

Stroj na výrobu PGP matrice

Mikmek Jonáš

Sekce – STROJÍRENSTVÍ,
Fakulta strojní, 2. ročník

Navazující magisterský studijní program – KONSTRUKCE STROJŮ A ZAŘÍZENÍ

Anotace

Cílem této diplomové práce je navrhnout konstrukční řešení zařízení flexibilních parametrů pro sériovou výrobu produktů z porézní skleněné plastelíny (PGP matrice), která nachází své uplatnění jako pěstební matrice, obklad křbových kamen či jako designový prvek. Nejprve je provedena zevrubná rešerše v oblasti porézních skel, dále je provedena analýza zpracovatelnosti materiálu a výrobních technologií pro výrobu plochých tvarů z těstovité hmoty. Dále je ve variantách realizován návrh koncepce mechaniky závislý na způsobu tvarování PGP matrice, dávkování, způsobu hutnění a dalších nezbytných částech stroje. Následně je zpracován 3D model malokapacitního zařízení pro výrobu produktů z porézní skleněné plastelíny. Na závěr je zhodnocen přínos předloženého řešení včetně ekonomického zhodnocení.

Klíčová slova

Porézní skla, Recyklace, Konstrukce malokapacitního zařízení, PGP matrice, Glassticine.

Úvod

V současné době je kladen stále větší důraz na udržitelnost, ekologii a efektivní využívání surovin. Jedním z problémů moderní společnosti je nadměrná produkce odpadu, mezi který patří i skleněný odpad. Jedním z perspektivních směrů recyklace skla je jeho přeměna na porézní skelnou hmotu, která nachází uplatnění například v oblasti stavebnictví, tepelné izolace, zemědělství nebo jako filtrační a absorpční materiál. Výroba této hmoty však vyžaduje specifický technologický proces a zařízení, která zajistí požadované vlastnosti výsledného produktu – především nízkou objemovou hmotnost, vysokou porozitu a mechanickou stabilitu. Touto cestou se vydalo pracoviště katedry sklářských strojů a robotiky (dále jen „KSR“) na Technické univerzitě v Liberci, které využívá skelného recyklátu pro výrobu PGP matrice.

Práce je rozdělena do čtyř kapitol. První kapitola se zabývá současným stavem. Nejprve je provedena zevrubná rešerše v oblasti recyklace, porézních hmot a skel, dále je provedena analýza zpracovatelnosti materiálu a výrobních technologií pro výrobu plochých tvarů z těstovité hmoty. Dále se práce věnuje koncepčnímu návrhu zařízení na výrobu PGP matrice, který je zpracován ve variantách a z něhož vzešlo vlastní konstrukční řešení malokapacitního zařízení. Návrh pokračuje volbou jednotlivých komponent s ohledem na funkci, skladové zásoby, náročnost výroby a cenovou kalkulaci. Následně je zpracován 3D model malokapacitního zařízení pro výrobu produktů z porézní skleněné plastelíny. Na závěr je zařazeno technicko-ekonomické zhodnocení, kde je zhodnoceno provedení konstrukce s ohledem na výrobu a náklady.

1. Rozbor současného stavu

Předmětem diplomové práce je návrh způsobu sériové výroby produktů z porézní skleněné plastelíny. Tento způsob bude v rámci diplomové práce dále zpracován do konstrukčního řešení malokapacitního výrobního stroje. Na pracovišti KSR se v rámci základního výzkumu podařilo vyvinout a otestovat nadějnou viskozitně variabilní směs na bázi SiO₂, označovanou jako

Porous Glass Plasticine (dále jen „PGP“) nebo také Glassticine. Hlavní vstupní surovinou PGP hmoty je čistě křemičitý písek či skleněný recyklát. Technické řešení tedy musí zohledňovat specifické požadavky na zpracování dané hmoty, která se vyznačuje řadou specifických vlastností, a to jak z pohledu funkčnosti, tak i zpracovatelnosti. Z hlediska zpracovatelnosti je především tvárná a značně přilnavá.

1.1. Recyklace skla

Sklo lze velmi jednoduše recyklovat bez ztráty jeho vlastností, což umožňuje jeho opakované použití téměř neomezeně. Recyklace skla šetří energii, která by jinak byla potřebná pro těžbu nových surovin a výrobu, především na náročné tavení sklářského materiálu. Nejdříve se skleněný odpad třídí ručně podle barev. Dalším krokem je rozdrcení skla na malé kousky. Poté je nutné odstranit všechny nečistoty, které by mohly negativně ovlivnit kvalitu výsledného produktu. Mezi odstranitelné nečistoty patří kovy, keramika, porcelán, drátěné sklo, plasty, papír, zrcadla a korek. Feromagnetické materiály se odstraňují pomocí magnetů. Nakonec se sklo opět drtí na jemnější částice (Obr. 1) a v případě potřeby dalšího zpracování se ještě mele.



Obr. 1 Recyklované (pračkové) sklo, vlevo drcené, vpravo mleté

Podíl recyklovaných skleněných střepek ve výsledné sklářské směsi obvykle činí 30–40 %, což usnadňuje její tavení. Při použití směsi PGP je možné nahrazení křemičitého písku až o 100 %. Takováto směs má však oproti směsi připravované za použití křemičitého písku jiné vlastnosti i využití. Tavení skleněných střepek je energeticky méně náročné než tavení sklářského kmene nebo křemičitého písku. [1, 2]

