



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
Fakulta strojní



KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍ FORMY PRO ZPRACOVÁNÍ SILIKONŮ

Diplomová práce

Studijní program: N2301 – Strojní inženýrství
Studijní obor: 2301T048 – Strojírenská technologie a materiály
Autor práce: **Bc. Jan Král**
Vedoucí práce: prof. Dr. Ing. Petr Lenfeld





TECHNICAL UNIVERSITY OF LIBEREC
Faculty of Mechanical Engineering ■

Diploma thesis

Study programme: N2301 – Mechanical Engineering
Study branch: 2301T048 – Engineering Technology and Materials
Author: **Bc. Jan Král**
Supervisor: prof. Dr. Ing. Petr Lenfeld



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta strojní

Akademický rok: 2014/2015

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: Bc. Jan Král
Osobní číslo: S13000859
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: Strojírenská technologie a materiály
Název tématu: Konstrukce vstřikovací formy pro zpracování silikonu
Zadávající katedra: Katedra strojírenské technologie

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Rešerše stávajícího stavu v oblasti konstrukce forem pro technologii LIM (LSR).
2. Výběr dílu pro návrh vstřikovací formy.
3. Konstrukce vstřikovací formy.
4. Diskuse výsledků a závěr.

Rozsah grafických prací: **tabulky, grafy**
Rozsah pracovní zprávy: **cca 50**
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**
Seznam odborné literatury:

- [1] SOVA, M. *Termoplasty v praxi*. Praha: Verlag Dashofer s.r.o., 2004. ISBN 80-86229-15-7.
- [2] ŠAFÁŘÍK, M. *Nástroje pro tváření kovů a plastů*. 1. vydání. Liberec: VŠST v Liberci, 1987.
- [3] REES, H. *Mold Engineering*, Carl Hanser Verlag, 1995. ISBN 3-446-17729-9.
- [4] Firemní materiály.

Vedoucí diplomové práce: **prof. Dr. Ing. Petr Lenfeld**
Katedra strojírenské technologie

Datum zadání diplomové práce: **2. března 2015**
Termín odevzdání diplomové práce: **2. června 2016**


prof. Dr. Ing. Petr Lenfeld
děkan




Ing. Jaromír Moravec, Ph.D.
vedoucí katedry

V Liberci dne 2. března 2015

Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé diplomové práce a konzultantem.

Současně čestně prohlašuji, že tištěná verze práce se shoduje s elektronickou verzí, vloženou do IS STAG.

Datum: 25.5.2015

Podpis:

Anotace

Technická univerzita v Liberci

Fakulta strojní

Katedra strojírenské technologie

Oddělení tváření kovů a plastů

Studijní program: N2301 – Strojní inženýrství
Studijní obor: 2301T048 – Strojírenská technologie a materiály
Student: Bc. Jan Král
Název práce: Konstrukce vstřikovací formy pro zpracování silikonů
Construction of injection mold for treatment silicone products
Vedoucí DP: prof. Dr. Ing. Petr Lenfeld
Konzultant: Ing. Jiří Bobek Ph.D.

Abstrakt:

Cílem diplomové práce Konstrukce vstřikovací formy pro zpracování silikonů je navrhnout silikonový výrobek a pro tento výrobek zkonstruovat vstřikovací formu se shodou zásad vstřikování technologií LSR. Zvolený výrobek je stojánek pro vejce. Vstřikovací forma je konstruována pro výrobu na vstřikovacím stroji Arburg 520 S 1600 - 290/170/290. Teoretická část diplomové práce obsahuje rešerši současného stavu typů elastomerů, technologie vstřikování LSR a konstrukční zásady vstřikovacích forem. Experimentální část diplomové práce obsahuje posloupný popis návrhu vstřikovací formy, popis použitého materiálu a vstřikovacího stroje.

Klíčová slova: elastomer, silikon LSR, vstřikovací forma, vstřikovací stroj

Abstract:

The aim of the thesis Construction of injection mold for treatment silicone product is to propose silicone product and for this product construct injection mold with compliance principles LSR injection molding technology. Selected product is stand for egg. The injection mold is constructed for produce on injection molding machine Arburg 520 S 1600 - 290/170/290. The theoretical part contains research status quo types of elastomers, LSR injection technology and construction principles of injection molds. Experimental work contains sequential description of the design injection mold, description of the material used and the injection molding machine.

Keyword: elastomer, silicone LSR, injection mold, injection molding machine

Poděkování

Poděkování věnuji prof. Dr. Ing. Petru Lenfeldovi a Ing. Jiřímu Bobkovi Ph.D. za příkladné vedení této diplomové práce a pomoc při návrhu vstřikovací formy, jenž je určena pro speciální technologii vstřikování. Dále věnuji poděkování vývojovému kolektivu firmy Uniplast Pardubice spol.s.r.o. za odbornou konzultaci a vyhotovení prototypu výrobku. Poděkování patří též mé rodině, jež mi byla oporou po celou dobu studia.

Diplomová práce vznikla na základě finanční podpory projektu studentské grantové soutěže /SGS 21005/ ze strany Technické univerzity v Liberci v rámci podpory specifického vysokoškolského výzkumu.

Obsah

SEZNAM ZKRATEK	8
SEZNAM JEDNOTEK	9
1 ÚVOD	10
2 TEORETICKÁ ČÁST	11
2.1 ELASTOMERY	12
2.1.1 Charakteristické vlastnosti elastomerů	12
2.1.2 Vulkanizace elastomerů	12
2.1.3 Rozdělení elastomerů	14
2.2 SILIKONOVÉ ELASTOMERY	15
2.2.1 Rozdělení silikonů	16
2.3 TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ SILIKONŮ LSR.....	19
2.3.1 Vstřikovací proces.....	20
2.3.2 Vstřikovací stroje pro LSR.....	22
2.4 ZÁSADY KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍCH FOREM PRO LSR.....	24
2.4.1 Postup při konstrukci.....	24
2.4.2 Násobnost formy.....	25
2.4.3 Vtokový systém.....	26
2.4.4 Vyhazovací systém	31
2.4.5 Odvzdušnění vstřikovací formy	32
2.4.6 Temperační systém vstřikovacích forem	34
2.4.7 Materiály vstřikovacích forem.....	35
3 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST.....	37
3.1 VÝROBEK	38
3.2 MATERIÁL ELASTOSIL LR 3071/60	40
3.3 VSTŘIKOVACÍ STROJ ARBURG 520S 1600 - 290/170/290	42
3.3.1 Konstrukce vstřikovacího stroje.....	42
3.4 NÁVRH KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍ FORMY PRO LSR.....	46
3.4.1 Násobnost vstřikovací formy	49
3.4.2 Výpočet uzavírací síly vstřikovací formy.....	50
3.4.3 Návrh dělicí roviny vstřikovací formy	51
3.4.4 Konstrukce tvárníku	51
3.4.5 Konstrukce tvárnice	53
3.4.6 Vtokový systém.....	54
3.4.7 Temperace vstřikovací formy	57
3.4.8 Vyhazovací systém vstřikovací formy.....	62
3.4.9 Odvzdušnění dutiny vstřikovací formy.....	64
3.4.10 Vedení a středění vstřikovací formy	65
3.4.11 Sestava vstřikovací formy	66
3.5 SOUHRN POUŽITÝCH NORMÁLÍ.....	69
3.5.1 Deskové normálie	69
3.5.2 Centrovací a vodící normálie	71
3.5.3 Ostatní normálie	72
3.5.4 Spojovací materiál	73
3.5.5 Specifikace použitých materiálů	74
3.6 NÁVRH VÝROBNÍHO POSTUPU VYBRANÝCH PRVKŮ VSTŘIKOVACÍ FORMY	75
3.6.1 Výrobní postup tvárníku	75
3.6.2 Výrobní postup tvárnice	76
4 DISKUZE.....	78
5 ZÁVĚR	80
SEZNAM LITERATURY	81
SEZNAM PŘÍLOH	84

Seznam zkratek

1K- jednosložkové	kap.- kapitola
2K- dvousložkové	ks- kus
3D- trojrozměrný	L- délka
apod.- a podobně	L/D- poměr délky ku průměru
ACM – Akrylátový elastomer	LSR- liquid silicone rubber
ASTM- Americká společnost pro zkoušení a materiály	m - hmotnost
BR – Butadienový elastomer	max. - maximální
CAD- počítačem podporovaná konstrukce	min. - minimální
CAE- počítačem podporované inženýrství	např.- například
CNC- číslicové řízení pomocí počítače	NBR- Butadien-akrylonitrilový kaučuk
CR – Chloroprenový elastomer	NR – Přírodní elastomer
ČSN- česká technická norma	Obr.- obrázek
DIN- německá průmyslová norma	OT – Polysulfidový elastomer
EPDM – Ethylen-propylen-dién-terpolymerový elastomer	p - tlak
EPM – Ethylen-propylenový elastomer	P- výkon
FPM – Fluorouhlíkový elastomer	PA- polyamid
HB- tvrdost dle Brinella	PBT- polybutylen-tereftalát
HRC- tvrdost dle Rockwella typ C	PC- polykarbonát
HTV- vulkanizace za vysoké teploty	Q – teplo
ISO- Mezinárodní organizace pro standardizaci	Q – Silikonový elastomer
IR – Isoprenový elastomer	RAL- standard pro stupnici barevných odstínů
	RTV- vulkanizace za pokojové teploty
	SBR – Butadien-styrenový elastomer

spol.s.r.o.- společnost s ručením
omezeným

Tab. - tabulka

TUL- Technická univerzita v Liberci

tzv.- tak zvaný

t – čas

T – termodynamická teplota

T_g – teplota skelného přechodu

$\varnothing$ – průměr

€- Euro

Seznam jednotek

% - procento

$^{\circ}\text{C}$ – stupeň Celsia

$^{\circ}$ - stupeň

bar- bar (vedlejší jednotka tlaku)

cm^3 – centimetr krychlový

g - gram

K - kelvin

kg/m^3 – kilogram na metr krychlový

h - hodina

J - Joule

kg - kilogram

kN - kilonewton

l – litr

l/min – litr za minutu

min - minuta

mm – milimetr

MPa – megapascal

mPas - milipascalsekunda

N/mm – newton na milimetr

N/mm^2 – newton na milimetr
čtvereční

s – sekunda

W - watt

1 Úvod

Moderní materiály z oblasti zpracování polymerů se stali součástí běžného života. Jedním z těchto materiálů je silikon. Výrobky z něj jsou oblíbené pro svou pružnost, odolnost proti mechanickému poškození, odolnost proti vlivům vnějšího prostředí a snadnou údržbu. Zároveň zpracovávání tohoto materiálu přináší odlišnosti oproti zpracovatelským technologiím jiných polymerů. Proto se TUL, Fakulta strojní, Katedra strojírenské technologie rozhodla rozšířit poznatky studentů v oblasti zpracování silikonů. Na základě tohoto rozhodnutí a cílem této diplomové práce je navrhnout silikonový výrobek a následně vhodnou konstrukci vstřikovací formy pro zpracování tohoto výrobku.

Tato diplomová práce se zabývá rešerší současného stavu v oblasti elastomerů a silikonů, v oblasti konstrukčních zásad vstřikovacích forem pro zpracování silikonů. Experimentální část diplomové práce se zabývá návrhem výrobku pro konstrukci formy a vlastním návrhem s detailním popisem konstrukce vstřikovací formy.

2 Teoretická část

2.1 Elastomery

Elastomery jsou makromolekulární látky, které jsou řídkým zesíťováním makromolekul převedeny na polymer. Proces řídkého zesíťování se nazývá vulkanizace. Prvotní surovinou pro elastomer je surový kaučuk. Ten může být jak na přírodní bázi (tzv. latex) tak i na syntetické bázi (výchozí surovina je ropa). [18]

2.1.1 Charakteristické vlastnosti elastomerů

Z hlediska mechanických vlastností disponují elastomery velmi vysokou elasticitou. Tuto žádanou vlastnost dosahují elastomery díky možnosti pohybu vazeb řetězce makromolekul kolem jejich rovnovážné polohy. Elastomery mají převážně amorfni strukturu a nízkou teplotu skelného přechodu T_g . To znamená, že si zachovávají dobré hodnoty rázové houževnatosti i při teplotách pod 0°C . Elastomery vynikají chemickou odolností, odolností vůči zvýšeným teplotám a odolností vůči povětrnostním vlivům. Zejména elastomery na syntetické bázi. Elastomery lze produkovat jako homopolymery i jako kopolymery. Vždy podle vyžadovaných úprav vlastností.

Zvláštní vlastností je schopnost elastomerů vytvářet polymery s dvoufázovou strukturou s nemísitelnými tvrdými a měkkými segmenty. V praxi jsou označovány jako termoplastické elastomery. Výhodami tohoto polymeru jsou zpracovatelské vlastnosti termoplastů a elastické vlastnosti elastomerů. [17, 18]

2.1.2 Vulkanizace elastomerů

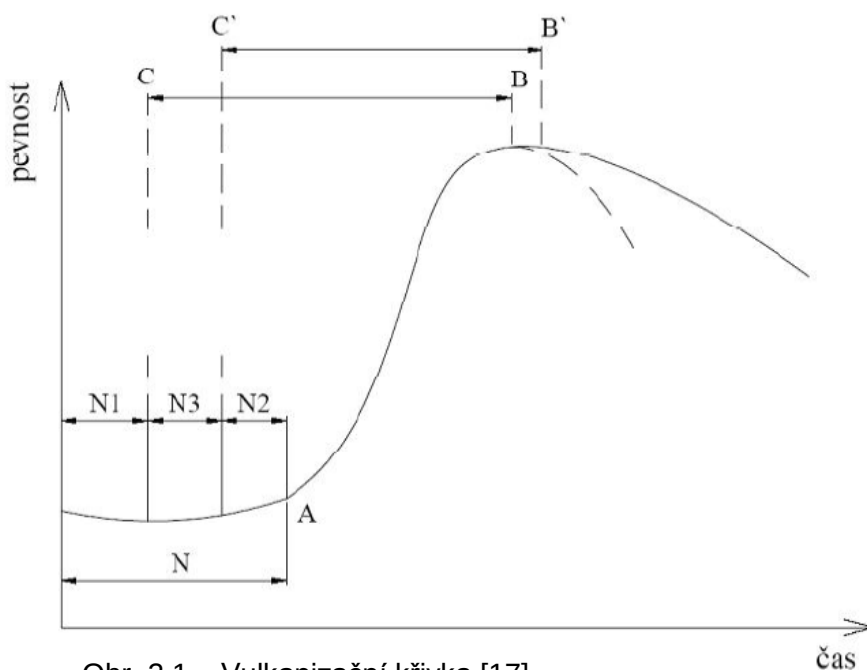
Vulkanizace je proces, při němž vznikají příčné vazby (C-S-C) mezi původně lineárními makromolekulami surového kaučuku. Tím vzniká zesíťovaná struktura řetězce makromolekul s příčnými vazbami.

Nejčastější složení vulkanizační směsi je surový kaučuk, vulkanizační činidlo, urychlovač a aktivátor (nejčastěji oxid zinečnatý). Samotné vulkanizační

čínidlo proces vulkanizace umožňuje, urychlovač a aktivátor upravuje průběh procesu a výsledné parametry produktu – vulkanizátu. [17]

Vulkanizační čínidlo je nejčastěji síra. Běžně se aplikuje 2-3% síry. Pro zvýšení tvrdosti zvulkanizovaného elastomeru se aplikuje 10 až 20% síry. Standartní teplota vulkanizace je 140°C až 160°C. Proces vulkanizace je možné realizovat také pomocí peroxidů, oxidů kovů nebo pryskyřic a to nejčastěji pro speciální elastomery. Lze vulkanizovat i fyzikálními procesy např. radiací. [18]

Po přidání všech složek do vulkanizační směsi a její ohřátí na dostatečnou teplotu začíná působit vulkanizační čínidlo. Tím je započata tvorba zesítené struktury – nejdříve vzniká meziprodukt a z něj příčné vazby. Při dosažení určitého stupně tvorby příčných vazeb dochází ke změně zpracovatelských parametrů – změna plasticity směsi. Čas potřebný k této změně je označován jako tzv. „bezpečnost směsi“. Hodnota bezpečnosti směsi se zpravidla určuje při 120 – 140°C (dle vulkanizovaného elastomeru). Za spolehlivě bezpečnou hodnotu se v praxi uvažuje 20 minut. Za jistý počátek vulkanizace se považuje nárůst hodnoty viskozity. Dalším ohříváním již probíhá proces vulkanizace, který je charakterizován vulkanizační křivkou (viz obr. 2.1).



Obr. 2.1 – Vulkanizační křivka [17]

N – doba bezpečnosti směsi

N1 – doba nutného tepelného zatížení

N2 – doba nutná pro tok a vyrovnání tlaku v dutině formy

N3 – rezerva pro vyrovnání teplotní historie

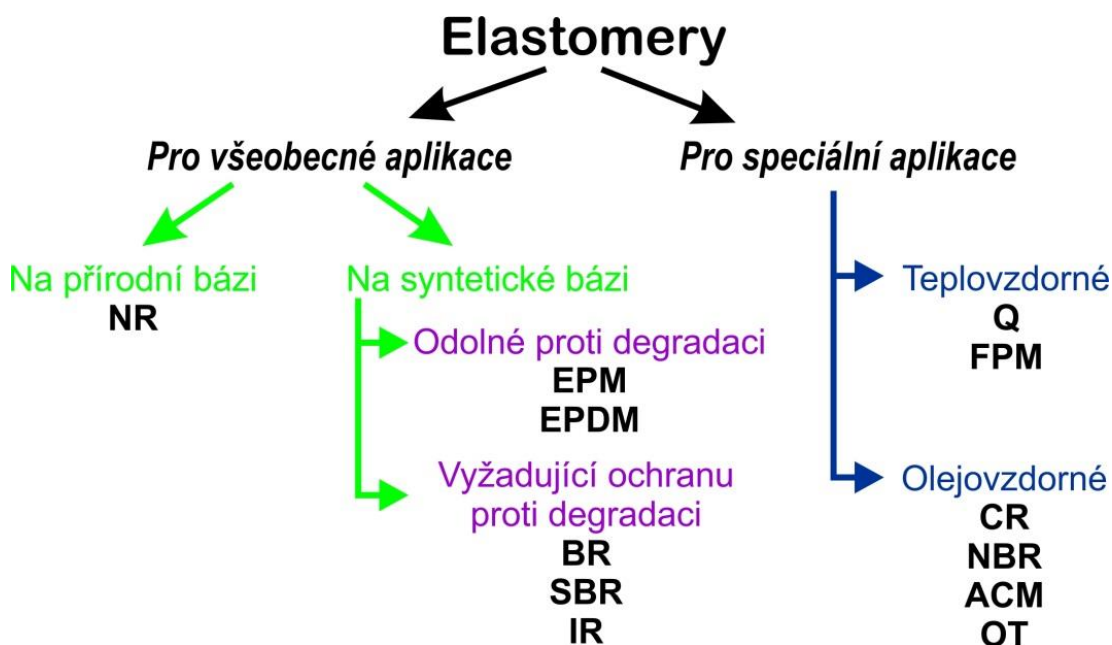
A-B – čistá doba vulkanizace (od počátku vulkanizace po dosažení optima)

C-B – technická doba vulkanizace (čistý čas navýšený o N2 a N3)

C'-B' – technická doba vulkanizace v případě úplného vyčerpání N3

2.1.3 Rozdělení elastomerů

Elastomery je možné rozdělit dle chemického složení. Dále dle uvažované aplikace materiálu v praxi, dle odolnosti vůči prostředí, chemikáliím a také původu vstupní suroviny. Rozdělení elastomerů je znázorněno na následujícím schématu viz obr. 2.2. [18]



Obr. 2.2 – Schéma rozdělení elastomerů

Elastomery typu NR, BR, SBR, IR obsahují v hlavním řetězci makromolekul dvojné vazby, a proto je síra využívána jako vulkanizační činidlo. Jelikož jsou nepolární, snadno jsou napadány např. rozpouštědly typu benzin. Vlivem působení vnějšího prostředí (UV záření apod.) může dojít k jejich degradaci. Elastomery typu EPM, EPDM neobsahují dvojné vazby, pouze EPDM výjimečně v bočních řetězcích, z tohoto důvodu jsou tyto elastomery odolné vůči degradaci vnějším prostředím.

Olejevzdorné elastomery typu CR, NBR, ACM, OT mají vyšší polaritu. Čím vyšší polarita, tím odolnější elastomer je. Nejvyšší odolnost vykazuje OT. Teplovzdorné elastomery typu FPM, které jsou vysoce polární a odolávají tak prakticky všem mazivům a rozpouštědlům. Díky vysoké pevnosti vazby C-F odolávají působení zatížení za vysokých teplot. Silikonové elastomery typu Q jsou detailně popsány v následující kapitole.

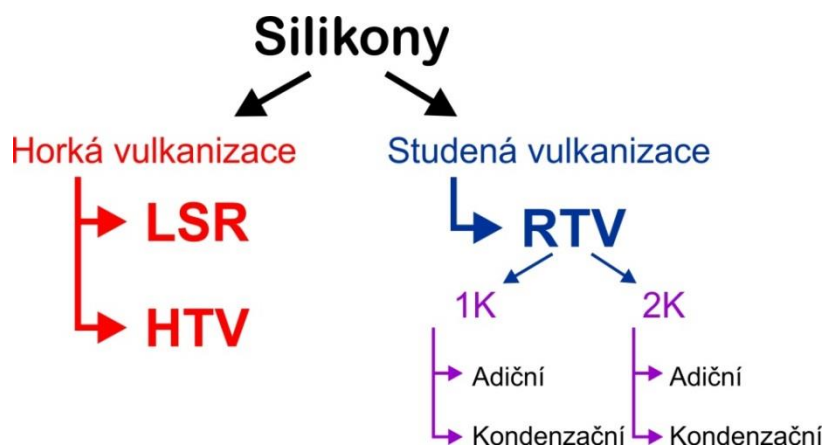
2.2 Silikonové elastomery

Silikonové elastomery, též zvané jen jako silikony jsou charakteristické přítomností vazby --Si--O-- v jejich hlavním řetězci. Díky této vazbě mají schopnost odolávat vysokým teplotám, ale zároveň i velmi nízkým. Některé konkrétní silikony mají odolnost -90 až 250°C . Výrobní smrštění bývá 2,5-3%. Standardně jsou dodávány silikony o tvrdosti 20-80 Shore A.

Typické aplikace silikonů jsou např. izolace teplem namáhaných elektrických vodičů, teplem namáhané součásti v automobilech. Díky dobré snášenlivosti s lidským organizmem jsou silikony velice často užívány také jako výrobky pro užívání člověkem, lékařské výrobky – kontaktní čočky, implantáty. [18]

2.2.1 Rozdělení silikonů

Dle teploty vulkanizace konečného výrobku ze silikonů je lze dělit do 2 základních skupin. [4]



Obr. 2.3 – Schéma rozdělení silikonů

LSR

Zkratka LSR pochází z anglického výrazu „liquid silicone rubber“, to znamená tekutý silikonový kaučuk. Pod tímto pojmem se rozumí typ silikonu v tekutém stavu, kde aktivace zesíťované struktury vstupní suroviny silikonu probíhá ve formě za teploty kolem 160 - 220°C. Vstupní surovina bývá ve formě viskózní kapaliny o dvou složkách (katalyzátor a zesíťovací činidlo) vzájemně oddělených v barelech. Barely se nejčastěji dodávají o objemu 20l a 200l. [4]

HTV

Zkratka HTV pochází z anglického výrazu „high temperature vulcanisation“, to znamená vulkanizace za vysokých teplot. Pod tímto pojmem se rozumí aktivace zesíťované struktury vstupní suroviny silikonu za teploty kolem 220°C. Vstupní surovina bývá v pevné formě bloků nebo pásů viz obr. 2.4. HTV materiály jsou jednosložkové a vulkanizace probíhá poměrně rychle. Častá aplikace HTV silikonů je pro extruzní technologie nebo tvarování ve formách. [4]



Obr. 2.4 – HTV polotovary (vlevo blok, vpravo pás) [29]

Na následujícím obrázku č. 2.5 je možné vidět rozdílnou viskozitu vstupního polotovaru z materiálu LSR a HTV.



Obr. 2.5 – Vstupní polotovar LSR a HTV (vlevo LSR, vpravo HTV) [4]

RTV

Zkratka RTV pochází z anglického výrazu „room temperature vulcanisation“, to znamená vulkanizace za pokojové teploty. Pod tímto pojmem se rozumí aktivace zesíťované struktury vstupní suroviny silikonu za běžné pokojové teploty 20 – 22°C. Vstupní surovina bývá ve formě viskózní kapaliny. [4]

Tyto silikony se dodávají jako 1K nebo 2K. Oba typy mohou zahájit zesíťování kondenzačním způsobem – vytěkáním rozpouštědla z matrice nebo adičním způsobem, což je chemická reakce mezi dvěma složkami

silikonu (obdoba reakce jako u běžně dostupných epoxidových lepidel, apod.)

Mezi nejčastější 1K aplikace RTV silikonů patří např. silikonové tmely, ochranné laky pro plošné spoje v elektrotechnice. Jako příklad je uveden silikonový tmel firmy Henkel – Loctite SI 5940 (obr. 2.6).

Mezi nejčastější 2K aplikace RTV silikonů patří např. silikon pro výrobu forem, zalévací silikon pro elektrotechniku nebo tampónový tisk. Jako příklad je uvedena zhotovená forma ze silikonu HT 45 transparent (obr. 2.7). Při aplikaci silikonu jako formy je vhodné dutinu separovat [21].



