



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO INŽENÝRSTVÍ

INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

NÁVRH ZAŘÍZENÍ PRO PŘÍPRAVU A PŘEPRAVU SLÉVÁRENSKÉHO VOSKU

DESIGN OF THE DEVICE FOR THE LIQUID WAX TRANSPORT AND PREPARATION

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Karel Koutek

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Simona Fialová, Ph.D.

BRNO 2017

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav automobilního a dopravního inženýrství
Student: **Karel Koutek**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Stavba strojů a zařízení
Vedoucí práce: **doc. Ing. Simona Fialová, Ph.D.**
Akademický rok: 2016/17

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Návrh zařízení pro přípravu a přepravu slévárenského vosku

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Rozbor možností využití různých druhů hydrostatických čerpadel pro specifické potřeby průmyslu při přepravě vosku. Rešerši bude následovat jednoduchý vlastní návrh zařízení, které by splňovalo zadané požadavky přepravy slévárenského vosku. □

Cíle bakalářské práce:

Zpracovat důkladnou literární rešerši týkající se přepravy slévárenského vosku a dalších vysokoviskózních kapalin.

Popsat běžně používaná zařízení včetně konstrukčních specifik.

Navrhnout vlastní úpravy vedoucí ke konstrukčnímu návrhu vhodného čerpadla.

Seznam literatury:

Pumping Manual, Elsevier Science LTD 1995, ISBN 1-85617-215-5

EDWARDS, K. S. Jr., McKEE, R. B. Fundamentals of Mechanical Component Design, 1991, ISBN 0-07-019102-6

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2016/17.

V Brně, dne 8. 11. 2016



prof. Ing. Václav Píštěk, DrSc.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Cílem této práce je provést rozbor využití některých druhů hydrostatických čerpadel vhodných pro přepravu a zpracování slévárenského vosku. První část práce se bude zabývat běžně používanými technologiemi pro zpracování vosku, včetně konstrukčních specifikací daných zařízení. Ze získaných informací bude následně proveden jednoduchý konstrukční návrh čerpadla.

KLÍČOVÁ SLOVA

Slévárenský vosk, přesné lití, hydrostatické čerpadlo, konstrukce, zpracování, návrh

ABSTRACT

The aim of this work is analyze using some types of hydrostatic pumps suitable for the transfer and processing of foundry wax. The first part will deal with commonly used wax processing technologies, including design specifications of the devices. Second part will contain a simple design of the pump will be carried out.

KEYWORDS

Foundry wax, investment casting, hydrostatic pump, design, processing, design

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

KOUTEK, K. *Návrh zařízení pro přípravu a přepravu slévárenského vosku*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2017.40 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Simona Fialová, Ph.D..

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením doc. Ing. Simony Fialové, Ph.D. a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 25. května 2017

.....

Karel Koutek

PODĚKOVÁNÍ

Tím to chci poděkovat za cenné rady a výpomoc při konstrukčním návrhu Ing. Lubomíru Mackovi, Ing. Jiřímu Koutkovi a Romanovovi Alexandrovi. Dále chci poděkovat doc. Ing. Simoně Fialové, Ph.D. za cenné připomínky a rady při vypracování bakalářské práce.

OBSAH

Úvod	10
Teoretická část.....	11
Metoda vytavitelného modelu	11
1.1 Historie.....	11
1.2 Současná technologie vytavitelného modelu	12
Vosk ve slévárenství.....	13
2.1 Složení současných vosků	13
2.2 Rozdělení vosků dle použití [9] soukupová.....	13
3 Výroba voskového modelu.....	15
3.1 Matečná forma [10] soukupová	15
3.2 Zhotovení voskového modelu [10] soukupová rozvést	17
4 Vstřikovací stroje.....	19
4.1 Rozdělení vstřikovacích strojů podle stavu pracovního vosku.....	19
4.2 Rozdělení vstřikovacích strojů podle způsobu dopravy taveniny.....	21
zhodnocení teoretické části.....	23
Praktická část.....	24
5 Popis a porovnání používaných strojů.....	24
5.1 Používané stroje ve firmách Fimes a.s. a MSR Engines s.r.o.....	24
6 Návrh vstřikovacího stroje.....	27
6.1 Požadavky firmy MSR Engines s.r.o.....	27
6.2 Návrh základního principu vstřikovacího stroje.....	28
6.3 Konstrukční návrh kondicionéru	28
6.4 Konstrukční návrh vnější nádoby na vodu	29
6.5 Návrh asynchronního motoru	29
6.6 Řešení kritických uzlů vstřikovacího stroje.....	31
6.7 Návrh řízení ohřevu a chlazení vody	33
6.8 Pracovní děje vstřikovacího stroje	34
6.9 Vizualizace vstřikovacího stroje.....	36
zhodnocení praktické části	37
Závěr.....	38
Seznam použitých zkratk a symbolů	40

ÚVOD

Cílem této práce je provést rešerši v oblasti používaných zařízení pro přípravu a přepravu slévárenského vosku v metodě vytavitelného modelu. Následně ze získaných informací bude proveden konstrukční návrh zařízení pro přípravu a přepravu slévárenského vosku.

První část práce bude zaměřena na popis metody vytavitelného modelu. Dále se bude zabývat faktory, které ovlivňují kvalitu vyrobeného odlitku a možností snížení vad použitím správné přípravy a přepravy vosku. U používaných zařízení bude popsán princip funkce zařízení a jejich využití pro konkrétní aplikace. V druhé část práce bude proveden konstrukční návrh zařízení pro přípravu a přepravu slévárenského vosku.

V současnosti má ve slévárenství technologie vytavitelného modelu významnou roli. Pomocí této složité a náročné metody se dají zhotovit odlitky s vysokou přesností a kvalitním povrchem. Díky těmto metodě je možné na odlitcích provádět jen lehké dokončovací operace. Odlitky jsou svými rozměry a tvarem velmi blízké hotovým výrobkům, a to napomáhá velké úspoře materiálu. Touto metodou je výhodné zhotovit výrobky z materiálů, u kterých by byl jiný postup výroby složitý, nákladný nebo i nemožný.

Pro zhotovení kvalitního odlitku je ale zapotřebí dodržet mnoho kritérií při výrobě voskového modelu. Kvalitu toho modelu zajišťuje kvalita použitého slévárenského vosku, kvalita povrchu formy a její celkové provedení. Výrazný podíl na kvalitě modelu má i příprava voskové směsi. Slévárenský vosk je dodáván ve formě tuhých desek, tyčinek nebo granulátu. Pro manipulaci je nutné voskovou směs dostat do pracovního stavu. Pracovní stav nastává při dosažení pracovní teploty a emulzifikace vosku se vzduchem. Takto připravený vosk je možné začít s vstříkovat do dutiny formy.

TEORETICKÁ ČÁST

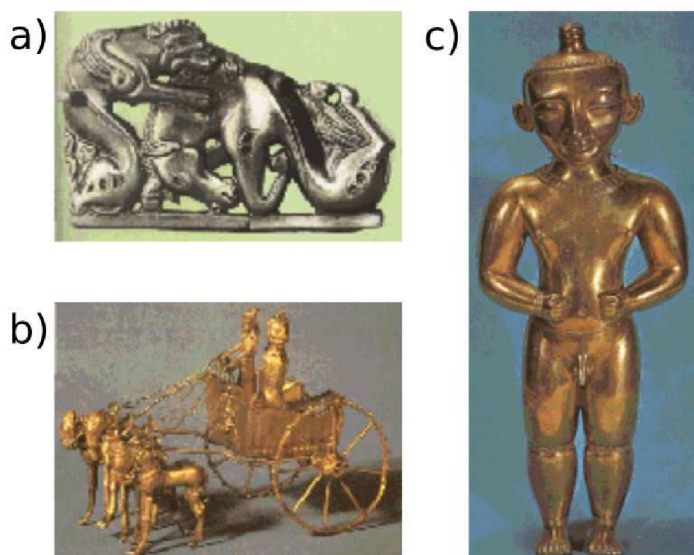
Cílem této části práce je seznámení se s metodou vytavitelného modelu a faktory související s přípravou voskové směsi, které ovlivňují kvalitu voskového modelu. Dále se práce zaměří na využití jednotlivých strojů určených pro zpracování slévárenského vosku.

METODA VYTAVITELNÉHO MODELU

Metoda vytavitelného modelu se v současné době stala synonymem pro výrobu velmi přesných odlitků. Hlavním cílem této metody je vyrábět odlitky „téměř na hotovo“. Přeměna materiálu se realizuje na tvary a rozměry blízké hotovým výrobkům. Na celkovou výrobu součástí se neustále kladou vyšší požadavky na jakost, kvalitu povrchu, rozměrovou přesnost a současně co nejnižší výrobní náklady. Díky splnění mnoha požadovaných parametrů se v současnosti tato metoda často využívá. Hlavní výhodou je výrazná úspora materiálu a snížení počtu dokončovacích operací při výrobě strojních součástí. To má za následek výrazné finanční úspory.