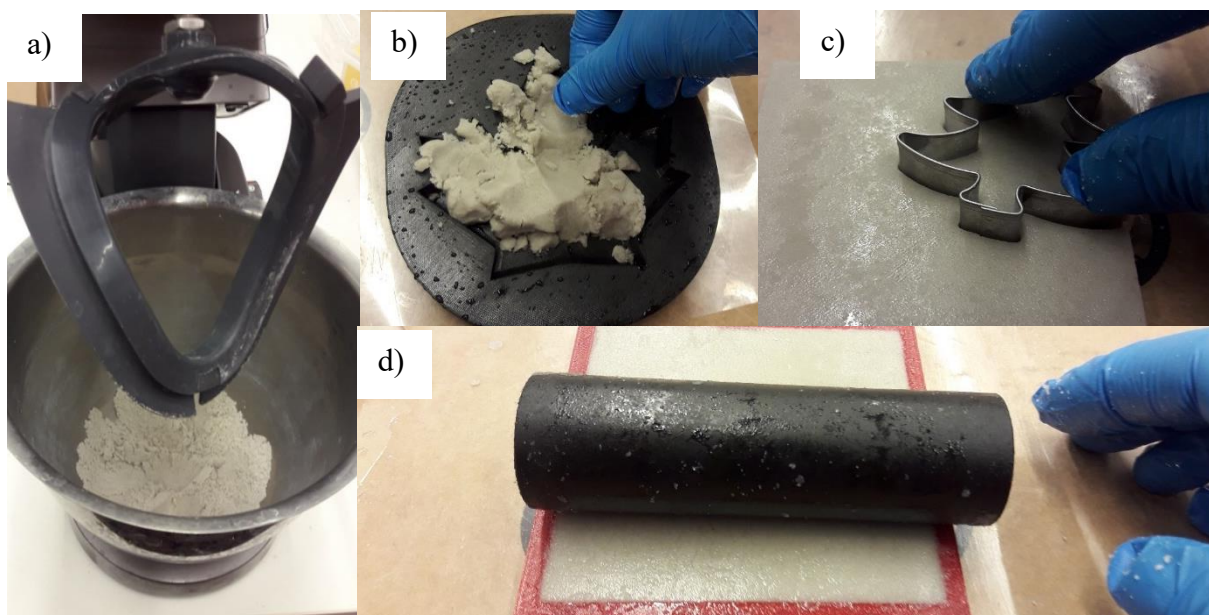
1.2. Pěnová skla

Porézní skla jsou skla s malými dutinami nebo póry, které mohou být vytvořeny během výrobního procesu. Tyto materiály mají unikátní vlastnosti, jako je specifický povrch, velikost a objem pórů nebo značná sorpce, což je činí vhodnými pro různé aplikace. Porézní skla je možné vyrábět hned několika metodami. Jednou z možností je loužení alkalického borosilikátu. Dalším využívaným postupem je slinování skleněných prášků. Skleněné částice jsou smíchány s pojivem, formovány a tepelně zpracovány pro vytvoření filtru s požadovanou porézností. Je možné použití materiálů tvořících póry. Používají se například organické materiály nebo uhličitany, které se během slinování spálí, odcházejí ve formě plynů čímž vzniknou póry ve skle. Dále je možné využít například organických šablon. Organické šablony se naplní skleněnou kaší, která se po spálení šablony přemění na porézní strukturu. Porézní skla představují inovativní materiál s širokým spektrem aplikací a vlastností, které lze přizpůsobit specifickým potřebám různých odvětví. Jejich výroba a vývoj pokračují, což naznačuje jejich rostoucí význam v moderní technologii a vědeckém výzkumu. [3, 4]

V současné době se na katedře KSR používají dvě porézní hmoty, které jsou vyráběny za pomoci sintrace. Jedna hmota se vyrábí z křemičitého písku (označována Glassticine PURE) a druhá z recyklátu (označována Glassticine REcycled) s přidáním vhodných aditiv. Každá má jinou zpracovatelnost a na výsledný produkt má vliv především složení a teplota sintrace. Každá hmota má také jiný aplikační potenciál. Navrhovaný stroj je určen pro malokapacitní výrobu za účelem dalšího testování a snadnější zpracovatelnosti.

1.3. Analýza zpracovatelnosti materiálu

Byla laboratorně testována různá složení porézních hmot, což je důležité pro vybraný princip výrobního stroje. Pro výrobu je lepší „mokřejší“ hmota, lépe se s ní pracuje, ale nastává u ní problém se soudržností tvaru z důvodu nízké viskozity. Naopak sušší hmoty mají horší soudržnost. Problémy se soudržností je možné řešit i regulací vstupních surovin. Zpracování dané hmoty je podobné zpracování těst v potravinářském průmyslu. Při testování lze například využít známý kuchyňský robot pro umíchání směsi (Obr. 2a). Umíchanou hmotu, podobnou těstu, lze zpracovat například válením a poté vykrajováním formičkami, jak známe z vánočního cukroví, tímto způsobem je však možné získat pouze ploché tvary (Obr. 2c). Další variantou je válet hmotu, přesně dávkovanou do formy, pro odstranění nutnosti vykrajování a tím i snížení odpadu vzniklého okrajováním a získání (jednostranně) členitých tvarů (Obr. 2d). Poslední příhodnou variantou je vtlačování přesné dávky hmoty do tvarové formy, kde je možné využití vícedílné formy pro získání členitých tvarů na obou stranách lisovaného předmětu (Obr. 2b). Pro snížení požadavků na přesné dávkování je možné využít větší dávky, než je samotný objem formy a poté použít stírač a odstranit přebytečný materiál.



