



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

VÝROBA SOUČÁSTI Z PLASTU

PRODUCTION SINGLE PARTS FROM THERMOPLASTIC

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. JAN MICHALČÁK

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. LADISLAV ŽÁK, Ph.D.

BRNO 2009

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2008/2009

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Jan Michalčák

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:

Výroba součástí z plastu

v anglickém jazyce:

Production single parts from thermoplastic

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

návrh technologie výroby součástí a konstrukční řešení formy

Cíle diplomové práce:

1. Literární studie dané problematiky
2. Zhodnocení technologičnosti výroby součástí
3. Návrh technologie výroby
4. Návrh vstřikovací formy
5. Ekonomické hodnocení

Seznam odborné literatury:

KOLOUCH, Jan. Strojírenské výrobky z plastů vyráběné vstřikováním. 1. vyd. Praha : SNTL, 1986. 229 s.

SOVA, Miloš, KREBS, Josef. Termoplasty v praxi : Praktická příručka pro konstruktéry, výrobce, zpracovatele a uživatele termoplastů. 5. aktualiz. vyd. Praha : Verlag Dashöfer, 1999-2000. růz s., CD-ROM. ISBN 80-86229-15-7.

Vedoucí diplomové práce: Ing. Ladislav Žák, Ph.D.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2008/2009.

V Brně, dne 19.11.2008

L.S.

doc. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Ředitel ústavu

doc. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

MICHALČÁK Jan: Výroba součásti z plastu

Projekt vypracovaný v rámci inženýrského studia oboru N2307-00 předkládá návrh výroby součásti z plastu z materiálu PP GF30. V rámci literární studie jsou shrnuty poznatky ze zpracování plastů a na jejich základě je zvolena a blíže popsána samotná technologie vstřikování a konstrukce vstřikovacích forem. Práce se dále zabývá konstrukcí vstřikovací formy, která je řešená jako 1+1 násobná s využitím bočních posuvných jader-tahačů. Při konstrukci nástroje bylo využito normalizovaných prvků firmy Hasco a upevněn bude na vstřikolisu Arburg ALLROUNDER 320C. Na závěr práce jsou ověřeny potřebné pevnostní vlastnosti části formy a jednoduchá kalkulace výrobních nákladů.

Klíčová slova: Plast, Vstřikování plastů, 1+1 násobná forma, tahač

ABSTRACT

MICHALČÁK Jan: Production single part from thermoplastic

The project elaborated in the frame of engineering studies branch N2307-00 is submitting design of a product from plastic from material PP GF30. In the frame of literal study there are summarized technical knowledge from the area of plastic processing. On its base there is selected and specified technology of plastic injection and construction of injection mold. Thesis is further dealing with the construction of injection mold, which is solved as a 1+1 multiple with the use of side sliding flank cores. During the course of the tool construction there were used standardized elements of Hasco company. The tool will be fixed by the use of Arburg ALLROUNDER 320C injection press. In the conclusion of the thesis there are verified necessary strenght of the mold and basic production cost analyses.

Keywords: Plastic, Plastic injection, 1+1 multiple injection mold, Flank core

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

MICHALČÁK Jan: *Výroba součástí z plastu*. Brno, 2009. 64s, CD., FSI VUT v Brně, Ústav strojírenské technologie, Odbor tváření kovů a plastů. Vedoucí práce Ing. Ladislav Žák, Ph.D.

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.

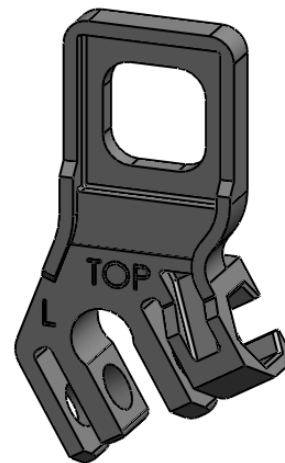
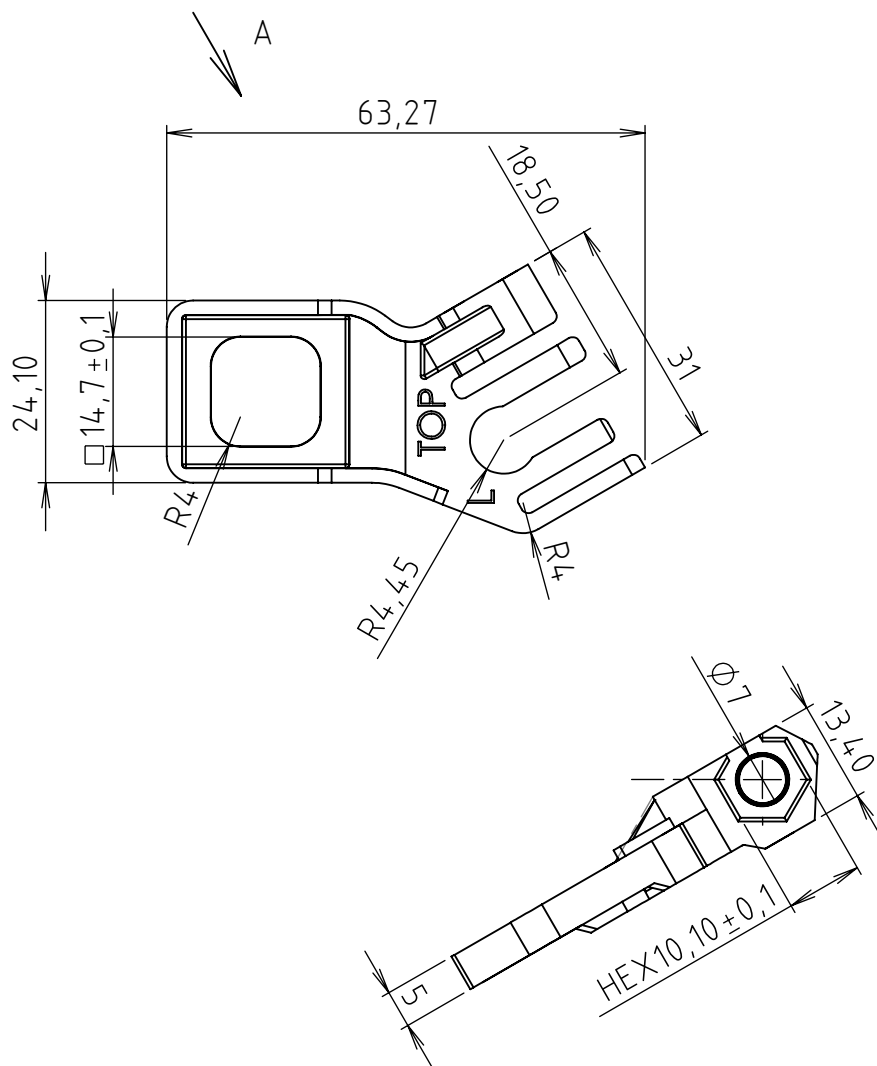
V Brně dne 29.5.2009

.....
Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji panu Ing. Ladislavu Žákovi, Ph.D. za cenné připomínky a rady týkající se zpracování diplomové práce.

Náčrt součásti



POHLED A
MĚŘÍTKO 1 : 1

Název: "Pant"

Funkce: Prvek sestavy pantu v osobním automobilu

Materiál: PP GF30A

Hmotnost: 6,3g

OBSAH

Zadání
Abstrakt
Bibliografická citace
Čestné prohlášení
Poděkování
Nákres součásti
Obsah

Str.

1. Úvod	9
2. Literární studie	10
2.1 Názvosloví.....	10
2.2 Rozdělení plastů.....	12
2.3 Vlastnosti plastů.....	12
2.3.1 Termodynamické vlastnosti.....	12
2.3.2 Mechanické vlastnosti.....	15
2.3.3 Tepelné vlastnosti.....	19
2.3.4 Fyzikální vlastnosti.....	20
2.4 Technologie pro zpracování plastů.....	20
2.4.1 Přípravné procesy.....	21
2.4.2 Vstřikování plastů.....	21
2.4.3 Vytlačování plastů.....	22
2.4.4 Vyfukování plastů.....	23
2.4.5 Lisování plastů.....	23
2.4.6 Tvarování plastů.....	24
3. Technologičnost výroby součásti	25
3.1 Metody RP a RE.....	25
3.2 Řešení výroby.....	27
3.2.1 Hodnocení alternativ a výběr technologie výroby.....	28
4. Konstrukce vstřikovacích forem	28
4.1 Konstrukční prvky forem.....	28
4.2 Možné varianty sestav rámů.....	30
4.3 Vtokové soustavy.....	30
4.3.1 Horké vtokové soustavy.....	31
4.3.2 Studené vtokové soustavy.....	32
4.4 Temperace forem.....	33
5. Rozbor procesu vstřikování	34
5.1 Časový průběh vstřikovacího cyklu.....	34
5.1.1 Plastifikace.....	34
5.1.2 Vstřikování.....	34
5.1.3 Dotlak.....	34
5.1.4 Chlazení.....	35
5.1.5 Vyhození.....	36
6. Vstřikovací stroje	36
6.1 Základní parametry vstřikolisů.....	36
6.2 Části vstřikovacích lisů.....	37

7. Návrh výroby součástí	39
7.1 Popis součástí.....	40
7.2 Volba dělicí roviny.....	40
7.3 Určení násobnosti formy.....	41
7.4 Zaformování výstřiku.....	41
7.5 Návrh vtokové soustavy.....	42
7.6 Volba velikosti desek formy.....	44
7.7 Volba stroje.....	44
7.7.1 Přidržovací síla stroje.....	44
7.7.2 Vstřikovací kapacita stroje.....	46
7.8 Základní části formy.....	47
7.8.1 Návrh sestavení formy.....	47
7.9 Temperace.....	53
8. Výpočet průhybu desek	56
9. Ekonomické zhodnocení	62
10. Závěr	64

Seznam použitých zdrojů

Seznam použitých symbolů a zkratk

Seznam příloh a výkresů

1. Úvod [8]

Plasty, dnes již není pochyb o tom, že by tento pojem naznal každý obyvatel naší planety. Staly se nedílnou součástí naší civilizace, doprovází nás celý život v nejrůznějších podobách, od základních pomůcek nezbytných k civilizovanému životu, až po nejpreciznější aplikace v průmyslu, kde zastávají funkci „dokonalých“ technických řešení, která by bez nich byla jen obtížně realizovatelná. Tak jako vždy, tak i v tomto odvětví byly na počátku sny, sny o materiálu který bude levný, jednoduše tvařitelný a obrobitelný, mechanicky, chemicky a všelijak odolný, zkrátka bude naplňovat představy konstruktérů, které byli v dané době nerealizovatelné s tehdy známými technologiemi. Tyto sny se postupně naplňovali a naplňují.

Je těžké určit kdy přesně lidé použili nový materiál, který je všeobecně nazýván plastem. Tento pojem v sobě zahrnuje širokou škálu materiálů, od těch nejprimitivnějších a nejstarších, až po právě objevené a objevované. Využití plastů se datuje až do roku 1855, kdy byl představen první známý plast pod názvem Parkesin. Své jméno dostal po angličanovi Alexandru Parkesovi. Materiál byl chemický nitrát celulózy a uplatnění našel jako náhražka slonoviny. Vznik prvního, plně syntetického plastu na sebe nenechal dlouho čekat, je jím všem dobře známí bakelit, jehož objevení se datuje do roku 1909. V následujících letech nastal poměrně rychlý vývoj plastů, výzkum dal vzniknout materiálům jako PVC, polystyren, nylon a mnoho dalších. Bouřlivý rozvoj nastal po druhé světové válce, kdy vzniklo mnoho materiálů, jež se v podstatě používají dodnes.

Existuje však i jiný pohled na problematiku plastů. Mohutný rozmach jejich využívání přinesl i řadu otázek jak použítý, někdy i znehodnocený materiál dále zpracovávat. Existuje množství materiálů, které se nedají recyklovat a musejí se ukládat na skládkách, či likvidovat ve spalovnách. To sebou nese nemalé problémy jak finanční, tak hlavně ekologické. S tím je třeba při dalším vývoji materiálů počítat a zabezpečit minimální ekologické dopady na přírodu, abychom ji zachovali pro další generace alespoň v takové podobě, v jaké ji známe my.

2. Literární studie

2.1 Názvosloví

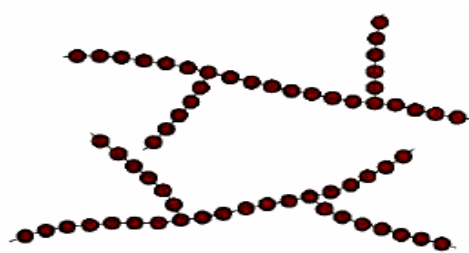
Polymer: je makromolekulární látka, která vzniká polyreakcemi, jako jsou polymerace, polykondenzace a podobně. Je základním stavebním prvkem plastů.

Lineární polymery: tvoří je jednotlivé monomery, spojené vazbami do polymerů, viz obr.1.



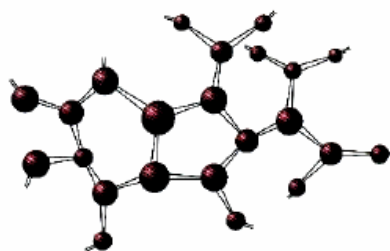
Obr.1 Lineární polymer [5]

Rozvětvené polymery: viz obr.2.



Obr.2 Rozvětvený polymer [5]

Zesítné polymery: viz obr.3.



Obr.3 Zesítný polymer [5]

Amorfní polymer [4]: má prakticky neuspořádanou strukturu, výborná vrubová houževnatost. Typickými představiteli jsou PVC, PC, PS. Jsou použitelné do teplot T_g -skelného přechodu, neboť nad touto teplotou měknou a ztrácejí své mechanické vlastnosti.

- Semikrystalické polymery :** obsahují jak krystalickou, tak i amorfní fázi, jsou použitelné nad teplotou T_g , protože zde mají výhodnou kombinaci pevnosti a houževnatosti. Typickými představiteli jsou PP, PET.
- Krystalický plast:** mají pravidelnou strukturu, dobrou tvarovou stálost za vyšších teplot, jsou chemicky odolné. Struktura může být: lamelární, fibrilární, sferolitická. Uspořádání struktury má zásadní vliv na mechanické vlastnosti materiálů.
- Termoplast:** Většinou se jedná o viskomolekulární polymery. Materiál lze opakovaně zahřát a plasticky tvářet, po ochlazení se převede zpět do tuhého stavu. Proces lze provádět opakovaně, ovšem za cenu mírné degradace vlastností materiálů.
- Reaktoplast:** Tyto materiály jsou také označovány jako termosety, duromery, či duroplasty. Jsou teplem vytvrditelné a nejdou opakovaně zpracovávat pomocí vyšší teploty jako termoplasty. Při prvotním zpracování za pomoci teploty a tlaku dochází k zesíťování do podoby trojrozměrné prostorové sítě.
- Elastomer:** je materiál, který se vlivem zatížení elasticky deformuje a po odlehčení se vrací zpět do původní podoby a tvaru.
- Plast neplněný:** jedná se o základní materiál bez přísad, nebo je s nepatrným množstvím, které se neodrazí na jeho vlastnostech.
- Plast plněný:** základní materiál je obohacen o přídavné látky-plniva, která podstatným způsobem ovlivňují jejich vlastnosti. Plniva mají nejčastěji tvar vláken, jež výrazně přispívají k zlepšení mechanických vlastností základního materiálu.
- Krystalinita** krystalinitou se rozumí schopnost materiálu vytvářet uspořádané struktury. Molekuly amorfních polymerů zaujímají nahodilou pozici, naproti tomu semikrystalické polymery vytvářejí pravidelné útvary-krystality. Hodnotí se stupněm krystalinity w_k [%]
- Relaxace materiálu** je vlastnost materiálu označující schopnost uvolnění napětí vzniklé v tělese, jenž bylo deformováno na konstantní hodnotu deformace. Ve větší míře ji rozeznáváme u semikrystalických materiálů, minimálně u amorfních.

