



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

**NÁVRH TECHNOLOGIE VÝROBY PRŮCHODKY
KLIMATIZACE Z ELASTOMERU**

DESIGN OF MANUFACTURING TECHNOLOGY FOR ELASTOMER BUSHINGS CONDITIONING

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Lukáš Švarc

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Bohumil Kandus

BRNO 2016

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie
Student: **Lukáš Švarc**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Strojírenská technologie
Vedoucí práce: **Ing. Bohumil Kandus**
Akademický rok: 2015/16

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 technologie výroby průchodky klimatizace z elastomeru

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Vypracování literární studie se zaměřením na technologii vstřikování plastů do forem včetně technologie vstřikování elastomerů, provést návrh technologického postupu a návrh konstrukce vstřikovací formy.

Cíle bakalářské práce:

Cílem práce je návrh technologie výroby na úrovni technologického postupu a rámcové konstrukční výkresové dokumentace nástroje na průchodku klimatizace z elastomeru.

Seznam literatury:

Sova, M. a Krebs, J. (2001): Termoplasty v praxi. Verlag Dashöfer, Praha.

Zeman, L. (2009): Vstřikování plastů. Nakladatelství BEN, Praha.

Holden, G., Legge, N., Quirk, R. and Schroeder, H. (1996): Thermoplastic Elastomers. Carl Hanser Verlag, München.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2015/16

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
ředitel ústavu

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

ABSTRAKT

ŠVARC Lukáš: Návrh technologie výroby průchodky klimatizace z elastomeru.

Tato práce řeší návrh technologie výroby součásti z elastomeru. Teoretická část sestává ze zpracování rešerše na rozbor polymerních materiálů a problematiky zpracování elastomerů technologií vstřikování. V praktické části jsou řešeny výrobní podmínky, konstrukční specifiky návrhu nástroje a porovnání s výchozím řešením. Dále následují technologicko-konstrukční propočty a práci uzavírá návrh technologického postupu.

Klíčová slova: EPDM, vstřikování, vstřikovací forma, elastomer, BSK, vstřikovací stroj

ABSTRACT

ŠVARC Lukáš: Design of manufacturing technology for elastomer bushings conditioning

This thesis is dealing with designing technology of manufacturing for component made of elastomer. The theoretical part is about dividing polymer materials and the issues of elastomer processing by injection molding. In the practical part is dealt with production conditions, design specifications of the tool and comparison with initial proposal. Next part is about technological and design calculations and the thesis ends with design of technological process.

Keywords: EPDM, injection molding, injection mold, elastomer, BSK, Injection molding machine

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

ŠVARC, Lukáš. *Návrh technologie výroby průchodky klimatizace z elastomeru*. Brno, 2016. 39s, 1 výkres, 1 příloha, CD. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie tváření. Vedoucí práce Ing. Bohumil Kandus.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Tímto prohlašuji, že předkládanou bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně, s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího bakalářské práce.

V Brně dne 24.5.2016

.....
Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji vedoucímu bakalářské práce panu Ing. Bohumilu Kandusovi za cenné připomínky a rady týkající se zpracování bakalářské práce. Dále děkuji zkušeným kolegům z konstrukčního oddělení a oddělení výroby ve firmě ŐKT, s.r.o za cenné rady a poskytnuté informace.

OBSAH

Zadání

Abstrakt

Bibliografická citace

Čestné prohlášení

Poděkování

Obsah

ÚVOD	10
1 ROZBOR ZADANÉ SOUČÁSTI	11
2 POLYMERY A JEJICH ROZDĚLENÍ	12
2.1 Kaučuky	12
2.2 Termoplastické elastomery	13
2.3 Termoplasty	13
2.3.1 Reaktoplasty	14
3 VSTŘIKOVÁNÍ	15
3.1 Vstřikovací cyklus	16
3.2 Vstřikovací stroje	18
3.2.1 Plastikační a vstřikovací jednotka	18
3.2.2 Uzavírací jednotka	20
3.2.3 Řídící a regulační jednotka	20
3.3 Rozváděcí kanály – BSK	21
3.4 Vady při vstřikování elastomerů	22
4 NÁVRH ŘEŠENÍ	24
4.1 Určené vstřikovací stroje	25
4.2 Konstrukční řešení formy	27
4.2.1 Materiály formy	29
4.2.2 Konstrukční a technologické prvky	30
4.3 Porovnání výsledného řešení	35
4.4 Technologicko-konstrukční kontrolní propočty	36
5 NÁVRH TECHNOLOGICKÉHO POSTUPU	38
6 ZÁVĚR	39

Seznam použitých zdrojů

Seznam použitých symbolů a zkratk

Seznam příloh

Seznam výkresů

ÚVOD [4], [18], [37]

Polymerní materiály jsou spojeny s téměř každou součástí každodenního života. Od lepidel, stavebních prvků, součástí automobilů a volnočasových aktivit, až k aplikacím ve zdravotnictví a potravinářském průmyslu. Přítomnost těchto materiálů je pro naši existenci v poslední době přímo nepostradatelná.

Elastomerní směs je tvořena různými aditivy o specifickém množství, každá směs má tedy různé mechanické, chemické, fyzikální a reologické vlastnosti. Elastomery se vyznačují vysokou elasticitou, izolační a těsnicí schopností, odolností proti relativně vysokým teplotám a opotřebením. V závislosti na typu dále mohou odolávat různým chemickým látkám, povětrnostním vlivům. Naopak jsou náchylné na působení ozonu a palivových ropných produktů. Zahrnují tedy širokou oblast výrobků jako např. pneumatiky, lepidla a podlahové krytiny, těsnění, komponenty elektroizolace, atd. viz obr. 1.

Jedna z nerozšířenějších technologií na zpracování elastomerních materiálů a zvláště elastomerů je technologie vstřikování do forem. Vstřikování je vysoce produktivní a rychlý proces výroby tvarově složitých součástí.

Tvarové dutiny formy musí splňovat různé kritéria, např. dostatečnou tuhost jednotlivých dílů a odolnosti proti deformačním účinkům vlivem kinetické energie vstřikovaného materiálu při vysokém tlaku.

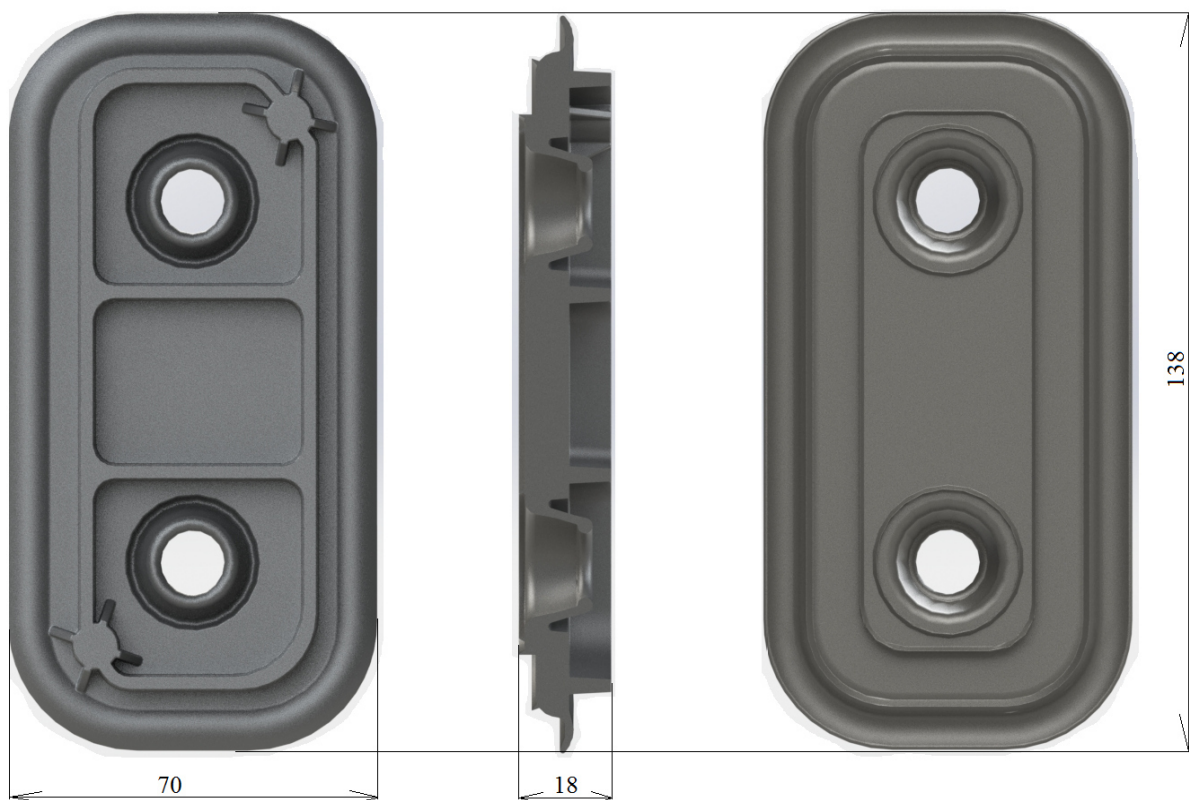


Obr. 1 Příklady typických výrobků z elastomeru

1 ROZBOR ZADANÉ SOUČÁSTI

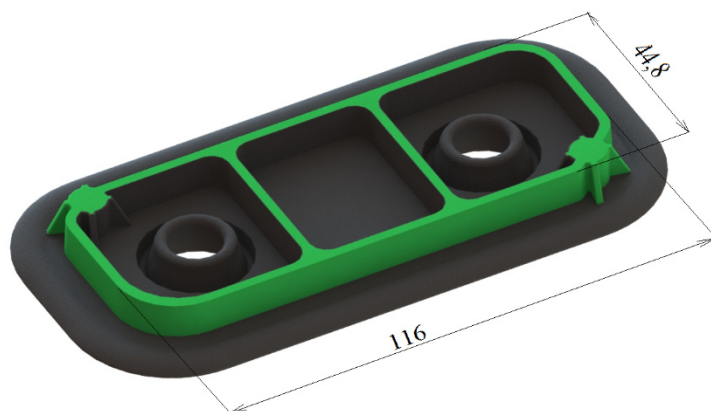
Na základě poptávky zákazníka obsahující 3D model součásti, je vytvořena nabídka s cenou a termínem dodání formy. Dalším krokem je zahájení konstrukčních prací, které vychází ze zadání poptávky. Zákazník zadává materiál výrobku (ze kterého vyplývá pro konstruktéra smrštění), typ lisu, na kterém bude probíhat výroba a popřípadě počet otisků ve formě.

V této práci bude řešena součást – průchodka klimatizace, viz obr. 2, vyráběná technologií vstřikování do formy. Zadaným materiálem je EPDM 60, tedy syntetický kaučuk o výsledné tvrdosti po zvulkanizování 60 shore. Důležitým parametrem pro návrh vstřikovací formy je smrštění materiálu, které při zadané směsi představuje 2 %.



Obr. 2 Průchodka klimatizace

Nejdůležitější rozměry jsou na vnějšku oblasti, která bude sloužit k umístění a uchycení průchodky do klimatického zařízení. Na obr. 3 jsou tyto oblasti zvýrazněny. Ostatní informace ohledně přesné funkce, širšího umístění a pracovních podmínek nebyly zákazníkem blíže poskytnuty.



Obr. 4 Funkční části součásti

2 POLYMERY A JEJICH ROZDĚLENÍ [1], [2], [3], [9], [12]

Polymery jsou makromolekulární látky přírodního, nebo syntetického původu. V jejich makromolekulách se mnohonásobně opakují základní monomerní jednotky, které udávají výsledným látkám strukturu a vlastnosti. Vyrábí se nejčastěji z ropy, zemního plynu, uhlí, vody a dalších surovin. V polymerních látkách jsou obvykle také obsaženy různé přísady (aditiva), které usnadňují zpracování jako např.:

- vulkanizační činidla
- aktivátory a retardéry vulkanizace
- urychlovače vulkanizace

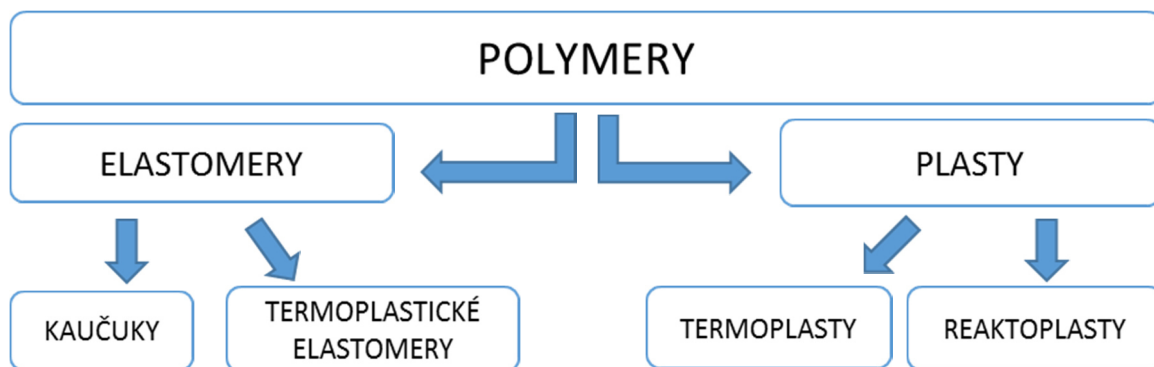
přísady, které ovlivňují nebo mohou úplně měnit vlastnosti výsledné směsi. Jsou to např.:

- tvrdidla
- změkčovadla
- maziva
- antioxidanty
- plniva

Polymerní látky lze rozdělit dle několika z mnohých hledisek:

- 🔲 dle původu – přírodní, syntetické
- 🔲 dle typu reakcí, kterým vznikají – polyadice, polykondenzací, polymerací
- 🔲 dle morfologie – amorfní, krystalická, semikrystalická struktura
- 🔲 dle složení a teplotního chování

Pro účely této práce má význam objasnění rozdělení polymerů pouze dle složení a teplotního chování, viz obr. 4.

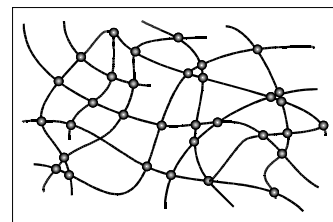


Obr. 4 Rozdělení polymerů [4]

2.1 Kaučuky [1], [4], [5], [6], [9]

Kaučuky (elastomery) jsou polymery s dlouhými řetězci amorfní struktury, které vzniknou zesíťováním monomerů (vulkanizací). Vulkanizace je nevratný chemický proces aktivovaný teplem a vulkanizačními činidly jako např. sírou či peroxidy. Vznikají tak pevné spoje řetězců, viz obr. 5. V okolí spojů mají řetězce volný pohyb, což vede při působení síly k elastickým deformacím až o stovky procent. Od ostatních polymerů se také liší tím, že většina je elastická bez závislosti na teplotě.

Elastomery jsou ve většině případů zpracovávány jako směsi, ve které jsou obsaženy kromě kaučuku a vulkanizačních činidel dále stabilizátory, plniva, pigmenty apod. Nejběžnější typy kaučuků jsou uvedeny v tabulce 1.



Obr. 5 Kaučuková struktura [5]

Tab. 1 Nejběžnější kaučuky pro všeobecné použití [4].

Zkratka	Název	Poznámka
<i>NR</i>	Přírodní kaučuk	
<i>BR</i>	Butadienový kaučuk	
<i>SBR</i>	Butadien-styrenový kaučuk	
<i>IR</i>	Isoprenový kaučuk	
<i>EPM</i>	Ethylen-propylenový kaučuk	
<i>EPDM</i>	Ethylen-propylen-dién-terpolymerový kaučuk	Syntetický analog NR

2.2 Termoplastické elastomery [5], [6], [7], [8]

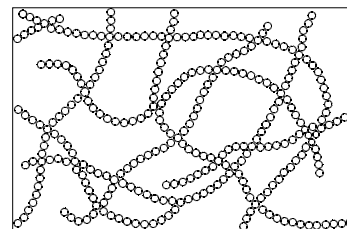
Termoplastické elastomery (TPE) jsou směsí tvrdých termoplastických polymerů (např. PP, PA) a měkkých elastomerů. Na obrázku č. 6 lze vidět neuspořádané elastomerní řetězce spojené termoplastickými segmenty. Spojení je fyzikální povahy, při pokojové teplotě má vlastnosti elastomeru. Při ohřevu nad teplotu tání termoplastické částice přechází v taveninu a spojení se rozpadá, po ochlazení segmenty termoplastu opět ztuhnou a vlastnosti materiálu se vrátí k výchozímu stavu.