Obr. 2.6 – 1K silikon Loctite SI 5940 [19]



Obr. 2.7 – 2K silikon HT 45 [20]

2.3 Technologie vstřikování silikonů LSR

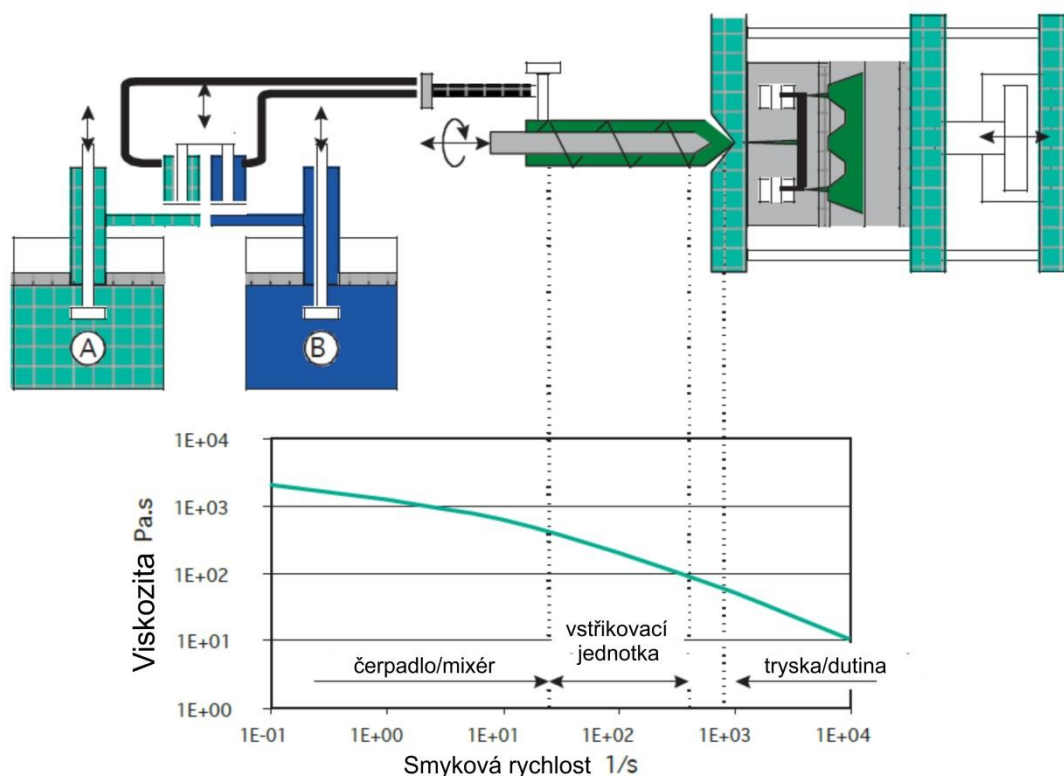
Technologie vstřikování silikonů LSR je neustále se rozvíjející technologií zpracování polymerů. A to už z výše uvedených důvodů využitelnosti silikonů v náročných aplikacích v automobilech nebo medicíně.

Technologie vstřikování silikonů LSR je výrobní proces, kdy dochází ke vstřiku materiálu v tekutém stavu z prostoru chlazené plastikační komory do dutiny vstřikovací formy. Plastikační komora je nejčastěji chlazená na teplotu 20 až 30°C. Materiál ve formě viskózní kapaliny o dvou složkách je neustále doplňován do plastikační jednotky z barelů. Materiál se posunuje komorou plastikační jednotky pomocí šneku, který rotuje. Tím se obě složky materiálu vzájemně mísí a vytváří homogenní směs. Spolu s rotací šnek ustupuje dozadu, tím se homogenní materiál dostává před čelo šneku a může dojít axiálním posunem šneku ke vstříknutí materiálu do dutiny formy. Po vstříknutí materiálu do dutiny formy následuje fáze vulkanizace, tím je dosaženo zafixování tvaru výrobku a následné vyhození výrobku z formy.[22]

Technologie vstřikování LSR je také často využívána jako vícekomponentní technologie vstřikování, nejčastěji při spojení termoplastu a silikonu. Při této technologii vstřikování je nutné mít na paměti rozdílné podmínky vstřikování termoplastu a silikonu. Zatímco termoplast potřebuje formu temperovanou na nižší teplotu (např. 70°C) a teplo je potřeba odvést, tak silikon naopak potřebuje mít formu temperovanou na vysokou teplotu (např. 200°C) a teplo je potřeba dodávat. Z těchto důvodů musí být odlišně temperované části formy precizně oddělené. Při vícekomponentním vstřikování LSR s termoplastem je vhodné termoplast modifikovat pro zvýšení adheze na rozhraní termoplast – LSR. Často se používají kombinace materiálů LSR – PA 6, PA 66, PBT, PC. [23]

2.3.1 Vstřikovací proces

Stejně jako u jiných polymerů ovlivňuje viskozitu LSR, a tudíž i podmínky tečení, smyková rychlost tekoucího polymeru. Konkrétně se zvyšující se smykovou rychlostí se snižuje viskozita. To je výhodné při vstřikování LSR, jelikož je možné vstřikovat poměrně nízkými tlaky. Následující graf ukazuje pokles viskozity při zvyšující se smykové rychlosti. [6]



Obr. 2.8 – Graf závislosti viskozity na smykové rychlosti [6]

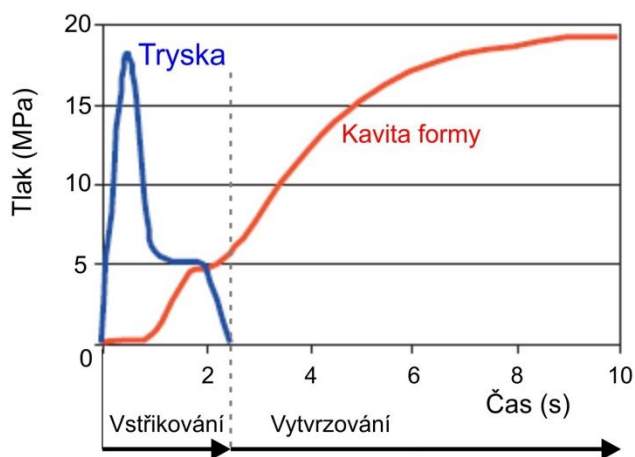
Vstřikovací proces se skládá z následujících fází:

1) Vstřikování

Vstřikování je fáze, kdy materiál zaplňuje tvarovou dutinu formy. Vstřikovací tlak může mít širokou škálu hodnot od 100 až 1000 MPa. To nejvíce záleží na geometrii trysky. Doba plnění dutiny se obvykle pohybuje mezi 0,5 až 3s pro dutinu o objemu 10cm³.

Obvykle může být tlak v dutině formy při plnění až 30 MPa. Tlak stoupá před zahájením vulkanizace již vlivem expanze LSR. To znamená, že dutinu je třeba vyplnit přesně na 98 až 99% a zbývající objem dutiny je zaplněn

expanzi při vulkanizaci LSR. Na následujícím grafu je zobrazen vývoj tlakových poměrů v dutině formy. [6]



Obr. 2.9 – Graf závislosti vývoje tlaku na čase [6]

2) Dotlak

Po vstříknutí celého objemu dávky materiálu do dutiny následuje přepnutí na dotlak. Při vstřikování LSR se doporučuje řídit bod přepnutí dle dráhy šneku nebo objemu dávky. Dotlakem je zajištěno, že LSR expanduje se zvyšující se teplotou uvnitř dutiny a nedojde k vytečení LSR zpět do plastikační jednotky.

Doba dotlaku je při vstřikování LSR běžně 1 až 4s. To záleží také na tloušťce stěny výstřiku. Aby se předešlo přetížení při dotlaku, snižuje se velikost „polštáře“ na minimum. Termín „polštář“ znamená určitý objem materiálu, který musí zůstat po zaplnění dutiny formy před čelem šneku. Tento objem materiálu je možné použít pro aplikaci dotlaku na tuhnoucí výstřik. [6]

3) Vulkanizace LSR

Vulkanizace je fáze, kdy se materiál v dutině formy vlivem působení tepla zesílňuje do zafixovaného tvaru dutiny. Rychlost vulkanizace LSR v dutině formy nejvíce závisí na těchto parametrech: teplota formy a plastikační komory, teplota LSR při zaplnění dutiny, geometrie výstřiku (poměr mezi velikostí povrchu a objemu výstřiku, tloušťka stěny)

Platí, že doba vulkanizace se pohybuje 4 až 6s/mm tloušťky stěny výstřiku. Lépe se tento čas stanoví pomocí simulační analýzy vstřikování polymerů.

Rychlost vulkanizace je možné zvýšit předehřevem plastikační jednotky a trysky na 40 až 80°C a také použitím materiálu LSR s vyšší rychlostí vulkanizace. Předehřev plastikační jednotky a trysky je vhodný pro plně automatizovaný proces včetně vyhození výstřiku. Pokud je nutné cyklus přerušit, musí se tato předehřívaná soustava ihned začít chladit. Tím se zabrání předčasné vulkanizaci LSR. [6]

4) Dodatečné vytvrzování

Pokud mají výrobky z LSR splňovat kritéria pro styk s potravinami nebo kritéria styku s lidským organismem, je nutné výrobky dodatečně vytvrzovat. Dodatečné vytvrzení má také pozitivní vliv na zlepšení mechanických vlastností. Dodatečné vytvrzování probíhá obvykle při teplotě 200°C po dobu 4 hodin v sušárně s prouděním vzduchu 80 až 110l/min. Podmínky dodatečného vytvrzování mohou být upraveny vzhledem k výsledným požadovaným vlastnostem.

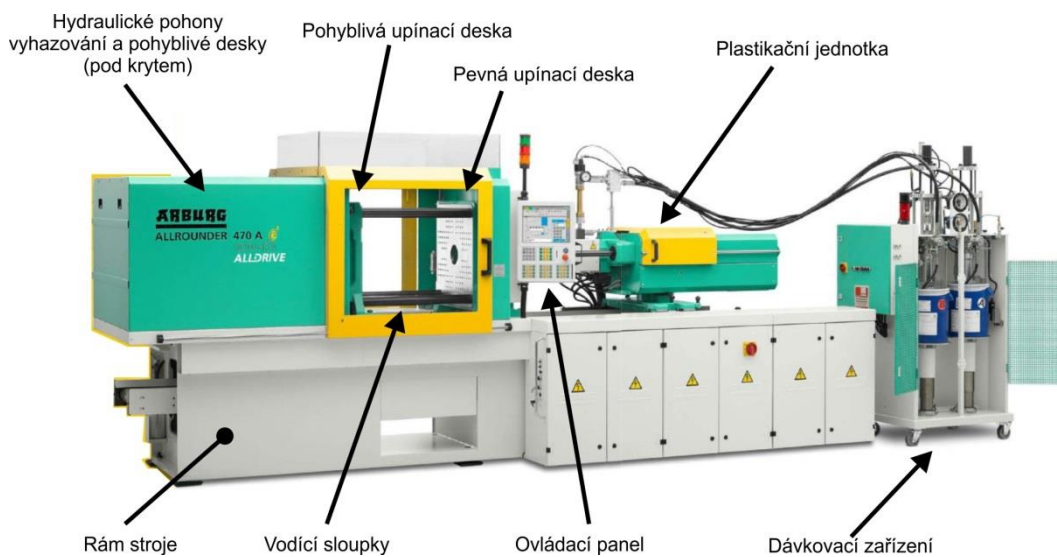
Po dokončení vstřikovacího procesu a následného vyjmutí výstřiku z dutiny formy, nastává průvodní jev ochlazeného výstřiku, tzv. smrštění. Velikost tohoto smrštění se pohybuje mezi 2,5 až 3%. Nevětší vliv na smrštění má teplota formy a teplota, při níž dochází k vyhození výstřiku. Dále také poloha ústí vtoku ve výstřiku (ve směru toku bývá smrštění větší, než v kolmém směru) a celková geometrie výstřiku. Dodatečné vytvrzování může zvětšit smrštění až o 0,7%. [6]

2.3.2 Vstřikovací stroje pro LSR

Základní konstrukce vstřikovacích strojů pro LSR vychází ze strojů pro zpracování termoplastů a mají navíc modifikovanou konstrukci šneku, trysky. Součástí je také vakuová vývěva, která odvzdušňuje dutinu formy před vstřikováním a dávkovací zařízení materiálu.

Šnek má potlačenou kompresní část, sníženou hloubku kanálů a snížený poměr L/D šneku. Touto úpravou je zabráněno předčasnému zesíťování materiálu ve šnekové komoře, která je navíc chlazená na 20 až 30°C. Smíchaný materiál před čelem šneku nesmí téct zpět do šnekové komory, proto je šnek zakončen diskovým zpětným ventilem (viz obr. 2.11). [6]

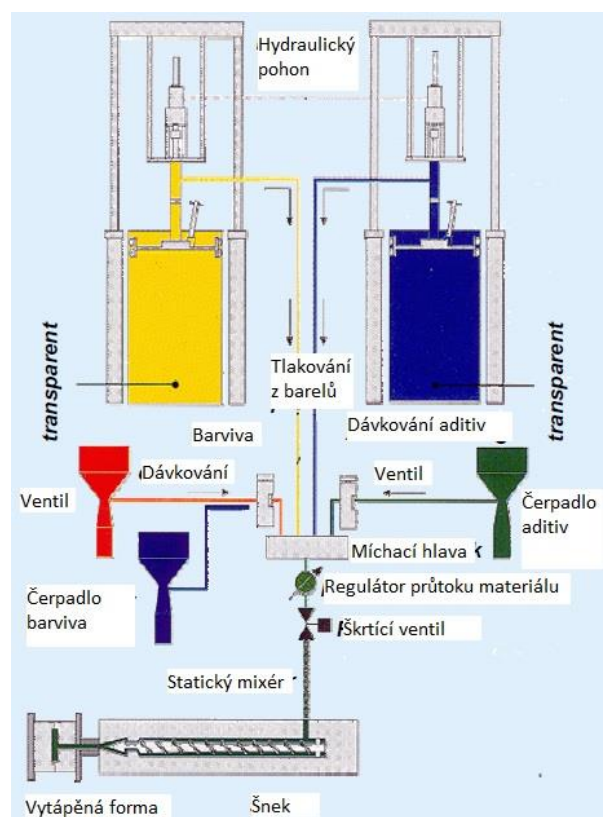
Dávkovací zařízení dopravuje obě složky materiálu z barelů do vstupní části plastikační jednotky. Součástí dávkovacího zařízení jsou hydraulické válce, které tlakují materiál v barelu. Materiál prochází míchací hlavou a soustavou regulačních ventilů (viz obr. 2.12).



Obr. 2.10 – Popis konstrukce vstřikovacího stroje [4].



Obr. 2.11 – Zpětný diskový ventil stroje Arburg [4].



Obr. 2.12 – Schéma dávkovacího zařízení [3].

2.4 Zásady konstrukce vstřikovacích forem pro LSR

Vstřikovací forma je nástroj, který umožňuje výrobu požadovaných součástí na vstřikovacím stroji.

V současné době je standardem konstruování forem pro LSR pomocí 3D CAD softwarů, kde je možné aplikovat pohybové studie pro analýzu otevírání/zavírání formy. Před zahájením samotné konstrukce je vhodné provést analýzu vstřikovacího procesu v některém CAE softwaru, např. Cadmould 3D-F, Moldflow. Spojením tohoto přístupu CAD a CAE je možné realizovat vstřikovací formu bez větších nutností úprav po odzkoušení formy na vstřikovacím stroji. Tím pádem nedochází ke zbytečnému plýtvání konstrukční a výrobní kapacity.

Při konstruování formy lze v některých případech využít elastičnosti LSR. Tato vlastnost umožňuje např. zaformovat součásti, které by byly z běžných termoplastů neodformovatelné, zjednodušení vyhazovacího systému, apod. Pro konstrukci vstřikovací formy pro LSR je možné využít tzv. univerzální rámy spolu s dalšími normáliemi. Vstřikovací formy je vhodné předdimenzovat z hlediska mechanického namáhání. Formy jsou zatíženy vysokým zatížením v řádech jednotek až stovek tun. Vhodným předdimenzováním je možné eliminovat nadměrné opotřebení vstřikovací formy a tím pádem eliminovat případné vady výstřiků. [23]

2.4.1 Postup při konstrukci

Pro konstruování vstřikovací formy je zapotřebí mít k dispozici výkres součásti včetně požadovaných výrobních rozměrů a tolerancí a případně označení ploch, kde se nesmí nacházet stopy po vyhazovacích prvcích, vtoku a dělicí rovině/rovinách. Vždy je snaha o co nejjednodušší koncepci vstřikovací formy. Tím dochází ke snížení nákladů na výrobu formy. Konstrukci formy je vhodné konzultovat s výrobcem formy. [24]

Při konstruování je vhodné dodržovat následující postup:

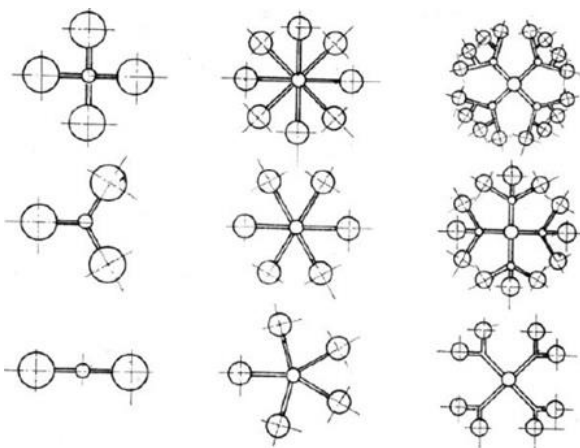
- 1) posouzení tvarové složitosti součásti, kontrola ostrých hran a rádiusů
- 2) určení násobnosti vstřikovací formy a rozmístění tvarových dutin ve formě
- 3) kontrola potřebné uzavírací síly, objemu výstřiku vzhledem k uvažovanému vstřikovacímu stroji a uvažované koncepci vstřikovací formy
- 4) volba polohy dělící roviny/rovin vzhledem k možnosti odformování součásti
- 5) volba typu vtokového systému, určení typu a velikosti vtokového kanálu, rozváděcích kanálů a ústí vtoku
- 6) konstrukce temperace formy
- 7) volba typu vyhazování výstřiku
- 8) odvzdušnění dutiny formy
- 9) volba typu rámu vstřikovací formy s ohledem na násobnost formy, zaformování součásti, maximálnímu možnému rozměru formy vzhledem k uvažovanému vstřikovacímu stroji, volba způsobu vedení a upínání vstřikovací formy.

2.4.2 Násobnost formy

Násobnost vstřikovací formy závisí hlavně na požadovaném vyráběném množství konkrétní součásti, tvarové složitosti a požadovaných tolerancí součásti, vstřikovací kapacitě stroje, potřebné uzavírací síle, atd.

Atypická násobnost nastává při vstřikování do tzv. family formy. Jedná se o vstřikování různých součástí v jedné vstřikovací formě. Zde je násobnost určena počtem a tvarem jednotlivých součástí. Při této aplikaci musí mít vtokový systém různý průřez rozváděcích kanálů, včetně ústí vtoku kvůli konstantním podmínkám plnění ve všech dutinách formy. Tato úprava se

nazývá balancování vtokového systému. Balancování se používá i pro formy se stejnými tvarovými dutinami. Příklad family formy je na obrázku 2.14. [24]



Obr. 2.13 – Rozmístění součástí ve formě [25]



Obr. 2.14 – Součásti z family formy [26]

2.4.3 Vtokový systém

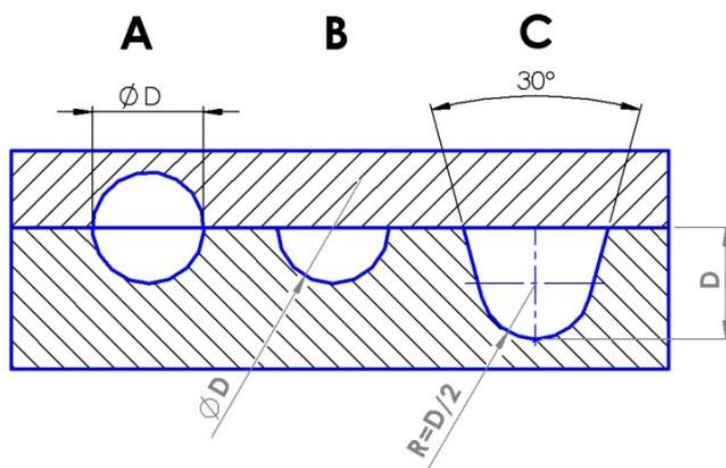
Vtokový systém je konstrukční prvek vstříkovací formy, který má za úkol dopravu materiálu mezi vstříkovací jednotkou a dutinami formy za podmínky konstantní rychlosti plnění dutiny formy. Vzhledem k složitým poměrům při plnění dutiny formy, a to zejména změny viskozity materiálů, ohřívání a obtížně stanovitelných hydraulických odporů při plnění dutin, není možné stanovit vtokové poměry přesným matematickým vztahem. Proto se doposud používá hodnot zjištěných z praxe. [25]

Vzhledem k aplikaci technologie LSR jsou popsány pouze studené vtokové systémy. Vzhledem k nutnosti chlazení trysky není možné použít vtokové systémy horkými tryskami.

Vtokový systém se skládá z rozváděcích kanálů a vtokového ústí. Rozváděcí kanály jsou nejdelší částí vtokového systému a výrazně tak ovlivňují celkové tlakové a tepelné ztráty. Velikost průřezu rozváděcího kanálu je dán délkou toku taveniny, tekutostí kaučukové směsi, tloušťkou a hmotností výstřiku. Pro nižší vstříkovací tlaky je vhodné volit větší průřez rozváděcích kanálů,

naopak pro vyšší vstřikovací tlaky je vhodné volit menší průřez a větší délku kanálů. [25].

Na následujícím obrázku č. 2.15 jsou uvedeny nejpoužívanější průřezy rozváděcích kanálů.



Obr. 2.15 – Průřezy rozváděcích kanálů

Typ A je kruhový kanál, který je nejvýhodnější z hlediska toku a vyhození vtokového zbytku, ovšem je náročnější na výrobu díky obtížnějšímu spasování v dělicí rovině. Typ B je půlkruhový kanál, který je výrobně nejjednodušší, ovšem nevýhodný z hlediska horšího vyhození a nutnosti většího rozměru pro zachování potřebné velikosti průřezu. Tím pádem dochází ke zvětšení objemu vtokového zbytku. Typ C je lichoběžníkový průřez, který je výrobně jednodušší než kruhový kanál a má optimálnější průběh toku než půlkruhový, ale výhodou je výsledný menší rozměr pro dodržení potřebného průřezu.

Rozváděcí kanály je možné kombinovat. Při napojování rozváděcích kanálů platí stejná pravidla jako při navrhování výrobku z polymeru. To znamená vyvarovat se ostrým hranám, aplikovat rádiusy v napojení, apod. Jakákoliv bariéra v rozváděcích kanálech má za následek zvýšení hydraulických odporů proti toku kaučukové směsi. [25]

Ústí vtoku je část vtokové soustavy, která ústí přímo do dutiny formy a ovlivňuje kvalitu výstřiku. Vtokové ústí má zaručit co nejmenší možnou ztrátu

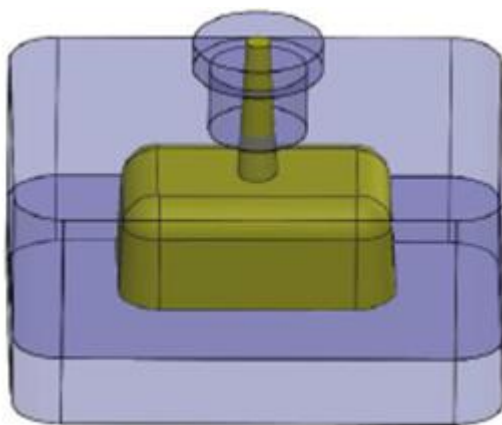
vstřikovacího tlaku. Zúženým průřezem proudí kaučuková směs rychleji, čímž dochází k užitečnému zvýšení teploty směsi, která má vliv na zkrácení vulkanizační doby.

Vtokové ústí se umísťuje:

- do nejtlustšího místa výstřiku, aby docházelo k zaručenému zaplnění dutiny
- do geometrického středu výstřiku
- po směru toku materiálu v žebrech
- mimo místa, kde se nachází na součásti zvýšené namáhání
- proti stěně, aby nedocházelo k volnému toku tzv. jettingu
- s ohledem na bezpečné odvětrání dutiny.