2.2 Rozdělení plastů

Plasty obecně můžeme rozdělit z mnoha hledisek. Nejčastěji se setkáváme s rozdělením dle použití výrobků z nich vyrobených, to znamená, že při výběru plastu pro dané konstrukční řešení vycházíme z toho, jaký účel má budoucí součást plnit, zohledňujeme mechanické, optické (průhledný, neprůhledný), elektrické a mnohé jiné vlastnosti. Kromě základního prvku obsahují různé přísady, které mají za úkol zlepšovat vlastnosti materiálů pro danou aplikaci.

Základní rozdělení tedy je:

- termoplasty
- reaktoplasty
- elastomery

Jak již bylo uvedeno, základním stavebním prvkem je polymer, což je určitý typ makromolekulární látky. Polymery můžeme rozdělit dle různých hledisek, uvedených v schématu č.1.

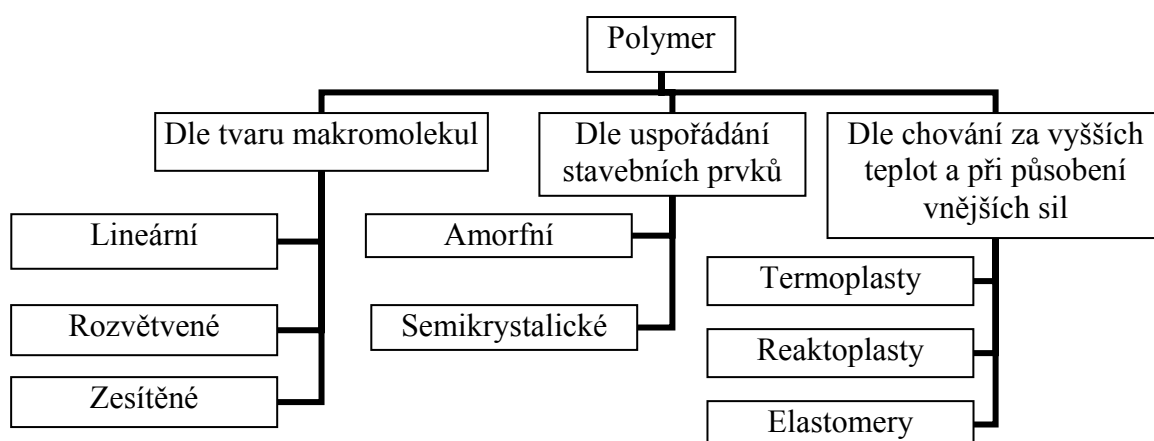


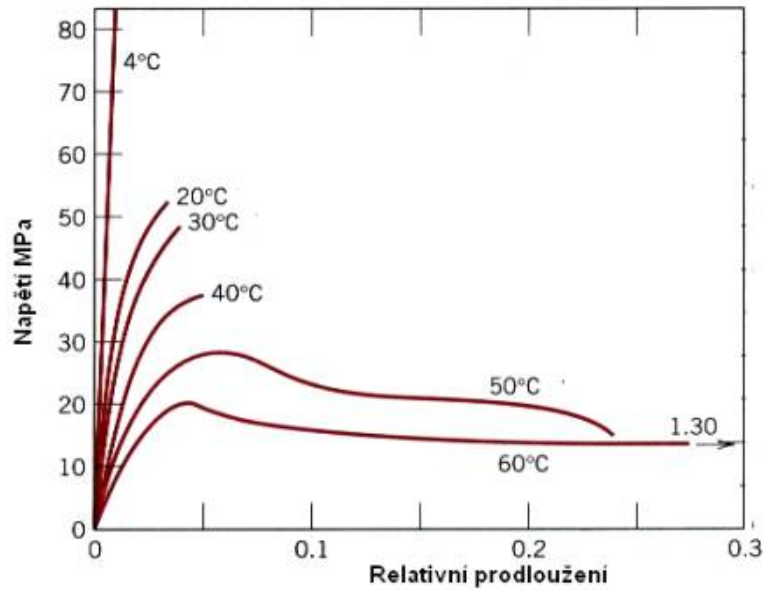
Schéma 1 Rozdělení polymerů.

2.3 Vlastnosti plastů

2.3.1 Termodynamické vlastnosti plastů

Při návrhu nové součásti se dostaneme před problém, jaký materiál pro danou aplikaci použít. Existuje celá řada doporučení, dle nichž se můžeme orientovat. Nejvýznamnější veličinou ovlivňující výběr materiálu je teplota, při které součást bude používána. Teplota tedy přímo ovlivňuje vlastnosti polymeru, jež se v závislosti na teplotě mohou měnit.

Na obr.4 je názorně ukázáno, jak výrazně se mohou vlastnosti polymerů měnit (v tomto případě relativní prodloužení v závislosti na napětí).



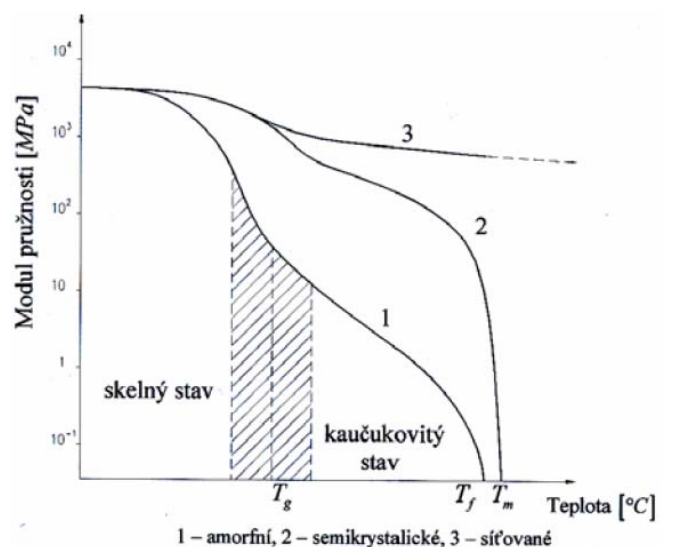
Obr.4 Závislost: relativní prodloužení-napětí [7]

V určitém rozsahu teplot, se tyto vlastnosti mohou měnit výrazněji, nebo dokonce skokově. Takovéto oblasti teplot nazýváme přechodovými oblastmi a jedná se o tyto veličiny:

- Teplota zesklnění T_g (neboli teplota skelného přechodu)[°C]
- Teplota viskozního toku T_f [°C]
- Teplota tání T_m [°C]

Teplota zesklnění T_g

Po dosažení této teploty se hodnoty pevnostních veličin mění skokově. U amorfních plastů se vlivem teploty T_g změni hodnota meze pevnosti v tahu a modulu pružnosti zhruba o tři řády a koeficient teplotní roztažnosti se změni až o 100%. Konkrétní hodnota je závislá na druhu materiálu, zejména pak na jeho skladbě, velikosti mezimolekulárních sil a ohebnosti řetězců. Tuto teplotu je možné pozitivně ovlivňovat přidáním aditiv, zejména pak změkčovadel, které ovlivňují mezimolekulární soudržnost a tím tedy i teplotu zesklnění. Na obr.5 je patrné, jaký markantní vliv má teplota T_g na modul pružnosti amorfního plastu.



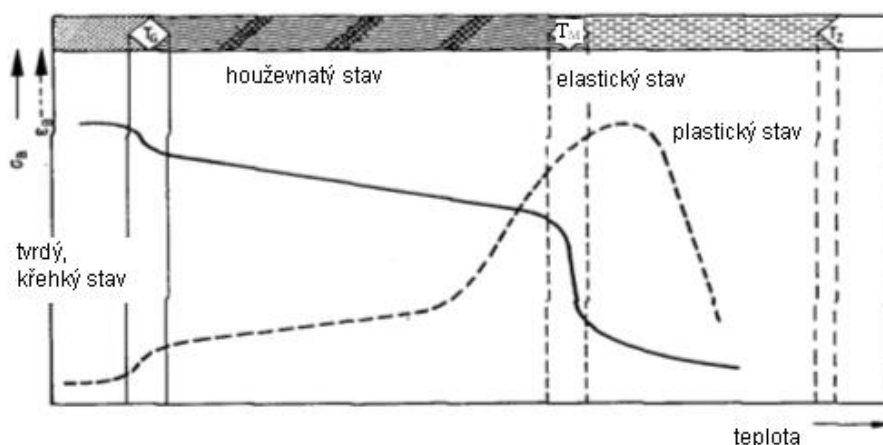
Obr.5 Vliv T_g na modul pružnosti polymeru [9]

Teplota viskozního toku T_f

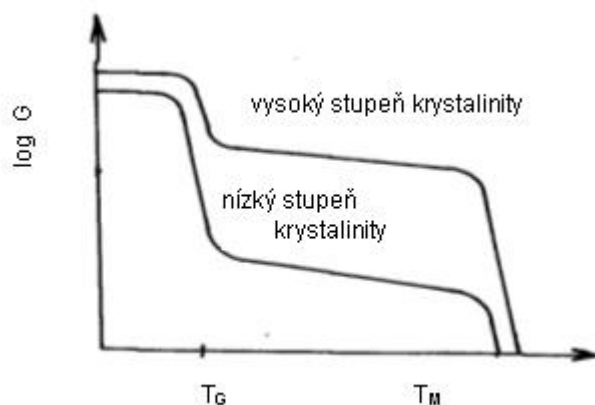
Jakmile polymer dosáhne teploty T_f , ztrácí své kaučukovité vlastnosti a změní se ve vysoce viskozní kapalinu. Při této a vyšší teplotě se obvykle zpracovávají polymery, například vstřikováním. Zvyšováním teploty nad oblast T_f klesá velikost makromolekulárních sil a tím se i snižuje viskozita kapaliny. Jestliže je teplota ještě více zvyšována, dojde k tepelné degradaci polymeru. Naproti tomu zesíťovaný amorfnní polymer se chová odlišně. U takového materiálu lze při zvýšených teplotách pozorovat kaučukovitý stav s relativně vysokým modulem pružnosti, jenž si zachovává až do teploty rozkladu polymeru, viz obr.5.

Teplota tání T_m

Teplota T_m je výraznou veličinou u semikrystalických materiálů. Právě při dosažení této teploty dojde k nejrychlejším změnám vlastností polymeru, viz. Obr. 5 a obr.6. Dochází zde totiž k rozpadu a tání krystalitů a materiál mění své skupenství z pevného na kapalné. Tání se děje v určitém intervalu teplot a teplota T_m zde představuje jakousi střední hodnotu. Pokud semikrystalický materiál obsahuje i amorfnní podíl, lze u nich také stanovit teplotu zesknění, podobně jako u amorfnních materiálů. Změny v okolí teplot T_g se ovšem týkají pouze amorfnní složky, takže čím má materiál vyšší stupeň krystalinity, tedy menší podíl amorfnních složek, tím méně je náchylný na změny vlivem teploty T_g viz obr. 7.



Obr.6 Vliv teploty T_m a T_g na vlastnosti polymeru [6]



Obr.7 Vliv stupně krystalinity na modul pružnosti ve smyku [6]

2.3.2 Mechanické vlastnosti plastů

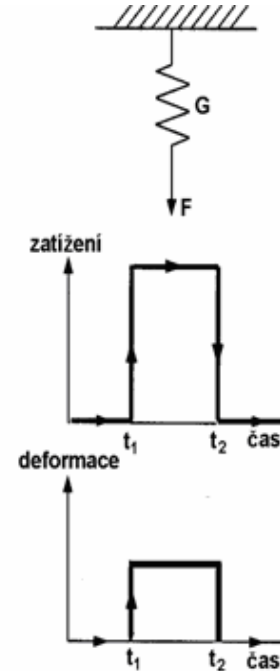
Mechanické vlastnosti plastů jsou výrazně odlišné od mechanických vlastností kovových materiálů. Je to způsobeno značně odlišnou a někdy velmi složitou strukturou polymerů. Pokud takovýto materiál zatěžíme, vykazuje deformaci jak plastickou, tak i elastickou zároveň. Navíc jsou tyto vlastnosti značně závislé na teplotě a čase. Takovéto chování nazýváme viskoelastickým chováním. Viskoelastické chování popisují tzv. reologické modely. Dva základní modely, které charakterizují ideálně pružný materiál a ideálně viskózní materiál, jsou popsány v následujícím odstavci.

Reologické modely ideálně pružného a ideálně viskózního materiálu [9]

Reologický model ideálně pružného materiálu nám ukazuje elastické chování izotropního tělesa. Lze si to představit jako pružinu o určité tuhosti G která se pružně deformuje vlivem zatížení silou F a platí zde Hookův zákon, viz obr.9. Naproti tomu reologický model ideálně viskózního materiálu ukazuje viskózní chování tělesa. Tento model si lze představit jako píst a hydraulický válec naplněný kapalinou o dané viskozitě η a zatížení silou F , viz obr.8



Obr.8 Reologický model ideálně viskózního materiálu [9]



Obr.9 Reologický model ideálně pružného materiálu [9]

Výše uvedené reologické modely jsou představiteli mezních charakteristik chování. V rozmezí mezi chováním těchto modelů se nachází skutečné charakteristiky polymerů. Jejich skutečné vlastnosti můžeme napodobit kombinací právě dvou výše uvedených modelů.

Reologické modely viskoelastického chování polymerů [9]

Jak již bylo uvedeno, viskoelastické chování polymerů simulujeme kombinací výše uvedených reologických modelů. V následujícím textu budou osvětleny jejich zapojení a možnosti využití.

