



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

**TECHNOLOGIE VÝROBY PLASTOVÉHO DRŽÁKU
STŘEŠNÍHO NOSIČE**

PRODUCTION TECHNOLOGY OF PLASTIC HOLDER ROOF RACK

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Lukáš Nevřivý

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Bohumil Kandus

BRNO 2016

Zadání diplomové práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie
Student: **Bc. Lukáš Nevřivý**
Studijní program: Strojní inženýrství
Studijní obor: Strojírenská technologie
Vedoucí práce: **Ing. Bohumil Kandus**
Akademický rok: 2015/16

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

Technologie výroby plastového držáku střešního nosiče

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Na základě zadaného tvaru plastového dílce vypracovat řešerši na technologii vstřikování plastů do forem, provést návrh technologického postupu a konstrukce vstřikovací formy včetně potřebných výpočtů.

Cíle diplomové práce:

Cílem práce je komplexní návrh technologie výroby na úrovni technologického postupu a konstrukční výkresové dokumentace nástroje na držák střešního nosiče z plastu podložený kontrolními výpočty a doplněný technicko-ekonomickým zhodnocením.

Seznam literatury:

- Štěpek, J., Zelinger, J. a Kůta, A. (1989): Technologie zpracování a vlastnosti plastů. SNTL, Praha.
- Sova, M. a Krebs, J. (2001): Termoplasty v praxi. Verlag Dashöfer, Praha.
- Zeman, L. (2009): Vstřikování plastů. Nakladatelství BEN, Praha.
- Menges, G. and Moučen, P. (1993): How to Make Injection Molds. Carl Hanser Verlag, München.

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

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
ředitel ústavu

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

ABSTRAKT

Nevřivý Lukáš: Technologie výroby držáku střešního nosiče

Diplomová práce se zabývá návrhem vstřikovací formy pro výrobu plastového držáku střešního nosiče. Nejprve je proveden rozbor dané součásti, kde je vysvětlena funkce daného dílu a stanovení nutných požadavků, které musí výrobek splňovat. Po návrhu vhodné technologie (vstřikování) následuje teoretická část pojednávající o plastových materiálech, technologii vstřikování a zásadách konstruování vstřikovacích forem. V praktické části práce je proveden na základě technologických výpočtů kompletní konstrukční návrh vstřikovací formy pro držák střešního nosiče. Následně jsou provedeny simulační analýzy, které posuzují vhodnost konstrukce navrhované formy. Na základě konstrukčního návrhu je vybrán vhodný stroj, na kterém by měla být výroba prováděna dle navrženého technologického postupu. V závěru této práce je provedeno technicko-ekonomické zhodnocení navrhované technologie výroby plastového držáku střešního nosiče.

Klíčová slova

plasty, vstřikovací forma, vstřikování, návrh formy, simulační analýza

ABSTRACT

Nevřivý Lukáš: Production technology of plastic holder roof rack

This master's thesis focuses on a design of injection mold which is used for manufacturing of a plastic holder of roof rack. The first part includes shape analysis of the holder and explains function of the product as well as specify essential requirements which must be met. The choice of the most suitable manufacturing technology is followed by theoretical part which deals with literature review of plastic materials, technology of injection molding and basics of injection mold designing. Practical part includes overall design of the mold for the holder of roof rack based on technological calculations. Practical part is followed by mold flow analysis simulation showing suitability of designed mold along with selection of suitable injection molding machine based on product construction design and technological process of manufacturing. The conclusion of master's thesis includes an economical evaluation of proposed manufacturing technology.

Key words

plastics, injection molding, injection mold, mold design, simulation analysis

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

NEVŘIVÝ, Lukáš. *Technologie výroby plastového držáku střešního nosiče*. Brno, 2016. 58 s, 6 výkresů, 3 přílohy, CD. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie tváření kovů a plastů. Vedoucí práce Ing. Bohumil Kandus.

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 Brně dne 27.5.2016

Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu diplomové práce, Ing. Bohumilu Kandusovi, a všem zaměstnancům firmy ASN HAKR Brno s.r.o. za cenné rady, pokyny a soustavnou pozornost, kterou mně při zpracování diplomové práce věnovali.

OBSAH

Zadání diplomové práce

Abstrakt

Bibliografická citace

Čestné prohlášení

Poděkování

Obsah

ÚVOD	9
1 ROZBOR SOUČÁSTI	10
1.1 Technologie výroby	11
2 PLASTY	13
2.1 Výroba plastů	13
2.2 Základní rozdělení plastů	15
2.3 Vlastnosti plastů	18
2.3.1 Termodynamické vlastnosti	18
2.3.2 Mechanické vlastnosti	19
2.3.3 Fyzikální vlastnosti	20
2.4 Přísady plastů	21
3 TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ PLASTŮ	23
3.1 Vstřikovací cyklus	23
3.2 Vstřikovací stroje	25
3.3 Faktory ovlivňující kvalitu výstřiku	27
4 VSTŘIKOVACÍ FORMA	29
4.1 Základní popis vstřikovací formy	29
4.2 Násobnost formy	30
4.3 Vtokové soustavy	31
4.3.1 Studená vtoková soustava	31
4.3.2 Vyhřívaná vtoková soustavy	32
4.4 Temperační systémy	33
4.5 Vyhazovací systémy	34
4.6 Odvzdušnění	34
5 NÁVRH VSTŘIKOVACÍ FORMY	35
5.1 Volba materiálu vyráběného dílce	35
5.2 Stanovení základních prvků tvarové dutiny	36
5.3 Výpočet základních technologických parametrů	37
5.4 Konstrukce vstřikovací formy	40
5.4.1 Tvarová vložka vstřikovací formy	40

5.4.2	Základní rám vstřikovací formy	41
5.4.3	Vyhazovací systém.....	43
5.4.4	Horká vtoková soustava	44
5.4.5	Temperační systém.....	45
5.4.6	Manipulační prvky form.....	47
5.5	SIMULAČNÍ ANALÝZY NÁVRHU.....	48
5.5.1	Plnění tvarové dutiny	48
5.5.2	Kontrola temperačního systému.....	49
5.5.3	Smrštění a deformace vstřikovaného dílce.....	50
5.6	Volba vstřikovacího stroje.....	51
5.7	Technologický postup výroby	52
6	TECHNICKO-EKONOMICKÉ HODNOCENÍ.....	53
6.1	Přímé náklady	53
6.2	Nepřímé náklady.....	55
6.3	Celkové výrobní náklady a zisk.....	56
	ZÁVĚRY.....	58
	Seznam použité literatury	
	Seznam použitých zkratk a symbolů	
	Seznam obrázků	
	Seznam tabulek	
	Seznam příloh	
	Seznam výkresů	

ÚVOD [14],[26],[48]

Vývoj moderních syntetických polymerů, jak je známe dnes, je poměrně nedávného data. Hlavní rozvoj těchto materiálů začal ve druhé polovině minulého století. V současnosti se plastové výrobky vyskytují všude kolem nás a jsou součástí našeho každodenního života (obr. 1). Své uplatnění nacházejí v mnoha oblastech, například v potravinářství, lékařství, stavebnictví i strojírenství.

Pojem plasty pochází z řeckého slova „plastein“, jehož význam je v českém překladu „tvarovat“. Tento moderní materiál přinesl širokou škálu výhod oproti dosud používaným materiálům. Mezi jeho hlavní přednosti patří nízká hmotnost, malá elektrická a tepelná vodivost i korozivzdornost. Pomocí dalších přísad a použitím vhodné technologie zpracování lze dosáhnout ideálních vlastností pro konkrétní plastové dílce. Proto spoustu součástí, které byly dosud vyráběny z klasických materiálů, jako jsou kovy, sklo, dřevo, nahradily tyto syntetické polymery.

Z důvodu jejich značně rozšířeného využití v poslední době, zejména v automobilovém průmyslu, je důležité zabývat se i vhodnými technologiemi zpracování těchto materiálů.



Obr. 1 Příklady výrobků z plastu [13], [25], [29], [40]

1 ROZBOR SOUČÁSTI

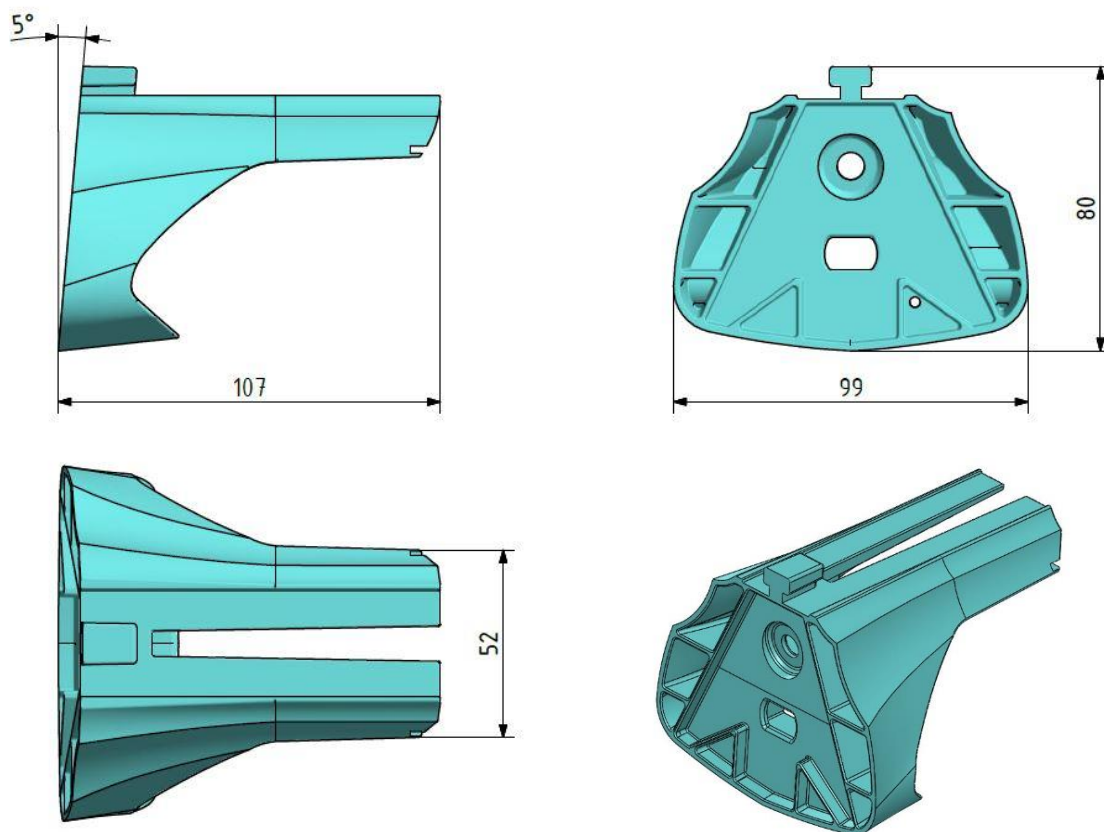
Jedná se o návrh výroby těla držáku příčného střešního nosiče automobilu (obr. 2). Předpokládaná velikost jeho roční produkce ve firmě ASN HAKR Brno s.r.o., která se zabývá výrobou střešních nosičů a boxů, by měla být přibližně 500 000 kusů, kdy výrobní čas by neměl překročit pět měsíců.



Obr. 2 Příčník střešního nosiče [28]

Střešní nosič musí splňovat požadovanou pevnost a tuhost z hlediska bezpečnosti. Je tedy nutné zajistit dostatečnou pevnost celého držáku. Na to má největší vliv materiál a tvar součásti. Vzhledem k tomu, že se jedná o viditelnou součást, je nutné dbát i na její design. Z důvodu snížení hmotnosti při zachování požadované pevnosti je součást navržena s velkým množstvím žeber. Součást je použita na příčný střešní nosič automobilu, a proto také musí odolávat povětrnostním vlivům v širokém teplotním rozsahu.

Tvar součásti je navržen tak, aby bylo možné nastavit konkrétní šířku střešního nosiče dle typu vozidla. Na horní straně těla držáku je umístěna drážka, která umožňuje nastavení dané polohy příčníku. Z boční strany je umístěn imbusový šroub, kterým je celý příčník upevněn na střešní konstrukci automobilu. Šroub je zakrytý uzamykatelným krytem proti případné krádeži. Základní rozměry těla držáku nosiče jsou na obrázku 3. Nejsou zde kladeny vysoké nároky na rozměrovou přesnost součásti. Podrobný výrobní výkres součásti je v příloze práce.



Obr. 3 Základní rozměry těla svorky příčníku [4]

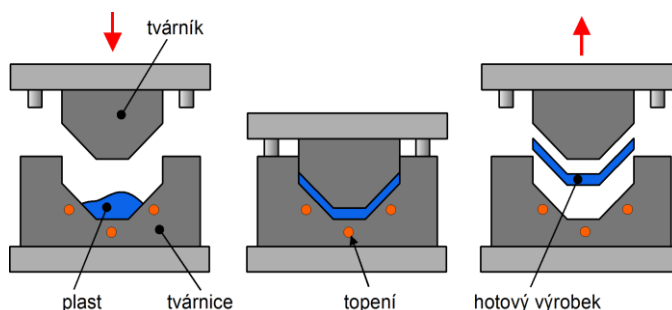
Tělo svorky příčníku je možné vyrobit z více druhů materiálů. Kovy a podobné materiály však nejsou vhodné pro hromadnou výrobu součástí tohoto typu. Tvarová složitost prvků zvyšuje pracnost výrobku a také komplikovaný obráběcí proces kovů značně zvyšuje výrobní náklady. Nejvhodnějším materiálem se potom nabízí plasty, které poskytují požadovanou pevnost, nízkou hmotnost a především velkou odolnost proti korozi.

1.1 Technologie výroby [5], [19], [23], [32], [41], [42], [45]

Technologie zpracování plastů se dá rozdělit na dvě hlavní části, a to tvářecí a tvarovací technologie. Tvářecí technologie je způsob zpracování, kde dochází ke značnému přemístění částic materiálu za působení teploty a tlaku na rozdíl od tvarovací technologie, která je zaměřena na úpravu výchozích polotovarů. Podle tvaru navrhované součásti je zřejmé, že zde bude využita tvářecí technologie, která zahrnuje lisování, odlévání, válcování a vstřikování plastů.

• Lisování plastů

Patří mezi první technologické způsoby zpracování plastů. Proces probíhá ve vytápěné formě, kde na materiál působí tlak pro dosažení výsledného tvaru (obr. 4). Teploty lisování se pohybují v rozmezí od 130 do 190°C a závisí především na druhu zpracovávaného plastu, tvaru výrobku atd. Po samotné tvářecí operaci dochází k ochlazení a u reaktoplastů k vytvrzování, což je

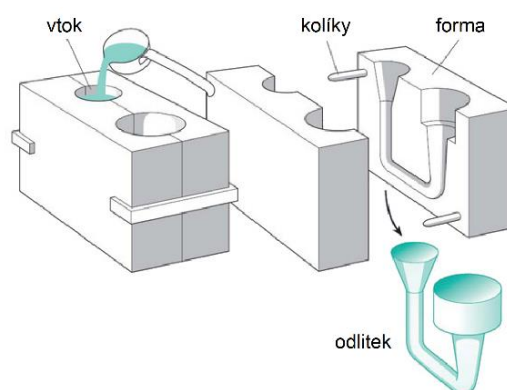


Obr. 4 Lisování plastů [19]

časově nejnáročnější část lisovacího cyklu. Musí být zajištěno 100% zaplnění formy, a proto se na výrobku vyskytují tzv. přetoky, které se po lisovacím procesu musí ještě mechanicky opracovat. Tato technologie se používá převážně pro reaktoplasty. U termoplastů se tato technologie například využívá při recyklování PET lahví, ze kterých se pak vyrábí nové desky. Z důvodu delších pracovních cyklů se využívá spíše ve výrobě menších sérií.

• Odlévání plastů

Základem této technologie je převedení polymeru do kapalného stavu a odlévání plastů do forem (obr. 5). Rozděluje se na atmosférické, přetlakové, podtlakové, polymerační a odstředivé. Do této technologie je možné zařadit i tzv. vakuové lití. Touto technologií se najednou vyrábí tvarově rozdílné díly s minimálním odpadem a bez vnitřního pnutí. Značnou nevýhodou této technologie jsou ale dlouhé pracovní cykly a nízká rozměrová přesnost výrobků. Své uplatnění proto nachází v malosériové nebo kusové výrobě.

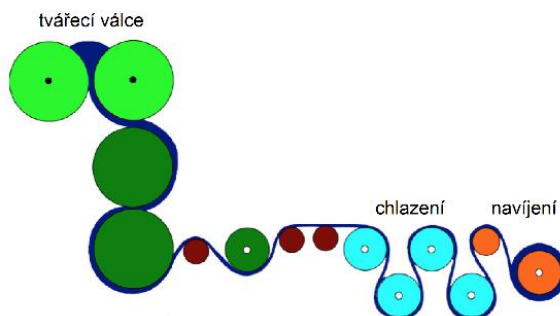


Obr. 5 Odlévání plastů [27]

Odléváním se zpracovává pouze omezené množství typů plastů. Materiály musí splňovat určité parametry pro tento druh výrobní technologie. Všeobecně musí mít malou viskozitu, aby bylo zaručeno úplné zaplnění dutiny. Využívá se převážně pro reaktoplasty.

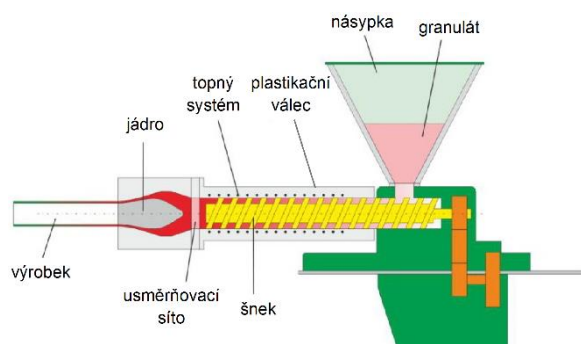
• Válcování plastů

Materiál je tvářen mezi dvojicí válců, kde dochází k vytvoření plochého polotovaru (obr. 6). Tato technologie se využívá výhradně k výrobě folií, případně desek. Mezi první dva rotující válce proti sobě se dávkuje (horký) materiál. V dalších fázích probíhá chlazení, hlazení povrchu, vzorování a navíjení. Používá se pouze pro termoplasty (PVC) a kaučuky. Výroba se provádí na tzv. kalandrovacích linkách.



Obr. 6 Válcování plastů [5]

• Vytlačování plastů



Obr. 7 Extrudér [41]

Princip spočívá v kontinuálním vytlačování určitého profilu z plastu. Provádí se na speciálních strojích tzv. extrudérech (obr. 7), kde je pomocí šneku granulát přepravován ze zásobníku přes tavicí komoru do vytlačovací hlavy. Touto technologií se vyrábí značný podíl plastových polotovarů. Mezi nejběžnější patří různé desky, profily, trubky, hadice apod. Značné uplatnění nachází v elektrotechnickém průmyslu, kde se využívá na oplášt'ování vodičů.

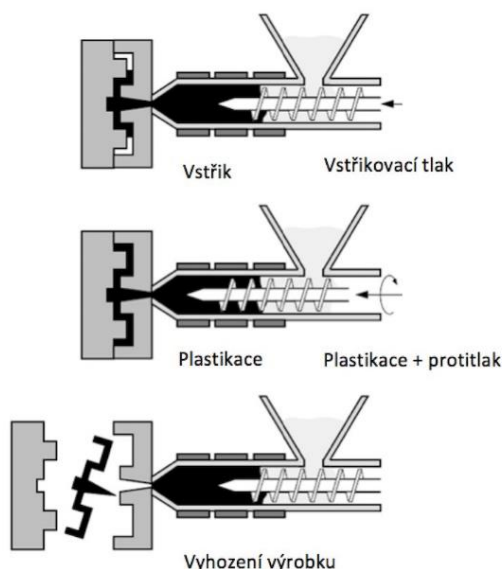
• Vstřikování plastů

Jedná se o velmi produktivní výrobní technologii. Vstřikováním je dosahováno poměrně vysokých přesností vyrobených součástí. Značnou výhodou této technologie je její krátký pracovní cyklus. Vyrobený dílec není nutné dále náročně opracovávat, neboť se jedná v podstatě o hotový výrobek.

Podstatou výrobní technologie je vstřikování taveniny plastového materiálu do tvarové dutiny formy pod určitým tlakem. K tomu je zapotřebí vstřikovací stroj, ve kterém je daná forma upnuta. Princip těchto strojů je podobný jako u vytlačovacích jednotek (obr. 8).

Vstřikují se převážně termoplasty, které mohou být dále různě zpracovány (např. recyklace plastů). Tato technologie se uplatňuje výhradně v sériových provozech, jelikož cena vstřikovací formy je značně vysoká.

Z hlediska střední velikosti, dané tvarové složitosti součásti a předpokládaného množství vyráběných kusů je zvoleno vstřikování plastů jako nejvhodnější tvářecí technologie, která je současně nejčastěji využívanou technologií pro sériovou výrobu plastových dílců menších a středních velikostí.



Obr. 8 Vstřikování plastů [5]

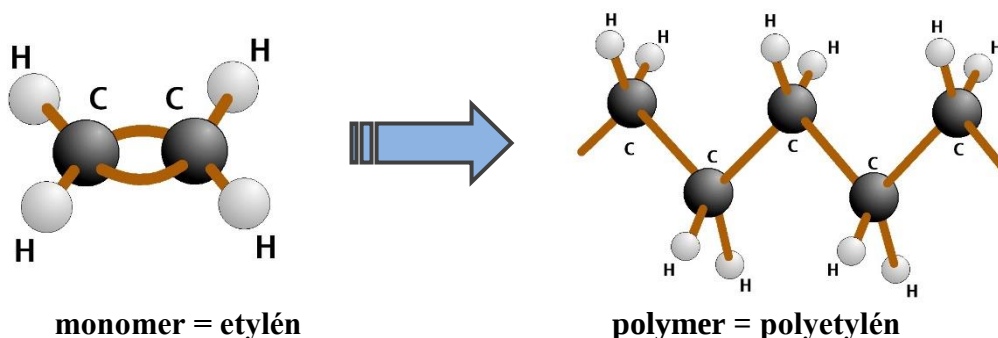
2 PLASTY [26], [49]

Plasty jsou makromolekulární látky (syntetické polymery) plněné různými aditivními prvky. Při zvýšené teplotě se stávají plastickými a tvarovatelnými. V současné době existuje několik tisíc druhů plastů. Technická praxe využívá, ale pouze několik desítek druhů, které mohou být modifikovány různými aditivními přísadami. Vlastnosti polymerů jsou dány chemickou strukturou, avšak ovlivňuje je i proces zpracování.

Mezi hlavní výhody plastů patří jejich nízká měrná hmotnost, elektrická a tepelná vodivost, korozní odolnost a elasticita. Jejich nedostatkem jsou zvláště nízké mechanické vlastnosti a ekologická zátěž životního prostředí.

2.1 Výroba plastů [26], [39], [48], [49]

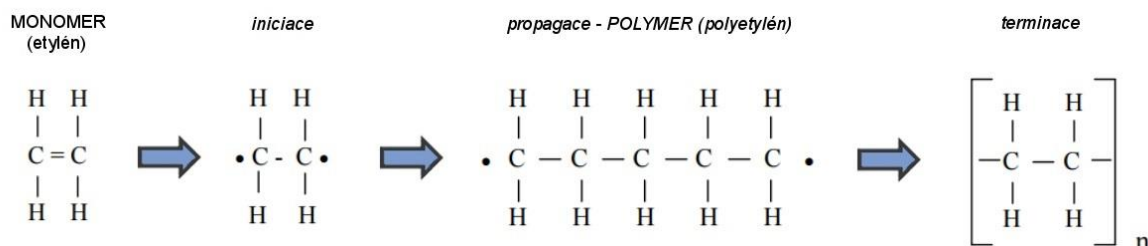
Základní stavební jednotkou makromolekulárních látek je „monomer“. Monomery jsou tvořeny uhlíkovými atomy, které mají schopnost tvořit dlouhé řetězce (obr. 9). Spojováním monomerů neboli uhlovodíků pomocí chemických vazeb vznikají makromolekulární řetězce. Pokud dochází ke spojování dvou a více druhů monomerů vznikají tzv. kopolymery. Výroba makromolekulárních látek spočívá v chemické řetězové reakci zvané polymerace, polykondenzace nebo polyadice.



Obr. 9 Vznik polymeru [49]

• Polymerace

Jedná se o proces, který se dělí na tři stádia: iniciace, propagace a terminace. Při iniciaci se rozštěpí dvojná nebo vícenásobná vazba, aby mohla probíhat následná chemická reakce. Vznikne útvar se dvěma volnými elektrony zvaný „radikál“. Propagace znamená růst řetězce, kdy vzniklý radikál reaguje s další molekulou monomeru a volný elektron se na konci řetězce neustále obnovuje (obr. 10). Jelikož se jedná o exotermickou reakci, dochází k uvolňování tepla. Posledním stádiem je terminace, kdy dochází k ukončení růstu řetězce a obnovení dvojná či vícenásobná vazba. Při polymeraci nevzniká žádný vedlejší produkt. Aby mohla probíhat polymerace, musí obsahovat alespoň jednu dvojnou vazbu molekul.



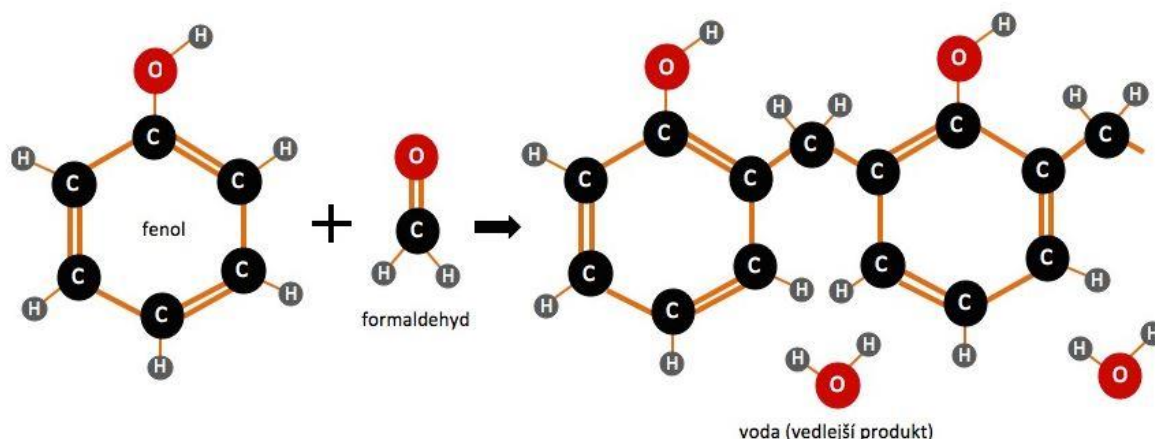
Obr. 10 Princip polymerace etylénu [49]

Polymerační stupeň je číslo, které udává počet stejných skupin atomů v řetězci. Jelikož se v polymeru nacházejí různé dlouhé řetězce, je definován středním polymeračním stupněm a

střední molární hmotností. S rostoucí střední molární hmotností se zvyšují i mechanické vlastnosti polymeru, ale i viskozita taveniny za dané teploty, což vede ke zhoršení tekutosti taveniny.

- **Polykondenzace**

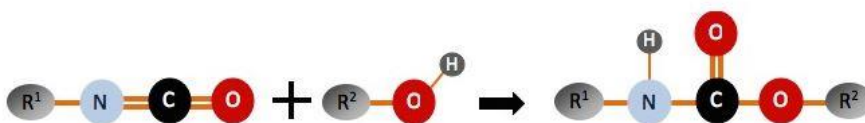
Polykondenzace je chemická reakce, kdy dochází ke slučování monomerů a vznikají makromolekulární látky. Vedlejším produktem této chemické reakce je voda (H_2O), amoniak (NH_3) nebo methanol (CH_3OH), viz obrázek 11. Důležitou podmínkou pro vznik této reakce je, aby monomery obsahovaly alespoň dvě reakční funkční skupiny. Významnými produkty této chemické reakce jsou polyamidy nebo polyester.



Obr. 11 Princip polykondenzace fenolformaldehydové pryskyřice [6]

- **Polyadice**

Princip této chemické reakce je podobný jako u polykondenzace, kdy je zapotřebí minimálně dvou reakčních funkčních skupin monomerů. Nevzniká zde ale žádný vedlejší produkt chemické reakce. Složení polymeru je stejné jako u monomerů. Rozdíl mezi polymerací a polyadicí je v odlišnosti struktury základního článku polymeru od struktury výchozí látky.



Obr. 12 Princip vzniku polyuretanu (PUR) [6]

Plast je technický materiál, který vznikne smícháním nezbytných přísad se základním polymerem. Musí splňovat vhodné vlastnosti potřebné k jeho užití. Následně je převeden do podoby vhodné k dalšímu technologickému zpracování např. prášku, granulí, aj.

2.2 Základní rozdělení plastů [6], [11], [15], [26], [48]

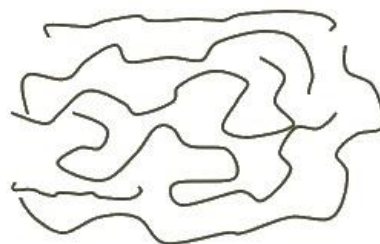
Dělení plastů může být podle několika různých hledisek:

- **Dle tvaru makromolekul**

Řetězce makromolekul mohou být různě vzájemně propojené. Existují tři druhy propojení, *lineární, rozvětvené a zesíťované*.

- **Lineární**

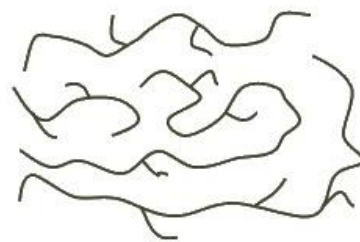
Vznikají řazením monomerních jednotek vedle sebe. Možným přibližováním molekul lépe vyplňují prostor, díky čemuž mají polymery vyšší hustotu (HDPE). Snadno vytvářejí shluky krystalických struktur (obr. 13), takže polymery mají vyšší krystalické podíly, což vede k dobré houževnatosti v tuhém stavu. Dobrá pohyblivost makromolekul způsobuje lepší rozpustnost a tavitelnost.



Obr. 13 Lineární řetězec [6]

- **Rozvětvené**

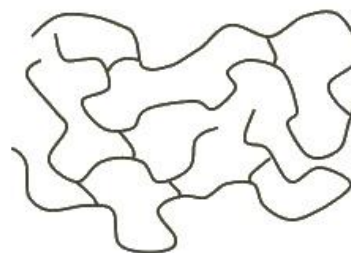
Rozvětvené makromolekuly jsou typické svými bočními větvemi navázanými na základní řetězec (obr. 14), které zhoršují jejich pohyblivost, což nepříznivě ovlivňuje tekutost v roztaveném stavu. Makromolekuly se k sobě nemohou dostatečně přiblížit a to způsobuje nízkou hustotu polymeru (LDPE) a pokles mezimolekulárních sil, což má za následek zhoršení mechanických vlastností polymeru.



Obr. 14 Rozvětvený řetězec [6]

- **Zesíťované**

Vznikají spojením lineárních nebo rozvětvených řetězců pomocí příčných chemických vazeb. Zesíťovaná struktura (obr. 15) značně omezuje pohyblivost makromolekul. Polymery ztrácí tavitelnost, rozpustnost a houževnatost. Vyznačují se vyšší tvrdostí a odolností proti zvýšeným teplotám. Tyto výsledné vlastnosti budou záviset především na hustotě zesíťování. Zesíťovaná struktura může vznikat samotnou polyreakcí (reaktoplasty) nebo při dodatečném procesu, např.: vulkanizace kaučuku, vytvrzování, atd.