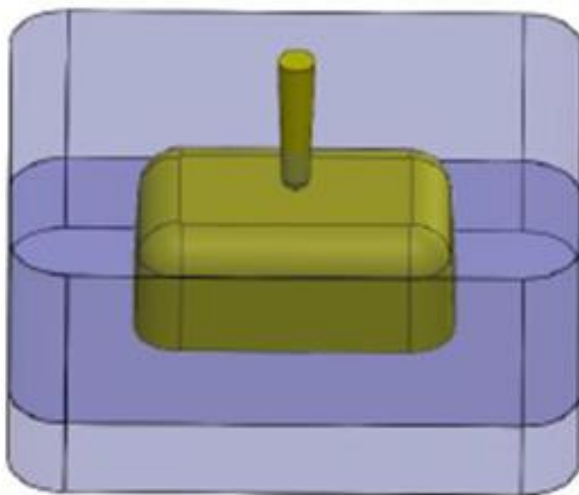
Příklady nejčastějších vtokových ústí: [22]

- 1) Kuželový vtok – kuželovitost 1:15 – 1:50, je vhodný pro hůře tekuté polymery, odstranění vtokového zbytku je provedeno dodatečným oddělením obráběním



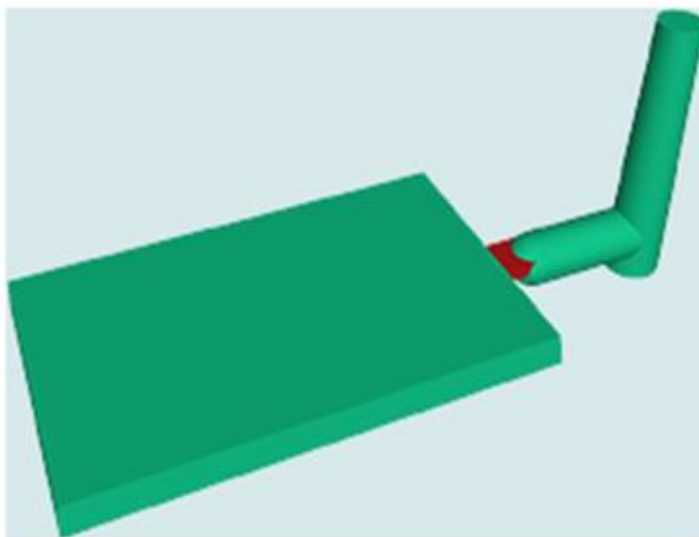
Obr. 2.16 – Kuželový vtok

- 2) Bodový vtok – průměr tohoto ústí je nejčastěji $\frac{2}{3}$ tloušťky stěny výstřiku, je vhodný pro tenkostěnné výstřiky, odstranění vtokového zbytku je možné pouhým odtržením nebo odříznutím



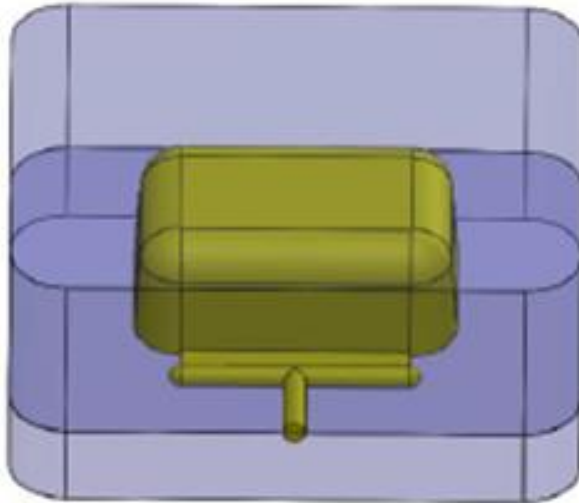
Obr. 2.17 – Bodový vtok

- 3) Boční vtok – používá se jako náhrada za třídeskové řešení formy, vtokový zbytek lze snadno odstranit od výstřiku odtržením nebo odříznutím



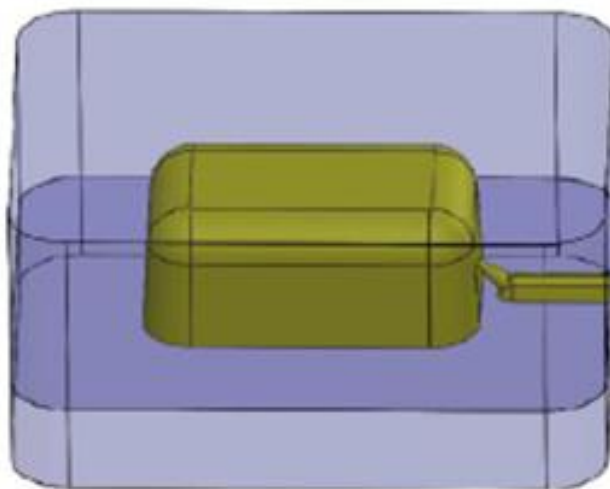
Obr. 2.18 – Boční vtok

- 4) Filmový vtok – vtokové ústí, které zajišťuje velice rovnoměrné plnění a eliminuje vnitřní napětí ve výstřiku, je vhodný pro plošné součásti, odstranění vtokového zbytku je nejčastěji provedeno odstřížením



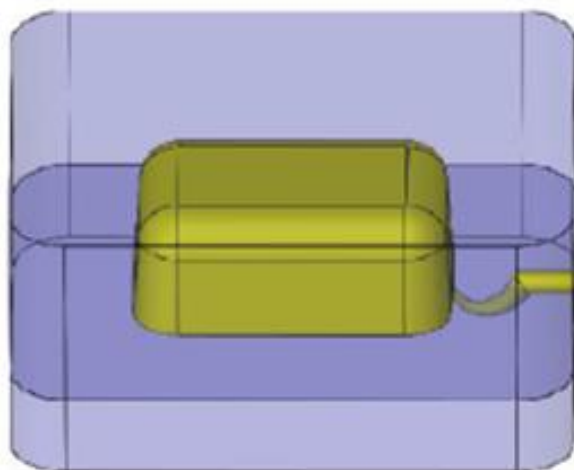
Obr. 2.19 – Filmový vtok

- 5) Tunelový vtok – používá se jako náhrada třídeskového řešení formy, obtížnější výroba, velkou výhodou je automatické oddělení vtokového zbytku od výstřiku



Obr. 2.20 – Tunelový vtok

- 6) Banánový vtok – toto vtokové ústí umožňuje umístění vtoku do nevhledové strany výstřiku, je vhodný pro materiály s vyšší elastickou deformací, výhodou je automatické oddělení vtokového zbytku, V současné době lze banánový vtok snadno aplikovat díky výrobě normálie – vtoková vložka



Obr. 2.21 – Banánový vtok

2.4.4 Vyhazovací systém

Vyhazování je strojní čas ve vstřikovacím procesu, kdy dochází k vyjmutí ztvulkanizovaného výstřiku z prostoru tvárníku nebo tvárnice. V rámci konstrukčních možností je snaha o plně automatický proces nejlépe s automatickým oddělením vtokového zbytku. V mnoha případech není plně automatizované vyhazování možné, proto se vyhazovací systém řeší jako ruční vyhození výstřiku nebo vyhození pomocí robota. [23]

Vyhazovací systém se rozděluje dle způsobu vyhození výstřiku na:

1) Mechanické vyhození

Mechanické vyhození je zpravidla automatický proces. Realizace pohybu vyhazovací soustavy je pomocí programovatelného tahače stroje, (hydraulického, elektrického – dle provedení vstřikovacího stroje) který je spojen přes rychlospojku s tahačem vyhazovacího paketu vstřikovací formy. Zpětný pohyb vyhazovacího systému je také realizován pomocí zmíněného tahače. Pro odlehčení hydrauliky při zpětném pohybu může být vyhazovací paket vybaven pružinami. Dříve byl pohyb vyhazování řízen přes mechanický doraz vstřikovacího stroje a vracení vyhazovacího systému do základní polohy bylo realizováno pomocí pružin nebo vratných kolíků. Dnes se tento způsob prakticky nepoužívá. [23]

2) Pneumatické vyhazování

Pneumatické vyhazování se s výhodou realizuje u výstřiků dutého tvaru, např. kelímky, kbelíky. Vlivem přetlaku vzduchu mezi lícem formy a výstřikem nedochází k nerovnoměrné deformaci výstřiku při vyhazování. Aplikace pneumatického vyhazování nahradí vyhazování stírací deskou a kolíkovými vyhazovači, které by potřebovaly jinak velmi dlouhou dráhu vyhození a hrozilo by jejich zlomení. [23]

3) Manuální vyhazování

Tento způsob vyhazování je vhodné aplikovat při výrobě menšího počtu kusů, obzvláště při jednonásobnosti vstřikovací formy. Nutností je, aby operátor používal ochranné prostředky vzhledem k vysokým teplotám vstřikovacích forem a výstřiků. S výhodou je možné aplikovat různé vyhazovací přípravky pro snadnější a bezpečné vyjmutí výstřiku z dutiny formy.

4) Kombinace vyhazovacích systémů

Některé součásti je lepší vyhazovat pneumatickým vyhazovacím systémem, aby nedošlo k jejich zdeformování. Ovšem na vtokový zbytek této součásti je potřeba aplikovat mechanické vyhození např. pomocí kolíkových vyhazovačů.

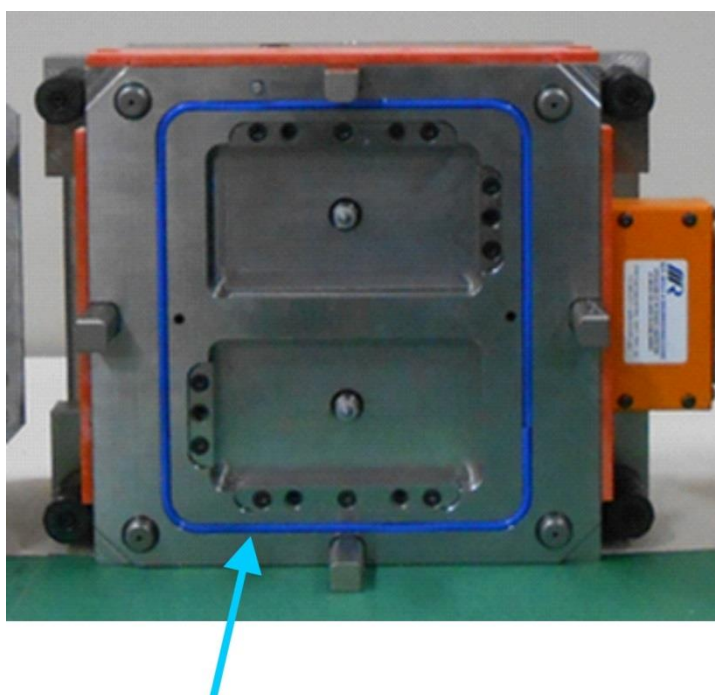
2.4.5 Odvzdušnění vstřikovací formy

Neméně důležité při navrhování vstřikovací formy je správné dimenzování odvzdušnění. Neodvedený vzduch, i při nejlepší konstrukci formy a nejlepším možném seřizení vstřikovacího cyklu, může způsobit technologické problémy.

V jednodušších případech lze návrh odvzdušnění realizovat díky zkušenosti konstruktéra vstřikovací formy. Ve většině případů je vhodné použít simulační analýzu vstřikování, která s vysokou přesností vypočte možná místa uzavření vzduchu. Pokud není ani jedna možnost (zkušenost konstruktéra, analýza) může se poddimenzované odvzdušnění projevit ve

fázi zkoušení formy a následné úpravy mohou výrazně zvýšit náklady. Odvzdušnění musí být tím účinnější, čím je vyšší rychlost plnění dutiny formy. Vždy platí zásada, že navržené odvzdušnění nesmí způsobovat přetoky. [23, 27]

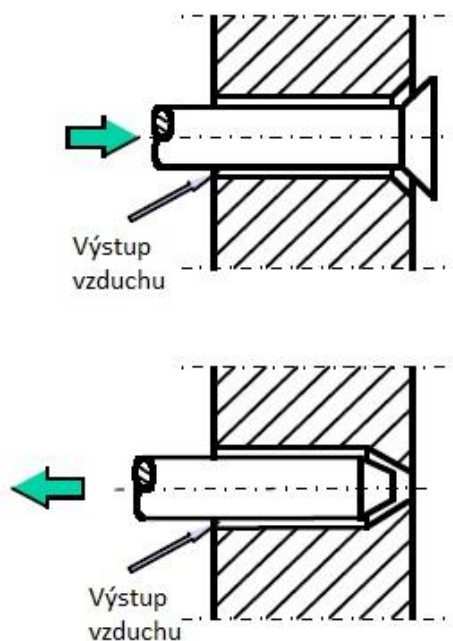
Vstřikování LSR vyžaduje velmi přesné dosedání dělících rovin a pohyblivých ploch vůči pevným. Proto je méně častá aplikace např. odvzdušnění mezerou v dělící rovině. Díky velice dobré zabíhavosti LSR i do spár velikosti 0,005mm by mohly vzniknout přetoky. Z těchto důvodů se používá způsob, kdy vstřikování LSR probíhá do vakuované dutiny formy. Kolem dutiny vstřikovací formy je nutné použít těsnění odolávající vysokým teplotám. K utěsnění se používá silikonové těsnění uzavřeného tvaru. Těsnění může být kruhového, čtvercového průřezu. Příklad silikonového těsnění je na obrázku 2.22. [6]



Silikonové těsnění

Obr. 2.22 – Těsnění dutiny formy [9]

Pro vakuování se používají tzv. odvzdušňovací zkosené kolíky. Tyto kolíky je vhodné umístit nejlépe do nevzhledové části dutiny formy. Ovládání pohybu kolíku je na zvážení konstruktéra formy a na zástavbových možnostech konkrétní vstřikovací formy. Příklad odvzdušňovacích zkosených kolíků je na obr. 2.23. [6]



Obr. 2.23 – Odvzdušňovací zkosený kolík - provedení [6]

Pokud není možné aplikovat odvzdušnění vakuováním dutiny, např. z důvodu zablokování vtokového systému těsněním nebo tvarové složitosti výstřiku, atd., je možné použít speciální odvzdušňovací vložky. Ty mají šířku 1-3mm a proměnlivou tloušťku 0,004-0,005mm a umísťují se do dělicí roviny. Vložky je vhodné umístit co nejbližší místu, kde je riziko uzavření vzduchu. Díky miniaturním rozměrům odvzdušnění prakticky nemůže dojít k tvorbě přetoků na výstřiku. [6]

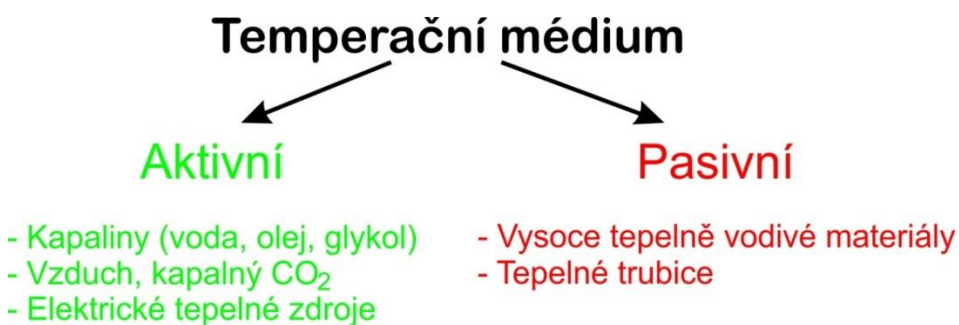
2.4.6 Temperační systém vstřikovacích forem

Temperování vstřikovací formy má velký vliv na dobu vstřikovacího cyklu, kvalitu povrchu výstřiku, deformace a rozložení vnitřního napětí ve výstřiku, morfologii výstřiku a smrštění.

Sestava formy je v podstatě výměník tepla, jehož úkolem je předat teplo kaučukové směsi. Z pohledu teorie sdílení tepla probíhají ve vstřikovací formě a jejím okolí všechny typy sdílení tepla – vedení, proudění, sálání. Je vhodné, aby velikost formy vůči velikosti kavit byla výrazně větší. Poté vstřikovací forma pracuje i jako tepelný akumulátor. Výhody této vlastnosti se

uplatňují při krátkodobé odstávce při vstřikování a zároveň temperaci lze snadněji regulovat. [23]

Rozdělení temperačních systémů vstřikovacích forem je možné dle typu temperačního média.



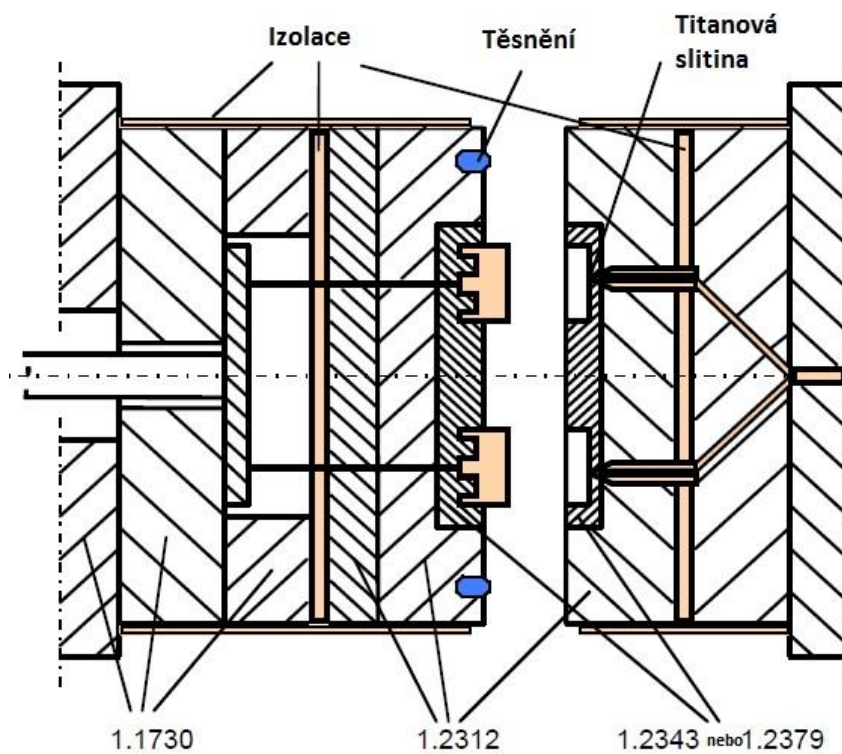
Obr. 2.24 – Schéma rozdělení temperačních systémů

Pro návrh temperačního systému pro vstřikovací formy LSR se používají elektrické tepelné zdroje, např. topné patrony a také topné spirály ve formě vložky, apod. Jejich výhodou je možnost přesné regulace temperačního systému. Tyto topné prvky lze aplikovat samostatně nebo s integrovaným termočlánkem. V případě potřeby regulace teploty v kritickém místě formy je možné použít kombinaci elektrického tepelného zdroje spolu s jiným médiem. Vhodné médium pro vysoké teploty používané při vulkanizaci LSR jsou oleje s odolností až do 200°C. [28]

2.4.7 Materiály vstřikovacích forem

Nejčastěji se pro vstřikovací formy používají nástrojové oceli různých mechanických vlastností. Obecně platí zásada použití vysocepevnostních a kalitelných nástrojových ocelí pro tvárník, tvárnici a další části formy, kde může být zvýšené mechanické namáhání. Pro rám formy je možné použít oceli konstrukčního typu. Lze aplikovat i slitiny neželezných kovů pro formy velmi malých rozměrů a prototypové formy. Neželezné kovy je možné také aplikovat pro určitou oblast jinak ocelové formy, kde je potřeba odvádět teplo v jiné intenzitě. Vstřikovací formy jsou vyráběny z různých ocelí ve formě polotovárů, které má konstruktér k dispozici jako normálii. Doporučení materiálu pro vstřikovací formu pro LSR je na následujícím obrázku 2.25.

Specifikace uváděného označení materiálu je uvedeno v kapitole 3.5 Souhrn použitých normálí.



Obr. 2.25 – Aplikace materiálů vstřikovací formy pro LSR
[6]

3 Experimentální část

Tato diplomová práce se zabývá konstrukcí vstřikovací formy pro zpracování silikonu. Cílem experimentální části této práce je vývoj výrobku ze silikonu typu LSR a návrh konstrukce vstřikovací formy pro výrobu tohoto výrobku.

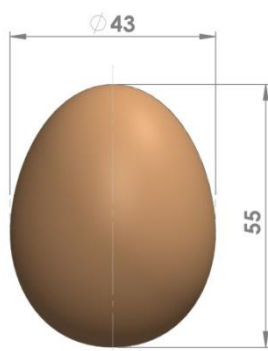
Navržený výrobek je stojánek na vejce. Tento výrobek byl navržen díky možnosti realizovat poměrně jednoduchý funkční tvar a pro možnost prezentace výzkumu v oblasti zpracování silikonů na TUL, Katedře strojírenské technologie. Vývoj výrobku byl směřován k praktickému designu a vstřikování z materiálu Elastosil LR 3071/60. Dále se experimentální část práce zabývá detailním popisem jednotlivých konstrukčních prvků navržené formy a cílem konstruování je vstřikovací forma využitelná pro vstřikovací stroj Arburg 520 S 1600 – 290/170/290.

3.1 Výrobek

Pro konstrukční návrh vstřikovací formy byl navržen výrobek, a to stojánek na vejce. Design stojánku je navržený tak, aby jeho estetický dojem působil přirozeně k jeho užití. To znamená, že stojánek neobsahuje konstrukční prvky, které by narušily jednoduchý design. Průchozí otvory ve stojánku slouží k odkapávání vody, ulpívající na povrchu skořápky a zároveň tyto otvory plní funkci designového prvku. Velikost stojánku je navržena tak, aby bylo možné do něj vložit vejce standartní velikosti M, které je běžně dostupné. Díky navržení jednoduchého designu a použitého materiálu je možné stojánek snadno omývat běžnými čisticími prostředky, ať už ručně nebo v myčce. Stojánek je navržen tak, aby byla zaručena bezpečnost používání vzhledem k jeho účelu.

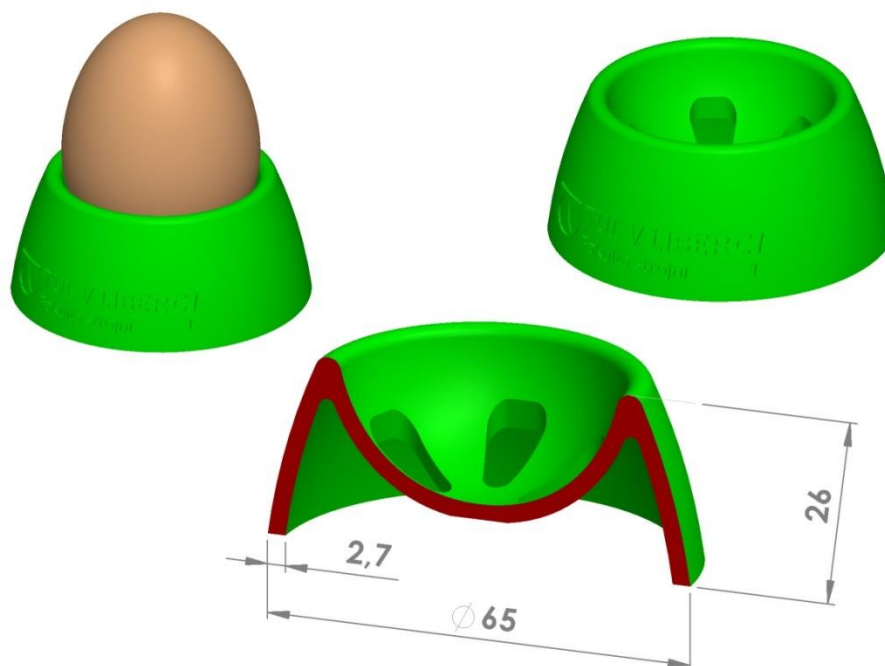
Navržený design stojánku je určený pro širokou veřejnost, proto je možné uvažovat sériovou výrobu 1000000 kusů v průběhu 3 let produkce. Aby stojánek mohl také prezentovat TUL a její výzkum v oblasti silikonů, bude na jeho povrchu viditelné logo TUL, Fakulta strojní. Logo bude gravírováno laserem na vzhledovou stranu povrchu dutiny formy.

Pro konstrukční návrh stojánu byl změřen tvar a velikost vejce velikosti M. Velikost je dána pouze standardizovanou hmotností 53-63g, a proto měřením 10 kusů vajec velikosti M byl stanoven tvar a rozměry, které jsou znázorněny na obr. 3.1. [1]



Obr. 3.1 – Rozměry vejce velikosti M

Design stojánu je navržen včetně potřebných úprav pro snadné vyjímání výrobku z formy. Tyto úpravy jsou úkosy v průchozích otvorech, malá rovná plocha na nevzhledové straně pro lepší vyrobiteľnosť vyhazovacího prvku, stěny stojánu bez negativních úkosů a ploch, které by znemožnili vyjmutí výrobku z formy. Stojánek je vytvořen ve formě 3D CAD modelu v konstrukčním programu SolidWorks. Celkový design a základní rozměry stojánu jsou znázorněny na obr. 3.2. Objem stojánu vygenerovaný pomocí SolidWorks je $19,84 \text{ cm}^3$. Vzhledem k hustotě zvoleného silikonu Elastosil LR 3071/60 1120 kg/m^3 je tedy hmotnost stojánu 22,22g.



Obr. 3.2 – Celkový pohled na stojánek, základní rozměry

Detailní výkres stojánku je uveden ve výkresové dokumentaci, která je součástí diplomové práce jako příloha č. 4.

Lepší představa designu stojánku je dosažena vyrobením prototypu 3D tiskárnou. Zároveň díky prototypu je ověřena funkčnost stojánku. Prototyp zrealizovala firma Uniplast Pardubice spol.s.r.o. pomocí 3D tiskárny EOS P396, která pracuje na principu laserového spékání práškového materiálu. Prototyp byl vyroben z materiálu PA 2200, což je polymer typu Polyamid PA12 bez výztužného plniva. Prototyp je vyobrazen na obr. 3.3.



Obr. 3.3 – Prototyp výrobku (vlevo pohled shora, vpravo pohled ze spodu)

3.2 Materiál Elastosil LR 3071/60

Pro sériovou výrobu navrženého výrobku byl zvolen materiál od firmy Wacker chemie AG, silikon typu LSR Elastosil LR 3071/60. Tento silikon je dvousložkový a v základu dodávaný výrobcem jako transparentní. Silikon lze snadno barvit běžnými pigmenty. Výrobce jej také dodává v již barveném stavu v odstínech RAL. Tento materiál vyniká velmi krátkou vytvrzovací dobou.

Materiál Elastosil LR 3071/60 je vhodný pro technické díly vstřikované dvoukomponentním vstřikováním (termoplast – elastomer), tak i pro čistě silikonové výrobky. Výrobky z tohoto silikonu standardně nepotřebují dodatečné vytvrzování, výrobce doporučuje dodatečné vytvrzování pouze v případě styku výrobku s potravinami.

Materiál je dodáván ve 20l a 200l barelech, obě složky vždy v samostatném barelu. Smícháním obou složek materiálu v plastikační jednotce vzniká polotovar, který je připravený ke vstřikování do dutiny formy. Tento polotovar lze zpracovávat za pokojové teploty po dobu minimálně 3 dnů. Poměr směšování složek je 1:1. [16]

Materiálový list je uveden v příloze č. 2. V následující tabulce 3.2-1 jsou uvedeny základní technické parametry materiálu.

Tab. 3.2-1 – Přehled technických parametrů materiálu [16]

Parametr	Hodnota ¹	Metoda zkoušení
Tvrdost Shore A	60	DIN 53505
Hustota	1120 kg/m ³	ISO 1183-1 A
Viskozita (smyková rychlost 0,9 s⁻¹)	1300000 mPas	DIN 53019
Viskozita (smyková rychlost 10 s⁻¹)	450000 mPas	DIN 53019
Mez pevnosti v tahu	8,5 MPa	DIN 53504 S 1
Prodloužení při přetržení	500%	DIN 53504 S 1
Síla při přetržení	28 N/mm	ASTM D 624 B
Odrazová pružnost	60%	DIN 53512
Trvalá deformace v tlaku	60%	DIN ISO 815-B (22 h / 125 °C)
Trvalá deformace v tlaku	70%	DIN ISO 815-B (22 h / 125 °C)

¹ Hodnoty bez dodatečného vytvrzování

3.3 Vstřikovací stroj ARBURG 520S 1600 - 290/170/290

Cílem diplomové práce je konstrukce vstřikovací formy pro navržený silikonový výrobek. Navržený výrobek je stojánek na vejce. Navrženou vstřikovací formu bude možné použít pro sériovou výrobu výrobku na vstřikovacím stroji ARBURG 520 S 1600 - 290 / 170 / 290. Tento vstřikovací stroj má TUL, Katedra strojírenské technologie k dispozici ve své laboratoři. Vstřikovací stroj je uzpůsobený pro vstřikování silikonů LSR. Silikony LSR se vstřikují vedlejší horizontální vstřikovací jednotkou tohoto vstřikovacího stroje.