Kelvinův model (Voightův)

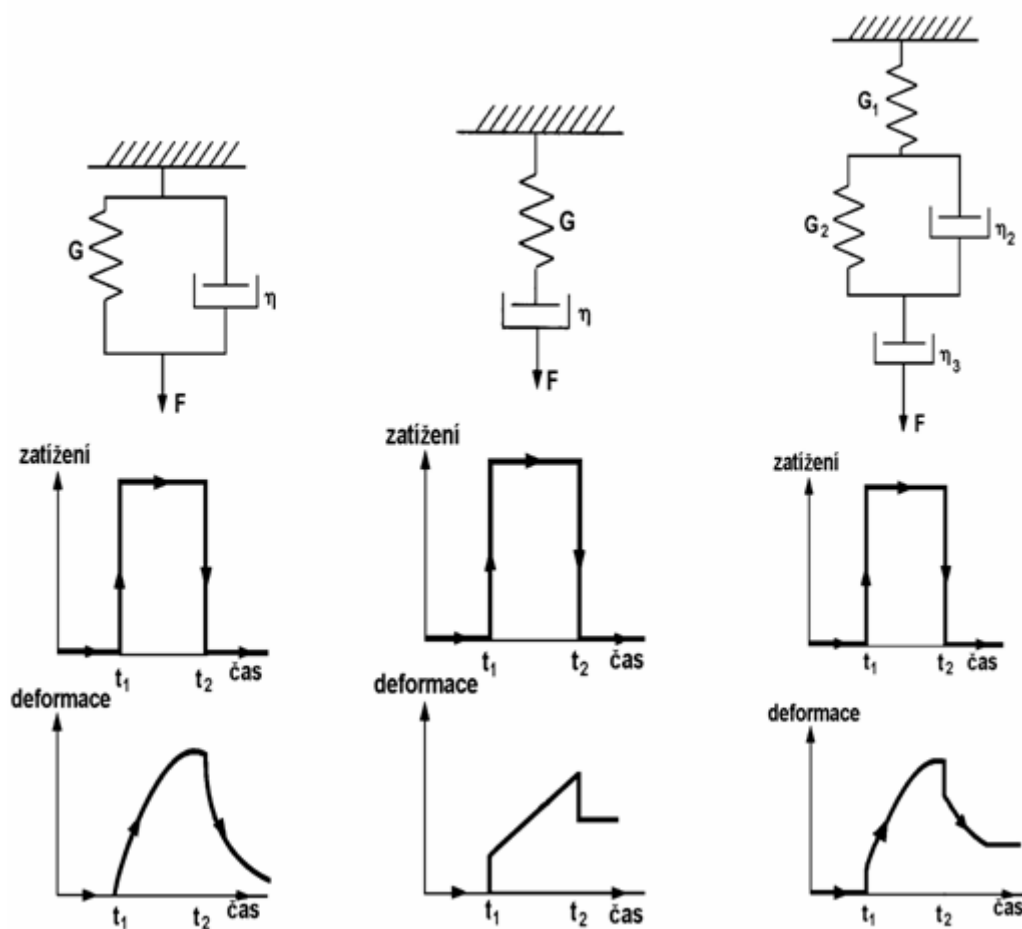
Model na obr.10, představuje spojení pružiny o tuhosti G a hydraulický válec s kapalinou o viskozitě η . Jsou spojeny do rámu paralelně. Tohoto modelu lze užít při simulaci krípu materiálu.

Maxwellův model

Tento model spojuje pružinu o tuhosti G a válec s kapalinou o viskozitě η do série. Takového modelu lze použít při modelování relaxace materiálu, viz obr.11.

Tucketův model

Zapojení tohoto modelu se užívá k simulaci viskoelastického chování lineárních amorfních polymerů. Je realizován pomocí sériového spojení pružiny o tuhosti G_1 , následuje Kelvinův model a dále hydraulický válec s kapalinou o viskozitě η_3 , viz obr.12.



Obr.10 Kelvinův model[9] Obr.11 Maxwellův model[9] Obr.12 Tucketův model [9]

Pevnostní vlastnosti

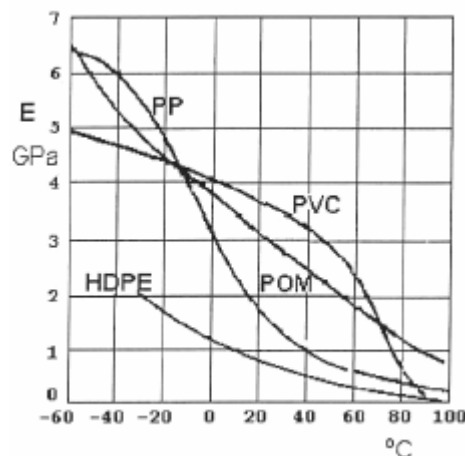
Pevnostní vlastnosti plastů jsou více než u jiných konstrukčních materiálů silně závislé na teplotě, při které budou pracovat, veličiny jako mez pevnosti v tahu, tlaku, ohybu a stříhu s rostoucí teplotou klesají, proto by se zkoušky těchto materiálů měli provádět za podmínek, které jistou mírou napodobují pracovní prostředí materiálu budoucí součásti. Velmi důležitým faktorem ovlivňujícím chování materiálu je také čas, tvar součásti a způsob namáhání. Z hlediska časového získáváme mech. vlastnosti plastů úměrné krátkodobému zatěžování, a vlastnosti plastů úměrné dlouhodobému zatěžování. Při krátkodobém zatěžování nezahrnujeme vliv relaxace materiálu, což je děj, při kterém se uvolňuje napětí v tělese které bylo deformováno, naopak při dlouhodobém zatěžování tento vliv zahrnujeme. Typickým příkladem dlouhodobé zátěže a relaxace je předpjatý šroub, u něhož působí konstantní zatížení při konstantní teplotě. Dalším výrazným kritériem je rychlost zatěžování materiálu. Zatímco materiál, který zatěžujeme nízkou rychlostí, se jeví jako houževnatý a můžeme u něj pozorovat výraznou mez kluzu, tak při vysokých rychlostech zatěžování se začne tentýž materiál chovat jako křehký a mez kluzu se minimalizuje nebo vymizí.

Mez pevnosti v tahu R_m a mez kluzu v tahu R_e

Tyto dvě veličiny jsou rozhodující při výběru materiálu a při konstrukčním řešení výrobku. Veličinu R_e zohledňujeme při návrhu řešení za použití zejména semikrystalických materiálů, protože tyto materiály při použití za běžných teplot vykazují výraznou mez kluzu, jsou tedy houževnaté. Naopak veličina R_m se užívá u ostatních druhů materiálů, zejména u tzv. křehkých, které pracují pod teplotou skelného přechodu. Patří sem amorfní plasty a také některé plněné materiály.

Modul pružnosti v tahu

Hodnota modulu pružnosti v tahu, označovaná E [MPa], udává míru tuhosti materiálu. Stejně jako jiné veličiny, je i modul pružnosti ovlivňován zejména teplotou prostředí, viz obr.13. Výrazné změny ve velikosti modulu můžeme pozorovat zejména v oblasti skelného přechodu T_g , dále při změnách doby zatěžování a velikostech napětí. Kvůli těmto uvedeným skutečnostem v praxi využíváme tzv. konstrukční modul pružnosti E_k [MPa], který již ovlivňující podmínky zahrnuje. Modul E_k se zjišťuje obvykle dlouhodobou, tzv. kríповou zkouškou v tahu. Nejčastěji se jeho hodnota odečítá z grafů uvedených v příslušné literatuře.



Obr.13, Závislost modulu E na teplotě u některých materiálů[5]

Kríp [9]

Při stanovení mechanických vlastností polymerů je nutné uvažovat o závislosti mezi zatěžujícím napětím, dobou zatěžování a vzniklým napětím. Teplotu považujeme za konstantní. Známostí pro vyjádření těchto závislostí je stanovení tzv. krípvých křivek. Pod pojmem kríp si lze představit změnu rozměrů tělesa při dlouhodobém statickém namáhání při konstantní teplotě. Zkouška na kríp se provádí za studena, obvykle tahem. Největší tečení vykazují materiály semikrystalické, menší pak amorfni, zanedbatelnou hodnotu má u reaktoplastů. Tyto zkoušky se provádějí po velmi dlouhou dobu. Ze zkoušek tečení je možno sestavit tzv. izochronní křivky, což jsou křivky závislosti napětí a celkové deformace odpovídající určité době zatížení.

Rázová houževnatost

Řadí se mezi nejdůležitější charakteristiky materiálu a vyjadřuje náchylnost materiálu k lomu při namáhání rázovým zatížením. Charakterizuje ji potřebná práce vynaložená na přeražení zkušebního tělíska. Rázová houževnatost bývá nízká při teplotách pod T_g , při teplotách okolo T_g a vyšších prudce roste.

Vrubová houževnatost

Vrubová houževnatost vyjadřuje citlivost materiálu k porušení vlivem koncentrace napětí v oblasti vrubu. Při zkouškách se využívá normalizované tělísko opatřené vrubem na tahové straně. Při zatížení vznikne právě v tomto vrubu velká koncentrace napětí, jenž usnadní vznik trhliny v materiálu a následné porušení. Stejně jako v předchozím případě ovlivňuje vrubovou houževnatost teplota. V oblastech pod T_g je poměrně nízká, naopak při rostoucí teplotě se prudce zvyšuje a roste rychleji než houževnatost rázová.

Poměrná rázová houževnatost

Tato veličina se také někdy nazývá vrubová citlivost materiálu a udává ji poměr rázové a vrubové houževnatosti. Hodnota této veličiny nám říká, jak je materiál citlivý na vruby jenž jsou koncentrátoři napětí. Čím je veličina vyšší, tím je materiál citlivější.

Index toku taveniny

Index toku taveniny, obvykle nazývaný melt flow index, dále jen MFI[g/10 minut] vyjadřuje množství taveniny daného materiálu, jenž proteče tryskou zkušebního zařízení, nazývaného vytlačovací plastometr za stanovený časový interval, obvykle 10 minut. Veličiny jako teplota a zatížení jsou přesně stanoveny. Dle toho, jak hodnotíme množství vyteklého materiálu, nazýváme veličinu MFR[g/10 minut], nebo MVR[cm³/10 minut]. Název MFR, vyjadřuje množství v gramech, její úplný název je melt mass-flow rate. Název MVR, melt volume-flow rate, vyjadřuje množství vyteklého materiálu v objemových jednotkách, obvykle v centimetrech krychlových. Veličina slouží k posouzení vhodnosti daného materiálu k výrobě součásti.

Smrštění

Smrštění, vyjadřuje zmenšení objemu materiálu výrobku po ochlazení. Se smrštěním musíme počítat již při návrhu dutiny formy a o velikost smrštění ji navrhnout větší. V materiálových listech je obvykle označováno jako mould shrinkage [%]. Smrštění lze částečně eliminovat dotlakem stroje při vstřikování materiálu do formy.

2.3.3 Tepelné vlastnosti

Jak již bylo několikrát uvedeno, vlastnosti plastů jsou silně závislé na teplotě. Teplé vlastnosti materiálu můžeme posuzovat ze širokého hlediska a protože má součást bude používána ve vozidle, uvedu zde jen několik podstatných vlastností, jímž má smysl se v práci zabývat.

Délková roztažnost

Stejně jako jiné konstrukční materiály, tak i plasty vykazují určité procento tepelné dilatace. Toto procento je výrazně odlišné dle druhu plastu, nejmenší dilataci vykazují plasty s vyšším modulem pružnosti a s obsahem plniva a platí, že čím vyšší obsah plniva, tím nižší je tepelná roztažnost. Velký důraz na druh materiálu plastu je nutné brát v případě, jestliže materiál budoucí součást tvoří kombinací více materiálů, například kov-plast.

Teplota křehnutí

Hodnota teploty křehnutí úzce souvisí s rázovou a vrubovou houževnatostí. Tato veličina udává teplotu, pod níž má materiál již nevyhovující vlastnosti z hlediska „houževnatosti“.

Tvarová stálost

Veličina označována v materiálových listech jako heat distortion temperature, označuje odolnost materiálu proti ohybovému namáhání za vyšších teplot.

Trvalá teplotní odolnost

Je odolnost materiálu proti dlouhodobému působení tepla, tedy tepelného stárnutí za provozních podmínek, tj. včetně provozního zatížení. Tepelné stárnutí se projevuje ztrátou deklarovaných mechanických vlastností, zejména pak zkřehnutím a různými deformacemi výrobku, urychluje ho i střídání vyšších a nižších teplot.

2.3.4 Fyzikální vlastnosti

Odolnost vůči UV (ultrafialovému) záření

UV záření má jednoznačně negativní vliv na stárnutí materiálu. Značnou měrou přispívá k degradaci a spolu se střídáním teplot, vzdušnou vlhkostí a povětrnostními podmínkami vytváří prostředí pro urychlené stárnutí materiálu. Výsledkem jsou pak ztráty mechanických vlastností, ztráty barev, vznik trhlin, deformace a podobně.

Hořlavost

Charakterizuje odolnost vůči vznícení materiálu, popřípadě zhášlivost plamene po oddálení zdroje plamene. Hořlavost nezávisí pouze na typu materiálu, ale také na jeho tvaru, tloušťce stěn a podobně. Hořlavost lze snížit různými plnivými, například skelnými vlákny, zejména pak retardéry hoření, což jsou látky ovlivňující teplotu vznícení, již zmiňovanou zhášlivost a také vývin kouře při hoření.

Navlhavost a nasákavost

Charakterizuje sklony materiálu k přijímání vody ze vzdušné vlhkosti, nebo z okolního prostředí obecně. Přijímání vody je urychlováno vyšším procentem vlhkosti obsažené v okolí, vyšší teplotou, slabší tloušťkou stěny výrobku, obsaženými organickými plnivými. Naopak snížení sorpce vody je docíleno použitím anorganických plniv a vyšším stupněm krystalinity. Navlháním se mění rozměry součásti, snižuje se pevnost, modul pružnosti, zhoršují se elektrické vlastnosti, na což se musí brát zřetel zejména při konstrukci komponent elektrických zařízení. Naopak vrubová a rázová houževnatost se zvětšuje. Jistým pozitivem je, že se jedná o vratný děj, který je ale poměrně zdoluhavý. Z výše uvedeného vyplývá, že se ve většině případů jedná o děj negativní. Pozitivním se stává při vstřikování, kdy ihned po vstřikovacím procesu má materiál minimální obsah vlhkosti a díky vstřebávání vody teprve dosahuje svých deklarovaných vlastností.

2.4 Technologie pro zpracování plastů [6]

Technologií pro zpracování plastů bylo vyvinuto velké množství. Pro výběr správné technologie musíme zohlednit řadu parametrů, který má finální výrobek splňovat. Na počátku zvolíme materiál, z něhož má být součást vyráběna. Již tato volba nám přímo ovlivní další výrobní procesy a postupy. Technologie lze v podstatě rozdělit do třech základních skupin, a to:

- tvářecí technologie
- tvarovací technologie
- doplňkové technologie

První zmiňovaná, tvářecí technologie, zahrnuje způsoby výroby, kdy dochází k značnému přesunu částic materiálu. Proces nejčastěji probíhá za kombinace působení teploty a tlaku a spadá sem vstřikování, vytlačování, lisování, válcování a podobně. U tvarovacích technologií nedochází k tak razantnímu přemístování částic. Proces může probíhat za zvýšené teploty či vyšším tlaku, ale také nemusí. Spadá sem ohýbání trubek, obrábění, spojování, výroba dutých těles atd.. Do doplňkových technologií spadá finální úprava povrchu součástí jako je barvení, potisk, nebo také přípravné práce před zpracováním základního materiálu.

2.4.1 Přípravné procesy

Dříve než začneme materiál zpracovávat, projde celou řadou procesů nutných k získání požadovaných zpracovatelských vlastností.

Granulace

Granulace je konečným způsobem přípravného zpracování materiálu. Materiál je dodáván ve formě granulí již z chemického závodu nebo od dodavatele. Granulí se využívá zejména z toho důvodu, že jsou lehce skladovatelné a to ve větších či menších pytlích, lehce dávkovatelné, jdou snadno dobarvovat a podobně. Navíc lze ke granulím přimíchávat drcený odpad z předešlé výroby, čímž jistou měrou přispíváme k bezodpadovému hospodářství. Samotnou recyklaci tímto způsobem lze zařadit samostatně na úroveň ostatních přípravných procesů zpracování. Granule mohou být ve tvaru kuliček, válečků nebo čoček.

Tabletování

Podstatou je slisování základního práškového materiálu do podoby tablet, jenž mají přesnou hmotnost. Metoda je výhodná z hlediska přesného dávkování, snížení prašnosti výroby, urychlení vytvrzení a zkrácení doby lisování.

Sušení

Většina plastů vyžaduje při vlastním zpracování určité maximální procento vlhkosti. Toho docílíme sušením materiálu před vlastním zpracováním. Většina materiálů má ve svém materiálovém listu uvedenou dobu skladovatelnosti v uzavřeném obalu, dobu sušení a podobně. Výtah z materiálového listu pro materiál Thermofil PP APG30A, což je materiál s 30% obsahem plniva ve formě skelných vláken, je na obr.14.

