



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

VÝROBA ROHOVÉ KRYTKY

PRODUCTION OF CORNER COVER

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Vojtěch Hrdina

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Ladislav Žák, Ph.D.

BRNO 2020

Zadání diplomové práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie
Student: **Bc. Vojtěch Hrdina**
Studijní program: Strojní inženýrství
Studijní obor: Strojírenská technologie
Vedoucí práce: **Ing. Ladislav Žák, Ph.D.**
Akademický rok: 2019/20

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

Výroba rohové krytky

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Výstupem úkolu bude konstrukční řešení vstřikovací formy pro zadanou součástku.

Cíle diplomové práce:

- Zhodnocení technologičnosti výroby součástí.
- Literární studie problematiky vstřikování plastů.
- Návrh a výpočty potřebných parametrů.
- Konstrukční řešení formy.
- Ekonomické vyhodnocení.

Seznam doporučené literatury:

KOLOUCH, J. Strojírenské výrobky z plastů vyráběné vstřikováním. 1. vyd. Praha : SNTL, 1986. 232s. ISBN 04-247-86.

ŘEHULKA, Z. Konstrukce výlisků z plastů a forem pro zpracování plastů. Praha : SEKURKON s.r.o., 2008. ISBN 978-80-86604-36-7.

SOVA, M. a KREBS, J. Termoplasty v praxi : praktická příručka pro konstruktéry, výrobce, zpracovatele a uživatele termoplastů. 5. aktualiz. vyd. Praha : Verlag Dashöfer, 1999-2000. ISBN 80-86229-15-7.

ZEMAN, L. Vstřikování plastů. 1.vydání. Praha: BEN – technická literatura, 2009, ISBN 978-80-73-0-250-3.

JANCUŠOVA, M. Formy na tvárnenie plastov. 1. vyd. Žilina : EDIS - ŽU, 2010. 155 s. ISBN 978-81-550-0191-5.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2019/20

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.
ředitel ústavu

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

ABSTRAKT

HRDINA Vojtěch: Výroba rohové krytky.

Práce předkládá návrh vstřikovací formy pro výrobu rohové krytky, která je určena k ochraně reproboxu proti mechanickému poškození. Byly zhodnoceny technologické možnosti výroby krytky, z dostupných technologií byla zvolena technologie vstřikování plastů. V první, teoretické části jsou nejdříve popsány plasty obecně a následuje studie technologie vstřikování. V praktické části je provedena volba vhodného materiálu pro zadanou součást a následuje kompletní návrh vstřikovací formy. Výsledná forma je dvojnásobná se studeným vtokovým systémem. V poslední části je návrh zhodnocen z technicko - ekonomického hlediska.

Klíčová slova: rohová krytka, vstřikovací forma, technologie vstřikování plastů, vstřikovací stroj, návrh

ABSTRACT

HRDINA Vojtěch: Production of corner cover.

The project elaborated design of injection mould for production of corner cover, which serves to protect a reprobox from mechanical damage. The production possibilities were considered at the beginning. The injection molding technology was chosen from available technologies. The first part of the thesis is theoretic, plastics and injection molding are investigated. The choice of suitable polymer and the entire draft of mold is in the second part of thesis. The final mold is two-cavity with cold runner system. The technical and economic assessment of the proposal is carried out in the last part of thesis.

Keywords: corner cover, injection mold, injection molding technology, injection moulding machine, proposal

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

HRDINA, Vojtěch. *Výroba rohové krytky* [online]. Brno, 2020 [cit. 2020-06-18]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/125606>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Ladislav Žák.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

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

V dne 22. 6. 2020

.....
Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji panu Ing. L. Žákovi, Ph.D. za cenné připomínky a rady týkající se zpracování diplomové práce. Dále děkuji své rodině za poskytnutí zázemí a trpělivost.

OBSAH

Zadání

Abstrakt

Bibliografická citace

Čestné prohlášení

Poděkování

Obsah

ÚVOD	9
1 ROZBOR ZADÁNÍ	10
1.1 Výrobní možnosti	10
2 PLASTY	13
2.1 Rozdělení dle chování za zvýšených teplot	14
2.2 Rozdělení podle druhu přísad	15
2.3 Termodynamické vlastnosti plastů	16
2.4 Příprava plastů	17
3 TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ	18
3.1 Vstřikovací stroje	21
3.2 Vstřikovací formy	23
3.2.1 Vtoková soustava	25
3.2.2 Horký vtok	29
3.2.3 Temperační systém	30
3.2.4 Odvzdušnění	31
3.2.5 Vyhazovací systém	32
3.3 Jakost výstřiků	33
4 NÁVRH ŘEŠENÍ	35
4.1 Volba materiálu	37
4.2 Výpočty parametrů	39
4.3 Návrh vtokové soustavy	42
4.4 Návrh vyhazovacího systému	44
4.5 Návrh temperačního systému	46
4.6 Návrh odvzdušení	47
4.7 Ostatní prvky formy	49
4.8 Volba vstřikovacího stroje	50
4.9 Simulace	52
5 TECHNICKO - EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ	55
6 ZÁVĚRY	59

Seznam použitých zdrojů

Seznam použitých symbolů a zkratk

Seznam obrázků

Seznam tabulek

Seznam příloh

Seznam výkresů

ÚVOD [1], [2], [3], [4], [5], [6], [7]

Makromolekulární látky jako celulóza, přírodní kaučuk, želatina či přírodní pryskyřice jsou lidstvu známy již dlouho, jedná se o přírodní polymery. Již ve dvanáctém století existoval cech zpracovatelů rohoviny, objevili, že rohovina při teplotě nad 125 °C měkne a je možné ji tvarovat, rozvíjeli první plastikářskou technologii. V dnešní době mají však hlavní význam polymery syntetické a technologie vstřikování plastů. První makromolekulární látkou pro technologii vstřikování byl celuloid, který byl objeven na konci 19. století, k největšímu rozvoji technologie a syntetických polymerů však došlo až ve dvacátém století. Nové syntetické polymery byly objeveny po 1. světové válce a začal se rozvíjet výrobní obor vstřikování plastů. V roce 1921 byl vyvinut první komerční vstřikovací stroj, v roce 1930 se objevují první plastové komponenty v automobilovém průmyslu. Od této doby technologie prošla rychlým vývojem a dnes se setkáváme s plastovými výrobky na každém kroku, jelikož mají velké množství výhod. Mezi ně můžeme zařadit nízkou hmotnost, cenu či snadné zpracování. Plastové výrobky se proto objevují v řadě průmyslových odvětví - automobilovém, elektrotechnickém, stavebnickém či potravinářském. Plasty mají potenciál i do budoucna, vznikají nové kompozitní materiály. V kombinaci (například s uhlíkovými vlákny) je možné vytvořit materiál s vyšší pevností než u některých kovů při zachování nízké hmotnosti.



Obr. 1 Vstřikovací stroj, granulát a plastové výrobky [5], [6], [7]

1 ROZBOR ZADÁNÍ

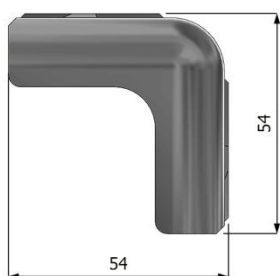
Zadanou součástí je plastová rohová krytka, která slouží jako ochrana rohů reproboxu, viz obrázek č. 2. K dřevěnému rámu reproboxu je připevněna pomocí čtyř vrutů se zápusťnou hlavou, k ochraně reproboxu se použije 8 stejných rohových krytek.

Z konstrukčního hlediska se jedná o poměrně jednoduchou součást. Součást má v celém svém objemu konstantní tloušťku stěny 3 milimetry, ze dvou stran je vybavena třemi vruby o výšce 1 milimetr, které slouží k lepší ochraně. Výkres součásti je přiložen v příloze. Na přesnost rozměrů součásti nejsou kladeny zvláštní požadavky.

Rohových krytek (obrázek č. 3) má být vyrobeno 52 000 kusů ve lhůtě třech měsíců. Konkrétní materiál součásti není předem specifikován, je proto nutné ho zvolit s ohledem na funkci krytky. Zvolený materiál musí odolávat mechanickému poškození - být houževnatý, pevný a pružný.



Obr. 2 Funkce rohové krytky



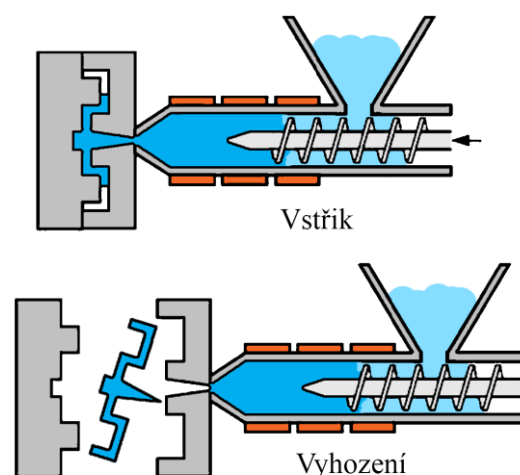
Obr. 3 Rohová krytka

1.1 Výrobní možnosti [3], [8], [9], [10], [11], [12], [13], [14]

V první řadě je nezbytné vzít v úvahu dostupné výrobní možnosti rohové krytky. Jelikož součást má být z plastů, je na výběr jen omezené množství technologií:

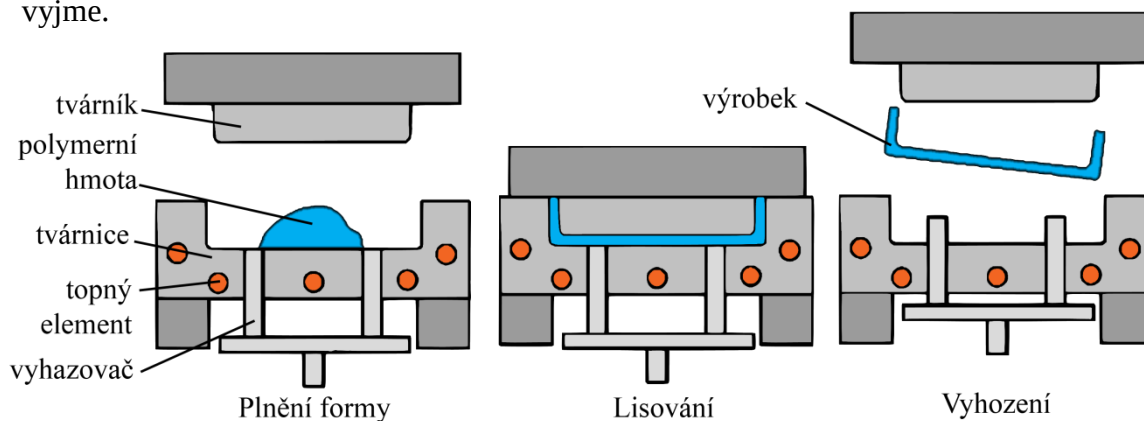
- Frézování je třískové obrábění vícebřitým rotačním nástrojem. Frézováním se obrábí především kovové materiály, obrábění plastů má několik nevýhod. Plasty mají větší teplotní roztažnost a menší tepelnou vodivost, to v kombinaci s nízkou teplotou tání představuje problém. Může snadno dojít k tavení v místě obrábění. Při použití chlazení je u některých plastů riziko absorbování chladicí kapaliny, což má následek změnu mechanických vlastností a rozměrů. V některých případech plasty obrábět lze, technologie je však vhodná spíše pro menší tvarové úpravy, zadaná součást je poměrně složitá, proto by její obrobení bylo velmi časově a technologicky náročné. Časová náročnost není pro větší sérii přípustná, proto je použití technologie frézování nevhodné.

- Vstřikování je nejefektivnější technologií pro výrobu plastových dílů. Vstupním materiálem je plastový granulát, který je ve vstřikovacím stroji roztaven a následně vstříknut do tvarové dutiny formy, kde rychle chladne. Vzniklé smrštění je kompenzováno působením dotlaku. Ztuhlý výrobek je poté vyhozen z formy a proces se opakuje, viz obrázek č. 4. Vstřikovací forma může být tzv. vícenásobná, smyslem je výroba několika součástí najednou. Proces je obvykle plně automatizován, technologie je proto vhodná pro velkosériovou výrobu. Materiálů vhodných pro vstřikování je velké množství. Hlavní nevýhodou technologie jsou vysoké pořizovací náklady vstřikovacího stroje a formy.



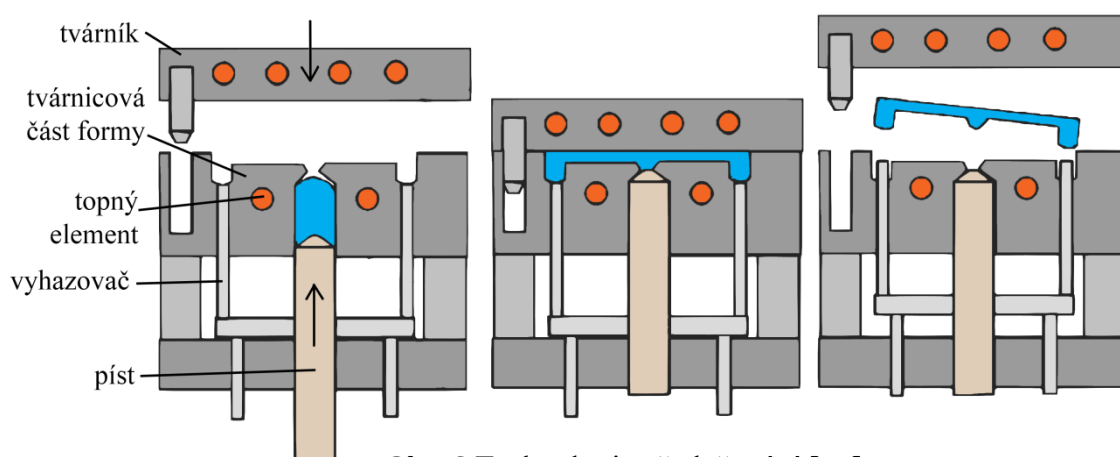
Obr. 4 Technologie vstřikování [13]

- Lisování a přetlačování jsou jedny z nejstarších metod zpracování plastů. Při lisování (obr. 5) se plastová hmota vloží do dutiny formy ve formě tablet, při zavírání formy se převede do plastického stavu působením tepla a tlaku. Následně se vytvrdí a za tepla vyjme.



Obr. 5 Technologie lisování [11]

- Přetlačování - hmota je ohřívána v přetlačovací komoře a následně pístem přetlačena do vytápěné dutiny formy, viz obrázek č. 6. Technologie lisování a přetlačování mají delší výrobní časy než vstřikování.



Obr. 6 Technologie přetlačování [11]

- Odléváním je možné zpracovávat některé termoplasty i reaktoplasty. Polymer je převeden do velmi tekutého stavu a nalit do formy, kde pomalu tuhne. Dlouhá doba tuhnutí je hlavní nevýhodou. Kromě toho dochází k znatelnému smrštění, jelikož není kompenzováno dotlakem jako u vstřikování. Další nevýhodou je omezení počtem vhodných plastů a nízká rozměrová přesnost. Formy pro odlévání jsou statické, v tom případě hovoříme o gravitačním lití, nebo existují rotující formy (rotační lití). Mezi výhody technologie můžeme zařadit její celkovou jednoduchost a pořizovací cenu formy. Odlévané díly mají malé vnitřní pnutí a lze odlévat tvarově různé součásti najednou.
- 3D tisk je alternativní metodou, je vhodná spíše pro kusovou výrobu. Výrobek vzniká na základě 3D modelu. Vstupní materiál je ve formě drátu přiváděn do trysky, kde se roztaví a postupně se nanáší na základovou desku po jednotlivých vrstvách. Výrobní cyklus je zdlouhavý a výsledný výrobek má nedostatečnou jakost povrchu.
- Alternativou pro výrobu rohové krytky by mohl být i kovový výtažek. Vstupním polotovarem je plechový přístřih, který se zdeformuje pomocí tažníku a tažnice do potřebného tvaru.

Nejvhodnější technologií pro výrobu zadané rohové krytky je technologie vstřikování plastů. Technologií je možné zpracovávat velké množství materiálů, je efektivní a moderní. Vstřikováním je možné dosáhnout požadované kvality součásti a velikosti výrobní série v požadovaném čase. V následující kapitole je potřebná teorie k volbě polymerního materiálu, poté je popsána samotná technologie vstřikování.

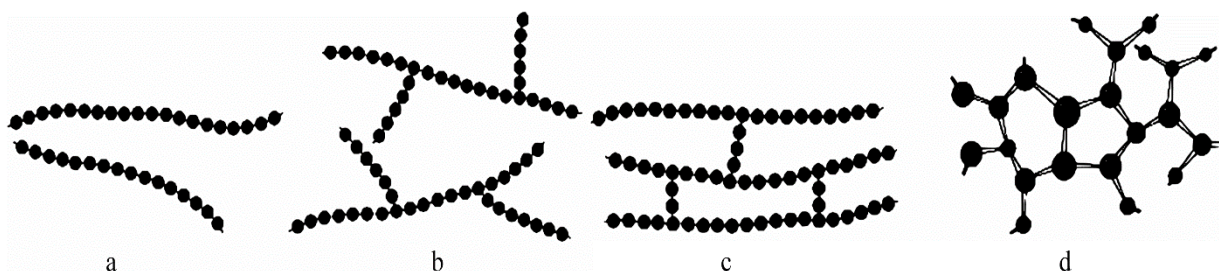
2 PLASTY [9], [10], [15], [16],

Plasty jsou plnohodnotné konstrukční materiály patřící mezi makromolekulární látky. Dříve byly označovány jako plastické hmoty nebo umělé hmoty. Na trhu v současnosti existuje několik tisíc druhů plastů, v technické praxi se jich však používá jen pár desítek.

V porovnání s kovy mají plasty jinou strukturu. Atomy kovů jsou uspořádány do krystalové mřížky s pravidelným geometrickým uspořádáním s nejnižší hladinou energie. Nejčastěji kovy krystalizují v soustavě krychlové nebo šesterečné. Toto uspořádání můžeme označit jako monokrystal (zrno). Výsledná struktura je polykrystalická, jelikož je tvořena shlukem různě orientovaných zrn, mezi nimi jsou nepravidelné hranice. Z krystalické struktury kovů vyplývají jejich zásadní vlastnosti: tažnost, kujnost, malá teplotní závislost fyzikálně-mechanických vlastností, elektrická vodivost a tepelná vodivost.

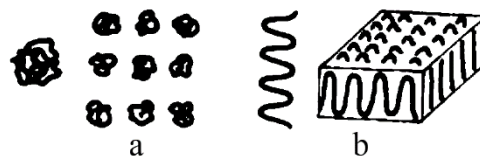
Plasty jsou tvořené makromolekulárními látkami, které vznikly polyreakcemi (polymerace, polykondenzace, polyadice). To jsou jednoduché chemické reakce, které se neustále opakují, a důsledkem je vznik vysokomolekulární látky zvané polymer, z nízkomolekulární sloučeniny zvané monomer. Výsledný polymer se smíchá s přísadami, zaformuje a vzniká plast. Termín polymer je tedy chemická látka, zatímco plast je již technický materiál, který má určité užité vlastnosti.

Plasty je možné rozdělit do skupin dle různých hledisek. Z hlediska chemické struktury makromolekul plasty dělíme na homopolymery a kopolymery. Homopolymery jsou polymery, jejichž makromolekuly jsou složeny z monomerů téhož typu. Kopolymery jsou polymery skládající se ze dvou nebo více monomerů.



Obr. 7 Typy makromolekul polymerů [9]

Z hlediska tvaru makromolekul rozlišujeme plasty lineární (a), rozvětvené (b) a zesíťované (c), viz obrázek 7, polymer (d) je prostorově zesíťovaný. Lineární makromolekuly se skládají z monomerních molekul seřazených vedle sebe do velmi dlouhého řetězce. Díky jednoduché lineární struktuře se tyto makromolekuly mohou k sobě snadno přiblížit a důsledkem je vyšší hustota materiálu. Snadno se také vytvářejí pravidelné shluky a mají proto vyšší obsah krystalických podílů. Mezi další vlastnosti lineárních polymerů můžeme zařadit také dobrou rozpustnost a tavitelnost, v tuhém stavu jsou houževnaté. Rozvětvené makromolekuly mají základní řetězec, z kterého odbočují větve. Kvůli rozvětvené struktuře mají nižší hustotu a nižší obsah krystalických podílů. Rozvětvení též zhoršuje většinu mechanických vlastností. Pokud se propojí vazbami několik lineárních a rozvětvených makromolekulárních řetězců, vznikají takzvané zesíťované polymery. Jedná se v podstatě o nekonečnou makromolekulu. Důsledkem je ztráta tavitelnosti a rozpustnosti polymeru. Tyto polymery mají vysokou tvrdost a odolnost proti zvýšené teplotě. Pokud je vzniklá síť řídká, hovoříme o elastomeru, pokud je síť hustá, jedná se o reaktoplast.



Obr. 8 Struktury polymerů [10]

V předchozím odstavci je zmíněn obsah krystalických podílů. Ten souvisí s nadmolekulární strukturou plastů, kterou můžeme rozdělit na amorfni a krystalickou. Amorfni struktura nemá žádné uspořádání, základním elementem takové struktury jsou tzv. globuly, viz obrázek 8 (a). Krystalická struktura vykazuje určitý stupeň uspořádanosti, základním elementem jsou tzv. lamely (b).

2.1 Rozdělení dle chování za zvýšených teplot [2], [10], [12]

Polymerní materiály se dle chování za zvýšených teplot a při působení vnějších sil rozdělují na tři základní skupiny: termoplasty, reaktoplasty a elastomery. Toto členění má z technického hlediska velký význam, jelikož každá skupina má specifické fyzikálně-mechanické vlastnosti, viz obrázek č. 9.



Obr. 9 Rozdělení polymerů [2]

Hlavním znakem termoplastů je schopnost přejít do plastického stavu při zahřátí na určitou teplotu. Díky tomu jsou snadno tvářitelné a je možné je různě zpracovávat. Při zahřívání (tavení) a tuhnutí nedochází k chemickým změnám struktury, je proto možné je tvářet a zpracovávat opakovaně. Termoplasty mají amorfni nebo semikrystalickou nadmolekulární strukturu. Jako termoplast označujeme například polyethylen (PE), polypropylen (PP), polystyren (PS), polyvinylchlorid (PVC), polyamid (PA).

Reaktoplasty jsou polymerní materiály, které se dříve nazývaly termosety. V první fázi zahřívání měknou a je možné je tvářet, však jen po omezenou dobu. Poté dochází k prostorovému zesíťování struktury, to je chemická reakce, kterou nazýváme vytvrzování. Vytvrzování je nevratný proces, vytvrzené plasty již nelze roztavit. Při velkém zahřívání dojde k rozkladu hmoty. Vytvrzováním vzniká jedna velká makromolekula se zesíťovanou strukturou. Jedná se vždy o strukturu amorfni.

Poslední skupinou jsou elastomery, je možné je rozdělit do dvou skupin jako plasty. Termoplastické elastomery jsou stejně jako termoplasty schopné opakovaně přecházet do plastického stavu a tuhnout. Jelikož nedochází ke změnám chemické struktury, jedná se o fyzický děj. Druhou skupinou jsou tzv. vulkanizovatelné elastomery. Při zahřívání měknou a je možné je tvářet, ale jen po určitou dobu, při dalším zahřívání dojde k chemické reakci - vulkanizaci, tedy prostorovému zesíťování struktury, stejně jako je tomu u reaktoplastů.

2.2 Rozdělení podle druhu přísad [1], [2], [9], [12]

Plasty určené k vstřikování se skládají z polymeru a přísad. Základní polymer vyrobený polyreakcí nemá řadu vlastností potřebných pro technologii vstřikování, proto se upravují přísadami. Plasty rozdělujeme na neplněné a plněné. Neplněný plast je takový, u kterého přísady neovlivňují jeho vlastnosti. Pokud plnivo ovlivňuje fyzikální a mechanické vlastnosti, hovoříme o plastu plněném. Nejčastěji používanými přísadami jsou:

- Přísady pro zlepšení zpracovatelnosti taveniny: Zlepšují teplotní stabilitu, zvyšují dobu na pracovní teplotě taveniny v plastikační jednotce vstřikovacího stroje.
- Vnitřní maziva: Zlepšují zatékavost taveniny a její celkové tokové vlastnosti. Snižují lepidlost taveniny a usnadňují vyhazování výstřiku z formy.
- Změkčovadla: Zlepšují pružnost, ohebnost, houževnatost a tažnost. Naopak zmenšují tuhost a tvrdost.
- Stabilizátory: Zlepšují odolnost proti termooxidaci, zvyšují rozsah provozních teplot. Také zlepšují odolnost proti UV záření a atmosférickému stárnutí, prodlužují životnost výstřiků.
- Polymerní modifikátory: Smícháním se základním polymerem vznikají směsi (slitiny) se zlepšenými vlastnostmi.
- Antistatické přísady: Snižují vznik elektrostatického náboje.
- Nadouvadla: Přidávají se v malém množství 0,5 až 2 %. Při zahřátí uvolňují plyny, které ve výstřiku vytvoří dutinky. Vzniklý plast je odlehčený, úspora materiálu je 20 až 60%.
- Retardéry hoření: Snižují hořlavost plastu. Zpomalují proces hoření nebo úplně zamezí vzniku ohně. Přidávají se v poměrně velkém množství (od cca 5%), mají proto obvykle nežádoucí vliv na ostatní vlastnosti plastu. Plasty se řadí podle pětistupňové klasifikace: 0 - nehoří, 1 - samozhášivý, 2 - hoří velmi pomalu, 3 - hoří pomalu, 4 - hoří rychle. Z plastů je nehořlavý pouze PI (polyimid), PTFE (polytetrafluorethylen), SI (silikony) a FEP (tetrafluorethylen-hexafluorpropylen kopolymer).
- Barviva, pigmenty: Dodávají plastu požadovaný barevný odstín. V polymeru jsou nerozpustné, podle původu jsou anorganické, organické a kovové prášky. Mohou působit jako nukleační činidla, tzn., že různé barvivo může vyvolat různé smrštění výstřiku.

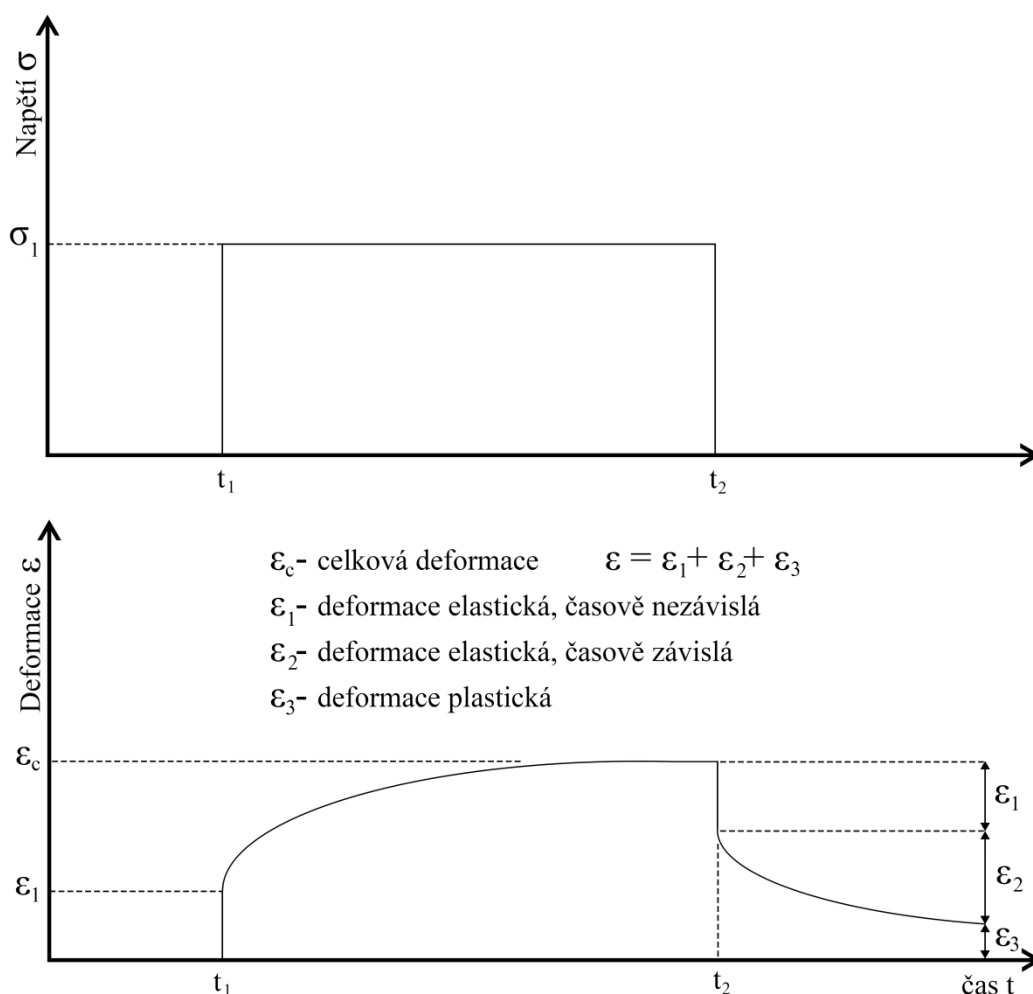
Polymery se též slučují s jinými materiály, které mají zcela odlišné vlastnosti. Jedná se o kompozitní materiály, polymer plní funkci pojiva, ve kterém je nějaké plnivo. Existují 3 skupiny plniv:

- Plniva částicová: Do této skupiny patří minerální plniva zvyšující viskozitu taveniny a snižující smrštění. Výstřik má vyšší tvrdost, tuhost a tepelnou odolnost.
- Vyztužující plniva: Obvykle mají vláknitou strukturu, nejpoužívanější jsou vlákna skleněná, uhlíková, ocelová či vláknité monokrystaly kovů. Vlákna zvyšují pevnost, tuhost, odolnost k toku za studena a tvarovou stálost. Stejně jako částicová plniva snižují smrštění. Vlákna mohou způsobit anizotropii některých vlastností dle orientace vláken.
- Nanoplňniva: Nejvíce používaným nanoplňnivem jsou vrstevnaté jíly. Velikost částice se blíží velikosti molekuly termoplastické matrice, proto dochází k velmi blízkému spojení. Díky tomu má kompozit velmi dobré mechanické vlastnosti, jeho použitím je možné zredukovat tloušťku stěny a tím i hmotnost výstřiku.

2.3 Termodynamické vlastnosti plastů [1], [2], [9], [10]

Mechanické vlastnosti plastů i kovů jsou závislé na teplotě. U plastů se však znatelně mění již při teplotách, kdy u kovových materiálů jsou změny prakticky neměřitelné. Teplotní oblast použití plastů leží obvykle desítky stupňů pod teplotou skelného přechodu u amorfních polymerů a teplotou tání krystalických podílů u semikrystalických polymerů.

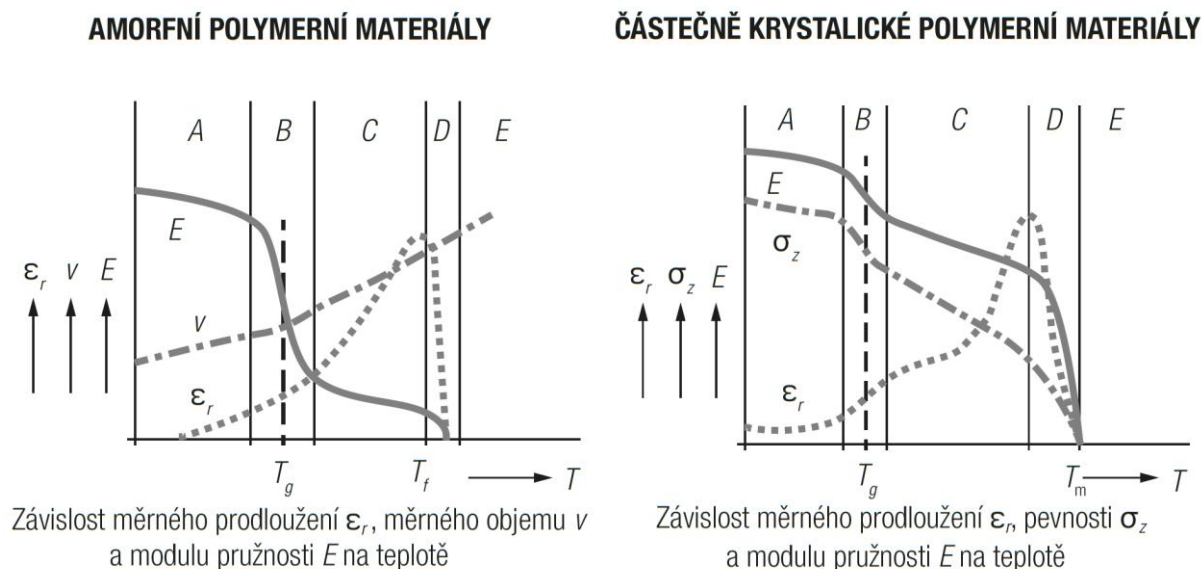
Teplota skelného přechodu je označována jako T_g , je to teplota, při které dojde ke změně z křehkého sklovitého chování na viskoelastické. Tato teplota má zásadní vliv na mechanické vlastnosti materiálu. Při teplotách nižších než T_g je polymer tvrdý a křehký. Při namáhání dochází k elastickým deformacím, platí Hookův zákon. Naopak při teplotách nad T_g je plast v tzv. kaučukovitém stavu. Při namáhání se plast deformuje v závislosti na čase, po uvolnění napětí se postupně vrací do původního tvaru, vzniká však podíl trvalé deformace, viz obrázek 10.



Obr. 10 Viskoelastické chování polymerů [9]

Porovnáme-li vliv teploty skelného přechodu na amorfní plasty a semikrystalické plasty, zjistíme, že u amorfních plastů je změna hodnoty meze pevnosti v tahu a modulu pružnosti velmi výrazná, zatímco u semikrystalických polymerů má teplota skelného přechodu menší význam, jelikož změnu do kaučukovitého stavu prodělávají pouze částečně. Čím je krystalický podíl semikrystalických polymerů vyšší, tím menší význam má teplota skelného přechodu. Rozdíl je také v přechodu do kapalného stavu, u amorfních polymerů hovoříme o teplotě T_f – teplota viskózního toku, kdy hmota ztrácí své kaučukovité vlastnosti a mění se v kapalinu. Teplota tání semikrystalických plastů se označuje jako T_m , kdy dochází k rozpadu

a tání krystalů. K tání a skelnému přechodu dochází v určitém intervalu teplot. Teploty T_g , T_m , T_f jsou tedy střední hodnotou tohoto intervalu. Některé vlastnosti amorfních a semikrystalických polymerů v závislosti na teplotě jsou znázorněny na obrázku 11.