3.3.1 Konstrukce vstřikovacího stroje

Vstřikovací stroj ARBURG 520 S 1600 - 290 / 170 / 290 (dále jen vstřikovací stroj Arburg) umožňuje vyrábět součásti až ze tří polymerů zároveň, tedy tříkomponentní výrobky. Stroj má dvoudeskovou konstrukci. To znamená, že vstřikovací forma se upíná na pevnou desku stroje a pohyblivou desku stroje. Středícím otvorem v pevné upínací desce prochází vstřikovací tryska hlavní horizontální vstřikovací jednotky. Pevná upínací deska je pevně spojená s rámem vstřikovacího stroje. Středícím otvorem pohyblivé upínací desky prochází tahač vyhazovacího paketu. Pohyblivá upínací deska je tuhý blok, který je veden vůči pevné upínací desce 4 sloupky o průměru 75mm. Nejmenší vzdálenost mezi sloupky je 520mm. Tento rozměr je důležitý pro konstrukci vstřikovací formy a její maximální možné vnější rozměry. Vodící sloupky jsou ukotveny v pevné upínací desce a podpěrné desce, která je součástí rámu stroje. Posuv pohyblivé upínací desky, tahače vyhazování, axiální posuv šneků, rotaci šneků zajišťují hydraulické pohony. Tyto pohony jsou napájeny hydraulickou kapalinou z centrálního čerpadla. Pro vyrovnání případných tlakových špiček je hydraulický obvod vybaven akumulátorem tlaku.

Vstřikovací stroj se skládá ze dvou horizontálních vstřikovacích jednotek a jedné vertikální vstřikovací jednotky. Vedlejší horizontální vstřikovací jednotka je konstrukčně uzpůsobena ke vstřikování LSR do dělicí roviny vstřikovací formy. Šneková komora této vstřikovací jednotky je chlazená na 20 až 25°C. Ostatní vstřikovací jednotky jsou vytápěné na teplotu

zpracovávaného polymeru. K ovládání stroje slouží řídicí systém SELOGICA od firmy Arburg.

Vstřikovací formu je možné upnout pomocí závitů M12 v pevné a pohyblivé upínací desce. Vystředění vstřikovací formy do centrální osy stroje je zajištěno otvory o průměru 125mm v pevné a pohyblivé upínací desce, do kterých se vkládají středící kroužky vstřikovací formy. Vstřikovací formu je také možné upnout elektropermanentním magnetem.

Součástí stroje je vakuová vývěva, která zajišťuje odvzdušnění dutiny formy před vstřikem silikonu LSR. Dopravu obou složek silikonu LSR do vstřikovací jednotky zajišťuje speciální pneumatické dávkovací zařízení. V následující tabulce 3.3-1 jsou uvedeny technické parametry vstřikovacího stroje ARBURG. [2]

Tab. 3.3-1 – Technické parametry vstřikovacího stroje Arburg

Parametr	Hodnota
Uzavírací síla (kN)	1600
Otevírací síla (kN)	60
Min. vzdálenost mezi sloupy (mm)	520x520
Min. výška formy (mm)	250
Vyhazovací síla max. (kN)	50
Max.hmotnost formy (kg)	1600
Max. vstřikovací kapacita – hlavní horizontální jednotka (cm³)	106 / 144 / 188 ²
Max. vstřikovací kapacita – vedlejší horizontální jednotka (cm³)	106 / 144 / 188 ²
Max. vstřikovací kapacita – vertikální jednotka (cm³)	59 / 85 / 115 ³
Max. vstřikovací tlak - hlavní horizontální jednotka (bar)	2500 / 2000 / 1530 ²
Max. vstřikovací tlak – vedlejší horizontální jednotka (bar)	2500 / 2000 / 1530 ²
Max. vstřikovací tlak – vertikální jednotka (bar)	2500 / 2000 / 1470 ³

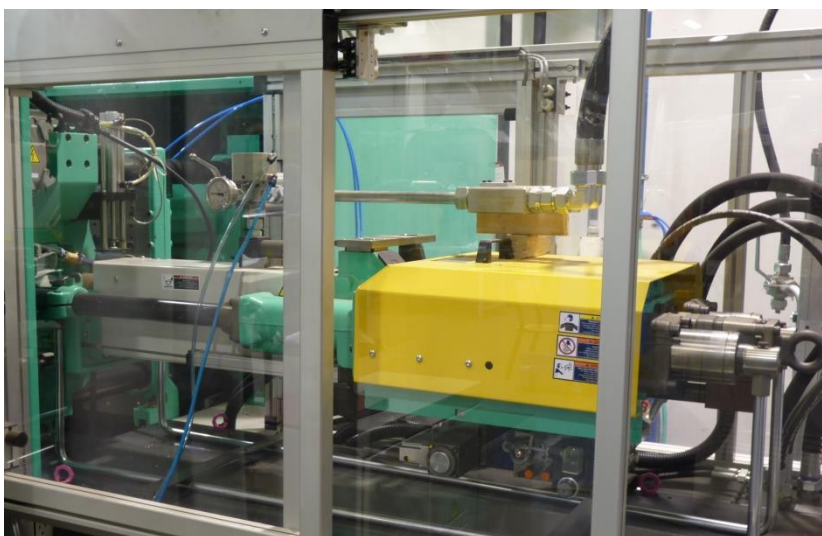
² Hodnoty dle použitého průměru šneku 30 / 35 / 40 mm

³ Hodnoty dle použitého průměru šneku 25 / 30 / 35 mm

Následující obrázky znázorňují sestavu a detaily vstřikovacího stroje Arburg.



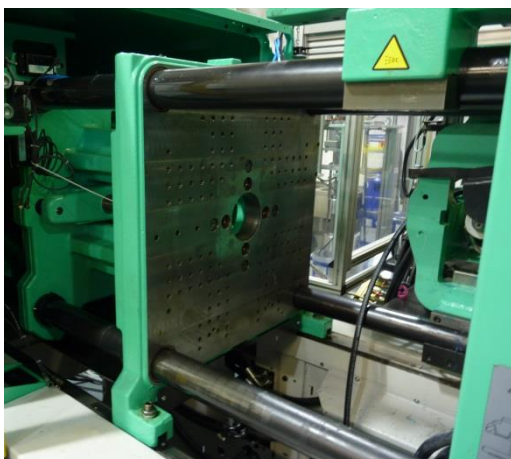
Obr. 3.4 – Sestava vstřikovacího stroje Arburg



Obr. 3.5 – Vedlejší horizontální vstřikovací jednotka stroje Arburg



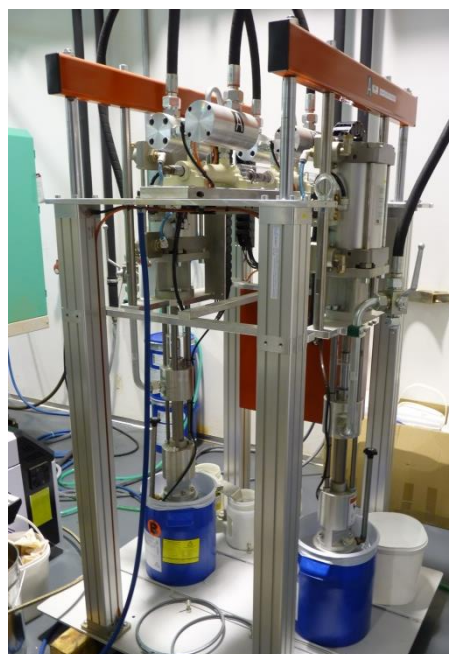
Obr. 3.6 – Akumulátor tlaku



Obr. 3.7 – Pohyblivá upínací deska (vlevo), pevná upínací deska (vpravo)



Obr. 3.8 – Tryska vedlejší horizontální vstřikovací jednotky



Obr. 3.9 – Dávkovací zařízení materiálu LSR



Obr. 3.10 – Ovládací panel s řízením SELOGICA

3.4 Návrh konstrukce vstřikovací formy pro LSR

Cílem této diplomové práce je pro navržený silikonový výrobek navrhnout konstrukci vstřikovací formy. Tuto vstřikovací formu bude možné použít pro výrobu navrženého výrobku na vstřikovacím stroji ARBURG. Konstrukce vstřikovací formy podléhá zásadám, které jsou uvedeny v teoretické části této diplomové práce. Návrh vstřikovací formy také splňuje určitá kritéria, která umožní její použití na vstřikovacím stroji ARBURG. Tyto kritéria jsou doporučené rozměrové proporce vstřikovací formy, díky kterým je možné formu bezpečně upnout na upínací desky vstřikovacího stroje. Řízení elektrického příslušenství vstřikovací formy je možné pomocí řídicího systému stroje. Komunikace mezi řídicím systémem a elektrickým příslušenstvím je možná pomocí připojovacího konektoru. Konstrukce této vstřikovací formy vychází z dílů, které je možné získat jako běžně dostupné normálie vstřikovacích forem.

Doporučené rozměrové proporce vstřikovací formy jsou: [2]

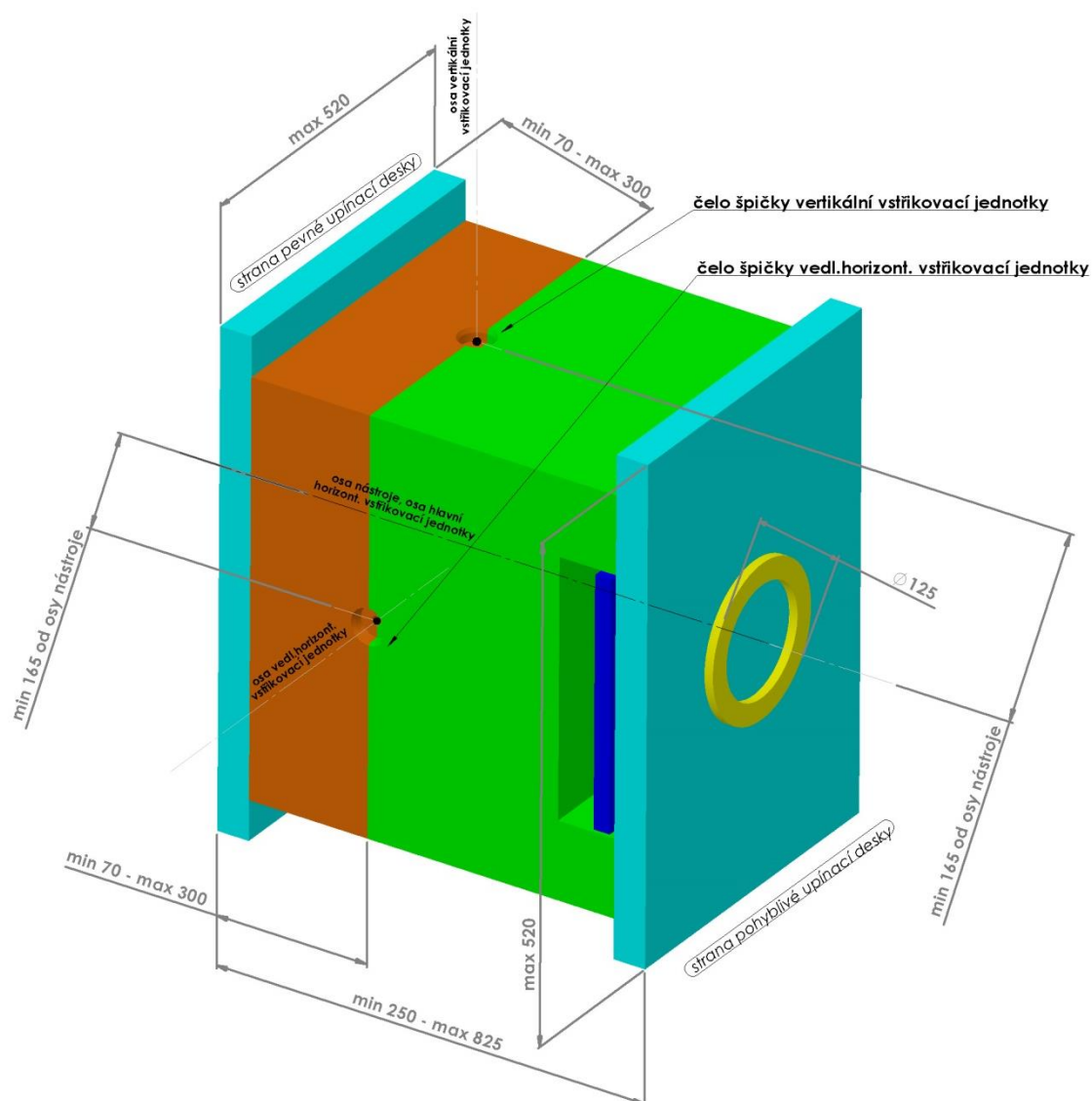
- vnější maximální rozměry formy musí být menší než vzdálenost vodících sloupů, která je 520mm
- kolmá vzdálenost osy vedlejší horizontální jednotky od roviny pevné upínací desky stroje musí být min. 70 mm, max. 300 mm
- kolmá vzdálenost osy vertikální vstřikovací jednotky od roviny pevné upínací desky stroje musí být min. 70 mm, max. 300 mm
- vzdálenost čela špičky vedlejší horizontální vstřikovací jednotky od osy hlavní horizontální vstřikovací jednotky musí být min. 165 mm
- vzdálenost čela špičky vertikální vstřikovací jednotky od osy hlavní horizontální vstřikovací jednotky musí být min. 165 mm

Ostatní rozměry vstřikovací formy, které je nutné dodržet:

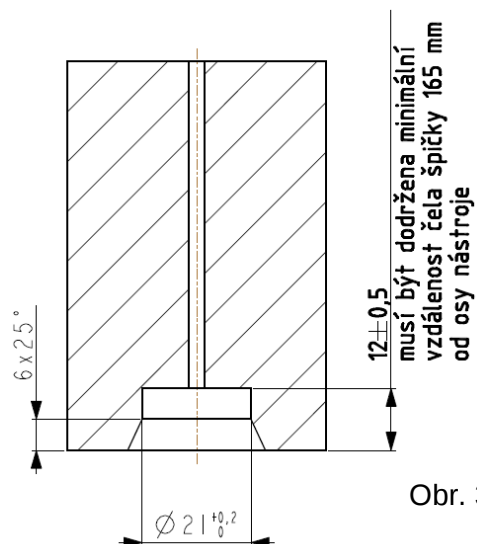
- průměr středících kroužků musí být 125mm

- tahač vyhazování musí být závitová tyč M12
- rozměr navedení špičky vedlejší horizontální jednotky dle obrázku 3.12

Pro lepší názornost jsou doporučené rozměry formy zakótovány na následujícím obrázku 3.11.

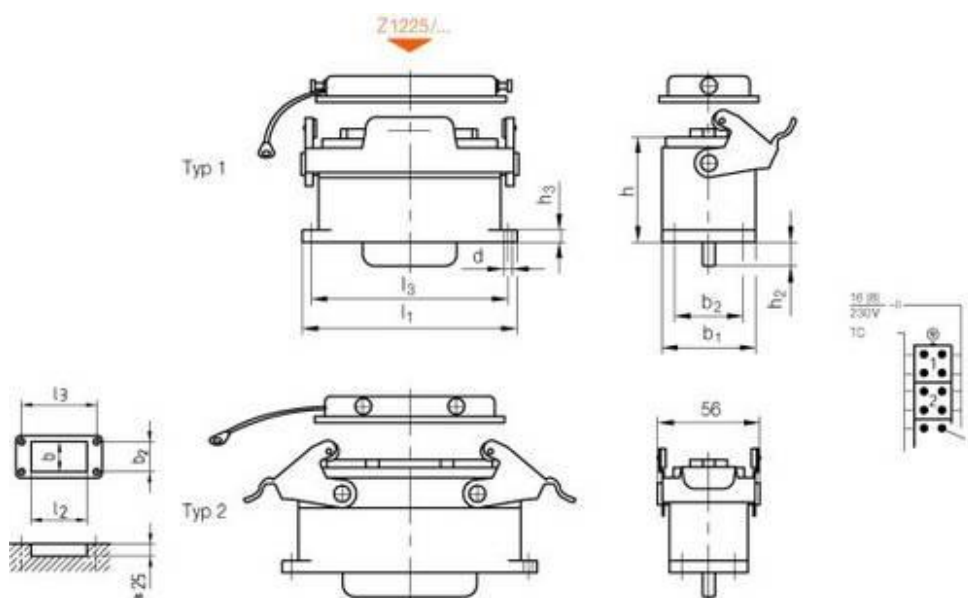


Obr. 3.11 – Doporučené proporce vstřikovací formy



Obr. 3.12 – Dosedací plocha pro trysku

Pro připojení řídicího systému k elektrickému příslušenství vstřikovací formy je nutné použít připojovací konektor od firmy Hasco, typ Z 1227/16/24. Tento konektor je znázorněn na obrázku 3.13. Rozměry tohoto konektoru jsou uvedeny v tabulce 3.4-1.



Obr. 3.13 – Připojovací konektor Hasco [5]

Kóta	Velikost (mm)
l1	140
l2	112
l3	130
h	28
h2	18
h3	5
b	35
b1	43
b2	32
d	4,5

Tab. 3.4-1 – rozměry konektoru Hasco [5]

3.4.1 Násobnost vstřikovací formy

Prvním krokem návrhu konstrukce vstřikovací formy pro navržený výrobek je určení násobnosti formy. Násobnost formy musí zajistit výrobu 1000000 kusů po dobu 3 let. Při návrhu násobnosti formy je uvažována časová rezerva 20% výrobního cyklu, která je přičtena k výpočtu doby výrobního cyklu. Tuto rezervu je nutné zohlednit ve výpočtu kvůli odstávce formy při seřizování a údržby formy, údržby stroje, výměně barelů s materiálem, apod. Ve výpočtu je uvažována výroba v 1 směnném provozu po dobu 8 hodin, 20 pracovních dnů v kalendářním měsíci a výroba 7 měsíců v roce.

Pro výpočet násobnosti formy jsou použity následující doporučené časy dle výrobce materiálu Elastosil LR 3071/60: [6]

- čas vstřikování $t_v = 1s$
- doba vulkanizace $t_{vul} = 2,7mm * 5s/mm = 13,5s$
(doporučená doba vulkanizace je 3-5s/mm tloušťky dílu)
- Předpokládaný čas otevření formy, vyhození výrobku a opětovné uzavření formy $t_{vyh} = 5s$

Doba vstřikovacího cyklu: $t_c = t_{vyh} + 1,2 * (t_v + t_{vul}) = 22,4s \approx 23s$

Vzhledem k době vstřikovacího cyklu, vyvážení vstřikovacího procesu a požadovanému počtu kusů je navržena dvounásobná vstřikovací forma. Při vstřikování do dvounásobné formy bude vstřikován počet výrobků za 1 rok dle následujícího výpočtu:

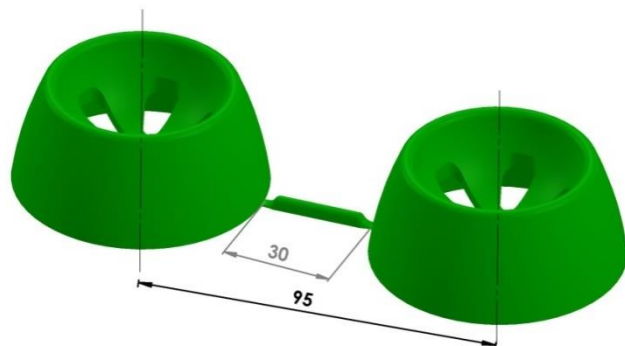
$$n_{1rok} = 2 * \left(\frac{3600s}{23s} * 8h * 20dn * 7m \right) = 350608,7 ks \approx 350608 ks$$

Počet vyrobených kusů za 3 roky produkce navrženého výrobku:

$$n_{3roky} = 3 * n_{1rok} = 3 * 350608 = 1051824 ks$$

Dvounásobná forma splní výrobu 1000000 kusů výrobků, a to včetně 4,9% rezervy z celkového počtu vyrobených kusů.

Navržená násobnost vstřikovací formy umožnila rozmístění výrobků dle obrázku 3.14. Výrobky jsou rozmístěny symetricky vůči ose formy a kolmo vůči ose vedlejší horizontální vstřikovací jednotky stroje Arburg.



Obr. 3.14 – Rozmístění výrobků

3.4.2 Výpočet uzavírací síly vstřikovací formy

Pro vstřikování navrženého výrobku na vstřikovacím stroji ARBURG bude nastaven vstřikovací tlak dle doporučení výrobce materiálu Elastosil LR 3071/60. Tento vstřikovací tlak vyvine určitý tlak v dutině formy. Tlak v dutině formy udává potřebnou uzavírací sílu vstřikovací formy. Tato síla je vyvozena hydraulickým válcem, který koná axiální posuv pohyblivé upínací desky. Uzavírací síla musí držet obě poloviny vstřikovací formy v uzavřené poloze po dobu vstřikovacího cyklu. Dostatečná velikost uzavírací síly po dobu vstřikovacího cyklu zabrání pootevření vstřikovací formy v dělicí rovině a následnému vzniku přetoků na výstřiku v oblasti dělicí roviny formy.

Výrobce doporučený vstřikovací tlak je 300bar (30bar = 30N/mm²) [2]

Pomocí konstrukčního softwaru Solidworks byla změřena průmětná plocha výstřiku včetně vtokového zbytku. Tato plocha má velikost 7388mm².

Dále je uveden výpočet uzavírací síly vstřikovací formy:

$$F_U = S * p_{vs} = 7388 * 30 = 221640N \cong 222kN$$

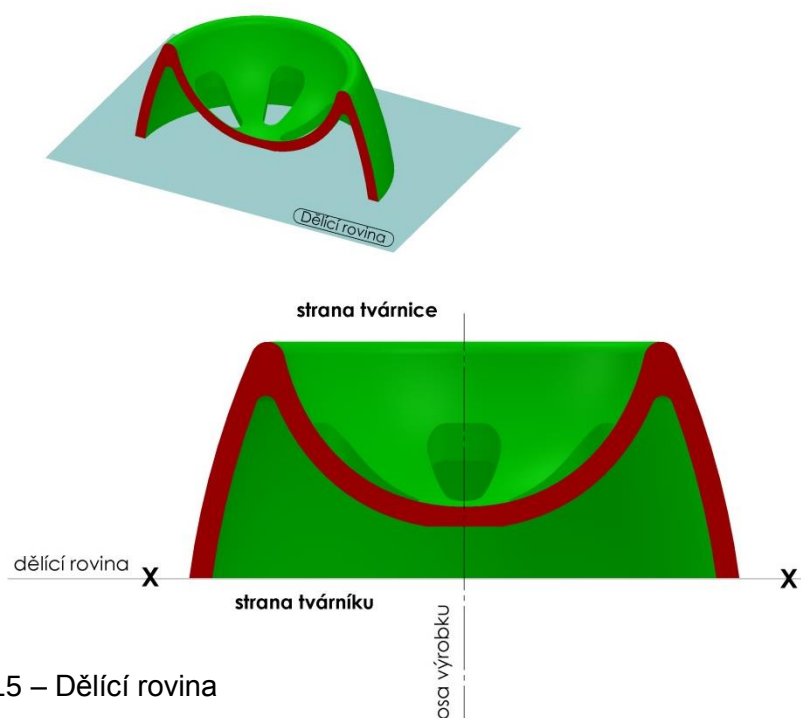
$$F_U < F_{U\max-Arburg}$$

$$222\text{ kN} < 1600\text{ kN}$$

Vypočtená uzavírací síla 222kN je menší než maximální uzavírací síla 1600kN, kterou je schopen vstřikovací stroj Arburg vyvinout. Protože je maximální uzavírací síla stroje Arburg výrazně vyšší, nehrozí pootevření vstřikovací formy v dělicí rovině, a tudíž následnému vzniku přetoků na výstřiku.

3.4.3 Návrh dělicí roviny vstřikovací formy

Návrh dělicí roviny vstřikovací formy vychází z tvaru výrobku. Dělicí rovina je umístěna do nevzhledové strany výrobku. Dělicí rovinu tvoří dosedací plocha stojánku. Výrobek neobsahuje otvory mimo osu výrobku ani výstupky mimo osu výrobku, tudíž nejsou nutné uvažovat v konstrukci formy boční jádra a vedlejší dělicí roviny. Výrobek neobsahuje negativní úkosy stěn a otvorů, které by zabraňovali odformování zvulkanizovaného výstřiku. Následující obrázek 3.15 jasně definuje dělicí rovinu, stranu tvárníku a tvárnice.



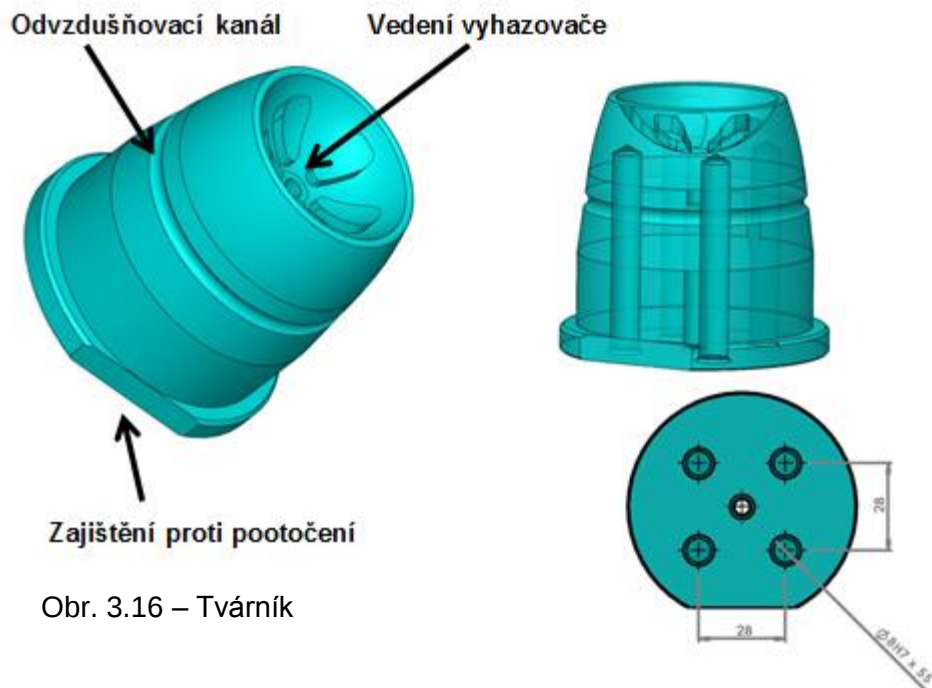
Obr. 3.15 – Dělicí rovina

Návrh této polohy dělicí roviny umožňuje konstrukci rotačního tvárníku s výstupky, tvárnice s hladkou rotační plochou a rovné dělicí plochy.

