

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

TECHNOLOGIE VÝROBY PLASTOVÉHO NÁSTAVCE SE ZÁVITEM

PRODUCTION TECHNOLOGY OF PLASTIC THREADED ADAPTERS

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. TOMÁŠ TUREK

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. BOHUMIL KANDUS

BRNO 2012

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie
Akademický rok: 2011/2012

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Tomáš Turek

který/která studuje v **magisterském navazujícím studijním programu**

obor: **Strojírenská technologie (2303T002)**

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 nástavce se závitem

v anglickém jazyce:

Production technology of plastic threaded adapters

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Na základě zadaného tvaru plastového dílce vypracovat rešerši 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 plastový nástavec se závitem podložený technicko-ekonomickým zhodnocením.

Seznam odborné literatury:

- ŠTĚPEK, Jiří, Jiří ZELINGER a Antonín KUTA. Technologie zpracování a vlastnosti plastů. 1. vyd. Praha, Bratislava: SNTL, Alfa, 1989. 638 s. ISBN DT 678.5(075.8).
- SOVA, Miloš a Josef KREBS. Termoplasty v praxi. 1. vyd. Praha: Verlag Dashöfer, 2001. 2 sv. (580, 425 s.). ISBN 80-86229-15-7.
- ZEMAN, Lubomír. Vstřikování plastů. 1. vyd. Praha: Nakladatelství BEN, 2009. 248 s. ISBN 978-80-7300-250-3.
- MENGES, Georg and Paul MOHREN. How to Make Injection Molds. 2nd ed. München, Wien: Carl Hanser Verlag, 1993. 558 s. ISBN 1-56990-062-0.

Vedoucí diplomové práce: Ing. Bohumil Kandus

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2011/2012.

V Brně, dne 16.11.2011

L.S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

TUREK Tomáš: Technologie výroby plastového nástavce se závitem

Diplomová práce řeší návrh výroby plastového dílu se závitem. Jako nejvhodnější byl vybrán materiál polyformaldehyd (POM) s výrobním označením Delrin 500P NC010 od společnosti Du Pont. Práce obsahuje část informující o technologii vstřikování plastů a část, ve které jsou navrženy zpracovatelské parametry pro výrobu zadaného dílu. Součástí řešení bylo vytvoření modelu sestavy vstřikovací formy. Pro specifický tvar dílu se závitem je forma řešena jako čelist'ová forma. Forma je složena z normalizovaných součástí od společnosti Hasco a DME. Pro velikost série 100000 ks s termínem dodání 5 měsíců bylo z důvodu úspory nákladů navrženo řešení studeného vtokového systému. Z vypočtených hodnot byl vybrán vhodný vstřikovací lis od formy Arburg – typ Allrounder 370S 500-170. V závěru práce byly zhodnoceny náklady na pořízení jednoho Nástavce.

Klíčová slova: vstřikování plastů, vstřikovací lis, vstřikovací forma, čelist'ová forma, studený vtokový systém, Delrin 500P NC010

ABSTRACT

TUREK Tomáš: Production technology of plastic threaded adapters

The Master thesis deals with the possible production of the plastic unit with thread. As the most suitable material was chosen the polyformaldehyde (POM), its production label is Delrin 500P NC010 by Du Pont. The thesis consists of a part with the information about the technology of injection molding of plastics and a part where processing parameters for the production of the plastic unit are designed. Part of the solution was to create an assembly design of injection mold. Since the plastic unit with thread is very specifically shaped the form is handled as a slide mold. The mold is pieced together from normalized parts by the Hasco and DME company. The serie of 100 000 pieces would be delivered in 5 months. Because of the cost savings a solution of the cold-runner system was suggested. A suitable injection molding machine was chosen from the calculated values from Arburgfroms – Type 370s Allrounder 500-170. At the end of the thesis costs were evaluated for acquire per one piece of adapter.

Key words: injection molding, injection molding machine, injection mold, slide mold, cold-runner system, Delrin 500P NC010

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

TUREK, Tomáš. Technologie výroby plastového nástavce se závitem. Brno, 2012. 54 s. Dostupné z: CD. Diplomová práce. FSI VUT v Brně, 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 25.5.2012

.....

Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji panu Ing. Bohumilu Kandusovi za cenné připomínky a rady týkající se zpracování diplomové práce.

OBSAH

Zadání	
Abstrakt	
Bibliografická citace	
Čestné prohlášení	
Poděkování	
Obsah	
ÚVOD [21].....	- 11 -
1 ROZBOR.....	- 12 -
2 PLASTY [1][5][6].....	- 13 -
2.1 Dělení plastů [1][4][5][6][18].....	- 13 -
2.2 Plniva [1] [2] [4].....	- 15 -
2.3 Vlastnosti plastů [2][4].....	- 15 -
2.4 Přechodové teploty [4][6][11].....	- 16 -
2.5 Degradace materiálu za tepla [5][13].....	- 16 -
2.6 Smrštění [2][7][9][13].....	- 17 -
3 TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ [1][6].....	- 19 -
4 VSTŘIKOVACÍ LIS [1][7][9].....	- 20 -
4.1 Vstřikovací jednotka [6][13].....	- 20 -
4.2 Uzavírací jednotka [1][9].....	- 21 -
4.3 Volba velikosti stroje [1][5][7][9].....	- 22 -
4.3.1 Parametry pro určení stroje [5].....	- 22 -
5 KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍ FORMY [3][7][9].....	- 23 -
5.1 Násobnost formy [5].....	- 23 -
5.2 Dutina formy [3][4][7].....	- 24 -
5.3 Vtokový systém [3][4][5][6].....	- 24 -
5.3.1 Studený vtokový systém [3][5][7][9][11].....	- 25 -
5.3.2 Horký vtokový systém [7][9][10][11].....	- 27 -
5.4 Vyhazování výstřiků [5][8][9][11].....	- 28 -
5.4.1 Typy vyhazovačů.....	- 28 -
5.5 Temperační systém [6][8][9].....	- 29 -
5.6 Odvzdušnění [2].....	- 30 -
6 Vstřikovací cyklus [2][5][6][13].....	- 31 -
6.1 Rozdělení fází.....	- 31 -
6.2 Časový průběh vstřikování.....	- 32 -

7 ŘEŠENÍ.....	- 35 -
7.1 Volba technologie [1][3]	- 35 -
7.2 Volba vhodného materiálu [4][12]	- 36 -
7.3 Návrh konstrukčního řešení [5][11]	- 37 -
7.4 Zvolení parametrů pro výrobu.....	- 43 -
7.5 Volba stroje.....	- 51 -
8 TECHNICKO EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ.....	- 52 -
ZÁVĚR.....	- 54 -

Seznam použité literatury

Seznam použitých veličin

Seznam obrázků

Seznam výkresů

Seznam příloh

ÚVOD [21]

Plasty. Každý den jsme v našem běžném životě obklopeni výrobky z plastů. Najdeme je snad v každé oblasti lidského života. Od potravinářství, kde slouží hlavně jako obalový materiál (sáčky, fólie, láhve), přes domácnosti a spotřební elektroniku, počítače, stavebnictví, automobilový průmysl, energetiku, strojírenství a mnoho dalších oblastí.

Plast je materiálem tohoto století. Za posledních několik desetiletí se plasty dočkaly velkého rozmachu a díky pokračujícímu výzkumu a vývoji nových materiálů mají před sebou ještě velkou budoucnost. Plasty jsou dnes tam, kde by to nikdo nečekal. Nahrazují klasické materiály. Jsou lehčí a levnější, přičemž si zachovávají stejné pevnostní a mechanické vlastnosti nebo je dále navyšují. V současné době se stále stupňují nároky na odolnost plastů vůči vyšším teplotám. V automobilech je z celkové hmotnosti až okolo 15 % plastových materiálu. A právě automobilový průmysl je velkým motorem pro výrobu nových materiálů a jejich směsí.

Díky zvyšování pevnosti plastových kompozitů, mohlo dojít u letadel Boeing 787 Dreamliner k výměně 50% kovových materiálu za plasty a tím snížit hmotnost letadla o 10 tun. Lehčí materiály znamenají menší spotřebu pohonných hmot a tím přispění k ekologičtějšímu provozu.

Životnost plastu se značně liší podle oblastí používání. Ve stavebnictví se požaduje až 50 let, zatímco na druhé straně existují bioplasty a biodegradovatelné plasty s životností řádově týdnů. Velkou výhodou je možnost recyklace materiálu. Netříděný a znečištěný je možné přeměnit na energii. Jeho výhřevnost je podobná výhřevnosti výrobku z ropy.

Relativně velké procento výrobků z plastů dnes nelze vyrobit z jiných materiálů.



Obr. 1 Použití plastů [20]

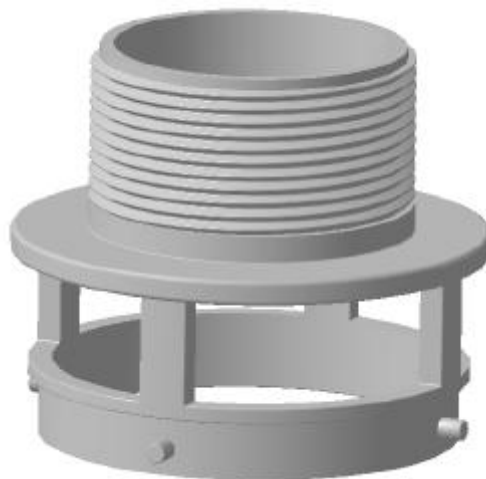
1 ROZBOR

Cílem diplomové práce je návrh technologie výroby zadaného dílce - Nástavce. Součástí práce je i konstrukční návrh formy pro výrobu tohoto dílce.

Základem návrhu formy je zaformování dílu tak, aby bylo možné díl bezproblémově vyhodit z formy. Protože je zadaný dílec rotačně symetrický a v horní, užší části, je vnější závit, je jedinou možností výroby technologie vstřikování. Vhodnou volbou typu formy je čelist'ová forma s tvárníkem. Nástavec je poměrně rozměrný a proto v úvahu připadá použití jedno až dvounásobné formy.

Volba materiálu se bude orientovat podle nároků na pevnost a odolnost proti otěru pro závit, a také na nasákavost z důvodu funkce použití Nástavce.

Požizovací cena vstřikovací formy je vysoká a je rozhodujícím parametrem výrobní ceny dílu. Proto ve snaze snížit cenu na minimum bude forma sestavena z jednotlivých normalizovaných částí nabízených firmami zabývajícími se výrobou forem, jako jsou například Hasco či DME.



Obr. 1.1 Model zadané součásti – Nástavec se závitem

2 PLASTY [1][5][6]

Základem každého plastu je polymer, látka, jejíž struktura je tvořena makromolekulárními řetězci jednoho či více druhů atomů (nejčastěji vodík, uhlík, křemík), vzniklých některou z chemických polyreakcí (polyadice, polykondenzace, polymerace). Polymer propůjčuje plastu základní fyzikální a mechanické vlastnosti. Samotný polymer nelze obvykle zpracovávat, a proto jsou do něj přidány aditiva, která dále ovlivňují vlastnosti plastů.

2.1 Dělení plastů [1][4][5][6][18]

Plasty je možno dělit podle několika kritérií. Zde jsou uvedeny ty nejhlavnější:

Tvar makromolekul

- Lineární

Monomerní molekuly jsou uspořádány v řadách vedle sebe, (viz obr. 2.1). Protože se jednotlivé řetězce mohou k sobě velice dobře přiblížit díky svému prostorovému rozložení a tím spojitěji vyplnit prostor, polymery s tímto typem makromolekul mají vyšší hustotu.

Obvyklou vlastností lineárních polymerů je dobrá rozpustnost a tavitelnost, proto se dají dobře zpracovávat ve formě taveniny, a dále houževnatost v tuhém stavu.

Lineární makromolekuly jsou typické pro určité typy termoplastů. Např. PE, PVC.

- Rozvětvené

Makromolekuly se stejně jako u lineárních skládají vedle sebe, ale díky bočním větvím, které vystupují ze základních makromolekul, se nemohou k sobě dostatečně přiblížit. Proto dosahují nižších hustot. Rozvětvenost dále snižuje pohyblivost makromolekul a tím také tečení ve formě taveniny.

Rozvětvené makromolekuly jsou typické pro určité typy termoplastů. Např. LDPE (nízkohustotní polyetylen).

- Zesítěné

Zde jsou lineární nebo rozvětvené makromolekuly propojeny příčnými vazbami a vytvářejí tak trojrozměrné struktury – prostorovou síť. Polymery s tímto uspořádáním jsou nerozpustné a netavitelné s vysokou tuhostí a tvrdostí. Odolávají zvýšeným teplotám, ale mají malou odolnost proti rázům.

Zesítěné makromolekuly jsou typické pro vulkanizované kaučuky nebo reaktoplasty.



Obr. 2.1 Struktura polymerů [18]

Chování za zvýšených teplot a při působení vnějších sil

- Termoplasty

Polymery, které zahříváním přecházejí z tuhého do plastického stavu a jsou tedy dobře tvářitelné. Při ochlazování zpětně přecházejí do tuhého stavu s nezměněnými mechanickými vlastnostmi. Protože při tomto procesu nedochází ke změně chemických vlastností, je možno termoplasty opakovaně převést do taveniny a ochlazovat opakovaně.

Mezi termoplasty patří: Polyamid (PA), Polyetylen (PE), Polypropylen (PP), Polystyren (PS), Polyvinylchlorid (PVC).

- Reaktoplasty

Polymery, dříve nazývané termosety, které jsou hustě zesíťovány díky chemické reakci za zvýšené teploty. Tvářitelné jsou jen po krátkou dobu. Po ochlazení nelze reaktoplasty roztavit ani rozpustit. Zahříváním materiálu nad určitou mez dochází k jeho degradaci a shoří.

Mezi termoplasty patří: Epoxidové pryskyřice, Fenolové pryskyřice (PF), Polyesterové hmoty.

- Elastomery

Polymery, u kterých při zahřívání dochází k chemické reakci – vulkanizaci. Řetězce makromolekul jsou řídko zesíťovány, což má za následek dobré elastické vlastnosti. Po přerušení napětí se deformovaný elastomer vrátí rychle do původního stavu.

Mezi termoplasty patří: Polyuretanový kaučuk (PUR)

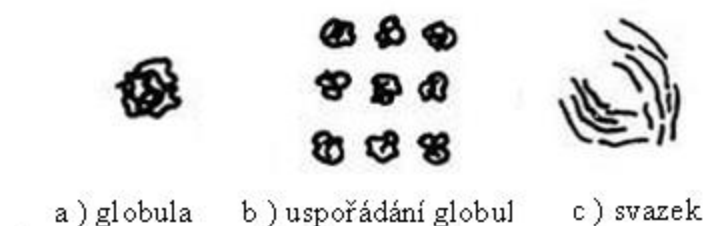
Nadmolekulární struktury (platí jen pro termoplasty)

- Amorfní

Řetězce makromolekul zaujímají zcela nahodilou pozici v prostoru, ve formě klubíček (globul).

Charakteristickými vlastnostmi jsou průhlednost, tvrdost, křehkost, vysoká pevnost, odolnost proti creepu, dobrá vrubová houževnatost a malé smrštění.

Amorfními plasty jsou např. PC, PMMA, PS.



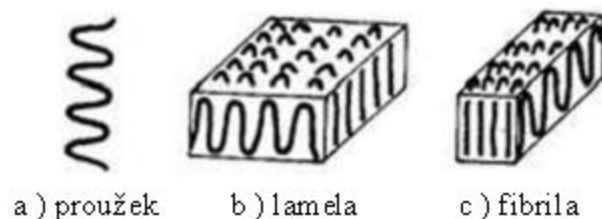
Obr. 2.2 Nadmolekulární struktura amorfních plastů [6]

- Semikrystalické

Vedle převládajících krystalických oblastí, pravidelně a těsně uspořádaných řetězců, se vyskytují makromolekuly amorfně uspořádané. Stupeň krystalinity [%] označuje relativní podíl mezi těmito dvěma uspořádáními. Nikdy nelze dosáhnout 100% krystalického uspořádání v celém objemu plastu.

Charakteristickými vlastnostmi jsou houževnatost a tvrdost rostoucí se stupněm krystalinity, odolnost proti otěru a chemická odolnost, dobrá tvarová stálost.

Semikrystalickými plasty jsou např. PA, PE, POM, PP, PTFE.



Obr. 2.3 Nadmolekulární struktura semikrystalických plastů [6]

2. 2 Plniva [1] [2] [4]

Dalším možným dělením plastů je dělení na:

- plasty plněné (vlastnosti nejsou ovlivněny množstvím přísad)
- plasty neplněné (vlastnosti jsou ovlivněny množstvím přísad)

Plniva, jak jde rozpoznat z výše napsaného, ovlivňují vlastnosti polymerů, jako například fyzikální a mechanické vlastnosti, zpracovatelnost, odolnost, elektrickou vodivost.

Plniva mohou být organická nebo neorganická. Mohou být v podobě prášku (vápenec, grafit, křída, ...), malých částic (skleněné nebo bronzové kuličky) nebo vláken (skelná, uhlíková, textilní). Vlákenná plniva zhoršují zpracovatelnost a mají abrazivní účinky.

Stabilizátory

Chrání před degradací a zvyšují stabilitu a odolnost k termooxidačnímu stárnutí polymeru ve formě taveniny, atmosférickému stárnutí, UV záření a tím prodloužení životnosti součásti. Proces stárnutí se projevuje změnou zbarvení, lesku a mechanických vlastností.

Retardéry hoření

Úkolem retardérů je snížit hořlavost termoplastu nebo zastavit hoření úplně. Retardéry jsou účinné až při vyšších obsazích a proto ovlivňují zpracování.

Maziva

Přísady snižující tření v tavenině. Umožňují řetězcům makromolekul lépe po sobě klouzat. Tímto ovlivňují viskozitu taveniny a usnadňují zpracování. Další druhy maziv se vylučují při vyšších teplotách na povrchu taveniny. Vytvoří tenký film mezi taveninou a povrchem dutiny a usnadňují zaplňování formy a odformování výstřiku.