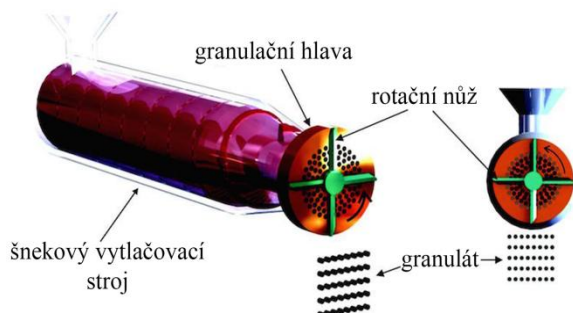


Obr. 11 Teplota skelného přechodu u amorfních a semikrystalických polymerů [2]

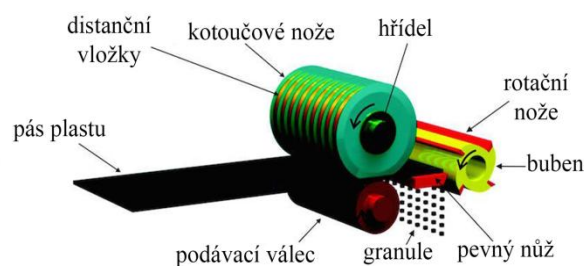
2.4 Příprava plastů [10], [11], [12]

Jelikož není možné z vyrobeného polymeru přímo zhotovit výrobek, musíme ho připravit pomocí tzv. technologií přípravného zpracování. Během přípravy je plast zbavován škodlivých podílů a přidávají se přísady, mění se tak fyzikální a chemická struktura plastů. Polymer je také nutné vytvarovat do tvaru granulí. Přípravné technologie zahrnují následující úkony:

- Míchání základního polymeru s přísadami je proces, který se provádí za účelem zlepšení požadovaných vlastností. V prostoru příslušného zařízení se míchají minimálně dvě složky za účelem dosažení určité homogenity. Homogenita v přípravné fázi nemusí být dokonalá, jelikož se zvyšuje v následujících operacích (např. během plastikace u vstřikování). Používají se různé druhy míchacích a hnětacích strojů.
- Granulace je posledním stupněm přípravy. Tvarování do potřebného tvaru je prováděno různými technologiemi. První z nich je granulace strun: granulační hlava vytlačí struny, které jsou poté nasekány za studena nebo za tepla, viz obr. 7. Další metodou je granulace z pásu, materiál je rozřezán na proužky a poté rozsekán na granule, viz obrázek 8.



Obr. 12 Granulace za tepla [11]



Obr. 13 Granulace z pásu [11]

- Tabletování je výhodné pro reaktoplasty, umožňuje rychlé a přesné dávkování, snižuje se prašnost. K slisování práškové hmoty se používají mechanické a hydraulické lisy.
- Sušení je u některých plastů potřebné, jelikož jsou navlhavé. Přítomnost vody zhoršuje kvalitu výrobků a jejich mechanické vlastnosti. Vlhkost může být buď povrchová, nebo se může nacházet v celém objemu díky kapilárním silám. Jelikož sušení a navlhání jsou vratné děje, musí se vysušený materiál rychle zpracovat nebo být chráněn před okolní vlhkostí. K sušení se používají stacionární sušárny, které pracují v nepřetržitém nebo periodickém provozu. U vstřikovacích strojů se často k sušení používají vyhřívané násypky.
- Recyklace je nutná pro efektivní využití odpadu. Existují různé mlýny a další zařízení, které vytvoří dostatečně kvalitní recyklát. Odpad je možné rozdělit na technologický (vtokové zbytky, vadné výrobky) a užitný (výrobky po skončení své funkční doby).

3 TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ [1], [2], [9], [10], [11], [17], [18], [39]

Ke zpracování plastů se nejvíce využívá technologie vstřikování plastů. Výrobky vzniklé touto technologií nazýváme výstřiky. Mezi jejich přednosti můžeme zařadit dobrou rozměrovou a tvarovou přesnost, kvalitu povrchu i možnost rychlé produkce díky krátkému vstřikovacímu cyklu. Je možné vyrábět i tvarově složité součásti. Nevýhodou jsou vysoké pořizovací náklady stroje, náročná výroba formy a velké rozměry stroje vzhledem k výstřiku. Lze zpracovávat většinu termoplastů a některé reaktoplasty. Výstřiky mohou sloužit jako konečný výrobek nebo jako polotovár.

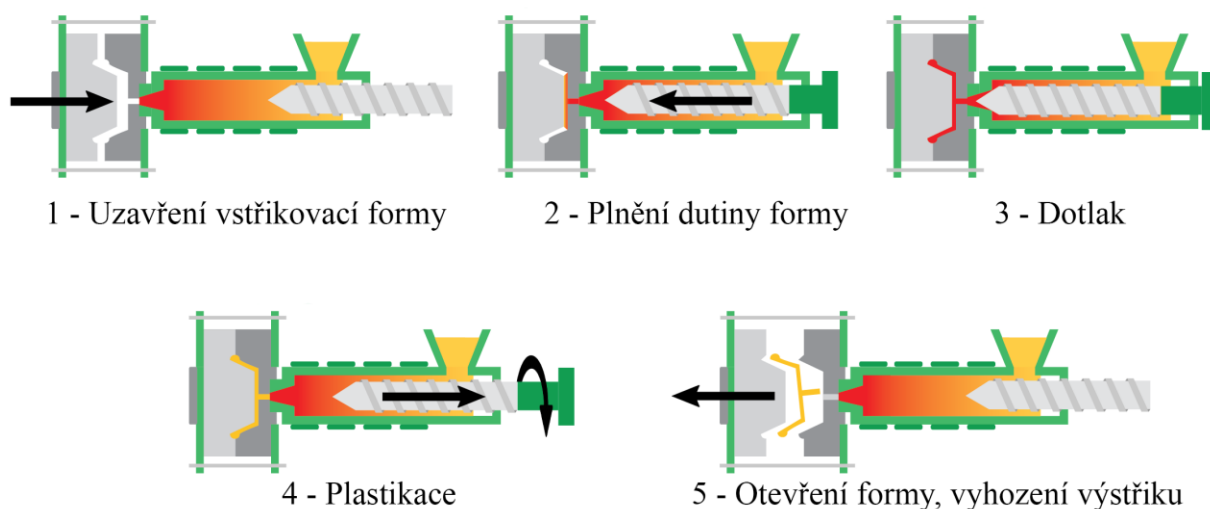
Materiál je do stroje dodáván ve tvaru granulí, jelikož se dobře sypou, dávkují a směšují například s barvivy. Granule mají nejčastěji tvar válcový, čočkový, krychlový či kuličkový, viz obrázek 14. V první fázi vstřikovacího cyklu je granulát umístěn do násypky, odkud je odebírán šnekem do plastikační komory. Zde je granulát díky tření a topným tělesům roztaven. Tento proces se nazývá plastikace, účelem je vytvořit homogenní taveninu plastu. Šnek se otáčí a zároveň posouvá zpět směrem od čela šneku, kde se hromadí tavenina. Homogenita taveniny, je ovlivněna konstrukcí šneku, otáčkami šneku, zpětným tlakem a vstřikovanou dávkou.



Obr. 14 Granulát [17]

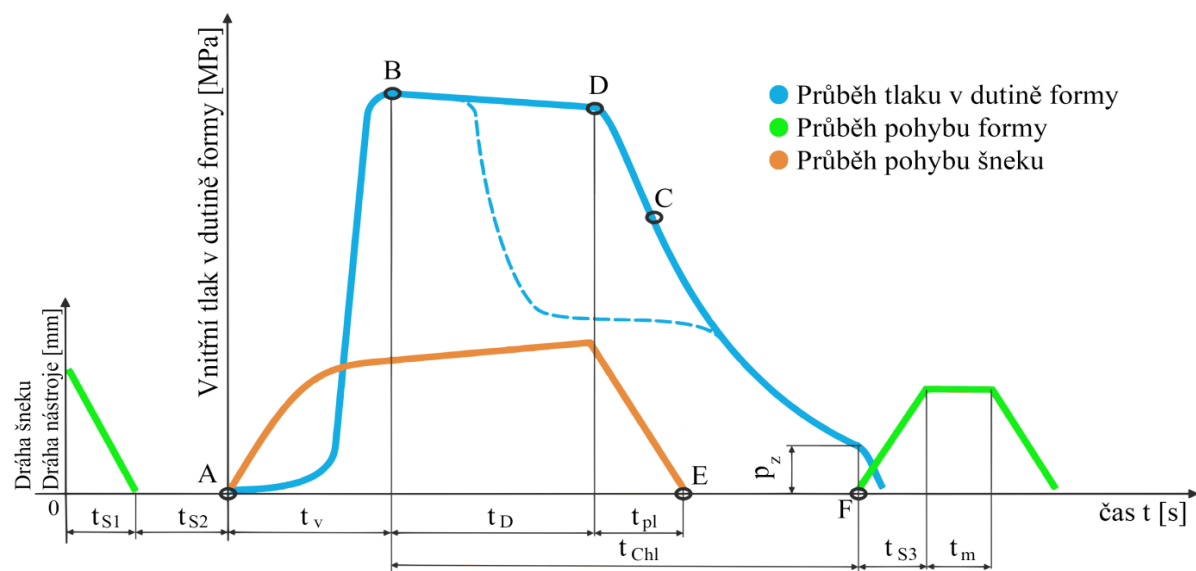
Tavenina je poté vstříknuta do uzavřené dutiny formy axiálním posunem šneku. V této fázi se plní objem tvarové dutiny formy taveninou a poté prudce stoupne tlak ve formě (tvářecí tlak) i v hydraulice vstřikovacího stroje (vstřikovací tlak). Stěžejními parametry při vstřikování jsou: teplota taveniny, vstřikovací tlak, vstřikovací rychlost a teplota formy. Následuje dotlaková fáze, kdy je kompenzován úbytek materiálu smršťováním při chlazení, je důležitá pro výsledné vlastnosti výstřiku. Zamezuje se tím vzniku propadlin a staženin. Chlazení taveniny probíhá již během vstřikování, ale převážně v průběhu dotlaku. Mezi vlivy na chlazení můžeme zařadit: tvar výstřiku, tloušťku stěn, teplotu taveniny, teplotu formy, vstřikovací rychlost, průběh dotlaku a chlazení formy. Doba chlazení má stěžejní vliv na celkovou délku vstřikovacího cyklu, jelikož samotný proces vstříknutí je velmi rychlý.

Jakmile je výrobek dostatečně tuhý, aby vydržel vyjmutí z formy a pád do kontejneru, otevře se forma, výstřik je vyhozen a cyklus se opakuje, viz obrázek č. 15.



Obr. 15 Fáze vstřikovacího cyklu [18]

Důležitý je diagram popisující časovou závislost vnitřního tlaku, viz obrázek 16. Za nulový čas cyklu se obvykle považuje impuls k zavření formy, tedy přisunutí pohyblivé části formy k pevné. K tomu dochází v časovém úseku t_{S1} . Následuje přisun vstřikovací jednotky k formě, v diagramu označeno jako t_{S2} . Poté je provedeno samotné vstřikování, dochází k plnění tvarové dutiny formy, začínající v bodě A a končící v bodě B, kdy vnitřní tlak dosahuje maximální hodnoty. Tento děj je označován jako doba plnění či doba vstřikování t_v . Šnek se během plnění neotáčí, plní funkci pístu. Následuje již zmíněná dotlaková fáze, její časový úsek se nazývá doba dotlaku t_D . Průběh dotlaku může mít různé podoby, plnou čarou je znázorněna varianta maximálního tlaku, nebo se tlak může snižovat (znázorněno přerušovanou čarou). Dotlak končí v bodě D, bod C označuje okamžik zatuhnutí roztavené hmoty ve studeném vtokovém kanálu. V bodě D rovněž začíná plastikace nové dávky plastu, časový úsek je označen jako t_{pl} , končí v bodě E. Tlak ve formě dále klesá až do hodnoty p_z , což je tzv. zbytkový tlak výstříku těsně před otevřením formy. Vysoká hodnota zbytkového tlaku způsobuje pnutí, deformace i praskání výstříku. Otevření formy a vyhození výstříku začíná v bodě F, časovým úsekem je t_{S3} . Otevření formy může předcházet odsunutí



Obr. 16 Průběh vnitřního tlaku v dutině formy během vstřikování [11]

vstřikovací jednotky od formy (na diagramu není znázorněno). Posledním časovým úsekem je manipulační doba t_m , kdy je výstřik vyjímán manipulátorem. Součástí manipulační doby může být i čištění formy či jiný doplňující proces.

Jelikož doplňování neboli dotlak má velký vliv na vlastnosti výstřiku, je důležité, aby proběhl správně. K přepínání na dotlak dochází podle:

- tlaku v hydraulice stroje
- tlaku v tvarové dutině formy
- vstříknutého objemu
- vstřikovacího času

Nejpřesnější jsou první dvě varianty, přepínání na dotlak podle objemu a času není vždy optimální. Pokud dojde k pozdnímu přepnutí na dotlak, je v dutině formy příliš vysoký tlak, který zamezuje pohybu makromolekul a vyvolá tím vnitřní pnutí. Dojde-li naopak k přepnutí na dotlak moc brzo, můžou vzniknout propadliny, staženiny nebo mikropóry. Riziko se zvyšuje u tlustostěnných výstřiků. Pro semikrystalické plasty se používá jednostupňový dotlak, kdy se v průběhu t_D tlak nemění. Pro amorfnní plasty se používá víceetupňový, to znamená, že se tlak postupně snižuje.

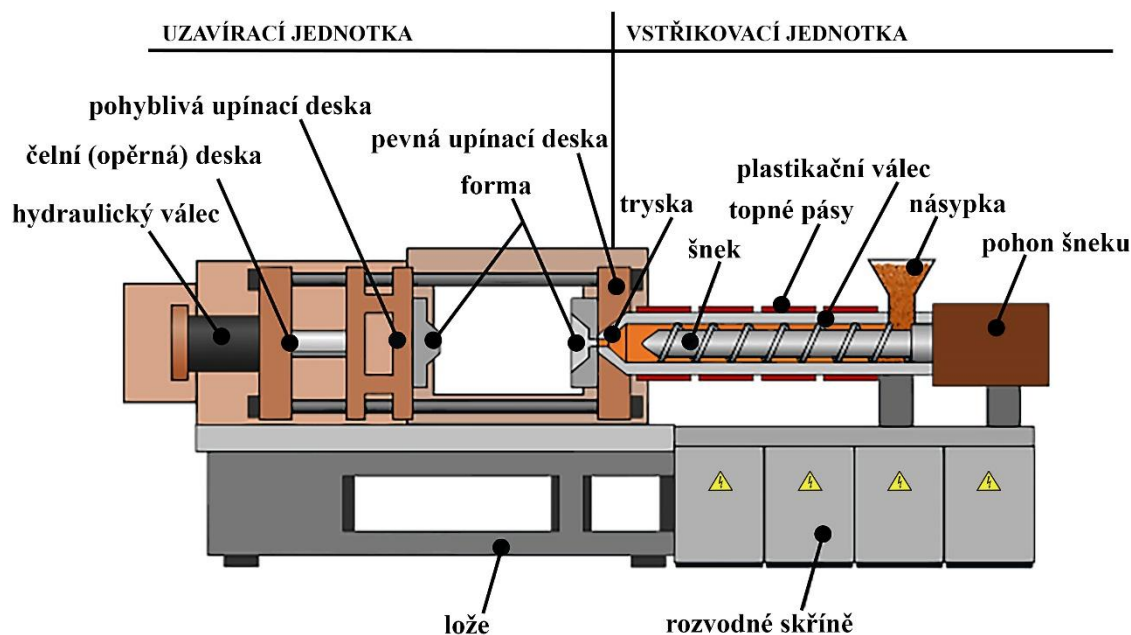
Je vhodné blíže specifikovat některé konkrétní parametry vstřikování. Jedním z hlavních parametrů je vstřikovací tlak. Jedná se o tlak působící na taveninu čelem šneku. Tento tlak musí překonat odpor viskózní taveniny při průchodu vtokovým systémem. Pokud nastavíme na stroji nízký vstřikovací tlak, stroj nepřekoná odpor taveniny a dojde k nedostřiku. Přibližné hodnoty jsou uvedeny v tabulce č. 1, vstřikovací tlak se většinou pohybuje v rozmezí od 600 do 1500 bar. V tabulce jsou dále uvedeny i orientační hodnoty velikosti dotlaku. Důležité je také uvést teplotu nástroje, tedy teplotu povrchu tvarové dutiny formy. Průměrná orientační teplota formy pro termoplasty je přibližně 80 °C, teplota taveniny je přibližně 3x až 4x větší. Reaktoplasty vyžadují vyšší teploty formy, jelikož teplota spouští proces vytvrzování, proto je tavenina reaktoplastů chladnější než forma.

Tab. 1 Orientační parametry vstřikování pro vybrané polymery [39]

	Polymer	Vstřikovací tlak [bar]	Dotlak [bar]	Teplota taveniny [°C]	Teplota formy [°C]
Amorfnní termoplasty	PS	650 - 1150	300 - 700	160 - 230	20 - 60
	SAN	650 - 1150	350 - 900	160 - 250	20 - 60
	ABS	650 - 1150	400 - 900	180 - 260	40 - 85
	PMMA	1000 - 1400	500 - 1150	220 - 250	60 - 110
	PC	1000 - 1600	600 - 1300	245 - 290	60 - 120
	PES	900 - 1400	500 - 1100	340 - 390	120 - 200
	PA amorfnní	900 - 1300	450 - 800	260 - 300	70 - 100
Semikrystal. termoplasty	PE	600 - 1350	300 - 800	210 - 300	20 - 40
	PP	800 - 1400	500 - 1100	220 - 290	20 - 60
	PA 6	450 - 1550	400 - 750	230 - 260	40 - 100
	POM	800 - 2000	700 - 1500	185 - 215	80 - 120
	PET	800 - 1500	550 - 1050	260 - 280	50 - 140
	PBT	800 - 1550	500 - 1000	230 - 270	40 - 80
Reaktoplasty	PF	800 - 1500	350 - 900	75 - 90	145 - 175
	EP	800 - 2500	350 - 1000	85 - 115	155 - 200

3.1 Vstřikovací stroje [9], [10], [19], [20], [21], [22], [23], [24]

Jelikož je pořizovací cena vstřikovacího stroje vysoká, je technologie vhodná pro velkosériovou a hromadnou výrobu. Proces bývá plně automatizován. Stroj má dvě hlavní části: vstřikovací a uzavírací jednotku, viz obrázek 17. Dále se na stroji nachází řídicí a regulační jednotka. Ke stroji jsou obvykle připojena přídatná zařízení pro zvýšení automatizace výroby jako například: manipulátory, roboty, dávkovací zařízení, dopravníky atd.



Obr. 17 Vstřikovací stroj [22]

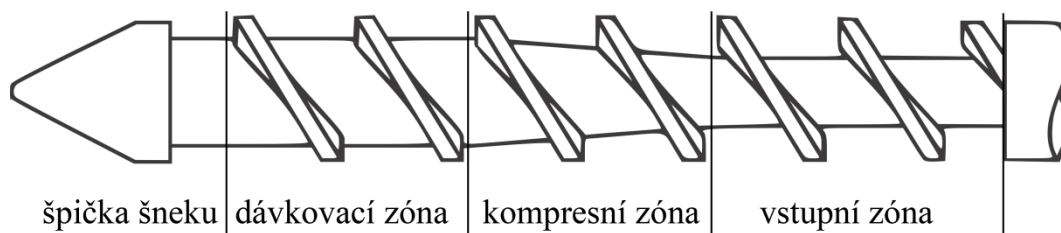
Do vstřikovací jednotky je dodáván granulát, který se zde mění v taveninu a následně je vstřikován vysokou rychlostí do tvarové dutiny formy. Dříve se používaly jednotky pístové, byly však nahrazeny jednotkami šnekovými, jelikož ve srovnání s nimi mají následující výhody:

- | | |
|------------------------------|------------------------------------|
| + větší plastikační výkon | + menší přehřívání taveniny |
| + velký zdvihový objem | + kratší výrobní cyklus |
| + vyšší homogenita taveniny | + nižší topný příkon |
| + vyšší teplota taveniny | + jednodušší a přesnější dávkování |
| + menší tlakové ztráty | + možnost barvení granulátu |
| + vyšší vstřikovací rychlost | + snazší čištění komory |
| + účinnější řízení procesu | |

Již bylo zmíněno, že během plastikace se šnek otáčí a posouvá směrem od formy, nabírá granulát z násypky a stlačuje ho před špičkou šneku, kde je roztaven. Takto se připraví homogenní dávka plastu, která je následně vstřiknuta do dutiny formy. Plastikace nové dávky probíhá souběžně s chlazením výstřiku, to u pístových jednotek nebylo možné, proto je výrobní cyklus kratší.

Konstrukce šneku prošla inovačním procesem od obyčejného k diferenciálnímu. Diferenciální šnek má rozdílný objem šnekového profilu pro jedno stoupání závitu pod násypkou a v části před tryskou. Podíl těchto objemů nazýváme kompresní poměr. Diferenciální šneky mají buď rozlišný úhel stoupání po jeho délce, nebo se mění průměr jádra. Druhá varianta je méně náročná na výrobu, proto je používanější. Délka diferenciálního

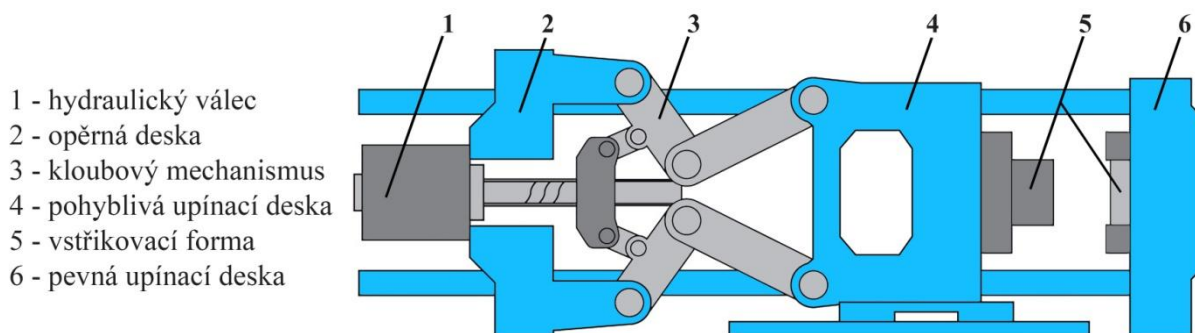
šneku s proměnlivým průměrem jádra je rozdělena na tři zóny, viz obrázek č. 18. Vstupní zóna je pod násypkou, zde má šnek nejmenší průměr jádra, který je konstantní. Dochází zde k stlačování vstupního materiálu a vytěšňování vzduchu z granulátu. Následuje kompresní zóna, průměr jádra se zvyšuje směrem k trysce. Následkem toho vzniká komprese materiálu, dochází k tání granulátu. Poslední je dávkovací zóna, kde dochází převážně k homogenizaci. Průměr jádra šneku je největší a stejně jako ve vstupní zóně konstantní. Na špičce šneku je obvykle zpětný ventil, který zabraňuje toku taveniny zpět k násypce.



Obr. 18 Části diferenciálního šneku [23]

Stejně jako šnek, bývá i tavicí komora rozdělena do tří zón. Jedná se v podstatě o topná pásma, každé pásmo je samostatně vytápěné a má vlastní regulaci teploty. Nejvyšší teplota je v pásmu u trysky, naopak nejnižší je pod násypkou, kde teplota nesmí být moc vysoká, aby nedocházelo k předčasnému tavení a spečení granulátu. To by mohlo způsobit ucpání kompresní části šneku. Část tavicí komory pod násypkou bývá proto chlazena. Na konci tavicí komory je tryska zajišťující spojení s formou, ústí do vtokových kanálů formy.

Uzavírací jednotka slouží k otevírání a zavírání formy během procesu vstřikování. Musí působit dostatečnou silou, aby nedošlo k pootevření formy vlivem vstřikovacího tlaku. Kromě uzavíracího mechanismu je zde i mechanismus přidržovací a vyhazovací. Uzavírací systém může být hydraulický, kloubový nebo kombinovaný. V poslední době se používají i různé elektrické systémy. Uzavírací jednotky jsou nejčastěji konstrukčně řešeny čtyřmi vodícími sloupky, které zajišťují spolehlivé a přesné vedení. Na obrázku č. 19 je znázorněna hydraulicko-mechanická varianta, vyhazování je prováděno pomocí hydraulického válce (1) a kloubového mechanismu (3). Opěrná deska (2) je pevně spojená s ložem stroje. Na pohyblivé upínací desce (4) je pohyblivá část formy, druhá část formy je na pevné upínací desce (6), ve které je otvor pro trysku.



Obr. 19 Uzavírací jednotka - hydraulicko-mechanická varianta [24]

Vstřikovací a uzavírací jednotky mohou být vůči sobě různě orientované. Nejčastější je horizontální uspořádání. Osa vstřikovací jednotky i uzavírací jsou v horizontální poloze, viz obrázek 17. Existují však i jiné varianty:

- Vertikální varianta - osa vstřikovací formy i uzavírací jednotky jsou ve vertikální poloze
- Úhlová varianta - osa vstřikovací jednotky je ve vertikální poloze a osa uzavírací jednotky je v poloze horizontální či naopak, v tomto případě probíhá vstřikování do dělicí roviny
- Dvoukomponentní vstřikování - dvě vstřikovací jednotky, jedna horizontální, druhá vertikální, současné vstřikování do osy a dělicí roviny formy

Poslední jednotkou vstřikovacího stroje je řídicí systém. Jedná se o počítač, který řídí činnost vstřikovacího stroje na základě předem vloženého programu. Umožňuje následující funkce:

- diagnostika, hlášení poruch, kontrola funkce stroje
- nastavení režimu činnosti stroje
- regulace procesu a technologických parametrů
- připojení informačního systému
- optimalizaci výrobního procesu

Mezi hlavní parametry vstřikovacího stroje můžeme zařadit:

- Vstřikovací tlak - tlak, který může vyvolat posun šneku v tavenině před čelem, uvádí se v barech
- Vstřikovací kapacita - maximální objem dávky, který lze vstříknout do formy při jednom pracovním cyklu, uváděn v cm^3
- Plastikační kapacita - množství plastu, které lze na stroji roztavit za 1 hodinu, uváděno v kilogramech nebo v dm^3
- Přidržovací síla - maximální síla, kterou je stroj schopen držet formu v uzavřené poloze, uváděna v kN
- Uzavírací síla - síla zajišťující otevírání a uzavírání formy, uváděna v kN
- Vyhazovací síla - maximální síla vyhazovacího systému, který se stará o vyjímání ztuhlých výstřiků z formy

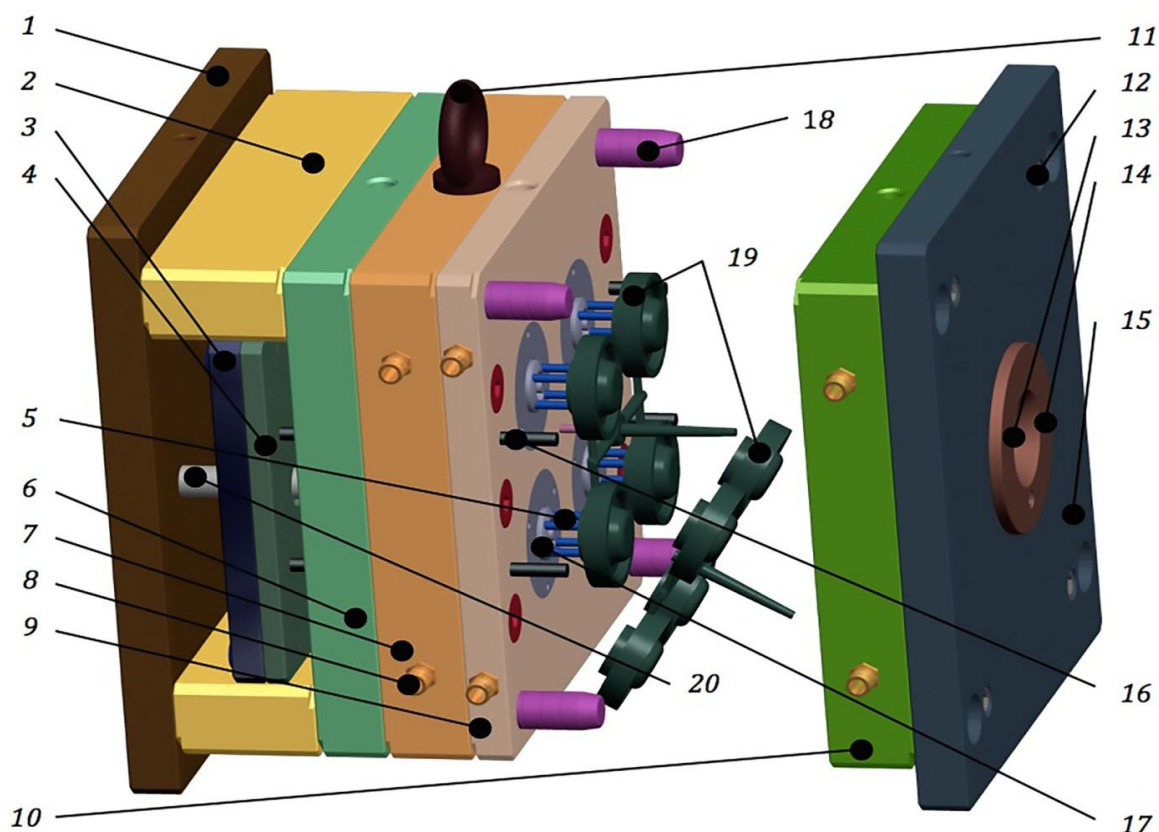
Vstřikovací stroje je možné rozdělit dle několika kritérií:

- objem dávky: malogramážní (do 50 cm^3), středogramážní (50 až 1000 cm^3), velkogramážní (nad 1000 cm^3)
- pohon vstřikovací a uzavírací jednotky: hydraulické, elektrické, kombinované
- vstřikovaný materiál: termoplasty, reaktoplasty, elastomery a silikony
- plastikační systém: šnekové, pístové
- vzájemná poloha vstřikovací a uzavírací jednotky: horizontální, vertikální

3.2 Vstřikovací formy [2], [9], [10], [25], [26], [27]

Konstrukce vstřikovacích forem a jejich výroba je poměrně složitá, vyžaduje odborné znalosti a finanční náklady. Formy jsou namáhány vysokým tlakem, musí mít přesné rozměry a musí umožňovat snadné vyjímání výstřiku. Musí umožňovat snadnou a rychlou výrobu součástí s přesnými tvarovými a rozměrovými požadavky, musí pracovat v automatickém režimu a také umožňovat vysokou využitelnost zpracovávaného plastu. Forma má dvě hlavní části: pevnou a pohyblivou. Tyto dvě části formy vymezují tvarovou dutinu a jsou upnuty v pracovním prostoru vstřikovacího lisu. Ve formě se nachází vtoková soustava, temperační

systém a vyhazovací systém. Celek formy se skládá z několika dílů, viz obrázek 20, ty se rozdělují do dvou skupin. Díly, přicházející do styku s taveninou, nazýváme funkční díly. To jsou tvarové desky, vtoková soustava a vyhazovací systém. Ostatní jsou konstrukční díly formy, které slouží k zabezpečení správné funkce. Do této skupiny patří vedení formy, středící elementy a temperační systém. V současnosti se formy z velké části skládají z normalizovaných dílů stavebnicovým způsobem, jelikož části forem se podobají. Tyto normalizované díly je možné dohledat v katalozích. U formy není snahou dosáhnout co nejnížší hmotnosti, jelikož objemná forma zaručuje vyšší teplotní stabilitu celého procesu, při otevření formy nedochází k tak velkému ochlazení.



Obr. 20 Části vstřikovací formy, kde 1 - pohyblivá upínací deska, 2 - rozpěra, 3 - hlavní vyhazovací deska, 4 - přidržovací vyhazovací deska, 5 - vyhazovač, 6 - podpěrná deska, 7 - deska tvořící tvarovou dutinu, 8 - přípojka chlazení, 9 - deska tvořící tvarovou dutinu, 10 - deska tvořící tvarovou dutinu, 11 - manipulační oko, 12 - hlavní montážní šrouby, 13 - vtoková vložka, 14 - středící kroužek, 15 - pevná upínací deska, 16 - zpětné kolíky, 17 - pevné jádro, 18 - vodící sloupky, 19 - vstřikovaný díl, 20 - podpěrné válce [26]

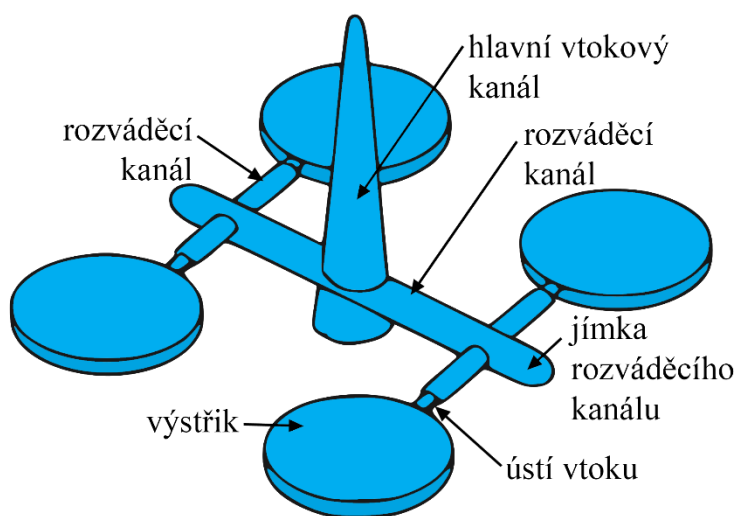
Desky tvořící tvarovou dutinu je možné vyrobit z různých kovových materiálů v závislosti na požadované výrobní sérii. Pro menší série jsou používány slitiny zinku a hliník, pro větší jsou vhodné beryliové bronzы a ocel. Povrch tvarové dutiny musí být patřičně upraven, aby odolal velkému mechanickému a tepelnému namáhání. Vstřikovaný plast působí velkým tlakem, pokud jsou v polymeru tvrdé přísady, dochází i k výraznému otěru. Proto se funkční plochy kalí a chemicko-tepelně zpracovávají.

Důležitá je pravidelná údržba formy, během provozu vznikají na povrchu usazeniny, které je potřeba odstranit. Pohyblivé části je nutné pravidelně mazat. Forma je drahé a složité zařízení, dojde-li k poškození formy, je vhodné formu opravit. Pořizování nové formy je obvykle finančně náročnější. Oprava však samozřejmě není možná vždy. Normalizované díly součásti je možné vyměnit. Desky, tvořící tvarovou dutinu, se obvykle opravují přídavným nanášením kovu pomocí svařování.

Formy ve vstřikovacím stroji se vyměňují dle aktuální potřeby, v podniku je obvykle více forem na jeden vstřikovací stroj. Uskladněné formy by měly být dobře vyčištěné, prostředí nesmí být vlhké, aby nedocházelo ke korozi. Manipulace s formou je poměrně náročná vzhledem k její velké hmotnosti a vysoké ceně. Pro usnadnění manipulace je forma opatřena manipulačními prvky, nejčastěji oky, viz obrázek 20 (pozice 11), které umožňují zavěšení na jeřáb. S formou je možné manipulovat též pomocí vysokozdvizného vozíku nebo ručně. Ručně jen v případě, má-li forma hmotnost do 30 kilogramů, jelikož je nutné dodržovat bezpečnost práce a minimalizovat riziko poškození formy pádem.