PRODUCT CODE : THERMOFIL PP APG30A

PRE-DRYING REQUIREMENTS

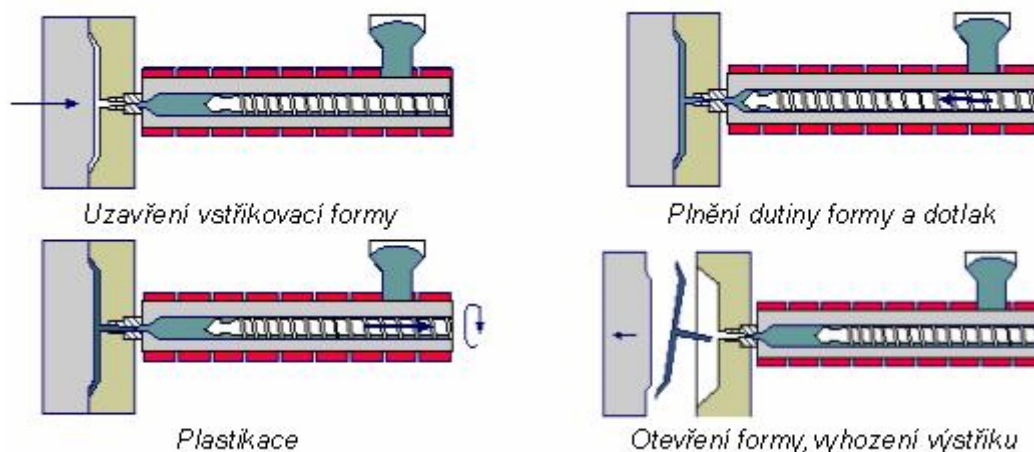
	Units	Values
Pre-Dried Ready For Use	-	Yes
Storage Life (unopened) @ 23°C/50%R.H	Months	6
Open Storage Time Before Pre-Drying Required	Hours	6
Pre-Drying Recommendation		3-4 Hours at 90°C

Obr.14, Příklad pro sušení materiálu [10]

2.4.2 Vstřikování plastů

Vstřikování plastu je proces, kdy se dávka roztaveného materiálu vstříkne vysokou rychlostí do dutiny formy, kde bezezbytku zaplní tvar této dutiny a následně ztuhne a vytvoří tak výrobek odpovídajících vlastností a požadovaného tvaru. Je to poměrně progresivní technologie s vysokou opakovatelností a umožňuje zhotovit větší počet výrobků v jedné pracovní operaci. Dutina formy bývá nejčastěji vytvořena v ocelové desce, která je součástí formy jenž obsahuje další příslušenství pro dobré zaplnění dutiny a také k vyjmutí výstřiku. Samotná forma je upnuta na vstřikovacím lisu odpovídajících parametrů, zejména pak uzavírací silou, plastifikační kapacitou, maximálním objemem taveniny na jeden zdvih a

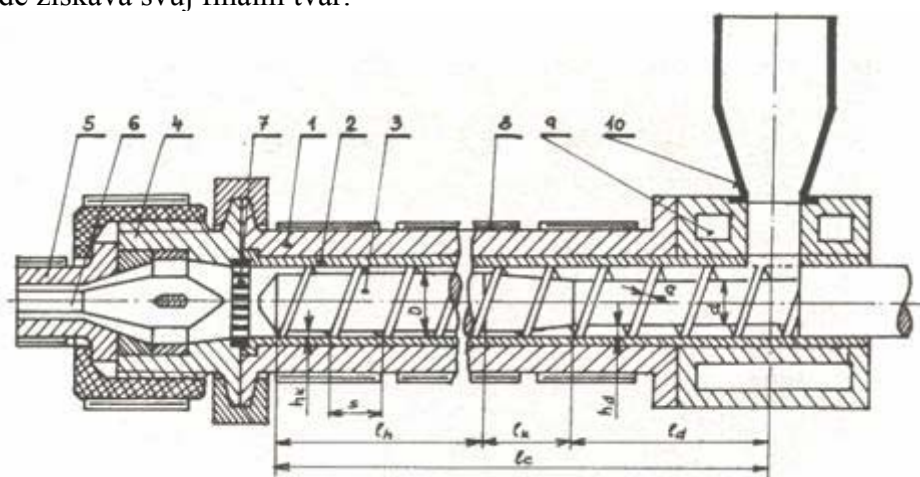
podobně. Postup vstřikování je následující: materiál ve formě granulí je dávkován do násypky stroje, odkud je dále přepravován pomocí šneku či pístu do pracovní komory stroje. Zde je díky působení tepla a tření natavován. Vzniklá tavenina je pohybem šneku či pístu vtlačena do dutiny formy, kde jak již bylo řečeno zaujímá její tvar. Následuje další fáze, které se říká dotlak. Díky dotlaku kompenzujeme smrštění materiálu, tedy nežádoucí změnu rozměrů. Materiál předává své teplo do chladících okruhů formy a tuhne. Po zatuhnutí se forma rozevře ve své dělicí rovině a za pomoci vyhadzovacího mechanismu je vyhozen již hotový výrobek z dutiny formy. Na obr.15 je názorná ukázka vstřikovacího cyklu.



Obr.15, Pracovní cyklus vstřikování [6]

2.4.3 Vytlačování

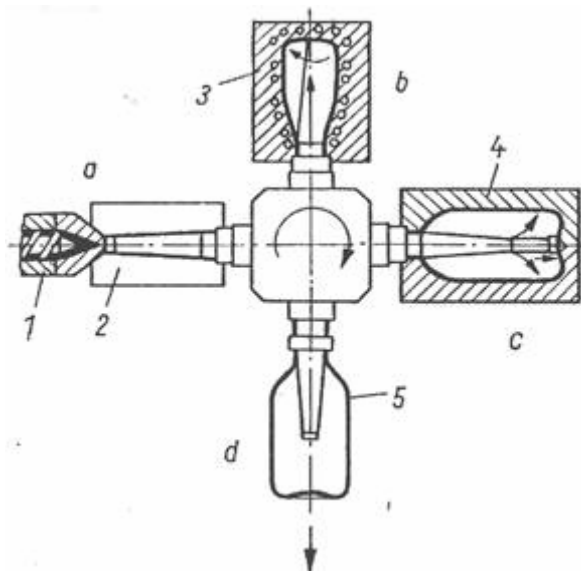
Je to proces, při kterém je tavenina vytlačována přes příslušné tvarovací zařízení, čímž získává po zatuhnutí finální tvar. Technologie je velmi vhodná pro výrobu profilů jako jsou trubky, vinkly, tyče, desky a různé složité profily. Stroje pro vytlačování mohou být: pístové, šnekové, diskové. Šnekové vytlačovací stroje, jak již z názvu vyplývá, používají pro vytlačení taveniny šnek. Rozměry a stoupání závitů šneku je rozdílné dle zpracovávaného materiálu. Jak je patrné z obr.16, je granulovaný materiál z násypky(10) odebírán a stlačován mezi závitů šneku(3). Za působení tření a teploty se natavuje do té míry, že na čele šneku již tavenina dosahuje potřebných vlastností. Tavenina je dále protlačována přes lamač(7) do vytlačovací hlavy(4), kde získává svůj finální tvar.



Obr.16, Šnekový vytlačovací stroj[6]

2.4.4 Vyfukování

Technologii vyfukování je nazýván proces, kdy za použití přetlaku plynu je polotovar ve vyfukovací formě tvarován do uzavřeného tvaru. Tvar může být relativně složitý. Materiál musí být zahřát do stavu, kdy je lehce tvařitelný, ale ještě si zachovává dostatečnou soudržnost. Příkladem může být vstříkovací vyfukování, které je velmi vhodné na výrobu lahví pro nápoje a podobně. Příkladem procesu vstříkovacího vyfukování je patrný z obr.17. Materiál je nastříknut do vstříkovací formy(2), jejímž jádrem je speciální trn. Tímto nastříknutím se vytvoří polotovar pro další zpracování a to včetně závitů či dna. Dále se materiál může ochladit a vzniknou tak polotovary pro další zpracování, nebo se může pokračovat kontinuálně. Pokud je zvolena druhá varianta, tzn. že se ihned přesune do vyfukovací formy(3), kde je polotovar vyfouknut do požadovaného tvaru a ochlazen. Následuje vyhození výrobku z formy(poziční d) a celý proces se opakuje.



Obr.17, Vstříkovací vyfukování[6]

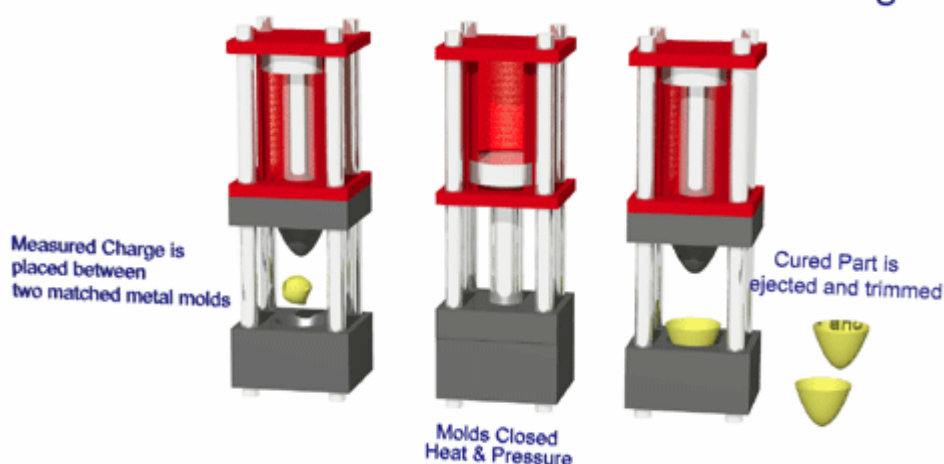
Velkou výhodou této technologie je takřka 100% využití materiálu, možnost získat duté výrobky poměrně složitých tvarů, jejichž dno neobsahuje svar a jsou tedy velmi odolné.

2.4.5 Lisování plastů

Je jedním z nejstarších postupů pro zpracování plastů jenž je v současnosti vytlačován a nahrazován vstříkáním. Nicméně stále nachází uplatnění. Principem je tvarování materiálu působením tepla a tlaku. Dutina formy, jenž má tvar budoucího výrobku, se naplní práškem, taveninou či tabletou základního materiálu. Forma je vytápěná na teplotu dle materiálu, tloušťky stěny výrobku atd., nejčastěji v rozmezí 130-190°C. Díky působení tepla se materiál začne natavovat a působením tlaku tvárníku též zatékat a vyplňovat dutinu formy. Následuje mírné pootevření, kdy dojde k odplynění formy. Působením dalšího tepla nastane vytvrzení

materiálu. Tato fáze je nejdelší v celém procesu. Po úplném otevření formy se výrobek vyjme a celý proces se tak může opakovat. Průběh procesu je patrný z obr.18.

Thermoset Compression/Transfer Molding



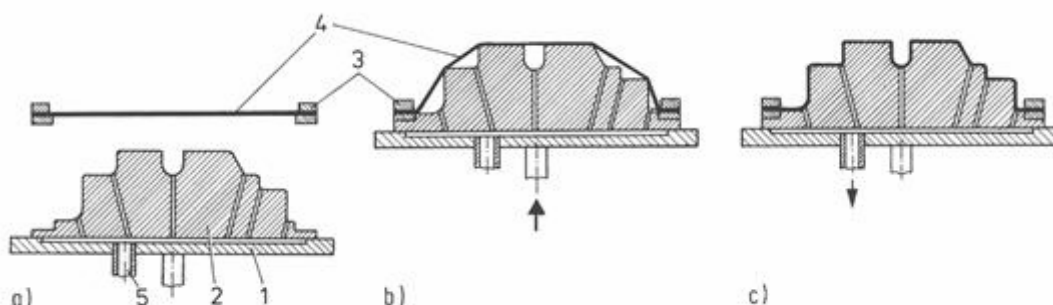
Obr.18, Lisování plastů[6]

2.4.6 Tvarování

Technologie tvarování je poměrně jednoduchá technologie, která nevyžaduje složitější strojní zařízení. Náklady na nástroj mohou být několikanásobně nižší než náklady na pořízení vstřikovací formy. Nevýhodou je naopak vyšší cena vstupního materiálu ve formě desek či fólií. Principem je změna tvaru desky nebo fólie, většinou za tepla. Výrobky vyrobené touto technologií nevynikají rozměrovou přesností a složitostí tvaru. Nejčastějším využitím je výroba jednoduchých krytů, bočnic cestovních kufrů, obalové techniky a podobně. Touto technologií lze zpracovávat pouze termoplasty. Základním dělením této technologie je:

- mechanické způsoby tvarování
- pneumatické způsoby tvarování

Pneumatické metody lze dále rozdělit na podtlakové a přetlakové. Desky můžeme tvarovat do pozitivních či negativních forem, popřípadě využít kombinaci obojích způsobů. Na obr.19 je názorná ukázka podtlakového tvarování na pozitivní formu.



Obr.19, Podtlakové tvarování na pozitivní formu[6]

Principem je zde upnutí polotovaru do rámu stroje(3). Takto upnutý polotovar je zahřát na tvarovací teplotu a napnut na tvarovou formu(2). Po napnutí se z prostoru mezi formou(2) a deskou(4) odsaje vzduch a díky vzniklému podtlaku se deska natvaruje na tvar formy(c). Po ochlazení dostaneme hotový výrobek. Takto lze vyrábět například plastické mapy.

3. Technologičnost výroby součásti

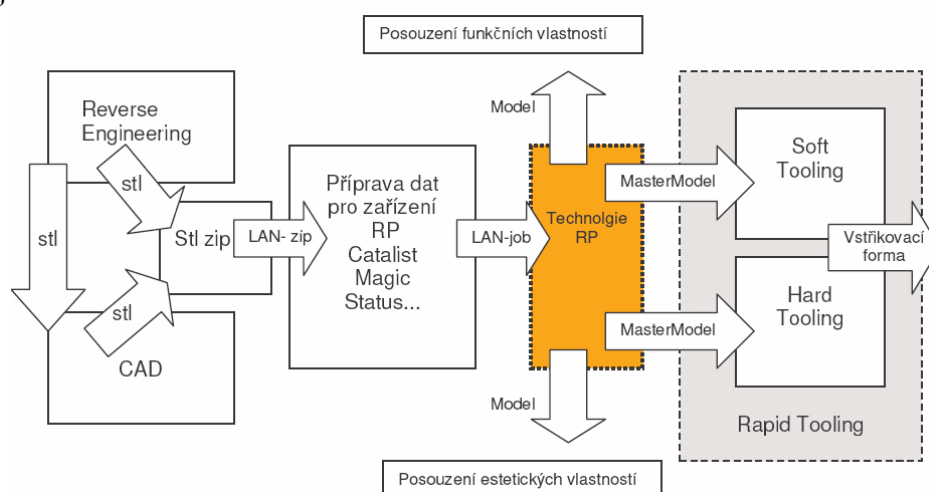
Zadaná součást bude sloužit jako prvek sestavy pantu v motorovém vozidle. Součást je na první pohled poměrně členitá, což přímo vybízí k využití moderních počítačových technologií modelování v některém z 3D modelářů, využití technologií Rapid Prototyping(dále jen RP), metod reverzního inženýrství(dále jen RE) a podobně. Prvotní roli zde hraje potřebný konstrukční návrh tvaru součásti, který je často podroben úpravám designera. Neméně podstatnou roli zde hrají technologické aspekty výroby, na které je třeba brát od počátku zřetel.