Obr. 15 Zesíťovaný řetězec [6]

- **Dle uspořádání nadmolekulární struktury**

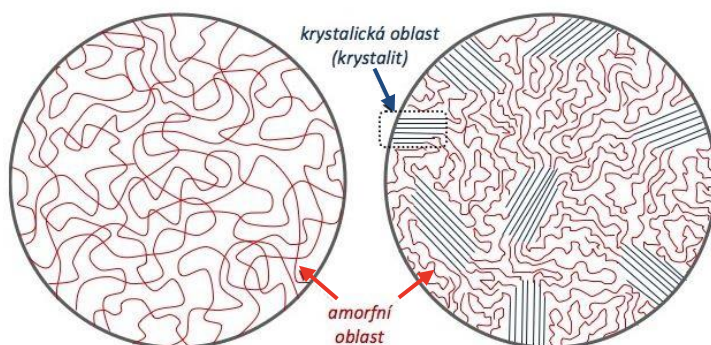
Mnoho užitných vlastností polymerů výrazně ovlivňuje nadmolekulární struktura, která určuje vzájemnou uspořádanost makromolekul. Jedná se pak o polymery s amorfni a semikrystalickou strukturou.

- **Amorfni**

Jedná se polymery s neuspořádanou strukturou makromolekul, která je charakterizována morfologickým úvarem globuly (klubička). Tyto makromolekuly ve tvaru klubiček mohou být různě vzájemně propleteny. Při přechodu z taveniny do tuhého stavu zůstává struktura řetězců v nepravidelném uspořádání (obr. 16). Amorfni plasty vynikají malým smrštěním a bývají často transparentní. Amorfni plasty jsou například PS, ABS, PMMA a další.

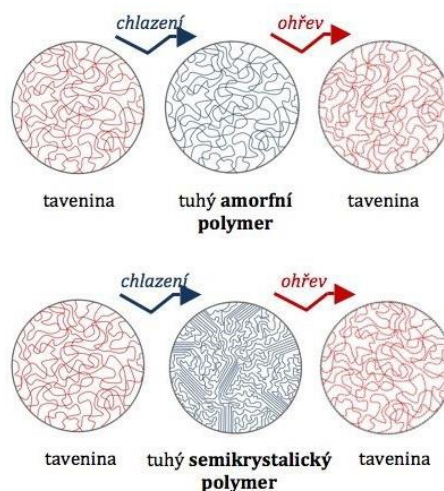
○ Semikrystalické

Polymery vyznačující se daným stupněm uspořádanosti makromolekul. Základním tvarem semikrystalické struktury jsou lamely a fibrily. Při tuhnutí polymeru nikdy nedochází k úplné krystalizaci, ale jen k jeho určité části a zbytek zůstává amorfní (obr. 17). Z toho důvodu se nazývá semikrystalickou strukturou. Míru uspořádanosti struktury udává stupeň krystalinity závisující na podílu krystalických oblastí v polymeru. Vlastnosti částečně krystalizovaných polymerů závisí na tvaru makromolekuly a stupni krystalinity, který může být maximálně 90%. Mezi semikrystalické plasty patří například PP, PE, PA, PET a další.



Obr. 17 Nadmolekulární struktura

(vlevo - amorfni, vpravo - semikrystalická) [6]



Obr. 16 Vliv teploty na strukturu [6]

• Dle chování za zvýšených teplot a při působení vnějších sil

Nejdůležitějším hlediskem rozdělení plastů pro výběr vhodné technologie zpracování je chování za zvýšených teplot při působení vnějších sil.

○ Termoplasty

Polymery, které jsou schopny změnit svůj tvar působením tepla a vnějších sil. Zahříváním přecházejí do plastického či vysoce viskózního stavu, kdy je lze snadno zpracovávat různými technologiemi. Po ochlazení je možné přivést termoplasty opětovným roztavením do stavu taveniny. Lze je dále rozdělit na termoplasty semikrystalické a amorfni.

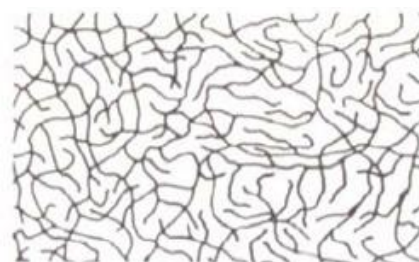
Semikrystalické termoplasty mají uspořádanou strukturu (obr. 18), která jim zajišťuje vlastnosti jako je tvarová stálost, stálost za tepla, odolnost proti otěru, atd.

Amorfni termoplasty mají neuspořádanou strukturu (obr. 19). Vlastnostmi amorfni termoplastů jsou průhlednost, odolnost proti křípu, dobrá vrubová houževnatost a malé smrštění.

Termoplasty patří mezi nejrozšířenější plastové materiály. Příkladem termoplastických materiálů jsou PA, PE, PP, atd.



Obr. 18 Semikrystalický termoplast [26]



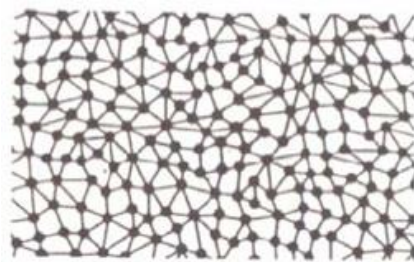
Obr. 19 Amorfni termoplast [26]

○ Reaktoplasty

Jedná se o polymery, které mají pevně propojené zesíťované řetězce (obr. 20).

V první fázi ohřevu lze reaktoplasty tvářet pouze na omezenou dobu. V následujícím stádiu zahřívání dochází k vytvoření hrubé zesíťované struktury, které se nazývá vytvrzování. Jedná se o nevratný děj, proto jsou tyto polymery zpravidla nerozpustné a netavitelné. Příkladem reaktoplastů jsou např. epoxidové pryskyřice, fenolformaldehydové hmoty, polyesterové hmoty, atd.

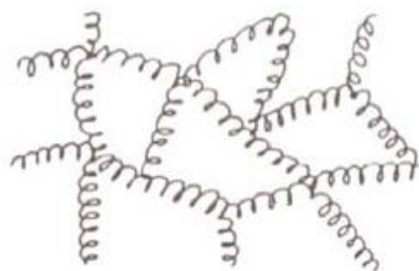
Mají nízkou rázovou a vrubovou houževnatost. Hlavní využití nacházejí v elektrotechnice, kde slouží zejména jako izolanty. Ve strojírenství se využívají výhradně na součásti namáhané staticky za vyšších teplot z důvodu jejich nízké ceny.



Obr. 20 Reaktoplast [26]

○ Elastomery

Jedná se o elastické polymery, které jsou značně deformovatelné při zatížení malou silou a nevykazují známky porušení, tzv. pryže. Při zahřátí na určitou teplotu je lze tvářet pouze omezenou dobu, protože po určitém čase dochází k prostorovému zesíťování struktury vulkanizací (obr. 21) a materiál postupně ztrácí své elastické vlastnosti.



Obr. 21 Elastomer (pryž) [26]

Termoplastické elastomery (TPE) jsou materiály s kombinací vlastností vulkanizovaného elastomeru a termoplastu. Mají elastické vlastnosti za běžných teplot, ale oproti pryžím se dají zpracovávat jako termoplasty. Probíhá zde fyzikální děj, při kterém se nemění jejich chemická struktura.

Mezi tyto materiály patří všechny pryže na bázi přírodního a syntetického kaučuku. Známé termoplastické elastomery jsou např. polyurethany (PUR), kopolyamidy, směsi elastomerů s termoplasty, aj. Zkratky a názvy základních typů plastů používaných v praxi jsou uvedeny v tabulce 1.

Tab. 1 Tabulka základních typů plastů [6]

Termoplasty		Reaktoplasty		Elastomery	
PE	Polyethylen	UP	Nenasycený polyester	NR	Přírodní pryž
PP	Polypropylen	EP	Epoxidová pryskyřice	SBR	Butadienstyrenový kaučuk
PA	Polyamid	PUR	Polyuretan	PUR (T)	Termoplastický polyuretanový elastomer
PC	Polykarbonát				
PS	Polystyren				
PVC	Polyvinylchlorid				
PMMA	Polymethylmetakrylát				
PTFE	Polytetrafluoretylen				

2.3 Vlastnosti plastů

Plasty jako každé jiné materiály mají určité vlastnosti za daných podmínek, které je charakterizují. Znalost těchto vlastností je hlavním předpokladem pro vhodný výběr materiálu a určení správné technologie zpracování zadané součásti.

2.3.1 Termodynamické vlastnosti [6], [26], [48]

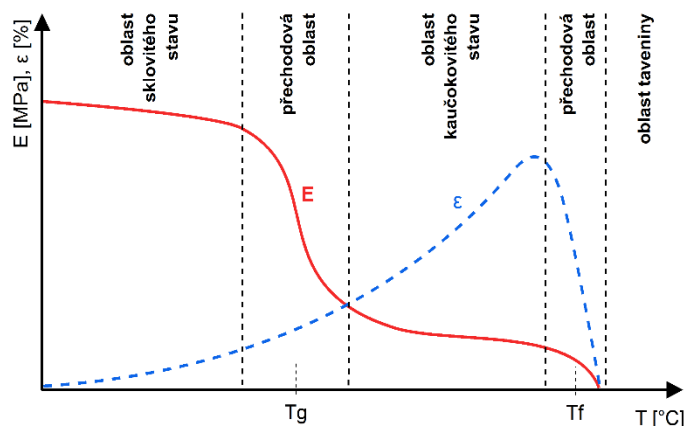
Charakteristické vlastnosti plastů jsou závislé zejména na teplotě. V určité oblasti teplot změny vlastností probíhají rychleji, popřípadě se mění skokem. Jedná se o přechodové teploty z tuhého do kapalného stavu. To platí pouze pro termoplasty, které nemají zesíťovanou strukturu makromolekul. Takový polymer má v závislosti na teplotě několik stavů.

Amorfní termoplasty mají dvě přechodové teploty. Teplotu skelného přechodu (T_g) a teplotu viskózního toku (T_f). V blízkosti teploty skelného přechodu, nebo také zesklenní, se mění skokem jejich modul pružnosti (E) a celková tažnost (ϵ). Následně přechází termoplast do kaučukovitého stavu a při dalším nárůstu teploty na teplotu viskózního toku ztrácí své elastické vlastnosti a stává se viskózní kapalinou. Právě v této oblasti se dají amorfní termoplasty zpracovávat například vstřikováním, vytlačováním, apod.

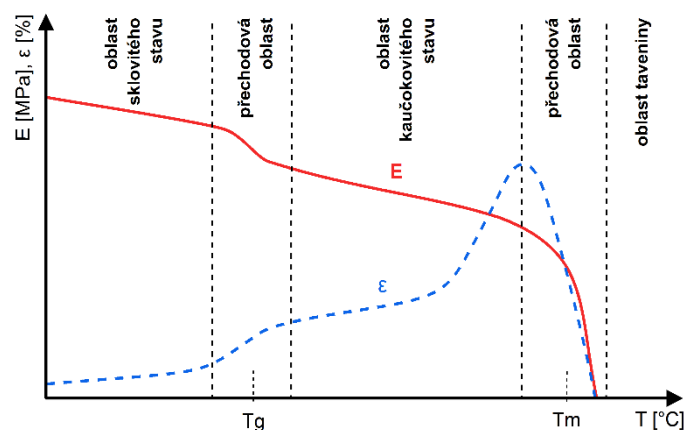
Dalším zvyšováním teploty dochází k tepelné degradaci polymeru. Průběh změn modulu pružnosti a tažnosti amorfního termoplastu v závislosti na teplotě je znázorněn na obrázku 22.

Pro použitelnost výrobků, které nejsou mechanicky namáhány, je považována jako hraniční teplota u amorfních termoplastů teplota skelného přechodu (T_g). Tuto teplotu je možné ovlivnit použitím změkčovadel (zvyšování rázové houževnatosti za bodu mrazu).

Semikrystalické termoplasty podobně jako amorfní termoplasty mění také své vlastnosti v oblasti teploty skelného přechodu (T_g), ovšem podstatně v menším rozsahu. Teplota skelného přechodu lze u těchto termoplastů ovlivnit stupněm krystalinity. Čím více bude polymer obsahovat amorfní složku, tím méně budou výrazné změny modulu pružnosti (E) a celkové tažnosti (ϵ) v oblasti skelného přechodu. Největší změny vlastností se vyskytují v oblasti teploty tání (T_m). Při dosažení této teploty nastává rozpad krystalické struktury. Jedná se o přechod polymeru z tuhého do kapalného stavu. Zpracování semikrystalických termoplastů se provádí nad teplotou tání (T_m). Hraniční teplotou pro použitelnost výrobků ze semikrystalických termoplastů je považována teplota tání (T_m). Znázornění průběhu změn modulu pružnosti a tažnosti semikrystalického termoplastu v závislosti na teplotě je na obrázku 23.



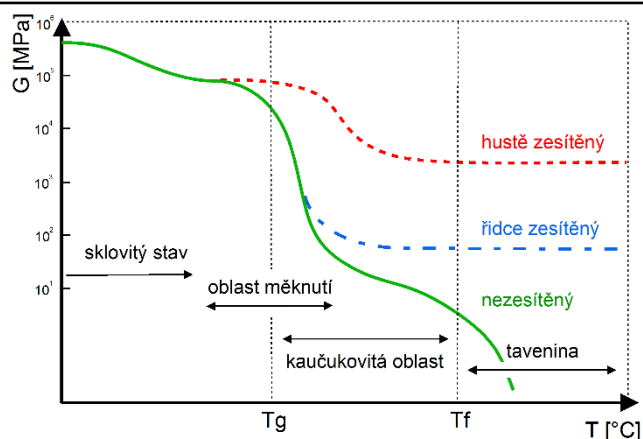
Obr. 22 Závislost modulu pružnosti a celkové tažnosti na teplotě amorfního termoplastu [6]



Obr. 23 Závislost modulu pružnosti a celkové tažnosti na teplotě semikrystalického termoplastu [6]

Zesíťované amorfnní polymery (reaktoplasty, pryže) mají odlišné chování za zvýšených teplot, viz obrázek 24. Takový polymer nelze roztavit, protože má tuhou síť chemických vazeb. Z tohoto důvodu se zde vyskytuje pouze nepatrná kaučukovitá oblast s poměrně vysokým modulem pružnosti až do teploty rozkladu.

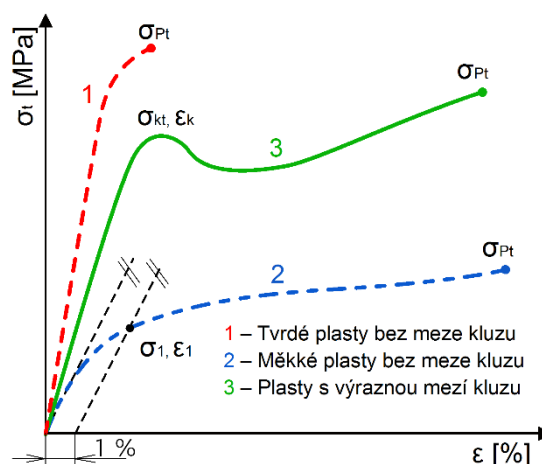
Hustě zesíťovanými polymery bývají reaktoplasty a řidce zesíťovaná struktura mají elastomery.



2.3.2 Mechanické vlastnosti [6], [16] Obr. 24 Vliv zesíťování na modul pružnosti [26]

Mezi hlavní mechanické vlastnosti polymerů patří zejména pevnost, pružnost, plasticita a houževnatost. Mechanické vlastnosti ovlivňuje celá řada faktorů. Zejména záleží na chemickém složení, struktuře a okolní teplotě. Rozdělují se na mechanické vlastnosti v závislosti na krátkodobém nebo dlouhodobém konstantním namáhání.

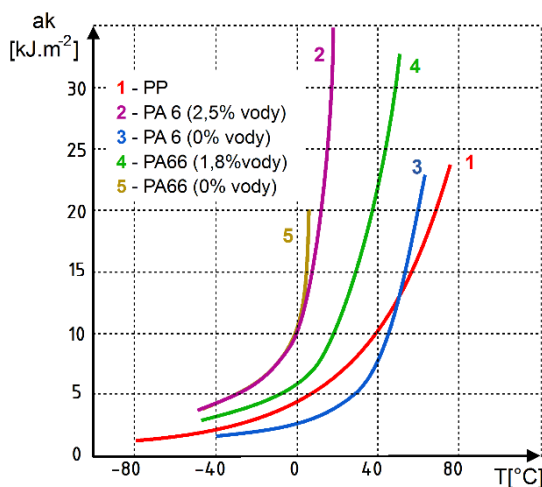
Při krátkodobém namáhání se zjišťuje závislost velikosti napětí na deformaci. Jedná se o charakteristické chování polymeru daného vzorku při určitém typu zatěžování. Jednou ze základních zkoušek je tahová zkouška. Zkušební těleso je namáháno jednoosým tahem až do okamžiku přetržení.



Obr. 25 Závislost napětí na deformaci v tahu [16]

Různé typy polymerů mají své charakteristické průběhy napětí, jak je možné vidět na obrázku 25. Semikrystalické termoplasty mají při zatěžování v tahu za normálních teplot průběh s výraznou mezí kluzu (σ_{kt}), která je horní hranicí dovoleného napětí součásti při provozu (obr. 25). Nad touto mezí dochází k trvalým deformacím až do meze pevnosti (σ_{Pt}), ve které dojde k porušení tělesa. Reaktoplasty mají chování podle křivky 1, kdy napětí rovnoměrně narůstá až do bodu porušení. Měkké polymery, což jsou převážně elastomery (křivka 2), které nemají výraznou mez kluzu, mají dovolené napětí v místě vzniku trvalé deformace 1% (σ_1).

Vrubová houževnatost vyjadřuje náchylnost materiálu k lomu při dynamickém namáhání. Měřítkem je množství spotřebované energie na přeražení zkušební tělesa opatřené vrubem. U plastů je v oblasti sklovitého stavu hodnota vrubové houževnatosti nízká a v místě teploty skelného přechodu prudce narůstá (obr. 26). Vyjadřuje kromě houževnatosti materiálu i citlivost ke vrubům a koncentraci napětí.



Obr. 26 Závislost vrubové houževnatosti na teplotě [16]

Při dlouhodobém namáhání jsou mechanické vlastnosti vyjádřeny vzájemnou závislostí mezi napětím, deformací a časem. Nejčastější zkouškou pro zjištění těchto mechanických vlastností je křípová zkouška tahem neboli zkouška tečení, viz obr. 27. Provádí se namáháním zkušební vzorku jednoosým tahem malou konstantní silou za konstantní teploty. Doba zatěžování bývá až několik tisíc hodin. Výsledkem této zkoušky je tzv. časovaná pevnost.

2.3.3 Fyzikální vlastnosti [6], [15], [16]

Mezi fyzikální vlastnosti plastů patří například tepelná vodivost, teplotní roztažnost, hořlavost, navlhavost, stárnutí.

• Tepelná vodivost

Ve srovnání s kovy mají plasty mnohem nižší tepelnou vodivost (až o 2 – 3 řády). Pro technologické zpracování je tato vlastnost spíše negativní, protože se navyšuje čas strávený ohřevem materiálu. Plastové výrobky jsou však dobrými tepelnými izolanty.

• Teplotní roztažnost

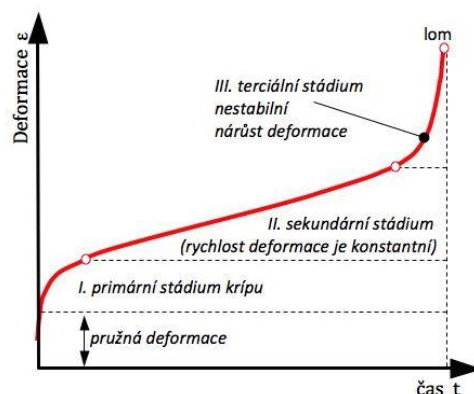
Patří mezi nejvíce sledované vlastnosti u plastů. Podobně jako u kovů mění plastové součásti vlivem okolní teploty jejich rozměry. Je vyjádřena koeficienty délkové a objemové teplotní roztažnosti. Polymery s nižším modulem pružnosti mají vyšší teplotní roztažnost, která se dá snížit použitím určitých přísad do základního polymeru.

• Hořlavost

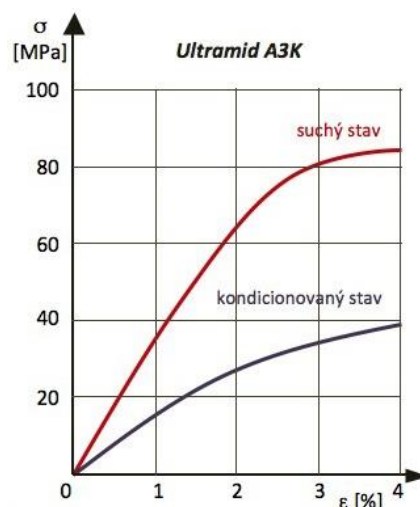
Jedná se o vlastnost plastu, která závisí zejména na chemické struktuře polymeru. Hořlavost polymeru je odstupňována, kdy stupeň 0 udává nehořlavost a nejvyšší stupeň 4 rychlé hoření. Zjištění hořlavosti se provádí různými metodami dle oblasti použití plastu. Dá se snižovat různými přísadami, tzv. retardéry hoření.

• Navlhavost

Navlhavost je jedna ze specifických vlastností plastů. Jedná se o schopnost polymerů absorbovat vodu z okolního prostředí působením vlhkosti. Pokud se plastový dílec nachází přímo ve vodě, mluvíme o tzv. nasákavosti. Princip navlhavosti se odvíjí od obsahu atomů se silnou elektronegativitou v řetězci. Navlhání plastů je dlouhodobý proces probíhající do doby dosažení rovnovážného stavu, tedy do doby, kdy vlhkost polymeru odpovídá relativní vlhkosti okolního prostředí. Tato vlastnost ovlivňuje nejen rozměry vyrobené součásti z plastu, ale snižuje i pevnost, modul pružnosti a zvyšuje tažnost a houževnatost (obr. 28). Navlhání plastů je vratný děj a je možné plastovou součást dostat do stavu s nižším obsahem vody vlivem suchého okolního prostředí. Měnit tuto vlastnost lze určitými plnivými. Mezi navlhavé polymery patří polyamidy (PA), polykarbonáty (PC), fenol-formaldehydové pryskyřice (PF), aj. Nenavlhavými polymery jsou například polyetyleny (PE), polypropyleny (PP) a polystyreny (PS).



Obr. 27 Průběh křípové zkoušky [6]



Obr. 28 Vliv navlhavosti na pevnost PA66 [6]

- **Stárnutí**

Stárnutí je degradační proces plastového materiálu vlivem působení záření, povětrnostních podmínek a tepla. Podle působících faktorů se proces stárnutí rozděluje na *Stárnutí tepelné a tepelně oxidační*, *stárnutí vlivem povětrnosti* a *stárnutí vlivem záření*. Princip stárnutí plastu spočívá v porušování makromolekulárních řetězců, kdy dochází k trvalým změnám vlastností, jako je například ztráta tažnosti a houževnatosti nebo snížení pevnosti součásti.

- **Chemická odolnost**

Působením různých chemických činidel může polymer absorbovat určité látky, které pak způsobují fyzikální nebo chemické změny materiálu. Hlavními činidly mající vliv na fyzikální změny polymeru jsou rozpouštědla, která způsobují bobtnání. Tyto přeměny v polymeru jsou však vratné. Naproti tomu chemické změny, které jsou způsobeny chemickými látkami (kyseliny, zásady, apod.), jsou změny trvalé. Tímto způsobem dochází ke korozi polymeru.

Chemická odolnost polymeru závisí zejména na jeho chemickém složení a struktuře. Čím větší je obsah krystalické struktury v polymeru, tím vyšší je odolnost vůči chemickým látkám.

2.4 Příspěvky plastů [6], [15], [39]

V praxi se polymery v čistém stavu téměř nevyskytují. Přidávají se k nim různá aditiva pro zlepšení jejich vlastností. Díky těmto přísadám mohou být vytvořeny vhodné materiály se specifickými vlastnostmi pro konkrétní druh použití. Je mnoho přísad, které se i navzájem kombinují. Mohou jimi být například různé stabilizátory, plniva, změkčovadla, apod.

- **Tepelné stabilizátory**

Zvyšují odolnost plastů proti zvýšeným teplotám. V důsledku toho nedochází k takovým degradačním procesům jako u čistých polymerů. Chrání polymery zejména během zpracování, protože jejich teplota měknutí a rozpadu leží v úzkém rozmezí.

- **Světelné stabilizátory**

Jejich úkolem je snížit degradační procesy způsobené slunečním zářením. U plastů je velmi nebezpečné UV záření, které vyvolává štěpení nebo zesíťování makromolekul. Stabilizátory chránící plasty před škodlivým UV zářením jsou například přísady ve formě sazí, které toto záření nepropustí nebo jej absorbují a přemění na jiné.

- **Retardéry hoření**

Jedná se o látky, které zpomalují proces hoření. Zabraňují přístupu kyslíku a tím výrazně snižují hořlavost materiálu. Mezi základní retardéry hoření patří uhličitán amonný, kyselina boritá, slída, atd.

- **Barviva**

Barviva jsou tzv. pigmenty ve formě prášku v polymerech, které mohou být organického nebo anorganického původu (obr. 29). Poskytují plastům příslušný barevný odstín. Organická barviva jsou oproti anorganickým rozpustná a zachovávají tím jejich průhlednost.



Obr. 29 Barviva [24]

- **Maziva**

Jsou důležitými aditivními prvky zejména pro lepší zpracovatelnost plastu. Dělí se na maziva s vnitřním a vnějším účinkem. Maziva s vnějším účinkem jsou látky, které jsou málo rozpustné v polymeru, a tak vystupují na jeho povrch a vytváří povrchovou vrstvu, zlepšující vyjímání výrobku z formy. Maziva s vnitřním účinkem jsou naopak lépe rozpustná a snižují

viskozitu taveniny polymeru. Mimo jiné zlepšují i další vlastnosti jako je lepší vzhled povrchu, tepelnou a světelnou stabilitu, aj.

• Změkčovadla

Změkčovadla jsou organické látky s vysokým bodem varu. Díky zvětšení volného objemu mezi makromolekulami snižují teplotu skelného přechodu a zlepšují tak ohebnost, houževnatost a viskozitu taveniny polymeru. Použitím změkčovadel, ale klesají některé mechanické vlastnosti polymeru, jako například mez pevnosti.

• Nadouvadla

Patří mezi přísady, které se uplatňují při zpracování lehčených hmot. Za zvýšené teploty se nadouvadla rozkládají a uvolňují plyny (obvykle CO_2 nebo N_2), které vytvářejí dutiny, tzv. póry (obr. 30).

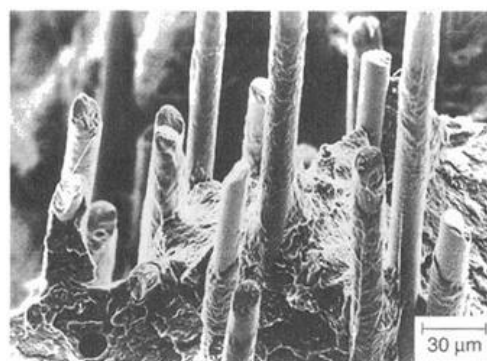


Obr. 30 Nadouvadla [6]

• Plniva

Jedná se o přísady ve formě prášků, granulí nebo tuhých vláken, které pozitivně ovlivňují vlastnosti daného polymeru. Rozdělují se na plniva vyztužující a nevyztužující. Vyztužené polymery jsou tzv. kompozity, kdy jsou tvořeny základní matricí a vyztužujícími vlákny, které zlepšují mechanické vlastnosti polymeru.

Skleněná vlákna (obr. 31) zvyšují pevnost a tuhost výrobku. Snižují teplotní roztažnost a kříp, což zvyšuje tvarovou stálost výrobku za zvýšených teplot. Díky snížení navlhavosti polymerů udržují dobrou rozměrovou přesnost. Snižují ovšem i tažnost a vrubovou houževnatost. Orientace vláken při vstřikování způsobuje anizotropii vlastností materiálu.



Obr. 31 Skleněná vlákna v plastu [26]

Minerální prášková plniva a skleněné kuličky snižují tažnost, houževnatost, kříp, teplotní roztažnost a navlhavost. Zvyšují tuhost a tvarovou stálost za tepla. Na rozdíl od vláknitých plniv nezpůsobují anizotropii, a tak lze dosáhnout vysoké tvarové přesnosti vlivem malého a rovnoměrného smrštění.

Nevyztužující plniva jako například *grafit, sirník molybdeničitý nebo práškový PTFE* zlepšují kluzné vlastnosti. Práškové kovy zlepšují tepelnou a elektrickou vodivost plastového materiálu. Typ a tvar plniva je uveden v označení plastů, viz tabulka 2.

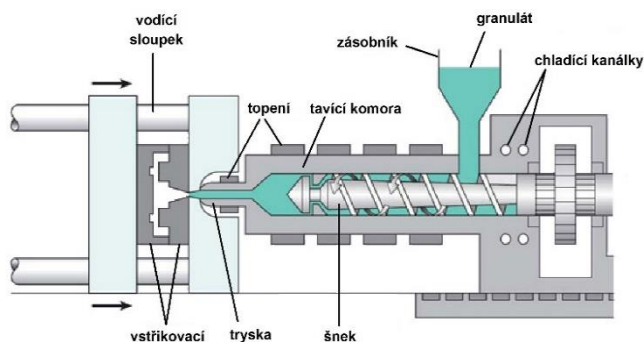
Tab. 2 Základní značky typů plniv [6]

Označení	Název	Označení	Název
CF	uhlíkové vlákno	MF	minerální vlákno
CD	uhlíkový prášek	MD	minerální prášek
GB	skleněné kuličky	P	slída
GD	skleněný prášek	T	talek
GF	skleněné vlákno	K	uhličitan vápenatý

3 TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ PLASTŮ [18], [45]

Vstřikování plastů je výrobní technologie, při které vzniká už většinou hotový výrobek v rámci jednoho pracovního cyklu a není zapotřebí dalších operací. Jedná se o jeden z nejproduktivnějších procesů zpracování plastů. Výrobky vyrobené technologií vstřikováním se vyznačují svojí dobrou rozměrovou přesností. Pro vstřikování se používají téměř všechny termoplasty.

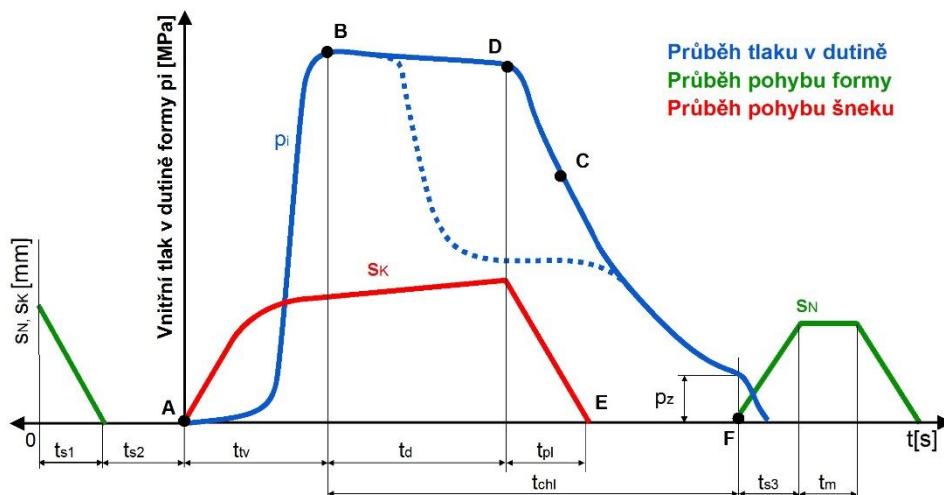
Podstata této technologie spočívá ve vstřikování materiálu velkou rychlostí do uzavřené tvarové dutiny (obr. 32). Plastový materiál se nachází v zásobníku v podobě granulí, tzv. granulát, který musí být během výroby doplňován. Pomocí šneku je granulát dopraven do tavící komory. V tavící komoře dochází ke vzniku taveniny vlivem tření a působením tepla. Po dosažení požadované teploty taveniny, v přední části tavící komory, je tavenina pomocí dopředného axiálního pohybu šneku dopravena do dutiny vstřikovací formy, kde vyplní celý její prostor. Po ztuhnutí je výrobek vyhozen z formy a celý pracovní cyklus se opakuje. Výrobek vyrobený technologií vstřikování se nazývá výstřik.



