



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
Fakulta strojní



Návrh lisovací formy včetně ověření konstrukce pomocí 3D tisku

Diplomová práce

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





Zadání diplomové práce

Návrh lisovací formy včetně ověření konstrukce pomocí 3D tisku

Jméno a příjmení: **Bc. Jan Prachař, DiS.**
Osobní číslo: S17000241
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: Strojírenská technologie a materiály
Zadávající katedra: Katedra strojírenské technologie
Akademický rok: **2018/2019**

Zásady pro vypracování:

1. Rešerše poznatků v oblasti konstrukce lisovacích forem.
2. Návrh formy pro technologii lisování pro zadaný plastový díl.
3. Konstrukce lisovací formy.
4. Ověření konstrukce pomocí 3D tisku.
5. Diskuse výsledků a závěr.

Rozsah grafických prací: grafy, obrázky, tabulky
Rozsah pracovní zprávy: cca 50 stran
Forma zpracování práce: tištěná/elektronická



Seznam odborné literatury:

- [1] ŠAFAŘÍK M. *Nástroje pro tvárění kovů a plastů I.* /skripta / VŠST Liberec, 1987.
- [2] GASTROW, Hans. *Injection Moulds*, 130 Proven design. 4th Edition. Hanser, 2002. ISBN 978-3446214484.
- [3] STOECKHERT, K. *Mold-Making Handbook*, Carl Hanser Verlag, 1998.
- [4] REES, Herbert. *Mold Engineering*. Hanser, 1995. ISBN 978-1569903223.
- [5] BOBEK, J. *Vstříkovací formy pro zpracování termoplastů*. Dostupné na www.etul.publi.cz, 2015. ISBN Android: 978-80-88058-64-9.

Vedoucí práce: prof. Dr. Ing. Petr Lenfeld
Katedra strojírenské technologie
Datum zadání práce: 31. října 2018
Předpokládaný termín odevzdání: 30. dubna 2020

prof. Dr. Ing. Petr Lenfeld
děkan

V Liberci 1. listopadu 2018



doc. Ing. Jaromír Moravec, Ph.D.
vedoucí katedry

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 texty tištěné verze práce a elektronické verze práce vložené do IS STAG se shodují.

24. 4. 2019

Bc. Jan Prachař, DiS.

Název diplomové práce

Návrh lisovací formy včetně ověření konstrukce pomocí 3D tisku

Diplom thesis title

Design of mold including mold verification by 3Dprinting

Anotace

Hlavním cílem diplomové práce byl konstrukční návrh lisovací formy včetně ověření pomocí 3D tisku. V teoretické části této práce je popsána konstrukce lisovacích a přetlačovacích forem. Dále je v teoretické části popis technologií na výrobu elastomerů (vstříkování, přetlačování a lisování). Závěr teoretické části je věnován 3D tisku a jeho problematice, dále jsou uvedeny i použité materiály používané při 3D tisku. V experimentální části práce je popsán díl, pro který je navržen a zkonstruován lisovací nástroj.

Klíčová slova: materiál, elastomer, lisování, protlačování, 3D tisk, model, forma, nástroj

Annotation

The main aim of the thesis was to design the mold including the verification using 3D printing. In the theoretical part of this work is described press construction and molds. Furthermore, the theoretical part describes the technology for the production of elastomers (injection, extrusion and pressing). The conclusion of the theoretical part is devoted to 3D printing and its issues, there are also used materials used in 3D printing. In the experimental part there is described a part for which a pressing tool is designed and constructed.

Keywords: material, elastomer, pressing, extrusion, 3Dprinting, model, mold, tool

Poděkování

Rád bych poděkoval prof. Dr. Ing. Petr Lenfeldovi za jeho poskytnuté materiály, odborné vedení, cenné rady a připomínky při zpracování této diplomové práce a panu M. Bendlovi z firmy KAMATECH za nacenění formy.

Obsah

I.	Teoretická část.....	11
1	Úvod.....	11
2	Technologie výroby elastomerů	12
2.1	Technologie vstřikování	12
2.1.1	Výhody a nevýhody.....	14
2.2	Lisování elastomerů.....	15
2.2.1	Lisovací cyklus.....	15
2.2.2	Výhody a nevýhody.....	16
2.3	Přetlačování elastomeru.....	17
2.3.1	Přetlačovací cyklus.....	17
2.3.2	Výhody a nevýhody.....	18
3	Konstrukce forem pro lisování a přetlačování.....	19
3.1	Lisovací formy.....	19
3.1.1	Komponenty lisovací formy.....	20
3.2	Typy forem	21
3.2.1	Prototypové formy.....	21
3.2.2	Univerzální formy.....	22
3.2.3	Sériové formy	22
3.2.4	Pozitivní formy s dělicí rovinou.....	23
3.2.5	Vícenásobné formy.....	23
3.2.6	Formy s bočním jádrem.....	24
3.2.7	Formy s dělenou dutinou	25
3.2.8	Sklopné formy	25
3.2.9	Formy pro zálisky.....	26
3.2.10	Vytáčecí forma	26

3.2.11	Obecné aspekty.....	26
4	3D tisk	27
4.1	Výhody 3D tisku	27
4.2	Nevýhody 3D tisku	27
4.3	Druhy technologií:	28
4.3.1	FDM	28
4.3.2	Laserové spékání	29
4.3.3	Stereolitografie	30
4.3.4	PolyJet	31
4.4	Materiály používané k 3D tisku.....	32
4.4.1	PLA.....	32
4.4.2	ABS	32
4.4.3	PA.....	32
4.4.4	Fotopolymer	33
4.4.5	Kov	33
II.	Experimentální část	34
5	Pryžové pouzdro	35
5.1	Geometrie dílu	36
5.2	Materiál.....	37
6	Konstrukční návrh lisovací formy	38
6.1	Konstrukční uspořádání formy	40
6.2	Spodní část formy	42
6.2.1	Spodní upínací deska	43
6.2.2	Spodní opěrná deska.....	44
6.2.3	Spodní tvarová deska.....	45
6.2.4	Spodní tvarová vložka	46

6.2.5	Tvarový čep	47
6.2.6	Vodící sloupek (velký)	48
6.2.7	Vodící pouzdro (malé).....	49
6.2.8	Vymezující doraz.....	50
6.3	Horní část formy	51
6.3.1	Horní upínací deska	52
6.3.2	Horní opěrná deska.....	53
6.3.3	Horní tvarová deska.....	54
6.3.4	Horní tvarová vložka	55
6.3.5	Tvárník	56
6.3.6	Vodící sloupek (malý)	57
6.3.7	Vodící pouzdro (velké).....	58
6.4	Topný element	59
7	Návrh lisu pro formu	60
8	3D model lisovací formy	61
9	Cena lisovací formy.....	62
10	Závěr.....	63
11	Seznam použité literatury	64
12	Seznam obrázků.....	66
13	Seznam tabulek.....	68
14	Seznam příloh.....	69

Seznam použitých symbolů a znaků

3D	Trojrozměrný model	[-]
.stl	Stereolitografie	[-]
Atd.	a tak dále	[-]
Obr.	Obrázek	[-]
FDM	FusedDeposition Modeling	[-]
PLA	Polyactid acid	[-]
ABS	Akrylonitrilbutadienstyren	[-]
PA	Polyamid	[-]
NBR	Butadienakrylnitrilový kaučuk	[-]
SBR	Butadienstyrenový kaučuk	[-]
12 040	Označení oceli	[-]
17 349	Označení oceli	[-]
19 312	Označení oceli	[-]
19 573	Označení oceli	[-]
19 420	Označení oceli	[-]
Ra	Drsnost	[μm]
č.	číslo	[-]

I. Teoretická část

1 Úvod

Lidstvo začalo používat přírodní elastomerní materiály již v době kamenné, první využití přírodního kaučuku se datuje k roku 1496, kdy byl přivezen do Evropy K. Kolumbem ze své druhé cesty z „Nového světa“. V 18. století se začal přírodní kaučuk využívat k výrobě gumových kostiček na gumování, k impregnaci bavlněné tkaniny na nepromokavé pláště a rozpouštěného kaučuku v terpentýnu jako lepidlo. V průmyslové oblasti v 19. století byl rozhodující objev využití vulkanizace kaučuku. V roce 1888 byla patentována pneumatika vynálezcem Johnem Boydem Dunlopem, o 3 roky později (1891) bylo patentována první snímatelná pneumatika bratrů Michelinů.

Spotřeba kaučuků a elastomerů rostla s rozvíjející se civilizací a hlavně s nastupující novou technologií. K přírodním elastomerům se v druhé polovině 19. století začaly používat chemicky připravené elastomery, zvané syntetické elastomery. Tímto se otevřela pro konstruktéry široká oblast jejich použití.

Elastomery patří do skupiny polymerů, které jsou významným konstrukčním materiálem, který se vyskytuje téměř v každém zařízení, přístroji, stroji a oboru. Jejich význam potvrzuje i to, že součástky vyrobené z elastomeru mají důležitý význam z hlediska jeho spolehlivosti a životnosti. Podobně jako jiné druhy konstrukčních materiálů se dá určitou skladbou směsi a použitím vhodné zpracovatelské technologie získat materiál o potřebných nebo speciálních vlastnostech.

Z tohoto důvodu byla zadána tato diplomová práce, která se zabývá kontrolní lisovací formy na výrobu dílu z pryže. Experimentální část práce pojednává o konstrukčním návrhu lisovací formy pro pryžové pouzdro.

Navržený model formy bude vyroben v menším měřítku pomocí technologie 3D tisku. Tento model bude sloužit k praktické ukázce lisovacího nástroje.

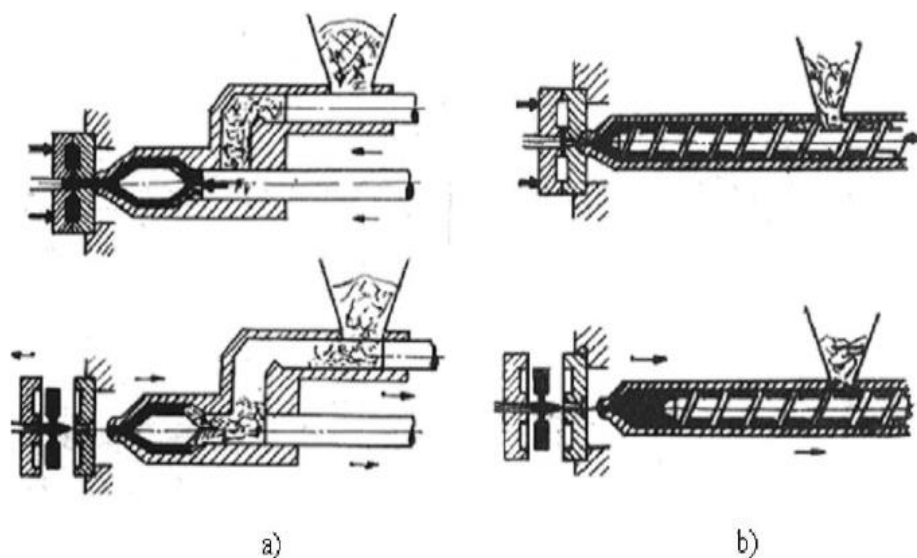
2 Technologie výroby elastomerů

Nejčastěji používané technologie při výrobě elastomerních výrobků jsou:

- Vstřikování
- Lisování
- Přetlačování
- Další metody, jako jsou máčení, válcování, natírání

2.1 Technologie vstřikování

Technologie vstřikování elastomeru je nejproduktivnější způsob výroby pryžových výrobků, kdy lze většinu kaučukových směsí zpracovat a zároveň umožňuje výrobu miniaturních, tenkostěnných a i rozměrných výrobků (výstřiků). Vstřikování je mechanicko-tepelný proces, u kterého dochází za pomoci tepla ke změně výchozího materiálu na kaučukovitý stav. Vstřikovací stroj je zařízení, které umožňuje dopravu a přípravu kaučukovité směsi. Směs je dopravována pod vysokým tlakem do dutiny formy, která se temperuje (dochází k zesíťování elastomeru), která jí dodá finální tvar. Vstřikování elastomeru je znázorněno na obr. 1.



Obrázek 1. Vstřikování elastomeru [1]
a) pístová plastikace; b) šneková plastikace

Materiál je plastikován v plastikační jednotce, která se nachází ve vstřikovacím stroji. Materiál je do šneku dodáván buď jako granulát nebo jako prášek. Plastikace je převedení použitého materiálu do plastického stavu, za pomoci tření kde se využije vzniklé teplo. K výrobě pryže se často využívá krátký šnek současně s pístem tlačící předehřátou kaučukovitou směs. Zplastikovaná směs na konci šneku musí být temperovaná vodou, aby se udržela nízká teplota směsi. K uzavřené formě se přisune plastikační jednotka, která vstříkne kaučukovitou směs do dutiny formy. Kaučukovitá směs je vstříknuta do formy za pomoci šneku nebo pístu. Při vstřikování do formy materiál teče ve vrstvě u formy, protože teplota formy převyšuje teplotu vstřikované směsi. Díky vysoké teplotě při vstřikování, která působí ve vstřikovacích kanálcích, které musí mít dostatečný průřez, se dosahuje poměrně krátkého pracovního cyklu, toto se nejčastěji využívá u výstřiků s větší tloušťkou stěny, dále se dociluje menší deformace a zároveň i vady na dílu a to menším objemovým změn při ohřevu na vulkanizační teplotu. Na naplněnou dutinu formy působí tlak, který se označuje jako dotlak. Dotlak eliminuje smrštění materiálu.

Temperace vstřikovací formy závisí na druhu použitého kaučuku, tloušťce a tvaru výrobku. Upnutá a vytemperovaná forma je uzavřena uzavírací silou ve stroji a její velikost je nastavena tak, aby bylo zajištěno neotevření formy při vstřikování. Vulkanizace kaučuku začne hned po vstříknutí zplastikované směsi do dutiny formy, za pomoci tlaku, dostatečné teploty a času. Teplota formy by měla být větší než při přetlačování a lisování a zároveň by měla být větší než teplota zplastikované směsi ve šneku. Forma by měla být dokonale odvzdušněna, aby nedošlo k diesel efektu. Po cyklu vulkanizace je forma otevřena a výstřik je vyjmut z formy. Vyhazovací systém by měl být volen s ohledem na vysokou houževnatost a nízkou pevnost dílu. Nejčastěji je používáno pneumatické vyhazování.

Pro kaučukové směsi je vstřikovací teplota od 80 do 100 °C, vstřikovací tlak je od 35 do 100 MPa a teplota formy je od 140 do 200 °C, kde se používá nejčastěji elektrického ohřevu. Doba plnění se myslí doba, po kterou se plní dutina formy směsí [1]

2.1.1 Výhody a nevýhody

Hlavní výhodou je velmi nízké množství odpadu, 5 až 10 % oproti lisování kde je to 10 až 40 %. Doba vulkanizace se zkracuje o 70 až 90 % v závislosti na směsi, geometrii výstřiku a použitém zařízení. Tato technologie se dá automatizovat. Dosahuje se velké produktivity a kvality dílů. Snadné dávkování materiálu a nemusí se opakovaně otevírat forma kvůli od vzdušnění.

Hlavní nevýhodou je velká náročnost na výrobu forem, proto se tato technologie nedoporučuje na použití v malosériové výrobě. Velké investice do ceny forem a strojní zařízení. Nedá se zpracovat najednou velký objem materiálu, jako je tomu u lisování. [2]

2.2 Lisování elastomerů

Lisování elastomerů je technologie tváření kaučukovitého materiálu, u kterého se využívá tlak a teplo ve formě. Během vulkanizace ve formě dostává výrobek finální podobu, směs je ve formě tvarována za přítomnosti zvýšené teploty a tlaku vytvářené lisovacím strojem. Směs se dává do otevřené dutiny formy, která je účinkem lisovacího tlaku stlačena do pracovní dutiny a přebírá tvar hotového výrobku. Lisovací síla vyvozená lisovacím strojem je maximální hodnota, která působí na průmět dutiny formy i dosedacích ploch dělicí roviny, která je kolmá na působení této síly.

Dále ve formě probíhá vulkanizace za přítomnosti zvýšené teploty a tlaku, při níž probíhají výrazné chemické změny. Při vulkanizaci vzniká v tomto materiálu zesíťování prostorová struktura, kvůli které materiál ztrácí svoji tvářecí schopnost. Při vulkanizaci mohou vznikat negativní chemické změny, jako jsou destrukce nebo degradace materiálu. Touto technologií se vyrábí konečné výrobky i polotovary a výlisky. Ohřev směsi je skrz vedení tepla od stěny formy, které se ohřívají vodní párou nebo častěji elektricky (topné desky, topné elementy).

Přípravná směs, označovaná jako nálož, se připravuje vytlačováním nebo válcováním. Při malém množství směsi vznikají nedolisované díly. U velkého množství vznikají velké nežádoucí přetoky, které mohou změnit rozměrovou odchylku. [1]

2.2.1 Lisovací cyklus

Lisovací cyklus obsahuje po sobě opakující se operací pro zhotovení výrob, která závisí na druhu použité směsi. Délka celého cyklu závisí na průběhu předehřevu směsi a samotné kinematice vulkanizace dílu. [3]

- Plnění formy
- Uzavření formy a lisování, zároveň odvzdušnění
- Vulkanizace
- Otevření formy
- Vyhození výrobku
- Vyčistění a příprava formy pro další formy

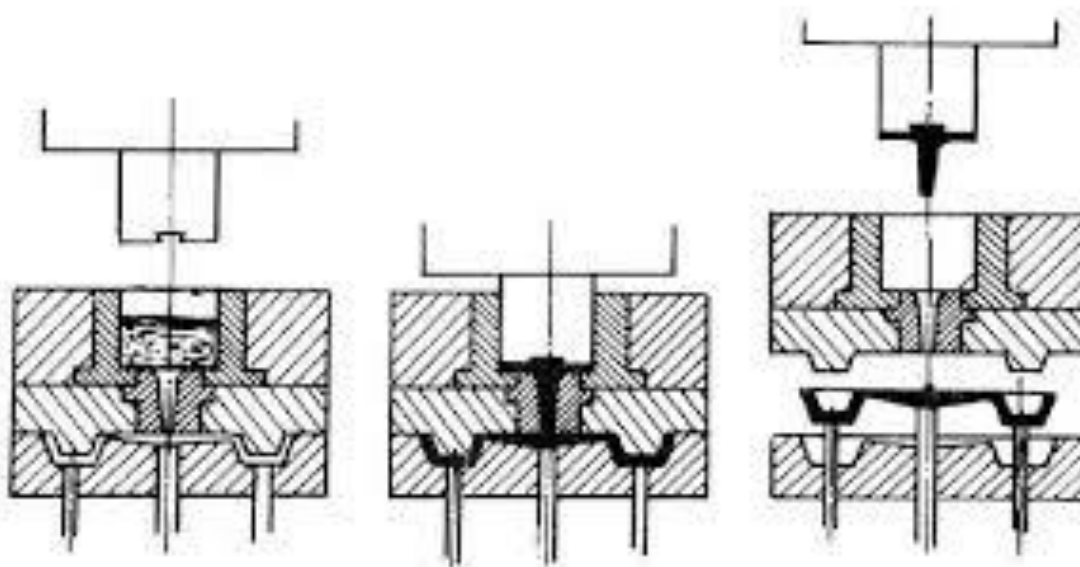
2.2.2 Výhody a nevýhody

Hlavní výhodou lisování je jednoduchost forem a tím i cena nástroje. Pnutí v nástroji je minimální, z důvodu krátkého lisovacího cyklu. Dále se nekonstruuje vtoková soustava.