1.1 HISTORIE

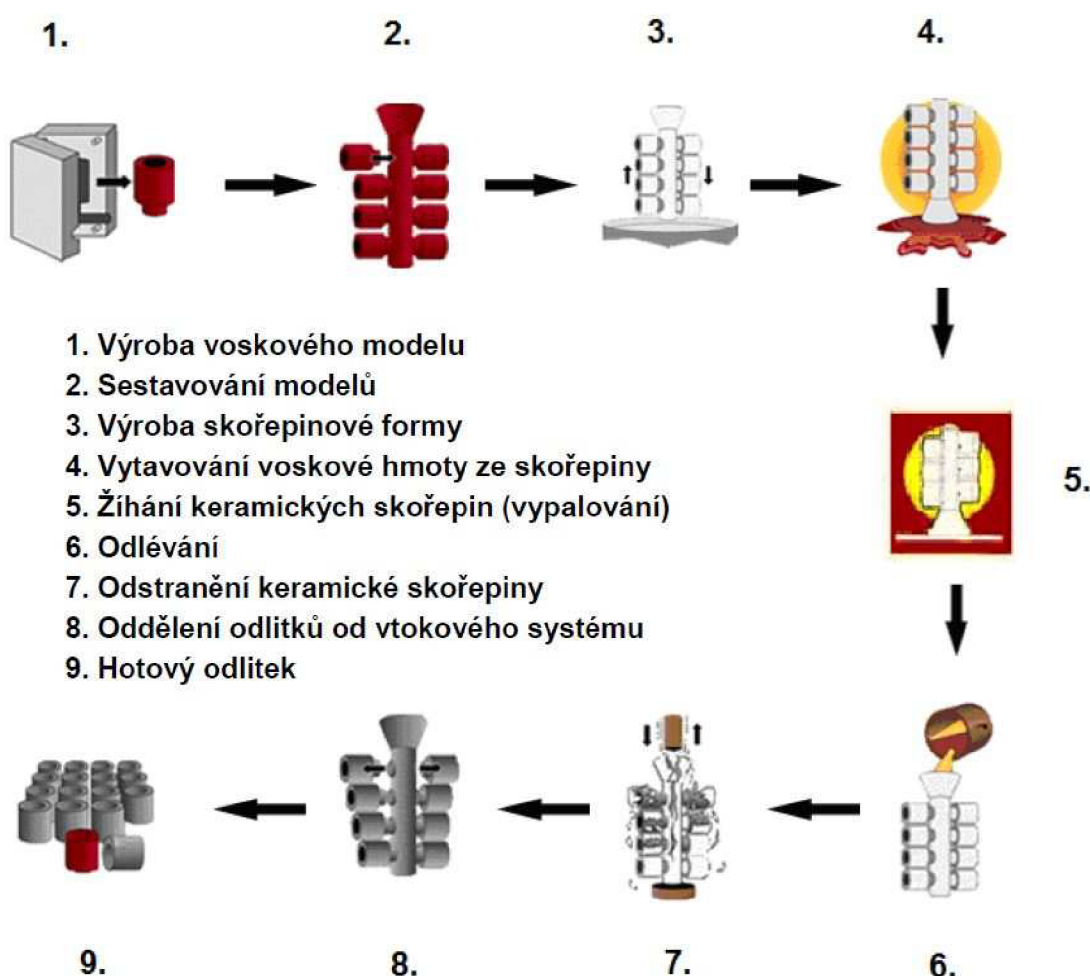
Tato metoda je známá u několik tisíc let. Nejdříve se touto metodou odlévaly malé předměty např. šperky, umělecká díla a nástroje. Důkazem jsou zejména umělecká díla zaniklých kultur, a to z oblastí Eufkrat, Egypt, Čína, Španělsko a Persie. Podobnost starověké technologie se současnou je pouze v základním principu vytvoření voskového modelu. Hlavní rozdíl tehdejší technologie oproti té současné, je v použití včelího vosku. Princip metody spočíval v nanesení hlíny na voskový model, v případě potřeby se vkládaly hliněná jádra, které po odlití vytvořili dutiny. Následně se hliněná forma zalila tekutým kovem, který vosk z formy vytavil. [1] Na obrázku 1 je vidět, různé starověké umělecké odlitky vyráběné metodou vytavitelného modelu.



Obrázek 1 ukázka historické tvorby a) Zápas lvů – Skýtové (600 až 500 let př. Kr.), b) Vozík Oxuského pokladu (500 až 400 let př. Kr. – Sarmati), c) Muž z Quimbaye – Kolumbie (400 až 1000 let po Kr.) – muzeum Madrid [2]

1.2 SOUČASNÁ TECHNOLOGIE VYTAVITELNÉHO MODELU

Metoda vytavitelného modelu je metoda, při které se do zhotovené matečné formy vstříkuje vosk, ze kterého se po vychladnutí stává požadovaný voskový model. Tyto modely se připojí k vtokovému systému a tím vznikne voskový stromeček. V dalším kroku je na stromeček postupně nanášena keramická hmota a žáruvzdorným materiálem, tím je vytvořena keramická skořepina. Následně je skořepina zahřívána na teplotu likvidu vosku, čímž se dosáhne rozpustění vosku, který je ze skořepiny vytaven. Současně tak na skořepině probíhá žhání. Do takto připravených žhavých forem se dolévá kov. Po vychladnutí kovu následuje proces odstranění skořepiny a odstranění vtokové soustavy. Konečnou operací je broušení, tryskání, leštění, popřípadě obrábění funkčních ploch. Postup metody je znázorněn na obrázku 2. [3]



Obrázek 2 Princip technologie vytavitelného modelu [3]

VOSK VE SLÉVÁRENSTVÍ

Vosk je nejstarší známý termoplastický materiál. Je jeho historie je spojena s vývojem řemesel, umění a průmyslu. Čínští i egyptští řemeslníci používali vosk v technologii vytavitelného modelu již od starověku, ale v té době byl pojem vosk spojen pouze se včelím voskem. Díky termoplastickým vlastnostem je možné vosk zpracovávat v tekutém, polotekutém nebo tuhém stavu. V současnosti se pod pojmem „vosk“ ve slévárenství myslí materiál, který má obdobné vlastnosti jako včelí vosk, nicméně moderní voskové směsi jsou složité a komplexní sloučeniny.

Kombinací jednotlivých komponent lze u voskových směsí dosáhnout optimálních charakteristik, a to:

- bod tavení a tuhnutí
- tvrdost
- viskozita
- roztažnost smršťivost
- rychlost tuhnutí
- obsah popela (< 0,05 %)
- pružnost
- povrchová kvalita
- možnost regenerace

2.1 SLOŽENÍ SOUČASNÝCH VOSKŮ

V dnešní době jsou pro výrobu vosků využívány tyto základní suroviny:

- 1) Parafínový vosk
- 2) Mikrokrystalický vosk
- 3) Tvrdé vosky
- 4) Pryskeřice
- 5) Polymery
- 6) Plniva

Množství a vzájemný poměr jednotlivých surovin významně ovlivňuje kvalitu voskových směsí, čímž dělá každý typ směsi vosku unikátní. Množství variant je definováno tak, aby bylo možné vytvořit specifický vosk pro každou variantu metody vytavitelného modelu. [4]

2.2 ROZDĚLENÍ VOSKŮ DLE POUŽITÍ

1) Modelové vosky

- a) **Přímé (neplněné) modelové vosky:** sloučeniny více vosků a pryskyřičných komponentů. Mohou být vstříkovány za různých vstříkovacích tlaků v širokém teplotním rozsahu. Vyznačují se lesklou povrchovou úpravou. Obvyklé použití pro modely a vtoky.
- b) **Plněné modelové vosky:** Materiálem jsou základní vosky. Ke kterým se přidávají prášková plniva, které zvyšují stabilitu směsi. Jsou nerozpustné v základním vosku. Poskytují kvalitní povrch modelu a mají dobré vstříkovací vlastnosti. Vhodné na vtoky a modely.

- c) **Emulzifikované modelové vosky:** materiál je podobný jako u přímých a plněných vosků, které jsou emulzifikovány vodou. Povrch modelů je hladký. Mohou být obvykle regenerovány a rekonstituovány. Použití pro vtoky. [4]

- 2) Vosky na vtokové soustavy
- 3) Regenerované vosky a rekonstituované vosky
- 4) Vosk rozpustný ve vodě: vosk určený pro dutiny a vnitřní tvary
- 5) Speciální vosky

2.2.1 FÁZOVÉ ZMĚNY VOSKU

Vosk je termoplastický materiál, pro který platí určité stavy v závislosti na teplotě. Při práci s voskem ve slévárenství rozlišujeme tři pracovní a dva přechodové stavy. Bod varu vosku je kolem 300 °C, což je pro slévárenské účely nepotřebné, proto se dále tato práce nebude zabývat změnou stavu v bodě varu vosku.

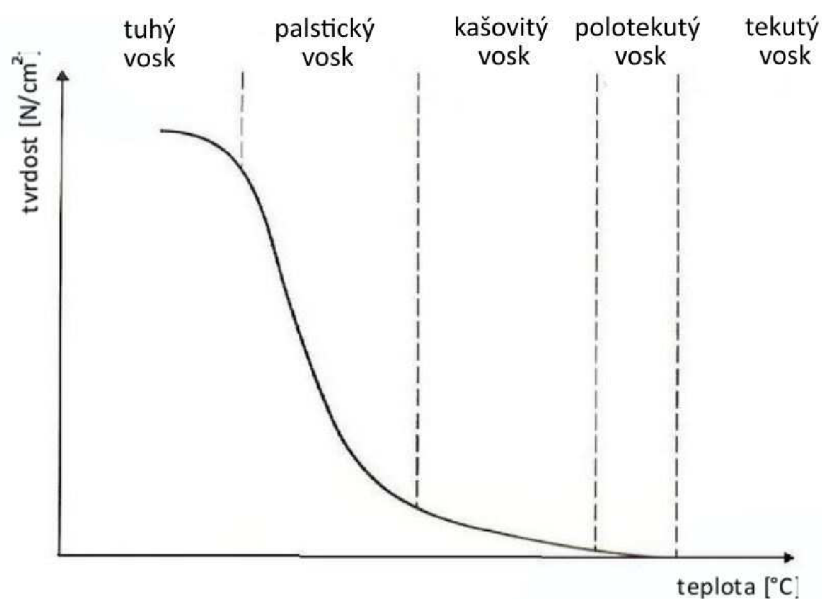
Za pracovní stavy považujeme:

- tuhý vosk (solid), 20-30 °C
- kašovitý vosk (semi plastic), 50-60 °C
- tekutý vosk (liquid), 65-80 °C

Dále rozlišujeme dva přechodové stavy:

- plastický vosk (plastic), 30-50 °C
- polotekutý vosk (semi liquid), 60-65 °C

Závislosti stavu vosku na teplotě je znázorněn na obrázku 3. [5]



Obrázek 3 Fázové změny vosku [5]

3 VÝROBA VOSKOVÉHO MODELU

Výroba voskového modelu patří mezi nejdůležitější fáze zhotovení přesného odlitku. Kvalita výroby voskového modelu výrazně ovlivňuje koncové rozměry budoucí odlévané součásti. Rozměry voskového modelu přesně definují rozměry mateční formy a dutiny, proto jsou kladeny vysoké nároky na kvalitu jejich provedení. Konečné rozměry a drsnost povrchu jsou u matečných forem dány technologií výroby. V současnosti se formy často vyrábí obráběním.

Kvalita voskového modelu je ovlivněna jednak kvalitou matečné formy, ale také na vstříkovacích parametrech a způsobu vstříkování. Změnou vstříkovacích parametrů se dá výrazně ovlivnit kvalita voskového modelu. Dalším faktorem, který výrazně ovlivňuje kvalitu voskového modelu je způsob přípravy vosku. Jedná se o fázi zpracování vosku, ve které se z tuhého vosku stává vosk tekutý nebo polotekutý.