Obr. 2 Zpracovatelnost materiálu

a) příprava PGP matrice pomocí kuchyňského robotu, b) Vtlačování dávky PGP matrice do tvarové formy, c) vykrajování PGP matrice formičkami, d) válení PGP matrice

1.4. Vhodné materiály pro styk s PGP maticí

Již v minulosti byly na pracovišti KSR prováděny experimenty přilnavosti hmot na bázi skla. Experimenty byly, mimo jiné, realizovány přitlačením dané skelné hmoty na jednotlivé vzorky různých materiálů. Primárně se tyto experimenty zaměřovaly na potenciální využití akrylonitrilbutadienstyrenu (ABS), polyamidu (PA) a polypropylenu (PP), které jsou snadno dostupné a vzhledem ke snadnému zpracování jak obráběním, tak 3D tiskem taktéž výhodné pro výrobu případných prototypů. Při odnímání hmoty v různých časových intervalech bylo prokázáno, že je využití plastových materiálů vhodné pro díly, které jsou v kontaktu se skelnou hmotou, jelikož na nich skelná hmota neulpívá. Tyto experimenty se zabývaly také kovovými materiály, jako je korozivzdorná ocel nebo spékané kovové prášky, přičemž ukázaly nevhodnost využití kovových materiálů na komponenty, které jsou v přímém kontaktu s danými skelnými hmotami. [5]

Dalším aspektem je odolnost daného materiálu vůči abrazi. Jelikož jsou PGP matrice a obecně hmoty na bázi skla velmi abrazivní, je vhodné minimalizovat pohyb dané hmoty vůči komponentám zařízení, dále minimalizovat počet komponent v kontaktu s danou hmotou a ideálně volit materiály odolné abrazi nebo levné a snadno vyměnitelné materiály při případném opotřebení. Na komponenty navrhovaného zařízení, které budou ve styku s PGP

matricí je tedy vhodné využít plastové materiály, např. ABS, PA a PP, které mají příznivou cenu a přiměřeně snadnou a poměrně rychlou výrobu, ať už za použití obrábění, nebo 3D tisku. Při použití 3D tisku je pak nespornou výhodou snadný návrh a výroba různých forem a komponent s variabilními vzory pro testování a výrobu variabilního sortimentu.

1.5. Výroba tvarů z těstovité hmoty

Proces zpracování PGP matrice a následného tvarování je obdobný zpracování a tvarování těsta v pekařství. Těsto je směs hmoty, která se vyrábí smícháním určitých přísad takové konzistence, aby byla dobře plastická, a tedy při tváření dobře přijímala a podržovala žádaný tvar. Nejprve je nutné zajistit přesný poměr vstupních surovin, poté je velmi dobře promíchat, aby byly všechny vstupní suroviny ve směsi rozprostřeny rovnoměrně, a tím se zabránilo nehomogenitám ve výsledném výrobku. Po dostatečném promíchání je nutné takto vzniklou těstovitou hmotu vytvarovat. Tvarování je možné provádět ručně nebo strojně. Při ručním tvarování lze využít válení, krájení, vykrajování, mačkání a mačkání do forem. Při strojním zpracování je proces buďto zcela automatizován, kdy dochází k dávkování hmoty a jejímu vytvarování bez nutného zásahu pracovníka, nebo poloautomatický, kdy je nutná spolupráce pracovníka a daného stroje.

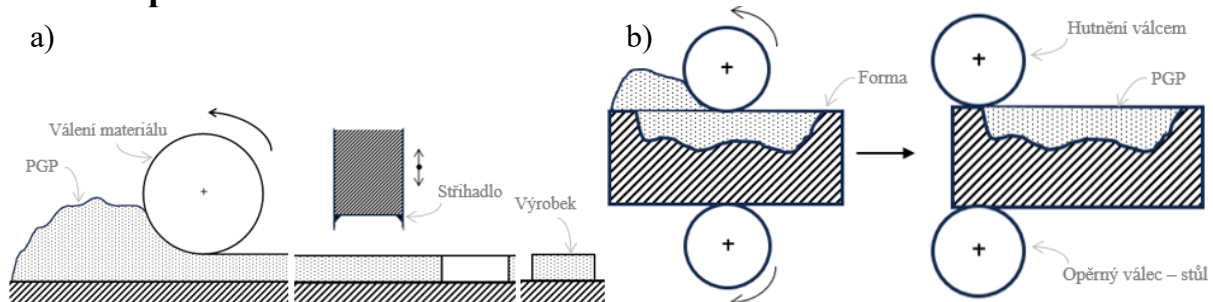
Základními způsoby, jak zpracovávat těstovité hmoty, použitelnými pro PGP matrici jsou: lisování hmoty do forem, válení hmoty mezi bočními dorazy (do tvarové formy), válení hmoty ve volném prostoru. Při volném válení je nutná následující operace vykrajování neboli stříhání. Běžně se tyto procesy používají ve strojírenském a pekařském průmyslu. Odtud byla vzata inspirace, jelikož skleněná hmota je velice tvárná. [6–9]