3.2.1 Vtoková soustava [9], [26], [27], [28], [29], [30]

Vtoková soustava zajišťuje dopravu taveniny z plastikační komory do dutiny formy. Skládá se z několika úseků, viz obrázek č. 21. Tavenina prochází z plastikačního válce tryskou do vtokové vložky, hlavního vtokového kanálu, z kterého pokračuje do rozváděcích kanálů a poté projde ústím vtoku do tvarové dutiny samotného výstřiku. Úkolem soustavy je dovést taveninu do výstřiků co nejrychleji, aby nedošlo ke ztrátě teploty, tlaku a materiálu. Hlavní vtokový kanál bývá prodloužen pod rozváděcí kanály, aby zachytil čelní ochlazenou

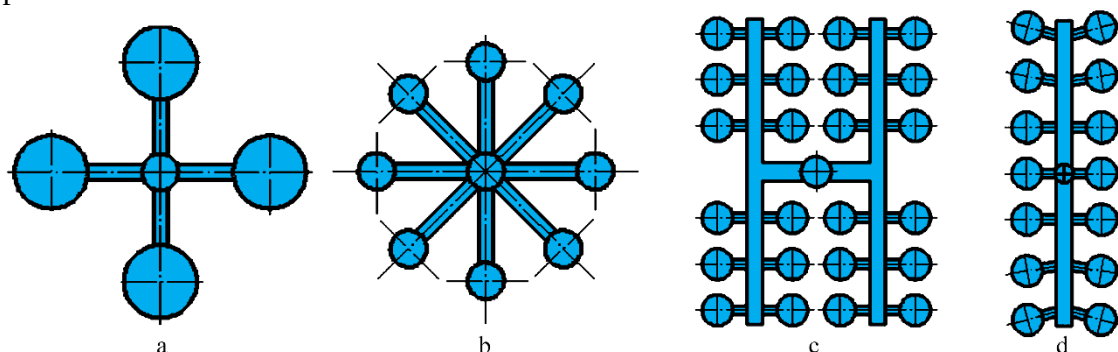


Obr. 21 Vtoková soustava [28]

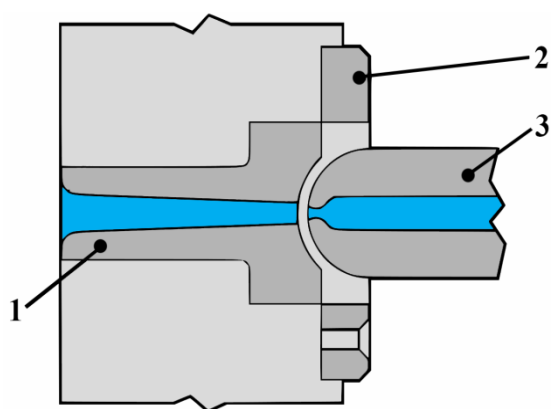
část taveniny. Stejný účel má i jímka rozváděcího kanálu. Ochlazená tavenina by mohla ucpat ústí vtoku nebo způsobit defekt výstřiku. Po zatuhnutí musí být vtokový zbytek snadno oddělitelný od výstřiku a formy. Vtoková soustava je navrhována podle násobnosti (počtu výstřiků v jedné formě), vstřikovaného materiálu a podle tvaru výstřiku. Umístění vtoku na výstřiku má vliv na jeho pevnostní vlastnosti, anizotropii a při nevhodném umístění mohou vzniknout tzv. studené spoje, viz kapitola 3.3 Jakost výstřiků.

Uspořádání rozváděcích kanálů může mít několik variant. Výhodné je, když jsou kanály ke všem výstřikům stejně dlouhé, viz obrázek č. 22 (varianta a, b). Odpadá riziko nedotečení do nejvzdálenějších výstřiků a není potřeba provádět korekce průměrů kanálů. Při velké násobnosti a malých rozměrech výstřiku však vzniká velký podíl odpadů z rozvodových kanálků. V praxi se proto často používá varianta s různou délkou vtoku pro jednotlivé výstřiky, viz obrázek č. 22 (varianta c, d). Tato varianta není z teoretického hlediska zcela korektní, jelikož každý výstřik je plněn jiným tlakem, tavenina má jinou teplotu a po zatuhnutí může mít každý výstřik jiné vlastnosti. Výroba a navrhování formy je však snazší. V každém případě je vhodné provést počítačovou simulační analýzu, pokud je zjištěno riziko nedotékavosti nebo jiný problém, je nutné optimalizovat průměry vtoků. Pomocí analýzy je

též možné zjistit rychlost průtoku taveniny, je snaha o dosažení stejné rychlosti po celou dobu plnění. Nežádoucí je hromadění taveniny v kanálu, jelikož vzniká teplotní nerovnováha procesu.



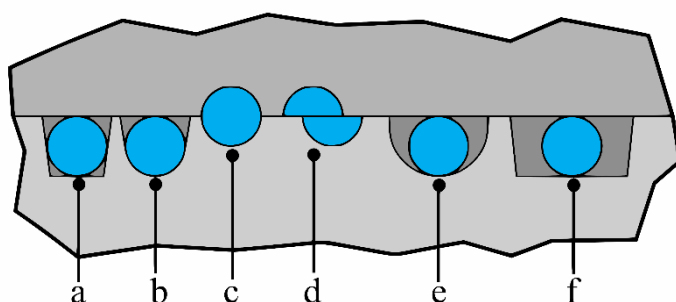
Obr. 22 Varianty rozváděcích kanálů [29]



Obr. 23 Kontakt formy a trysky, kde
1 - vtoková vložka, 2 - středící kroužek,
3 - tryska [26]

Na čelo trysky vstřikovacího stroje přesně navazuje vtoková vložka, viz obrázek č. 23. Jejím úkolem je dopravit taveninu do potřebné hloubky formy, obvykle do dělicí roviny. Vtoková vložka je často samostatnou součástí, kterou je možné objednat jako hotový díl. Je však možné jen zhotovit otvor do příslušné desky. Element má kónický tvar, aby bylo usnadněno vyjímání z formy, velikost úkosu se obvykle pohybuje v rozmezí od $0,5^\circ$ až 2° . Průměr vložky ovlivňuje vstřikovací proces, pokud je příliš malý, zvyšuje se smykové namáhání taveniny, zvyšuje se tlak, tavenina degraduje a mohou se objevit vzhledové vady na výstřiku. Semikrystalické plasty potřebují menší průměr vtokové vložky v porovnání s amorfními.

Rozváděcí kanály dopravují taveninu v dělicí rovině směrem od vtokové vložky. Používá se několik variant průřezů. Volba rozměrů a provedení má vliv na kvalitu výstřiků a efektivitu procesu. Příliš velký průřez prodlužuje vstřikovací cyklus a zvyšuje podíl odpadu, důsledkem je zvýšení výrobních nákladů. Pokud je průřez příliš malý, zvyšují se vstřikovací tlaky, dochází ke komplikacím s plněním formy. Je proto důležité zvolit optimální velikost dle objemu a tloušťky stěny vstřikovaného dílu, vstřikovacího tlaku, délky kanálu a tekutosti materiálu. Tloušťka kanálu by měla být minimálně stejná jako tloušťka stěny výstřiku.



Obr. 24 Varianty průřezů kanálu [26]

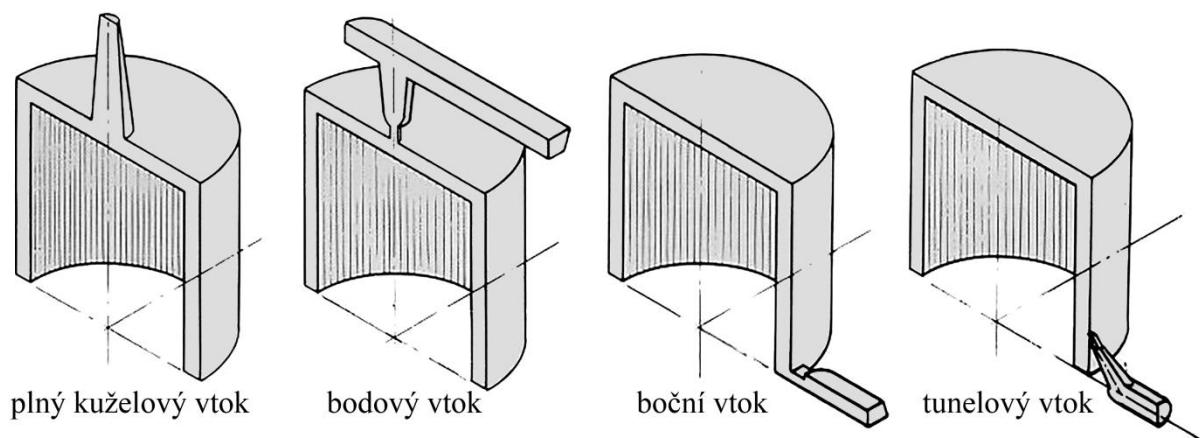
Pokud vtoková soustava není vyhřívaná, označuje se jako studená. Část taveniny při průchodu kanálem vytvoří na jeho stěně tzv. zamrzlou vrstvu. Tato zamrzlá vrstva sníží tloušťku kanálu, funguje však jako tepelný izolant a umožní tím průchod další tavenině. Čím větší je povrch kanálů, tím více taveniny zamrzne. Z hlediska materiálových ztrát je nejvýhodnější kruhový průřez kanálku,

jelikož kružnice má ze všech geometrických tvarů nejmenší možný obvod vzhledem k obsahu. Z variant na obrázku č. 24 se tedy jako nejlepší jeví varianta (c), je však nutné brát ohled na náročnost výroby. Výroba přesně umístěných půlkružnic může být náročná. Dojde-li k chybě, může vzniknout neefektivní průřez (d). Jako optimální můžeme označit varianty (a, b), které nejsou náročné na výrobu a z hlediska průtokových vlastností se podobají kružnici. Varianty (e, f) nejsou vhodné kvůli velkému obvodu průřezu, z hlediska výroby však vyhovují.

Vtokové ústí je poslední částí vtokové soustavy před vstupem taveniny do cílové dutiny. Jedná se o spojovací element plastového dílce a rozváděcího kanálu. Vtokové ústí má menší tloušťku než je tloušťka kanálu a stěny výstřiku. Tím je umožněno jednoduché oddělení od vtokové soustavy po ztuhnutí. Zmenšená tloušťka zajišťuje i správný chod celého procesu, po dotlakové fázi ve vtokovém ústí plast rychle tuhne, proto může tlak vyvíjený strojem odeznít dříve, než zatuhne celá vtoková soustava. Rychle zatuhlý materiál ve vtokovém ústí brání unikání taveniny, zrychluje se tím celý proces. Pro umístění vtoků na dílci platí několik zásad:

- vtok by neměl být na pohledových stěnách výstřiku ani na funkčních plochách
- materiál musí zatékat rovnoměrně do celé součásti, proto je vhodné umístit vtok do geometrického středu výstřiku
- u velkých výstřiků je nutné navrhnout více vtoků pro jednu součást, je snaha, aby tokové dráhy byly od všech vtoků stejné
- u dlouhých součástí umístit vtok do užší strany (např. vrchol kužele)

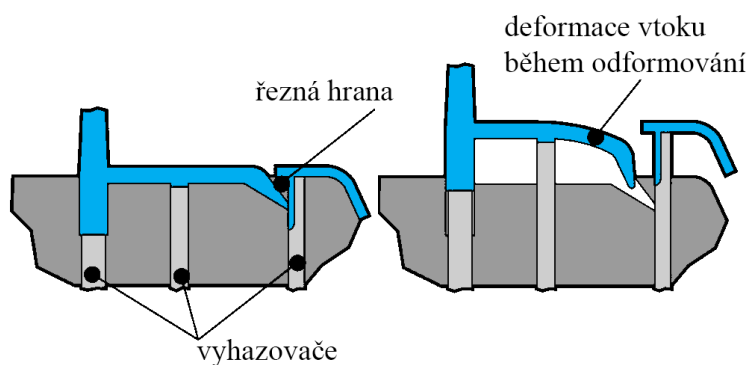
Variant provedení vtoků existuje velké množství, konstrukčně nejjednodušší je plný kuželový vtok, viz obr. č. 25. Takové řešení nemá rozvodné kanálky ani vtokové ústí, vtoková soustava se skládá pouze z hlavního vtokového kanálu, který je kónický, kuželovitost bývá v rozmezí od 1:15 do 1:50. Oddělení výstřiku od vtoků je pak poměrně obtížné. Tato varianta se používá jen pro jednonásobné formy a velké dílce, kde je potřebná dlouhá dotlaková fáze. Nevýhodou je vznik propadliny v místě vtoků.



Obr. 25 Varianty vtoků [30]

Další variantou je vtok bodový. Je hojně využíván, jelikož odtržení výstřiku je snadné a rychlé. Odtržení bývá automatické použitím třideskové formy. Používá se u jednonásobných a vícenásobných forem pro tenkostěnné výstřiky, není však vhodný pro plněné a příliš tekuté plasty. Ústí vtoků může mít různé průřezy, například kruhový, obdélníkový či půlkruhový. Alternativou bodového vtoků je boční vtok. Jeho průřez bývá obdélníkový, je vhodný pro dvoudeskové formy, vstřikuje se do dělicí roviny. Nedochozí k automatickému odtržení, je možné implementovat odřezávací zařízení.

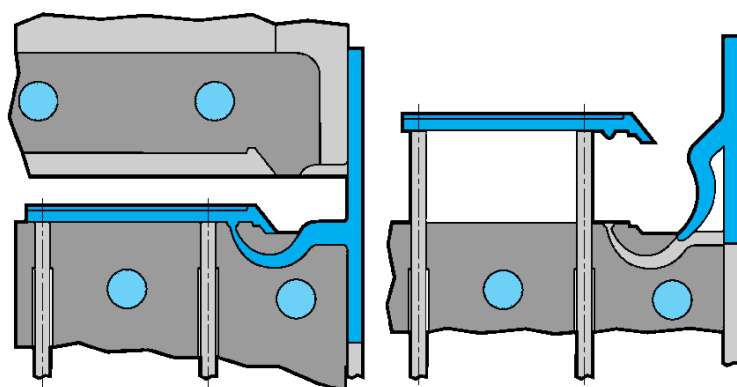
Tunelový vtok dovoluje plnění mimo dělicí rovinu, na konci rozváděcích kanálů je šikmé, zúžené, kónické ústí, které je napojeno na výstřík. U této varianty je umožněno automatické oddělení výstříku i u dvoudeskových forem. Při vyhazování je vtokový systém deformován a řeznou hranou odříznut od dílce, viz obrázek č. 26. O spolehlivosti samočinného vyhazování rozhodují vlastnosti vstřikovaného plastu. Pokud je příliš křehký a tuhý, mohlo by dojít k odlomení vtokového systému v jiné části než v místě požadovaného odříznutí. Důsledkem by bylo zablokování vtokového systému. Důležitá je tedy volba dostatečně elastického



Obr. 26 Tunelový vtok [26]

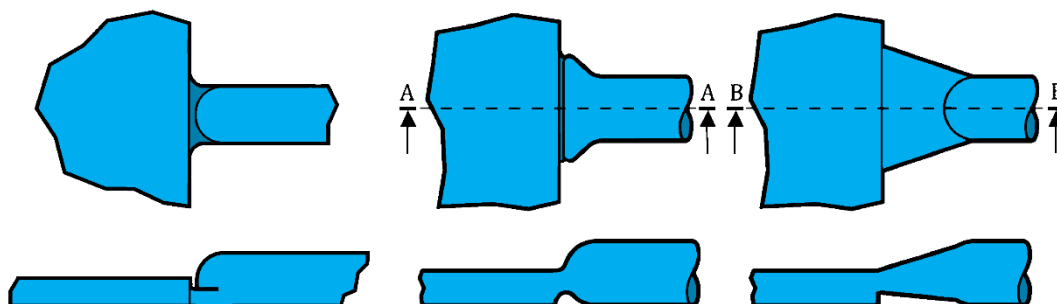
materiálu. Pro zaručení funkčnosti musí být vhodně umístěny i vyhazovače a řezná hrana být dostatečně ostrá. Řezná hrana by měla mít zvýšenou odolnost proti opotřebení, zvláště vstřikujeme-li plasty plněné například skleněnými vlákny nebo minerálními plnivými. Řezná hrana je obvykle řešena jako výměnná vložka, kterou lze koupit jako hotový díl.

Banánové ústí vtoku, stejně jako tunelové, umožňuje automatické odtržení výstříku u dvoudeskových forem. Tenká špička ústí se pomocí vyhazovačů odtrhne, vtoková soustava se zdeformuje a vysune, viz obrázek č. 27. Díky zahnutému ústí je možné provádět plnění z jiné strany, než vede kanál. Ústí je vhodné koupit jako součást, jelikož je na prodej jako vložka do formy, výroba banánovitého tvaru by byla náročná. Koupená vložka má leštěné vnitřní plochy, je tak umožněno bezproblémové odformování.



Obr. 27 Banánové ústí [26]

Na obrázku č. 28 je znázorněno filmové ústí a jeho varianty, průřez ústí je obdélníkový. V porovnání s výše uvedenými variantami umožňuje použití menších vstřikovacích tlaků. Je vhodný pro materiály citlivé na smykové namáhání během plnění a pro taveniny s vysokou viskozitou.



Obr. 28 Filmové ústí [26]

ŘEZ A-A

ŘEZ B-B

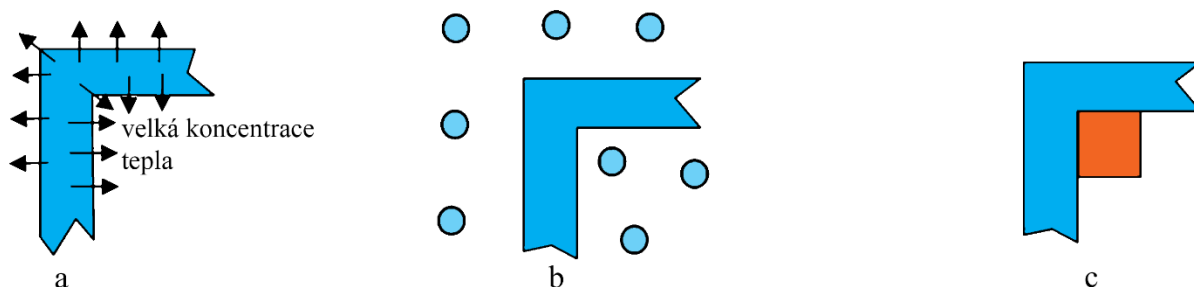
Speciální trysky umožňují uzavření ústí, toto řešení odstraňuje veškeré nedostatky již zmíněných variant. Tavenina nemůže unikat z výstřiku, do výstřiku se nedostává již zamrzlý polymer, tryska nezanechává téměř žádnou viditelnou stopu v místě vstřikování, nejsou žádné materiálové ztráty. Při vícebodovém vstřikování je navíc umožněno sekvenční či kaskádovité plnění dutiny formy, lze nastavit, která místa budou plněna dříve, celý proces je pak lépe stabilizován. Tyto trysky jsou však drahé a složité na údržbu.

3.2.3 Temperační systém [9], [26], [31], [32]

Při každém vstřiku je do formy taveninou přivedeno množství tepla. Část se odvede přirozeným ochlazováním, o zbytek se stará temperační systém, který udržuje konstantní teplotní režim formy. Řešení temperačního systému ve formě má vliv na délku pracovního cyklu, na vlastnosti výstřiku a jeho deformace. Řešení je ovlivněno několika faktory:

- vlastnosti vstřikovaného materiálu (vstřikovací teplota, teplotní vodivost, entalpie)
- požadavky na přesnost dílce
- materiál formy
- velikost a tvar dílce

Neexistuje přesný teoretický návod, jak navrhnout vhodný temperační systém, velmi záleží na zkušenostech a citu konstruktéra. Důležité je nenavrhovat temperační systému až v poslední řadě podle volného místa mezi vyhazovači a dalšími funkčními prvky formy. Forma by měla mít dostatečnou hmotnost, která mimo mechanických vlastností zvyšuje i teplotní stabilitu formy. V dnešní době je k dispozici počítačová simulační analýza usnadňující optimalizaci a kontrolu navrženého systému. Simulace může odhalit nedostatky temperační soustavy v rovnoměrnosti chladnutí v celém průřezu výstřiku. Rozdíl na povrchu výstřiku při vyhození by neměl být větší než 5 °C. Rovnoměrnost systému je hlavním požadavkem, jelikož teplotní rozdíly vedou k deformacím, vnitřnímu pnutí, rozdílnému smrštění jednotlivých částí a anizotropii. Temperace má vliv i na kvalitu povrchu a vzhled dílce. Při navrhování formy pro semikrystalické plasty je potřeba temperaci věnovat zvýšenou pozornost, jelikož jsou více náchylné k deformaci a rozdílům ve smrštění. Pro jednotlivé plasty existují doporučené teploty forem, které je dobré respektovat v zájmu zachování požadovaných vlastností.

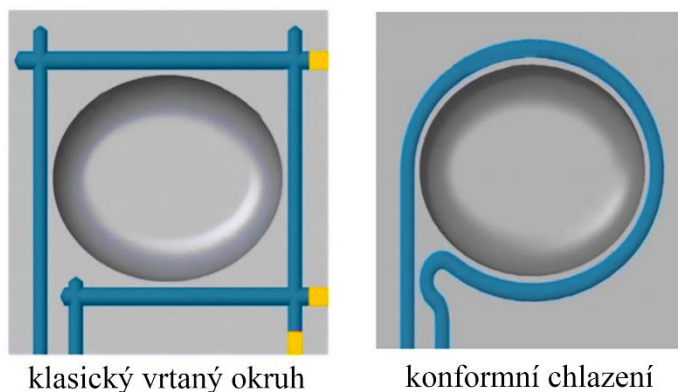


Obr. 31 Odvod tepla z rohu součásti [32]

Temperační systém je možné rozdělit na pasivní a aktivní. Jako pasivní temperování označujeme například izolační desky, které udržují teplotu předeřtáté formy. Pasivního temperování se používá pro špatně dostupná místa, kde bylo obtížné vytvořit kanál pro médium. V takových místech se použije tepelně vodivý materiál, například měď, která odvede teplo jinam. Viz obrázek č. 32, kde je v rohu vysoká koncentrace tepla (a), umístit kanálek blíže (b) by mohlo být v rozporu s pevnostními požadavky formy, proto je vhodné použít měděnou vložku (c). Aktivní temperování je přímé odvádění nebo dodávání tepla

pomocí média (voda, vzduch, olej), které proudí v kanálech formy. Forma má obvykle dva oddělené temperační okruhy, jeden pro pohyblivou část formy a druhý pro pevnou. Kanály jsou nejčastěji vrtané, jsou různě pospojované a utěsněné záslepkami dle potřeby, viz obrázky č. 32, kde jsou žlutou barvou znázorněny záslepky. U tvarově složitých součástí, kde jsou vysoké požadavky na přesnost, je možné použít konformní temperační systém, který kopíruje tvar součásti. Ten je však náročnější na výrobu. Při navrhování temperace je třeba dodržovat následující pravidla:

- umístit kanálky co nejblíže dutiny formy, zachovat však dostatečnou tuhost
- kanálky dimenzovat tak, aby bylo odvádění tepla intenzivnější u vtoků, tok média by měl vést od nejteplejšího místa k nejstudenějšímu
- průměr kanálků by měl být v rozmezí 6 až 20 mm a průtoková rychlost od $0,5$ až $4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$

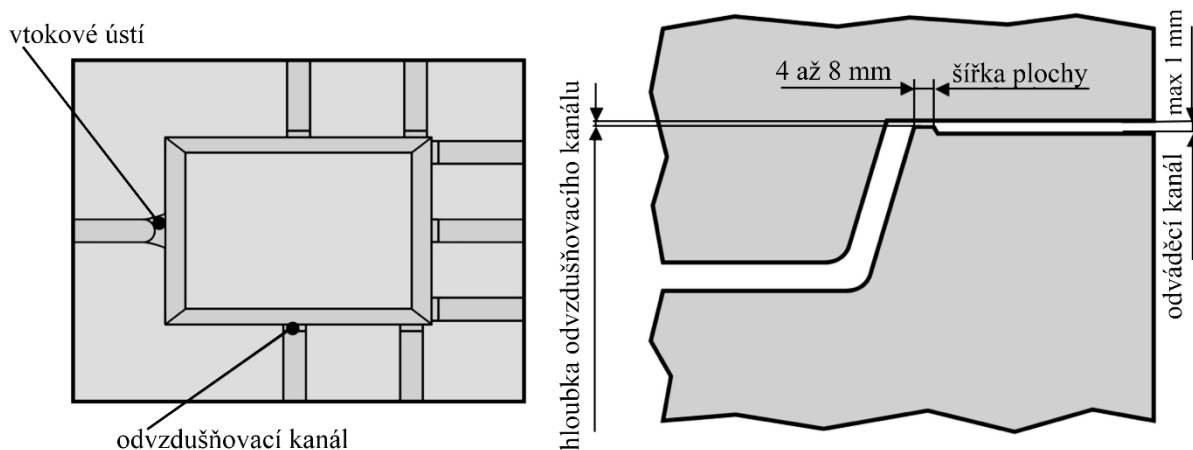


Obr. 32 Varianty aktivní temperace [32]

3.2.4 Odvzdušnění [2], [26], [31]

V dutině formy je vzduch, který musí při plnění formy unikat. Část vzduchu unikne dělicí rovinou nebo plochami vyhazovačů, pokud tento únik nedostačuje, musí se o zbytek postarat speciální konstrukční prvky nazývané odvzdušnění, viz obr. č. 33. Jedná se obvykle o drážky v dělicí rovině, tato varianta je nejjednodušší na výrobu. Drážky nesmí být velké, aby nevznikaly ořepy na výstřiku. Jejich hloubka se pohybuje v rozmezí 0,02 až 0,1 mm v závislosti na vstřikovaném materiálu. Šířka kanálku bývá několik milimetrů, stanovuje se výpočtem. Pro odvzdušňovací kanály platí následující zásady:

- tavenina s vyšší tekutostí vyžaduje menší šířku odvzdušňovacích kanálků než viskózní tavenina
- intenzitu odvzdušnění lze zvýšit vyšším počtem kanálků
- nepřesahovat doporučenou hloubku kanálku pro daný materiál za účelem zvýšení intenzity odvzdušnění
- požadavky na odvzdušnění rostou s objemem výstřiku a rychlostí vstřikování



Obr. 33 Odvzdušnění [26]

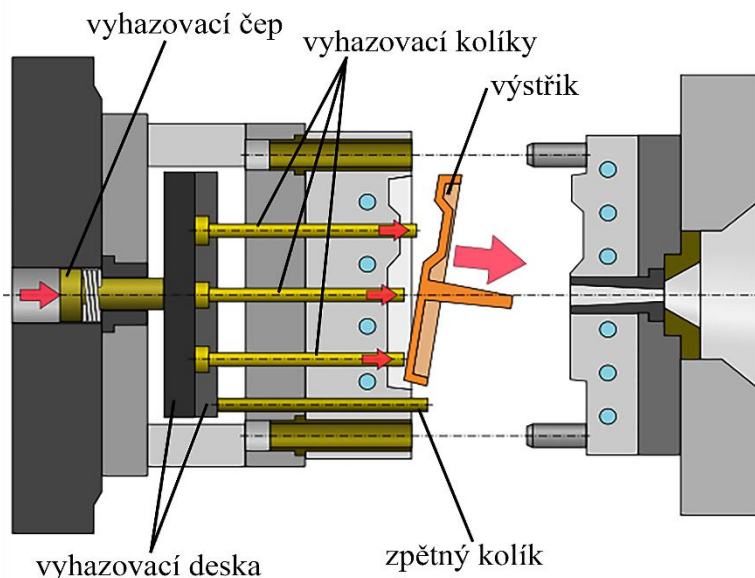
Rychlost plnění nelze přizpůsobovat podle limitů odvzdušení, odvzdušení musí být navrženo tak, aby dostačovalo optimální době plnění. Krátká doba plnění zaručuje termickou homogenitu taveniny a tím i kvalitu výstřiku. Při zpomalení vstřikování kvůli odvzdušení by mohlo dojít k zatuhnutí čela taveniny a nedostřiku nebo jiným problémům. Pokud nemůže vzduch z dutiny formy uniknout, dochází k jeho stlačení a způsobí bubliny ve výstřiku nebo neúplné naplnění formy. Stlačený vzduch může též způsobit vzplanutí materiálu - tzv. diesel efekt. Odvzdušňovací kanály je důležité umístit na místa, která jsou zaplněna taveninou jako poslední, tedy na nejvzdálenější místa od vtokového ústí. Někdy je však vhodné odvzdušnit i rozváděcí kanály a další místa. Kromě odvzdušení pomocí drážek se dále používá i pootevření formy v průběhu vstřikování. Jakmile je forma téměř naplněna, forma se otevře o 0,1 až 0,2 mm, poté se zase zavře a dostřikne se zbytek taveniny. Tato metoda se používá u reaktoplastů. Další variantou je odstranění vzduchu z formy před začátkem vstřikování pomocí vakuového zařízení.

3.2.5 Vyhazovací systém [10], [26], [27], [31], [33]

Úkolem vyhazovacího systému je vyhození výstřiku z dutiny formy po otevření. Díky smrštění a nedokonalostem tvarové dutiny zůstává výstřik ve formě, musí proto být mechanicky vyhozen. Formu musí opustit výstřik společně s vtokovým zbytkem, proces musí být spolehlivý a automatický. Pro usnadnění vyhození se přizpůsobuje konstrukce vstřikovaného dílu například pomocí zkosení a zaoblení. Je snaha minimalizovat stopy po vyhazovačích, je proto nutné je správně umístit a vyhazovat, až když je výstřik dostatečně ztuhlý. Používají se následující varianty vyhazování:

- Mechanické vyhazování - je nejpoužívanější díky jednoduchosti a ceně. Vyhazovače jsou upevněny ve vyhazovací desce a mohou mít různé tvary a rozměry, nejčastěji se jedná o kolíky, stírací desky, lišty či kroužky. U kolíků je nutné věnovat pozornost riziku jejich zlomení. Kolíkové vyhazovače zanechávají na výstřiku viditelné stopy, stírací desky ne. Stírací deska se používá u tenkostěnných výstřiků, kde by kolíky mohly způsobit poškození.
- Pneumatické vyhazování - umožňuje vyhození výstřiku pomocí stlačeného vzduchu, ten je přiveden pod výstřik pomocí ventilu a způsobí vyhození tlakem. Vzduchový ventil nezanechává stopu na výstřiku jako mechanické kolíky.
- Hydraulické vyhazování - používá se omezeně, je vhodné, pokud je potřeba velké vyhazovací síly.

Zmíněné varianty vyhazovačů se i kombinují. Vyhazovací síly se vypočítávají z měrných tlaků mezi formou a výstřikem, z teplotní závislosti koeficientu tření mezi oběma plochami a z rozměrů dílce. Na obrázku č. 34 je znázorněna mechanická varianta. Vyhazovací čep posune desku, v které jsou upevněny vyhazovací kolíky, ty vyhodí výstřik. Ve vyhazovací desce je umístěn i zpětný kolík, který zajišťuje vracení vyhazovacích kolíků během zavření formy.



Obr. 34 Vyhazovací mechanismus [33]

3.3 Jakost výstřiků [1], [2], [9], [26], [34], [35]

Výsledná kvalita výstřiku je dána předchozími procesy: přípravou taveniny, způsobem dopravy taveniny do tvarové dutiny, dotlakem a chlazením. Jedná se o fyzikální procesy, které tvoří konečné kritéria výrobku, jako jsou rozměrová, tvarová přesnost a jakost povrchu.

Tolerování rozměrů součástí z plastu zahrnují normy ČSN 01 4265, ČSN 64 006, DIN 16 9601 a DIN 16 742. V normách jsou uvedeny i podmínky pro kontrolu. Jelikož rozměry výstřiku jsou časově závislé, jsou v normách uvedeny i doby, kdy měření provést. Dle DIN musí být kontrola provedena 16 až 72 hodin od vyjmutí z formy. Dle ČSN musí být výstřik 24 hodin před měřením v prostředí o teplotě 23 °C. Obě normy rozdělují rozměry na vázané a nevázané formou. Vázané rozměry jsou staticky zafixovány tvarem formy, například průměry otvorů. Nevázané jsou takové rozměry, které se mohou měnit díky pohybu částí formy.

Velikost dutiny formy je nutné navýšit o velikost smrštění (střední hodnota výrobního smrštění), aby výstřik odpovídal požadovaným rozměrům. Hodnou je možné vyhledat v příslušném materiálovém listu. U plastových dílů se vyskytuje také již zmíněná anizotropie související s orientací makromolekul a plniva. U neplněných plastů rozdíl rozměrů spočívá především ve směru toku taveniny a ve směru kolmém. Nelze obecně určit, který je větší, každý polymer má své specifika. U amorfních termoplastů bývá rozměrová anizotropie menší (5 až 10%) než u semikrystalických (10 až 25%). U plněných plastů vláknitým plnivem je smrštění ve směru kolmém ke směru toku vždy větší. Rozdíl se pohybuje v rozmezí 20 až 60% dle obsahu plniva. Částicová plniva anizotropii nezpůsobují, vyšší obsah takového plniva snižuje anizotropii, proto při obsahu plniva okolo 40% je smrštění téměř izotropní.

V tabulce č. 2 jsou uvedeny orientační dosažitelné přesnosti dle druhu polymeru. Nižšího stupně IT (větší přesnosti) je možné dosáhnout u jednonásobných forem a malých výstřiků. Již zmíněné rozměry vázané formou mohou být přesnější o cca 1 stupeň IT, jelikož některé rozměry kolmé na dělicí rovinu mohou být ovlivněny pružnou deformací formy. Dosažení stupně IT 9 je již poměrně náročné a zvyšuje výrobní náklady, s vysokými náklady lze dosáhnout i stupně IT 8. Nižší stupně přesnosti IT 5, IT 6, IT 7 jsou v praxi nedosažitelné.

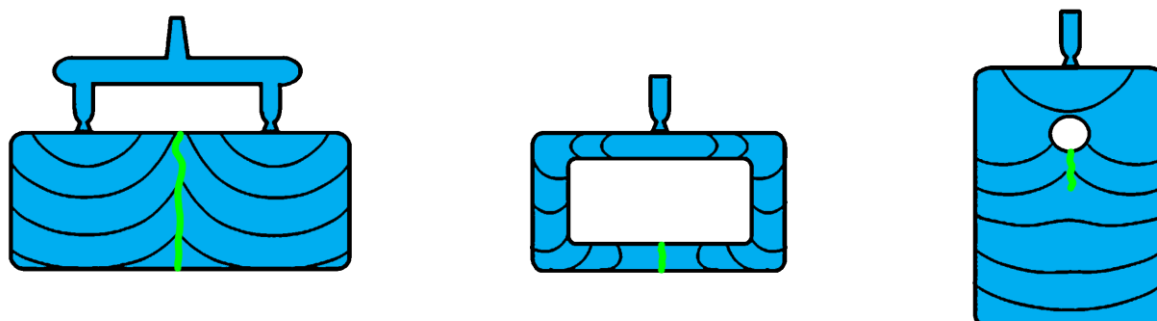
Tab. 2 Dosažitelné stupně přesnosti [9]

Stupeň přesnosti	Polymerní materiál
IT 9 až 11	amorfní tuhé termoplasty a reaktoplasty
IT 10 až 12	semikrystalické tuhé termoplasty
IT 13 až 15	měkké termoplasty a elastomery

U plastů existuje několik souvisejících problémů. Pokud nějaký rozměr není možné změřit přímo a rozhodneme se ho za tímto účelem rozříznout, uvolní se vnitřní pnutí a dojde k dalším relaxačním pochodům. Naměřená hodnota nebude odpovídat. Vnitřní pnutí navíc může být v každém výstřiku rozdílné. Plasty mají též velkou teplotní roztažnost, proto ohřátí jen o několik °C může znamenat překročení povolené toleranční meze. Dalším ovlivňujícím faktorem je nasákavost, která může též snadno způsobit nevyhovění rozměrů.