Mezi hlavní nevýhody této technologie patří náročnější příprava směsi (nálože), u které mohou vzniknout defekty z důvodu vlhkosti a nedostatečného odvzdušnění. Další nevýhodou je vznik velkého přetoku v dělicí rovině, který je viditelný u výrobku. [3]

2.3 Přetlačování elastomeru

Velký rozdíl oproti lisování je v tom, že materiál je při přetlačování vtlačen pístem z pomocné (plnicí) komory do dutiny formy, která je uzavřena přetlačovacími kanály. Přetlačovací komora je součástí formy. U materiálu, obsahující plniva, může při tečení vzniknout orientace, kde se změní anizotropie vlastnosti výrobku. Smykové tření při přetlačování kanály ohřívá směs a snižuje její viskozitu. Směs s nízkou viskozitou lépe vyplní všechny dutiny formy a zároveň vysoká teplota směsi urychlí samotnou vulkanizaci. Přetlačování elastomeru je znázorněno na obr. 2. [3]



Obrázek 2. Přetlačování elastomeru [1]

1 – plnění; 2 – přetlačování směsi a vulkanizace; 3 – vyhození dílu

2.3.1 Přetlačovací cyklus

Kaučukovitá směs (nálož) se dává do přetlačovací komory, spuštěním lisu se spodní část formy pohybuje nahoru, do přetlačovací komory začne tlačit píst, upevněný na horní lisovací desce beranu. Píst protlačí směs vtokovými kanály do dutiny formy. U forem s velkou dutinou, kde se uvnitř po naplnění kaučukovité směsi zvětší tlak. Jestliže není průměr pístu dostatečně velký, může se forma otevírat a mohou vznikat vady na díle, jako jsou přetoky. Z tohoto důvodu je vhodné tuto technologii používat na výrobu menších výlisků.

Materiál se předeřívá mimo formu, ale samotný ohřev na vulkanizační teplotu se provádí ve formě, jak samotným přestupem tepla skrz stěny formy, tak při tečení směsi kanálky.

Podmínka dobrého toku směsi je vhodná teplota, směs se předeřívá na tzv. přetlačovací teplotu, která je od 80 do 120 °C dle typu směsi. Doba, po kterou se pohybuje píst, je označována jako přetlačovací doba, která závisí na teplotě předeřevu a druhu směsi. Nepředeřátá směs potřebuje většinou dvojnásobný přetlačovací čas. Dutina formy musí mít štěrbinu nebo kanálky pro odvzdušnění, někdy z úspory se využívají vůle u jader, vodících čepů a vložek. [1]

2.3.2 Výhody a nevýhody

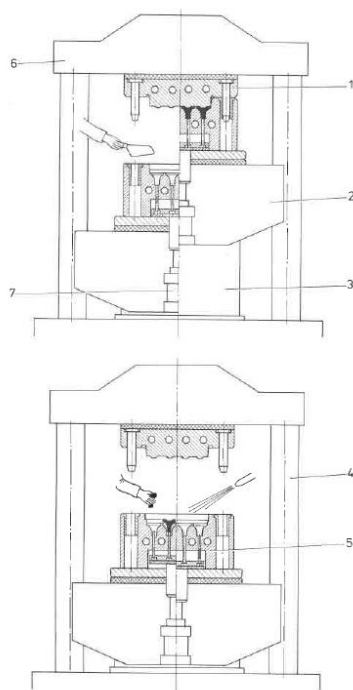
Hlavní výhoda přetlačování je přesné dávkování materiálu. Přetlačovací metodou lze vyrobit různě silné výrobky, i silnostěnné. Tato technologie je vhodná jak pro velkosériovou výrobu, tak i pro méně početnou výrobu. Pro výrobu stačí vulkanizační lisy.

Hlavní nevýhodou je větší spotřeba směsi, z důvodu zůstávání materiálu po cyklu v přetlačovací komoře a vtokových kanálech. Tato technologie není vhodná pro výrobu malých výrobků. Další nevýhoda je složitost a tím vyšší cena formy. Po každém cyklu je nutno vyčistit a vyprázdnit kanálky a přetlačovací komoru. [1]

3 Konstrukce forem pro lisování a přetlačování

3.1 Lisovací formy

Při působení tepla a tlaku mohou být formovací směsi zpracovány na výrobky vyznačující se vysokou pevností, dobrou rozměrovou stabilitou a vysokým bodem tepelné stálosti. Abychom mohli získat požadovaný tvar dílu, potřebujeme formu. Pro lepší odolnost proti tlaku a teple, které vzniká během zpracování, jsou lisovací formy vyrobeny z vysokoteplotní a vysoko odolných ocelí. Forma je vyhřívána nepřímou nebo přímo. Při nepřímém ohřevu se dodává potřebné teplo do formy z lisovacího lisu. Přímým ohřevem se musí forma tepelně izolovat od lisu (např. azbestové desky) a je ohřívána buď prostředně oběhem tepla, který vede teplo nebo elektricky. Toto medium může být horká voda, olej nebo pára. Lisovací forma představuje největší nákladový faktor při výpočtu ceny výrobku. Schéma lisovací formy je na obr. 3. [4]



Obrázek 3. Lisovací forma [5]

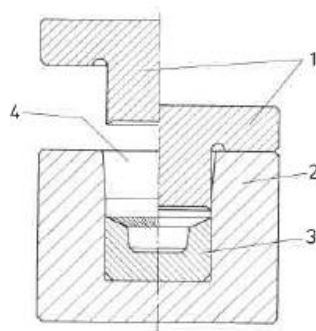
1 – vodící sloupek; 2 – stůl lisu; 3 – spodní válec lisu; 4 – vodící sloup lisu;

5 – vyhazovací mechanismus; 6 – beran lisu; 7 – vyhazovací píst

Vysoký tlak, který je během lisování vyžaduje, aby forma byla navržena s dostatečnou tuhostí a pevností, připouští se jen minimální deformace součástí formy. Pokud forma nemá dostatečnou tuhost, může dojít k pootevření formy během lisování nebo špatnému vyhození výrobku. Další rizika jsou, že kalené nebo povlakované povrchy forem mohou praskat, čímž se forma zničí. Jestli forma nemá tvarové vložky, které se vymění za nové. Části formy, které jsou v kontaktu s plastem, je povrch zaleštěn pro lepší uvolnění a vyhození dílu, vysoká povrchová úprava zajišťuje i lepší vizuální vzhled výrobků. Pro zlepšení odolnosti proti silnému působení elastomerních směsí, které působí za vyšších teplot a tlaku je výhodnější povrch formy, které jsou ve styku se směsí zakalit nebo aplikovat povrchové nátěry odolné proti opotřebení, popřípadě povrchové úpravy, jako jsou nitridace atd. Na druhou stranu by části forem z oceli měly být houževnatá tak, aby i menší deformace formy nezpůsobovaly jejich poškození. [5]

3.1.1 Komponenty lisovací formy

Lisovací forma se skládá ze dvou částí a to z horní a spodní poloviny. Za standardních situací je spodní část upnuta ke stolu lisu a horní část je upnuta na pohyblivé desce lisu beranu. Horní a spodní část formy jsou vedeny vodícími elementy, na které při výrobě asymetrických dílů působí velké síly, z toho důvodu musí být správně dimenzovány. Vyhození dílů z formy vyžaduje samostatné mechanismy. Výrobky, jako jsou desky nebo ploché díly se snadno vyhazují pomocí stlačeného vzduchu, který bývá u každého lisu a je vyžadován k čištění zbytkového směsi ve formě. Sestava formy je tvořena rámem formy, zatímco geometrie výrobku je omezena tvarovými díly formy, tvárník a tvárnice, jako je to ukázáno na obr. 4. [5]



Obrázek 4. Komponenty lisovací formy [5]

1 – tvárník; 2 – rám formy; 3 – vložka tvárnice; 4 – pracovní komora

3.2 Typy forem

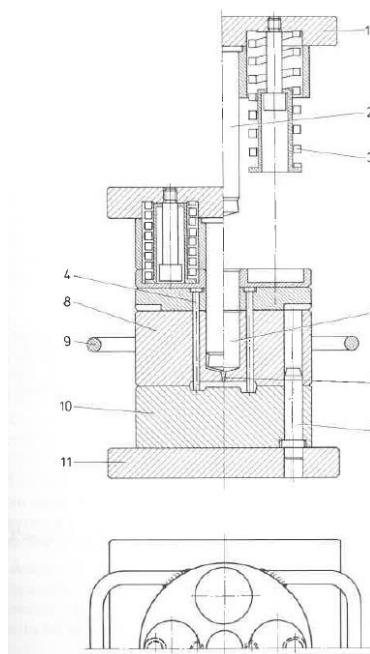
Typy lisovacích forem jsou prototypové nebo výrobní, které se používají k získání experimentálních vzorků nebo komerčních dílů.

Mohou se dělit:

- 1) Prototypové, výrobní
- 2) Lisovací, přetlačovací
- 3) Vícenásobné, speciální

3.2.1 Prototypové formy

Aby se zajistila dobrá funkce formy a spolehlivý výrobní proces při lisování, a to i při použití velmi tvrdých formovacích směsí a složitých geometrických tvarů výrobku, je výhodnější před výrobou výrobní formy zkušební nebo prototypová forma. Tato forma slouží k ověření procesu při tváření (lisování formovací směsí a parametry procesu). Další výhodou výroby prototypové formy je možnost ověřování různých konstrukcí. Prvotní testování výrobku je v prototypové formě. Popis prototypové formy je na obr. 5. [5]



Obrázek 5. Prototypová forma [5]

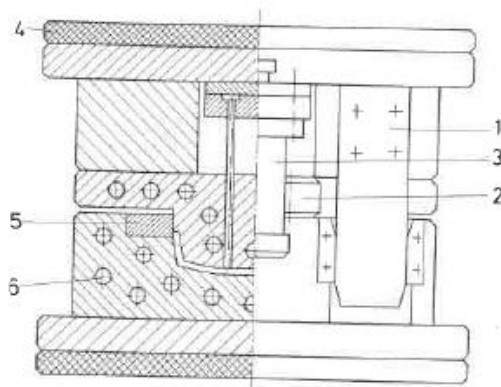
- 1 – horní upínací deska; 2 – protlačovací píst; 3 – pružina; 4 – vyhazovač;
5 – přetlačovací komora; 6 – přetlačovací kanálek; 7 – vodící sloupek; 8 – horní polovina formy;
9 – madla; 10 – spodní polovina formy; 11 – spodní upínací deska

3.2.2 Univerzální formy

Obě poloviny formy (horní a spodní) jsou upnuty k lisu. Rám obsahuje vodící kolíky pro vedení celého nástroje, dále i topných elementů na přímé vytápění a i izolačních desek, případně se nepoužije nepřímo ohřívání topnými deskami instalované v lisu. [5]

3.2.3 Sériové formy

U sériových forem je výška výrobku omezena dosedacími dorazy, které jsou umístěny v dělící rovině. Tvárnice a tvárník jsou vyrobeny jako vložkové. Vodící sloupky musí být delší než tvárník, aby se předešlo nabourání tvarové dutiny, při větším opotřebení vedení. Vytápění je provedeno topnými elementy (topné pasy a topné patrony). Počet, umístění a tvar vyhazovačů je volen s ohledem na hmotnost a tvar vylisku. Složení lisovacího nástroje je na obr. 6. [4]



Obrázek 6. Sériová lisovací forma [5]

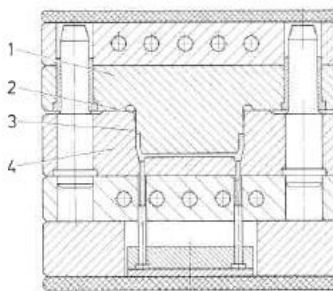
1 – vodící sloupek; 2 – distanční vložka; 3 – píst;

4 – izolační deska; 5 – přetoková rovina; 6 – temperační otvory

Okraje oddělující dutinu se směsí se nazývá přetoková hrana. U přetokové hrany je oblast mezi horní a spodní polovinou formy se zužuje směrem ven, tak aby se usnadnilo vyhození výrobku. Lisovací formy jsou konstruovány vzhledem k jejich povaze s přebytkem formovací směsi. Přebytečná směs se protlačí do oblasti mezi horní a spodní polovinou formy. Obvykle je nástroj navržen s velmi malou odvzdušňovací mezerou, maximálně 0,05 mm v oblasti přetokové hrany, tak aby se zabránilo nadměrnému vytečení materiálu a aby se zajistilo tvarová stálost výrobku, jakož i jasné vymezení mezi samotným výrobkem a přetokem. [5]

3.2.4 Pozitivní formy s dělicí rovinou

Tato konstrukce pozitivní formy s rovinou je navržena, tak že tvarovací plocha jádra a dutiny jsou horizontálně odděleny rovinou, která je tvořena uzavírací hranou, znázorněno na obr. 7. U tohoto druhu formy je nutné odhalit opotřebení, z důvodu velkých lisovacích sil ve formovací směsi působící na povrch formy. [5]

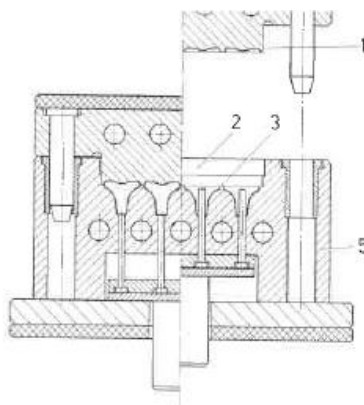


Obrázek 7. Pozitivní formy s dělicí rovinou [5]

1 – horní část formy; 2 – dělicí rovina; 3 – přetoková rovina; 4 – spodní část formy

3.2.5 Vícenásobné formy

Vícenásobná forma se společnou plnicí komorou je konstruována s uzávěry nebo plochami, které jsou umístěny na povrchu roviny tvořící uzavírací oblast plnicí komory. Na obr. 8 je znázorněna vícenásobná forma se společnou plnicí komorou. Během lisování se společná lisovací komora plní formovací směsí do dutin je zapotřebí velké síly z lisovacího lisu. Tyto druhy forem jsou nevhodné pro tvrdé směsi nebo směsi s obsahem vláken nebo jiných plniv. [5]

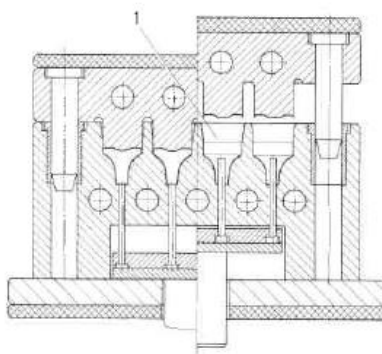


Obrázek 8. Vícenásobná forma se společnou plnicí komorou [5]

1 – dělicí rovina; 2 – pracovní komora; 3 – dělicí rovina;

4 – horní část formy; 5 – spodní část formy

U vícenásobné formy s jednotlivou plnicí komorou se lze vyhnout nevýhod výše uvedené formy. Na obr. 9 je znázorněna forma s jednotlivými plnicími komorami. Musí se zajistit rovnoměrného naplnění formovací směsí do dutin. Forma se plní buď zaváděcím zařízením, nebo použitím předem tvarovaných tablet. Stejně odměřená formovací směs je naplněna do každé jednotlivé plnicí komory. Tím se předchází rozdílům v tlaku v jednotlivých dutinách. [5]

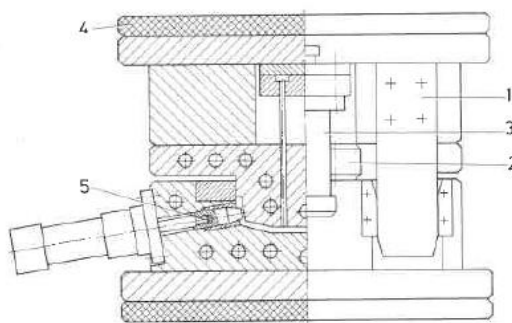


Obrázek 9. Vícenásobná forma s jednotlivými plnicími komorami [5]

1 – individuální pracovní komora

3.2.6 Formy s bočním jádrem

Výrobky s otvorem na bocích jsou vyrobeny s bočním jádrem. Pohyb jádra může být ovládán ručně, který se ovládá nepřímo lisovacím pohybem nebo za pomoci hydraulického válce. Na obr. 10 je ukázaná forma s bočním jádrem, na kterou je přímo napojen hydraulický válec. Při pohybu postranních jader je důležité, aby bylo zajištěno pevné uzavření v lisovací poloze, pro minimalizování tvorby přetoků. Na druhou stranu tyto přetoky umožňují snadný a spolehlivý provoz po vytažení. [5]



Obrázek 10. Forma s bočním jádrem [5]

1 – vodící sloupek; 2 – distanční vložka; 3 – píst;