2. Konceptní návrhy

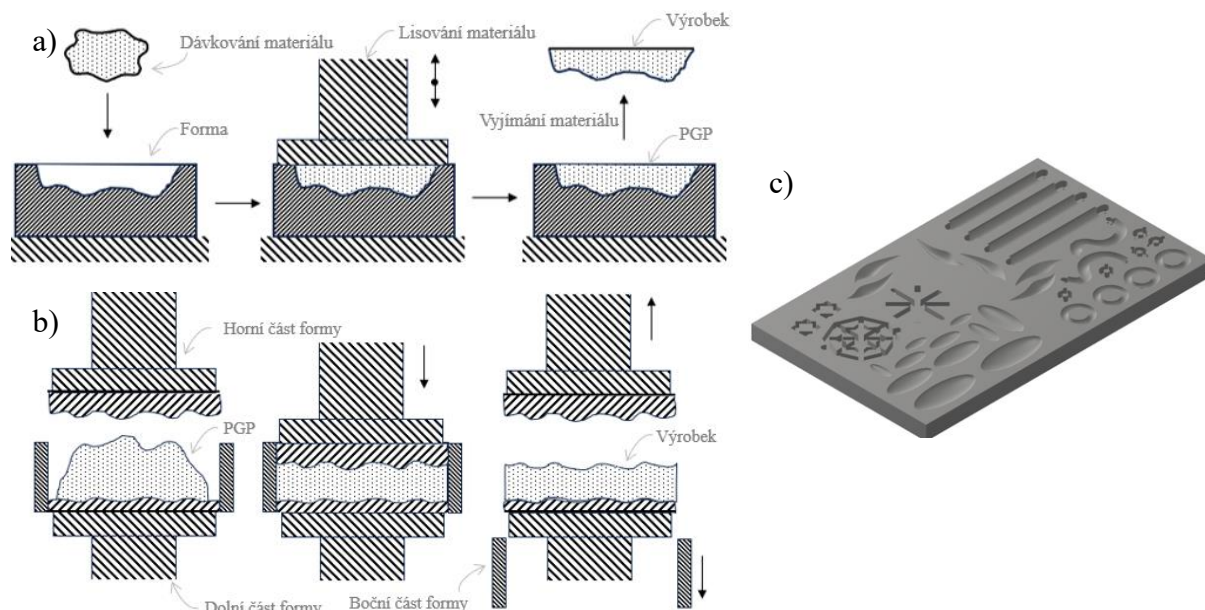
Na základě realizované podrobné rešerše byly vypracovány následující konstrukční návrhy, které odpovídají specifickým požadavkům zařízení. Základním prvkem je oblast tvarování PGP matrice. Lze uvažovat hned nad několika konstrukčními uspořádáními, kde každé má své výhody i nevýhody, které jsou popsány detailněji u konkrétních návrhů. Tvarování PGP matrice může být realizováno například formou na lisovacím zařízení nebo válcem a stříhadlem. V návaznosti na způsob tvarování je volen pohybový mechanismus, který může realizovat zavírání a otevírání formy, vyklopení výrobku, posun materiálu nebo vystřížení tvaru. V závislosti na předešlých variantách je volena konstrukce zařízení. Dalším důležitým prvkem zařízení je pohon (pístu, válce, stříhadla či podavače), který je volen s ohledem na způsob tvarování a na základě dostupných strojních komponent na pracovišti KSR. Výrobní stroj značně souvisí s tvary produktů. Z tohoto pohledu nelze říci, která varianta je nejlepší a správná; vykrajování bude produktivnější, proces využívající formy naopak nabízí tvarově komplexnější výrobky. Je nutné zohlednit i potenciál využití, který se nabízí především při pěstování rostlin a jako designový prvek do krbových kamen.

Konceptní návrhy vycházejí jednak ze standardních zkušeností týkajících se zpracovatelnosti viskózních hmot a také z vlastních praktických zkušeností při práci s porézní hmotou na pracovišti KSR.

2.1. Způsob tvarování PGP matrice



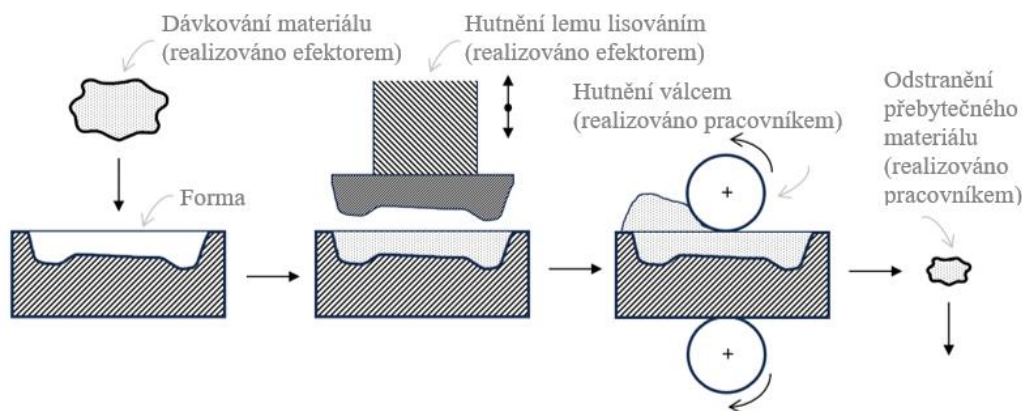
Obr. 3 schéma zpracování PGP a) postup válení a vykrajování, b) postup válení do formy válcem



Obr. 4 schéma zpracování PGP a) postup lisování do formy, b) postup lisování do automaticky otevírané vicedílné formy, c) lisování do formy s velkou teplotní odolností

2.2. Výsledná varianta

Vzhledem k požadavkům na výrobu a využití stroje je nejvhodnější využití varianty lisování do formy s velkou teplotní odolností. Dále je tato varianta více probrána a jsou řešeny dílčí konstrukční části, zároveň jsou nastíněny některé realizované experimenty, které byly prováděny k dosažení optimální varianty a k vyřešení několika technických požadavků.



Obr. 5 Struktura výrobního stroje – schéma jednotlivých operací výrobního stroje

3. Konstrukční řešení

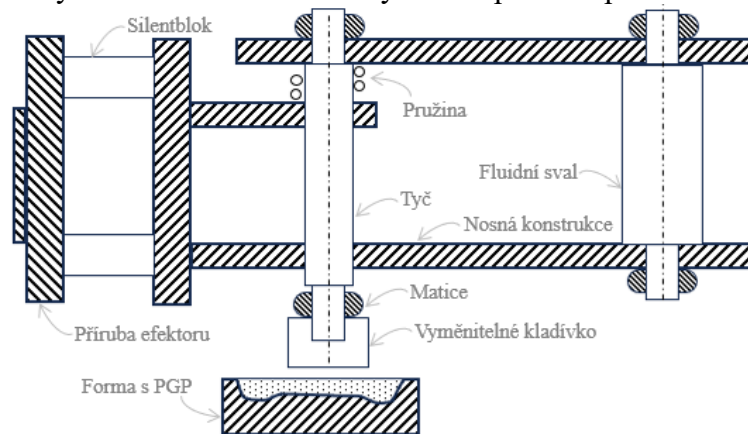
Zařízení se skládá z příruby, násypky s míchadlem, skluzu a hutnicí hlavy. Příruba, která tvoří základ konstrukce, slouží k uchycení jednotlivých částí zařízení na přírubu robota. Násypka s míchadlem slouží jako zásobník požadovaného množství hmoty, a jako dávkovací hlava, kdy množství dávky je určeno dobou otevření klapky. Skluz slouží k dopravení požadovaného množství dávky od násypky do místa hutnění ve formě a je nastavitelný z hlediska délky i úhlu. Hutnicí hlava pak dávkovaný materiál lokálně zhutní, v případě potřeby i plošně. Hutnicí hlava se skládá z tlumícího prvku, nosné konstrukce, fluidního svalu jakožto akčního prvku a tyče, která přenáší daný pohyb na vyměnitelné kladívko. Jednotlivé kovové díly byly navrženy s ohledem na skladové zásoby, některé plastové díly jsou zakoupeny a upraveny, ostatní vyráběny 3D tiskem.