Obr. 32 Princip vstřikování [47]

3.1 Vstřikovací cyklus [18], [34], [45]

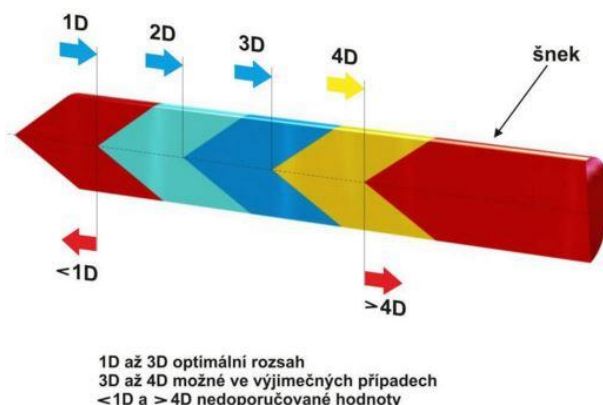
Vstřikovací cyklus se skládá z několika dílčích fází jdoucích za sebou. Průběh vstřikovacího cyklu v závislosti na čase je znázorněn na obrázku 33. Počáteční fází vstřikovacího cyklu je uzavření formy. Jedná se o strojní časy t_{s1} a t_{s2} . Axiálním pohybem šneku nastává plnění vstřikovací formy (bod A). Doba plnění se značí t_v . V momentě zaplňování formy taveninou začíná probíhat chlazení t_{chl} . Chladnutím taveniny dochází ke zmenšování objemu plastu smrštěním, a proto je tento proces kompenzován dotlačením taveniny, tzv. dotlakem. Hodnota tlaku při dotlaku může být stejně vysoká jako maximální tlak anebo se může v průběhu snížit. Poté dochází k plastikaci další dávky materiálu t_{pl} v tavící komoře. Zpětným pohybem šneku při plastikaci dochází ke snižování tlaku v dutině formy až na hodnotu zbytkového tlaku p_z , který by měl být co nejmenší. Následuje otevření formy t_{s3} a vyjmutí hotového výrobku t_m .



Obr. 33 Průběh vstřikovacího cyklu [18]

• Plastikace

Plastikace je část vstřikovacího cyklu, kdy se z granulátu stává tavenina pomocí šneku a topných těles. Více tepla vzniká třením, ale část je nutné dodat i topnými tělesy, které jsou umístěné na obvodu tavicí komory (obr. 32). Rotačním a současně zpětným pohybem šneku se požadované množství tavicího plastu dostane před jeho čelo. Při zpětném pohybu šneku se ale snižuje jeho účinná délka, a proto musí být zvyšován tzv. zpětný tlak. Velikost dávky určené pro vstřik musí zajistit dostatečné zaplnění dutiny ve vstřikovací formě včetně vtokových systémů a kompenzovat změny objemu způsobené smrštěním. Proto je její množství větší přibližně o 5% až 15% než objem dutiny vstřikovací formy. Navýšená část vstřikovací dávky se nazývá „polštář“. Důležité je, aby celkový vstřikovaný objem, nazývaný také zdvih dávkování, byl rovnoměrně homogenní z hlediska teploty a tlaku. Zpravidla se udává, že zdvih dávkování by neměl překročit čtyřnásobek průměru šneku (obr. 34).

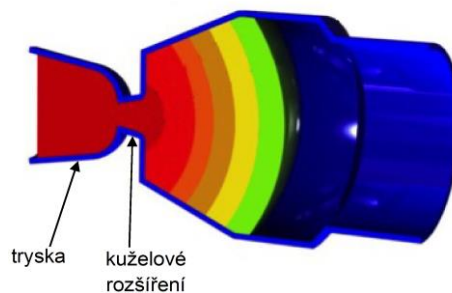


Obr. 34 Rozsah objemu vstřikované dávky [18]

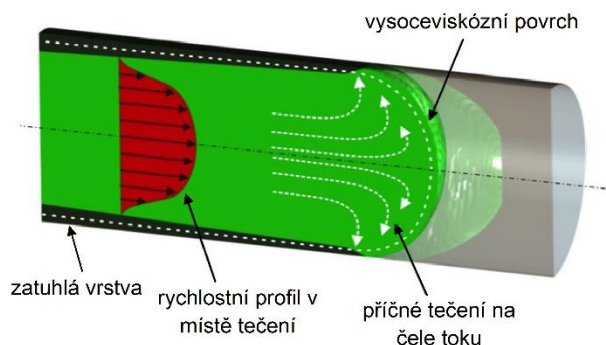
Plastikace probíhá současně v době fáze chlazení, a proto nemá žádný vliv na výslednou délku vstřikovacího cyklu. Během chlazení dochází ale k částečnému ohřevu formy a to v místě, kde dochází ke styku s vytápěnou vstřikovací tryskou. Proto po skončení plastikace je možné odsunout jednotku od vstřikovací formy.

• Plnění

Jedná se o hlavní část cyklu, kdy dochází k plnění tvarové dutiny formy plastem. Proces plnění je způsoben axiálním pohybem šneku, který má před svým čelem připravené určité množství taveniny ke vstřiknutí. Z celkového vstřikovacího cyklu je to velice krátký časový úsek, který závisí na velikosti a tvarové složitosti výrobku, ale obvykle se pohybuje okolo několika sekund. Je to z toho důvodu, aby nedošlo k předčasnému zatuhnutí taveniny. Vnitřní povrch formy má několikanásobně nižší teplotu než tavenina, a proto při styku taveniny s formou začne plast okamžitě tuhnut. Vytvoří tenkou zatuhlou vrstvu, která tepelně izoluje chladnou formu od horké taveniny, a ta může protékat dále do formy. Při plnění formy musí být



Obr. 35 Laminární tok [18]



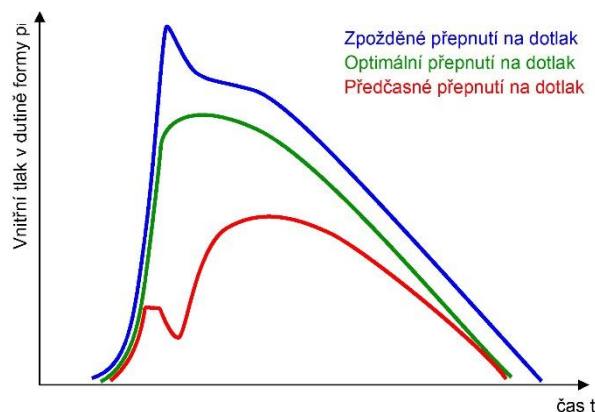
Obr. 36 Rychlost toku taveniny [18]

dodržěn tzv. laminární tok (obr. 35), který zaručuje postupné a rovnoměrné plnění. Rychlost plnění je závislá na technologických podmínkách (teplota taveniny, vstřikovací tlak), na materiálu, na typu vtokového systému, na objemu, tvaru a tloušťce stěny výrobku. Znázornění profilu rychlosti toku taveniny je na obrázku 36. Zde je vidět, že rychlost proudění taveniny je největší uprostřed daného průřezu a směrem ke stěně klesá.

Při zaplnění téměř celé dutiny ve vstřikovací formě dojde k prudkému nárůstu tlaku, který je následně z části kompenzován dotlakem. Příliš vysoký vstřikovací tlak způsobuje tvorbu přetoků a naopak nízký tlak má za následek vady výrobku způsobené nedostříknutím. Při vysoké vstřikovací rychlosti hrozí nebezpečí přehřátí taveniny. Vstřikovací tlak i rychlost mohou mít naprogramovaný určitý průběh.

• Dotlak

Podstatou dotlaku je doplňování taveniny do dutiny formy při smršťování výstřiku způsobeného chlazením. Fáze dotlaku následuje ihned po zaplnění dutiny formy, kdy se po určité době vstřikovací tlak sníží. Při opožděném přepnutí tlaku na nižší hodnotu by došlo k vysokému namáhání formy, ke zvětšení hmotnosti a rozměrů výstřiku (obr. 37). V opačném případě, by to mohlo vést k nedostříknutému výrobku. Dotlak trvá jen do doby, než dojde ke ztuhnutí taveniny v místě vtoku, což se pohybuje v řádu sekund. Zpravidla však dotlaková fáze končí ještě dříve, než dojde ke ztuhnutí vtoku. Mohlo by tím dojít k výrazným prnutím v tomto místě. Při ukončení dotlaku začíná fáze plastikace další dávky materiálu.

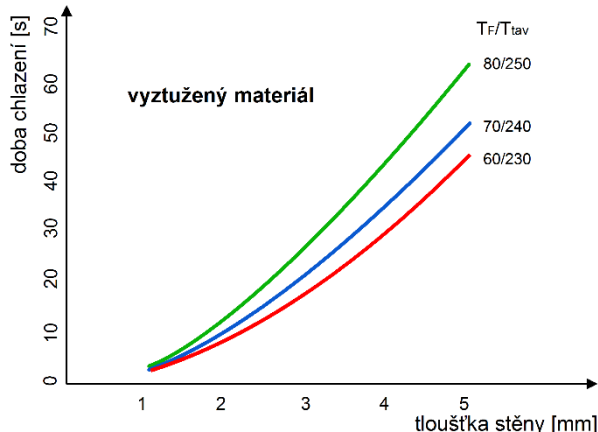


Obr. 37 Vliv doby přepnutí dotlaku [18]

• Chlazení

Tato část vstřikovacího cyklu začíná už při počátečním styku horké taveniny s chladnější vstřikovací formou. Aby mohl být výrobek spolehlivě vyhozen z formy, musí být v tuhém stavu. Vyhazovaný výstřik musí mít takovou teplotu, aby nedocházelo k jeho deformacím při vyjmutí z formy, avšak přesto je teplota stále mnohem vyšší než teplota okolního prostředí. K vyrovnání teplot výrobku na okolní teplotu dochází už mimo vstřikovací formu.

Doba chlazení vstřikovacího cyklu může trvat až několik minut. Záleží na maximální tloušťce stěny výstřiku (obr. 38), jeho materiálu, teploty taveniny (T_{tav}) a formy (T_F). Jelikož je chlazení časově nejnáročnější částí vstřikovacího cyklu, využívají se pro účinnější chlazení vstřikovací formy chladicí kanálky, viz kapitola 4.3, v pohyblivé i pevné části.

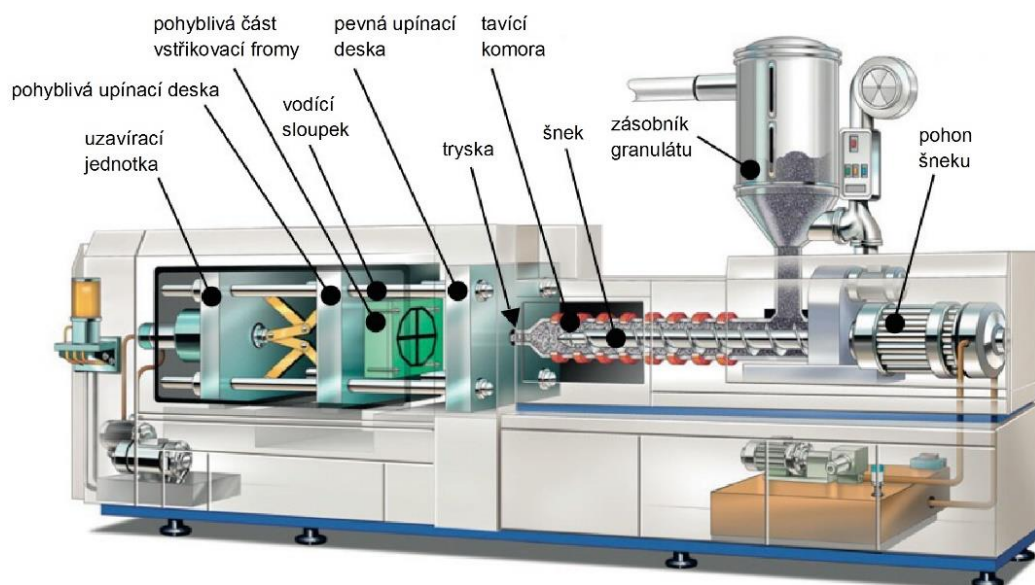


Obr. 38 Doba chlazení v závislosti na tloušťce stěny [18]

3.2 Vstřikovací stroje [7], [12], [34], [45], [48]

Pro technologii vstřikování plastů se v dnešní době využívá plně automatizovaných vstřikovacích strojů. Jedná se o stroje velkých rozměrů, které jsou vždy několikanásobně větší než vyráběná součást. Své uplatnění nacházejí zejména v oblasti sériové výroby z důvodu návratnosti vynaložených nákladů na jejich pořízení.

Zařízení se skládá z několika částí. Na základním rámu stroje je upevněna vstřikovací jednotka, uzavírací jednotka včetně formy a řídicí zařízení pro regulaci celého vstřikovacího cyklu. Zjednodušené schéma vstřikovacího stroje je na obrázku 39.



Obr. 39 Schéma vstříkovacího stroje [7]

• Vstříkovací jednotka

Vstříkovací jednotka má za úkol roztavit v krátkém čase plastový granulát na teplotně homogenní taveninu, kterou následně vstříkuje velkou rychlostí pod vysokým tlakem do tvarové dutiny vstříkovací formy. Využívají se převážně tzv. šnekové vstříkovací jednotky.

Princip funkce šnekové vstříkovací jednotky je již popsán v kapitole 3.1. Důležitými parametry, kterými je charakterizována, jsou:

D_s průměr šneku [mm];

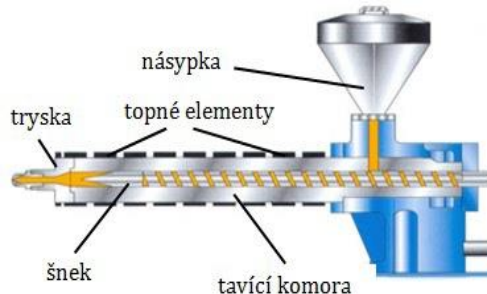
L délka šneku [mm];

Q_v vstříkovací kapacita [cm^3];

Q_p plastikační kapacita [$\text{kg} \cdot \text{h}^{-1}$];

p_v vstříkovací tlak [MPa];

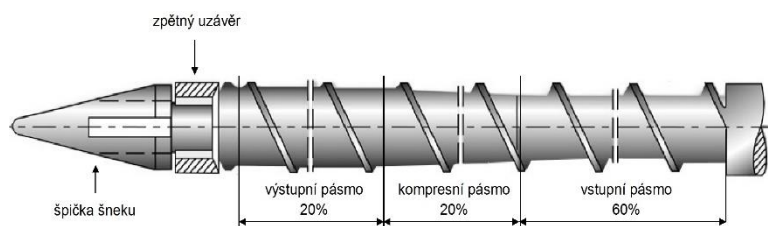
v_m objemová vstříkovací rychlost [$\text{cm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$];



Obr. 40 Vstříkovací jednotka [34]

Vstříkovací kapacita udává maximální objem, který lze vystříknout z tavící komory během jednoho pracovního cyklu. Plastikační kapacita představuje maximální možné množství plastu, které je schopné tavící komora přeměnit za jednu hodinu do stavu taveniny. Z hlediska konstrukce se vstříkovací jednotka skládá z násypky, tavící komory, šneku, trysky a topení, viz obrázek 40. Hlavní podíl zahřívání je tvořen vlivem tření materiálu mezi stěnami komory a rotujícího šneku.

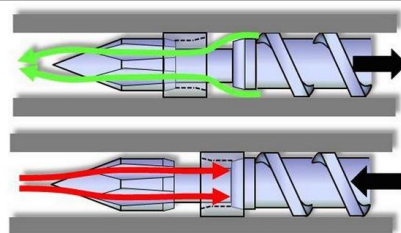
Stěžejní funkční částí vstříkovací jednotky je šnek. Používá se tzv. diferenciální šnek s daným kompresním poměrem. Je rozdělen na tři pásma (obr. 41). V oblasti násypky s granulátem se nachází část zvaná vstupní,



Obr. 41 Pásma šneku [12]

která má nejmenší průměr jádra šneku. Z celkové délky zaujímá zhruba 60%. V této zóně je granulát postupně stlačován a ohříván. Dalším pásmem je kompresní pásmo, kde se jádro šneku postupně

rozšiřuje a důsledkem toho dochází k tání materiálu. Kompresní poměr je dán rozdílem výšek závitů. Obvykle se pohybuje od 2 do 3:1. Jelikož je tavenina v této oblasti nehomogenní, plast je dopravován do výstupní části, kde dochází k homogenizaci taveniny. Nazývá se pásmo homogenizační. Jádru šneku je v tomto pásmu opět konstantní. Kompresní a homogenizační pásma jsou stejně dlouhá.



Obr. 42 Princip zpětného ventilu [34]

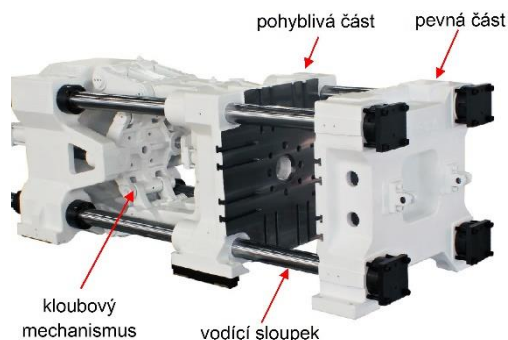
Zakončení šneku u vstřikovací trysky je kuželovou špičkou, která je uchycena pomocí závitů. Aby nedocházelo ke zpětnému pohybu taveniny v tavicí komoře při vstřikování, používá se zpětný ventil. Princip činnosti zpětného ventilu je znázorněn na obrázku 42. Při vstřikování je rotační pohyb šneku zastaven a dopředným pohybem se uzavře oblast, kde se nachází homogenní tavenina. Po naplnění formy se zpětným axiálním pohybem šneku otevře zpětný ventil a přední část tavicí komory se opět zaplní taveninou.

• Uzavírací jednotka

V uzavírací jednotce je upnuta vstřikovací forma, která se má zavírat a otevírat během pracovního cyklu. Jednotka musí zajišťovat dostatečnou uzavírací sílu, aby nedošlo k nechtěnému otevření formy vlivem působení vysokého tlaku taveniny uvnitř dutiny formy. Další funkcí, kterou plní uzavírací jednotka je vyhazování výstřiku pro odformování pomocí vyhazovačů.

Skládá se z pevné a pohyblivé desky s upínacím systémem pro vstřikovací formu. Přesná rovnoběžná poloha upínacích desek je zajištěna prostřednictvím vodících sloupků. Pohybový uzavírací mechanismus musí současně zajistit i požadovanou uzavírací sílu během procesu. Princip mechanismu je buď hydraulický, hydraulicko-mechanický nebo elektro-mechanický.

Nejvíce efektivní je hydraulicky poháněný kloubový mechanismus (obr. 43). Má poměrně malou velikost konstrukce, a tedy nijak výrazně nezvyšuje nároky na celkové rozměry stroje. Nejčastěji se používá horizontální poloha uzavírací jednotky. Dráha pohyblivé desky musí být tak velká, aby bylo možné bezpečně vyjmout výstřík z formy. Rychlost uzavírání a otevírání pohyblivé desky není konstantní. Při zavírání vysokou konstantní rychlostí by prudké nárazy mohly poškodit dosedací plochy vstřikovací formy. Proto se rychlost pohyblivé desky při zavírání snižuje, aby dosednutí obou částí formy bylo měkké. Obdobně i při otevírání formy je rychlost zpočátku větší a následně se snižuje.



Obr. 43 Mechanická uzavírací jednotka [44]

3.3 Faktory ovlivňující kvalitu výstřiku [18], [38], [45], [48]

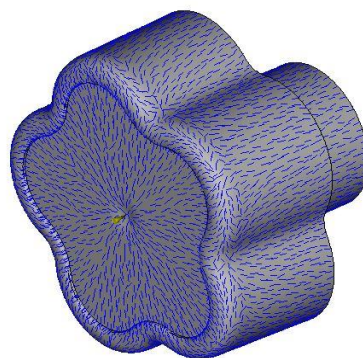
Je celá řada faktorů, které ovlivňují výsledné vlastnosti a kvalitu plastových výrobků. Z hlediska technologie vstřikování plastů se jedná především o procesy probíhající během vstřikovacího cyklu.

Nerovnoměrným odvodem tepla během fáze plnění a chlazení vstřikovacího cyklu ze vstřikovací formy vzniká ve výstřiku nehomogenní teplotní a napěťové pole. Důsledkem toho vzniká pnutí uvnitř plastového dílce a může dojít ke vzniku trhlin nebo porušení tvaru. U plastů se ale projevuje i tzv. relaxace napětí, což způsobuje samovolné snížení tlakového pnutí uvnitř výrobku v závislosti na čase. Za zvýšených teplot uvolňování napětí probíhá

rychleji. Vhodným řízením vstřikovacího cyklu nebo dodatečným tepelným zpracováním se dá zajistit, aby pnutí uvnitř součásti byla co nejmenší.

- **Orientace**

Při vstřikování plastu do dutiny formy dochází k chladnutí taveniny, která je vstřikována vysokou rychlostí pod velkým tlakem. Vlivem vysokého tlaku se částice plniva orientují do směru toku (obr. 44) a při chladnutí taveniny v této poloze tuhnou. Jedná se o tzv. *orientaci* makromolekul a plniva, kdy platí, čím větší stupeň, tím větší anizotropie. Hlavními ovlivňujícími faktory je teplota taveniny a formy, vstřikovací rychlost a tlak. Vstřikovací tlak se s narůstající vzdáleností od vtoku postupně snižuje, a tak stupeň orientace také klesá.



Obr. 44 Orientace skelných vláken

- **Smrštění**

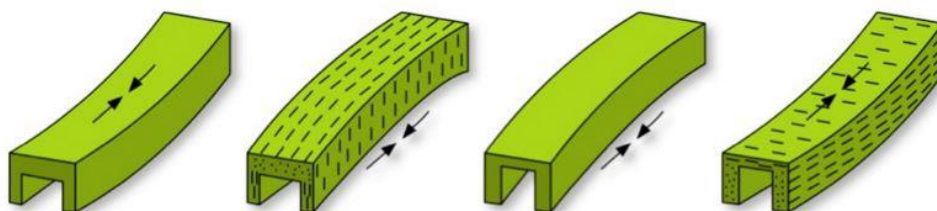
Jedná se o změnu objemu plastového dílce po ochlazení, kterou ovlivňuje mnoho různých činitelů, jako jsou technologické parametry, konstrukční řešení součásti, materiál, atd. Hlavní příčinou projevu smrštění je tepelná roztažnost a kontrakce plastů. U vstřikovacího tlaku platí, že čím je větší, tím je velikost smrštění menší. Z toho důvodu bývá smrštění plastového dílce největší v nejvzdálenějších oblastech od místa vtoku. Proto se používá dotlak. Jelikož dochází ke změně rozměrů hotového výrobku vlivem smrštění, je zapotřebí upravit rozměry dutiny formy pro kompenzaci těchto změn. Smrštění se dá rozdělit na výrobní a dodatečné, a to v závislosti na uplynulé době od vyhození z formy. Výrobní smrštění se projevuje určitý čas po vyhození výstřiku z formy, obvykle do 24 hodin. Zatímco dodatečné se projevuje ještě několik hodin poté. Teplota formy ovlivňuje smrštění z velké části u semikrystalických termoplastů a má vliv především na rozdíl mezi výrobním a dodatečným smrštěním. Nižší teplota formy sníží výrobní smrštění, ale zvýší dodatečné a naopak. Typ plastového materiálu má výrazný vliv na tento proces, a proto je údaj o procentuálním smrštění součástí materiálových listů. Lineární smrštění lze vyjádřit dle vztahu:

$$S_L = \frac{L_f - L_v}{L_f} \cdot 100 [\%], \quad (3.1)$$

kde: L_f [mm] rozměr v dutině formy,

L_v [mm] rozměr výrobku.

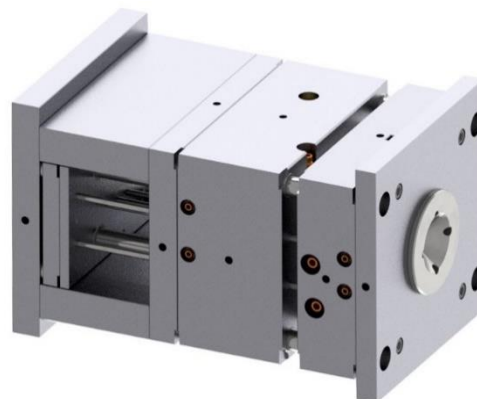
Nerovnoměrné smrštění se projevuje důsledkem určité orientace makromolekul a částic plnidel v plastovém dílci. U neplněných plastů dochází k větším smrštěním, ale použitím vláknitého plniva se velikost zmenší a změní se i charakter anizotropie smrštění (obr. 45).



Obr. 45 Anizotropie smrštění plněných a neplněných plastů [18]

4 VSTŘIKOVACÍ FORMA [7], [45]

Vstřikovací forma vytváří požadovaný tvar výrobku a je vyměnitelnou částí vstřikovacího stroje (obr. 46). Neobsahuje pouze tvarovou dutinu, ale i další systémy, které zajišťují spolehlivý chod vstřikovacího cyklu. Má největší vliv na výslednou kvalitu hotového výrobku, proto musí splňovat několik požadavků jak z hlediska konstrukce, tak i funkce. Zejména musí být dostatečně tuhá, aby odolávala vysokým tlakům a silám při vstřikování a nedošlo k jejímu poškození. Konstrukce formy musí obsahovat několik základních prvků od vtokového systému až po umístění vyhazovačů. Při konstruování takové formy je třeba přihlížet k různým skutečnostem. Čím je vyráběný dílec tvarově složitější, tím komplikovaněji se vytváří optimální konstrukční řešení vstřikovací formy ve vztahu k nízkým výrobním nákladům. Při návrhu formy je nejpodstatnější velikost produkce, která určuje násobnost formy.

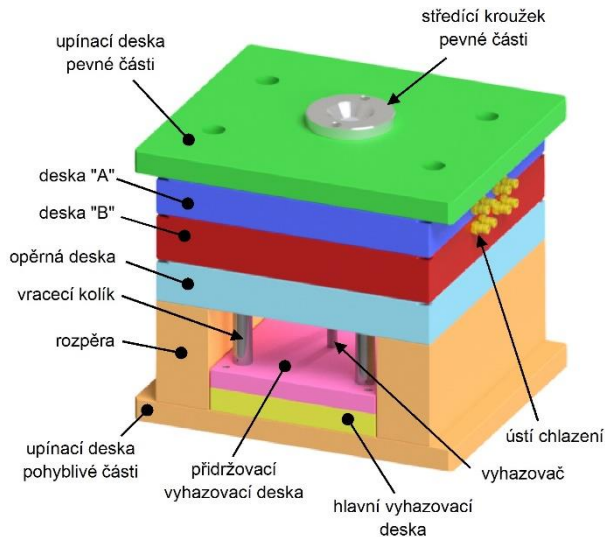


Obr. 46 Příklad vstřikovací formy

4.1 Základní popis vstřikovací formy [7], [33]

Pro vstřikování plastů se využívá nespočet různých typů forem. Každá z nich však obsahuje obdobné základní části, bez kterých nemůže žádná forma spolehlivě fungovat. Popis základní dvoudeskové formy je na obrázku 47.

Rám formy se skládá z několika desek, které jsou vyrobeny z nástrojových ocelí. Často se jedná o tzv. normálie, které je možno zakoupit od různých specializovaných firem. Dutina pro vstřikování dílu se nachází mezi tvarovými deskami „A“ a „B“. Mezi nimi je umístěna dělicí rovina formy, která zabezpečuje spolehlivé otevírání formy a vyhazování výstřiku. Dělicí rovina by neměla zasahovat do pohledových nebo funkčních ploch výrobku. Zpravidla se umísťuje na přechodových plochách. Dutina formy může být vytvořena přímo v tvarových deskách formy („A“ a „B“). Častěji se ale z důvodu úspory nákladů na výrobu formy vytvářejí vložky s tvarovou dutinou, které jsou z kvalitnějších materiálů, než pevné desky rámu. Vložka dutiny formy je rozdělena na tzv. tvárník a tvárnici. Převážně u tvarově složitých výrobků se ještě využívají jádra, která usnadňují výrobu tvarových vložek. Výroba složitější tvarové dutiny formy se provádí různými způsoby, ale nejčastěji se používá metoda elektroerozivního obrábění. Středící kroužek jak v pevné části, tak i v části pohyblivé, slouží k zajištění přesné polohy formy při upínání do stroje. Tímto kroužkem je vycentrován hlavní vtok pro taveninu s tryskou vstřikovací jednotky stroje. Mezi rozpěrami se nachází deska s vyhazovači, jejíž posuvný pohyb je zajištěn „vraccími“ kolíky. Temperační médium je přes desky přiváděno do kanálků v tvarové vložce. Vodící sloupky, které udržují přesnou vzájemnou polohu a zabezpečují spolehlivé dosednutí obou částí formy, jsou umístěny mezi tvarovými deskami.



Obr. 47 Základní popis vstřikovací formy

4.2 Násobnost formy [7], [14], [33], [46]

Jelikož je výroba vstřikovacích forem velmi nákladná používají se u velkých výrobních sérií vícenásobné vstřikovací formy. Výpočet vhodné násobnosti je základním podkladem pro konstrukční návrh formy. Násobnost se posuzuje z několika hledisek.

Výpočet násobnosti dle požadovaného termínu dodání produkce je podle vztahu:

$$n_1 = \frac{N \cdot t_c}{t_p \cdot K \cdot 3600} [-], \quad (4.1)$$

kde: N [ks] velikost produkce,
 t_c [s] doba vstřikovacího cyklu,
 t_p [hod] předpokládaná doba produkce,
 K [-] koeficient využití výrobního času (0,7 – 0,9).

Pro hledisko určení násobnosti dle kapacity vstřikovacího stroje platí vztah:

$$n_2 = \frac{0,8 \cdot Q_v}{(V + V_k)} [-], \quad (4.2)$$

kde: Q_v [cm³] vstřikovací kapacita stroje,
 V [cm³] objem výstřiku,
 V_k [cm³] objem vtokového zbytku.

Dalším vztahem pro zjištění násobnosti z hlediska plastikačního výkonu stroje je vztah:

$$n_3 = \frac{0,25 \cdot Q_p \cdot t_c}{\rho \cdot (V + V_k)} [-], \quad (4.3)$$

kde: Q_p [kg.hod⁻¹] plastikační kapacita stroje,
 ρ [g.cm³] hustota plastu.

Posledním kritériem určení násobnosti formy je hledisko dle uzavírací síly podle vztahu:

$$n_4 = \frac{800 \cdot F_u}{p_i \cdot S} [-], \quad (4.4)$$

kde: F_u [kN] uzavírací síla,
 p_i [MPa] tlak v dutině formy,
 S [mm²] plocha průřezu 1 výstřiku včetně přídatku na vtokový kanálek.

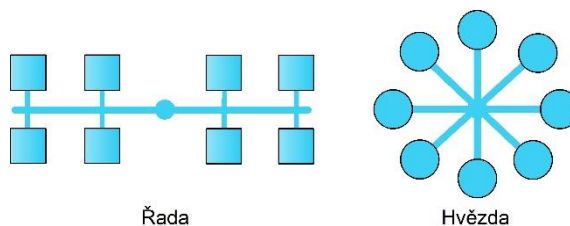
Při určování násobnosti musí být brán ohled nejen na plastikační a vstřikovací kapacitu, ale i na velikost uzavírací jednotky stroje z hlediska upínání. Důležitým požadavkem u vícenásobných forem je, aby všechny tvarové dutiny byly plněny současně za stejných podmínek. Násobnost je potom zvolena na základě porovnání jednotlivých hledisek a zjištění důležitých parametrů stroje. Optimální násobnost je dána nejmenší hodnotou ze vztahů 4.2 až 4.3, která by měla být shodná s hodnotou ze vztahu 4.1. Pokud by hodnota byla menší, musí se navrhnout jiný vstřikovací stroj, který zaručí požadovanou násobnost z hlediska termínu dodání.