3.1 MATEČNÁ FORMA

Forma pro výrobu voskových modelů musí splňovat požadovanou rozměrovou přesnost, drsnost povrchu, ideální chlazení vosku a současně musí zamezit vzniku staženin, vzduchových bublin nebo vad. Dalším musí forma zajistit je co nejkratší potřebné setrvání voskového modelu v dutině formy, hned po vstříknutí voskové směsi. [6]

Dle použití a účelu dělíme formy k výrobě vlastních modelů, vtoků a nálitků. Podle stupně mechanizace rozlišujeme ruční vyjímání modelů, formy s vyhazovačem a plně automatizované pracoviště.



Obrázek 4 Forma vyrobená obráběním [6]

3.1.1 VÝROBA FORMY PODLE MATEČNÉHO MODELU

Výroba formy podle matečného modelu se používá pro výrobu kontrolních modelů a pro ověření zvolené technologie výroby. Jedná o formy s nízkou životností nebo výrazně nižší výrobní cenou proti formě vyrobené obráběním. [7]

Způsoby výroby formy podle matečného modelu jsou:

1) Formy ze sádry

Mateční model se zalije sádrou. Použití pro výrobu jednotlivých modelů bez nároků na rozměrovou přesnost. Životnost forem je minimální, a proto se často používají při ověřování navrhované technologie výroby. Vhodné pro výrobu modelů vyrobených gravitačním litím.

2) Formy z nízkotavitelných slitin

Výroba spočívá v zalití matečného modelu, který je usazen v ocelovém plášti, nízkotavitelnou slitinou. Výhodou je relativně jednoduchá a rychlá výroba. Modely mají vyhovující rozměrovou přesnost a kvalitní povrch. Nevýhodou je krátká životnost, proto se používají k výrobě menších počtů kusů.

3) Formy ze zinkových slitin

Mateční model je zalit zinkovou slitinou. Zinkové formy jsou tvrdé a odolné vůči opotřebení a poškození. Využívají se u velkých sérií. Jsou nevhodné pro výrobu modelů s velkými dutinami.

4) Formy ze silikonového kaučuku

Mateční model je zalit silikonovým kaučukem. Tyto formy se používají pro ověřování navržené technologie odlitku a pro výrobu předmětů v bižuterii. Vhodné pro výrobu menších modelů, u kterých nezáleží na rozměrové přesnosti.

5) Formy vyrobené metalizováním

Principem metody je vrhání roztavených částic kovu na mateční model pomocí metalizační pistole. Rozprášené tekuté částice jsou nosným plynem vrhány na základní materiál, kde se vlivem kinetické energie deformují, tím se spojují a vytvoří tak pevnou souvislou vrstvu, Tato vrstva kopíruje tvary matečného modelu, její tloušťka se pohybuje kolem 3 mm. Jedná se o alternativu celokovové formy. Výroba je rychlá a relativně kvalitní.

6) Formy vyrobené galvanoplasticky

Jsou vyráběny jako kovové skořepiny z niklu, mědi nebo železa v galvanické lázni. Tyto formy je možné použít na komplikované a velmi přesné modely. Jsou nevhodné na výrobu modelů s otvory a hlubokými drážkami.

3.1.2 VÝROBA FORMY OBRÁBĚNÍM

Formy vyrobené obráběním jsou užívány, tam kde je potřeba dlouhodobá životnost a velkosériová výroba. Při výrobě těchto forem není zapotřebí matečného modelu jako u předchozích technologií. Formy jsou vyrobené z oceli nebo ze slitiny hliníku. Výhodou těchto forem je tvarová přesnost modelů a dobrá drsnost povrchu. Nevýhodou je složitá a pracná umístění jader. Pokud jádra nejsou umístěna v dělicí rovině, musí být použito výsuvných jader. Výroba patří mezi nejnákladnější.

3.2 ZHOTOVENÍ VOSKOVÉHO MODELU

Připravená vosková směs se požadovaným tlakem vstříkuje do formy, kde zchladne a ztuhne do požadovaného stavu. Následně je voskový model z formy vyjmut. V případě obtížného vyjímání modelu se před vstříknutím voskové směsi do dutiny formy, používají separátory. Separátory fungují jako dělicí prostředky, používají se všude tam, kde potřebujeme bezpečně oddělit formu, pryskyřičný díl od a poté jej vyjmout. Další důležitou funkcí separátorů je skutečnost, že při vyjímání modelů z forem separátory chrání povrch modelového zařízení. Formu je možné plnit voskem dvěma způsoby, buď gravitačním litím nebo vstříkáním. [6]

3.2.1 GRAVITAČNÍ LITÍ

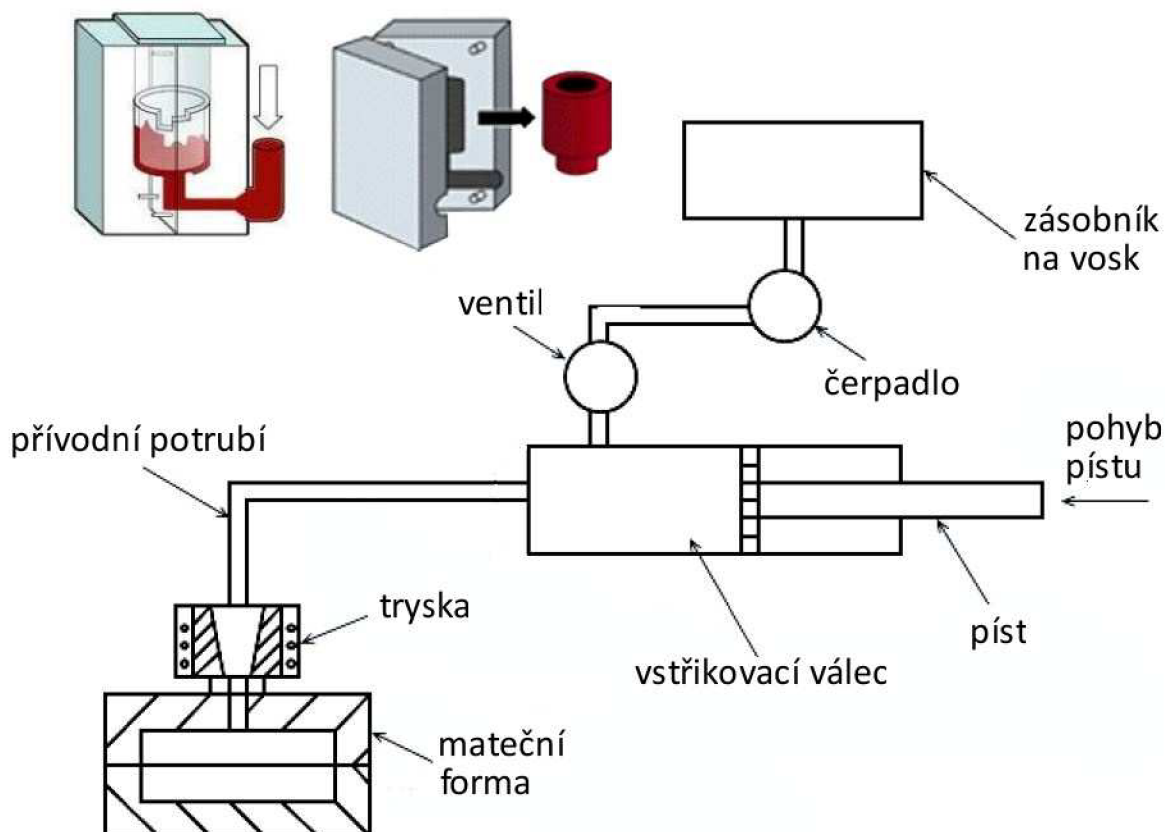
Vosk se v tekutém stavu nalívá do vtokového otvoru formy, po zaplnění dutiny formy voskem se proces lití ukončí a nechá se model tuhnout. V konečném kroku se rozebere forma a vyjme se voskový model. V současnosti se tato technologie používá jen zřídka. Využívá se převážně pro výrobu jednoduchých modelů nebo vtokových kanálů. [8]



Obrázek 5 Schéma výroby voskového modelu gravitačním litím [8]

3.2.2 VSTŘIKOVÁNÍ DO FORMY

Jedná se o využívanou metodu výroby voskových modelů. Tepelně připravený vosk je pod tlakem a teplotou vstřikován do formy. Pracovní teplota se pohybuje v rozmezí 50-90 °C, pracovní tlak je 0,2-70 MPa (záleží na typu voskové směsi). rozmezí je. Po vstříknutí vosku do dutiny formy se nechá vosk ztuhnout a zchladnout. Následně je model model vyjmout z formy. Tyto modely je nutné očistit od otřepů způsobené dělicí rovinou, popřípadě je nutné zapravit oděrky způsobené nesprávnou manipulací při vyjímání modelu z formy.



Obrázek 6 princip vstřikování vosku do matečné formy [5]

4 VSTŘIKOVACÍ STROJE

Vstřikovací stroj je mechanický tvářecí stroj, který slouží ke zpracování termoplastického materiálu (jako jsou plasty, vosky a kaučuky), který se vstříkuje do dutiny formy.

U metody výroby vytavitelného modelu rozlišujeme tři typy vstřikovacích strojů podle klasifikace stavu vosku, který je stroj schopen vstříkovat. Jedná se o tyto stavy vosků:

- tekutý
- kašovitý
- tuhý

Další rozdělení vstřikovacích strojů je podle metody přepravy vosku. Zde dělíme vstřikovací stroje na:

- šnekové
- pístové
- kombinace pístu se šnekem
- a jiného principu

4.1 ROZDĚLENÍ VSTŘIKOVACÍCH STROJŮ PODLE STAVU PRACOVNÍHO VOSKU

4.1.1 VSTŘIKOVACÍ STROJE PRACUJÍCÍ S TEKUTÝM VOSKEM

Tyto stroje obsahují ohřívavý zásobník vosku, v němž je vosk promícháván. Vosk je dále přemístěn ze zásobníku do vstřikovacího válce pomocí hydraulického pístu. Po zaplnění vstřikovacího válce, dojde k uzavření ventilu na vstřikovací jednotce a tím se oddělí vstřikovací jednotka od zásobníku. V tomto stavu je stroj připraven ke vstřikování do formy, která je vložena a upnuta ve stroji. Po dosažení potřebného tlaku ve vstřikovacím válci se vosk vstříkuje do dutiny formy. Na konci cyklu vstřikovací jednotka sníží tlak, otevře se forma a vyjme se model.