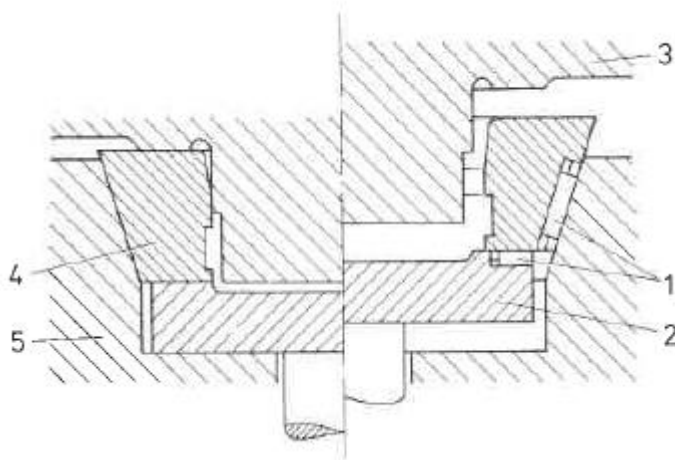
4 – isolační deska; 5 – tlačný píst

3.2.7 Formy s dělenou dutinou

Forma s dělenou dutinou je konstrukčně navrhnutá v kuželovitém tvaru. Rozdělené dutiny jsou drženy a vedeny v kuželovém rámu nebo prstenci, úhel kužele závisí na tvaru a velikosti výrobku. U lisovacích forem by se tento úhel neměl pohybovat pod 15° , aby se zabránilo samosvornosti rozdělovačů nebo extenznímu zaklínění síly vytvářené během držení výrobku. Otevření formy je aktivováno nepřímo nebo přímo (tahem jádra v lisu nebo ejektorovým mechanismem). Dále je možné ovládat rozdělení hydraulickým válcem, tak aby se předcházelo síle vytvářené během přidržování pohybu rozdělovače. [5]

3.2.8 Sklopné formy

Lisované výrobky s dělicí rovinou na vnějším povrchu, lze snadno tvarovat do formy s rozdělenou dutinou (příkladem jsou elektrické skříně). Forma je konstruovaná tak, že ke čtyřem deskám formy, které tvoří boční stěny, jsou připevněny sklopné části k základní desce, která tvoří dno lisování výrobku. Po lisovacím cyklu a vulkanizaci výrobku jsou všechny komponenty včetně dílu vyhozeny středovým vyhazovačem. Sklopná forma je ukázaná na obr. 11. [5]



Obrázek 11. Sklopná forma [5]

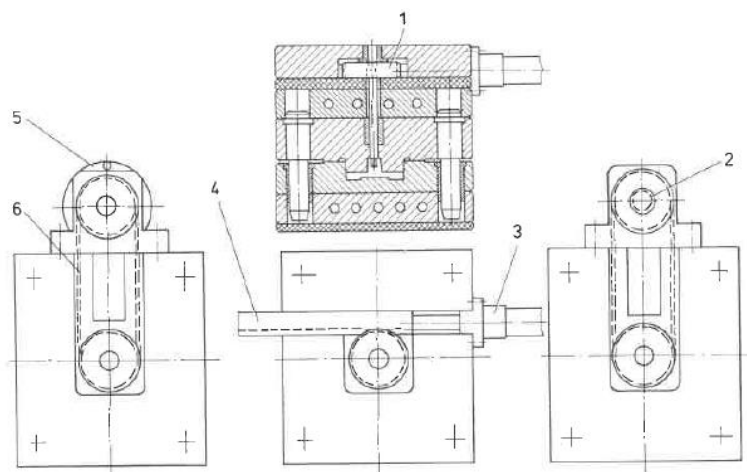
- 1 – zámky; 2 – tvárnice; 3 – horní polovina formy;
4 – pohyblivá, sklopná vložka; 5 – spodní polovina formy

3.2.9 Formy pro zálisky

Některé technické výrobky jsou navrženy tak, že se do formy musí nejdříve vložit kovové části, jako jsou průchodky, kolíky, výztuže, a teprve potom bude působit lisování. U těchto forem je důležité, aby se během plnění formy směs vložený výlisek vložka pevně uzavřela proti protilehlým povrchům formy a pevně se přidržovala v určené poloze, aby se zabránilo posunu. Běžné formy pro lisování s vyjímatelnou komorou nejsou pro tyto druhy dílů vhodné, protože nelze zabránit občasnému posouvání výlisku. [5]

3.2.10 Vytáčecí forma

Ve vytáčecí formě vyrábí výrobek se závity. Forma je konstrukčně navržena tak, že k vyhození dílu dojde po vytočení tvarové části nebo výrobku. Vytáčecí mechanismus je poháněn pastorkem nebo řetězem stlačeným vzduchem nebo hydraulicky, popřípadě je ovládán ruční klikou. Vytáčecí forma je ukázaná na obr. 12. [5]



Obrázek 12. Vytáčecí forma [5]

1 – pohon ozubené hřídele; 2 – pohon se šroubovým vřetenem; 3 – píst;

4 – ozubená hřídel; 5 – ozubené kolo řemenice; 6 – řemenice

3.2.11 Obecné aspekty

Společným aspektem všech lisovacích forem je, že se při tvarování tvoří přebytečný materiál (přetoky), i když se téměř celá formovací směs (nálož) přemění na výrobek, zůstávají v oblasti přechodových hran. Aby byl přetok co nejmenší, je důležité navrhnout formu tak, aby měla co největší tuhost. [5]

4 3D tisk

3D tisk je proces, který využívá digitální data z 3D modelů, ze kterých je posléze zhotoven reálný 3D model. K vytváření 3D modelů se převážně používají 3D softwary (Fusion 360, NX, Solidworks, Inventor,) nebo tzv. 3D skenery, které naskenují fyzický objekt, který převedou do virtuálního 3D modelu. Pro vytvoření 3D modelu je nutné vhodně zvolit parametry rozměry modelu. U tisku z více částí, které posléze tvoří sestavu, je vhodné zvolit dobré toleranční hodnoty. Další důležitým parametrem je rozřezání modelu na výšku vrstvy, výška vrstvy záleží na požadavku na model, technologii tisknutí a schopností 3D tiskárny. Formát používaný exportování modelů do 3D tiskáren je *.stl (stereolitografie). [6]

4.1 Výhody 3D tisku

- Mezi hlavní výhody 3D tisku patří možnost vlastního přizpůsobení výrobku, 3D tiskárnou, požadovaným materiálem a potřebným modelem (.stl), lze vyrobit jakýkoliv výrobek.
- Další velkou výhodou je rychlá volba výroba prototypu, kde lze za krátkou dobu vytvořit reálný objekt i v menším měřítku, která napomáhá předcházet problémům, které by mohly vzniknout při sériové výrobě.
- Nízké náklady na produkci modelů, v poslední době je 3D tisk stále více rozšířený a díky tomu je cena materiálu nízká (přibližně od 500 Kč/1kg dle výrobce).
- Minimální skladovací prostory a náročnost na energii, další výhodou je lepší pracovní příležitost, 3D tisk se nejvíce uplatňuje v designu, konstrukci.
- 3D tisk se dá využít i pro medicínské aplikace pro výrobu atypických modelů, popřípadě v budoucnosti k tisknutí orgánů.

4.2 Nevýhody 3D tisku

- Největší problém je spojen s ochranou duševního vlastnictví, je velká dostupnost modelů, které lze snadno stáhnout online z různých serverů.
- Dále lze pomocí 3D tisku vyrobit nebezpečné věci jako jsou funkční zbraně, když bude mít někdo dostupný model k zbrani.
- Poslední nevýhodou je omezená velikost tisku, kde je tisk omezen vlastní tiskovou plochou.

4.3 Druhy technologií:

Volba technologie je závislá na použití druhu materiálu na model, levnější tiskárny pracují převážně s polymerními materiály. Cena 3D tiskáren roste s použitím druhu materiálu, v dnešní době zatím neexistuje. Z toho důvodu je nutné zvolit správnou tiskárnu s technologií, která nejvíce odpovídá požadavku na výsledný model. Nejlevnější a nejběžnější 3D tiskárny využívají plastové struny tzv. filament, dále se používají tekuté a práškové materiály. [6]

4.3.1 FDM

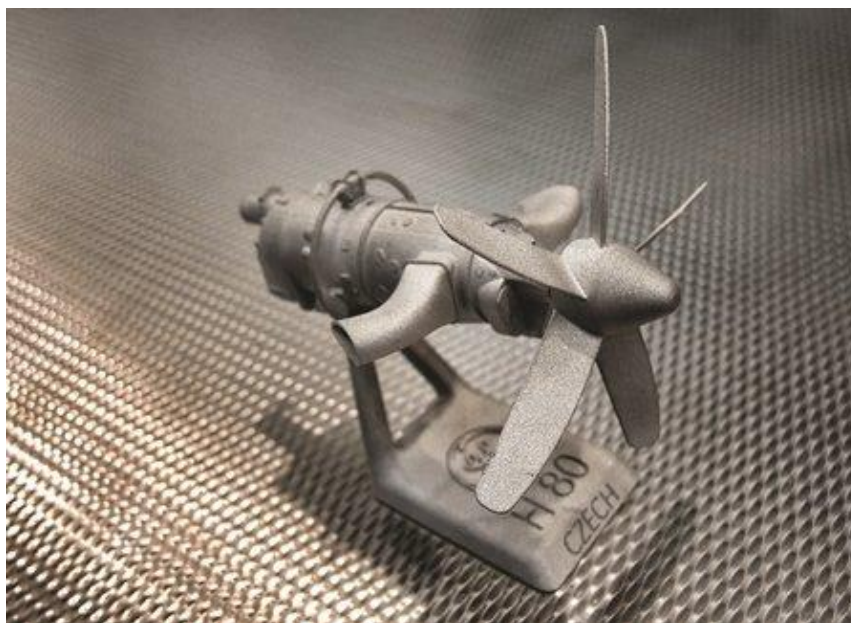
FDM nebo-li FusedDeposition Modeling je nejčastěji používaná technologie 3D tisku, která patří i mezi i nejlevnější. Tato technologie využívá strunu z termoplastu, která bývá většinou namotána na klubku, z klubka je postupně odvíjena a dodávána do tiskové hlavy. V tiskové hlavě je termoplast rozežhát na požadovanou teplotu, u PLA je to kolem 210 °C a u ABS 290 °C. Roztavený termoplast nanese vrstvu v osách X a Z dle tvaru modelu, po dokončení vrstvy se posune o vrstvu výš nebo níž, dle konstrukce, kde hlava opakuje podobný postup, než je zhotoven celý model. FDM technologie je méně přesná oproti ostatním technologiím, oproti tomu na druhé straně je levnější a menší, díky tomu i více rozšířená technologie. Nejčastěji se používá v kancelářích a domácnostech, která je ukázaná na obr. 13. [6]



Obrázek 13. FDM [7]

4.3.2 Laserové spékání

Laserové spékání nebo-li Laser sintering pracuje s práškovými materiály. Laserová hlava se pohybuje v osách X a Y nad práškem nanesený na lože v závislostech na 3D datech modelu. Jakmile se laser z laserové hlavy dostane do kontaktu s práškem, prášek je spečen a vytvoří pevnou formu. Jakmile je vrstva spečená, lože se posune níž o vrstvu, na kterou je nanášena další vrstva a celý cyklus se opakuje, než je vytvořen hotový model. Tato technologie pracuje jak s kovovými materiály, které vyžadují vysoké teploty tak i s plastovými materiály. Díly vyrobené touto technologií jsou pevné. Pracovní komora ve, které se tiskne, musí být celá uzavřená, z důvodů udržení dané teploty tání práškového materiálu. Po dokončení tisknutí je lože s modelem vyjmuta z tiskárny a poté je přebytečný prášek odstraněn. Vytisknutý model laserovém spékání je ukázán na obr. 14. [8]



Obrázek 14. Laserové spékání [9]

4.3.3 Stereolitografie

Stereolitografie se začala používat jako první technologie v 3D tisku. Tato technologie pracuje na podobném principu jako ostatní technologie, na vrstvení materiálu po jednotlivých vrstvách. Tato technologie je založena na laserovém procesu a použití pryskyřice, která reaguje se světlem. Pryskyřice reaguje se světelným paprskem z laserové hlavičky, je vytvrzena a vytvoří požadovaný tvar s velmi vysokou přesností. Stereolitografie je složitý proces, při které je pryskyřice udržována v nádrži s pohyblivou stolicí uvnitř. Světelný paprsek se pohybuje v osách X a Y po povrchu pryskyřice, dle požadovaných souřadnic. Pryskyřice je vytvrzována v místě, kde se dotkne laserový paprsek s pryskyřicí. Po dokončení vrstvy se posouvá stolice hlouběji do nádrže, v Z souřadnici, poté je vytvrzována další vrstva, takto tato technologie pokračuje až do zhotovení celého modelu.

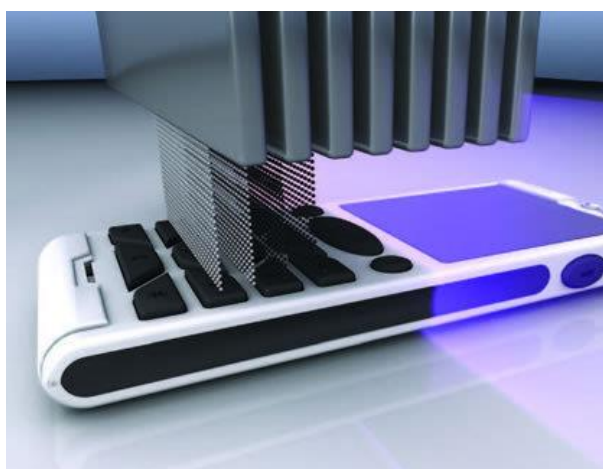
Tato technologie požaduje vytváření podpurných částí, které se musí po dokončení tisku odstranit. Dalšími kroky zpracování modelu je očištění a dodatečné vytvrzení, vytvrzuje se pod intenzivním světlem, aby došlo ke správnému zpevnění modelu. Tato technologie je hodnocena jako nejpresnější technologií 3D tisku včetně dobrého povrchu, ale nevýhodou jsou operace po výrobě, jako je čištění a vytvrzování. Další nevýhodou je po delší době degradace materiálu. 3D tiskárny na stereolitografii je ukázaná na obr. 15. [10]



Obrázek 15. Stereolitografie [10]

4.3.4 PolyJet

Technologie PolyJet je velmi podobná technologii 3Dtisku za použití inkoustových tiskáren, ale místo inkoustu na papír se používá fotopolymer, který je tryskán v tekutém stavu na povrch v kapičkách, které jsou následně vytvrzovány UV světlem. Podobně jako u ostatních technologií je model tisknut vrstvou po vrstvě. Vytisknutý model se může použít hned po vytisknutí, bez dalšího vytvrzování. Dále je možno u tiskárny společně se stavebním materiálem tisknout podpůrné plochy na gelové bázi. PolyJet matrix je schopný tisku s více druhy materiálu v jednom tisku, lze kombinovat i dva různé druhy materiálů s různými vlastnostmi materiálu. Tisk PolyJet je ukázán na obr. 16. [11]



Obrázek 16. PolyJet [12]

4.4 Materiály používané k 3D tisku

4.4.1 PLA

PLA (kyselina polymléčná-polyactid acid) je s ABS materiálu nejčastěji používaným materiálem pro 3D tisk, extruze termoplastu. Nejčastěji tento materiál je využíván v domácnostech mezi kutily nebo na školách. PLA se získává z obnovitelných zdrojů například z bramborového nebo kukuřičného škrobu, cukrové třtiny, díky tomu je biologicky odbouratelný, který je rozpustný v hydroxidu sodném. Nejčastěji je dodáván pro 3D tisk ve formě drátu (filament) o průměru 1.75 mm až 3 mm. Hustota PLA je 1250 kg/m³, použitá teplota pro tisk je od 185-235 °C dle typu PLA a výrobce. Nevýhodou tohoto materiálu je jeho polarita nebo-li navlhavost, dále je schopný pohlcovat i vzdušnou vlhkost čímž se snižují mechanické vlastnosti. [13]

4.4.2 ABS

ABS (akrylonitrilbutadienstyren) je amorfní termoplast. Kopolymerací butadienu, akrylonitrilu a styrenu (kaučuková složka je připravena zvlášť) se podaří připravit materiál, který díky akrylonitrilové složce má zvýšenou chemickou odolnost a i současně vlivem pomocí butadienové složky zároveň zvyšuje houževnatost polystyrenu a to i při zachování dostatečné pevnosti a potřebné tuhosti materiálu. ABS dobře odolává elektrostatickému náboji. Díky heterogenního složení ve struktuře je neprůhledný, ačkoliv je amorfní plast a je navlhavý. Hustota ABS je 1050 kg / m³, použitá teplota pro tisk je od 220 – 275 °C dle typu ABS a výrobce. [14]

4.4.3 PA

PA nebo-li polyamid je vysoce hodnotný konstrukční semikrystalický termoplast. PA je lineární plast charakterizovaný řetězcem, v němž se pravidelně střídá amidové skupiny –CO–NH–s větším počtem methylenových skupin –CH₂–. Vyrábí se z různých monomerů, několik odlišných způsobů, proto se nejčastěji setkává s polyamidy: PA6, PA11, PA66, PA12, PA610.

Vzhledem k jeho chemickému složení (obsahuje polární atomy kyslíku, dusíku), velmi snadno přijímá vodu při přímém kontaktu, i z atmosféry. Polyamid je tedy silně polárními plast. Na druhou stranu dobře odolává nepolárním rozpouštědlům, je rozpustný v silných kyselinách. Při zpracování nevysušeného polyamidu se voda projeví jako napěňování taveniny a hydrolyzou. PA jsou náchylné na kríp (vlhkost, který totiž

snižuje modul pružnosti a teplotu zesílení až pod 0 °C). PA mají dobré kluzné schopnosti. Hustota Nylon je 1100 kg/m³, použitá teplota pro tisk je od 235 – 260 °C dle typu a výrobce. [15]

4.4.4 Fotopolymer

Fotopolymer nebo-li pryskyřice aktivovaná světlem je polymer, který mění své vlastnosti, když je vystaven světlu, často v ultrafialové nebo viditelné oblasti elektromagnetického spektra. Tyto změny se často projevují strukturálně, například k vytvrzování materiálu dochází v důsledku zesílení při vystavení světlu. Fotopolymer se používá ve stereolitografii jako materiál pro vysoce přesné modely. Je to flexibilní materiál a tuhý materiál. Nejčastěji se dodává v černé, bílé a průhledné barvě. Na vrstvu 1 mm je potřeba 10 vrstev, z tohoto důvodu je výsledný model s nadprůměrnými detaily. [10]

4.4.5 Kov

Nejčastěji se jako materiál používá nerezová ocel (17 349), která je velmi známá, vyznačuje se vysokou tuhostí a pevností. Tisknutí z tohoto materiálu je z práškového materiálu, který je posléze vytvrzen laserem. Na 1 mm je potřeba 6 těchto vrstev, cena tohoto tisku je vyšší.

