

Konstrukce vstřikovací formy pro výrobu plastového dílu

Adam Ondrašík

Bakalářská práce
2021



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

Akademický rok: 2020/2021

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Adam Ondrašík**
Osobní číslo: **T18834**
Studijní program: **B3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Technologická zařízení**
Forma studia: **Prezenční**
Téma práce: **Konstrukce vstříkovací formy pro výrobu plastového dílu**

Zásady pro vypracování

1. Vypracujte literární studii na dané téma.
2. Proveďte konstrukci 3D modelu vyráběné součásti.
3. Navrhněte 3D sestavu vstříkovací formy pro výrobu zadané součásti.
4. Nakreslete 2D sestavu vstříkovací formy.

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

BEAUMONT, John P. *Runner and gating design handbook: tools for successful injection molding*. 2nd ed. Munich: Hanser Publishers, c2007, xvi, 308 s. ISBN 978-1-56990-421-3

OSSWALD, Tim A., Lih-Sheng TURNG a Paul J. GRAMANN. *Injection molding handbook*. 2nd ed. Munich: Carl Hanser Publishers, c2008, xvii, 764 s. ISBN 978-1-56990-420-6

CHEN, Shia-Chung a Lih-Sheng TURNG, ed. *Advanced injection molding technologies*. Munich: Hanser Publishers, [2019], xv, 426 s. Progress in polymer processing (PPP) series. ISBN 9781569906033.

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Michal Staněk, Ph.D.**
Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce: **5. ledna 2021**
Termín odevzdání bakalářské práce: **21. května 2021**

prof. Ing. Roman Čermák, Ph.D. v.r.
děkan

L.S.

prof. Ing. Berenika Hausnerová, Ph.D. v.r.
ředitel ústavu

Ve Zlíně dne 1. dubna 2021

PROHLÁŠENÍ AUTORA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Beru na vědomí, že:

- bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému a dostupná k nahlédnutí;
- na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- podle § 60 odst. 1 autorského zákona má Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- pokud bylo k vypracování bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tj. k nekomerčnímu využití), nelze výsledky bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- pokud je výstupem bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považuji se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji,

- že jsem na bakalářské práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou obsahově totožné.

Ve Zlíně, dne:

Jméno a příjmení studenta:

.....
podpis studenta

ABSTRAKT

Tato práce se zabývá návrhem vstřikovací formy pro plastový díl. Tímto dílem je trubkové koleno s výstupky pro nasazení rozváděcího členu. V teoretické části jsou popsány jednotlivé operace vedoucí k návržení funkční vstřikovací formy. Jedná se o všeobecné zásady konstrukce dílu a formy a také popis funkcí jednotlivých systémů

Druhou kapitolou je praktická část, která je věnována vyhotovení modelu trubkového kolena, a následnému vyhotovení modelu vstřikovací formy. Taktéž v této kapitole je popsána volba příslušného vstřikovacího stroje podle příslušných parametrů. Poslední část je věnována volbě materiálu, ze kterého bude výrobek vyhotoven.

Klíčová slova: vstřikování polymerů, vstřikovací forma, polymer, vstřikovací stroj

ABSTRACT

Work deals with the design of an injection mold for a plastic part. This part is a tubular elbow with protrusions for mounting the distribution member. The theoretical part describes the individual operations leading to the design of a functional injection mold. These are general principles of part and mold design, as well as a description of the function of individual systems.

The second chapter is the practical part devoted to implementing the model of the pipe elbow and the subsequent implementation of the injection mold model. The chapter also describes the selection of the appropriate injection molding machine according to the relevant parameters. The last part is devoted to the choice of material from which the product will be made.

Keywords: injection molding, injection mold, polymer, injection molding machine

Rád bych poděkoval panu doc. Ing. Michalu Staňkovi, Ph.D. za ochotu, odborné vedení, trpělivost a cenné rady při zpracování bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat panu Ing. Petru Fluxovi za pomoc při tvorbě modelů. Mé poděkování si také zaslouží mí blízcí, kteří mě podpořili v době studia.

Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské/diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

OBSAH

ÚVOD.....	9
I TEORETICKÁ ČÁST	10
1 KONSTRUKČNÍ ZÁSADY PRO PLASTOVÉ DÍLY	11
1.1 ZÁKLADNÍ TECHNICKÉ ZÁSADY.....	11
1.1.1 Dělicí roviny.....	11
1.1.2 Tloušťka stěn.....	11
1.1.3 Úkosoý	12
1.1.4 Žebra.....	13
1.1.5 Ostré rohy a zaoblení.....	13
1.2 POLYMERY POUŽÍVANÉ NA VSTŘIKOVÁNÍ	14
1.2.1 Termoplasty.....	16
1.2.2 Reaktoplasty	17
1.2.3 Elastomery.....	17
1.3 MATERIÁLY POUŽÍVANÉ PRO VÝROBU FOREM.....	17
1.3.1 Oceli	17
1.3.2 Úpravy ocelí	18
1.3.3 Neželezné kovy	19
2 TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ.....	20
2.1 VSTŘIKOVACÍ CYKLUS TERMOPLASTŮ.....	20
2.2 VSTŘIKOVACÍ JEDNOTKY.....	22
2.2.1 Šnekový vstřikovací stroj	22
2.2.2 Šneky.....	22
2.2.3 Pístový vstřikovací stroj	23
2.3 UZAVÍRACÍ JEDNOTKA.....	23
2.4 VSTŘIKOVACÍ FORMY A JEJICH SYSTÉMY.....	25
2.4.1 Vtokový systém.....	26
2.4.2 Studený vtokový systém.....	26
2.4.3 Horký vtokový systém	29
2.4.4 Vyhazovací systém.....	30
3 VADY VSTŘIKOVANÝCH DÍLŮ	33
3.1 PŘÍKLADY JEDNOTLIVÝCH DEFECTŮ A JEJICH PŘÍČINY	34
II PRAKTICKÁ ČÁST	37
4 CÍLE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE	38
5 POPIS A SPECIFIKACE VÝROBKU.....	39
5.1 MATERIÁL VÝROBKU	39
6 VOLBA VSTŘIKOVACÍHO STROJE	40
7 KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍ FORMY.....	41

7.1	ZAFORMOVÁNÍ VÝROBKU.....	44
7.2	TVAROVÉ ČÁSTI	44
7.3	VTKOVÝ SYSTÉM	46
7.4	ODVZDUŠNĚNÍ A TEMPERACE	47
7.5	ODFORMOVÁNÍ VÝROBKU	50
7.6	VYHAZOVAČÍ ZAŘÍZENÍ.....	51
7.7	MANIPULAČNÍ ZAŘÍZENÍ.....	51
	ZÁVĚR	52
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	54
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	56
	SEZNAM OBRÁZKŮ	57
	SEZNAM TABULEK.....	58
	SEZNAM PŘÍLOH.....	59

ÚVOD

Polymery v novodobé historii tvoří nezastupitelné odvětví zpracovávaných materiálů. Jejich modifikacemi lze v určitých aplikacích plně nahradit materiály jako jsou kovy, dřevo, sklo a stavební materiál. Umožnění takto širokému spektru aplikací je díky nezměrnému vývoji této oblasti ve 20. století. Polymery stejně jako i jiné materiály musí mít své vlastní zpracovatelské technologie. Tyto zpracovatelské technologie fungují na principu tváření nebo tvarování polymerní hmoty. Vývoj zpracovatelských technologií začal podstatně dříve rozvoj samotných polymerů. [8][9][10]

Nejvíce známými tvářecími technologiemi zpracování polymerů je vytlačování a vstřikování. I když se jedná o rozdílné technologie, tak jejich funkční principy jsou takřka totožné.

V této práci je popsána problematika technologie vstřikování. Problematika této technologie ovlivňuje odvětví výrobní, taktéž zasahuje i do odvětví spotřebního. Všechno je zde totiž podřízeno stále se zvyšujícím požadavkům a nárokům na přesnost a jakost výrobku při snižování ekonomických nákladů. [1]

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 KONSTRUKČNÍ ZÁSADY PRO PLASTOVÉ DÍLY

Ve složitém procesu konstrukce plastového dílu a jeho formy je zastoupené odvětví konstrukce, výroby a ekonomiky. Všechna tato odvětví se navzájem ovlivňují a jejich vzájemná komunikace je klíčovým prvkem k vytvoření požadovaného cíle. Jednotná metodika postupu se skládá celkem ze tří částí. Jedná se o vstupní fázi, ve které se vytvoří prvotní návrhy a model. Další částí je studijní fáze, zde dochází k rešerši informací o dané problematice. Poslední částí je realizační fáze. V realizační fázi dochází k tvorbě výrobního výkresu, podrobného technologického postupu a konstrukčního návrhu vstřikovací formy.[1]

1.1 Základní technické zásady

Za technologičnost je plně odpovědný konstruktér. Proto je třeba znát základy pravidel konstruování výrobků a forem. Prvotní návrhy výkresů nemusí splňovat veškeré podmínky pro vyrobitelnost dílu. Takovou dokumentaci je třeba vhodně upravit v souladu s postupem výroby a funkčnosti výrobku.[1]

1.1.1 Dělicí roviny

Zde začíná veškerá práce se zaformováním dílu. O dělicí rovině hovoříme jako o ploše, ve kterém dochází k oddělení pevné a pohyblivé části formy. Dělicí roviny rozdělujeme na hlavní a vedlejší. Hlavní dělicí rovina je umístěna vždy kolmo k ose uzavírání formy. Vedlejší dělicí roviny se používají u výrobků obsahující boční otvory, zápichy nebo nálitky. Volba dělicích rovin ovlivňuje technickou náročnost formy. Snahou konstruktéra by mělo být navrhnout takovou formu, která má co nejméně dělicích rovin. Náročnost formy se zde přímou úměrou zvyšuje s počtem vedlejších dělicích rovin. Volba dělicích rovin musí zaručit schopnost vyjmutí výrobku z formy.[1]

1.1.2 Tloušťka stěn

Volba optimální tloušťky stěn výrobku musí splňovat několik požadavků. Jedním z požadavků, který stěna musí splňovat je její pevnost a tuhost. Tohle je ovlivněné volbou materiálu, jelikož každý polymer má jiné vlastnosti. Pro určení tloušťky pomáhá provedení počítačové analýzy plnění a vypočítání tokové dráhy. Se zvětšující se tloušťkou stěny, rostou i ekonomické náklady, jelikož je potřeba většího množství materiálu a prodlužuje se doba jednoho výrobní cyklu. Pro umožnění dokonalého průtoku taveniny stěnou se její tloušťka

zvětšuje obvykle od místa vtoku, popřípadě pouze na určitých částech. Taktéž volba tloušťky stěny ovlivňuje způsob vyjmutí výrobku a jeho požadovanou přesnost. Splněním ekonomických, výrobních a technologických požadavků lze navrhnout minimální tloušťku stěny.

Výpočet tokové dráhy:

$$x = \frac{l}{s} \quad (1)$$

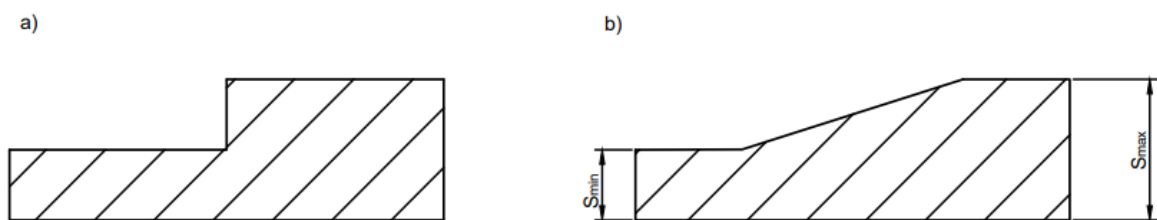
Dalším požadavkem je snaha o zachování co největší rovnoměrnosti tloušťky. Stěny s větším průměrem totiž chladnou pomaleji, a proto se nám může tenčí stěna vlivem rozdílného smrštění zvltnit. Pro minimalizaci napětí u stěn se střídavou tloušťkou musíme navrhnout vhodný přechod. Přechodový poměr je rozdílný pro termoplasty a reaktoplasty. [1][2]

Přechodový poměr pro termoplasty:

$$S_{min} : S_{max} = 1 : 1,5 \quad (2)$$

Přechodový poměr pro reaktoplasty:

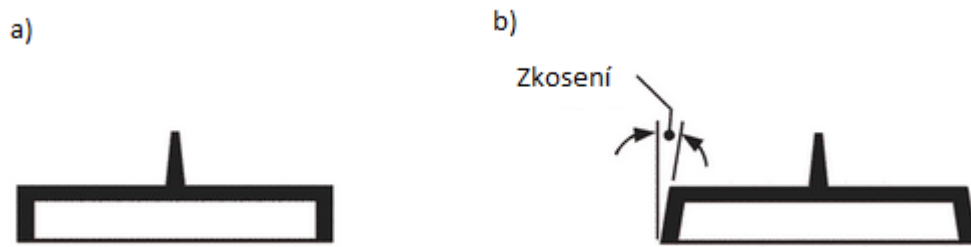
$$S_{min} : S_{max} = 1 : 2 \quad (3)$$



Obrázek 1 a) nevhodné řešení přechodu tloušťky, b) vhodné řešení přechodu tloušťky [1]

1.1.3 Úkosy

Použití úkosů slouží k usnadnění vyjmutí vstříkované součásti. Jeho velikost určuje smrštění polymeru nebo zaformování výrobku. Zpravidla větší úkosy bývají na vnitřních stranách výstřiku. Většina materiálů vyžaduje minimální úkos o velikost $0,5^\circ$. Pro vnitřní plochy lze použít úkos až o velikost 3° a pro vnější plochy může hodnota úhlu stoupnout až na 2° . Větší hodnoty úkosů volíme pro žebra. Taktéž povrchová úprava dutiny formy do značné míry dokáže ovlivnit velikost úkosu, jelikož leštěné povrchy potřebují menší úkosy než povrchy jemně obrobene. [1][3]



Obrázek 2 a) obtížně odformovatelný výstřík, b) snadno odformovatelný výstřík [17]

1.1.4 Žebra

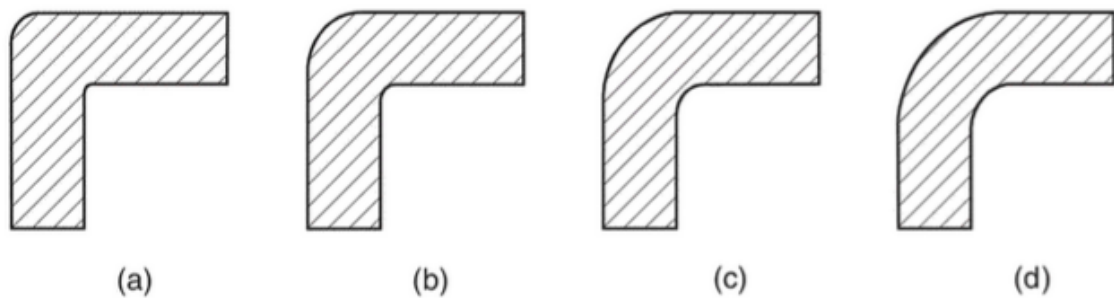
Pomocí žeber se může dosáhnout větší tuhosti a pevnosti výrobku, zlepšení tokových vlastností nebo estetických účelů. Jejich tloušťka je volena podle poměru velikosti k hlavní tloušťce stěny výstříku. Tento poměr je rozdílný pro amorfnní a semikrystalické polymery. V místech styku žeber a stěny může docházet ke vzniku tzv. propadlin. Tohle je zapříčiněné větším množstvím polymeru v místě styku a jeho pomalejším chladnutím. Propadliny lze nejvíce pozorovat na lesklých površích, proto se k eliminaci propadlin tyto povrch dezénují. Nevhodně zvolená tloušťka žeber taktéž může zapříčinit deformaci tělesa. [2][3]

Počet žeber a jejich umístění taktéž dokáže změnit vlastnosti výrobku. Přidáním žeber sice ovlivníme třeba tuhost, ale na druhou stranu tím můžeme zmenšit odolnost vůči rázovému namáhání. Proto je třeba si jejich umístění a počet dobře promyslet. [3]

1.1.5 Ostré rohy a zaoblení

Ostré rohy nám můžou zapříčinit zhoršení kvality výrobku. Dochází zde totiž ke zvyšování napětí, taktéž se zhoršuje tok taveniny v těchto místech. V místech ostrých rohů nejčastěji dochází k prasknutí výrobku vlivem rázového namáhání. Proto je snaha tyto místa zaoblovat a tím předcházet vzniklým komplikacím. [2]

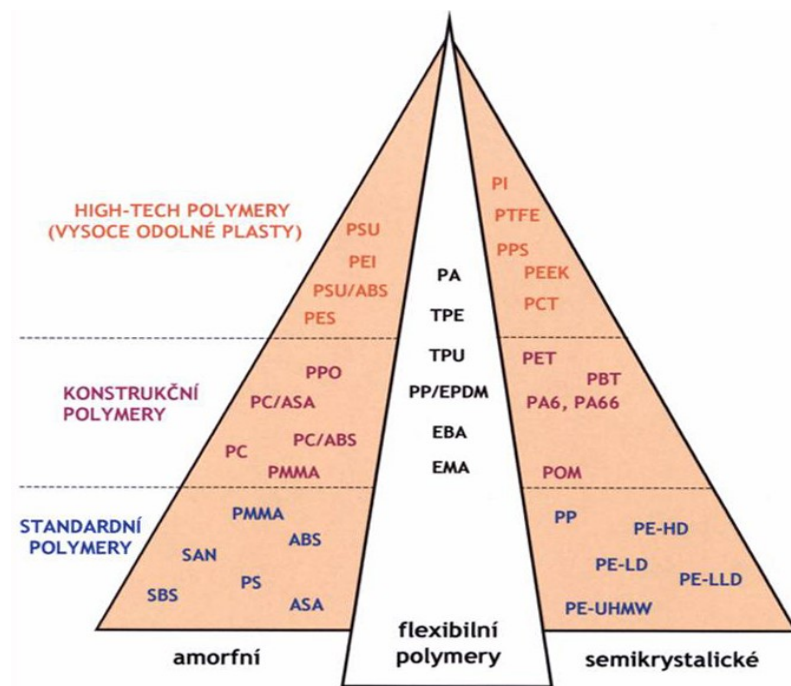
Ostré rohy se odstraňují pomocí zaoblování, které je ovlivněné tloušťkou stěn a zpracovaným materiálem. Velikost zaoblení nesmí zapříčinit hromadění materiálu, které by potom vedlo ke vzniku lunkrů (dutin). Minimální možné zaoblení specifikují pro každý materiál normy. [1][2]



Obrázek 3 Optimalizace zaoblení od nevhodné (a) po vhodné (d)

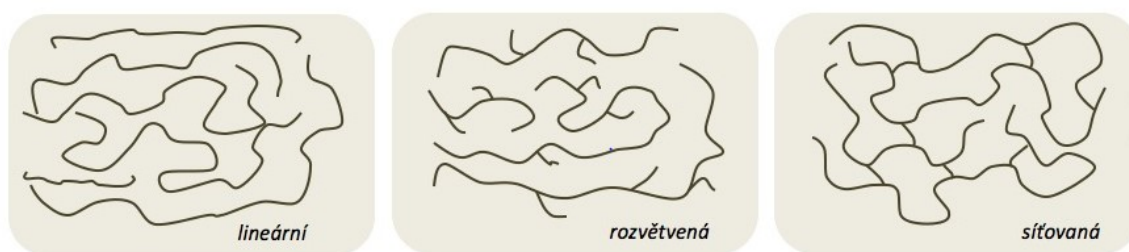
1.2 Polymery používané na vstřikování

Aplikace polymerů je rozdělena celkem do tří skupin díky jejich specifickým vlastnostem. Polymery pro tzv. široké použití jsou nejvíce používanou skupinou pro jejich snadnou zpracovatelnost, širokou dostupnost a nízkou cenu. Zástupci této skupiny jsou polyolefiny, PS, PVC atd. Další oblastí použití je pro inženýrské aplikace, tyto polymery mají oproti přechodní skupině lepší mechanické a chemické vlastnosti. Do této skupiny můžeme zařadit ABS, PA, POM, PMMA, PUR, PC atd. Poslední skupinou jsou polymery pro speciální aplikace. Zástupci této skupiny vykazují extrémní odolnosti vůči teplu, mechanickému namáhání a chemikáliím. Příkladem nám může být PTFE, který odolává vysokým teplotám a je nepřilnavý. Tato skupina polymerů je obtížně zpracovatelná, a proto vyžaduje speciálně navržené stroje a formy. [7]