**Obr. 6 Struktura TPE [5]**

Hlavní výhodou TPE oproti kaučukům je tedy energeticky méně náročné zpracování, protože odpadá vulkanizace a recyklace materiálu.

2.3 Termoplasty [1], [5], [9], [10]

Termoplasty jsou složeny z řetězovitých makromolekul, viz obr. 7. Tyto plasty jsou teplem tavitelné. Při zvýšené teplotě se segmenty řetězce začnou rozvolňovat a materiál se stává tvárným¹. Po překročení teploty tečení², jsou řetězce makromolekul úplně rozrušeny a materiál přechází do stavu taveniny. Ochlazením opět tuhne a nabývá své původní vlastnosti. Tento cyklus lze neustále opakovat, což je výhodné při opravách zmetků a recyklacích zbytků či odpadů. Teploty tváření jsou závislé na druhu plastu a pohybují se zhruba v rozmezí od 80 °C do 140 °C.

**Obr. 7 Struktura termoplastu [5]**

Jako i u ostatních druhů polymerů, se při zpracování termoplastů přidávají různá aditiva. Jako jsou např.:

- stabilizátory
- plniva
- změkčovadla
- barviva, pigmenty
- retardéry hoření

¹ Dochází teplotě skelného přechodu T_g , kdy materiál přechází z křehkého sklovitého chování do viskoelastického chování.

² Teplota tečení označována jako T_f se vyskytuje u amorfních polymerů. U semikrystalického polymery se jedná o teplotu tání krystalického podílu T_m

Mezi nejdůležitější termoplasty patří:

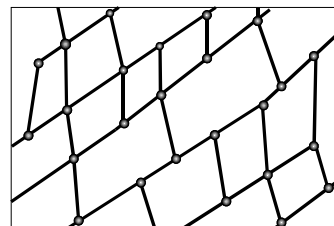
- polyvinylchlorid (PVC)
- polystyren (PS)
- polymethylmetakrylát (PE)
- polyamid (PA)
- polykarbonát (PC)
- polypropylen (PP)

2.3.1 Reaktoplasty [1], [4], [9]

Reaktoplasty nebo také termosety jsou plasty teplem vytvrditelné. Vlivem tepla či tvrdidel dochází k vytvrzení, tedy spojení řetězců polymeru do hustě prostorově síťované struktury viz obr. 8. Síťovaná struktura je pojená pevnými kovalentními vazbami. Výsledný materiál je oproti ostatním plastům výrazně tvrdší, křehčí, odolnější vůči chemickým vlivům a vysokým teplotám. Případným ohřevem nelze materiál tavit ani rozpouštět. Recyklace je tak výrazně komplikovaná

Základní rozdělení reaktoplastů:

- fenoplasty
- aminoplasty
- epoxidy
- polyestery
- polyuretany



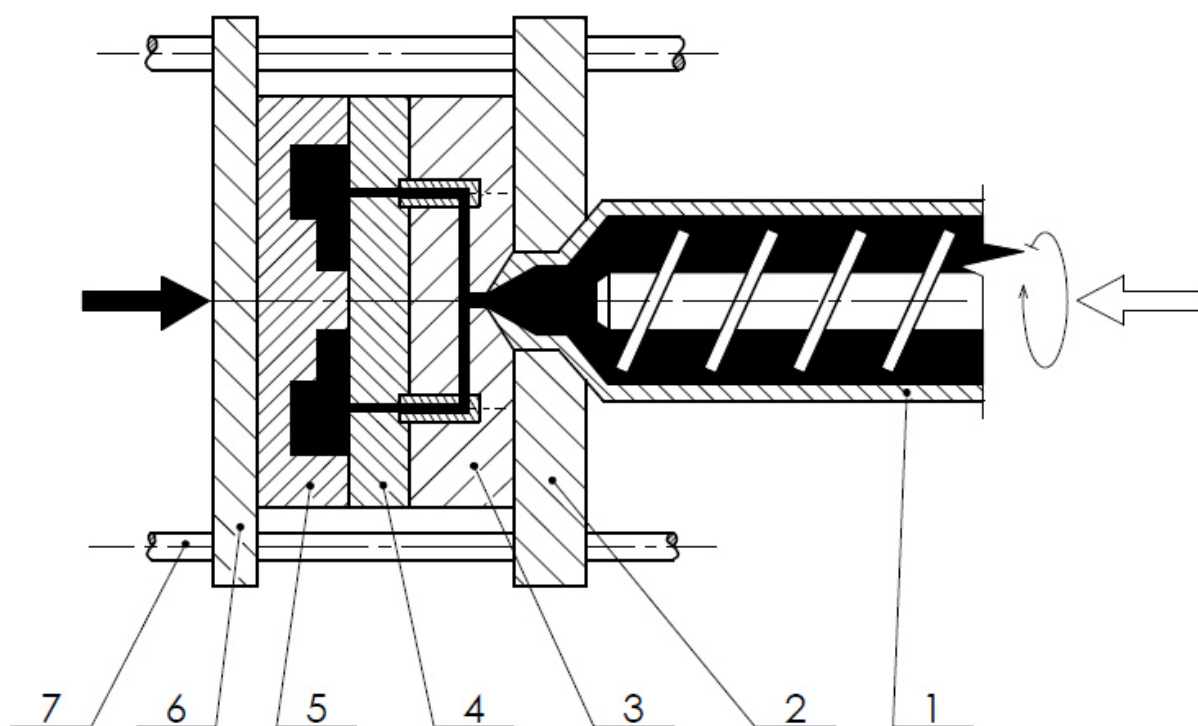
Obr. 8 Struktura reaktoplastu [5]

3 VSTŘIKOVÁNÍ [12], [13], [14]

Vstřikování patří mezi cyklické tvářecí postupy, které jsou charakterizovány posloupností operací opakujících se při každém cyklu. Touto technologií je možné zpracovávat téměř všechny druhy termoplastů, kaučuky a některé reaktoplasty. Vyráběné součásti mohou mít komplikované tvary a jsou aplikovány v automobilovém, elektronickém průmyslu, ve zdravotnictví a zařízení pro sportovní aktivity.

Polymerní materiál je plastikován ve šnekové plastikační jednotce, která je součástí vstřikovacího stroje. Materiál je plněn do šneku ve formě pásků, nebo jako granulát. Zplastifikovaný materiál se plní (vstřikuje) vysokou rychlostí do uzavřené dutiny formy, která je temperovaná na vulkanizační teplotu. Po následném zvulkanizování se forma otevře a výrobky jsou vyjmuty i s vtokovým a přetokovým zbytkem.

Na rozdíl od vstřikování termoplastů, je teplota vstřikovaného elastomeru výrazně nižší než teplota formy. Další odlišností od termoplastů je ve vstřikovacím cyklu, konkrétně ve fázi vulkanizace (u termoplastů zmiňovanou fází nahrazuje doba tuhnutí, která je mnohem méně časově a energeticky náročná).



1 – Vstřikovací a plastikační jednotka, 2 – Pevná upínací deska,
3 – Rozvodný kanál, 4 – Horní deska formy, 5 – Spodní deska formy,
6 – Pohyblivá upínací deska, 7 – Vodící tyče

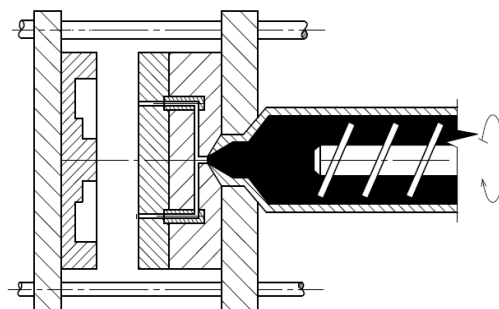
Obr. 9 Schéma vstřikování [13]

Na obr. 9. je znázorněný částečný řez vstřikovacím strojem, formou a rozvodným kanálem. Levá dvojice šipek představuje uzavírací sílu stroje působící přes formu na trysky rozvodného kanálu. Význam a princip rozvodného kanálu neboli BSK bude vysvětlen v pozdější kapitole. Vodící tyče slouží k zajištění přesné rovnoběžnosti pracovních ploch upínacích desek a tuhosti celé konstrukce lisu.

3.1 Vstřikovací cyklus [12], [13], [18]

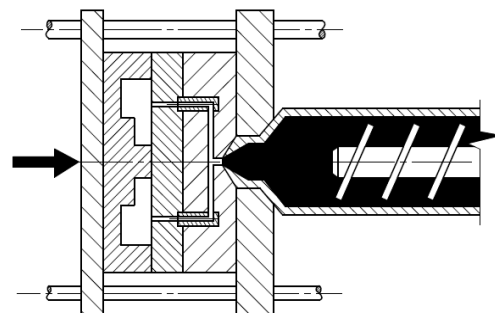
Vstřikovací cyklus tvoří postupný sled operací, při kterém je vyrobena jedna výrobní dávka výrobků. Jak již tento proces definuje název, jedná se o opakovaný sled operací, v nichž elastomerní směs prochází tepelnými a tlakovými etapami. Při popisu vstřikovacího cyklu je nutné jasně definovat jeho počátek. Za počátek lze brát stav, kdy je forma otevřená, dutina formy prázdná (připravená k procesu) a vstřikovaná směs plastikována v plastikační jednotce. Tento stav je pak označen jako plastikace a příprava formy.

- a) Stav plastikace a příprava formy jsou znázorněny na obr. 10. Dutina formy je vyčištěná od zbytků z vulkanizovaného materiálu z předchozího cyklu a v plastikační jednotce je připravována další dávka elastomerní směsi. Směs je do plastikační jednotky (válce) plněna ve formě granulátu, nebo dlouhých pásů. Přípravou se rozumí doprava materiálu a ohřev na vstřikovací teplotu (většinou kapalným teplotnosným médiem).



Obr. 10 Fáze plastikace [19]

- b) Následuje uzavření formy. Pohyblivá upínací deska uzavírací jednotky tlačí spodní část formy k horní desce formy uzavíracím tlakem, viz obr. 11. Uzavírací tlak musí být větší než tlak vstřikovací, aby nedošlo k úniku materiálu mimo dutinu z důvodu pootevření formy. Hodnotu uzavírací síly je možno stanovit dle vztahu:

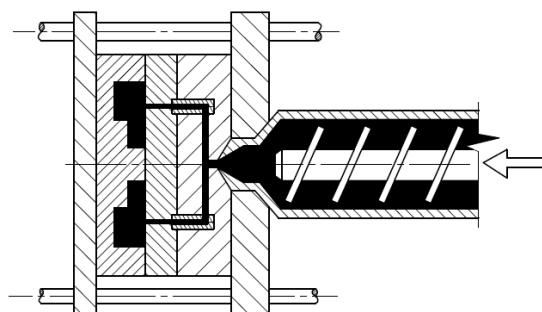


Obr. 11 Uzavření formy

$$F_u' = \frac{p_{vs} \cdot A_{proj} \cdot n \cdot 1,1}{100} \quad [kN], \quad (3.1)$$

kde: $A_{proj} [cm^2]$ - celková plocha průmětu tvarové dutiny do dělicí roviny formy
 $p_{vs} [bar]$ - vstřikovací tlak
 $n [-]$ - násobnost formy

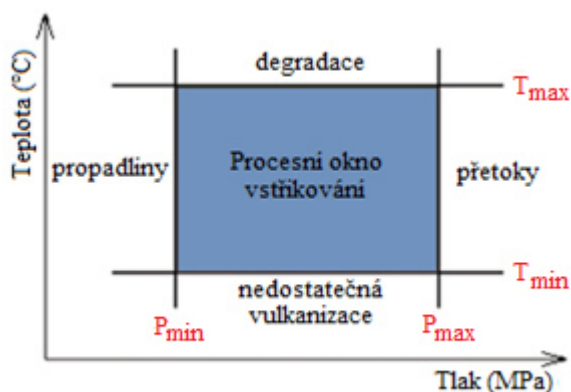
- c) Vstřikování a vulkanizace. Zplastifikovaný materiál je vstřikován přes rozvodný kanál do dutiny formy viz obr. 12. Doba, po kterou je dutina plněna, se nazývá doba plnění. Po úplném zaplnění formy je dále působeno na materiál tlakem, který se nazývá dotlak. Má za úkol částečně vyrovnávat vliv smrštění a zabránit unikání materiálu z dutiny formy. Dotlak bývá rovný, nebo menší než vstřikovací tlak.



Obr. 12 Plnění dutiny formy [19]

Doba plnění se pohybuje u elastomerů v řádech desítek sekund v závislosti na viskozitě materiálu. Hodnota vstřikovacího tlaku pro elastomery je v rozmezí 70-100 MPa. Stejně

jako u doby plnění je závislá na druhu materiálu a členitosti dutiny formy. Za stálého působení dotlaku a již ukončené operaci plnění, nastává proces vulkanizace. Chemický proces zesíťování polymerních řetězců, trvá v řádech desítek sekund až několik minut.



Obr. 13 Procesní okno [18]

Procesních parametrů pro vstřikování je velké množství. Ty, které nejvýznamněji ovlivňují proces, jsou např. již zmíněný vstřikovací tlak, doba plnění, tlak a doba dotlaku, teplota směsi a teplota formy. Technologickým úkolem tedy je trefit se do tzv. procesního okna viz obr. 13. nastavením různých parametrů. Procesní okno s nadsázkou zaručuje dobré výrobky (bez výskytu vad).

Teploty forem pro nejběžnější kaučukové směsi jsou uvedeny v tabulce 2.

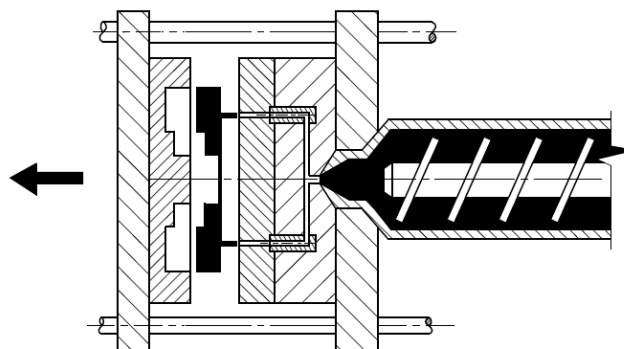
Tab. 2 Doporučené hodnoty vulkanizačních teplot [32].

Chemická báze	Teplota ideální	Minimální	Maximální
NK	155	170	145
SBR	165	175	155
EPDM	180	195	175
CR	170	190	165
SILIKON	165	190	160
FPM	185	200	170
PNR	165	185	155
IIR	175	185	165
ECO	185	200	170

Poznámka: teploty na deskách stroje v jednotkách °C

d) Otevření formy a vyjmutí výrobků.

Na obr. 14 je znázorněna otevřená forma se surovými výrobky, které obsahují mimo vlastního vstřikovaného tvaru ještě navíc vtokovou a přetokovou soustavu. Na rozdíl od vstřikování plastů je celková mechanizace zpracování elastomerů obtížná a v mnoha případech i nereálná. Problém mechanizace se týká odformování dílů s tvarově složitými jádry. V těchto případech je manipulace rukou pracovníků nenahraditelná. Pro snadnější vyjímání výrobků se také používají různé separační postřiky na bázi silikonu. V případě jednodušších tvarů výlisků a nutnosti automatizované výroby skrze velikost dané výrobní série jsou využívány pro odformování speciální rotační kartáče. Plně automatizovaná výroba však vyžaduje použití (pro elastomery) nestandartních horizontálních lisů.