Kromě již zmíněných vad výstřiků (anizotropie, smrštění, pnutí), existují i další výrobní defekty. Mohou vznikat tzv. studené spoje v místech, kde se při plnění formy potkají dva nebo více proudů taveniny. Proud se rozděluje například při obtékání jádra nebo při vstřikování s více vtoky, viz obrázek č. 35. V takovém místě již čela taveniny nejsou dostatečně horká, aby došlo k jejich správnému spojení. V místě styku (na obrázku zeleně) jsou zhoršeny mechanické vlastnosti (pevnost v tahu a ohybu), často může být defekt i pozorovatelný. Někdy je možné na výstřiku objevit i tokové čáry, jedná se o stopy na povrchu výstřiku ve směru toku taveniny. Stopy mají jiný barevný odstín než okolní

povrch součásti. Nejčastěji se objevují okolo vtokového ústí. Příčinou vzniku bývá nevhodně navržený vtokový systém - pokud jsou vtokové kanály moc dlouhé a s malým průřezem. Vtokové čáry mají zanedbatelný vliv na mechanické vlastnosti.



Obr. 35 Studené spoje [35]

Pokud tavenina nevyplní celý objem tvarové dutiny formy, vznikne neúplný výstřik. Riziková jsou místa, která jsou nejvzdálenější od vtokového ústí a místa s malým průřezem. Nejrizikovější je kombinace těchto faktorů, proto je vhodné vtok umístit do nejužšího místa. Neúplný výstřik může být též způsoben:

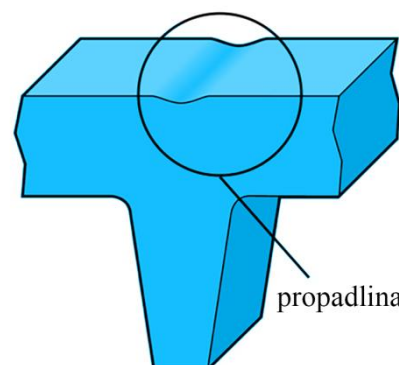
- malou tekutostí taveniny
- nedostatečnou zabíhavostí taveniny
- malou vstříkovanou dávkou
- nevhodnou konstrukcí dílce
- nedostatečné odvzdušení
- malým průřezem vtokového ústí
- nevhodným nastavením vstříkovacího stroje - nízkou hodnotou: vstříkovací tlaku, vstříkovací rychlosti, teploty taveniny, teploty formy
- předčasným přepnutím na dotlak

Jestliže se naopak tavenina dostane na nežádoucí místa, jedná se o přetoky a otřepy. Jsou to tenké blány s nepravidelným tvarem vzniklé v místech, kde je netěsnost v dutině formy. Objevit se můžou kvůli nedokonalostem v dělicí rovině, špatnému lícování pohyblivých částí formy (vyhazovačů, pohyblivých jader) nebo špatně navrženému odvzdušení. Důvody vzniku přetoků a otřepů jsou podobné jako u neúplných výstřiků, jedná se však o opačný problém. Proto mezi impulzy vady můžeme zahrnout:

- vysokou tekutost taveniny
- vysoký vstříkovací tlak
- vysokou teplotu taveniny nebo formy
- vysokou vstříkovací rychlost
- pozdní přepnutí na dotlak

Na závěr je důležité zmínit vznik propadlin v místech nahromaděného materiálu, kde tavenina chladne pomaleji. Nejčastěji propadliny vznikají v místech napojení žebířů (Obr. 36) nebo na opačné straně kuželového ústí. Tento defekt je možné pozorovat velmi často, jelikož je obtížné ho zcela eliminovat. Můžeme však omezit jeho hlavní příčiny, mezi které patří:

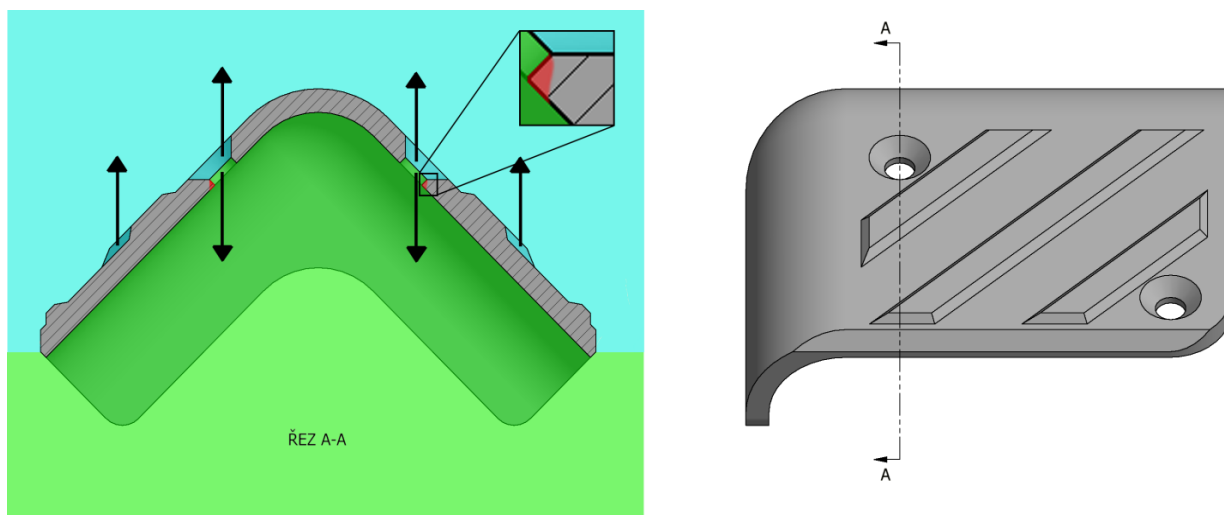
- nízké parametry dotlakové fáze nebo brzké přepnutí na dotlak
- konstrukční nedostatky výstřiku např. nehomogenní tloušťka stěn výstřiku
- malý průřez vtokového ústí - zatuhne předčasně a dotlak neproběhne korektně



Obr. 36 Místo vzniku propadliny [26]

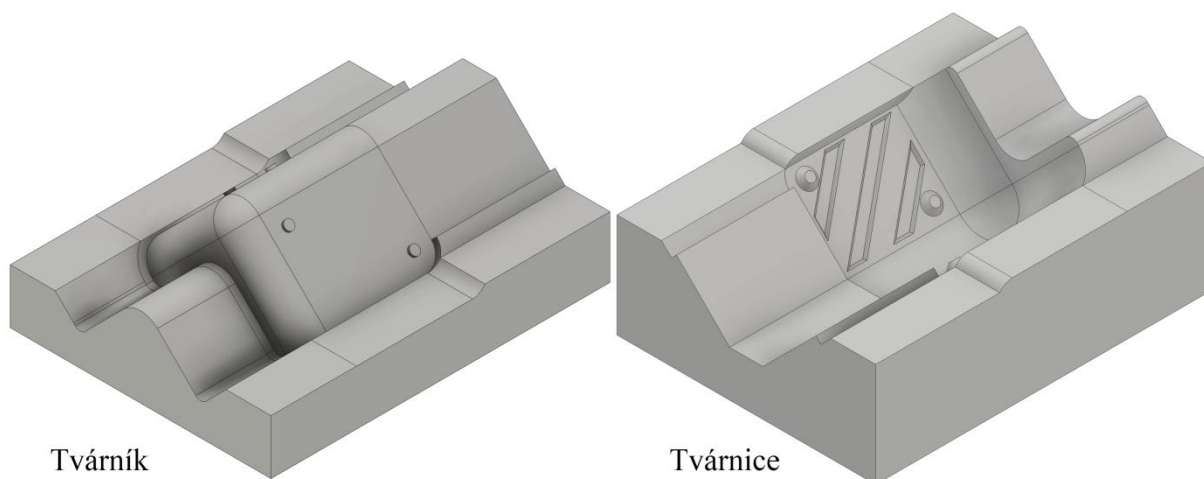
4 NÁVRH ŘEŠENÍ [9], [26], [31]

Při návrhu vstřikovací formy pro rohovou krytku se nejprve určí orientace součásti vůči otevírání formy a dělicí rovina. Pokud se součást otočí o 45° , je možné dělicí rovinu snadno navrhnout, situace je vykreslena na obrázku č. 37.



Obr. 37 Dělicí rovina

Modrá oblast znázorňuje tvárnici (pevnou část formy), tvárník (pohyblivá část formy) je znázorněn zeleně. Aby bylo umožněno bezproblémové otevření formy, nesmí žádný modrý bod při pohybu ve směru šipek protnout součást, tento předpoklad je splněn, jelikož je součást vhodně otočena a všechny geometrické prvky jsou zkoseny o 45° . V zelené, tvárníkové oblasti jsou problematické otvory pro šrouby. Místo kolize je znázorněno červeně. Problematická válcová část otvorů pro šrouby má však výšku jen 1 milimetr, vyhození výstřiku nebude znemožněno díky pružnosti plastu. Je však nutné zvolit vhodné vyhazovače a optimálně je umístit. Forma pak nemusí být vybavena pohyblivými jádry a jinými doplňujícími elementy, které zvyšují cenu a poruchovost formy. Tvarovou dutinu formy tedy budou tvořit pouze tvárník a tvárnice, viz obrázek č. 38. Potřebný tvar je možné obrobit přímo do desky formy nebo se do desky zhotoví otvor, do kterého se vloží tvarová vložka. Zde se jako výhodnější jeví použití tvarové vložky. Způsob upnutí vložky bude navržen později.

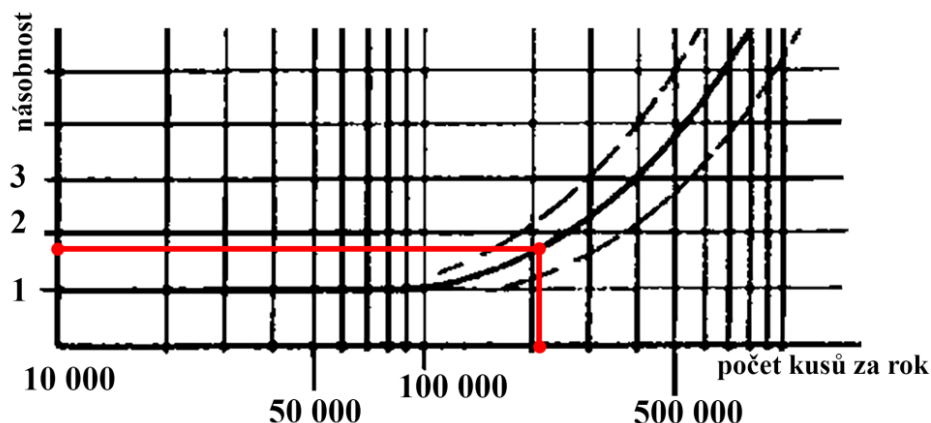


Obr. 38 Předběžný návrh tvarové vložky formy

Pro volbu velikosti desek formy je nutné znát násobnost formy a velikost tvarové vložky. Předběžně se určí praktická násobnost ze závislosti na roční produkci, viz obrázek č. 39. Má být vyrobeno 52 tis. krytek za 3 měsíce, to odpovídá 208 tis. kusů za rok. Hodnota se zakreslí do grafu a získá se praktická násobnost vstřikovací formy:

$$n_p = 2 \quad (4.1)$$

kde: n_p - praktická násobnost [-]



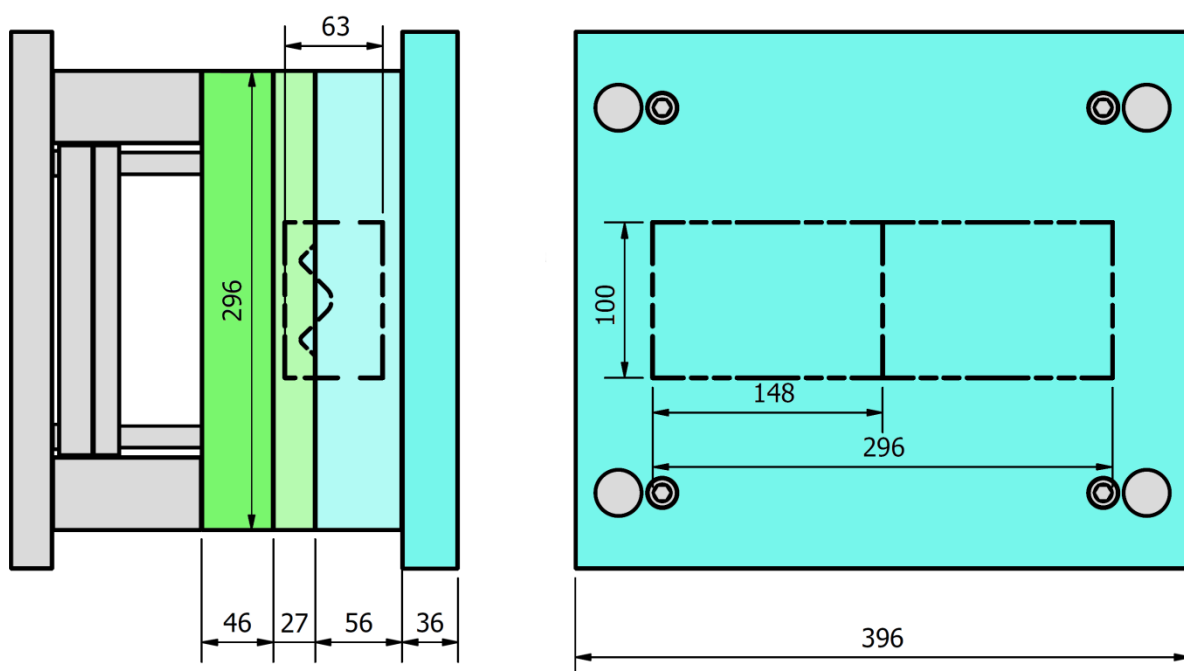
Obr. 39 Praktická násobnost [9]

Potřebným parametrem pro zjištění velikosti tvarové vložky je délka rozváděcího kanálku, tu je možné určit podle rozměrů součásti, měla by být přibližně rovna největšímu rozměru. Největším rozměrem součásti je její délka, která je 63 mm, potom:

$$L_K = 65 \text{ mm} \quad (4.2)$$

kde: L_K - délka rozváděcího kanálu [mm]

Nyní je možné navrhnout velikost tvarové vložky za účelem volby velikosti jednotlivých desek. Situace je znázorněna na následujícím obrázku č. 40. Byla zvolena základna formy od výrobce DME s velikostí 296 x 396 mm, která se zatím jeví jako optimální. Tento předběžný návrh bude ověřen pomocí výpočtů a doplněn.



Obr. 40 Základní rám formy

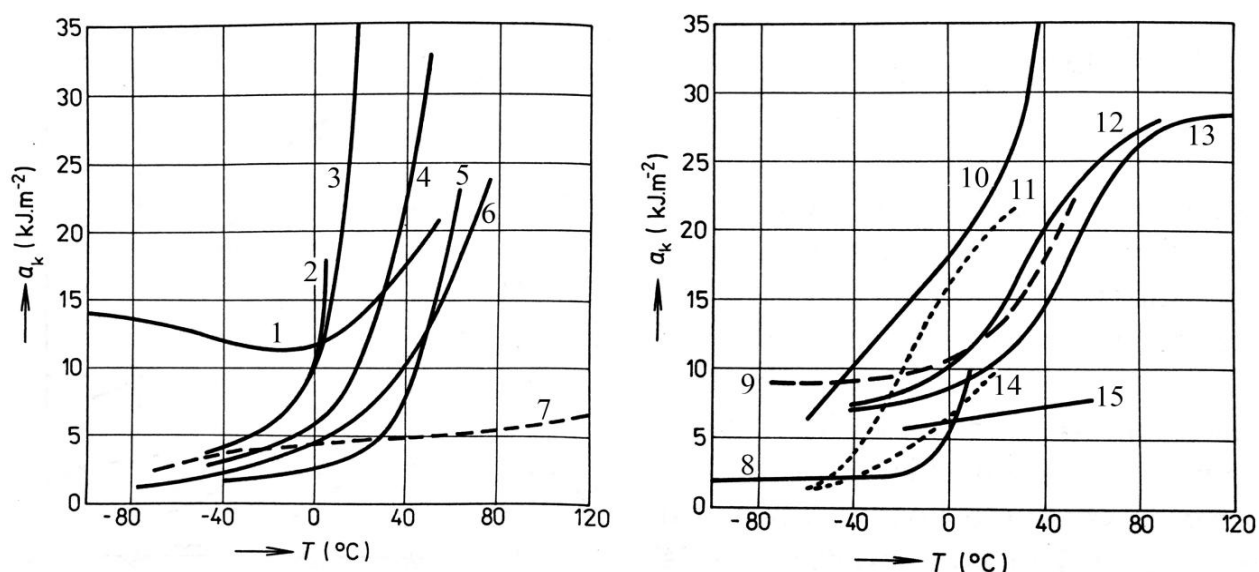
4.1 Volba materiálu [3], [36], [37], [38]

Před dalšími kroky návrhu formy je nutné znát vstřikovaný materiál. Materiál není předem nijak specifikovaný, proto je možné brát v úvahu všechny druhy polymerů pro vstřikování. Rohová krytka musí odolat při nárazu reproboxu. Jako hlavní vlastnost při výběru polymeru se použije houževnatost, krytka nesmí být křehká. Houževnatost můžeme definovat jako mechanickou práci potřebnou k lomu materiálu, určuje se pomocí Charpyho kladiva. Krytka musí být také dostatečně pevná. Následující tabulka č. 3 uvádí houževnaté a zároveň pevné polymery a jejich běžné použití.

Tab. 3 Příklady použití houževnatých polymerů [3], [37]

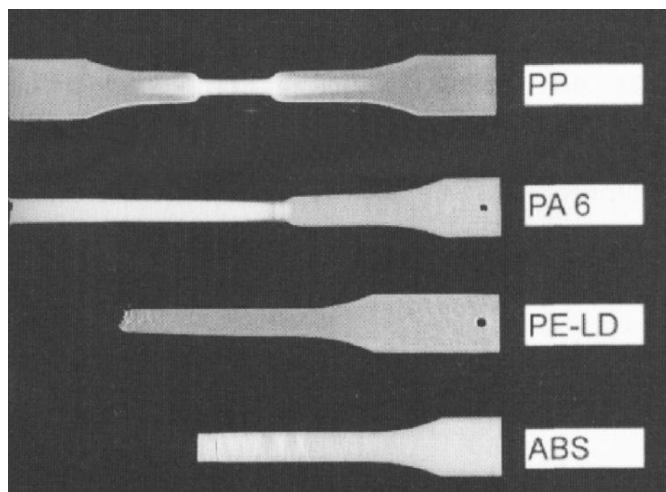
Název, zkratka	Použití
Polypropylén , PP	potrubí, tělesa čerpadel, oběžná kola ventilátorů, přepravky na láhve, vlákna na pytle, nádoby akumulátorů
Akrylonitrilbutadienstyren, ABS	kryty, tělesa přístrojů, ochranné přilby, přístrojové desky, části karosérií aut, tlačítka
Polyamidy, PA	šrouby, matice, ozubená kola, kluzná ložiska, hadice, řemeny, silent bloky
Polyoxymethylén, POM	nádobí, ozubená kola, kluzná ložiska, pružiny, šrouby, kryty světel
Polykarbonát, PC	ozubená kola, kluzná ložiska, elektroizolační fólie kabelů, blány reproduktorů, vlákna pro technické tkaniny, ochranné kryty

Z uvedené tabulky se jeví jako vhodný materiál ABS, který se běžně používá pro výrobu ochranných přileb, kde jsou podobné požadavky na mechanické vlastnosti, jako je tomu u rohové krytky. Příbuzné jsou také silent bloky, které slouží k tlumení rázů, proto by vhodným materiálem mohl být také PA. PC se přímo používá pro ochranné kryty, je však přirozeně průhledný, což by nemuselo vyhovovat z estetického hlediska. Jako nejvhodnější se tedy zatím jeví ABS a PA.



Obr. 41 Závislost vrubové houževnatosti na teplotě, kde 1 - PTFE, 2 - PA 66 suchý, 3 - PA 6 normálně vlhký, 4 - PA 66 normálně vlhký, 5 - PA 6 suchý, 6 - PP, 7 - POM, 8 - PVC, 9 - PC + 30% SV, 10 - PC, 11 - ABS s nižší tuhostí, 12 - PA 6 + 30% SV normálně vlhký, 13 - PA 6 + 30% SV suchý, 14 - ABS s vyšší tuhostí, 15 - hPS [3]

Jelikož je stěžejní houževnatost, k výběru se použije závislost vrubové houževnatosti na teplotě, viz obrázek č. 41. Krytka bude namáhána při běžné pokojové teplotě okolo 23 °C. Nejvyšších hodnot vrubové houževnatosti při pokojové teplotě dosahují: PA 6 normálně vlhký, PC a ABS s nižší tuhostí. Závislostí vrubové houževnatosti na teplotě je ověřena volba z tabulky č. 3. Pro výrobu rohové krytky se použije Polyamid PA 6, jelikož dle grafu vykazuje nejvyšší houževnatost. Dalším důvodem volby polyamidu je jeho chování při tahové zkoušce. PA 6 je polymer semikrystalický a vykazuje velkou tažnost, zatímco ABS je amorfni polymer a při jeho namáhání dochází k lomu dříve, viz obrázek č. 42. Při pádu reproboxu je lom krytky nežádoucí, tažná deformace je přípustnější.



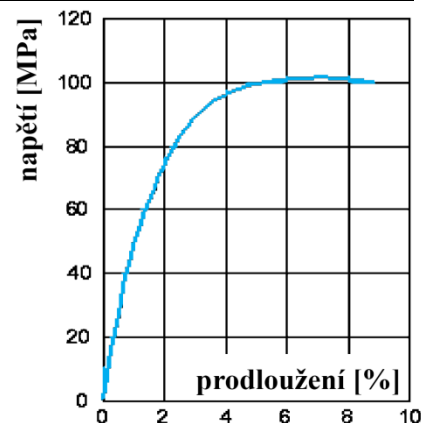
Obr. 42 Porušení polymerů při tahové zkoušce [36]

Nyní je nutné zvolit konkrétní produkt, jelikož nabízených polyamidů 6 je značné množství. Výběr je možné provést z nabídky firmy TER HELL Plastic GmbH, která na svých stránkách nabízí velké množství plastových granulátů s dostupností v České Republice, na stránkách je možné získat i příslušné materiálové listy. Je žádoucí zvolit materiál, který je obsažen v databázi programu Autodesk Inventor, aby bylo možné snadno provést simulaci vstřikování. Požadavkům vyhovují granuláty od výrobce DSM s obchodním názvem Akulon. V následující tabulce č. 4 jsou uvedeny 3 konkrétní produkty s vrubovou houževnatostí převyšující 20 kJ/m² při teplotě 23°C v normálně vlhkém stavu.

Tab. 4 Výběr plastů - jejich mechanické vlastnosti v normálně vlhkém stavu [38]

Obchodní název	Vrubová houževnatost při 23°C [kJ/m ²]	Mez kluzu [MPa]	Mez pevnosti [MPa]	Tažnost [%]	Plnivo
Akulon K223-TP4	75	30		>50	žádné
Akulon K224-PG6	43		100	9	30% SV
Akulon K224-HG0	25		160	3,5	50% SV

Všechny 3 vybrané materiály jsou mechanicky odolné a mohly by být pro součást použity. Neplněný plast Akulon K223-TP4 je velmi houževnatý, má velkou tažnost, vykazuje však poměrně malou pevnost v tahu. Plněný plast Akulon K224-HG0 obsahující 50% skleněných vláken je naopak dosti pevný, je však díky plnivu už značně křehký, má malou tažnost a znatelně menší houževnatost. Optimální variantou je proto Akulon K224-PG6 s obsahem skleněných vláken 30%. Kombinace tvrdého plniva a tažného polymeru vykazuje potřebné mechanické vlastnosti. Na obrázku č. 43 je tahový diagram zvoleného materiálu znázorňující závislost napětí na prodloužení



Obr. 43 Tahový diagram [38]

při 23°C v normálně vlhkém stavu. V následující tabulce č. 5 jsou uvedeny jeho základní parametry.

Tab. 5 Parametry zvoleného materiálu Akulon K224-PG6 [38]

Parametr	Hodnota	Jednotka
Teplota taveniny	275	°C
Smrštění podélné	0,4	%
Smrštění příčné	1,0	%
Viskozita při smykové rychlosti 1000 s ⁻¹ při 270°C	170	Pa·s
Modul pružnosti v tahu v normálně vlhkém stavu	5500	MPa
Mez pevnosti v normálně vlhkém stavu	100	MPa
Mez pevnosti v suchém stavu	145	MPa
Vrubová houževnatost při 23°C v normálně vlhkém stavu	43	kJ/m ²
Houževnatost bez vrubu při 23°C v normálně vlhkém stavu	110	kJ/m ²
Měrná tepelná vodivost	0,0899	mm ² ·s ⁻¹
Hustota	1320	kg/m ³

4.2 Výpočty parametrů [1], [9], [31], [39]

Pro návrh konstrukce formy je nezbytné provést některé výpočty. Pomocí výpočtů se stanoví konečná násobnost formy, rozměry vtokové soustavy, parametry odvzdušení a další parametry, podle kterých se bude řídit i volba vstřikovacího stroje.

- Objem vstřikovaného dílce - jedná se o základní parametr, jelikož je součástí poměrně tvarově složitá, použije se k určení objemu 3D model v programu Autodesk Inventor Professional 2019:

$$V = 21101,198 \text{ mm}^3 = 21,1 \text{ cm}^3 \quad (4.3)$$

- Hmotnost výstřiku:

$$G = V \cdot \rho = 21,1 \cdot 1,320 \cong 27,85 \text{ g} \quad (4.4)$$

kde: ρ - hustota materiálu Akulon K224-PG6 (viz tabulka 5) [g/cm³]

- Průměr rozváděcího kanálu - určuje se pomocí předběžného průměru z tabulky č. 7 a koeficientů závislých na tloušťce stěny a hmotnosti výstřiku:

$$D_k = D_p \cdot K_1 \cdot K_2 = 4,69 \cdot 1,11 \cdot 1,08 = 5,62 \text{ mm} \quad (4.5)$$

kde: D_p - předběžný průměr kanálků (viz tabulka 7) [mm]

K_1 - koeficient tekutosti materiálu (viz tabulka 7) [-]

K_2 - koeficient délky kanálku (viz tabulka 6) [-]

Tab. 6 Koeficient délky kanálku [9]

Délka kanálku L_K [mm]	K_2 [-]	Délka kanálku L_K [mm]	K_2 [-]
0 až 20	1	100 až 150	1,2
20 až 40	1,04	150 až 200	1,29
40 až 70	1,08	200 až 250	1,39
70 až 100	1,12	250 až 300	1,51

Tab. 7 Předběžný průměr kanálku a koeficient tekutosti materiálu [9]

	Tloušťka stěny výstřiku [mm]			
Hmotnost výstřiku [g]	2,5	3	3,5	4
<10	4,05	4,55	5,04	5,54
10 až 16	4,09	4,57	5,06	5,56
16 až 25	4,13	4,62	5,10	5,59
25 až 40	4,21	4,69	5,16	5,64
40 až 63	4,34	4,79	5,25	5,72
K_1 [-]	1,12	1,11	1,10	1,09

- Objem rozváděcího kanálu - uvažujeme kruhový průřez vtokového kanálu:

$$V_k = \frac{\pi \cdot D_k^2}{4} \cdot L_K = \frac{\pi \cdot 5,62^2}{4} \cdot 65 = 1612,41 \text{ mm}^3 \cong 1,61 \text{ cm}^3 \quad (4.6)$$

- Předběžný objem vtokového kužele - je možné ho stanovit jako dvojnásobek objemu vtokového kanálu:

$$V_{vk} = V_k \cdot 2 = 1,61 \cdot 2 = 3,22 \text{ cm}^3 \quad (4.7)$$

- Vstřikovaný objem:

$$V_D = n_p \cdot (V + V_k) + V_{vk} = 2 \cdot (21,1 + 1,61) + 3,22 = 48,64 \text{ cm}^3 \quad (4.8)$$

Tab. 8 Doba vstřikování dle viskozity a objemu [9]

Vstřikovaný objem [cm ³]	Nízkoviskózní materiál	Středněviskózní materiál	Vysokoviskózní materiál
	$\eta < 150 \text{ Pa}\cdot\text{s}$	$\eta = 150 \text{ až } 300 \text{ Pa}\cdot\text{s}$	$\eta > 300 \text{ Pa}\cdot\text{s}$
15 až 30	0,5 až 0,6	0,6 až 0,75	0,75 až 0,9
30 až 50	0,6 až 0,8	0,75 až 1,0	0,9 až 1,2
50 až 80	0,8 až 1,2	1,0 až 1,5	1,2 až 1,8
80 až 120	1,2 až 1,8	1,5 až 2,2	1,8 až 2,7

- Doba vstřikování - určí se podle předchozí tabulky č. 8 dle vstřikovaného objemu (4.8) a viskozity materiálu z tabulky č. 5:

$$t_v = 1 \text{ s} \quad (4.9)$$

- Vstřikovací rychlost:

$$v_s = \frac{V_D}{t_v} = \frac{48,64}{1} = 48,64 \text{ cm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \quad (4.10)$$

- Doba chlazení - pro výpočet doby chlazení je nutné znát teplotu formy a teplotu při odformování, použijí se hodnoty z tabulky č. 9. Ostatní hodnoty uvádí dodavatel materiálu:

$$t_{chl} = \frac{s^2}{\pi^2 \cdot a_{eff}} \cdot \ln \left[\frac{8}{\pi^2} \cdot \frac{(T_M - T_W)}{(T_e - T_W)} \right] = \frac{3^2}{\pi^2 \cdot 0,09} \cdot \ln \left[\frac{8}{\pi^2} \cdot \frac{(275 - 80)}{(100 - 80)} \right] \quad (4.11)$$

$$t_{chl} = 20,97 \text{ s}$$

kde: a_{eff} - měrná tepelná vodivost (viz tabulka č. 5) [mm²·s⁻¹]

T_M - teplota taveniny (viz tabulka č. 5) [°C]

T_W - teplota formy (viz tabulka č. 9) [°C]

T_e - teplota odformování (viz tabulka č. 9) [°C]

s - tloušťka stěny výstřiku [mm]

Tab. 9 Teplotní parametry polyamidu [9], [39]

Materiál	Teplota formy - T_W	Teplota odformování - T_e	Teplota tav. - T_M
PA 6	80 °C	100 °C	260 °C

- Celková doba vstřikovacího cyklu - je součtem doby chlazení, doby vstřikování a doby spojené s pohybem stroje (t_{S1} , t_{S2} , t_3 , t_4). Pohyby stroje obvykle trvají v rozmezí 3 až 4 sekundy. Pro výpočet byla zvolena hodnota 3,53 sekundy.

$$t_c = t_{S1} + t_{S2} + t_v + t_{Chl} + t_3 + t_4 = 1 + 20,97 + 3,53 = 25,5 \text{ s} \quad (4.12)$$

kde: t_{S1} - doba uzavření formy [s]

t_{S2} - doba přisunutí vstřikovací jednotky [s]

t_3 - doba otevření formy a vyhození výstřiku [s]

t_4 - časová prodleva [s]

- Doba produkce - počet dostupných výrobních hodin pro dodržení termínu, pro výpočet se uvažuje jednosměnný provoz:

$$T_p = n_m \cdot n_d \cdot n_{ph} = 3 \cdot 20 \cdot 8 = 480 \text{ hod} \quad (4.13)$$

kde: n_m - počet měsíců výroby [-]

n_d - počet pracovních dní v měsíci, zvoleno 20 [-]

n_{ph} - počet pracovních hodin [h]

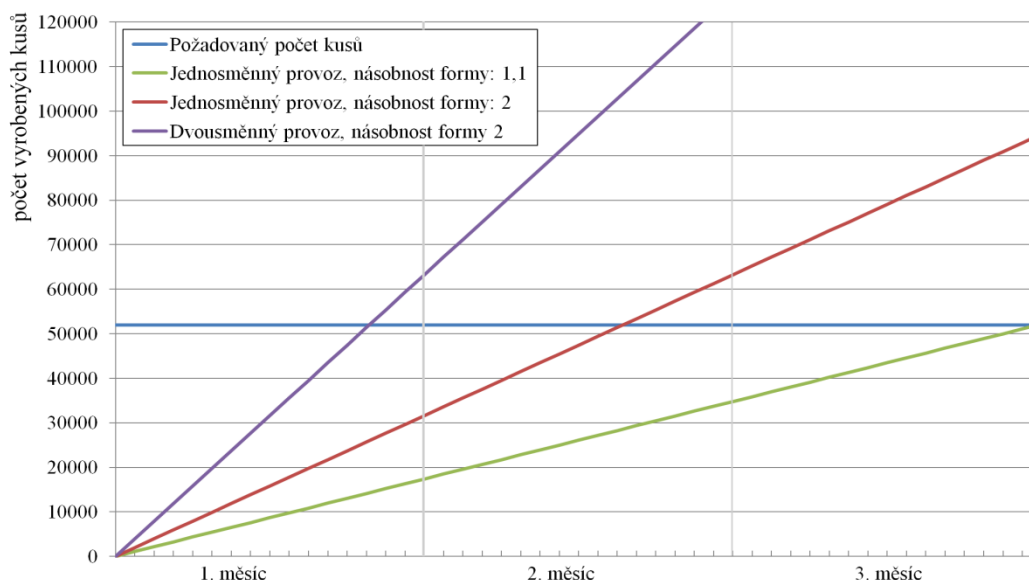
- Termínová násobnost - vyjadřuje potřebnou násobnost formy vzhledem k požadovanému termínu dokončení výroby série:

$$n_t = \frac{N \cdot t_c}{T_p \cdot K \cdot 3600} = \frac{52000 \cdot 25,5}{480 \cdot 0,7 \cdot 3600} = 1,1 \rightarrow 2 \quad (4.14)$$

kde: N - velikost výrobní série [ks]

K - koeficient využití času, zvoleno $K = 0,7$ [-]

Násobnost formy se zaokrouhluje na nejvyšší celé číslo, aby bylo zajištěno dodání potřebného počtu součástí včas. Bylo však počítáno s jednosměnným provozem, při vícesměnném provozu by mohla dostačovat jednonásobná forma. Dvojnásobná forma je však výhodnější, jelikož se potřebný počet krytek vyrobí dříve (obr. č. 44), vstřikovací stroj poté může být využit pro jiné účely. Díky tomu budou sníženy výrobní náklady. Rohových krytek je také možné vyrobít záměrně více a nabídnout je k dalšímu prodeji, jelikož se jedná o poměrně univerzální součást.