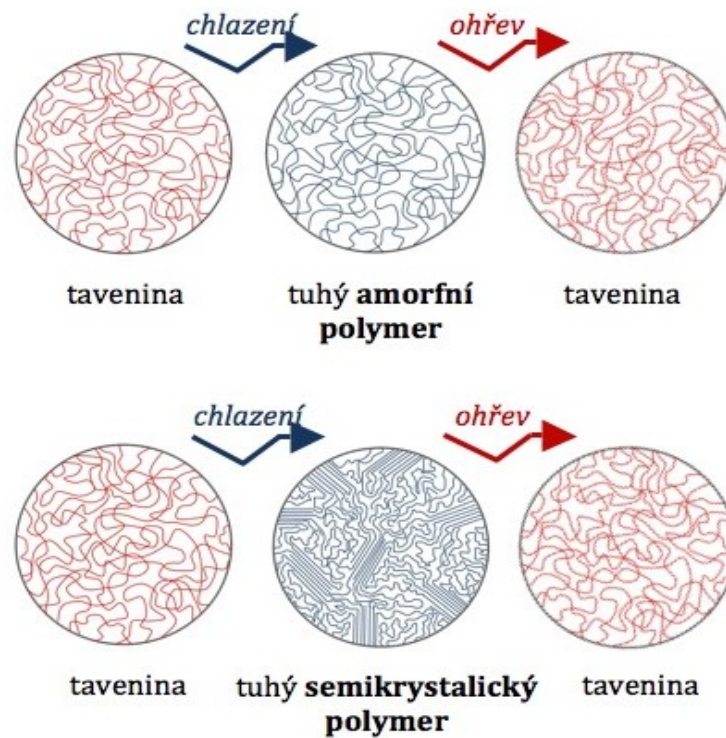
Obrázek 4 Rozdělení termoplastů podle jejich aplikace [7]

Polymery patří mezi organické látky, které jsou tvořené makromolekulární strukturou. Jejich základní stavební jednotkou je mer, který se v řetězcích opakuje a celkový počet merů udává polymerační stupeň. Se zvyšujícím polymeračním stupněm se zlepšují vlastnosti polymeru, ale zároveň dochází k zhoršením zpracovatelských vlastností. Dalším způsobem rozdělení je podle způsobu vzniku. Polymery vznikají pomocí polymerních reakcí jako je polykondenzace, polymerace a polyadice. Těmito reakcemi nám monomery tvoří řetězce a ty poté dělíme na lineární, rozvětvené a zesíťované. [5][8]



Obrázek 5 Organizace řetězců polymeru [9]

Pokud se řetězce neuspořádají po přechodu z kapalného do pevného stavu, tak vzniká amorfní polymer. Při pravidelném uspořádání dochází ke vzniku lamel a ty tvoří základní stavební složku krystalického polymeru. Jelikož nikdy nelze dosáhnout 100% obsahu krystalické fáze tak vždy bude přítomna i amorfní fáze, proto se spíše jedná o tzv. semikrystalické polymery. Amorfní polymery mají své mechanické vlastnosti více závislé teplotě. Se zvětšující se amorfní částí polymeru roste jeho průhlednost, kterou lze taktéž ovlivnit použitím přírodních katalyzátorů nebo rychlostí ochlazování.[5]



Obrázek 6 Teplotní přechod termoplastů [9]

Taktéž lze polymery dělit podle toho, zda obsahují plniva na plněné a neplněné polymery. Přídavkem plniva můžeme zlepšit vlastnosti materiálu, jejich chemickou odolnost a také tvarovou stálost, popřípadě snížit ekonomické náklady. Jako vyztužující plniva se používají skelná vlákna, uhlíková vlákna apod. Místo vláknitých plniv lze použít plniva prášková jako jsou kovové prášky nebo kaolin apod. Dalším způsobem dělení je podle polarity, kdy nepolární plasty nemají trvalý dipól. Za nepolární polymer se považuje takový, který obsahuje v řetězcích pouze prvky H a C. Posledním dělením je podle chování polymeru za tepla. Takto rozdělujeme polymery na termoplasty, reaktoplasty a elastomery. [7]

1.2.1 Termoplasty

Hlavní vlastností termoplastů je jejich opětovná možnost přechodu z pevné do kapalné fáze. Výhodou je jejich snadná plastikace a vytvrzování pouze pomocí chladnutí. Termoplasty řadíme do skupiny viskózních neneutonských kapalin. S každým opětovným zahříváním termoplastu dochází ke zkracování polymerních řetězců a tím se zhoršuje jeho kvalita. [5][8][10]

1.2.2 Reaktoplasty

U reaktoplastů dochází vlivem tepla nebo katalyzátorů k chemické reakci a vytvoření příčných vazeb (síťování) mezi řetězci. Tato vytvořená struktura zabraňuje zpětnému převedení do tekutého stavu. Pokud opětovněm pokusu termoset zahřát, dojde k jeho teplotní degradaci. Zpracování termosetů je komplikované, chemická vytvrzující reakce začíná ihned po smíchání všech komponent. Příkladem reaktoplastu používaného technologií vstřikování je polyuretan (PUR). [10]

1.2.3 Elastomery

Podobně jako u reaktoplastů tak i v této skupině polymerů dochází k vytvrzování výrobku pomocí tlaku, tepla a přítomnosti vulkanizačního činidla. Do skupiny elastomerů patří přírodní a syntetické kaučuky. Problémem vstřikování elastomerů je předčasná vulkanizace, která může nastat při zahřívání polymeru. [9]

1.3 Materiály používané pro výrobu forem

Materiálů používaných pro výrobu forem je mnoho. Díky vysoké pořizovací ceně formy je potřebné, aby vydržela co největší počet výrobních cyklů. Kov, který je nevíce cenově dostupný, dokáže zaručit funkčnost formy a má vysokou životnost je ocel. [11]

1.3.1 Oceli

Výběr ocelí je komplexní činnost, která je ovlivněna zaformování výrobku a formy. Pro jednotlivé prvky forem se volí odlišné druhy ocelí. Jejich zastoupení tvoří více jak 80% vstřikovací formy. Vhodnými úpravami se zvyšuje životnost a zlepšení mechanických vlastností jednotlivých dílů formy. [2][11]

Hlavní požadavky výběru ocelí:

- ekonomicky výhodná vyhotovení,
- houževnatost a pevnost,
- teplotní odolnost a odolnost proti opotřebení,
- dobrá teplotní vodivost,
- odolnost vůči korozi.

1.3.2 Úpravy ocelí

- Kalení a cementování: Kalením a cementováním vytvoří na povrchu ochrannou vrstvu, která vykazuje obdobnou tvrdost. Díky tomu se získá odolný povrch proti opotřebení a houževnaté jádro lepší i odolnost vůči namáhání. Cementování lze provést i pouze v lokálních místech. Díky vlastnostem získaným touto úpravou, se zvyšuje životnost vodičím prvkům ve formě. [2][11]
- Nitridování: Podmínkou nitridování je přítomnost legur schopných nitridace. Mezi tyto legující prvky se řadí chrom, molybden, hliník, nikl nebo titan. Pomocí difuze nastává sycení povrchu dusíkem z okolního prostředí. Tohle se provádí v solné lázni, plynném nebo sypkém prostředí. Všeobecně nitridování je časově náročná operace, která je ovlivněna použitými médii. Nitridováním se dosahuje tvrdost až 800 HB. Tato úprava povrchu nachází uplatnění pro vstřikování reaktoplastů. [11]
- Popouštění: Při teplotě nad 500 °C dochází přeměně martenzitu na železo alfa a karbid, ocel proto získává větší houževnatost. Celková houževnatosti je ovlivněna dobou popouštění. [11]

Obohacením této oceli o síru se zlepšuje její obrobiteľnosť a zároveň snižuje možnost pokovování. Pokud je ocel obohacena o vápník, tak může snížit obsah síry na hodnotu <0,005 %. Popouštěné oceli se uplatňují při výrobě středně velkých nebo velikých forem. [11]

- Protikoroziční úprava: Tato úprava se provádí, pokud předpokládáme vystavení oceli s korozivními látkami uvolněných z polymeru. Ocel, která vykazuje protikoroziční chování je obohacena o chrom. Při kontaktu s kyslíkem se chrom přemění na oxid chromitý a ten poté vytvoří neviditelnou vrstvu, která chrání ocel. Problém nastává při vystavení oceli nad teplotu 400 °C, může zde totiž dojít k vytvoření karbidu chromu díky uhlíku obsaženém v oceli. [11]

Pokud není nutnost použít tuto ocel, tak lze použít pokovování nebo natírání ochranným prostředkem. Nevýhodou pokovování je riziko odloupení ochranné vrstvy. U ochranných nátěrů hrozí vyplnění hran ochranným prostředkem, a to může zapříčinit vytvoření dokonalého výstřiku. [11]

1.3.3 Neželezné kovy

Jak již bylo uvedeno dříve, tak neželezné kovy jsou podstatně dražší jak ocel. Proto je jejich používání značně omezeno. Neželezné kovy se používají hlavně díky jejich speciálním vlastnostem, které nedokáže nahradit ocel. [11]

Zástupci této skupiny materiálů na výrobu částí forem jsou:

- Slitiny mědi: Měď se vyznačuje velikou teplotní vodivostí. Měď se používá v kombinaci s Beryliem, které zlepšuje její mechanické vlastnosti. Uplatnění této slitiny lze najít v teplotních vodičích formy. [11]
- Slitiny hliníku: Úpravy vlastností hliníku zvětšily jeho použitelnost v oblasti vstřikovacích forem. Důvodem, proč je hliník více používán je jeho nízká hustota, dobrá obrobitelnost, odolnost vůči korozi a teplotní vodivost. Formy vyhotovené z hliníku jsou až o 50% lehčí, ale tloušťka desek formy musí být zvětšena přibližně o 40 %. Doba zpracování hliníku je kratší oproti době zpracování ocelí použitím vhodných nástrojů. Taktéž lze použít elektroerozivní obrábění pro vyhotovení potřebných tvarů. Díky zmíněné dobré teplotní vodivosti lze výrazně zkrátit jeden vstřikovací cyklus. Ve formě z hliníku lze zhotovit přibližně 200 000 výstřiků. [11]
- Slitiny zinku: Tyto slitiny vykazují horší mechanické vlastnosti a dobrou teplotní vodivostí. Uplatnění slitiny zinku se na vložkách. Tyto vložky odolávají silám vzniklých při uzavírání formy. [11]
- Slitiny cínu s bismutem: Tato slitina nachází uplatnění především k vyhotovení prototypů vstřikovacích forem. Dalším uplatnění této slitiny je pro tavná jádra. Samotný cín je snadno tavitelný kov. Kombinací cínu a bismutu se může pohybovat teplota tání této slitiny již od 40 °C. Teplota tání je značně ovlivněna poměrem jednotlivých složek slitiny. Taktéž se jedná o měkký a těžký kov, který křehne po vystavení teplotním šokům. Pevnost této slitiny se úměrně zvyšuje s přirozeným stárnutím. [11]

2 TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ

Jedná se o jednu z mnoha technologií pro zpracování polymerů. Technologii vstřikování řadíme mezi tvářecí cyklické technologie. V plastikářské technologii pojem tvářecí technologie znamená, že při zpracování polymeru dochází k volnému pohybu částic hmoty. Vstřikování plastů je technologicky obdobné jako vytlačování plastů, rozdílný je pouze proces vytvrzování výrobku. Výrobek se při této technologii vytvrzuje v dutině formy, ze které přesně kopíruje její tvar a rozměry. Pomocí vstřikování lze také vyrábět různě tvarově složité výrobky nebo výstřiky obsahující cizí těleso, kterým může být kovový insert, popřípadě jiný polotovar. Do vstřikovací formy se může také vstřikovat více jak jeden druh polymeru nebo polymery obsahující nadouvadla pro utvoření pěny.[8]

Široké spektrum možností nám dovoluje vstřikovat výrobky o nepatrných hmotnostech až po součásti vážící několik kilogramů. Touto technologií se u česku zpracovává přibližně 93 tis. tun materiálu ročně. [4][8]

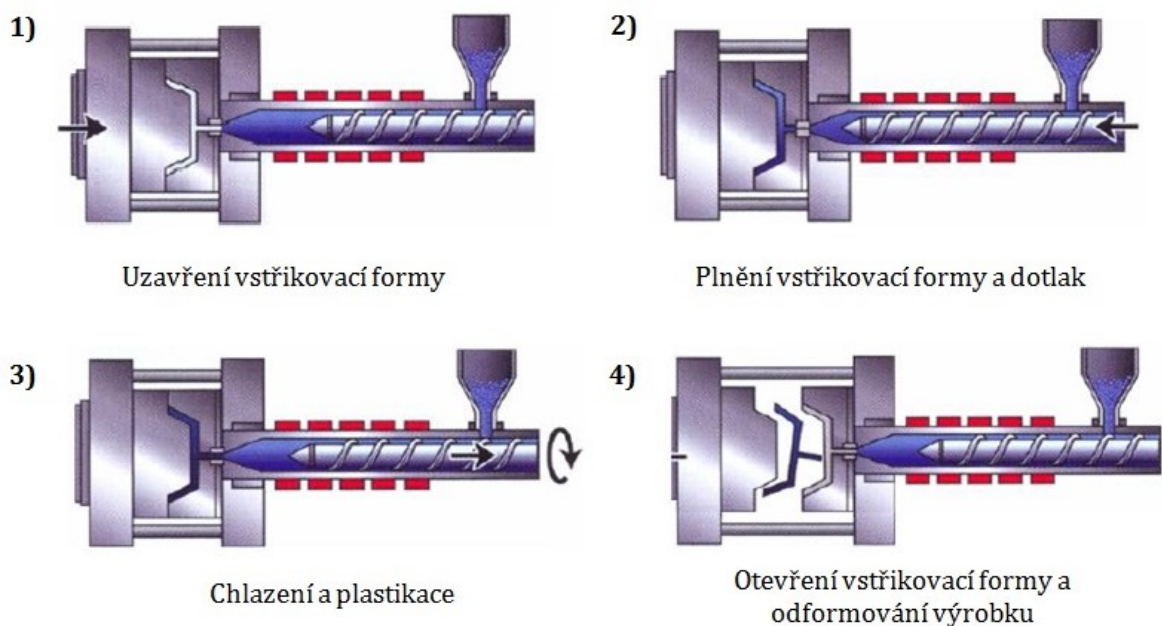
Vstřikovací stroje se řadí do skupiny tvářecích strojů. Jejich úkolem je zahřívání polymerní směsi pod teplotu skelného přechodu T_g a následné vstříknutí taveniny polymeru do dutiny formy za účelem vytvoření plastového výrobku. Jsou složeny ze vstřikovací jednotky, uzavírací jednotky a řídicího systému. [8]

2.1 Vstřikovací cyklus termoplastů

Na počátku této technologie je polymer v podobě granulátu nebo prášku a přísad dávkován do vstřikovacího stroje. Tato směs je poté převedena do plastického stavu. Vzniklá viskózní kapalina je dopravena určitou rychlostí a tlakem přes vstřikovací trysku do dutiny formy. Tady dochází za působení tlaku a nízké teploty formy k vytvrzení. Celý tento sled kroků se popisuje tzv. vstřikovacím cyklem.[4]

- Plnění: Tato fáze je ovlivněna vstřikovacím tlakem, rychlostím profilem toku, teplotou taveniny a zdvihem šneku. Šnek nebo píst v této fázi začíná polymerní taveninu tlačit před sebou a následně začne prostupovat tryskou do dutiny formy, kterou začne vyplňovat. Rychlost plnění je v počáteční fázi nízká a poté dochází k jejímu nárůstu. Aby bylo možné objemovou redukcí chládnoucího polymeru eliminovat pomocí dotlaku, tak se rychlost plnění v konečné stadiu sníží. Konec plnění fáze nastává, jakmile se dutina dostatečně naplní polymerem.

- **Dotlak:** Polymerní tavenina začíná chladnout od okamžiku, kdy je v dutině formy. Při chlazení dochází k objemové změně polymeru, a to vede ke vzniku vadného výrobku. Účelem dotlakové fáze je tuto objemovou změnu co nejvíce eliminovat dodatečným vstříkem polymerní taveniny. Při předčasném přepnutí plnicí fáze na dotlakovou se výrazně sníží rychlost plnění formy v posledním stadiu, a to může vést k nadměrnému smrštění výstřiku. Pokud dojde k pozdnímu přepnutí na dotlak, tak dojde k okamžitému zvýšení tlaku. Celá tato fáze probíhá při nízké tokové rychlosti a končí, jakmile dojde k zamrznutí vtokové soustavy.
- **Chlazení:** Fáze chlazení zaujímá nejdelší časový úsek vstřikovacího cyklu. Aby se snížily náklady a zvýšila produkce, tak je snaha tuto dobu co nejvíce zkracovat. Nevýhodou je riziko rychlého chlazení, které vede k rozdílnému smršťování a vzniku závad na výrobku. K účinnému chlazení se používají chladicí kanálky, ve kterých turbulentně proudí chladící medium. Důležité je zajistit rovnoměrné chlazení a toho se dosahuje vhodnou rozměrem kanálek a jejich uspořádáním ve formě. Stejně jako volba chladicích kanálek, tak dobu chlazení ovlivňuje i materiál formy a počáteční teplota polymerní taveniny. Celý tento proces trvá až do doby, než se dosáhne teploty vyhazování. [21]



Obrázek 7 Vstřikovací cyklus [14]

2.2 Vstřikovací jednotky

U vstřikovacích jednotek dochází k přestupu polymerní taveniny do formy přes vstřikovací trysku. Důležité u trysek je zajištění lícování a souososti, k dosažení těchto požadavků nám pomáhá vytvořením kulatého zakončení trysky. Tyto trysky se dělí podle průchodnosti během plastikace polymeru na trysky volné a trysky s uzavíratelné. [1][8]

- volné trysky: jelikož tyto trysky neobsahují žádné těleso uzavírající dutinu, tak při nadměrné tekutosti polymeru může dojít k jeho výronu. Proto jejich uplatnění nalézáme při používání polymerů, které jsou více vazké nebo mají skokové teplotní přechody,
- uzavíratelné trysky: tento typ trysek umožňuje vstřikovací více tekuté materiály, uzavírací členy bývají řešeny pomocí kuželových, jehlových nebo kolíkových členů. Umožnění průtoku taveniny je dosaženo buď pomocí posuvu nebo přetlaku. U posuvných trysek dochází k jejich otevírání pouhým stykem s formou. [8]

2.2.1 Šnekový vstřikovací stroj

Tyto stroje fungují na stejném principu jako šnekové vytlačovací stroje. Plastikace zde probíhá pomocí přestupu tepla z vyhřívané stěny plastikační komory a disipací vzniklé třením polymeru. Šnek koná radiální a axiální pohyb. Při radiálním pohybu se šnek otáčí, a tím začíná na polymer působit tření a také dochází k homogenizaci. Díky posouvání šneku dozadu a pak dopředu (axiálnímu pohybu) je umožněno hromadění polymerní taveniny před šnekem a její následné vstříknutí do formy. [13]

2.2.2 Šneky

Jak již bylo zmíněno, tak šnek nám zajišťuje snazší plastikaci polymerní směsi a také zlepšuje její homogenitu. Každý šnek lze rozdělit do tří pracovních pásem.

Tyto pásma jsou:

- vstupní pásmo: zde dochází ke vstupu polymerní směsi do plastikační komory. Jelikož zde dochází jen k odběru materiálu ze zásobníků, tak geometrie šneku zůstává neměnná. Taktéž je důležité šnek v této části temperovat, může zde docházet ke slepení polymerního materiálu a tím se vytvoří špunt. [8][13]
- přechodové pásmo: v tomto pásmu dochází k postupnému zvětšování průměru dříku šneku a také ke změnám průměru šneku. Pomocí těchto změn začne na polymer

působit třecí síla vznikající mezi šnekem a stěnou komory. Délku tohoto pásma ovlivňuje zpracovávaný materiál. Proto při nadměrně velikosti tohoto pásma může dojít k degradaci materiálu vlivem působení nadměrného tepla. [8][14]

- výstupní pásmo: tady je již tavenina homogenní a poté prostupuje skrz špičku šneku do prostoru před šnekem. [8]

Mezi nejdůležitější parametry ovlivňující funkci šneku je štíhlost šneku a kompresní poměr. Pro oba vztahy jsou výpočetní vzorce a jejich doporučené poměry. Doposud se nepodařilo vyrobit takový šnek, kterým by šlo zpracovávat všechny druhy polymerních hmot. [8][13][14]

Rovnice pro výpočet štíhlosti šneku

$$\frac{L}{D} = 20:1 \quad (4)$$

Rovnice pro výpočet kompresního poměru

$$\frac{h_{vs}}{h_{vy}} = 3:3 \quad (5)$$

2.2.3 Pístový vstříkovací stroj

V pístových vstříkovacích strojích dochází k tavení polymerní směsi pouze přestupem tepla z tavné komory. Plastikace by měla být co nejrychlejší bez překročení teploty degradace polymeru. Dalším problémem těchto strojů je homogenizace směsi. Píst zde totiž vykonává jen pohyb axiální. Tato problematika se řeší umístěním tzv. torpéda do plastikační komory. Pomocí torpéda také zlepšíme plastikaci polymeru.