Jedná se o nejčastěji používané stroje. Jejich výhodou je jednoduchý princip, který spočívá v čerpání vosku přes potrubí z centrálního zásobníku do stroje. To má za následek snadné udržení pracovního stavu vosku ve stroji a minimální nároky na obsluhu.

Nevýhodou je možnost výskytu staženin na voskovém modelu. Staženiny vznikají při použití příliš horkých vosků, které se ve formách nesprávně chladí. Tento problém je možné řešit přidáním plniv pro snížení staženiny.

4.1.2 VSTŘIKOVACÍ STROJE PRACUJÍCÍ S KAŠOVITÝM VOSKEM

V dnešní době jsou na trhu dva typy strojů pracujících s kašovitým voskem.

První je typ tzv. 'kanystr'. Kanystr je naplněn tekutým voskem, který je následně vložen do temperovací pece. Zde je vosk ochlazením uveden do požadovaného stavu. Po splnění této podmínky je kanystr vložen do vstřikovacího stroje.

Kanystr je vstřikovací válec, obsahující vstřikovací píst spojený s hydraulickým válcem, který je permanentně spojen se strojem. Po vložení kanystru do stroje začne hydraulický válec

stlačovat vosk v kanystru a tím se vosk dostává do vstřikovacích trysek a následně do dutiny formy.

Druhým typem je stroj, který má horní a spodní část zásobníku. Horní část zásobníku slouží k udržování tekutého vosku. Spodní část zásobníku obsahuje tepelný výměník, který vosk ochlazuje. Vychlazený vosk se vrací zpět do horního zásobníku, kde je smíchán s teplejším voskem. Tímto dojde k vytvoření hladké pasty. Tento typ stroje musí být spojen se zásobovačem tekutého vosku, který udržuje horní zásobník stroje na požadované teplotě tak, aby celý zásobník stroje pracoval správně.

Nevýhodou obou strojů je požadavek na temperovací pec.

4.1.3 VSTŘIKOVACÍ STROJE PRACUJÍCÍ S TUHÝM VOSKEM

Tyto stroje používají předeřtuté voskové polotovary, které jsou vkládány do vstřikovací komory. Voskový polotovar je lisován tlakem přes vstřikovací sestavu a vstřikovací trysku do dutiny formy.

Nevýhodou těchto strojů je ztráta přibližně 20% materiálu polotovaru pro zhotovení přijatelného voskového modelu.

Podle typu konstrukce lze vstřikovací stroje rozdělit na 3 typy. Jedná se o čtyř-stojanový horizontální stroj. Forma u tohoto typu musí být permanentně upevněná ke stolu.

Dalšími typy jsou vertikální čtyř-stojanový a typ C-rám (obrázek 7), ten je nejvíce rozšířený. Formy jsou u těchto strojů permanentně připevněné, popřípadě lze s nimi manipulovat za účelem rozebrání a vyjmutí modelu. [9]

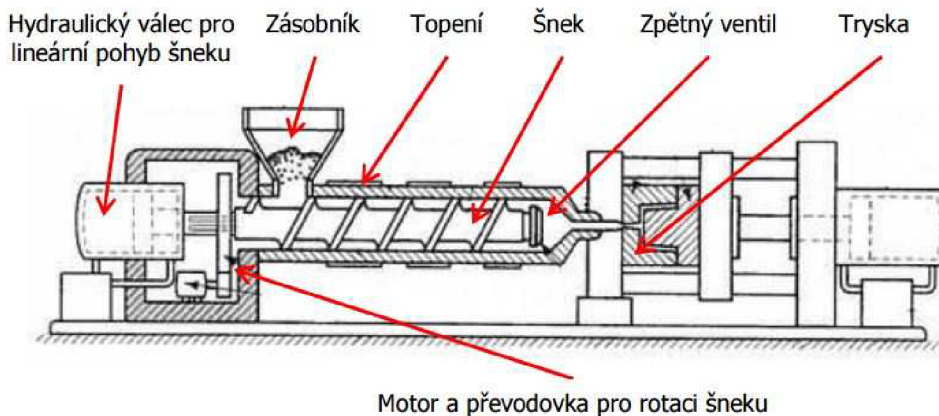


Obrázek 7 a) vstřikovací stroj MPI 55 C-rám, b) vstřikovací stroj MPI 35 čtyřsloupový [9]

4.2 ROZDĚLENÍ VSTŘIKOVACÍCH STROJŮ PODLE ZPŮSOBU DOPRAVY TAVENINY

1) Šnekový vstřikovací stroj

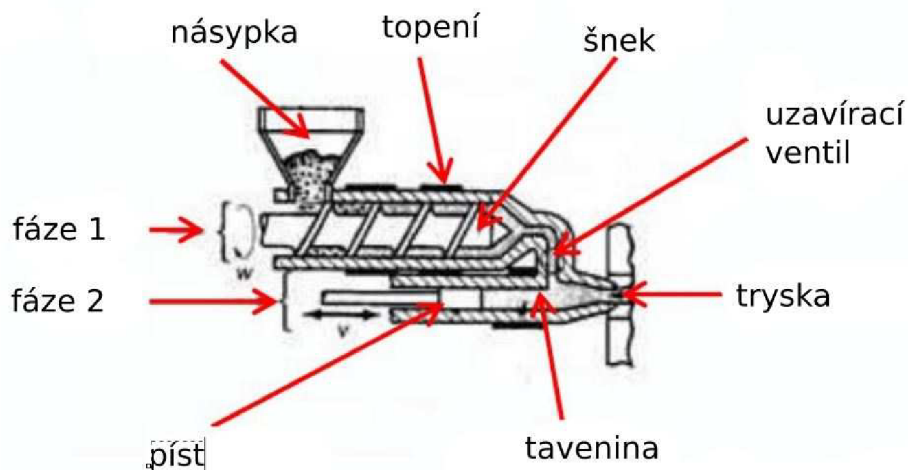
Moderní vstřikovací stroje využívají principu šnekového dopravníku. Šnek nabírá termoplastický materiál v tuhé podobě do plastikační jednotky, kde se materiál ohřívá na požadovanou vstřikovací teplotu, poté je vlivem komprese materiál ztuhne a zbaven bublin. V tomto stádiu je materiál připraven pro vstříknutí do formy.



Obrázek 8 princip vstřikování vosku šnekovým vstřikovacím strojem [10]

2) Kombinace šnekového a pístového vstřikovacího stroje

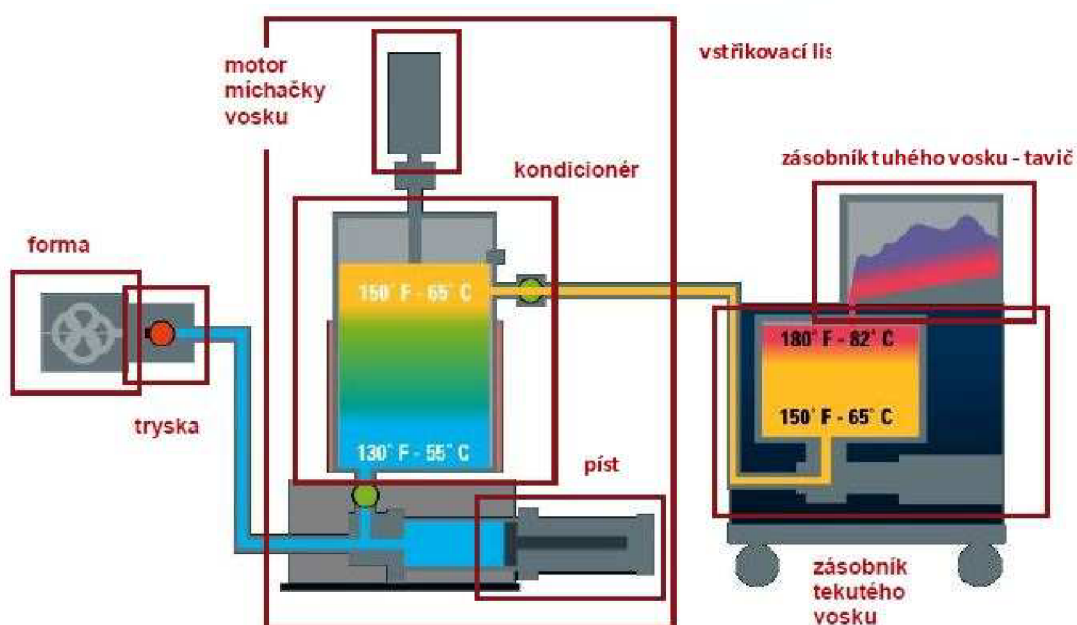
Kombinací šnekového a pístového mechanismu se dosahuje rozdělení fáze ohřevu termoplastu a samotného vstřikování do formy. Termoplast se ohřívá v plastikační komoře, ze které se pomocí uzavíracího ventilu dávkuje do komory nad pístem. Po uzavření ventilu je termoplast pohybem pístu vstřikován přes trysku do formy.



Obrázek 9 kombinace šnekového a pístového vstřikovacího stroje [10]

3) Pístový vstřikovací stroj

Dávkování vosku je u těchto strojů zajištěno pohybem pístu. Příprava taveniny je obdobná s předchozími metodami. Vosk se v tuhé formě vloží do taviče, kde se ohřívá na teplotu kolem 80 °C. Tato teplota zajistí roztání vosku, čím se sníží možnost výskytu špatně zotavených částicек vosku. Roztavený vosk se přelije do zásobníku tekutého vosku, kde se temperuje na pracovní teplotu 65°C. Další fází je míchání v kondicionéru. Emulzifikace vosku se vzduchem je velmi důležitý krok pro dosažení požadované pružnosti vosku. Při míchání se v závislosti na typu vosku udržuje teplota v rozmezí 55-65°C. Takto připravený vosk je přes zpětný ventil přemístěn do prostoru nad pístem, kde je následně pohybem pístu vstřikován přes trysku do dutiny formy. Nevýhodou těchto strojů je složité utěsnění pístů. Výhodou je rozměrově úsporné uspořádání jednotlivých sekcí.