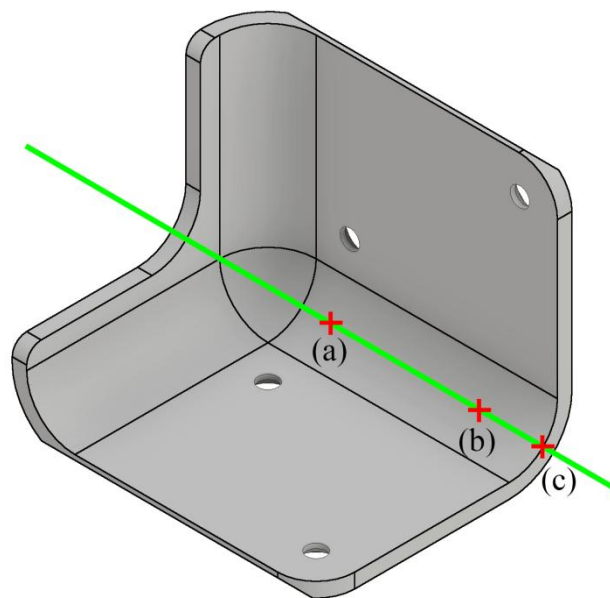


Obr. 44 Počet vyrobených kusů v závislosti na směnnosti a násobnosti formy

4.3 Návrh vtokové soustavy [9], [26], [27]

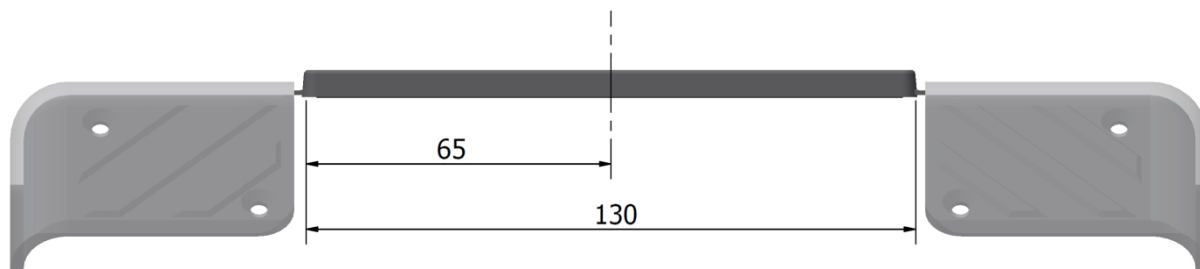
V první řadě je potřené rozhodnout mezi dvěma hlavními variantami, horkým a studeným vtokem. Výrobní série je poměrně malá, materiálové ztráty nebudou hrát velkou roli, proto se volí konstrukčně jednodušší varianta se studeným vtokem.

Při návrhu vtokové soustavy se nejdříve určí umístění vtoku a varianta vtokového ústí. Vtokové ústí by nemělo být na pohledových stranách a mělo by být co nejblíže geometrickému středu součásti. Geometrický střed součásti je poblíž rohu, z vnější pohledové strany je přístupný dobře, z vnitřní však ne, viz obrázek č. 45 (a), proto tato pozice nevyhovuje. Z důvodu poměrně špatné přístupnosti geometrického středu součásti se umístí vtokové ústí alespoň do osy symetrie součásti (na obrázku zeleně) a vybere se lépe přístupné místo. Vtokové ústí se posune od geometrického středu ke kraji součásti. Nabízejí se dvě přípustné varianty. Umístění (b) je vhodné pro banánový vtok, nebo je možné vtokové ústí navrhnout jako boční vtok (c).



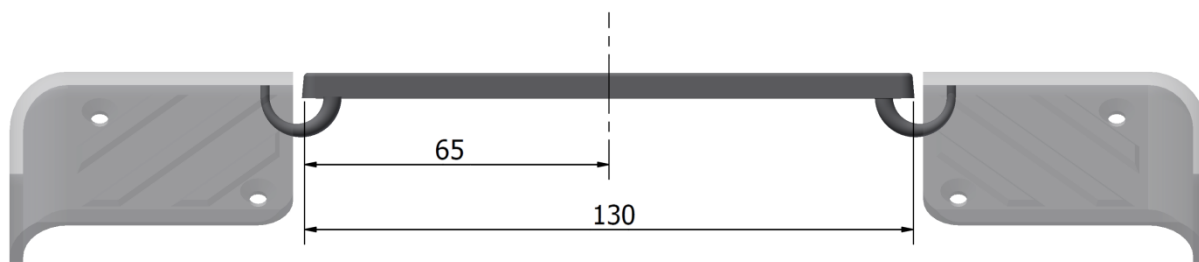
Obr. 45 Umístění vtoku

Vhodná délka rozváděcího kanálu je dle předpokladu (4.2) rovna 65 mm. Pro dvojnásobnou formu se použije zrcadlové uspořádání, celkový rozváděcí kanál tedy bude dlouhý 130 mm. Průměr rozváděcího kanálu byl vypočten dle vztahu (4.5), výsledkem je hodnota 5,62 mm. Jelikož kruhový průřez kanálku není z výrobního hlediska optimální (viz kapitola 3.2.1 Vtoková soustava), použije se lichoběžníkový průřez. Rozváděcí kanál může být obroben do tvárníku nebo tvárnice. Ta se zde jeví jako výhodnější. Na následujícím obrázku č. 46 je znázorněna konstrukčně jednodušší varianta s bočním vtokem. Nevýhodou varianty je vznik viditelné stopy na hraně součásti po odstranění vtokového ústí. Další nevýhodou je absence automatického odtržení.



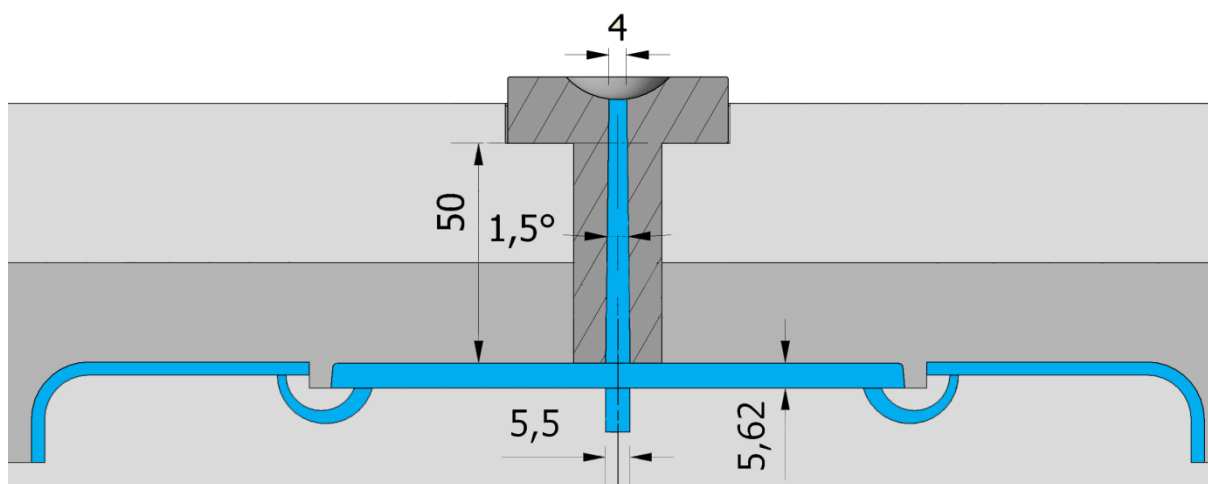
Obr. 46 Boční vtok rohové krytky

Druhá varianta (viz obrázek č. 47) je z výrobního hlediska náročnější, jelikož banánové ústí má poměrně složitý tvar. Výhodou je však úplné skrytí vtokového ústí z pohledových stran a také možnost automatického oddělování vtokové soustavy od výstřiku, proto je tato varianta výhodnější.



Obr. 47 Banánové ústí rohové krytky

K dokončení návrhu vtokové soustavy schází ještě vtokový kanál. Obrobení kužele přímo do desek je nevhodné, použije se proto vtoková vložka. Nabízených vložek je velké množství, je možné použít produkt od dodavatele Punch typu SSBBH. Zvolené rozměry a další podrobnosti jsou na následujícím obrázku. Pod vtokový kužel se obrobí prohlubeň válcového tvaru, která bude zachytávat studené čelo taveniny a zamezovat tím defektům ve výstřiku.



Obr. 48 Vtoková vložka

Nyní je možné určit přesný objem dutiny a ověřit předpoklad z předchozí kapitoly. Celý objem navržené vtokové soustavy je dle programu Autodesk Inventor 2019 5,7 cm³, potom:

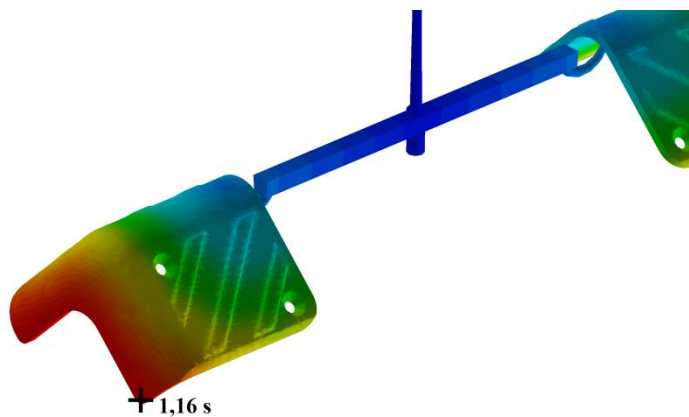
$$V_{DK} = 2 \cdot V + V_{VS} = 2 \cdot 21,1 + 5,7 = 47,9 \text{ cm}^3 \quad (4.15)$$

kde: V_{DK} - Konečný objem dutiny [cm³]

V_{VS} - Objem vtokové soustavy z Autodesk Inventor 2019 [cm³]

Vypočtená hodnota z předchozí kapitoly ($V_D = 48,64 \text{ cm}^3$) se neliší výrazně, proto jsou provedené výpočty platné.

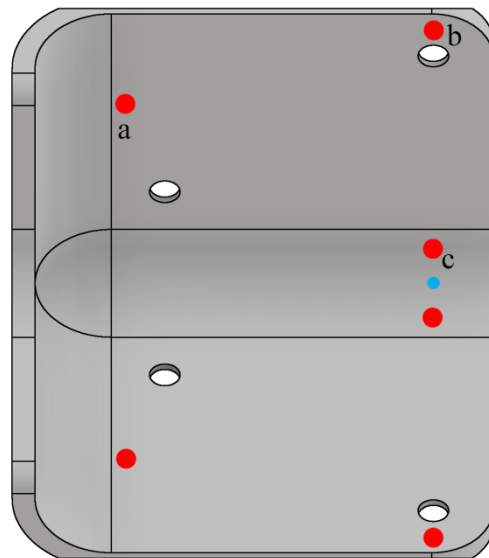
Jelikož je nyní návrh vtokového systému kompletní, je možné provést některé základní simulace vstřikování v programu Autodesk Inventor 2019. Příložený obrázek č. 49 zobrazuje časy vstřikování. Maximální čas plnění je v rohu krytky, dle simulace nabývá hodnoty 1,16 sekundy.



Obr. 49 Simulace - čas plnění

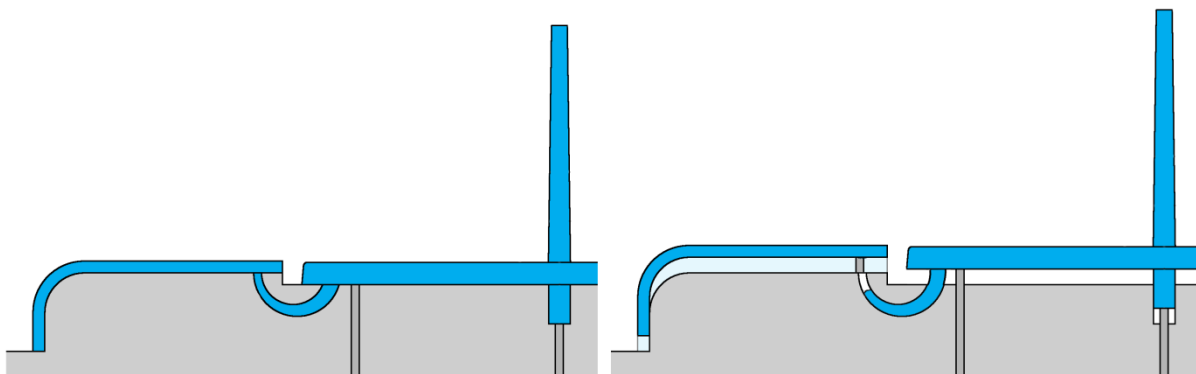
4.4 Návrh vyhazovacího systému [26], [27], [31]

Jelikož jsou v rohové krytce otvory pro šrouby, díky kterým bude výstřik po otevření formy zachycen na tvárníku, musí být navržen vhodný způsob vyhazování. Možných variant provedení je několik, vypsány jsou výše (kapitola 3.2.5 Vyhazovací systém). Zde se jako optimální jeví použití vyhazovacích kolíků, které jsou konstrukčně jednoduché a levné, pro navrhovanou rohovou krytku jsou však dostatečné. Výrobci vyhazovacích kolíků je větší množství (DME, Punch, Hasco, atd.), konstrukcí se však jednotlivé kolíky příliš neliší, důležité je jen zvolit vhodný průměr a délku kolíku. Byl zvolen typ kolíku DME AH s průměrem 2 mm o délce 200 mm. Navržené umístění kolíků je znázorněno na obrázku č. 50 červeně. Poměrně malý průměr kolíku (2 mm) byl zvolen za účelem umožnění umístění kolíku k otvoru pro šroub (pozice b). Díky takto umístěnému kolíku se rohová kryтка mírně rozevře v rámci pružných deformací a dojde k bezproblémovému vyhození, stejný účel plní i kolíky pozice (a). Na obrázku je modře znázorněno umístění vtoku, vedle něj je vhodné umístit dva vyhazovače (pozice c), aby došlo k bezproblémovému odtržení vtokového ústí při automatickém režimu.



Obr. 50 Umístění vyhazovačů

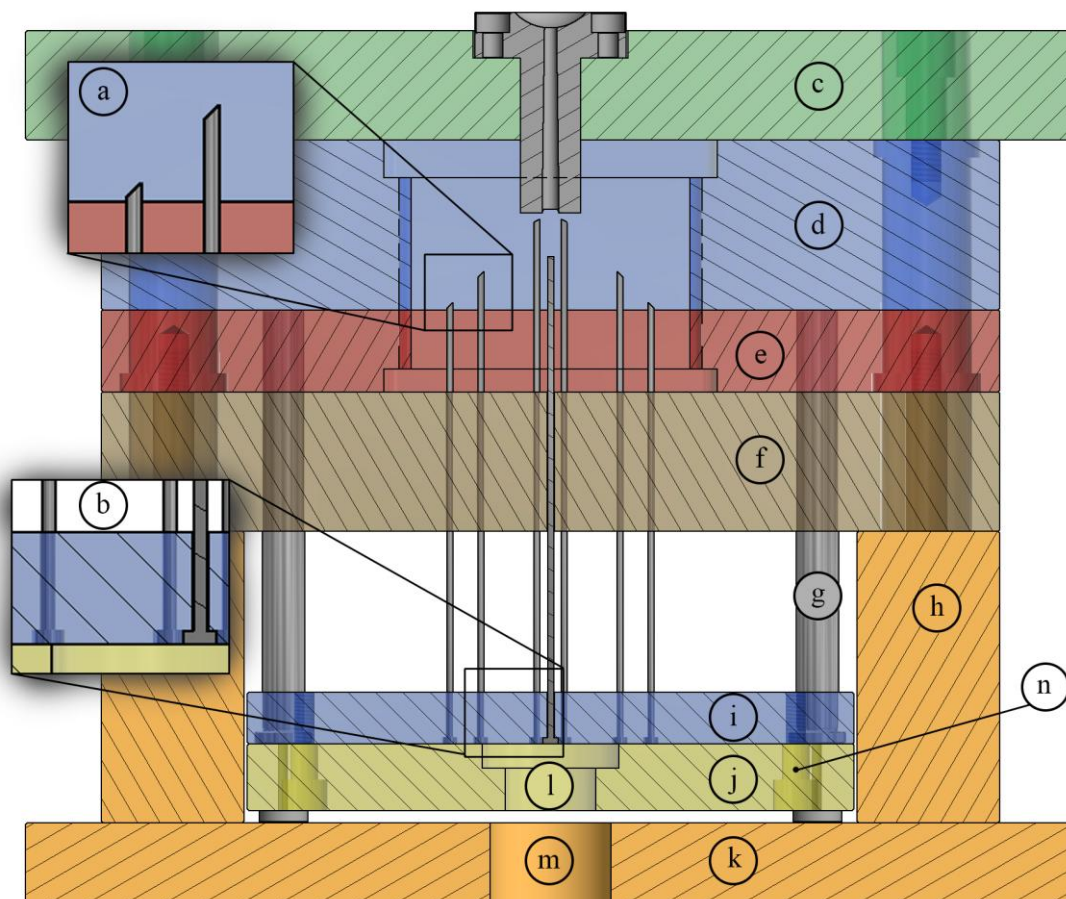
Kolíkové vyhazovače je nezbytné použít i pro vtokový kanál, byl zvolen stejný typ vyhazovače (DME AH, průměr 2 mm, délka 200 mm) jako u samotného výstřiku. Na následujícím obrázku č. 51 je znázorněna situace po otevření formy. Je zde vykreslen princip automatického odtržení a navržené umístění vyhazovacích kolíku vtokového systému. Jeden kolík je umístěn poblíž vtokového ústí, aby vytahoval banánový vtok. Druhý usnadňuje vyhození v místě prohlubně pod vtokovým kuzelem.



Obr. 51 Princip automatického odtržení vtokového ústí

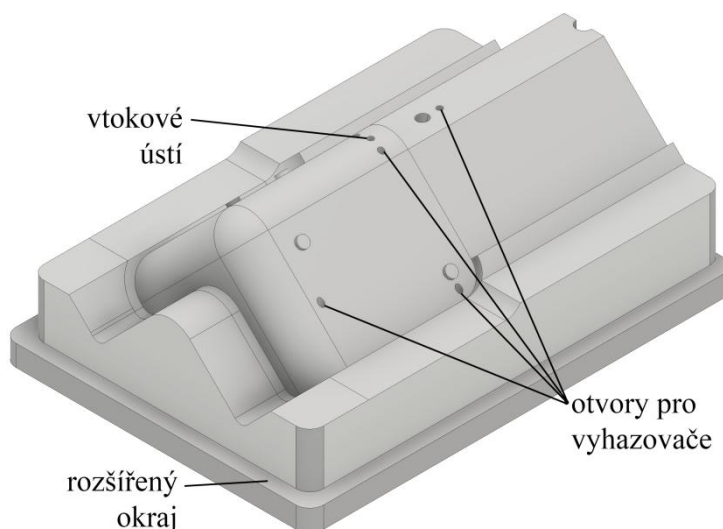
Celý navržený vyhazovací systém je znázorněn na obrázku č. 52, kde je detailně zobrazen princip zafixování vyhazovacích kolíků (b). Jednotlivé vyhazovací kolíky jsou zachyceny pomocí čtyř šroubů M8x25 (n) mezi hlavní vyhazovací deskou (j) a deskou přidržovací (i). Kolíky prochází podpěrnou deskou (f), tvarovou vložkou až do tvarové dutiny, tvarová vložka není v řezu zobrazena pro větší přehlednost. Vyhazovací kolíky budou na konci upraveny podle tvaru součásti, aby na vnitřní straně výstřiku nebyly přílišné stopy (a). Vyhazování je

umožněno pomocí kolíků (g). Otvory (l, m) umožňují spojení vyhadzovacího mechanismu stroje a vstřikovací formy. Spojení může být řešeno pomocí součásti procházející skrz pohyblivou upínací desku (k). Spojující součást (prvek) není na obrázku znázorněn. Druhou možností je otvor (l) vynechat, vyhadzovač stroje bude narážet přímo do vyhadzovací desky (j), zpětný pohyb potom budou zajišťovat kolíky (g.)



Obr. 52 Poloviční řez formy bez tvarových vložek

Stejným způsobem jako jsou zafixovány vyhadzovací kolíky (pomocí rozšířeného kraje), budou usazeny i tvarové vložky. Tvárnice část tvarové vložky bude zachycena mezi pevnou upínací deskou (c) a tvarovou deskou (d). Spodní tvarová vložka tvořící tvárník je zobrazena na obr. č. 53, kde je možné lépe vidět rozmístění vyhadzovacích kolíků a vtokového ústí. Pomocí rozšířeného okraje bude upevněna mezi podpěrnou deskou (f) a tvarovou deskou (e) pomocí čtyř šroubů M12x160, které prochází skrz rozpěru (h) a pohyblivou upínací desku (k).



Obr. 53 Výsledný návrh tvarové vložky (tvárník)

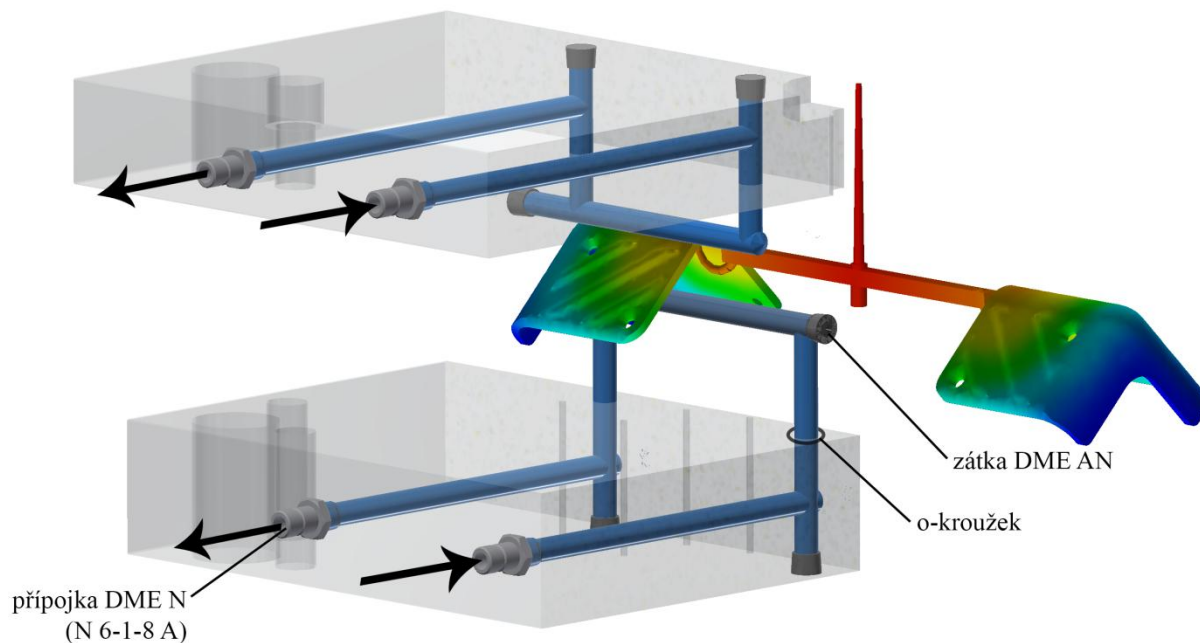
4.5 Návrh temperačního systému [9], [26], [31], [32], [40]

Temperační systém udržuje stabilní tepelný režim formy, v navrhované formě bude aktivní temperování provedeno pomocí vrtaného okruhu pro temperační médium. Konformní chlazení je příliš náročné na výrobu, proto nevyhovuje. Průměr vrtaných kanálků byl zvolen dle následující tabulky č. 10. Vypočítaná hmotnost rohové krytky je 27,85 gramů, zvolená základna formy má rozměry 296 x 396 mm, optimální průměr vrtaného kanálku je proto 8 mm.

Tab. 10 Průměr temperačních kanálků dle hmotnosti výstřiku a velikosti formy [40]

	Hmotnost výstřiku [g]								
Rám [mm]	3 až 5	5 až 8	8 až 10	10 až 15	15 až 20	20 až 30	30 až 50	50 až 100	100 až 200
160x160	6	6	8	8	8	8			
230x230	8	8	8	8	8	8	8	8	10
300x300	8	8	8	8	8	8	8	8	10
300x370		8	8	8	8	8	8	8	10
370x440			8	8	8	8	8	8	10
440x440			8	8	8	8	8	10	10

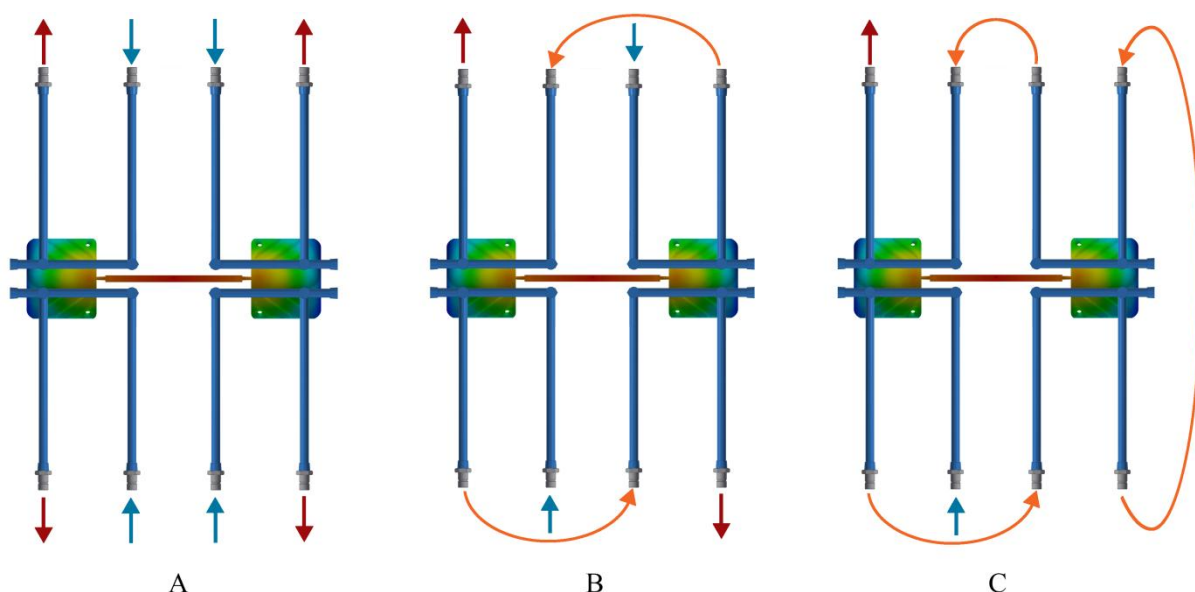
Jelikož je tvarová dutina řešena pomocí vyjímatelných tvarových vložek, musí temperační okruh procházet deskami i vložkami. Návrh je znázorněn na obrázku č. 54. Horká tavenina je znázorněna červenou barvou, postupně se ochlazuje do modré. Je vhodné, aby chladicí médium postupovalo ve směru od míst s vyšší teplotou do míst s teplotou nižší. Optimální směr je znázorněn pomocí šipek.



Obr. 54 Temperační kanály

Horní tvárniceová část (pevná část formy) je chlazena pomocí temperačního média, které vstupuje do formy skrze přípojku DME N do pevné upínací desky, následně je přivedena do tvarové vložky (na obrázku není znázorněna), dojde k tepelné výměně, a vrací se zpět skrz pevnou upínací desku. V pohyblivé části formy chladicí kapalina vstupuje skrz přípojky do podpěrné desky, jinak je princip stejný jako u pevné části formy. Mezi tvarovou vložkou a deskou jsou o-kroužky, které brání úniku chladicího média. Přebytné otvory vzniklé vrtáním jsou utěsněny pomocí zátek typu DME AN.

Na předchozím obrázku je pro přehlednost zobrazena jen jedna čtvrtina všech kanálů. Každá rohová krytka bude chlazená pomocí 4 dílčích okruhů. Celkem je tedy navrženo 8 krátkých okruhů. Ty mohou být zapojeny samostatně, viz varianta A na obrázku č. 55, který zobrazuje temperační systém pevné části formy. Varianta A nabízí nejvyšší efektivitu chlazení formy, nemusí však být nutné chladit formu pomocí osmi okruhů. Proto se nabízejí další varianty, okruhy je možné spojit do 4 okruhů (2 okruhy v pevné části formy a 2 v pohyblivé části), viz varianta B. Modrá šipka symbolizuje vstupní chladné médium, oranžová znázorňuje přepojující hadici, červená znázorňuje výstupní teplé médium. Třetí možností (varianta C) je všechny kanály pevné části formy spojit do jednoho okruhu. Nejvhodnější zapojení z uvedených variant se vybere až během zkušebního provozu vstřikovací formy, okruhy je možné kdykoli snadno přepojit dle potřeby.



Obr. 55 Varianty zapojení okruhů

4.6 Návrh odvzdušení [2], [26], [31]

Je nutné umožnit únik vzduchu v tvarové dutině formy během plnění, aby nedocházelo k defektům (například dieselův efekt). Část vzduchu unikne díky nepřesnostem ve výrobě, zbytek bude unikat pomocí odvzdušňovacích kanálků. Vhodná hloubka odvzdušňovacího kanálku pro navržený materiál (PA 6 se skleněnými vlákny) se pohybuje v rozmezí od 0,04 do 0,07 mm. Pokud by byla hloubka vyšší, mohlo by dojít k nežádoucím přetokům. Je volena optimální hodnota 0,05 mm.

Následně je potřebné určit šířku odvzdušňovacího kanálku. Ta se určí dle vypočteného průřezu a již zvolené hloubky kanálku. Pro určení průřezu je nejprve nutné provést tyto výpočty:

- Teplota stlačeného vzduchu - tlak stlačeného vzduchu se pohybuje v rozmezí 20 až 30 MPa, uvažujeme, že v dutině před plněním je běžný atmosférický tlak:

$$T_2 = T_1 \cdot \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{k-1}{k}} = 293,15 \cdot \left(\frac{25}{0,1}\right)^{\frac{1,4-1}{1,4}} = 1419,8 \text{ K} \quad (4.16)$$

kde: T_1 - teplota okolí [K]

p_1 - tlak vzduchu v dutině před plněním [MPa]

p_2 - tlak stlačeného vzduchu taveninou, zvoleno 25 [MPa]

k - teplotní koeficient, pro vzduch 1,4 [-]

- Hmotnost vzduchu v tvarové dutině - pro výpočet se použije konečný objem dutiny (4.15) a hustota vzduchu při pokojové teplotě:

$$G_{vz} = V_{DK} \cdot \rho_{vz} = 47,9 \cdot 10^{-6} \cdot 1,2 = 5,748 \cdot 10^{-5} \text{ kg} \quad (4.17)$$

kde: ρ_{vz} - hustota vzduchu [kg/m^3]

- Celkový průřez odvodu:

$$S_{odvz} = 2,5 \cdot G_{vz} \cdot \frac{\sqrt{T_2}}{p_1 \cdot t_v} = 2,5 \cdot 5,745 \cdot 10^{-5} \cdot \frac{\sqrt{1419,8}}{0,1 \cdot 10^6 \cdot 1} \quad (4.18)$$

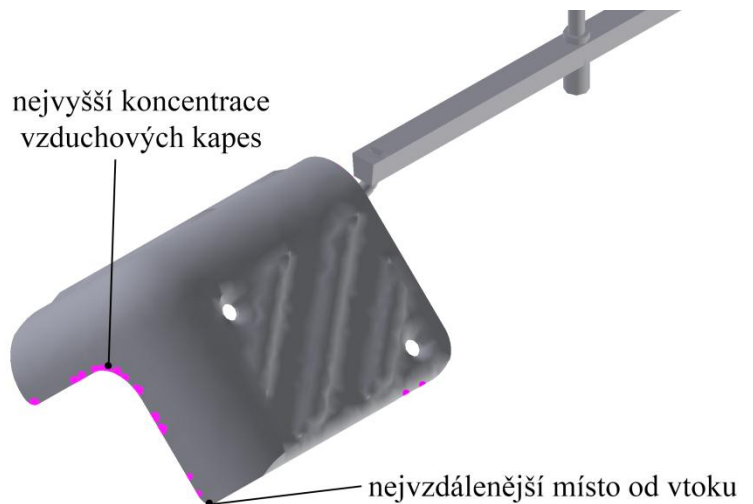
$$S_{odvz} = 5,415 \cdot 10^{-8} \text{ m}^2$$

- Celková šířka odvodu:

$$h_{odvz} = \frac{S_{odvz}}{v_{odvz}} = \frac{5,415 \cdot 10^{-8} \cdot 10^6}{0,05} = 1,083 \text{ mm} \quad (4.19)$$

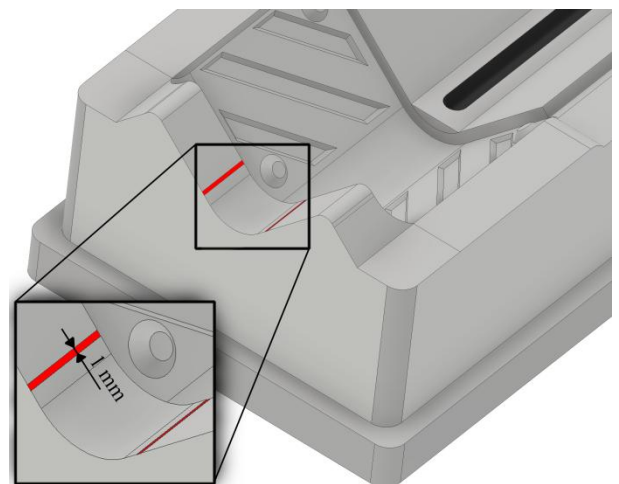
kde: v_{odvz} - hloubka odvodu, zvoleno dle materiálu [mm]

Teoreticky by odvodňovací kanálky měly být v nejvzdálenějším místě od vtokového ústí a ve slepých místech. Z tohoto hlediska by se jako optimální jevily rohy krytky, viz obrázek č. 56. Nabízelo by se tedy navrhnout odvodňovací kanály vedoucí z rohů, pak by bylo odvodu provedeno pomocí dvou 2 kanálků pro každou krytku. K určení vhodného umístění je také možné použít výsledky simulace z programu Autodesk Inventor 2019, tyto výsledky analýzy jsou též znázorněny na přiloženém obrázku, růžově jsou zvýrazněny rizikové vzduchové kapsy. Dle simulace je nejvyšší koncentrace stlačeného vzduchu v záhybu na přední straně rohové krytky. Druhou variantou je tedy navrhnout kanál v tomto záhybu.



Obr. 56 Analýza vzduchových kapes

Z výrobního hlediska nevyhovuje ani jedna zmíněná varianta, obrábět 0,05 mm hluboký žlábek do výrazně zahnutého profilu není vhodné. Proto se odvodňovací kanálky umístí mezi tyto dvě navržené varianty. Optimální pozice je znázorněna červeně na obrázku č. 57. Přebytný vzduch bude vyveden mimo tvarovou vložku a projde skrz tvarovou desku mimo formu. Pro tento účel mohou být do desky vyvrtány otvory v potřebném místě. Celková šířka všech 4 kanálků má být dle výpočtu alespoň 1,1 mm, to je 0,28 mm na jeden kanálek. Konečné žláby však budou široké 1 mm pro zvýšení spolehlivosti.