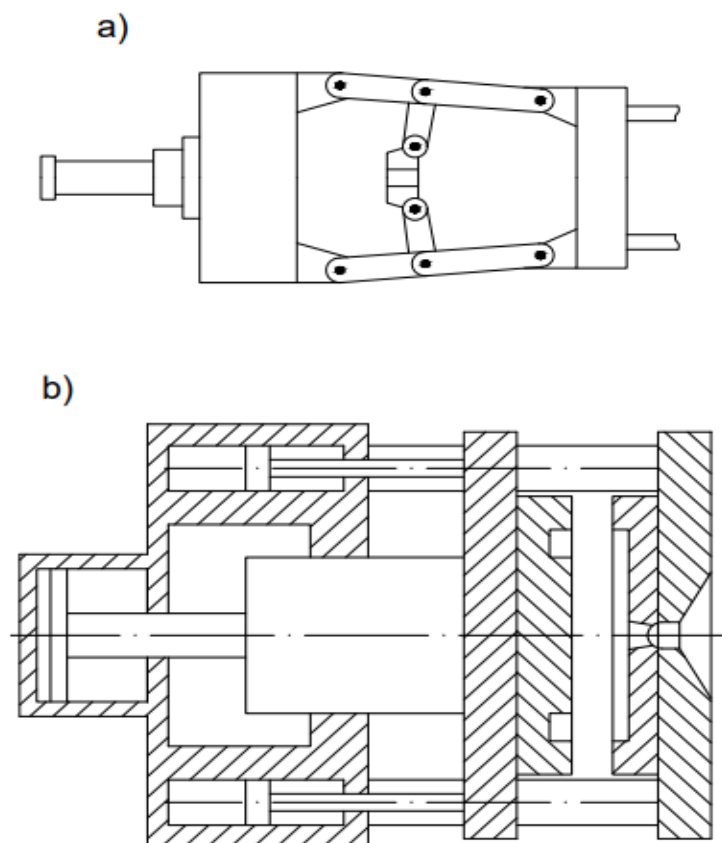
Velikost plastikační komory je odvozena ztrátovostí tlaku a rozložení tepla. Proto všeobecně komory s pístem jsou menší jak ty se šnekem. V důsledku menší komory a obtížnější plastikace se dá zpracovávat jen malé množství polymeru. Taktéž díky těmto nedostatkům se omezilo jejich používání jen pro speciální aplikace, které nedokáže zastoupit šnekový vstříkovací stroj. [13][14]

2.3 Uzavírací jednotka

Funkcí uzavírací jednotky je zajištění upnutí vstříkovací formy a následně jejímu otevření a zavírání, kromě toho uzavírací jednotka ještě zajišťuje funkci vyhazovacího systému.

Forma se montuje do uzavírací jednotky na pohyblivou a statickou upínací desku. Uzavření a otevření formy se zajišťuje hydraulicko-mechanickým nebo elektro-mechanickým systémem. Taktéž uzavírací jednotka obsahuje vodící tyče.

Nejvíce účinným mechanismem je kloubový mechanismus, oproti hydraulické jednotce je úspora energie až o 20 %. Jeho funkce je zajištěna hydraulickým případně elektrickým pohonem. Další výhodou kloubového mechanismu je velikost pohybové rychlosti, ta se pohybuje v rozmezí 500-1200 mm/s. Jelikož tomto mechanismu jsou velmi namáhaná pouzdra a čepy, tak pro zvýšení jejich životnosti jsou kalené. Pokud je nutnost použití pouze hydraulického uzavření formy, tak uzavírací systém musí obsahovat centrální hydraulický válec s pístem umístěným ve středové ose formy. Doplněním o další písty se rovnoměrněji rozloží uzavírací síla. Nevýhodou tohoto systému je potřeba většího množství hydraulické kapaliny ke svému chodu a nižší maximální rychlosti pohybu. I přes tyto nevýhody je nespornou předností zajištění veliké rychlosti pohybu po celé dráze pístu. Kombinací těchto mechanismů se eliminují jejich nedostatky.[14]



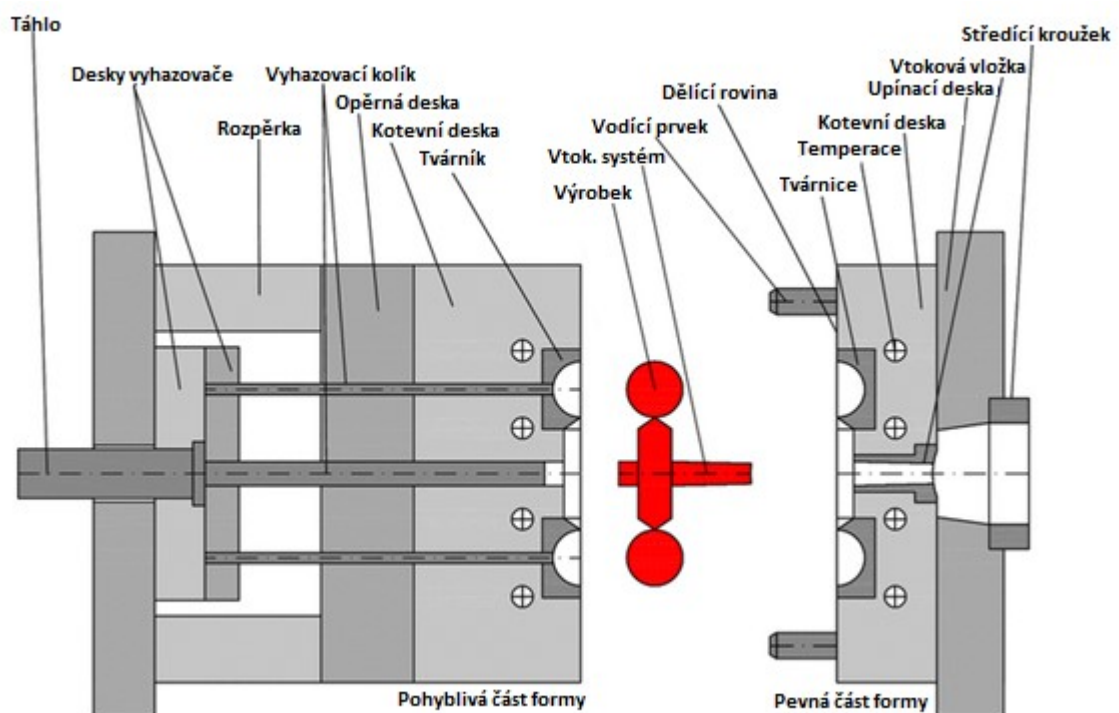
Obrázek 8 uzavírací systém a) kloubový, b) pístový [14]

2.4 Vstřikovací formy a jejich systémy

Forma je nástroj, který slouží k vytvoření výrobku, co bude mít tvar totožný s dutinou formy. Každá forma je složena z rámu, tvářecí částí (tvárník, tvárnice a jádra), vodících prvků (vodící pouzdra a čepy), vyhazovacího, temperačního a odvzdušňovacího systému a manipulačních prvků. K temperaci forem se používá voda a olej. Obě tato temperační média mají rozdílné vlastnosti, olej má nižší účinnost než voda. Při použití vody zase dochází ke vzniku minerální usazeniny snižující její účinnost. Často se pro volbu jednotlivých komponent vychází ze starších forem pro podobné díly. Takto se získá jasnější představa o složení formy, která plně zajistí vyrobení výstřiku v požadované jakosti bez problému jeho odformování a možné potřeby dodatečných operací. [1][2][15]

Celková konstrukce formy je ovlivněna:

- tvarem výrobku,
- násobností formy,
- vtokovým systémem,
- vyhazovacím systémem. [15]



Obrázek 9 Základní vstřikovací forma [18]

2.4.1 Vtokový systém

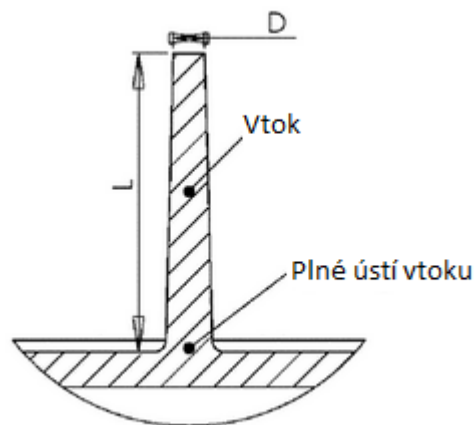
Hlavní úlohou vtokového systému je umožnění dostatečného průtoku polymerní taveniny za konstantního tlaku do dutiny tvářecích součástí (tvárníku a tvárnice). Volba těchto systémů je ovlivněna několika faktory, mezi které patří materiálové vlastnosti a geometrie výrobku. Proto podle potřeby používáme studený vtokový systém nebo horký systém. [11]

2.4.2 Studený vtokový systém

Konstrukční řešení formy je značně jednodušší než při použití horkého vtokového systému. Systém studeného vtoku je obvykle složen z hlavního vtokového kanálku, rozváděcích kanálků a ústí vtoku. Jelikož zde není polymerní tavenina dodatečně ohřívána, tak okamžitě při styku s temperovanou formou začne postupně na jejich stěnách tuhnut. Takto utvořená vrstva poté slouží jako izolant, a proto může ve středu polymer pořád téci. Pro přibližné určení adekvátní velikosti průřezu rozvádějící kanálku používáme empirické rovnice a počítačové simulace plnění. S volbou průřezu kanálků souvisí i jejich rozložení pro co nejvíce stejnoměrné vyplnění dutiny u více násobných forem. Neméně důležité je i navržení ústí vtoku, které je řešeno čelním nebo bočním umístěním na výstřiku. Tyto vtoková ústí dělíme podle jejich průřezu na šterbinové, bodové a tunelové. Taktéž i u studeného vtokového systému se provádí temperace formy. Tento systém nachází uplatnění i při vstřikování reaktoplastů. [2][11][15]

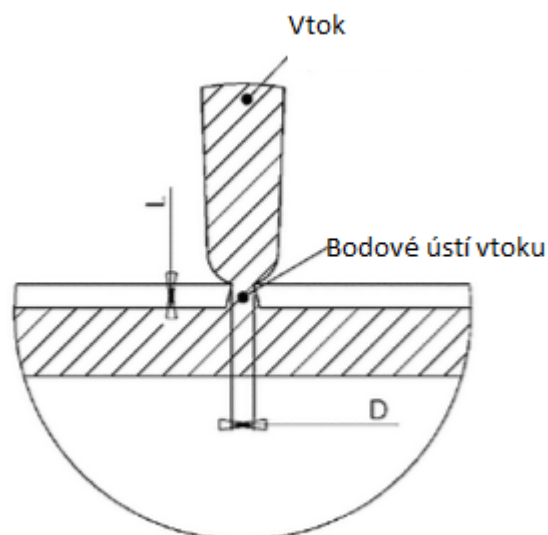
Příklady jednotlivých řešení ústí vtoku:

- plný vtok: jedná se nejjednodušší řešení způsobu vtoku. Tohle řešení nachází uplatnění při vstřikování vysoce viskózní polymerní taveniny také u jednonásobných forem. Díky tomu, že zde není zúžení v ústí vtoku, tak pro jeho odstranění se musí vynaložit více práce.[15]



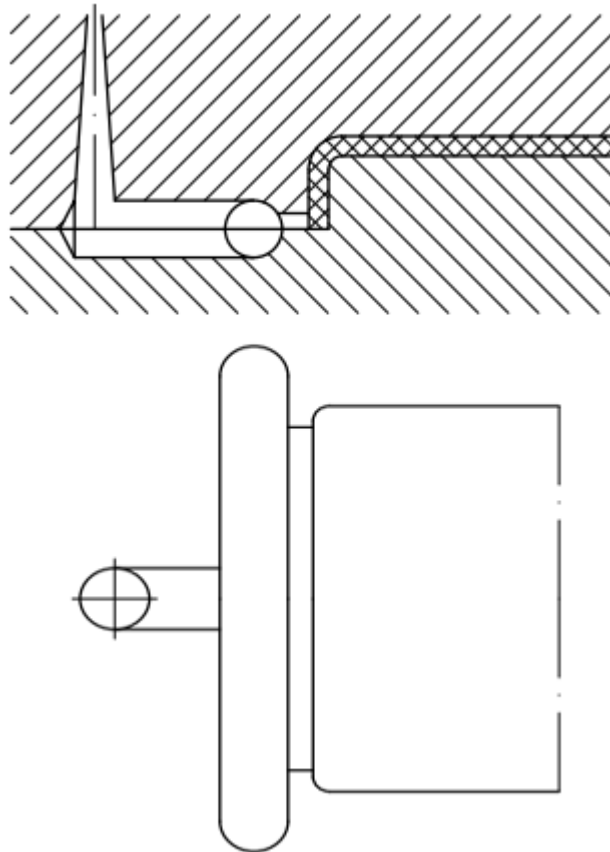
Obrázek 10 Plný vtok [19]

- bodový vtok: oproti plnému vtoku, tak zde je ústí řešeno zmenšením průměru. To může vést k problémům při vstřikování viskózních a plněných polymerů. Jelikož jsou zde tyto problémy, tak jako náhrada se používá horký vtokový blok. Použitím tohoto vede k použití třídeskového systému formy. Odstranění této vtokové soustavy je snadné. [1][15]



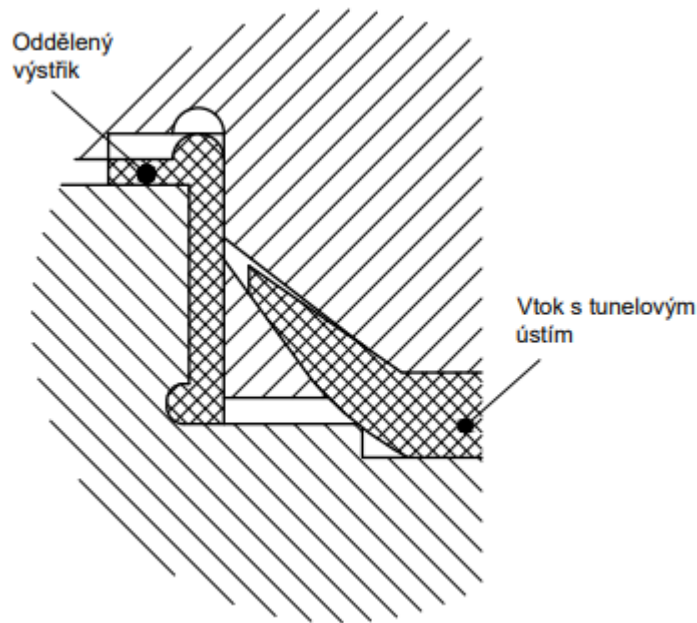
Obrázek 11 Bodové ústí vtoku [19]

- filmový vtok: jedná se jeden z typů bočního vtoku. Ústí vtoku zde tvoří tenkou souvislou vrstvou (film). Toto řešení nachází uplatnění při vstřikování plochých výstřiků. Jelikož zde dochází k rovnoměrnému průtoku polymeru do dutiny formy, tak se částečně eliminuje napětí, které způsobí tvarovou deformaci. Pro dosažení rovnoměrného průtoku taveniny musí být zajištěn rozdílný průměr kanálku. [15]



Obrázek 12 Filmový vtok [16]

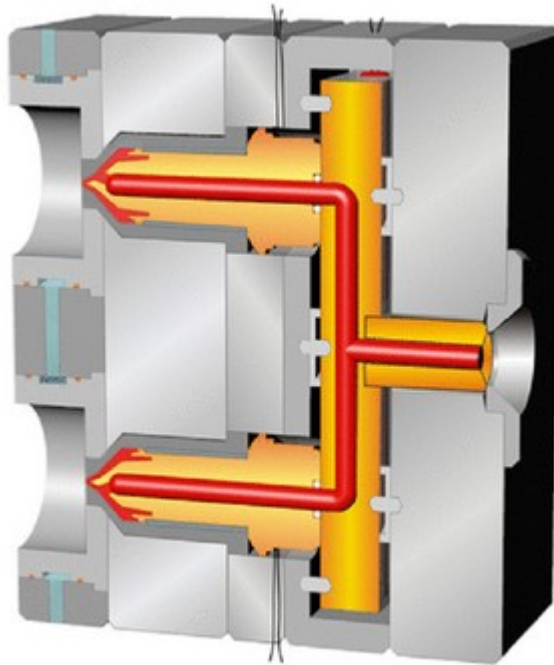
- tunelový vtok: ústí tohoto vtokového systému bývá umístěno mimo dělicí rovinu a k jeho oddělení od výstřiku dochází deformací při otevření formy. Úhel, pod kterým je utvořen kuželovitý průřez ústí by se měl pohybovat od 20° do 30° . Středová osa ústí musí být umístěna vůči dělicí rovině pod úhlem 40° až 50° . Pokud je průřez ústí po celé délce konstantní, tak tyto úhly mají jiné velikosti. Pro zajištění oddělení vtokového systému od výrobku je nutné ho zajistit na pohyblivé straně formy pomocí přidržovače vtoku. Dalším kritérium, které ovlivňuje kvalitní oddělení tohoto vtoku je vyhotovení rezné hrany. Tato hrana by měla odolávat opotřebení a taktéž by měla býti ostrá. [3]



Obrázek 13 Tunelový vtok [19]

2.4.3 Horký vtokový systém

Jak již bylo uvedeno dříve, tak tento systém je zajištěn pomocí vyhřívaného bloku umístěného ve formě. Použitím horkého vtokového systému je umožněno i vstřikování nadrozměrných dílů díky eliminaci zamrznutí toku taveniny. Jelikož horký blok je zakončený tryskou, tak i zde je rozdělení na trysky volným průtokem a trysky uzavíratelné. Vyhřívání tohoto systému lze provádět interně i externě. Z konstrukčního hlediska jsou formy používající tento způsob přívodu taveniny náročnější, taktéž z hlediska ekonomického zde rostou náklady spojené s provozem formy. Jelikož horký blok slouží jako zdroj tepla, tak je nutné tomu upravit i teplotu formy, a proto lze použít pouze termoplasty. Rizikem zde může být teplotní degradace polymeru, únik taveniny neuzavřenou tryskou, nasátí vzduchu do horkého bloku a táhnutí “vlasu“. I přes tato rizika a zvýšení nákladů je nespornou výhodou zajištění výborné kvality výstřiku a zlepšení automatizace. [11][15]



Obrázek 14 Vyhřívaný vtokový systém [20]

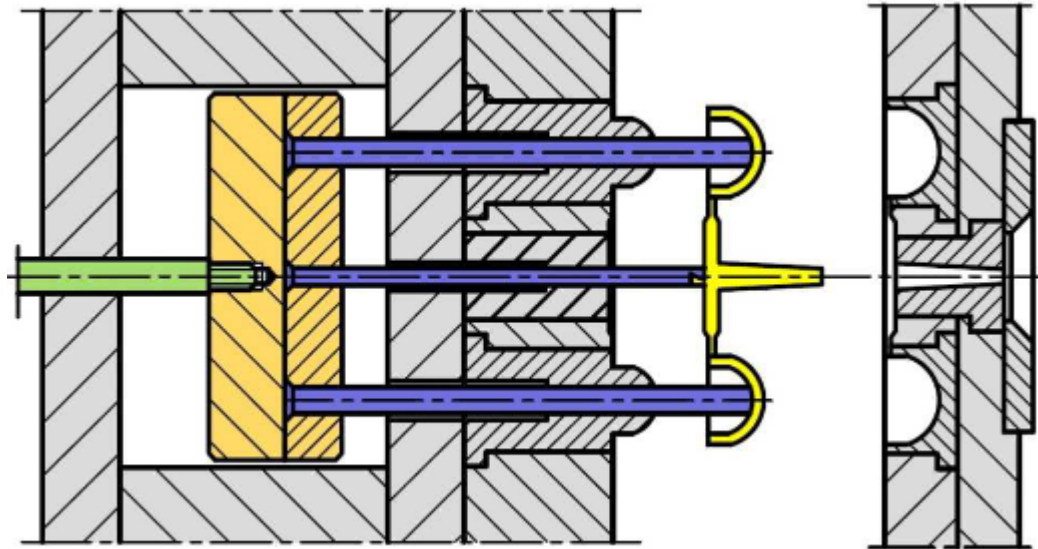
2.4.4 Vyhazovací systém

Jakmile je výstřik dostatečně vychlazen, tak je potřeba zajistit jeho odformování společně i s jeho vtokovou soustavou. Toho se dosahuje pomocí vyhazovacího systému a v případě bočních otvorů pomocí pohyblivých jader. Základní vyhazovací systém je tvořen deskami vyhazovače, vyhazovacími členy, vodícími prvky a šroubovými spoji. Tato sestava je připevněna na táhlo, které je součástí mechanismu vstřikovacího stroje. Vyhazovací členy se dělí podle jejich podstaty působení na plošné a bodové a jejich volba je ovlivněna geometrií výstřiku. Při dimenzování vyhazovacího systému se musí zohlednit rozložení vyhazovacích prvků na výstřiku a velikost působící síly vyhazovačů. Při nevhodném návrhu tohoto systému dochází ke vzniku deformací výstřiku. Dalším neméně důležitým prvkem ovlivňující kvalitu výsledného odformování je jakost povrchu tvarové dutiny formy z důvodu zatékání polymerní taveniny do rýh. I zde by měla být snaha navržením takového vyhazovacího systému, který bude konstrukčně co nejvíce jednoduchý. [2][3][16]

Základními vyhazovacími prvky jsou:

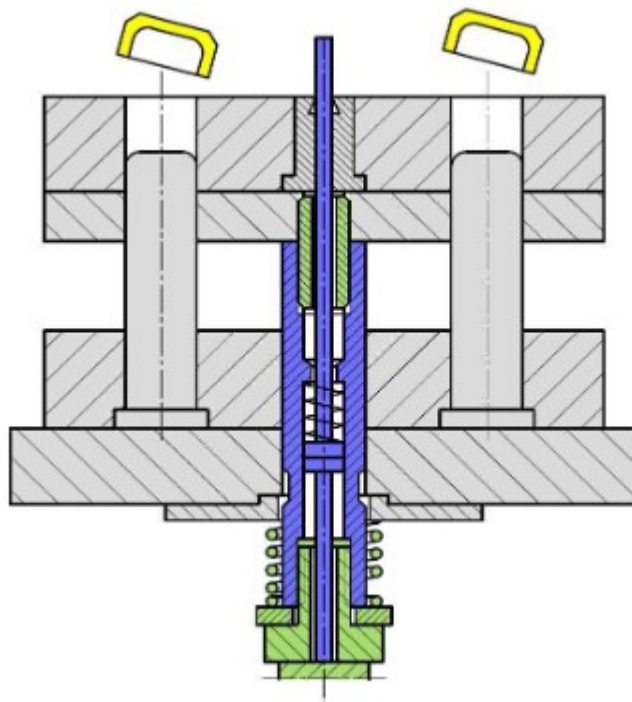
- vyhazovací kolíky: jedná se o nejvíce používaný typ vyhazovacího členu pro svou jednoduchost a účinnost. Přenos síly, která odformuje výrobek je zde řešen pomocí kruhového těla tohoto kolíku. Pro jeho spolehlivou funkčnost se musí zajistit jeho uchycení na deskách vyhazovacího systému a taktéž vytvořením patřičného průměru

otvoru do desky s tvářecími členy, ve kterém se poté bude kolík pohybovat při jeho práci. Pokud tyto otvory budou špatně vyrobeny, tak hrozí poškození formy nebo zatékání polymerní taveniny. Na výrobku zůstávají po vyhazovacích kolících stopy, a proto je vhodné jejich umístění volit na nepohledovou stranu výstřiku. Pokud dojde ke změně průměru těla kolíku na jeho konci, tak poté se jedná o prizmatickým vyhazovači [16]



Obrázek 15 Funkce vyhazovacích kolíků [12]

- Stírací desky: Využití desek jako vyhazovacích členů nachází uplatnění na výstřiky, které by nebylo efektivní odformovat pomocí kolíků. Příkladem mohou být tenkostěnné výrobky s výraznou hloubkou, kde by hrozilo proražení stěny. Stírací deska musí být vůči kotevním deskám tvářecích částí volně uchycena a toho se dosahuje buď přichycením na vyhazovací táhlo nebo na soustavu mechanického otevírání. Stručný popis její funkce je ten, že začne působit odporem vůči přichycenému výstřiku na tvářecí části po celé jeho ploše a tím ho stáhne. Stírací deska oproti kolíkům nezanechává stopy na výstřiku. Formy používající tohoto vyhazovacího systému jsou více rozměrné. [16]



Obrázek 16 Funkce stírací desky [12]

3 VADY VSTŘIKOVANÝCH DÍLŮ

Vady vstřikovaných dílů představují velký problém, který ovlivňuje funkčnost výrobku nebo jeho estetickou stránku. Ke vzniku závad na vstřikovaném výrobku dochází i přes veškeré znalosti jednotlivých pracovníků, kteří se podílejí na výrobě vstřikovacích forem. Příčin vzniku vady je mnoho. Mezi hlavní faktory ovlivňující výrobek patří nesprávná volba materiálu, chybné konstrukční řešení formy a také volba vstřikovacího stroje. Jakýkoliv výrobek, který se neshoduje se schváleným referenčním vzorkem nebo výkresovou dokumentací považujeme za defektní.