Změkčovadla (Plastifikátory)

Přidáním změkčovadla snížíme teplotu skelného přechodu, tuhost a tvrdost a zlepšujeme houževnatost, ohebnost a tažnost u zchladlých polymerů. Využití hlavně u PVC.

Barviva a Pigmenty

Přísady dodávající plastu požadovaný barevný odstín a krytí. Barviva jsou v polymeru nebo tavenině rozpustná. Naopak pigmenty jsou v tavenině a rozpouštědlech nerozpustné.

2.3 Vlastnosti plastů [2][4]

Fyzikální i chemické vlastnosti polymerů jsou dány druhem a způsobem vazby monomerů a také vzájemným uspořádáním řetězců makromolekul. Technologické vlastnosti polymerů jsou závislé na molekulové hmotnosti.

Hlavním faktorem, který ovlivňuje vlastnosti plastů je teplota. Dalšími důležitými faktory jsou velikost a doba působení mechanického namáhání a stav, ve kterém se polymer nachází (amorfní, krystalický, kaučukovitý).

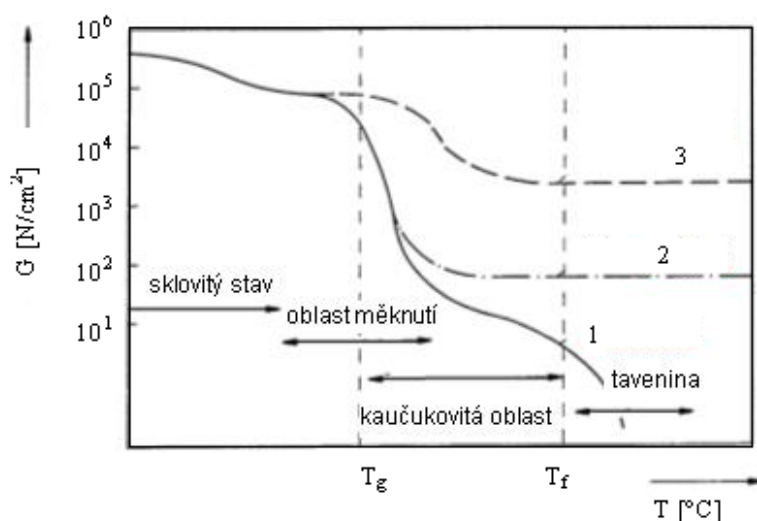
Viskozita klesá s rostoucí teplotou a materiálu se zvyšuje zabíhavost.

2.4 Přejíchodové teploty [4][6][11]

Teplota je jednou z hlavních příčin změn vlastnosti polymerů. U polymerů existují tři stavy, ve kterých se mohou nacházet – sklovitý, kaučukovitý, plastický.

Tyto stavy jsou ohraničeny přejíchodovými teplotami, v jejichž oblastech se velmi rychle mění fyzikální vlastnosti. Tyto teploty jsou:

- T_g – teplota skelného přejíchodu
- T_f – teplota viskózního toku (u amorfních plastů)
- T_m – teplota tání krystalů (u semikrystalických plastů)



1 – amorfní plasty, 2 – semikrystalické plasty, 3 – zesíťované plasty (reaktoplasty)

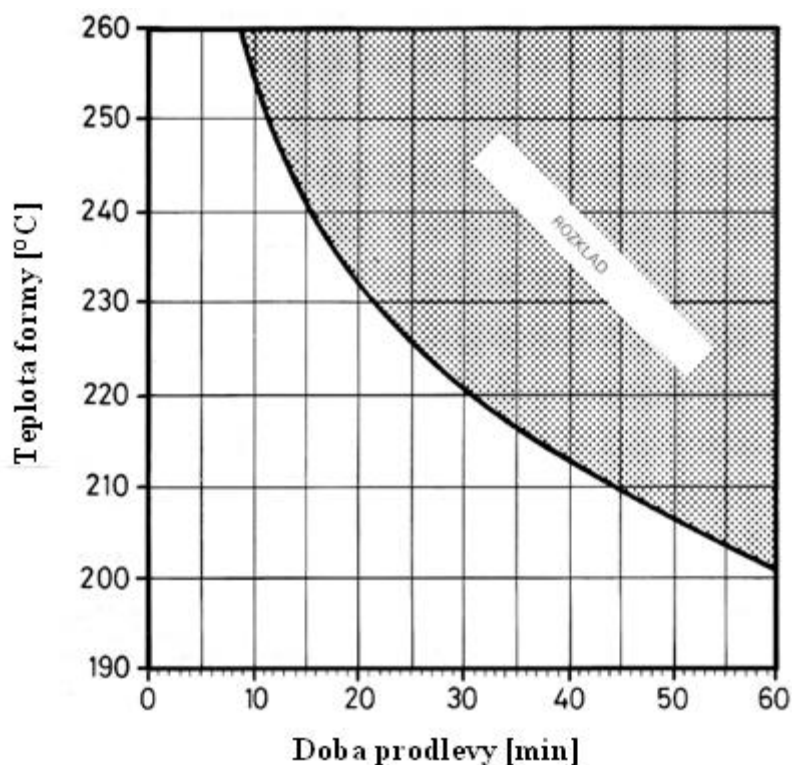
Obr. 2.4 Vliv struktury na modul pružnosti ve smyku [6]

Přejíchod z tuhého (skelného) stavu do stavu kaučukovitého, který je pro termoplasty charakteristický, a následně do stavu tekutého je pro amorfní termoplasty pozvolný, a pro krystalické ostrý.

U reaktoplastů a elastomerů k plastickému přejíchodu nedochází. Tyto typy polymerů nemají plastickou (kaučukovitou) oblast. Při zvyšování teplot dochází k rozpadu vazeb a jejich celkovému rozkladu.

2.5 Degradace materiálu za tepla [5][13]

Polymerní materiály se za působení tepla rozkládají a proto je třeba při jejich zpracování dávat pozor na jejich časovou prodlevu při zvýšených teplotách a použití vhodných podmínek. Ze zkušeností výrobců materiálů byly sestaveny grafy podobné tomu na obrázku 2.5, které ukazují závislost doby prodlevy na teplotě a křivku mezní hodnoty rozpadu materiálu. Z grafu lze vyčíst, že za extrémně vysokých teplot dochází k degradaci materiálu velmi rychle, ale také to, že k degradaci může docházet i za běžných teplot při jejich dlouhodobém působení.



Obr. 2.5 Graf tepelné stability materiálu POM [13]

Doba prodlevy závisí na hmotnosti materiálu v komoře, hmotnosti výstřiku a době cyklu podle rovnice (1).

$$DP = \frac{V_C}{V_D} \cdot \frac{t_c}{60} \quad (1)$$

DP...doba prodlevy materiálu v komoře [min]

V_C ...celkový objem materiálu v komoře [cm³]

V_D ...objem jedné dávky [cm³]

t_c ...doba vstřikovacího cyklu [s]

2.6 Smrštění [2][7][9][13]

Při ochlazování a tuhnutí vstříknutého plastu nastává zmenšování objemu a smršťování hmoty. Smrštění je udáváno v procentech. Smrštění je určeno rozdílem rozměrů zhotovené dutiny formy (studené) a konečnou velikostí výstřiku.

Smrštění dělíme na dvě fáze, viz obr. 2.6:

- výrobní – stanovuje se 24 hodin po odformování výstřiku a tvoří až 90% celkového smrštění
- dodatečné – probíhá delší dobu v závislosti na druhu plastu, měří se nejpozději 168 hodin po odformování

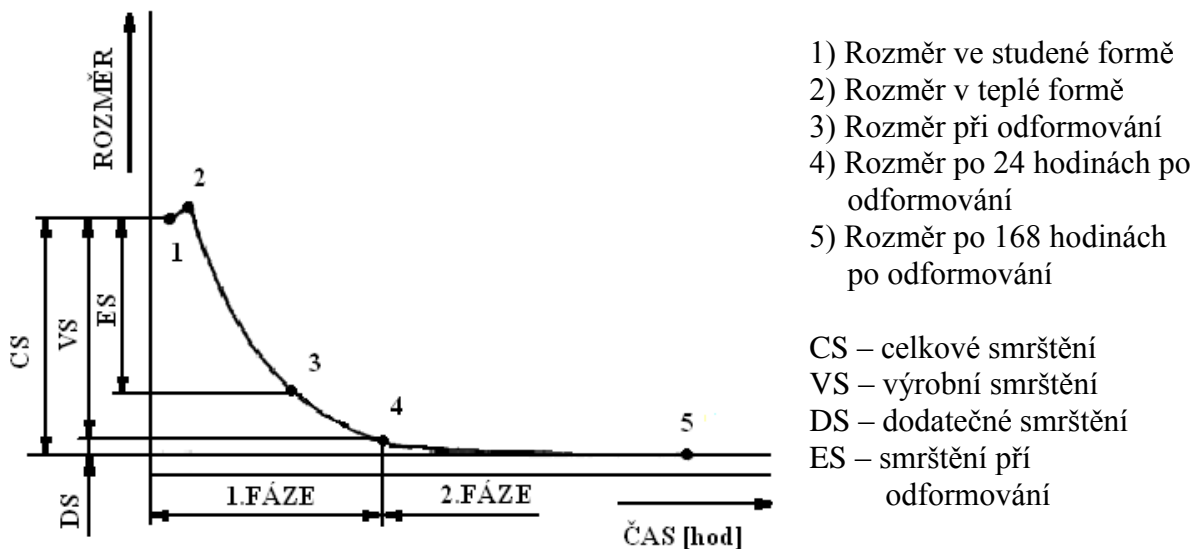
Smrštění nebývá rovnoměrné, zvláště u výstřiků s různou tloušťkou stěn a tvarově složitějších dílů. Rozdílné smrštění nastává ve směru kolmém na směr tečení (tangenciálním) a ve směru tečení (radiálním).

Každý druh plastů má své rozpětí hodnoty smrštění. Amorfnní plasty mají smrštění obecně menší a rovnoměrnější, v rozmezí 0,3-0,5%. U semikrystalických plastů je smrštění větší vlivem uspořádání struktury a její objemovou kontrakcí v rozmezí 0,8-4%.

Smrštění je během procesu vstřikování ovlivňováno mnoha faktory:

- Na zvětšení smrštění má vliv tloušťka stěny a teplota stěny dutiny formy. Ke zvýšení smrštění také nastává, pokud je velikost vtokového ústí menší než optimální hodnota.
- Na zmenšení smrštění má vliv zvyšující se vstřikovací tlak, dotlak a doba jeho působení, teplota taveniny, plniva, ITT.

Smrštění se nemusí projevovat jen jako celkové smrštění výstřiku, ale také jako smrštění lokální, v určité části výstřiku, kde může být původcem propadlin a vnitřních dutin (lunkrů).



Obr. 2.6 Průběh smrštění v závislosti na čase [9]

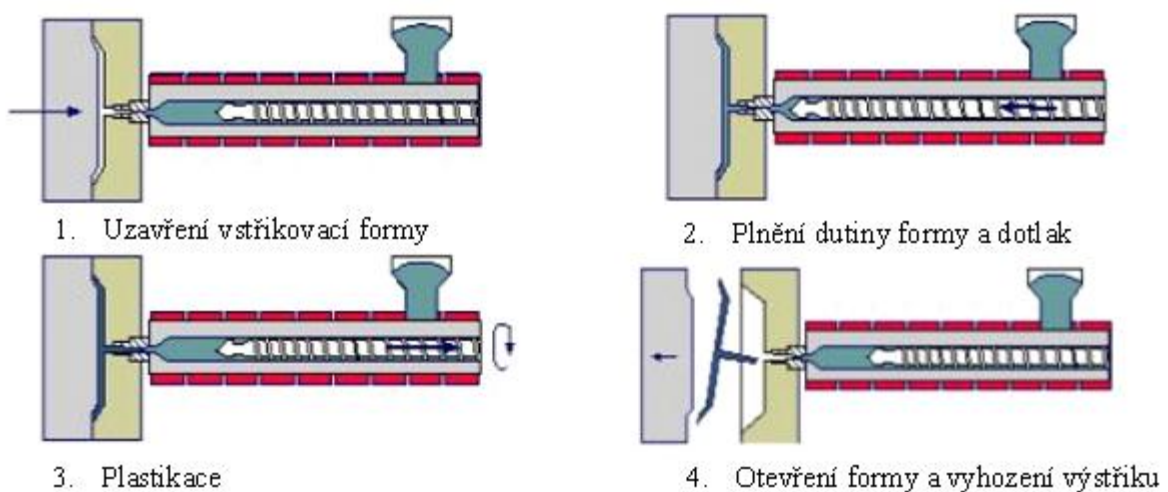
3 TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ [1][6]

Vstřikování patří mezi tvářecí operace a je nejvíce používanou metodou pro zpracování termoplastů. Je možné ho využít i pro výrobu dílů z některých druhů reaktoplastů a elastomerů. Polymerní materiál ve formě granulátu je pomocí tepla a rotačního pohybu šneku zplastizován v homogenní taveninu, která je následně pod tlakem za vysokých rychlostí vstřikována do dutiny uzavřené formy, kterou zcela zaplní. Po dostatečné době působení tlaku a ochlazení výstřiku je forma otevřena a díl je vyhozen.

Vstřikováním lze vyrábět díly s velkou přesností jak tvarovou, tak i rozměrovou. Tvar výstřiků může být jednoduchý i značně složitý. Pomocí speciálních metod můžeme vyrábět díly z několika druhů polymerů nebo barev najednou. Hmotnost dílu se pohybuje v řádech gramů až kilogramů.

Výhodou této technologie je velmi dobrá reprodukovatelnost se zachováním požadovaných vlastností. Doba vstřikovacího cyklu se pohybuje v desítkách sekund v závislosti na velikosti výrobku, tloušťky stěn či násobnosti formy. Technologický proces výroby lze dobře automatizovat. Další výhodou je, že jde o bezodpadovou technologii. Vtokové zbytky lze znovu zpracovat jako tzv. regenerát. Vlastnosti regenerátu jsou o něco horší než u původního materiálu a proto se do něj přimíchává pouze v určitém poměru.

Nevýhodou technologie vstřikování je vysoká pořizovací cena vstřikovacího stroje a také nástrojů – forem. Proto je vhodná hlavně pro velkosériové a hromadné výroby.



Obr. 3.1 Vstřikovací cyklus [6]

4 VSTŘIKOVACÍ LIS [1][7][9]

Moderní vstříkovací stroje mohou být částečně nebo plně automatizované pomocí přídavných zařízení – manipulátorů, robotů, sušáren, dopravníků na výrobky, mlýnů a dalších.

Základní části vstříkovacího stroje jsou:

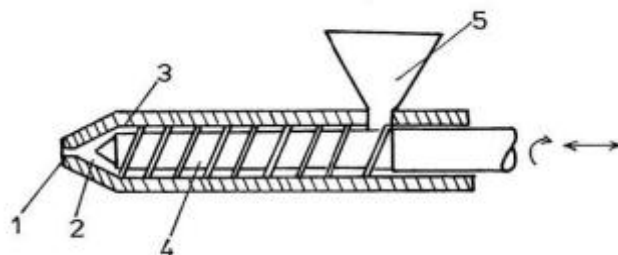
- Vstříkovací a plastikační jednotka
- Uzavírací jednotka
- Řídicí systém a regulace



Obr. 4.1 Vstříkovací lis od firmy Demag [17]

4.1 Vstříkovací jednotka [6][13]

Vstříkovací jednotka se skládá z násypky, šneku, tavicí komory, topení a trysky viz obr. 4.2. Jejím úkolem je přeměnit granulát na taveninu o dané homogenní teplotě i struktuře a vstříknout ji pod velkým tlakem vysokou rychlostí do dutiny formy.



1. vstříkovací tryska, 2. zásobník taveniny, 3. válec, 4. šnek, 5. násypka

Obr. 4.2 Schéma vstříkovací jednotky [16]

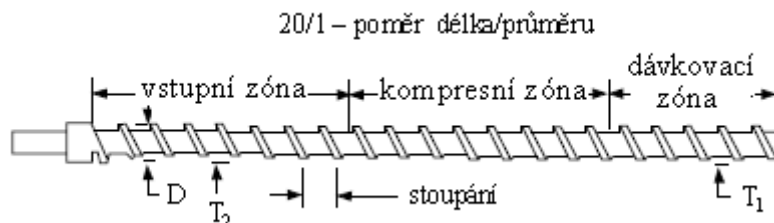
Šnek je pohyblivou částí, která umožňuje plastikaci a vstříkování. Vykonává dva druhy pohybu - rotaci a posun v axiální ose.

Během procesu plastikace šnek rotuje. Tímto pohybem odebere dávku granulátu a posouvá ji směrem k tavicí komoře. Zároveň se pohybuje směrem dozadu a vytváří před čelem šneku prostor pro taveninu.

Když je potřebné množství taveniny nashromážděno, přestává šnek rotovat a začíná se lineárně pohybovat dopředu. Čelo šneku působí jako píst, vytváří na taveninu tlak a tím dochází k jejímu vstříknutí do dutiny.

Šnek je poháněn samostatným pohonem, kterým se také vyvozují tlaky v dutině formy.

Dříve se místo šneků používalo pístu, poté se pro lepší vlastnosti začaly používat šneky. V dnešní době se již používají výhradně šneky diferenciální, charakteristické kompresním poměrem. Mají konstantní průměr, ale mění se jejich stoupání, a nebo se mění průměr šneku a stoupání zůstává stejné.



D – Nominální průměr šneku, T₁ – Hloubka plnicí části, T₂ – Hloubka měřící části

Obr. 4.3 Šnek [12]

Tavící komora je vytápěna obvykle třemi topnými pásmy. Každá část (vstupní, střední a u trysky) je regulovatelná zvlášť, což umožňuje postupné zahřívání taveniny. Konec tavící komory tvoří tryska, která je samostatně vyhřívána. Teplotu taveniny lze měřit více způsoby, ale nejvhodnějším je jehlový pyrometr.