3.1 Metody RP a RE

V reálné praxi zadá výrobce požadavek na výrobu a spolu s ním dodá potřebnou výkresovou dokumentaci, ale hlavně i 3D model součásti v některém z výměnných datových formátů typu .STEP, .IGES a podobně. Následuje analýza možných způsobů výroby z hlediska vysoké opakovatelnosti, časové nenáročnosti a hlavně minimálních nákladů. Výraznou roli v tomto stádiu výroby představují moderní technologie typu RP a RE.

Metody RP

Jak již bylo uvedeno výše, metody RP jsou dnes hojně využívány v oblasti výroby složitějších tvarů. Technologie RP umožňuje výrobu prototypových součástí a modelů, kdy na základě virtuálního 3D modelu vytvořeného v některém ze systému CAD, vytvoří hmatatelný model budoucího výrobku, většinou v příslušném měřítku, za podstatně kratší čas než bylo dříve obvyklé při výrobě prototypů. Tento model je pak dále používán jako prototypová součást k řešení nejrůznějších úprav, ověření smontovatelnosti nebo jako demonstrace budoucího vzhledu výrobku u zákazníka. Je to univerzální metoda použitelná v jakémkoliv odvětví, není omezena tvarovou složitostí součásti. Principem je přidávání tenkých vrstev materiálu konstantní tloušťky v podobě taveniny či prášku, jedná se tedy o opak obrábění. Pro výrobu fyzického modelu nepotřebujeme žádnou formu či nástroj. Schéma postupu při využití metod RP je na obr.20.



Obr.20, Postup při využití RP

Z obrázku je patrné, že vstupními hodnotami do celého procesu jsou virtuální 3D modely, vytvořené v některém z prostorových modelářů, nebo získané metodou RE. Tyto modely jsou konvertovány do vhodného formátu, nejčastěji .STL, popřípadě již zmiňovaný .IGES a odeslány na příslušné zařízení, tzv. 3D tiskárnu. Výstupem je 3D fyzický model, jenž

se dál využije pro potřebné úpravy, měření a podobně. Takovýto model můžeme také využít pro výrobu formy pro malé (rapid soft tooling) či větší (rapid hard tooling) série.

Nejčastěji využívanými metodami v průmyslové praxi jsou:

- Stereolitografie (SL)
- Solid Ground Curing (SGC)
- Selective Laser Sintering (SLS)
- Laminated Object Manufacturing (LOM)
- Selective Adhesive and Hot Press (SAHP)
- Fused Deposition Modeling (FDM)
- Model Maker 3D Plotting (3DP)
- Ballistic Particle Manufacturing (BPM)
- Multi Jet Modeling (MJM)

Pod pojmem 3D tiskárna si lze představit zařízení, jehož výstupem je hmatatelný model vytvořený z modelu virtuálního. Principy těchto zařízení jsou více či méně rozdílné dle jednotlivých technologií.

Metody RE

Metody RE mají svoji nezastupitelnou roli při výrobě prototypů a spolu s RP jsou neocenitelnými pomocníky šetřící čas a finance. Principem metody je obrácený postup při výrobě přesných modelů oproti konvenčním metodám, z toho název reverzní inženýrství, kdy na počátku celé výroby stojí model, či součást, které za pomoci vhodné skenovací technologie převedeme do digitálních dat a dále upravujeme. Po příslušných úpravách se vzniklý model může vyrobít za pomoci CNC strojů, nebo opět vyrobít prototyp metodou RP. Reverzního inženýrství lze také využít pro:

- kontrola tvaru a rozměrů vyrobené součásti
- převedení skutečné součásti pro ověření vlastností metodou MKP
- zdokumentování stávajícího stavu
- rekonstrukce po haváriích
- převedení modelů vytvořených designerským studiem
- posouzení deformací

Skenování může být realizováno různými způsoby a to kontaktně nebo bezkontaktně. Mezi kontaktní metody se řadí takzvané 3D digitizéry a souřadnicové měřicí systémy CMM, do bezkontaktních metod můžeme zařadit technologie využívající laser, ultrazvuk, rentgen, magnetickou rezonanci a optických zařízení. Bezkontaktní metody jsou bezesporu mobilnější a vynikají variabilitou.



Obr.21, Dotykový systém firmy Microscribe

Na obr.21, je uvedeno zařízení firmy Microscribe, které využívá kontaktního skenování. Polohovacím ramenem můžeme převést do digitální podoby pozici jednotlivých, vyznačených bodů na součásti a pak za pomoci příslušného softwaru vymodelovat virtuální 3D model.

3.2 Řešení výroby

Pro poměrně členité tvary součásti a pro potřeby sériové výroby, nepřipadá v úvahu mnoho technologií, kterými by se dala zadaná součást vyrábět. Dle mého názoru připadají v úvahu pouze vstřikování, lisování a odlévání.

Vstřikování

Technologie vstřikování je obecně vhodná pro sériovou výrobu. Stala se trendem poslední doby a je schopna zaručit potřebné mechanické vlastnosti, které pro součást vyplývají z hlediska její funkce a také je schopna zaručit požadovanou rozměrovou přesnost. Je neustále zlepšována a je také vhodná pro požadovaný druh materiálu. Navíc se jedná o technologii, kdy lze zpracovávat v jisté míře i odpad vzniklý při výrobě, jeví se tedy i jako ekonomická.

Lisování

Při rozboru technologie lisování bylo řečeno, že se jedná o technologii vhodnou spíše ke zpracování reaktoplastů. Navíc je ve srovnání se vstřikováním i pomalejší, neboť musíme započítat časy potřebné k manipulaci a vsazení materiálu. Pro danou součást je méně vhodná než vstřikování.

Odlévání

Možnou alternativou by mohlo být i odlévání. U odlévání bychom mohli naplno využít technologií RP a RE při výrobě odlévací formy. Při této technologii je ale nebezpečí nedodržení potřebných mechanických vlastností a rozměrové přesnosti, což by bylo nevhodné. Navíc se jedná ve srovnání se vstřikováním i lisováním o technologii zdlouhavou, což by přineslo ekonomické nevýhody. Pokud bychom o této technologii uvažovali, byla by vhodná spíše pro kusovou, či malosériovou výrobu a museli bychom ověřit, zda splňuje požadavky na potřebné mechanické vlastnosti a na rozměrovou přesnost pro toto zadání.

3.2.1 Hodnocení alternativ a výběr technologie výroby

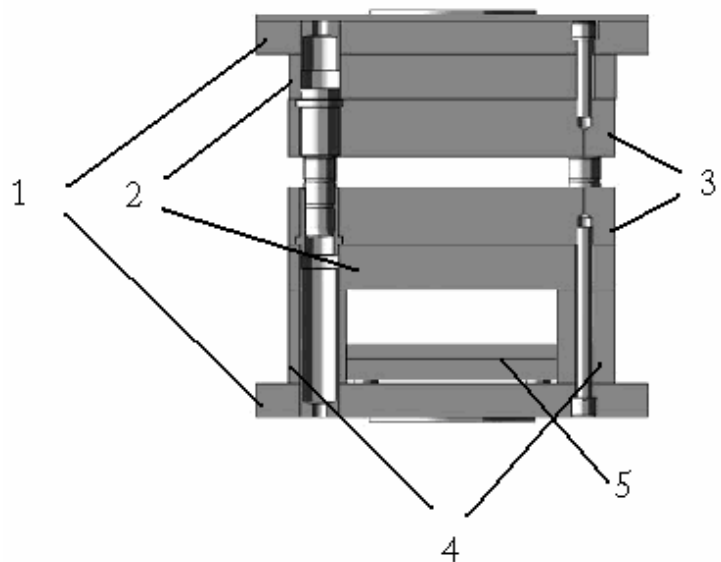
Pro zadanou součást jsem provedl zhodnocení třech technologií, které jsou dle mého názoru vhodné pro dané zadání. Z výše uvedených skutečností a vzhledem k zadání vlastní diplomové práce, jsem zvolil technologii vstřikování.

4. Konstrukce vstřikovacích forem

Nejdůležitějším prvkem při vstřikování je vstřikovací forma, jejímž popisem se budeme v následující části zabývat. Velký rozmach ve výrobě plastů přinesl pokrok v samotné technologii výroby a znamenal tak obrovskou poptávku po nástrojích. Jednotliví výrobci se pochopitelně začali zabývat možností snížení nákladů na výrobu forem a na zkrácení času potřebného pro výrobu a konstrukci. To pochopitelně vyvolalo snahu o větší či menší unifikaci. Výsledkem této unifikace je dnešní situace, kdy existuje řada výrobců zabývajících se jen konstrukcí unifikovaných dílců, jenž lze mezi sebou kombinovat. Z výše jmenovaných důvodů se budu snažit o využití normativ firmy Hasco, jenž je významný dodavatel těchto unifikovaných dílů pro vstřikovací formy.

4.1 Konstrukční prvky forem (viz. obr.22)

Jak již bylo řečeno, při návrhu formy využíváme v maximální možné míře normálie různých firem. Jednotlivé normalizované díly forem jsou seřazeny nejčastěji dle obvodových rozměrů desek. Další prvky, které volíme z katalogu výrobce, pak přímo navazují na tyto rozměry a jsou předpřipravené pro montáž do jednotlivých sestav. Na obr.22 můžeme vidět typický příklad normalizované sestavy formy, jenž je opatřena i vyhazovacími deskami.



Obr.22, Normalizovaná sestava rámu Hasco [11]

Desky forem

Desky forem tvoří základní stavební prvek celé formy. Mohou mít půdorys:

- čtverce
- obdélníku
- kruhu
- různé kombinace

Materiálem pro jejich výrobu je ocel, lze užít i hliník(Fortal) pro menší či prototypové série. V závislosti na použití desky je volen konkrétní materiál, například pro upínací desky(1) je nejčastěji použito materiálu 1.1730, což je ekvivalent ČSN 19083. Pro tvarové desky(3) se užívá oceli 1.2312, 1.2085 a podobně. Celá forma může být upnuta na vstřikovací lis pomocí několika způsobů. Nejčastěji se využívá upínek, jenž jsou zachyceny do vybrání či přesahů upínacích desek. Další variantou pro upnutí je přišroubování upínací desky přímo desky stroje. Součástí formy jsou i opěrné desky(2), jenž slouží jako opora pro desky tvarové.

Desky vyhazovačů

Skládají se ze dvou desek(5), jenž jsou navzájem sešroubovány. Spodní deska je opěrná a slouží pro opření hlav vyhazovačů.

Rozpěrky

Rozpěrky(4) slouží k vymezení prostoru pro vyhazovače. Dále se pomocí nich může zvětšit výška formy kvůli dosažení minimální stavební výšky pro daný stroj.

Vedení desek

Vedení desek při jejich vzájemném pohybu zajišťují vodící sloupky a vodící pouzdra. Sloupky jsou běžným sortimentem výrobců normálií. Materiálem pro sloupky může být ocel 1.0401, což je ekvivalent ČSN 12020. Tato ocel je vhodná pro chemicko tepelné zpracování, jenž zaručí otěruvzdornost vodících částí sloupku. Vodící pouzdra jsou usazena v pohyblivých deskách formy a zajišťují jejich přesné vedení po sloupcích. Často bývají řešena jako samomazná.

Vyhazovače

Slouží k vyhození výstřiku z dutiny formy. Jsou ukotveny v deskách vyhazovačů(5), jejichž pohyb je ovládán pomocí vyhazovacího čepu. Pohyb tohoto čepu je vyvozen mechanicky od vstřikovacího lisu, nebo jiným způsobem. Jejich průřez je nejčastěji plochý nebo válcový, může být i jiný dle potřeb. Materiálem je nejčastěji nástrojová ocel, bývají cementované a broušené. Pro výrobky jenž svoji geometrií neumožňují vyhození pomocí klasických vyhazovačů, je možné využít i jiných způsobů, například stírací desky.

Všechny tyto prvky jsou spojeny pomocí běžných či pevnostních šroubů a kolíků.

4.2 Možné varianty sestav rámu

Stavebnicové sestavy

Kromě základních sestav rámu umožňují i vzájemnou kombinaci a libovolná konstrukční řešení, konstruktér má tak více prostoru pro realizaci svých nápadů. Funkční plochy jednotlivých prvků mají přídatky na dokončení.

Sestavené rámy

Jsou nejvyšší možnou variantou dokončení, jakou lze od výrobce získat. Stykové plochy jsou již slícované, pro dokončení je třeba vyrobít tvarové dutiny, jenž mohou být řešeny pomocí vložek, nebo mohou být přímo v desce. Dále se dodělávají temperační kanály, vyhazovače a potřebné ovládací mechanismy.

Výroba „na míru“

V posledních letech se tato varianta příliš nepoužívá kvůli výše uvedeným důvodům. Takto vyrobená forma je ekonomicky náročnější.

Rámy čelist'ových forem

Jedná se speciální rámy vhodné pro výrobu součástí, jenž mají různé výstupky a tvary, jenž by znemožňovali vyhození výrobku při užití pouze jedné dělicí roviny. Takováto forma je opatřena další dělicí rovinou, kolmou na hlavní dělicí rovinu.

Rámy pro vytáčecí formy

Tyto formy se užívají pro výrobu součástí, jenž jsou opatřeny tvary jako jsou závitky a podobně. Umožňují tedy vyšroubení tvárníku či tvárnice z výstřiku ještě před otevřením formy, nebo souběžně s otevřením. Takovéto rotační mechanismy jsou ovládány mechanicky, tj. převodem od přímočarého pohybu formy, nebo zvláštním pohonem-el.motor a podobně.

4.3 Vtokové soustavy forem

Vtoková soustava vede taveninu do dutiny formy. Proces plnění dutiny by měl proběhnout za co nejkratší dobu tak, aby tavenina bezpečně zaplnila celou dutinu a byla přitom termicky homogenní. Správná volba tvaru, rozměrů a umístěním vtokové soustavy ovlivňuje finální vzhled a jakost výstřiku. Celkovou koncepci vstřikovací soustavy ovlivňuje konstrukce formy a její násobnost. Základní rozdělení vtokových soustav je:

- horká vtoková soustava
- studená vtoková soustava

Studených vtoků se užívá při konstrukci jednodušších forem s menší sériovostí výroby. Horkých systémů se užívá pro složitější formy a velké série.

4.3.1 Horké vtokové soustavy

Horká vtoková soustava má celou řadu výhod, zejména pak:

- odstraňují vtokový zbytek, tzn. úspora materiálu
- není nutné dodatečné začišť'ování výstřiku
- nejsou nutné třideskové formy
- zkrátí se vstřikovací cyklus
- snadná automatizace procesu

Nevýhodou těchto systémů je jejich vyšší pořizovací cena.

Formy s izolujícími rozváděcími kanály

Nejjednodušším principem je, že se vyrobí kanály s velkou plochou průřezu. Proudící tavenina se pak na stěnách kanálů ochladí a ztuhne, vytvoří tak tepelně izolující vrstvu. Vznikne tedy jakási trubka, již proudí roztavený materiál do dutiny formy. V místě vtokového ústí plast tuhne a při vyhození výstřiku se oddělí od vtoku. Při následujícím cyklu se tlakem a teplotou ústí opět otevře a tavenina opět proudí do dutiny. Velkou výhodou tohoto systému je minimum odpadu a energetická nenáročnost, protože odpadá problém s vytápěním a regulací. Má ovšem celou řadu nevýhod, zejména pak nutnost nepřetržitého provozu, protože při delší časové prodlevě může být několik prvních výstřiků nekvalitních, nebo dokonce může tavenina v kanálu zatuhnout.