Závady se dělí celkem do čtyř skupin podle jejich závažnosti:

- 1) přijatelné vady – Jsou to takové vady, které neovlivňují funkčnost výrobku. Ve většině případů se jedná o vzhledovou nedokonalost,
- 2) omezeně přijatelné vady – jejich přijatelnou velikost určuje sjednaná dohoda mezi odběratelem a výrobcem. Aby tyto defekty mohly být přijaty, tak jejich přítomnost nesmí ovlivňovat funkčnost výrobku,
- 3) opravitelné vady – jedná se o takové závady výrobku, které lze vhodným způsobem odstranit bez narušení funkčnosti výrobku. Jako u omezeně přijatelných vad, tak i zde musí být utvořena dohoda mezi výrobcem a odběratelem na jejich opravy,
- 4) nepřijatelné vady – tento typ kazu je z výrobního hlediska nejhorší. Vzniklé defekty totiž ovlivňují použitelnost výrobku a také je nelze žádnou opravou hotové výstřiku odstranit. Mezi nejznámější příklad tohoto typu vady lze zařadit takzvané tvarové deformace nebo narušení povrchu trhlinami.

Pro odstranění vad na výrobku se provádí rozbor celého výrobního cyklu. Každá chyba má totiž svou příčinu. Jakmile se podaří zjistit její fyzikální příčiny, tak následuje provedení vhodného nápravného opatření. Tyto opatření se poté musí dodržovat. Dalším možným způsobem, kterým dělí závady je podle jejich vlastností. Jedná se celkem o tři skupiny:

- 1) optické vady – lze je zpozorovat pouhým lidským okem, když se provádí srovnávací kontrola výrobku s referenčním vzorkem. Jedná se defekty tvaru a povrchu výstřiku. Mezi vady tvaru patří neúplné výstřiky, přetoky, propadliny a deformace výstřiku. Do závad povrchu se řadí změna barvy, vznik skvrn, rozdíl v dezénu, pórovitý nebo rýhovaný povrch, povrchové trhliny, žloutnutí, černé tečky, delaminaci a pozorovatelnou kresbu toku,

- 2) skryté vady – pouhým pohledem jsou nedetekovatelné. Pro jejich zjištění se používají speciální měřiče a pomůcky nebo laboratorní zkoušky. Tento typ závad nepříznivě mění kvalitu výstřiku. Řadí se zde pórovitá vnitřní struktura, vnitřní pnutí a zvýšená křehkost,
- 3) vady vzniklé při vlastním vstřikování – jedná se o vady, které vznikají vlastním výrobním cyklem a některým se nelze vyvarovat. Mezi základní příčiny vzniku defektů by se mohlo zařadit deformaci výstřiku při vyhazování z formy, obtisk plochy vyhazovacích prvků, nechtěný výtok taveniny z trysky vstřikovacího stroje. [6]

3.1 Příklady jednotlivých defektů a jejich příčiny

- Neúplný výstřik: jedná se o výrobek, který nemá požadovaný tvar způsobený absencí materiálu v dutině formy. Vstřikovaná tavenina v místech nacházejících se nejdále od vtoku nebo příliš zúžených místech není schopna dokonale vyplnit dutinu a tím vznikají prázdná místa.

Příčiny vzniku: Nízký index toku taveniny, nedostatek materiálu, volba ústí vtoku, teplota formy a polymeru, nízký vstřikovací tlak a rychlost

- Přetoky: ke vzniku přetoků dochází v místech se špatným lícováním součástí formy. Polymerní tavenina dokáže zatéci do otvorů o velikosti 0,02 mm a více. V těchto otvorech pak dochází k tuhnutí taveniny. Pomocí častého vstřikování s přetoky se nám zkracuje životnost dílů formy.

Příčiny vzniku: nedostatečné lícování součástí formy, opotřebované dělicí roviny, nízká vazkost materiálu, vysoká teplota formy, veliký vstřikovací tlak a rychlost

- Propadliny: nejčastěji vznikají v místech s velkým množstvím materiálu, kde dochází k nerovnoměrnému tuhnutí. Polymer nejdříve tuhne v místech styku s formou a postupně tuhne směrem do středu stěny výstřiku. A to vede k rychlejšímu tuhnutí stěn s tenčí tloušťkou.

Příčiny vzniku: nízká plnicí fáze, nízká teplota formy, zamrznutí toku před redukcí změny objemu pomocí dotlaku, špatně navržené napojení žeber na stěnu výrobku.

- Deformace výstřiku: jedná se nejčastější chybu. Vznik deformace může mít za vinu kterýkoliv špatně navržený postup. Příčin je mnoho od špatného konstrukčního

řešení formy a výrobku, až po manipulaci se samotným výrobkem. K nalezení příčin zdeformování, se provádí rozbor celého výrobního cyklu.

- Změna barvy: při špatném probarvení polymerní taveniny dochází k vizuální odlišnosti výstřiku od referenčního vzorku. Nedostatečné nebo nadbytečné probarvení může nepříznivě ovlivnit výsledný výrobek. Chyba v probarvení dokáže zapříčinit rozdílnou srážlivost výrobku.

Příčina vzniku: špatné dávkování barviva, nedostatečné promíchání s granulátem, změna materiálu.

- Rýhovaný a pórovitý povrch: Rýhy nebo póry dokáží mnohonásobně změnit drsnost povrchu výrobku. Tyto povrchové změny můžeme přirovnat ke vzhledu gramofonové desky pro rýhy a pórovitý povrch se podobá pomerančové kůře. Důvodem této vady je zvýšené normálové napětí taveniny, a to vede k pulzování při toku. Pomocí reologie a následné technologické úpravy se můžeme tomuto problému vyvarovat.

Příčina vzniku: velký odpor taveniny při plnění formy.

- Žloutnutí: jelikož polymery podléhají degradaci, tak se lze setkat s materiálem, který má zažloutlý odstín. Se zvyšujícím stupněm degradace dochází ke změně barvy z nažloutlé až po hnědé odstíny. Každý polymer má svou teplotní životnost a vystavení nad tuto teplotu nebo neustálým působením zvýšené teploty dochází k tomuto defektu.

Příčina vzniku: zpracování materiálu při vyšších teplotách.

- Černé tečky: jedná se o přítomnost cizího prvku nebo spáleného materiálu. Do cizích prvků nejčastěji patří hmyz, který se dostane společně s polymerním granulátem do plastikační komory. Černým tečkám lze částečně předejít omezením možného přístupu nečistot do přepravního systému. Přepálený materiál lze odstranit samovolně nebo vyčištěním plastikační komory.

Příčina vzniku: špatný teplotní profil, přítomnost nečistot.

- Studené spoje: vznikají při spojení dvou a více proudů taveniny v dutině formy. Jednotlivé proudy vznikají při obtékání překážky v dutině nebo pokud má forma více vtokových míst. Sloučením těchto proudů vzniká spojení podobné svaru a projevem je utvoření praskliny nebo zaoblené rýhy. Místa, ve kterých se tohle spojení utvoří

dochází ke zhoršení mechanických vlastností a optickým nedokonalostem. Pomocí sekvenčního vstřikování lze tyto spojení přesunout do jiných míst. Pro odstranění studeného spoje může pomoci vytvořit pomocnou dutinu nebo použít technologii vstřikování horkým kaskádovým systémem.

Příčina vzniku: nízká teplota taveniny, pomalá rychlost vstřikování. [6]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

4 CÍLE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Pro tuto práci byly stanoveny tyto cíle:

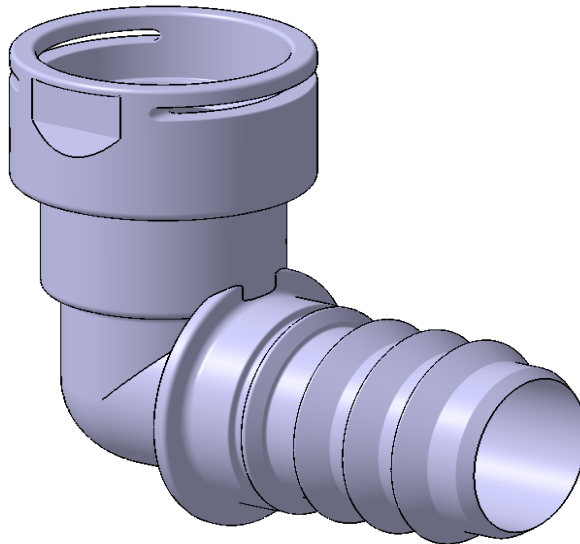
- Vypracovat literární studii na dané téma.
- Provedení konstrukce 3D modelu vyráběné součásti.
- Navržení 3D sestavy vstřikovací formy pro výrobu zadané součásti.
- Nakreslení 2D sestavy vstřikovací formy.

Literární studii je věnována teoretická část této práce. Jejím obsahem je rešerše informací o vhodné konstrukci výrobku, který bude vyhotoven technologií vstřikování. Další část je věnována polymerním materiálům, kovům a jejich úpravám pro správnou funkčnost dílů z nich vyrobených. Taktéž jsou zde uvedeny informace o technologii vstřikování, strojích, funkci vstřikovací formy a jejích systémů. V poslední části jsou popsány závady výsledných výstřiků, ke kterým dochází u této technologie.

Praktickou část tvoří vyhotovený zadaný díl ve 3D, pro který je navržena vstřikovací forma s patřičnými systémy. Toto je tvořeno v programu CATIA V5R19 s použitím normálií od firmy Meusburger pro tvorbu návrhu vstřikovací formy. Taktéž pomocí tohoto programu je vytvořena výkresová dokumentace formy.

5 POPIS A SPECIFIKACE VÝROBKU

Zadaným dílem je plastové koleno o rozměrech 55 x 50 mm s vnitřním průměrem 18 mm a hmotností 18 g. Uplatnění tohoto dílu nalezneme v rozvodech pro chladicí kapalinu v automobilu. Na jednom konci je koleno rozšířené jak o vnitřní, tak i vnější průměr s drážkami pro zajištění rozvodného prvku, který se do kolena zasune. Druhá strana slouží k nasunutí rozvodu a je vybavena zářkami pro lepší uchycení. Tento výrobek je namáhán tlakem kapaliny.



Obrázek 17 Model dílu

5.1 Materiál výrobku

Pro zadaný výrobek byl zvolen materiál Polyamid 66 (PA66) plněný 30 % skelným vláknem. Tento materiál vykazuje vysokou pevnost a tuhost, stejně tak i dobrou rozměrovou stálost. Je odolný vůči olejům a palivům, proto lze nalézt jeho uplatnění pro automobilový a letecký průmysl na rozvodné systémy kapalin. Nevýhodou tohoto plněného polymeru je poměrně vysoká abrazivita způsobená skelnými vlákny, proto se nedoporučuje používat v místech, kde bude vystavován tření. Zvolený materiál lze nalézt pod obchodním názvem Ultramid A3WG6 a jeho specifické vlastnosti jsou uvedeny v materiálovém listu.

6 VOLBA VSTŘIKOVACÍHO STROJE

Na základě technický parametrů vstřikovací formy byl vybrán vstřikovací stroj od firmy Arburg. Hlavními parametry výběru bylo množství zpracovatelného materiálu a rozměry formy.

- Hmotnost materiálu výrobku: 2 x 19 g
- Rozměr formy: 596 x 596 x 492

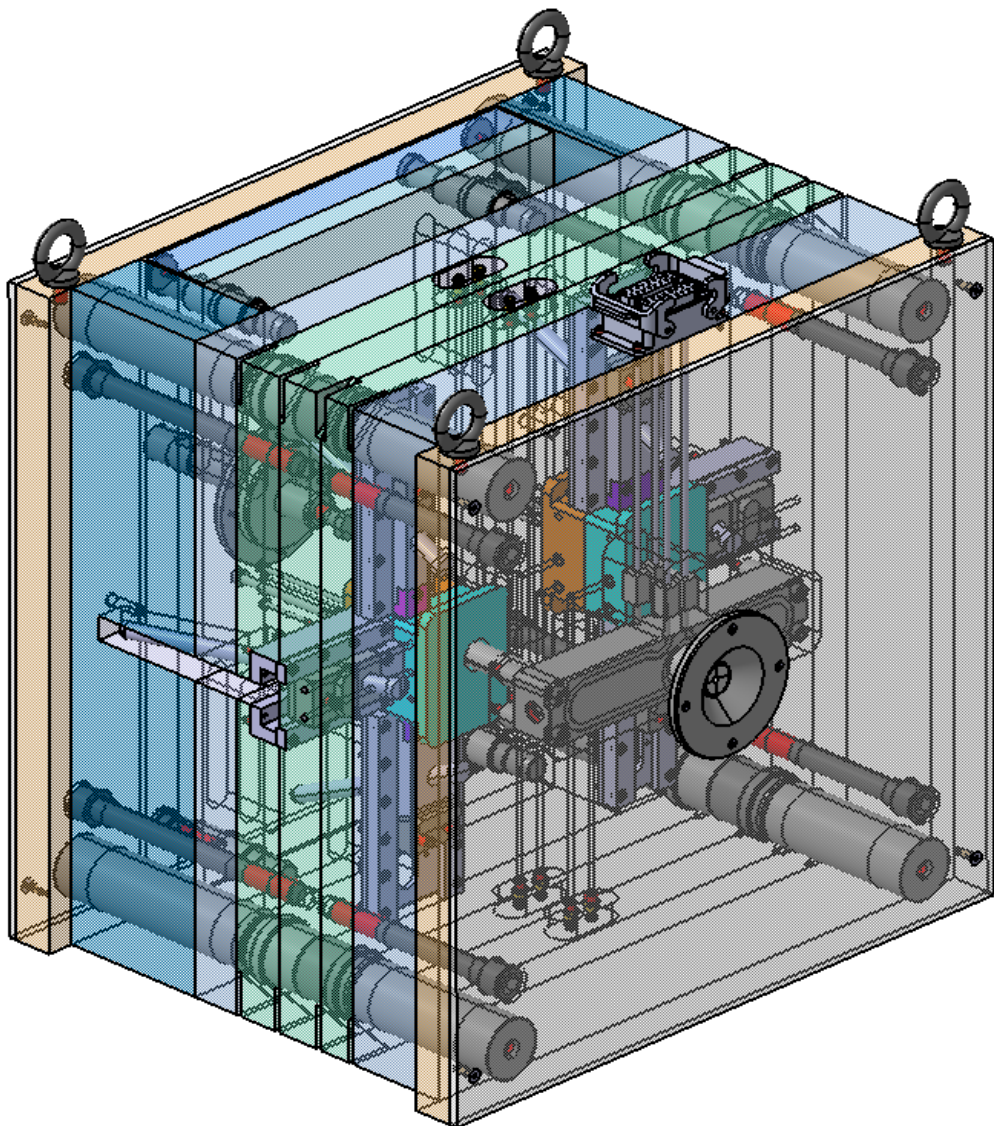
Jedná se o model ALLROUNDER 630 S. Hlavní technické parametry tohoto stroje jsou uvedeny v tabulce č.1.

Tabulka 1 Parametry vstřikovacího stroje ALLROUNDER 630S

Parametry	Hodnoty	Jednotka
Uzavírací síla	2500	kN
Otevírací síla	725	kN
Vzdálenost mezi vodícími sloupky	630 x 630	mm
Velikost upínacích desek	900 x 900	mm
Maximální světlost	1300	mm
Vyhazovací síla	90	kN
Vstřikovací jednotka	1300	-

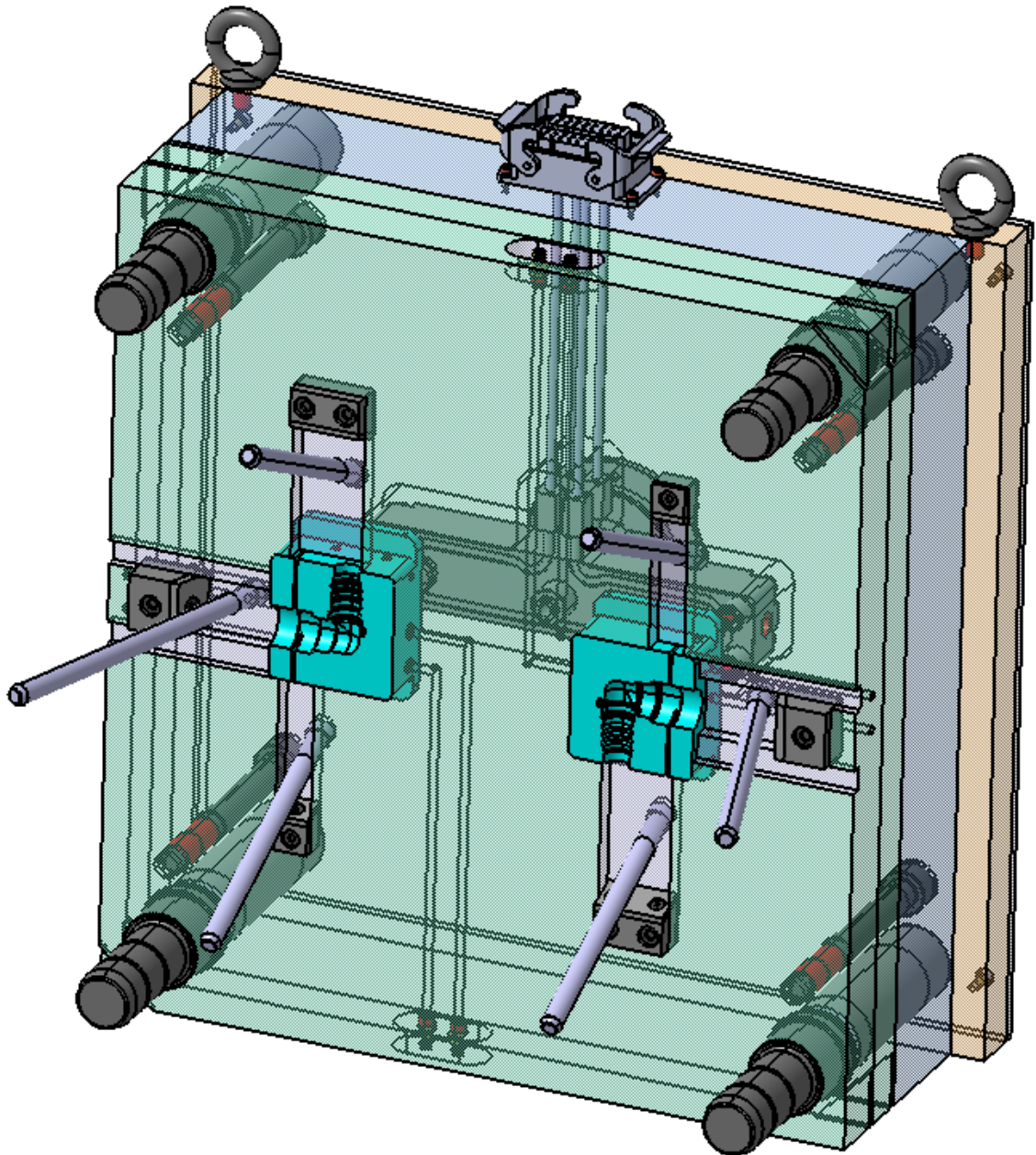
7 KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍ FORMY

Vstřikovací forma byla navržena podle několika kritérií, kterými jsou zaformování výrobku, vtokový systém, odvzdušnění, temperace, odformování výrobku a možnosti manipulace s formou. Ke konstrukci bylo využito normálií od firmy Meusburger, kde k jednotlivým součástem jsou automaticky generovány jejich modely, které byly převedeny do softwaru CATIA V5R19 od společnosti Dassault Systemes a poté proběhla jejich editace dle potřeby. Taktéž bylo potřeba vytvořit i nenormalizované součást. Pro editaci, tvorbu součástí a skládání formy se použilo několik modulů, kterými jsou Part design, Assembly design, Mold Tooling design, Core and cavity design a Shape design.