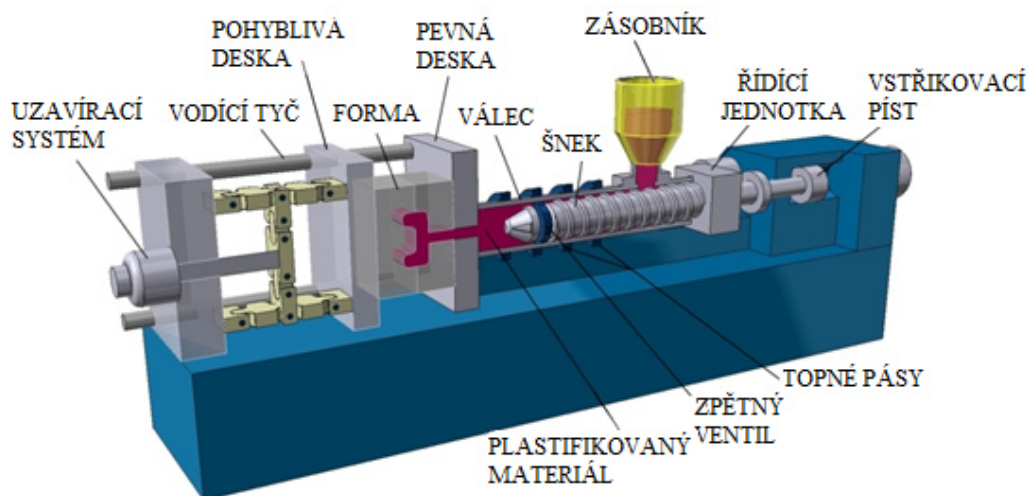
Obr. 14 Otevřená forma s výrobky [19]

3.2 Vstřikovací stroje [12], [14]

Ve vstřikovacím stroji, viz obr. 15, dochází k plastikaci surovinné směsi ve formě pásků nebo granulátů. Zplastifikovanou směs ve stavu taveniny vstřikuje pod vysokým tlakem do dutiny formy. Základním rozdělením je dle směru působení uzavírací síly, tedy horizontální nebo vertikální. Dále se vstřikovací stroje řadí podle velikosti uzavírací síly. Jak pro vstřikování termoplastů, elastomerů nebo reaktoplastů vždy tyto stroje obsahují tři základní části:

- plastikační a vstřikovací jednotku
- uzavírací jednotku
- řídicí a regulační jednotku

Pořizovací náklady těchto strojních zařízení a forem jsou poměrně vysoké, a proto je tato technologie určena pro velkosériovou a hromadnou výrobu. Nicméně vstřikovací stroje jsou také pořizovány za účelem vzorkování nových forem a nových technologií.

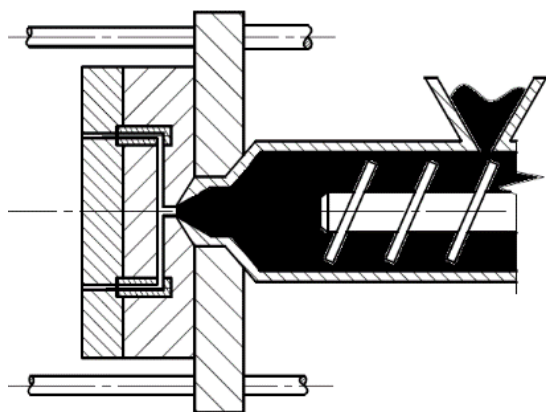


Obr. 15 Schéma horizontálního vstřikovacího stroje [15]

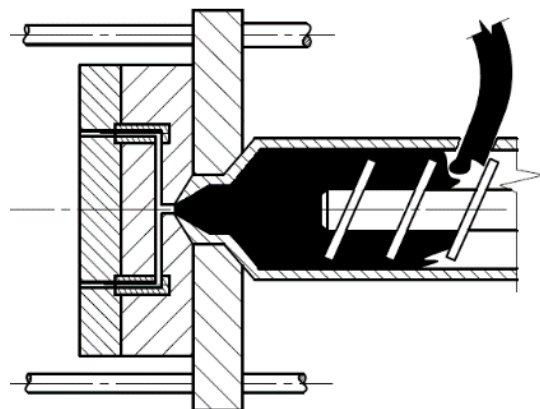
3.2.1 Plastikační a vstřikovací jednotka [12], [16]

Hlavní funkcí jednotky je zapracování elastomerní směsi do stavu vhodného ke vstřikování a následně požadovaný objem zplastifikovaného materiálu pod vysokým tlakem přemístit do dutiny formy.

Pro plnění surové elastomerové směsi ve formě granulátu slouží zásobník, viz obr. 13. Zcela častější při vstřikování elastomerů je však surová směs ve formě pásků, která se plní přímo otvorem do plastikačního válce viz obr. 16 a také na obr. 17.



Obr. 16 Plnění granulátovou směsí [19]



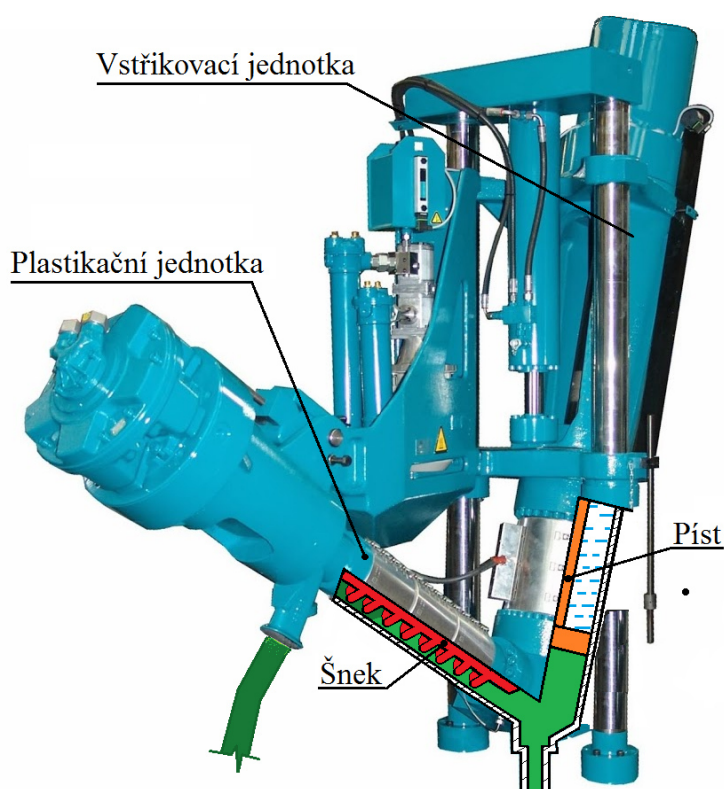
Obr. 17 Plnění pásky [19]

Uvnitř plastikační jednotky je umístěn rotující šnek, který dopravuje a vlivem tření ohřívá elastomerní směs. Materiál dále ohřívá na vstřikovací teplotu kapalně teplonosné médium.

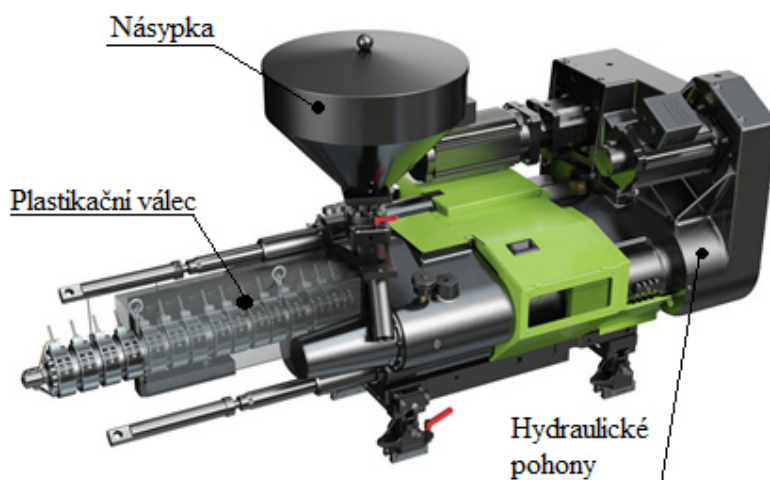
Plnění zajišťuje vstřikovací jednotka, která může být součástí plastikační jednotky (šnek při plnění koná funkci pístu, viz obr. 19). Nebo v druhém případě jsou vstřikovací a plastikační jednotky odděleně. Rotujícím pohybem šneku je materiál dopraven do plnicího válce, ze kterého je působením hydraulického pístu vstříknut přes rozváděcí kanál do dutiny formy, viz obr. 18. Ústí plnicího válce je vybaveno jednosměrným ventilem, který zajišťuje pouze jednosměrný tok materiálu.

Významným konstrukčním parametrem u plastikační jednotky je poměr délky ku průměru šneku (L/D). Běžné poměry pro zpracování termoplastů jsou v rozmezí 19:1 až 22:1. Při zpracování elastomerů je nežádoucí nadměrné zahřívání ve válci, jinak by mohlo dojít k předčasné vulkanizaci. Proto jsou poměry šneků (L/D) voleny přibližně 14:1.

Mezi hlavní technologické parametry patří plastikační a vstřikovací kapacita. Plastikační kapacita informuje o maximálním množství materiálu, který je stroj schopen připravit do zpracovatelného stavu. *Plastikační kapacita* je uváděna v jednotkách kilogramech za hodinu (kg/h). *Vstřikovací kapacita* je maximální objem materiálu, který je možné vstříknout do volného prostoru během jednoho pracovního zdvihu pístu (šneku). Představuje tak maximální objem výrobku, který je na daném stroji vyrobitelný. Nejčastěji se udává v jednotkách cm^3 .



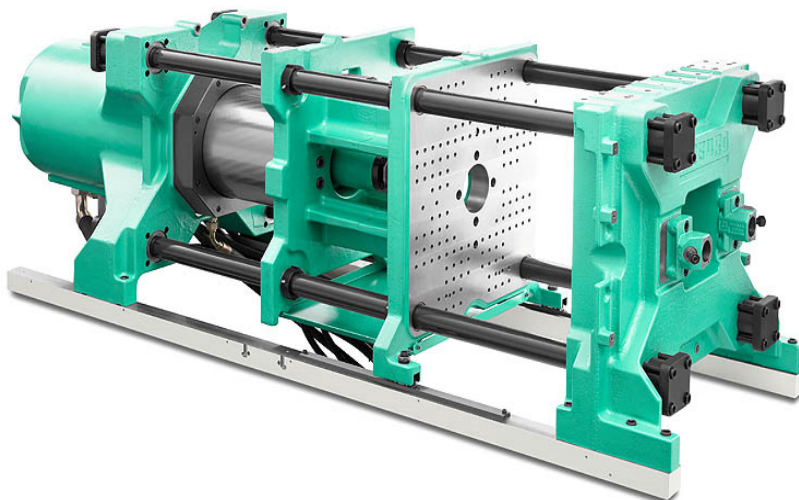
Obr. 18 Plastikační a vstřikovací jednotka [20]



Obr. 19 Plastikační a vstřikovací jednotka zároveň [24]

3.2.2 Uzavírací jednotka [12], [14], [16], [22]

Uzavírací jednotka, viz obr. 20, zajišťuje pohyb otevírání a uzavírání formy. Má za úkol vyvinout dostatečně velkou uzavírací sílu s co možno největší rychlostí uzavírání, aby forma těsnila pod nápořem tlaku vstřikovacího. Uzavírací tlak se odvíjí od plochy průřezu vstřikované součásti v dělicí rovně a je vyvozen buď hydraulicky, hydraulicko-mechanicky, nebo elektromechanicky. Velikost toho tlaku je jedním z hlavních parametrů, dle kterých je volen stroj pro danou formu.



Obr. 20 Hydraulická uzavírací jednotka [17]

Nejběžnější uzavírací jednotky u vstřikovacích vulkanizačních lisů jsou hydraulické. Představují své výhody jako:

- Jednoduché, masivní provedení.
- Vzhledem k tuhosti jednotky lze vstřikovat hluboké tvary.
- Uzavírací a přidržovací síla je přesně známa z manometrů hydraulického okruhu.
- Regulace rychlosti uzavírání a automatického nastavení zpomalení při dozavírání.
- Dostatečná rychlost u zavírání pro gumárenské potřeby

3.2.3 Řídící a regulační jednotka [16], [21], [22]

Řídící jednotka je nedílnou součástí všech vstřikovacích lisů. Slouží k nastavování procesních parametrů pro vstřikování a programování samotného procesu. Využívá řídicí mikroprocesory, což umožňuje regulaci a optimalizaci v průběhu nebo diagnostiku po skončení procesu. Nastavování parametrů se provádí skrz komunikační rozhraní ovládacího panelu s dotykovým displejem a tlačítky, viz obr. 21, případně s externí klávesnicí. Součástí komunikačního rozhraní jsou také porty pro připojení různých přenosných medií.

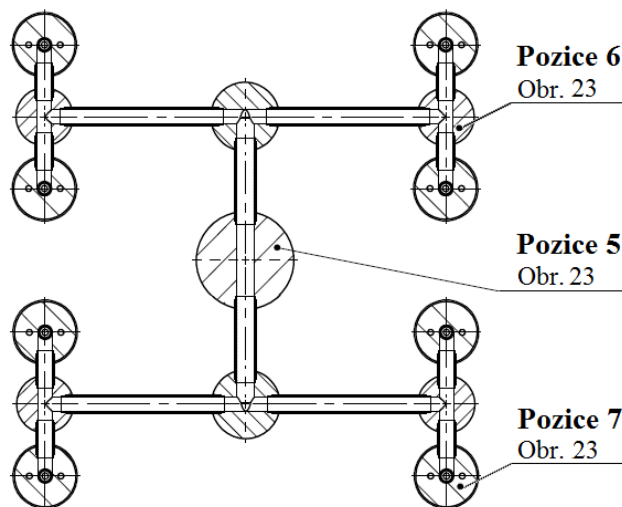
Řídící software se liší dle různých výrobců strojů. Pracovní cyklus je však ve většině případů programován v grafických sekvencích, ve kterých je snadná kontrola a případná úprava vstupních dat.



Obr. 21 Ovládací panel stroje [23]

3.3 Rozváděcí kanály – BSK [33], [34], [35]

Studené kanály neboli BSK (blok studených kanálů) jsou zařízení, které slouží k rozvádění zplatifikované směsi ze vstřikovací jednotky přímo k jednotlivým dutinám tvarů, nebo ke skupinám dutin. Vstřikovaný materiál je dopravován od vstupní trysky BSK do vstřikovacích trysek v systému trubek a rozváděcích kusů. Na obr. 22 je znázorněn průřez rozvodným systémem. Vstupní tryskou vstupuje vstřikovaný materiál do BSK. Trubky jsou s přesahem usazeny do rozváděcích kusů, které dále napájí několik vstřikovacích trysek, v tomto případě 8 trysek. Celé toto sestavení je vsazeno do vyfrézovaných lůžek montážní desky a mezidesky, viz obr. 23. Pozice na obr. 22 se vztahují k obr. 23.

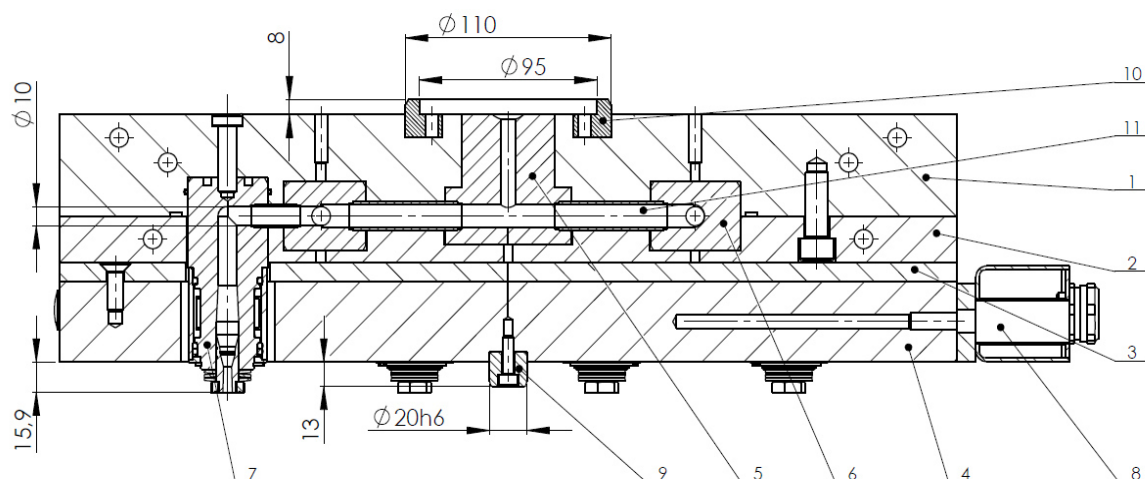


Obr. 22 Schéma rozváděcího systému

Aby vstřikovaná směs nezvulkanizovala v dutinách rozváděcího kanálu, nesmí teplota směsi přesáhnout vulkanizační hodnotu cca 85 °C. Toho je docíleno oddělením „studené“ části od topné desky izolační vrstvou (topná deska ohřívá horní desku formy na teplotu cca 180 °C). Tomu také napomáhá temperační okruh v montážní desce a mezidesce, který nejprve BSK ohřívá na provozní teplotu (teplota ve vstřikovací jednotce 70 - 80 °C) a následně BSK na této teplotě udržuje (odtud tedy název blok „studených“ kanálů). Jako temperační medium je využívána buď voda, nebo olej.