3.1. Hutnicí hlava

Hutnicí hlava slouží k lokálnímu zhutnění materiálu, zejména v oblasti lemů, ale také v místech s reliéfy a všude tam, kde není forma stejně hluboká. Konstrukce hutnicí hlavy vychází z podobného a ověřeného konstrukčního řešení upínání obrobků za pomoci fluidního svalu.

Hutnicí hlava je konstruována jako sestava zahrnující tlumicí prvek, nosnou konstrukci, fluidní sval, fungující jako akční člen, a tyč, jejímž prostřednictvím je mechanický pohyb přenášán na vyměnitelné kladívko.

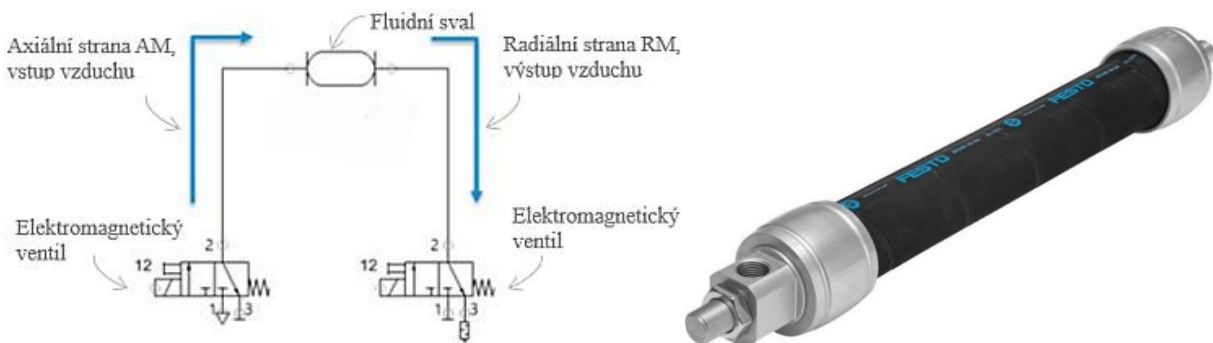
Přivedením stlačeného vzduchu do vnitřního prostoru fluidního svalu dochází vlivem vnitřního přetlaku k jeho radiální expanzi a současnému axiálnímu zkrácení, čímž vyvíjí tahovou sílu. Tato síla, díky spojení fluidního svalu s tyčí vrchním dílem, je přivedena až na kladívko, které se tak dostává do dolní úvrati. Pružina slouží k vratnému pohybu celé soustavy zpět do horní úvrati po snížení tlaku ve fluidním svalu. Tyč je uložena v kluzných pouzdrech IGUS. Pouzdra jsou uložena v nosné konstrukci, která je odpružena silentbloky, aby byly sníženy negativní silové účinky přenášené dále do zařízení. V případě potřeby lze hutnit nejen lokálně ale i plošně v závislosti na tvaru a velikosti kladívka. Pro výrazné zvýšení taktu stroje lze upravit přírubu stroje tak, aby na ni bylo možné namontovat čtyři nebo pět hlav paralelně vedle sebe.



Obr. 6 Schéma hutnicí hlavy

3.1.1. Fluidní sval

Jelikož bude fluidní sval pracovat i při taktech blízkých 1 Hz až 2 Hz, je zapojen v chladicím obvodu. Maximální přípustná kontrakce fluidních svalů řady DMSP je 25 %, což odpovídá zkrácení o 50 mm, avšak při takovéto kontrakci dochází k značnému opotřebování, doporučená maximální provozní kontrakce je do 9 %, tedy do 18 mm. Pro zabránění nadměrnému opotřebení fluidního svalu a pro zajištění delší životnosti je volen fluidní sval FESTO typ DMSP-10-200N-RM-RM, který při průměru 10 mm a délce 200 mm má zdvih v rozmezí 10 mm až 15 mm, tedy 5 % až 7,5 % kontrakce.



Obr. 7 Schéma zapojení fluidního svalu DMSP-10 firmy Festo v chladicím obvodu pro frekvence $f > 1$ Hz a fluidní sval Festo

3.1.2. Tyč

Tyč je součástí, jejímž prostřednictvím je mechanický pohyb přenášán na vyměnitelné kladívko. Jako polotovar je volena kruhová válcovaná ocel 20 mm tolerance h9, která postačuje pro použití v kombinaci s kluznými pouzdry, ve kterých je tyč uložena. Kluzná pouzdra IGUS WFM-2023-08 o vnitřním průměru 20 mm jsou uložena v nosné konstrukci. Kladívko je na tyč připevněno přes závit M8, kterým je tyč opatřena, za pomoci kontramatic. Pro snadnou montáž i výměnu kladívek je tyč opatřena vybráním, které je možné využít pro uchycení plochým klíčem velikosti 13 mm.