Dále se používá titan, který se řadí mezi nejsilnější a zároveň nejpoužívanější kovové materiály k 3D tisku. Použitím tisku z titanu se docílí vysokých detailů modelu, ale na druhou stranu tomu odpovídá cena. Na 1 mm je potřeba 30 vrstev. [10]

II. Experimentální část

Pryžové pouzdro pro omílací stroj Rösler, který slouží pro tlumení a vedení pružin mezi omílacím bubnem a pohonnou jednotkou Röslera. Cílem diplomové práce je navrhnout a zkonstruovat lisovací formu pro výrobu dílu.

Tlumící pouzdro je z tvrdé pryže, jejíž tvar a rozměr pouzdra pružiny, která je v ní uložená. Toto tlumící pouzdro lze vyrobit různými druhy technologií zpracování elastomerů, nejvhodnější metody z důvodu ekonomických a technologických je přetlačování a lisování. Tyto technologie jsou cyklický výrobní procesy, každá z výše uvedených technologií má v praxi velmi široké uplatnění, které mají určité výhody a nevýhody. Aby se dalo vyrobit dané pouzdro, musí se při návrhu znát zásady výroby z elastomerů, vlastnosti materiálu (např. smrštění pryže), z něhož je pouzdro vyrobeno a technologie zpracování (časový průběh vulkanizace).

Výrobek bude vyráběn ve formě, dle charakteristik výrobních procesů, které byly výše zmíněny. Samotná forma dává gumárenské směsi konečný tvar výrobku, která odpovídá konstrukčnímu řešení. Formy jsou děleny dle výrobních technologií na vstřikovací, přetlačovací a lisovací, které se liší svými specifikacemi, s nimiž je spjata jejich problematika. Pro zlehčení konstrukce forem je obecný postup při jejich navrhování a konstruování, které se aplikují a poté se upravují na konkrétní případy.

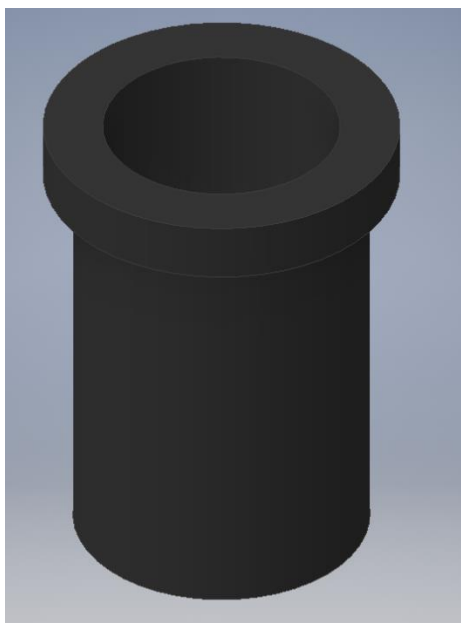
5 Pryžové pouzdro

Pryžové pouzdro pro omílací stroj Rösler, je určen pro vedení pružin a tlumení rázu při vznikajících otřesech mezi pohonnou jednotkou a omílacím bubnem Röslera. Na toto pouzdro jsou tedy kladeny vysoké požadavky na odolnost a funkčnost, vzhled dílu je zanedbaný. Rozměr a tvar pouzdra odpovídá původnímu tvaru pouzdra použitých v omílacím zařízení Rösler.

Vzhledem k zamýšlené výrobě tlumícího pouzdra, její rychlosti a ekonomičnosti byla navržena technologie lisováním. Tato technologie není náročná na vybavení firmy, výroba je realizována na lisu s přídavným topným zařízením a za použití jednoduchých nástrojů. Tato technologie výroby také umožňuje jednoduchou výměnou tvarových vložek a tvárníku, kterými lze vyrábět podobné výrobky. Tato forma je řešena jako univerzální.



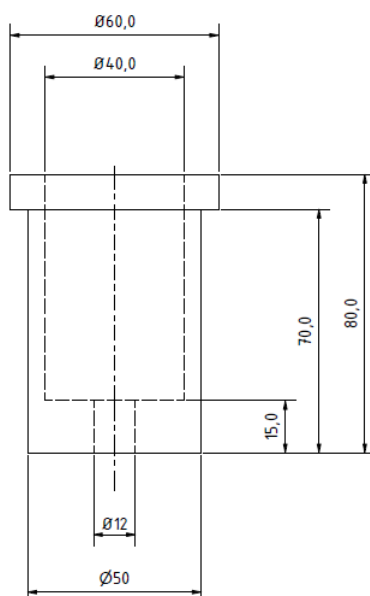
Obrázek 17. Omílací buben Rösler



Obrázek 18. Pryžové pouzdro

5.1 Geometrie dílu

Geometrie (tvar, rozměr) pouzdra odpovídá skutečnému pouzdru použitým ve stroji, je uvedena na obrázku čísla 18. Objem pouzdra je $82341,1 \text{ mm}^3$ (vyhodnocený v programu Autodesk Inventor 2019).



Obrázek 19. Výkres pouzdra

5.2 Materiál

Pro pouzdro jsem zvolil pryž NBR-SBR 65 (Nitril – Butadien kaučuk / Styren – Butadien kaučuk). Pryž je z olejo-vzdorovité směsi na bázi NBR se standardním obsahem nitrilu s příměsí SBR elastomeru. Vulkanizace tohoto této směsi je při 170 °C. Vybrané vlastnosti jsou uvedeny v tabulce 1 a 2.

Tabulka 1. Fyzikální a mechanické vlastnosti pryže

Pevnost (MPa)	Tažnost (%)	Tvrdost (ShA)	Teplotní rozsah (°C)	Měrná hmotnost (g/cm ³)
3	200	65 +/-5	-25 / +80	1,6

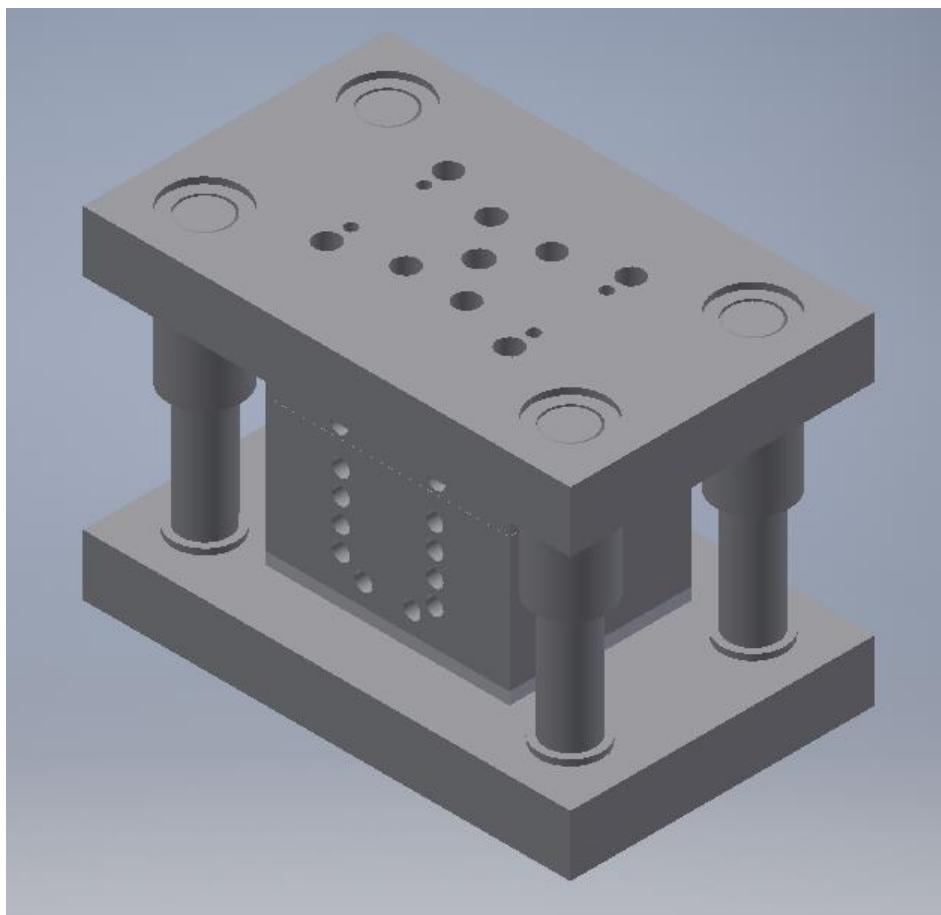
Tabulka 2. Odolnost pryže

Odolnost vůči silným zásadám	Odolnost vůči kyselinám	Odolnost vůči olejům	Odolnost vůči benzínu
není odolná	není odolná	odolná	středně odolná

6 Konstrukční návrh lisovací formy

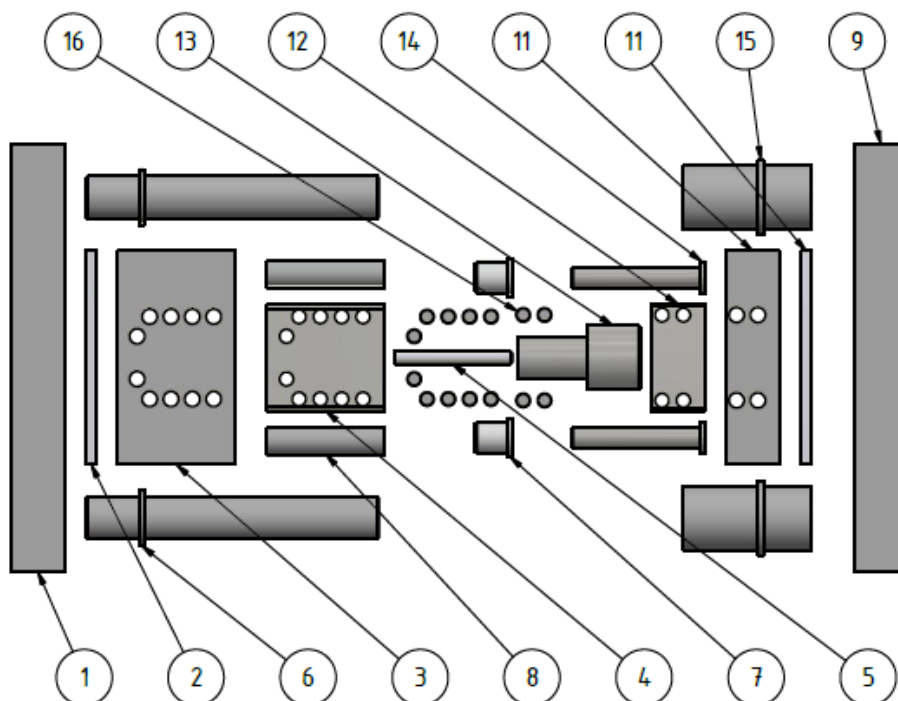
Forma pro výrobu pouzdra, je uvažována pro lis s použitím externího topného zařízení pomocí topných elementů. Forma je určena pro výrobu lisovací technologií, ohřev směsi je veden přestupem tepla mezi topnými elementy a tvarovými díly formy. Forma je navržena jako jednonásobná. Komponenty formy jsou ve formě stavebnicového systému, ve kterém se dají měnit komponenty, dle požadavku příslušného tvaru dílu.

Upnutí formy do lisu je mechanické. Spodní upínací deska ke stolu lisu a horní upínací deska k beranu lisu. Mezi upínacími deskami formy a stolem, beranem lisu jsou vloženy izolační desky, které zamezují přestupu tepla z nástroje do lisu.



Obrázek 20. Lisovací forma

Lisovací forma pro lisování pryžového pouzdra se skládá z 16 položek (celkem 40 částí, bez spojovacích šroubů a kolíků). Lisovací forma je znázorněna na obr. 21 s popisem částí v tabulce č. 3.



Obrázek 21. Popis rozložené lisovací formy

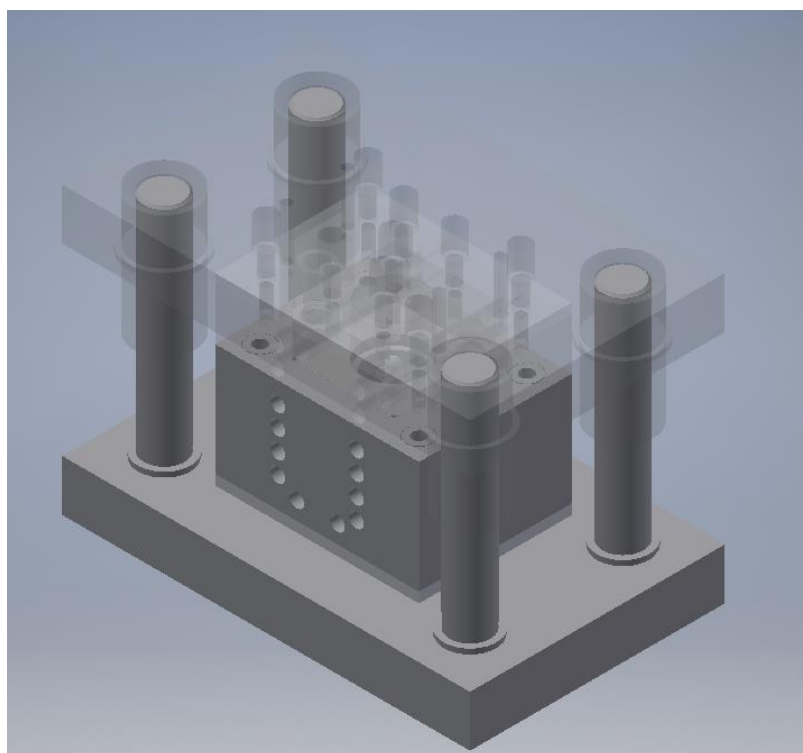
Tabulka 3. Kusovník k lisovací formě

Kusovník		
POLOŽKA	KS	ČÍSLO SOUČÁSTI
1	1	1. Spodní upínací deska
2	1	2. Spodní opěrná deska
3	1	3. Spodní tvarová deska
4	1	4. Spodní tvarová vložka (tvárnice)
5	1	5. Tvarový čep
6	4	6. Vodící sloupek (velký)
7	2	7. Vodící pouzdro (malé)
8	4	8. Vymezující doraz
9	1	9. Horní upínací deska
10	1	10. Horní opěrná deska
11	1	11. Horní tvarová deska
12	1	12. Horní tvarová vložka
13	1	13. Tvárník
14	2	14. Vodící sloupek (malý)
15	4	15. Vodící pouzdro (velké)
16	14	Topný element

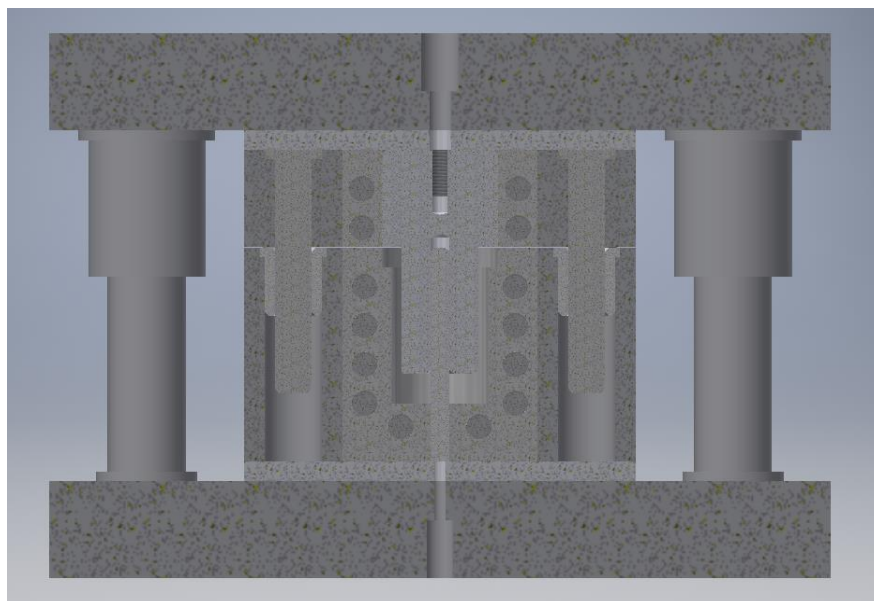
6.1 Konstrukční uspořádání formy

Forma má vnější rozměry 400 x 250 mm (šířka x hloubka) a při jejím zavření je vysoká 280 mm. Celková váha formy je 104,4 kg. Minimální zdvih pro tuto formu, tak aby se do formy dala snadno směs a posléze i vyjmutí dílu je 150 mm. Lisovací forma se skládá ze dvou hlavních částí, z horní části formy a spodní část formy, které budou více rozepsány v další kapitole. Dělicí rovina je vedena mezi spodní tvarovou deskou, ve které je umístěna spodní tvarová vložka, a horní tvarovou deskou, v níž je umístěna horní tvarová vložka. Vedení obou polovin formy zajišťují čtyři vodící sloupky spolu s vodícími pouzdry (velké). Správné centrování tvárníku vůči tvárnici zajišťují dva vodící sloupky s vodícími pouzdry (malé).

Odvzdušnění formy je prováděno v dělicí rovině. Mezera pro odvzdušnění se nastavuje dosedovými sloupky, které se dají podkládat dle použité gumárenské směsi. Byly navrženy čtyři dosedové sloupky, aby se předešlo křížení formy a posléze zničení části formy a i správnému odvzdušnění formy při lisování. Výrobky se vyndávají ručně jednoduchými nástroji. Forma se vytápí externě, pomocí topných elementů vložených, které jsou v dutinách spodní tvarové vložky a horní tvarové vložky.