Protože rozvod směsi ke tvarovým dutinám formy je proveden v BSK, kde nezvulkanizuje, nemusí se odstraňovat rozvodný systém při každém vstřikovacím cyklu. Z čehož plyne výrazné ušetření použité směsi a zvýšení produktivity práce.

Na obr. 23 je znázorněn řez rozváděcími kanály BSK. Centrovací kroužek na pozici 10 ustavuje BSK na střed upínací desky vstřikovací jednotky. Dosedací plocha vstupní trysky má negativní tvar trysky ve vstřikovací jednotce. V zadní části BSK je umístěna elektroinstalace,



- 1 – Montážní deska, 2 – Mezideska, 3 – Izolační deska, 4 – Topná deska,
5 – Vstupní tryska, 6 – Rozváděcí kus, 7 – Vstřikovací tryska, 8 – Elektroinstalace,
9 – Centrovací čep, 10 – Centrovací kroužek, 11 – Rozváděcí trubka

Obr. 23 Řez sestavou rozváděcího kanálu

kteřá obsahuje elektrické vyústění z topných patron a tepelných čidel. Tepelné ztráty topné desky zmírňují izolační desky, umístěné na bočních plochách a pod mezideskou.

3.4 Vady při vstřikování elastomerů [26], [29], [30], [31]

Při vstřikování elastomerových směsí může nastat řada výrobních problémů (konstrukční, technologické, procesní, reologické). Většina z nich nelze zjistit dřív, než je forma vzorkována a vylisky podrobeny kontrole. Vady jsou neshody s výkresovou dokumentací a dle posouzení mohou být přípustné a nepřípustné. O jejich posouzení je diskutováno mezi výrobcem nástroje a zákazníkem.

Většinu definovaných vad lze eliminovat vyladěním procesních parametrů, některé však vznikají v důsledku kombinací různých technologických kroků a jejich odstranění je náročnější. Nejběžnější vady, jejich příčiny a odstranění jsou:

- *Smrštění a rozměrové nepřesnosti* – Při chladnutí dochází ke zmenšení vylisku a dutiny formy rozdílnou hodnotou. Smrštění je tedy definováno jako rozdíl mezi rozměry dutiny formy a konečného výrobku při pokojové teplotě. Tvarová dutina musí být zvětšena o hodnotu smrštění. Problémy však mohou nastat při dodatečném smrštění postupem času.
- *Zhrubnutí povrchu*, též označováno jako „pomerančová kůra“, viz obr. 24. Při kontaktu vstřikované směsi s horkým povrchem dutiny vznikají v malém množství připečeniny, které narůstají se vzrůstajícím počtem cyklů. Vznikají tak hrubé nerovnosti povrchu, které se projevují na výrobku. Mechanické čištění povrchu dutin probíhá až po odstavení formy a proto tyto vady vznikají při velkých sériích. Nejprve se čistí ručními nástroji (mosaznou špachtlí, brusnou vlnou) a poté pískováním. Opatřením proti těmto vadám může být snížení teploty formy, nebo častější čištění.



Obr. 24 Hrubý povrch

- *Propadliny* v okolí vtoku jsou způsobeny tepelnou roztažností po vulkanizaci. Materiál uniká do přetokového prostoru a v okolí vtoku nedostatečným objemem vznikají propadliny. Tato vada je dána hlavně materiálovými vlastnostmi směsi. Odstranění propadlin je možné snížením dotlaku.
- *Vzduchové bubliny* vznikají při nedostatečném odvzdušnění tvarové dutiny, obvykle na nejvzdálenějších místech od umístění vtoku. Eliminují se přímým odvzdušněním po naplnění dutiny, tedy rychlé (1-2 s) otevření formy s následným dotlakem. Jako např. na obr. 25. kde uvízla vzduchová bublina. Na obr. 26 je vyobrazený díl bez navrhnuté odvzdušňovací soustavy. Při soutoku vstřikovaného materiálu z obou směrů nedošlo ke spojení z důvodu přítomnosti vzduchové bubliny. Což



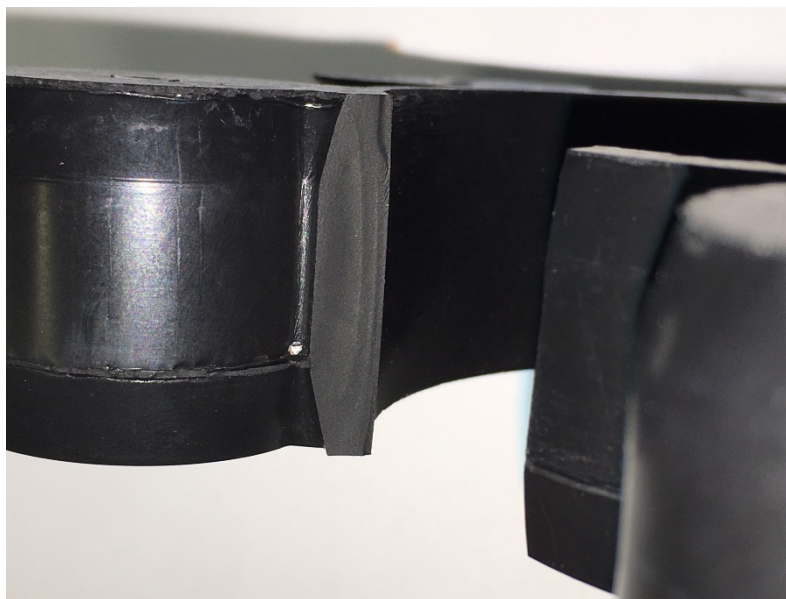
Obr. 25 Vzduchová bublina



Obr. 26 Špatné odvzdušnění dutiny

souvisí
i s následující
vadou toku.

- *Vady toku* vznikají po rozdělení proudu taveniny (např. jádry) na dva více toků a následném „spojení“. Z důvodu částečně zvulkanizované směsi v čele těchto toků nedochází k plnému spojení a provázání. Na obr. 27 je typická vada toku, kdy se materiál při soutoku nedokázal ideálně spojit a soudržně držel pouze v krajích průřezu výlisku. Opatřením proti vzniku je zvýšení rychlosti a vstřikovacího tlaku.



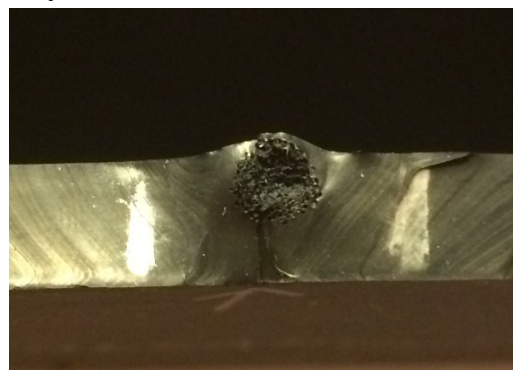
Obr. 27 Vada toku

- *Enormní přetoky* mohou být způsobeny nedostatečným uzavíracím tlakem. Důsledkem toho se při vstřikování začne forma otevírat a směs vytéká mimo tvarovou dutinu, jako na obr. 28. S tím souvisí ztráta vstřikovaného objemu a vznik propadlin. Chybou může být v konstrukčním uspořádání otisků, nebo zvýšený vstřikovací tlak. Další příčinou přetoků je nadměrná hodnota vstřikované dávky.



Obr. 28 Enormní přetoky

- *Špatná vulkanizace* je projevna vnitřní pórovitostí, viz obr. 29, v nejširším průřezu. Řeší se zvýšením doby vulkanizace a zvýšením teploty formy.



Obr. 29 Špatná vulkanizace

4 NÁVRH ŘEŠENÍ [21]

Cílem práce je konstrukční návrh vstřikovací formy pro určenou součást, tedy průchodku klimatizace, viz obr. 30. Se stavem součásti již bylo obeznámeno v první kapitole v jejím rozboru. Výchozím zadáním pro konstruktéra je tedy 3D model výrobku, obdrženy od zákazníka a další potřebné konstrukční informace:

- Materiál EPDM 60 – smrštění 2 %
- Vstřikovací stroj – Engel elast 250t horizontal
- Maximální možná násobnost formy



Obr. 30 Průchodka klimatizace

Prvním krokem před samotnou konstrukční činností je nutné posouzení technologičnosti součástí. Požadavky zákazníka jsou zhodnoceny a musí směřovat k možné a ekonomicky výhodné výrobní technologii. Případné změny jsou zpětně konzultovány se zákazníkem. Posuzovány jsou následující oblasti:

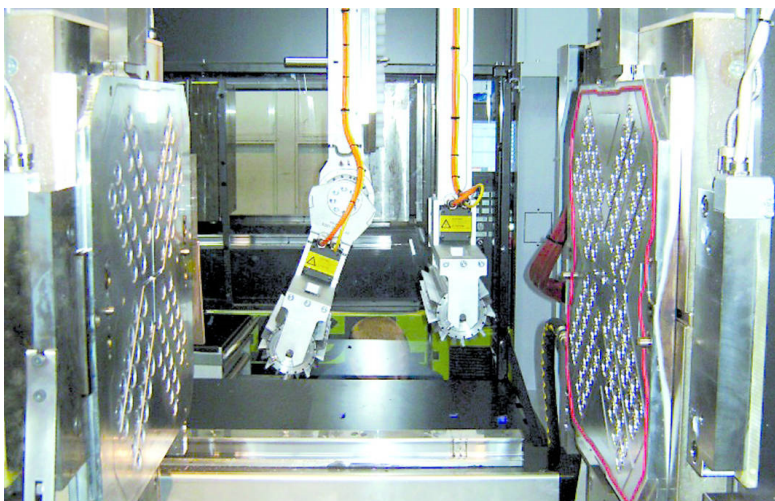
- ✚ Zaformovatelnost, násobnost a způsob plnění dutiny formy.
- ✚ Ostré hrany a rohy, které způsobují nedotečení materiálu a opotřebení nástroje.
- ✚ Tolerance výrobku z hlediska technologických možností daného materiálu.
- ✚ Vhodné umístění přetoků a vakuacní možnosti.
- ✚ Použití určitého typu rozvodného kanálu v závislosti na určeném vstřikovacím stroji.

Následuje vypracování konstrukčního návrhu formy, který vychází z procesního postupu výroby, ekonomických a konstrukčních propočtů. V průběhu řešení jsou dále propočítávány technologické a konstrukční parametry. Předběžným konstrukčním výsledkem je výkres sestavy, který je zasílán zákazníkovi. Ve většině případů jde o formální kontrolu, výjimečně se mohou dále řešit např. ergonomické prvky obsluhy stroje apod. Poté forma prochází vlastní výrobou. Po kompletní montáži je nutné hotovou formu otestovat při zkušebním procesu výroby – vzorkování. Empiricky určené procesní parametry jako např. (doba plnění, čas vulkanizace a vakuace, objem nástřiku, dotlak) nelze odhadnout zcela přesně. V závislosti na vzniku různých nedokonalostí při vzorkování jsou upravovány do stavu „dokonalé“ výroby. Výsledné seřazení stroje a technologický postup jsou při tomto zkušebním procesu výchozí pro sériovou výrobu.

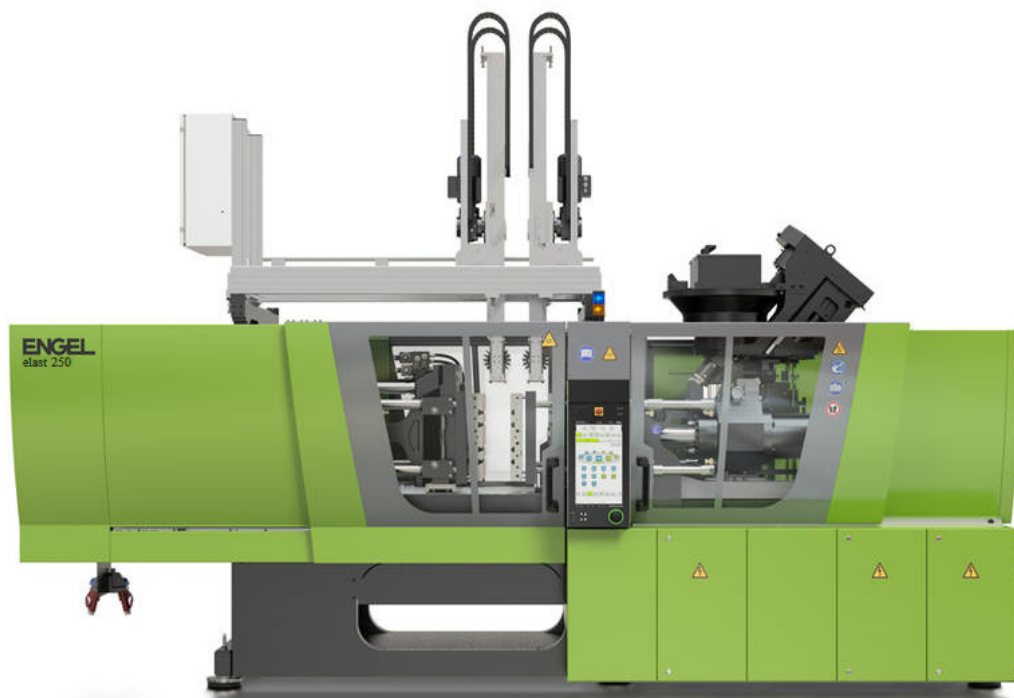
Při vzorkování je testována ve většině případů pouze funkčnost formy, způsob odformování a kvalita výrobků. Nejsou však nijak přísně uvažovány podmínky určující finanční úspornost výroby. Provozní náklady stroje a náklady na materiál mají vysokou váhu na cenu výrobku. A právě z tohoto hlediska jsou výchozí technologické parametry, důležité pro úspornou sériovou výrobu, vyladěny dále až zákazníkem.

4.1 Určené vstřikovací stroje

Sériová výroba průchodky klimatizace bude probíhat na horizontálním vstřikovacím stroji **ENGEL elast 250t** od firmy Engel, viz obr. 32. Typ stroje je přímo určený pro zpracování elastomerních směsí. Avšak horizontální stroje nejsou pro vstřikování elastomerů příliš obvyklé. Jsou voleny pro velkosériovou výrobu součástí, u kterých vzhledem k technologicky vhodným tvarovým řešením jader a vnějších ploch součástí, nepředstavuje vyjmutí výrobku z formy žádný problém. Výroba na těchto strojích probíhá plně automaticky. Výrobky jsou odformovány speciálními rotačními kartáči, které je možné vidět na obr. 31.



Obr. 31 Odformovací kartáče [24]



Obr. 32 Horizontální vstřikovací stroj ENGEL elast 250t [24]

Základní technické údaje o stroji **Engel elast 250t** jsou uvedeny v tabulce 3:

Tab. 3 Technické parametry stroje [36].

Vstřikovací jednotka	Značka	jednotka	hodnota
<i>Max. vstřikovací kapacita</i>	V_k	cm ³	800
<i>Max. vstřikovací tlak</i>	p_v	bar	2000
<i>Max. otáčky šneku</i>		ot/min	160
<i>Max. krouticí moment</i>		Mm	1250
<i>Účinná délka šneku</i>		L/D	10
<i>Průměr šneku</i>		mm	50
<i>Průměr vstřikovacího pístu</i>		mm	106
Uzavírací jednotka			
<i>Uzavírací síla</i>	F_u	kN	2500
<i>Minimální výška formy</i>	h_{min}	mm	400
<i>Rychlost otevírání</i>		mm/s	250
<i>Upínací deska</i>		mm	600x600
<i>Velikost topné desky</i>		mm	600x600
<i>Výška topné desky</i>		mm	95
<i>Topný výkon</i>		kW	15
<i>Počet topných zón</i>		-	4
Celkové rozměry stroje			
<i>Délka</i>		m	5,5
<i>Šířka</i>		m	1,6
<i>Výška</i>		m	3,9

Pro vzorkování vlastní nástrojařská firma několik vstřikovacích lisů od různých výrobců. Vzhledem k tomu jsou rozšířeny možnosti testování forem odlišných konstrukcí.

V ideálním případě by mělo vzorkování probíhat přímo na stroji určeném pro sériovou výrobu. Protože zákazník nepůsobí na území České republiky a ani nástrojařská firma nevlastní stejný typ stroje, je nutné provést zkušební provoz formy na stroji podobném.

Zvolen byl **ENGEL elast 400t**, viz obr. 33.

Kromě odlišnosti ve směru působení uzavírací jednotky, ostatní parametry stroje vyhovují pro testování navrhované formy.