3.1.3. Kladívko

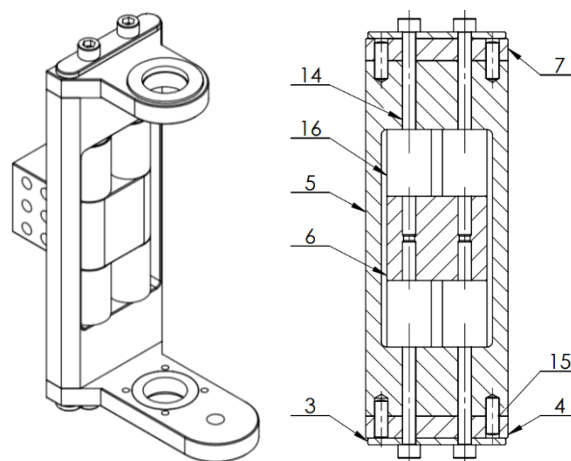
Jelikož zhutněná PGP matrice ulpívá na povrchu výrazně méně, lze jako materiál kladívka použít ocel. Kladívko bude v přímém kontaktu s PGP matricí, a proto je nutné jej po dokončení hutnění očistit. Kladívko lze snadno vyměnit pomocí plochého klíče velikosti 13 mm díky opatřenému vybrání.

Pro běžné hutnění lemu a drobných reliéfů je navrženo kladívko 30, které při průměru 30 mm je schopno provést většinu hutnicích úkonů. Toto kladívko má dostatečně malý průměr, aby došlo k dobrému lokálnímu zhutnění, kompletnímu vyplnění lemů a reliéfů. Zároveň má dostatečně velký průměr, aby vyhovovalo rychlosti výroby a zvládlo pokrýt dostatečnou hutněnou plochu. Kladívko 60 o průměru 60 mm je navrženo tak, aby při výměně za kladívko 30 mohlo rychleji zhutnit větší plochy, a tím zvýšilo rychlost výroby. Toto kladívko je možno použít na výrobky bez lemů, případně s širokým a nízkým lemem a výrobky, které mají lem i reliéf dostatečně zhutněný menším kladívkem. Kladívko lze využít jako ulehčení práce pracovníkovi ke zhutnění matrice před ručním válením nebo jako finální operaci při výrobě bez procesu válení.

3.1.4. Pružina

Pružina slouží k vratnému pohybu kladívka, tyče, vrchního dílu a k ustavení fluidního svalu zpět do horní úvratí po snížení tlaku. Pružina je navržena tak, aby vyvozovala dostatečnou sílu právě tak, aby docházelo k dostatečně rychlému vratnému pohybu, ale nedocházelo k přílišnému působení proti fluidnímu svalu. Jelikož je cena pružin poměrně malá, bude pořízena sada několika pružin a po sestavení zařízení bude otestována nejvhodnější varianta. Navrhovaná pružina vychází ze součtu hmotností tyče, kladívka a vrchního dílu, které budou zvedány na pracovní délku pružiny. V sestavě je zvolena pružina délky 170 mm TL 1600x267x1700, která odpovídá kompenzaci jak při použití kladívka 30, tak při použití kladívka 60. Otestování funkčnosti po sestavení buď potvrdí vhodnost vybraného typu pružiny, nebo bude vyměněna za jiný výše uvedený. Při vyvozování malé síly bude nahrazena za TL 1600x267x2200, v opačném případě za TL 1600x267x1200.

3.1.5. Nosná konstrukce



Obr. 8 Nosný rám

3 – podložka, 4 – dolní díl, 5 – zadní díl, 6 – úchyt kladívka, 7 – horní díl, 14 – šroub M6 x 50, 15 – kolík, 16 – silentblok

Z výrobních důvodů není nosná konstrukce navržena jako svařenec, ale jako montovaná sestava z jednotlivých dílů. Svařenec by se musel zadat externí firmě a následně obrobít pro zachování souososti děr pro kluzná pouzdra. Jednotlivé díly je však možné vyrobít na pracovišti KSR a následně smontovat při zachování dostatečné přesnosti. Dolní, zadní a horní díl jsou spojeny čtyřmi kolíky a čtyřmi šrouby. Šrouby zároveň slouží i pro uchycení silentbloků. Oválná podložka na dolním i horním díle plní, kromě podložení hlavy šroubu, i zakrytí kolíků. V dolním díle jsou zhotoveny čtyři závitové díry poblíž kluzného pouzdra pro případné

pojištění pouzdra proti pohybu. V horním díle je nad kluzným pouzdrům zahloubení pro zapadnutí podložky, na kterou dosedne pružina. Tato podložka také chrání horní kluzné pouzdro a díky zhotovenému osazení je vyloučeno tření mezi podložkou a tyčí, a tím je zabráněno nadměrnému odírání.

3.2. Násypka

Násypka s integrovaným míchadlem plní funkci zásobníku pro požadovaný objem zpracovávaného materiálu a zároveň slouží jako dávkovací jednotka. Velikost jednotlivé dávky je řízena délkou otevření výsypné klapky, přičemž přesnost dávkování je podpořena rovnoměrným promícháváním materiálu v průběhu procesu. Samotné tělo násypky má tvar komolého kuželu. Nejvhodnější se jeví nákup a seřízení dopravního kužele, který má vlastnosti vhodné pro styk s PGP matricí za příznivou cenu. Pro vymezení polohy a zajištění proti otočení budou v kuželu vyříznuty dvě drážky, které zapadnou do úchyty násypky.

3.3. Skluz

Skluz slouží k dopravení požadovaného množství dávky od násypky do místa hutnění ve formě. Vzhledem k možné výměně kladívek je skluz nastavitelný z hlediska délky i úhlu. Nastavení délky lze provést povolením šroubu, který zajišťuje vzájemnou polohu skluzu 1 a skluzu 2. Mezní polohy délky skluzu, kterých lze dosáhnout jsou vymezeny délkou drážky ve skluzu 2. Nastavení úhlu je možné provést povolením šroubu, který zajišťuje vzájemnou polohu úhelníku a úchyty dávkovače. Mezní polohy úhlu skluzu, kterých lze dosáhnout, jsou vymezeny délkou drážky v úhelníku. Úhel je nastavitelný v rozmezí 31° až 50°. Tato možnost nastavení úhlu taktéž zaručuje správnou funkci skluzu bez zastavení materiálu ve skluzu. V případě změny složení směsi je možné snadno zvýšit úhel skluzu a tím zaručit správnou funkci. Jako materiál skluzu je volen Akrylonitrilbutadienstyren (ABS).