Tryska spojuje plastikační jednotku s formou. Je proto důležité, aby bylo zajištěno její přesné dosednutí do sedla vtokové vložky. Pro správnou funkci musí být průměr trysky a otvoru menší než průměr v sedle vložky. Dále je nutné dodržet jejich sousost.

Tryska může být dvojího typu:

- otevřená (pro vysoce elastické plasty)
- uzavíratelná (otevřená, pokud je vstřikovací jednotka v kontaktu s formou, uzavřená zabraňuje vytékání taveniny z plastikační komory)

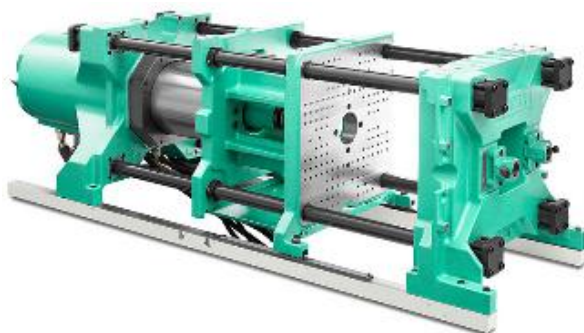
4.2 Uzavírací jednotka [1][9]

Jednotka zajišťující otevírání a zavírání formy a vyvození dostatečné síly na překonání vstřikovacího tlaku tak, aby se při vstřikování taveniny forma nepootvěřela.

Uzavírací jednotka obsahuje opěrnou desku, která je pevně spojena s ložem lisu, pohyblivou upínací desku, která je upnuta na vodící sloupky vedení a uzavírací mechanismus. Lze konstrukčně řešit i formy bez vodících sloupků.

Uzavírání formy musí být co nejrychlejší a zároveň bezpečné, aby nedošlo k porušení dosedacích ploch. Pohyb formy proto musí být řízen.

Mechanismy jednotek mohou být mechanické, hydraulické nebo kombinované hydraulicko-mechanické, v poslední době se začínají používat elektrické.



Obr. 4.4 Hydraulická uzavírací jednotka od firmy Arburg [19]

4.3 Volba velikosti stroje [1][5][7][9]

Zvolení vhodné velikosti a typu stroje závisí na vypočítaných nebo zvolených parametrech, přičemž parametry zvoleného stroje musí být rovny nebo větší než parametry vypočítané.

Hlavní parametry pro výběr jsou uzavírací (přidržovací) síla, průchod taveniny ze stroje do formy, vstřikovací tlak a rychlost, vstřikovaný objem (dávka) taveniny. Dále musí stroj splnit požadavky na konstrukční řešení formy - světlost mezi vodícími sloupky, dostatečný prostor pro otevření formy a dostačující velikost upínacích ploch.

4.3.1 Parametry pro určení stroje [5]

Vstřikovací tlak

Maximální tlak, který může být vyvolán čelem šneku na taveninu před ním v plastikačním válci. [bar] [MPa]

Vstřikovací kapacita

Maximální možný objem materiálu, který může být v průběhu jednoho pracovního cyklu vstříknut z plastikačního válce do vstřikovací formy v závislosti na průměru použitého šneku. [cm³]

Plastikační kapacita

Maximální množství materiálu, který je vstřikovací stroj schopen převést za hodinu na taveninu. [kg/hod], [dm³/hod]

Přidržovací síla

Maximální síla vyvoditelná strojem na přidržení částí uzavírací jednotky, aby během vstřikování nedošlo k vytečení taveniny mimo dutiny. [kN]

Uzavírací síla

Síla, která je vyvozena stejným mechanismem jako síla přidržovací. Uzavírací síla je menší a slouží pro pohyb pohyblivé části formy při jejím uzavírání a otevírání. [kN]

Vyhazovací síla

Maximální síla, kterou lze vyvodit pro vyhazovací soustavu k vyhození výstřiku z formy. [kN]

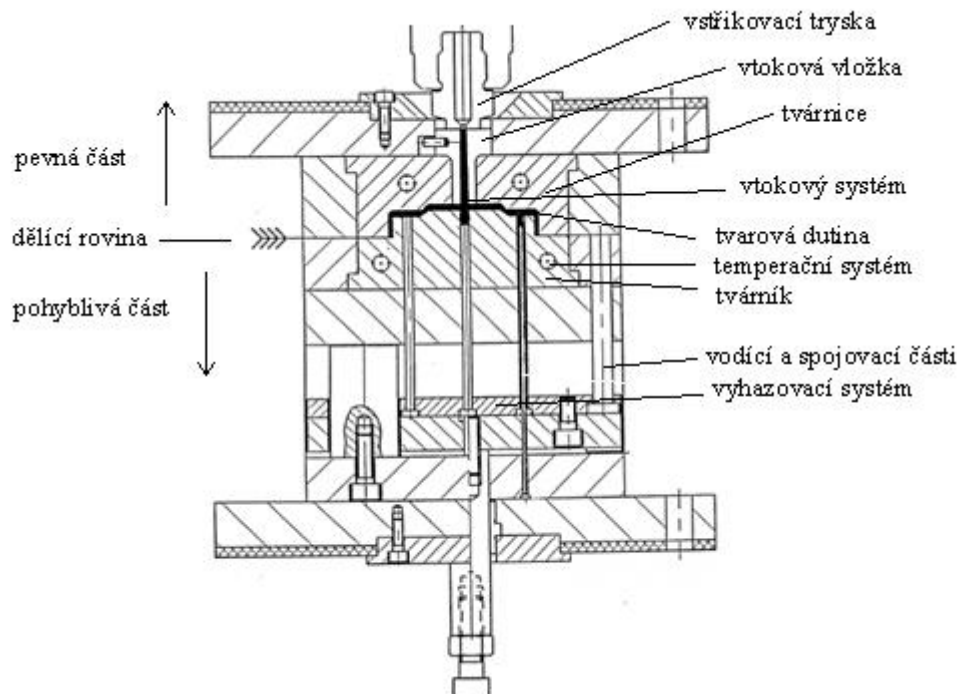
5 KONSTRUKCE VSŘIKOVACÍ FORMY [3][7][9]

Forma je výměnný nástroj dávající vstřikované tavenině plastu po jejím zchladnutí požadovaný tvar. Je složena z pohyblivé a pevné části, které dále obsahují desky, vodící a středící elementy a vyhazovače. Vše je usazeno v rámu, který musí být dostatečně tuhý a pevný. Celá forma je poté upnuta do uzavírací jednotky vstřikovacího lisu.

Forma je konstrukčně i výrobně složitá součást a na její přesnosti závisí rozměrová tolerance výrobku, ekonomika celé výroby a užitné vlastnosti. Během své životnosti musí odolávat vysokým tlakům. Životnost formy je určena počtem pracovních cyklů.

Hlavní částí vstřikovací formy, viz obr. 5.1:

- dutina formy
- vtokový systém
- temperační systém
- vodící a středící elementy
- vyhazovací systém



Obr. 5.1 Vstřikovací forma [20]

5.1 Násobnost formy [5]

Optimální násobnost formy je třeba vyhodnotit z hlediska několik faktorů:

- charakter a požadovaná přesnost výstřiku
- požadované množství výrobků a termín dodání
- vstřikovací a plastikační kapacita a přidržovací síla vstřikovacího stroje
- celkové náklady na výrobu jedno a vícenásobné formy
- provozní náklady strojů

Tvarově náročné a velké výstřiky je vhodné řešit jako jednonásobné formy. Také je třeba mít na paměti, že s násobností formy klesá geometrická přesnost a kvalita výrobku a roste objem materiálu, který zůstane ve vtokových zbytcích.

5.2 Dutina formy [3][4][7]

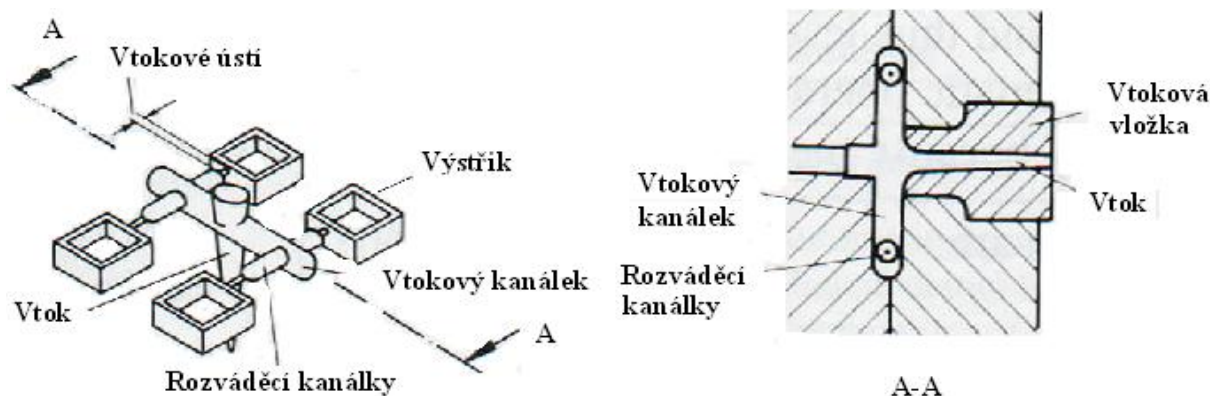
Dutina, která je tvořena tvárnici a tvárníky, je během cyklu vstřikování zcela zaplněna taveninou plastu. Z důvodu smrštění je dutina formy konstruována větší než výsledný výrobek.

Aby bylo možné co nejlépe odformovat a vyhodit výstřik z formy, je třeba dodržet hladkost povrchu dutiny a tvarových vložek a dále také úkoso stěn, které jsou ve směru vyhazování.

Úprava povrchu je důležitá pro výsledný vzhled výrobku. Při vstřikování se povrch formy obtiskne do stěn výstřiku a projeví se každá vada. Vhodnými úpravami lze dosáhnout dezénového povrchu na dílech.

5.3 Vtokový systém [3][4][5][6]

Vtokový systém je systém kanálků, který slouží k dopravě taveniny od výstupního otvoru vstřikovací trysky až do tvarové dutiny. Vtoková soustava je složena z částí - viz obr. 5.2.

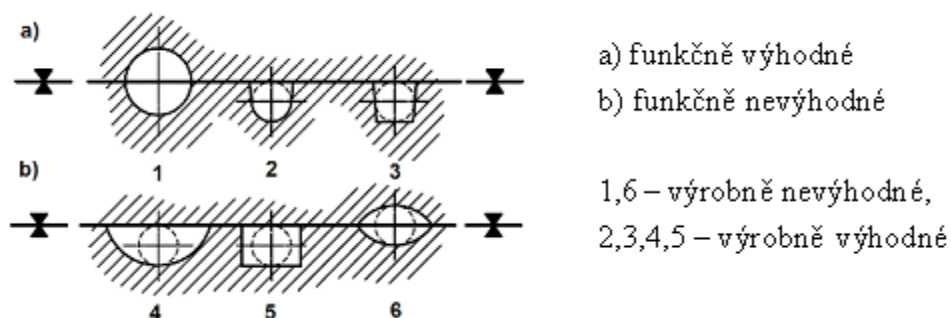


Obr. 5.2 Vtokový systém [3]

Konstrukce vtokové soustavy musí zajistit úplné a rovnoměrné zaplnění tvarové dutiny taveninou o homogenní teplotě. Tavenina se musí dostat do dutiny co nejkratší dráhou, v co nejkratším čase a pokud možno ve stejném okamžiku.

Délka kanálků by měla být co nejmenší, aby nedocházelo ke ztrátám tepla do stěn kanálků a ztrátě hydrostatického tlaku při tečení taveniny, což by mohlo znamenat její nedostatečné zatečení a následně vady výstřiku s ním spojené. Kompenzace těchto ztrát může být provedena zvýšením vstřikovacího tlaku.

Tvar rozváděcích kanálků a vhodnosti jejich použití a výroby je zobrazen na obrázku 5.3. Velikost jejich průměrů se určuje z tabulek.



Obr. 5.3 Průřez vtokových kanálků [4]

U vícenásobných forem musí tavenina zatéct do všech dutin ve stejném čase a za stejných technologických parametrů

Zatuhlý výstřík musí být snadno vyjímatelný z formy a musí být snadné jej opracovat a začistit od vtoků.

5.3.1 Studený vtokový systém [3][5][7][9][11]

Tavenina zatuhne v celé vtokové soustavě.

Tavenina procházející relativně chladnými kanálky se ochlazuje a zvyšuje se její viskozita, nejvíce v kontaktu s povrchem kanálků. Zvyšuje se tedy odpor proti tečení a je zapotřebí vyšších tlaků (40 – 200 MPa), což se projeví zvýšením výrobních nákladů.

Teplota formy se pohybuje v rozmezí 80 – 120 °C, aby nedošlo k předčasnému zatuhnutí taveniny v kanálcích.

Umístění vtokového ústí

Umístění vtoku má zásadní vliv na výsledný vzhled a kvalitu. Je vhodné dodržovat několik základních pravidel umístění:

- na nepohledové části výstříku z důvodu estetiky
- do geometrického středu výstříku (rovnoměrné zatečení taveniny)
- do nejtlustšího místa výstříku (dlouhé výstříky naopak do nejtenčího)
- mimo více namáhané plochy
- tak, aby byl umožněn únik vzduchu z tvarových dutin
- tak, aby bylo co nejvíce zamezeno studeným spojům
- tak, aby u výstříků s žebry bylo zajištěno proudění taveniny ve směru žebry
- u velkých výstříků s ohledem na smrštění a deformaci výstříku
- tak, aby nedocházelo k volnému toku taveniny (vznik nevhodného turbulentního proudění taveniny)
- s ohledem na odformování a možnost automatizace výroby
- s ohledem na pořizovací cenu formy

Vtokové ústí studeného vtokového systému

Vtokové ústí je zakončením rozváděcího kanálku a spojuje jej s tvarovou dutinou. Umístění vtoku, pokud je to možné, by mělo být do místa s nejtlustší stěnou a v nepohledové části dílu.

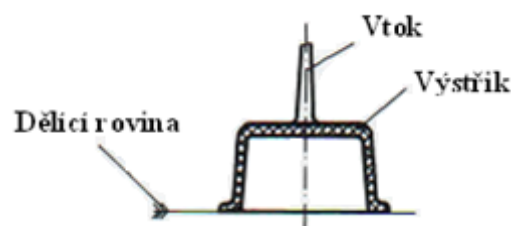
Konstrukční provedení studených vtoků:

- Plný kuželový vtok

Použití pro jednonásobné formy větších objemů. Vhodný pro materiály náchylné na vyšší teploty a vysoce viskózní.

+ výstřík s vysokou kvalitou a přesností rozměrů

- odstraňování vtokového zbytku po vyhození, zůstává viditelná stopa



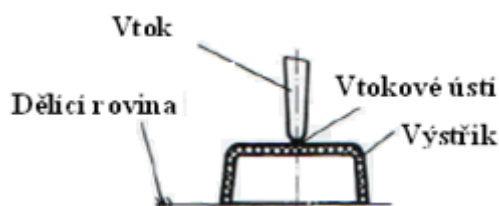
Obr. 5.5 Plný kuželový vtok [3]

- Bodový vtok

Použití pro díly s automatickým oddělováním vtokového zbytku.

+ žádné operace po odformování

- využitelnost hlavně pro tepelně stabilní materiály (PE, PS), pro ostatní materiály jen v omezené míře



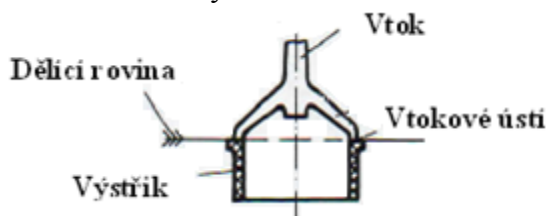
Obr. 5.6 Bodový vtok [3]

- Diskový (deštníkový) vtok

Použití pro rotačně symetrické díly s jádrem umístěným na jedné straně.

+ nedochází ke studeným spojům a úbytku na síle

- po-operační oddělování vtokového zbytku



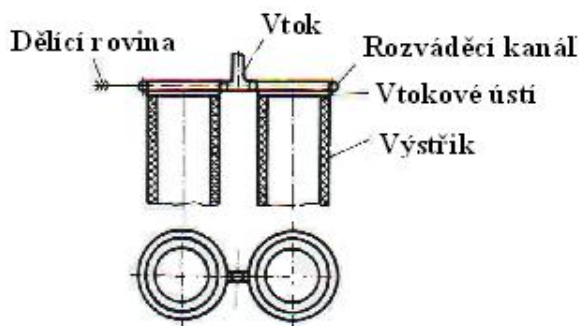
Obr. 5.7 Diskový vtok [3]

- Prstencový vtok

Použití pro delší rotačně symetrické díly s možností vtoku do dvou jader z každé strany zároveň.

+ stejná tloušťka stěny po obvodu

- mírné studené spoje, odstranění vtokového zbytku po vyhození



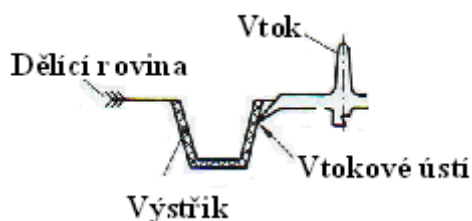
Obr. 5.8 Prstencový vtok [3]

- Tunelový vtok

Primární použití pro menší výstříky ve vícenásobných formách a pro elastické materiály.

+ odstranění vtokového zbytku ve formě

- jednoduché díly z důvodu ztráty tlaku



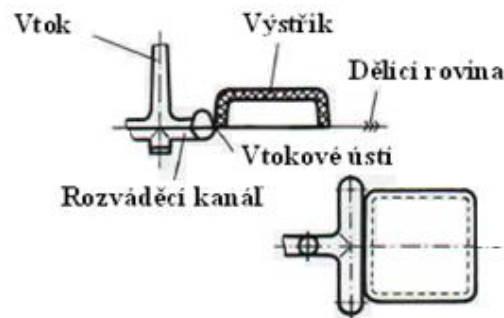
Obr. 5.9 Tunelový vtok [3]

- Štěrbínový vtok

Použití pro výstřiky o velkých plochách, pásy, pláty.