3.4.4 Konstrukce tvárníku

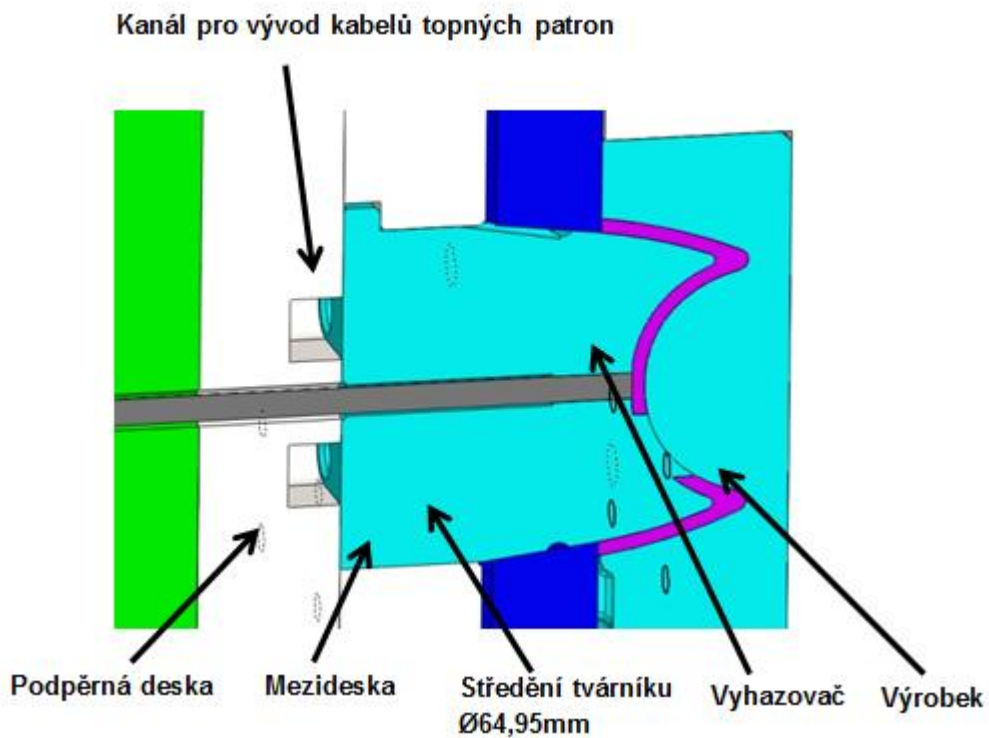
Tvárník je vytvořen obtiskem tvaru vnitřní strany výrobku. Součástí tvárníku jsou plochy průchozích otvorů výrobků, které mají úkos $1,5^\circ$. Zaformováním otvorů vznikají na tvárníku výstupky. Středem tvárníku prochází otvor $\varnothing 5H7$ o délce 15mm pro vedení vyhazovače. V dosedací ploše mezi tvárníkem a stírací deskou je odvzdušňovací kanál. Poloha tvárníku ve vstřikovací formě je zajištěna zbroušenou plochou na největším průměru tvárníku. V tvárníku

jsou 4 otvory pro topné patrony $\varnothing 8 \times 50\text{mm}$. Materiál tvárníku je ocel 1.2343, která je kalená na tvrdost 54 HRC. Na následujícím obrázku 3.16 je znázorněn tvárník.



Obr. 3.16 – Tvárník

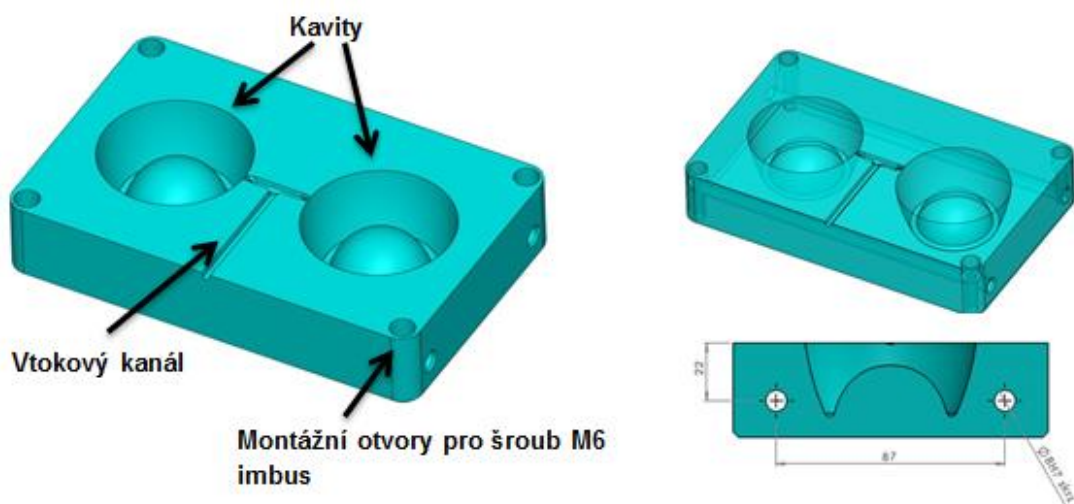
Na následujícím obrázku 3.17 je znázorněno uložení tvárníku ve vstřikovací formě.



Obr. 3.17 – Uložení tvárníku

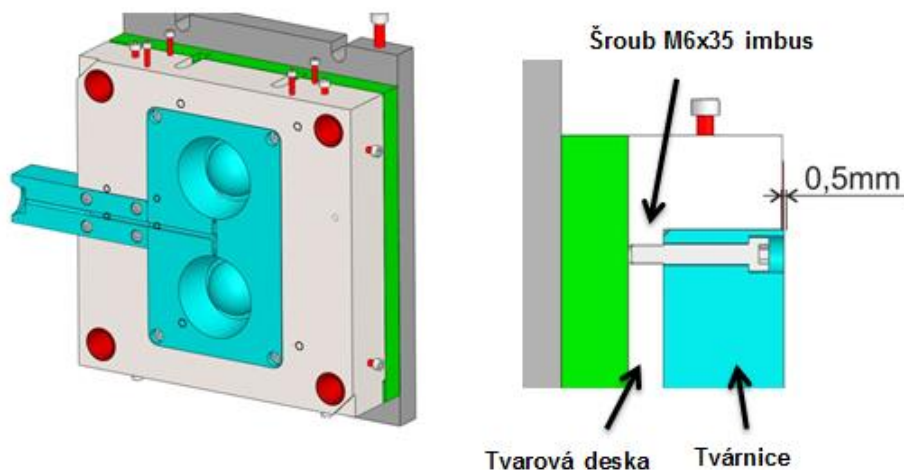
3.4.5 Konstrukce tvárnice

Tvárnice je vytvořena obtiskem tvaru vnější plochy výrobku. Součástí tvárnice jsou obtisky tvarových ploch vtokové soustavy. Poloha tvárnice je v tvarové desce zajištěna pomocí kapsy. Tvárnice je montována do vstřikovací formy čtyřmi šrouby M6 x 35mm. Plocha tvárnice, která tvoří dělicí rovinu, vystupuje 0,5mm z hladiny tvarové desky. Tím je zaručeno přesné dosedání dělicí roviny mezi oběma částmi vstřikovací formy. V tvárnici jsou dva otvory pro topné patrony Ø8 x 160mm. Materiál tvárnice je ocel 1.2343, která je kalená na tvrdost 54 HRC. Na následujícím obrázku 3.18 je znázorněna tvárnice.



Obr. 3.18 – Tvárnice

Na následujícím obrázku 3.19 je znázorněno uložení tvárníku ve vstřikovací formě.

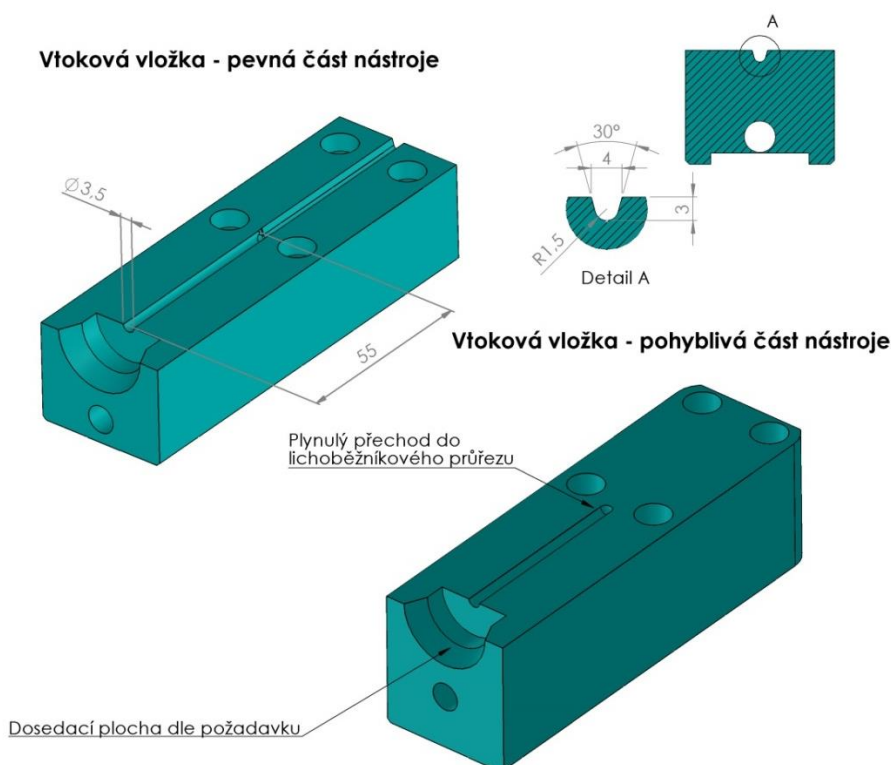


Obr. 3.19 – Uložení tvárnice

3.4.6 Vtokový systém

Vtokový systém je část vstřikovací formy, která zajišťuje dopravu materiálu LSR mezi tryskou vstřikovací jednotky a dutinou formy. Velikost a tvar vtokového systému je navržen tak, aby nedošlo k předčasné vulkanizaci LSR. Předčasná vulkanizace materiálu LSR by měla za následek neúplné naplnění dutiny formy. Vtokový systém musí zajistit konstantní podmínky plnění obou dutin vstřikovací formy.

Vstřikování výrobku pomocí stroje Arburg vyžaduje vstřikování materiálu směrem do dělicí roviny vedlejší vstřikovací jednotkou. Vzhledem k tvaru trysky této vstřikovací jednotky je nutné kombinovat dva typy průřezů rozváděcích kanálů. Tvary rozváděcích kanálů ve vtokových vložkách pevné a pohyblivé části vstřikovací formy jsou znázorněny na následujícím obrázku 3.20.

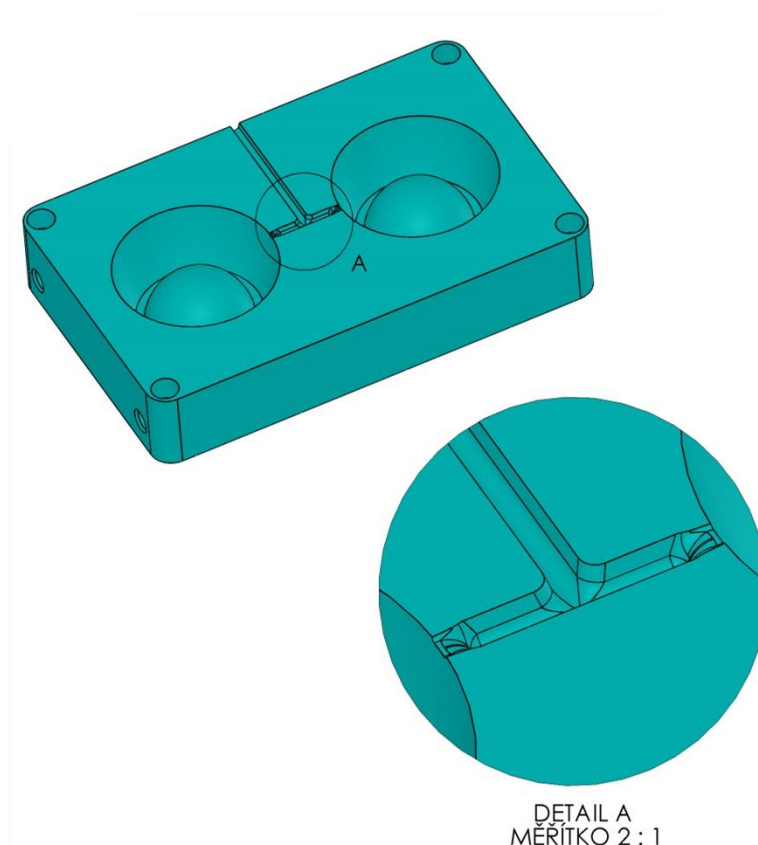


Obr. 3.20 – Tvar rozváděcích kanálů vtokových vložek

Tryska dosedá na kruhové vybrání ve vtokových vložkách. Proto je rozváděcí kanál nejprve kruhového průřezu a ve vzdálenosti 55mm od trysky plynule přechází do lichoběžníkového průřezu. Kruhový kanál má průměr 3,5mm a

plocha průřezu je $9,6\text{mm}^2$. Kruhový kanál je rozdělen na dvě části, které jsou symetricky rozložené v obou vtokových vložkách. Lichoběžníkový kanál má plochu průřezu $8,8\text{mm}^2$. Lichoběžníkový kanál je umístěn v pevné vtokové vložce a plynule přechází do tvárnice vstřikovací formy.

Lichoběžníkový rozváděcí kanál se ve tvárnici napojuje na lichoběžníkový kanál, který přechází v ústí vtoku. Tato oblast je znázorněna na následujícím obrázku 3.21.

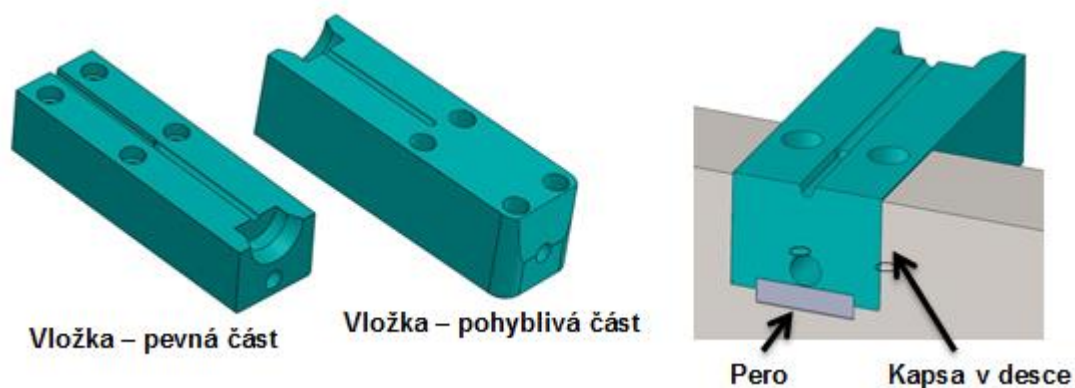


Obr. 3.21 – Detail lichoběžníkového

Vtoková vložka pevné části vstřikovací formy je šroubována do tvarové desky čtyřmi šrouby M5 x 40mm a její přesnou polohu vymezuje pero 6 x 6 x 25mm spolu s kapsou v tvarové desce. Pro montáž topné patrony $\varnothing 8$ x 80mm je v této vtokové vložce podélný otvor. Materiál vtokové vložky je ocel 1.2343, která bude následně kalena na tvrdost 54 HRC

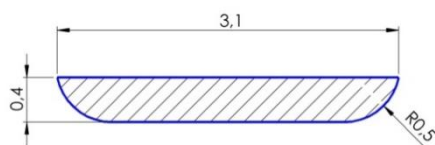
Vtoková vložka pohyblivé části vstřikovací formy je šroubována do mezidesky čtyřmi šrouby M5 x 40mm a její přesnou polohu vymezuje pero 6 x 6 x 25mm spolu s kapsou v mezidesce. Pro montáž topné patrony $\varnothing 8$ x

80mm je v této vtokové vložce podélný otvor. Materiál vtokové vložky je ocel 1.2343, která bude následně kalena na tvrdost 54 HRC. Mezi stírací deskou a bočními stěnami této vtokové vložky je vůle velikosti 1mm. Tato vůle zabrání kontaktu vtokové vložky a stírací desky při jejím pohybu. Na následujícím obrázku 3.22 je znázorněna konstrukce obou vtokových vložek.



Obr. 3.22 – Konstrukce vtokových vložek

Vtokový systém je zakončen ústím vtoku. Tato část vtokového systému usměrňuje tok materiálu do dutin formy. Pro vstřikování LSR je vhodné štěrbinové vtokové ústí. Navržené ústí vtoku má plochu $1,13\text{mm}^2$. Vtokový zbytek je možné snadno odstranit odstřížením. Detail navrženého ústí vtoku je na následujícím obrázku 3.23.



Obr. 3.23 – Detail ústí vtoku

3.4.7 Temperace vstřikovací formy

Vstřikovací forma pro LSR je vytápěná na teplotu 180 až 200°C. Protože gradient teploty formy vůči okolnímu prostředí je vysoký, je nutná správná konstrukce temperace vstřikovací formy. To znamená navrhnout výkon a rozmístění topných patron ve vstřikovací formě. Pro snížení potřebného výkonu topných patron je vstřikovací forma izolována od okolního prostředí s dostatečným předimenzováním izolačních prvků. Předimenzované izolační prvky zajistí minimalizaci tepelných ztrát mezi formou, vnějším prostředím a upínacími deskami vstřikovacího stroje.

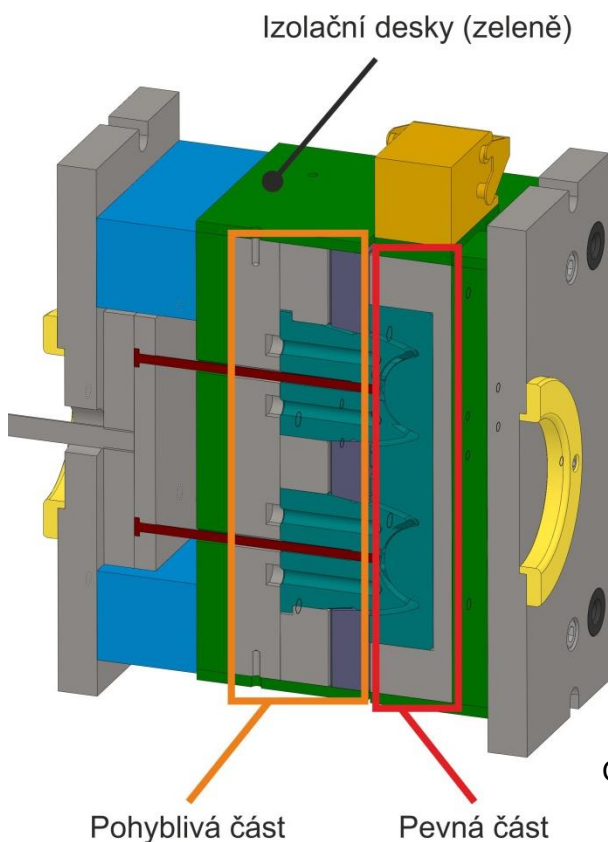
Topné patrony jsou rovnoměrně rozmístěny kolem dutin formy, aby nedocházelo k přetápění ani k nedotápění výstřiku. Potřebné výkony topných patron jsou stanoveny následujícím výpočtem. Topné patrony pro navrženou vstřikovací formu jsou voleny z katalogu firmy Fepa. Topné patrony jsou voleny s ohledem na zástavbu v konstrukci formy a s ohledem na jejich zaručený výkon. Přehled topných patron je v příloze č. 3. Příklad topných patron firmy Fepa je uveden na obrázku 3.24.



Obr. 3.24 – Topné patrony Fepa
[8]

Pro stanovení potřebného výkonu topných patron se uvažuje temperace pevné i pohyblivé části vstřikovací formy. Výkon topných patron je vypočtený dle empirických vztahů. Výpočet doby ohřevu vstřikovací formy je proveden pomocí tepelné bilance formy. Nejdříve softwarem Solidworks byla vygenerována hmotnost obou částí formy. Generovaná hmotnost je

uvažována pouze pro izolované části formy. Tyto části jsou znázorněny na následujícím obrázku 3.25.



Obr. 3.25 – Určení vytápěné oblasti

Hmotnost vytápěné pevné části formy je $m_{\text{pevná}} = 20,2\text{kg}$. Hmotnost vytápěné pohyblivé části je $m_{\text{pohyblivá}} = 34,9\text{kg}$. Dle doporučení firmy Xiameter je navržen topný výkon $P_{1\text{kg}} = 50\text{W} / 1\text{kg}$ vytápěného materiálu vstřikovací formy.[6]

Výpočet výkonu topných patron pevné části vstřikovací formy:

Potřebný výkon:

$$P_1 = P_{1\text{kg}} * m_{\text{pevná}} = 50 * 20,2 = 1010\text{W}$$

Vzhledem k navržené konstrukci formy jsou zvoleny dvě hlavní topné patrony vložené v tvárnici a jedna vedlejší topná patrona vložená ve vtokové vložce. Z katalogu firmy Fepa jsou zvoleny topné patrony s integrovaným termočlánkem následujících parametrů:

- 2x Ø8mm, L = 160mm, P = 500W (typ 900, flexibilní výstup vodičů)

- 1x Ø8mm, L = 80mm, P = 250W (typ 901)

Celkový výkon zvolených topných patron pevné části formy:

$$P_{1\text{ celkový}} = 1250W$$

Výpočet výkonu topných patron pohyblivé části vstřikovací formy:

Potřebný výkon:

$$P_2 = P_{1kg} * m_{pevná} = 50 * 34,9 = 1745W$$

Vzhledem k navržené konstrukci formy jsou zvoleny 4 hlavní topné patrony vložené v každém tvárníku a jedna vedlejší topná patrona vložená ve vtokové vložce. Z nabídky firmy Fepa jsou zvoleny topné patrony s integrovaným termočlánkem následujících parametrů:

- 8x Ø8mm, L = 50mm, P = 200W (typ 903)
- 1x Ø8mm, L = 80mm, P = 250W (typ 901)

Celkový výkon zvolených topných patron pohyblivé části formy:

$$P_{2\text{ celkový}} = 1850W$$

Celkový výkon dodaný do vstřikovací formy všemi topnými patronami:

$$P_{\text{celkový}} = 3100W$$

Při ohřevu vstřikovací formy z teploty 25°C na 200°C bude spotřebováno určité teplo. Aby bylo zaručeno důkladné prohřátí formy na 200°C před zahájením vstřikování, musí být forma vytápěná po určitý vypočtený čas. Tento čas je výsledkem výpočtu tepelné bilance dle následujících vztahů:

Měrná tepelná kapacita pro ocel: $c_p = 469 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$ [10]

Potřebné dodané teplo pevné části formy:

$$Q_1 = m * c_p * \Delta t = 20,2 * 469 * (200 - 25) = 1657915 \text{ J} \quad [11]$$

Potřebné dodané teplo pohyblivé části formy:

$$Q_2 = m * c_p * \Delta t = 34,9 * 469 * (200 - 25) = 2864418 \text{ J} \quad [11]$$

Celkové dodané teplo:

$$Q_{celkové} = 4522333 \text{ J}$$

Vyjádření doby ohřevu:

$$P_{celkový} = \frac{Q_{celkové}}{t} \Rightarrow t = \frac{Q_{celkové}}{P_{celkový}} = \frac{4522333}{3100} \cong 1460 \text{ s} \quad [11]$$

K ohřevu formy z 25°C na 200°C bude potřeba 24,3 minut.

Při ohřevu vstřikovací formy z teploty 170°C na 200°C bude spotřebováno určité teplo. Ochlazení vstřikovací formy může nastat při krátké technologické odstávce. Čas ohřevu je výsledkem výpočtu tepelné bilance dle následujících vztahů:

Měrná tepelná kapacita pro ocel: $C_p = 469 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$ [10]

Potřebné dodané teplo pevné části formy:

$$Q_1 = m * c_p * \Delta t = 20,2 * 469 * (200 - 170) = 284214 \text{ J} \quad [11]$$

Potřebné dodané teplo pohyblivé části formy:

$$Q_2 = m * c_p * \Delta t = 34,9 * 469 * (200 - 170) = 491043 \text{ J} \quad [11]$$

Celkové dodané teplo:

$$Q_{celkové} = 775257 \text{ J}$$

Vyjádření doby ohřevu:

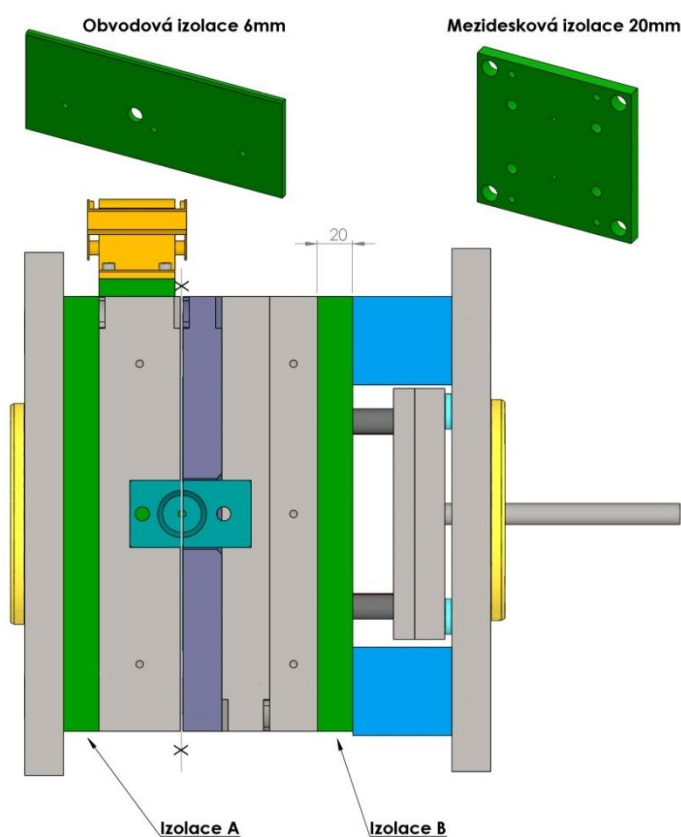
$$P_{celkový} = \frac{Q_{celkové}}{t} \Rightarrow t = \frac{Q_{celkové}}{P_{celkový}} = \frac{775257}{3100} \cong 250 \text{ s} \quad [11]$$

K ohřevu formy ze 170°C na 200°C bude potřeba 4,16 minuty.