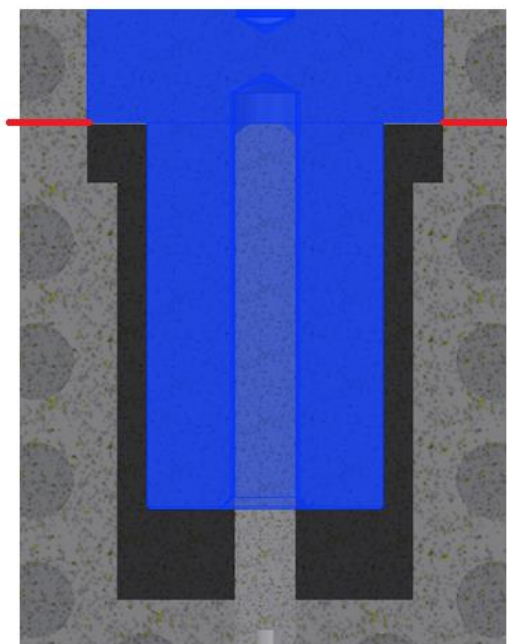
Obrázek 22. Pohled do vnitřku formy



Obrázek 23. Řez lisovací formy bez pryžového pouzdra

6.1.1 Přetoková hrana

Přetoková hrana u lisovací formy je navržena jako horizontální a nachází se v dělicí rovině. Tloušťka přetokové hrany se nastavuje buď podložením tvárníku, nebo podložením vymežujících dorazů, viz obr. 24.



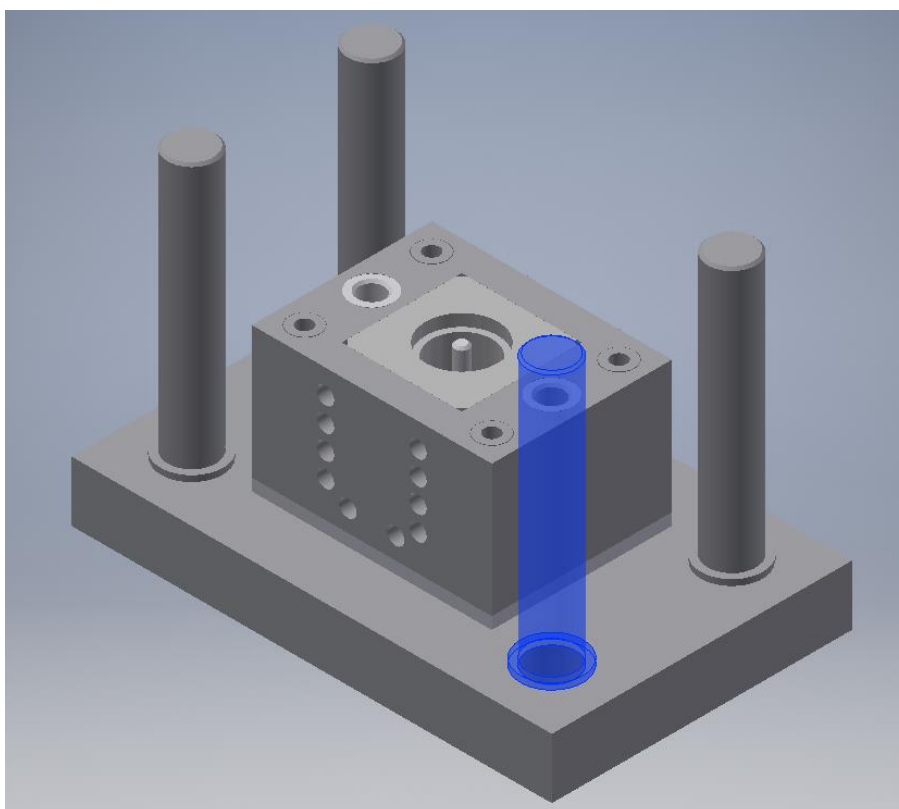
Obrázek 24. Přetoková hrana

6.2 Spodní část formy

Spodní část formy, je upnuta mechanicky přes upínky ke stolu lisu. Mezi stolem lisu a spodní částí nástroje je izolační deska, která nepřenáší vzniklé teplo z nástroje při vulkanizaci do stolu lisu. Spodní část formy se skládá ze spodní upínací desky, spodní opěrné desky, spodní tvarové desky, spodní tvarové vložky (tvárnice), čepu, vodících částí jako vodící sloupky (velké) a dvě vodící pouzdra (malé) a deset teplotních elementů.

Byly navrženy čtyři vodící sloupky (velké) pro snazší a lepší navádění horní části vůči spodní části nástroje, dále dvě vodící pouzdra pro navádění dvou vodících pouzder (malé) pro navádění vnitřku formy vůči sobě. Dorazové sloupky jsou voleny čtyři z důvodu zamezení křížení formy při jejím sevření, což by mohlo mít za následek zničení tvárníku, tvarového čepu a vodících sloupek s pouzdry.

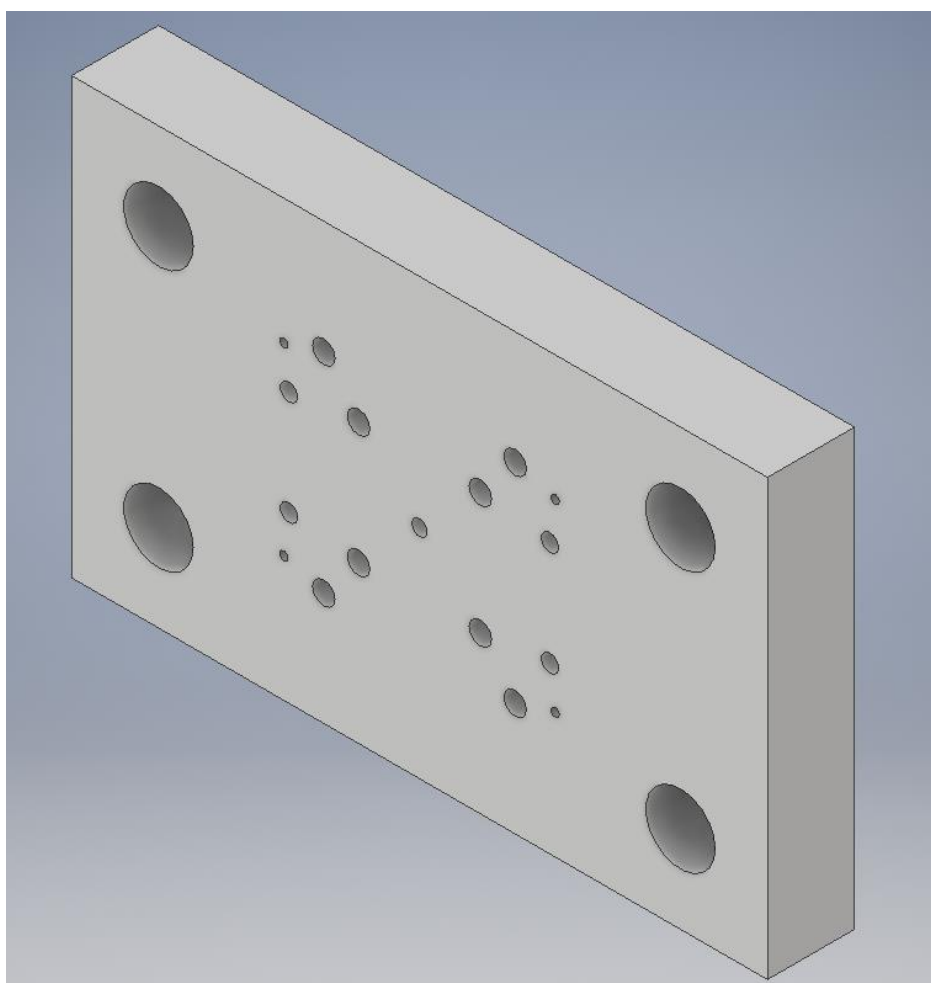
Topné elementy se vkládají do otvorů ve tvarové desce a vložce. Z důvodu snadného vložení a vyjmutí topných elementů bylo navrženo konstrukčně provrtání skrz.



Obrázek 25. Spodní část formy s pryžovým pouzdem

6.2.1 Spodní upínací deska

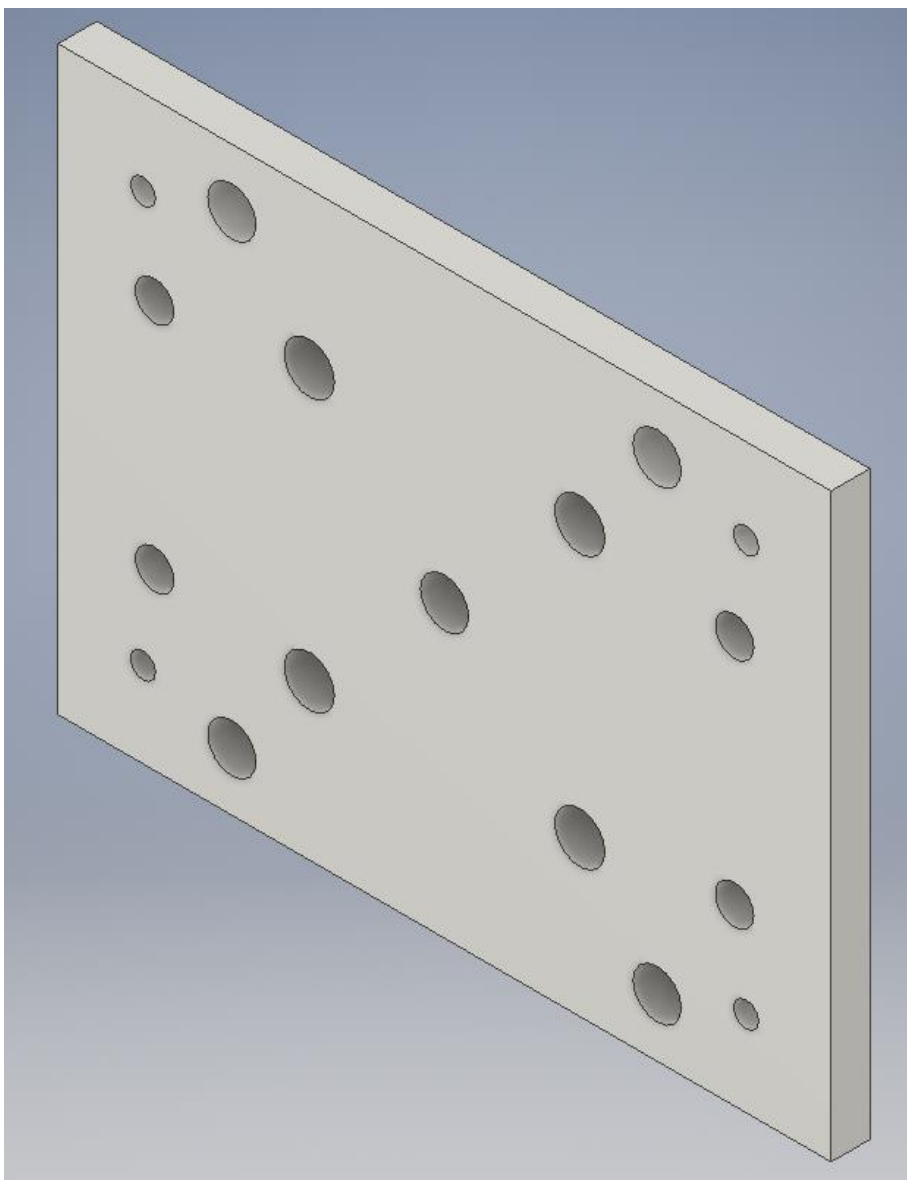
Spodní upínací deska je vyrobena z materiálu 12 040. Deska je navržena obdélníkového průřezu. Na tuto desku je připojena spodní opěrná deska se spodní tvarovou deskou, ve které je vložena spodní tvarová vložka (tvárnice). Tyto komponenty jsou plošně spojeny a zajištěny čtyřmi kolíky $\varnothing 10$. Do spodní upínací desky jsou umístěny dva vodící sloupky, které zajišťují správné vedení vůči horní části nástroje. Drsnost dosedových ploch je navržena $Ra = 1,6$. Rozměr spodní upínací desky je 400 x 250 x 50 mm, váha je 37 kg. Výkres spodní upínací desce je přiložen v příloze 1.



Obrázek 26. Spodní upínací deska

6.2.2 Spodní opěrná deska

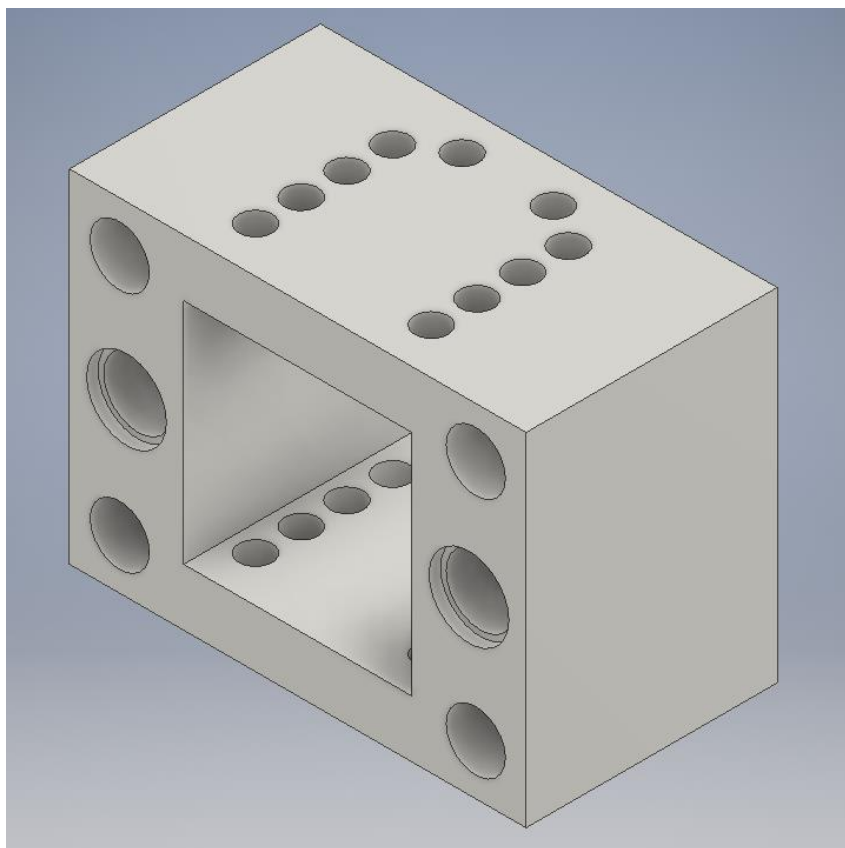
Spodní opěrná deska je vyrobena z materiálu 19 312. Deska je navržena obdélníkového průřezu. Spodní opěrná deska slouží v nástroji pro rozložení lisovacích sil působící ve formě při lisovacím cyklu, popřípadě může být vyměněna za izolační desku, která nebude přenášet vzniklé teplo na stůl lisu. Drsnost dosedových ploch je navržena $Ra = 1,6$. Rozměr spodní opěrné desky je 200 x 150 x 10 mm a váha je 2,3 kg. Výkres k spodní opěrné desce je přiložen v příloze 2.



Obrázek 27. Spodní opěrná deska

6.2.3 Spodní tvarová deska

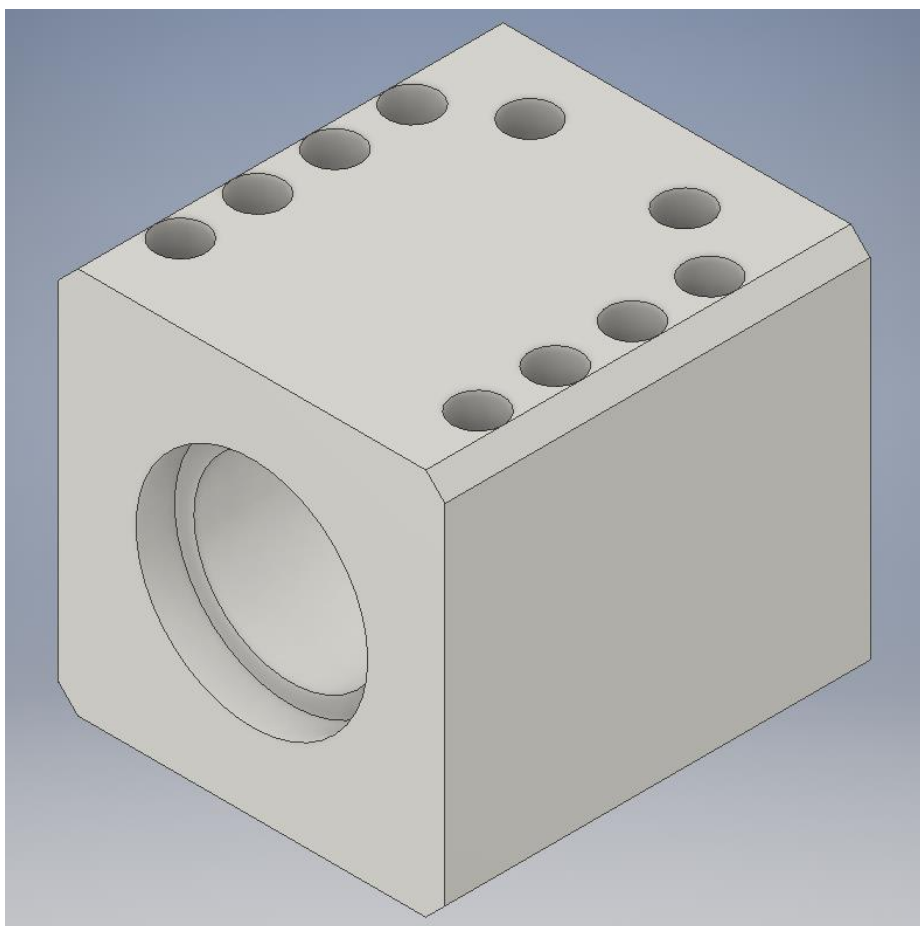
Spodní tvarová deska je vyrobena z materiálu 19 312. Tvarová deska je navržena obdélníkového průřezu. Spodní tvarová deska slouží v nástroji pro ustavení a lícování spodní tvarové vložky (tvárnice), do spodní tvarové desky jsou vloženy dvě vodící pouzdra (malé), které ustavují vnitřek formy při lisování. Vodící pouzdra jsou nalisovány do pozic uložením s přesahem, lepení pouzdra je zde nežádoucí z důvodu vysokých teplot, které vznikají při vulkanizaci. Dále jsou umístěny čtyři dorazy, které určují mezeru dělicí roviny a zamezují křížení formy při lisování. Ve spodní tvarové vložce jsou vyvrtány otvory pro vkládání a vyjímání topných elementů. Deska je ustavena čtyřmi kolíky $\varnothing 10$ a čtyřmi šrouby M12 s vnitřním šestihranem. Spodní tvarová deska je konstruována tak, aby umožňovala výměnu jiných tvarových vložek, u podobných tvarových výrobků. Drsnost dosedových ploch je navržena $Ra = 0,8$. Rozměr spodní tvarové desky je 200 x 150 x 110 mm a váha je 13,4 kg. Výkres k spodní tvarové desce je přiložen v příloze 3.