+ bez studených spojů, vysoká kvalita a přesnost výstřiku

- odstranění vtokového zbytku po vyhození



Obr. 5.10 Štěrbínový vtok [3]

5.3.2 Horký vtokový systém [7][9][10][11]

Tavenina ve vtokovém systému, tj. od vtoku až po vtokové ústí, zůstává po zaplnění a zatuhnutí tvarové dutiny stále v tekutém stavu. Toho je dosaženo, pomocí teplotních bariér, vyhřívaných rozváděcích bloku nebo prodloužených vyhřívaných trysek. Teploty vyhřívaných částí se pohybují v rozmezí 160 – 180 °C.

Výhodou je nižší spotřeba materiálu zvýšení produktivity práce (není nutné odstraňovat vtokový zbytek), a také úspora energie potřebné k tavení. Bez vtokových zbytků nevzniká potřeba řešit jejich manipulaci a regeneraci. Další výhodou je lepší kvalita výstřiku díky dopravení taveniny do tvarové dutiny v optimálních podmínkách. Použitím horkého vtokového systému se zkrátí doba chlazení a tím i celého cyklu.

Nevýhodou je vyšší pořizovací cena. U materiálů s nižší teplotní stabilitou může docházet k teplotnímu rozkladu při delší výdrži na vyšších teplotách. Problematicky se také řeší izolace vyhřívaných rozváděcích bloku.

Díky pořizovací ceně se horký vtokový systém vyplatí používat hlavně u velkých a hromadných sérií.

Vyhřívaná tryska

Vyhřívaná tryska je prodloužením vtokové trysky, s vyústěním přímo do dutiny formy se zachováním teplotní stability taveniny. Přináší zlepšení technologických podmínek. Existuje více provedení trysek:

- s vnějším topením (tavenina prochází středem trysky a je vyhřívána topením)
- s vnitřním topením (tavenina obtéká zevnitř vyhřívané torpédo)
- s uzavíráním ústí vtoku jehlou
- dlouhá tryska pro velké výstřiky s několika topnými pásy s vlastní regulací
- tryska s více ústími



Obr. 5.12 Příklad vyhřívaných trysek [14]

Rozváděcí vytápěné bloky

Použití vytápěných bloků se používá při řešení horkých vtoků u vícenásobných forem. Vyhřívaný blok se používá v kombinacích s vyhřívanými tryskami.

Vytápění bloku se nejčastěji děje elektrickým odporovým topením nebo topnými patronami.



Obr. 5.12 Příklady rozváděcích vytápěných bloků [14]

5.4 Vyhazování výstřiků [5][8][9][11]

Při procesu ochlazování výstřiku z termoplastu dochází k jeho smršťování, což má za následek ulpívání výstřiku na tvarových součástech. Užitím vyhazovače zajistíme bezproblémové vyhození výstřiku z formy.

Pro vyhození je třeba vyvodit určitou vyhazovací sílu. Pro její výpočet musíme zahrnout do úvahy velikost smrštění dílu, kvalitu povrchu, přilnutí materiálů ovlivněné úkoso tvárníku a pružné deformace formy. Použitá vyhazovací síla je vždy naddimenzována.

Pro zvýšení produktivity práce lze oddělovat zbytkový vtok ještě ve formě pomocí vyhazovačů. Z toho důvodu je třeba konstrukčně upravit formu. Musíme ovšem počítat s tím, že půjdou vidět stopy po odtržení.

5.4.1 Typy vyhazovačů

Mechanické vyhazovače

Nejčastěji využívaný typ. Pro ploché tvary a velké výstřiky se používají kolíkové vyhazovače, jež mohou zanechávat stopy. Plocha kolíků by měla být dostatečně velká, aby nedocházelo k propíchnutí výstřiku. Pro rotační tvary lze využívat stíracích desek nebo kroužků, které stopy nezanechávají.

Pohyb vyhazovače je vyvozován pohybem formy, působením pružin a nejčastěji pomocí hydraulického vyhazovacího systému.

Vzduchové vyhazování

Vhodné řešení pro tenkostěnné, hluboké a rozměrné výstřiky, u kterých by při mechanickém vyhazování mohlo dojít k deformacím plochy. Nedochází k zanechání žádných stop od vyhazovačů.

K vyhození dochází pomocí stlačeného vzduchu. Ten je přiváděn mezi tvárník a výstřik ventilem.

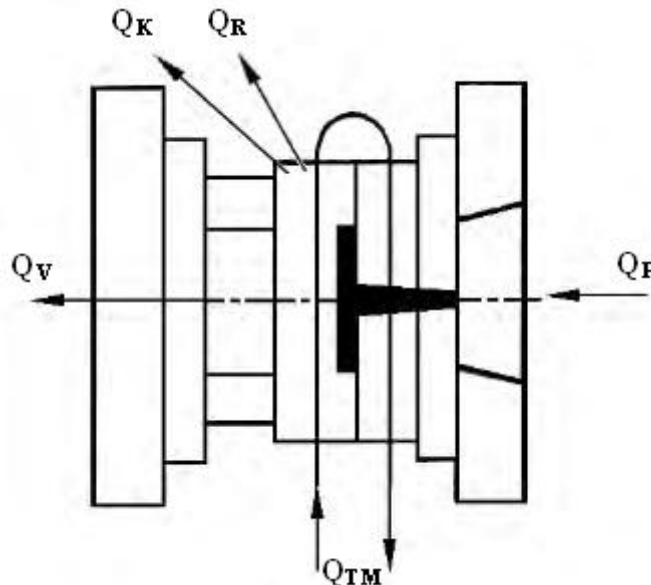
Je možné jej kombinovat s mechanickými vyhazovači.

5.5 Temperační systém [6][8][9]

Při každém cyklu vstřikovaný plast vnáší do formy určité množství tepla, které je nutné odvést kvůli optimálnímu ochlazení a tunutí plastu. Odvod tepla z formy je uskutečňován radiací (sáláním) a prouděním vzduchu do okolního prostředí, vedením do upínacích desek a temperačním systémem.

Teplo, které musíme přivést nebo odvést pomocí média, vypočítáme podle rovnice:

$$Q_{TM} = Q_O - Q_P = (Q_V + Q_K + Q_R) - Q_P \text{ [J]} \quad (2)$$



Q_K – teplo odvedené do okolí, Q_R - teplo odvedené radiací, Q_V - teplo odvedené do upínacích ploch stroje, Q_{TM} - teplo odvedené temperačním médiem, Q_P - teplo přivedené polymerem

Obr. 5.13 Tepelná bilance formy [9]

Temperační systém je soustava kanálků a dutin vyvrtaná do formy, napojená na výměník tepla zajišťující udržování konstantního teplotního režimu formy. Tento režim není konstantní, ale periodicky kolísá se vstřikovacími cykly. Při vstříknutí teplota formy nárazově vzroste, poté klesá při chlazení a při otevření formy je chlazená tvarová dutina.

Odvod tepla je uskutečňován prouděním média (nejčastěji vody) tímto systémem. Průměr kanálků určuje velikost plochy pro přestup tepla. Společně s kvalitou povrchu, typem proudění (které by ideálně mělo být turbulentní) a rozdílem teploty média na vstupu a výstupu z formy určují účinnost přestupu tepla.

Plast je vstřikován pod určitou teplotou a je třeba jej zchladit na teplotu, při které je možné bezpečné odformování vzniklého výstřiku. Pro zpracování některých typů plastů je potřeba vyšších teplot formy, z toho důvodu slouží temperace naopak k přívodu tepla. Jelikož je doba chlazení nejdelší částí celého procesu, je dalším úkolem temperačního systému snížení tohoto času na co nejkratší dobu s ohledem na vlastnosti a vzhled výsledného výrobku.

Při konstrukci temperačního systému je snaha jej umístit tak, aby byl odvod tepla a ochlazení výstřiku co nejvíce rovnoměrný a aby výstřik ztuhl v celém objemu ve stejný okamžik.

Temperace má přímý vliv na smrštění, změny tvaru a jakost povrchu finálního výrobku.

5.6 Odvzdušnění [2]

Při plnění tvarové dutiny je před čelem taveniny tlačěn vzduch, který je v ní uzavřen. Tento vzduch, pokud neuteče z dutiny, může být příčinou místního spálení výstřiku, nedostříknutí, a nebo může ve formě bublin proniknout do taveniny.

Odvzdušňovací kanálky mohou být umístěny v dělicí rovině (např. pro ploché výstřiky) nebo lze použít vůle u vyhazovacích kolíků.

Průměr odvzdušňovacích kanálků musí být dostatečně malý, aby unikl pouze vzduch a nedocházelo k zatékání plastu.

Umístění odvzdušnění se často určí až při zkouškách vstřikování.

6 Vstřikovací cyklus [2][5][6][13]

Vstřikování polymerů je složeno z přesně stanovených úkonů, opakujících se v krátkých intervalech. Jde tedy o proces cyklický, přetržitý. Jednotlivé fáze cyklu jsou:

- Plastikace a dávkování
- Vstřikování
- Doplnění a dotlak
- Chlazení ve formě
- Otevření formy a vyjmutí výstřiku

6.1 Rozdělení fází

Plastikace a dávkování

Probíhá v okamžiku, kdy je předchozí výstřik ve fázi chladnutí.

- Dávkování

Velikost dávky granulátu přesunutě do plastikační komory je stanovena podle optimálního objemu taveniny na jedno vstříknutí. Objem je dán součtem všech dutin formy, rozváděcích kanálků vtokové soustavy a materiálového polštáře a je navýšen o 5 – 10 % z důvodů úbytků na smršťování.

- Plastikace

Plastikace je převod granulátu na taveninu. Tavenina vzniká působením tepla vyvolaného topnými tělesy a třením granulátu o závit šneku a o stěnu válcové dutiny.

Během plastikace se materiál nataví, rotací šneku homogenizuje a dostává se do prostoru před šnekem, kde je připraven na vstříknutí. K ukončení pohybu šneku dochází těsně před tím, než je předešlý výstřik odformován a vyhozen z formy.

Vstřikování

Vstřikování začíná v okamžiku uzavření formy, tehdy nastává dopředný pohyb šneku a vstříknutí nové dávky do prostoru tvarové dutiny.

Vstřikování je rozděleno na 2 fáze:

- Objemového plnění
- Kompresní

V první fázi jsou plněny všechny prázdné dutiny taveninou. Tlak je relativně malý a nastává až při kontaktu čela taveniny s koncem formy. Končí v okamžiku vyplnění všech dutin.

Ve druhé fázi tlak narůstá až na maximální velikost vstřikovacího tlaku.

Dotlak

Dotlak je klíčový pro výsledné vlastnosti, tvar a rozměry výstřiku. Při ochlazování dochází vlivem smrštění k úbytku materiálu a v této fázi dochází k jeho náhradě. Materiálový polštář tudíž neslouží jen jako ochranná vrstva čela šneku před nárazem. Dotlak končí v okamžiku, kdy zatuhne ústí vtoku a vznikne zátky, přes kterou neproteče tavenina.

Okamžik přepnutí vstřikovacího tlaku na dotlak je velmi důležitý. Předčasné přepnutí způsobí v dutině nízký dotlak a může způsobit vznik propadlin, vnitřních staženin a mikropórovitost. Pozdní přepnutí vyvolává vysoký tlak v dutině, ten omezuje schopnost pohybu makromolekul během ochlazování a tak způsobuje vnitřní napětí.

Velikost dotlaku je nastavována v rozsahu 40-60% vstřikovacího tlaku. Kritické číslo dotlaku označuje maximální přípustnou výšku dotlaku a odpovídá maximální přípustné hodnotě vnitřního pnutí. Toto číslo se liší pro používané materiály a tvary součástí. Se

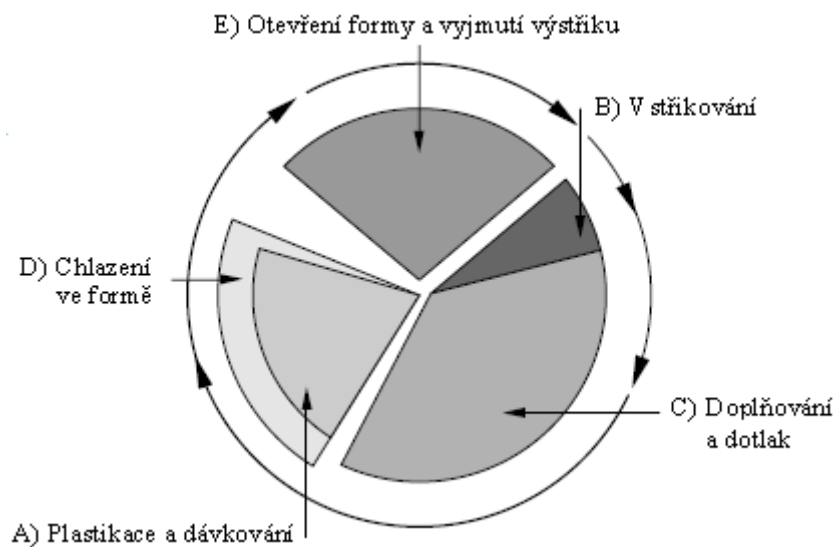
zvyšujícím se dotlakem roste nejen vnitřní pnutí, ale také narůstá opotřebení formy a zvyšují se energetické nároky.

Chlazení ve formě

Chlazení výstřiku začíná ve stejném okamžiku jako dotlak a končí v okamžiku odformování. Teplota pro odformování dílce musí být taková, aby byly zaručeny mechanické vlastnosti, a že dílec nebude propíchnut vyhlazovačem nebo jím nebude deformován.

Vyjmutí výstřiku

Při vhodné teplotě pro odformování je forma rozevřena a výstřik je z formy vyhozen pomocí vyhazovačů. Společně s dílcem musí být odstraněn i vtokový zbytek. Ten je s dílcem buďto pevně spojen a musí být následně odříznut, nebo je vyhozen samostatně.



Obr. 6.1 Ukázka rozdělení vstřikovacího cyklu [12]

6.2 Časový průběh vstřikování

Délka pracovního cyklu je stanovena součtem dílčích časů všech technologických operací.

Strojní časy (t_s)

Časy související s pohybem formy. Doba pohybu formy je závislá na dráze a rychlosti pohybu formy. Dráha musí být dostatečná pro vyhození výstřiku z formy, popřípadě tak, aby zajišťovala dostatečný prostor pro použití manipulátoru. Rychlost pohybu je u moderních strojů programovatelná. V úvahu se musí brát hmota, která je uvedena do pohybu. Proto je při rozjezdech rychlost nižší. Stejně tak i při dosedání ploch se rychlost snižuje, aby nedošlo k poškození formy. Vhodné nastavení rychlostí pohybu formy umožňuje snížit strojní časy na minimum.

Doba vstřikování (t_v)

Doba, za kterou dojde k naplnění formy. Je ovlivněna vstřikovací rychlostí danou pohybem šneku a vstřikovacím tlakem. Dalšími vlivy jsou teplota taveniny a formy, druh plastu, tvar a objem výstřiku a vtoková soustava.

Doba by měla být co nejkratší, protože tavenina ochlazováním při průchodu chlazenou formou ztrácí viskozitu a hrozí její nedotečení do celého objemu dutiny.

Doba dotlaku (t_d)

Doba působení dotlaku je určena okamžikem přepnutí vstřikovacího tlaku na dotlak a okamžikem, kdy zatuhne ústí vtokové soustavy.

Doba chlazení (t_{ch})

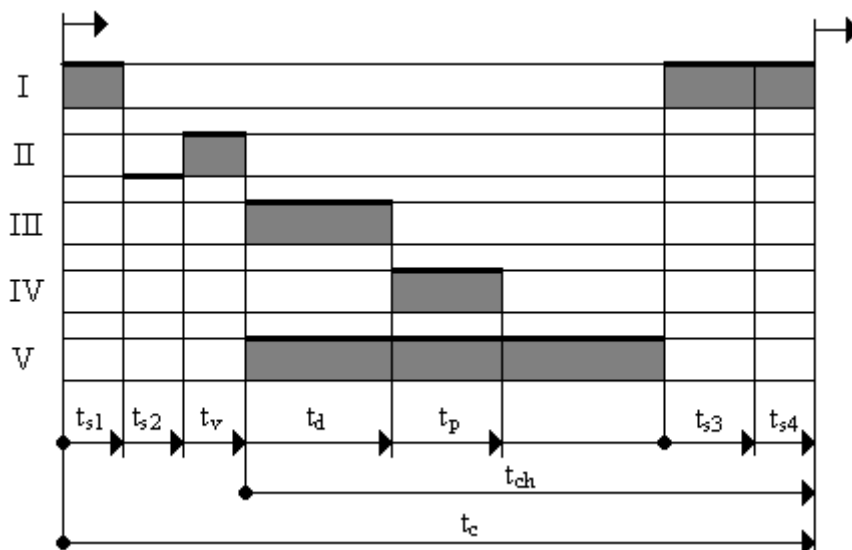
Nejdelší část cyklu. Začíná v okamžiku, kdy je zaplněna celá dutina formy taveninou a vstřikovací tlak je přepnut na dotlak (tj. začíná působit dotlak). Končí při odformování a vyhození výstřiku z formy.

Délka doby chlazení je ovlivněna tloušťkou a hmotností výstřiku, druhem vstřikovaného termoplastu, jeho teplotou a teplotou formy.