4.3 Vtokové soustavy [7], [33], [46]

Pro zásobování tvarové dutiny taveninou plastu se používají vtokové soustavy. Hlavní vtok se nachází v pevné části vstřikovací formy, která je propojena se vstřikovací jednotkou stroje během plnění formy.

Konstrukce vtoku by měla umožňovat co nejdelší působení dotlaku pro kompenzaci objemového smrštění. Proto se zpravidla umísťuje do nejtlustšího místa dutiny. Umístění vtoku má značný vliv na výslednou kvalitu výrobku. Tavenina by neměla být vstřikována do míst, kde je posléze výrobek nejvíce namáhán. Jednásobné formy mají hlavní vtokový kanál zaveden přímo do tvarové dutiny formy a u vícenásobných forem je zapotřebí použít i rozváděcích kanálků. Délka kanálků by měla být co nejkratší a nejlépe u všech stejná, aby byly dodrženy stejné podmínky plnění.

Rozmístění tvarových dutin u vícenásobných vstřikovacích forem je nejčastěji dvojího typu. Jedná se o uspořádání do řady nebo do hvězdy (obr. 48). Počet dutin určuje násobnost formy. V praxi se používají dva druhy vtokových soustav, kterými jsou studené a vyhřívané soustavy.

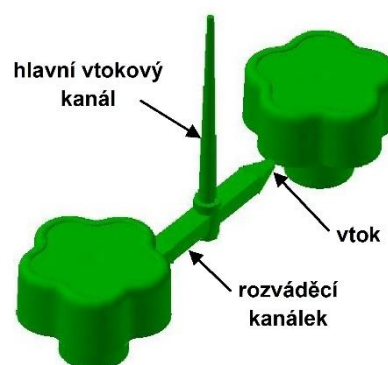


Obr. 48 Uspořádání vtokové soustavy

4.3.1 Studená vtoková soustava [7], [33], [38]

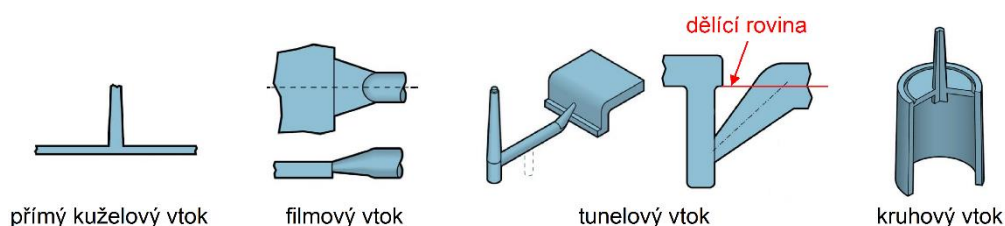
Skládá se z vtokové vložky, která je zavedena do dělicí roviny formy a rozváděcích kanálků v případě, že jde o vícenásobnou formu. Otvor ve vtokové vložce má určitý úkos pro snadnější vyjímání z formy. Během výrobního cyklu materiál ztuhne v celé vtokové soustavě a při otevření formy je vyhozen spolu s výstřikem a odstraněn jako vtokový zbytek (obr. 49).

U vícenásobných forem musí být dodrženo rovnoměrné plnění jednotlivých dutin. V tomto případě se provádí tzv. vybalancování rozváděcích kanálků. Princip spočívá v úpravě průřezů jednotlivých větví na základě analýzy plnění formy.



Obr. 49 Studená vtoková soustava

Druhů ústí vtoku do tvarové dutiny je celá řada (obr. 50). Záleží na tvaru výrobku a vhodné oblasti pro umístění. Mezi nejběžnější vtoky patří přímý kuželový, boční nebo filmový, které jsou vždy umístěny v dělicí rovině. Vtokový zbytek musí být odstraněn až následujícím manuálním opracováním po vyhození výstřiku. Jiným druhem je tunelový vtok, který nese výhodu samovolného odtržení od výstřiku při otevírání formy. Je umístěn mimo dělicí rovinu dutiny a často ve speciální vložce.



Obr. 50 Druhy ústí vtoků [7]

Studené vtokové soustavy se využívají spíše u menších sérií, kde by vyhřívaná soustava byla příliš nákladná. Hlavní nevýhodou je vyšší spotřeba materiálu z důvodu vtokového zbytku.

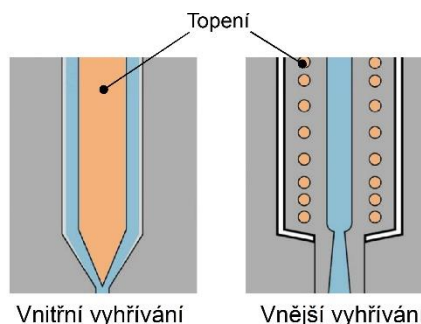
4.3.2 Vyhřívání vtokových soustav [7], [33], [38]

Vyhřívání neboli horké vtokové soustavy jsou během celého pracovního cyklu udržovány nad teplotou tání vstřikovaného plastu. Nedochází tedy k tuhnutí plastu ve vtokové soustavě jako u studených soustav. Celý tento systém je tepelně izolovaný samostatný blok vstřikovací formy (obr. 51). Skládá se z vtokové vložky, vyhřívání rozváděcích kanálků, trysky a příslušné kabeláže. V dnešní době se díky novým technologiím používají velice často. Mezi hlavní výhody vyhřívání vtokových soustav patří vyloučení vtokového zbytku a tím snížení nákladů na výrobu plastových dílů a urychlení celého vstřikovacího cyklu.



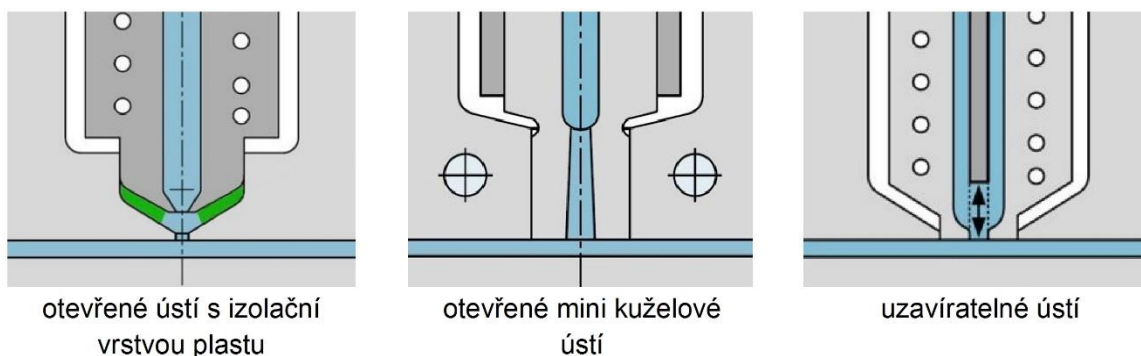
Obr. 51 Vyhřívání vtoková soustava [35]

Existují dva typy vyhřívání trysek horkého rozvodu, s vnitřním vytápěním nebo s vnějším vytápěním (obr. 52). Vnitřní ohřev využívá torpédové topné těleso. U takto vytápěných trysek dochází ke tvorbě zamrzlé vrstvy plastu v místech kontaktu se studenou stěnou formy a materiál může tepelně degradovat. Častěji se používá vnější vyhřívání, které je řešeno topnou spirálou kolem vtokového kanálku.



Obr. 52 Vyhřívání trysek [7]

Konstrukční řešení ústí vyhřívání trysek může být několika způsoby. Základní rozdělení je na otevřené a uzavíratelné ústí (obr. 53). Hlavním cílem konstrukce je, aby během otevřené formy nevytékala z trysky tavenina. U standardních otevřených typů je tento problém řešen ztuhnutím tenké vrstvy v místě vtoku. Tryska se ale nesmí ucpat. Proto bývá minimální kontakt trysky se vstřikovací formou, aby byl přenos tepla co nejmenší. Někdy se využívá izolační vrstvy vytvořené plastem, kde se ale vyskytuje riziko degradování materiálu a následného vnesení do samotného vstříku. Nejčastějšími typy otevřených ústí horkých vtoků jsou tzv. mini kuželová. Mini kuželová ústí se používají pro plasty s nižší tekutostí taveniny. Jsou dobře izolována od vstřikovací formy, ale zanechávají malý vtokový zbytek.



Obr. 53 Druhy ústí vyhřívání vtokových trysek [7]

Naproti tomu uzavíratelné horké rozvody umožňují mechanické uzavírání ústí vtoku, pomocí pneumaticky nebo hydraulicky řízeného uzávěru (jehly). S jejich pomocí je možné u vícebodového vstřikování plnit dutinu formy sekvenčním či kaskádovým způsobem. Nezanedbává na vstřikovaném dílu téměř žádné stopy po vtokovém zbytku. Jejich pořizovací cena je však vysoká a takové řešení vtoků se vyplatí pouze ve velkosériové výrobě, anebo pokud je kladen vysoký nárok na kvalitu povrchu v místě vstříku.

4.4 Temperační systémy [7], [33], [46]

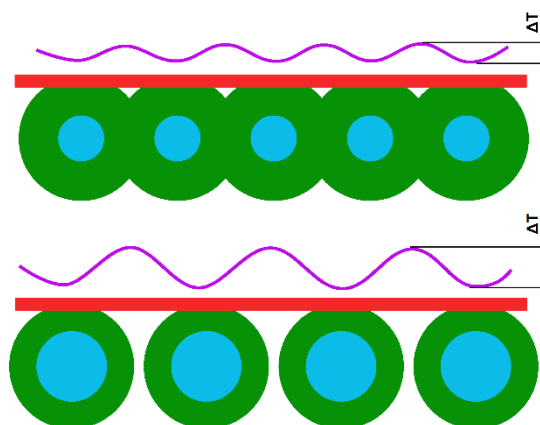
Temperační nebo také chladicí systém pozitivně ovlivňuje výsledné vlastnosti výstřiku a celkovou délku vstřikovacího cyklu, což má značný vliv na výslednou produktivitu výroby. Hlavním cílem je zajistit co nejrychlejší a co nejvíce rovnoměrné chlazení výstřiku v celém průřezu, které snižuje anizotropii vlastností. Využívá se zvláště pro pevnou i pohyblivou část vstřikovací formy.

Nejčastějším temperačním médiem je voda, která proudí kolem tvarové dutiny formy temperačními kanálky. U teplot nad 90°C se používá olej. Pro výraznější přenos tepla by proudění mělo být vždy turbulentní. Temperační systém slouží jak k udržování požadované teploty formy při vstřikovacím cyklu, tak i k rychlému dosažení provozní teploty při zahájení vstřikování. Pro dané typy vstřikovaných plastů se uplatňují doporučené teploty forem, aby byly zachovány jejich charakteristické vlastnosti (tab. 3).

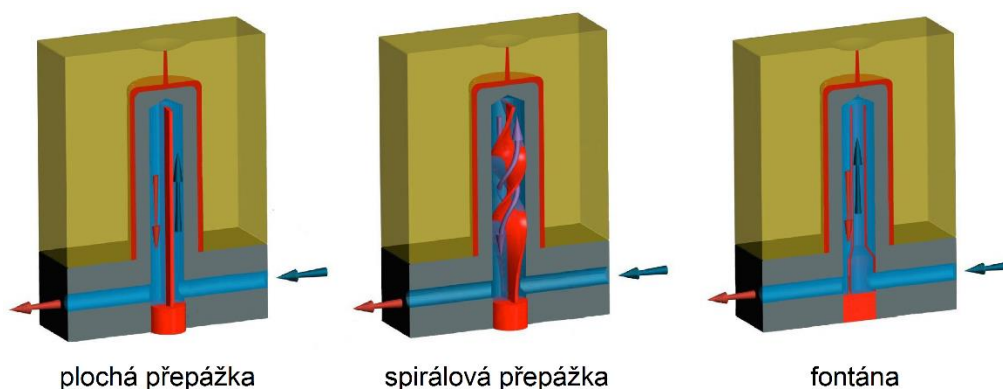
Tab. 3 Doporučené teploty formy podle typu plastu [7]

Typ plastu	Doporučená teplota formy	Teplota taveniny	Doporučená teplota dílu při vyhození
	[°C]	[°C]	[°C]
PA	80 - 120	260 - 300	110 - 130
PC	80 - 100	28 - 320	140
ABS	60 - 80	220 - 260	80 - 100
PP	30 - 60	200 - 250	70 - 90
PE	30 - 60	180 - 230	60 - 90

Rozmístění chladicích okruhů musí zabezpečit rovnoměrné chlazení ve všech místech výstřiku, aby nevznikalo vnitřní pnutí. Větší hustotou temperačních kanálek se dosahuje intenzivnějšího a rovnoměrnějšího rozložení teplot na stěnách tvarové dutiny (obr. 54), ale musí být brán ohled i na ostatní části formy (vyhazovače, jádra, apod.). Proto je z hlediska konstrukce proveden kompromis mezi jednotlivými systémy, aby nevznikla žádná kolize při vstřikovacím cyklu. Velké množství kanálek způsobuje snížení mechanické únosnosti formy a při působení většího vnitřního tlaku během vstřikovacího cyklu může dojít k únavovému defektu vstřikovací formy. To platí zejména pro tenkostěnné díly.



Obr. 54 Vliv hustoty kanálek na rovnoměrnost teploty [7]



Obr. 55 Přepážky temperačního systému [7]

Pro optimální rozložení kanálků temperačního systému se v praxi používá počítačová analýza. Směr proudění temperačního média by měl být od nejteplejších míst formy po nejstudenější a rozdíl teplot na vstupu a výstupu z formy by neměl být větší než 5°C. Médium je tedy nejčastěji přiváděno do oblasti vtokového ústí a odtud směřuje k chladnějším místům vstřikovací formy. Ve špatně dostupných částech jsou využívány speciální prvky temperačního systému, jako jsou například různé přepážky, fontánky, aj (obr. 55). Pro zvýšení účinku chlazení se tvarové části formy mohou vyrábět z vysoce tepelně vodivých materiálů. Aby nedocházelo k nechtěnému odvodu tepla, vkládají se mezi formu a upínací desky stroje izolační desky na bázi vyztužených reaktoplastů.

4.5 Vyhazovací systémy [7], [33], [46]

Během fáze chlazení dochází ke smršťování výstřiku a při otevření formy plastový výrobek zůstává často přilnutý na stěnách tvarové dutiny. Vyhazovací systém slouží k bezpečnému odformování výstřiku bez jeho deformací. Používají se převážně mechanické systémy, které jsou tvořeny různými vyhazovacími kolíky (obr. 56), stíracími deskami, apod. Jejich pohyb po otevření formy je zajištěn vyhazovacím mechanismem vstřikovacího stroje. Při zavírání formy bývají vyhazovače vráceny do původní polohy mechanismem stroje nebo „vraccími“ kolíky (obr. 47).



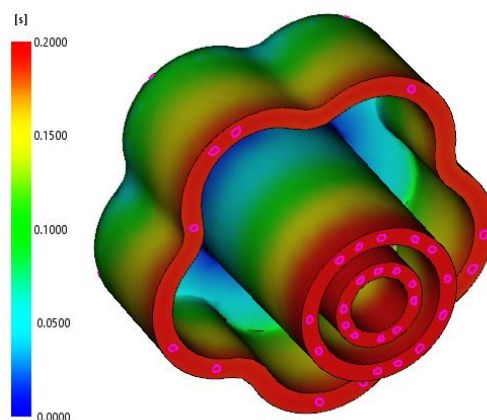
Obr. 56 Vyhazovací kolíky [21]

Výstřik by po otevření formy měl zůstat v pohyblivé části vstřikovací formy, a proto je tato část vybavena vyhazovacím systémem. Rozmístění jednotlivých vyhazovačů na součásti musí být takové, aby nedošlo k jakýmkoliv deformacím při vyhazování výstřiku z formy. Místa pro umístění vyhazovacích prvků na vstřikovaném dílu se volí zejména dle tvaru dané plochy. Vyhazovače by neměly být umístěny na funkčních ani pohledových plochách, kde by po nich mohly zůstat nežádoucí stopy.

4.6 Odvzdušnění [7], [46]

Pro dokonalé vyplnění tvarové dutiny formy taveninou plastu je důležité odvzdušnění vstřikovací formy. Jelikož je fáze plnění krátký okamžik, mohlo by nedostatečným odvodem vzduchu z dutiny formy dojít k vytvoření vzduchových bublin nebo k nebezpečnému navýšení vnitřního tlaku a vzniku spálenin.

Počítačovou analýzou lze zjistit místa s největším hromaděním uzavřeného vzduchu (obr. 57). Vzduch bývá nejčastěji v nejvzdálenějších místech od ústí vtoku. Jedná se o oblasti dutiny, které jsou zaplněny taveninou jako poslední. Plnění by mělo probíhat takovým způsobem, aby byl vzduch nacházející se v dutině formy postupně vytlačován do dělicí roviny. Další možný způsob odvzdušňování forem může být přes vodící plochy vyhazovačů a jiných pohyblivých prvků, popřípadě speciálních odvzdušňujících kanálků, tzv. slepých otvorů. Kanálky by však neměly být příčinou vzniku ořepů.



Obr. 57 Místa uzavřeného vzduchu při plnění dutiny formy

5 NÁVRH VSTŘIKOVACÍ FORMY

Vstřikovací forma může být navržena několika způsoby a všechny mohou být správné z hlediska konstrukce. Ovšem nejvhodnější konstrukční řešení je takové, které splňuje nejen konstrukční požadavky, ale zajišťuje i vysokou produktivitu výroby. Pro navržení vhodného řešení je nutné znát několik základních vstupních parametrů, jako jsou vlastnosti zpracovávaného materiálu, technologické parametry, parametry stroje aj.

5.1 Volba materiálu vyráběného dílce [6], [15], [46]

Zadaná součást bude vyráběna z plastového materiálu, jak bylo již zmíněno v kapitole 1.1. Jako vhodný typ plastového materiálu byl vybrán polyamid PA 6 se skleněným vláknem (obsah 30%), který splňuje požadavky zadané součásti.

Polyamidy patří do semikrystalických plastů. Vynikají svojí tvrdostí a pevností s výraznou mezí kluzu. Jsou to neprůhledné materiály s nízkou hořlavostí a mají sklon ke křípu. Jsou odolné proti slabým zásadám a rozpouštědlům, naopak kyseliny, silné zásady a horká voda jim škodí. Z hlediska zpracování je jejich zpracovatelnost velmi dobrá. Patří mezi značně navlhavé plastové materiály a právě obsah vody ovlivňuje jejich mechanické vlastnosti, které jsou potom závislé na konkrétním typu polyamidu.

Polyamid PA 6 plněný 30% skleněného vlákna má vysokou tuhost a pevnost v tahu, což je pro zadanou součást jeden z nejdůležitějších požadavků. Avšak na úkor vysoké pevnosti mají nižší tažnost a houževnatost. Skleněná vlákna snižují navlhavost a zajišťují tvarovou stálost v širokém pásmu teplot. Materiál je vhodný pro výrobu různých krytů, držáků apod. Základní vlastnosti vybraného plastového materiálu jsou v tabulce 4. Podrobné informace jsou v příloze diplomové práce.

Tab. 4 Základní vlastnosti PA 6 + 30% skleněných vláken [9], [14]

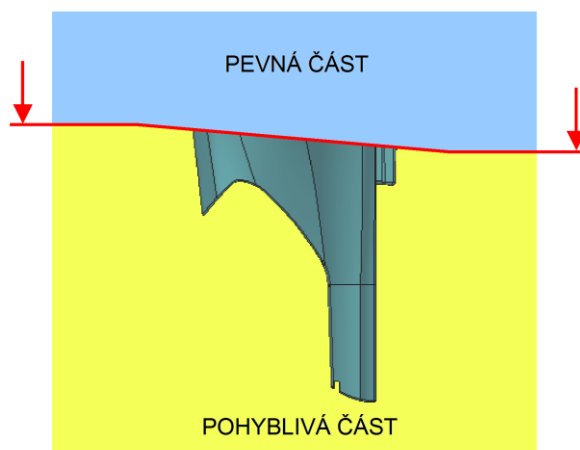
Ultradid B3WG6 (PA 6 30% GF)			
Vlastnosti (při 23°C) – suchý stav	Značka	Jednotka	Hodnota
Hustota	ρ	g/cm ³	1,36
Pevnost v tahu	R _m	MPa	185
Tažnost	ϵ	%	3,5
Vrubová houževnatost 23°C/-30°C	KCV	kJ/m ²	15/11
Bod tání	T _m	°C	220
Teplota taveniny	T _M	°C	270 - 290
Teplota formy	T _F	°C	80 - 90
Teplota odformování	T _E	°C	160
Vstřikovací tlak	p _v	MPa	35 - 125
Smrštění II / $\perp$ ke směru tečení	-	%	0,3/0,8
Obsah vody	-	%	0,15
Faktor schopnosti tečení	K _f	bar/mm	1,7
Max. obvodová rychlost šneku	v	m/s	0,15
Faktor navýšení taveniny	K _a	g/cm ³	1,22
Efektivní teplotní vodivost	a _{eff}	mm ² /s	0,088

5.2 Stanovení základních prvků tvarové dutiny

Před kompletním konstrukčním návrhem vstřikovací formy je nutné znát určující prvky pro konkrétní vstřikovací formu. Jedná se o určení dělicí roviny tvarové dutiny, umístění vtokového ústí a volba vtokové soustavy.

• Poloha dělicí roviny

Dělicí rovina je místo styku pohyblivé a pevné části vstřikovací formy, která určuje směr jejich otevírání. Proto musí být umístěna v takovém místě, aby nedocházelo při otevírání formy k jakékoli kolizi či deformaci samotného výstřiku. Zpravidla se umísťuje do míst, kde nezasahuje do pohledových ani funkčních ploch výrobku. Volba dělicí roviny značně ovlivňuje velikost uzavírací síly. Čím je kolmý průmět součásti do dělicí roviny větší, tím narůstá i velikost požadované uzavírací síly.



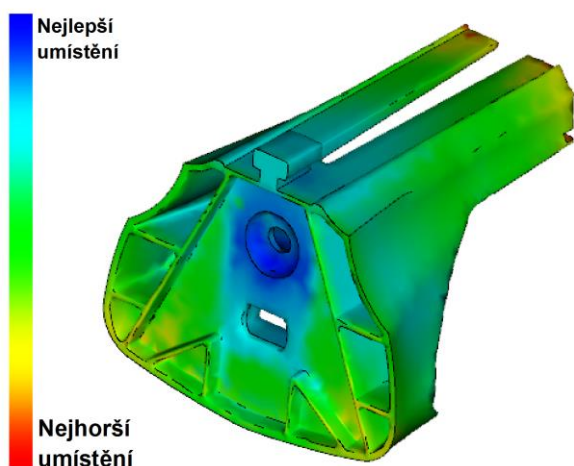
Obr. 58 Umístění dělicí roviny

Pro daný tvar součásti je z výkresové dokumentace zřejmé, že nejvhodnějším umístěním dělicí roviny se nabízí rovinná plocha na boční straně součásti, viz obrázek 58. Zaformování součásti je navrženo tak, že pohyblivá část vstřikovací formy obsahuje prakticky celou tvarovou dutinu, ve které by součást měla setrvávat při otevírání formy.

• Umístění vtokového ústí

Správná volba vtokového ústí ovlivňuje celý vstřikovací proces a následnou kvalitu výstřiku, je tedy nutné klást velký důraz na jeho přesné umístění.

Pro správnost umístění vtokového ústí je využita analýza v programu Moldflow Adviser 2016, která zobrazuje na základě metody konečných prvků vhodné a nevhodné oblasti pro umístění vtokového ústí dané součásti. Výsledek analýzy je na obrázku 59, kde je zobrazeno nejvhodnější místo pro plnění formy tmavě modrou barvou. Shodou okolností se nejvhodnější oblast pro umístění vtoku dle analýzy nachází v místě dělicí roviny. Volba přesného umístění je znázorněna na obrázku 60.



Obr. 59 Analýza vhodnosti umístění vtoku



Obr. 60 Umístění vtoku

• Volba vtokové soustavy

Vzhledem k dané velikosti série je zvolena horká vtoková soustava jako vhodnější varianta pro efektivní plnění dutiny formy. Není tedy nutné brát v úvahu vtokový zbytek, o který by musel být navýšen vstřikovaný objem.

5.3 Výpočet základních technologických parametrů [14], [33]

Dalším krokem pro sestavení vhodného návrhu formy je zjištění několika základních technologických parametrů, na základě kterých bude stanovena optimální násobnost formy a tím i její celková velikost. Současně s tím je nutné zjistit parametry pro optimální vstřikovací stoj.

• Objem součásti

Základním technologickým parametrem je objem zadané součásti pro vstřikování, který je stanoven pomocí programu Inventor professional 2016 od společnosti Autodesk.

$$V = 66,85 \text{ cm}^3$$

• Hmotnost součásti

Následný výpočet hmotnosti daného dílce je proveden podle následujícího vzorce:

$$G = \rho \cdot V \text{ [g]} \quad (5.1)$$

kde: ρ [g/cm³] hustota plastu.

$$G = 1,36 \cdot 66,85 = 90,916 \text{ g}$$

• Předpokládaná doba vstřikovacího cyklu

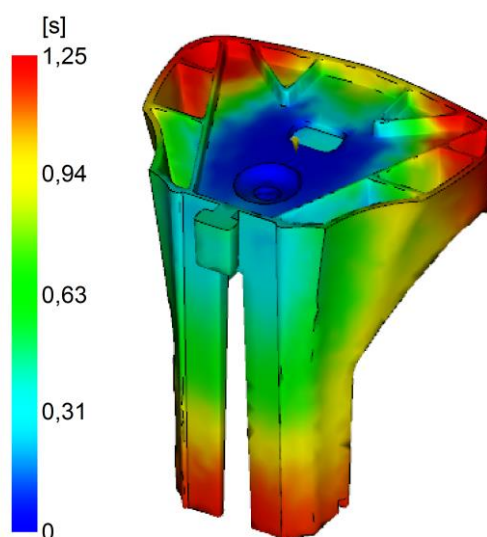
Pravděpodobně jedním z nejdůležitějších technologických parametrů je celková doba cyklu, na základě které bude zjištěna optimální násobnost vstřikovací formy. Vstřikovací cyklus se skládá z několika dílčích fází, jak již bylo uvedeno v kapitole 3.1. Pro výpočet celkového vstřikovacího cyklu je nutné znát doby trvání jednotlivých fází. Pro zjištění těchto předpokládaných časů je využita analýza plnění (obr. 61) v simulačním programu Autodesk Moldflow Adviser 2016.

○ Předpokládaná doba plnění

$$t_v = 1,25 \text{ s}$$

○ Předpokládaná doba chlazení

$$t_{chl} = 45 \text{ s}$$



Obr. 61 Simulace plnění tvarové dutiny

Předpokládaná doba chlazení je hodnota ideálního odvodu tepla, je tedy pravděpodobné, že tato hodnota bude ve skutečnosti o něco vyšší, protože se zvyšující se násobností se zhoršuje i účinnost odvodu tepla.

○ Předpokládaná celková doba cyklu

$$t_C = t_v + t_{chl} + 3 \text{ až } 4 \text{ [s]} \quad (5.2)$$

kde: t_v [s].....doba plnění,
 t_{chl} [s].....doba chlazení.

$$t_C = 1,25 + 45 + 4 = 50,25 \text{ s}$$

• Termínová násobnost

Čas výroby zadané součásti by měl být maximálně 5 měsíců z důvodu maximálního využití stroje. Termínová násobnost se pak vypočítá podle vztahu 4.1, kde požadovaný termín dodání t_p je přepočítán na počet hodin odpovídající třísměnnému provozu. Koeficient využití pracovního času K je zvolen 0,8 s.

$$n_1 = \frac{N \cdot t_C}{t_p \cdot K \cdot 3600} = \frac{500\,000 \cdot 50,25}{2400 \cdot 0,8 \cdot 3600} = 3,63 \Rightarrow \text{je zvolena násobnost } n_1 = 4$$

Násobnost formy dle požadovaného termínu dodání produkce je zvolena s dostatečnou rezervou.

• Vstřikovaný objem taveniny

Výpočet velikosti dávky vstřikovaného plastu jednoho pracovního cyklu je dán vztahem:

$$V_D = n_1 \cdot \frac{G}{K_a} \text{ [cm}^3\text{]} \quad (5.3)$$

kde: V_D [-]vstřikovaný objem taveniny,
 K_a [g/cm³]faktor navýšení objemu taveniny.

$$V_D = 4 \cdot \frac{90,916}{1,22} = 298,09 \text{ cm}^3$$

Výsledná hodnota udává i minimální vstřikovací kapacitu vstřikovacího stroje, což je jeden z nejdůležitějších parametrů spolu s plastikační kapacitou při jeho volbě.