Formy s izolujícími rozváděcími kanály a ohříváním ústím

Fungují na stejném principu jako výše jmenované s tím rozdílem, že těsně před vtokovým ústím je vyhřívané těleso-torpédo. Toto těleso pak ohřívá taveninu a zamezí jejímu zatuhnutí, což umožní prodloužení pracovních cyklů.

Formy s izolujícími rozváděcími kanály a ohříváním uzavíratelným ústím vtoku

Principiálně je to totožný systém jako dvě předchozí. Navíc je v oblasti ústí vtoku umístěn uzavírací ventil, jenž zabraňuje vystřelování taveniny. Ventil je zavírán pružinou a otvírán tlakem taveniny.

V poslední době se od těchto systémů výroby kanálů upouští, protože přinášejí celou řadu nevýhod. Další variantou jsou ohřívání vtokové soustavy, jenž se využívají ve stále větším měřítku. V následujícím textu jsou uvedeny některé možnosti ohřívání vtokových soustav.

Vtoková soustava s ohříváním rozvodu

Rozváděcí kanály jsou zde vytvořeny v samostatných deskách či blocích, jenž jsou vloženy mezi tvarovou a upínací desku formy. Takovéto bloky mohou mít tvar stejný jako desky formy, nebo mohou být tvaru písmen H nebo X. Topné elementy jenž jsou upevněny v bloku vyhřívají taveninu uvnitř kanálů, čímž ji udržují v patřičném stavu.

Vtoková soustava s ohříváním otevřeným ústím vtoku

Tavenina vstupující z rozváděcího bloku do trysky obtéká nebo protéká topným článkem a otevřeným vtokovým ústím je vstřikovávána do dutiny formy. Systém je vybaven termostatem, jenž řídí teplotu topných těles. Tento systém je poměrně hodně využíván.

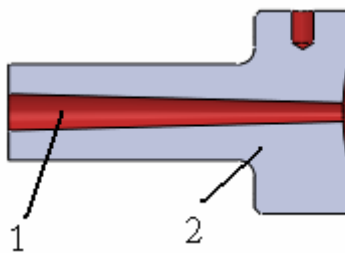
Pro systémy horké vtokové soustavy existuje celá řada konstrukčních řešení, tyto ale nejsou náplní této diplomové práce, proto jsem uvedl jen některé.

4.3.2 Studené vtokové soustavy

Při průtoku taveniny studeným systémem dochází k tuhnutí taveniny na stěnách kanálů a k vytváření „trubek“ ze vstříkovaného materiálu, jimiž proudí tavenina. Tato tavenina naplní dutinu formy a v ten okamžik poklesne průtok taveniny kanály. V dutině i v kanálech dojde k postupnému zatuhnutí taveniny.

Hlavní vtokový kanál

Na obr.23 je ukázán řez kuželovým vtokovým kanálem firmy Hasco, jenž je vytvořen ve vtokové vložce(2). Hlavní vtokový kanál(1) navazuje bezprostředně na trysku stroje. Má tvar kužele, obvykle s úhlem $1,5^\circ$. Vtokový průměr kanálu se volí dle trysky stroje, měl by být o 0,5-1 mm větší a také je třeba přihlídnout k hmotnosti výstřiku.



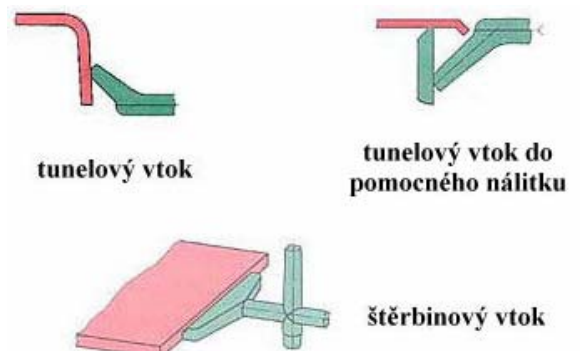
Obr.23 , Řez vtokovou vložkou Hasco [11]

Rozváděcí kanály

Slouží k zavedení taveniny z hlavního kanálu do dutiny formy. Při jejich dimenzování se přihlíží k hmotnosti výstřiku a k jejich předpokládané délce. Příliš dimenzované kanály zvětšují procento odpadu při výrobě a tím nám ji celkově prodražují. Optimální průřez kanálů je kruhový, z hlediska výroby je ale nevýhodný, proto se využívají profily jenž se kruhu přibližují. Rovněž délka kanálů má výrazný vliv na výstřik, mají být proto co nejkratší, hladké, bez prudkých změn průřezu a pokud možno stejně dlouhé. V místě přechodu z hlavního do rozváděcího kanálu se musí vytvořit jímka pro pojmnutí chladného čela taveniny. Obvykle se vytvoří hned nad vyhazovačem, čímž se i usnadní vyhození vtokového zbytku.

Vtokové ústí

Ve většině případů je tvořeno zúžením rozváděcího kanálu do konkrétního tvaru. Jen výjimečně lze použít plného vtoku. Díky zúžení kanálu se zvýší teplota taveniny před vstupem do dutiny. Toto zúžení by mělo být co největší, ale zároveň musí zabezpečit naplnění dutiny formy. Konkrétní rozměr vtokového ústí závisí na objemu výstřiku, je doporučeno vyrobít ústí co nejmenší, při zkouškách formy se může zvětšit. Provedení vtoku může být různé, pro ploché výstřiky štěrbinové, pro ostatní bodové, tunelové, boční. Na obr.24 vidíme příklad tunelového a štěrbinového vtoku.

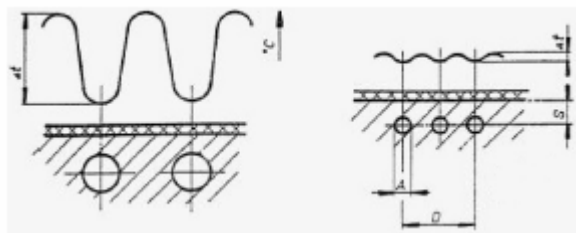


Obr.24, Tunelový a štěrbinový vtok[6]

4.4 Temperace forem [1]

Její hlavní funkcí je udržování konstantního teplotního režimu formy, což je realizováno ochlazováním nebo vyhříváním celé formy či její části. Po vstříknutí taveniny do dutiny formy se materiál ochlazuje na teplotu, jenž je vhodná pro vyjmutí výstřiku z formy. Temperace tedy ovlivňuje plnění dutiny a zajišťuje optimální tuhnutí a chladnutí plastu. Při každém dalším vstříknutí materiálu se forma ohřívá a přitom každý výstřik je nutné vyrobit při stejné teplotě, abychom byli schopni zaručit požadovanou kvalitu výstřiku. Proto je vhodné věnovat návrhu temperace náležitou pozornost.

Samotný temperační systém je tvořen soustavou kanálů, jimiž proudí temperační médium o dané teplotě. Kanály jsou realizovány jak v pevné, tak i v pohyblivé části formy. Tvoří většinou nezávislé okruhy. Rozměry a rozmístění kanálů se volí v závislosti na tvaru dutin a s ohledem na celkové řešení formy. Vzdálenost kanálů od dutiny formy by měla být optimální, přihlíží se na celkovou pevnost a tuhost stěny dutiny. Průřezy kanálů se volí dle hmotnosti výstřiku a dle velikosti rámu, nejčastěji se používají kruhové kanály o průměru 8 mm, někdy se lze setkat i s jinými tvary. Pravidlem je, že je lepší větší počet menších kanálů než méně větších kanálů, zbytečným naddimenzováním kanálu se přestup tepla zvýší minimálně. Pro návrh průřezu kanálu lze použít tabulku viz kapitola 6.9. Na obr.25 je vidět vliv umístění kanálů na teplotu ve stěně formy.



Obr.25, Vliv kanálů na teplotu ve stěně formy[1]

Temperaturaci jader malých průřezů lze zajistit pomocí materiálů z vyšší tepelnou vodivostí jako jsou Cu, Al a podobně, jenž plní funkci tepelných vodičů. Těsnění spojů v okruhu temperace se zajistí pomocí o-kroužků z vhodného materiálu, v závislosti na pracovní teplotě temperačního média.

5. Rozbor procesu vstřikování

Proces vstřikování nám pomůže pochopit následující část práce, jenž bude zaměřena na časový průběh vstřikovacího cyklu.

5.1 Časový průběh vstřikovacího cyklu [6]

Jak již bylo uvedeno v kapitole 1.4.2 o vstřikování plastů, celý proces se skládá z následujících časových intervalů:

- plastifikace
- vstřikování
- dotlak
- chlazení
- vyhození výstřiku

5.1.1 Plastifikace

Plastifikace je část cyklu, kdy jsou pomocí otáčení šneku nabírány z násypky granule základního materiálu a posouvány směrem k tavicí komoře. Současně s otáčením šnek ustupuje směrem dozadu a je nucen překonávat tzv. protitlak. Tento protitlak ovlivňuje dobu plastifikace a také má vliv na kvalitu prohnětení taveniny. Ohřev a tavení plastu se děje elektrickými topnými tělesy a z velké většiny také díky působení frikčního tepla. Cílem je vytvořit dostatečné množství taveniny před čelem šneku pro celý proces vstřikování.

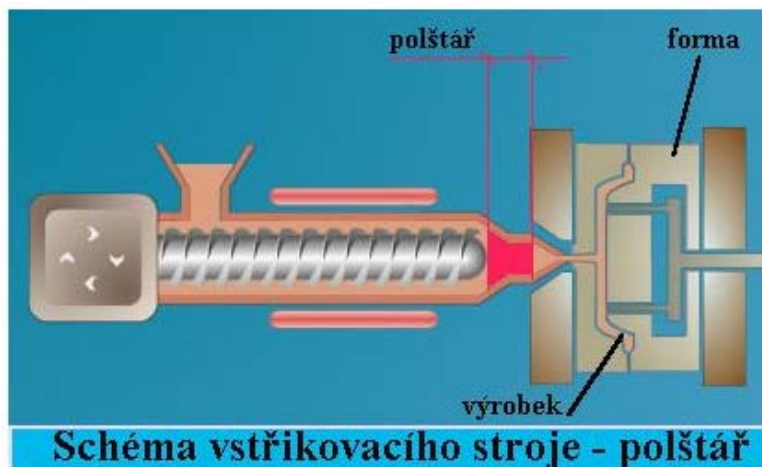
5.1.2 Vstřikování

Vstřikování se děje axiálním posuvem šneku, jímž zatlačí taveninu do dutiny formy. Plní zde tedy funkci pístu. Po naplnění formy je tavenina dále stlačena a tlak dosáhne svého maxima. Proces přechází do fáze dotlaku. Doba vstřikování je dána rychlostí pohybu šneku vpřed, jenž závisí na technologických podmínkách, zejména na teplotě taveniny. Velký vliv má i teplota formy, velikost výstřiku a jeho tvarová složitost, vtoková soustava a druh plastu. Doba vstřikování se pohybuje v rozmezí desetin sekundy až několika sekund.

5.1.3 Dotlak

Vlivem chladnutí materiálu v dutině formy dochází k jeho smršťování. Aby se tomuto negativnímu jevu zabránilo, je nutné zmenšení objemu kompenzovat dodatečným přivedením taveniny do dutiny, jemuž se říká dotlak. Dotlak může být po celou dobu stejně vysoký jako tlak vstřikovací, nebo může být řádově nižší. Abychom mohli dosáhnout potřebného dotlaku, je třeba aby v tavicí komoře před čelem šneku zůstalo potřebné množství plastifikovaného materiálu-polštář. Na obr.26 je vidět polštář potřebný pro dotlak. Je třeba aby k přepnutí na dotlak došlo ve vhodný okamžik, protože kdyby se tak stalo příliš brzy, hrozilo by nedostříknutí výrobku, v opačném případě by došlo k prudkému nárůstu tlaku ve formě a mohlo by dojít až k tzv. dýchnutí, což je vlastně stav, kdy dojde k pružné deformaci desek.

K přepnutí na fázi dotlaku dochází automaticky a to dle dráhy šneku, dle vstřikovacího času, dle tlaku ve formě a nebo dle tlaku v hydraulice stroje.

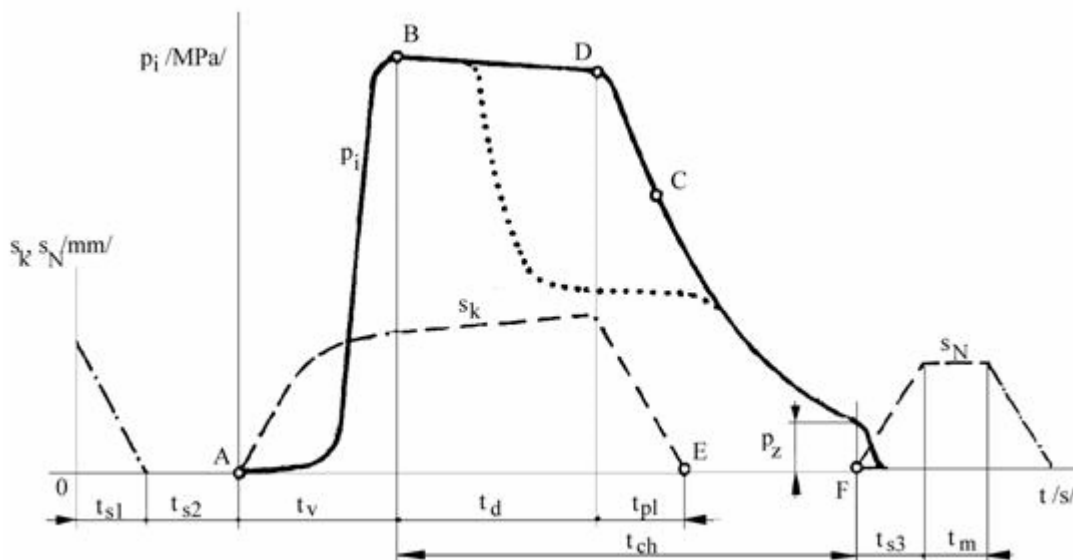


Obr.26, Velikost polštáře[6]

5.1.4 Chlazení

Jakmile je tavenina vstříknuta do dutiny formy, začne ihned předávat své teplo formě a chladne. Chlazení probíhá po celou dobu dotlaku a trvá až do otevření formy. Doba po kterou je forma uzavřena a probíhá chlazení je úměrná teplotě taveniny, teplotě formy a tloušťce stěny výstřiku.

Na obr.27 je závislost tlaku v dutině formy na čase.



Obr.27, Závislost tlaku v dutině formy na čase [6]

Symboly:	p_i	vnitřní tlak(tlak v dutině formy) [MPa]	t_d	doba dotlaku [s]
	P_z	zbytkový tlak [MPa]	t_{ch}	doba chlazení [s]
	t_{s1}	doba na otevření formy [s]	t_{pl}	doba plastifikace [s]
	t_{s3}	doba na zavření formy [s]	t_v	doba plnění form.[s]

5.1.5 Vyhození

Vyhození výstřiku je úkolem vyhazovačů, jenž po otevření formy vykonají dopředný pohyb a vytlačí výstřik z dutiny formy. V této fázi může být dle parametrů formy a výstřiku využito manipulátorů, jenž bývají doplňkem vstřikovacích lisů. Manipulátor má za úkol zachytit výstřik a uložit ho na pásový dopravník nebo jinak dle možností. Běžným způsobem je také využití skluzu.