Doba plastikace (t_p)

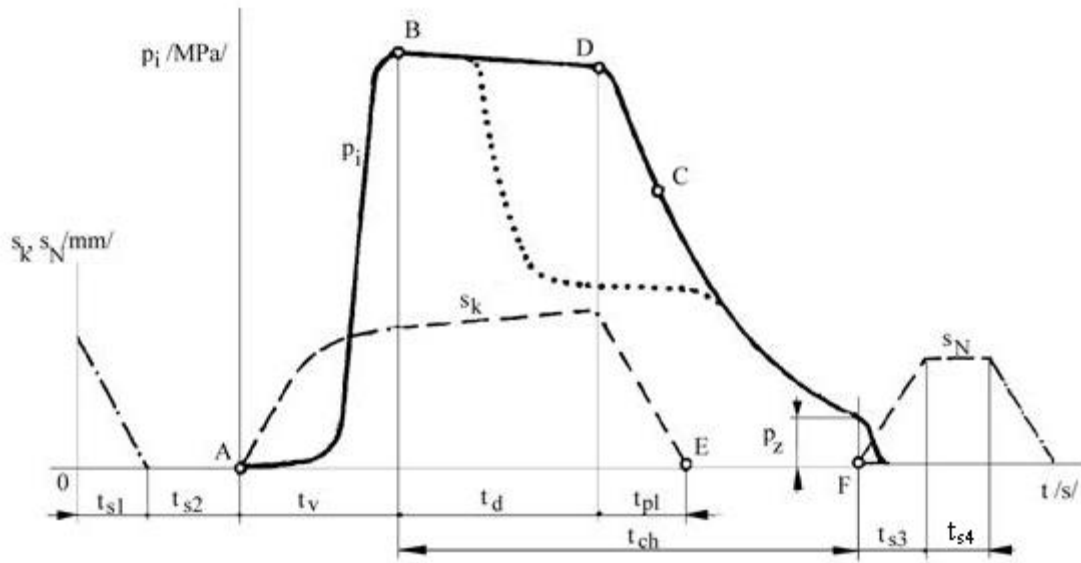
Doba potřebná ke změně dávky granulátu na homogenní taveninu a její dopravu před čelo šneku.

Plastikace probíhá velmi rychle, i ve velkém objemu dávky. Platí pro ní $t_{ch} \geq t_d$



t_{s1} - doba uzavření formy, t_{s2} - doba přísunu plastikační, t_v - doba vstřikování, t_d - doba dotlaku, t_p - doba plastikace, t_{ch} - doba chlazení formy, t_{s3} - doba otevření formy a vyhození výstřiku, t_{s4} - prodleva, t_c - doba vstřikovacího cyklu; I - pohyby formy, II - vstřikování, III - dotlak IV - dávkování a plastikace, V - chlazení ve formě

Obr. 6.2 Časový průběh vstřikování [11]



p_i vnitřní tlak, s_k – pohyb šneku, s_n - pohyb nástroje
 Obr. 6.3 Průběh tlaku v dutině formy během vstřikovacího cyklu [6]

7 ŘEŠENÍ

7.1 Volba technologie [1][3]

Z důvodu tvaru je pro výrobu zadaného dílce jedinou možnou technologií vstřikování termoplastu.

Vyráběná součást obsahuje v horní části vnější závit. Existují 3 varianty forem, pomocí nichž lze vytvořit závit na plastovém dílci.

A) Dvou-desková forma s bočním výsuvným jádrem

Zaformování dílce s dělicí rovinou v ose jeho symetrie. Při otevírání formy je nejprve vytážen tvárník pomocí externího hydraulického pohonu. Jde o jednoduché a efektivní řešení.

B) Čelist'ová forma

Konstrukce této formy se podobá standardnímu řešení forem, jen místo dvou tvarových desek má dvě čelisti, které se svírají kolem tvárníku. Vedení pohybu čelistí se řeší pomocí šikmých kolíků (přímých nebo lomených). Jako vedení může být také použito desky s vodící dráhou pro pohyb čelisti.

C) Forma s vytáčecím závitovým kroužkem

Standardní forma, s podobným řešením jako u varianty 1), která obsahuje vestavěný závitový kroužek, který je pomocí elektromotoru připojeného přímo k formě vytáčen při odformování. Řešení vytáčecí formy je složitější, ale zato efektivní. Na závitu při vstřikování plastu do vytáčecího závitového kroužku nevzniká stopa po dělicí rovině, což se projeví jak na pohledové stránce, tak na lepších pevnostních vlastnostech.

Jako nejvhodnější typ formy byla zvolena forma čelist'ová. Důvod volby byl jednoduchost řešení oproti řešení formy s vytáčením. Řešení 1) a 3) vyžaduje přídavné zařízení připojené přímo k formě, což zvyšuje hmotnost formy a působí negativně na hybnost při otevírání a zavírání formy pomocí uzavírací jednotky. Přídavné zařízení také zvyšuje cenu formy a proto je vhodnější při větších sériích.

Další částí volby technologie je typ použité vtokové soustavy.

A) Studená vtoková soustava

B) Horká vtoková soustava

S ohledem na velikost série, 100000 kusů, je vhodným řešením studená vtoková soustava pro levnější náklady na výrobu formy. Vtok bude umístěn na nepohledové vnitřní straně, proto není třeba řešit stopu po vtokovém ústí.

7.2 Volba vhodného materiálu [4][12]

Nejčastěji používané materiály pro výrobu závitů z plastu jsou POM, PA. Kromě těchto dvou je možné použít např. PP, PC nebo ABS.

Hlavní mechanické vlastnosti požadované u závitových součástí jsou:

- Pevnost
- Houževnatost
- Rozměrová stabilita

Funkcí Nástavce je spojení pro vedení kapalin, a proto jsou dalšími posuzovanými vlastnostmi:

- Nasákavost
- Chemická odolnost

Polyamid - PA

Materiál s dostatečnou pevností a houževnatostí (pokud není vysušen). Dobře tlumí rázy a vibrace. Značně relaxuje, a proto u něj nastává celkem brzy ztráta předpětí a je nutno občasně dotahovat spoj. Navlhnutím dochází ke snížení pevnosti a dochází ke zhoršení rozměrové stálosti a snížení elektroizolačních vlastností. Výhodou je jeho odolnost proti tukům, olejům a rozpouštědlům používaným ve strojírenství

Polyformalhyd – POM (nebo také polyacetát)

Materiál, který má oproti PA větší tuhost a nenavlhá. Je také stabilnější a předpětí u něj klesá pomaleji díky velké krystalinitě. Chemická odolnost je také lepší. Houževnatost je o něco menší.

Pro Nástavec jsem zvolil materiál POM, a to nejen kvůli vlastnostem vhodným pro závit, ale také s ohledem, na funkci Nástavce

Firma Du Pont vyrábí tento materiál pod značkou Delrin®. Z široké nabídky různých typů materiálu Delrin jsem vybral pro jeho vlastnosti a použití Delrin 500P NC010.

Jde o středně viskózní homopolymer vhodný pro technologii vstřikování. Tento konstrukční plast lze využít v mnoha oblastech.

Delrin 500P NC010 se vyznačuje:

- rozměrovou stabilitou
- vynikající pevností, tuhostí a rázovou houževnatostí
- vysokou odolností vůči únavovému lomu
- nízkým opotřebením
- nízkým koeficientem tření
- nenasákavostí
- dobrými elektroizolačními schopnostmi
- použitelností při velmi nízkých teplotách
- odolností proti creepu
- odolností proti rozpouštědlům, lubrikantům, motorovému benzínu
- neodolává kyselinám a oxidačním činidlům.

Lze ho snadno zpracovávat v krátkých vstřikovacích cyklech. Jeho vlastnosti jsou lepší než u polyformaldehydových kopolymerů a ve srovnání s nimi zvyšuje produktivitu. Snížením nákladů dosahuje zlepšení rentability.

Rozsah vybraných zpracovatelských vlastností materiálu Delrin 500P NC010 je uveden v tabulce č. 1. Viz příloha č.1.

Parametr	Značka	Rozsah hodnot	Jednotka
Teplota taveniny	T_M	210 – 220	[°C]
Teplota formy	T_W	80 – 100	[°C]
Střední vyhazovací teplota	T_E	90 - 150	[°C]
Vstřikovací tlak	p_v	75 - 100	[Mpa]
Dotlak	p_d	70 - 150	[Mpa]
Zpětný tlak	p_z	<5	[Mpa]
Měrná teplotní vodivost	a_{eff}	0,059	[mm ² /s]
Hustota	ρ	1,42	[g/cm ³]
Smrštění	S	1,8 – 2,2	[-]

Tab. 1 Rozsah hodnot zpracovatelských vlastností materiálu Delrin [13]

7.3 Návrh konstrukčního řešení [5][11]

Určení násobnosti formy

Předběžná volba násobnosti proběhla na základě velikosti série a doby dodávky výrobku.

- Požadovaný počet kusů: 100 000 kusů
- Požadovaný termín dodání: 5 měsíců

Počítáme s 2směnným provozem

$$n_T = \frac{N \cdot t_c}{T_p \cdot K \cdot 3600} = \frac{100000 \cdot 50}{8.2 \cdot 20.5 \cdot 0,8 \cdot 3600} = 0,87 \quad (3)$$

$$n_T = 1$$

n_T ... termínová násobnost

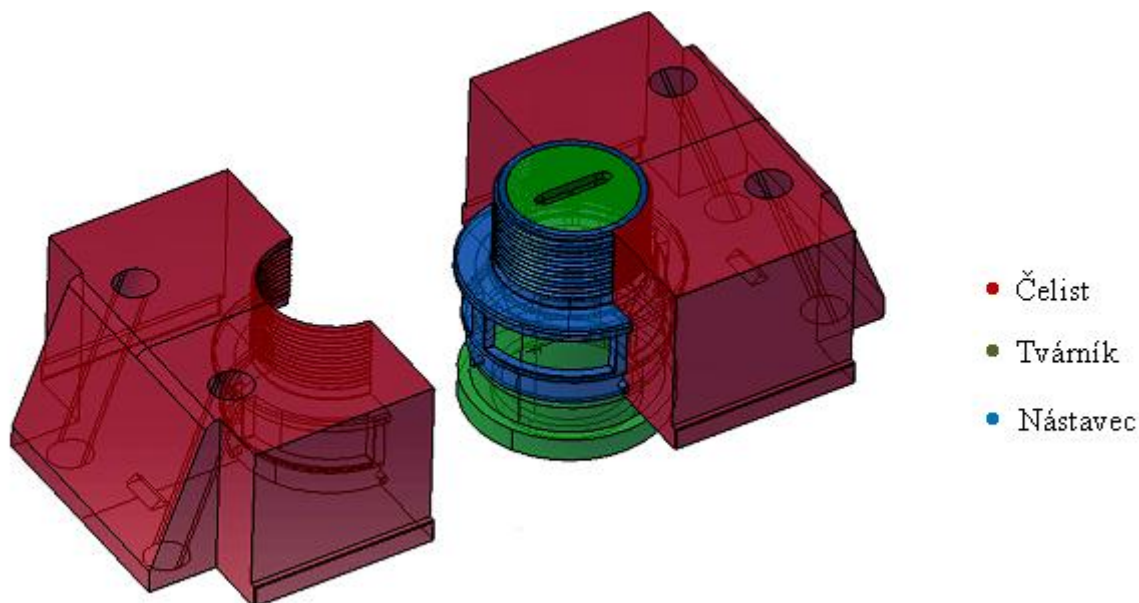
N ... požadovaný počet kusů

T_p ... požadovaný termín dodání v hodinách (dvousměnný provoz po 8 hodinách, 20 dní v měsíci po dobu 5 měsíců)

K ... faktor využití času (0,7 ÷ 0,9)

Zaformování výstřiku a určení dělicí roviny

Dělicí rovina je zvolena kolmá na osu symetrie dílu a umístěna v horní části dílu se závitem. Čelisti jsou až na vyřezaný závit totožné a dělí díl na polovinu. Tvárník je upevněn v kluzné desce v pohyblivé části formy. Nástavec je zaformován tak, aby bylo možné díl bez problémů odformovat, viz obr 7.1.



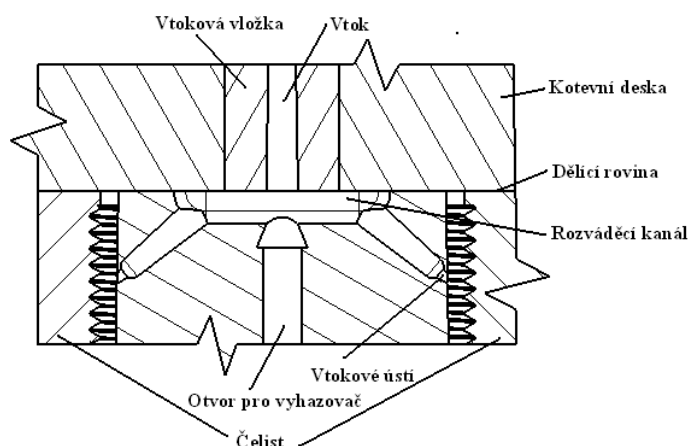
Obr. 7.1 Zaformování nástavce

Volba vtokového systému

Vzhledem k velikosti série je zvolen studený vtokový systém. Důvodem pro tuto volbu byla jednoduchost konstrukce a nižší pořizovací náklady na formu.

Typ vtok je zvolen tunelový, se dvěma vtoky do vnitřní části stěny v horní části nástavce se závitem. Důvodem volby dvou vtokových ústí je zamezení vzniku studených spojů a správné zatečení do spodního prstence.

Volba tvaru a rozměrů soustavy kanálků proběhla na základě doporučených hodnot. Průměr rozváděcího kanálku 5 mm s úkosy 10°. Tunelový vtok klesá pod úhlem 40°. A vtokové ústí má průměr 1mm.



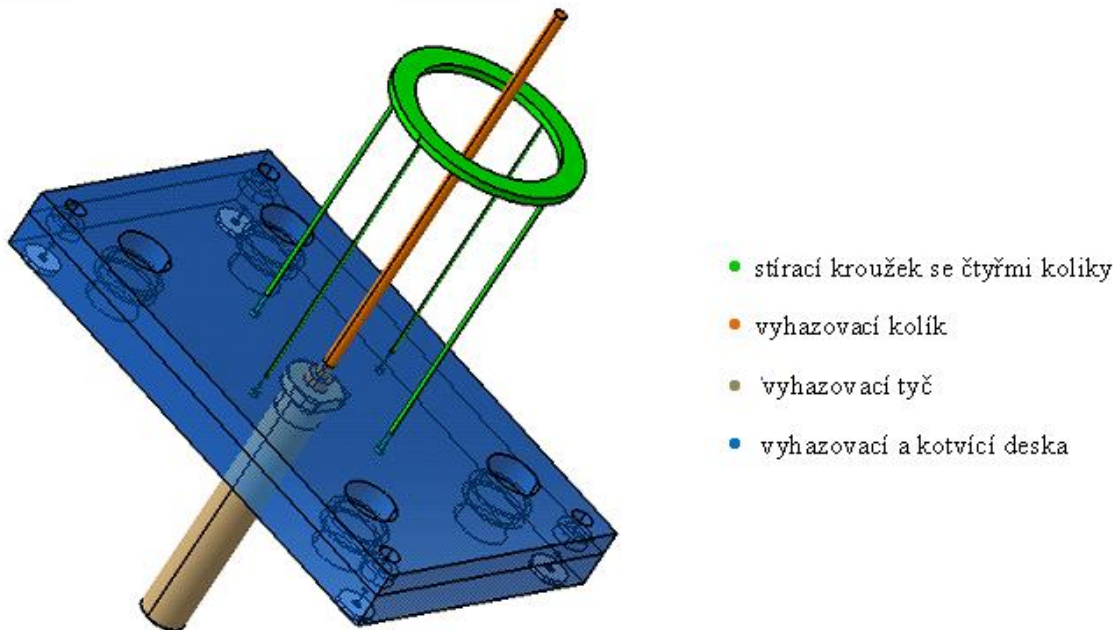
Obr. 7.2 Zvolený tunelový vtokový systém

Vyhazovací systém

Protože jde o osově symetrický dílec, je vhodné použít některou z metod stíracích prvků nebo trubkového vyhazovače. Bylo by možné použít i vyhazovací kolíky, ale ty by mohly na rozdíl od předešlých řešení zanechat stopu po kontaktu.

Pro jednoduchost výroby a nižší cenu je zvolen stírací kroužek. Kroužek je spojen z důvodu zamezení deformace se čtyřmi vyhazovacími kolíky uchycenými v kotvící vyhazovací desce.

Návrh počítá i s odtržením vtokového zbytku již ve formě, a to pomocí vyhazovacího kolíku o průměru 6 mm. Zbytek bude vyhozen zároveň s nástavcem.

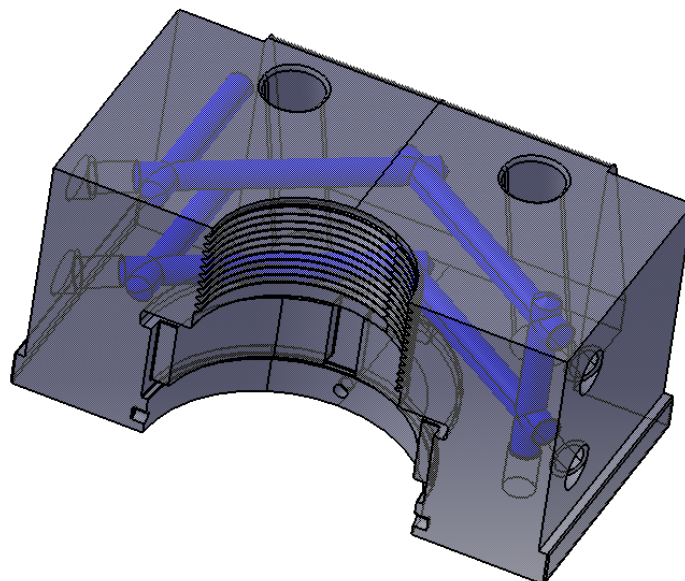


Obr. 7.3 Řešení vyhazovacího systému

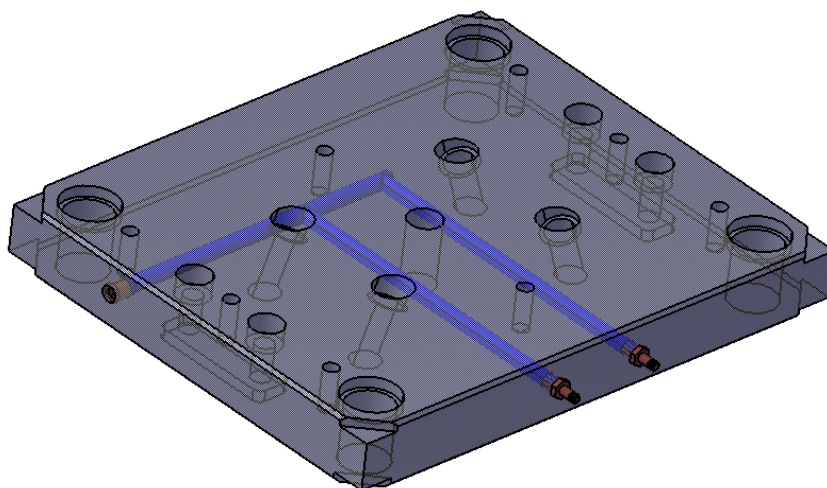
Temperace formy

Samostatné temperační systémy jsou vytvořeny v místech, kde je nutný odvod tepla pro správné chlazení výstřiku tedy v čelistech, tvárníku a deskách přímo sousedících s čelistmi (kluzná a kotevní). Přívod a odvod chladicího média do tvárníku prochází opěrnou deskou (deska sousedící s deskou kluznou).