Obrázek 10 pístový vstřikovací stroj [8]

4) Vstřikovací stroje využívající jiného principu dopravy taveniny

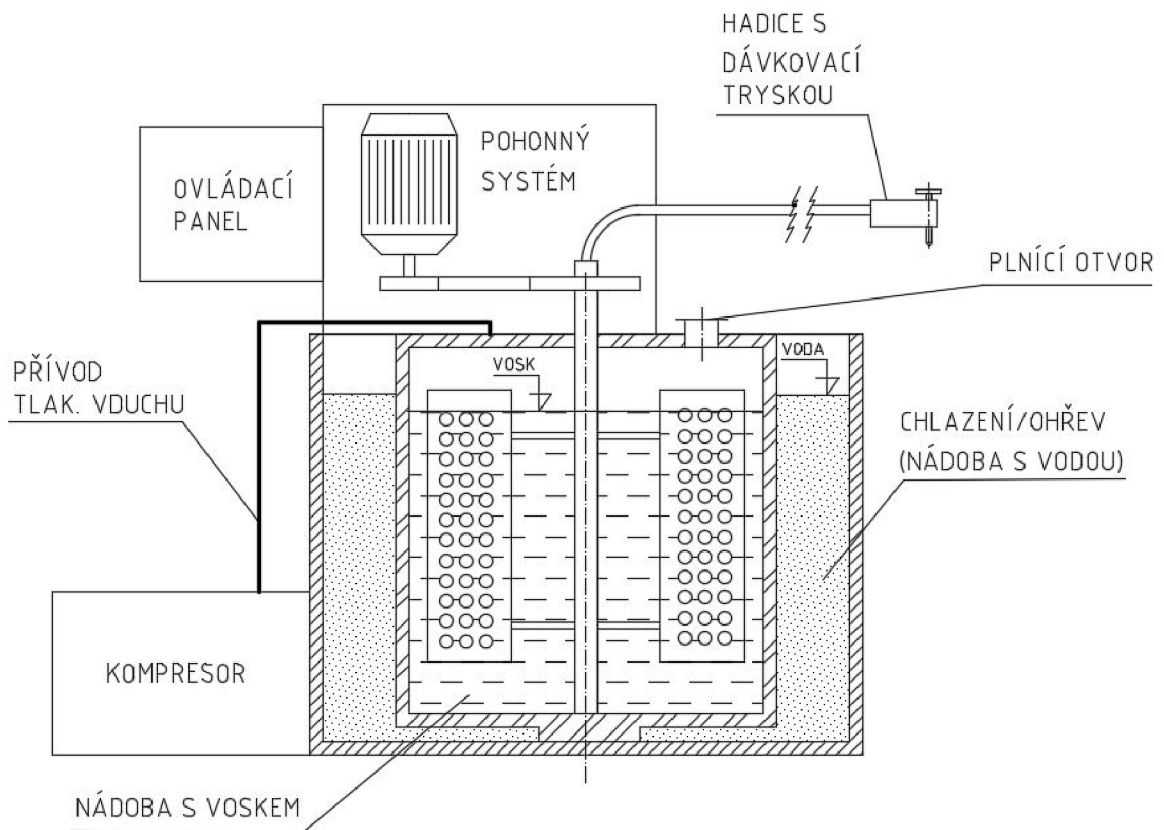
Princip přípravy materiálu je obdobný jako u pístového vstřikovacího stroje. Hlavní rozdíl oproti předchozí metodě je v metodě odvádění vosku z kondicionéru. Využívá se principu monžického čerpadla.

Monžík je druh čerpadla, které čerpá kapalinu vytvořením přetlaku v nádobě s čerpanou kapalinou. Přetlak tlačí čerpanou kapalinu, v tomto případě vosk, do odváděcí trubice opatřené vstřikovací tryskou. Současně přetlak odstraní z vosku bublinky vzduchu.

Výhodou těchto strojů je odvádění taveniny, která může být agresivní vůči pryžím, z prostoru kondicionéru. Dispoziční rozvržení je variabilní stejně jako u pístových vstřikovacích strojů.

Nevýhodou je složité zahřívání voskové směsi. Vosk je nutné udržovat po celou dobu přípravy v pracovní teplotě, který se pohybuje kolem 60°C.

Je důležité, aby vosk nezatuhl v ochlazovaných místech jako je například hadice se vstříkovací tryskou. V případě zatuhnutí vosku v hadici je nutné tento vosk zahřát a odstranit, neboť není u takového vosku možné zaručit jeho kvalitu. Jako opatření se navrhuje systém izolace s vyhříváním v kritických místech. [10]



Obrázek 11 schéma vstříkovacího stroje využívající moňžikového principu

ZHODNOCENÍ TEORETICKÉ ČÁSTI

V teoretické části byl popsán základním princip a postup výroby odlitku metodou vytavitelného modelu. Byly zde uvedeny používané vosky ve slévárnictví včetně jejich přísad a dále byly popsány metody výroby formy pro vytavitelný model. Následně bylo provedeno rozdělení vstříkovacích strojů dle typu stavu pracovního vosku a dále podle způsobu přepravy vosku a dalších termoplastických materiálů.

PRAKTICKÁ ČÁST

Cílem praktické části je porovnat důležité parametry u vstříkovacích strojů využívaných v současnosti. Ze získaných informací se následně provede jednoduchý konstrukční návrh vstříkovacího stroje, který bude splňovat požadavky firmy MSR Engines s.r.o.

5 POPIS A POROVNÁNÍ POUŽÍVANÝCH STROJŮ

5.1 POUŽÍVANÉ STROJE VE FIRMÁCH FIMES A.S. A MSR ENGINES S.R.O.

Základní parametry strojů jsou uvedeny níže v porovnávací tabulce 1.

Vstříkovací stroj MPI 55-100-38, C rám

Jedná se o vstříkovací stroj od amerického výrobce MPI. Stroj pracuje s tuhým voskem, který se před uložením do formy předehřeje na požadovanou teplotu. Stroj se skládá z pevného C rámu, pracovní desky, zásobníku vosku a dvou voskových kondenzačních nádrží s pěti tepelnými zónami, které umožňují přesnou regulaci teploty vosku.



Obrázek 12 vstříkovací stroj MPI 55-100-38, C rám [9]

Vstříkovací stroj Shell-O-Matic 35 T-20/28

Jedná se o vstříkovací stroj od amerického výrobce Shell-O-Matic. Stroj pracuje s tuhým voskem, který se před uložením do formy předehřívá na požadovanou teplotu. Stroj se skládá ze čtyřsloupového rámu, pracovní desky a zásobníku vosku. Stroj umožňuje plnit velké i tenkostěnné formy. Je ovládán přes ovládací panel, na kterém je možné zvolit naprogramovaný proces plnění pro jednotlivé typy forem. [9]



Obrázek 13 vstříkovací stroj Shell-O-Matic 35 T-20/28

Vstříkovací stroj MSR Engines – M01

Zařízení bylo vyrobeno přímo pro požadavky firmy MSR Engines s.r.o. Toto zařízení nedisponuje externím zásobníkem vosku. Vosk se lije přímo do kondicionéru v tekutém stavu při teplotě 80 °C. V kondicionéru se vosk promíchá a postupně zchladí na pracovní teplotu 56-62 °C. Promíchání emulzifikuje vosk se vzduchem, čím se zlepší pružnost vosku a zároveň se docílí jeho rovnoměrného rozpuštění. Po ukončení fáze míchání se vytvoří přetlak v kondicionéru. V této fázi se z vosku odstraní vzduchové bubliny a současně je vosk tlačěn do odváděcí trubice. Odváděcí trubice je zakončena hadicí se vstříkovací jehlou, přes kterou se vstříkuje vosk do dutiny formy. Kriticky ochlazovaná místa jsou opatřena vyhříváním. Jedná se hlavně o plnicí hadici a vstříkovací trysku. [9]

Celý proces přípravy vosku je ovládán pomocí PLC počítače, který má definované čtyři programy chodu stroje, ty jsou:

- 1) Spuštění a regulace ohřívání vosku
- 2) Míchání vosku (15 a 30 min.)
- 3) Plnění nádoby tlakovým vzduchem
- 4) Vypuštění přebytečného přetlaku z nádoby

Po ukončení čtvrtého programu je možné celý proces opakovat.

Stroj se využívá pro plnění různorodých forem o objemech 0,4-1,2 l.



Obrázek 14 Vstřikovací stroj MSR Engines – M01

Tabulka 1 porovnání základních parametrů vstřikovacích strojů

Název stroje	vstřikovací tlak [Mpa]	teplota vstřikovaného vosku [°C]	objem vstřiku [l]	objem zásobníku [l]	typ vosku	zdvih [mm]	půdorysné rozměry [mm]
MPI 55-100-38	3,8-70	30-38	18,5	45	tuhý	965	864x1016
Shell-O-Matic 35 T-20/28	7-70	35-40	5	40	tuhý	470	470x470
MSR Engines – M01	0,2-0,3	58-65	3	20	kašovitý	-	1250x495

6 NÁVRH VSTŘIKOVACÍHO STROJE

6.1 POŽADAVKY FIRMY MSR ENGINES S.R.O.

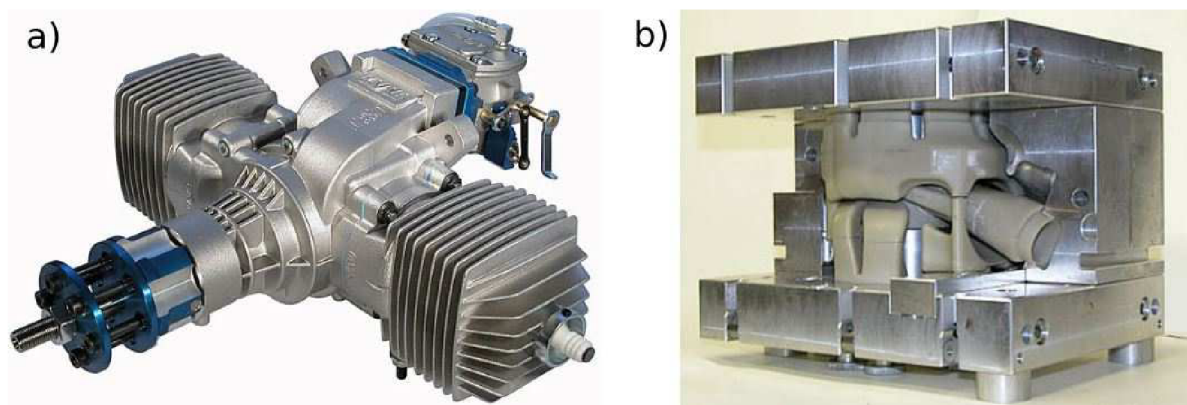
6.1.1 MSR ENGINES S.R.O.