6. Vstřikovací stroje

K procesu vstřikování plastů patří pochopitelně vstřikovací stroje. Prvními druhy vstřikovacích strojů byly pístové typy. Prakticky byli převzaty od strojů pro tlakové lití kovů. Posledních cca 50 let se prosadili druhy šnekové, jenž se využívají v absolutní většině provozů. Současné vstřikovací stroje jsou na velmi vysoké úrovni, využívají moderních řídicích systémů, nejrůznějších manipulátorů a td.

6.1 Základní parametry vstřikolisů

Vstřikovací kapacita

Udává maximální hmotnost výstřiku dosažitelného na jeden pracovní cyklus. Vztahuje se na polystyren.

Maximální vstřikovaný objem

Udává objem kompletního výstřiku, tj. samotný výstřik a také vtokový zbytek, jenž lze dosáhnout v jediném pracovním cyklu. Je dán součinem plochy čela šneku nebo pístu a jeho maximálního posuvu.

Plastifikační kapacita stroje

Množství materiálu, jenž lze převést do stavu taveniny za jednu hodinu. Jednotkou je kg.hod^{-1} .

Vstřikovací tlak

Tlak jenž vyvolá čelo šneku či pístu v tavenině materiálu.

Přidržovací síla

Je silou potřebnou k uzamčení formy po dobu vstřikování. Hodnota přidržovací síly musí být vždy větší než je síla vyvolaná procesem vstřikování.

U parametrů vstřikovacích strojů bývá uvedena celá řádka rozměrů a dalších specifikací. Nejdůležitějšími rozměry pro upnutí formy na daný stroj jsou rozměry upínacích desek, zejména pak vzdálenost mezi vodícími sloupky. Dalšími parametry jsou maximální a minimální vzdálenost těchto desek, rozteče děr pro upínky, či upínací šrouby a podobně.

6.2 Části vstřikovacích lisů [6]

Vstřikovací lis se dá rozdělit na tři základní celky, a to na:

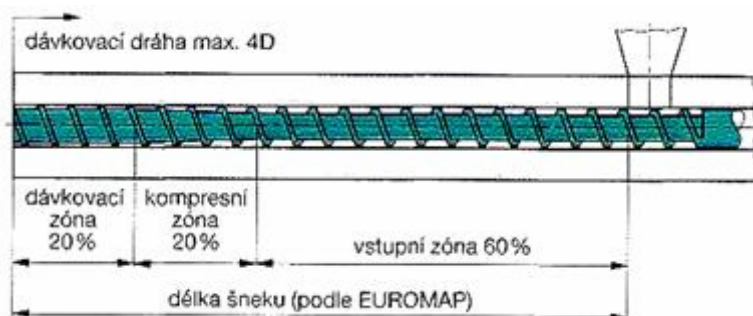
- vstřikovací jednotku
- uzavírací jednotku
- jednotky řízení a regulace

Vstřikovací jednotky

Vstřikovací jednotky v podstatě vykonávají a zajišťují plastifikaci materiálu a následné vstřikování do dutiny formy, jak již bylo popsáno v kapitole 4.1.1. Jelikož se v současnosti používají výhradně jednotky šnekové, budeme se zabývat pouze jimi. Šneková plastifikace je charakterizována těmito parametry:

- průměr šneku D [mm]
- délka šneku L_s [mm]
- vstřikovací kapacita Q_v [cm^3]
- plastifikační kapacita Q_p [$\text{kg}\cdot\text{h}^{-1}$]
- maximální vstřikovací tlak $p_{\text{vstř}}$ [MPa]
- objemová vstřikovací rychlost v [$\text{cm}^3\cdot\text{s}^{-1}$]

Konstrukce šneku je podmíněna jeho funkcí. Na jeho těle můžeme rozlišit tři pracovní části, díky nimž se šnek nazývá diferenciálním. Závity šneku jsou vyrobeny tak, aby při posunu materiálu směrem k tavicí komoře v něm vyvinuly tlak. To je docíleno tím, že šnek je vyroben s konstantním stoupáním, ale průměr jeho jádra se mění, tzn. že v šnekové komoře je méně místa pro granulát a ten se tedy stlačuje, čímž se vytěsňuje vzduch a vlivem stlačení je zahříván. Natavený granulát je posouván směrem do kompresní části, kde dochází k intenzivnímu tání materiálu. Dalším postupem se tavenina dostane až do homogenizační části, kde se intenzivně hněte a homogenizuje. Jednotlivá pásma šneku jsou vidět na obr.28.



Obr.28, Pracovní pásma šneku [6]

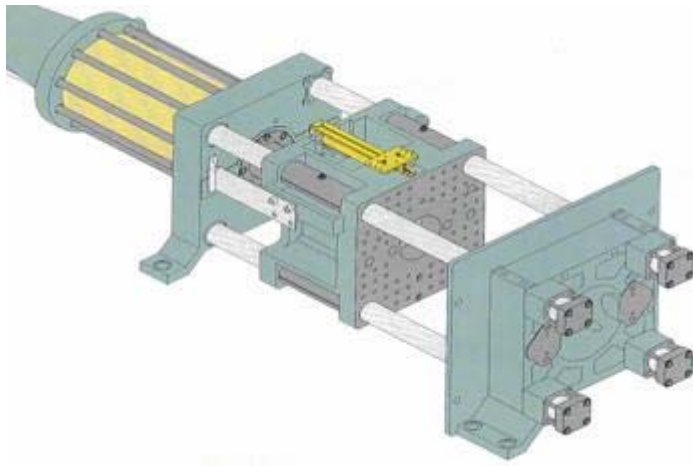
Délka šneku se obvykle vyjadřuje jako poměr L/D , pro vstřikování termoplastů bývá obvykle 15-20D. Teplu potřebné k natavení materiálu je získáváno jednak z tepla vzniklého při stlačování a hnětení materiálu, ale také z topných těles-pásů, jenž materiál intenzivně zahřívají. Tavicí komora je pak zakončena tryskou, jenž může být otevřená nebo uzavíratelná. Uzavíratelná tryska se otevírá pouze při dosednutí trysky na formu.

Uzavírací jednotky

Její úkolem je uzavření a otevření formy. Dále musí být schopna vyvinout takovou sílu, aby byla schopna udržet formu zavřenou během procesu vstřikování. Charakteristické pro uzavírací jednotku jsou:

- přisouvací síla F_p
- uzavírací síla (přidržovací) F_u

Na obr.29 , je obrázek uzavírací jednotky, která se skládá z několika hlavních částí. Jsou to: opěrná deska, která je pevnou součástí stroje a je nepohyblivá, pohyblivá deska, na níž se upíná pohyblivá část formy, dále je to upínací deska, na kterou se upne nepohyblivá deska formy a která je vybavena otvorem pro trysku stroje, vodící elementy pro pohyblivou desku, uzavírací a přidržovací mechanismus. Uzavírací systémy mohou být různého provedení, často se vyskytují hydraulické či mechanické a v poslední době i elektrické systémy.



Obr.29, Uzavírací jednotka [6]

7. Návrh výroby součásti

Materiál výrobku:

viz. příloha 2

Velikost jednotlivých sérií:

200000ks (párů)

Požadavky na vzhled:

žádné

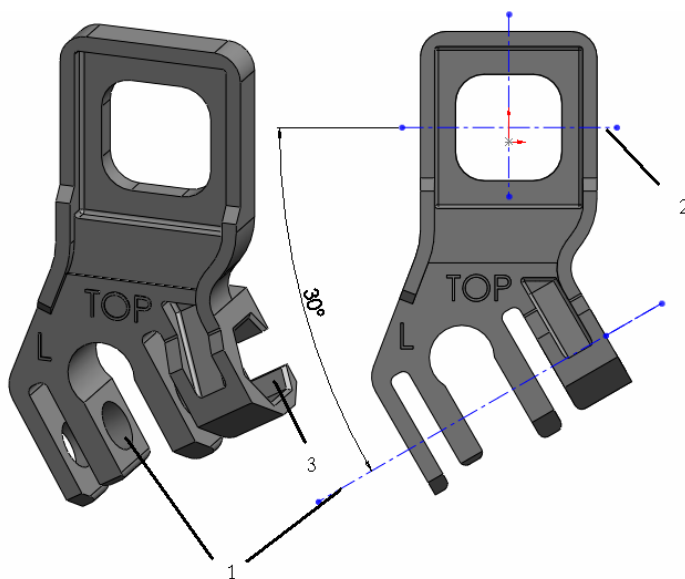
Jiné požadavky:

vyrábět vždy levý a pravý kus

Rozměry

dle výkresu a 3D modelu

Model výrobku v podobě 3D je na obr.30.



Obr.30, Model výrobku

Pro volbu některých konstrukčních řešení budeme potřebovat ještě další údaje. Kvůli poměrně složitým tvarům součásti jsem pro výpočet potřebných fyzikálních vlastností použil modul v software SolidWorks 2008. V tabulce 1 jsou vidět potřebné výstupy.

Hmotnost jednoho výstřiku	6,31g
Hustota	1,12g.cm ⁻³
Objem jednoho výstřiku	5,63cm ³
Plocha průmětu jednoho výstřiku	1023mm ²

Tab.1, Výstupy programu SW 2008

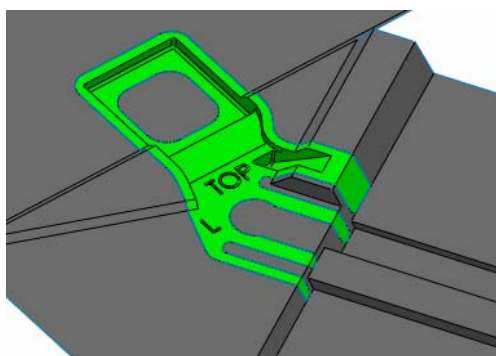
7.1 Popis součásti

Jak již bylo uvedeno dříve, součást bude sloužit jako díl pro sestavu pantu v motorovém vozidle. Materiál součásti byl zvolen dle budoucího využití, vybrán byl materiál PP APG30A, tj. materiál s 30% obsahem plniva ve formě skelných vláken, jenž je všeobecně používaným materiálem v oblasti automobilové výroby. Součást bude vyráběna jako levý a pravý kus, přičemž jedna bude zrcadlová kopie druhé. Významným prvkem z hlediska konstrukce vstřikovací formy je kruhový otvor (1), procházející skrze výstupky součásti, jehož osa (1) svírá s osou čtvercového otvoru úhel 30°. Z tohoto je již zřejmé, že budeme muset při konstrukci formy počítat s posuvnými jádry (dále jen „tahači“). Součástí tahačů bude i šestihránná díra (3), umístěna v ose díry (1). Další tvary součásti jsou běžné, je možné je

vyrobit jako součást dutiny formy, nebo za pomoci vložek. Všechny tvary jsou výrobitelné za pomoci běžných obráběcích zařízení nebo elektroerozivně.

7.2 Volba dělicí roviny

Součást je třeba zaformovat tak, abychom docílili co nejmenšího počtu dělicích rovin, při jejichž rozevření musí být součást lehce vyjmutelná. Z tvaru součásti je patrné, že výstřik lze zaformovat pouze jediným způsobem, jenž je patrný z obr.31.



Obr.31, Volba dělicí roviny

Na obrázku je součást zvýrazněna zelenou barvou, dělicí rovina budoucí formy pak barvou šedou. Plocha zvýrazněna šedou barvou je vlastně plochou dosedacích částí tvárníku a tvárnice. Možnými alternativami by bylo zvolit jiné hrany pro dělicí rovinu. Ze svého pohledu jsem zvolil jako nejvýhodnější tuto variantu.

Při volbě počtu dělicích rovin je třeba brát v zřetel i vtokovou soustavu. Pro zadanou součást jsem zvolil tunelový vtok, díky čemuž mi odpadla potřeba další dělicí roviny. Kvůli vyjímání součásti z formy, musí být dutiny opatřeny vhodnými úkosy tak, aby po otevření zůstal výstřik na straně tvárníku. To je dosaženo úkosy o velikosti $0,5^\circ$, jenž jsou zadány jako standardní velikost úkosů na výkrese od zákazníka.

7.3 Určení násobnosti formy

Volbu násobnosti formy je třeba zvažovat z několika hledisek. Hlavním kritériem pro volbu násobnosti je velikost série, další lze shrnout do těchto bodů:

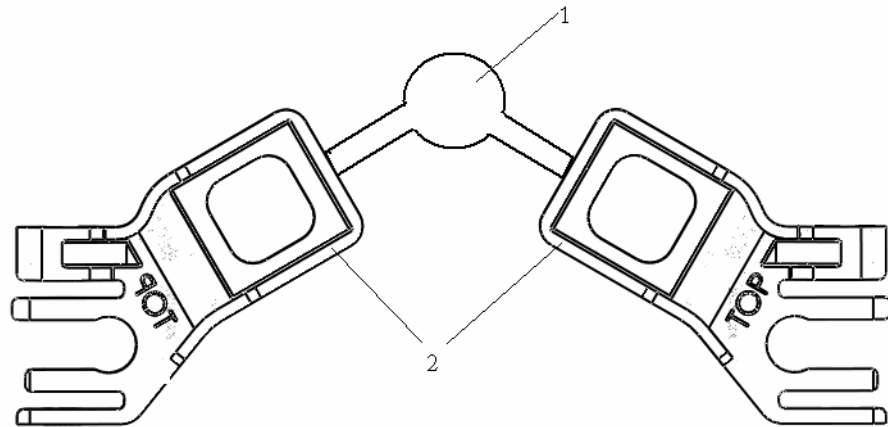
- volíme takovou násobnost, která je z hlediska ekonomického nejlepší
- násobnost musí zohledňovat tvarovou a rozměrovou složitost výrobku
- rozváděcí kanály by měli být co nejkratší, délka všech kanálů by měla být stejná, zvětšující délka zvyšuje možnost technologických obtíží, zvyšuje hydraulické odpory, tepelné a tlakové ztráty.
- s délkou vtokové soustavy narůstá procento odpadu, což prodražuje výrobu, objem celkového výstřiku nesmí překročit plastifikační kapacitu stroje.
- síla vyvozená plošným průmětem dutin + vtokové soustavy a vstřikovacím tlakem nesmí překročit uzavírací sílu stroje.

Dle diagramu viz. příloha 1, určíme násobnost formy. Tato násobnost se určuje dle velikosti série výrobku.

Násobnost $N_p = 2 [-]$

7.4 Zaformování výstřiku

Při zaformování budoucí součásti musíme zohlednit nejenom násobnost formy, ale také tvar výrobku, jelikož ten ovlivňuje funkci samotné formy. Jak již bylo zmíněno, tvar součásti vyžaduje použití tahačů, jenž zabezpečí zhotovení otvorů(1), viz obr.30. Proto jsem pro zaformování zvolil následující schéma viz. obr.32.