Obrázek 28. Spodní tvarová deska

6.2.4 Spodní tvarová vložka

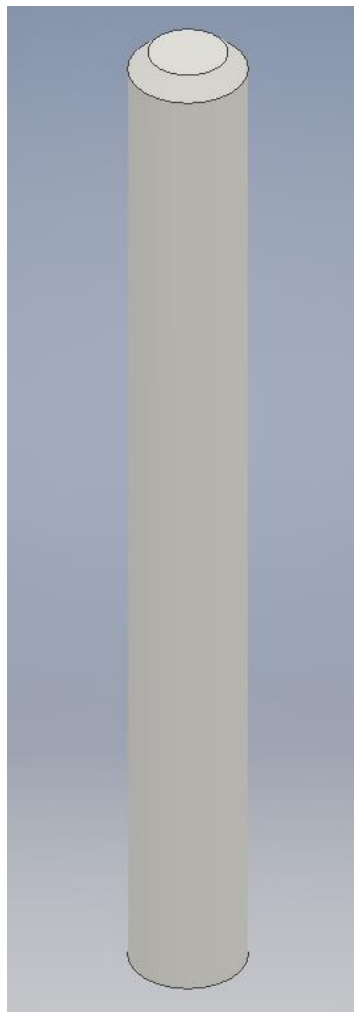
Spodní tvarová vložka je vyrobena z materiálu 19 573, který se bude povlakovat vrstvou CrN, který má dobrou schopnost proti otěruvzdornosti a snižuje tvorbu studených spojů. Vložka je navržena obdélníkového průřezu. Spodní tvarová vložka slouží v nástroji pro výrobu pryžového pouzdra, která odpovídá negativnímu tvaru výrobku, uprostřed pracovní komory je otvor pro tvarový čep. Dále jsou ve vložce vyvrtány otvory pro vložení topných elementů na $\varnothing 13$. Uchycení spodní tvarové vložky je čtyřmi šrouby M12 s vnitřním šestihranem, po obvodu jsou sraženy hrany pro snazší vkládání a vyjímání vložky. Drsnost vložky je navržena $Ra = 0,8$. Rozměr spodní tvarové vložky je 100 x 100 x 110 mm a váha je 6,3 kg. Výkres k spodní tvarové vložce je přiložen v příloze 4.



Obrázek 29. Spodní tvarová vložka

6.2.5 Tvarový čep

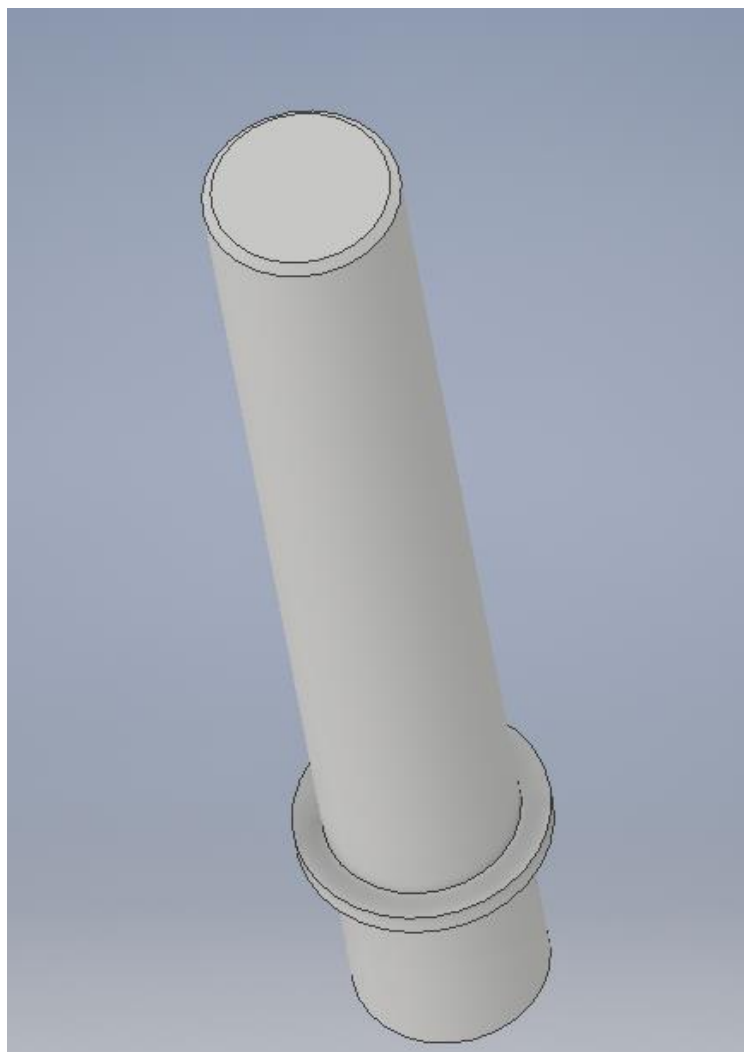
Tvarový čep je vyroben z materiálu 19 420, je kalen na 56 HRC a povlakován vrstvou CrN, z důvodu namáhání na tlak a odolnost vůči otěru. Tvarový čep slouží v nástroji pro vedení tvárníku při zavírání formy a vytvarování otvoru v pryžovém pouzdru. Z vrchní strany je sražen 1x45° pro lepší vedení vůči tvárníku a je upevněn M10 s vnitřním šestihranem do spodní upínací desky. Drsnost čepu je navržena $Ra = 0,8$. Rozměr tvarového čepu je $\varnothing 12 \times 100$ mm a váha je 0,1 kg. Výkres k tvarovému čepu je přiložen v příloze 5.



Obrázek 30. Tvarový čep

6.2.6 Vodící sloupek (velký)

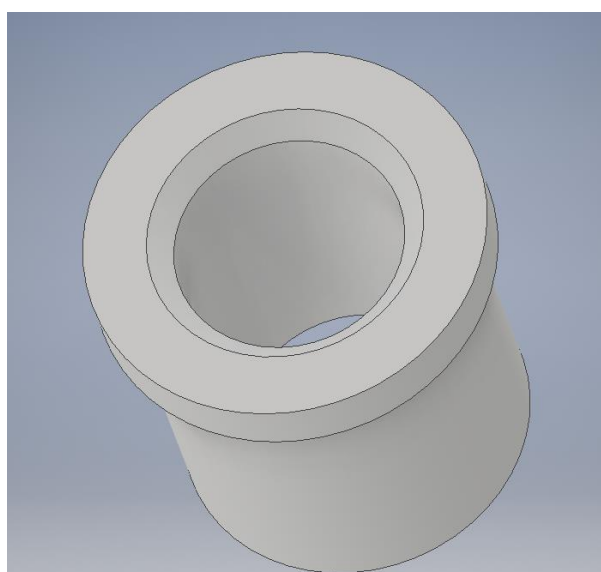
Vodící sloupek (velký) je vyroben z materiálu 19 420, je kanel na 55 HRC, z důvodu namáhání na otěr. Vodící sloupek slouží k správnému vedení nástroje spodní části vůči horní části formy. Z vrchní strany je sražen 3x45° pro lepší vedení do vodících pouzder a je upevněn přesahovým spojením do spodní upínací desky, lepení pouzdra je zde nežádoucí z důvodu vysokých teplot, které vznikají při vulkanizaci. Drsnost vodícího sloupku je navržena $Ra = 0,8$. Rozměr vodícího sloupku je $\varnothing 40 \times 275$ mm s osazením pro usazením $\varnothing 52 \times 5$ s mm a váha je 3,5 kg. Výkres k vodícímu sloupku je přiložen v příloze 6.



Obrázek 31. Vodící sloupek (velký)

6.2.7 Vodící pouzdro (malé)

Vodící pouzdro (malé) je vyroben z materiálu 19 420, je kanel na 55 HRC, vnitřek pouzdra může být z bronzového materiálu, z důvodu dobrých kluzných vlastností. Vodící pouzdro slouží k správnému vedení vnitřní části formy spodní části vůči horní části formy. Pouzdro je uloženo s přesahem do spodní tvarové vložky, lepení pouzdra je zde nežádoucí z důvodu vysokých teplot, které vznikají při vulkanizaci. Drsnost vodícího sloupku je navržena $Ra = 0,8$. Rozměr vodící pouzdro je $\varnothing 30 \times 30$ mm s osazením pro usazením $\varnothing 35 \times 5$, vnitřní otvor je $\varnothing 20$ a váha je 0,1 kg. Výkres vodícího pouzdra je přiložen v příloze 7.



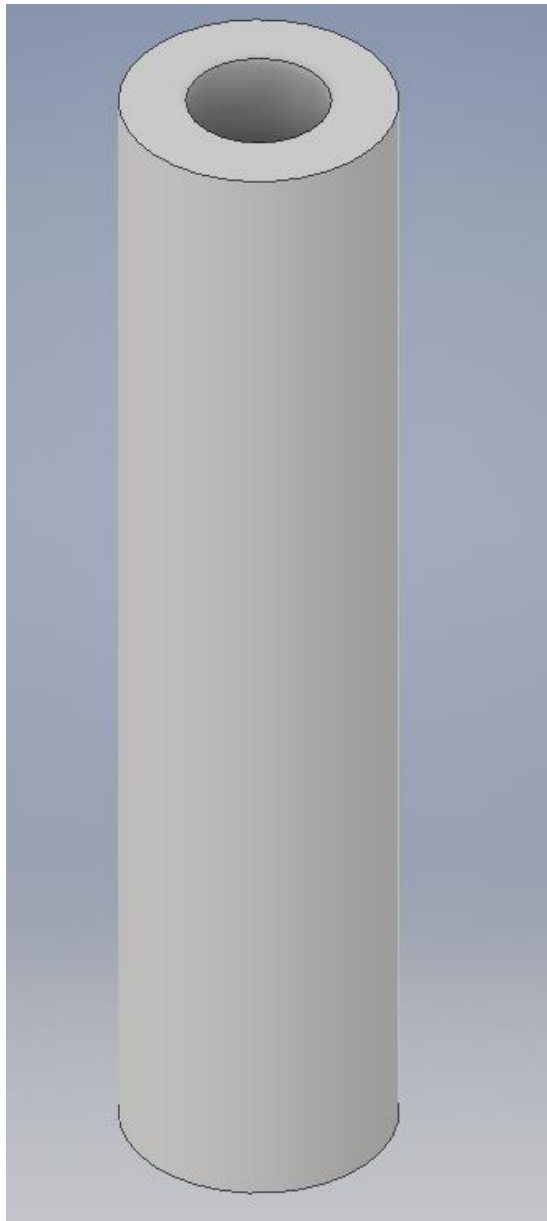
Obrázek 32. Model vodícího sloupku (malý)



Obrázek 33. Vodící pouzdro (malé)

6.2.8 Vymezující doraz

Vymezující doraz je vyroben z materiálu 19 312, je kalen na 55 HRC, z důvodu namáhání na tlak. V dorazu je vyvrtán otvor pro šroub M8 s vnitřním šestihranem (příchozí díra). Tento doraz slouží v nástroji jako vymezovací část pro dělicí rovinu pro odvodu vzduchu a přetoky zbytečného materiálu. Drsnost dosedových ploch je navržena $Ra = 0,8$. Rozměr vymezujícího dorazu je $\varnothing 25 \times 110,2$ mm a váha je 0,3 kg. Výkres k dorazu je přiložen v příloze 8.



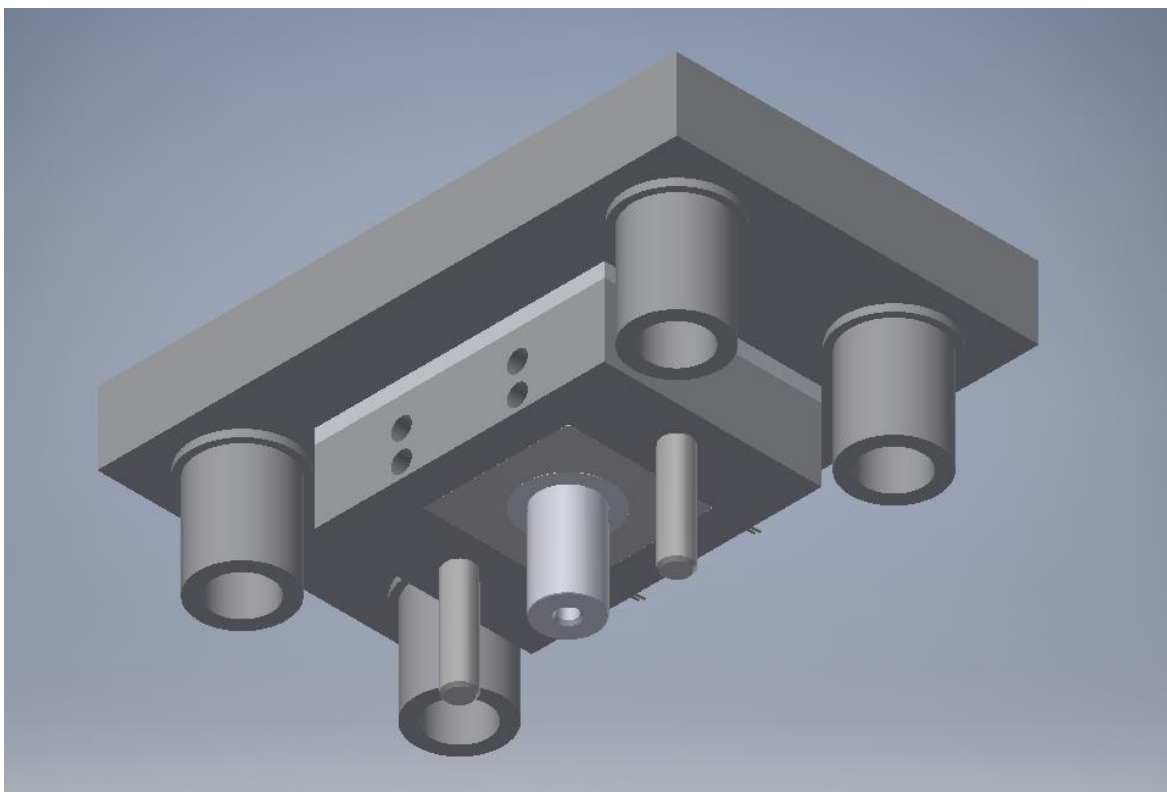
Obrázek 34. Vymezující doraz

6.3 Horní část formy

Horní část formy, je upnuta mechanicky přes upínky k beranu lisu. Mezi beranem lisu a horní částí nástroje je izolační deska, která zamezuje přenosu vzniklého tepla z nástroje při vulkanizaci do beranu a dalších komponent lisu. Horní část formy se skládá z horní upínací desky, horní opěrné desky, horní tvarové desky, tvárníku, vodících částí jako vodící pouzdra (velká) a vodící sloupky (malé) a čtyři teplotních elementů.

Byly navrženy čtyři vodící pouzdra (velké) pro snazší a lepší navádění horní části vůči spodní části nástroje, dále dvě vodící pouzdra pro navádění dvou vodících sloupků (malé) pro navádění vnitřku formy vůči sobě. Tvárník je vložen do horní tvarové vložky, který s ní lícuje a je přichycen jedním šroubem M12 k horní upínací desce.

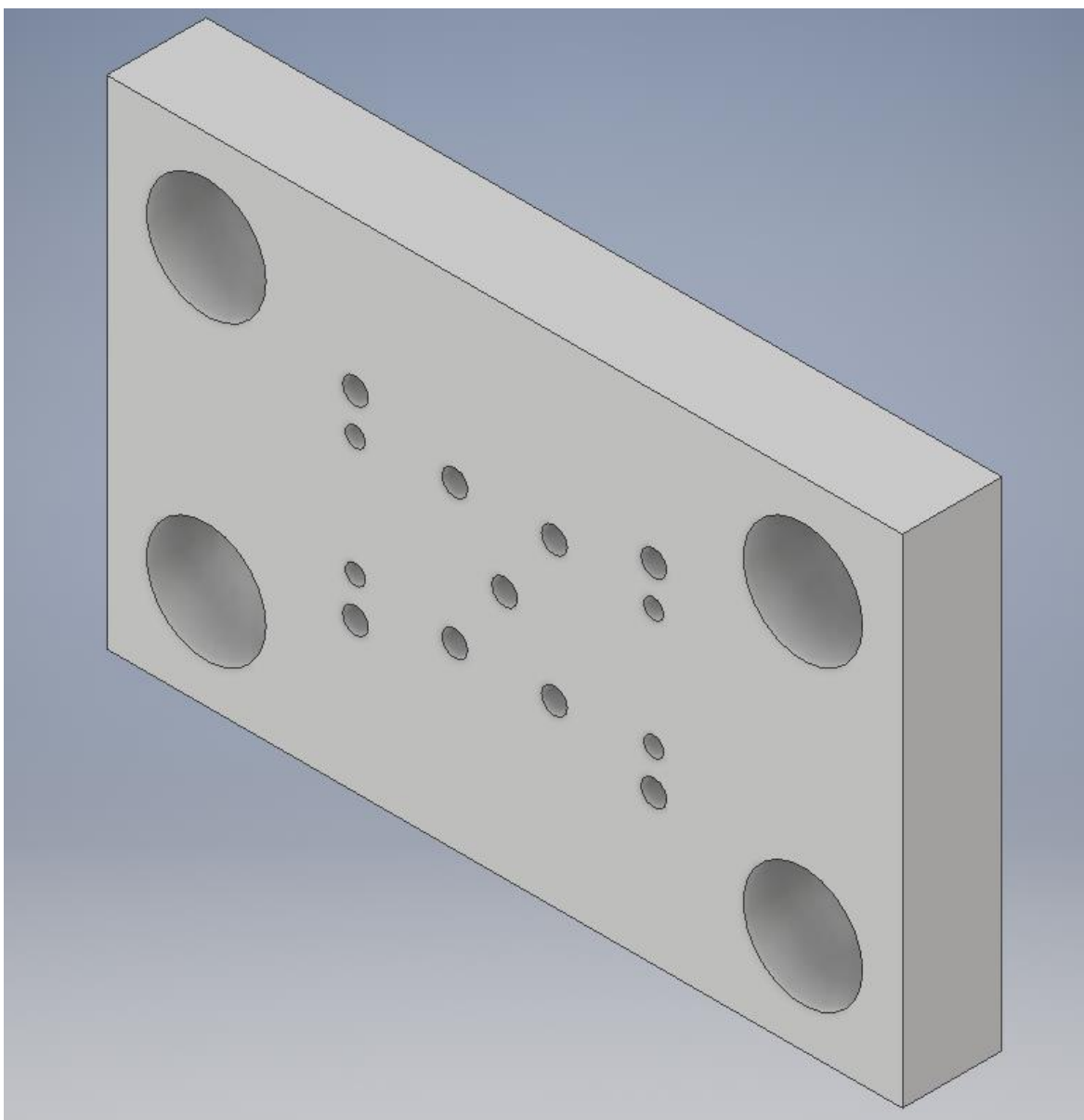
Topné elementy se vkládají do otvorů ve tvarové desce a vložce. Z důvodu snadného vložení a vyjmutí topných elementů, bylo konstrukčně navrženo provrtání skrz.