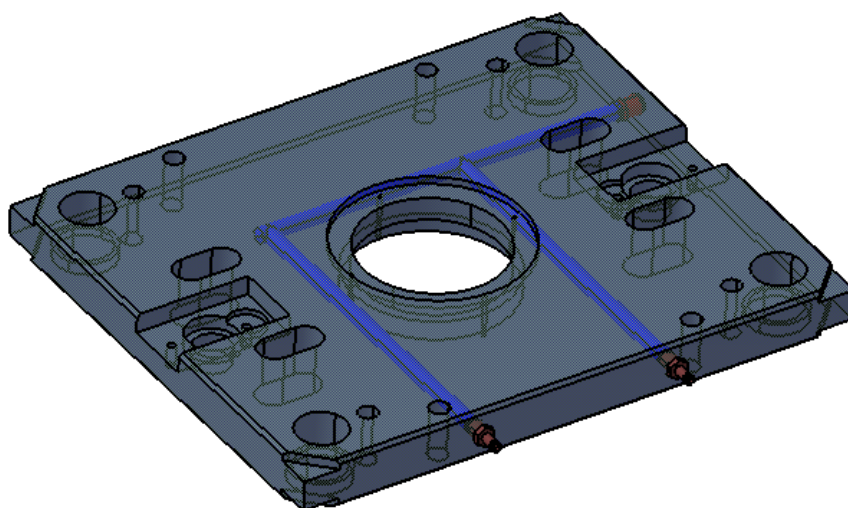
Minimální průměr temperačních kanálků bývá 6 mm. Zde bylo zvoleno 8mm. Systém kanálků je znázorněn na obrázcích 7.4, 7.5, 7.6. Tvárník je chlazen pomocí chladicí vložky, ve které je vytvořena dvouchodá spirála pro proudění média viz obr. 7.7.



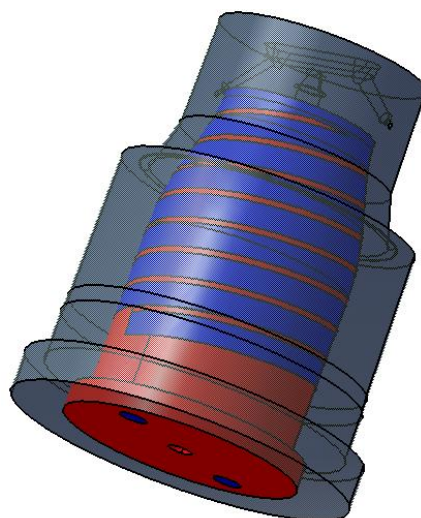
Obr. 7.4 Řešení temperance čelisti



Obr. 7.5 Řešení temperance kotevní desky



Obr. 7.6 Řešení temperance kluzné desky



Obr. 7.7 Řešení temperance tvárníku

Kontrola správného chlazení se provádí měřením teploty média na vstupu a výstupu z formy. Rozdíl teplot by se neměl překročit 4 °C. Pokud je rozdíl teplot větší, volí se zvýšení průtoku. Pro správný odvod tepla je vhodnější turbulentní proudění média než lamelární. Typ proudění je určován podle Reynoldsova čísla Re . Proudění je závislé na objemovém průtoku média, jeho kinematické viskozitě za dané teploty a průřezu kanálku. Turbulentní proudění nastává při hodnotě $Re > 2300$.

Použití normálií

Použití předzhotovených normálií poskytovaných dodavateli zjednodušuje konstruktérovi zhotovení forem. Stačí vybrat základní parametry desky (délka, šířka, výška) a poté už jen z nabídky stavebnicových dílů složit formu. Další usnadnění se projeví ve zhotovování formy. Normalizované díly už mohou mít předem vyrobené otvory pro vodící a spojovací elementy, úkopy a předpřipravené další otvory, což zkracuje výrobní náklady a časy na zhotovení plně funkčních dílů formy.

Materiál použitý na součásti vstřikovací formy

Ne všechny díly formy jsou stejně namáhány, proto je vhodné volit pro namáhané části jiný materiál než na části konstrukční.

- Materiál 1.1730

Nelegovaná nástrojová ocel. Ekvivalent ČSN 19 083.

Dostačující tvrdost a další mechanické vlastnosti po tepelném zpracování postačují pro použití na nekalené části. Je levnější než materiál s podobnými vlastnostmi 1.2312, který je také možno použít.

Použití na desky upínací, opěrné, vyhazovací a kotevní desky vyhazovačů.

- Materiál 1.2343

Legovaná ocel, pro práci za tepla, žáruvzdorná. Ekvivalent ČSN 19 662.

Po kalení a popouštění získává velmi dobré mechanické vlastnosti, vysokou tvrdost a dobrou houževnatost.

Použití na tvárnice a tvárníky.

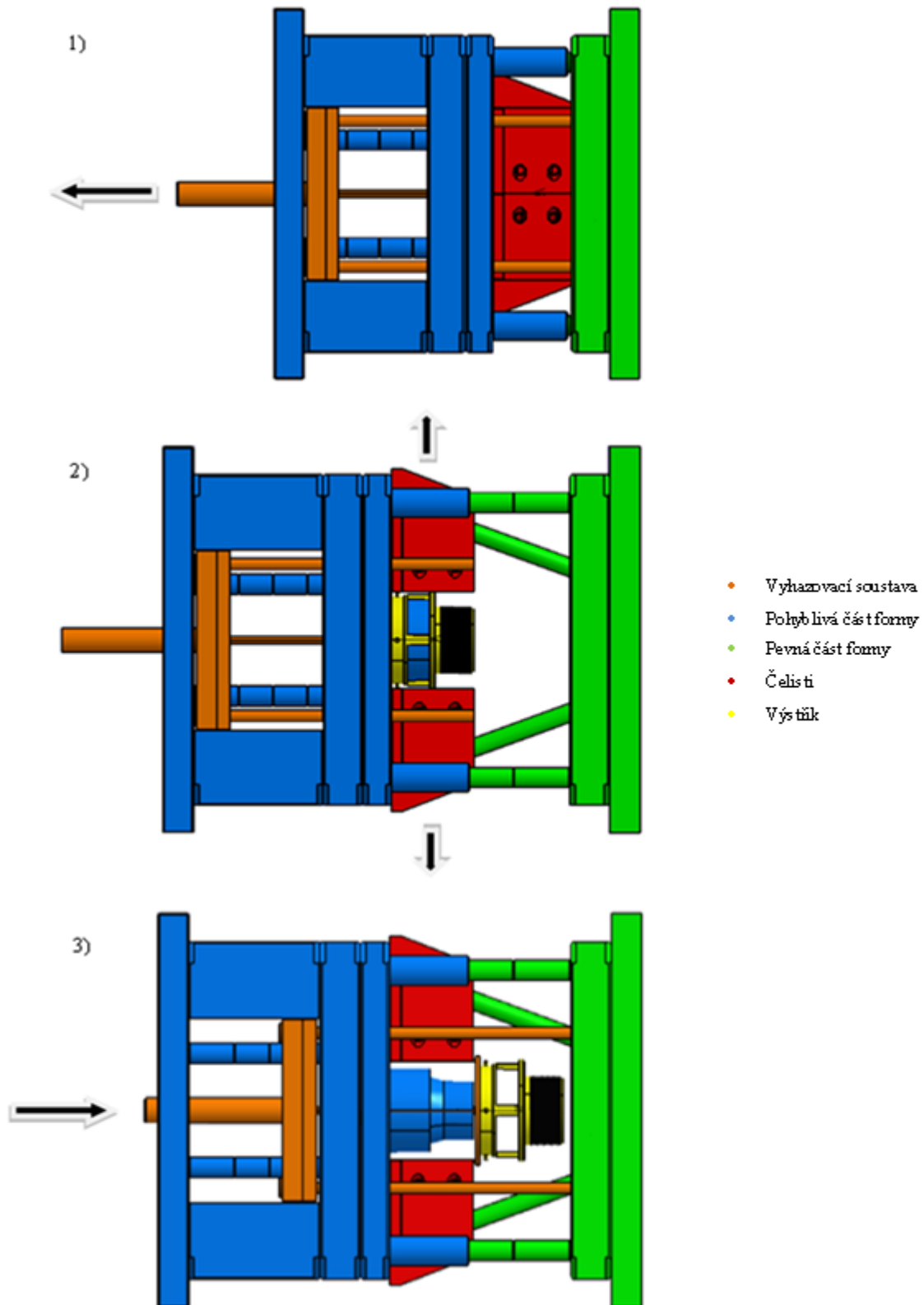
Princip pohybu formy

Pohyb desek je zajišťován pomocí uzavírací jednotky. Probíhá v okamžiku, kdy tavenina při procesu chladnutím překročila teplotu tání krystalů T_m (pro Delrin $T_m = 174$ °C) a dosáhla teploty vhodné pro odformování T_E (pro Delrin $T_E = 125$ °C), kdy nedojde během vyhození k deformaci výstřiku. Doba otevírání a zavírání je velmi krátká.

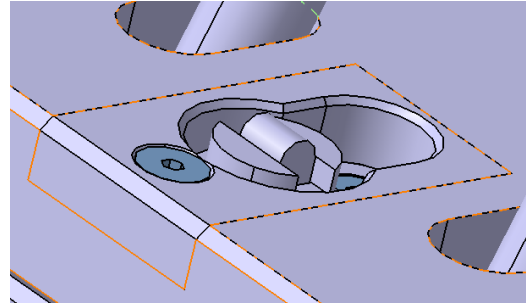
Fáze pohybu otevírání formy viz obr. 7.8:

1. Do pohybu se dává celá levá pohyblivá strana formy. Čelisti se otevírají s krátkým zpožděním, způsobeným zvětšeným otvorem vedení šikmých kolíků. Ihned jak se stěny vedení dostanou do styku s vodícími šikmými kolíky, čelisti se začínají rozevírat. Dalším vodícím elementem jsou vodící lišty s drážkou, které umožňují jen jeden stupeň volnosti a to ve směru od tvárníku ven z formy.
2. Pohyb uzavírací jednotky končí v okamžiku, kdy dojde k dostatečnému rozevření čelistí umožňující bezproblémové vyhození výstřiku ven z formy. Aby nedošlo k případnému vypadnutí čelistí z formy, používá se dorazových elementů. Při konstrukci formy jsem zvolil použití posuvného přidržovače PSR 2000 od firmy DME viz obr. 7.9 a 7.10.

3. Do pohybu se dává celý vyhazovací systém vedený vyhazovací tyčí. Ta je upnuta k vyhazovacímu mechanismu, hydraulickému nebo pneumatickému. Potřebnou sílu na vyhození není třeba počítat. Díky snadné seřiditelnosti systému ji stačí správně nastavit až při seřizování stroje.



Obr. 7.8 Pohyby desek formy při vyhazování výstřiku



Obr. 7.9 Posuvný přidržovač firmy DME [15] Obr. 7.10 Uložení posuvného přidržovače

7.4 Zvolení parametrů pro výrobu

Teplota taveniny

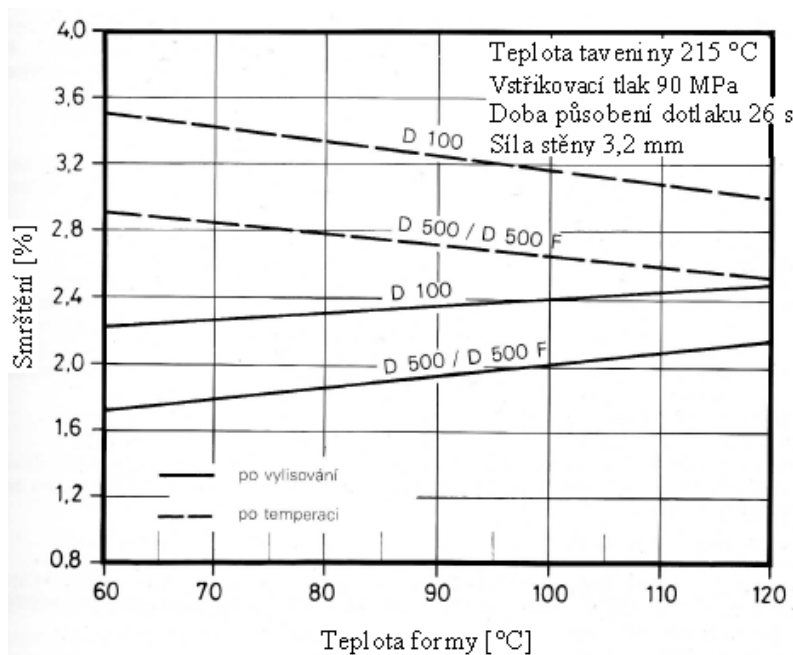
Kvalitních výlisků s dobrými mechanickými vlastnostmi lze dosáhnout, pokud pracujeme s kvalitní homogenní taveninou. Abychom dostali homogenní taveninu, potřebujeme dosáhnout vhodných zpracovatelských hodnot teploty pro daný materiál. Teplota taveniny se může s delší dobou prodlevy snížit nebo naopak s kratší dobou zvýšit. Je vhodné pracovat s co nejvíce rovnoměrnou teplotou taveniny. Nerovnoměrná teplota způsobuje nerovnoměrnou hustotu ve výlisku a také různou velikost smrštění. Čím je teplota rovnoměrnější, tím více se snižuje tvorba vnitřních napětí. Semikrystalické materiály jsou náchylnější na teplotu více než amorfní.

Na homogenitu má také vliv použití vhodného profilu šneku a nastavení jeho otáček.

Doporučená zpracovatelská teplota taveniny materiálu Delrin je 215 ± 5 °C.

Teplota formy

Teplota formy je důležitá pro dodržení výsledných rozměrů výstřiků. Delrin, materiál s vysokým stupněm krystalinity, má velké smrštění. Se zvyšující se teplotou formy roste jeho smrštění ve formě, jak lze vidět na obr. 7.11, ale zároveň se snižuje hodnota celkového smrštění



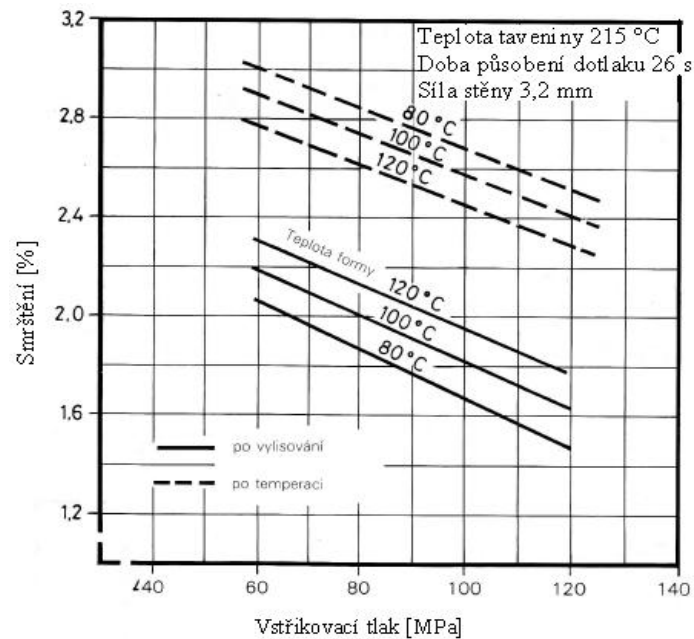
Obr. 7.11 Graf smrštění ve formě v závislosti na teplotě formy pro materiál Delrin [13]

Rozložení teplot topných pásem

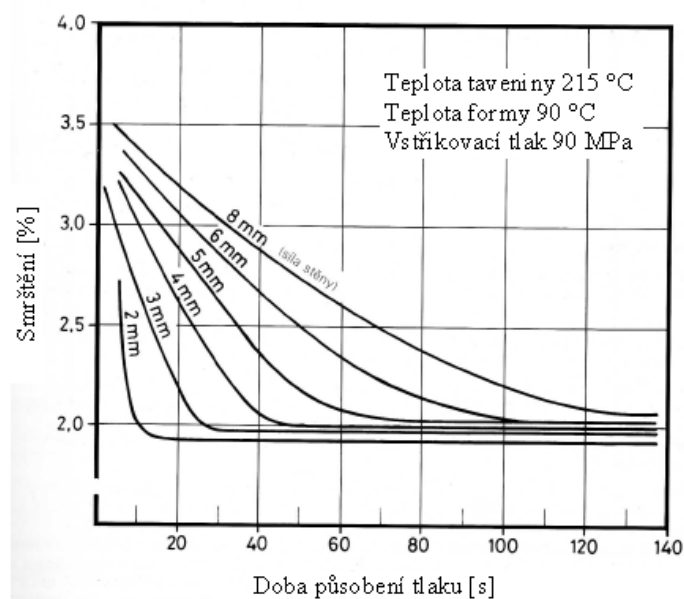
Pro ohřev plastikačního válce použijeme 3 topná pásma na sobě nezávislá s tím, že tryska je samostatně vyhřívána. Každé pásmo je dále složeno ze dvou topných pásů. Teplota trysky by měla mít teplotu přibližně stejnou jako je požadovaná teplota taveniny (215 °C). První topné pásmo bude nastaveno na stejnou teplotu jako tryska, směrem k násypce bude teplota rovnoměrně klesat až těsně pod teplotu tání Delrinu, což je 175 °C.