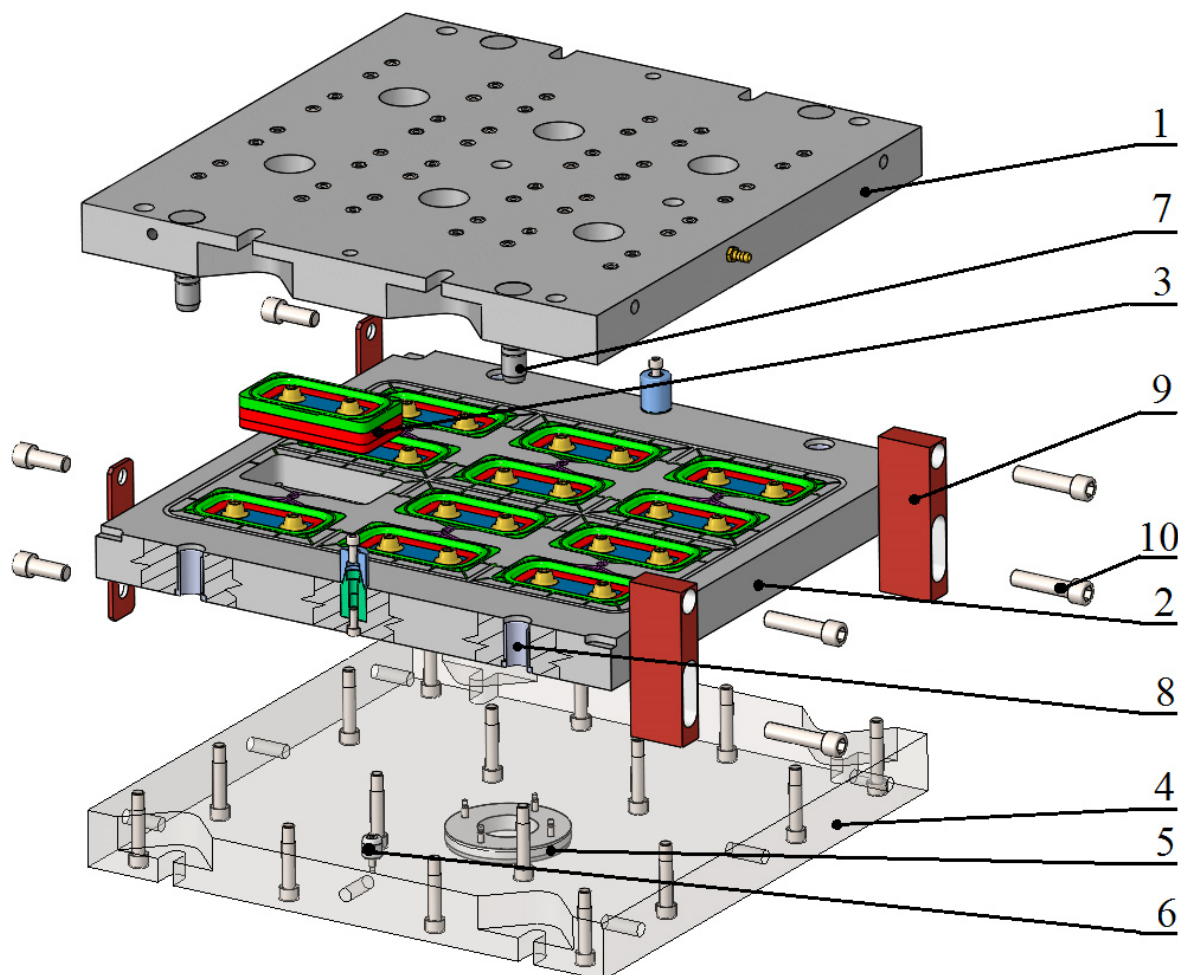


Obr. 33 ENGEL elast 400t [24]

4.2 Konstrukční řešení formy

Při navrhování formy je snahou využívat co nejvíce normalizovaných dílů. Nicméně rozšířenost normálí forem pro elastomerní směsi není zdaleka tak široká jako u forem pro vstřikování termoplastů, které jsou skládány v podstatě jako stavebnice.

Sestava konstrukce, viz obr. 34, je složena z horní a spodní kotevní desky, ve kterých jsou usazeny vložky s tvarovým profilem výrobku. Dále z distanční desky, centrovacího kroužku, ustavovacích čepů, vodících čepů, kluzných pouzder, transportních třmenů a spojovacích součástí.

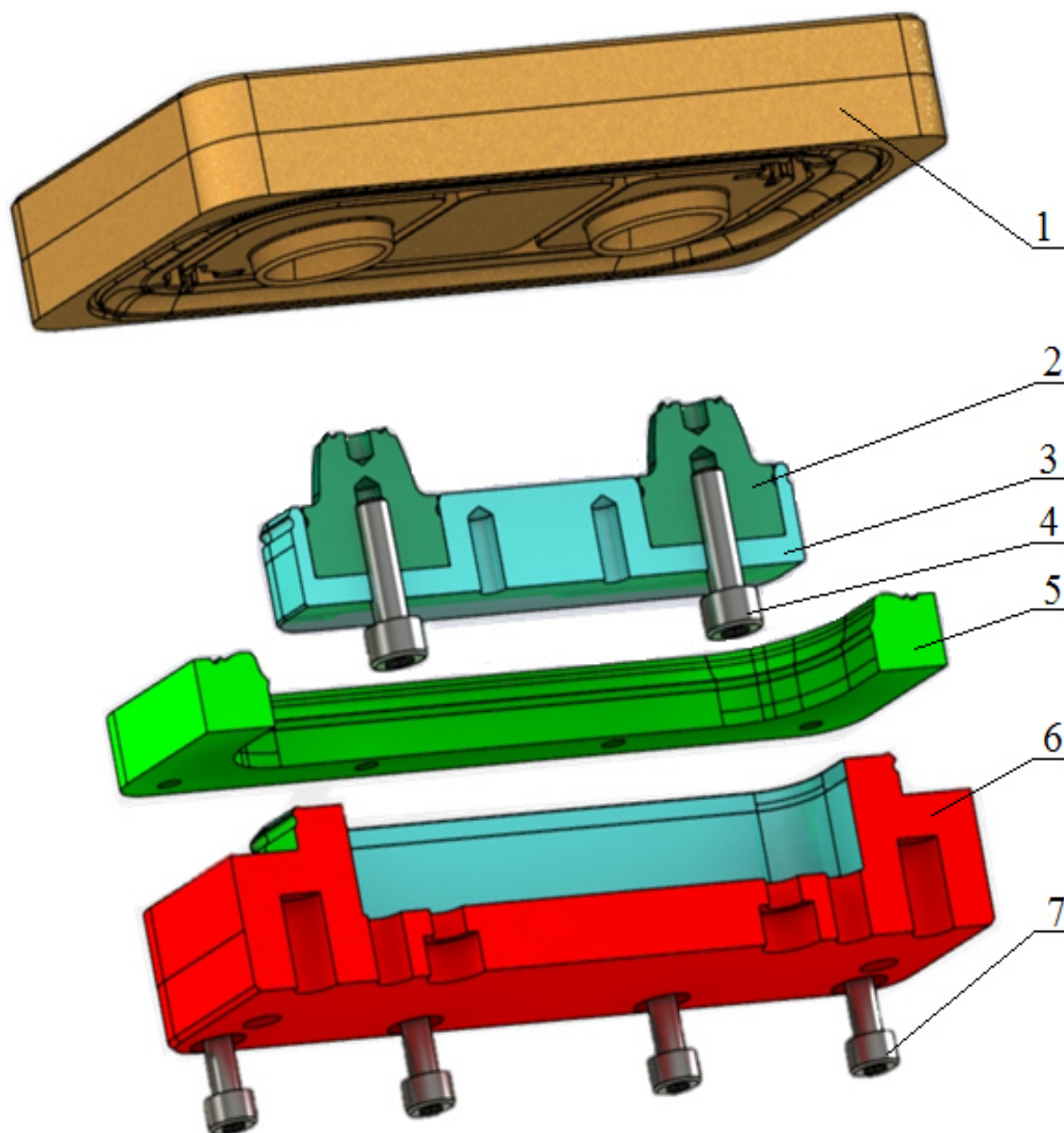


1 – Horní kotevní deska, 2 – Spodní kotevní deska, 3 – Sestava vložek,
4 – Distanční deska, 5 – Centrovací kroužek, 6 – Ustavovací čep, 7 – Vodící čep,
8 – Kluzné pouzdro, 9 – Transportní třmen, 10 – spojovací součásti

Obr. 34 Rozložená sestava formy

Distanční deska slouží k uchycení formy do stroje a dále zvyšuje celkovou výšku formy. Vzhledem k sevření stroje musí být minimální výška formy 300 mm. Centrovací kroužek, jak z názvu napovídá, centruje formu na střed upínací desky stroje. Normalizované vodící čepy a kluzná pouzdra zajišťují přesné přímočaré vedení při otevírání formy. Transportní třmeny zajišťují spojení mezi horní a spodní kotevní deskou při přepravě instalaci do stroje. Jako spojovací součásti jsou výhradně používány imbus šrouby s vnitřním šestihranem.

Na obr. 35 je znázorněna sestava vložek, jejíž dutina tvoří negativ výsledného tvaru vstřikované součásti, zvětšený o hodnotu smrštění po ztuhnutí (u této vstřikované směsi se jedná o smrštění 2 %). Sestava je rozdělena dělicí rovinou na spodní a horní část. Spodní je tvořena dvěma vnějšími vložkami a jednou vnitřní, ve které jsou usazené dvě pravé jádra. Toto komplikované dělení je navrženo z důvodů usnadnění výroby. Celek je pak uložen ve spodní kotevní desce. Horní část tvoří pouze jedna vložka, uložená v horní kotevní desce.



1 – Horní vložka, 2 – Jádro, 3 – Spodní vložka vnitřní, 4 – Šroub M6, 5 – Spodní vložka vnější, 6 – Spodní vložka upínací, 7 – Šroub M5

Obr. 35 Rozložený stav sestavy vložek

Jádra jsou skrz spodní vnitřní vložku přišroubovaná šrouby M6 ke spodní vložce upínací, tím je zároveň zajištěna pozice vnitřního kusu. Spodní vnější vložka je uchycena osmi šrouby M5 k upínací desce. Stejně jako kompletní spodní celek tak i horní vložka jsou v kapsách kotevních desek upevněny pomocí čtyř šroubů M8.

4.2.1 Materiály formy [25], [26]

Vstřikovací forma je vyrobena z mnoha různých materiálů, dle kterých se z velké části odvozuje její cena. Funkční části, které se dostávají do kontaktu se vstřikovanou směsí, jsou namáhány na tlak a u některých směsí i na abrazivní účinky. Na konstrukční součásti (např. centrovací čepy a kroužky, opěrná tělesa, manipulační madla) působí naopak namáhání na otláčení a koroze. O volbě použití různých materiálů rozhoduje:

- velikost série,
- vstřikovaný materiál,
- podmínky používání nástroje,
- požadované fyzikální a mechanické vlastnosti
- cena,
- obrobitelnost.

Oceli představují převážnou skupinu materiálů, ze kterých je forma složena. Jejich široký výběr je zúžen na několik málo druhů, které jsou vhodné ke konstrukci. U normalizovaných součástí volí materiál výrobce, zaručující se jejich správnou funkcí. Pro výrobu kotevních desek a tvarových dutin, které jsou nejvíce mechanicky namáhány, jsou používány nástrojové oceli. Kotevní a distanční desky tvoří většinový objem formy, mají tak na celkovou cenu formy vysoký vliv.

Materiál desek byl zvolen jeden z levnějších, avšak s vyhovujícími požadovanými vlastnostmi, tedy **1.1730** (podle ČSN 19 083). Více namáhané tvarové vložky a jádra jsou vyráběny z oceli **1.2312**. Pro ostatní konstrukční součásti typu opěrného bloku, transportních třmenů, centrovacího kroužku apod. jsou voleny konstrukční oceli dle ČSN **11 373**. V případě centrovacího kroužku, který musí být tepelně zpracován kalením, je materiál volen dle ČSN **12 050**. Nejběžnější používané materiály jsou uvedené v tabulce 4 a 5.

Dále jsou často používané nekovové materiály s účelem tepelné izolace, které jsou umístěny na vnějších plochách formy, nebo mezi BSK a topnou deskou. Nejběžněji se využívají materiály na bázi vyztužených reaktoplastů, skelnou tkaninou, např. sklotextil. V úvahu bylo také použití izolačních desek pro řešenou formu, ale při stávajících rozměrech desek by se nevešla do upínacího prostoru stroje.

Tab. 4 Materiál 1.1730 [27].

Charakteristika:	Uhlíková nástrojová ocel, vyznačující se vysokou houževnatostí a odolností proti kalícím teplotám. Dále se ocel vyznačuje dobrou obrobitelností v žíhaném stavu.
Vhodnost použití:	Pro nástroje k obrábění dřev, kalené součásti forem např. základové desky, sloupky, dorazy.
Tvrдость po zušlechťení:	Max. 58 HRC

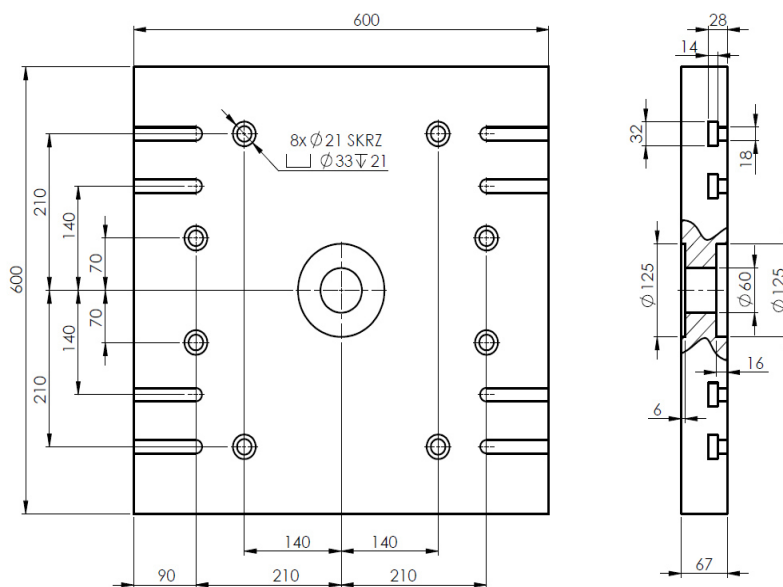
Tab. 5 Materiál 1.2312 [28].

Charakteristika:	Legovaná nástrojová ocel ke kalení na vzduchu s velmi dobrou prokalitelností. Dobrá stálost pevnosti za tepla. Dobře obrobitelná jak ve stavu žíhaném na měkko, tak i ve stavu
Vhodnost použití:	Nástroje pro zpracování umělých hmot. Pro namáhané formovací rámy a tvarové vložky.
Tvrдость po zušlechťení:	Max. 51 HRC

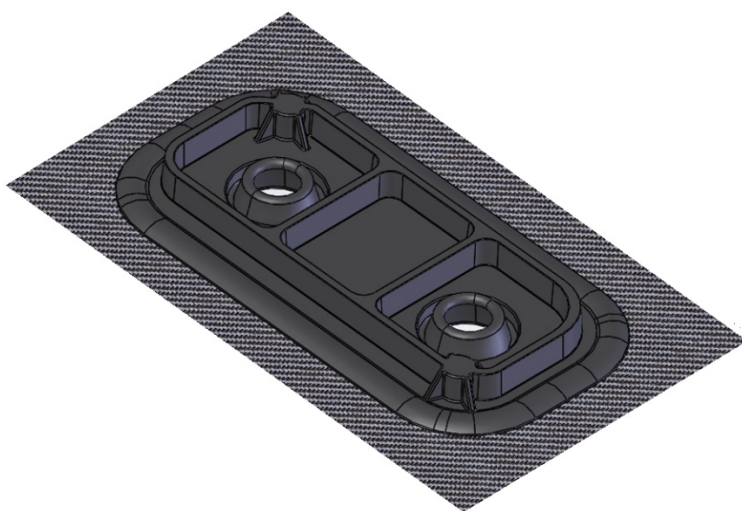
4.2.2 Konstrukční a technologické prvky [19], [25]

Na počátku návrhu vstřikovací je zásadní rozměr upínací jednotky určeného (zvoleného) stroje, ze kterého vychází rozměry desek formy. Pro výrobu dané součásti byl určen stroj ENGEL 250t, s rozměry topné desky 600x600 mm, viz obr. 36. Formát desek formy byl tedy zvolen stejný, aby byla vyplněna celá plocha a zároveň forma nepřesahovala přes okraje. Navíc zvolený formát desek je běžně dostupný v požadovanými tolerancích.