Firma MSR Engines s.r.o. se specializuje především na vývoj a výrobu nízkoobjemových závodních i klasických spalovacích motorů. Nabízí řešení technologie výroby odlitků, vyrábí formy pro metodu přesného lití hliníku s následnou výrobou odlitků vyznačující se vysokou přesností a kvalitou materiálu.

Firmy využívající jejich služeb:

- KTM Road Racing
- MAXTER (karting)
- MVVS, 3 W (letecké modelářství),
- JAWA Speedway

Ukázky výrobků firmy MSR Engines s.r.o. (obrázku 15).



Obrázek 15 a) MVVS - modelářský motor BOXER, b) forma pro metodu vytavitelného modelu

6.1.2 POŽADOVANÉ PARAMETRY

Firma MSR Engines s.r.o. v současnosti výrazně zvýšila produkci výroby přesných odlitků. Následkem toho se stávající vstřikovací stroj MSR Engines-M01 stal výkonnostně nedostačující. Kvůli rozdílným požadavkům na plnění forem má firma specifické požadavky na vstřikovací stroj, ty jsou:

- Vstřikovací tlak 0,2 MPa
- Pracovní teplota vosku 58-62 °C
- Objem kondicionéru 35 l
- Možnost plnění objemově rozdílných forem
- Kašovitý typ vosku
- Kvalitní povrch voskového modelu

- minimální půdorysné rozměry
- otáčky lopatky 150 min^{-1}

Při dodržení požadovaných parametrů se zlepší kvalita voskových modelů a současně se zvýší pracovní výkonost stroje.

6.2 NÁVRH ZÁKLADNÍHO PRINCIPU VSTŘIKOVACÍHO STROJE

Pro dodržení požadovaných parametrů je zvolena koncepce vstřikovacího stroje pracující s kašovitým voskem. Odčerpání vosku z kondicionéru bude provedeno pomocí principu monžikového čerpadla. Ohřev a ochlazování vosku bude zajišťovat vnější nádoba s vodou, ta se bude v případě potřeby ohřívat nebo ochlazovat. Výměna tepelné energie bude zprostředkována přes stěny kondicionéru.

Systém plnění kondicionéru tlakovým vzduchem bude zajištěn pomocí sériově zapojeného solenoidového ventilu a regulátoru tlaku. Firma MSR Engines s.r.o. disponuje centrálním rozvodem tlakového vzduchu. K tomuto systému se připojí regulátor tlaku, který zredukuje tlak na hodnotu 0,2 MPa. Plnění bude spouštěno elektrickým obvodem pomocí otevření solenoidového ventilu.

Základními prvky vstřikovacího stroje budou: kondicionér, vnější nádoba na vodu, asynchronní motor, lopatka pro míchání vosku a další součásti potřebné pro provoz stroje.

6.3 KONSTRUKČNÍ NÁVRH KONDICIONÉRU

Kondicionér bude válcová nádoba s minimálním objemem 35 l, která musí přenést zatížení vyvolané přetlakem. Z důvodu ohřevu a chlazení vosku vodou je zvolen materiál nerez ocel označení 1.4305.

6.3.1 VOLBA MATERIÁLU

Nerez ocel 1.4305, dle ČSN EN 10088-1 1.4305 (X8CrNiS 18-9) automatová

Mechanické vlastnosti:

- Pevnost v tahu $R_m=500-700 \text{ MPa}$
- Mez kluzu $R_{p0,2}=190 \text{ MPa}$

Nemagnetická Nekalitelná.

6.3.2 PEVNOSTNÍ VÝPOČET TLAKOVÉ NÁDOBY

Předběžné rozměry kondicionéru: průměr 300 mm, výška 500 mm.

1) Výpočet tloušťky stěny válce a dna

minimální tloušťka stěny se spočítá dle vzorce [12]:

$$e = \frac{P \cdot D_i}{2 \cdot f \cdot z - P} + c = \frac{0,2 \cdot 300}{2 \cdot 190 \cdot 0,85 - 0,2} + 2 \quad (1)$$

$$e = 2,18 \text{ mm}$$

Kde P je výpočtový tlak, D_i je vnitřní průměr válcového pláště, f je dovolené namáhání materiálu, z je součinitel svarového spoje, c je požadavek minimální tloušťky materiálu.

2) Kontrola stěny válcové části

kontrola tloušťka stěny se spočítá dle vzorce [12]:

$$e' = \frac{P \cdot D_i}{2 \cdot f + P} = \frac{0,2 \cdot 300}{2 \cdot 190 - 0,2}$$

$$e' = 0,15 \text{ mm} \quad (2)$$

$$e' \leq e$$

Návrh tloušťky stěny VYHOVUJE.

Pro zvýšení tuhosti konstrukce volíme tloušťku stěny 3 mm.

6.4 KONSTRUKČNÍ NÁVRH VNĚJŠÍ NÁDOBY NA VODU

Materiál vnější nádoby je stejný jako u kondicionéru. Tloušťku stěny volíme 2 mm, s ohledem na požadavek minimální tloušťky stěny. Při zvolené tloušťce stěny jsou síly vyvolané od sloupce vody zanedbatelné. Výška hladina se bude pohybovat v rozmezí 470-490 mm.

6.5 NÁVRH ASYNCHRONNÍHO MOTORU

Motor a jeho z převodování musí zajistit otáčky lopatky 150 min^{-1} .

1) Výpočet silového namáhání lopatky

Výpočet síly se určí ze vzorce [13]:

$$F_l = \rho \cdot \omega \cdot r = \frac{850 \cdot 2\pi \cdot 150 \cdot 0,097}{60}$$

$$F_l = 1\,253,5 \text{ N} \quad (3)$$

$$F_l = 1\,253,5 \text{ N}$$

Kde F_l je síla působící na lopatku, ρ je hustota vosku při $60 \text{ }^\circ\text{C}$, ω je úhlová rychlost, r je rameno působíště síly F_l .

Výpočet momentu sil:

$$M_l = F_l \cdot r = 1\,295,1 \cdot 0,097$$

$$M_l = 12,6 \text{ Nm} \quad (4)$$

2) Navržené parametry asynchronního motoru

Požadovaný moment:

$$M_m > M_l$$

M_m je jmenovitý moment motoru.

Pro výpočet zvolíme asynchronní motor šestipólový se skluzem $s_n = 0,03$.

Jmenovité otáčky motoru:

$$\begin{aligned} n_N &= n_s \cdot (1 - s_s) = 800 \cdot (1 - 0,03) \\ n_N &= 776 \text{ min}^{-1} \end{aligned} \tag{5}$$

Výkon motoru:

$$\begin{aligned} P &= M_m \cdot \omega_N = M_m \cdot \frac{2 \cdot \pi \cdot n_N}{60} = 12,6 \cdot \frac{2 \cdot \pi \cdot 776}{60} \\ P &= 1,023 \text{ kW} \\ P_N &= 1,1 \text{ kW} \end{aligned} \tag{6}$$

Kde P je výkon motoru, P_N je navrhovaný výkon motoru, ω_N je nominální úhlová rychlost.

Na základě vypočtených parametrů byl zvolen asynchronní motor SIEMENS 1LA7096-6, který bude opatřen převodovkou s poměrem převodu 1:2. Použitím řemenic s převodem 1:3 s spojených klínovým řemenem se docílí na lopatce otáček 150 min^{-1} .

Parametry motoru SIEMENS:

- Výkon: 1,1 kW
- Počet pólů: 6
- jmenovité otáčky: 915 ot/min
- Napájení: 230/400 V, 50 Hz
- Proud při 400V: 2,9 A
- Krytí: IP 55
- Průměr hřídele: 24 mm
- Pro trvalé zatížení: S1

6.6 ŘEŠENÍ KRITICKÝCH UZLŮ VSTŘIKOVACÍHO STROJE

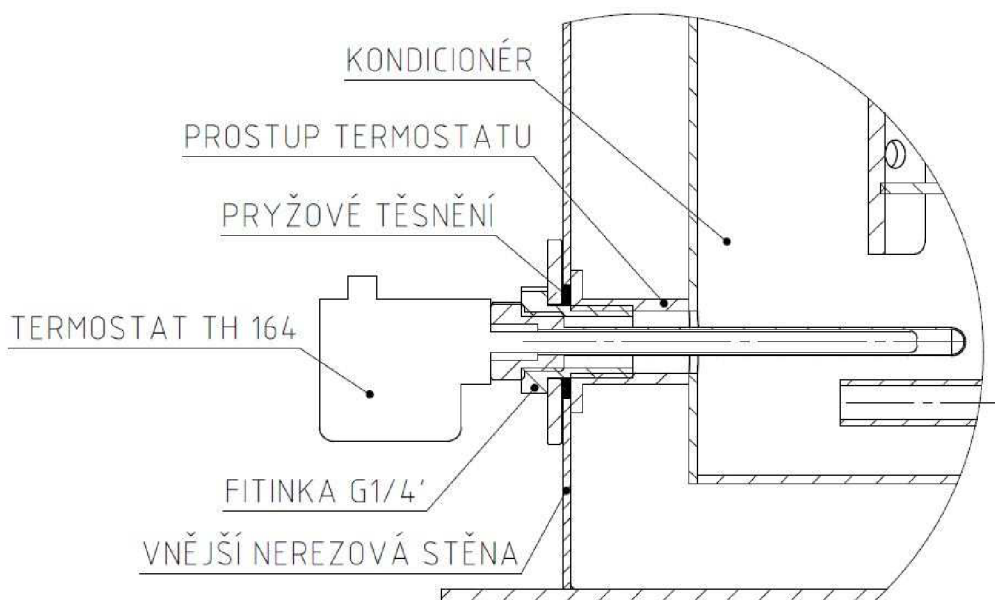
V této kapitole se práce zabývá vyřešením kritických uzlů konstrukce navrhovaného stroje. Prvním kritickým uzlem je prostup termostatického regulátoru z kondicionéru. Druhý kritický uzel je v místě uložení hřídelí v kondicionéru. Kvůli vnitřnímu přetlaku musí být zajištěno požadované utěsnění těchto uzlů.