Vstřikovací tlak a dotlak

Vstřikovací tlak ovlivňuje spoustu faktorů při výrobě výstřiku. Vstřikovací tlak zajišťuje správné zatečení taveniny do dutiny, a dodržení optimálních mechanických vlastností. Musí se počítat se ztrátami v trysce a vtokové soustavě. Na jeho velikosti a době působení závisí smrštění, viz obr. 7.12 a obr. 7.13 a také vznik propadlin nebo dutin.



Obr. 7.12 Graf smrštění ve formě v závislosti na vstřikovacím tlaku pro materiál Delrin [13]



Obr. 7.13 Graf smrštění ve formě v závislosti na teplotě formy pro materiál Delrin [13]

Z velikosti tlaku lze spočítat přídržovací síla potřebná na udržení částí forem u sebe, tak aby nedošlo k jejich otevření a přetoku taveniny. Se znalostí promítnuté plochy výstřiku a konstrukce kanálků vtokové soustavy do dělicí roviny z něj můžeme vypočítat průhyb desek, abychom ověřili, že nedojde k přetokům.

Parametry výstřiku

K zjištění hodnot byl použit program Catia V5R20.

Objem nástavce:	$V_N = 50550 \text{ mm}^3$
Objem vtokového zbytku a rozváděcích kanálků:	$V_K = 1960 \text{ mm}^3$
Průmět nástavce do dělicí roviny:	$S_N = 4208 \text{ mm}^2$
Průmět rozváděcích kanálků do dělicí roviny:	$S_K = 225 \text{ mm}^2$

Průhyb desek

Výpočet průhybu desek slouží k ověření tuhosti desek. Pokud dojde k většímu průhybu, než je povolená hodnota, může dojít k úniku taveniny mimo dutinu. Řešením problému je použití tlustších desek, za cenu nárůstu hmotnosti formy, nebo použitím podpěrných prvků.

Spojité zatížení, působící na desku na ploše všech promítnutých dutin, nahradíme jedinou silou, která bude mít působíště v těžišti promítnuté plochy.

$$F = S_p \cdot p_v = 4433 \cdot 90 = 398,97 \text{ kN} \quad (4)$$

$$S_p = S_N + S_K = 4208 + 225 = 4433 \text{ mm}^2 \quad (5)$$

- F... Výsledná ohybová zatěžovací síla
- S_p ... Plocha průmětu všech dutin a kanálků
- S_N ... Plocha průmět nástavce
- S_K ... Plocha vtokového systému

Samotný průhyb potom vypočteme s pomocí kvadratického momentu desky, která je zatížena silou v jednom bodě mezi podpěrami.

$$I = \frac{B \cdot t_D^2}{12} = \frac{246 \cdot 72^2}{12} = 7651584 \text{ mm}^4 \quad (6)$$

- B... Šířka desek formy
- I... Kvadratický ohybový moment
- t_d ... Tloušťka desek

$$y_{\max} = \frac{F \cdot a_1^2 \cdot a_2^2}{3 \cdot E \cdot I \cdot A} \quad (7)$$

$$y_{\max} = \frac{398,97 \cdot 10^3 \cdot 72^2 \cdot 72^2}{3 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 7651584 \cdot 160}$$

$$y_{\max} = 0,014 \text{ mm}$$

- a_1, a_2 ... Vzdálenost místa působení síly od okraje podpor
- A... Průměr rozpěrných lišt
- E... Modul pružnosti v tahu (deska formy)
- y_{\max} ... Průhyb desek

Povolený průhyb desek pro semikrystalický plast je $y_{\max} = 0,03 \text{ mm}$.

$$0,014 < 0,03$$

Průhyb desek je tedy v tolerované hodnotě.

Hodnoty získané výpočtem pomocí osamocené síly jsou vyšší než hodnoty reálné při plošném zatížení. Při plošném zatížení se tlak rozloží po ploše a výsledný průhyb je menší, než při působení stejné síly v jednom bodě.

Pokud je průhyb větší, než povolená hodnota (u amorfních plastů je $y_{\max} = 0,025 \text{ mm}$), existují 2 varianty jak problém vyřešit:

- Zvětšit tloušťku desky pod opěrné desky pod tvarovou dutinou v pohyblivé části formy. Což ovšem znamená zásah do konstrukce formy a navýšení celkové hmotnosti.
- Podepřít desky pomocí podpěrek. Stačí vyvrtat otvory do vyhazovací a kotvicí desky a podpěrky připevnit k upínací desce.

Parametry materiálu

Zvolení vhodných parametrů pro provoz formy jsem provedl na základě podkladů od firmy Du Pont ke zvolenému materiálu Delrin.

Parametr	Značka	Hodnota	Jednotka
Teplota taveniny	T_M	215	[°C]
Teplota formy	T_W	90	[°C]
Střední vyhazovací teplota	T_E	125	[°C]
Vstřikovací tlak	p_v	90	[Mpa]
Dotlak	p_d	90	[Mpa]
Zpětný tlak	p_z	<5	[Mpa]
Měrná teplotní vodivost	a_{eff}	0,059	[mm ² /s]
Hustota	ρ	1,42	[g/cm ³]

Tab. 2 Zvolené hodnoty zpracovatelských vlastností materiálu Delrin [13]

Výpočet hmotnosti m nástavce [g]

$$m = \rho \cdot V_N = 1,42 \cdot 50,55 = 71,78 \text{ g} \quad (8)$$

Celkový objem výstřiku V_0 [cm³]

$$V_0 = V_N + V_K = 50,55 + 1,96 = 52,51 \text{ cm}^3 \quad (9)$$

Velikost dávky V_D [cm³]

$$V_D = n_T \cdot V_0 \cdot 1,05 = 1 \cdot 52,51 \cdot 1,05 = 55,15 \text{ cm}^3 \quad (10)$$

Výpočet doby vstřikovacího cyklu t_c [s]

$$t_c = t_1 + t_2 + t_v + t_k + t_3 + t_4 \quad (11)$$

t_c ... doba vstřikovacího cyklu

t_1 ... doba uzavření formy

t_2 ... doba přísunu plastikační a vstřikovací jednotky

t_v ... doba vstřikování

t_{ch} ... doba chladnutí formy

t_3 ... doba otevření formy a vyhození výstřiku

t_4 ... prodleva

- Zvolení strojních časů časů
- doba uzavření formy

$$t_1 = 1 \div 1,5 \Rightarrow 1 \text{ s}$$

- doba přísunu plastikační a vstřikovací jednotky

$$t_2 = 0,5 \text{ s}$$

- doba otevření formy a vyhození výstřiku

$$t_2 = 1 \div 1,5 \Rightarrow 1 \text{ s}$$

- prodleva

$$t_4 = 0,5 \text{ s}$$

- Určení doby vstřikování t_v [s]

Dobu vstřikování určíme pomocí tabulek č.3 a č.4, nebo z materiálového listu - viz příloha č.1 (0,5 – 2,0).

Vstřikovaný objem [cm ³] přes - do	Doba vstřikování [s]		
	Nízkoviskozní materiál	Středněviskozní materiál	Vysokoviskozní materiál
1 - 8	0,2 - 0,4	0,25 - 0,5	0,3 - 0,6
8 - 15	0,4 - 0,5	0,5 - 0,6	0,6 - 0,75
15 - 30	0,5 - 0,6	0,6 - 0,75	0,75 - 0,9
30 - 50	0,6 - 0,8	0,75 - 1,0	0,9 - 1,2
50 - 80	0,8 - 1,2	1,0 - 1,5	1,2 - 1,8
80 - 120	1,2 - 1,8	1,5 - 2,2	1,8 - 2,7
120 - 180	1,8 - 2,6	2,2 - 3,2	2,7 - 4,0
180 - 250	2,6 - 3,6	3,2 - 4,5	4,0 - 5,5
250 - 500	3,6 - 4,8	4,5 - 6,0	5,5 - 7,5

Tab. 3 Určení vstřikovací rychlosti [5]

Viskozita	Vstřikovaný materiál
nízká	PE-LD, PA 6, PA 6.6, PA 6.10, PA 11, POM, PET, PBT
střední	PS, ABS, PPO, PVC weich, PE-HD, PP, PA 12
vysoká	PVC hart, PMMA, PC

Tab. 4 Určení viskozity materiálu [5]

Zvolená doba vstřikování:

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

- Výpočet doby chlazení t_{ch} [s]

$$t_{ch} = \frac{s^2}{\pi^2 \cdot a_{eff}} \cdot \ln \left(\frac{8 \cdot T_M - T_W}{\pi^2 \cdot T_E - T_W} \right) \quad (12)$$

$$t_{ch} = \frac{4,5}{\pi^2 \cdot 0,059} \cdot \ln \left(\frac{8 \cdot 215 - 100}{\pi^2 \cdot 125 - 100} \right)$$

$$t_{ch} = 45,8 \text{ s}$$

a_{eff} ... Měrná teplotní vodivost [mm^2/s]

T_E ... Střední vyhazovací teplota [$^{\circ}\text{C}$]

T_M ... Teplota taveniny [$^{\circ}\text{C}$]

T_W ... Teplota formy [$^{\circ}\text{C}$]

- doby vstřikovacího cyklu t_c

$$t_c = t_1 + t_2 + t_v + t_k + t_3 + t_4$$

$$t_c = 1 + 0,5 + 1 + 53,5 + 1 + 0,5$$

$$t_c = 49,8 \Rightarrow 50 \text{ s}$$

Průměr šneku d_s [mm]

$$7,5 \sqrt[3]{V_0} \leq d_s \leq 10,5 \sqrt[3]{V_0} \quad (13)$$

$$7,5 \sqrt[3]{52,55} \leq d_s \leq 10,5 \sqrt[3]{52,55}$$

$$28,01 \leq d_s \leq 39,3$$

Šneky jsou vyráběny o průměrech: 20, 25, 30, 35, 40, ...

Zvolený průměr šneku je $d_s = 35 \text{ mm}$

Délka dráhy šneku L_s [mm]

$$V_D = \frac{\pi \cdot d_s^2}{4} \cdot L_s \Rightarrow L_s = \frac{4 \cdot V_D}{\pi \cdot d_s^2} \quad (14)$$
$$L_s = \frac{4 \cdot 55,15 \cdot 10^3}{\pi \cdot 35^2} = 57,3 \text{ mm}$$

Kontrola velikosti zdvihu

$$L = 1 \div 3 \cdot D_s \quad (15)$$

$$\frac{L}{D_s} = \frac{57,3}{35} = 1,64$$

Průměr šneku splňuje podmínku pro optimální velikost zdvihu.

Obvodová rychlost šneku n_s [min^{-1}]

Jak už bylo popsáno dříve, rotace šneku přispívá k přeměně granulátu na taveninu. Zvýšením obvodové rychlosti zvyšujeme také smykové namáhání a tím urychlujeme tavení materiálu. Promícháváním taveniny dochází k lepší homogenizaci plastu a zamezuje se přehřívání taveniny a tím její degradaci.

Příliš velkou rychlostí ovšem můžeme způsobit porušení soudržnosti materiálu nebo lokální přehřátí materiálu a zapříčinit tak jeho spálení.

Fimra DuPont pro materiál Delrin 500P udává mezní obvodovou rychlost 0,2 – 0,3 m/s.

Byla zvolena rychlost $v_s = 0,2$ m/s.

Ze znalosti obvodové rychlosti můžeme určit otáčky šneku

$$n_s = \frac{v_s}{\pi \cdot d_s} = \frac{0,2 \cdot 10^3 \cdot 60}{\pi \cdot 35} = 109,13 \text{ min}^{-1} \quad (16)$$

Minimální vstřikovací kapacita C_V [cm^3]

$$C_V \geq 1,1 \cdot n_T \cdot V_0 \quad (17)$$

$$C_V \geq 1,1 \cdot 55,15$$

$$C_V \geq 60,66 \text{ cm}^3$$

Průchod taveniny ze stroje do formy M [$\text{kg} \cdot \text{hod}^{-1}$]

$$M = \frac{V_D \cdot \rho}{t_c} \cdot 3600 \quad (18)$$

$$M = \frac{55,15 \cdot 10^{-6} \cdot 1420}{50} \cdot 3600$$

$$M = 5,64 \text{ kg} \cdot \text{hod}^{-1}$$

Výpočet uzavírací síly F_p [kN]

$$F_p \geq 1,1 \cdot n_T \cdot p_v \cdot S_p \cdot 10^{-3} \quad (19)$$

$$F_p \geq 1,1 \cdot 1 \cdot 90 \cdot 4433 \cdot 10^{-3}$$

$$F_p \geq 438,9 \text{ kN}$$

Výpočet vstřikovací rychlosti v_s [$\text{cm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$] [cm^3/s]

$$v_s = \frac{V_D}{t_v} = \frac{55,15}{1} = 55,15 \text{ cm}^3/\text{s} \quad (20)$$



Obr. 7.14 Vstřikovací čelist'ová forma pro zadaný díl

7.5 Volba stroje

Volba stroje proběhla na základě porovnání hodnot vypočtených s parametry strojů uvedených v nabídce strojů od firmy Arburg – viz příloha č. 2. Parametry vstřikování mají ideálně zabírat do 80 % možností stroje.

Zvolený typ stroje: hydraulický, Arburg 370S 500-170.

Porovnání hodnot je pro přehlednost zaneseno v tabulce 5.

Vidíme, že se s parametry vstřikování vejde s rezervou do kapacity stroje.

Parametr	Vypočítaná hodnota	Max. hodnota stroje
Vstřikovací kapacita [cm ³]	55,15	115
Plastikační kapacita [kg/hod]	5,64	PS – 16 PA 6.6 - 8
Uzavírací (přidržovací) síla [kN]	438,9	500
Vstřikovací tlak [MPa]	90	147
Rozměr upínací plochy / Světlost vodičích tyčí [mm x mm]	246x346	370x370
Výška formy (uzavřená/otevřená) / Min/Max zdvih [mm]	351,8/460	200/600
Ø voleného šneku/možné Ø šneků [mm]	35	20/30/35
Příkon stroje [kW]	-	15

Tab. 5 Srovnávací tabulka výběru stroje



Obr. 7.15 Vstřikovací lis Arburg Allrounder řady S [19]

8 TECHNICKO EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

V ekonomickém zhodnocení se promítnou všechny náklady na koupi normalizovaných dílů pro formu, opracování dílu do výsledných tvarů, cena materiálu na výrobu celé série, provoz stroje a náklady výrobního dělníka.

Výsledkem zhodnocení bude zjištění nákladů na výrobu jednoho Nástavce.

Počítáme s tím, že potřebný stroj na výrobu už vlastníme. Proto budeme brát jen jeho poměrnou cenu - odpisy.

Výpočet jednotlivých nákladů

Náklady na materiál

Cena materiálu Delrin 500P - 2,5€/kg

Cena eura ke dni 21.5.2012 - 25,325Kč/€

$$C_m = 63,31 \text{ Kč}$$

- Hmotnost vstřikovací dávky m_0 [g]:

$$m_0 = \rho \cdot V_0 = 1,42 \cdot 55,15 = 78,31 \text{ g} \quad (21)$$

- Celková hmotnost materiálu pro výrobu série [Kč]:

$$m_c = m_0 \cdot N = 78,31 \cdot 100000 = 7831 \text{ kg} \quad (22)$$

- Náklady na materiál pro výrobní sérii [Kč]:

$$N_m = C_m \cdot m_c = 63,31 \cdot 7831 = 495780 \text{ Kč} \quad (23)$$

Náklady na materiál formy

Náklady na formu zahrnují nákup normálií a polotovarů, náklady na obrobení do výsledného stavu a teplotní zpracování.

Cena materiálu dílů formy (viz tabulka v příloze č.1):	72588 Kč
Cena konstrukčních a technologických prací :	90000 Kč
Cena za TZ namáhaných částí:	30000 Kč
Cena obrábění normálií a technických prací:	150000Kč
(Ceny jsou pouze orientační nevztahující se přesně k tomuto dílu)	

$$N_f = 72588 + 90000 + 30000 + 150000 \cong 350000 \text{ Kč} \quad (24)$$

Náklady na stroj

Cena nového stroje typu Allrounder 370S se pohybuje v rozmezí 50000 – 57000 € (tj. 1266250 – 1443525 Kč). Vezmeme tedy průměrnou cenu 1354888Kč.

Cenu stroje rozložíme do doby šesti let.

Převod 6 let na hodiny: $6 \cdot 12 \cdot 20 \cdot 2 \cdot 8 = 23040 \text{ hod}$, při dvousměnném provozu.

- Celková doba na vyrobení série t_{vc} [hod]:

$$t_{vc} = \frac{t_c \cdot N}{n \cdot 3600} = \frac{50 \cdot 100000}{1 \cdot 3600} = 1388,9 \text{ hod} \quad (25)$$

- Poměrná cena stroje za dobu výrobní série N_p [Kč]:

$$N_p = \left(\frac{1388,9}{23040} \right) \cdot 1354888 = 81676 \text{ Kč} \quad (26)$$

Náklady na provoz stroje

- Náklady na hodinový provoz stroje N_s [Kč/hod]:

$$N_s = \frac{P_f \cdot N_e}{K} = \frac{15 \cdot 4,55}{0,8} = 85,31 \text{ Kč/hod} \quad (27)$$

- Náklady na provoz stroje pro výrobní sérii N_{sc} [Kč]:

$$N_{sc} = N_s \cdot t_{vc} = 85,31 \cdot 1383,3 = 118487 \text{ Kč} \quad (28)$$

Náklady na výrobního dělníka (seřizovače)

- Náklady na výrobního dělníka (seřizovače) na výrobní sérii N_d [Kč]:

$$N_d = M_d \cdot t_{vc} = \frac{300}{3} \cdot 1383,3 = 13833 \text{ Kč} \quad (29)$$

M_d ...mzdové náklady seřizovače – 300kč/hod

Předpoklad: práce seřizovače bude rozdělena na 3 stroje.