• Plastikační kapacita vstřikovacího stroje

Minimální hodnota plastikační kapacity vstřikovací jednotky stroje je dána vztahem:

$$C_P = \frac{4 \cdot n_1 \cdot \rho \cdot V}{t_C} \left[\frac{\text{kg}}{\text{hod}} \right] \quad (5.4)$$

$$C_P = \frac{4 \cdot 4 \cdot 1,36 \cdot 66,85}{50,25} = 28,95 \frac{\text{kg}}{\text{hod}}$$

• Určení doporučeného vstřikovacího tlaku

Pro stanovení vhodného obvyklého vstřikovacího tlaku je nutné vypočítat nejprve hodnotu minimálního plnicího tlaku, aby bylo zajištěno úplné zaplnění tvarové dutiny. Minimální vstřikovací tlak je závislý zejména na hodnotě maximální délky toku taveniny, kterou je nutno určit (obr. 62). Naměřená délka je:

$$f_C = 140 \text{ mm}$$



Obr. 62 Maximální délka toku taveniny

Výpočet minimálního vstřikovacího tlaku je podle vztahu:

$$p_f = 3 \cdot K_f \cdot f_c \cdot s^{-1,6} [\text{bar}], \quad (5.5)$$

kde: f_c [mm] max. délka toku taveniny,
 K_f [bar/mm] faktor schopnosti tečení,
 s [mm] tloušťka stěny.

$$p_f = 3 \cdot 1,7 \cdot 140 \cdot 2^{-1,6} = 164,81 \text{ bar} = 16,5 \text{ MPa}$$

Hodnota obvyklého vstřikovacího tlaku se stanoví z tabulky hodnot pro daný materiál. Z praktického hlediska se doporučuje volit vstřikovací tlak 80% - 90% z dané hodnoty. Obvyklý vstřikovací tlak musí splňovat podmínku $p_v > p_f$.

$$p_v = 80 - 130 \text{ MPa} \Rightarrow \text{zvoleno } 115 \text{ MPa}$$

$$p_v > p_f \Rightarrow 115 \text{ MPa} > 16,5 \text{ MPa} \Rightarrow \text{podmínka je splněna}$$

- **Tvářecí tlak**

Jedná se o tlak ve tvarové dutině vstřikovací formy. Jeho maximální hodnota je těžko zjištělná, jelikož neexistuje žádný empirický vzorec, a proto je využita analýza v simulačním programu Moldflow Adviser 2016.

$$p_A = 23 \text{ MPa}$$

- **Uzavírací síla**

Uzavírací síla je dalším z technologických parametrů pro vhodné určení vstřikovacího stroje. Je závislá na velikosti plochy průmětu tvarové dutiny do dělicí roviny, která je zjištěna pomocí programu Inventor Professional 2016:

$$A_{\text{proj}} = 55,63 \text{ cm}^2 = 5\,563 \text{ mm}^2$$

Uzavírací neboli přidržovací síla se pak vypočítá podle následujícího vztahu:

$$F_u = 1,1 \cdot 10^{-3} \cdot n_1 \cdot A_{\text{proj}} \cdot p_A [\text{kN}], \quad (5.6)$$

kde: A_{proj} [mm²] plocha průmětu dutiny do dělicí roviny,
 p_A [MPa] tvářecí tlak.

$$F_u = 1,1 \cdot 10^{-3} \cdot 4 \cdot 5563 \cdot 23 = 563 \text{ kN}$$

- **Optimální průměr šneku vstřikovacího stroje**

Průměr šneku vstřikovacího stroje se volí z běžné rozměrové řady standardních průměrů, které jsou: 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60, 70, 80, 90 mm. Pro správnou volbu průměru šneku musí být splněna následující podmínka určená vztahem:

$$7,5 \cdot \sqrt[3]{V_D} < D_S < 10,5 \cdot \sqrt[3]{V_D}, \quad (5.7)$$

kde: D_S [mm] průměr šneku vstřikovacího stroje.

$$7,5 \cdot \sqrt[3]{298,09} < D_S < 10,5 \cdot \sqrt[3]{298,09}$$

$$50,1 < D_S < 70,14 \Rightarrow \text{je zvolen průměr šneku } 55 \text{ mm}$$

- **Délka dráhy šneku vstřikovacího stroje**

Délka dráhy pohybu šneku závisí na velikosti vstřikovaného množství taveniny a je vypočítána podle vztahu:

$$V_D = \frac{\pi \cdot D_S^2}{4 \cdot 10^3} \cdot L_S \Rightarrow L_S = 1273 \cdot \frac{V_D}{D_S^2} \text{ [mm]}, \quad (5.8)$$

kde: L_S [mm] délka dráhy pohybu šneku,
 D_S [mm] průměr šneku.

$$L_S = 1273 \cdot \frac{298,09}{55^2} = 125,4 \text{ mm}$$

Aby byl dodržen správný poměr průměru a činné délky šneku, musí být splněna podmínka:

$$1D_S < L_S < 3D_S$$

$$1 \cdot 55 < 125,4 < 3 \cdot 55$$

$$55 < 125,4 < 165 \Rightarrow \text{podmínka je splněna}$$

- **Otáčky šneku vstřikovacího stroje při plastikaci**

Určení otáček šneku závisí na maximální obvodové rychlosti dané použitým materiálem pro vstřikování. Otáčky šneku jsou vypočteny vztahem:

$$n_s = \frac{60 \cdot 10^3 \cdot v}{\pi \cdot D_S} \text{ [min}^{-1}\text{]}, \quad (5.9)$$

kde: v [m/s] maximální obvodová rychlost šneku.

$$n_s = \frac{60 \cdot 10^3 \cdot 0,15}{\pi \cdot 55} = 52,1 \text{ min}^{-1}$$

5.4 Konstrukce vstřikovací formy

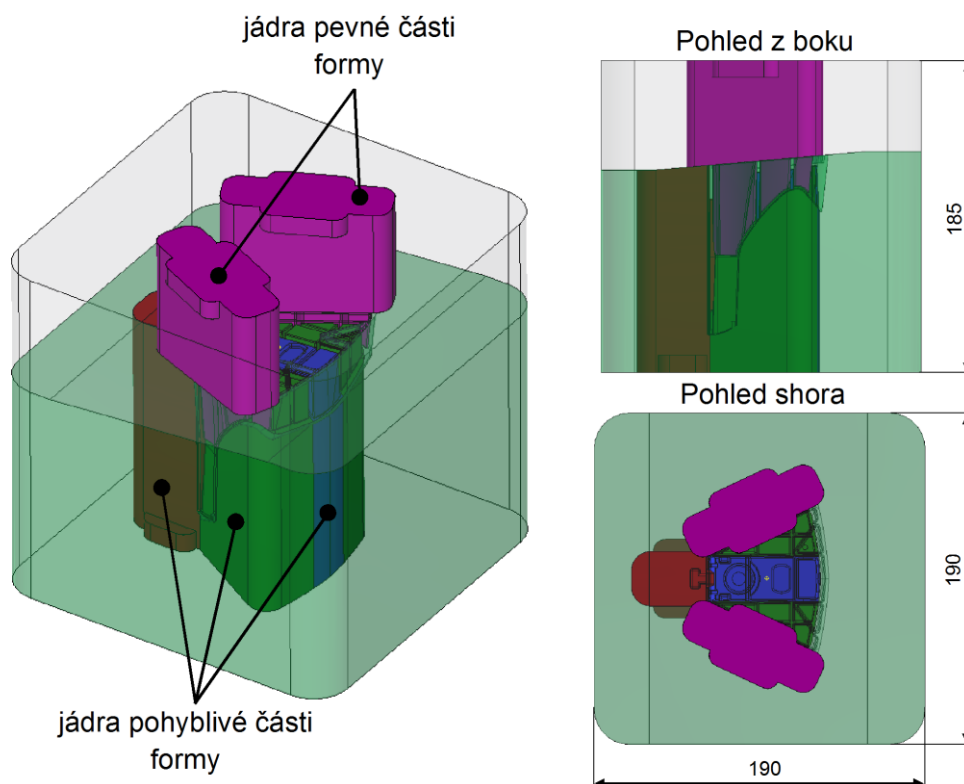
Při vytváření optimálního návrhu konstrukce vstřikovací formy existuje mnohdy celá řada možných řešení. Ovšem záleží pak na zkušenostech konstruktéra, které řešení zvolí jako nejvhodnější.

Při konstruování vstřikovací formy je nutné dodržovat určitý postup. Nejprve je nutné navrhnout optimální zaformování vyráběné součásti. V kapitole 5.2 bylo navrženo umístění dělicí roviny, ústí vtoku a tím je dána orientace tvarové dutiny ve vstřikovací formě. Jelikož se jedná o čtyřnásobnou formu, budou poměrně velké její celkové rozměry. Proto je zde využito tvarových vložek zaformovaných v základním rámu formy, které jsou z kvalitnějšího a dražšího materiálu než ostatní desky rámu formy, což sníží celkové náklady na výrobu vstřikovací formy.

5.4.1 Tvarová vložka vstřikovací formy [22]

Tvar dané součásti je natolik složitý, že není možné zhotovit dutinu z jednoho kusu materiálu žádnou dostupnou výrobní technologií. Proto je nutné rozdělit vnitřní část tvarové dutiny na několik částí a k tomu slouží právě vložená jádra (obr. 63). Vložená jádra v sobě mohou mít temperační kanálky, díry pro vyhazovací kolíky apod. Vnitřní rozměry dutiny jsou navýšeny o vliv smrštění, což je 0,6 % ve všech směrech. Základní vnější rozměry tvarové vložky jsou 190 mm x 190 mm x 185 mm. Jelikož je zvolena horká vtoková soustava, je nutné počítat i se zaformováním horkého vtoku.

Tvarová vložka je vložena do dutin v základních tvarových deskách rámu vstřikovací formy a je zespodu zajištěna proti nedovolenému pohybu imbusovými šrouby. Celá tvarová vložka vstřikovací formy musí být ořezuvzdorná a musí zajišťovat tvarovou stálost. Z hlediska výroby dutiny musí být dobře obrobitelná, proto se tvarová vložka včetně vložených jader vyrábí převážně z nástrojové legované oceli třískovým nebo elektroerozivním obráběním. Podrobné znázornění složení tvarové dutiny je v příloze práce.



Obr. 63 Složení tvarové dutiny

• Volba materiálu

Pro výrobu tvarových vložek je zvolena jako vhodný materiál nástrojová legovaná ocel 1.2083 (X42Cr13 dle DIN EN ISO 4957) pro práci za studena i za tepla, která se využívá pro nástroje na zpracování plastických hmot, jako jsou tvarové vložky, jádra apod.

Jedná se o korozivzdornou martenzitickou ocel s vysokým obsahem chromu, která se vyznačuje svojí výbornou odolností proti opotřebení, leštitelností a dobrou obrobitelností. Chemické složení oceli je uvedeno v tabulce 5.

Tab. 5 Chemické složení oceli 1.2083 [22]

Chemické složení [hm. %] – 1.2083

C	Si	Mn	P max	S max	Cr
0,38 - 0,45	1,00	1,00	0,030	0,030	12,5 – 13,5

5.4.2 Základní rám vstřikovací formy [1], [2]

Jelikož se základní rám vstřikovací formy skládá z několika desek, které jsou normáliemi, je možné tyto desky nakupovat od různých společností v požadovaných rozměrech. V tomto případě jsou desky vybrány od rakouské společnosti Meusburger.

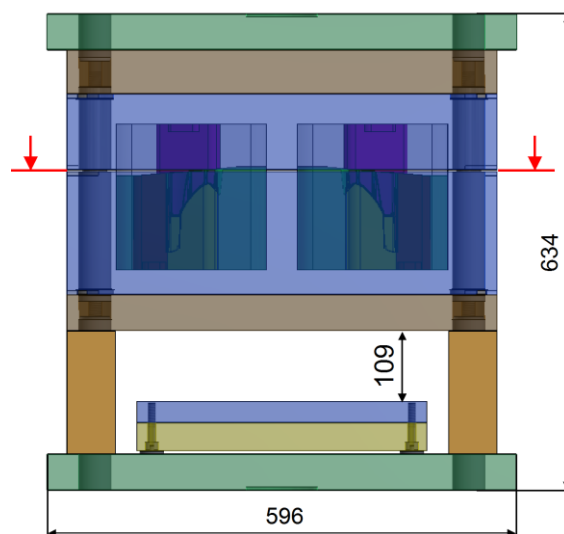
Pro vstřikovací formu se čtyřmi dutinami jsou vybrány desky čtvercového půdorysu o rozměrech 546 mm x 546 mm, do kterých jsou vloženy tvarové vložky. V dělicí rovině se vyskytuje mezera o velikosti 2 mm, ve které jsou umístěny opěrky pro spolehlivé dosednutí obou částí formy. Mezera současně slouží pro odvod vzduchu během vstřikovacího procesu. Pod upínací deskou pevné části je umístěna deska pro zaformování horké vtokové soustavy. Pod opěrnou deskou jsou dvě svislé rozpěry, které vymezují prostor pro zdvih vyhazovacího systému. Forma je opatřena čtyřmi vodícími kolíky a kluznými pouzdry, které zjišťují spolehlivý chod při jejím otevírání a zavírání. Jednotlivé desky pevné a pohyblivé části jsou mezi sebou spojeny imbusovými šrouby. Celková výška formy je 634 mm a rozměr důležitý pro upínání do vstřikovacího stroje je dán upínacími deskami, který je 596 mm x 546 mm. Zobrazení rámu vstřikovací formy je na obrázku 64.

• **Složení desek základního rámu formy:**

- 2x upínací deska
- 1x deska horké vtokové soustavy
- 1x tvarová deska pevné části
- 1x tvarová deska pohyblivé části
- 1x opěrná deska
- 2x rozpěra
- 1x přídržovací vyhazovací deska
- 1x hlavní vyhazovací deska

• **Volba materiálů desek**

Desky pro ukotvení tvarových vložek musí být ze zušlechtěné oceli, aby byla zaručena tvarová stálost a pevnost v celém jejich průřezu během vstřikovacího procesu. Aby mohly být v deskách vytvořeny dutiny pro tvarové vložky, musí být vyrobeny z dobře obrobitelné oceli. Proto je jako vhodný materiál zvolena nástrojová ocel 1.2312 (40CrMnMoS8-6 dle DIN EN ISO 4957), která zaručuje dobrou obrobitelnost i v zušlechtěném stavu. Má výborné mechanické vlastnosti jako je houževnatost a rozměrová stálost. Seznam použitých materiálů jednotlivých částí základního rámu vstřikovací formy je uveden v tabulce 6.



Obr. 64 Základní rám vstřikovací formy

Tab. 6 Seznam materiálů jednotlivých částí rámu vstřikovací formy

Materiály částí základního rámu formy			
Část formy	Materiál	Část formy	Materiál
Tvarová vložka	1.2083	Rozpěry	1.1730
Upínací desky	1.1730	Hlavní vyhazovací deska	1.1730
Deska horké vtokové soustavy	1.1730	Přídržovací vyhazovací deska	1.1730
Tvarová deska pevné části	1.2312	Vodící kolíky	1.7131
Tvarová deska pohyblivé části	1.2312	Kluzná pouzdra	1.7131
Opěrná deska	1.1730	Opěrka dělicí roviny	1.2842

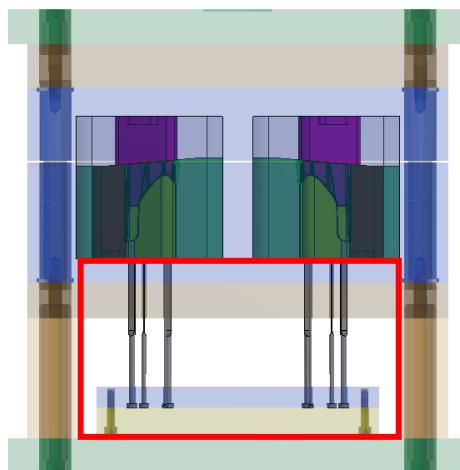
Pro ostatní desky je zvolena ocel 1.1730 (C 45W dle DIN EN ISO 4957), která je jedním z nejpoužívanějších materiálů pro základové desky vstřikovacích forem. Jedná se o uhlíkovou

nástrojovou ocel, která se používá v žíhaném stavu. Má vysokou houževnatost, pevnost a odolnost proti rázům. Je velmi dobře obrobitelná v žíhaném stavu, ve kterém je často dodávána.

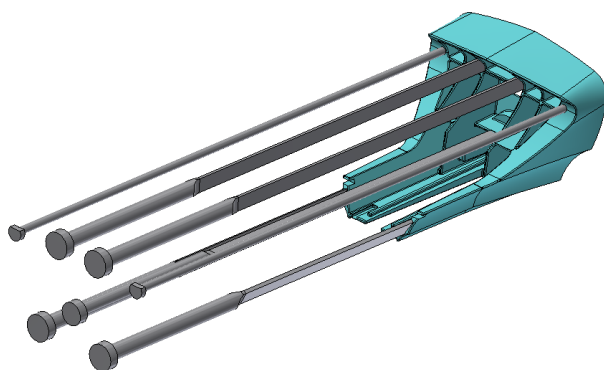
5.4.3 Vyhazovací systém

Aby byl výrobek bezpečně vyjmut ze vstřikovací formy, využívá se vyhazovacího systému, který má u moderních vstřikovacích strojů svoji nezávislou pohonnou jednotku. Pro správnou funkci systému je nutné, aby vstřikovaná součást zůstávala po otevření formy v její pohyblivé části, odkud je poté působením vyhazovacích prvků spolehlivě odformována. Pokud je tato podmínka zajištěna, nemělo by dojít k žádné kolizi během vstřikovacího cyklu. Maximální zdvih vyhazovacích desek je 89 mm.

Vyhazovací systém se skládá z desek, ve kterých jsou umístěny vyhazovací prvky (obr. 65). Otvory pro vyhazovací kolíky mají určité vřely, pomocí kterých je tvarová dutina odvdzdušněna během vstřikovacího cyklu. Vyhazovací kolíky by měly být rozmístěny rovnoměrně po povrchu vyráběné součásti tak, aby nemohlo dojít k případnému zpříčení výrobku ve formě při jeho vyhazování. Optimální počet vyhazovacích kolíků je volen na základě působení tlaku vyvolaného vyhazovací silou, který by neměl překročit určitou mez. Mohlo by dojít k zaboření kolíku do vyráběné součásti, popřípadě k jiné tvarové deformaci. Avšak počet vyhazovačů by neměl být příliš velký, protože s narůstajícím množstvím se snižuje pevnost základních desek a komplikovaněji se navrhuje následný temperační systém vstřikovací formy. Je tedy nutné brát do úvahy již všechny tyto aspekty.



Obr. 65 Vyhazovací systém



Obr. 66 Rozmístění vyhazovacích kolíků

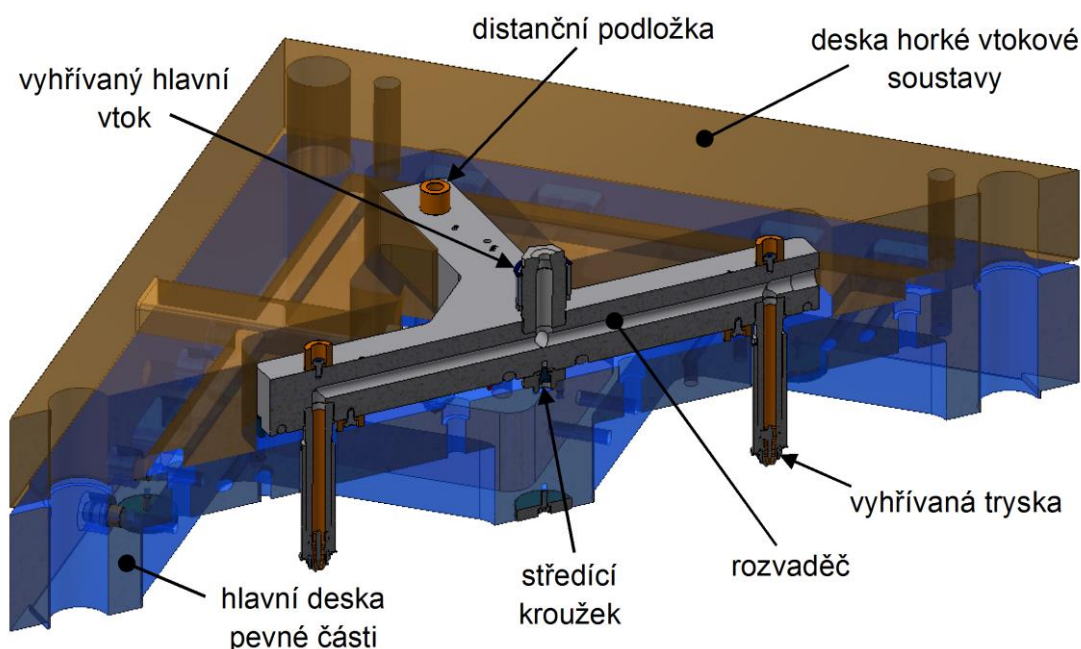
Vyhazovače jsou normáliemi od firmy Meusburger, které jsou upraveny na požadovanou délku dle vyráběné součásti.

Všechny vyhazovací prvky jsou vyrobeny z nástrojové Cr-V oceli 1.2210 (115CrV3 dle DIN EN ISO 4957), která je velmi tvrdá a otěruvzdorná. V žíhaném stavu se dá dobře obrábět. Soustava vyhazovačů a vyhazovacích desek je připojena čepem skrz závit v upínací desce k pohonné jednotce zabudované ve vstřikovacím stroji. Vyhazovací síla se volí na vstřikovacím stroji jako minimální možná hodnota pro spolehlivé vyhození výstřiku s navýšením maximálně o 10%.

Pro plastovou součást držáku střešního nosiče jsou vyhazovací kolíky umístěny převážně na žebrech nebo na bočních stěnách součásti (obr. 66). Tím je sníženo riziko vzniku deformací plastového výstřiku při odformování výrobku z formy. Daný počet kolíků je zvolen na základě kvalifikovaného odhadu, jelikož výpočet působící vyhazovací síly by byl značně náročný. Použité vyhazovací kolíky jsou přímé s kruhovým průřezem nebo s obdélníkovým průřezem, které jsou umístěny právě na hrany žeber.

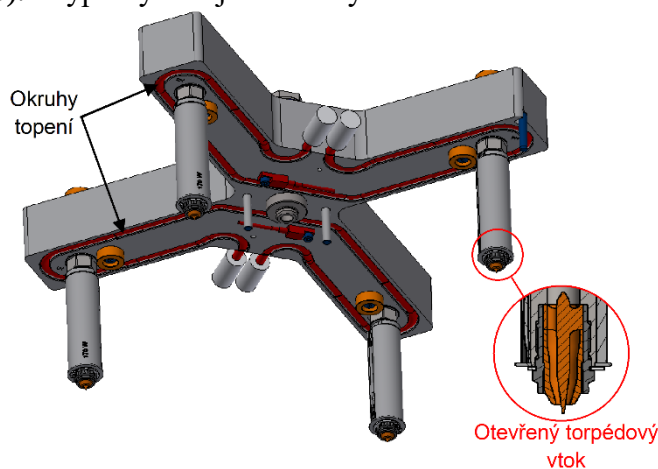
5.4.4 Horká vtoková soustava [37]

Horká vtoková soustava je samostatným elementem vstřikovací formy, který je do ní vložen a řádně upevněn. Umístění vyhřívané vtokové soustavy je v desce mezi upínací a tvarovou deskou pevné části formy. Tato deska má v sobě vytvořenou dutinu nesoucí tvar celého horkého systému, který je do ní následně vložen (obr. 67). Jednotlivé vyhřívané trysky prochází přes hlavní desku až k ústí vtoku tvarové dutiny. Jedná se o produkt firmy Synventive Molding Solutions s.r.o. Na základě přesných specifikací byl zaslán 3D model horké vtokové soustavy.



Obr. 67 Umístění vyhřívané vtokové soustavy

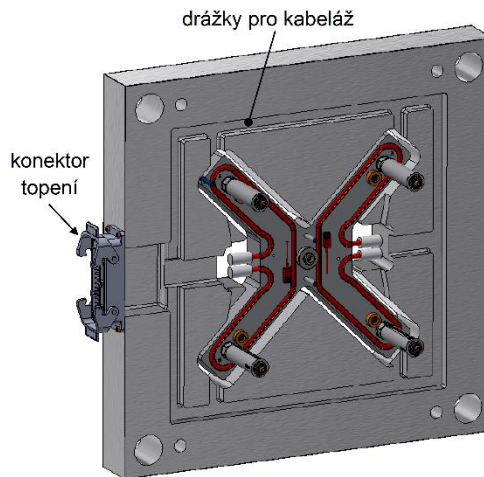
Větve tělesa (rozvaděče) s rozváděcími kanálky o průměru 10 mm jsou rozmístěny do tvaru hvězdy a tím jsou zajištěny stejné podmínky při procesu plnění ve všech čtyřech tvarových dutinách. Soustava má dva vyhřívané okruhy z důvodu symetrického rozložení teplot v rozváděcích kanálcích (obr. 68). Typ trysek je zvolený na základě velikosti vstřikované dávky v gramech na jednu trysku. Vzhledem k typu vstřikovaného plastu a jeho viskozitě jsou vybrány tzv. otevřené torpédové trysky (obr. 68) o průměru vtokového ústí 1,6 mm a celkové délce 110 mm. Mají vnější vyhřívání a jsou opatřeny závitem, kterým jsou připevněny k celému tělesu soustavy. Přesná poloha špičky trysek je vymezena pomocí distančních podložek na rozvaděči, které mají dvojitý význam. Jednak vymezují přesnou vzdálenost trysek do místa vtoku součásti a v dalším případě udržují celou soustavu v dostatečné vzdálenosti od desek vstřikovací formy. Vlivem toho vznikne mezi deskami a horkou vtokovou soustavou určitá mezera, která slouží jako tepelná izolace. Pokud by docházelo ke styku desek s tělesem vyhřívané soustavy, byla by celá vstřikovací forma nepříznivě tepelně ovlivněna.



Obr. 68 Sestava vyhřívané vtokové soustavy

Poloha hlavního vtoku vyhřívané soustavy, který je během celého výrobního procesu připojen na vstřikovací jednotku stroje, musí být vůči celé formě vycentrován. Z tohoto důvodu je nutné využít středící kroužek (obr. 67), který je zapuštěn do středu hlavní tvarové desky.

Jelikož je soustava odporově vytápěna je nutné celý tento segment připojit ke zdroji elektrické energie přes řídicí zařízení. Přívod elektrického napájení k celé vtokové soustavě je pomocí dvaceti čtyř kolíkové zásuvky od firmy Meusburger, která je opatřena dvěma jisticími pákami proti případnému odpojení. Každá topná část (hlavní vtok, 4 trysky, 2 topné okruhy) má čtyři vývody. U jednotlivých trysek je nutné řídit teplotu pro každou zvlášť, zatímco u vytápěného rozvaděče je možné okruhy vzájemně propojit s hlavním vtokem. Pro kabeláž, která vede ke každému vytápěnému elementu soustavy, jsou vytvořeny v desce drážky (obr. 69).

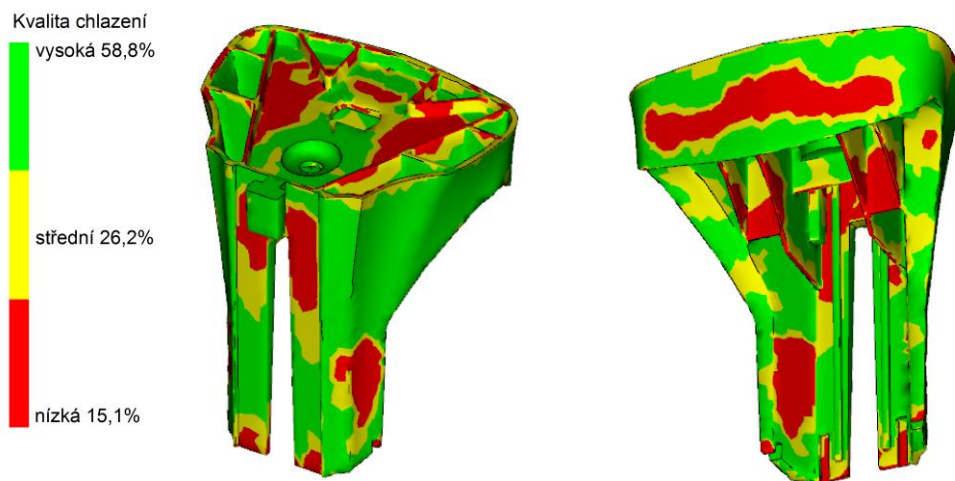


Obr. 69 Deska horké vtokové soustavy

5.4.5 Temperační systém

Jedná se o komplex temperačních nebo také chladicích kanálků. Jelikož plastovým materiálem pro vstřikování dané součásti je polyamid PA 6 plněný skleněným vláknem, který je potřeba vstřikovat do předehráté vstřikovací formy (cca 80°C), je přesnější pojmenování temperační systém, i když plní i funkci odvodu tepla.

Tvarová dutina je vytvořena v tvarové vložce, kde se nachází i celý temperační systém. Hlavním cílem je dosáhnout co nejrovnoměrnějšího rozložení teplot při procesu chlazení. Jako podklad pro vhodné rozmístění temperačních kanálků je využita simulační analýza v programu Autodesk Moldflow Adviser 2016, která graficky znázorňuje kritická místa při procesu chlazení bez použití temperačního systému (obr. 70).

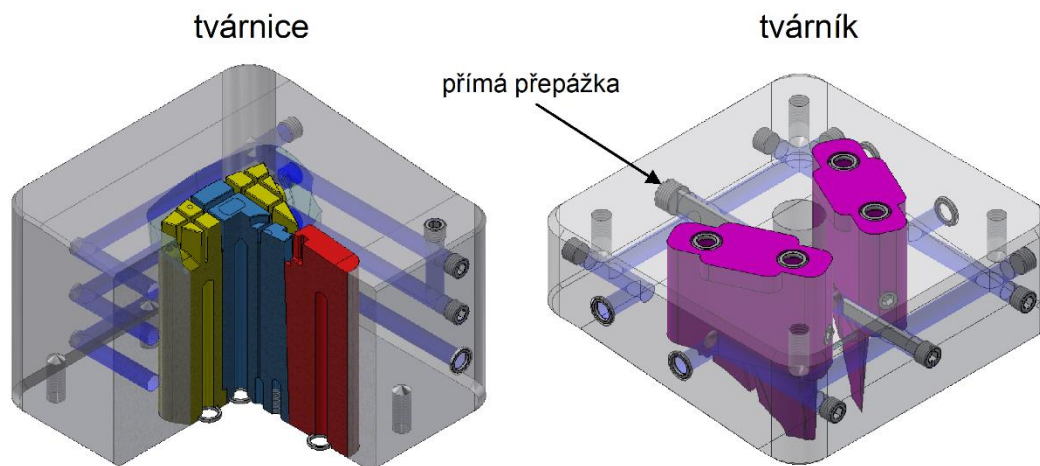


Obr. 70 Simulace kvality chlazení

Aby bylo dosaženo optimálního rozložení temperačního systému, je nutné snížit dobu chlazení aktivními prostředky v kritických místech dle výsledků analýzy, čímž se sníží i celková doba vstřikovacího cyklu.

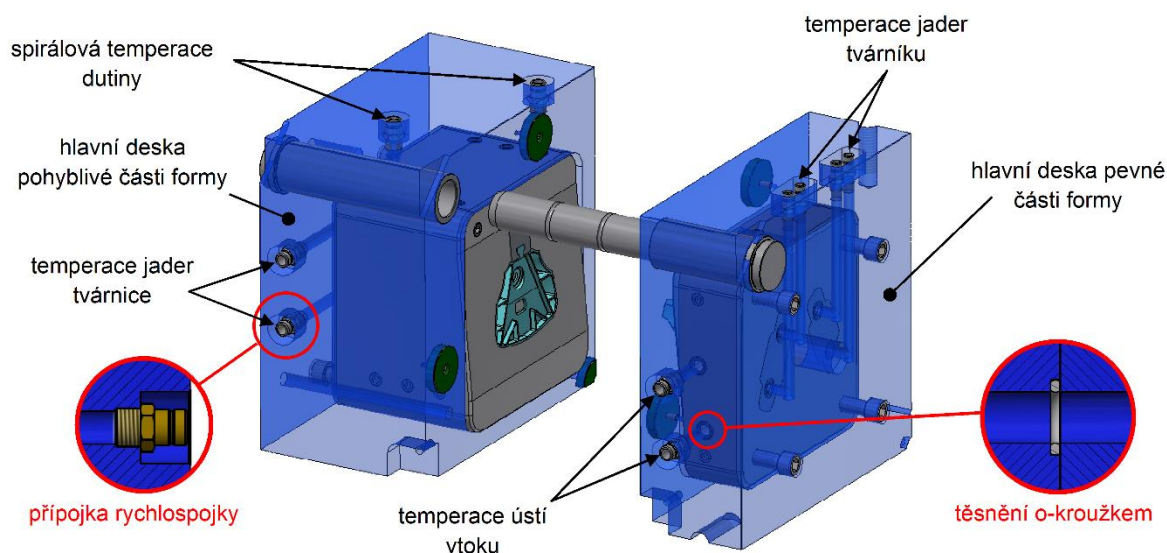
Temperační kanálky jsou vyvrtané otvory utěsněné zátkami. V tvarové vložce pohyblivé části formy (tvárnici) je rozložení temperačních kanálků do tvaru spirály kolem tvarové dutiny. Dutina je složena z několika vložených jader, ve kterých jsou vyvrtány otvory sloužící

jako temperační kanály. Do nich jsou vloženy přímé přepážky, aby byl zajištěn pohyb temperační kapaliny v celé délce kanálu. V tvarové vložce pevné části formy (tvárníku) jsou vytvořeny dva paralelní okruhy, které mají udržovat rovnoměrnou teplotu v místě vtoku taveniny, kde se nachází vyhřívaná tryska vtokové soustavy. V tvárníku jsou dvě vložena jádra, do kterých je také přiváděno temperační médium. Zobrazení rozložení temperačních kanálků v jednotlivých tvarových vložkách je znázorněno na obrázku 71.



Obr. 71 Rozložení temperačních kanálků

Vstup a výstup kapaliny do temperačního systému tvarové vložky je pomocí kanálků vytvořených v hlavních deskách, kde přechod kanálků mezi deskou a tvarovou vložkou je utěsněn pomocí pryžových o-kroužků (obr. 72). Připojení aktivního temperačního média je zajištěno tzv. rychlospojkami.



Obr. 72 Výstupy temperačních okruhů

Vstřikovací forma by měla být předehřívána na pracovní teplotu 80°C , a proto jako temperační médium může být zvolena voda s příměsí inhibitorů koroze, která by měla mít teplotu nižší. Kanálky jsou mezi sebou propojeny pomocí hadic a pro účinnější chlazení může být použito i více temperačních okruhů. Temperovanou vstřikovací formu je nutné izolovat od vstřikovacího stroje pomocí izolačních desek, které jsou většinou z vyztužených reaktoplastů. Bez jejich použití by mohlo docházet k nežádoucímu odvodu tepla během pracovních cyklů a tím i nerovnoměrnému rozložení teplotního pole uvnitř tvarové dutiny. Izolační desky jsou připevněny k upínacím deskám formy pomocí šroubů.