3.4. Forma na hmotu

Tvar formy odpovídá požadavkům zařízení, které je primárně určeno pro výrobu plochých tvarů s lemem, nazývaných medaile, s možnou úpravou pro další různé tvary. Z technologického hlediska je nutné volit tvary odpovídající hrubosti 250 μm až 1000 μm , tedy aby forma neobsahovala ostré hrany. Z tohoto důvodu je doporučeno navrhovat tvar s velkými poloměry zaoblení a s nízkou výškou tvarových výstupků. Lemy je vhodno navrhovat co nejnižší a nejširší; čím vyšší lem, tím větší je doporučena šířka pro zaručení správného zaformování. Tvar vyráběných medailí je uzpůsoben těmito požadavkům, a tím pádem i tvar formy vyhovuje.

3.5. Válcování PGP matrice

Válcování PGP matrice bude realizováno pracovníkem. Zařízení po zhutnění lemů a reliéfů dávkováním z násypky vyplní zbylý prostor formy. Pracovník následně, po odjetí hlavy od formy, dávkovaný materiál zhutní válcem z polyamidu. Tato varianta je vzhledem k malým sériím výrobků nejvýhodnější. Pokud bude požadavek na zvýšení vyráběného množství, bude zhotovena válcovací hlava, která nahradí ruční válcování pracovníkem. Nevýhodou je nutnost pořízení dalšího robotu, aby byla možná součinnost obou hlav, jak válcovací, tak hutnicí a dávkovací.

3.6. Přesun přebytečného materiálu

Přesun přebytečného materiálu bude realizován pracovníkem. Poté co pracovník zhutní dávkovaný materiál válcem z polyamidu, odstraní přebytečný materiál z líce formy stěračem do zásobníku na kraji pracovního stolu. Takto získaný materiál lze opětovně využít. Získaný materiál se smíchá s další várkou PGP matrice v násypce. Tato varianta je vzhledem k malým sériím výrobků nejvýhodnější. Pokud bude požadavek na zvýšení vyráběného množství, bude zhotovena válcovací hlava, která nahradí ruční stírání přebytečného materiálu stěrači na vozíku. Přesun materiálu ze zásobníku do násypky lze automatizovat například odsáváním. Zařízení pro odsávání přebytečný materiál podtlakově dopraví do cyklonu, kde dojde k odloučení PGP matrice a nosného média, tedy vzduchu. Z cyklonu bude PGP matrice padat rovnou do násypky.

4. Technicko-ekonomické zhodnocení

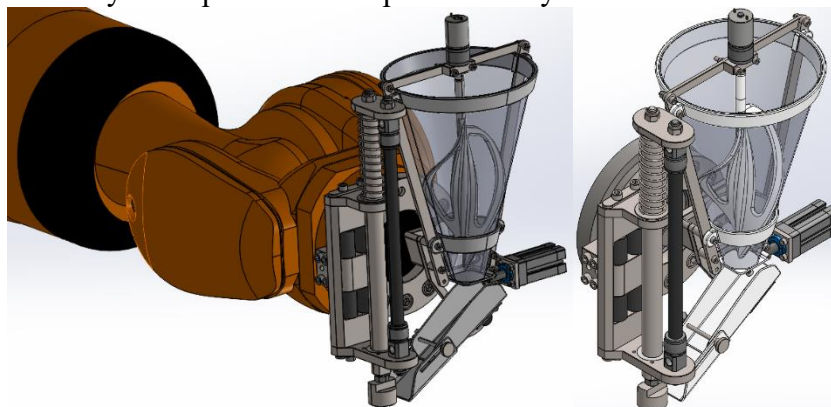
Navržené a zkonstruované zařízení, připravené k výrobě, je schopné zpracovávat jak výrobky z recyklátu, preferované pro jejich ekologické výhody, tak i křemičitý písek. Hlavní výhodou navrženého zařízení je možnost změny vybraných parametrů. Výměnou kladívka lze samostatně hutnit větší plochy či zaručit správné vyplnění lemů a reliéfů při volbě menšího kladívka. Hutnicí síly lze nastavovat díky nelineární závislosti fluidního svalu, a to pracovním zdvihem, případně lze změnit sílu i změnou tlaku vzduchu. Dostatečný vratný pohyb zajišťuje tlačná pružina. Tyč zaručuje dostatečnou tuhost i při experimentování při vyšších přenášených silách, či při testování možnosti využití vibračního zhutnění. Kluzná pouzdra IGUS zajišťují správné vedení tyče. K omezení přenášení rázů do zařízení slouží silentbloky. Standardní silentbloky však nemusí být moc účinné již při frekvencích 2 Hz až 5 Hz. Z tohoto důvodu je nutné funkci silentbloků při daných frekvencích vyzkoušet a případně vyměnit za tlumicí systém s pružinami či 3D vytisknutými tlumiči.

Míchadlo je navrženo tak, aby zabraňovalo odlučování jednotlivých složek směsi, zároveň slouží jako stěrač násypky. V případě potřeby zvýšení stíracího účinku je možné po obvodu míchadla vytvořit drážku, a do drážky vložit gumový stěrač. Při otevření klapky díky promíchávání dochází ke kontinuálnímu průchodu hmoty otvorem násypky, díky čemuž lze zavíráním klapky nastavit množství dávky.