Obrázek 35. Horní část formy

6.3.1 Horní upínací deska

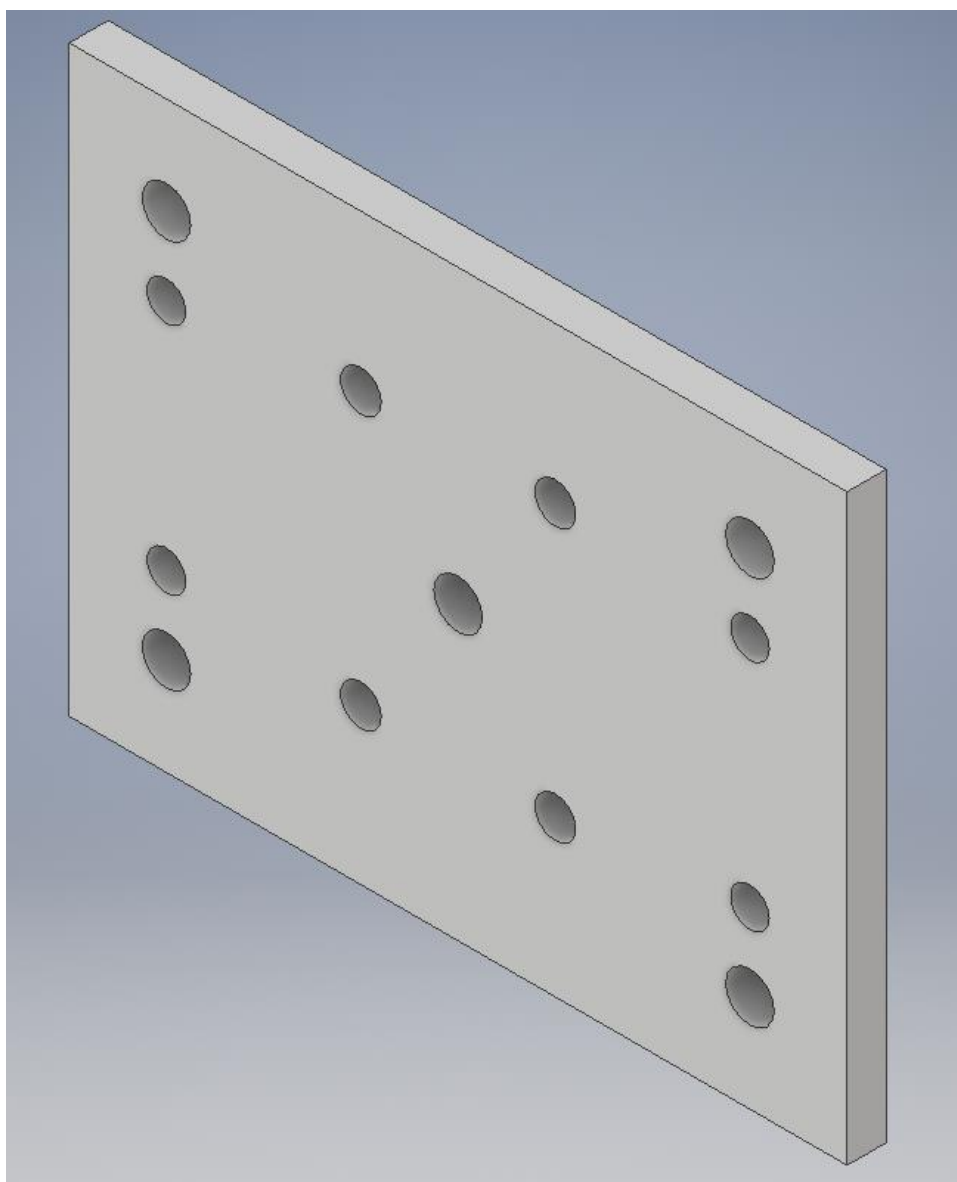
Horní upínací deska je vyrobena z materiálu 12 040. Deska je navržena obdélníkového průřezu, pro snazší výrobu. Na tuto desku přijde horní opěrná deska s horní tvarovou deskou, ve které je vložena tvárník, tyto komponenty jsou slícovány a zajištěny čtyřmi kolíky $\varnothing 10$ a čtyřmi šrouby M12 s vnitřním šestihranem. Do horní upínací desky jsou Drsnost dosedových ploch je navržena $Ra = 1,6$. Rozměr spodní upínací desky je 400 x 250 x 50 mm, váha je 37 kg. Výkres k horní upínací desce je přiložen v příloze 9.



Obrázek 36. Horní upínací deska

6.3.2 Horní opěrná deska

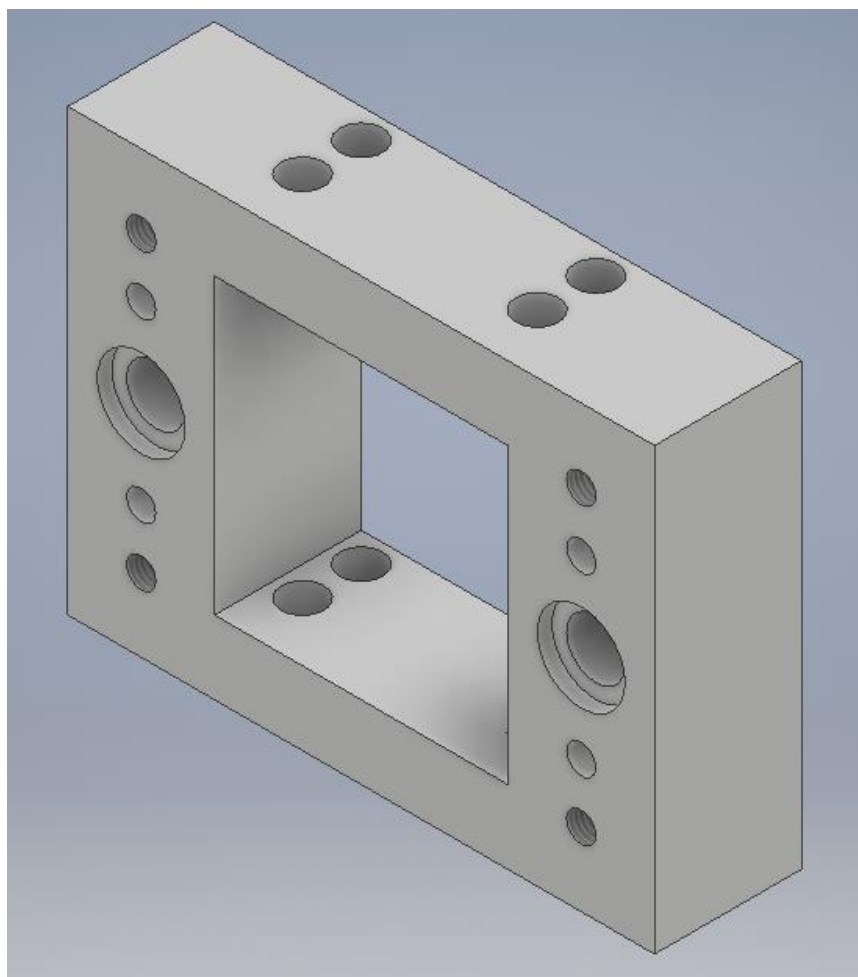
Horní opěrná deska je vyrobena z materiálu 19 312. Deska je navržena obdélníkového průřezu. Spodní opěrná deska slouží v nástroji pro rozložení lisovacích sil působící ve formě při lisovacím cyklu, popřípadě může být vyměněna za izolační desku, která nebude přenášet vzniklé teplo na stůl lisu. Drsnost dosedových ploch je navržena $Ra = 1,6$. Rozměr horní opěrné desky je 200 x 150 x 10 mm a váha je 2,3 kg. Výkres k horní opěrné desce je přiložen v příloze 10.



Obrázek 37. Horní opěrná deska

6.3.3 Horní tvarová deska

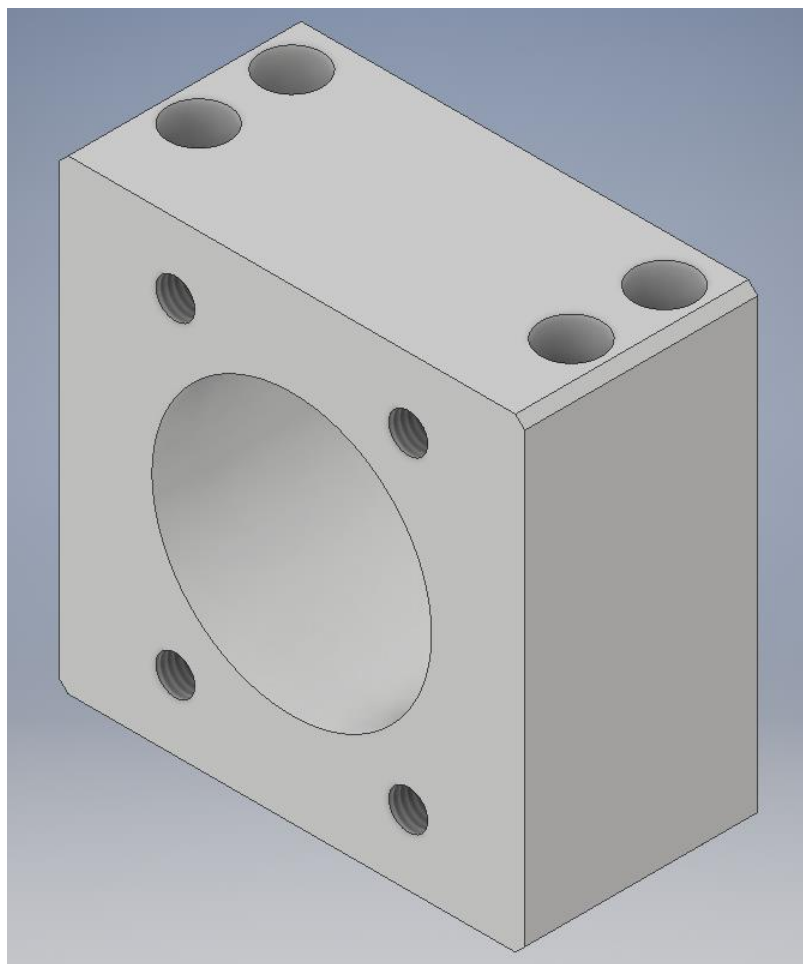
Horní tvarová deska je vyrobena z materiálu 19 312. Tvarová deska je navržena obdélníkového průřezu. Horní tvarová deska slouží v nástroji pro ustavení tvárníku, který spolu lícuje. Do horní tvarové desky jsou vloženy dva vodící sloupky (malé), které ustavují přesné lisování. V horní tvarové vložce jsou vyvrtány otvory pro snazší vkládání a vyjímání topných elementů. Deska je ustavena čtyřmi kolíky $\varnothing 10$ a čtyřmi šrouby M12 s vnitřním šestihranem. Spodní tvarová deska je konstruovaná tak, aby umožňovala výměnu jiných tvarových vložek, které mají podobné rozměry a tvar. Drsnost dosedových ploch a dotkových ploch mezi horní tvarovou deskou a horní tvarovou vložkou je navržena $Ra = 0,8$. Rozměr horní tvarové desky je 200 x 150 x 50 mm a váha je 7,2 kg. Výkres k horní tvarové desce je přiložen v příloze 11.



Obrázek 38. Horní tvarová deska

6.3.4 Horní tvarová vložka

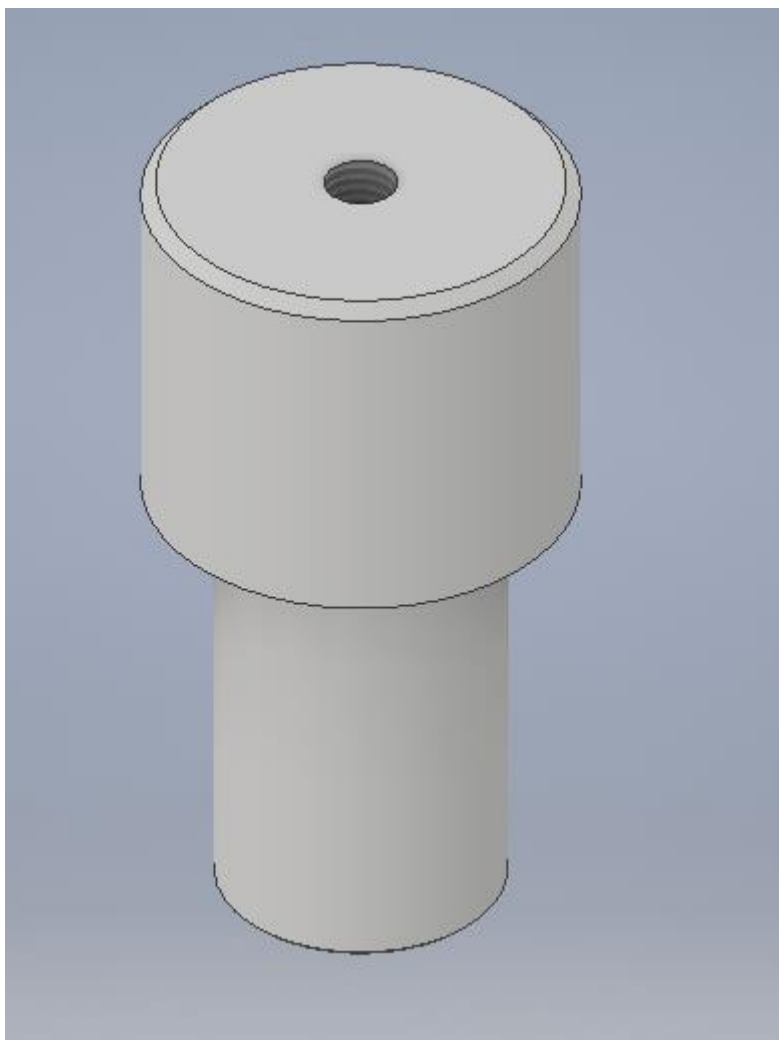
Horní tvarová vložka je vyrobena z materiálu 19 573. Vložka je navržena obdélníkového průřezu. Horní tvarová vložka slouží v nástroji pro usazení a vycentrování tvárníku, který odpovídá negativnímu tvaru výrobku, dále jsou ve vložce vyvrtány otvory pro vložení topných elementů o \varnothing 13. Správné umístění v horní části zajišťuje zalícování vložky do horní tvarové desky, vložka se uchycena čtyřmi šrouby M12 s vnitřním šestihranem k horní upínací desce, po obvodu jsou sraženy hrany pro snazší vkládání a vyjímání vložky. Drsnost vložky je navržena $Ra = 0,8$. Rozměr horní tvarové vložky je 100 x 100 x 50 mm a váha je 2,3 kg. Výkres k horní tvarové vložky, je přiložen v příloze 12.



Obrázek 39. Horní tvarová vložka

6.3.5 Tvárník

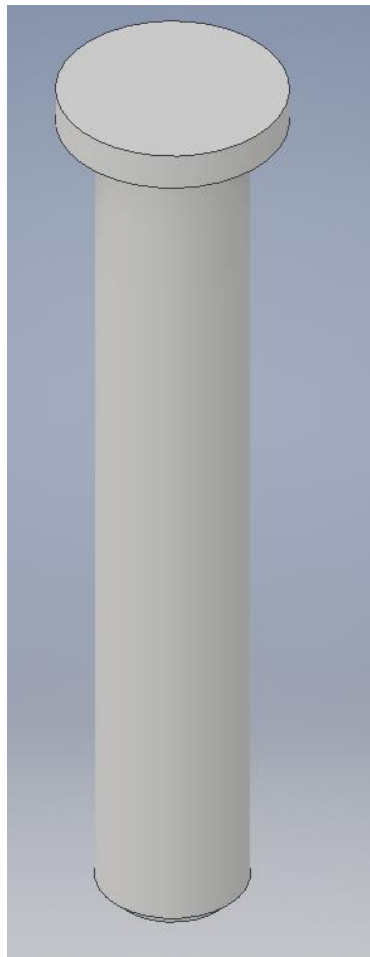
Tvárník je vyroben z materiálu 19 573, který se bude povlakován vrstvou CrN, která má dobrou schopnost proti otěruvzdornosti a snižuje tvorbu studených spojů. Tvárník je volen kruhového průřezu, který slouží k tlačení a tvarování gumárenské směsi. Tvárník je umístěn do horní tvarové vložky, kde je slícován a upnutý jedním šroubem M12 s vnitřním šestihranem, je slícován s horní tvarovou vložkou a při lisovacím cyklu zajíždí do tohoto tvárníku tvarový čep. Drsnost je navržena $Ra = 0,8$. Rozměr tvárníku je $\varnothing 60 \times 110$ a váha je 1,7 kg, lícovaná část má rozměry $\varnothing 60 \times 50$ mm a pracovní část má rozměry $\varnothing 40 \times 60$ mm. Výkres je přiložen v příloze 13.



