoru do boxu s UV světly, kde UV světlo zaktivuje vytvrzování laku v krátkém časovém intervalu, poté opět karusel sjede dolů a pokračuje na další středisko



Poslední středisko disponuje stejným mechanismem, který je využíván u zásobníku pro čela filtru. Zde pouze čelisti uchopí zhotovený kruhový filtr, karusel sjede dolů a umožní mechanismu kruhový pohyb do míst, kde bude přiložen zásobník pro finální produkt, který bude přizpůsoben na přání zákazníka

4 Závěr

Cílem této práce bylo navrhnout a zkonstruovat typ strojního zařízení pro výrobu filtru z netkané textilie, přičemž měla být dodržena jak spolehlivost filtrační funkce, tj. částice musejí procházet pouze skrz filtrační vložku, tak i spolehlivost celého výrobního procesu a zajistit optimální podmínky například při velkosérii.

Celé zařízení bude vyrobeno z hliníkových dílů, které zajišťují dostatečnou tuhost stroje, životnost komponentů a chemickou stálost.

Navržené strojní zařízení disponuje elektro-vzduchovou technikou od firmy Festo, která zaručuje nadstandardní kvalitu veškerých procesů a vysokou kadenci výroby.

Výsledné hodnoty strojního zařízení:

- výrobní čas jednoho kruhového filtru (40s)
- cena dílů Festo (87 300 CZK netto)
- cena kovových vyráběných dílů (cca 20 000 – 30 000 CZK)
- cena zařízení pro UV technologii (cca 50 000 CZK)

Závěrem této práce a veškerých procesů tohoto strojního zařízení by mělo být odzkoušení a ověření vytvrzování laku pod UV světlem tak, aby byla filtrační vložka po celém obvodu vzduchotěsně spojená s čely filtrů.

Název	Studentská vědecká a odborná činnost 2013 - sborník
Autor	kolektiv autorů
Vydavatel	Technická univerzita v Liberci
Určeno pro	studenty
Schváleno	Rektorátem TUL dne 21. 5. 2013 čj. RE 31/13
Vyšlo	v květnu 2013
Vydání	1.
Počet stran	249
Tiskárna	Vysokoškolský podnik Liberec, spol. s r.o.
Číslo publikace	55-031-13

ISBN 978-80-7372-969-1