Celkové náklady

- Celkové náklady na výrobní sérii N_c [Kč]:

$$N_c = N_m + N_f + N_p + N_{sc} + N_d = 495780 + 350000 + 81676 + 118487 + 13833 \quad (30)$$

$$N_c = 1059776 \text{ Kč}$$

Výsledný náklad na jeden výstřik N_k :

$$N_i = \frac{N_c}{100000} = \frac{1059776}{100000} = 1,1 \text{ Kč} \quad (31)$$

ZÁVĚR

Pro zadaný díl – Nástavec byla zvolena jako jediné možné řešení výroby technologie vstřikování termoplastu. Jako materiál byl zvolen polyformaldehyd (POM) Delrin 500P NC010 od firmy Du Pont. Volba proběhla s ohledem na závit, který je součástí nástavce, vhodné vlastnosti materiálu a prostředí, ve kterém bude nástavec umístěn.

Řešení konstrukce bylo realizováno s ohledem na požadovanou velikost výrobní série 100000ks a termín dodání 5 měsíců. Z toho vyplynula násobnost formy jedna a konstrukční řešení studeného vtokového systému s dvojnásobným tunelovým vtokem, a to hlavně z důvodu nízkých výrobních nákladů.

Vstřikovací forma byla řešena jako forma čelist'ová. Každá čelist je při otevírání vedena dvěma šikmými kolíky pro odformování a bezproblémové vyhození výstřiku a je chlazená samostatným okruhem teploty. Tvárník, ve kterém je vyroben vtok, je chlazen pomocí dvouchodé spirály.

Pro snadnější konstrukci a výrobu formy byly voleny normalizované díly od firmy Hasco a DME.

Vstřikovací parametry byly navrženy s pomocí materiálových listů a příruček firmy Du Pont pro materiál Delrin.

Na základě zvolených a vypočtených parametrů pro zpracování byl jako vhodný vybrán stroj od firmy Arburg – typ Allrounder 370S 500-170.

Závěrem byly vypočítány náklady na cenu celé výrobní série. Hodnota jednoho výstřiku vyšla na 1,1 Kč. Cena je z důvodů neznalosti některých parametrů pouze orientační. Navíc nejsou do této ceny zahrnuty režijní náklady na provoz firmy. Režijní náklady se liší firma od firmy.

Vhodnost vyrobené tvarové dutiny, navržených parametrů vstřikování a konstrukce vtoku a chlazení se projeví až při testovací výrobě, případně je možné je ověřit pomocí některé z analýz Moldflow a formu následně doladit.

Seznam použité literatury

- 1 SOVA, Miloš a Josef KREBS. Termoplasty v praxi. 1. vyd. Praha: Verlag ISBN 80-86229-15-7, 2001, 425 s. sv. 2. ISBN 80-86229-15-7.
- 2 ZEMAN, Lubomír. Vstřikování plastů. 1. vyd. Praha: BEN, 2009, 248 s. ISBN 978-80-7300-250-3.
- 3 MENGES, George a Paul MOHREN. How to Make Injection Mold. 3. ed. Munich: Hanser Gardner Publications, 2001, 612 s. ISBN 1-56990-282-8.
- 4 KOLOUCH, Jan. Strojní součásti z plastů. 1. vyd. Praha: SNTL, 1981, 260 s.
- 5 KANDUS, Bohumil. Přednášky a podklady do cvičení z předmětu HTZ. 2010.
- 6 LENFELD, Petr. Technologie II: Část II - Zpracování plastů:. Technická univerzita Liberec [online]. 2008 [cit. 2012-05-18]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/obsah_plasty.htm
- 7 BOBČÍK, Ladislav. FORMY PRO ZPRACOVÁNÍ PLASTŮ I.DÍL - Vstřikování termoplastů. 2. opravené vydání. Brno, 1999, 134 s. Dostupné z: http://vitani-prvnacku.ic.cz/podkl/pr_frm03.pdf
- 8 BOBČÍK, Ladislav. FORMY PRO ZPRACOVÁNÍ PLASTŮ II.DÍL - Vstřikování termoplastů. 1. vyd. Brno, 1999. Dostupné z: http://vitani-prvnacku.ic.cz/podkl/KF_1-99.pdf_frm03.pdf
- 9 ŽÁK, Ladislav. Podklady do cvičení předmětu HTN: Vstřikovací formy. 2009, 39 s. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/cviceni_soubory/htn__tvareci_nastroje_vstrikovaci_formy__zak.pdf
- 10 ŘEHULKA, Zdeněk. Konstrukce výlisků z plastů a forem pro zpracování plastu. Brno, 2001, 177 s.
- 11 KOMPOZITY BRNO S.R.O. Kurz vstřikování plastů. Brno.
- 12 Delrin Moulding Manual. Distrupol [online]. 2009, 2012 [cit. 2012-05-18]. Dostupné z: http://www.dstrupol.com/images/Delrin%28TM%29_Moulding_Manual.pdf
- 13 DU PONT. Příručka od firmy Du Pont - Přesné vstřikování polyformaldehydu Delrin. Ženeva, 28 s.
- 14 HASCO Hasenclever GmbH + Co KG [online]. 2012 [cit. 2012-05-18]. Dostupné z: <http://www.hasco.com/>
- 15 DME Europe [online]. 2012 [cit. 2012-05-20]. Dostupné z: <http://www.dmeeu.com/cz>

- 16 DUCHÁČEK, Vratislav. Polymery, výroba, vlastnosti, zpracování, použití. 2. vyd. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2006, 280 s. ISBN 80-7080-617-6. Dostupné z: http://vydavatelstvi.vscht.cz/knihy/uid_isbn-80-7080-617-6/pages-img/190.html
- 17 Sumitomo (SHI) Demag [online]. 2012 [cit. 2012-05-20]. Dostupné z: http://www.sumitomo-shi-demag.eu/en/products/hydraulic_machines/
- 18 Fyzikální základy vědy o materiálu [online]. 2006 [cit. 2012-05-20]. Dostupné z: <http://www.ped.muni.cz/wphy/fyzvla/FMkomplet3.htm>
- 19 Arburg [online]. 2012 [cit. 2012-05-20]. Dostupné z: <http://www.arburg.com/en/>
- 20 Google Obrázky [online]. 2012 [cit. 2012-05-23]. Dostupné z: www.google.com
- 21 Materiál 21. století. *Elektronický portál měsíčníku podnikatel* [online]. 2012, červenec–srpen 2011 [cit. 2012-05-23]. Dostupné z: <http://www.epod.cz/material-21-stoleti/>

Seznam použitých veličin

Označení	Název	Jednotka
a_1, a_2	Vzdálenost místa působení síly od okraje podpor	[mm]
a_{eff}	Měrná teplotní vodivost	[mm ² /s]
A	Průměr rozpěrných lišt	[mm]
B	Šířka desek formy	[mm]
C_m	Cena materiálu	[Kč]
C_V	Minimální vstřikovací kapacita	[mm ³]
$d_{\text{š}}$	Průměr šneku	[mm]
DP	Doba prodlevy	[min]
E	Modul pružnosti v tahu (deska formy)	[MPa]
F	Výsledná ohybová zatěžovací síla	[kN]
F_P	Uzavírací síly	[kN]
I	Kvadratický ohybový moment	[mm ⁴]
K	Faktor využití času	[-]
$L_{\text{š}}$	Délka dráhy šneku	[mm]
m	Hmotnost výstřiku	[g]
m_c	Celková hmotnost materiálu pro výrobu série	[kg]
m_0	Hmotnost vstřikovací dávky	[g]
M	Průchod taveniny ze stroje do formy	[kg/hod]
M_d	Mzda seřizovače	[Kč/hod]
n_T	Termínová násobnost	[-]
N	Požadovaný počet kusů	[ks]
N_c	Celkové náklady na výrobní sérii	[Kč]
N_d	Náklady na seřizovače	[Kč]
N_e	Cena kilowatthodiny	[Kč]
N_f	Náklady na materiál formy	[Kč]
N_k	Náklady na jeden výstřik	[Kč]
N_m	Náklady na materiál pro výrobní sérii	[Kč]
N_s	Náklady na hodinový provoz stroje	[Kč]
N_{sc}	Náklady na provoz stroje pro výrobní sérii	[Kč]
$n_{\text{š}}$	Otáčky šneku	[min ⁻¹]
p_d	Dotlak	[MPa]
p_i	Vnitřní tlak	[MPa]
p_v	Vstřikovací tlak	[MPa]
p_z	Zpětný tlak	[MPa]
s	Tloušťka stěny výstřiku	[mm]
S	Smrštění	[-]
s_k	Pohyb šneku	[mm]
S_K	Průmět rozváděcích kanálků do dělicí roviny	[mm ²]
s_n	Pohyb nástroje	[mm]
S_N	Průmět nástavce do dělicí roviny	[mm ²]
S_P	Plocha průmět všech dutin a rozváděcích kanálků do dělicí roviny	[mm ²]
t_1	Doba uzavření formy	[s]
t_2	Doba přísunu plastikační a vstřikovací jednotky	[s]
t_3	Doba otevření formy a vyhození výstřiku	[s]
t_4	Prodleva	[s]
t_c	Doba vstřikovacích cyklu	[s]

Označení	Název	Jednotka
t_d	Doba dotlaku	[s]
t_D	Tloušťka desek	[mm]
t_{ch}	Doba chladnutí formy	[s]
t_v	Doba vstřikování	[s]
t_{vc}	Celková doba na výrobení série	[hod]
T_E	Střední vyhazovací teplota	[°C]
T_f	Teplota viskózního toku	[°C]
T_g	Teplota skelného přechodu	[°C]
T_m	Teplota tání krystalů	[°C]
T_M	Teplota taveniny	[°C]
T_P	Požadovaný termín dodání	[°C]
T_W	Teplota formy	[°C]
P_f	Příkon stroje	[kW]
Q_K	Teplo odvedené do okolí	[J]
Q_P	Teplo přivedené polymerem	[J]
Q_R	Teplo odvedené radiací	[J]
Q_{TM}	Teplo odvedené temperančním médiem	[J]
Q_V	Teplo odvedené do upínacích ploch stroje	[J]
V_0	Celkový objem výstřiku	[cm ³]
V_0	Celkový objem materiálu v komoře	[cm ³]
V_D	Objem dávky	[cm ³]
V_K	Objem vtokového zbytku a rozváděcích kanálků	[cm ³]
V_N	Objem nástavce	[cm ³]
v_s	Vstřikovací rychlosti	[cm ³ /s]
v_{ξ}	Obvodová rychlost šneku	[m/s]
y_{max}	Průhyb desek	[mm]
ρ	Hustota	[g/cm ³]

Seznam obrázků

Obr. 1 Použití plastů [20].....	- 11 -
Obr. 1.1 Model zadané součásti – Nástavec se závitem	- 12 -
Obr. 2.1 Struktura polymerů [18].....	- 13 -
Obr. 2.2 Nadmolekulární struktura amorfních plastů [6]	- 14 -
Obr. 2.3 Nadmolekulární struktura semikrystalických plastů [6].....	- 15 -
Obr. 2.4 Vliv struktury na modul pružnosti ve smyku [6].....	- 16 -
Obr. 2.5 Graf tepelné stability materiálu POM [13]	- 17 -
Obr. 2.6 Průběh smrštění v závislosti na čase [9].....	- 18 -
Obr. 3.1 Vstřikovací cyklus [6]	- 19 -
Obr. 4.1 Vstřikovací lis od firmy Demag [17].....	- 20 -
Obr. 4.2 Schéma vstřikovací jednotky [16].....	- 20 -
Obr. 4.3 Šnek [12].....	- 21 -
Obr. 4.4 Hydraulická uzavírací jednotka od firmy Arburg [19].....	- 21 -
Obr. 5.1 Vstřikovací forma [20]	- 23 -
Obr. 5.2 Vtokový systém [3]	- 24 -
Obr. 5.3 Průřez vtokových kanálků [4]	- 24 -
Obr. 5.5 Plný kuželový vtok [3].....	- 25 -
Obr. 5.6 Bodový vtok [3]	- 26 -
Obr. 5.7 Diskový vtok [3]	- 26 -
Obr. 5.8 Prstencový vtok [3].....	- 26 -
Obr. 5.9 Tunelový vtok [3].....	- 26 -
Obr. 5.10 Štěrbinový vtok [3]	- 27 -
Obr. 5.12 Příklady rozváděcích vytápěných bloků [14]	- 28 -
Obr. 5.13 Tepelná bilance formy [9]	- 29 -
Obr. 6.1 Ukázka rozdělení vstřikovacího cyklu [12]	- 32 -
Obr. 6.2 Časový průběh vstřikování [11]	- 33 -
Obr. 6.3 Průběh tlaku v dutině formy během vstřikovacího cyklu [6]	- 34 -
Obr. 7.1 Zaformování nástavce	- 38 -
Obr. 7.2 Zvolený tunelový vtokový systém	- 38 -
Obr. 7.4 Řešení temperance čelisti	- 39 -
Obr. 7.5 Řešení temperance kotevní desky.....	- 40 -
Obr. 7.6 Řešení temperance kluzné desky	- 40 -
Obr. 7.7 Řešení temperance tvárníku	- 40 -
Obr. 7.9 Posuvný přidržovač firmy DME [15] Obr. 7.10 Uložení posuvného přidržovače	- 43 -
Obr. 7.11 Graf smrštění ve formě v závislosti na teplotě formy pro materiál Delrin [13]	- 43 -
Obr. 7.12 Graf smrštění ve formě v závislosti na vstřikovacím tlaku pro materiál Delrin [13]	- 44 -
Obr. 7.13 Graf smrštění ve formě v závislosti na teplotě formy pro materiál Delrin [13]	- 44 -
Obr. 7.14 Vstřikovací čelistová forma pro zadaný díl.....	- 50 -
Obr. 7.15 Vstřikovací lis Arburg Allrounder řady S [19]	- 51 -

Seznam výkresů

DP – 2012 – 00	Výkres sestavy vstříkovací formy
DP – 2012 – 01	Výkres sestavy vstříkovací formy
DP – 2012 – 02	Kusovník
DP – 2012 – 03	Výrobní výkres čelisti
DP – 2012 – 04	Výrobní výkres čelisti
DP – 2012 – 05	Výrobní výkres tvárníku
DP – 2012 – 06	Výkres součásti

Seznam příloh

Příloha č.1 Náklady na jednotlivé komponenty formy

Příloha č.2 Technická data ke stroji Allrounder 370S

Příloha č.3 Materiálový list Delrinu

Příloha č.1 Náklady na jednotlivé komponenty formy

Název součásti	Označení	Materiál	Počet kusů	Cena [€/ks]	Potřeba úpravy
Upínací deska	K11/246x346x27	1.1730	2	160,16	✓
Kotevní deska	K30/246x296x36	1.2312	1	195,13	✓
Kluzná deska	K 252/246x296/26	1.2343	1	216,56	✓
Opěrná deska	K30/246x296x36	1.1730	1	152,27	
Izolační deska	Z1212/246x346x7		2	38,48	
Čelist (polotovary)	P1100/156x246x76	1.2343	1	198,94	✓
Vodící lišta (polotovary)	F/80,3x50,4x500	1.2343	1	167,99	✓
Dorazový klín	Z183/63/79/85	1.2162	2	246,97	✓
Dorazová lišta	Z1813/79x6x85	1.2842	2	39,77	✓
Tvárník (polotovary)	P8000/091x100	1.2343	1	64,09	✓
Chladicí vložka	P8000/060x090	1.1730	1	21,36	✓
Kotevní deska	K60/190x246x12	1.1730	1	45,00	✓
Vyhazovací deska	K70/190x246x17	1.1730	1	52,56	✓
Vtoková vložka	Z511/18x46/3/40	1.2826	1	37,95	
Středící kroužek 1	K100/125x16,5	1.1730	1	30,58	
Středící kroužek 2	K500/125x15	1.1730	1	25,01	
Šikmý kolík	Z01/18x180	1.0401	4	7,91	✓
Vodící tyč	Z03/27/24x125	1.0401	4	22,67	
Šroub M6	Z31/6x18		7	0,13	
Šroub M6	Z31/8x20		6	0,19	
Šroub M10	Z31/10x35		14	0,38	
Šroub M10	Z31/10x75		4	0,58	
Šroub M10	Z31/10x180		4	5,09	
Šroub M5	Z33/5x14		8	0,12	
Šroub M5	Z33/4x8		8	0,22	
Zátka	Z35/8x8		12	0,11	
Vodící tyč 1	Z00/36/20x165	1.0401	4	26,62	
Vodící tyč 2	Z03/27/18x125	1.0401	4	19,24	
Vodící pouzdro 1	Z10/96/20	1.0401	4	26,40	
Vodící pouzdro 1	Z10/27/18	1.0401	4	9,94	
Středící objímka	Z20/26x160	1.0401	4	13,47	
Vyhazovací kolík 1	Z40/2x160	1.2516	4	3,21	
Vyhazovací kolík 1	Z40/6x250	1.2516	1	6,95	
Dosedací podložka	Z55/18x3	1.0711	4	1,50	
Přípojná vsuvka	Z81/5/8x0,75	2.0401	6	1,29	
Prodloužená přípojná vsuvka	Z90/9x100	2.0401	4	3,60	
Posuvný přidržovač (DME)	PSR 2000		2	50,52	
Zvedací kroužek	Z71/10	1.0401	1	1,30	
Celkem [€]				2866,26	
Celkem [Kč]				72588,03	