Vypočtené doby ohřevů lze uvažovat jako orientační. Vzhledem k malým rozměrům vstřikovací formy (tvar krychle 250 x 250 x 250mm) a účinné izolaci vytápěných oblastí lze zanedbat odvod tepla do okolí sáláním a prouděním kolem povrchu formy.

Izolace vstřikovací formy

Předimenzovaná konstrukce izolačního systému je předpokladem pro minimalizaci tepelných ztrát mezi vstřikovací formou, vnějším prostředím a upínacími deskami vstřikovacího stroje i při vytápění formy na teplotu 200°C. Nejvyšší tepelné ztráty jsou mezi vytápěnými částmi formy a ostatními konstrukčními prvky formy. Proto je nejsilnější izolační prvek umístěn co nejblíže k tvárníku, tvárnici a vtokovým vložkám. Minimalizace tepelných ztrát povrchem formy je zajištěna obvodovou izolací. Rozmístění izolačních prvků je znázorněno na následujícím obrázku 3.26.



Obr. 3.26 – Rozmístění izolačních prvků

Materiál pro izolační prvky je od firmy Röchling typ Glatherm HT 250 HQ. Tento materiál odolává teplotám do 250°C, při teplotě 200°C disponuje pevností v tlaku 500 MPa [7].

Pro konstrukci formy je zvolen polotovar tohoto materiálu o tloušťce 20mm (na obrázku 3.27 Izolace A,B) a polotovar o tloušťce 6mm (na obrázku 3.27 Obvodová izolace).

Příklad izolačního materiálu Glastherm je uveden na následujícím obrázku 3.27.



Obr. 3.27 – Izolační materiál Röchling Glastherm HT 250 HQ [7]

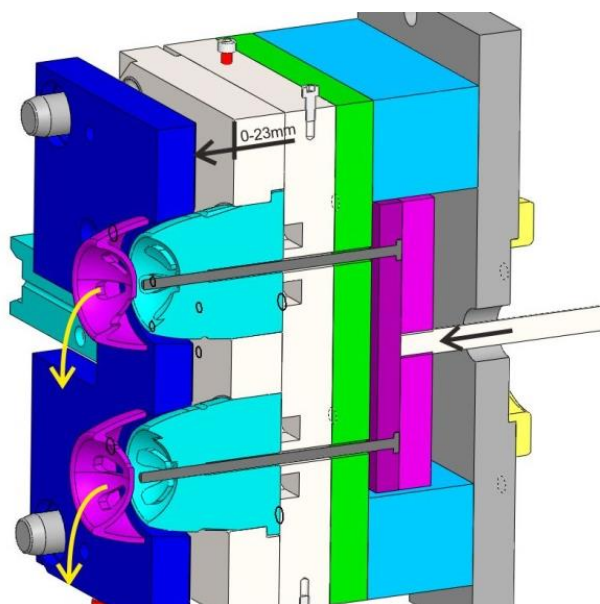
3.4.8 Vyhazovací systém vstřikovací formy

Vyhazovací systém je část vstřikovací formy, která zajišťuje vyjmutí zvlukanizovaného výrobku z dutiny formy. Navržený vyhazovací systém je mechanický s automatickým ovládáním pohybu vyhazovacích prvků.

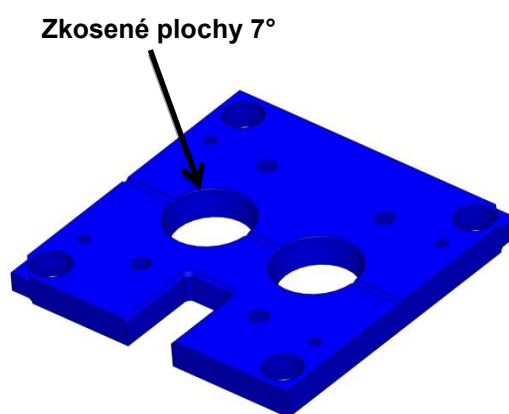
Vyhazovací systém je konstruován pomocí stírací desky a dvou centrálních vyhazovačů. Stírací deska tvoří dělicí rovinu formy a zároveň dosedací plochu výrobků. Stírací deska také vyhazuje vtokový zbytek. Dráha pohybu stírací desky a vyhazovačů musí být minimálně 2/3 výšky výrobku, to odpovídá dráze 19mm. Vyhazovací systém je poháněn hydraulickým tahačem vstřikovacího stroje ARBURG. Spojení tahače a vyhazovacího systému je pomocí rychlospojky.

Vyhazovací prvky jsou dva kolíkové vyhazovače o průměru 5mm a stírací deska. Kolíkové vyhazovače jsou vybrány z normálií formy Meusburger a stírací deska je obráběna z deskové normálie od formy Meusburger. Vyhazovací systém je uložen ve čtyřech vodících pouzdrech. Stírací deska je středěná na tvárníky zkosenými plochami o velikosti zkosení 7°. Tato plocha je znázorněna na obrázku 3.29. Materiál stírací desky je ocel 1.2343,

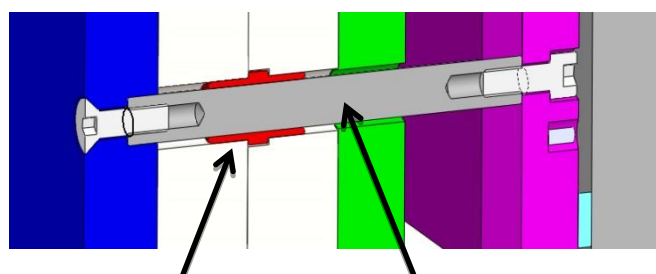
kteřá je kalená na tvrdost 54HRC. Na obrázku 3.28 je znázorněna funkce vyhazovacího systému. Na obrázku 3.30 je znázorněno uložení vyhazovacího systému.



Obr. 3.28 – Vyhazovací systém



Obr. 3.29 – Stírací deska



Vodící pouzdro

Vodící sloupek

Obr. 3.30 – Uložení vyhazovacího systému

3.4.9 Odvzdušnění dutiny vstřikovací formy

Odvzdušnění vstřikovací formy je konstrukční úprava tvarových částí formy, která umožňuje odvod vzduchu z dutiny formy během plnění dutiny materiálem. Navržené odvzdušnění zabrání vzniku vad na výstřiku při procesu vstřikování. Zároveň velikost odvzdušňovacích prvků musí mít takovou velikost, aby nevznikaly přetoky na výstřiku.

Odvzdušnění dutiny navržené vstřikovací formy je realizováno mezerou mezi stírací deskou a plochou tvárníků. Tato mezera má vzhledem k dobré zatékavosti materiálu LSR velikost 0,005mm. Délka odvzdušňovacího kanálu je stanovena dle následujícího výpočtu.

Výpočet délky odvzdušňovacího kanálu: [27]

Doba plnění kavity

$$t = 1s$$

Hmotnost vzduchu uzavřeného v kavitě

$$m = V * \gamma = 0,0000414 * 1,16 = 4,8 * 10^{-5} kg = 0,048g$$

Teplota stlačeného vzduchu dle polytropické přeměny T_2

$$T_2 = T_1 * \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{n-1}{n}} = 293 * \left(\frac{20}{0,1}\right)^{0,13} = 586K$$

Průřez odvzdušnění f

$$f = 2,5 * \sqrt{T_2} * \frac{m}{p_1 * t} = 2,5 * \sqrt{586} * \frac{4,8 * 10^{-5}}{1 * 10^{-2} * 1} = 0,029 mm^2$$

Vypočtená délka odvzdušňovacího kanálu je 5,8mm.

p_2 – tlak stlačeného vzduchu v dutině na konci plnění (empiricky stanovená hodnota 20-30 MPa pro vznik nedostříklého výstřiku)

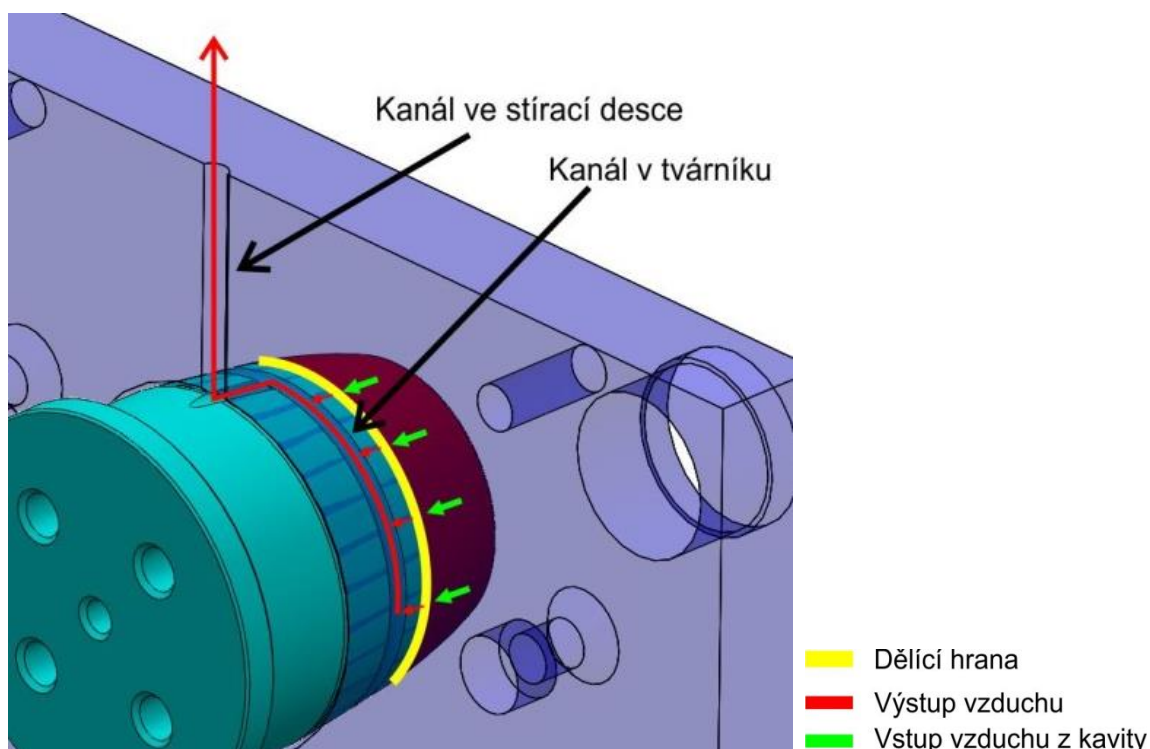
p_1 – atmosférický tlak vzduchu v dutině před zahájením vstřikování

γ – měrná hmotnost vzduchu

T_1 – teplota vzduchu před zahájením vstřikování

V – objem výstřiku včetně vtokového zbytku

Na následujícím obrázku 3.31 je znázorněn směr odvodu vzduchu.

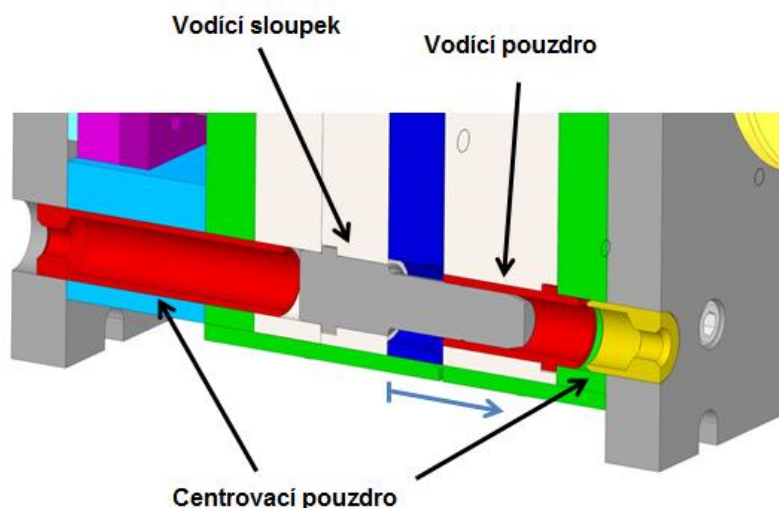


Obr. 3.31 – Odvzdušnění dutiny formy

3.4.10 Vedení a středění vstřikovací formy

Vstřikovací forma je při každém vstřikovacím cyklu uzavřena a při vyhazování výstřiku otevřena. Proto je nutné pohyblivou část formy vůči pevné navádět vhodnými vodícími prvky. Vstřikovací forma se skládá z mnoha konstrukčních prvků, jejichž poloha je vůči sobě závislá kvůli správné funkci formy. Proto jednotlivé konstrukční prvky jsou centrovány pomocí centrovacích prvků. Vodící a centrovací prvky je možné vyrábět. Nejčastěji jsou ovšem používány tyto prvky z nabídky normálí.

Pohyblivá strana formy je vůči pevné naváděna přes kluzná vodící pouzdra vhodná do teploty 200°C. Pro vystředění jednotlivých konstrukčních prvků navržené vstřikovací formy jsou použity centrovací pouzdra. Kluzná vodící pouzdra a centrovací pouzdra jsou voleny z nabídky normálí firmy Meusburger. Na následujícím obrázku 3.32 je znázorněno navržené vedení a středění vstřikovací formy.



Obr. 3.32 – Vedení a středění formy

3.4.11 Sestava vstřikovací formy

Cílem této diplomové práce je navrhnout konstrukci vstřikovací formy pro produkci navrženého výrobku ze silikonu LSR. Navržený výrobek je stojánek na vejce.

Dle výše popsaného konstrukčního řešení jednotlivých prvků navržené vstřikovací formy je možné vytvořit sestavu vstřikovací formy. Tuto vstřikovací formu je možné použít na vstřikovacím stroji ARBURG. Forma je upnuta na upínací desky vstřikovacího stroje 4 šrouby M12 s válcovou hlavou a vnitřním šestihranem. Forma je na upínací desky stroje centrována středícími kroužky o průměru 125mm. Bezpečný transport vstřikovací formy je možný pomocí zavěšení sestavy formy za H-nosník. Tento H-nosník slouží i jako pojistka proti samovolnému otevření formy při manipulaci.

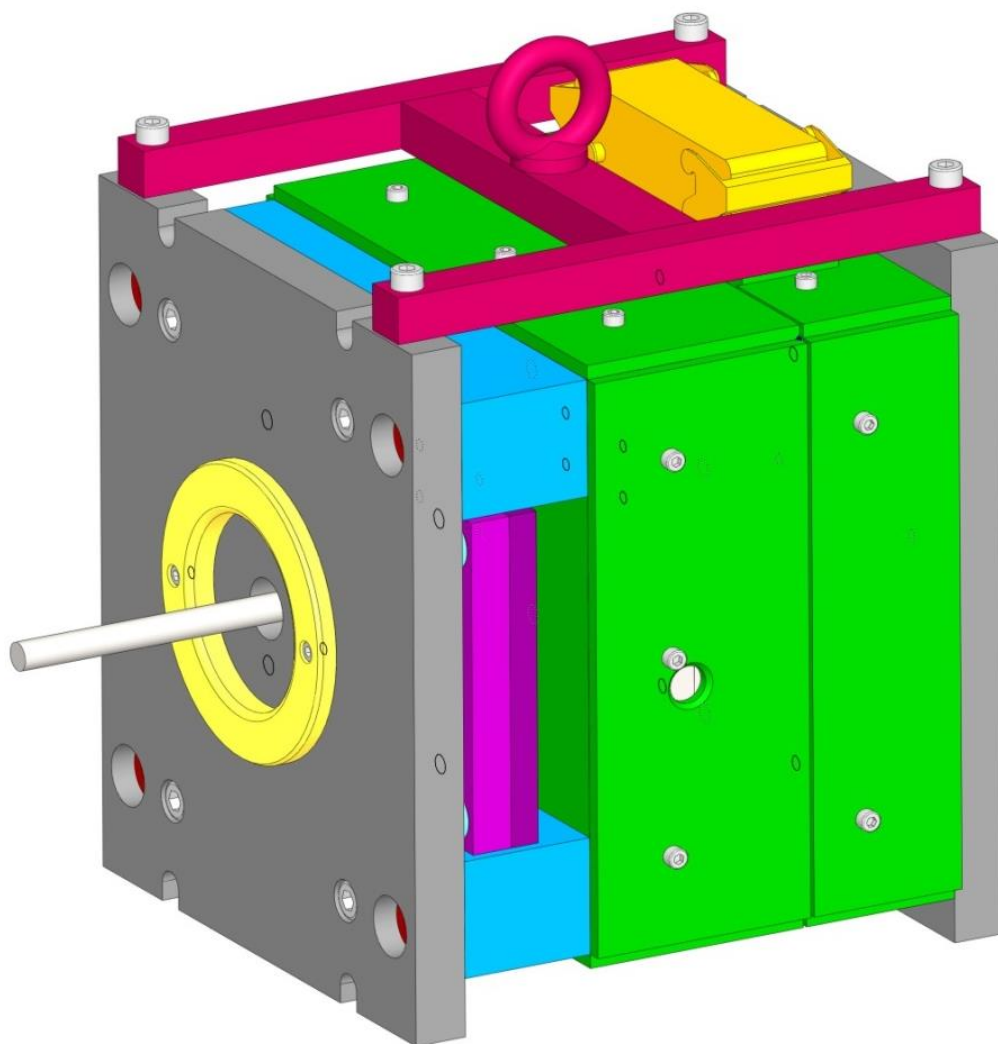
Výsledkem konstrukce je sestava formy s následujícími parametry:

- maximální rozměry formy jsou 296 x 246mm (bez H-nosníku)
- výška formy je 262,5mm
- hmotnost vstřikovací formy včetně transportního H-nosníku je 107kg
- hmotnost pohyblivé části formy je 68,5kg

- hmotnost pevné části formy je 38,5kg

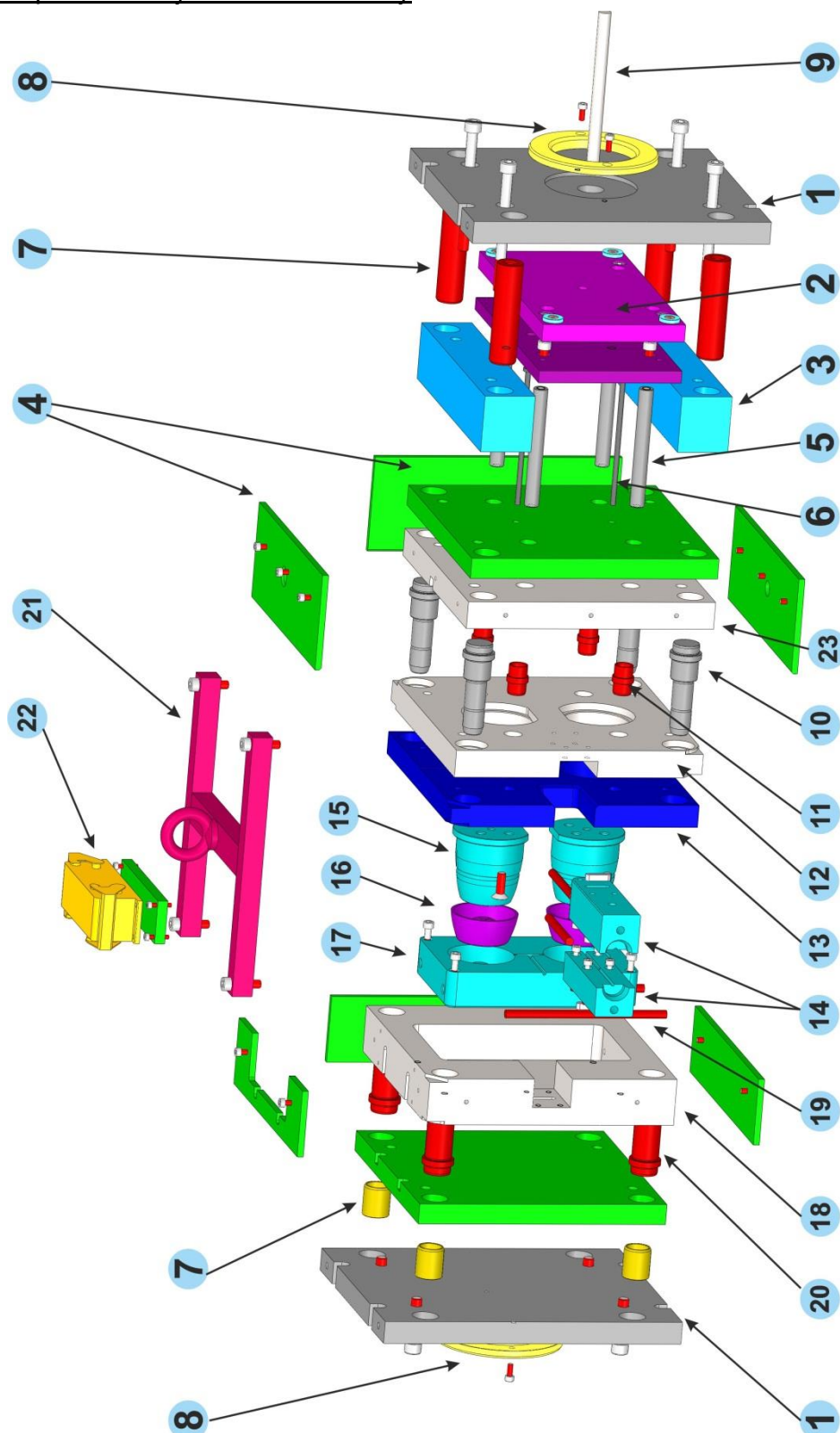
Pro konstrukci vstřikovací formy je použit univerzální rám z řady normálí firmy Meusburger. Jedná se o třideskový univerzální rám. Sestava tohoto rámu byla vytvořena jako konfigurace jednotlivých normálí z internetového katalogu firmy Meusburger. Výsledná konfigurace rámu je k dispozici v univerzálním 3D CAD formátu.

3D CAD model sestavy navržené vstřikovací formy umožnil vykreslení výkresové dokumentace, která je součástí této diplomové práce jako příloha č. 4. Součástí výkresové dokumentace jsou výkresy sestavy pevné a pohyblivé části formy, kusovník, výrobní výkresy jednotlivých dílů formy a výkres výrobku. Na obrázku 3.33 je znázorněna sestava navržené vstřikovací formy. Na obrázku 3.34 je znázorněn rozpad sestavy formy.



Obr. 3.33 – Vstřikovací forma (transportní sestavení s H-nosníkem)

Rozpad sestavy vstřikovací formy



- | | | |
|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| 1 – upínací deska | 8 – středící kroužek | 15 – tvárník s patronami |
| 2 – vyhazovací paket | 9 – tahač vyhazovacího paketu | 16 – výrobek |
| 3 – rozpěrky | 10 – vodící sloupek nástroje | 17 – tvárnice s patronami |
| 4 – izolační desky (vše zelené) | 11 – vodící pouzdro vyhazování | 18 – tvarová deska |
| 5 – vodící sloupek vyhazování | 12 – mezideska | 19 – topná patrona |
| 6 – vyhazovač | 13 – stírací deska (vyhazování) | 20 – vodící pouzdro nástroje |
| 7 – centrovací pouzdro | 14 – vtoková vložka s patronou | 21 – H-nosník pro transport |
| | | 22 – připojovací konektor Hasco |
| | | 23 – podpěrná deska |

Obr. 3.34 – Rozpad sestavy vstřikovací formy

3.5 Souhrn použitých normálií

Pro konstrukci navržené vstřikovací formy byly použity normálie firmy Meusburger. Firma patří k předním dodavatelům nástrojařských normálií a disponuje velmi krátkými dodacími lhůtami. Volba této firmy je z důvodu možnosti vytvoření 3D CAD modelu normálií, které jsou přehledně uspořádány v internetovém konfigurátoru. Uvedené ceny normálií v Eurech jsou pro rok 2015. Dále v této kapitole jsou uvedeny informace o použitých normáliích.