Jak je možno vidět na obr. 34 upínání spodní kotevní desky formy je řešeno pomocí šroubů a T matic do drážek topné desky, která je součástí stroje a k uzavírání jednotce je uchycená osmi šrouby M20.



obr. 36 Topná deska stroje



obr. 37 Izometrický pohled na dělicí rovinu

Následuje důležitý konstrukční krok, a to volba dělicí roviny součásti. Dělicí rovinu je nutno volit s ohledem na výrobitelnost tvarových vložek, vhodné vyjmutí výrobků z dutiny a optimální průběh plnění (tedy takové umístění, aby v každé polovině součásti byl ideálně stejný objem vstřikovaného materiálu).

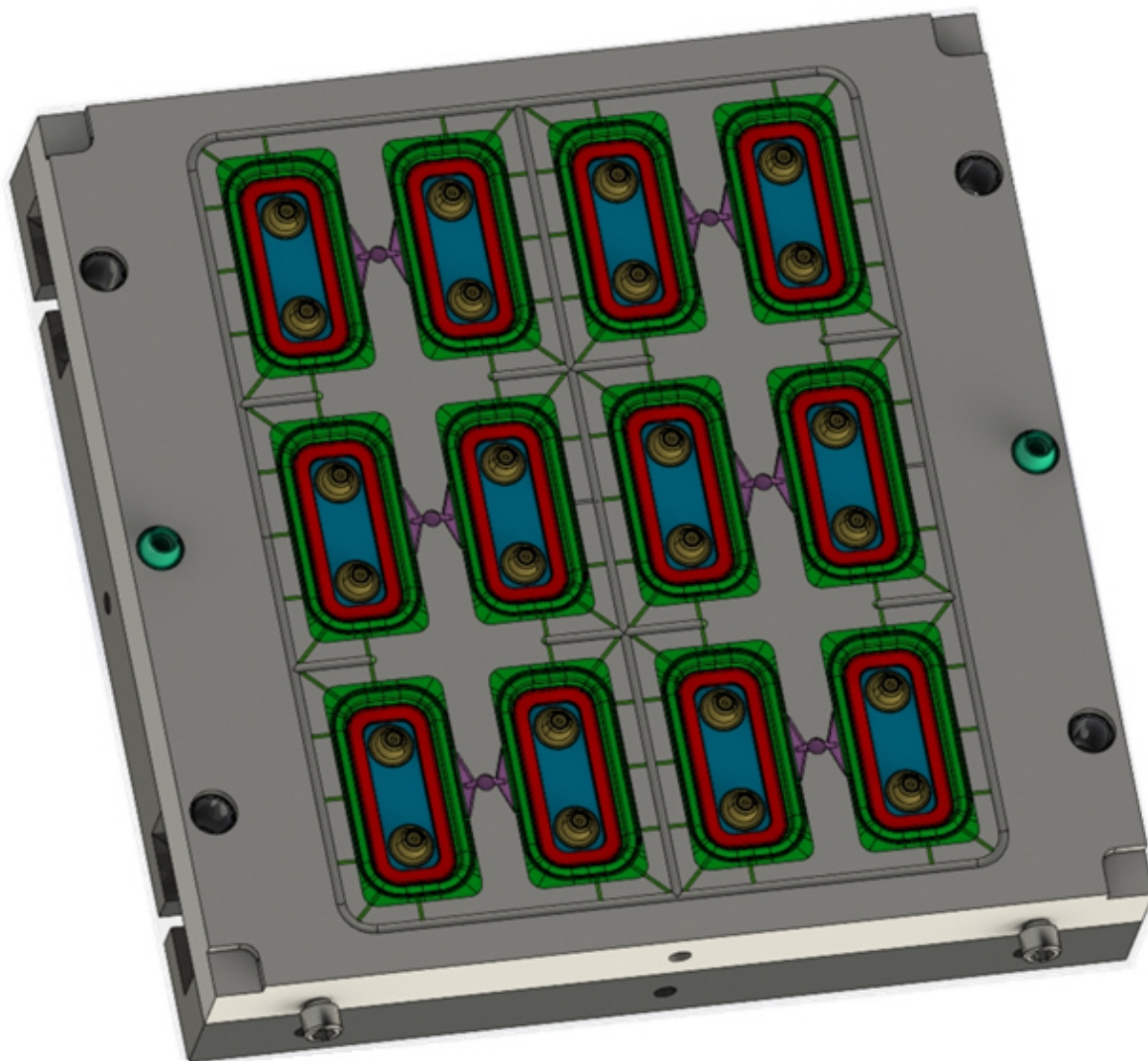
Zvolená dělicí rovina, která je znázorněna v izometrickém pohledu na obr. 37 a v příčném řezu na obr. 38, je umístěna ve středu součásti na nejvzdálenějším tečném bodě.



obr. 38 Dělicí rovina v příčném řezu

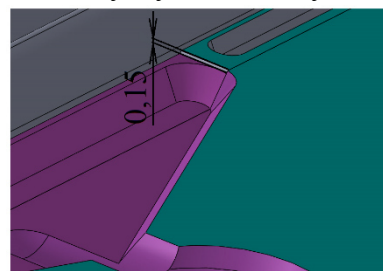
Mezi základními požadavky zákazníka, kvůli zvýšení výrobní série, byl maximální počet tvarových otisků. Se zvyšující se násobností formy přímo úměrně roste hospodárnost výroby. Avšak v určitých případech může zvýšení násobnosti na maximum s sebou nést jistá rizika. Při kriticky malé vzdálenosti dutiny od kraje formy nemusí uzavírací síla stačit k hermetickému uzavření. Důsledkem toho nastávají vady u krajních výlisků, např. ve zvýšení tloušťky dělicí roviny, které dále znemožní snadné odtrhnutí přetokového odpadu.

Na obr. 39 je znázorněné pravidelné rozmístění dvanácti otisků. Nelze s jistotou vyloučit možný stav popisovaného problému. Minimální vzdálenosti dutin od kraje nejsou pevně stanoveny, protože závisí na mnoha různých okolnostech. Např. na velikosti dutiny nebo velikosti uzavírací síly stroje. Ve většině případů, jakož i u tohoto řešeného návrhu, je nutné posouzení zkušeného konstruktéra.

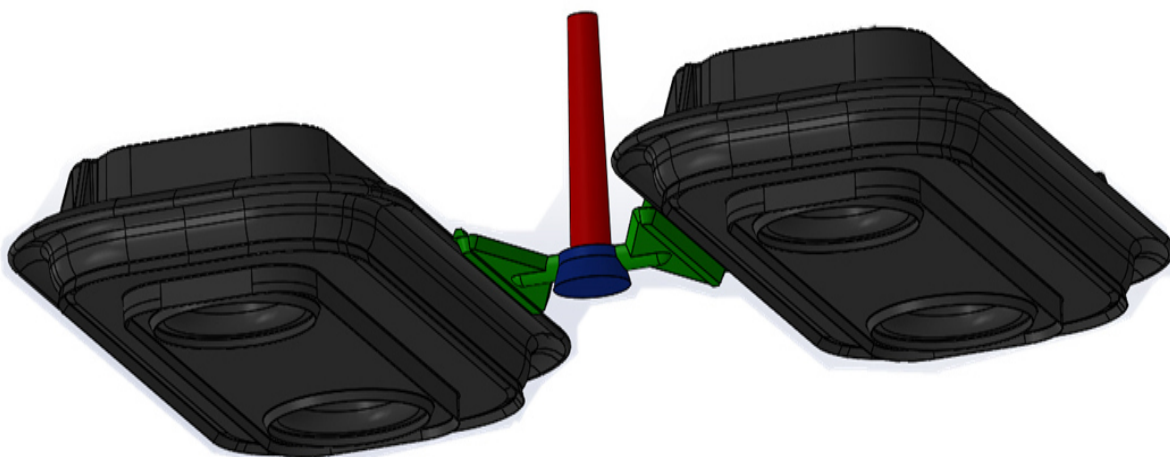


Obr. 39 Rozmístění tvarových dutin

V důsledku použití šestitryskového rozváděcího kanálu je vtokový systém formy, viz obr. 41, řešen jako dvojnásobně symetrické uspořádání. Z jednoho vtokového kanálu jsou tedy plněny dvě dutiny otisku. Je důležité, aby rozvodné kanálky byly co nejkratší a ke všem dutinám stejně dlouhé (zajištění stejných tlakových podmínek). Ústí vtoku je umístěné do dělicí roviny a řešeno deltovým provedením s ústící mezerou 0,15 mm. Viz obr. 40.

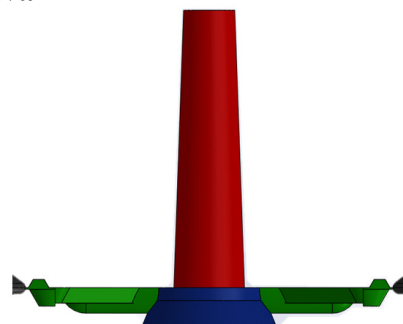


Obr. 40 Ústící mezeru



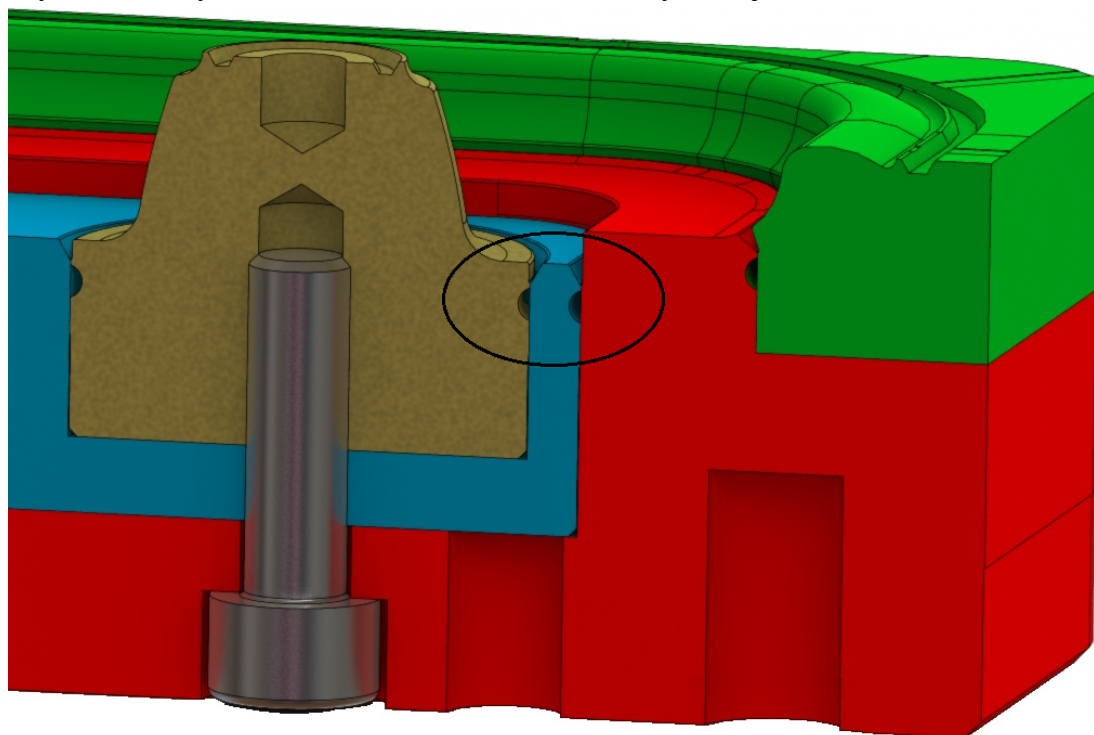
Obr. 41 Vrtková soustava

Pod vrtkovým kanálem je tzv. vytahovák, viz detail obr. 42. Modře znázorněná část má tvar komolého kužele, která brání v pohybu ztuhlého materiálu. Při otevření formy dojde k utržení vrtkového kužele v nejužším místě, tedy v místě ústí trysky BSK. Tím je zachována celistvost vrtkové soustavy, čímž nevznikají problémy s odstraňování vstřikovaného materiálu při následujících cyklech.



Obr. 42 Detail vytahováku

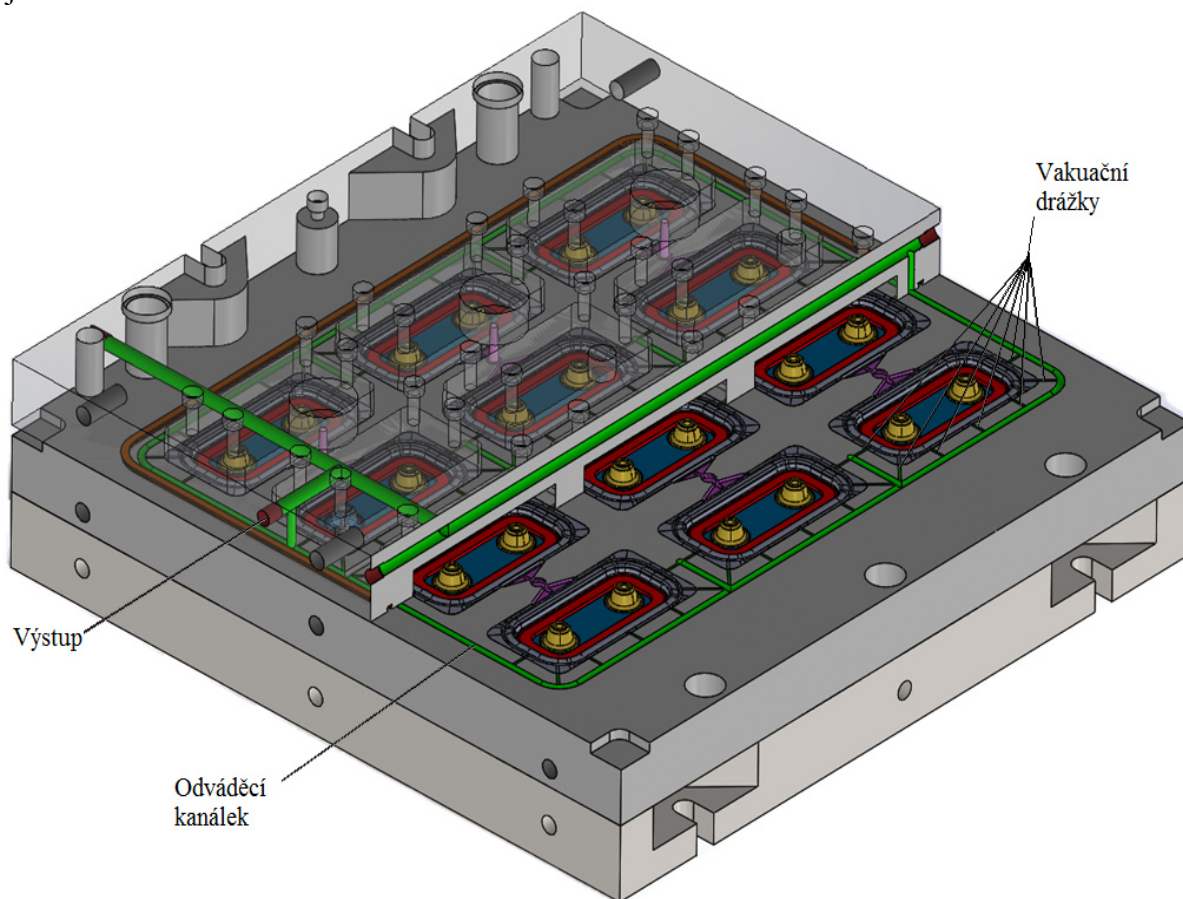
Další zajímavý konstrukční prvek je znázorněn na obr. 43. Černým kroužkováním jsou zvýrazněny falešné přetoky po obvodu tvarových vložek. Při prvním zástřiku jsou tyto dutinky zaplněny vstřikovaným elastomerem a slouží v dalších cyklech jako dokonalé těsnění.



Obr. 43 Falešné přetoky

Důležitý konstrukční prvek pro snadnější montáž je odlehčení vložek, které je možné vidět na obr. 43, konkrétně u spodní upínací vložky (červená součást). Odlehčení představuje pás odebraného materiálu na vnější ploše vložky o hloubce 0,05 mm a výšce 10 mm.