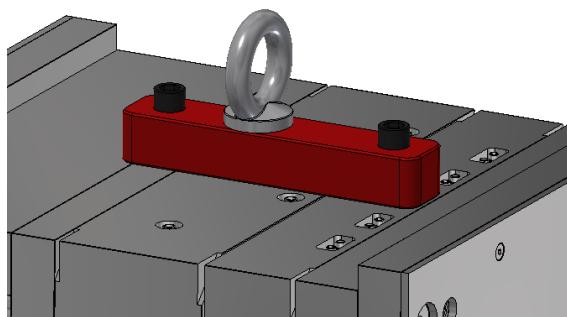
Ideálního rovnoměrného odvodu tepla nelze většinou dosáhnout z důvodu omezení konstrukce formy. Důležité je ale vytvořit optimální řešení, které se tomu ideálnímu co nejvíce přiblíží.

Při odstavení vstřikovací formy z činnosti je nutné zabezpečit všechny otvory temperačního systému zátkami, aby nedocházelo k vnitřní korozi. Nejčastěji se používají uzavíratelné přípojky. V praxi se z důvodu možného vzniku koroze ponechává médium v temperačních kanálcích i při odstavení formy z provozu.

5.4.6 Manipulační prvky formy [20]

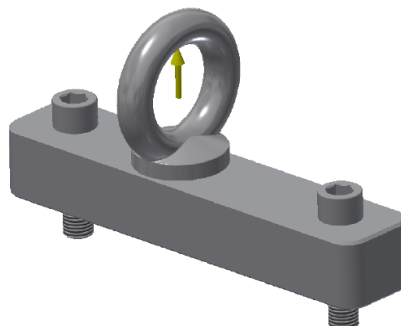
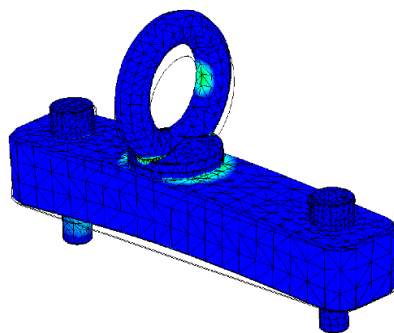
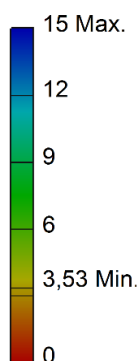
Vstřikovací formy větších násobností se vyznačují svými velkými rozměry, ale současně i značnými hmotnostmi. Hmotnost takových forem se pohybuje v řádech stovek kilogramů až několika tun, dle velikosti vstřikované součásti. Manipulace s takovými formami je zpravidla zabezpečena pomocí dílenských jeřábů. Každá forma proto musí být opatřena manipulačními prvky (obr. 73).

Navrhovaná vstřikovaná forma pro výrobu součásti těla svorky příčnicku má hmotnost přibližně 1,3 t a vnější rozměry 596 x 546 x 640 mm. Vzhledem k její hmotnosti a velikosti je pro manipulaci při instalaci do vstřikovacího stroje připevněna k formě transportní pojistka se závěsným okem. Nosnost závěsného oka musí být vyšší než samotná hmotnost formy, a proto dle katalogu firmy Meusburger je vybráno oko (se závitem M 30) s nosností až do 3200 kg. Transportní pojistka má za úkol zajistit obě poloviny formy proti jejich možnému otevření během manipulace. Je připevněna pomocí pevnostních šroubů (pevnostní třída 12,9) do obou polovin vstřikovací formy. Závity pro šrouby jsou vyvrtány ze všech stran desek vstřikovací formy, a to pro možné otáčení formy při její manipulaci. Umístění závěsného oka musí být v těžišti formy, aby forma byla při zvedání v horizontální poloze a současně nedocházelo k přetížení jedné strany transportní pojistky. Těžiště formy je nalezeno pomocí programu Autodesk Inventor professional 2016. Pro názornost byla vypracována pevnostní analýza manipulačního segmentu (obr. 74).



Obr. 73 Manipulační prvek

Součinitel bezpečnosti [-]



Obr. 74 Pevnostní analýza manipulačního segmentu v programu Inventor 2016

Manipulace se vstřikovací formou se provádí pouze ve stavu, kdy má kompletně odpojené všechny prvky jako jsou hadice od temperačního systému, kabely přívodu elektrické energie k vyhřívané vtokové soustavě, atd. Je nezbytné dbát při její manipulaci na zvýšenou bezpečnost, protože jakákoli kolize může vést k jejímu poškození nebo dokonce k úrazu pracovníka.

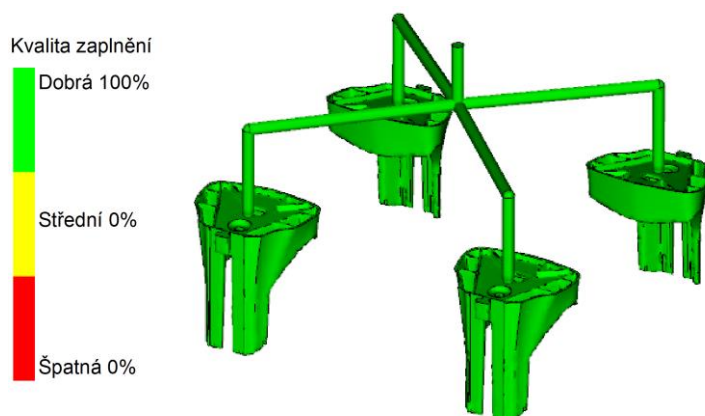
5.5 Simulační analýzy návrhu

Ověření správnosti návrhu konstrukce vstřikovací formy před samotným uvedením do výroby je jedním z nejdůležitějších kroků. Pro tento účel slouží několik simulačních programů, které dokáží přibližně znázornit průběh vstřikování daného dílce. Mohou tak odhalit i chyby, které by mohly vést k závažným problémům. Použitým programem pro simulaci procesu vstřikování je Autodesk Moldflow Adviser 2016.

Simulační analýzy jsou prováděny na základě několika předpokladů, mezi které patří zejména teplota formy 80°C , teplota taveniny 280°C a doporučený vstřikovací tlak 115 MPa .

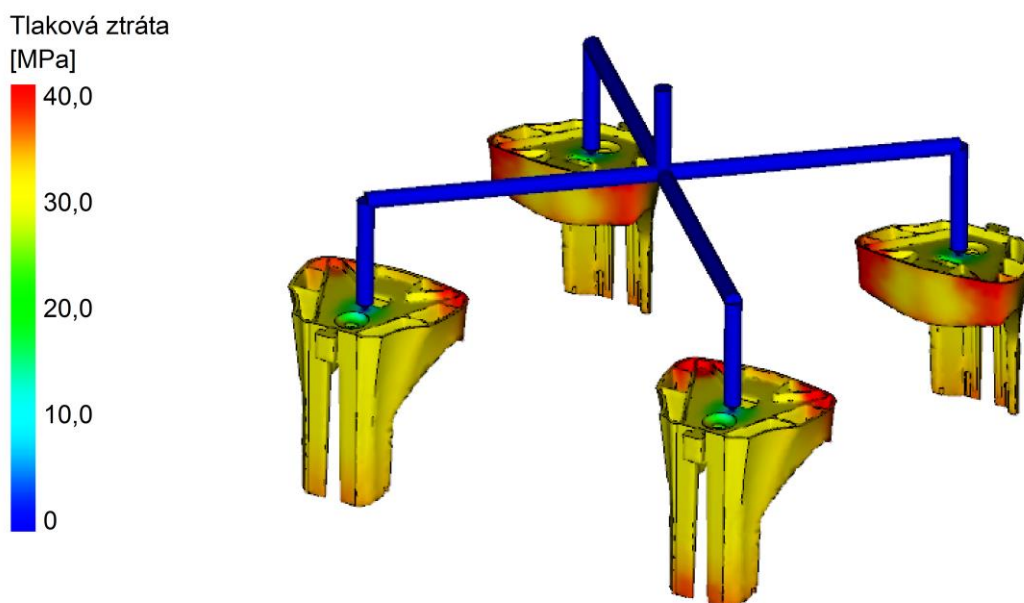
5.5.1 Plnění tvarové dutiny

Nejdůležitějším krokem kontroly návrhu je zjištění úplného zaplnění tvarové dutiny vstřikovací formy. K tomu slouží analýza vhodnosti plnění, která zobrazuje oblasti součásti s dobrou, střední či špatnou kvalitou zaplnění, popřípadě mohou být zjištěny oblasti bez zaplnění dutiny. Na obrázku 75 je vidět, že navržená vstřikovací forma nemá žádná kritická místa, takže tvarové dutiny s jedním vtokovým ústím jsou vyhovující.



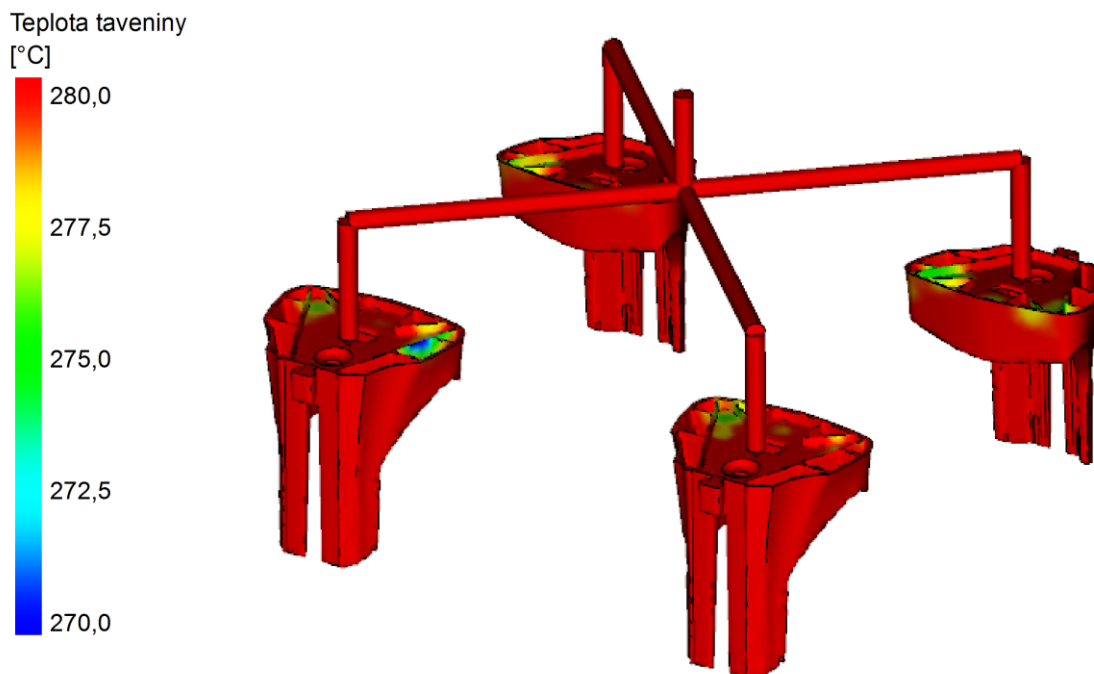
Obr. 73 Kvalita zaplnění dutiny

Další kontrolní analýzou při fázi plnění vstřikovacího cyklu je zjištění tlakové ztráty, což zobrazuje nezbytný tlak pro určitá místa tvarové dutiny. Jedná se o úbytek vstřikovacího tlaku (obr. 76). Oproti technologickým výpočtům je velikost tlaku vyšší, což je způsobeno délkou kanálků vtokového systému. Doporučený vstřikovací tlak ale stále převyšuje zjištěnou maximální hodnotu.



Obr. 74 Tlaková ztráta uvnitř tvarových dutin

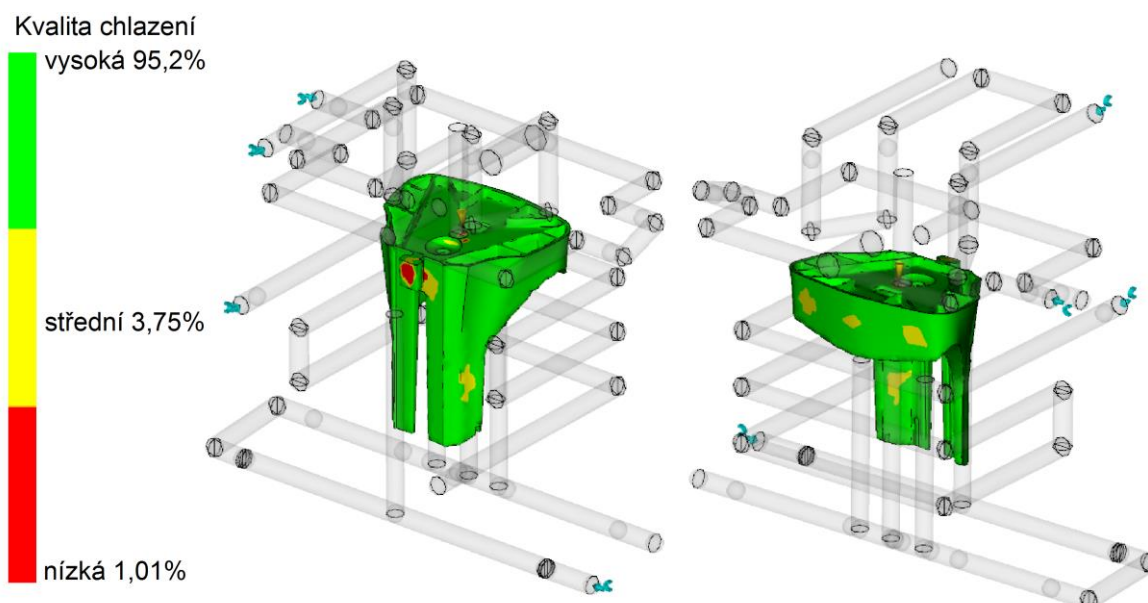
Během plnění dutiny taveninou dochází k jejímu ochlazování a v některých místech může dosáhnout nežádoucího poklesu teploty (obr. 77). Rozdíl teploty při vstřikování by neměl být větší jak 5°C. Pokud teplota klesne o více než 5°C je nutné upravit parametry procesu jako například zvýšením teploty formy nebo taveniny, což má ale vliv na výslednou dobu cyklu.



Obr. 75 Teplota taveniny při vstřikování

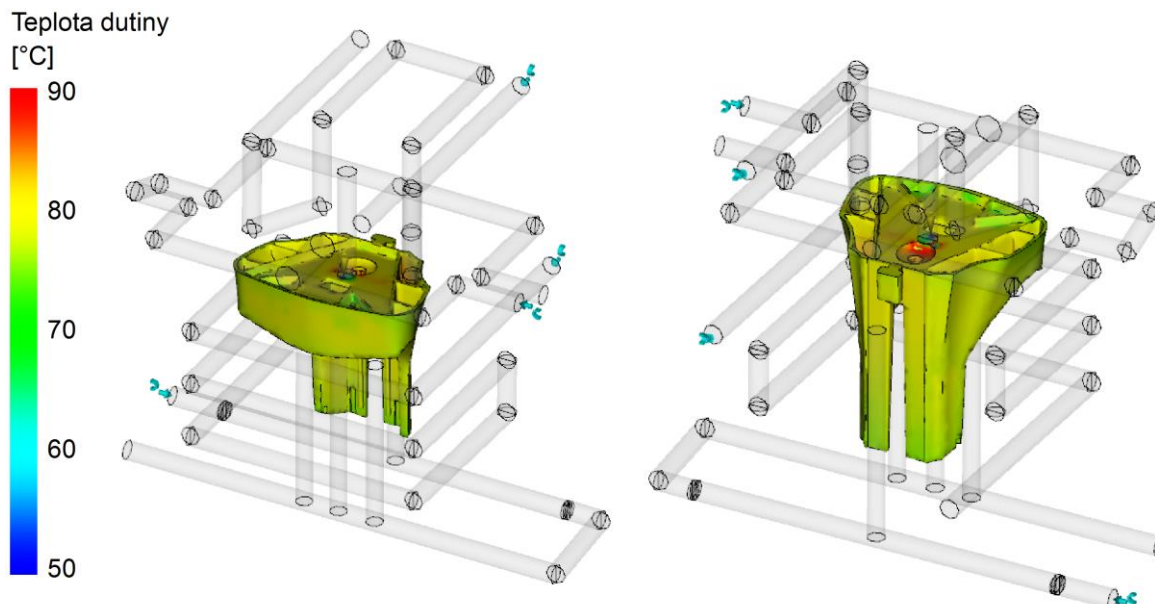
5.5.2 Kontrola temperačního systému

Po vypracování návrhu temperačního systému byla provedena simulace fáze chlazení. Výsledky analýzy kvality temperačního systému (obr. 78) ukazují, že oproti přirozenému odvodu tepla se značně zlepšila jeho účinnost a tím i rovnoměrnost. Nízká kvalita odvodu tepla je v místě součásti, kde je příliš velká tloušťka stěny. Nachází se v blízkosti dělicí roviny, a tak nelze v tomto místě vytvořit temperační kanál.



Obr. 76 Kvalita temperačního systému

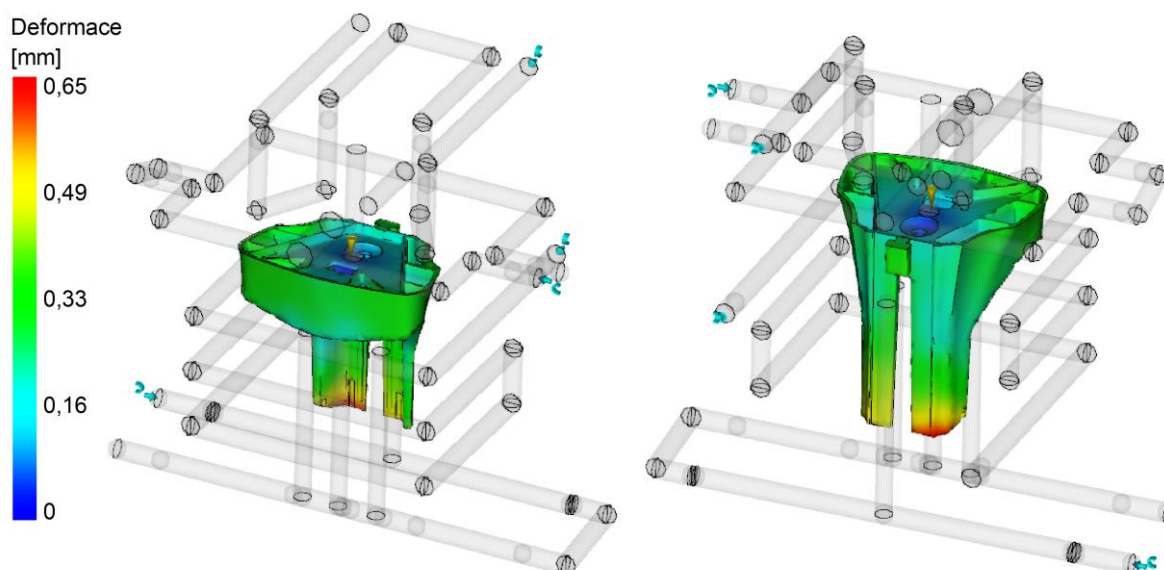
Rozložení teploty na stěnách tvarové dutiny je zobrazeno na obrázku 79. Forma, která má mít pracovní teplotu 80°C dle simulace nevykazuje žádné výrazné teplotní výkyvy. Pouze v úzké oblasti vtokového ústí je teplota zvýšena, kde je ovlivněna vyhřívanou tryskou horké vtokové soustavy. Rozdíl teplot mezi protějšími stěnami dutiny by neměl být větší jak 10°C, jelikož by to mohlo mít nepříznivý vliv na výsledné smrštění a deformace součásti.



Obr. 77 Rozložení teplot na stěnách dutiny

5.5.3 Smrštění a deformace vstříkovaného dílce

Během tuhnutí plastového materiálu po vstřiku do tvarové dutiny dochází k určitému smrštění dílce (obr. 80). Toto smrštění ovlivňuje především dotlak a temperační systém. Maximální deformace vlivem smrštění je 0,65 mm, což je vlivem navýšení rozměrů tvarové dutiny vyrovnáno.



Obr. 78 Deformace smrštěním

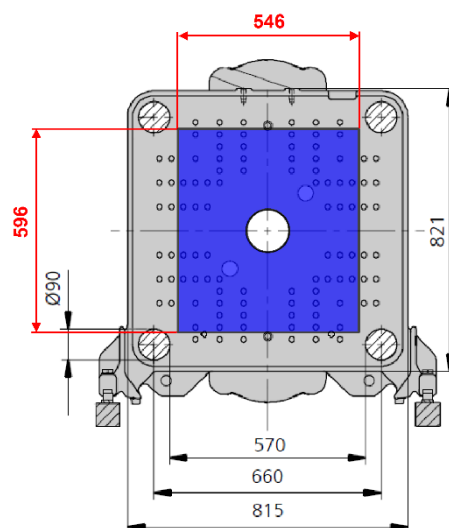
5.6 Volba vstřikovacího stroje [3]

Aktuální vstřikovací lis, který firma používá, má malou kapacitu vstřikovací jednotky a nízkou uzavírací sílu pro navrženou vícenásobnou formu. Volba vhodného nového stroje je závislá na několika parametrech vstřikovací a uzavírací jednotky stroje vzhledem k navržené formě. Jedná se zejména o velikost uzavírací síly, vstřikovací kapacity, plastikační kapacity aj. Nezbytné jsou i vnitřní rozměry uzavírací jednotky pro upínání dané formy. Na základě těchto a několika dalších parametrů je zvolen vstřikovací stroj od firmy Arburg. Jedná se o horizontální plně hydraulický vstřikovací lis typu Allrounder 570 S. Základní parametry stroje jsou uvedeny v tabulce 7.

Tab. 7 Základní parametry vstřikovacího stroje [3]

Parametr	Jednotka	Hodnoty stroje	Hodnoty návrhu
Vstřikovací jednotka		800	
Maximální objem dávky	[cm ³]	474	298,9
Maximální kapacita zpracování materiálu	[kg/hod]	30	29
Průměr šneku	[mm]	55	55
Maximální vstřikovací tlak	[bar]	1650	1150
Uzavírací jednotka		1600	
Maximální uzavírací síla	[kN]	1600	563
Minimální výška formy	[mm]	250	640
Maximální světlost mezi upínacími deskami	[mm]	900	-
Vzdálenost mezi vodícími sloupky	[mm]	570 x 570	-
Maximální zdvih vyhazovače	[mm]	200	109

Uvedený vstřikovací lis plně vyhovuje požadavkům pro navrhovanou čtyřnásobnou vstřikovací formu. Vnitřní rozměry mezi vodícími sloupky (světlost) jsou 570 x 570 mm. Vstřikovací forma má velikost upínacích desek 596 x 546 mm, takže může být bez problému umístěna do prostoru mezi všechny vodící sloupky uzavírací jednotky, kde maximální rozteč pro upínací prvky je 630 mm (obr. 81). Otvory pro středící kroužky formy jsou o velikosti 125 mm. Maximální zdvih upínacích desek je 650 mm při minimální velikosti formy 250 mm. Pro navrhovanou vstřikovací formu o výšce 640 mm je hodnota maximálního zdvihu pouze 260 mm. Vzhledem k maximální délce vstřikované součásti je požadovaná hodnota zdvihu 190 mm, takže i z tohoto hlediska vstřikovací lis vyhovuje s dostatečnou rezervou. Vyhazovací systém má svoji vlastní pohonnou jednotku, a tak je možné nastavit jeho velikost zdvihu i sílu. Půdorys vstřikovacího stroje



Obr. 79 Umístění formy do stroje

je 5,3 x 1,7 m s maximální výškou 2,3 m. Podrobnější informace o zvoleném vstřikovacím lisu jsou součástí příloh.

5.7 Technologický postup výroby

Výroba držáku střešního nosiče se řídí určitým technologickým postupem, který zahrnuje veškeré pracovní operace prováděné pro kompletní zhotovení součásti. Navržený technologický postup výroby je v tabulce 8.

Tab. 8 Technologický postup

TECHNOLOGICKÝ POSTUP VÝROBY		
Součást:		Držák střešního nosiče
Materiál:		Ultramid B3WG6 (PA 6 + 30% Skleněná vlákna)
Číslo operace	Dílna	Popis
1	Sklad	Příjem materiálu
2	-	Přeprava materiálu (granulát) do lisovny
3	Lisovna	Příprava vstřikovací formy (transport, upnutí do stroje, připojení dodatečných systémů)
4	Lisovna	Nastavení stroje (vstupní parametry) a příprava materiálu
5	Lisovna	Zahájení vstřikování
6	Lisovna	Kontrola prvních vyrobených kusů (v případě zmetků odstranění jejich příčin – úprava výrobních parametrů, atd.)
7	Lisovna	Spuštění sériové výroby
8	Lisovna	Průběžná vizuální kontrola náhodných kusů
9	Lisovna	Chladnutí výrobků (6 – 8 hod)
10	Lisovna	Označení a uložení do krabic
11	OTK	Výstupní kontrola (Kontrola rozměrů, stavu povrchu a pevnosti – četnost 5%)
12	-	Přeprava do expedičního skladu
13	Sklad	Kompletní balení a expedice

Z popsaných jednotlivých operací v technologickém postupu lze odvodit, že základním klíčem k úspěchu celé sériové výroby je optimální nastavení výrobních parametrů na vstřikovacím lisu. Tato skutečnost klade zvýšené nároky na odbornost a zkušenost pracovníků obsluhy stroje. Případná pochybení v této fázi by mohla být příčinou zvýšené zmetkovitosti nebo i poškození vstřikovací formy.

6 TECHNICKO-EKONOMICKÉ HODNOCENÍ [36], [43]

Jedním z hlavních výstupů návrhu výroby plastového držáku střešního nosiče technologií vstřikováním ve čtyřnásobné formě je technicko-ekonomické zhodnocení. Jedná se o vyčíslení nákladů na výrobu jednoho plastového dílce. Jelikož jde o teoretický návrh, jsou některé výdaje zjištěny pomocí kvalifikovaného odhadu. Výrobní náklady se skládají z variabilních nákladů, fixních nákladů a zisku. Variabilní náklady jsou ovlivněny vyráběným množstvím kusů, zatímco fixní náklady jsou stále stejné, nehledě na velikost výrobní série. Stanovení celkových výrobních nákladů je na základě několika vstupních údajů uvedených v tabulce 9.

Tab. 9 Údaje pro výpočty výrobních nákladů [17]

	Značka	Hodnota	Jednotka
Velikost roční produkce	N	500 000	[ks]
Hmotnost výstřiku	G	90,916	[g]
Násobnost formy	n ₁	4	[-]
Doba vstřikovacího cyklu	t _c	50,25	[s]
Hrubá mzda operátora (zvoleno)	M	210	[Kč/hod]
Měnový kurz dle ČNB (ze dne 13.5.2016)	C _E	27,02	[Kč/€]
Cena materiálu	C _{PA}	55	[Kč/kg]
Cena stroje	C _S	106 700	[€]
Cena provozu stroje	C _{pr}	680	[Kč/hod]
Cena vstřikovací formy (odhad)	C _f	802 500	[Kč]
Životnost formy (počet cyklů)	Ž _f	700 000	[-]
Požadovaný zisk	z	30	[%]

6.1 Přímé náklady [30], [36]

Do přímých nákladů jsou zařazeny výdaje vztahující se pouze k dané zakázce a jsou tedy variabilními náklady. Patří sem náklady na spotřebovaný materiál, provoz stroje, mzdy apod.

- Stanovení spotřebovaného množství materiálu

$$m_{\text{mat}} = N \cdot \frac{G}{1000} \text{ [kg]} \quad (6.1)$$

kde: N [ks] velikost produkce,
G [g] hmotnost výstřiku.

$$m_{\text{mat}} = 500\,000 \cdot \frac{90,916}{1000} = 45\,458 \text{ kg}$$

- Výpočet nákladů na spotřebovaný materiál

$$N_{\text{mat}} = m_{\text{mat}} \cdot C_{\text{PA}} \text{ [Kč]} \quad (6.2)$$

kde: C_{PA} [Kč/kg] cena materiálu.

$$N_{\text{mat}} = 45\,458 \cdot 55 = 2\,500\,190 \text{ Kč}$$

Stanovení výše nákladů na provoz stroje je provedeno na základě čistého strojního času. Avšak současně je nutné zjistit i hodnotu ročního odpisu pořizovacích nákladů stroje, ze které je následně vypočítán jeho podíl zahrnutý do této výrobní zakázky. Tento podíl se vztahuje k celkové době produkce, ve které jsou započítány prostoje, montáž vstřikovací formy, atd.

- **Stanovení čistého strojního času**

$$t_{st} = \frac{N \cdot t_c}{n_1 \cdot 3600} \text{ [hod]} \quad (6.3)$$

$$t_{st} = \frac{500\,000 \cdot 50,25}{4 \cdot 3600} = 1744,8 \text{ hod}$$

- **Stanovení celkového času produkce**

$$t_{cp} = \frac{t_{st}}{K} \text{ [hod]} \quad (6.4)$$

kde: $K[-]$ koeficient využití výrobního času.

$$t_{cp} = \frac{1744,8}{0,8} = 2181 \text{ hod}$$

- **Výpočet podílu z ročního odpisu vstřikovacího stroje Allrounder 570 S**

$$N_{os} = \frac{C_s \cdot C_E}{t_0 \cdot 365 \cdot 24} \cdot t_{cp} \text{ [Kč]} \quad (6.5)$$

kde: C_s [€] cena stroje,
 C_E [Kč/€] měnový kurz,
 t_0 [rok] doba odpisu stroje (5 let).

$$N_{os} = \frac{106\,700 \cdot 27,02}{5 \cdot 365 \cdot 24} \cdot 2181 = 143\,559 \text{ Kč}$$

- **Výpočet celkových nákladů na provoz stroje**

$$N_{pr} = t_{st} \cdot C_{pr} + N_{os} \text{ [Kč]} \quad (6.6)$$

kde: C_{pr} [Kč/hod] hodinová sazba stroje.

$$N_{pr} = 1744,8 \cdot 680 + 143\,559 = 1\,330\,023 \text{ Kč}$$

Velikost nákladů na výrobu vstřikovací formy je určena na základě kvalifikovaného odhadu. Do těchto nákladů jsou zahrnuty veškeré výdaje související s její výrobou jako náklady na materiál, konstrukci, výrobu včetně zkoušek, servisu, atd. (tab. 10). Navržená vstřikovací forma má omezenou životnost, která je dána počtem pracovních cyklů. Do série 500 000 ks není tedy započítána její celková pořizovací cena, ale pouze její podíl související s amortizací formy.

Tab. 10 Dílčí náklady na vstřikovací formu

Náklady na vstřikovací formu [Kč] (odhad)	
Konstrukce	351 000
Materiál	35 000
Výroba	416 500
Celkem	802 500

- **Výpočet nákladů na amortizaci vstřikovací formy**

$$N_f = \frac{C_f \cdot N}{\dot{Z}_f \cdot n_1} \text{ [Kč]} \quad (6.7)$$

kde: C_f [Kč] cena formy,
 $\dot{Z}_f$ [-] životnost formy (počet cyklů).

$$N_f = \frac{802\,500 \cdot 500\,000}{600\,000 \cdot 4} = 167\,188 \text{ Kč}$$

Výše nákladů na mzdy operátorů jsou součástí přímých nákladů. V daném případě je pro obsluhu vstřikovacího lisu přiřazen pouze jeden pracovník.

- **Náklady na mzdu operátora**

$$N_{\text{mzdy}} = t_{\text{cp}} \cdot M \text{ [Kč]} \quad (6.8)$$

kde: M [Kč] hrubá mzda operátora.

$$N_{\text{mzdy}} = 2181 \cdot 210 = 458\,010 \text{ Kč}$$

- **Výpočet celkových přímých nákladů na výrobu roční produkce 500 000 ks**

$$N_{\text{př}} = N_{\text{mat}} + N_{\text{pr}} + N_f + N_{\text{mzdy}} \text{ [Kč]} \quad (6.9)$$

$$N_{\text{př}} = 2\,500\,190 + 1\,330\,023 + 167\,188 + 458\,010 = 4\,455\,411 \text{ Kč}$$

6.2 Nepřímé náklady [31], [36]

Nepřímými náklady jsou považovány všechny výdaje spojené s řízením a organizací firmy. Jedná se tedy o náklady, které nejsou nijak ovlivněny danou výrobní zakázkou a jsou fixní. Často se jim říká režijní náklady.