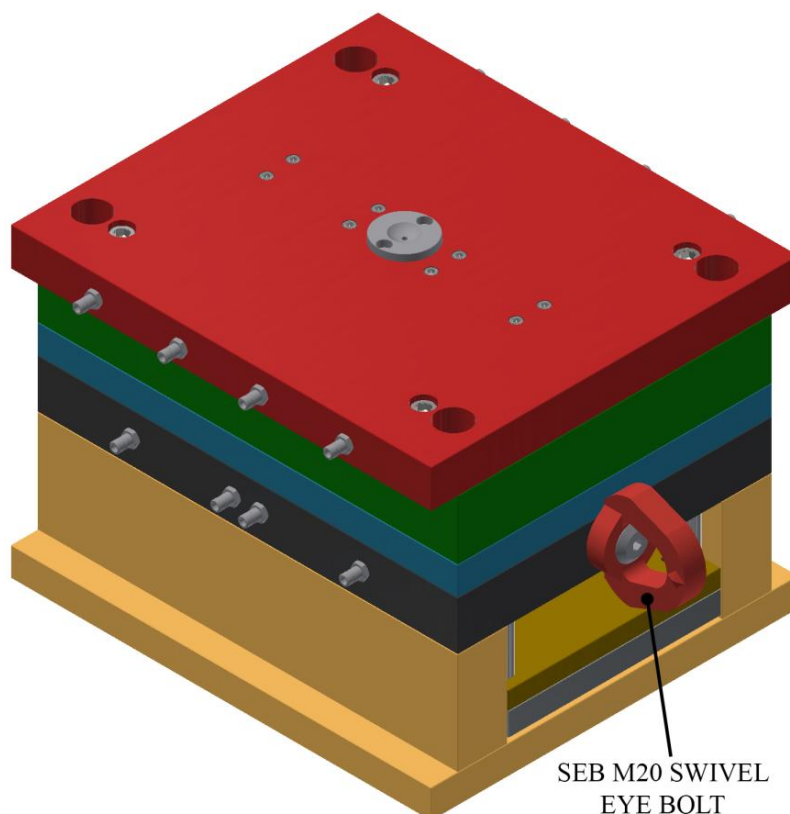


Obr. 57 Navržené odvodu

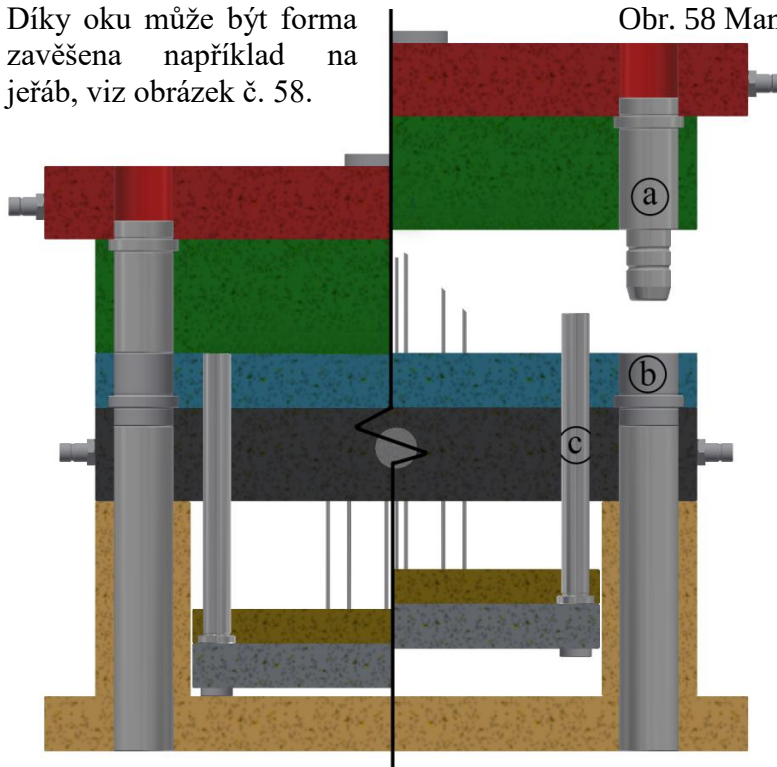
4.7 Ostatní prvky formy [1], [38], [41]

Kromě již navrhnutých hlavních systémů formy je vhodné zmínit ještě vedlejší prvky zajišťující bezproblémovost provozu.

V první řadě se jedná o manipulační oko, které usnadňuje transportování formy, která je těžká a poměrně drahá. Bylo zvoleno oko od výrobce DME s názvem Swivel Eye Bolt s metrickým závitem M20. Nosnost oka je 1000 kg, hmotnost celé formy je dle programu Autodesk Inventor 2019 přibližně 220 Kg, jeho volba je proto správná. Oko je umístěno přibližně v místě těžiště formy pro zlepšení manipulace. Díky oku může být forma zavěšena například na jeřáb, viz obrázek č. 58.



Obr. 58 Manipulační oko



Obr. 59 Vodící prvky

Dále jsou ve formě pomocné vodící prvky. Jedná se o vodící kolíky, viz obrázek č. 59, pozice (a), které společně s vodícími pouzdry (b), zajišťují správné dovírání formy. Jedná se o středící elementy, je díky nim zamezeno deformaci tvarové dutiny. Vodící kolík je zajištěn mezi pevnou upínací deskou a tvarovou deskou stejně jako tvarová vložka, stejným způsobem je umístěno i vodící pouzdro. Zpětný kolík (c) umožňuje správné vedení vyhazovací desky a vrací vyhazovače při zavření formy.

Na závěr návrhu formy je důležité zmínit, že tvarová dutina musí být zvětšena o velikost smrštění, aby bylo dosaženo požadovaných rozměrů. Dle materiálového listu, viz příloha č. 1, je velikost smrštění rovno 1% v kolmém směru na tok taveniny a 0,4% v podélném směru. Všechny rozměry dutiny jsou proto zvýšeny o střední hodnotu, tedy o 0,7%.

4.8 Volba vstřikovacího stroje [9], [31], [40], [42], [43]

Jelikož je nyní návrh vstřikovací formy kompletní, provede se volba vhodného vstřikovacího stroje. Pro volbu je nutné provést následující výpočty:

- Minimální vstřikovací kapacita - jedná se o objemové množství taveniny, které je stroj schopný vstříknout do tvarové dutiny formy, musí být vyšší, než je objem tvarové dutiny:

$$c_v \geq 1,2 \cdot V_{DK} = 1,2 \cdot 47,9 = 57,48 \text{ cm}^3 \quad (4.20)$$

- Plastikační kapacita - jedná se o potřebné množství taveniny, kterou stroj musí připravit (homogenizovat) za jednu hodinu:

$$c_p = \frac{4 \cdot \rho \cdot V_{DK}}{t_c} = \frac{4 \cdot 1,320 \cdot 47,9}{25,5} = 9,92 \text{ kg} \cdot \text{h}^{-1} \quad (4.21)$$

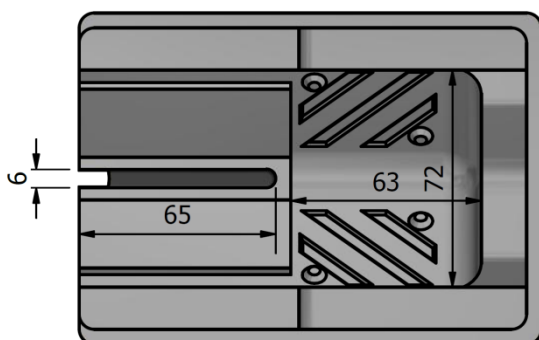
- Plocha průměru tvarové dutiny do dělicí roviny - zjednodušeně se vypočte dle přiloženého obrázku č. 60:

$$S_{prmt} = 2 \cdot (L_K \cdot D_K + L_{souč} \cdot \check{S}_{prmt}) = 2 \cdot (65 \cdot 6 + 63 \cdot 72) \quad (4.22)$$

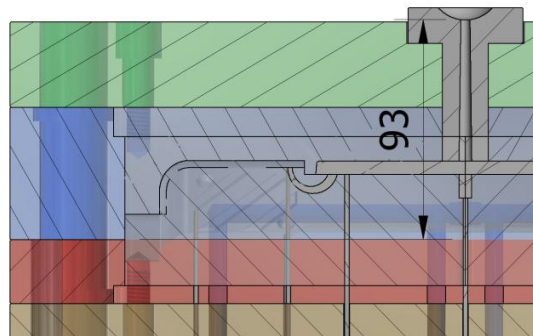
$$S_{prmt} = 9852 \text{ mm}^2 = 98,52 \text{ cm}^2$$

kde: $L_{souč}$ - délka součásti, viz obrázek 60 [mm]

$\check{S}_{prmt}$ - šířka součásti v průměru, viz obrázek 60 [mm]



Obr. 60 Rozměry průmětu do dělicí roviny



Obr. 61 Zdvih otevíření

- Tvářecí tlak:

$$p_A = \frac{p_v}{2} + 100 = \frac{1400}{2} + 100 = 800 \text{ bar} \quad (4.23)$$

kde: p_v - vstřikovací tlak, pro výpočet byla zvolena maximální hodnota uvedená v příloze č. 2 pro materiál PA 6 se skleněnými vlákny [bar]

- Zdvih otevíření - minimální výška otevíření je dána vzdáleností mezi dělicí rovinou a koncem kuželového vtoku, která je rovna 93 mm, viz obrázek č. 61. K této hodnotě je nutné přičíst zdvih součásti vyhazovači h_{vyh} . Tuto vypočtenou hodnotu je vhodné zvýšit, pro zlepšení spolehlivosti:

$$h_{ot} = 93 + h_{vyh} = 93 + 25 = 118 \text{ mm} \rightarrow \text{zvoleno } 150 \text{ mm} \quad (4.24)$$

kde: h_{vyh} - minimální zdvih vyhazovače, zvoleno 25 [mm]

- Přidržovací síla:

$$F_p = S_{prmt} \cdot \frac{p_A + 100}{100} = 98,52 \cdot \frac{800 + 100}{100} = 887 \text{ kN} \quad (4.25)$$

- Optimální průměr šneku:

$$7,5 \cdot \sqrt[3]{V_{DK}} < D_s < 10,5 \cdot \sqrt[3]{V_{DK}} \quad (4.26)$$

$$7,5 \cdot \sqrt[3]{47,9} < D_s < 10,5 \cdot \sqrt[3]{47,9}$$

$$27,2 < D_s < 38,1$$

kde: D_s - optimální průměr šneku [mm]

Dle předpokladu (4.26) by se průměr šneku měl pohybovat v rozmezí od 27 mm do 38 mm. V následující tabulce jsou shrnuty vypočtené parametry vstřikovacího stroje a porovnání se zvoleným vstřikovacím strojem Arburg Allrounder 470 S:

Tab. 11 Parametry vstřikovacího stroje Arburg Allrounder 470 S [42]

Parametr:	potřebné hodnoty	Vstřikovací jednotka 170	Vstřikovací jednotka 290
Průměr šneku	27 až 38	30	35
Vstřikovací kapacita [cm ³]	57,48	85	144
Plastikační kapacita [kg/hod]	9,92	7 pro PA 6.6 (13,5 PS)	10,5 pro PA 6.6
Vstřikovací tlak [bar]	max. 1400	2000	2000
Přidržovací síla [kN]	887	1000	
Výška formy [mm]	288	min. 250	
Zdvih otevření [mm]	150	max. 462 = 750 - 288	
Prostor mezi sloupky [mm]	296 x 396	470 x 470	
Zdvih vyhazovače [mm]	min. 25	až 175	

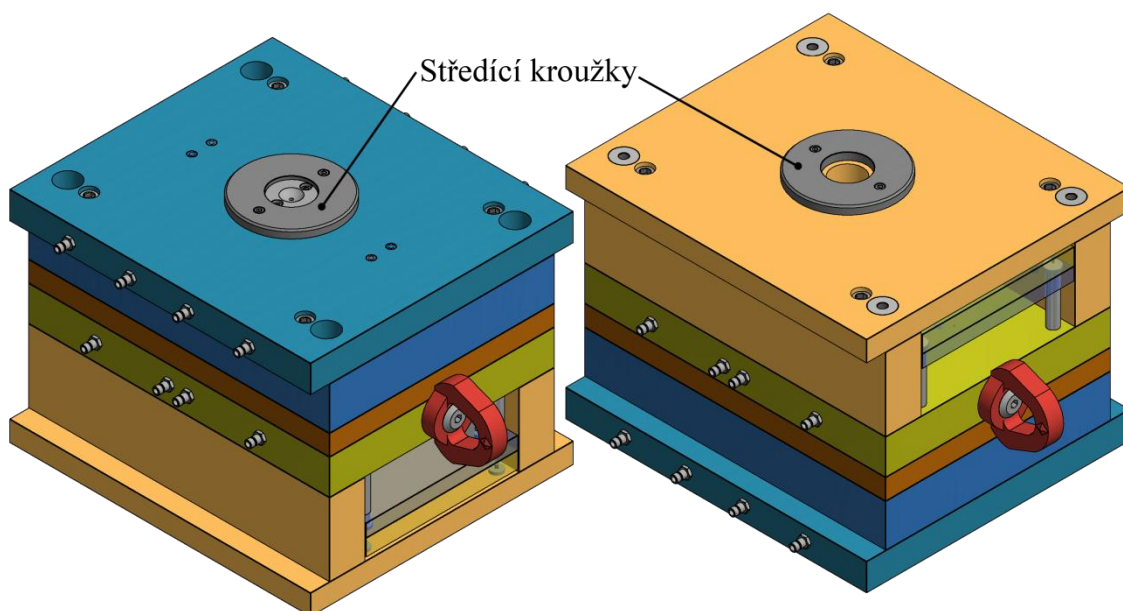
Vstřikovací stroj je nabízen s třemi variantami vstřikovací jednotky (170, 290 a 400), nejmenší z nich vyhovuje ve všech parametrech, zcela však neodpovídá plastikační kapacita. V technickém listu, viz příloha č. 3, je uvedeno, že jednotka dovede připravit max. 13,5 kg/h polystyrenu a 7 kg/hod PA 6.6. Zvolený materiál PA 6 se skleněnými je více příbuzný uvedenému PA 6.6 než polystyrenu. Plastikační kapacita by nemusela dostačovat, proto je lepší zvolit vstřikovací jednotu s označením 290 s průměrem šneku 35 mm.



Obr. 62 Zvolený vstřikovací stroj ARBURG Allrounder 470 S [43]

V technickém listu (příloha č. 3) je uveden maximální zdvih otevření 500 mm při výšce formy 250 mm, pro navrženou formu o výšce 288 mm proto bude maximální zdvih 462 mm, tato hodnota vyhovuje se značnou rezervou.

Pro zajištění správného umístění formy ve vstřikovací stroji bude forma opatřena středícími kroužky. V technickém listu stroje Arburg Allrounder 470 S je náčrt, z kterého vyplývá, že vhodné středící kroužky mají mít průměr 125 mm. Jako optimální se proto jeví kroužky typu Rabourdin 617 o průměru 125 mm, které budou zajištěny pomocí dvou šroubů M6 x 16. Středící kroužek se umístí na každou stranu formy, viz obrázek č. 63.

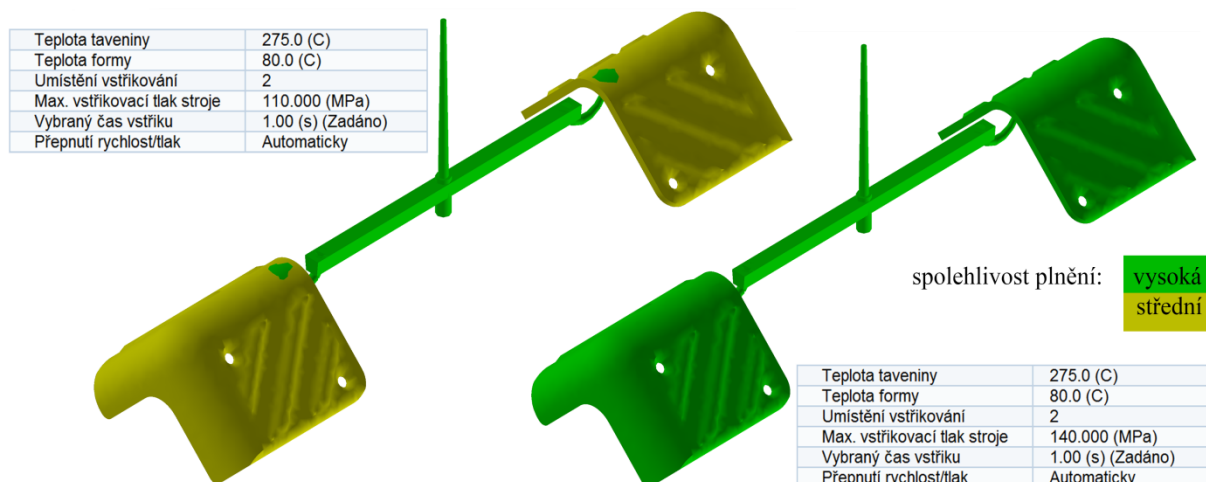


Obr. 63 Umístění středících kroužků

4.9 Simulace [1]

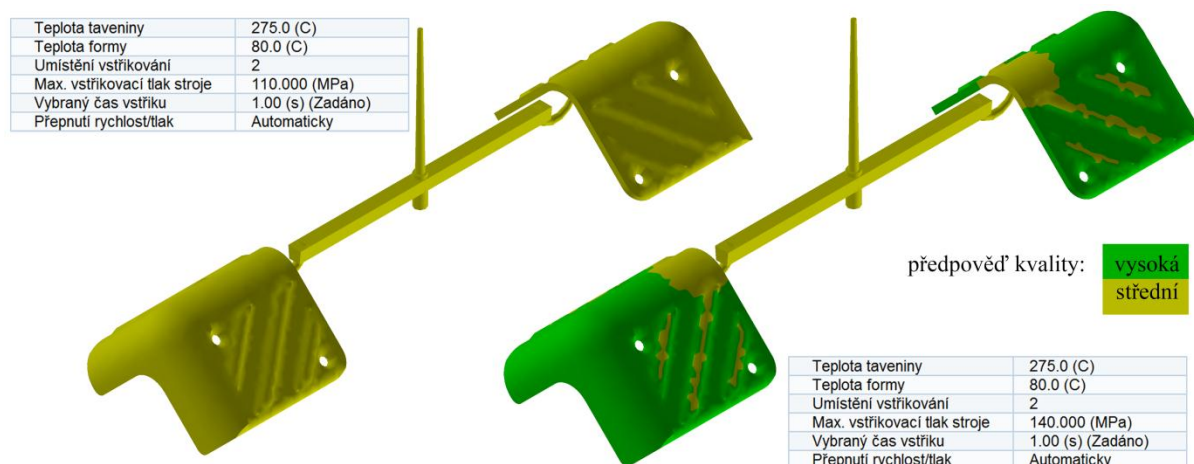
Některé výsledky simulační analýzy byly použity již při návrhu odvodu, kdy byl zvolen kompromis mezi místem s největším časem plnění (viz obrázek č. 49) a místem s vysokou koncentrací vzduchových kapes (obrázek č. 56).

Dosud nebyl určen vhodný vstřikovací tlak, pro PA 6 se skleněnými vlákny je udáváno rozmezí 800 až 1400 bar, viz příloha č. 2. Při volbě vstřikovacího stroje bylo počítáno s limitní hodnotou 1400 bar. Následující simulace programu Autodesk Inventor 2019 ukazuje rozdíl spolehlivosti plnění při vstřikovacím tlaku 110 MPa (1100 bar) a 140 MPa (1400 bar), viz obrázek č. 64, v příložených tabulkách jsou nastavené parametry simulace.



Obr. 64 Simulace Autodesk Inventor 2019 - Spolehlivost plnění

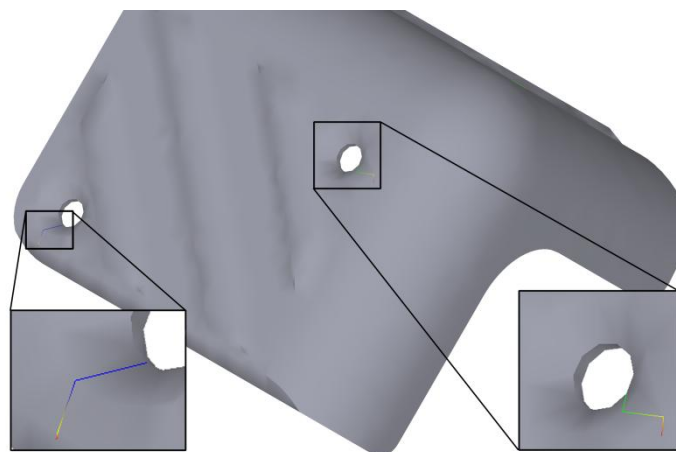
Dle simulační analýzy je dosaženo střední spolehlivosti plnění téměř po celé součásti při vstřikovacím tlaku 110 MPa. Zvýšíme-li tlak na limitní hodnotu 140 MPa, je spolehlivost plnění vysoká v celé součásti. Stejným způsobem je provedena i simulace předpovědi kvality, viz obrázek č. 65. Je taktéž zkoumán rozdíl výsledků simulace při plnění tlaku 110 MPa a 140 MPa.



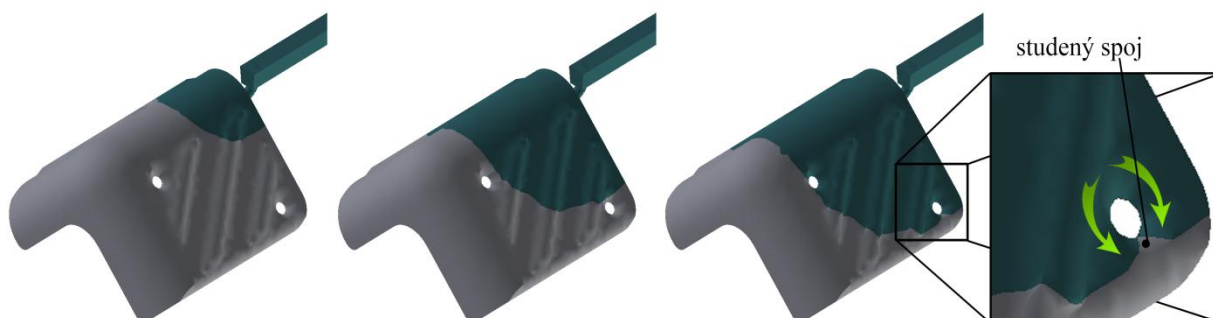
Obr. 65 Simulace Autodesk Inventor 2019 - Předpověď kvality

Výsledky analýzy předpovědi kvality jsou podobné simulaci spolehlivosti plnění. Při plnění tlaku 110 MPa je dle simulace dosaženo střední kvality, při zvýšení tlaku na 140 MPa je dosaženo vysoké kvality téměř po celé součásti. Na základě této simulační analýzy lze navrhnout vstřikovací tlak blízký se limitní hodnotě 140 MPa.

Dále je možné pomocí simulace odhalit v součásti oblasti, které mohou být náchylné na vznik studených spojů. Studené spoje se dle analýzy mohou objevovat u otvorů pro šrouby. Výsledky simulační analýzy Linie roztavení jsou na obrázku č. 66. Tyto výsledky odpovídají známým teoretickým předpokladům, tavenina obtékající budoucí otvor pro šroub je rozdělena na dva proudy, studený spoj pak vzniká v místě, kde se proudy znovu spojí.

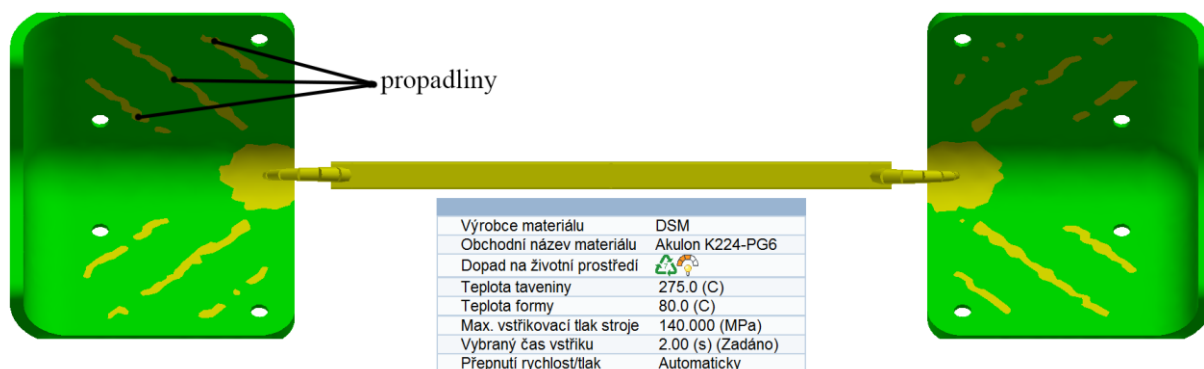


Obr. 66 Simulace Autodesk Inventor - Linie roztavení



Obr. 67 Simulace Autodesk Inventor 2019 - Proudění plastu

Tyto hypotézy dokazuje i simulace proudění plastu, její částečné výsledky jsou znázorněny na obrázku č. 67. Zvýrazněna je oblast v okamžiku obtékání otvoru, kdy je proud rozdělen a vzniká potenciál studeného spoje. Také je možno pozorovat, že studený spoj se objevuje na opačné straně od přítoku taveniny.



Obr. 68 Místa vzniku propadlin

Pozorujeme-li výsledky simulace předpovědi kvality ze spodní strany, je možné si všimnout, že v místech zesílené tloušťky stěny je předpovídaná kvalita nižší, to může znamenat vznik menších propadlin, viz obrázek č. 68. Tyto propadliny však budou z vnitřní strany, z estetického hlediska proto nepředstavují problém.

5 TECHNICKO - EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ [9], [44], [45], [47]

Každý vytvořený návrh je důležité zhodnotit z technicko - ekonomického hlediska. Nebylo bohužel možné dohledat větší množství potřebných cen produktů, jelikož firmy obvykle tyto údaje nezveřejňují. Výpočty v této kapitole jsou proto jen orientační. Některé zjištěné ceny jsou uvedeny v eurech, pro výpočty se použije kurz ČNB ke dni 11. 6. 2020, ten je roven 26,68 Kč za 1 €.

Prvním potřebným údajem je cena zvoleného materiálu od výrobce DSM s obchodním názvem Akulon K224-PG6. Informace o cenách bohužel nejsou na stránkách firmy (TER HELL Plastic GmbH), z kterých byl výběr proveden, volně k dispozici, proto se pro výpočet použije průměrná cena PA 6. Následující graf (obrázek č. 68) ukazuje vývoj ceny Polyamidu 6 za posledních 10 let, ta se pohybuje okolo 2,5 € za jeden kilogram. Tato hodnota se použije pro výpočty, v přepočtu je cena PA 6 rovna 66,7 Kč za kilogram.



Obr. 69 Vývoj ceny PA 6 ve střední Evropě [46]

Dalším potřebným údajem je cena vstřikovacího stroje Arburg Allrounder 470 S, tuto informaci se bohužel také nepodařilo získat, pro výpočet se použije odhadnutá cena 800 000 Kč. V následující tabulce č. 12 jsou shrnuty vstupní hodnoty pro výpočty:

Tab. 12 Číselné hodnoty pro technicko - ekonomické zhodnocení:

	Označení	Hodnota
Velikost série	N	52 000 ks
Hmotnost výstřiku	G	27,85 g
Hmotnost celého vtokového zbytku	G_{zb}	7,524 g
Délka vstřikovacího cyklu	t_c	25,5
Cena materiálu	C_{PA6}	66,7 Kč/kg
Cena stroje - odhad	C_{str}	800 000 Kč
Provoz stroje - zvoleno	N_{prov}	200 Kč/h
Doba odpisu stroje - zvoleno	D_o	6 let

Určení přesné ceny vstřikovací formy je bohužel rovněž náročné. Byla zvolena základna formy od výrobce DME, ten ceny zveřejňuje jen registrovaným firmám. Pro zjištění přibližné ceny komponentů se použijí stránky firmy Meusburger Georg GmbH, která nabízí velmi podobné řešení forem a ceny svých produktů zveřejňuje. V následující tabulce č. 13 jsou zjištěné ceny jednotlivých komponentů.

Tab. 13 Ceny komponentů základny vstřikovací formy [47]

Součást	Číslo materiálu	Cena v €	Cena v Kč
Upínací deska 346x396x35	1.2312	368	9 818
Tvarová deska 296x396x55	1.2312	428	11 419
Tvarová deska 296x396x26	1.2312	288	7 684
Podpěrná deska 296x396x46	1.2312	363	9 685
2x Rozpěra s výškou 96 mm	1.1730	2x 169	9 018
Upínací deska 346x396x26	1.2312	323	8 618
Ostatní: vodící sloupky, pouzdra, vyhazovací deska, šrouby	-	460	12 272
Celkem	-	2568	68 514

Celková cena základních komponentů je tedy přibližně 70 000 Kč, k této ceně je nutné přičíst náklady na vyhazovací kolíky, komponenty temperačního systému (přípojky, záslepky), náklady na konstrukční návrh formy, úpravu komponent (vrtání temperačních kanálků, frézování pouzder pro tvarové vložky), výrobu samotných tvarových vložek a další. Přesnější výpočet velikosti těchto položek by byl velmi náročný a zdoluhavý, proto se použije odhadnutá částka 120 000 Kč. Pro porovnání horkého a studeného vtoku budeme uvažovat, že forma s horkým vtokem je o 30% dražší:

- Celkové náklady na formu se studeným vtokem:

$$C_{\text{celk1}} = C_{\text{kmp}} + 120\,000 = 70\,000 + 120\,000 = 190\,000 \text{ Kč} \quad (5.1)$$

kde: C_{kmp} - cena základních komponentů [Kč]

- Celkové náklady na formu s horkým vtokem:

$$C_{\text{celk2}} = 1,3 \cdot C_{\text{celk1}} = 247\,000 \text{ Kč} \quad (5.2)$$

První částí technicko - ekonomického zhodnocení je porovnání varianty s horkým a studeným vtokem. Bude uvažováno, že náklady spojené s provozem formy jsou stejné u obou variant. Porovnání tedy bude založeno jen na rozdílné ceně forem a materiálových ztrátách:

- Studený vtok - cena materiálu při dané výrobní sérii:

$$C_{\text{mat1}} = N \cdot \left(G + \frac{G_{\text{zb}}}{2} \right) \cdot C_{\text{PA6}} = 52\,000 \cdot \left(27,85 + \frac{7,5}{2} \right) \cdot \frac{66,7}{1000} \quad (5.3)$$

$$C_{\text{mat1}} = 109\,601 \text{ Kč}$$

- Horký vtok - cena materiálu při dané výrobní sérii:

$$C_{\text{mat2}} = N \cdot G \cdot C_{\text{PA6}} = 52\,000 \cdot 27,85 \cdot \frac{66,7}{1000} \quad (5.4)$$

$$C_{\text{mat2}} = 96\,594 \text{ Kč}$$

- Náklady na formu a materiál - studený vtok:

$$C_{\text{fm1}} = C_{\text{celk1}} + C_{\text{mat1}} = 190\,000 + 109\,601 = 299\,601 \text{ Kč} \quad (5.5)$$

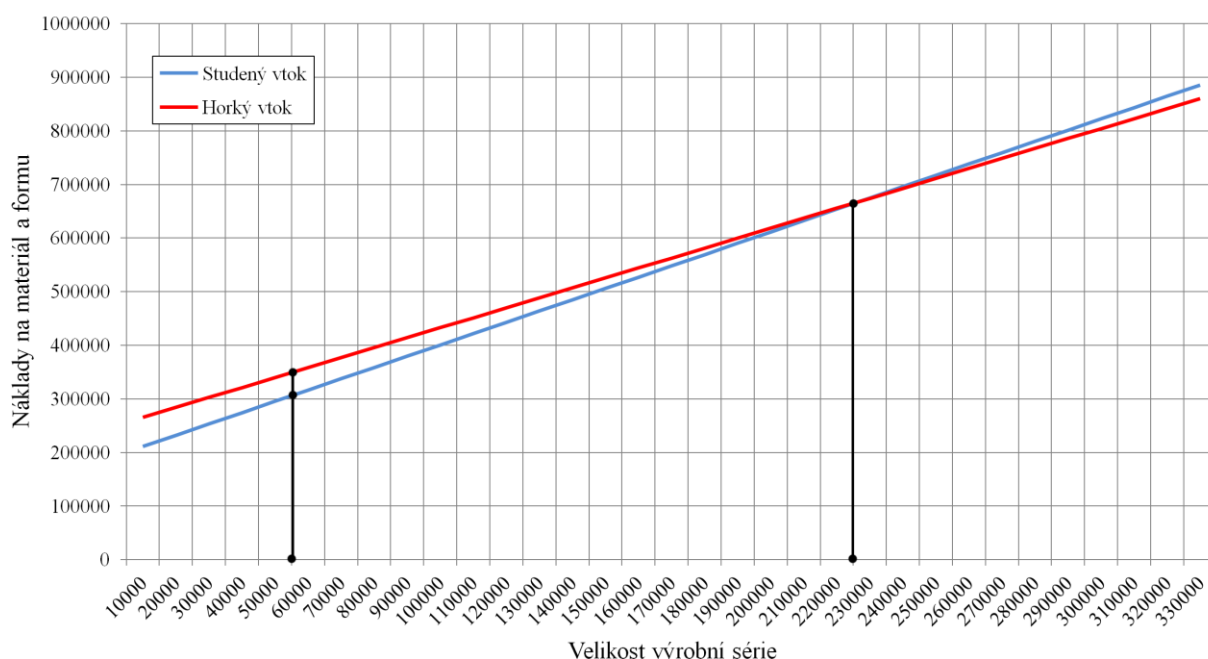
- Náklady na formu a materiál - horký vtok:

$$C_{\text{fm2}} = C_{\text{celk2}} + C_{\text{mat2}} = 247\,000 + 96\,594 = 343\,594 \text{ Kč} \quad (5.6)$$

- Rozdíl mezi horkým a studeným vtokem při dané sérii:

$$C_{\text{rzd}} = C_{\text{fm2}} - C_{\text{fm1}} = 343\,594 - 299\,601 = 43\,993 \text{ Kč} \quad (5.7)$$

Náklady na formu a materiál jsou při dané výrobní sérii při variantě se studeným vtokem značně nižší, proto můžeme její volbu prohlásit za vhodnou. Do výpočtu by mohly být zahrnuty i další faktory jako například: cena recyklovaných vtokových zbytků, životnost formy nebo náklady spojené s údržbou formy. Pak by byl rozdíl ještě o něco vyšší. Výpočet je však zjednodušen kvůli nedostupnosti přesných cenových údajů. Na následujícím obrázku č. 70 je znázorněna závislost nákladů na materiál a formu vzhledem k velikosti výrobní série. Varianta formy s horkým vtokem by mohla být výhodnější až od výrobní série o velikosti přibližně 220 000 kusů.