Obrázek 40. Tvárník

6.3.6 Vodící sloupek (malý)

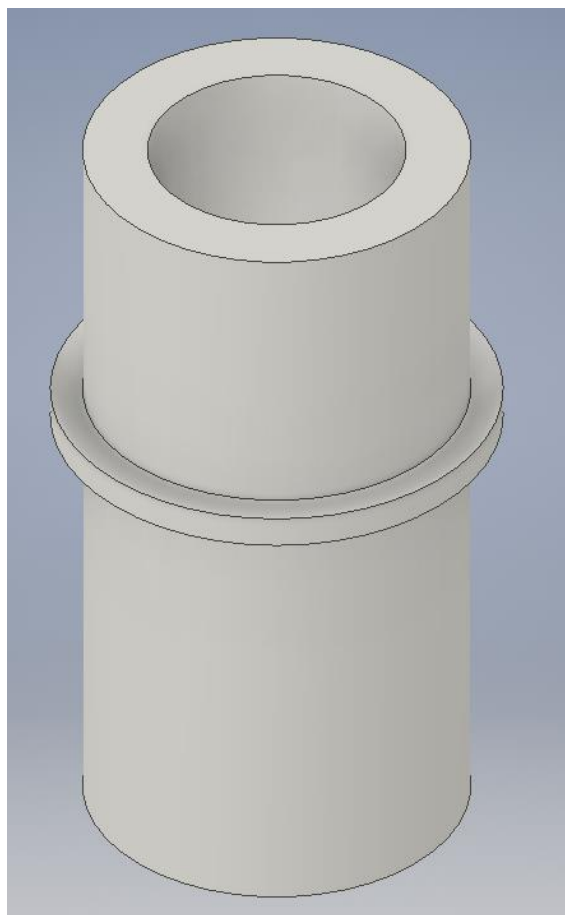
Vodící sloupek (malý) je vyroben z materiálu 19 420, je kanel na 55 HRC, z důvodu namáhání na otěr. Vodící sloupek slouží k správnému vedení vnitřku nástroje horní části vůči spodní části formy. Ze spodní strany je sražen 3x45° pro snazší vedení do vodících pouzder a je upevněn za hlavou, která zamezuje vypadnutí sloupku do vnitřku nástroje a je zároveň opřen o horní opěrnou desku. Drsnost vodícího sloupku je navržena $Ra = 0,8$. Rozměr vodícího sloupku jsou pro vodící část $\varnothing 20 \times 140$ mm a pro kotvící část $\varnothing 30 \times 5$ mm, celková váha je 0,3 kg. Výkres vodícího sloupku je přiložen v příloze 14.



Obrázek 41. Vodící sloupek (malý)

6.3.7 Vodící pouzdro (velké)

Vodící pouzdro (velké) je vyrobeno z materiálu 19 420, je kanel na 55 HRC, na vnitřní straně pouzdra můžou být drážky pro mazací emulzi, které zamezují zadření vodících sloupků a pouzdra. Vodící pouzdro slouží k správnému vedení nástroj, horní část vůči spodní části upínacích desek. Pouzdro je uloženo s přesahem do horní upínací desky, lepení pouzdra je zde nežádoucí z důvodu vysokých teplot, které vznikají při vulkanizaci. Drsnost vodícího sloupku je navržena $Ra = 0,8$. Rozměr vodící pouzdro je $\varnothing 60 \times 120$ mm s osazením pro usazením $\varnothing 70 \times 5$ s mm a váha je 1,5 kg. Výkres vodícího pouzdra je přiložen v příloze 15.



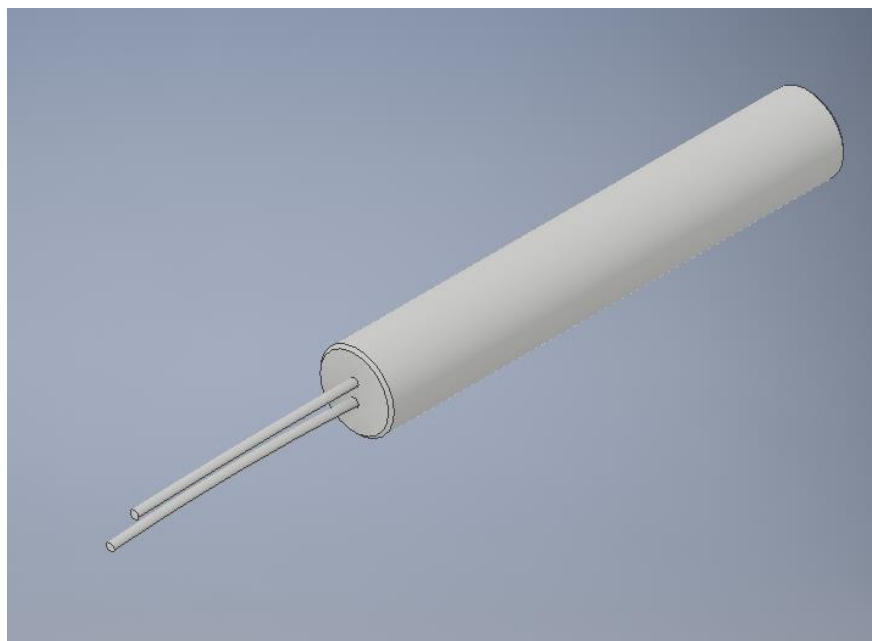
Obrázek 42. Vodící pouzdro (velké)

6.4 Topný element

Topná tělesa ve formě budou použity jako patrony pro ohřívání materiálů a kapalin. Topná patrona TF30. Konstrukce topné patrony umožňuje i zašroubování do otvorů s 1/2" závitem, nebo nalepení. Plášť topného elementu je z nerezové oceli, vnitřek topného elementu je vyrobený z austenitické slitiny NiCr. Topné elementy je možné mezi sebou paralelně nebo sériově zapojit pro dosažení požadovaného pracovního tepelného výkonu. Spínání nebo dodatečná regulace topného tělesa je pomocí termostatu, teploty. Topný element je ovládán a udržován na správné teplotě, dle typu zpracovávaného elastomeru.

Technické údaje topného elementu TF30: napájení 12 V (0 V – 15 V), výkon 50W (4,1 A), měrný výkon, maximálně 1,21 W / cm², izolace přívodních šňůry je provedena ze skelného vlákna se silikonovou impregnací (max. 320 °C). Pracovní teplota topného elementu je od -40 do 200 °C, maximální teplota, kterou lze dosáhnout krátkodobě až 1000 °C, teplota pláště může být maximálně 750 °C.

Průměr topného tělesa je 13 mm, celková délka je 110 mm a délka topné části je 100 mm, celková váha je 0,1 kg. V celé formě bude použito 14 těchto topných elementů. Výkres k topnému elementu je přiložen v příloze 16.



Obrázek 43. Topný element

7 Návrh lisu pro formu

Forma je řešena jako obdélníkového průřezu, rozměry formy jsou 400 x 250 mm v oblasti upínací k lisu, celková výška formy je 280 mm. Pro snadné plnění dutiny formy a posléze vyndání zvlukanizovaného pouzdra je požadován minimální zdvih lisu 150 mm.

Z tohoto důvodu odpovídá lis NOVA 160 T, který se nachází ve firmě, kde jsem dělal diplomovou práci.



Obrázek 44. Nova 160T

Tabulka 4. Technické parametry Nova 160T

Beautler Nova 160T	
Zdvih/Stroke [mm]	12 – 180
Přestavení šroubu/Slideadjustment [mm]	110
Maximální otvor/Max open* [mm]	540
*Šroub na nule, beran v horní úvrati/ Slideadjustment to 0, top dead center	
Výška zavřeného nástroje/Die height	
Od/Minimum [mm]	270
Do/Max [mm]	400
Optimum [mm]	290
Výška podavače od stolu/ Die levelfrombolster [mm]	-

8 3D model lisovací formy

Na 3D modelu byla ověřena funkčnost lisovací formy pro pryžové pouzdro. Model formy byl vytisknutý technologií FDM, model formy bude dostupný na katedře strojírenství TUL.

9 Cena lisovací formy

Cena lisovací formy byla naceněna firmou KAMATECH sídlem v Třeboni. Byly naceněny díly pro výrobu 1 až 15 viz tabulka č. 5. Topné elementy TF30 jsou volně dostupné z internetových obchodů.

Tabulka 5. Cena lisovací formy

Díl	Počet kusů	Cena za materiál [Kč]	Cena za práci [Kč]	Cena celkově za díl/y [Kč]
1. Spodní upínací deska	1	2 960	3 000	560
2. Spodní opěrná deska	1	250	1 400	1 650
3. Spodní tvarová deska	1	1 480	12 000	13 480
4. Spodní tvarová vložka (tvárnice)	1	760	3 000	3 760
5. Tvarový čep	1	12	1 350	1 350
6. Vodící sloupek (velký)	4	390	1 900	9 160
7. Vodící pouzdro (malé)	2	12	800	1 624
8. Vymežující doraz	4	33	900	3 732
9. Horní upínací deska	1	2 960	3 000	5 960
10. Horní opěrná deska	1	250	1 400	1 650
11. Horní tvarová deska	1	790	6 900	7 690
12. Horní tvarová vložka	1	250	2 100	2 350
13. Tvárník	1	200	1 350	1 550
14. Vodící sloupek (malý)	2	40	1 100	2 280
15. Vodící pouzdro (velké)	4	180	1 600	7 120
Topný element TF30	14	2 100	-	29 400
Celková cena lisovací formy				93 316

10 Závěr

V diplomové práci byly popsány metody výroby elastomerních výrobků a specifiky těchto technologických metod, jako je vstřikování, přetlačování a lisování. Byla zde řešena metoda pro výrobu výrobku, pouzdra, které je vyrobeno z tvrdé pryže technologií lisování. Dále byly popsány konstrukce forem pro lisování a přetlačování, jejich požadavky a potřebné komponenty lisovací formy, druhy forem jako jsou formy s krátkým chodem, testovací formy, univerzální rámové formy, konvenční formy.

V teoretické části byla vysvětlena technologie 3D tisku, která bude použita pro výrobu modelu lisovací formy, která bude sloužit jako ukázkový model, popřípadě model pro studenty.

Cílem diplomové práce bylo navrhnout a zkonstruovat lisovací formu pro pryžové pouzdro, zhotovení výrobní dokumentace a zvolení vhodného lisu pro jeho výrobu.

Pryžové pouzdro pro omílací stroj Rösler, je určeno pro vedení pružin a tlumení rázu při vznikajících otřesech mezi pohonnou jednotkou a omílacím bubnem Röslera. Na toto pouzdro jsou tedy kladeny vysoké požadavky na odolnost a funkčnost, vzhled dílu je tu zanedbán.

U tohoto pouzdra je zvolen materiál tvrdá pryž, NBR-SBR 65, která dobře odolává olejům. Rozměr a tvar pouzdra odpovídá původním pouzdrům použitých v omílacím zařízení Rösler.

Celá forma byla navržena v programu Autodesk Inventor 2019, který vygeneroval kód pro 3D tisk FDM. Forma je zamýšlena jako univerzální forma, která výměnou vložek (spodní a horní) a tvárníku umožní vyrábět podobná pouzdra. Ke všem modelům byla vytvořena výrobní dokumentace.

Dále byl vybrán lis, kde by mohla být provedena výroba, aby odpovídala potřebné tlakové síle a zároveň potřebným rozměrům pro formu. Vytisknutím formy 3D tiskem (FDM technologií), byla ověřena funkčnost prototypové formy. Na závěr je přiložena cenová nabídka na výrobu celé formy včetně koupě topných elementů.

11 Seznam použité literatury

- [1] TOMIS, František. Základy gumárenské a plastikářské technologie. 2., nezm. vyd. Brno: VUT, 1980. Učební texty vysokých škol.
- [2] Plastikařská technologie, Vstřikování[online]. [cit. 16.3.2019]. Dostupné Z: http://www.google.cz/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&ved=0ahUKEwiPifH3sXTAhUMFCwKHQHWA5oQFggoMAE&url=http%3A%2F%2Fwww.utb.cz%2Ffile%2F36208_1_1%2F&usg=AFQjCNFMXfulYQNrSTfm3wD_MPI32T8Ehw&sig2=ntkXVvr7F3fvjKLk4Rqbqw
- [3] KREBS, Josef. Teorie zpracování nekovových materiálů. Vyd. 3. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2006. ISBN 80-7372-133-3.
- [4] ŠAFAŘÍK, M. NÁSTROJE PRO TVÁŘENÍ KOVŮ A PLATŮ I. Liberec: Ediční středisko VŠST Liberec, 1987. ISBN 55 - 823 - 86.
- [5] MENNIG, Günter. Mold-making handbook. 2nd ed. Cincinnati: Hanser/Gardner Publications, c1998. ISBN 1-56990-261-5.
- [6] PRŮŠA, J. a M. PRŮŠA. Základy 3D tisku. Prusa3d [online]. [cit. 2019-04-24]. Dostupné z: <https://www.prusa3d.cz/wp-content/uploads/zaklady-3d-tisku.pdf>
- [7] PRŮŠA, J. a M. PRŮŠA. Stavebnice 3D tiskárny Original Prusa i3 MK3S. Shop.prusa3d [online]. [cit. 2019-04-24]. Dostupné z: https://shop.prusa3d.com/cs/3d-tiskarny/180-stavebnice-3d-tiskarny-original-prusa-i3-mk3s.html?gmc_currency=1&gclid=Cj0KCQjwkoDmBRCCARIsAG3xz18g-W_wWz41_zbfTOc77NSb7wEtmZNYjaIogXgP0VP8xxOREUeR-PEaAjSOEALw_wcB#
- [8] Nová média, s. r. o. Spékání prášků laserem míří i do kategorie dostupnějších stavebnic stolních 3D tiskáren. 3d-tisk [online]. 23. 6. 2016 [cit. 2019-04-24]. Dostupné z: <https://www.3d-tisk.cz/spekani-prasku-laserem-miri-i-do-kategorie-dostupnejsich-stolnich-3d-tiskaren/>
- [9] Roman. Kovový 3D tisk v průmyslové praxi. Mmspektrum [online]. 11.02.2015 [cit. 2019-04-24]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/kovovy-3d-tisk-v-prumyslove-praxi.html>

- [10] Reichmanis, Elsa; Crivello, James (2014). "Photopolymer Materials and Processes for Advanced Technologies". Chem. Mater. 26: 533–548.
- [11] Formlabs Form 2. 3dwiser [online]. Olomouc, 2019, 18. 9. 2013 [cit. 2019-04-20]. Dostupné z: <https://3dwiser.com/3d-tiskarny/sla-dlp/formlabs-form-2/>
- [12] ALEXANDREA, P. 3D Printing Using PolyJet. 3dnatives [online]. 15.3.2017 [cit. 2019-04-24]. Dostupné z: <https://www.3dnatives.com/en/polyjet100420174/>
- [13] PLA. 3d-tisk [online]. 2013, 18. 9. 2013 [cit. 2019-04-20]. Dostupné z: <https://www.3d-tisk.cz/pla/>
- [14] ABS 3D printing. Shapingbits [online]. [cit. 2019-04-20]. Dostupné z: <http://www.shapingbits.com/3d-printing-guide/abs-3d-printing/>
- [15] TEN ART - TECHNICKÉ PLASTY. Základní vlastnosti polyamidu. Tenart [online]. 2015 [cit. 2019-04-24]. Dostupné z: <http://tenart.cz/technicke-plasty/produkty/polyamid-pa-6-pa-66/>

12 Seznam obrázků

Obrázek 1. Vstřikování elastomeru [1].....	12
Obrázek 2. Přetlačování elastomeru [1]	17
Obrázek 3. Lisovací forma [5].....	19
Obrázek 4. Komponenty lisovací formy [5].....	20
Obrázek 5. Prototypová forma [5].....	21
Obrázek 6. Sériová lisovací forma [5].....	22
Obrázek 7. Pozitivní formy s dělicí rovinou [5].....	23
Obrázek 8. Vícenásobná forma se společnou plnicí komorou [5].....	23
Obrázek 9. Vícenásobná forma s jednotlivými plnicími komorami [5].....	24
Obrázek 10. Forma s bočním jádrem [5].....	24
Obrázek 11. Sklopná forma [5]	25
Obrázek 12. Vytáčecí forma [5]	26
Obrázek 13. FDM [7]	28
Obrázek 14. Laserové spékání [9]	29
Obrázek 15. Stereolitografie [10]	30
Obrázek 16. PolyJet [12]	31
Obrázek 17. Omílací buben Rösler.....	35
Obrázek 18. Pryžové pouzdro	36
Obrázek 19. Výkres pouzdra	36
Obrázek 20. Lisovací forma	38
Obrázek 21. Popi rozložené lisovací formy.....	39
Obrázek 22. Pohled do vnitřku formy	40
Obrázek 23. Řez lisovací formy bez pryžového pouzdra.....	41
Obrázek 24. Přetoková hrana.....	41

Obrázek 25. Spodní část formy s pryžovým pouzdem.....	42
Obrázek 26. Spodní upínací deska	43
Obrázek 27. Spodní opěrná deska	44
Obrázek 28. Spodní tvarová deska	45
Obrázek 29. Spodní tvarová vložka.....	46
Obrázek 30. Tvarový čep.....	47
Obrázek 31. Vodící sloupek (velký).....	48
Obrázek 32. Model vodícího sloupku (malý).....	49
Obrázek 33. Vodící pouzdro (malé)	49
Obrázek 34. Vymežující doraz	50
Obrázek 35. Horní část formy	51
Obrázek 36. Horní upínací deska	52
Obrázek 37. Horní opěrná deska	53
Obrázek 38. Horní tvarová deska	54
Obrázek 39. Horní tvarová vložka.....	55
Obrázek 40. Tvárník	56
Obrázek 41. Vodící sloupek (malý).....	57
Obrázek 42. Vodící pouzdro (velké)	58
Obrázek 43. Topný element.....	59
Obrázek 44. Nova 160T.....	60

13 Seznam tabulek

Tabulka 1. Fyzikální a mechanické vlastnosti pryže	37
Tabulka 2. Odolnost pryže.....	37
Tabulka 3. Kusovník k lisovací formě.....	39
Tabulka 4. Technické parametry Nova 160T	60
Tabulka 5. Cena lisovací formy.....	62

14 Seznam příloh

- 1) 1. Spodní upínací deska
- 2) 2. Spodní opěrná deska
- 3) 3. Spodní tvarová deska
- 4) 4. Spodní tvarová vložka (tvárnice)
- 5) 5. Tvarový čep
- 6) 6. Vodící sloupek (velký)
- 7) 7. Vodící pouzdro (malé)
- 8) 8. Vymežující doraz
- 9) 9. Horní upínací deska
- 10) 10. Horní opěrná deska
- 11) 11. Horní tvarová deska
- 12) 12. Horní tvarová vložka
- 13) 13. Tvárník
- 14) 14. Vodící sloupek (malý)
- 15) 15. Vodící pouzdro (velké)
- 16) Topný element
- 17) Pryžové pouzdro
- 18) Lisovací forma
- 19) Lisovací forma - rozebraná