3.5.1 Deskové normálie [12]

1) Upínací desky

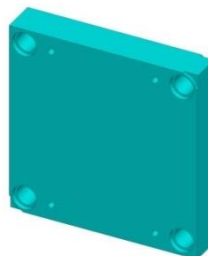
Název - popis	Upínací deska, na šířku přesahující, se středícím otvorem
Označení	F10_246 246_22
Materiál	1.1730
Počet kusů	2
Cena/ks (2015)	126€



Obr. 3.35 – Upínací deska

2) Tvarová deska

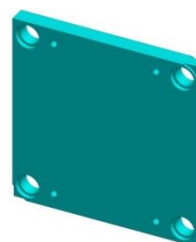
Název - popis	Tvarová deska
Označení	F50_246 246_46
Materiál	1.2312
Počet kusů	1
Cena/ks (2015)	213€



Obr. 3.36 - Tvarová deska

3) Tvarová deska – stírací deska

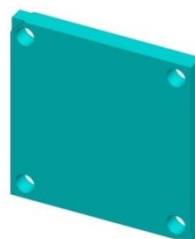
Název - popis	Tvarová deska
Označení	F50_246 246_22
Materiál	1.2343
Počet kusů	1
Cena/ks (2015)	200€



Obr. 3.37 – Stírací deska

4) Tvarová mezideska

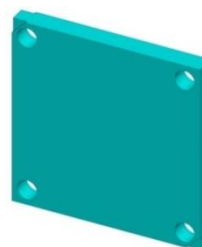
Název - popis	Tvarová deska
Označení	F50_246 246_27
Materiál	1.2312
Počet kusů	1
Cena/ks (2015)	161€



Obr. 3.38 – Mezideska

5) Podpěrná deska

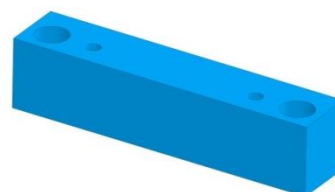
Název - popis	Podpěrná deska
Označení	F60_246 246_27
Materiál	1.2312
Počet kusů	1
Cena/ks (2015)	151€



Obr. 3.39 – Podpěrná deska

6) Rozpěrky

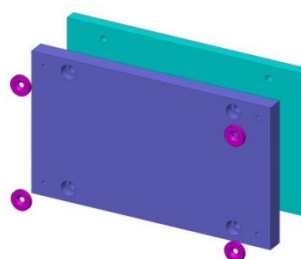
Název - popis	Lišta
Označení	F70_246 246_50_56
Materiál	1.1730
Počet kusů	2
Cena/ks (2015)	84€



Obr. 3.40 – Rozpěrka

7) Vyhazovací paket

Název - popis	Vyhazovací paket
Označení	F90_246 246_142
Materiál	1.1730
Počet kusů	1
Cena/ks (2015)	135€



Obr. 3.41 – Vyhazovací paket

3.5.2 Centrovací a vodící normálie [12]

1) Centrovací pouzdra

Název - popis	Centrovací pouzdro
Označení	E1160_26x30
Materiál	1.7131
Počet kusů	4
Cena/ks (2015)	4,70€



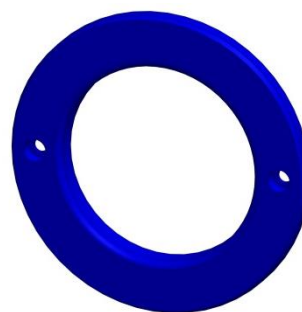
Obr. 3.42 – Centrovací pouzdro

Název - popis	Centrovací pouzdro
Označení	E1160_26x100
Materiál	1.7131
Počet kusů	4
Cena/ks (2015)	10,10€



Obr. 3.43 – Centrovací pouzdro

Název - popis	Středící kroužek
Označení	E 1367_125_90x12
Materiál	1.1730
Počet kusů	2
Cena/ks (2015)	30,50€



Obr. 3.44 – Středící kroužek

2) Vodící prvky

Název - popis	Vodící sloupek
Označení	E1000_20-27_55
Materiál	1.7131
Počet kusů	3
Cena/ks (2015)	12,40€



Obr. 3.45 – Vodící sloupek

Název - popis	Vodící sloupek
Označení	E1000_18-27_55
Materiál	1.7131
Počet kusů	1
Cena/ks (2015)	12,40€



Obr. 3.46 – Vodící sloupek

Název - popis	Vodící pouzdro
Označení	E1100_20_46
Materiál	1.7131
Počet kusů	3
Cena/ks (2015)	14,70€



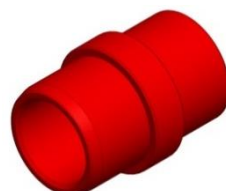
Obr. 3.47 – Vodící pouzdro

Název - popis	Vodící pouzdro
Označení	E1100_18_46
Materiál	1.7131
Počet kusů	1
Cena/ks (2015)	14,70€



Obr. 3.48 – Vodící pouzdro

Název - popis	Vodící pouzdro pro vyhazovací paket
Označení	E11202_14-12_17
Materiál	1.7131
Počet kusů	4
Cena/ks (2015)	8,40€



Obr. 3.49 – Vodící pouzdro

3.5.3 Ostatní normálie [12, 5]

Název - popis	Vyhazovač Ø5x140
Označení	E1710_5-140
Materiál	1.2210
Počet kusů	2
Cena/ks (2015)	3,20€



Obr. 3.50 – Vyhazovač

Název - popis	Connection housing Hasco Z1227
Označení	Z1227/16/24
Materiál	-
Počet kusů	1
Cena/ks (2015)	111,25€



Obr. 3.51 – Hasco connection housing

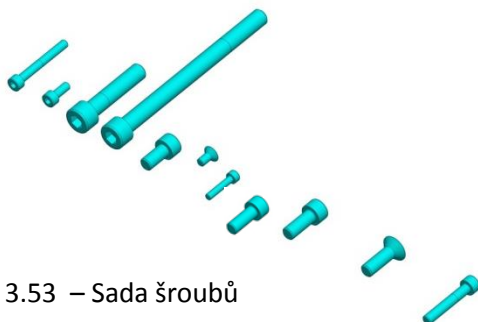
Název - popis	Závěsné oko
Označení	E1270_12
Materiál	C15E
Počet kusů	1
Cena/ks (2015)	1,90€



Obr. 3.52 – Závěsné oko

3.5.4 Spojovací materiál [12]

Šroub s vnitřním šestihranem	Počet kusů	Materiál	Cena/ks (2015)
M8x25 zápusťný ISO 10642	4	10.9	0,20€
M5x10 zápusťný ISO 10642	4	10.9	0,20€
M10x120 ISO 4762	4	12.9	1,90€
M10x45 ISO 4762	4	12.9	0,40€
M8x30 ISO 4762	4	12.9	0,20€
M8x20 ISO 4762	4	12.9	0,20€
M8x16 ISO 4762	4	12.9	0,20€
M6x35 ISO 4762	4	12.9	0,10€
M5x40 ISO 4762	8	12.9	0,20€
M5x12 ISO 4762	24	12.9	0,10€
M4x20 ISO 4762	4	12.9	0,10€
Suma cena			18€



Obr. 3.53 – Sada šroubů

Celková cena normálií 1679,75€

3.5.5 Specifikace použitých materiálů [12, 13, 14]

V následující tabulce 3.5.5-1 je uvedeno označení materiálu normálí dle firmy Meusburger a dále dle norem DIN a ČSN. Součástí tabulky je základní popis materiálu.

Tab. 3.5.5-1 – Specifikace materiálů

Značení dle Meusburger	Značení dle DIN / ČSN	Základní popis
1.1730	C 45 U / 19 083	Uhlíková nástrojová ocel vhodná pro rámy nástrojů a méně namáhané díly, mez pevnosti přibližně 640 MPa, tvrdost v měkkém stavu 190 HB, po kalení až 58 HRC
1.2312	40 CrMnMoS 86 / 19 520	Legovaná nástrojová ocel vhodná pro tvárníky/tvárnice, mez pevnosti přibližně 1080 MPa, ocel dodávaná ve zušlechtěném stavu, není nutné tepelně zpracovávat
1.2210	115CrV3 / 19 421	Chrom – vanadová ocel vhodná pro střížné, protlačovací nástroje a vyhazovače, tvrdost minimálně 64 HRC
1.7131	16MnCr5 / 14 220	Ušlechtilá konstrukční ocel vhodná k cementování, nitrocementování a nitridování, disponuje po povrchové úpravě vysokou odolností proti opotřebení, mez pevnosti přibližně 800 MPa
1.2343	X 38 CrMoV 51 / 19 552	Legovaná ocel s vysokou prokalitelností, vhodná pro tvárníky/tvárnice, nejčastější nástrojařská ocel, mez pevnosti přibližně 780 MPa, po kalení tvrdost až 54 HRC
C15E	C15E / 12 023	Ocel vhodná pro kované součásti a běžné strojní součásti, mez pevnosti přibližně 600 MPa
1.1191	C45 / 12 050	Ocel vhodná pro kalení součásti, hřídele, čepy, mez pevnosti přibližně 650 MPa
1.0577	S 355 J2 / 11 523	Konstrukční ocel pro běžné strojní součásti, zaručená svařitelnost, mez pevnosti přibližně 500 MPa
10.9	10.9 / 10K	Ocel pro spojovací materiál, minimální mez pevnosti 1000 MPa
12.9	12.9 / 12K	Ocel pro spojovací materiál, minimální mez pevnosti 1200 MPa

3.6 Návrh výrobního postupu vybraných prvků

vstřikovací formy

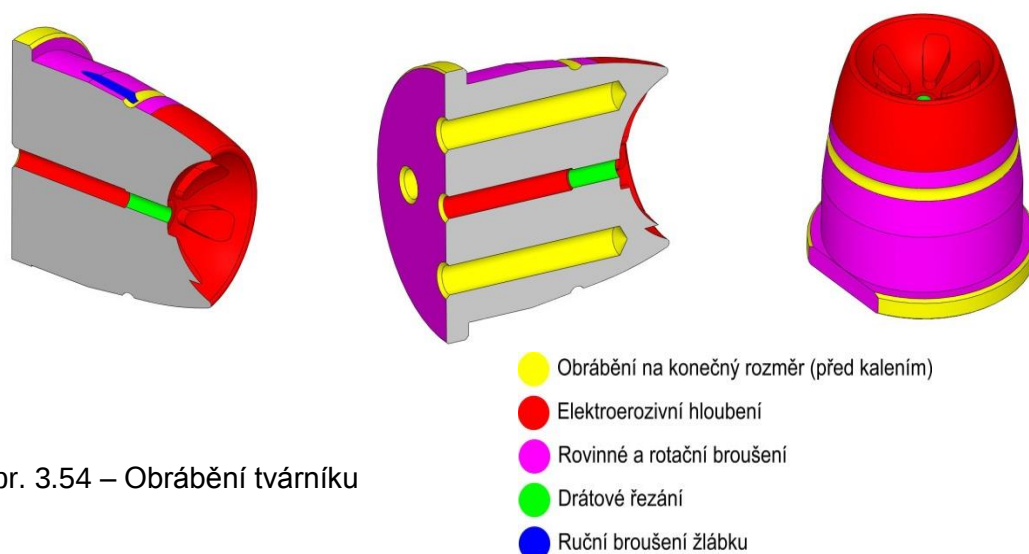
Navržená vstřikovací forma bude vyrobena nástrojárnou dle výkresové dokumentace a 3D CAD modelu formy. Nástrojárny mají k výrobě vstřikovacích forem potřebné strojní vybavení, např. CNC frézky, CNC elektroerozivní hloubičky a drátořezy, konvenční obráběcí stroje, apod. Pro ukázkou je uveden návrh výrobního postupu tvárníku a tvárnice.

3.6.1 Výrobní postup tvárníku

Materiál tvárníku je ocel 1.2343, polotovar Ø81 x 130mm [15]

- 1) CNC soustružení profilu s přídávkem 0,3mm, vrtání středového otvoru Ø4,5mm – pouze jako středící otvor, soustružení na čisto
- 2) Vrtání a vystružení otvorů 4x Ø8H7 pro topné patrony na čisto
- 3) Frézování rovinné plošky s přídávkem 0,5mm
- 4) CNC frézování tvarových ploch s přídávkem 0,5mm
- 5) Kalení součásti na tvrdost 54 HRC
- 6) Broušení rovinné dosedací plochy na čisto
- 7) Broušení rotačních ploch na čisto (Ø64,95, zkosená plocha – ověřit spasování s protikusy)
- 8) CNC elektroerozivní hloubení tvarových ploch na čisto
- 9) CNC elektroerozivní hloubení otvoru Ø6mm - odlehčení vyhazovače
- 10) CNC drátové řezání otvoru vedení vyhazovače Ø5H7
- 11) Broušení rovinné plošky na konečný rozměr (ověřit těsné spasování s kapsou v protikusu), ruční broušení od vzdušňovacího žlábků
- 12) Leštění tvarových ploch.

Pro názornost sledu výrobních operací je přiložen následující obrázek 3.54.



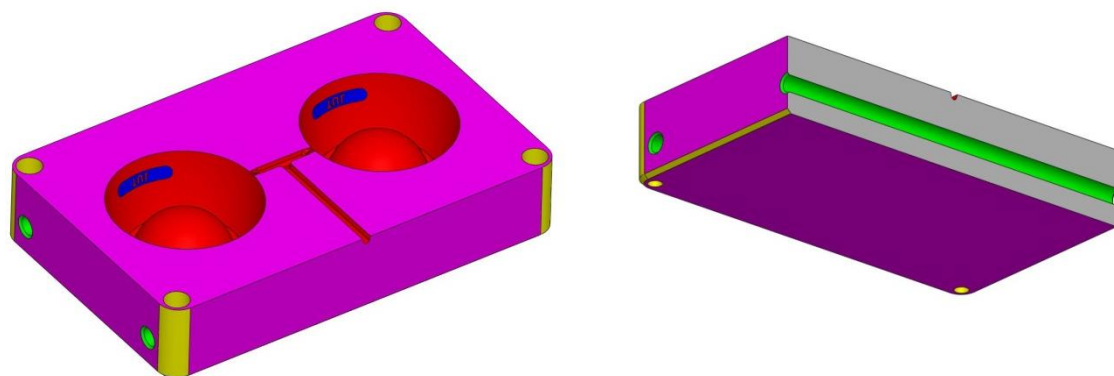
3.6.2 Výrobní postup tvárnice

Materiál tvárnice je ocel 1.2343, polotovár kvádr 190,4 x 120,4 x 36,4mm (s přídávkem na dokončení po kalení, polotovár je zúhlovaný) [15]

- 1) CNC frézování na čisto rádiusů R9 a zkosení 2x45° po obvodu
- 2) CNC frézování tvarových ploch dutin s přídávkem 0,5mm
- 3) CNC frézování vtokového kanálu a ústí vtoku s přídávkem 0,3mm
- 4) CNC frézka – vrtání otvorů Ø6,6mm a frézování zahloubení Ø11
- 5) Kalení součásti na tvrdost 54 HRC
- 6) CNC elektroerozivní hloubení tvarových ploch dutiny na čisto
- 7) CNC elektroerozivní hloubení vtokového kanálu a ústí vtoku na čisto
- 8) Broušení rovinných stěn na konečný rozměr
- 9) CNC drátové řezání otvorů Ø8H7 skrz pro topné patrony
- 10) Leštění tvarových ploch, CNC laserové gravírování loga (zrcadlově) na stěnu dutiny

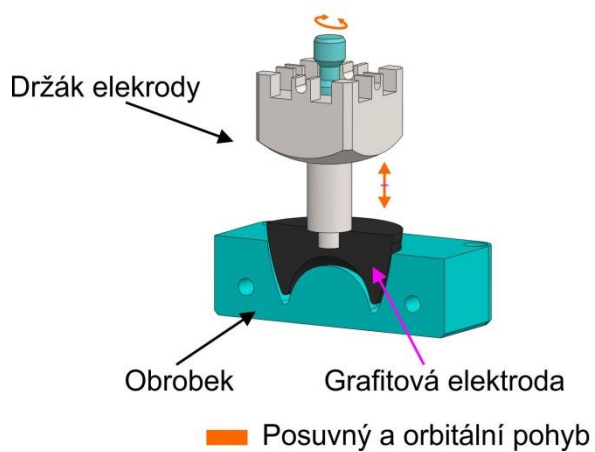
Pro názornost sledu výrobních operací je přiložen následující obrázek 3.55.

Příklad CNC hloubení dutiny formy je na obrázku 3.56.



- Obrábění na konečný rozměr (před kalením)
- Elektroerozivní hloubení
- Rovinné broušení
- Drátové řezání
- Laserové gravírování loga

Obr. 3.55 – Obrábění tvárnice



Obr. 3.56 – Elektroerozivní hloubení dutiny formy

4 Diskuze

Cílem diplomové práce Konstrukce vstřikovací formy pro zpracování silikonů je pro navržený silikonový výrobek navrhnout konstrukci vstřikovací formy. Tuto vstřikovací formu je možné použít pro výrobu navrženého výrobku na vstřikovacím stroji ARBURG 520 S 1600 - 290 / 170 / 290. Navržený výrobek je stojánek na vejce velikosti M. Jedná se o jednoduchý designový stojánek vhodný pro užití širokou veřejností. Na vzhledové straně výrobku je logo TUL, Fakulta strojní. Funkce a design výrobku je ověřen prototypem vyrobeným 3D tiskárnou. Stojánek je vstřikován ze silikonu LSR s obchodním označením Elastosil LR 3071/60 od výrobce Wacker chemie AG.

Konstrukce vstřikovací formy podléhá zásadám, které jsou uvedeny v teoretické části této diplomové práce. Vzhledem k plánované produkci 1000000 výrobků po dobu tří let je navržena konstrukce dvounásobné vstřikovací formy. Navržená dělicí rovina formy je totožná s rovinou dosedací plochou výrobku. Navržená dělicí rovina vytváří dělicí plochu tvárníků a tvárnice. Tvárník má rotační tvar s výstupky, které tvoří otvory výrobku. Tvárnice je blok s rotačními dutinami formy, plochami rozváděcích kanálů a ústí vtoku. Vtokový systém formy je uzpůsoben pro vstřikování do dělicí roviny vedlejší horizontální vstřikovací jednotkou stroje. Vtokový systém se skládá z vtokových vložek v pevné a pohyblivé části formy. Konstrukce vtokových vložek je navržena pro přesné navedení trysky vstřikovací jednotky a dopravu materiálu LSR kombinovaným rozváděcím kanálem kruhového a lichoběžníkového průřezu. Vstřikovací forma je temperována na vulkanizační teplotu v rozmezí 180 až 200°C. Pro temperaci na uvedené teploty jsou použity topné patrony o celkovém výkonu 3100W, které jsou rovnoměrně rozmístěny v tvárnících, tvárnici a vtokových vložkách. Případné tepelné ztráty mezi upínacími deskami vstřikovacího stroje a okolním prostředím snižuje robustní izolace z tepelně - izolačního materiálu od výrobce Glasstherm. Temperační systém je navržen pomocí empirických vztahů a tepelné bilance vstřikovací formy. Vyhazovací systém formy je

mechanický se samočinným ovládáním vyhazování. Zvulkanizované výrobky jsou vyhozeny stírací deskou a kolíkovými vyhazovači, které prochází středem tvárníků. Odvzdušnění dutiny formy je řešeno odvzdušňovací mezerou mezi stírací deskou vyhazovacího systému a vnější šikmou rotační plochou tvárníků. Velikost mezery je stanovena výpočtem, který uvažuje polytropickou změnu teploty při plnění dutiny formy materiálem. Navržená sestava vstřikovací formy je znázorněna na obr. 3.33 v kapitole 3.4.11. Navržená konstrukce formy je také znázorněna pro lepší přehlednost jako rozpad sestavy formy na jednotlivé prvky (viz obr 3.34, kap.3.4.11). Konstrukce vstřikovací formy vychází z univerzálního rámu rozměrové řady 246 x 246mm od firmy Meusburger, který je dostupný jako normálie. Navržená forma je kompaktních rozměrů 296 x 246 x 262,5mm a má celkovou hmotnost 107kg. Součástí diplomové práce je výkresová dokumentace navržené vstřikovací formy (viz příloha č. 4), na jejímž základě může být tato vstřikovací forma vyrobena nástrojárnou.

Dále v této diplomové práci je uveden výčet normálií použitých v konstrukci formy, specifikace aplikovaných materiálů vstřikovací formy a návrh výrobního postupu tvárníku a tvárnice.

5 Závěr

Cílem této diplomové práce bylo navrhnout konstrukci vstřikovací formy pro navržený silikonový výrobek. Jako vhodný výrobek byl navržen stojánek na vejce. Navrženou vstřikovací formu je možné použít pro sériovou výrobu výrobku na vstřikovacím stroji ARBURG 520 S 1600 - 290 / 170 / 290. Tento vstřikovací stroj má TUL, Katedra strojírenské technologie k dispozici ve své laboratoři.

Diplomová práce se v teoretické části zabývala rešerší současného stavu v oblasti elastomerů, silikonových elastomerů, technologií vstřikování LSR, vstřikovacích strojů pro zpracování silikonů LSR a rešerší zásad konstruování vstřikovacích forem pro zpracování silikonu LSR.

Experimentální část této diplomové práce byla zaměřena na návrh výrobku a následně na samotnou konstrukci vstřikovací formy pro tento výrobek. Jako vhodný výrobek pro konstruování formy byl zvolen stojánek na vejce velikosti M. Design výrobku byl navržen pro užití širokou veřejností a zároveň jako prezentační předmět TUL, Katedry strojírenské technologie. Navržený výrobek byl také realizován formou prototypu vyrobeného 3D tiskárnou. Konstrukce vstřikovací formy byla řešena ve sledu se zásadami konstruování vstřikovacích forem. Výsledkem konstrukce bylo vytvoření 3D CAD model sestavy vstřikovací formy. Z 3D CAD modelu navržené formy bylo možné vygenerovat výkresovou dokumentaci, podle níž by bylo možné vstřikovací formu vyrobit nástrojárnou. Výkresová dokumentace byla přiložena jako příloha č. 4 této diplomové práce.

Seznam literatury

- 1 Drůbežárna Příbor-Klokočov. [online] [cit. 2015-04-15]
<http://www.drubezarnapribor.cz/znaceni-vajec/>
- 2 Konfigurace stroje ARBURG 520 S 1600 - 290 / 170 / 290, dokumentace stroje (viz. příloha č.1)
- 3 Technický list Battenfeld, *LIM presentation EN*, [online] [cit. 2015-04-15]
http://www.battenfeld.ru/fileadmin/templates/docs/technologies/lim_presentation_en.pdf
- 4 Technický list Arburg, *Silicone injection moulding*, [online] [cit. 2015-04-16]
https://www.arburg.com/fileadmin/redaktion/mediathek/prospekte/arburg_silicone_526416_en_gb/
- 5 Výrobce normálií Hasco Hasenclever GmbH + CO KG, [online]
http://www.hasco.com/gb/content/view/products_product_variants/18226
- 6 Technický list Xiameter, *Injection molding of Liquid silicone rubber*, [online] [cit. 2015-04-16]
<https://www.xiameter.com/en/ExploreSilicones/Documents/95-716-01%20LSR.pdf>
- 7 Technický list Röchling Glas therm, *Heat insulation systems*, [online] [cit. 2015-04-16]
http://www.comprex.sk/client_data/5/user_files/file/pdf/Glas therm.pdf
- 8 Výrobce topné a řídící technologie FEPA Srl, [online]
<http://fepa.it/home.htm>
- 9 MDT medical design technology, [online] [cit. 2015-04-18]
http://www.mdtmag.com/sites/mdtmag.com/files/rogan_1.jpg
- 10 Wikipedie, otevřená encyklopedie: *Ocel* [online] [cit. 2015-04-12]
<http://cs.wikipedia.org/wiki/Ocel>
- 11 Nožička, J.: *Sdílení tepla*, Praha, ČVUT 1998, ISBN 80-01-01599-8
- 12 Výrobce normálií Meusburger Georg GmbH & CO KG, [online]
<http://www.meusburger.com/>

- 13 Preciz s.r.o., *Převodník materiálů*, [cit. 2015-04-13]
<http://www.preciz.cz/sluzby-hlavni/material-normal>
- 14 Faspoj s.r.o., *Pevnost a tvrdost šroubů*, [online] [cit. 2015-04-14]
<http://www.faspoj.cz/pevnost%20sroubu.html>
- 15 E-shop nástrojových ocelí www.nastrojove-oceli.com, [online] [cit. 2015-04-14]
<http://www.nastrojove-oceli.com/katalog/cenik.pdf>
- 16 Materiálový list Elastosil LR 3071/60 (viz. příloha XX)
<http://www.wacker.com/cms/en/home/index.jsp>
- 17 DVOŘÁK, Z., JAVOŘÍK, J. *Konstrukce výrobků, konstrukční materiály elastomerní a formy pro jejich výrobu*. 1. vyd. Zlín, 2009. 145 s.
- 18 BĚHÁLEK, L.: *Polymery*. Svitavy: SOU Svitavy. Elektronická učebnice, 2014. ISBN 978-80-88058-68-7 (v jednání o udělení doložky MŠMT ČR).
- 19 Dodavatel lepidel Loctite, [online] [cit. 2015-05-06] www.loctite-eshop.cz
- 20 Dodavatel silikonů Elchemco, [online] [cit. 2015-05-06]
www.elchemco.cz
- 21 Dodavatel silikonů ACC silicones, [online] [cit. 2015-05-06]
www.acc-silicones.cz
- 22 Lenfeld, P.: *Technologie vstřikování*, Liberec 2014,
ISBN 978-80-88058-74-8
- 23 Řehulka, Z.: *Konstrukce výlisků z plastů a forem pro zpracování plastů*, *Polymery*, Brno 2013, ISBN 978-80-7204-833-5
- 24 BOBČÍK, L. a kol. *Formy pro zpracování plastů I. a II. díl – Vstřikování termoplastů*. 2. vyd. Brno: UNIPLAST, 1999
- 25 Běhálek, L.: *Teorie zpracování nekovových materiálů / Zpracování plastů – Vtoková soustava*, [online] [cit. 2015-05-09]
http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/stud_materialy/tzn/7.pdf
- 26 Modely letadel – obrázek dílu OXAI Ruderanlenkungen, [online]
[cit. 2015-05-06] www.f3alorenz.de

- 27 Zeman, L.: *Vstřikování plastů*, 1.vyd. Praha 2009,
ISBN 978-80-7300-250-3
- 28 Běhálek.L.: *Teorie zpracování nekovových materiálů / Zpracování plastů
– Temperace vstřikovacích forem*, [online] [cit. 2015-05-12]
http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/stud_materialy/tzn/8.pdf
- 29 www.tradeindia.com – obrázky HTV polotovarů [online] [cit. 2015-05-09]
<http://www.tradeindia.com/fp1083865/HTV-Silicon-Rubber-Compound.html>