Obr. 70 Náklady na materiál a formy vzhledem k velikosti výrobní série

Druhou částí technicko - ekonomického hodnocení je přibližný výpočet celkových výrobních nákladů součásti a její ceny:

- Amortizace vstřikovacího stroje:

$$N_{\text{amrt}} = \frac{C_{\text{str}}}{T_{\text{fr}} \cdot D_o} = \frac{800\,000}{6000 \cdot 6} = 22,22 \text{ Kč/h} \quad (5.8)$$

kde: C_{str} - Cena stroje, viz tabulka č. 12 [Kč]
 T_{fr} - Využitelný časový fond za rok, zvoleno 6000 [h]
 D_o - Doba odpisu stroje, viz tabulka č. 12 [roky]

- Celkový čas produkce stroje:

$$T_{\text{prods}} = \frac{N \cdot t_c}{n_t \cdot K \cdot 3600} = \frac{52\,000 \cdot 25,5}{2 \cdot 0,7 \cdot 3600} = 263,1 \text{ h} \quad (5.9)$$

- Celkové náklady na činnost stroje pro výrobu 52 000 kusů:

$$N_{\text{str}} = T_{\text{prods}} \cdot (N_{\text{prov}} + N_{\text{amrt}}) = 263,1 \cdot (200 + 22,22) = 58\,466 \text{ Kč} \quad (5.10)$$

- Náklady na mzdu operátora:

$$N_{\text{op}} = \frac{T_{\text{prods}} \cdot N_{\text{mzda}}}{N_{\text{vstrj}}} = \frac{263,1 \cdot 140}{2} = 18\,417 \text{ Kč} \quad (5.11)$$

kde: N_{mzda} - hrubá mzda operátora, zvoleno 140 [Kč/h]
 N_{vstrj} - počet strojů při vícestrojové obsluze, zvoleno 2 [-]

- Celkové náklady na výrobní sérii:

$$N_c = C_{fm1} + N_{str} + N_{op} + N_o = 299\,601 + 58\,466 + 18\,417 + 35\,000 \quad (5.12)$$

$$N_c = 411\,484 \text{ Kč}$$

kde: N_o - ostatní náklady (např.: organizace a řízení firmy, uskladnění materiálu), odhadnuto 35 000 [Kč]

- Náklady na výrobu jedné krytky:

$$N_{kryt} = \frac{N_c}{N} = \frac{411\,484}{52\,000} = 7,9 \text{ Kč} \quad (5.13)$$

- Cena krytky bez DPH:

$$C_{kryt} = N_{kryt} \cdot Z = 7,9 \cdot 1,39 = 11 \text{ Kč} \quad (5.14)$$

kde: Z - požadovaný zisk, zvoleno 39% [-]

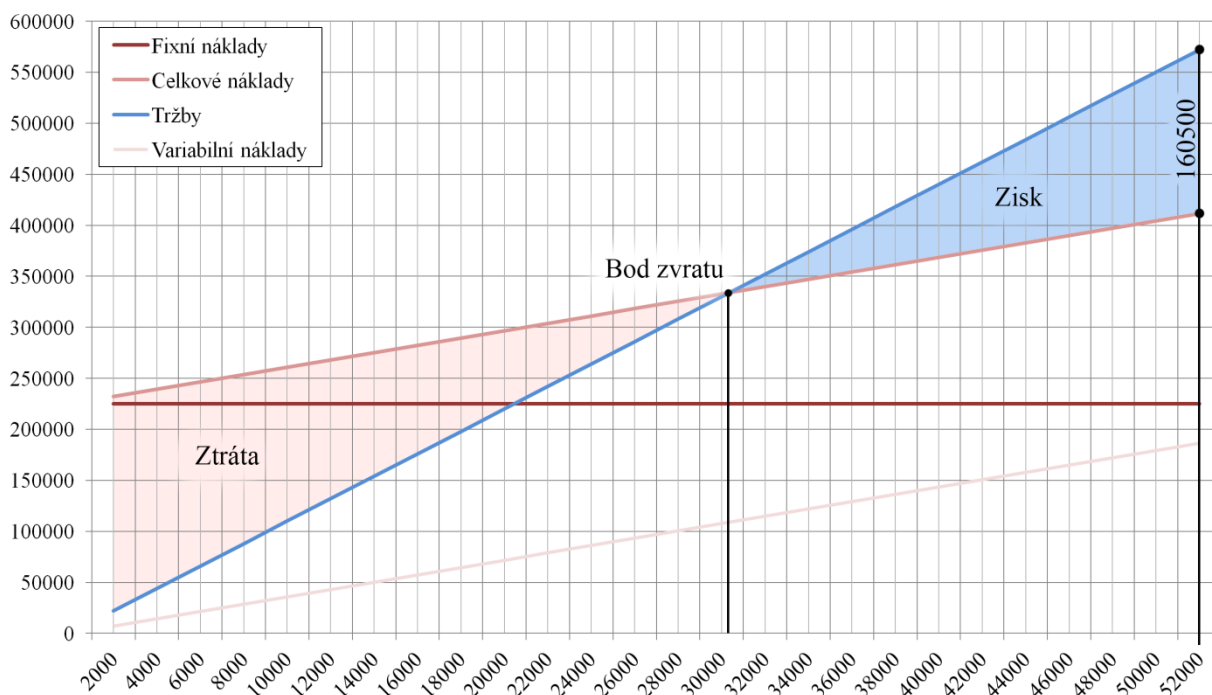
Poslední částí technicko - ekonomického hodnocení je určení bodu zvratu, tedy velikosti produkce, při které se zaplatí náklady a začne se generovat zisk. Celkové náklady se rozdělí na fixní a variabilní. Fixní náklady nejsou závislé na velikosti výrobní série, v tomto případě se bude jednat o náklady na formu a ostatní náklady. Variabilními jsou: náklady na materiál, náklady na činnost stroje a náklady na mzdu operátora. Bod zvratu je vyjádřen graficky na následujícím obrázku č. 71, dle předpokladu:

$$V_{nkld} = \frac{N_{str} + N_{op} + C_{mat1}}{N} = \frac{58\,466 + 18\,417 + 109\,601}{52\,000} = 3,59 \text{ Kč/ks} \quad (5.15)$$

kde: V_{nkld} - Variabilní náklady [Kč/ks]

$$B_{zvrt} = \frac{C_{celk1} + N_o}{C_{kryt} - V_{nkld}} = \frac{190\,000 + 35\,000}{11 - 3,59} = 30\,364 \text{ ks} \quad (5.16)$$

kde: B_{zvrt} - Objem produkce bodu zvratu [ks]



Obr. 71 Bod zvratu

Dle výpočtů jsou tržby vyšší než celkové náklady od série o velikosti 30 tisíc kusů. Při očekávané velikosti produkce 52 tisíc kusů je zisk roven 160 500 Kč. Fixní náklady tvoří poměrně velkou část, jelikož forma je drahé zařízení a výrobní série je relativně malá.

6 ZÁVĚRY

Řešenou součástí je rohová krytka reproboxu, které má být vyrobeno 52 000 během 3 měsíců. Pro výrobu krytky byla zvolena technologie vstřikování plastů. S ohledem na mechanické namáhání součásti byl zvolen houževnatý materiál PA 6 obsahující 30% skleněných vláken s obchodním názvem Akulon K224-PG6 od výrobce DSM.

Dle velikosti série a vypočtené doby vstřikovacího cyklu, která je rovna 26 sekundám, byla zvolena dvoudesková dvojnásobná forma se studeným vtokovým systémem. Tvarovou dutinu tvoří tvarové vložky, které jsou upevněny mezi deskami formy. Vtok je řešen pomocí banánového ústí, které je zavedeno mimo pohledové strany součásti a je umožněno automatické odtržení vtokového zbytku. Vyhazování součásti a vtokové soustavy je realizováno pomocí vyhazovacích kolíků, kterých je celkem 15. Temperování formy je řešeno pomocí klasických vrtaných okruhů, navrženo je celkem 8 krátkých okruhů, které však mohou být snadno spojeny jen do čtyř nebo dvou okruhů dle potřeby. Odvzdušení bylo navrženo pomocí simulační analýzy a výpočtů. Výsledné čtyři odvzdušňovací kanálky jsou hluboké 0,05 mm a široké 1 mm. Manipulace formy o hmotnosti přibližně 220 Kg je usnadněna pomocí manipulačního oka od výrobce DME.

Dle vypočtených parametrů (vstřikovací kapacita, plastikační kapacita atd.) byl zvolen vstřikovací stroj Arburg Allrounder 470 S, který se jeví jako optimální. Následně byly provedeny simulace v programu Autodesk Inventor 20019, dle výsledků analýzy je vhodná hodnota vstřikovacího tlaku přibližně rovna 140 Mpa. Kromě toho byly zjištěny rizika studených spojů a propadlin.

V poslední části je celý návrh zhodnocen z technicko - ekonomického hlediska. Jelikož nebylo možné zjistit přesné cenové údaje, je hodnocení jen orientační. Dle odhadnutých předpokladů byla ověřena volba studené vtokové soustavy a určena cena rohové krytky, která je rovna 11 Kč bez DPH. Při výrobě dané velikosti série je zisk roven 160 500 Kč, rohových krytek však může být vyrobeno více, jelikož se jedná o univerzální součást.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ [48]

1. ZEMAN, Lubomír. *Vstřikování plastů: úvod do vstřikování termoplastů*. Praha: BEN - technická literatura, 2009. ISBN 978-80-7300-250-3.
2. ZEMAN, Lubomír. *Vstřikování plastů: teorie a praxe*. Praha: Grada Publishing, 2018. ISBN 978-80-271-0614-1.
3. KOLOUCH, Jan. *Strojní součásti z plastů*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1981.
4. BROŽKOVÁ, Jana. Důvody, proč plast v průmyslu nahrazuje tradiční materiály. In: *Bydletcz* [online]. 27.07.2017 [cit. 2020-04-16]. Dostupné z: <https://www.bydlet.cz/427688-duvody-proc-plast-v-prumyslu-nahrazuje-tradicni-materialy/>
5. Disposable Plastic Pot Spoon Knife Fork Making Machine Injection Molding Machine Price Factory Manufacturer Supplier. In: *Made-in-China* [online]. [cit. 2020-04-16]. Dostupné z: <https://nbsurui.en.made-in-china.com/productimage/SNoQDrwlwKhO-2f1j00TDrYyMGnaUoq/China-Disposable-Plastic-Pot-Spoon-Knife-Fork-Making-Machine-Injection-Molding-Machine-Price-Factory-Manufacturer-Supplier.html>
6. Granulado de plástico tintado para proceso de moldeo por inyección. In: *Freepik* [online]. [cit. 2020-04-16]. Dostupné z: https://www.freepik.es/fotos-premium/granulado-plastico-tintado-proceso-moldeo-inyeccion_5294814.htm
7. OEM High quality PP injection molded plastic parts PP plastic injection molding products: PLASTIC INJECTION PARTS. In: *Alibaba.com* [online]. [cit. 2020-04-16]. Dostupné z: https://www.alibaba.com/product-detail/OEM-High-quality-PP-injection-molded_60774931306.html
8. KŘIVOHLÁVEK, Tomáš. *Návrh vhodných obráběcích nástrojů a řezných parametrů pro obrábění plastů*. Ostrava, 2013. Diplomová práce. VŠB - Technická univerzita Ostrava. Vedoucí práce Doc. Ing. Robert Čep, Ph.D.
9. KANDUS, Bohumil. *Technologie zpracování plastů (HTZ): Přednášky a cvičení*. Obor technologie tváření kovů a plastů, Ústav strojírenské technologie, Fakulta strojního inženýrství VUT Brno, 2018.
10. LENFELD, Petr. *Technologie II*. 3. vyd. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2016. ISBN 978-80-7494-305-8.
11. LENFELD, Petr. *Technologie vstřikování* [online]. 2016 [cit. 2020-04-24]. ISBN 978-80-88058-74-8. Dostupné z: <https://publi.cz/books/184/Impresum.html>
12. LENFELD, Petr. *Technologie II - Zpracování plastů: Skripta* [online]. TUL Liberec Fakulta Strojní [cit. 2020-04-15]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/obsah_plasty.htm
13. AUSPERGER, Aleš. *Technologie zpracování plastů* [online]. 2015 [cit. 2018-05-22]. ISBN 978-80-88058-77-9. Dostupné z: <https://publi.cz/books/183/Cover.html>
14. KUTA, Antonín. *Technologie a zařízení pro zpracovávání kaučuků a plastů*. Praha: VŠCHT, 1999. ISBN 80-7080-367-3.
15. FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. ISBN 80-214-2374-9.

16. DUCHÁČEK, Vratislav. *Polymery - výroba, vlastnosti, zpracování, použití*. 2., přeprac. vyd. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická, 2006. ISBN 80-7080-617-6.
17. Granuláty. In: *TIÚ-PLAST a.s.* [online]. [cit. 2020-05-20]. Dostupné z: <https://www.tiu.cz/granulaty>
18. Spritzgussverfahren. In: *KSE Kunststoff* [online]. [cit. 2020-05-21]. Dostupné z: <https://www.formenbau-spritzguss.de/wp-content/uploads/2016/02/Spritzgussverfahren.png>
19. HYNEK, Martin. *Vstřikovací lisý* [online]. Západočeská univerzita v Plzni [cit. 2020-04-25]. Dostupné z: http://kks.zcu.cz/export/sites/kks/projekty-verfin/OPVK_PU/KA_05_publikace/KA05_Vstrikovaci_lisy.pdf
20. KREBS, Stefan. *Technologie zpracování plastů a kompozitů: Vstřikování plastů – technologie* [online]. ČVUT v Praze [cit. 2020-04-22]. Dostupné z: <http://u12133.fs.cvut.cz/assets/subject/files/116/TZPK-Pr-4-ATT00154.pdf>
21. KOHOUTEK, Jan. Konstrukční provedení vstřikovacích lisů. In: *MM spektrum* [online]. 04.02.2009 [cit. 2020-05-10]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/konstrucni-provedeni-vstrikovacich-lisu.html>
22. Spritzgussverfahren. In: *Lushi* [online]. [cit. 2020-03-17]. Dostupné z: <https://www.lushi-formenbau.de/spritzgiessen.html>
23. BONNET, Martin. *Kunststofftechnik*. 3. Auflage. Wiesbaden: Springer Vieweg, 2016. ISBN 978-3-658-13827-1.
24. Hybrid direct clamping mechanism. In: *Plustech: Sodick* [online]. [cit. 2020-03-25]. Dostupné z: <http://www.plustech-inc.com/technology/clamping-system/>
25. HENDRYCH, Josef, Jaroslav DOLEŽAL a Antonín WEBER. *Standardizace rámu a součástí forem pro vstřikování termoplastů*. Praha: SNTL, 1986.
26. BOBEK, Jiří. *Vstřikovací formy pro zpracování termoplastů* [online]. 2015 [cit. 2020-05-22]. ISBN 978-80-88058-65-6. Dostupné z: <https://publi.cz/books/179/Impresum.html>
27. ŽÁK, Ladislav. VUT. *Vstřikovací formy* [online]. [cit. 2020-04-21]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/img/cviceni/htn_tvareci_nastroje_vstrikovaci_formy_zak.pdf
28. Injection molding. In: *Mapeng.net* [online]. [cit. 2020-04-17]. Dostupné z: http://www.mapeng.net/news/mechanical_English_article/2008/12/mapeng_0812131331282121_5.html
29. Locational relationships among the gate and other components. In: *Toray: Innovation by Chemistry* [online]. [cit. 2020-03-17]. Dostupné z: https://www.toray.jp/plastics/en/amilan/technical/tec_010.html
30. MAREŠ, Adam. *Návrh vstřikovací formy pro zadaný plastový díl*. Zlín, 2009. Bakalářská práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Vedoucí práce Michal Staněk.
31. ŘEHULKA, Zdeněk. *Konstrukce výlisků z plastů a forem pro zpracování plastů: polymery*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2013. ISBN 978-80-7204-833-5.
32. HYNEK, Martin. *Temperace vstřikovacích forem* [online]. Západočeská univerzita v Plzni [cit. 2020-04-25]. Dostupné z: https://kks.zcu.cz/export/sites/kks/projekty-verfin/OPVK_PU/KA_05_publikace/KA05_Temperace_vstrikovacich_forem.pdf

33. Verfahrensbeschreibung: Spritzgießwerkzeug. In: *Der KRV* [online]. [cit. 2020-05-17]. Dostupné z: <https://www.krv.de/wissen/verfahrensbeschreibung-34>
34. ZEMAN, Lubomír. Rozměrové a tvarové tolerance, jakost povrchu při vstřikování termoplastů. In: *PlasticPortal* [online]. 06.08.2015 [cit. 2020-04-11]. Dostupné z: <https://www.plasticportal.cz/cs/rozmerove-a-tvarove-tolerance-jakost-povrchu-pri-vstrikovani-termoplastu-3-cast/c/3030/>
35. Part Details Review: Weld Lines. In: *Mapeng.net* [online]. [cit. 2020-05-29]. Dostupné z: http://www.mapeng.net/templates/map/Plastic-Part-Design-Checklist/weld_lines.html
36. Strojírenské materiály: Plasty. In: *ZČU: Oddělení povrchového inženýrství* [online]. [cit. 2020-06-10]. Dostupné z: <https://www.opi.zcu.cz/download/plasty.pdf>
37. LEINVEBER, Jan a Pavel VÁVRA. *Strojnické tabulky: pomocná učebnice pro školy technického zaměření*. 2., dopl. vyd. Úvaly: Albra, 2005. ISBN 80-7361-011-6.
38. Productfinder: PA6 & PA66. In: *TER Plastics: Polymer Group* [online]. [cit. 2020-05-23]. Dostupné z: <https://www.terplastics.com/en/produkte/technische-kunststoffe/nylon-pa6-pa66.php>
39. SEIDL, Martin. *Stroje pro zpracování polymerních materiálů* [online]. 2016 [cit. 2020-04-21]. ISBN 978-80-88058-71-7. Dostupné z: <https://publi.cz/books/181/Impresum.html>
40. SOVA, Miloš a Josef KREBS. *Termoplasty v praxi: praktická příručka pro konstruktéry, výrobce, zpracovatele a uživatele termoplastů*. 5. aktualiz. vyd. . Praha: Verlag Dashöfer, 1999-2000. ISBN 80-86229-15-7.
41. Products: Swivel Eye Bolt. In: *DME Milacron* [online]. [cit. 2020-06-17]. Dostupné z: <https://store.milacron.com/shop-parts?isCategoryRedirect=true&productCategoryId=7217&productCatalogId=95&orgId=4>
42. ALLROUNDER 470 S. In: *Arburg GmbH* [online]. [cit. 2020-06-17]. Dostupné z: https://www.arburg.com/fileadmin/redaktion/mediathek/technische_daten/arburg_allrounder_470s_td_528481_en_gb.pdf
43. World PM2016: Arburg to showcase trends in powder injection moulding. In: *Arburg GmbH* [online]. 15.09.2016 [cit. 2020-06-17]. Dostupné z: <https://www.arburg.com/cs/cz/cast-pro-novinare/tiskova-zpravy/bulletin/nI/10082/>
44. SYNEK, Miloslav. *Manažerská ekonomika*. 5., aktualiz. a dopl. vyd. Praha: Grada, 2011. Expert (Grada). ISBN 978-80-247-3494-1.
45. PETRTYL, Jan. Bod zvratu. In: *Marketing Mind* [online]. 26.1.2018 [cit. 2020-06-17]. Dostupné z: <https://www.marketingmind.cz/bod-zvratu-priklad-vzorec-vypocet-graf/>
46. Ceny polymérov: PA 6 (natural). In: *PlasticPortal* [online]. [cit. 2020-06-17]. Dostupné z: <https://www.plasticportal.cz/cs/ceny-polymerov/lm/1/price/3306/>
47. Meusburger. *Online katalog produktů* [online]. [cit. 2018-05-23]. Dostupné z: <https://www.meusburger.com/>
48. CITACE PRO. *Generátor citací* [online]. 2013 [cit. 2015-05-18]. Dostupné z: <http://citace.lib.vutbr.cz/info>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Označení	Legenda	Jednotka
3D	Trojrozměrný	[-]
ABS	Akrylonitrilbutadienstyren	[-]
a_{eff}	Měrná tepelná vodivost	[mm ² /s]
a_k	Vrubová houževnatost	[KJ/m ²]
$B_{\text{zvrť}}$	Objem produkce bodu zvratu	[ks]
C_{celk1}	Celkové náklady na formu se studeným vtokem	[Kč]
C_{celk2}	Celkové náklady na formu s horkým vtokem	[Kč]
C_{fm1}	Náklady na formu a materiál - studený vtok	[Kč]
C_{fm2}	Náklady na formu a materiál - horký vtok	[Kč]
C_{kmp}	Cena základních komponentů	[Kč]
C_{kryt}	Cena krytky bez DPH	[Kč]
C_{mat1}	Cena materiálu při dané výrobní sérii - studený vtok	[Kč]
C_{mat2}	Cena materiálu při dané výrobní sérii - horký vtok	[Kč]
c_p	Plastikační kapacita	[kg/h]
C_{PA6}	Cena materiálu	[Kč/kg]
C_{rzd}	Rozdíl mezi horkým a studeným vtokem při dané sérii	[Kč]
C_{str}	Cena stroje	[Kč]
c_v	Minimální vstřikovací kapacita	[cm ³]
ČNB	Česká národní banka	[-]
D_k	Průměr rozváděcího kanálu	[mm]
D_o	Doba odpisu stroje	[roky]
D_p	Předběžný průměr kanálků	[mm]
D_s	Optimální průměr šneku	[mm]
E	Modul pružnosti	[Pa]
EP	Ethylen - propylen	[-]
FEP	Tetrafluorethylen-hexafluorpropylen kopolymer	[-]
F_p	Přidržovací síla	[kN]
G	Hmotnost výstřiku	[g]
G_{vz}	Hmotnost vzduchu v tvarové dutině	[kg]
G_{zb}	Hmotnost celého vtokového zbytku	[g]
h_{odvz}	Celková šířka odvodušňovacích kanálků	[mm]
h_{ot}	Zdvih otevření	[mm]
hPS	Houževnatý polystyren	[-]
h_{vyh}	Minimální zdvih vyhazovače	[mm]
IT	Stupeň přesnosti	[-]
K	Koeficient využití času	[-]
k	Teplotní koeficient	[-]
K_1	Koeficient tekutosti materiálu	[-]
K_2	Koeficient délky kanálku	[-]
L_K	Délka rozváděcího kanálu	[mm]
$L_{\text{souč}}$	Délka součásti	[mm]
N	Velikost výrobní série	[ks]
N_{amrt}	Amortizace vstřikovacího stroje	[Kč/h]
N_c	Celkové náklady na výrobní sérii	[Kč]
n_d	Počet pracovních dní v měsíci	[-]
N_{kryt}	Náklady na výrobu jedné krytky	[Kč]
n_m	Počet měsíců výroby	[-]
N_{mzda}	Hrdubá mzda operátora	[Kč/h]
N_o	Ostatní náklady	[Kč]
N_{op}	Náklady na mzdu operátora	[Kč]
n_p	Praktická násobnost	[-]
n_{ph}	Počet pracovních hodin	[h]

Označení	Legenda	Jednotka
N_{prov}	Náklady na provoz stroje	[Kč/h]
N_{str}	Celkové náklady na činnost stroje pro výrobu 52 000 kusů	[Kč]
n_t	Termínová násobnost	[-]
N_{vstrj}	Počet strojů při vícestrojové obsluze	[-]
p_1	Tlak vzduchu v dutině před plněním	[MPa]
p_2	Tlak v stlačeného vzduchu taveninou	[MPa]
p_A	Tvářecí tlak	[bar]
PA	Polyamid	[-]
PA 6	Nylon 6	[-]
PA 66	Nylon 66	[-]
PBT	Polybutylen tereftalát	[-]
PC	Polykarbonát	[-]
PE	Polyethylen	[-]
PE-LD	Polyethylen s nízkou hustotou	[-]
PES	Polyester	[-]
PET	Polyethylentereftalát	[-]
PF	Fenol formaldehyd	[-]
PI	Polyimid	[-]
PMMA	Polymethylmethakrylát	[-]
POM	Polyoxymethylen	[-]
PP	Polypropylen	[-]
PS	Polystyren	[-]
PTFE	Polytetrafluorethylen	[-]
p_v	Vstřikovací tlak	[bar]
PVC	Polyvinylchlorid	[-]
p_z	Zbytkový tlak ve výstřiku	[MPa]
s	Tloušťka stěny výstřiku	[mm]
SAN	Styren-akrylonitril	[-]
SI	Silikon	[-]
S_{odvz}	Celkový průřez odvzdušení	[m ²]
S_{prmt}	Plocha průměru tvarové dutiny do dělicí roviny	[cm ²]
SV	Skleněné vlákno	[-]
$\bar{S}_{\text{prmt}}$	Šířka součásti v průměru	[mm]
t	Čas	[s]
T	Teplota	[°C]
T_1	Teplota okolí	[K]
T_2	Teplota stlačeného vzduchu	[K]
t_3	Doba otevření formy a vyhození výstřiku	[s]
t_4	Časová prodleva	[s]
t_c	Celková doba vstřikovacího cyklu	[s]
t_D	Doba dotlaku	[s]
T_e	Teplota odformování	[°C]
T_f	Teplota viskózního toku	[°C]
T_{fr}	Využitelný časový fond za rok	[h]
T_g	Teplota skelného přechodu	[°C]
t_{chl}	Doba chlazení	[s]
T_M	Teplota taveniny	[°C]
T_m	Teplota tání semikrystalických plastů	[°C]
t_m	Manipulační doba	[s]
T_p	Doba produkce	[h]
t_{pl}	Doba plastikace	[s]
T_{prodS}	Celkový čas produkce stroje	[h]
t_{S1}	Strojní čas - přisunutí pohyblivé části formy (uzavření formy)	[s]
t_{S2}	Strojní čas - přisunutí vstřikovací jednotky	[s]

Označení	Legenda	Jednotka
t_{S3}	Strojní čas - otevření formy	[s]
t_v	Doba plnění (vstřikování)	[s]
T_w	Teplota formy	[°C]
UV	Ultrafialové	[-]
V	Objem vstřikovaného dílce	[cm ³]
v	Měrný objem	[m ³ /kg]
V_D	Vstřikovaný objem	[cm ³]
V_{DK}	Konečný objem dutiny	[cm ³]
V_k	Objem rozváděcího kanálu	[cm ³]
V_{nkld}	Variabilní náklady	[Kč/ks]
v_{odvz}	Hloubka odvzdušňovacích kanálů	[mm]
v_s	Vstřikovací rychlost	[cm ³ /s]
V_{vk}	Předběžný objem vtokového kužele	[cm ³]
V_{VS}	Objem vtokové soustavy	[cm ³]
Z	Požadovaný zisk	[%]

ε	Deformace	[-]
ε_1	Deformace elastická, časově nezávislá	[-]
ε_2	Deformace elastická, časově závislá	[-]
ε_2	Deformace plastická	[-]
ε_c	Deformace celková	[-]
ε_r	Měrné prodloužení	[-]
η	Viskozita	[Pa·s]
ρ	Hustota materiálu Akulon K224-PG6	[g/cm ³]
ρ_{vz}	Hustota vzduchu	[kg/m ³]
σ	Napětí	[MPa]
σ_z	Pevnost	[MPa]

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Vstřikovací stroj, granulát a plastové výrobky [5], [6], [7]	9
Obr. 3 Rohová krytka	10
Obr. 2 Funkce rohové krytky	10
Obr. 4 Technologie vstřikování [13]	11
Obr. 5 Technologie lisování [11]	11
Obr. 6 Technologie přetlačování [11]	11
Obr. 7 Typy makromolekul polymerů [9]	13
Obr. 8 Struktury polymerů [10]	13
Obr. 9 Rozdělení polymerů [2]	14
Obr. 10 Viskoelastické chování polymerů [9]	16
Obr. 11 Teplota skelného přechodu u amorfních a semikrystalických polymerů [2]	17
Obr. 12 Granulace za tepla [11]	17
Obr. 13 Granulace z pásu [11]	17
Obr. 14 Granulát [17]	18
Obr. 15 Fáze vstřikovacího cyklu [18]	19
Obr. 16 Průběh vnitřního tlaku v dutině formy během vstřikování [11]	19
Obr. 17 Vstřikovací stroj [22]	21
Obr. 18 Části diferenciálního šneku [23]	22
Obr. 19 Uzavírací jednotka - hydraulicko-mechanická varianta [24]	22
Obr. 20 Části vstřikovací formy [26]	24
Obr. 21 Vtoková soustava [28]	25
Obr. 22 Varianty rozváděcích kanálů [29]	26
Obr. 23 Kontakt formy a trysky [26]	26
Obr. 24 Varianty průřezů kanálu [26]	26
Obr. 25 Varianty vtoků [30]	27
Obr. 26 Tunelový vtok [26]	28
Obr. 27 Banánové ústí [26]	28
Obr. 28 Filmové ústí [26]	28
Obr. 29 Vyhřívání vtoku [26]	29
Obr. 30 Izolační vrstva plastu [26]	29
Obr. 31 Odvod tepla z rohu součásti [32]	30
Obr. 32 Varianty aktivní temperace [32]	31
Obr. 33 Odvzdušení [26]	31
Obr. 34 Vyhazovací mechanismus [33]	32
Obr. 35 Studené spoje [35]	34
Obr. 36 Místo vzniku propadliny [26]	34
Obr. 37 Dělicí rovina	35
Obr. 38 Předběžný návrh tvarové vložky formy	35
Obr. 39 Praktická násobnost [9]	36
Obr. 40 Základní rám formy	36
Obr. 41 Závislost vrubové houževnatosti na teplotě [3]	37
Obr. 42 Porušení polymerů při tahové zkoušce [36]	38
Obr. 43 Tahový diagram [38]	38
Obr. 44 Počet vyrobených kusů v závislosti na směnnosti a násobnosti formy	41
Obr. 45 Umístění vtoku	42
Obr. 46 Boční vtok rohové krytky	42

Obr. 47 Banánové ústí rohové krytky	43
Obr. 48 Vtoková vložka	43
Obr. 49 Simulace - čas plnění	43
Obr. 50 Umístění vyhazovačů	44
Obr. 51 Princip automatického odtržení vtokového ústí	44
Obr. 52 Poloviční řez formy bez tvarových vložek	45
Obr. 53 Výsledný návrh tvarové vložky (tvárník)	45
Obr. 54 Temperační kanály	46
Obr. 55 Varianty zapojení okruhů	47
Obr. 56 Analýza vzduchových kapes	48
Obr. 57 Navržené odvzdušení	48
Obr. 58 Manipulační oko	49
Obr. 59 Vodící prvky	49
Obr. 60 Rozměry průmětu do dělicí roviny	50
Obr. 61 Zdvih otevření	50
Obr. 62 Zvolený vstřikovací stroj ARBURG Allrounder 470 S [43]	51
Obr. 63 Umístění středících kroužků	52
Obr. 64 Simulace Autodesk Inventor 2019 - Spolehlivost plnění	52
Obr. 65 Simulace Autodesk Inventor 2019 - Předpověď kvality	53
Obr. 66 Simulace Autodesk Inventor - Linie roztavení	53
Obr. 67 Simulace Autodesk Inventor 2019 - Proudění plastu	53
Obr. 68 Místa vzniku propadlin	54
Obr. 69 Vývoj ceny PA 6 ve střední Evropě [46]	55
Obr. 70 Náklady na materiál a formy vzhledem k velikosti výrobní série	57
Obr. 71 Bod zvratu	58

SEZNAM TABULEK

Tab. 1	Orientační parametry vstřikování pro vybrané polymery [39].....	20
Tab. 2	Dosažitelné stupně přesnosti [9].....	33
Tab. 3	Příklady použití houževnatých polymerů [3], [37].....	37
Tab. 4	Výběr plastů - jejich mechanické vlastnosti v normálně vlhkém stavu [38].....	38
Tab. 5	Parametry zvoleného materiálu Akulon K224-PG6 [38]	39
Tab. 6	Koeficient délky kanálku [9]	39
Tab. 7	Předběžný průměr kanálku a koeficient tekutosti materiálu [9].....	40
Tab. 8	Doba vstřikování dle viskozity a objemu [9].....	40
Tab. 9	Teplotní parametry polyamidu [9], [39]	41
Tab. 10	Průměr temperačních kanálků dle hmotnosti a velikosti formy[40]	46
Tab. 11	Parametry vstřikovacího stroje Arburg Allrounder 470 S [42]	51
Tab. 12	Číselné hodnoty pro technicko - ekonomické zhodnocení	54
Tab. 13	Ceny komponentů základny vstřikovací formy [47]	55

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1	Materiálový list Akulon K224-PG6 [38]
Příloha 2	Orientační parametry vstřikování [1]
Příloha 3	Technický list Arburg Allrounder 470 S [42]

SEZNAM VÝKRESŮ

Sestava vstřikovací formy	DP-209882-00
Tvárník	DP-209882-01
Tvárnice	DP-209882-02
Rohová krytka	DP-209882-10

Příloha 1 - Materiálový list Akulon K224-PG6 [38]

(1/3)

Distributed by



TER Plastics
POLYMER GROUP



TECHNICAL DATA SHEET

Akulon® K224-PG6

PA6-I-GF30

DSM Engineering Plastics

Product Texts

30% Glass Reinforced, Impact Modified

ISO 1043 PA6-I-GF30

Rheological properties	dry / cond	Unit	Test Standard
ISO Data			
Melt volume-flow rate, MVR	20 / *	cm ³ /10min	ISO 1133
Temperature	275 / *	°C	-
Load	5 / *	kg	-
Molding shrinkage, parallel	0.4 / *	%	ISO 294-4, 2577
Molding shrinkage, normal	1.0 / *	%	ISO 294-4, 2577
Mechanical properties			
ISO Data			
Tensile Modulus	8500 / 5500	MPa	ISO 527
Stress at break	145 / 100	MPa	ISO 527
Strain at break	4.5 / 9	%	ISO 527
Charpy impact strength, +23 °C	95 / 110	kJ/m ²	ISO 179/1eU
Charpy impact strength, -30 °C	100 / 100	kJ/m ²	ISO 179/1eU
Charpy notched impact strength, +23 °C	23 / 43	kJ/m ²	ISO 179/1eA
Charpy notched impact strength, -30 °C	15 / 15	kJ/m ²	ISO 179/1eA
Thermal properties			
ISO Data			
Temp. of deflection under load, 1.80 MPa	200 / *	°C	ISO 75-1/-2
Temp. of deflection under load, 0.45 MPa	215 / *	°C	ISO 75-1/-2
Coeff. of linear therm. expansion, parallel	20 / *	E-6/K	ISO 11359-1/-2
Coeff. of linear therm. expansion, normal	90 / *	E-6/K	ISO 11359-1/-2
Burning behav. at 1.5 mm nom. thickn.	HB / *	class	IEC 60695-11-10
Thickness tested	1.6 / *	mm	-
Electrical properties			
ISO Data			
Relative permittivity, 100Hz	3.8 / 14	-	IEC 62631-2-1
Relative permittivity, 1MHz	3.5 / 4.5	-	IEC 62631-2-1
Dissipation factor, 100Hz	90 / 3000	E-4	IEC 62631-2-1
Dissipation factor, 1MHz	150 / 1200	E-4	IEC 62631-2-1
Volume resistivity	1E13 / 1E11	Ohm*m	IEC 62631-3-1
Surface resistivity	* / 1E14	Ohm	IEC 62631-3-2
Electric strength	25 / 20	kV/mm	IEC 60243-1
Comparative tracking index	- / 600	-	IEC 60112
Other properties			
ISO Data			
Water absorption	5.7 / *	%	Sim. to ISO 62
Humidity absorption	1.7 / *	%	Sim. to ISO 62
Density	1320 / -	kg/m ³	ISO 1183
Rheological calculation properties			
ISO Data			
Density of melt	1110	kg/m ³	-
Thermal conductivity of melt	0.28	W/(m K)	-