6.6.1 PROSTUP TERMOSTATICKÉHO REGULÁTORU KONDICIONÉREM

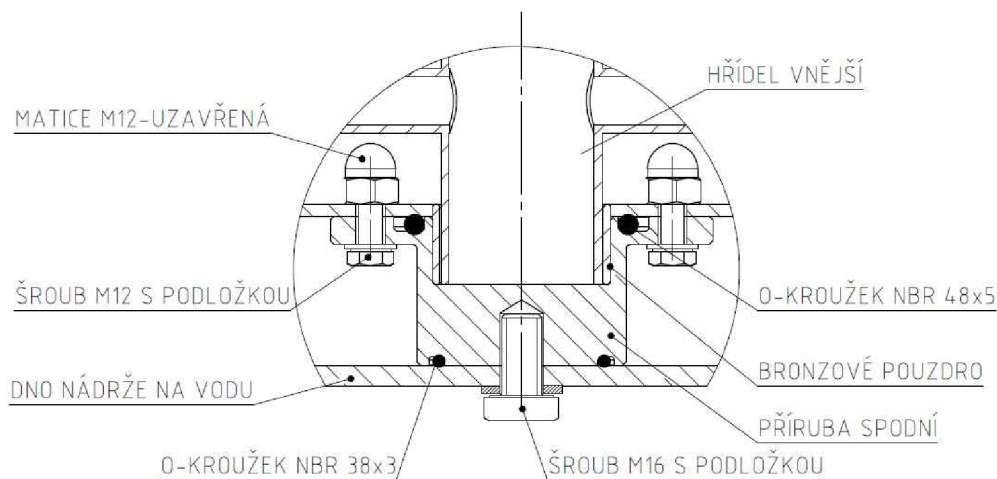
Termostatický regulátor je zašroubován do fitinky G1/4'. Fitinka je opřena o podložku, která tlačí na pryžové těsnění z vnější strany nádoby na vodu. Z druhé strany pryžového těsnění působí přítlačnou silou čelo prostupu termostatu. Přítlačná síla působící na pryžového těsnění je vyvolána utahovací silou, která je vyvozena na fitince G1/4'. Pryžové těsnění rozměrově přesahuje průměr i tloušťku otvoru ve stěně vnější nádoby na vodu. Po dotažení fitinky G1/4' se pryžové těsnění stlačí a utěsní otvor.

6.6.2 UTĚSNĚNÍ SPODNÍ PŘÍRUBY

Spodní příruba slouží jako dolní uložení pro vnější hřídel kondicionéru, kterou se odvádí vosk. Příruba je zajištěna čtyřmi šrouby M12, které jsou zašroubované do matic s uzavřenou hlavou. Tyto matice jsou ke dnu kondicionéru přivařeny. Utěsnění zajišťuje o-kroužek NBR 48x5. V přírubě je zalisované bronzové pouzdro. Toto pouzdro slouží jako ložisko pro vnější osu. Spojení spodní příruby s vnější nádobou na vodu je zajištěno šroubem M16 s podložkou. Utěsnění je zde provedeno o-kroužkem NBR 38x3.



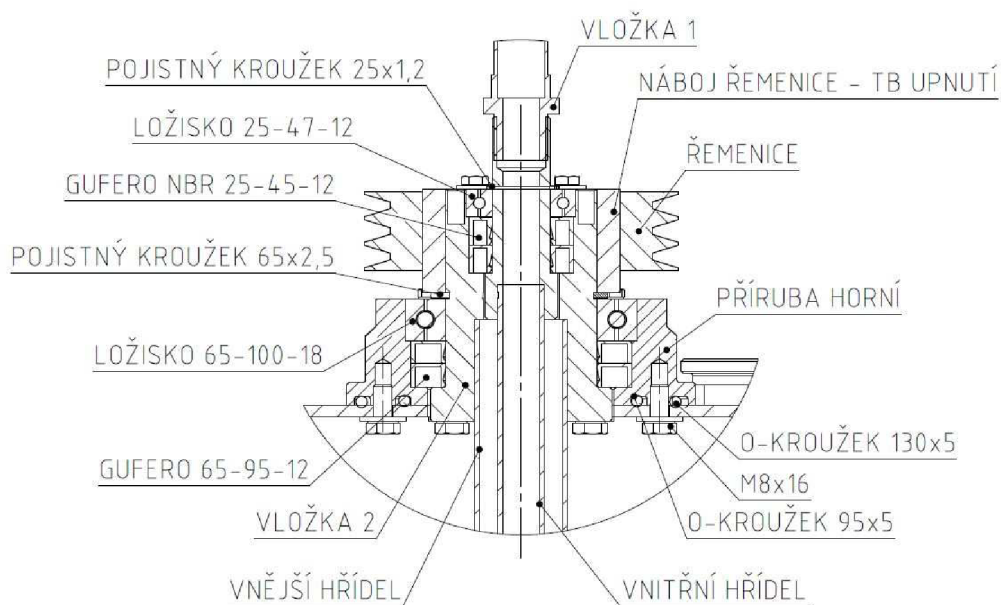
Obrázek 16 utěsnění prostupu termostatu



Obrázek 17 utěsnění spodní příruby

6.6.3 KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ HORNÍHO ULOŽENÍ

Horní uložení řeší dva požadavky. Prvním je přenos točivého pohybu řemenice na vnější hřídel. Vnější hřídel je svařená s vložkou 2, která je spojena přes pero s nábojem řemenice. Druhým požadavkem je odvod vosku vnitřní hřídelí. Vnitřní hřídel je svařená s vložkou 1, která je přes ložisko uložena ve vložce 2. Pro zamezení úniku vzduchu z kondicionéru mezerou mezi vložkou 1 a vložkou 2 je použito dvojice gufer. Zajištění polohy vložky 1 vůči vložce 2 je pomocí pojistného kroužku. Stejný princip těsnění, uložení a zajištění polohy je mezi vložkou 2 a horní přírubou. Horní příruba je spojena s horním poklopem pomocí 6 šroubů. Utěsnění horní příruby je pomocí dvou o-kroužků.



Obrázek 18 konstrukční řešení horního uložení

6.7 NÁVRH ŘÍZENÍ OHŘEVU A CHLAZENÍ VODY

Řízení okruhu topení bude zajišťovat elektrický obvod s termostatickými regulátory teploty a dvěma topnými tělesy o výkonech 3 kW. Systém termostatických regulátorů bude řídit systém topení nebo chlazení v závislosti na teplotách vosku a vody. U termostatických regulátorů bude možnost nastavení rozsahu minimálních i maximálních pracovních teplot vody i vosku. Řízení okruhů ohřevu a chlazení bude vycházet ze stavů definovaných v logické tabulce funkcí. (tabulka 2)

6.7.1 TOPNÉ TĚLESO ETT-A-3,0

Jedná se o topné těleso určené pro ohřev stojaté i proudící vody. Materiál tělesa je poniklovaná měď a plast.

Parametry:

- Napájecí napětí: 230 V, 50 Hz
- Krytí: IP 54
- Výkon: 3 kW



Obrázek 19 topné těleso ETT-A-3,0

6.7.2 TERMOSTATICKÝ REGULÁTOR TH 164

Termostaty řady TH 160 jsou tepelně závislé jednopólové spínače, založené na principu nestejně teplotní dilatace dvou různých kovů. Jsou určeny pro spínání elektrických obvodů. Základem termostatů je spolehlivý mechanický systém, který nemá žádnou vlastní spotřebu energie. Termostaty se vyznačují vysokou odolností proti mechanickému poškození a nízkými náklady na provoz a údržbu.

Parametry:

- přesnost nastavení teploty: $\pm 10 \%$ z nevyšší možné nastavené teploty
- jmenovité napětí: 250 V
- jmenovitý proud: 15 A
- počet svorek: 3
- Krytí: IP 00
- Regulační rozsah: 30-160 °C
- Délka stonku: 160 mm
- Životnost: 10 000 cyklů



Obrázek 20 termostatický regulátor TH 164

6.8 PRACOVNÍ DĚJE VSTŘIKOVACÍHO STROJE

6.8.1 PODMÍNKY OHŘEVU A CHLAZENÍ VODY

Vstřikovací stroj bude řídit proces chlazení a ohřevu vody pomocí čtyř termostatických regulátorů. Dva termostatické regulátory budou regulovat teplotu vosku a dva teplotu vody. Závislost spouštění chlazení nebo ohřevu vody je popsán v tabulce logických funkcí.

Pro zlepšení orientace v tabulce jsou termostaty pojmenovány takto:

- V1 a V2 jsou termostaty regulující teplotu vosku. Termostat V1 bude nastaven na spínací teplotu 58 °C, termostat V2 bude nastaven na spínací teplotu 65 °C.
- T1 a T2 jsou termostaty regulující teplotu vody. T1 termostat bude nastaven na spínací teplotu 58 °C, T2 bude nastaven na spínací teplotu 85 °C (pojištění vyvření vody).

Termostaty fungují pouze v sepnutém nebo rozepnutém stavu. Sepnutý a rozepnutý stav popíšeme hodnotami 1 a 0, přičemž hodnota 1 určuje sepnutý stav a hodnota 0 rozepnutý stav.

Výsledkem tabulky logických funkcí je určení spuštění ohřívání nebo chlazení vody. Pro stavy ohřevu a chlazení platí značení 1 a 0, přičemž hodnota 1 určuje ohřev a hodnota 0 ochlazování vody.

Tabulka 2 tabulka logických funkcí

teplota vosku		teplota voda		stav ohřev/chlazení
V1	V2	T1	T2	
0	0	0	0	1
1	0	0	0	1
1	1	0	0	0
0	0	1	0	1
1	0	1	0	x
1	1	1	0	0
0	0	1	1	0
1	0	1	1	0
1	1	1	1	0
poruchové stavy				
0	0	0	0	1
1	0	0	0	1

6.8.2 PRACOVNÍ STAVY VSTŘIKOVACÍHO STROJE

Pracovní stavy vstřikovacího stroje se skládají ze tří základních stavů, ty jsou:

1. Start-stop

Při spuštění tohoto stavu se spustí okruh regulace teploty vody. Po dosažení pracovní teploty vosku se spustí světelná signalizace a je umožněno spuštění dalšího pracovního stavu.