Seznam příloh

Příloha 1 (str.85) - Konfigurace stroje ARBURG 520 S 1600 - 290 / 170 / 290

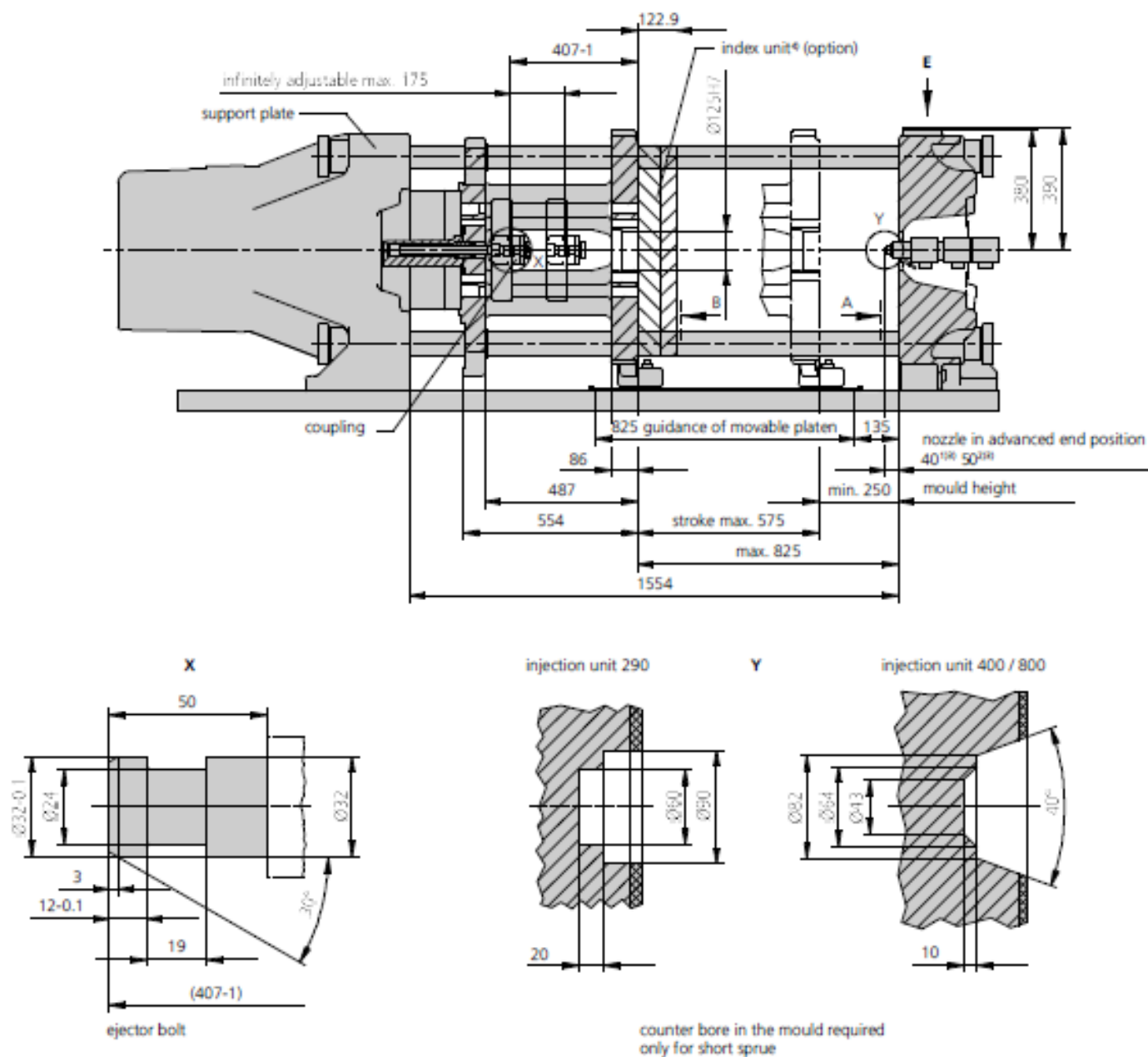
Příloha 2 (str.89) – Materiálový list Elastosil LR 3071/60

Příloha 3 (str.91) – Katalog topných patron Fepa

Příloha 4 – Výkresová dokumentace vstřikovací formy a výrobku (chlopně
vazby diplomové práce)

Machine model		520 S 1600			
Clamping unit					
Clamping force	max. kN	1600			
Closing force	max. kN	60			
Opening force / increased	max. kN	40 / 365			
Opening stroke	max. mm	575			
Mould height	min. mm	250			
Daylight	max. mm	825			
Distance between tie bars	mm	520 x 520			
Platen size (hor. x vert.)	mm	688 x 688			
Weight of mov. mould half	max. kg	1050			
Ejector force	max. kN	50			
Ejector stroke	max. mm	175			
Control cabinet					
Safety standard according to		DIN EN 60204			
Socket combination (1 single phase, 1 three phase)		1 x 16 A			
Miscellaneous					
Colour: plastic coated, structure light grey / mint green / canary yellow					
Injection unit according to EUROMAP [®]		30	70	100	170
Screw diameter	mm	15 / 18	18 / 22 / 25	20 / 25 / 30	25 / 30 / 35
Effective screw length	L/D	17,7 / 14,5	24,5 / 20 / 17,5	25 / 20 / 16,7	24 / 20 / 17
Screw stroke	max. mm	60	90	100	120
Calculated injection volume	max. cm ³	10,6 / 15,3	23 / 34 / 44	31 / 49 / 71	59 / 85 / 115
Shot weight	max. g PS	9,5 / 14	21 / 31 / 40	29 / 45 / 65	54 / 77 / 105
Material throughput [®]	max. kg/h PS	1,7 / 2,3	4,1 / 5,5 / 6,5	5,5 / 8 / 9,5	10 / 13,5 / 16
	max. kg/h PA 6.6	0,8 / 1,2	2,1 / 2,8 / 3,3	2,8 / 4 / 4,9	5 / 7 / 8
Injection pressure	max. bar	2200 / 2000	2500 / 2000 / 1550	2500 / 2000 / 1390	2500 / 2000 / 1470
Injection flow with accumulator	max. cm ³ /s	96 / 138	138 / 208 / 268	172 / 268 / 388	216 / 312 / 424
Back pressure positive / negative	max. bar	350 / 200	350 / 200	350 / 200	350 / 200
Circumferential screw speed [®]	max. m/min	23 / 27	27 / 33 / 37	19 / 24 / 28	24 / 29 / 33
Screw torque	max. Nm	50 / 60	90 / 110 / 120	120 / 150 / 180	210 / 250 / 290
Nozzle contact force	max. kN	40	50	50	50
Nozzle retraction stroke	max. mm	120	150	180	210
Installed cylinder heating power / heating zones	kW	2,0 / 3	2,85 / 3	4,3 / 4	8,8 / 4
Installed nozzle heating power	kW	0,3	0,3	0,6	0,6
Material hopper capacity	l	8	25	50	50
Horizontal injection position	max. mm	170	170	170	170
Variable values					
Horizontal injection unit - vertical [®]		290-30 / -70 / -100 / -170 / -290		400-30 / -70 / -100 / -170 / -290	
Drive power of the hydraulic pump [®]	kW	22	22	30	
Total connected load [®]	kW	33 / 35 / 36 / 40 / 37		36 / 38 / 39 / 43 / 40	
Oil capacity [®]	l	175	175	240	
Net weight of basic machine	kg	7000 / 6990 / 7030 / 7160 / 7150		7350 / 7340 / 7380 / 7510 / 7500	
Electrical connection (pre-fused) [®]	A	80 / 100 / 100 / 100 / 100		100	
				125 / 125 / 125 / 160 / 125	

Machine model		520 S 1600		
Clamping unit				
Clamping force	max. kN	1600		
Closing force	max. kN	60		
Opening force / increased	max. kN	40 / 365		
Opening stroke	max. mm	575		
Mould height	min. mm	250		
Daylight	max. mm	825		
Distance between tie bars	mm	520 x 520		
Platen size (hor. x vert.)	mm	688 x 688		
Weight of mov. mould half	max. kg	1050		
Ejector force	max. kN	50		
Ejector stroke	max. mm	175		
Control cabinet				
Safety standard according to		DIN EN 60204		
Socket combination (1 single phase, 1 three phase)		1 x 16 A		
Miscellaneous				
Colour: plastic coated, structure light grey / mint green / canary yellow				
Injection unit according to EUROMAP [®]		290	400	800
Screw diameter	mm	30 / 35 / 40	35 / 40 / 45	45 / 50 / 55
Effective screw length	L/D	23,3 / 20 / 17,5	23 / 20 / 18	22 / 20 / 18
Screw stroke	max. mm	150	160	200
Calculated injection volume	max. cm ³	106 / 144 / 188	154 / 201 / 254	318 / 392 / 474
Shot weight	max. g PS	97 / 132 / 172	141 / 184 / 232	291 / 359 / 434
Material throughput [®]	max. kg/h PS	17 / 20,5 / 24,5	25 / 29 / 35	46 / 53 / 59
	max. kg/h PA 6.6	8,5 / 10,5 / 12,5	12,5 / 15 / 17,5	23 / 27 / 30
Injection pressure	max. bar	2500 / 2000 / 1530	2500 / 2000 / 1580	2470 / 2000 / 1650
Injection flow with accumulator	max. cm ³ /s	316 / 430 / 562	492 / 642 / 814	530 / 656 / 792
Back pressure positive / negative	max. bar	350 / 200	350 / 160	350 / 190
Circumferential screw speed [®]	max. m/min	23 / 27 / 30	16 / 19 / 21	28 / 32 / 35
Screw torque	max. Nm	320 / 380 / 430	480 / 550 / 610	880
Nozzle contact force	max. kN	60	60	70
Nozzle retraction stroke	max. mm	240	300	400
Installed cylinder heating power / heating zones	kW	5,8 / 4	8,8 / 4	19,3 / 7
Installed nozzle heating power	kW	0,6	0,6	0,6
Material hopper capacity	l	50	50	50
Horizontal injection position	max. mm	170	170	140
Variable values				
Horizontal injection unit - vertical [®]		290-30 / -70 / -100 / -170 / -290	400-30 / -70 / -100 / -170 / -290	800-30 / -70 / -100 / -170 / -290
Drive power of the hydraulic pump [®]	kW	22	22	30
Total connected load [®]	kW	33 / 35 / 36 / 40 / 37	36 / 38 / 39 / 43 / 40	55 / 57 / 57 / 61 / 59
Oil capacity [®]	l	175	175	240
Net weight of basic machine	kg	7000 / 6990 / 7030 / 7160 / 7150	7350 / 7340 / 7380 / 7510 / 7500	7720 / 7710 / 7750 / 7880 / 7870
Electrical connection (pre-fused) [®]	A	80 / 100 / 100 / 100 / 100	100	125 / 125 / 125 / 160 / 125

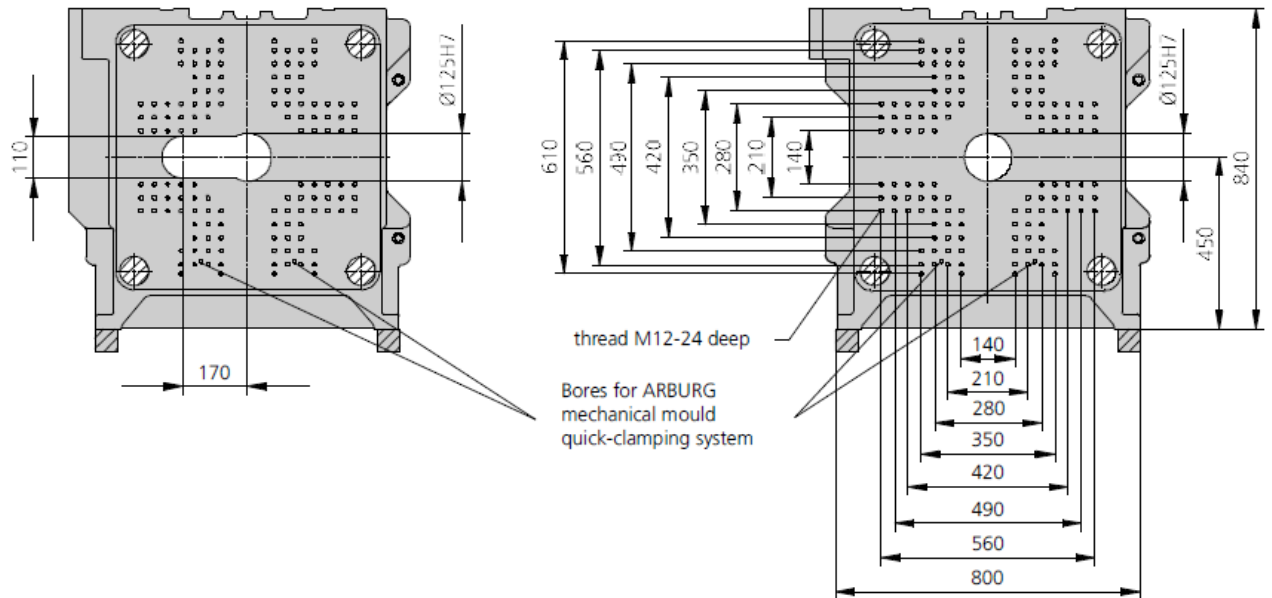


Mould and platen layout

Fixed platen

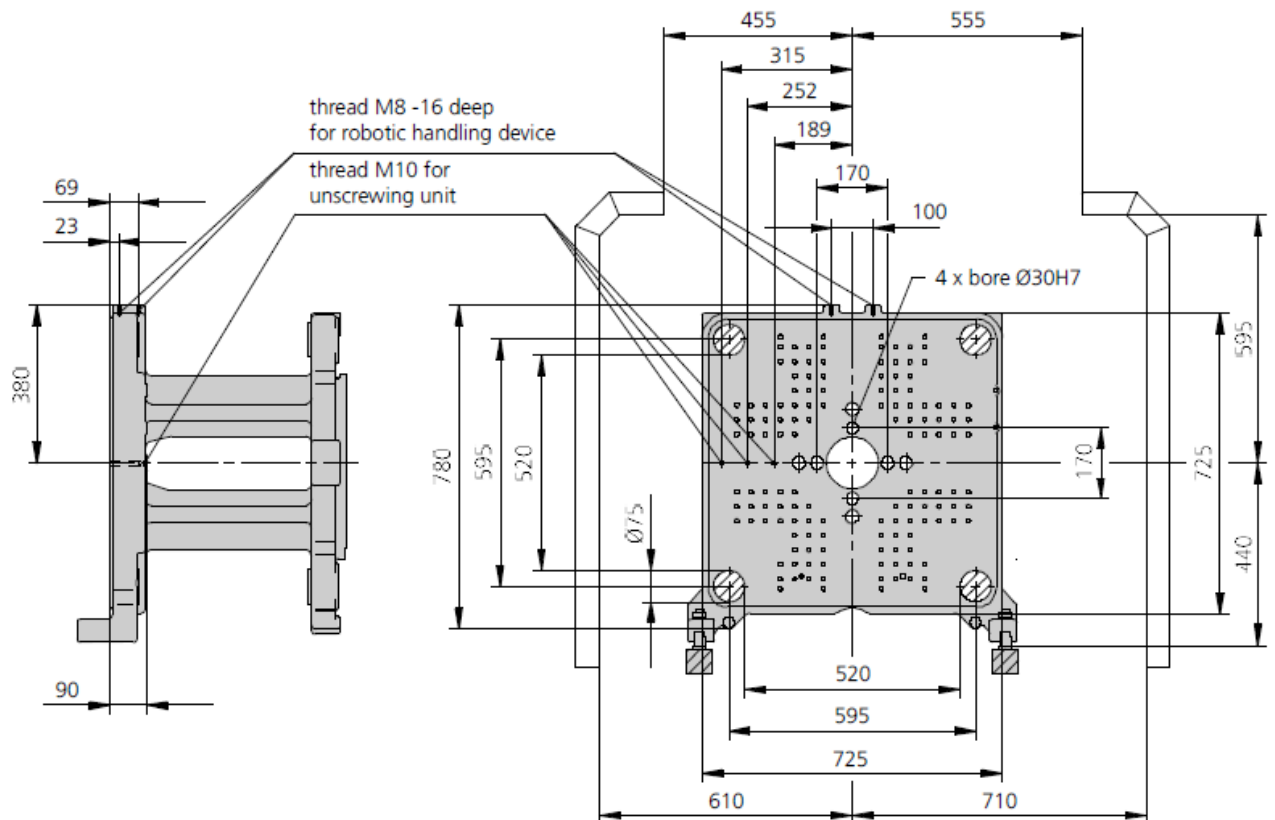
View A / for horizontally displaceable injection unit

View A / for central injection unit



Movable platen

View B



ELASTOSIL® LR 3071/60 A/B

SELF-ADHESIVE LIQUID SILICONE RUBBER

Product description

Self-adhesive liquid silicone rubbers of the ELASTOSIL® LR 3071 series are paste-like, easily-pigmentable two-component compounds with extremely short curing times.

Special features

ELASTOSIL® LR 3071 series are primerless, selfbonding grades that adhere to various plastic substrates (e.g. PA, PBT) and metals, but not in the mold (adhesive adherence, protects against loss prior to assembly). The bonding is improved by an ageingprocess (e.g. one hour at 100 °C) or by a longer storing at room temperature. Because of the individual surface properties each substrate must be tested before mass production. If necessary one has to check the development of adhesive properties over time and/or in an environment relevant to the application. The vulcanizates are noted for good mechanical and electrical properties.

Application

ELASTOSIL® LR 3071 series are particularly suitable for the economical production of large series of overmolded parts (thermoplastic/elastomer), even in a comolding process (shuttle mold) under standard conditions, without any special treatment of the mold surface.

Parts made from ELASTOSIL® LR 3071 can generally be used for technical applications without postcuring. Postcured parts can be used for food contact applications and are suitable for use under the Recommendation "XV. Silicones" of the BfR and FDA § 177.2600 under observance of any given limitations on extractable and volatile substances.

Processing

The A and B components are delivered ready to use in 20 and 200 litre drums. With adequate metering equipment, they can be pumped directly from the original containers into the injection molding machine and mixed by a static mixer. The mixing ratio is 1 : 1. At room temperature, mixtures of A and B components have a pot life of at least three days.

Note:

Start-up of new molds should be supported by use of ELASTOSIL® AUX Mold Release Agent 32.

For detailed information refer to our brochure "SOLID AND LIQUID SILICONE RUBBER - MATERIAL AND PROCESSING GUIDELINES".

Storage

The 'Best use before end' date of each batch is shown on the product label.

Storage beyond the date specified on the label does not necessarily mean that the product is no longer usable. In this case however, the properties required for the intended use must be checked for quality assurance reasons.

Safety notes

Comprehensive instructions are given in the corresponding Material Safety Data Sheets. They are available on request from WACKER subsidiaries or may be printed via WACKER web site <http://www.wacker.com>.

Product data

Typical general characteristics	Inspection Method	Value
Product data (non-postcured)		
Hardness Shore A	DIN 53505	60
Appearance		transparent
Density	ISO 1183-1 A	1,12 g/cm³
Viscosity (shear rate 0.9 s⁻¹)	DIN 53019	1300000 mPa s
Viscosity (shear rate 10 s⁻¹)	DIN 53019	450000 mPa s
Tensile strength	DIN 53504 S 1	8,50 N/mm²
Elongation at break	DIN 53504 S 1	500 %
Tear strength	ASTM D 624 B	28 N/mm
Rebound resilience	DIN 53512	60 %
Compression set	DIN ISO 815-B (22 h / 125 °C)	60 %
Compression set	DIN ISO 815-B (22 h / 150 °C)	70 %

Cure conditions: 5 min / 165 °C in press

These figures are only intended as a guide and should not be used in preparing specifications.

The data presented in this medium are in accordance with the present state of our knowledge but do not absolve the user from carefully checking all supplies immediately on receipt. We reserve the right to alter product constants within the scope of technical progress or new developments. The recommendations made in this medium should be checked by preliminary trials because of conditions during processing over which we have no control, especially where other companies' raw materials are also being used. The information provided by us does not absolve the user from the obligation of investigating the possibility of infringement of third parties' rights and, if necessary, clarifying the position. Recommendations for use do not constitute a warranty, either express or implied, of the fitness or suitability of the product for a particular purpose.

The management system has been certified according to DIN EN ISO 9001 and DIN EN ISO 14001

WACKER® is a trademark of Wacker Chemie AG. ELASTOSIL® is a trademark of Wacker Chemie AG.

For technical, quality, or product safety questions, please contact:

Wacker Chemie AG
Hanns-Seidel-Platz 4
81737 München, Germany
info.silicones@wacker.com

www.wacker.com

CON TC J INTEGRATA - WITH BUILT-IN TC J - AVEC TC J INTEGRE'



DIMENSIONI STANDARD – STANDARD DIMENSIONS – DIMENSIONS STANDARD											
dia. 6,5 -0,02 -0,04	L. [mm]	40	50	60	80	100	130	160			
	WATT 230V	125 – 160 – 200	125 – 160 – 200	160 – 200 – 250	200 – 250 – 315	250 – 315 – 400	315 – 400 – 500	315 – 400 – 500			
dia. 8 -0,03 -0,05	L.[mm]	40	50	60	80	100	130	160			
	WATT 230V	160 – 200	200 – 250	200 – 315	250 – 315 – 400	250 – 400	315 – 500	315 – 500			
dia. 10 -0,03 -0,06	L.[mm]	40	50	60	80	100	130	160	200		
	WATT 230V	160 – 200 250	200 – 250 315	200 – 250 315	250 – 315 400	315 – 400 500	315 – 400 500	400 – 500 630	500 – 800		
dia. 16 -0,05 -0,08	L.[mm]	40	50	60	80	100	130	160	200	250	300
	WATT 230V	200 – 250	200 – 315 400	250 – 400	250 – 400	400 – 630	400 – 630	500 – 800	630 – 1000	800 – 1250	1000 – 1600

SPECIFICHE TECNICHE - CONSTRUCTIVE SPECIFICATIONS - SPECIFICATIONS TECHNIQUES

RESISTENZE COSTITUITE DA FILO IN NiCr 80/20 IN UN'ANIMA DI OSSIDO DI MAGNESIO, IL TUTTO IMMERSO IN POLVERE DI OSSIDO DI MAGNESIO COMPATTA, TUBO ESTERNO IN ACCIAIO INOX (SU RICHIESTA IN INCOLOY) E CAVI IN NICHEL ISOLATI IN VETRO-SILICONE.

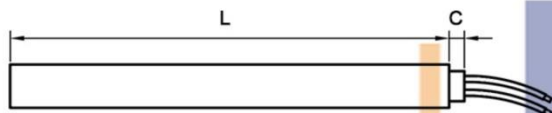
HEATERS MADE BY Ni-Cr 80/20 WIRE MERGED IN A MAGNESIUM OXIDE CORE, ALL SURROUNDED BY MAGNESIUM OXIDE COMPACT POWDER, SHEATH MADE BY STAINLESS STEEL (UPON REQUEST MADE BY INCOLOY), LEADS FIBERGLASS+SILICON INSULATED.

LES RESISTANCES SONT CONSTITUEES DE FIL EN Ni-Cr 80/20 DANS LE NOYAU DE OXYDE DE MAGNESIUM, LE TOUT ENTOURE PAR DE LA POUDRE D'OXYDE DE MAGNESIUM, TUYAU EXTERIEUR EN ACIER INOXYDABLE (SUR DEMANDE EN INCOLOY), AVEC CABLES EN NICKEL ISOLEE AN SOIE DE VERRE + SILICON.

POTENZA - WATTAGE - PUISSANCE [W] - TOLERANCE
LUNGHEZZA - LENGTH - LONGEUR [mm] - TOLERANCE
RIGIDITA' DIELETTICA - DIELECTRIC STRENGTH - RIGIDITE' DIELECTRIQUE [V]
ISOLAMENTO - INSULATION RESISTANCE - RESISTANCE D'ISOLEMENT [ohm]
CORRENTE DI FUGA - LEAKAGE CURRENT - COURANT DE FUITE [mA]
TEMP. MAX SULLA GUAINA - MAX TEMP. ON SHEATH - TEMP. MAX SUR LA GAINE [°C]
MATERIALE - MATERIAL - MATERIEL

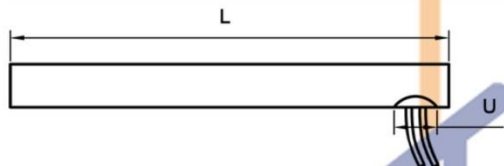
+5% -10%
+2% -2%
1500
> 10M
< 0,1
750
AISI 321 (STANDARD)
INCOLOY (SPECIAL)

ACCESSORI - FITTINGS - ACCESSOIRES



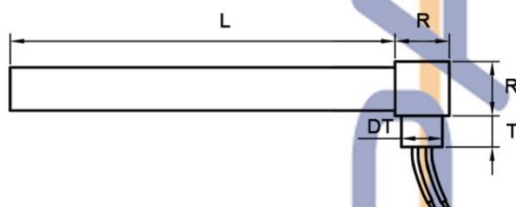
USCITA FLESSIBILE
FLEXIBLE EXIT
SORTIE FLEXIBLE

Ø	3/8" - 10	12.5 - 1/2"	5/8" - 16	3/4" - 20
C	5	6	7	8



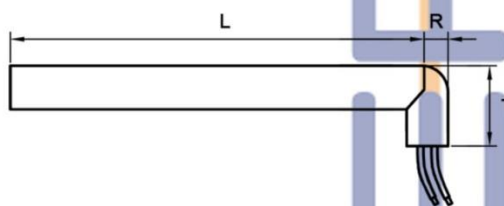
USCITA 901
EXIT TYPE 901
SORTIE TYPE 901

Ø	6.5 1/4"	8	10 3/8"	12.5 1/2"	16 5/8"	20 3/4"
U	5	5.5	6.5	9.5	12	14



USCITA 902
EXIT TYPE 902
SORTIE TYPE 902

Ø	6.5 1/4"	8	10 3/8"	12.5 1/2"	16 5/8"	20 3/4"
R	8	10	12	14	18	22
T	6	7	7	8	10	10
DT	8	10	10	12.5	16	16



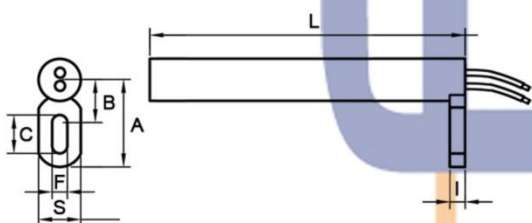
USCITA 903
EXIT TYPE 903
SORTIE TYPE 903

Ø	6.5 1/4"	8	10 3/8"	12.5 1/2"	16 5/8"	20 3/4"
R	4.2	5.2	6.5	8	10.5	13
T	16	18	22	26	30	36



BOCCOLA - BUSHING - RACCORD

Ø	6.5	8	10	12.5	16	20
DF	M10x1	M12x1.5	M14x1.5	M16x1.5	M20x1.5	M27x1.5
DF	1/8" Gas	--	1/4" Gas	3/8" Gas	1/2" Gas	3/4" Gas
F	7	9	9	10.5	13	13.5
C	12	14	17	19	24	30
I	3.5	4	4	4.5	5	6.5



FLANGIA - FLANGE - BRIDE

Ø	6.5 1/4"	8	10 3/8"	12.5 1/2"	16 5/8"	20 3/4"
F	3.2	3.5	3.5	4.5	5.5	6.5
S	6	7	9	10	13	15
B	8.5	9.5	10.5	13.5	16.5	19.5
A	13	14.5	16.5	20.5	25.5	29.5
E	3	3	3	4	5	6
I	1.2	1.2	1.5	1.5	2	2