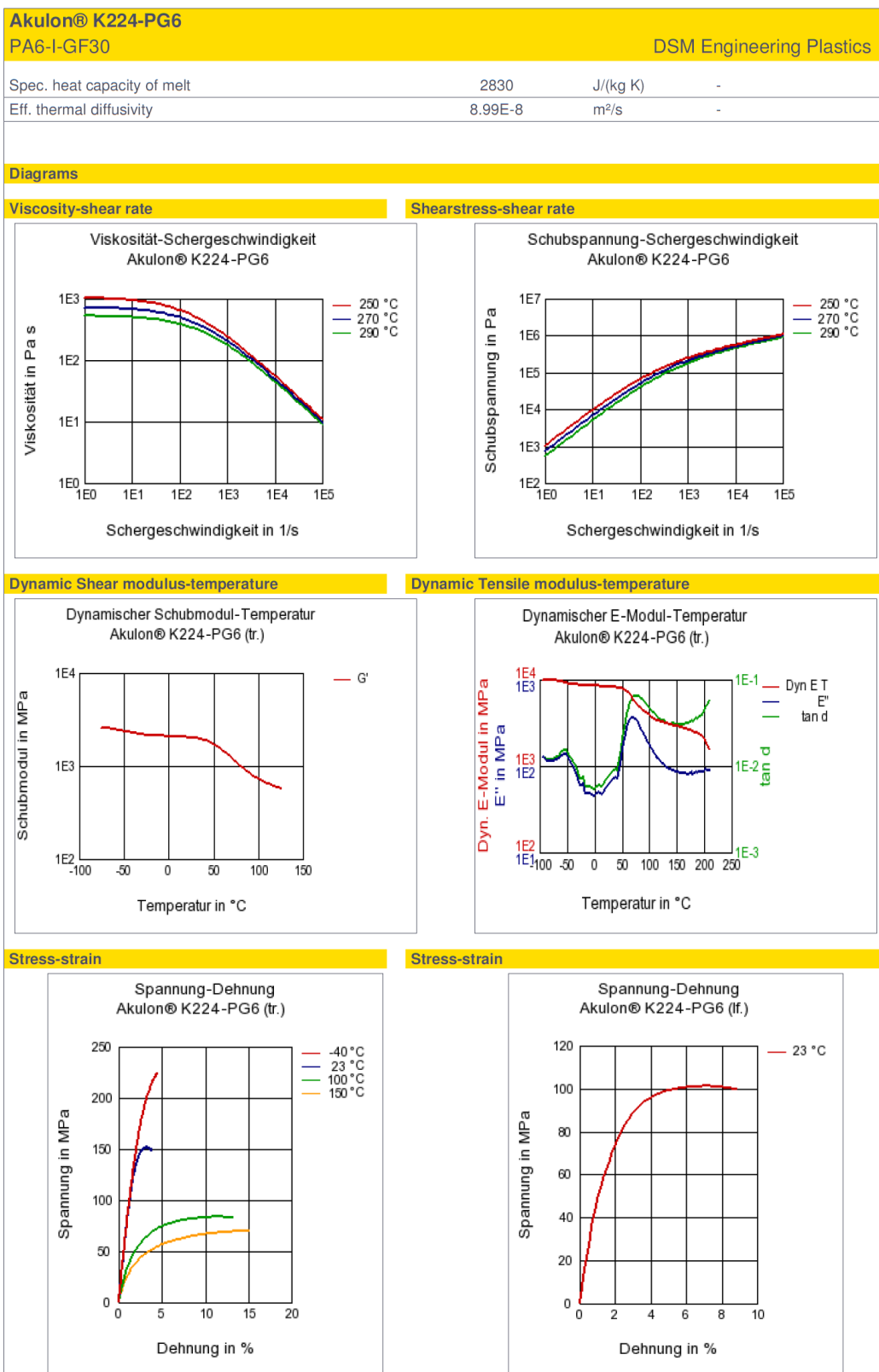
Created: 2020-04-10 Source: www.materialdatacenter.com

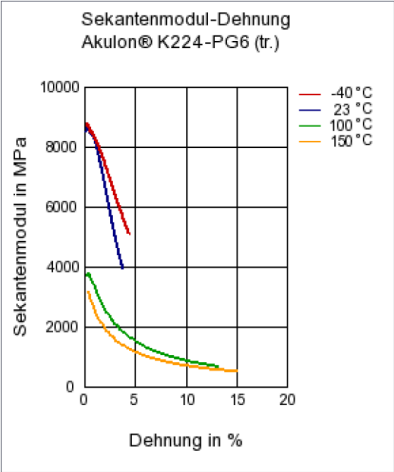
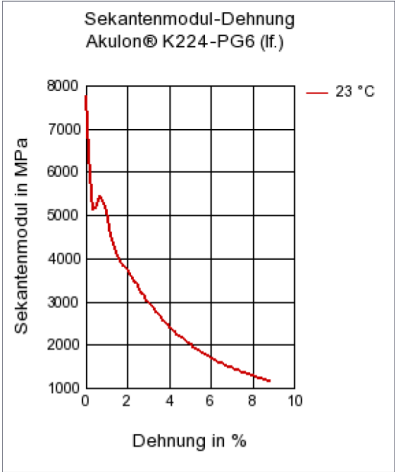
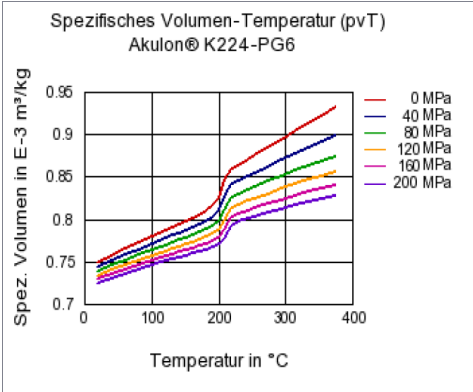
Page: 1/4

Our product information and suggestions are based on analyses, empirical values, and data from the product manufacturer in question and are therefore provided with our best knowledge and accountability. We do not, however, assume any liability or warranty, be it for defects in title, quality and suitability of the products for a specific purpose, or non-infringement of industrial property rights. We do not warrant the use or processing of the products and information, or consequences of any kind arising from product descriptions, suggestions, and recommendations. The responsibility for appropriate usage, as well as final suitability testing of the raw material is exclusively the responsibility of the customer as part of sampling/final qualification of a manufactured molded part. The specified data are only indicative and are not to be interpreted as legally binding specifications.

Příloha 1 - Materiálový list Akulon K224-PG6 [38]

(2/3)



Akulon® K224-PG6		DSM Engineering Plastics
PA6-I-GF30		
Secant modulus-strain		Secant modulus-strain
Sekantenmodul-Dehnung Akulon® K224-PG6 (tr.) 		Sekantenmodul-Dehnung Akulon® K224-PG6 (lf.) 
Specific volume-temperature (pvT)		
Spezifisches Volumen-Temperatur (pvT) Akulon® K224-PG6 		
Characteristics		
Processing	Additives	
Injection Molding	Release agent	
Delivery form	Special Characteristics	
Pellets	High impact or impact modified	
Other text information		
Injection Molding		
Injection Molding Recommendations		
Steel Recommendations for Molds Screws and Barrels for Injection Molding Materials from DSM Engineering Plastics		
Chemical Media Resistance		
Alcohols		
☺ Methanol (23 °C)		
☺ Ethanol (23 °C)		
Hydrocarbons		
☺ Toluene (23 °C)		
Ketones		

Příloha 2 - Orientační parametry vstřikování [1]

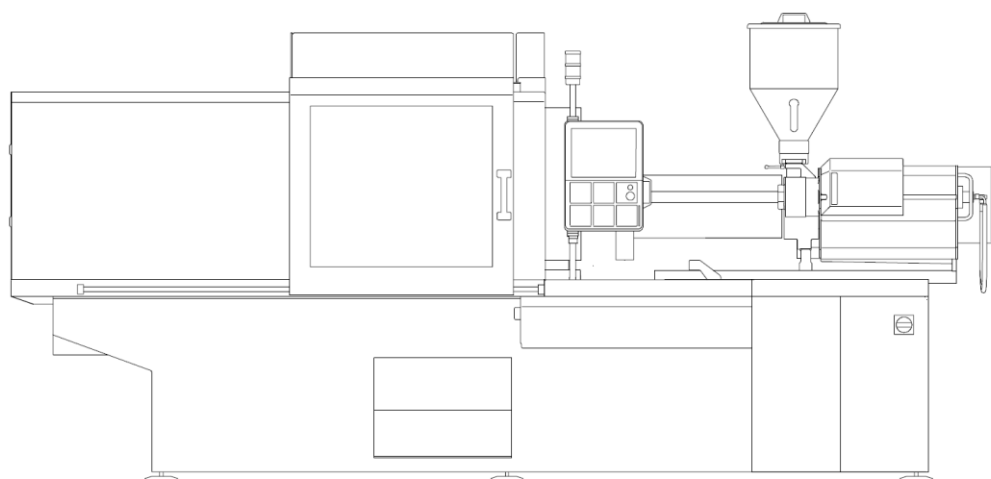
(1/2)

Termoplast	Zkratka	Amorfní - A	Částečně krystalický - K	Hustota	Sušení suchým vzduchem (typické hodnoty)	dobu	Max. obsah zbytkové vlhkosti po sušení	Teplota taveniny (typický rozsah)	Teplota formy (typický rozsah)	Teplota vytváření (typický rozsah)	Dotlak v % ze vytvářecího tlaku	Zpeřný odpor - hydraulický tlak (typický rozsah)	Obvodová rychlost na šneku	Max. doba prodávky ve vytvářecím válci a horkém rozvodu (př. teplotě taveniny)	Pořadí v % z dávky (typický rozsah)	Výrobní ametrání
				[g cm ⁻³]	[°C]	[h]	[%]	[°C]	[°C]	[bar]	[%]	[bar]	[m.s ⁻¹]	[min]	[%]	[%]
Acetát celulózy	CA	A		1,20-1,31	55-70	3-5	0,25 (0,15)	170-210	40-70	500-1400	40-80	do 30	0,1-0,2	12	4-6	0,3-0,6
Butyrolacát celulózy	CAB	A		1,18-1,22	55-85	2-3	0,25 (0,15)	170-220	40-70	500-1400	40-80	do 30	0,1-0,2	12	4-6	0,4-0,7
Propionát celulózy	CP	A		1,18-1,24	55-85	2-3	0,25 (0,15)	180-230	40-80	500-1400	40-80	do 30	0,1-0,2	12	4-6	0,3-0,6
Polypropylen	PP		K	0,900-0,907	ne 80	ne 2-3	0,1	180-300	20-60(100)	500-1200	50-90	do 50	až 0,3	40	až 10	1,5-2,5
Polypropylen s 20 % talu	PP 20T		K	1,04	110-120	3-5	0,1	220-280	30-60	600-1600	50-90	do 50	až 0,3	40	až 10	0,8-1,6
Polypropylen s 30 % SV	PP 30SV		K	1,14	110-120	3-5	0,1	240-300	40-80	800-1800	50-90	do 30	až 0,25	40	až 10	0,6-1,4
Vysokohustotní polyethylen	HDPE		K	0,938-0,965	ne 80	ne 2-3	0,5	200-280	10-90	600-1400	50-80	do 50	až 0,3	40	až 10	1,4-2,5
Nizkohustotní polyethylen	LDPE		K	0,928	ne 80	ne 2-3	0,5	180-260	10-60	300-800	50-80	do 50	až 0,3	40	až 10	1,8-3,5
Standardní polystyren	PS	A		1,05-1,10	60	2	0,1	170-260	30-70	400-1500	30-80	do 50	až 0,3	30	až 10	0,2-0,6
Houževnatý polystyren	HIPS	A		1,04-1,06	70-80	3-4	0,1	180-280	40-70	600-1500	30-80	do 50	až 0,3	30	až 10	0,4-0,7
Styren - akrylonitrilový kopolymer	SAN	A		1,07-1,09	70-80	3-4	0,1	200-260	40-80	700-1500	40-80	do 40	až 0,3	30	až 10	0,4-0,6
Akrylonitril-butadien-styrenový kopolymer	ABS	A		1,04-1,10	80	4-6	0,1	190-260	40-90	600-1400	40-80	do 40	až 0,3	30	až 10	0,4-0,8
Methylmetakrylát-akrylonitril-butadien-styrenový kopolymer	ABS/SV	A		1,23-1,36	80	4-6	0,1	230-290	60-100	800-1600	40-80	do 30	až 0,2	30	až 10	0,2-0,3
Methylmetakrylát-akrylonitril-butadien-styrenový kopolymer	MABS	A		1,10-1,12	80	2-4	0,1	200-260	40-80	600-1600	50-80	do 20	až 0,2	30	až 10	0,4-0,8
Ethylen-vinyl-acetátový kopolymer	EVA			0,94-0,95	50-60	1 (6)	0,1	150-200	10-50	600-1000	50-80	do 30	až 0,2	20	až 10	2,0-3,0
Polyvinyl-chlorid (tvrdý)	PVC			1,38-1,39	60-70	2-3		160-190	20-50	900-1500	30-60	do 30	až 0,2	20	do 5	0,5-0,9
Polyvinyl-chlorid (houževnatý)	PVC			1,35-1,36	60-70	2-3		150-190	20-50	900-1500	30-60	do 30	až 0,2	20	do 5	0,7-1,2
Polyvinyl-chlorid (máknový)	PVC			1,19-1,28	50-60	2-3		140-200	20-50	400-1000	30-60	do 30	až 0,2	20	do 5	0,8-3,5
Polymethylmetakrylát	PMMA	A		1,18-1,19	80-90	4-6	0,1	180-250	40-80	800-2000	40-90	do 30	až 0,2	30	do 5	0,2-0,8
Polyamid 6	PA6		K	1,12-1,14	80	4-8	0,2	230-270	40-90	600-1200	40-90	do 40	až 0,25	20	do 10	0,6-2,1
Polyamid 6, skleněné vlákno	PA6 SV		K	1,28-1,50	80-90	4-8	0,2	250-290	50-120	800-1400	40-90	do 30	až 0,15	20	do 10	0,2-0,4
Polyamid 6, minerální plnivo	PA6 M		K	1,22-1,50	80-90	4-8	0,2	240-290	50-110	800-1400	40-90	do 40	až 0,25	20	do 10	0,5-0,9
Polyamid 66	PA66		K	1,13-1,15	80	4-8	0,2	270-310	50-100	600-1400	40-90	do 40	až 0,25	20	až 10	1,2-1,9
Polyamid 66-skleněné vlákno	PA66 SV 15-		K	1,28-1,42	80	4-8	0,2	280-310	50-120	800-1600	40-90	do 30	až 0,15	20	až 10	0,2-0,5
Polyamid 66-minerální plnivo	PA66 M		K	1,24-1,50	80-90	4-8	0,2	280-300	50-110	800-1500	40-90	do 40	až 0,25	20	až 10	0,4-1,5
Polyamid 46	PA46		K	1,18-1,82	80	4-8	0,1	280-330	60-120	800-1600	40-90	do 20	až 0,25	10	do 50	2
Polyamid 11	PA11		K	1,04-1,05	75-80	8-16	0,1	220-280	40-80	500-1000	40-90	do 30	až 0,25	20	až 10	0,8-1,4
Polyamid 11 skleněné vlákno	PA11 SV		K	1,26-1,30	80-90	8-16	0,1	240-290	60-100	700-1600	40-90	do 30	až 0,15	20	až 10	0,4-0,8
Polyamid 12	PA12		K	1,01-1,02	75-80	8-16	0,1	220-280	40-80	600-1200	40-90	do 20	až 0,25	20	až 10	0,8-1,4
Polyamid 12 skleněné vlákno	PA12 SV		K	1,21-1,25	80-90	8-16	0,1	240-290	60-100	700-1600	40-90	do 30	až 0,15	20	až 10	0,4-0,8
Polyamid transparentní	PA-T		K	1,20-1,06	80	6-12	0,06	260-300	80-120	800-1600	40-90	do 30	až 0,20	20	až 10	0,4-0,6
Polykarbonát	PC	A		1,20-1,21	120	4-6	0,02	260-320	70-120	800-1800	50-80	do 30	až 0,25	10	až 8	0,6-0,8
Polykarbonát se skleněným vláknem	PC SV	A		1,42-1,52	120	4-6	0,02	290-320	80-120	1000-2000	50-80	do 30	až 0,15	10	až 8	0,2-0,8
Polyoxymethylen nebo polyformaldehyd nebo polyacetát	POM		K	1,41-1,43	100-110	2-4	0,1	180-220	80-120	600-1800	50-100	do 20	do 0,25	15	do 5	1,6-2,2
Polyfenylenoxid	PPO	A		1,06	110-120	2-4	0,1	260-280	80-110	1000-1800	50-80	do 30	do 0,25	10	do 5	0,5-0,8
Polyethylen-tereftalát	PET		K	1,37-1,38	120-140	2-8	0,02	260-280	90-140	600-1600	50-80	do 20	do 0,25	6	do 5	0,5-2,0

Příloha 2 - Orientační parametry vstřikování [1]

(2/2)

Zkratka		Amorfní – A	Krystalické – K	Hustota	Sušení suchým vzduchem (typická hodnota)	Max. obsah zbytkové vlhkosti po sušení	Teplota taveniny (typický rozsah)	Teplota formy (typický rozsah)	Vstřikovací tlak před celým sněku (typický rozsah)	Dotlak v % ze vstřikovacího tlaku	Zplňný odpor – hydraulický tlak (typický rozsah)	Obvodová rychlost na sněku (typický rozsah)	Max. doba prodevy ve vstřikovací válci a horkém roztoku (při teplotě taveniny)	Počet štát v % z dávky (typický rozsah)	Výrobní směrštění
Termoplast	Polyethylen-terefalát se skleněným vláknem	PET SV	K	1,61–1,75	120–140	0,02	280–300	80–120	800–1800	50–80	do 20	až 0,15	6	do 5	0,3–0,7
	Polybutylen-terefalát	PBT	K	1,29–1,32	120–140	0,02	230–270	80–100	600–1600	50–80	do 20	až 0,25	6	do 5	1,7–2,3
	Polybutylen-terefalát se skleněným vláknem	PBT SV	K	1,46–1,53	120–140	0,02	240–280	50–100	800–1800	50–80	do 20	až 0,15	6	do 5	0,4–0,8
	Polypropylen s tekutými krystaly	LCP	K	1,40–1,96	120	0,01	350–370	30–150	400–1200	50–80	do 10	do 0,10	15	až 8	0
	Polyethersulfon	PES	A	1,37–1,60	130–190	4–6	330–390	120–160	600–1800	50–80	do 20	do 0,20	10	do 5	0,5–0,9
	Polyimid	PSU	A	1,24–1,49	130–190	4–6	330–390	120–160	600–1800	50–80	do 20	do 0,20	10	do 5	0,5–0,9
	Polyetherimid	PEI	A	1,19–1,68	150	4–6	370–400	140–170	600–1800	50–80	do 5	do 0,10	15	do 5	0,1–0,4
	Polyfenylsulfid	PPS	K	1,35–2,03	130–160	3–4	320–360	140–160	800–1800	50–80	do 20	do 0,15	10	do 5	0,15–0,40
	Polyamidamid	PPA	K	1,48	120	0,04	320–340	135 a více	800–1800	50–80	do 5	až 0,25	6	do 5	0
	Polyether etherketon	PEEK	K	1,39–1,51	150	3	270–390	160–170	700–1400	50–80	do 5	do 0,2	6	do 5	1
Termoplastické elastomery	Termoplastické polyolefinové	TPE-O		0,94–0,99	70–90	2–3	190–235	20–60	600–1600	50 až 70	do 20	až 0,3	40	až 10	1,2–3,5
	Termoplastické elastomery styrenové	TPE-S		0,90–1,20	70–90	1–2	180–250	20–60	600–1600	30–60	až 40	do 0,15	40	až 10	1,0–2,5
	Termoplastické elastomery polyetheruretanové	TPE-U		1,11–1,25	100–110	0,5–1,5	190–245	20–40	500–1800	40–60	až 20	až 0,3	40	až 10	1
	Termoplastické elastomery kopolyesterové	TPE-E		1,12–1,28	90–110	2–4	220–250	20–50	500–1800	40–100	do 5	do 0,15	10	až 8	0,8–1,8
	Termoplastické elastomery polyetherbickamidové	TPE-A			70–80	4–8	180–280	20–40	500–1800	40–80	do 20	až 0,25	10	až 8	0,8–1,0



ALLROUNDER 470 S

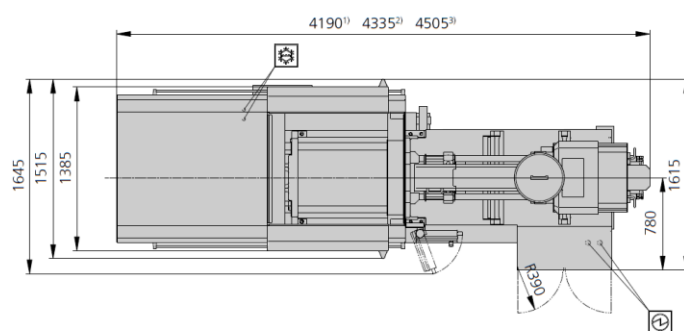
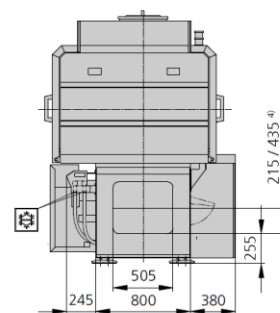
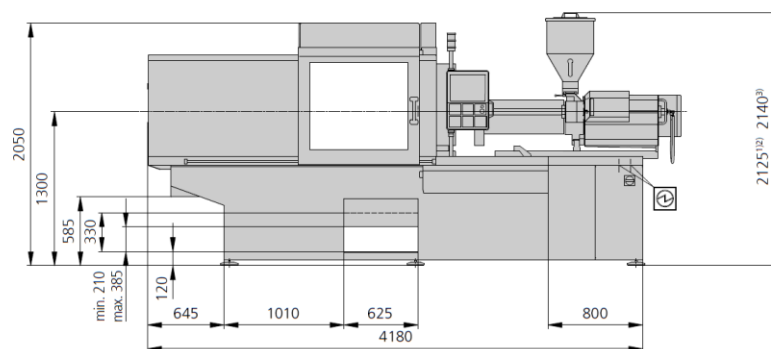
Distance between tie bars: 470 x 470 mm

Clamping force: 800, 1000, 1100 kN

Injection unit (acc. to EUROMAP): 170, 290, 400

ARBURG

MACHINE DIMENSIONS | 470 S



Electrical connection



Cooling water connection

- 1) injection unit 170
- 2) injection unit 290
- 3) injection unit 400
- 4) Conveyor belt

TECHNICAL DATA | 470 S

Clamping unit			470 S		
with clamping force	max. kN		800	1000	1100
Opening force stroke	max. kN mm		255 500		
Mould height, fixed variable	min. mm		250 ---		
Platen daylight fixed variable	max. mm		750 ---		
Distance between tie bars (w x h)	mm		470 x 470		
Mould mounting platens (w x h)	max. mm		637 x 637		
Weight of movable mould half	max. kg		760		
Ejector force stroke	max. kN mm		40 175		
Dry cycle time EUROMAP 2	1 pump	min. s - mm	2,3 2,1 - 329		
	2 pumps	min. s - mm	1,8 - 329		
	Accum.	min. s - mm	1,5 - 329		

Injection unit			170			290			400		
with screw diameter	mm		25	30	35	30	35	40	35	40	45
Effective screw length	L/D		24	20	17	23,3	20	17,5	23	20	18
Screw stroke	max. mm		120			150			160		
Calculated stroke volume	max. cm ³		59	85	115	106	144	188	154	201	254
Shot weight	max. g PS		54	77	105	97	132	172	141	184	232
Material throughput	max. kg/h PS		10	13,5	16	17	20,5	24,5	25	29	35
	max. kg/h PA6.6		5	7	8	8,5	10,5	12,5	12,5	15	17,5
Injection pressure	max. bar		2500	2000	1470	2500	2000	1530	2500	2000	1580
Holding pressure	max. bar		2500	2000	1470	2500	2000	1530	2500	2000	1580
Injection flow 2	1 pump	max. cm ³ /s	94 120	136 172	186 236	102 130	140 178	182 232	128	168	212
	2 pumps	max. cm ³ /s	94 120	136 172	186 236	102 130	140 178	182 232	128	168	212
	Accum.	max. cm ³ /s	216	312	424	316	430	562	492	642	814
Screw circumferential speed 2	1 pump	max. m/min	49 50	59 60	69 70	46 51	54 60	62 69	47	53	60
	2 pumps	max. m/min	49 50	59 60	69 70	46 51	54 60	62 69	47	53	60
	Accum.	max. m/min	14	17	19	20	24	27	16	19	21
Screw torque	max. Nm		210	250	290	320	380	430	480	550	610
Nozzle contact force retraction stroke	max. kN mm		50 210			60 240			60 300		
Heating capacity zones	kW		9,4 5			6,4 5			9,4 5		
Feed hopper	l		50			50			50		

Drive and connection			1 pump			2 pumps			Accum.		
with injection unit			170	290	400	170	290	400	170	290	400
Net weight of machine	kg		4500	4550	4750	4500	4550	4750	---		
Sound press. level Insecurity 4	dB(A)		66 3			66 3			66 3		
Oil filling	l		175			175			175		
Drive power 2	max. kW		18,5			18,5	18,5	22	15		
Electrical connection 3		kW	30	27	30	30	27	34	26	24	26
	Total	A	80			80	80	100	80	63	80
	Machine	A	---			---			---		
	Heating	A	---			---			---		
Cooling water connection	max. °C		25			25			30		
	min. Δp bar		1,5 DN 25			1,5 DN 25			1,5 DN 25		

Machine type	
with EUROMAP size designation 1	Drive
470 S 800-170 290	1 2 Accum.
470 S 1000-170 290 400	1 2 Accum.
470 S 1100-170 290 400	- 2 Accum.

Upon request: other machine types and mould installation heights, screws, drive powers etc.

All specifications relate to the basic machine version. Deviations are possible depending on variants, process settings and material type. Depending on the drive, certain combinations, e.g. max. injection pressure and max. injection flow may be mutually exclusive.

1) Clamping force (kN) - size of injection unit = max. stroke volume (cm³) x max. injection pressure (kbar).

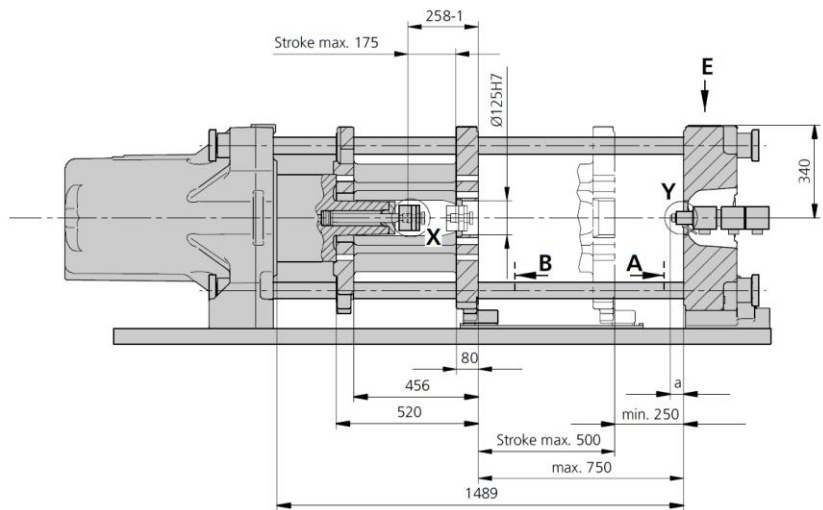
2) Specifications depend on the drive config. – 1st value applies to the lowest clamping force.

3) Specifications relate to 400 V/50 Hz.

4) Detailed info in the operating instr.

[] Specifications apply to alternative equipment.

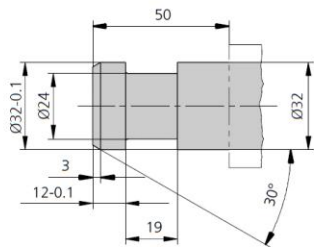
MOULD INSTALLATION DIMENSIONS | 470 S



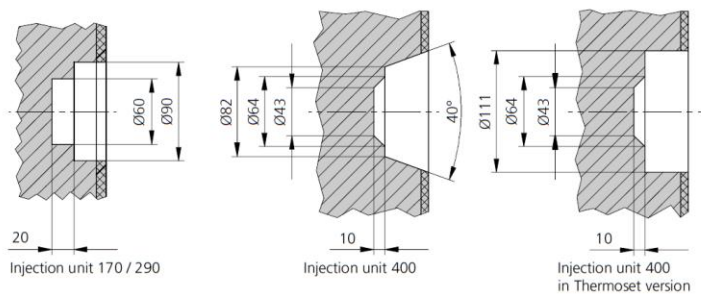
a max.	Injection unit	
	170 / 290	400
Standard	40	50
Thermoset	20	50

Dimensions for horizontally displaceable injection unit (VARIO principle) reduced by 20 mm

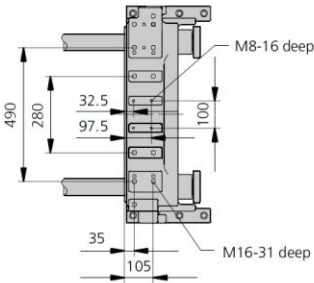
Ejector bolt | X



Bore in mould (if required) | Y

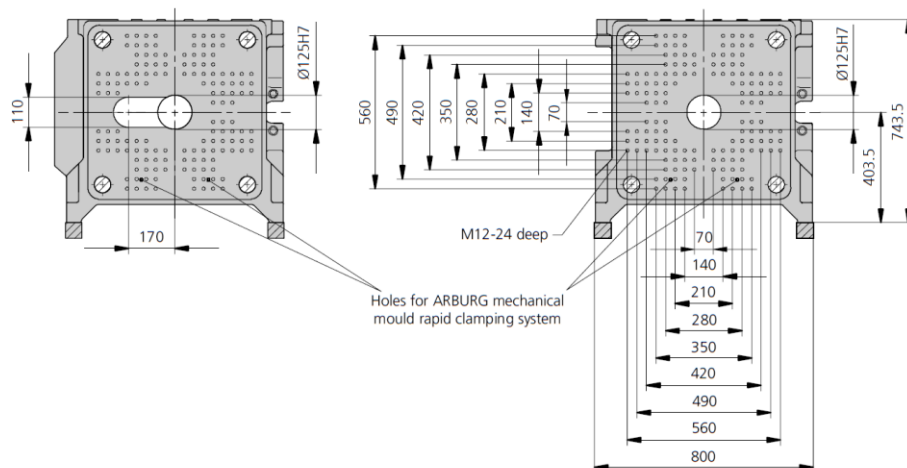


Robotic system mounting | E

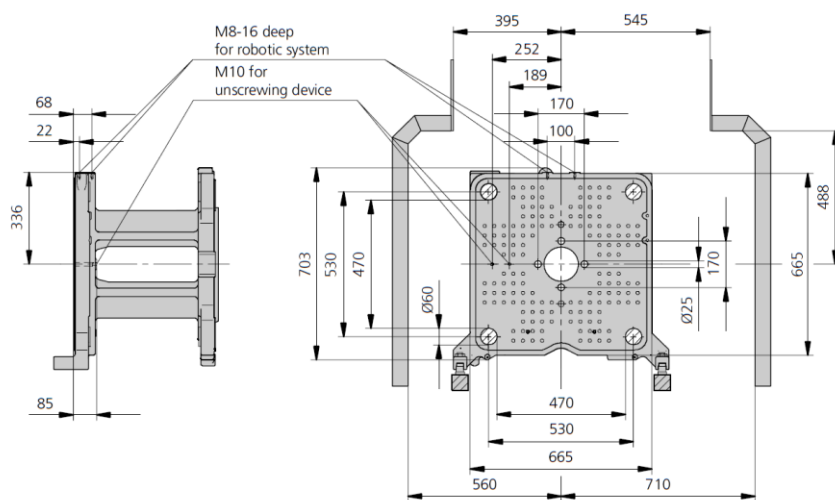


MOULD INSTALLATION DIMENSIONS | 470 S

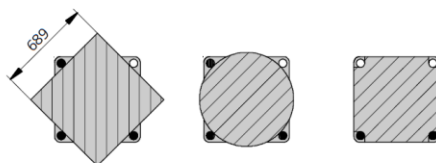
Fixed mould mounting platen | A



Moving mould mounting platen | B



Useful clamping surface when pulling the tie rods



SHOT WEIGHTS | 470 S

Theoretical shot weights for the most important injection moulding materials

Injection units according to EUROMAP		170			290			400		
Screw diameter	mm	25	30	35	30	35	40	35	40	45
Polystyrene	max. g PS	54	77	105	97	132	172	141	184	232
Styrene heteropolymerizates	max. g SB	53	76	103	95	129	168	137	179	227
	max. g SAN, ABS ¹⁾	52	74	101	93	126	165	135	176	223
Cellulose acetate	max. g CA ¹⁾	61	87	119	109	148	194	158	207	262
Celluloseacetobutyrate	max. g CAB ¹⁾	56	81	110	101	138	180	147	192	243
Polymethyl methacrylate	max. g PMMA	56	80	109	100	136	178	145	190	240
Polyphenylene ether, mod.	max. g PPE	50	72	98	90	122	160	131	171	216
Polycarbonate	max. g PC	57	81	111	102	139	181	148	193	244
Polysulphone	max. g PSU	58	84	115	105	143	187	153	199	252
Polyamides	max. g PA 6.6 PA 6 ¹⁾	53	77	104	96	131	171	140	183	231
	max. g PA 6.10 PA 11 ¹⁾	50	72	98	90	122	160	131	171	216
Polyoximethylene (Polyacetal)	max. g POM	66	96	130	120	163	213	174	227	287
Polyethylene terephthalate	max. g PET	64	92	126	115	157	205	167	219	277
Polyethylene	max. g PE-LD	41	59	80	73	100	130	106	139	176
	max. g PE-HD	42	60	82	76	103	134	110	143	181
Polypropylene	max. g PP	43	62	84	77	105	137	112	146	185
Fluoropolymerides	max. g FEP, PFA, PCTFE ¹⁾	86	124	169	155	211	276	225	294	372
	max. g ETFE	76	109	148	136	185	242	196	256	324
Polyvinyl chloride	max. g PVC-U	65	94	127	117	159	208	170	222	281
	max. g PVC-P ¹⁾	60	87	118	108	147	192	157	205	260

1) average value

ARBURG GmbH + Co KG
 Arthur-Hehl-Strasse
 72290 Lossburg
 Tel.: +49 7446 33-0
 www.arburg.com
 contact@arburg.com