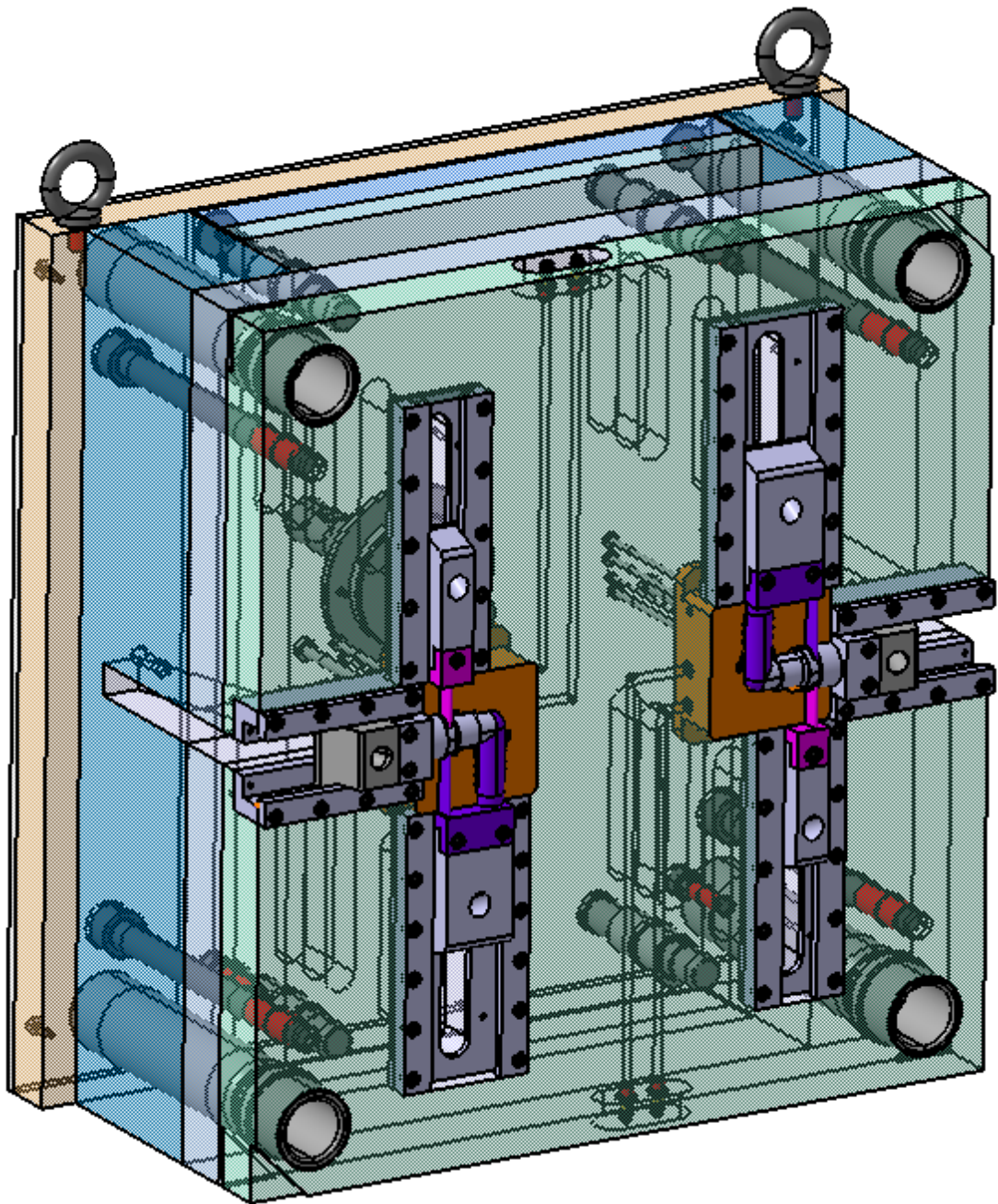


Obrázek 18 Sestava formy

Forma je tvořena pravou statickou částí a levou pohyblivou částí, kde upínací desky mají rozměr 596 x 596 mm (šířka x délka) a celková výška formy je 492 mm. Taková velikost byla zvolena z důvodu násobnosti formy, a ta udává kolik výrobků se vyrobí za jeden vstřikovací cyklus. V tomto případě se jedná o dvojnásobnou formu. Pro vyjmutí výstříku z formy je použit vyhazovací paket s vyhazovacími kolíky.



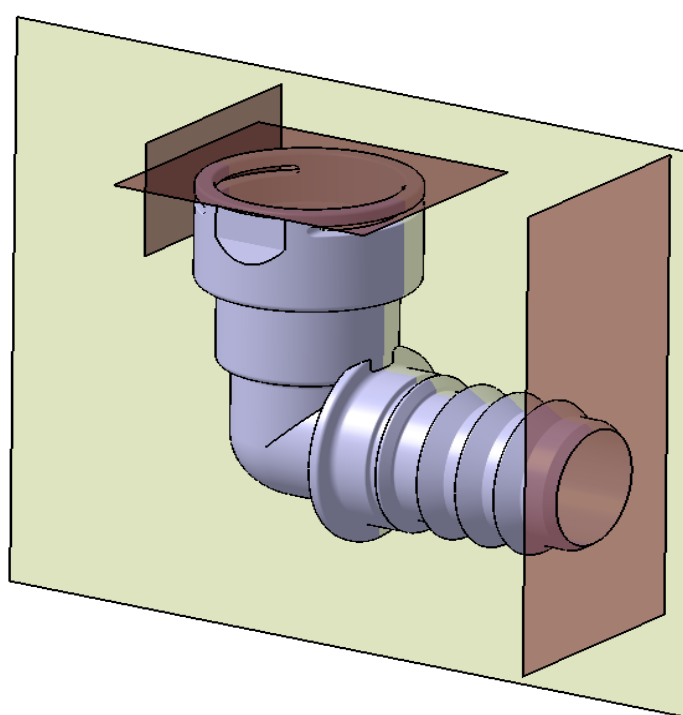
Obrázek 19 Statická část formy



Obrázek 20 Pohyblivá část formy

7.1 Zaformování výrobku

Zaformováním výrobku začíná tvorba návrhu vstřikovací formy. Jelikož volba vedlejších dělicích rovin má značný vliv na rozložení všech systémů vstřikovací formy, tak je třeba zvolit jen minimální množství nutné pro dostatečné odformování výrobku. V případě zadaného dílu je výrobek rozdělen hlavní dělicí rovinou a třemi vedlejšími dělicími rovinami. Volba tohoto množství vedlejších rovin je uzpůsobena vytvoření dutiny a bočních otvorů.



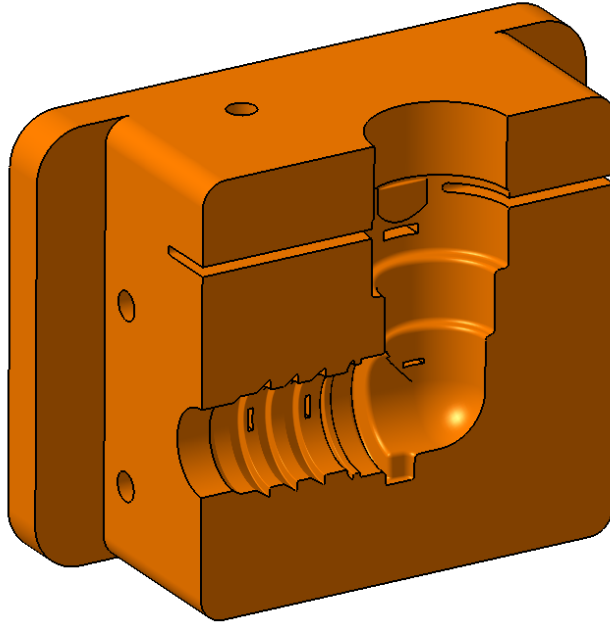
Obrázek 21 Dělicí roviny

7.2 Tvarové části

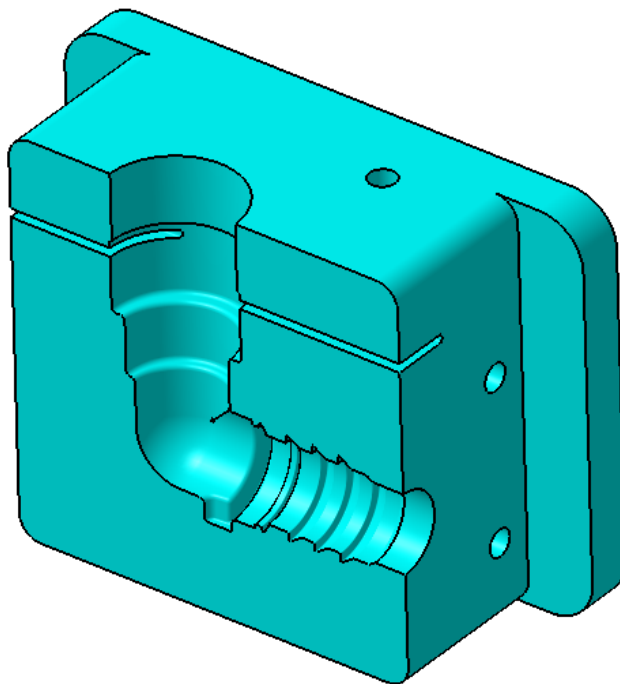
Funkcí tvarových částí je dát polymerní tavenině požadovaný tvar. Toho se dosahuje pomocí jader a tvarové dutiny v tvárníku a tvárnici. Rozměry dutiny jsou zvětšeny o hodnotu smrštění polymeru. K vytvoření tvaru zadaného dílu slouží tvárník s tvárnici a třemi jádry. Jádra jsou upevněna k posuvnému dílu, jež je součástí systému posuvných čelistí. Tvárníky a tvárnice jsou řešeny jako vložky, a ty se vkládají do kotevních desek. Díky tomuto řešení lze provádět výměny a opravy pouze tvarových částí v případě poškození dílu.

Tvárnice jsou vybaveny o otvor pro trysky horkého bloku a dále o systém otvorů temperačního systému. Tvárnice je uložena do kotevní desky ve statické části formy. Tvárníky jsou uzpůsobené k vyhazovacím kolíkům. Obsahují otvory, jež odpovídají tvaru

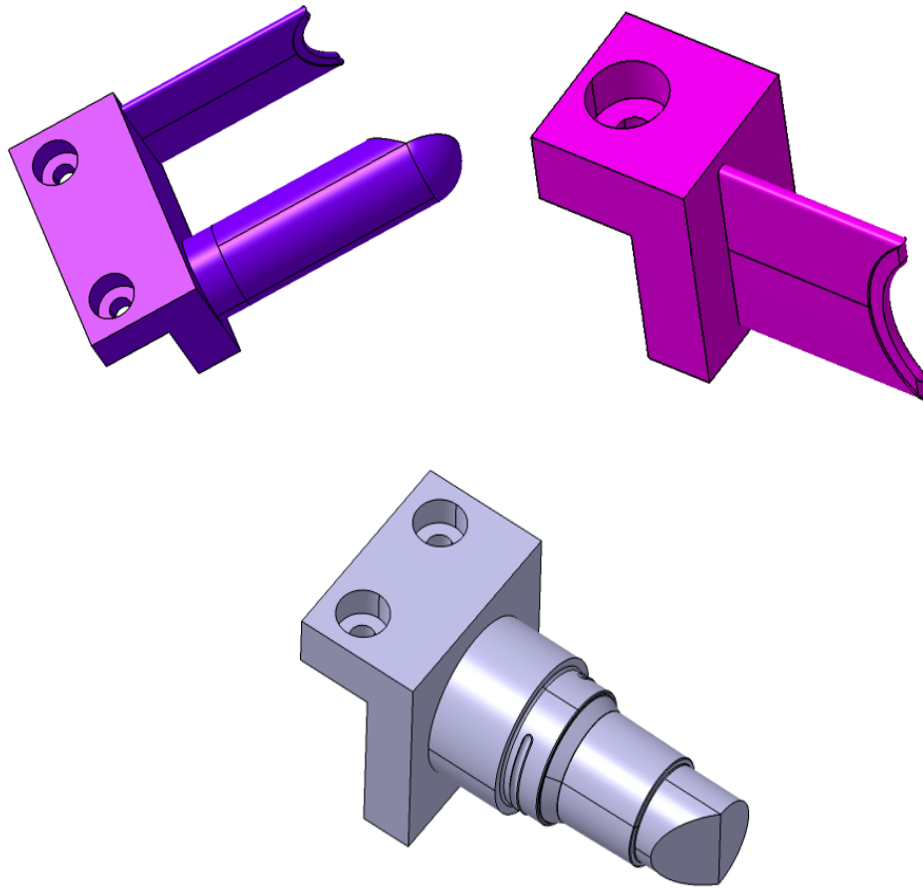
kolíků a stejně jako v případě tvárnice, tak i zde je udělán systém pro temperaci. Jejich uložení je v kotevní desce pohyblivé části formy.



Obrázek 22 Tvárník



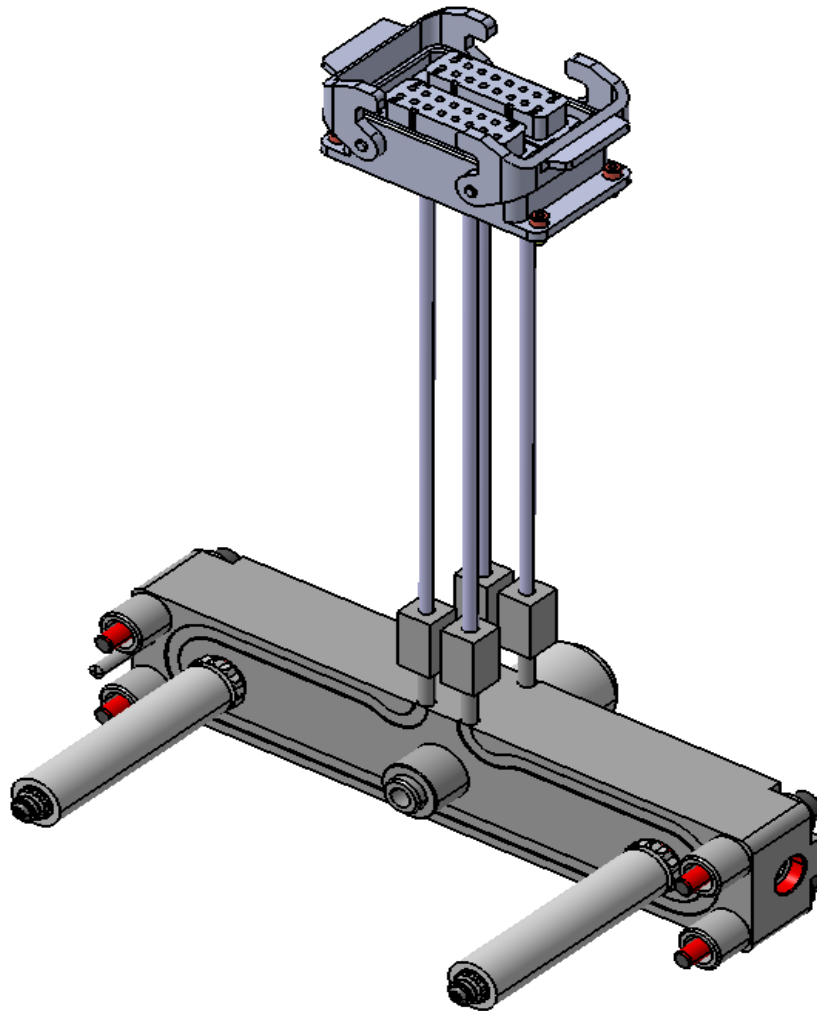
Obrázek 23 Tvárnice



Obrázek 24 Jádra

7.3 Vtokový systém

Účelem vtokového systému je zajištění dopravy polymerní taveniny do tvářecích částí za předpokladu co nejkratšího časového intervalu. Taktéž je důležité, aby došlo k vyplnění všech tvarových dutin současně pomocí stejně dlouhé dráhy toku. Pro tuto formu byl navržen horký vtokový systém, u kterého odpadá riziko zamrznutí toku a nutnost řešení vtokové soustavy jako v případě studeného vtoku. Kromě již zmíněného zamrznutí toku disponuje toto řešení snížením požadovaného množství vstřikovaného polymeru, který by bylo nutné mít pro studený vtok. Další výhodou je, že toto řešení nezanechává stopy po vtoku na výrobku. Nevýhodou tohoto řešení je zvýšení nákladů spojených s pořizováním horkého bloku a spotřeby elektrické energie pro jeho provoz. Horký blok v tomto řešení disponuje dvěma tryskami, které ústí do tvárnic.