Obr. 9 Sintrované vzorky tvaru medaile vyrobené z recyklátu – Glassticine REcycled

Vybraný robot KUKA KR90 R2700 zajišťuje dostatečnou tuhost, rychlost i přesnost při výrobě. Při vytvoření samostatného pracoviště je vhodné posoudit parametry menších, méně únosných robotů, které disponují příznivější cenou. Další možností je osazení více hlav na jeden robot, čímž dojde ke zvýšení rychlosti produkce. Díky využití robotu, který se již nachází na pracovišti, odpadají náklady na samostatný rám zařízení a další polohovací ústrojí. Další značnou cenovou úsporou v rámci konstrukce zařízení je využití pracovníka namísto válcovací hlavy a zařízení pro odsávání materiálu. Celkové náklady na zhotovení kompletního zařízení tím lze lépe rozprostřít v čase a jednotlivé části vyrábět průběžně s cílem vyšší automatizace výroby a snížení nákladů na mzdy pracovníků. Zařízení tím nabízí značnou flexibilitu z hlediska cash flow. Při konstrukci zařízení byly také voleny prvky vykazující značnou flexibilitu a snadnou výměnu při zachování příznivé ceny.



Obr. 10 Navržený stroj na výrobu PGP matrice – vizualizace detailu zařízení montovaného na robot KUKA KR90 R2700

Závěr

V rámci práce byla nejprve provedena podrobná analýza vlastností zpracovávaného materiálu. Byly definovány klíčové technologické výzvy spojené zejména s přilnavostí, stabilitou tvaru a požadavky na šetrné zacházení během formování. Následně byla zpracována rešerše dostupných výrobních technologií a zařízení, které se využívají pro obdobné materiály (např. těstovité nebo keramické hmoty), přičemž byl kladen důraz na zařízení schopná produkce plochých tvarů. Na základě poznatků z rešerše a analýzy byly navrženy koncepční varianty řešení výrobního zařízení. Pomocí vícekritériální rozhodovací analýzy byla vyhodnocena jejich vhodnost z hlediska technologického, ekonomického i provozního. Výsledkem bylo určení optimální varianty, která byla dále rozpracována do úrovně konstrukčního návrhu včetně vytvoření 3D modelu a výkresové dokumentace.

Vysoké teploty nataví povrchovou vrstvu výrobku a na povrchu tak nevznikne porézní materiál, ale celistvý. Nízké teploty naopak zapříčiní nedostatečné spečení a soudržnost materiálu. Doba spékání má přímý vliv na energetickou náročnost procesu, tím pádem i na cenu výrobku. Vliv prostupu tepla formou značně ovlivňuje míru rozdílu spečení výrobku na povrchu a v místě kontaktu s formou. Je tedy vhodné otestovat i variantu spékání se zakrytím líce formy další teplotně odolnou deskou pro dosažení vyšší rovnoměrnosti teplotního pole.

Při hodnocení výsledků vyvstala otázka možnosti využití vibračního zhutnění při zpracování hmoty. Závěrem dosud provedených experimentů je nevhodnost využití vibrací při zpracování PGP matrice, jelikož dochází k odlučování jednotlivých složek. Nabízí se varianta provést další výzkum sledující vliv amplitudy a frekvence vibrací na PGP matici, odlučování jednotlivých složek a vhodnost využití při hutnění a dávkování PGP matrice.

Seznam použité literatury

- [1] MIKMEK, Jonáš. *Zařízení pro mletí recyklovaného skla pro robocasting*. [online]. Liberec, 2023. Bakalářská práce. Technická univerzita v Liberci. Dostupné z: <https://dspace.tul.cz/handle/15240/173990>
- [2] ZEILER, Emil. *VÝROBA SKLA A RECYKLACE SKLENĚNÉHO ODPADU* [online]. Ostrava, 2011. bakalářská práce. VŠB – Technická univerzita Ostrava. Dostupné z: https://dspace.vsb.cz/bitstream/handle/10084/86855/ZEI012_HGF_B2102_2102R001_2011.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- [3] DOV, Marianna, Natalia PEARS a Jacob HORMADALY. Synthesis of Pyrex-type porous glass made with calcium carbonate as pore forming material. *Journal of Non-Crystalline Solids* [online]. 2021, **564**, 120788. ISSN 0022-3093. Dostupné z: [doi:10.1016/j.jnoncrysol.2021.120788](https://doi.org/10.1016/j.jnoncrysol.2021.120788)
- [4] INAYAT, A., B. REINHARDT, H. UHLIG, W.-D. EINICKE a D. ENKE. Silica monoliths with hierarchical porosity obtained from porous glasses. *Chemical Society Reviews* [online]. 2013, **42**(9), 3753–3764. Dostupné z: [doi:10.1039/c2cs35304k](https://doi.org/10.1039/c2cs35304k)
- [5] ŽIVNÝ, Adolf. *Návrh extrudéru pro 3D tisk z hmoty na křemičité bázi*. [online]. Liberec, 2022. diplomová práce. Technická univerzita v Liberci. Dostupné z: <https://dspace.tul.cz/handle/15240/173990>
- [6] KORBAŘ, Tomáš a Antonín STRÁNSKÝ. *Technický slovník naučný: V. díl*. T-Ž. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1964.
- [7] *Rozvalování těsta – PEKASS s.r.o.* [online]. [vid. 2025-02-01]. Dostupné z: <https://www.pekass.cz/kategorie-produktu/stroje/rozvalovani/>
- [8] *Rozvalovací stroje pro pekárny a cukrárny | TENART STROJE* [online]. [vid. 2025-02-01]. Dostupné z: <https://tenartstroje.cz/kategorie-produktu/delicky-tvarovaci-stroje-a-linky/rozvalovaci-stroje/>
- [9] *linky na jemné pečivo, croissanty, listové těsto | TEN ART STROJE* [online]. [vid. 2025-02-01]. Dostupné z: <https://tenartstroje.cz/kategorie-produktu/delicky-tvarovaci-stroje-a-linky/linky-na-jemne-pecivo-croissanty-listove-testo/>