2. Míchání (10 nebo 30 min)

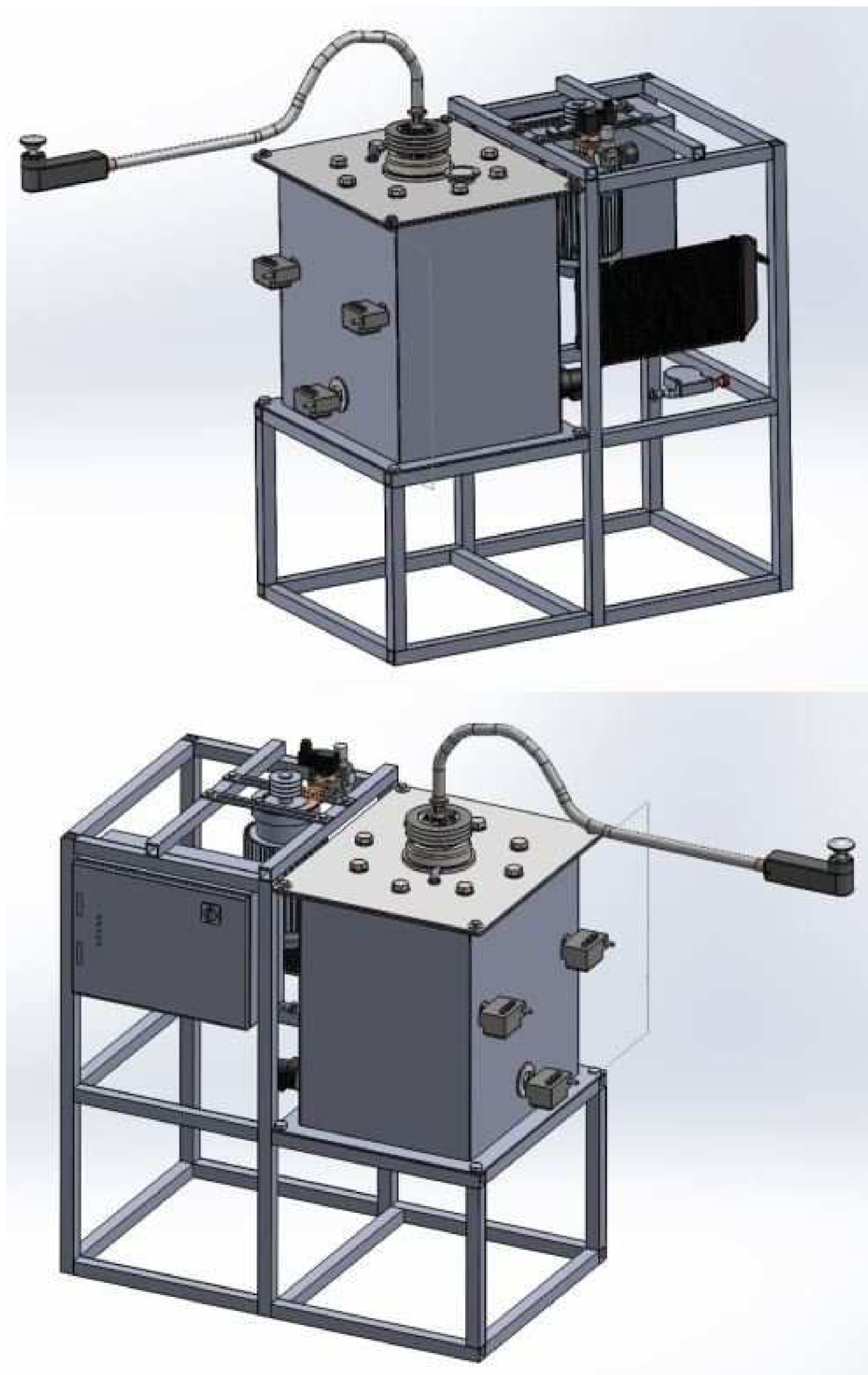
Tento pracovní stav lze nastavit ve dvou časových intervalech, ty jsou 10 a 30 min. Po ukončení časového intervalu se zastaví míchání a je možné spustit další pracovní stav, popřípadě proces míchání znovu spustit.

3. Plnění

Po spuštění tohoto stavu se začne otevřením solenoidového ventilu plnit kondicionér tlakovým vzduchem. Po dosažení požadovaného tlaku v kondicionéru se rozsvítí světelná signalizace a následně je možné plnit dutiny formy vstřikovací tryskou.

Po ukončení stavu plnění se stroj vrací zpět do stavu start-stop a dle potřeby je možné celý proces opakovat nebo vypnout stroj od napájení.

6.9 VIZUALIZACE VSTŘIKOVACÍHO STROJE



Obrázek 21 vizualizace vstřikovacího stroje

ZHODNOCENÍ PRAKTICKÉ ČÁSTI

V praktické části byly popsány a porovnány vstřikovací stroje využívané v současnosti ve firmách Fimes a.s. a MSR Engines s.r.o.

Dále ve spolupráci s firmou MSR Engines s.r.o. byl proveden konstrukční návrh vstřikovacího stroje, dle požadavků firmy.

Konstrukční návrh se zabýval zvolením optimálního principu stroje. Jako optimální varianta byla vybrána koncepce vstřikovacího stroje pracující s kašovitým voskem s využitím čerpání pracovní látky z kondicionéru tlakem vzduchu.

Na základě zadaných parametrů a zvolené koncepce stroje byl proveden výpočet tloušťky stěny kondicionéru a stěny nádoby na vodu.

V dalším kroku se určily parametry optimálního asynchronního motoru. Dále se tato část práce zabývala kritickými uzly konstrukčního návrhu. Jednalo se o místo prostupu termostatického regulátoru kondicionérem a stěnou vnější nádoby na vodu. Dále se jednalo o horní a dolní uložení hřídelí. Tyto uzly byly následně znázorněny a vysvětleny.

Součástí návrhu vstřikovacího stroje byl návrh řízení ohřevu a chlazení vody a popis pracovních stavů stroje.

V poslední kapitole byla ukázána podoba vstřikovacího stroje.

ZÁVĚR

Cílem práce bylo provést literární rešerši běžně používaných zařízení pro přípravu a přepravu slévárenského vosku a ze získaných informací navrhnout optimální stroj na přípravu a přepravu slévárenského vosku.

Teoretická část práce se zaměřila na popis výroby odlitku metodou vytavitelného modelu, na typy používaných vosků, výrobu voskového modelu a využití vstřikovacích strojů.

V kapitole vytavitelného modelu byl popsán základní postup výroby odlitku metodou vytavitelného modelu. Byly zde také uvedeny rozdíly mezi historickou a současnou metodou. Práce se zde hlavně zaměřuje na vady při výrobě voskového modelu a jak jim předejít.

Další kapitola se zabývala použitím, složením a rozdělením jednotlivých voskových směsí. Hlavní rozdělení voskových směsí bylo na vosky pro vtoky, modely a dále regenerované a rekonstituované. Velkou rolí při výrobě voskového modelu hraje typ použité formy a způsob jejího plnění. V práci byly popsány možnosti výroby voskového modelu za pomoci mateční formy nebo matečného modelu.

Vstřikovací stroje jsou nedílnou součástí při výrobě voskového modelu. V práci bylo popsáno jejich rozdělení podle typu pracovního vosku na tekuté, kašovité a tuhé. Dále bylo provedené rozdělení strojů podle typu přepravy vosku ve stroji. Jednotlivé principy byly popsány a znázorněny.

Praktická část práce se zabývala konstrukčním návrhem vstřikovacího stroje, který bude splňovat požadavky firmy MSR Engines s.r.o. Z informací získaných v praktické části byl navržen optimální princip stroje. Dále byl v praktické části proveden popis a porovnání vstřikovacích strojů firem Fimes a.s. a MSR Engines s.r.o.

Návrh vstřikovacího stroje se zabýval konstrukcí kondicionéru, vnější nádobou na vodu a dalších významných uzlů. Byly provedeny potřebné výpočty na určení tloušťky stěny kondicionéru a nádoby na vodu. U konstrukčně složitých uzlů byl vysvětlen princip jejich funkce. Součástí konstrukčního návrhu byl výběr asynchronního motoru, návrh řízení ohřevu a chlazení vody a popis pracovních stavů zařízení.

Výsledkem práce je literární rešerše používaných vstřikovacích strojů využívaných pro účely výroby voskového modelu. Dále byl proveden konstrukční návrh vstřikovacího stroje, který splňuje požadavky firmy MSR Engines s.r.o.

POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] *Výroba zvonů* – *Wikipedia: otevřená encyklopedie* [online]. 2009 [cit. 2017-03-28]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Zvona%C5%99stv%C3%AD>
- [2] *TECHMAPOS ZLÍN* – *Výňatek z knihy* [online]. 1999 [cit. 2017-03-28]. Dostupné z: http://mujweb.cz/techmapos.zlin/oddil_c/c11.html.
- [3] *Ningbo Tiancheng Non-Ferrous Metal product CO.,LTD.*: . [online]. 2010 [cit. 2017-05-24]. Dostupné z: <http://www.cheng-casting.com/Investment.htm>.
- [4] *Blayson Olefines Ltd. Waxes for Investment Casting - A View from England* [online]. 1987 [cit.2017-05-24]. Dostupné z: <http://www.investmentcastingwax.com/downloads/tl1.pdf>.
- [5] BEELEY, Peter R. *Investment Casting*. 1st ed. London: The institute of Materials, 1995. 486 s. ISBN 0-901716-66-9.
- [6] SOUKUPOVÁ, Lucie. *TECHNOLOGIE VYTAVITELNÉHO MODELU V SOUČASNOSTI*. BRNO, 2011. BAKALÁŘSKÁ PRÁCE. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Prof. Ing. MILAN HORÁČEK, CSc.
- [7] , Blayson Olefines Ltd. *Investment Casting Wax- The Basics of Investment Casting Wax* [online]. 2006 [cit.2017-05-24]. Dostupné z: <http://www.investmentcastingwax.com/downloads/tl8.pdf>.
- [8] *Die Casting : Complete Handbook For All Metal Die Casting. Gaton brass* [online]. [cit. 2017-05-24]. Dostupné z: <http://www.gatonbrass.com/DIE-CASTING/>.
- [9] ŽULA, Jaroslav. *OPTIMALIZACE TECHNOLOGIE VÝROBY VOSKOVÝCH MODELŮ VE FIRMĚ FIMES*. Brno, 2015. VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ. Vedoucí práce Prof. Ing. MILAN HORÁČEK, CSc.
- [10] *Základní dělení a funkce vstřikovacích strojů* [online]. [cit. 2017-05-24]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/181/01.html>.

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

D_i	[mm]	Vnitřní průměr kondicionéru
e	[mm]	Tloušťka stěny nádoby
f	[Pa]	Dovolené namáhání materiálu
M	[N·m]	Moment elektromotoru
n_s	[min ⁻¹]	Synchronní otáčky motoru
p	[Pa]	Tlak
P	[W]	Výkon elektromotoru
s_s	[-]	Skluz elektromotoru

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

Příloha 1 – Výkres sestavy vstřikovacího stroje 2017_00_01