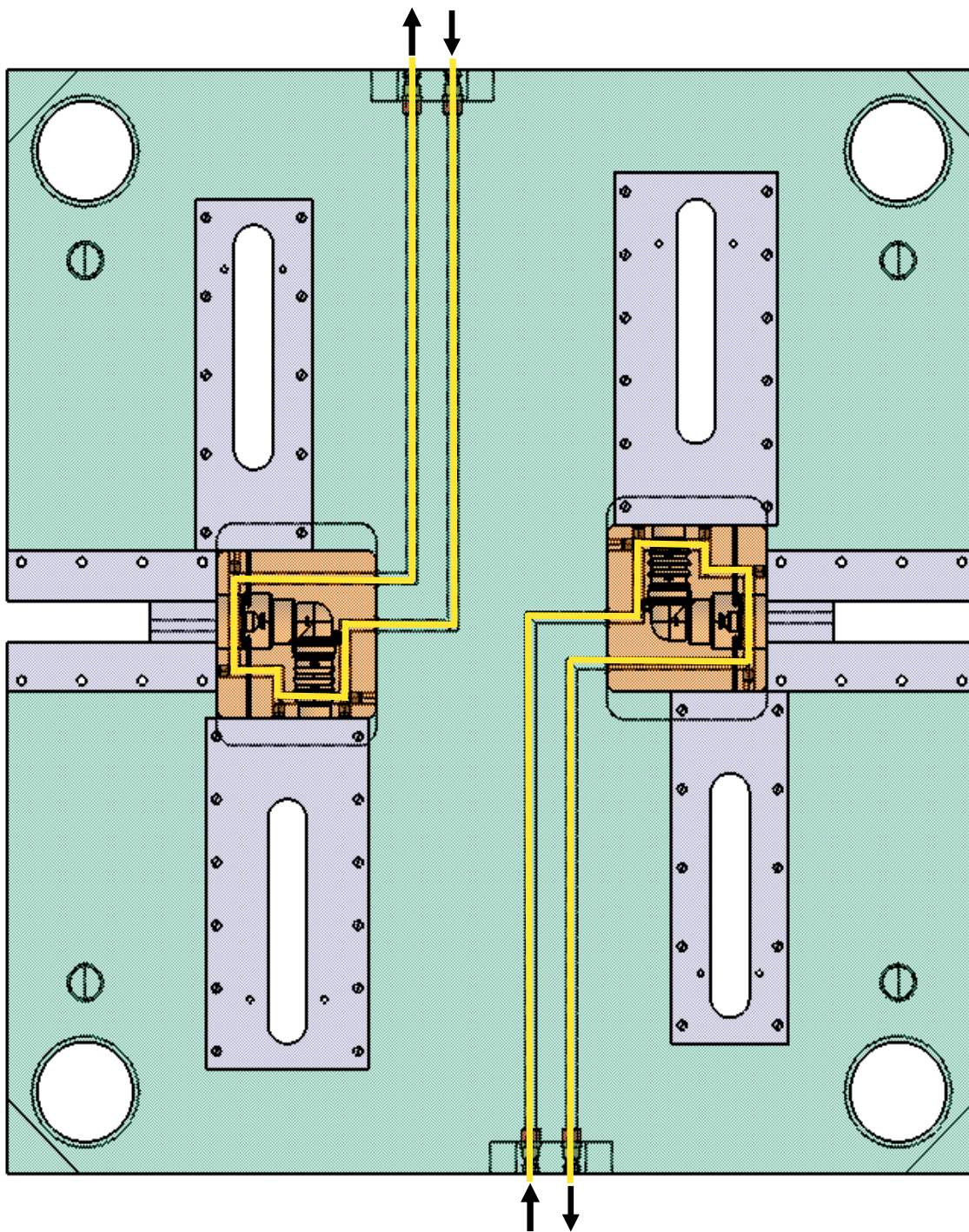
Obrázek 25 Horký blok

7.4 Odvzdušnění a temperace

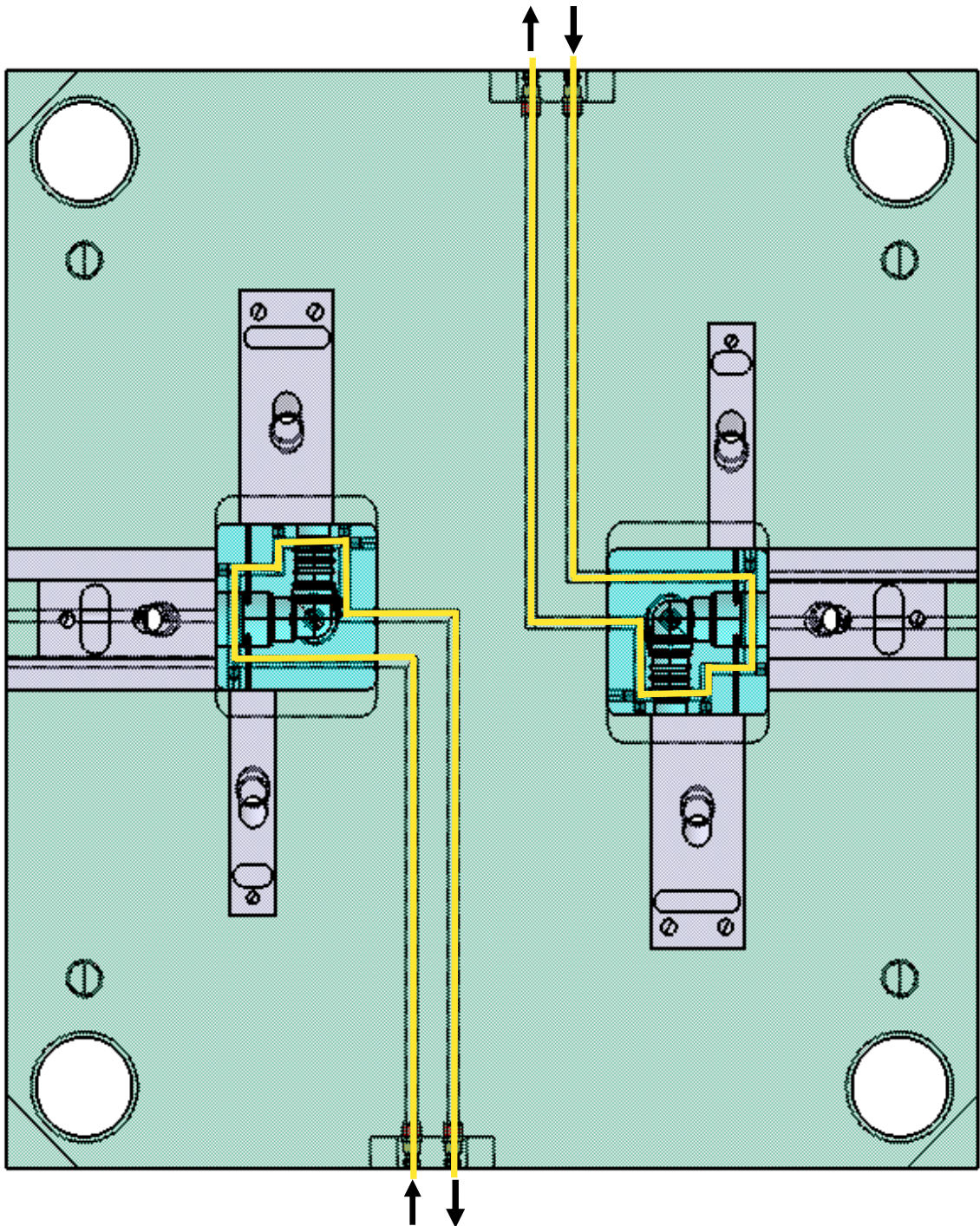
U vstřikovacích forem je nutné, aby byl zajištěn dostatečný odvod vzduchu obsaženého v dutině formy. V procesu vstřikování dochází při vyplnění tvarové dutiny k jeho stlačování, a to vede ke zvětšování jeho teploty a poté k tzv. diesel efektu, a to je příčina vzniku defektu na výrobku. K odvodu vzduchu z tvarových částí pro tuto formu je předpokládán jeho samovolný únik otvory vzniklých vůlí jednotlivých částí. Předpokladem je jeho únik skrze dělicí rovinu a otvory vyhazovačů. Pokud by toto řešení nevyhovovalo, lze vytvořit na systém odvodných otvorů.

Kromě odvzdušnění je důležité vyřešit i temperaci. Ta se provádí k vytvoření konstantního teplotního pole a je složena ze soustavy kanálků, jež jsou v místech křížení zaslepeny ucpávkou pro vytvoření okruhu. Mimo ucpávky je potřeba použít i těsnění okolo kanálku v místě styku tvarových částí s kotevními deskami pro zabránění úniku temperačního média.

Na výstupy temperačních kanálků se použily přípojné prvky. Pro tuto formu byl zvolen průměr temperačního kanálku 6 mm a každý tvárník s tvárnici mají samostatný okruh, pro které se uvažuje použití vody jako temperačního media. Tyto okruhy jsou navrženy s ohledem na vzdálenost od tvarové dutiny a průměru kanálku. Bylo zde použito normálií od firmy Meusburger a jedná se o kuličkové záslepky, O-kroužky a přípojky.



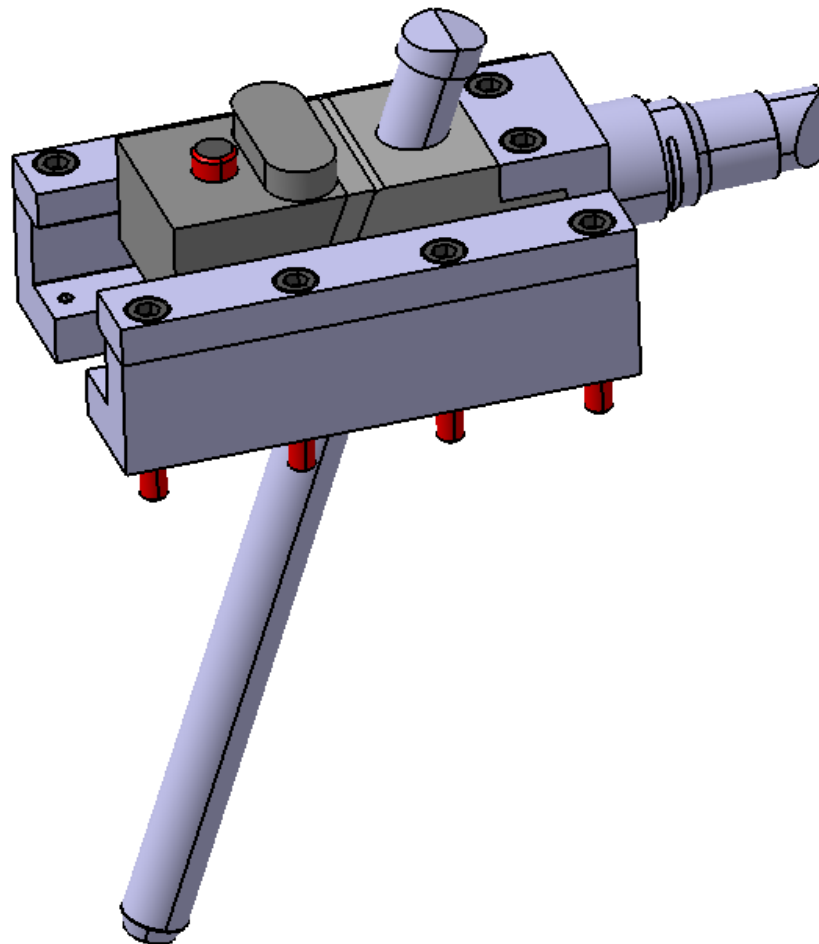
Obrázek 26 Temperace tvárníků



Obrázek 27 Temperace tvárníc

7.5 Odformování výrobku

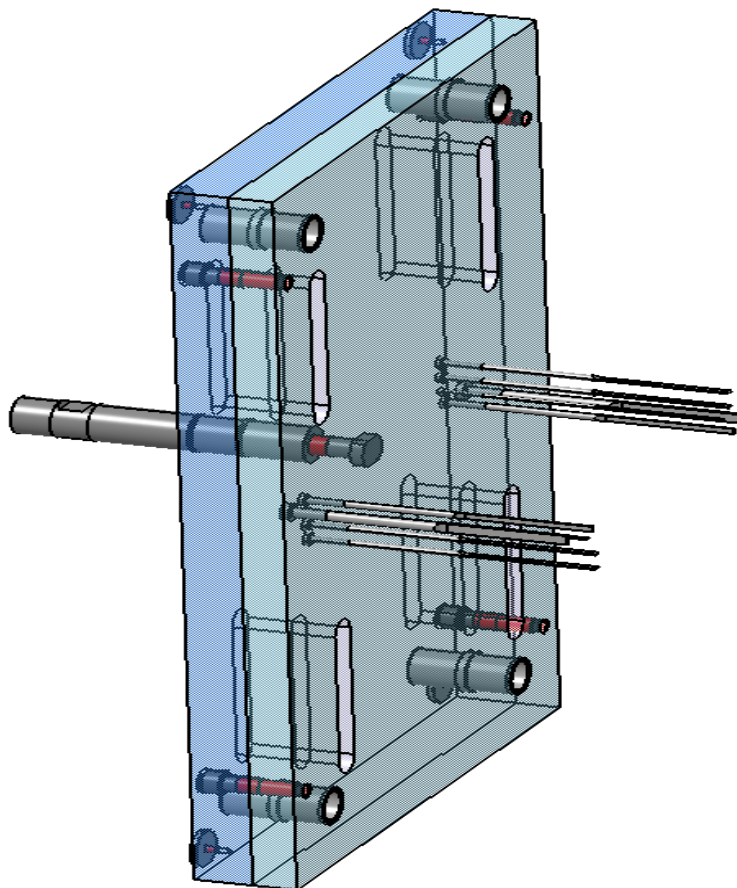
Pro potřebu odformování výrobku z vedlejších rovin bylo použito posuvných čelistí. Tento mechanismus je složen ze šikmého kolíku, posuvné čelisti, stavěcího šroubu, kluzné desky, vodících prvků a uzavíracího klínu s přitlačnou deskou. Při otevírání formy dochází k pohybu posuvné čelisti ve vodících prvcích po kluzné desce pomocí šikmého kolíku. Úplnému vysunutí čelisti zabráňuje stavěcí šroub, ve kterém je vložena pružina s kuličkou. Z důvodu volného místa, jež tento mechanismus potřebuje, bylo použito kolíků pod velikostmi úhlů a to 18° a 25° . Tento sklon se projevuje na celkové délce kolíku, jež je potřebná pro vykonání požadovaného zdvihu. Ve stavu, kdy je forma uzavřena, brání uzavírací klín s přitlačnou deskou posuvu čelisti při vstřikování polymeru.



Obrázek 28 Posuvná čelist

7.6 Vyhazovací zařízení

Pro vyjmutí výstřiku z formy bylo zvoleno použití vyhazovacího paketu. Je složen ze dvou desek, vyhazovacích kolíků, vodících pouzder, dosedek, táhla a montážních prvků. Axiální pohyb zajišťuje táhlo, které je připevněné šroubem k opěrné desce paketu, taktéž jsou k ní připevněny i dosedky. Díky vodícím pouzdrům je zabráněno tendenci vyosení paketu. Na každé straně jsou dvě pouzdra a tím se eliminuje riziko zaseknutí na vodících kolících. Vyhazovací kolíky jsou uloženy do kotevní desky a díky axiálnímu pohybu vytlačí výstřik z tvarové dutiny. Pro tento výrobek bylo použito pět plochých vyhazovacích kolíků o třech rozdílných velikostech. Výhodou těchto kolíků je, že je zabráněno jejich pootočení.



Obrázek 29 Vyhazovací paket

7.7 Manipulační zařízení

Po složení formy je nutné zajistit možnost její přepravy. K tomu bylo zvoleno použití celkem čtyř závěsných ok a ty jsou přišroubovány po dvou kuse do upínacích desek. Za tyto oka lze poté připevnit hák transportéru.

ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce bylo vymodelovat zadaný díl a podle něho navrhnout a zkonstruovat vstřikovací formu.

V první kapitole této práce je vyhotovena literární rešerše k technologii vstřikování. Pojednává se v ní o postupu při konstrukci výrobku a technologických zásadách, díky kterým lze předejít vadám na výstřiku. Taktéž jsou zde popsány základy polymerů, kovy a jejich úpravy pro požadavky na životnost jednotlivých dílů z nich vyrobených. V dalším úseku je popsán princip technologie a jednotlivých jednotek vstřikovacího stroje. Poslední část je zaměřena na vstřikovací formu a systémy v ní obsažené.

Druhou kapitolou je praktická část, která zaměřena na vyhotovení vstřikovací formy, volbu materiálu a vstřikovacího stroje. Materiál se zvolil podle jeho vlastností potřebných ke správné funkčnosti zadaného dílu. Byl zvolen polymer, který dokáže být dostatečně pevný, chemicky odolný a tvarově stálý. Těmto požadavkům se nejvíce blíží polyamid (PA66) a ten je modifikován skelnými vlákny, které mu vylepšují tuhost, pevnost a rozměrovou stálost. Obsah těchto vláken ve zvoleném polyamidu je 30 %.

Podle rozměrů vstřikovací formy byl zvolen vstřikovací stroj, jedná se vstřikovací stroj od firmy Arburg s modelovým označením ALLROUNDER 620 S.

Tvorba 3D modelu, vstřikovací formy a nenormalizovaných součástí bylo provedeno v softwaru CATIA V5R19. Pro konstrukci formy se využilo normalizovaných součástí, které nabízí firma Meusburger.

Složení vstřikovací formy je odvozeno z tvarové složitosti zadaného dílu, pro který bylo nutno zvolit tři vedlejší dělicí roviny z důvodu bočních otvorů ve výrobku. Tyto otvory se odformují pomocí posuvných čelistí. Tvárník a tvárnice jsou řešeny jako vložky z důvod snížení nákladů při opravách vstřikovací formy, jelikož stačí pouze nahrazovat tyto vložky a odpadá nutnost oprav celé desky. Tyto vložky se vkládají do kotevních desek a jejich poloha je zajištěna okolními deskami. Vhodným uspořádáním bylo možné zkonstruovat dvounásobnou formu. Jelikož má zvolený materiál díky obsahu skelných vláken zhoršené tokové vlastnosti, tak pro kompenzaci této negativní vlastnosti byl použit horký vtokový systém, jenž snižuje riziko zamrznutí toku.

Pro zlepšení technologičnosti byl navrhnout temperační systém, který má za cíl vytvořit stabilnější teplotní pole. Průměr kanálků je 6 mm a temperačním médiem je voda. Díky

předpokladu s únikem vzduchu vůlí jednotlivých součástí, tak tvorba odvodušňovacích otvorů lze dodělat v případě potřeby dodatečně na kritický místech tvarové dutiny.

Vyjmutí výrobku z formy po jejím otevření zajišťuje soustava plochých vyhazovacích kolíků a ty jsou upevněny ve vyhazovacím paketu, který je ovládán skrze táhlo. Funkce paketu je jištěna pohybem po čtyřech vodících kolících a jejich počet je stanoven velikostí formy. Při nižším počtu těchto vodících prvků by hrozilo zasekávání paketu.

Pro konstrukční řešení vstřikovací formy byla zhotovena výkresová dokumentace sestavy.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] DEĎO, Jaroslav. *Formy*. Zlín: Střední průmyslová škola polytechnická Centrum odborné přípravy, 2016, 119 s. Učební texty SPŠP-COP Zlín.
- [2] ŘEHULKA, Zdeněk. *Konstrukce výlisků z plastů a forem pro zpracování plastů: polymery*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2013, 230, 28 s. ISBN 9788072048335.
- [3] BOBEK, Jiří. *Vstřikovací formy pro zpracování termoplastů* [online]. 2015 [cit. 2020-12-25]. ISBN 978-80-88058-65-6. Dostupné z: <https://publi.cz/books/179/Cover.html>
- [4] LENFELD, Petr. *Technologie vstřikování* [online]. 2015 [cit. 2020-12-25]. ISBN 978-80-88058-74-8. Dostupné z: <https://publi.cz/books/184/Cover.html>
- [5] ZEMAN, Lubomír. *Vstřikování plastů: úvod do vstřikování termoplastů*. Praha: BEN - technická literatura, 2009, 247 s. ISBN 9788073002503.
- [6] ZEMAN, Lubomír. *Vstřikování plastů: teorie a praxe*. Praha: Grada Publishing, 2018, 455 s. ISBN 9788027106141.
- [7] LENFELD, P. *Plasty a jejich zpracovatelské vlastnosti. Technologie II* [online]. Technická univerzita Liberec [cit. 2020-11-18]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/01.htm
- [8] HANULÍK, Radomil a Helena HANULÍKOVÁ. *Plastikářské technologie: učebnice pro třetí a čtvrtý ročník SPŠP-COP Zlín, zpracovatelského oboru*. Zlín: Střední průmyslová škola polytechnická - COP Zlín, 2011. ISBN 978-80-905002-1-1.
- [9] BĚHÁLEK, Luboš. *Polymery* [online]. 2015 [cit. 2020-12-15]. ISBN 978-80-88058-68-7. Dostupné z: <https://publi.cz/books/180/03.html>
- [10] WEISS, Viktorie a Elena STŘIHAVKOVÁ. *Polymery*. Ústí nad Labem: Univerzita J.E. Purkyně, Fakulta výrobních technologií a managementu, 2014. ISBN 978-80-7414-738-8.
- [11] MENGES, Georg, Walter MICHAELI a Paul MOHREN. *How to make injection molds*. 3rd ed. Munich: Hanser, c2001, xvii, 612 s. ISBN 3446212566.
- [12] HYNEK, M. a kol. *Vyhazovací sestava a vyhazovače*. In: *Plastové díly* [online]. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2013 [cit. 2021-02-19]. Dostupné z: http://kks.zcu.cz/export/sites/kks/projekty-ver-fin/OPVK_PU/KA_05_publikace/KA05_Vyhazovaci_sestava_a_vyhazovace.pdf

- [13] NEUHÄUSL, Emil. *Vstřikování plastických hmot*. Praha: SNTL, 1973. Řada chemické literatury.
- [14] SEIDL, Martin. *Stroje pro zpracování polymerních materiálů* [online]. 2015 [cit. 2020-12-25]. ISBN 978-80-88058-71-7. Dostupné z: <https://publi.cz/books/181/Cover.html>
- [15] GASTROW, Hans, P(PETER), Peter a E. LINDNER, ed. *Gastrow injection molds: 130 proven designs*. 3rd ed. Munich: Hanser, 2002, x, 313 s. ISBN 3446214488.
- [16] CAMPO, E. Alfredo. *The complete part design handbook: for injection molding of thermoplastics*. Munich: Hanser Publishers, c2006, xxi, 870 s. ISBN 1569903751.
- [17] STOKES, K. Vijay. *Introduction to plastics engineering*. Willy and ASME Press, Hoboken 2020, 1021 s. ISBN 978-1-119-53657-4
- [18] PRUNER, Harry a Wolfgang NESCH. *Understanding injection molds*. Munich: Hanser, c2013, xii, 145 s. ISBN 9781569905272.
- [19] KAZMER, David. *Injection mold design engineering*. Munich: Hanser Publishers, c2007, xx, 423 s. ISBN 9783446412668.
- [20] BEAUMONT, John P. *Runner and gating design handbook: tools for successful injection molding*. 3rd edition. Munich: Hanser Publishers, [2019], xx, 450 s. ISBN 978-1-56990-590-6.
- [21] CHEN, Shia-Chung a Lih-Sheng TURNG, ed. *Advanced injection molding technologies*. Munich: Hanser Publishers, [2019], xv, 426 s. Progress in polymer processing (PPP) series. ISBN 9781569906033.
- [22] Meusburger [online]. [cit. 2021-05-17]. Dostupné z: https://ecom.meusburger.com/fpl_menu/index.asp?rnd=&emos_sid=AXmAJqkjCt2o6ORPxwYqs8n6FFYFo9Ur&emos_vid=AXmAJqkjCt2o6ORPxwYqs8n6FFYFo9Ur
- [23] Materiálový list [online]. [cit. 2021-05-10]. Dostupné z: https://plastics-rubber.basf.com/global/en/performance_polymers/products/ultramid.html
- [24] ARBURG [online]. [cit. 2021-05-10]. Dostupné z: <https://www.arburg.com/cs/cz/spektrum-sluzeb/vstrikovani/vstrikovaci-stroje/>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

l	Délka tokové dráhy
s	Tloušťka stěny
PS	Polystyren
PVC	Polyvinylchlorid
ABS	Akrilonitrilbutadienstyren
PA	Polyamid
POM	Polyoxymethylen
PMMA	Polymethylmethakrylát
PUR	Polyuretan
PC	Polykarbonát
PTFE	Polytetrafluorethylen
°C	Stupeň Celsia
HB	Tvrdost podle Brinella
%	Procenta
MPa	Megapascal
L	Celková délka šneku
D	Průměr šeku
h_{vs}	Hloubka závitu na vstupu
h_{vy}	Hloubka závitu na výstupu
mm/s	Milimetr za sekundu
°	Stupeň
g	Gram
mm	Milimetr
kN	Kilonewton
HRC	Tvrdost podle Rockwella

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 a) nevhodné řešení přechodu tloušťky, b) vhodné řešení přechodu tloušťky [1]	12
Obrázek 2 a) obtížně odformovatelný výstřik, b) snadno odformovatelný výstřik [17] ...	13
Obrázek 3 Optimalizace zaoblení od nevhodné (a) po vhodné (d).....	14
Obrázek 4 Rozdělení termoplastů podle jejich aplikace [7]	14
Obrázek 5 Organizace řetězců polymeru [9]	15
Obrázek 6 Teplotní přechod termoplastů [9]	16
Obrázek 7 Vstřikovací cyklus [14]	21
Obrázek 8 uzavírací systém a) kloubový, b) pístový [14]	24
Obrázek 9 Základní vstřikovací forma [18].....	25
Obrázek 10 Plný vtok [19].....	27
Obrázek 11 Bodové ústí vtoku [19].....	27
Obrázek 12 Filmový vtok [16].....	28
Obrázek 13 Tunelový vtok [19].....	29
Obrázek 14 Vyhřívaný vtokový systém [20]	30
Obrázek 15 Funkce vyhazovacích kolíků [12]	31
Obrázek 16 Funkce stírací desky [12]	32
Obrázek 17 Model dílu	39
Obrázek 18 Sestava formy	41
Obrázek 19 Statická část formy	42
Obrázek 20 Pohyblivá část formy.....	43
Obrázek 21 Dělicí roviny.....	44
Obrázek 22 Tvárník	45
Obrázek 23 Tvárnice.....	45
Obrázek 24 Jádra	46
Obrázek 25 Horký blok.....	47
Obrázek 26 Temperace tvárníků.....	48
Obrázek 27 Temperace tvárnice	49
Obrázek 28 Posuvná čelist.....	50
Obrázek 29 Vyhazovací paket	51

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Parametry vstřikovacího stroje ALLROUNDER 630S	40
--	----

SEZNAM PŘÍLOH

P I: Materiálový list Ultramid A3WG6

P II: Technický list vstřikovacího stroje ALLROUNDER 630 S

P III: Výkresová dokumentace:

- Výkres sestavy formy
- Kusovník

P IV: CD disk

PŘÍLOHA P I: MATERIÁLOVÝ LIST ULTRAMID A3WG6

CAMPUS® Datasheet

Ultramid® A3WG6 - PA66-GF30
BASF



Product Texts

Glass fibre reinforced and heat aging resistance injection moulding grade for machinery components and housings of high stiffness and dimensional stability such as lamp socket housings, cooling fans, insulating profile for aluminium window frames, and different automotive powertrain parts. A3EG6 is the preferred grade for producing electrically insulating parts.