- **Výrobní režie**

Do této kategorie spadají veškeré výdaje na spotřebu energií během výroby, údržbu, opravy atd. Výše těchto celkových nákladů je odhadována cca na hodnotu 140 % mzdových nákladů.

$$N_{\text{vr}} = N_{\text{mzdy}} \cdot 1,4 \text{ [Kč]} \quad (6.10)$$

$$N_{\text{vr}} = 458\,010 \cdot 1,4 = 641\,214 \text{ Kč}$$

- **Správní režie**

Jedná se o náklady spojené s řízením podniku a administrativou, což jsou všechny náklady na personalistiku, účetnictví, management, atd. Jejich hodnota je odhadnuta přibližně na 70% ze mzdových nákladů.

$$N_{\text{sr}} = N_{\text{mzdy}} \cdot 0,7 \text{ [Kč]} \quad (6.11)$$

$$N_{\text{sr}} = 458\,010 \cdot 0,7 = 320\,607 \text{ Kč}$$

- **Odbytová režie**

Náklady zahrnující výdaje spojené se skladováním a následnou expedicí hotových výrobků, které jsou ve výši 30% mzdových nákladů.

$$N_{od} = N_{mzdy} \cdot 0,3 \text{ [Kč]} \quad (6.12)$$

$$N_{od} = 458\,010 \cdot 0,35 = 160\,303 \text{ Kč}$$

- **Výpočet celkových nepřímých nákladů na výrobu série 500 000 ks**

$$N_{nepř} = N_{vr} + N_{sr} + N_{od} \text{ [Kč]} \quad (6.13)$$

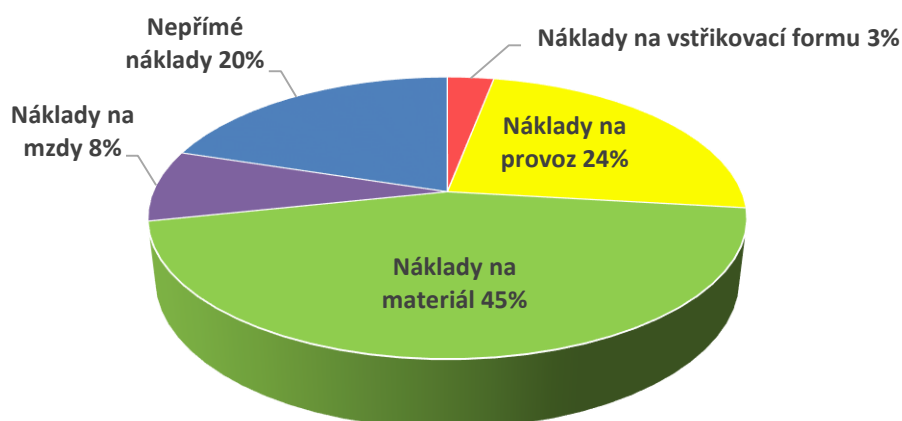
$$N_{nepř} = 641\,214 + 320\,607 + 160\,303 = 1\,122\,124 \text{ Kč}$$

6.3 Celkové výrobní náklady a zisk [8], [36]

Aby mohla být zjištěna celková hodnota ročního zisku, je nutné vypočítat výši celkových výrobních nákladů (obr. 82), což je provedeno součtem přímých (variabilních) a nepřímých (fixních) nákladů:

$$N_{celk} = N_{př} + N_{nepř} \text{ [Kč]} \quad (6.14)$$

$$N_{celk} = 4\,455\,411 + 1\,122\,124 = 5\,577\,535 \text{ Kč}$$



Obr. 80 Podíly z celkových výrobních nákladů

Variabilní náklady vztahené na jeden výstřik jsou vypočítány vztahem:

$$N_{1var} = \frac{N_{př}}{N} \text{ [Kč]} \quad (6.15)$$

$$N_{1var} = \frac{4\,455\,411}{500\,000} = 8,9 \text{ Kč}$$

- **Zisk**

Výše požadovaného zisku je stanovena na 30% z celkových nákladů na výrobu těla svorky příčnicku. Jeho celková hodnota z dané roční produkce je vypočítána podle následujícího vztahu:

$$Z_{celk} = N_{celk} \cdot z \cdot 0,01 \text{ [Kč]} \quad (6.16)$$

kde: z [%]..... výše požadovaného zisku.

$$Z_{celk} = 5\,577\,535 \cdot 30 \cdot 0,01 = 1\,673\,260 \text{ Kč}$$

Výpočet celkové ceny jednoho výrobku bez DPH se ziskem 30% je proveden dle následujícího vztahu:

$$C_1 = \frac{N_{\text{celk}} + Z_{\text{celk}}}{N} [\text{Kč}] \quad (6.17)$$

$$C_1 = \frac{5\,577\,535 + 1\,673\,260}{500\,000} = 14,5 \text{ Kč}$$

- Zisk z jedné součásti**

$$z_1 = \frac{Z_{\text{celk}}}{N} [\text{Kč}] \quad (6.18)$$

$$z_1 = \frac{1\,673\,260}{500\,000} = 3,35 \text{ Kč}$$

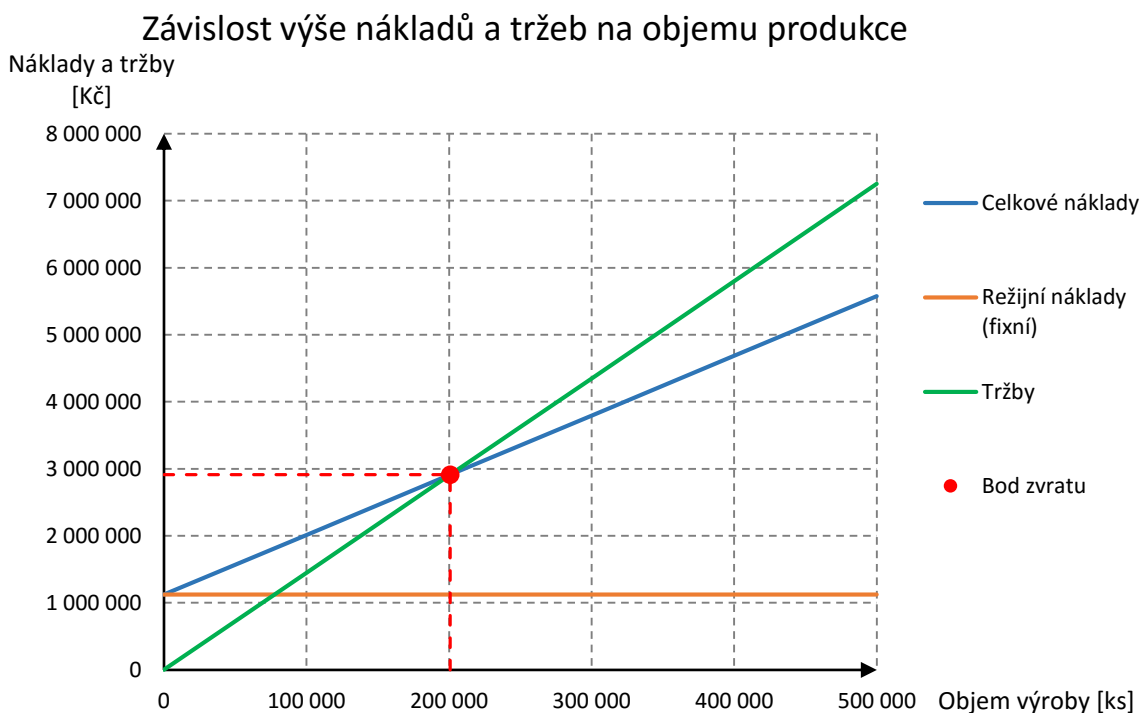
- Grafické znázornění a bod zvratu**

Pro lepší představu je provedeno grafické znázornění s tzv. bodem zvratu (obr. 83). Jedná se o graf definující závislosti jednotlivých nákladů a tržeb vzhledem k dané velikosti produkce. Bod zvratu udává množství produkce, při kterém je nulový zisk, ale tržby plně pokrývají výdaje. Hodnota bodu zvratu je stanovena podle vztahu:

$$Q = \frac{N_{\text{nepř}}}{C_1 - N_{1\text{var}}} [\text{ks}] \quad (6.19)$$

$$Q = \frac{1\,122\,124}{14,5 - 8,9} = 200\,380 \text{ ks}$$

Z výpočtu vyplývá, že od 200 380 vyrobených kusů začne postupně narůstat zisk a při dané velikosti roční produkce (500 000 ks) by měl dosáhnout na požadovaných 30% z celkových výrobních nákladů.



Obr. 81 Graf závislosti výše nákladů a tržeb na velikosti produkce

ZÁVĚRY

Pro výrobu držáku střešního nosiče byla na základě rozboru součásti zvolena nejvhodnější výrobní technologie, kterou je vstřikování plastů. Plastový materiál vybraný pro danou součást je polyamid PA 6 plněný z 30% skleněným vláknem, vyráběný firmou BASF pod obchodním názvem Ultramid B3WG6, který by měl zabezpečit požadované vlastnosti vyráběného dílu.

Při návrhu vstřikovací formy byla nejprve určena poloha dělicí roviny na rovinné ploše součásti a provedena simulační analýza, která určila optimální umístění vtokového ústí. Předpokládaná celková doba cyklu určená na základě simulace plnění tvarové dutiny je 50,25 s. Z technologických výpočtů bylo následně zjištěno, že pro danou roční produkci, která má mít maximální výrobní čas pět měsíců, je nejvhodnější čtyřnásobná vstřikovací forma. Z důvodu značné tvarové složitosti součásti byla dutina navržena v tvarových vložkách s vloženými vzájemně ukotvenými jádry. Jádra v sobě mají temperační kanálky, čímž je zajištěno lepší rozložení teploty na vnitřních stěnách tvarové dutiny. Pro přenos taveniny do tvarové dutiny byla zvolena horká vtoková soustava od firmy Synventive Molding Solutions s.r.o., která zajistí nejen 100% využití vstřikovaného materiálu, ale i snížení času pracovního cyklu. Bezpečné odformování výstřiku z formy je v návrhu zajištěno vyhazovacími kolíky, které jsou umístěny převážně na hranách žebířů vyráběné součásti. Jednotlivé použité normálie vstřikovací formy jsou produkty od firmy Meusburger.

Simulačními analýzami byla provedena kontrola návrhu a bylo zjištěno, že navržená forma splňuje důležité technologické parametry pro vstřikování zvoleného materiálu. Pro výrobu držáku střešního nosiče vstřikováním ve čtyřnásobné formě byl zvolen horizontální vstřikovací lis Allrounder 570 S 1600-800 od firmy Arburg, který splňuje všechny požadované parametry navrhované vstřikovací formy.

V technicko-ekonomickém zhodnocení byl proveden podrobný výpočet nákladů na výrobu celé roční produkce, které činí 5 577 535 Kč. Předpokládaná cena jednoho výrobku by měla být 14,5 Kč bez DPH. Od vyrobeného množství 200 380 kusů by se měl postupně generovat zisk a dosáhnout až 30% z celkových tržeb. Celý výrobní proces je možné zefektivnit automatizací procesu přidáním automatického manipulátoru, a tak snížit náklady na mzdy operátorů.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

1. 1.1730. *Preciz s.r.o.* [online]. 2015 [cit. 2016-04-09]. Dostupné z: <http://www.preciz.cz/sluzby-hlavni/material-normal/1.1730>
2. 1.2312. *Preciz s.r.o.* [online]. 2014 [cit. 2016-04-09]. Dostupné z: <http://www.preciz.cz/sluzby-hlavni/material-normal/1.2312>
3. ARBURG, SPOL. S R.O. *ALLROUNDER 570 S*. Lossburg, 2014.
4. ASN HAKR S.R.O. *Tělo svorky střešního nosiče*. Újezd u Brna, 2016.
5. AUSPERGER, Aleš. *Technologie zpracování plastů* [online]. 2015 [cit. 2016-04-07]. ISBN 978-80-88058-77-9. Dostupné z: <https://publi.cz/books/183/Cover.html>
6. BĚHÁLEK, Luboš. *Polymery* [online]. Liberec, 2014 [cit. 2016-02-13]. ISBN 978-80-88058-68-7. Dostupné z: <https://publi.cz/books/180/Impresum.html>
7. BOBEK, Jiří. *Vstřikovací formy pro zpracování termoplastů* [online]. 2015 [cit. 2016-03-04]. ISBN 978-80-88058-65-6. Dostupné z: <https://publi.cz/books/179/Cover.html>
8. Bod zvratu – Break-even point. In: *Podnikátor* [online]. 2013 [cit. 2016-05-17]. Dostupné z: <http://www.podnikator.cz/provoz-firmy/management/řízení-podniku/n:16564/Bod-zvratu--Break-even-point>
9. CAMPUS. *Datasheet: Ultramid B3WG6 - PA6-GF30* [online]. 2016 [cit. 26.3.2016]. Dostupné z: <http://www.campusplastics.com/campus/en/datasheet/Ultramid%C2%AE+B3WG6/BASF/20/6338c938?pos=172>
10. *Citace PRO* [online]. Brno, 2012 [cit. 2016-05-18]. Dostupné z: <http://www.citace.com>
11. *Chemické listy: Termoplastické elastomery - moderní polymerní materiály*. Praha: Česká společnost chemická, 1997, (91). ISBN 0009-2770. ISSN 0009-2770. Dostupné také z: http://www.chemicke-listy.cz/docs/full/1997_01_23-29.pdf
12. Injection Molding. *Product Center Thermoplastic Polyurethanes* [online]. 2015 [cit. 2016-03-07]. Dostupné z: <http://www.tpu.covestro.com/en/Technologies/Processing/Injection-Molding>
13. Jistič 20A/3 fáze S3 charakteristika C [obrázek]. In: *Jističe Šídlo* [online]. 2016 [cit. 2016-02-06]. Dostupné z: <http://www.jisticsidlo.cz/photo/original/jistic-3-pol.-6kA.jpg>
14. KANDUS, Bohumil. *Technologie zpracování plastů* [Přednášky a cvičení]. Brno: Fakulta strojního inženýrství VUT Brno, 2014 [cit. 27.3.2016].
15. KOLOUCH, Jan. *Strojírenské výrobky z plastů vyráběné vstřikováním*. 1 vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1986.
16. KOLOUCH, Jan. *Strojní součásti z plastů*. 1. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1981.
17. Kurzy měn - kurzovní lístek ČNB. In: *Kurzy cz* [online]. Praha, 2016 [cit. 2016-05-14]. Dostupné z: <http://www.kurzy.cz/kurzy-men/>
18. LENFELD, Petr. *Technologie vstřikování* [online]. 2015 [cit. 2016-02-29]. ISBN 978-80-88058-74-8. Dostupné z: <https://publi.cz/books/184/Cover.html>

19. Lisování a přetlačování plastů. In: *Katedra strojírenské technologie Technické univerzity v Liberci* [online]. 2008 [cit. 2016-02-12]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/09.htm
20. MEUSBURGER GEORG GMBH & CO KG. *Meusburger normálie na formy*. Wolfurt, Rakousko, 2015. Dostupné také z: http://update.meusburger.com/wwwdownloads/Meusburger_Katalog_V5810.exe
21. Meusburger: Ejector pin for mold and tool. *Direct industry* [online]. 2016 [cit. 2016-03-19]. Dostupné z: <http://www.directindustry.com/prod/meusburger-georg-gmbh-co-kg/product-58247-797655.html>
22. Ocel nástrojová pro výrobu forem W. Nr. 1.2083. *JKZ Bučovice a.s.* [online]. 2013 [cit. 2016-04-08]. Dostupné z: <http://jkz.cz/node/165>
23. Odlévání. In: *Katedra strojírenské technologie Technické univerzity v Liberci* [online]. 2008 [cit. 2016-02-12]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/11.htm
24. Pigments. *TRI-TEX* [online]. 2011 [cit. 2016-04-08]. Dostupné z: <http://www.tritex.com/eng/pigments.php>
25. Plastová židle Kara Z609 [obrázek]. In: *Nebe nábytek* [online]. 2010 [cit. 2016-02-06]. Dostupné z: <http://www.nebenabytek.cz/images/produkt/max/k185/187020-p5.jpg>
26. Plasty a jejich zpracovatelské vlastnosti. *Katedra strojírenské technologie Technické univerzity v Liberci: Oddělení tváření kovů a plastů* [online]. 2008 [cit. 2016-02-07]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/01.htm
27. Processing: Permanent Mould Casting. *Learn easy* [online]. 2014 [cit. 2016-04-07]. Dostupné z: <http://www.learneasy.info/MDME/MEMmods/MEM30007A/processing/processing.html>
28. Příčnický Compass Alu-PRO. *EPROTON* [online]. 2015 [cit. 2016-04-07]. Dostupné z: <http://www.epton.cz/pricniky-compass-alupro-120-cm-/388554.html>
29. Přílba PELTOR 3M G3000 [obrázek]. In: *Pracovní pomůcky* [online]. 2016 [cit. 2016-02-06]. Dostupné z: http://www.pracovni-pomucky.info/fotky37001/fotos/_vyr_18442301-77--800x600.jpg
30. Přímé náklady. In: *Firemní slovník.cz* [online]. 2015 [cit. 2016-05-17]. Dostupné z: <http://www.firemnislovník.cz/p/prime-naklady/>
31. Režijní náklady. In: *Firemní slovník.cz* [online]. 2015 [cit. 2016-05-17]. Dostupné z: <http://www.firemnislovník.cz/r/rezijni-naklady/>
32. Rozdělení technologií na zpracování plastů. *Katedra strojírenské technologie Technické univerzity v Liberci: Katedra tváření kovů a plastů* [online]. 2008 [cit. 2016-02-06]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/02.htm
33. ŘEHULKA, Zdeněk. *Konstrukce výlisků z plastů a forem pro zpracování plastů: polymery*. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2013. ISBN 978-80-7204-833-5.

34. SEIDL, Martin. *Stroje pro zpracování polymerních materiálů* [online]. 2015 [cit. 2016-03-04]. ISBN 978-80-88058-71-7. Dostupné z: <https://publi.cz/books/181/Cover.html>
35. *Sunrise industries* [online]. 2015 [cit. 2016-03-14]. Dostupné z: <http://sunrisehotrunner.com>
36. SYNEK, Miloslav. *Výpočty v ekonomice a řízení průmyslového podniku: vysokoškolská příručka pro vysoké školy ekonomické*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1984.
37. SYNVENTIVE MOLDING SOLUTIONS. *Horká vtoková soustava s tryskou 110 mm*. Praha, 2016.
38. ŠTĚPEK, Jiří, Antonín KUTA a Jiří ZELINGER. *Technologie zpracování a vlastnosti plastů: celostátní vysokoškolská příručka pro vysoké školy chemickotechnologické, studijní obor 28-10-8 Technologie výroby a zpracování polymerů*. 1. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1989.
39. ŠVORČÍK, . Polymery. In: *Vysoká škola chemicko-technologická v Praze: Ústav inženýrství pevných látek* [online]. 2012 [cit. 2016-02-08]. Dostupné z: <http://old.vscht.cz/ipl/osobni/svorcik/Polymery.pdf>
40. Tatra modro červená [obrázek]. In: *Moje Tatra* [online]. 2014 [cit. 2016-02-06]. Dostupné z: http://mojetatra.cz/galerie/big_image/cerveno_mordra_tatra_01.jpg
41. Tváření plastů a výroba forem I.. 14220 [online]. 2014 [cit. 2016-04-08]. Dostupné z: <http://www.14220.cz/technologie/tvareni-plastu-a-vyroba-forem-i/>
42. Válcování. In: *Katedra strojírenské technologie Technické univerzity v Liberci* [online]. 2008 [cit. 2016-02-12]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/10.htm
43. Variabilní náklady. In: *Firemní slovník.cz* [online]. 2015 [cit. 2016-05-17]. Dostupné z: <http://www.firemnislovník.cz/v/variabilni-naklady/>
44. Vstřikovací lis na plasty. *Lis na plasty* [online]. 2015 [cit. 2016-03-09]. Dostupné z: <http://www.lis-na-plasty.cz/>
45. Vstřikování plastů. *Katedra strojírenské technologie technické univerzity v Liberci* [online]. 2008 [cit. 2016-02-12]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/04.htm
46. WEISS, Viktorie a Elena STŘIHAVKOVÁ. *Polymery*. Vyd. 1. Ústí nad Labem: Univerzita J.E. Purkyně, Fakulta výrobních technologií a managementu, 2014. ISBN 978-80-7414-738-8.
47. What Is Injection Moulding?. *A+Plastics* [online]. 2012 [cit. 2016-02-29]. Dostupné z: <http://www.apluspastics.com.au/about-us/what-is-injection-moulding>
48. ZEMAN, Lubomír. *Vstřikování plastů: úvod do vstřikování termoplastů*. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2009. ISBN 978-80-7300-250-3.
49. Zpracování plastů. In: *Katedra strojírenské technologie Technické univerzity v Liberci: Oddělení tváření kovů a plastů* [online]. 2013 [cit. 2016-02-07]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/stud_materialy/tzn/c1/ZPL1.pdf

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

Označení	Jednotka	Popis
a_{eff}	[mm ² /s]	Efektivní teplotní vodivost
A_{proj}	[mm ²]	Plocha průřezu tvarové dutiny
C_1	[Kč]	Cena jednoho výrobku
C_E	[Kč/€]	Měnový kurz
C_f	[Kč]	Cena vstřikovací formy
C_p	[kg/hod]	Minimální plastikační kapacita stroje
C_{PA}	[Kč]	Cena materiálu
C_{pr}	[Kč/hod]	Cena provozu stroje
C_s	[Kč]	Cena stroje
D_s	[mm]	Průměr šneku
E	[MPa]	Modul pružnosti
f_C	[mm]	Maximální délka toku taveniny
F_u	[kN]	Uzavírací síla
G	[g]	Hmotnost dílce
K	[-]	Koeficient využití výrobního času
K_a	[g/cm ³]	Faktor navýšení taveniny
K_{CV}	[kJ/m ²]	Vrubová houževnatost 23°C/-30°C
K_f	[bar/mm]	Faktor schopnosti tečení
L	[mm]	Délka šneku
L_f	[mm]	Rozměr v dutině
L_s	[mm]	Délka dráhy pohybu šneku
L_v	[mm]	Rozměr výrobku
M	[Kč/hod]	Hrubá mzda operátora
m_{mat}	[kg]	Množství spotřebovaného materiálu
N	[ks]	Velikost produkce
n_1	[-]	Násobnost dle požadovaného termínu dodání
$N_{1\text{var}}$	[Kč]	Variabilní náklady jednoho výstřiku
n_2	[-]	Násobnost dle kapacity vstřikovacího stroje
n_3	[-]	Násobnost dle plastikační kapacity stroje
n_4	[-]	Násobnost dle uzavírací síly
N_{celk}	[Kč]	Celkové výrobní náklady
N_f	[Kč]	Náklady na amortizaci vstřikovací formy
N_{mat}	[Kč]	Náklady spotřebovaného materiálu
N_{mzdy}	[Kč]	Náklady na mzdu operátora
$N_{\text{nepř}}$	[Kč]	Celkové nepřímé náklady
N_{od}	[Kč]	Náklady na odbytovou režii
N_{os}	[Kč]	Podíl z ročního odpisu stroje
N_{pr}	[Kč]	Celkové náklady na provoz stroje

Označení	Jednotka	Popis
$N_{př}$	[Kč]	Celkové přímé náklady
N_{sr}	[Kč]	Náklady na správní režie
N_{vr}	[Kč]	Náklady na výrobní režie
P_A	[MPa]	Tvářecí tlak
p_f	[bar]	Minimální vstřikovací tlak
p_i	[MPa]	Tlak v dutině formy
p_v	[MPa]	Vstřikovací tlak
p_z	[MPa]	Zbytkový tlak
Q	[ks]	Množství produkce v bodě zvratu
Q_p	[kg.h ⁻¹]	Plastikační kapacita stroje
Q_v	[cm ³]	Vstřikovací kapacita stroje
R_m	[MPa]	Pevnost v tahu
S	[mm ²]	Plocha průmětu výstřiku
s	[mm]	Tloušťka stěny
S_L	[%]	Lineární smrštění
t_c	[s]	Doba vstřikovacího cyklu
t_{cp}	[hod]	Celkový čas produkce
T_E	[°C]	Teplota odformování
T_f	[°C]	Teplota viskózního toku
T_F	[°C]	Teplota formy
T_g	[°C]	Teplota skelného přechodu
t_{chl}	[s]	Doba chlazení
T_m	[°C]	Teplota tání
t_m	[s]	Doba vyjmutí
T_M	[°C]	Teplota taveniny
t_o	rok	Doba odpisu stroje
t_p	hod	Předpokládaná doba produkce
t_{pl}	[s]	Doba plastikace
t_s	[s]	Strojní čas
t_{st}	[hod]	Strojní čas produkce
T_{tav}	[°C]	Teplota taveniny
t_v	[s]	Doba plnění
V	[cm ³]	Objem výstřiku
v	[m/s]	Maximální obvodová rychlost šneku
V_D	[cm ³]	Vstřikovaný objem taveniny
V_k	[cm ³]	Objem vtokového zbytku
v_m	[cm ³ .s ⁻¹]	Objemová vstřikovací rychlost
z	[%]	Požadovaný zisk
z_1	[Kč]	Zisk z jedné součásti
Z_{celk}	[Kč]	Celkový zisk

Označení	Jednotka	Popis
$\check{Z}_f$	[-]	Životnost formy
ε	[%]	Tažnost
ρ	[g.cm ³]	Hustota plastu
σ_1	[MPa]	Napětí v místě vzniku deformace 1%
σ_{kt}	[MPa]	Mez kluzu
σ_{Pt}	[MPa]	Mez pevnosti

Zkratka	Popis
ABS	Akrylonitrilbutadienstyren
EP	Epoxidová pryskyřice
HDPE	Polymery s vysokou hustotou
LDPE	Polymery s nízkou hustotou
NR	Přírodní pryž
PA	Polyamid
PC	Polykarbonát
PE	Polyethylen
PET	Polyethylentereftalát
PMMA	Polymethylmetakrylát
PP	Polypropylen
PS	Polystyren
PTFE	Polytetrafluoretylen
PUR	Polyuretan
PUR (T)	Termoplastický polyuretanový elastomer
PVC	Polyvinylchlorid
SBR	Butadienstyrenový kaučuk
TPE	Termoplastický elastomer
UP	Nenasycený polyester

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Příklady výrobků z plastu	9
Obr. 2 Příčník střešního nosiče	10
Obr. 3 Základní rozměry těla svorky příčníku	10
Obr. 4 Lisování plastů	11
Obr. 5 Odlévání plastů	11
Obr. 6 Válcování plastů.....	12
Obr. 7 Extrudér.....	12
Obr. 8 Vstřikování plastů	12
Obr. 9 Vznik polymeru.....	13
Obr. 10 Princip polymerace etylénu.....	13
Obr. 11 Princip polykondenzace fenolformaldehydové pryskyřice	14
Obr. 12 Princip vzniku polyuretanu (PUR).....	14
Obr. 13 Lineární řetězec	15
Obr. 14 Rozvětvený řetězec	15
Obr. 15 Zesíťovaný řetězec	15
Obr. 16 Nadmolekulární struktura	16
Obr. 17 Vliv teploty na strukturu	16
Obr. 18 Semikrystalický termoplast.....	16
Obr. 19 Amorfni termoplast.....	16
Obr. 20 Reaktoplast.....	17
Obr. 21 Elastomer (pryž).....	17
Obr. 22 Závislost modulu pružnosti a celkové tažnosti na teplotě amorfního termoplastu	18
Obr. 23 Závislost modulu pružnosti a celkové tažnosti na teplotě amorfního termoplastu	18
Obr. 24 Vliv zesíťování na modul pružnosti	19
Obr. 25 Závislost napětí na deformaci v tahu	19
Obr. 26 Závislost vrubové houževnatosti na teplotě	19
Obr. 27 Průběh kríkové zkoušky	20
Obr. 28 Vliv navlhavosti na pevnost PA66.....	20
Obr. 29 Barviva	21
Obr. 30 Nadouvadla	22
Obr. 31 Skleněná vlákna v plastu.....	22
Obr. 32 Princip vstřikování	23
Obr. 33 Průběh vstřikovacího cyklu.....	23
Obr. 34 Rozsah objemu vstřikované dávky	24

Obr. 35 Laminární tok	24
Obr. 36 Rychlost toku taveniny	24
Obr. 37 Vliv doby přepnutí dotlaku	25
Obr. 38 Doba chlazení v závislosti na tloušťce stěny	25
Obr. 39 Schéma vstřikovacího stroje	26
Obr. 40 Vstřikovací jednotka	26
Obr. 41 Pásma šneku	26
Obr. 42 Princip zpětného ventilu	27
Obr. 43 Mechanická uzavírací jednotka	27
Obr. 44 Orientace skelných vláken	28
Obr. 45 Anizotropie smrštění plněných a neplněných plastů	28
Obr. 46 Příklad vstřikovací formy	29
Obr. 47 Základní popis vstřikovací formy	29
Obr. 48 Uspořádání vtokové soustavy	31
Obr. 49 Studená vtoková soustava	31
Obr. 50 Druhy ústí vtoků	31
Obr. 51 Vyhřívání vtokové soustavy	32
Obr. 52 Vyhřívání trysek	32
Obr. 53 Druhy ústí vyhřívání vtokových trysek	32
Obr. 54 Vliv hustoty kanálků na rovnoměrnost teploty	33
Obr. 55 Přepážky temperačního systému	33
Obr. 56 Vyhazovací kolíky	34
Obr. 57 Místa uzavřeného vzduchu při plnění dutiny formy	34
Obr. 58 Umístění dělicí roviny	36
Obr. 59 Analýza vhodnosti umístění vtoků	36
Obr. 60 Umístění vtoků	36
Obr. 61 Simulace plnění tvarové dutiny	37
Obr. 62 Maximální délka toku taveniny	38
Obr. 63 Složení tvarové dutiny	41
Obr. 64 Základní rám vstřikovací formy	42
Obr. 65 Vyhazovací systém	43
Obr. 66 Rozmístění vyhazovacích kolíků	43
Obr. 67 Umístění vyhřívání vtokové soustavy	44
Obr. 68 Sestava vyhřívání vtokové soustavy	44
Obr. 69 Deska horké vtokové soustavy	45

Obr. 70 Simulace kvality chlazení	45
Obr. 71 Rozložení temperačních kanálků	46
Obr. 72 Výstupy temperačních okruhů	46
Obr. 73 Manipulační prvek	47
Obr. 74 Pevnostní analýza manipulačního segmentu v programu Inventor 2016	47
Obr. 75 Kvalita zaplnění dutiny	48
Obr. 76 Tlaková ztráta uvnitř tvarových dutin	48
Obr. 77 Teplota taveniny při vstřikování	49
Obr. 78 Kvalita temperačního systému	49
Obr. 79 Rozložení teplot na stěnách dutiny	50
Obr. 80 Deformace smrštěním	50
Obr. 81 Umístění formy do stroje	51
Obr. 82 Podíly z celkových výrobních nákladů	56
Obr. 83 Graf závislosti výše nákladů a tržeb na velikosti produkce	57

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Tabulka základních typů plastů.....	17
Tab. 2 Základní značky typů plniv	22
Tab. 3 Doporučené teploty formy podle typu plastu.....	33
Tab. 4 Základní vlastnosti PA 6 + 30% skleněných vláken.....	35
Tab. 5 Chemické složení oceli 1.2083	41
Tab. 6 Seznam materiálů jednotlivých částí rámu vstřikovací formy.....	42
Tab. 7 Základní parametry vstřikovacího stroje.....	51
Tab. 8 Technologický postup	52
Tab. 9 Údaje pro výpočty výrobních nákladů	53
Tab. 10 Dílčí náklady na vstřikovací formu.....	54