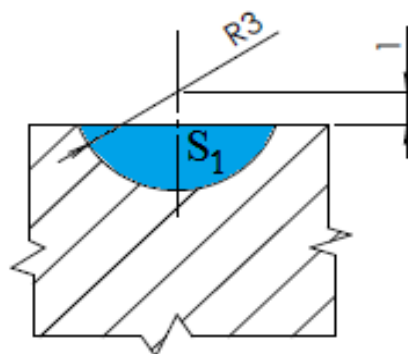
Před nástřikem do tvarových dutin formy je nutné odstranit veškerý vzduch, který je v nich obsažen. Při vstřikování elastomerů se toho dosahuje vakuačním odvodem. Čím vyšší je vstřikovací tlak, delší doby plnění a větší velikost dutiny, tím účinnější musí být odvod vzduchu. Vakuace probíhá bezprostředně před samotným nástřikem a po celou dobu plnění. Doba vakuace se volí v řádech jednotek sekund v závislosti na velikosti nástřiku a násobnosti formy. Pro řešenou součást byla tato doba stanovena na 6 sekund. Při nedostatečném odvodu vzduchu z dutin vznikají vady v podobě bublin, nedokonalého vyplnění dutiny a studených spojů.



Obr. 44 Vakuační soustava

Základem je správný návrh vakuační soustavy, zavedený na povrchu spodní kotevní desky a vně horní desky, který je znázorněn zelenou barvou na obr. 44. Komplettní vakuovaná oblast je utěsněná pryžovým těsněním (na obr. 44 vyznačené hnědou barvou). Zbýlý vzduch v dutině je tlačěn před sebou vstřikovaným materiálem. Vakuační drážky propojují prostor dutiny s odváděcími kanálky. Pro dokonalý odvod by měly být tyto drážky umístěny na nejvzdálenějších místech od vtoku a v oblasti konce dráhy materiálového toku. Nemělo by také docházet ke vzniku přetoků, způsobených právě vakuačními drážkami. Z tohoto důvodu se volí jejich výška co nejmenší, obvykle 0,02 – 0,05 mm podle typu vstřikovaného materiálu. Šířka je volena libovolně, v řádu jednotek milimetrů. V tomto řešení je šířka drážky zvolená 2 mm o výšce **0,05 mm**.

Průřez odváděcích kanálků ve spodní desce, viz obr. 45, je volen s ohledem na snadnou výrobu. Základem je však, aby plocha průřezu byla větší než součet ploch průřezů



Obr. 45 Tvar průřezu odváděcího kanálku

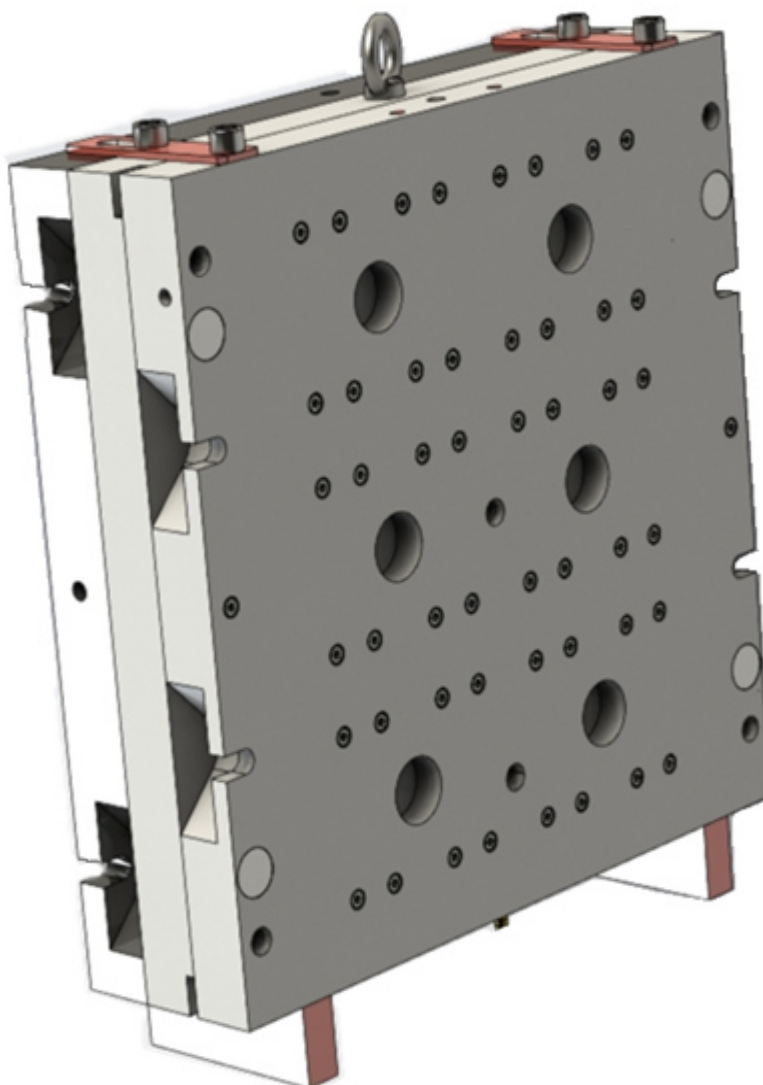
všech vakuačních drážek. Pro kontrolu lze porovnat plochu S_1 a součet všech ploch drážek dle vztahu:

$$S_1 \geq \frac{\sum S_2}{2} \Rightarrow S_1 \geq \frac{n \cdot e \cdot S_2}{2} \quad [-], \quad (4.1)$$

- kde: S_1 [mm²] - plocha průřezu rozváděcího kanálku
- hodnota zjištěna pomocí softwaru Solidworks $S_1 = 8,25$ mm²
 S_2 [mm²] - plocha vakuační drážky; $S_2 = 2 \cdot 0,05 = 0,1$ mm²
 n [-] - násobnost formy
 e [-] - počet drážek u každé dutiny

$$8,25 \geq \frac{12 \cdot 7 \cdot 0,1}{2} = 4,2 \quad [-]$$

Plocha S_2 vyhovuje dané podmínce s téměř dvojnásobnou rezervou. Součet ploch S_2 je dělen dvěma z důvodů dvou svislých otvorů $\varnothing 6$ mm na každé straně. Přes tyto dva otvory vzduch odchází vrtanými kanály $\varnothing 10$ mm v horní desce a následně výstupem ven z formy.



Obr. 46 Vstřikovací forma – pracovní pozice

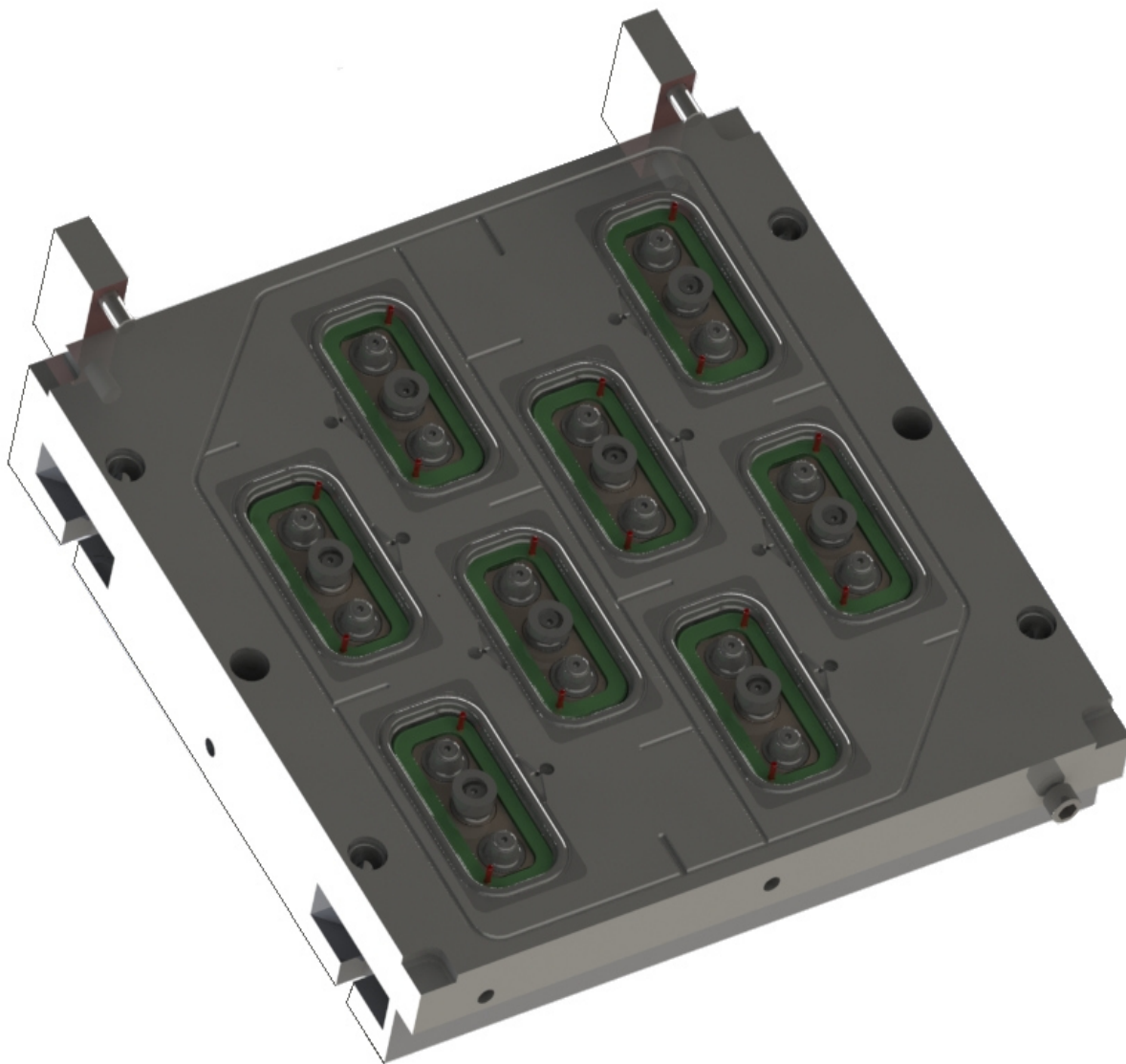
Pro manipulaci s formou, zejména při zvedání jeřábem, je využíván šroub s okem, viz obr. 46, umístěný na horní ploše v ose těžiště. Při jiné manipulaci např. montáži a demontáži,

jsou používány montážní závity na bocích formy. Upínání formy ve stroji je řešeno pomocí šroubů a T matic. Vybrání v rozích desek usnadňuje demontáž formy.

4.3 Porovnání výsledného řešení

Návrh řešené součásti průchodky klimatizace vychází z předešlého řešení, ve kterém se jednalo o součást velice tvarově podobou, ale ne stejnou. Na přání zákazníka byla zvýšena násobnost formy z osmi na dvanáct otisků, viz obr. 47 - původní řešení. Za podmínky použití stejného vstřikovacího stroje, tedy horizontální Engel 250T. Což byla komplikace, protože už původní návrh měl maximální rozměry desek vzhledem k rozměrům upínací desky stroje.

Nově řešená součást však byla na přání zákazníka zmenšena a díky jinému uspořádání tvarových dutin se navýšení za daných podmínek zdařilo. Jiné rozmístění dutin s sebou neslo i další výhody, např. použití šestitryskového kanálu BSK na místo původního osmitryskového. Osmitryskový BSK je o něco cenově nákladnější, ale hlavně důsledkem nižšího počtu vtokových ústí, bude úspora na vstřikovaném materiálu. Kvůli jinému rozmístění dutin musel být také přepracovaný vakuacní systém.



Obr. 47 Původní konstrukční řešení

4.4 Technologicko-konstrukční kontrolní propočty

Dle zvolených technologických parametrů formy je nutné provést kontrolní výpočty určeného vstřikovacího stroje. Data pro potřeby výpočtů byly získány pomocí softwaru Solidworks.

a) Stanovení kontroly vstřikovací kapacity stroje dle podmínek:

$$V_k > V_d \Leftrightarrow \frac{V_d}{V_k} \cdot 100 \leq 90 [\%], \quad (4.2)$$

kde: V_k [cm³] - vstřikovací kapacita stroje; $V_k = 800$ cm³
 V_d [cm³] - vstřikovaná dávka včetně rozváděcího systému;
- $V_d = 717$ cm³

$$800 > 717 \Leftrightarrow \frac{717}{800} \cdot 100 = 89 \%$$

Kapacita vstřikovací jednotky stroje je větší jako objem vstřikované dávky, což umožňuje provoz formy na zvoleném stroji.

b) Porovnání hodnot vstřikovacího tlaku stroje a zvoleného vstřikovacího tlaku dle podmínky:

$$p_v > p_{vs}, \quad (4.3)$$

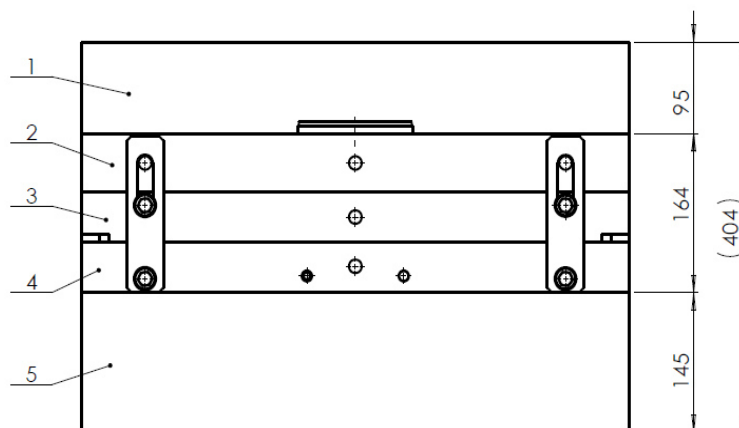
kde: p_v [bar] - maximální vstřikovací tlak stroje; $p_v = 2000$ bar
 p_{vs} [bar] - zvolený vstřikovací tlak pro řešenou součást; $p_{vs} = 200$ bar

$2000 > 200 \Rightarrow$ Zvolený vstřikovací tlak vyhovuje s velkou rezervou pro daný stroj.

c) Kontrola minimální výšky formy h_{min}

Při maximálním sevření uzavírací jednotky je mezi spodní a horní upínací deskou stroje vzdálenost 300mm, viz příloha 1. Tato hodnota stanovuje minimální výšku formy h_{min} . Ačkoliv je spodní topná deska součástí stroje, do této veličiny počítána není. Musí platit podmínka:

$$h \geq h_{min}, \quad (4.4)$$



1 – Topná deska stroje, 2 – Distanční deska,
3 - Spodní kotevní deska, 4 – Horní kotevní deska,
5 - Rozváděcí kanál
Obr. 48 celková výška formy

kde: h [mm] - výška formy
 h_{min} [mm] - minimální výška formy, $h_{min} = 300$ mm

$$404 \geq 300$$

Výsledná výška formy **h**, viz obr. 48, je dána součtem výšek topné desky stroje, distanční desky, spodní a horní kotevní desky a rozváděcího kanálu. Celková výška $h = 404\text{mm}$ tak vyhovuje podmínce minimální výšky.

d) Výpočet teoretické uzavírací síly dle vztahu (3.1) a porovnání s možností parametru stroje

$$F_u' = \frac{p_{vs} \cdot A_{proj} \cdot n \cdot 1,1}{100} \quad [kN],$$

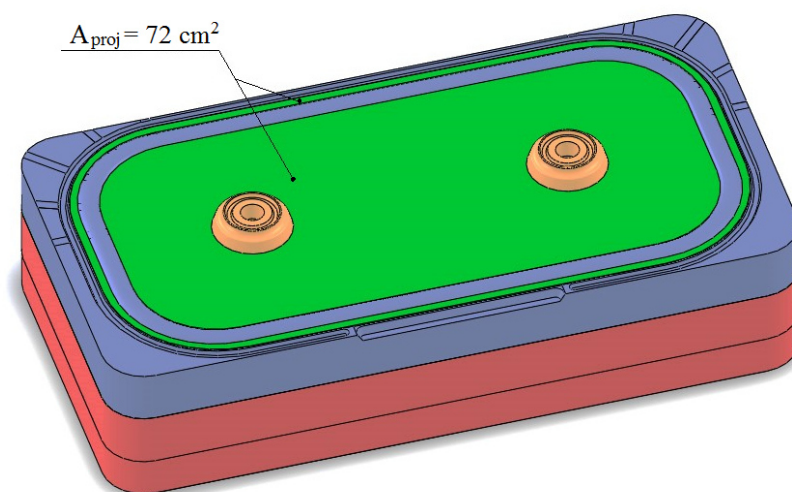
kde: $A_{proj} [\text{cm}^2]$ - projekční plocha tvarové dutiny do dělicí roviny formy
- dle výpočtu ze softwaru Solidworks $A_{proj} = 72 \text{ cm}^2$, viz obr. 49

$n [-]$ - násobnost formy

$$F_u' = \frac{200 \cdot 72 \cdot 12 \cdot 1,1}{100} = 1901 \text{ kN}$$

Celková projekční plocha

$$\begin{aligned} S &= n \cdot A_{proj} \\ S &= 12 \cdot 72 = 864 \text{ cm}^2 \end{aligned} \quad (4.5)$$



Obr. 49 Projekční plocha v dělicí rovině

$$F_u > F_u', \quad (4.6)$$

kde: $F_u [\text{kN}]$ - maximální uzavírací tlak stroje

$$2500 > 1901$$

Podmínka porovnání spočítané hodnoty uzavírací síly a maximální uzavírací síly stroje je splněna s dostatečnou rezervou.