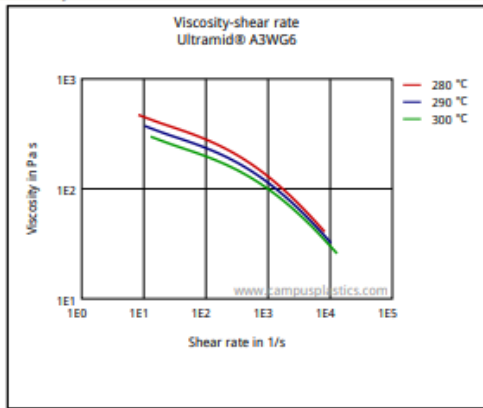
Rheological properties	dry / cond	Unit	Test Standard
Melt volume-flow rate, MVR	30 / *	cm ³ /10min	ISO 1133
Temperature	275 / *	°C	ISO 1133
Load	5 / *	kg	ISO 1133
Molding shrinkage, parallel	0.4 / *	%	ISO 294-4, 2577
Molding shrinkage, normal	0.9 / *	%	ISO 294-4, 2577
Mechanical properties	dry / cond	Unit	Test Standard
Tensile modulus	10000 / 7200	MPa	ISO 527-1/-2
Stress at break	190 / 130	MPa	ISO 527-1/-2
Strain at break	3 / 5	%	ISO 527-1/-2
Tensile creep modulus, 1h	* / 6100	MPa	ISO 899-1
Tensile creep modulus, 1000h	* / 5300	MPa	ISO 899-1
Charpy impact strength, +23°C	85 / 100	kJ/m ²	ISO 179/1eU
Charpy impact strength, -30°C	70 / -	kJ/m ²	ISO 179/1eU
Charpy notched impact strength, +23°C	12 / 19	kJ/m ²	ISO 179/1eA
Charpy notched impact strength, -30°C	10 / -	kJ/m ²	ISO 179/1eA
Thermal properties	dry / cond	Unit	Test Standard
Melting temperature, 10°C/min	260 / *	°C	ISO 11357-1/-3
Temp. of deflection under load, 1.80 MPa	250 / *	°C	ISO 75-1/-2
Vicat softening temperature, 50°C/h 50N	250 / *	°C	ISO 306
Coeff. of linear therm. expansion, parallel	27 / *	E-6/K	ISO 11359-1/-2
Coeff. of linear therm. expansion, normal	86 / *	E-6/K	ISO 11359-1/-2
Burning Behav. at 1.5 mm nom. thickn.	HB / *	class	IEC 60695-11-10
Thickness tested (1.5)	1.5 / *	mm	IEC 60695-11-10
Yellow Card available	Yes / *	-	-
Burning Behav. at thickness h	HB / *	class	IEC 60695-11-10
Thickness tested (h)	0.7 / *	mm	IEC 60695-11-10
Yellow Card available	Yes / *	-	-
Oxygen index	24 / *	%	ISO 4589-1/-2
Electrical properties	dry / cond	Unit	Test Standard
Relative permittivity, 1MHz	3.5 / 5.6	-	IEC 62631-2-1
Dissipation factor, 100Hz	140 / 2300	E-4	IEC 62631-2-1
Dissipation factor, 1MHz	140 / 3000	E-4	IEC 62631-2-1
Volume resistivity	1E13 / 1E10	Ohm*m	IEC 62631-3-1
Surface resistivity	* / 1E10	Ohm	IEC 62631-3-2
Electric strength	44 / 34	kV/mm	IEC 60243-1
Comparative tracking index	- / 450	-	IEC 60112
Other properties	dry / cond	Unit	Test Standard
Water absorption	5.5 / *	%	Sim. to ISO 62
Humidity absorption	1.7 / *	%	Sim. to ISO 62

Ultramid® A3WG6 - PA66-GF30
BASF

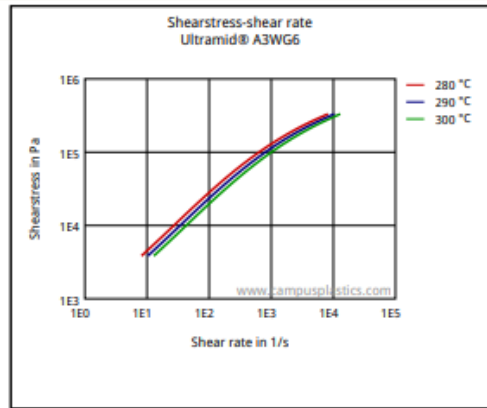
Density	1360 / -	kg/m ³	ISO 1183
Material specific properties	dry / cond	Unit	Test Standard
Viscosity number	145 / *	cm ³ /g	ISO 307, 1157, 1628
Rheological calculation properties	Value	Unit	Test Standard
Ejection temperature	195	°C	-
Test specimen production	Value	Unit	Test Standard
Injection Molding, melt temperature	290	°C	ISO 294
Injection Molding, mold temperature	80	°C	ISO 294
Injection Molding, injection velocity	200	mm/s	ISO 294

Diagrams

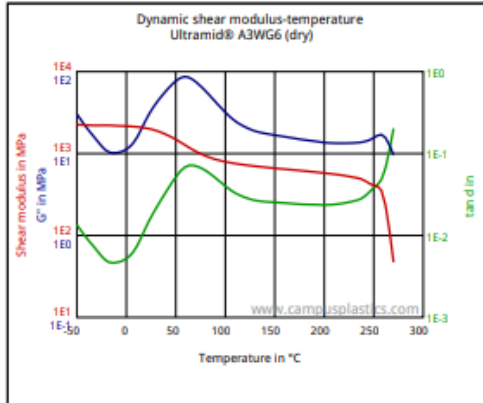
Viscosity-shear rate



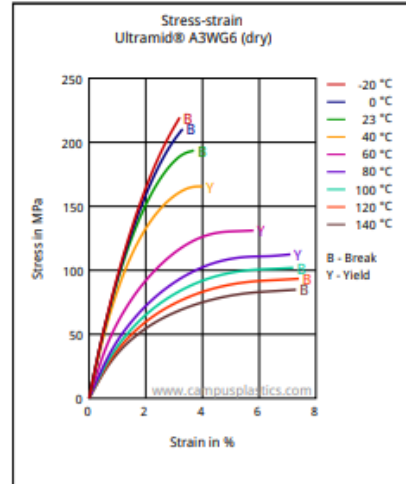
Shearstress-shear rate



Dynamic shear modulus-temperature

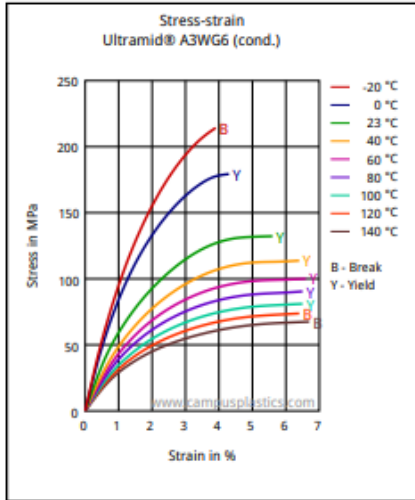


Stress-strain

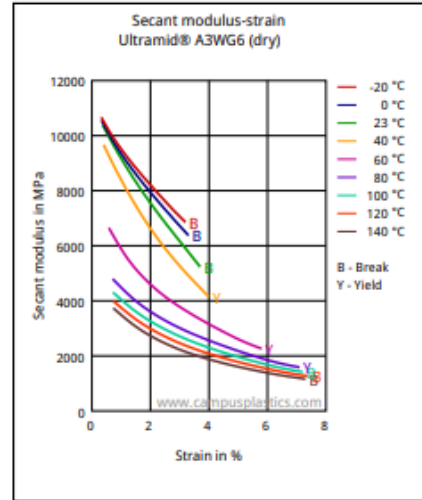


Ultramid® A3WG6 - PA66-GF30
BASF

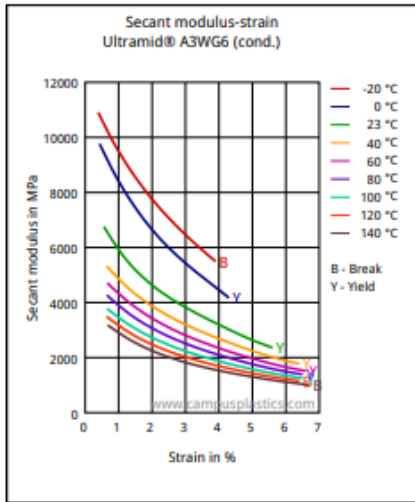
Stress-strain



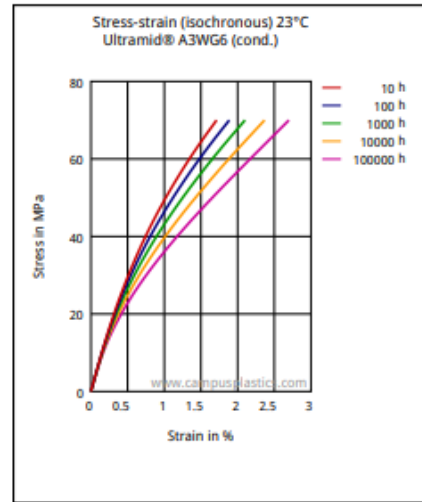
Secant modulus-strain



Secant modulus-strain

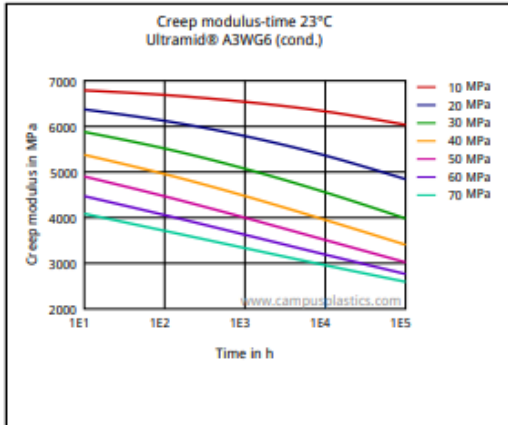


Stress-strain (isochronous) 23°C

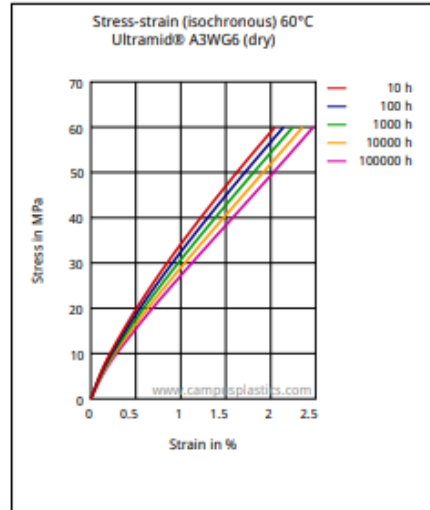


Ultrad® A3WG6 - PA66-GF30
BASF

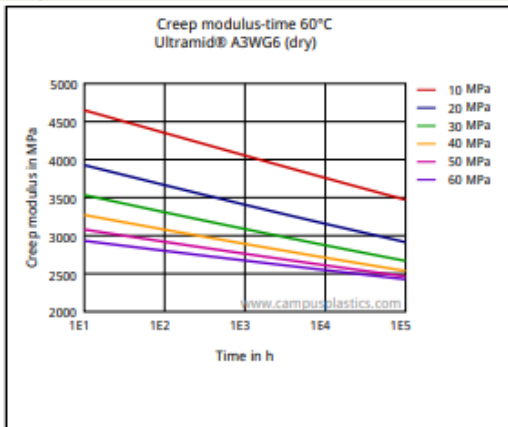
Creep modulus-time 23°C



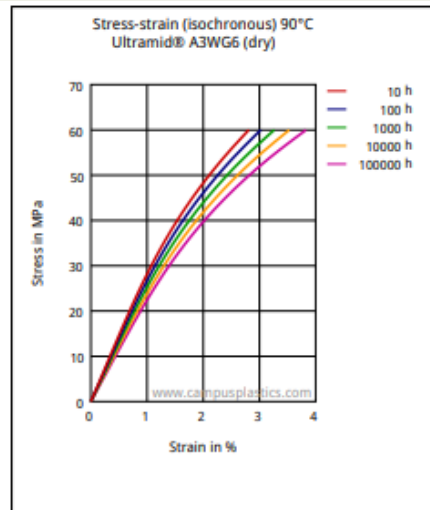
Stress-strain (isochronous) 60°C



Creep modulus-time 60°C

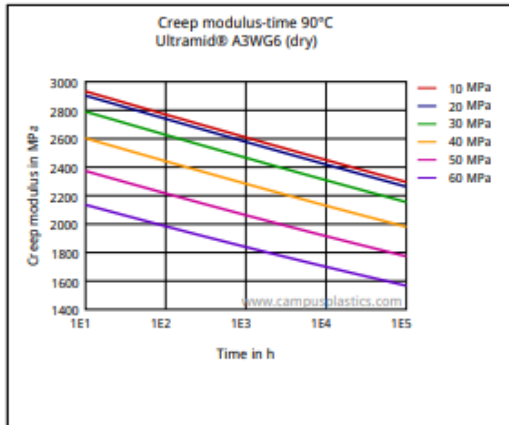


Stress-strain (isochronous) 90°C

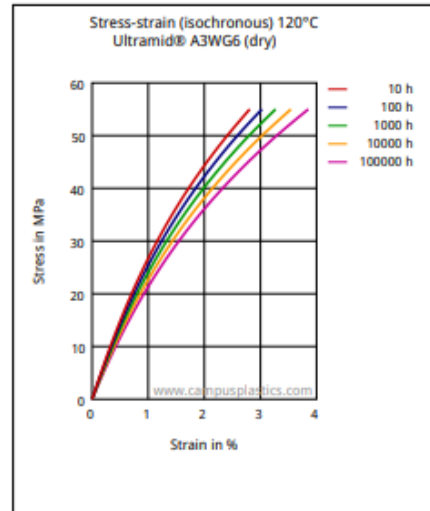


Ultramid® A3WG6 - PA66-GF30
BASF

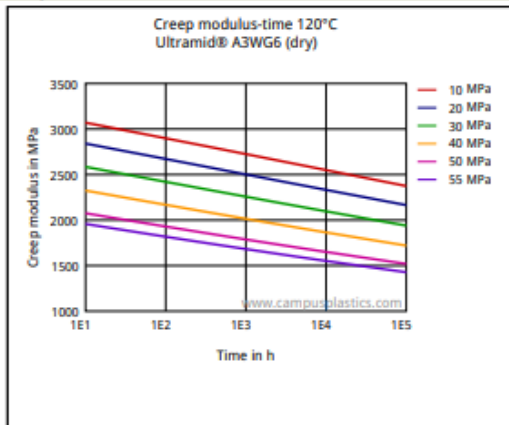
Creep modulus-time 90°C



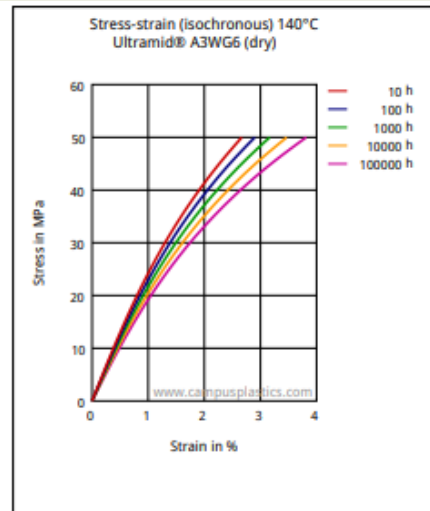
Stress-strain (isochronous) 120°C



Creep modulus-time 120°C

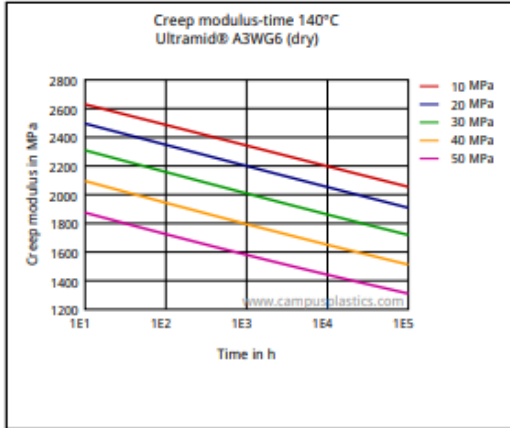


Stress-strain (isochronous) 140°C

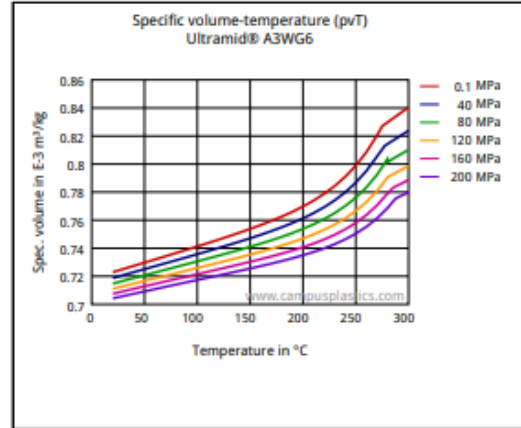


Ultramid® A3WG6 - PA66-GF30
BASF

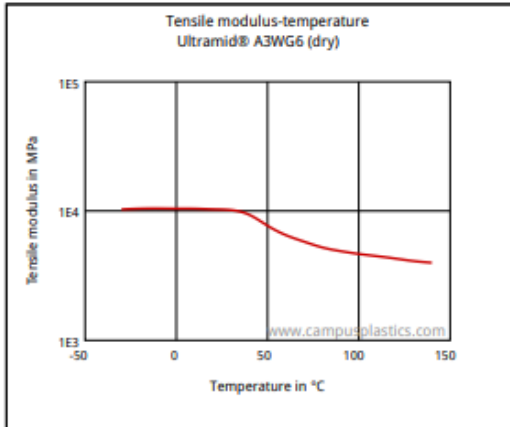
Creep modulus-time 140°C



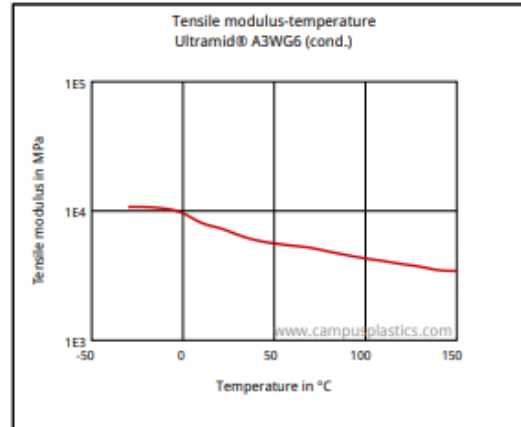
Specific volume-temperature (pvT)