SEZNAM PŘÍLOH

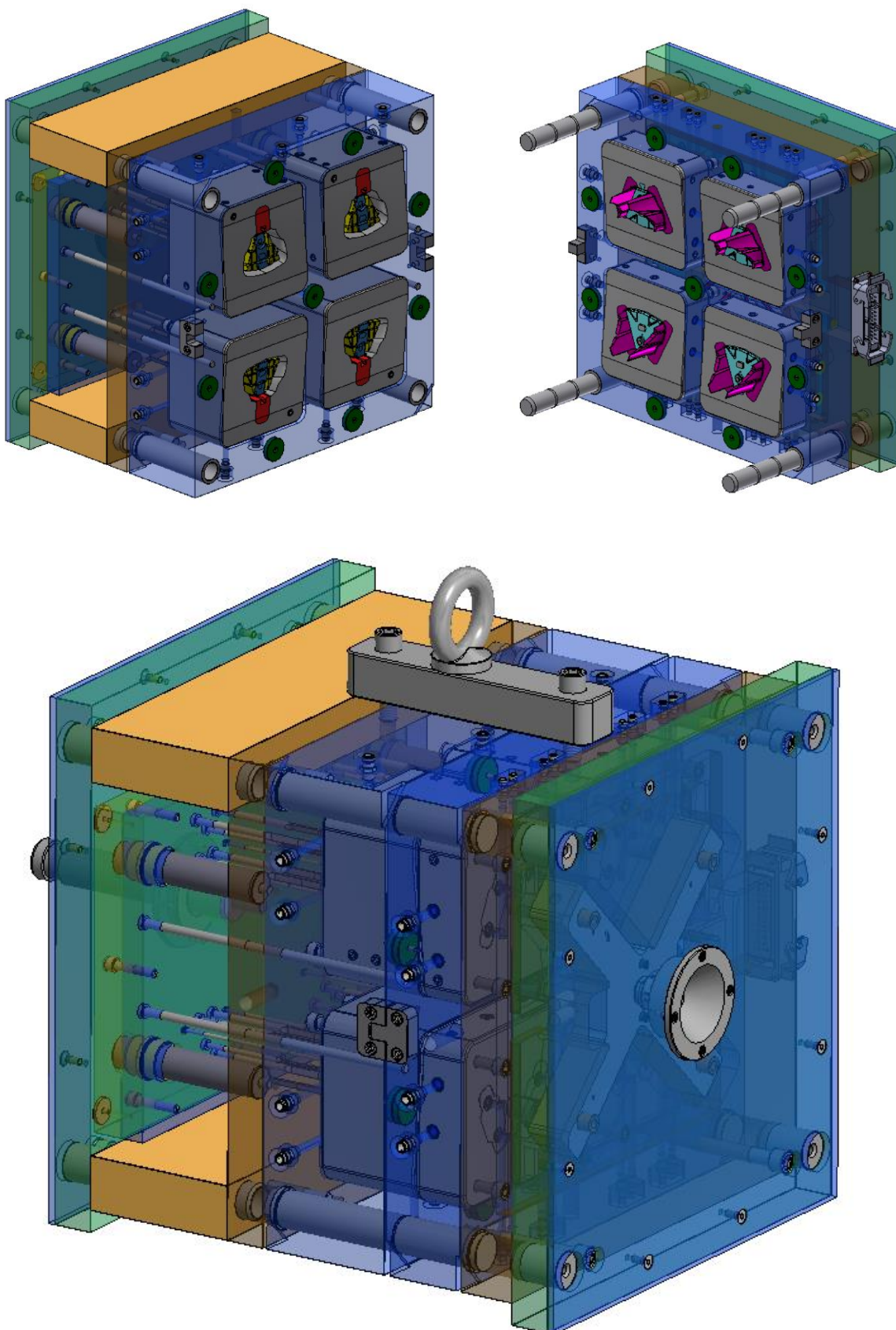
Příloha 1	3D obrázky navržené formy	(3 strany)
Příloha 2	Materiálový list plastu Ultramid B3WG6	(2 strany)
Příloha 3	Katalogový list stroje Arburg Allrounder 570 S	(4 strany)

SEZNAM VÝKRESŮ

145567-D-16-500	Držák střešního nosiče
145567-D-16-000	Vstřikovací forma
145567-D-16-100	Pevná část formy
145567-D-16-200	Pohyblivá část formy
145567-D-16-005	Tvarová vložka - pevná
145567-D-16-016	Tvarová vložka – pohyblivá

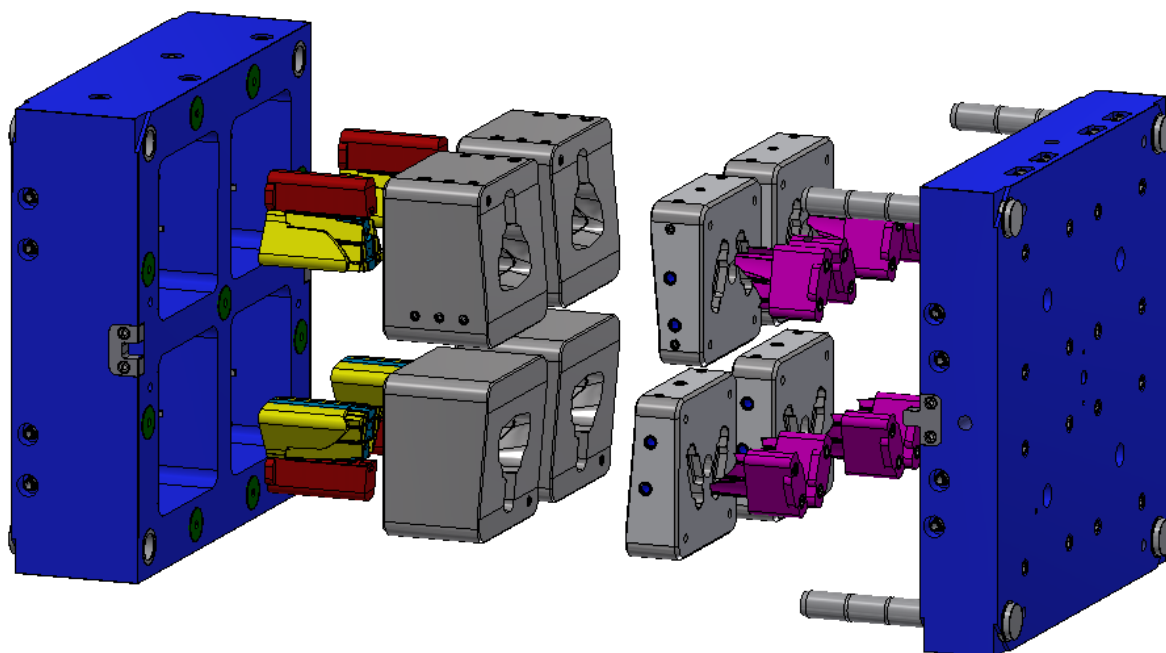
Příloha 1 (1/3)

Návrh vstřikovací formy:

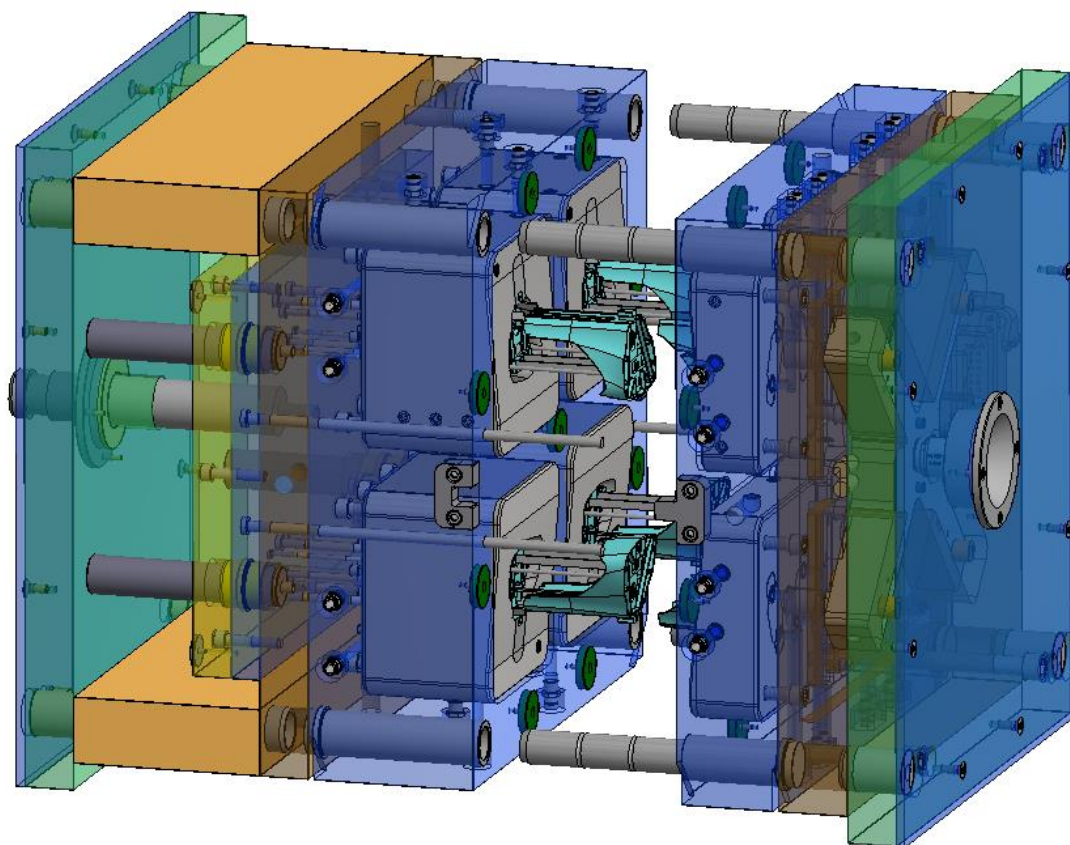


Příloha 1 (2/3)

Složení tvarových desek:

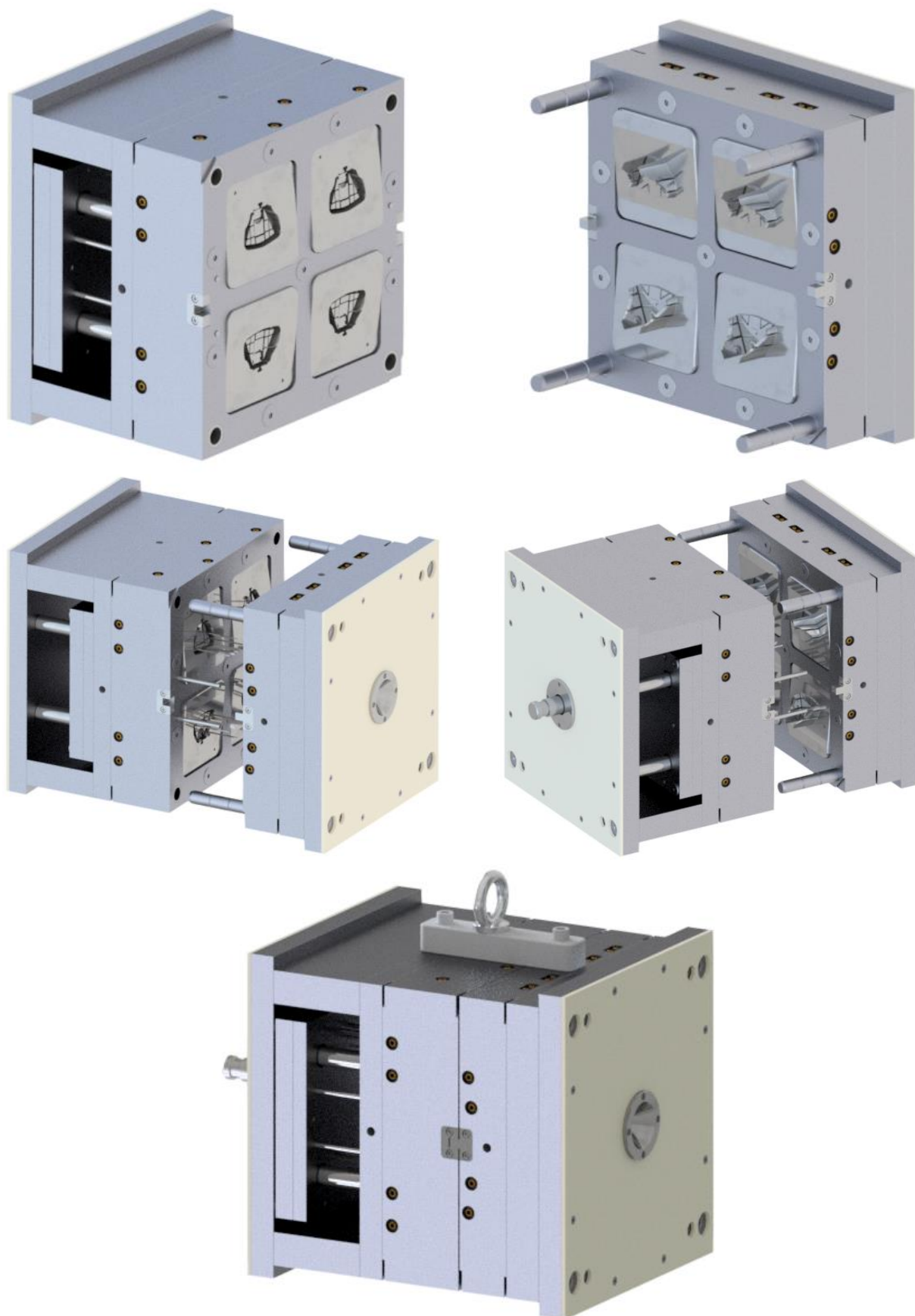


Otevřená forma při vyhazování výstřiku:



Příloha 1 (3/3)

3D vizualizace:



Příloha 2 (2/2)

CAMPUS® Datasheet

Ultrad® B3WG6 - PA6-GF30
BASF



Product Texts

Glass fibre reinforced and heat ageing resistant injection moulding grade used e.g. for automobile manifolds and pedals.

Rheological properties	dry / cond	Unit	Test Standard
Melt volume-flow rate	30 / *	cm ³ /10min	ISO 1133
Temperature	275 / *	°C	ISO 1133
Load	5 / *	kg	ISO 1133
Molding shrinkage, parallel	0.3 / *	%	ISO 294-4, 2577
Molding shrinkage, normal	0.8 / *	%	ISO 294-4, 2577
Mechanical properties	dry / cond	Unit	Test Standard
Tensile Modulus	9500 / 6200	MPa	ISO 527-1/-2
Stress at break	185 / 115	MPa	ISO 527-1/-2
Strain at break	3.5 / 8	%	ISO 527-1/-2
Charpy impact strength, +23°C	95 / 110	kJ/m ²	ISO 179/1eU
Charpy impact strength, -30°C	80 / 85	kJ/m ²	ISO 179/1eU
Charpy notched impact strength, +23°C	15 / 30	kJ/m ²	ISO 179/1eA
Charpy notched impact strength, -30°C	11 / 10.2	kJ/m ²	ISO 179/1eA
Thermal properties	dry / cond	Unit	Test Standard
Melting temperature, 10°C/min	220 / *	°C	ISO 11357-1/-3
Temp. of deflection under load, 1.80 MPa	210 / *	°C	ISO 75-1/-2
Temp. of deflection under load, 0.45 MPa	220 / *	°C	ISO 75-1/-2
Vicat softening temperature, 50°C/h 50N	220 / *	°C	ISO 306
Coeff. of linear therm. expansion, parallel	22.5 / *	E-6/K	ISO 11359-1/-2
Coeff. of linear therm. expansion, normal	65 / *	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	22.5 / *	%	ISO 4589-1/-2
Electrical properties	dry / cond	Unit	Test Standard
Relative permittivity, 1MHz	3.8 / 6.8	-	IEC 60250
Dissipation factor, 100Hz	230 / 2200	E-4	IEC 60250
Dissipation factor, 1MHz	230 / 2200	E-4	IEC 60250
Volume resistivity	1E13 / 1E10	Ohm*m	IEC 60093
Surface resistivity	* / 1E10	Ohm	IEC 60093
Electric strength	41 / 31	kV/mm	IEC 60243-1
Comparative tracking index	- / 450	-	IEC 60112
Other properties	dry / cond	Unit	Test Standard
Water absorption	6.6 / *	%	Sim. to ISO 62
Humidity absorption	2.1 / *	%	Sim. to ISO 62
Density	1360 / -	kg/m ³	ISO 1183
Material specific properties	dry / cond	Unit	Test Standard
Viscosity number	140 / *	cm ³ /g	ISO 307, 1157, 1628
Rheological calculation properties	Value	Unit	Test Standard
Thermal conductivity of melt	0.21	W/(m K)	-
Spec. heat capacity melt	2130	J/(kg K)	-
Ejection temperature	160	°C	-
Test specimen production	Value	Unit	Test Standard
Injection Molding, melt temperature	280	°C	ISO 294
Injection Molding, mold temperature	80	°C	ISO 10724
Injection Molding, injection velocity	200	mm/s	ISO 294

Příloha 2 (2/2)

Characteristics	
Processing Injection Molding	Special Characteristics Heat stabilized or stable to heat
Delivery form Pellets	Regional Availability North America, Europe, Asia Pacific, South and Central America, Near East/Africa
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	
PROCESSING	
injection molding, Melt temperature, range: 270 - 290 °C	
injection molding, Melt temperature, recommended: 280 °C	
injection molding, Mold temperature, range: 80 - 90 °C	
injection molding, Mold temperature, recommended: 80 °C	
injection molding, Dwell time, thermoplastics: 10 min	

Příloha 3 (2/4)

ALLROUNDER 570 S

Distance between tie bars: 570 x 570 mm

Clamping force: 1600, 2000, 2200 kN

Injection unit (acc. to EUROMAP): 400, 800, 1300

Clamping unit			570 S		
with clamping force	max. kN		1600	2000	2200
Opening force stroke	max. kN mm		520 650		
Mould height, fixed variable	min. mm		250 ---		
Platen daylight fixed variable	max. mm		900 ---		
Distance between tie bars (w x h)	mm		570 x 570		
Mould mounting platens (w x h)	max. mm		795 x 795		
Weight of movable mould half	max. kg		1400		
Ejector force stroke	max. kN mm		70 200		
Dry cycle time EUROMAP ²	1 pump	min. s - mm	3,1 2,8 - 399		
	2 pumps	min. s - mm	2,4 - 399		
	Accum.	min. s - mm	2,3 - 399		

Injection unit			400			800			1300		
with screw diameter	mm		35	40	45	45	50	55	55	60	70
Effective screw length	L/D		23	20	18	22	20	18	22	20	17
Screw stroke	max. mm		160			200			235		
Calculated stroke volume	max. cm ³		154	201	254	318	392	474	558	664	904
Shot weight	max. g PS		141	184	232	291	359	434	510	607	826
Material throughput	max. kg/h PS		25	29	35	46	53	59	86	96	115
	max. kg/h PA6.6		12,5	15	17,5	23	27	30	43	48	58
Injection pressure	max. bar		2500	2000	1580	2470	2000	1650	2380	2000	1470
Holding pressure	max. bar		2500	2000	1580	2470	2000	1650	2380	2000	1470
Injection flow ²	1 pump	max. cm ³ /s	128	168	212	138 174	170 214	208 260	---		
	2 pumps	max. cm ³ /s	128	168	212	138 174	170 214	208 260	238	284	388
	Accum.	max. cm ³ /s	492	642	814	530	656	792	714	848	1156
Screw circumferential speed ²	1 pump	max. m/min	47	53	60	45 54	50 60	55 66	---		
	2 pumps	max. m/min	52	60	67	45 54	50 60	55 66	40	43	51
	Accum.	max. m/min	16	19	21	15	17	19	19	21	25
Screw torque	max. Nm		480	550	610	880			1510	1640	1920
Nozzle contact force retraction stroke	max. kN mm		60 400			70 400			90 550		
Heating capacity zones	kW		9,4 5			19,9 8			22,9 8		
Feed hopper	l		50			50			50		

Drive and connection			1 pump			2 pumps			Accum.		
with injection unit			400	800		400	800	1300	400	800	1300
Net weight of machine	kg		8350	8650		8350	8650	9850	---		
Emiss. sound press. level DIN EN 201:1997	dB(A)		70 +3			70 +3			70 +3		
Oil filling	l		260			260			390		
Drive power ²	max. kW		30	30		30	30	37	22	30	30
Electrical connection ³		kW	34	53		42	53	63	34	53	55
	Total	A	80	125		100	125	125	80	125	125
	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
570 S 1600-400 800	1 2 Accum.
570 S 2000-400 800	1 2 Accum.
570 S 2200- --- 800 1300	- 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.

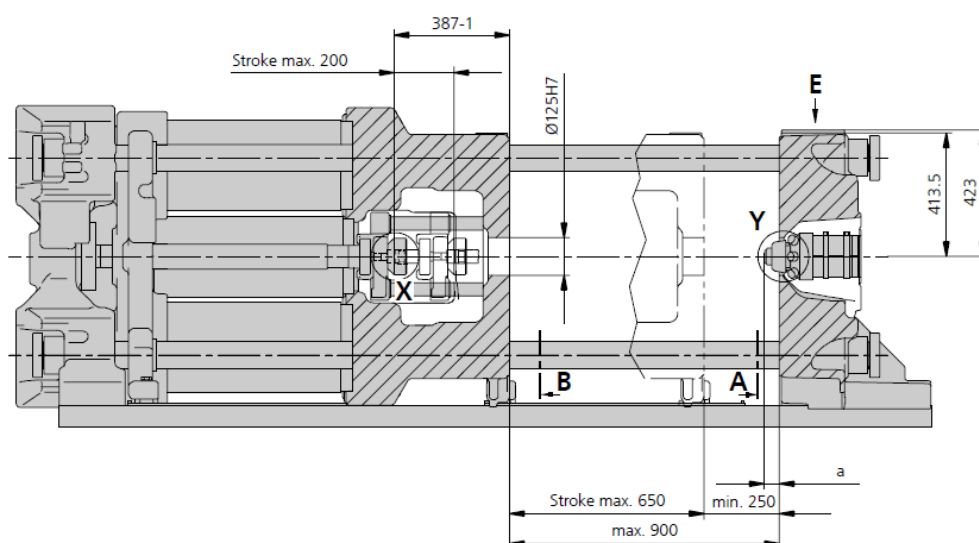
1) Clamping force (kN) - large injection unit = max. stroke volume (cm³) x max. injection pressure (kbar).

2) Specifications depend on drive configuration – the first value applies to lower clamping forces.

3) Specifications relate to 400 V/50 Hz.

[1] Specifications apply to alternative equipment.

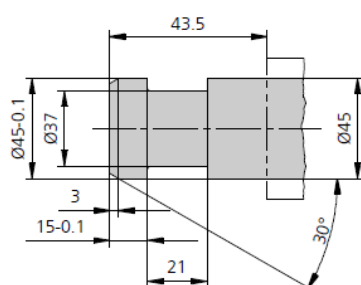
Příloha 3 (2/4)



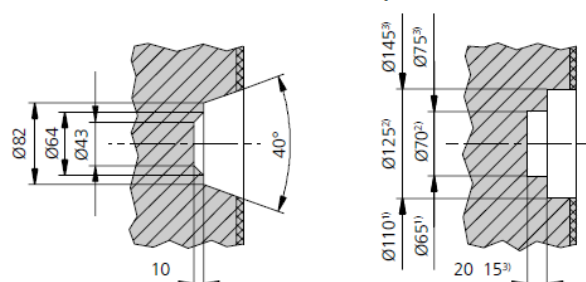
a max.	Injection unit	
	400 / 800	1300
Standard	50	60
Thermoset	50	60

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

Ejector bolt | X

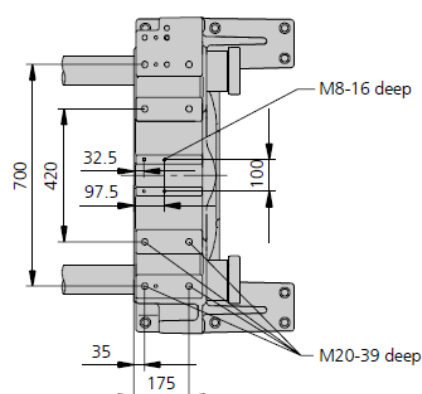


Bore in mould (if required) | Y



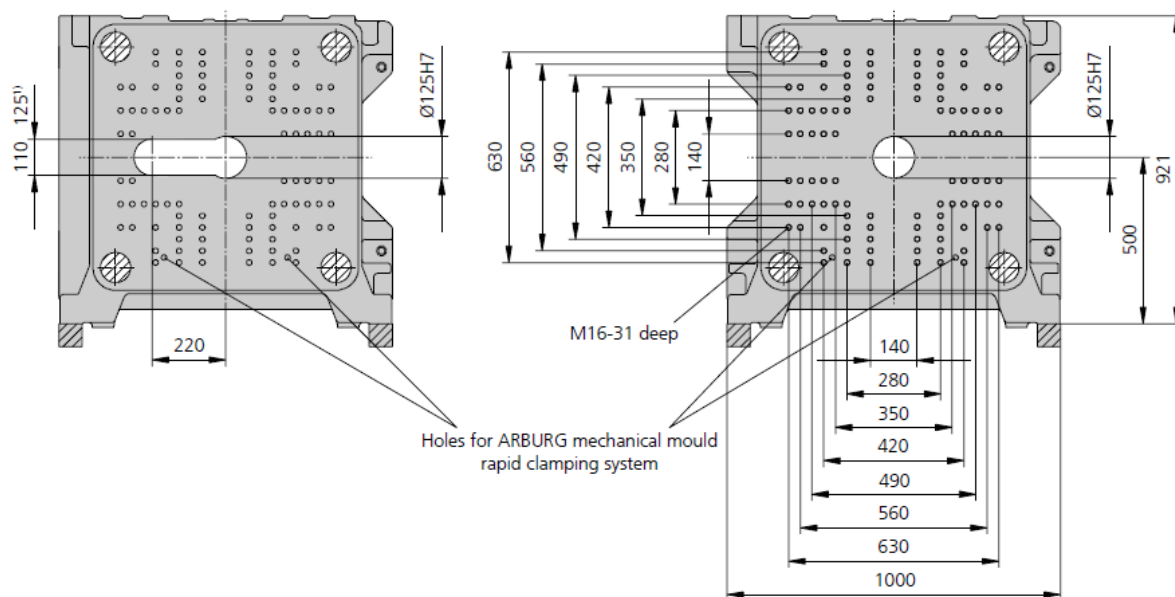
for injection unit 400¹⁾ / 800²⁾ / 1300³⁾
Thermoset version

Robotic system mounting | E

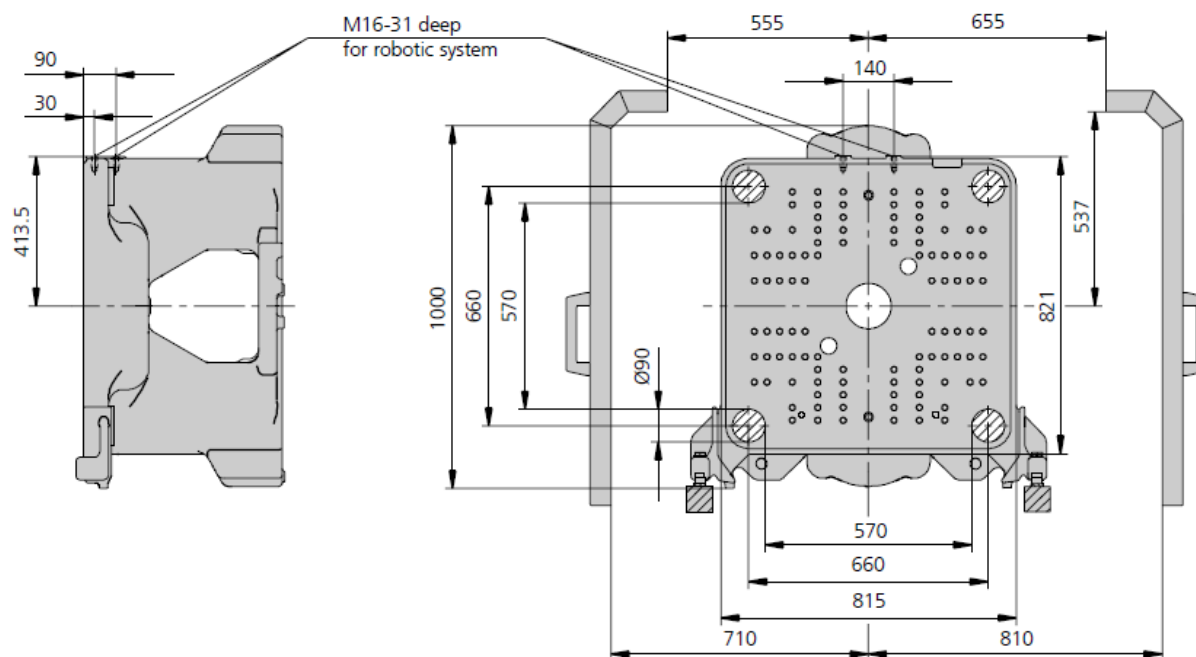


Příloha 3 (4/4)

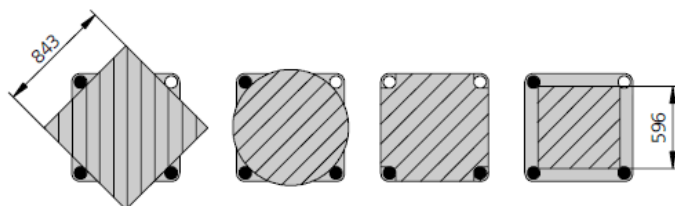
Fixed mould mounting platen | A



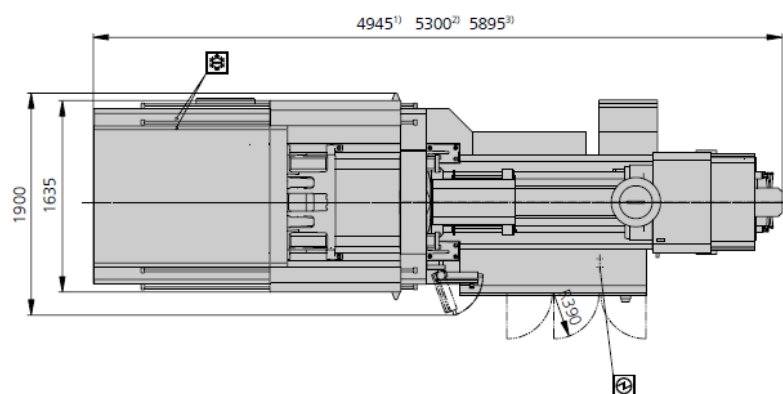
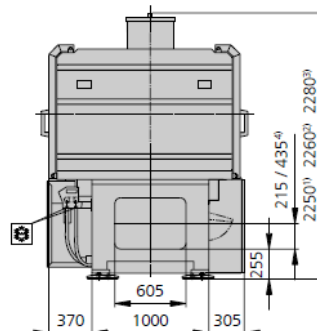
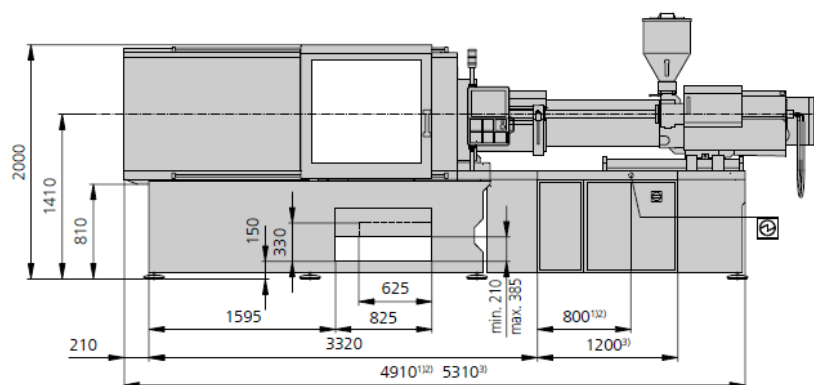
Moving mould mounting platen | B



Useful clamping surface when pulling the tie rods



Příloha 3 (4/4)



Electrical connection



Cooling water connection