Aby nedošlo k otevření formy působením vstřikovacího tlaku, musí být uzavírací tlak větší. V přepočtu uzavírací síly 1901 kN působící na celkovou projekční plochu 864 cm², je teoretická hodnota uzavíracího tlaku $p_u' = 220$ barů. V praxi je však tato hodnota volena ze zkušeností ještě vyšší, a to $p_u = 250$ barů viz tab. 6. Při zvoleném vstřikovacím tlaku $p_{vs} = 200$ barů, vyhovuje uzavírací tlak stanovené podmínce.

5 Návrh technologického postupu

Počátkem procesu je příprava formy pro vstřikování, tzn. upínání do pracovního prostoru stroje, kontrola měsíční datumovky a zahřívání na procesní teplotu dle seřizovacího listu. Následně obsluha nastaví další potřebné procesní parametry, viz seřizovací list tab. 6.

Vstupní podoba surovinné směsi je ve formě pásů, které jsou dodávány od dodavatele o požadované hmotnosti. Obsluha stroje vkládá pás pouze na začátku, rotující šnek si dále materiál po celé délce pásu podává automaticky sám. Před použitím materiálu je nezbytně nutná kontrola životnosti a datum dodání od dodavatele.

Tab. 6 Seřizovací list

SEŘIZOVACÍ LIST	Součást:	Průchodka klimatizace
	Materiál:	EPDM 60
	Objem nástřiku:	717 cm ³
	Násobnost formy:	12
Stroj:		Engel 250t
Technické parametry:		
Uzavírací síla:		2500kN
Vstřikovací kapacita:		800
Procesní parametry	Značka	Nastavené hodnoty
Teplota horní topné desky	[°C]	<180;185>
Teplota spodní topné desky	[°C]	<180;185>
Teplota BSK	[°C]	<70;80>
Teplota vstřikovací jednotky	[°C]	<70;80>
Teplota šneku	[°C]	65
Čas vulkanizace	[min]	2,5
Uzavírací tlak	p _u [bar]	250
Vstřikovací tlak	p _{vs} [bar]	200
Čas nástřiku	[s]	<18;25>
Čas cyklu	[min]	-
Čas vakuace	[s]	<6;10>
Teplota odformování	[°C]	185
Tlak dotlaku	[bar]	150
Čas dotlaku	[s]	<1;3>

Primárně jsou zadávány nižší hodnoty teplot a tlaků. Při náznačce vad v podobě vzduchových bublin či nedostatečné vulkanizaci je nutné nejprve zvýšit teplotu na spodní topné desce a poté i na horní. V případě vzduchových vad ve výrobcích je nutné přikročit k přímému odvětrání formy. 2 až 5 s po naplnění dutiny formy 60% rychlostí otevřít formu po dráze 1 mm po dobu 1 s.

Průběh vstřikování probíhá automaticky, odformování zajišťují dva rotační kartáče. Hrubé výlisky padají do přepravního boxu, umístěného pod formou. V dalším kroku pracovníci odstraní výlisky od přetoků a vtokových systémů, popřípadě jemně začistí dělicí rovinu.

Vzniklý odpadní materiál již nemůže být znovu použit ke vstřikování (z důvodů nevratného vulkanizačního procesu), ale své využití nalezne v oblastech stavebnictví jako izolační složka.

6 ZÁVĚR

Ke správnému a funkčnímu návrhu nástroje (vstřikovací formy) a technologického postupu je nutné vycházet nejen z teoretických znalostí problematiky zpracování elastomerů, ale i z praktických empirických poznatků. K tomu byla rozvedena teoretická rozprava a praktické znalosti o technologii vstřikování elastomerů.

Zadaná součást byla průchodka klimatizace z materiálu EPDM, který je běžně používán při zpracování technologií vstřikování. Dle zadaného 3D návrhu výrobku, materiálových vlastností a stroje ENGEL elast 250T, byl vypracován rámcový konstrukční návrh nástroje a technologický postup výroby. Výsledkem konstrukčního návrhu je výkres sestavy.

Navržené řešení bylo porovnáno s výchozím, ze kterého vzešlo navýšení násobnosti z osmi na dvanáct tvarových otisků a tedy zvýšení produktivity práce.

Na závěr byly provedeny technologicko-konstrukční propočty pro kontrolu správné konstrukce a vhodnosti použití určeného stroje. Posledním krokem byl samotný návrh technologického postupu včetně seřizovacího listu stroje s procesními parametry.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ [38]

1. KRATOCHVÍL, Bohumil, Václav ŠVORČÍK a Dalibor VOJTĚCH. *Úvod do studia materiálů*. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická, 2005. ISBN 80-708-0568-4.
2. BRIZDALA, Jan. *E-ChemBook: Syntetické makromolekulární látky* [online]. 2012, 2016 [cit. 2016-03-19]. Dostupné z: <http://www.e-chembook.eu/synteticke-makromolekularni-latky#index>
3. DLUHOŠ, Jindřich. *Materiály a technologie: plasty a vybrané nekovové materiály*. Vyd. 3. Ostrava: Ostravská univerzita, 1998. ISBN 80-704-2131-2.
4. BĚHÁLEK, Luboš. *Polymery* [online]. 2014 [cit. 2016-03-20]. ISBN 978-80-88058-68-7. Dostupné z: <https://publi.cz/books/180/Cover.html>
5. ZEMAN, Lubomír. *Vstřikování plastů: úvod do vstřikování termoplastů*. Praha: BEN - technická literatura, 2009. ISBN 978-80-7300-250-3.
6. MACEK, Karel a Petr ZUNA. *Strojírenské materiály*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2003. ISBN 80-010-2798-8.
7. *Chemické listy* [online]. Praha: Česká společnost chemická, 1997 [cit. 2016-03-21]. ISBN 0009-2770. ISSN 0009-2770. Dostupné z: http://www.chemicke-listy.cz/docs/full/1997_01_23-29.pdf
8. Resinex - Distribuce plastů a kaučuků. *TPE – Termoplastický elastomer* [online]. 2016 [cit. 2016-03-03]. Dostupné z: <http://www.resinex.cz/polymerove-typy/tpe.html>
9. PECINA, Pavel a Josef PECINA. *Materiály a technologie - plasty*. Brno: Masarykova univerzita, 2006. ISBN 80-210-4100-5.
10. SOVA, Miloš a Josef KREBS. *Termoplasty v praxi*. Praha: Verlag Dashöfer, 2001. ISBN 80-862-2915-7.
11. ŠPAČEK, Josef. *Technologie gumárenská a plastikářská II. 2.*, Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1987.
12. LENFELD, Petr. *Technologie II* [online]. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2006 [cit. 2016-03-24]. ISBN 80-737-2037-X. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/04.htm
13. TOMIS, František. *Základy gumárenské a plastikářské technologie*. Praha: SNTL, 1980.
14. DRGA, Tomáš. *Technologické řešení vstřikovacích nástrojů s orientací na polymerní materiály: zkrácená verze Ph.D. Thesis*. [Brno: Vysoké učení technické v Brně], c2007. ISBN 978-80-214-3488-2. Disertační práce. VUT FSI.
15. Rutland plastic limited: Plastic Injection Moulding Machine. *Rutland plastic limited* [online]. 2013 [cit. 2016-03-25]. Dostupné z: http://www.rutlandplastics.co.uk/advice/moulding_machine.html

16. SEIDL, Martin. *Stroje pro zpracování polymerních materiálů* [online]. 2014 [cit. 2016-03-25]. ISBN 978-80-88058-71-7. Dostupné z: <https://publi.cz/books/181/03.html>
17. Hydraulické stroje - ARBURG. *Vstřikovací stroje* [online]. 2012 [cit. 2016-03-26]. Dostupné z: <https://www.arburg.com/cs/cz/spektrum-sluzeb/vstrikovani/vstrikovaci-stroje/hydraulicke-stroje/>
18. LENFELD, Petr. *Technologie vstřikování* [online]. 2015 [cit. 2016-04-01]. ISBN-978-80-88058-74-8. Dostupné z: <https://publi.cz/books/184/Cover.html>
19. KANDUS, Bohumil. VUT FSI. *Přednášky z Technologie zpracování plastů: HTZ*. Brno.
20. Rep injection. *High-Technology Range* [online]. [cit. 2016-04-05]. Dostupné z: http://www.repinjection.com/index.php?option=com_content&view=category&layout=blog&id=31&Itemid=129
21. BOBČÍK, Ladislav. *Formy pro zpracování plastů: sborník přednášek*. Brno: Dům techniky ČSVTS, 1985.
22. KUTA, Antonín. *Technologie a zařízení pro zpracovávání kaučuků a plastů*. Praha: VŠCHT, 1999. ISBN 80-708-0367-3.
23. Krajské centrum dalšího profesního vzdělávání a celoživotního učení: *PROGRAMOVÁNÍ VSTŘIKOVACÍHO LISU* [online]. 2016 [cit. 2016-04-14]. Dostupné z: <http://www.kcdpv.cz/programovani-vstrikovaciho-lisu/>
24. ENGEL: *Vstřikovací stroje* [online]. [cit. 2016-04-29]. Dostupné z: <https://www.engelglobal.com/cs/cz/reseni/vstrikovaci-stroje/e-motion.html>
25. ŘEHULKA, Zdeněk. *Konstrukce výlisků z plastů a forem pro zpracování plastů: polymery*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2013. ISBN 978-80-7204-833-5.
26. ŽÁK, Ladislav. *UT - FSI, Ústav strojírenské technologie - Odbor tváření kovů a plastů: Násobnost forem*. Brno, 2011. Dostupné také z: http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/cviceni_soubory/htn_tvareci_nastroje_vstrikovaci_for my_zak.pdf
27. JKZ Bučovice a.s. *Nástrojová ocel 1.1730* [online]. Bučovice, 2010 [cit. 2016-05-07]. Dostupné z: <http://www.jkz.cz/node/8>
28. JKZ Bučovice a.s. *Nástrojová ocel 1.2312* [online]. Bučovice, 2010 [cit. 2016-05-07]. Dostupné z: <http://www.jkz.cz/node/168>
29. DVOŘÁK, Zdeněk. *Vady vznikající při výrobě výrobků technologií vstřikování*. Zlín, 2013.
30. NEUHÄUSL, Emil. Vady výstřiků. In: *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2016 [cit. 2016-05-07]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/vady-vystriku-1-dil-priciny-vzniku-vad-a-studene-spoje.html>

31. JOHNSON, Peter S. *Rubber processing: an introduction*. Cincinnati: Hanser Gardner Publications, 2001. ISBN 15-699-0309-3.
32. SICO CZ S.R.O. *Doporučené hodnoty vulkanizačních teplot*. Hostim.
33. GREGOR s.r.o. *BSK – blok studených kanálů* [online]. 2010 [cit. 2016-05-16]. Dostupné z: <http://www.nastrojarna-gregor.cz/bsk-blok-studenych-kanalu/>
34. Miroslav Novák - Konstrukční kancelář. *Bloky studených kanálů* [online]. [cit. 2016-05-16]. Dostupné z: <http://mn-kk.freepage.cz/nova-stranka-155543/>
35. DUBOVSKÝ, Marek. *Rozváděcí systém, zejména pro formy vstřikovacích vulkanizačních lisů*.
36. ENGEL. *Technické parametry stroje Engel 250T*. ŐKT, Hostim.
37. Resinex - Distribuce plastů a kaučuků. *Kaučuk* [online]. 2016 [cit. 2016-05-18]. Dostupné z: <http://www.resinex.cz/polymerove-typy/natural-rubber.html>
38. *Citace PRO* [online]. 2012 [cit. 2016-05-21]. Dostupné z: <http://citace.libvutbr.cz/>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

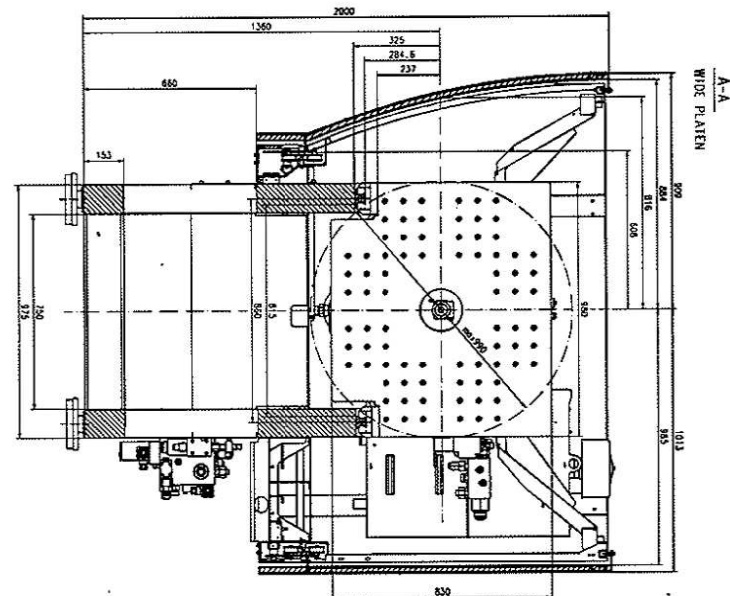
Označení	Legenda	Jednotka
A_{proj}	Celková plocha průmětu tvarové dutiny do dělicí roviny formy	$[cm^2]$
e	Počet drážek u každé dutiny	$[-]$
F_u	Uzavírací síla stroje	$[kN]$
F_u'	Teoretická uzavírací síla	$[kN]$
h_{min}	Minimální výška formy	$[mm]$
n	Násobnost formy	$[-]$
p_u	Uzavírací tlak	$[bar]$
p_u'	Teoretická hodnota uzavíracího tlaku	$[bar]$
p_v	Maximální vstřikovací tlak stroje	$[bar]$
p_{vs}	Vstřikovací tlak	$[bar]$
S_1	Plocha průřezu rozváděcího kanálku	$[mm^2]$
S_2	Plocha průřezu vakuační drážky	$[mm^2]$
T_f	Teplota tečení	$[^{\circ}C]$
T_g	Teplota skelného přechodu	$[^{\circ}C]$
T_m	Teplota tání krystalického podílu	$[^{\circ}C]$
V_d	Vstřikovaná dávka včetně rozváděcího systému	$[cm^3]$
V_k	Maximální vstřikovací kapacita	$[cm^3]$

SEZNAM PŘÍLOH

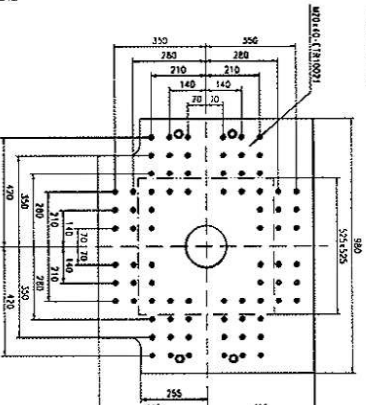
Příloha 1 Schéma výrobního stroje

SEZNAM VÝKRESŮ

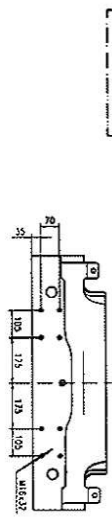
Sestava formy A2 – 24 - 00



A-A
WIDE PLATE



WIDE PLATE



1

DESIGNING HOTTEST STREAM	TYP E
500	VC 330/500, 650/180, 200, 220
500	VC 750, 1050/180, 200, 220
500	VC 1350/180, 200, 220
500	VC 1800/180, 200, 220
220	VC 440/180, 200, 220
305	VC 740/180, 200, 220
305	VC 940/180, 200, 220
405	VC 1340/180, 200, 220
405	VC 1840/180, 200, 220

MIN. WEEK ZEUCROSSE
MIN. MOLD SIZE