Tensile modulus-temperature



Tensile modulus-temperature



Characteristics

Processing

Injection Molding

Delivery form

Pellets

Additives

Lubricants, Release agent

Other text information

Injection molding

PREPROCESSING

Pre/Post-processing, max. allowed water content: .15 %

Pre/Post-processing, Pre-drying, Temperature: 80 °C

Pre/Post-processing, Pre-drying, Time: 4 h

Special Characteristics

Heat stabilized or stable to heat

Regional Availability

North America, Europe, Asia Pacific, South and Central America, Near East/Africa

Ultramid® A3WG6 - PA66-GF30 BASF

PROCESSING

injection molding, Melt temperature, range: 280 - 300 °C
injection molding, Melt temperature, recommended: 290 °C
injection molding, Mold temperature, range: 80 - 90 °C
injection molding, Mold temperature, recommended: 80 °C
injection molding, Dwell time, thermoplastics: 10 min

Chemical Media Resistance

Acids

- ☺☺ Acetic Acid (5% by mass) (23°C)
- ☺☺ Citric Acid solution (10% by mass) (23°C)
- ☺☺ Lactic Acid (10% by mass) (23°C)
- ☹☹ Hydrochloric Acid (36% by mass) (23°C)
- ☹☹ Nitric Acid (40% by mass) (23°C)
- ☹☹ Sulfuric Acid (38% by mass) (23°C)
- ☹☹ Sulfuric Acid (5% by mass) (23°C)
- ☹☹ Chromic Acid solution (40% by mass) (23°C)

Bases

- ☹☹ Sodium Hydroxide solution (35% by mass) (23°C)
- ☺☺ Sodium Hydroxide solution (1% by mass) (23°C)

Alcohols

- ☺☺ Isopropyl alcohol (23°C)
- ☺☺ Methanol (23°C)
- ☺☺ Ethanol (23°C)

Hydrocarbons

- ☺☺ n-Hexane (23°C)
- ☺☺ Toluene (23°C)
- ☺☺ iso-Octane (23°C)

Ketones

- ☺☺ Acetone (23°C)

Ethers

- ☺☺ Diethyl ether (23°C)

Mineral oils

- ☺☺ SAE 10W40 multigrade motor oil (23°C)
- ☺☺ SAE 10W40 multigrade motor oil (130°C)

Standard Fuels






- ☺☺ Diesel fuel (pref. ISO 1817 Liquid F) (23°C)
- ☹☹ Diesel fuel (pref. ISO 1817 Liquid F) (>90°C)

Salt solutions

- ☺☺ Sodium Chloride solution (10% by mass) (23°C)
- ☹☹ Sodium Hypochlorite solution (10% by mass) (23°C)
- ☹☹ Zinc Chloride solution (50% by mass) (23°C)

Ultramid® A3WG6 - PA66-GF30
BASF

Other

-  Ethyl Acetate (23°C)
-  Hydrogen peroxide (23°C)
-  DOT No. 4 Brake fluid (130°C)
-  Ethylene Glycol (50% by mass) in water (108°C)
-  Water (23°C)

The data contained in this publication are based on our current knowledge and experience. In view of the many factors that may affect processing and application of our product, these data do not relieve processors from carrying out their own investigations and tests. Any descriptions, drawings, photographs, data, proportions, weights etc. given herein may change without prior information and do not constitute the agreed contractual quality of the product. It is the responsibility of the recipient of our products to ensure that any proprietary rights and existing laws and legislation are observed. NO WARRANTIES OF ANY KIND, EITHER EXPRESS OR IMPLIED, INCLUDING WARRANTIES OF MERCHANTABILITY OR FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE, ARE MADE REGARDING PRODUCTS DESCRIBED OR DESIGNS, DATA OR INFORMATION SET FORTH, OR THAT THE PRODUCTS, DESIGNS, DATA OR INFORMATION MAY BE USED WITHOUT INFRINGING THE INTELLECTUAL PROPERTY RIGHTS OF OTHERS.

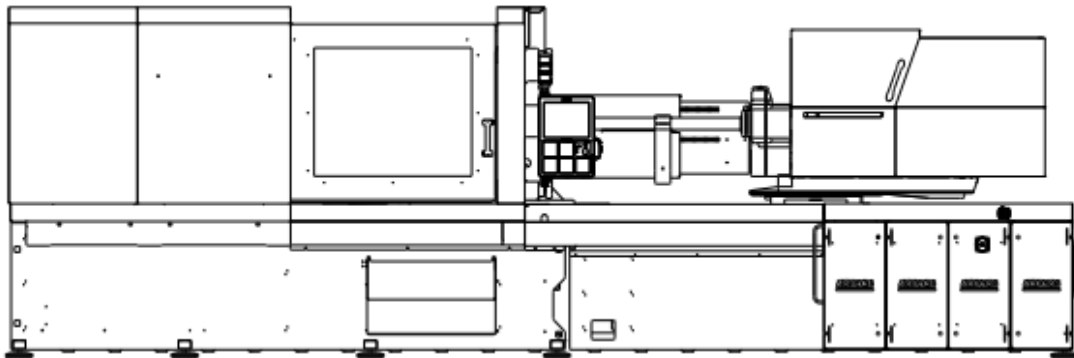
In order to check the availability of products please contact us or our sales agency.

For more information about our products contact your local BASF representative or

BASF SE
Dept. PM/K
Fax: 0621-60-49497
e-mail: [e-mail](#)

CAMPUS® is a registered trademark of CWFG (Chemie Wirtschaftsfoerderungsgesellschaft GmbH, Frankfurt)

**PŘÍLOHA P II: TECHNICKÝ LIST VSTŘIKOVACÍHO STROJE
ALROUNDER 630 S**



ALLROUNDER 630 S

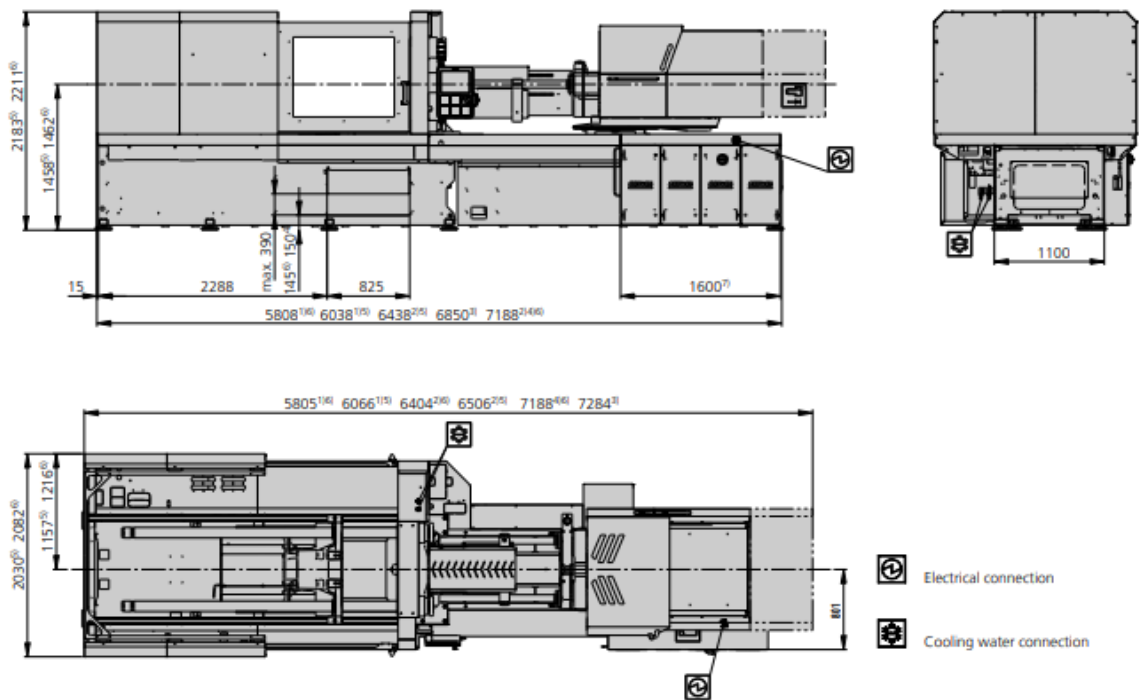
Distance between tie bars: 630 x 630 mm

Clamping force: 2500 kN

Injection unit (acc. to EUROMAP): 800, 1300, 2100

ARBURG

MACHINE DIMENSIONS | 630 S



- 1) Injection unit 800
- 2) Injection unit 1300
- 3) Injection unit 2100 + 2 pumps
- 4) Injection unit 2100
- 5) Machine model with 1 pump or 2 pumps
- 6) Machine model with hydraulic accumulator
- 7) Subject to performance variant and injection unit size

TECHNICAL DATA | 630 S

Clamping unit		630 S	
with clamping force	max. kN	2500	
Opening force stroke	max. kN mm	725 600	
Mould height, fixed variable	min. mm	400 [300-700]	
Platen daylight fixed variable	max. mm	1300 [900-1300]	
Distance between tie bars (w x h)	mm	630 x 630	
Mould mounting platens (w x h)	max. mm	900 x 900	
Weight of movable mould half	max. kg	2500	
Ejector force stroke	max. kN mm	90 225	
Dry cycle time EUROMAP 2	1 pump	min. s - mm	3,8 - 441
	2 pumps	min. s - mm	2,3 - 441
	Accum.	min. s - mm	1,7 - 441

Injection unit		800			1300			2100			
with screw diameter	mm	45	50	55	55	60	70	60	70	80	
Effective screw length	L/D	22	20	18	22	20	17	23	20	17,5	
Screw stroke	max. mm	200			235			280			
Calculated stroke volume	max. cm ³	318	392	474	558	664	904	792	1078	1407	
Shot weight	max. g PS	291	359	434	510	607	826	723	984	1286	
Material throughput	max. kg/h PS	46	53	59	86	96	115	125	145	175	
	max. kg/h PA6.6	23	27	30	43	48	58	62	74	88	
Injection pressure	max. bar	2470	2000	1650	2380	2000	1470	2500	2000	1530	
Holding pressure	max. bar	2470	2000	1650	2380	2000	1470	2500	2000	1530	
Injection flow 2	1 pump	max. cm ³ /s	242	300	364	238	284	388	---		
	2 pumps	max. cm ³ /s	242	300	364	238	284	388	224	306	400
	Accum.	max. cm ³ /s	530	656	792	714	848	1156	1132	1540	2012
Screw circumferential speed 2	1 pump	max. m/min	54	60	66	40	43	51	---		
	2 pumps	max. m/min	54	60	66	40	43	51	43	51	58
	Accum.	max. m/min	15	17	19	19	21	25	21	25	28
Screw torque	max. Nm	880			1510	1640	1920	2140	2500	2550	
Nozzle contact force retraction stroke	max. kN mm	70 400			90 550			110 600			
Heating capacity zones	kW	19,9 8			22,9 8			31,4 8			

Drive and connection		1 pump (servo)			2 pumps			Accum.			
with injection unit		800	1300		800	1300	2100	800	1300	2100	
Net weight of machine	kg	12200	12500		12200	12500	13200	---			
Sound press. level Insecurity 4	dB(A)	< 65			73 3			< 70			
Oil filling	l	360			250	300	380	460			
Drive power 2	max. kW	45	45		45	45	55	30	37	45	
Electrical connection 3		kW	68	74	68	71	89	53	63	70	
	Total	A	---			---			---		
	Machine	A	125	125	100	100	125	80	100	125	
	Heating	A	50	50	35	35	50	25	35	50	
Cooling water connection	max. °C	30			30			30			
	min. Δp bar	1,5 DN 25			1,5 G 2*			1,5 G 2*			

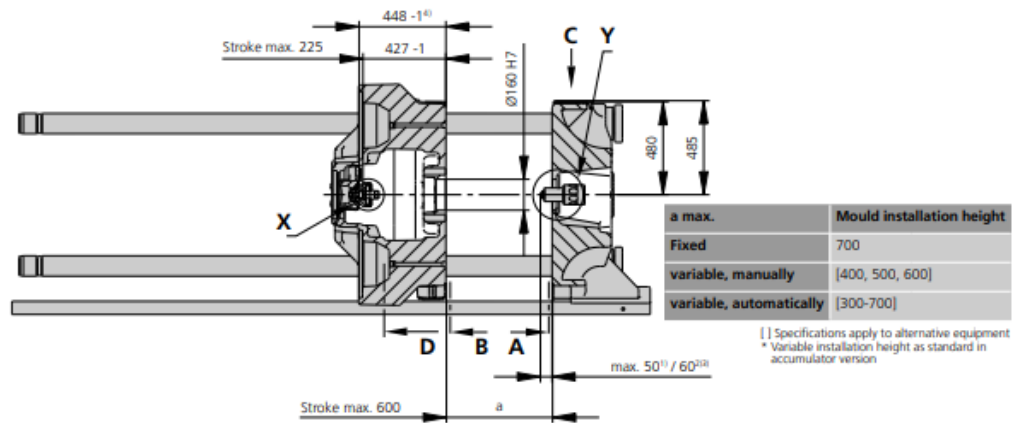
Machine type		Drive
with EUROMAP size designation 1		
630 S 2500-800		1 2 Accum.
630 S 2500-1300		1 2 Accum.
630 S 2500-2100		- 2 Accum.

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

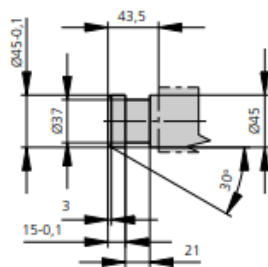
All specifications relate to the basic machine version. Deviations are possible depending on variants, process settings and material type. Depending on the drive, certain combinations, e.g. max. injection pressure and max. injection flow may be mutually exclusive.

- 1) Clamping force (kN) - size of injection unit = max. stroke volume (cm³) x max. injection pressure (kbar)
 - 2) Specifications depend on the drive variant / drive configuration.
 - 3) Specifications relate to 400 V/50 Hz.
 - 4) Detailed info in the operating instr.
- [] Specifications apply to alternative equipment.

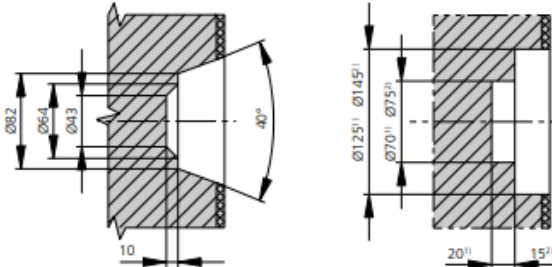
MOULD INSTALLATION DIMENSIONS | 630 S



Ejector bolt | X

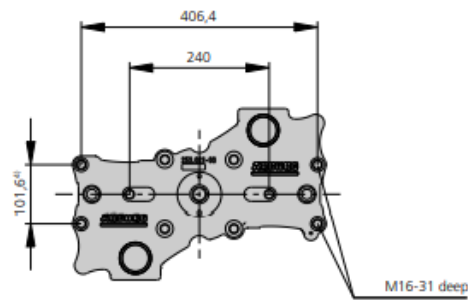


Bore in mould (if required) | Y

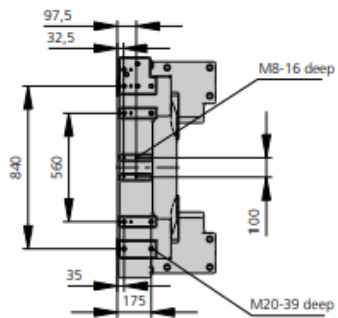


Thermoset execution –
2100 injection unit on request

Ejector plate | D



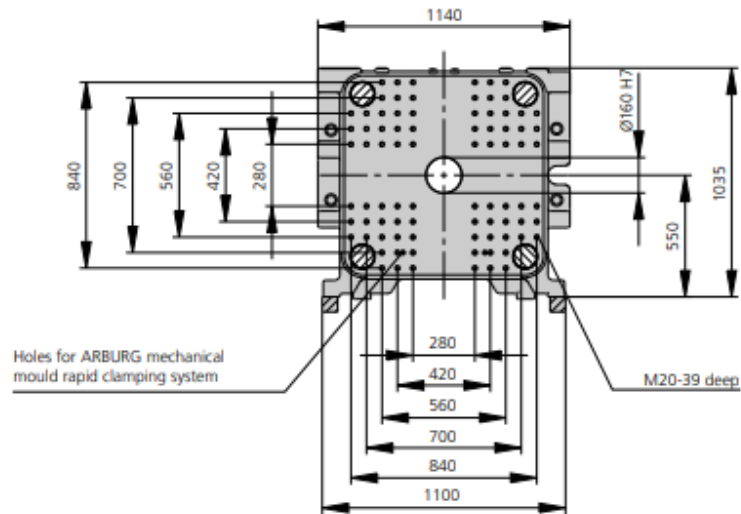
Robotic system mounting | C



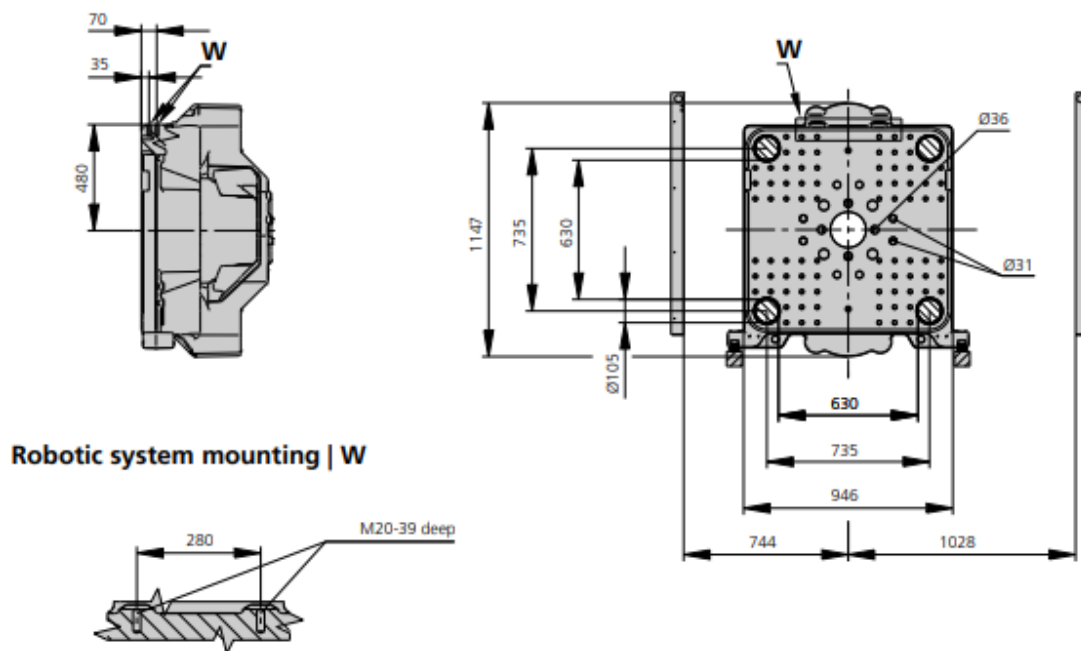
- 1) injection unit 800
- 2) injection unit 1300
- 3) injection unit 2100
- 4) Positions of ejector plate

MOULD INSTALLATION DIMENSIONS | 630 S

Fixed mould mounting platen | A



Moving mould mounting platen | B



1) Guide Ø27

SHOT WEIGHTS | 630 S

Theoretical shot weights for the most important injection moulding materials

Injection units according to EUROMAP		800			1300			2100		
Screw diameter	mm	45	50	55	55	60	70	60	70	80
Polystyrene	max. g PS	291	359	434	510	607	826	723	984	1286
Styrene heteropolymerizates	max. g SB	284	350	424	498	593	807	707	962	1256
	max. g SAN, ABS ¹⁾	278	344	416	488	581	791	693	943	1231
Cellulose acetate	max. g CA ¹⁾	327	404	488	574	683	930	814	1108	1447
Celluloseacetobutyrat	max. g CAB ¹⁾	304	375	454	534	635	865	757	1030	1346
Polymethyl methacrylate	max. g PMMA	300	371	449	527	627	854	747	1017	1329
Polyphenylene ether, mod.	max. g PPE	270	333	403	473	563	767	671	914	1194
Polycarbonate	max. g PC	305	377	456	536	638	868	760	1034	1351
Polysulphone	max. g PSU	316	390	471	554	659	897	785	1069	1396
Polyamides	max. g PA 6.6 PA 6 ¹⁾	289	357	431	507	603	821	719	978	1278
	max. g PA 6.10 PA 11 ¹⁾	270	333	403	473	563	767	671	914	1194
Polyoximethylene (Polyacetal)	max. g POM	359	443	536	630	749	1020	893	1215	1588
Polyethylene terephthalate	max. g PET	346	427	517	607	723	984	861	1172	1531
Polyethylene	max. g PE-LD	219	271	328	385	458	624	546	744	971
	max. g PE-HD	227	280	339	398	473	644	564	768	1003
Polypropylene	max. g PP	232	286	346	406	484	658	576	784	1025
Fluorpolymerides	max. g FEP, PFA, PCTFE ¹⁾	465	574	695	816	971	1322	1157	1575	2058
	max. g ETFE	408	504	609	716	852	1160	1015	1382	1805
Polyvinyl chloride	max. g PVC-U	351	434	525	616	734	998	874	1190	1554
	max. g PVC-P ¹⁾	324	401	485	569	678	922	808	1099	1436

1) average value

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

523006_BN_GB_032021 - Subject to alterations