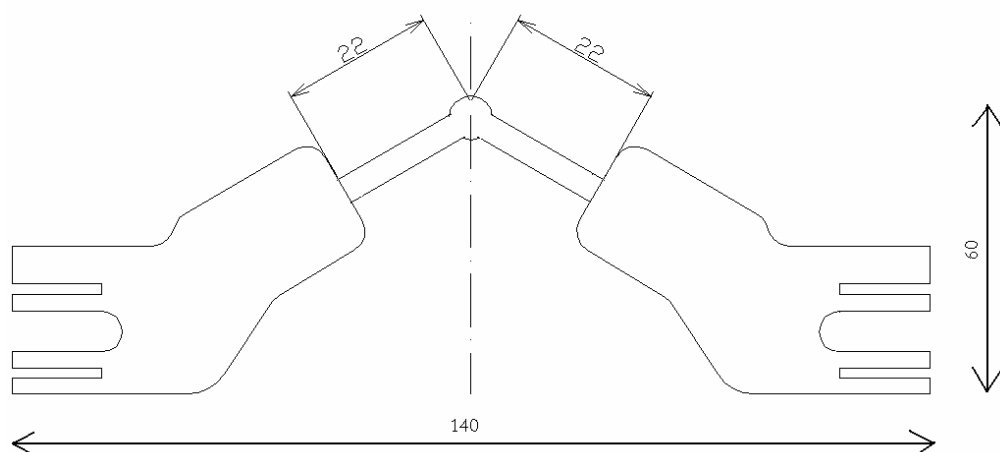


Obr.32, Schéma zaformování výstřiku

Z obrázku je patrné, jakým způsobem jsou rozloženy jednotlivé kusy(2) ve formě. Pozice(1) znázorňuje tvar budoucí vtokové soustavy, přičemž kruh znázorňuje vtokovou vložku a od ní rozcházející se kanály.

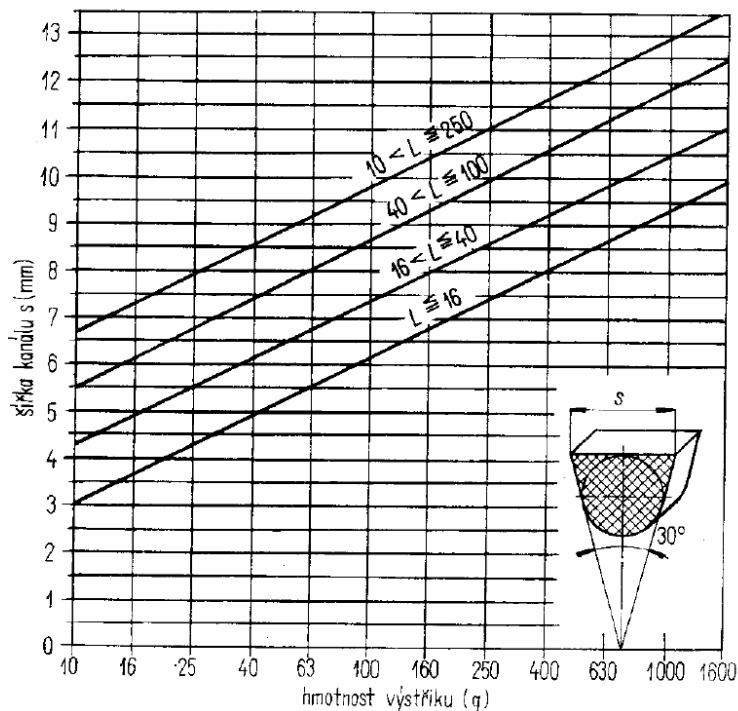
7.5 Návrh vtokové soustavy

Pro zadanou součást jsem z hlediska poměrně malé série výroby zvolil studený vtokový systém. Hlavní kanál bude tvořit vtoková vložka sortimentu Hasco. Průřezy kanálů budou zvoleny dle normativ, vycházet při tom budu z hmotnosti výstřiku. Délku kanálů budu volit co nejkratší. Návrh vtokové soustavy je na obr.33.



Obr.33, Délka vtokových kanálů ve formě

Rozměry rozváděcích kanálů jsou voleny dle nomogramu, jenž je na obr.34. Průřez kanálu jsem zvolil dle tvaru uvedeném v nomogramu. Rozměr kanálu je tedy dán hmotností výstřiku a délkou kanálů.



Obr.34, Nomogram průřezu kanálu

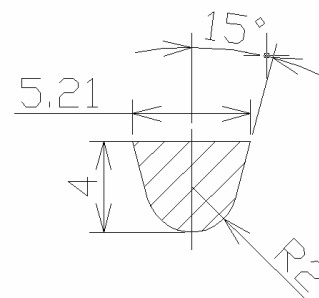
Hmotnost výstřiku: $m = 2 \cdot m_d$ (7.1)
 $m = 2 \cdot 6,31 = 12,62$
 $m = \text{cca } 13\text{g}$

Délka kanálů: $L = 2 \cdot L_d$ (7.2)
 $L = 2 \cdot 22$
 $L = 44\text{mm}$

Kde:

- m..... celková hmotnost výstřiku [g]
- m_d hmotnost jednoho výstřiku [g]
- L..... celková délka kanálů [mm]
- L_d délka jednoho kanálu [mm]
- s..... šířka kanálu [mm]

Z nomogramu tedy odečteme průřez kanálu. Pro vypočtenou hmotnost $m = 13\text{g}$ a délku $L = 44\text{mm}$ vychází šířka kanálu $s = \text{cca } 5,75\text{ mm}$, čemuž odpovídá průměr kružnice vepsané v kanálu $4,41\text{mm}$. Kvůli lepší dostupnosti nástrojů a také proto, že kanály jsou velmi krátké, volím velikost vepsané kružnice 4 mm , viz obr.35.



Obr.35, Průřez rozváděcích kanálů

Pro dimenzování samotného vtokového ústí je využito normativ, v tab.2 je výtažek z tabulky uváděné v literatuře [1].

Objem výstřiku [cm ³]	Tunelový vtok, velikost ústí [mm]
do 10	0,6-0,8
10-20	0,8-1,2
20-40	1-1,8

Tab.2, Velikost vtokového ústí[1]

7.6 Volba velikosti desek formy

Při návrhu velikosti desek musíme vycházet z velikosti prostoru, jenž zabírají tvarové dutiny formy. Navíc musíme zohlednit i potřebný prostor pro ovládání tahačů a tahače zároveň. Dle obr.33 je patrné, že tvarové dutiny zabírají prostor cca 140 x 60 mm. Kvůli umístění hlavního vtokového kanálu do středu formy je nutné posunout umístění dutin mimo střed formy, čímž na jedné straně získáme potřebný prostor pro umístění tahačů. Dále je třeba počítat se šrouby a kanály temperace, čímž se nároky na prostor ještě dále zvětší. Po načrtu rozvržení dutin ve formě, viz příloha 3, volím velikost desek 296x296 mm, z katalogu normálií Hasco, viz obr.36.

Größen-Übersicht der K-Platten

b \ l	095	130	156	196	246	296
095						
100						
156						
190						
196						
218						
246						
296						

Obr.36, Katalog normálií Hasco [11]

7.7 Volba stroje

Při volbě vhodného stroje v první řadě vycházíme z rozměrů formy. Pro desky 296 x 296 mm jsem zvolil stroj Arburg Allrounder 320C, jenž má standardní vzdálenost mezi vodícími sloupky 320 mm. Stroj může pracovat s formou o minimální výšce 200 mm, u naší formy počítám s výškou větší. Dalšími kritérii jsou přidržovací síla stroje a vstřikovací kapacita.

7.7.1 Přidrřovací síla stroje

Dle rozmístění dutin ve formě a z rozměrů rozváděcích kanálů zjistím průmět plochy dutin formy.

Plocha rozváděcích kanálů

$$\begin{aligned} s & \dots\dots\dots 5,21 \text{ mm} \\ L_d & \dots\dots\dots 22 \text{ mm} \\ S & = (s \cdot L_d) \cdot n & (7.3) \\ S & = (5,21 \cdot 22) \cdot 2 \\ S & = 230 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Plocha průmětu tvarových dutin a kanálů

$$\begin{aligned} S_D & \dots\dots\dots 1023 \text{ mm}^2 \\ S_c & = S + (s_d \cdot n) & (7.4) \\ S_c & = 230 + (1023 \cdot 2) \\ S_c & = 2276 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kde:

- s..... šířka kanálu [mm]
- L_d délka jednoho kanálu [mm]
- n..... násobnost [-]
- S..... celková plocha kanálů [mm²]
- S_D plocha průmětu jedné tvarové dutiny [mm²]
- S_c plocha celková(kanálů + dutin) [mm²]

Síla od tlaku uvnitř dutiny

Pro zadaný materiál se obvykle volí vstřikovací tlak v rozmezí 800-1400 bar, vnitřní tlak ve formě může být až 700 bar. Pro výpočet přidržovací síly se počítá s tlakem uvnitř dutiny formy.

$$\begin{aligned} 700 \text{ bar} & \dots\dots\dots 70 \text{ MPa} \\ F & = p_i \cdot S_c & (7.5) \\ F & = 70 \cdot 2276 \\ F & = 159320 \text{ N} \end{aligned}$$

Přidržovací síla stroje by měla alespoň o 10% převyšovat potřebnou přidržovací sílu pro formu. Vypočtenou sílu tedy zvětším o 10% a porovnáám s udávanou silou stroje.

$$\begin{aligned} F_{10} &= F \cdot 1,1 \\ F_{10} &= 159320 \cdot 1,1 \\ F_{10} &= 175252 \text{ N} \end{aligned} \quad (7.6)$$

$$\begin{aligned} F_{\text{str}} &= 500 \text{ kN} \\ F_{10} &< F_{\text{str}} \end{aligned}$$

Kde:

p_i tlak v dutině formy [MPa]
 F síla vyvozená tlakem v dutině formy [N]
 F_{10} síla F navýšená o 10 % [N]
 F_{str} přidržovací síla stroje [kN]

Z výpočtů je tedy patrné, že z hlediska přidržovací síly můžeme zvolený stroj použít.

7.7.2 Vstřikovací kapacita stroje

Je nutné, aby objem všech výstřiků ve formě, včetně vtokové soustavy, nepřevýšil vstřikovací kapacitu stroje. Z hlediska kvality výrobku se doporučuje, aby vstřikovací kapacita stroje byla alespoň o 10 % větší než objem výstřiku a vtokové soustavy. Objem vtokové soustavy byl pro svoje složité tvary určen z výstupů programu SolidWorks 2008

$$\begin{aligned} V_v &= 5,63 \text{ cm}^3 \\ V_t &= 2,7 \text{ cm}^3 \\ V_c &= (n \cdot V_v) + V_t \\ V_c &= (2 \cdot 5,63) + 2,7 \\ V_c &= 13,96 \text{ cm}^3 = \text{cca } 14 \text{ cm}^3 \end{aligned} \quad (7.7)$$

$$\begin{aligned} V_{v10} &= V_c \cdot 1,1 \\ V_{v10} &= 14 \cdot 1,1 \\ V_{v10} &= 15,4 \text{ cm}^3 \end{aligned} \quad (7.8)$$

$$\begin{aligned} V_{\text{str}} &= 31 \text{ cm}^3 \\ V_{v10} &< V_{\text{str}} \end{aligned}$$

Kde:

V_v objem materiálu jednoho výstřiku [cm^3]
 V_t objem materiálu vtokové soustavy [cm^3]
 V_c celkový objem materiálu [cm^3]
 V_{v10} celkový objem materiálu zvětšený o 10 % [cm^3]
 V_{str} kapacita stroje [cm^3]

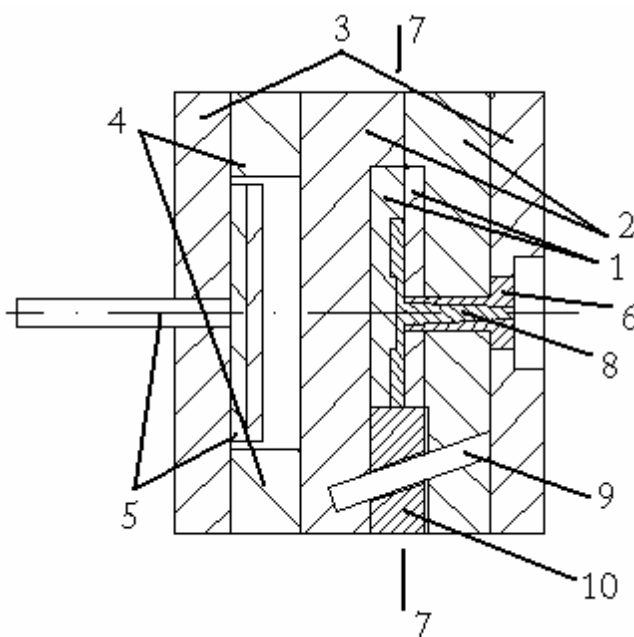
Dle výpočtů tedy můžeme konstatovat, že stroj Arburg Allrounder 320C je vhodný pro použití s danou vstřikovací formou a můžeme ho použít.

7.8 Základní části formy

Pro volbu základních částí formy vycházíme z již zvolených rozměrů rámu. Budeme volit následující části: upínací desky, tvarové desky, rozpěrky, vyhazovací desky s vyhazovači, vtokovou vložku, upevnění a ovládání pohybu tahačů, vodící a středící elementy. Všechny prvky budou smontovány pomocí běžných šroubů a kolíků dle ČSN ISO nebo DIN.

7.8.1 Návrh sestavení formy

Z výše vyjmenovaných prvků bude sestavena forma s jednou dělicí rovinou. Prvky budou vybrány ze sortimentu Hasco. Pro vlastní tvarové dutiny budou použity vložky, jenž budou usazeny ve tvarových deskách. Ostatní prvky budou běžné konstrukce. Náčrt sestavení formy je na obr.37.



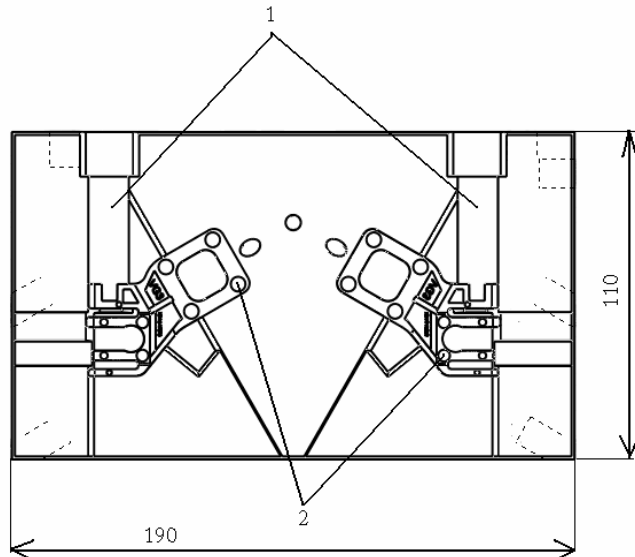
Obr.37, Náčrt formy

Popis funkce

Forma je konstruována s jednou dělicí rovinou(7). Přes vtokovou vložku(6) je naplněna dutina formy(8), jenž je vytvořena ve vložkách tvarových desek(1). Tyto tvarové vložky jsou vloženy do tvarových desek(2). Tyto jsou dále přišroubovány: pevná tvarová deska na upínací desku(3) vpravo a pohyblivá tvarová deska přes rozpěrky(4) do pohyblivé upínací desky(3) vlevo. Součástí formy je vyhazovací systém(5), jenž je tvořen čepem vyhazovačů a deskami vyhazovačů. Po zchlazení a zatuhnutí taveniny v dutině formy se forma otevře ve své dělicí rovině(7), přičemž se díky šikmým vodícím sloupkům(9) vysunou i boční jádra(10). Vyhazovací prvky(5) se posunou a tím vyhodí výstřik z dutiny formy. Celý proces se opakuje.

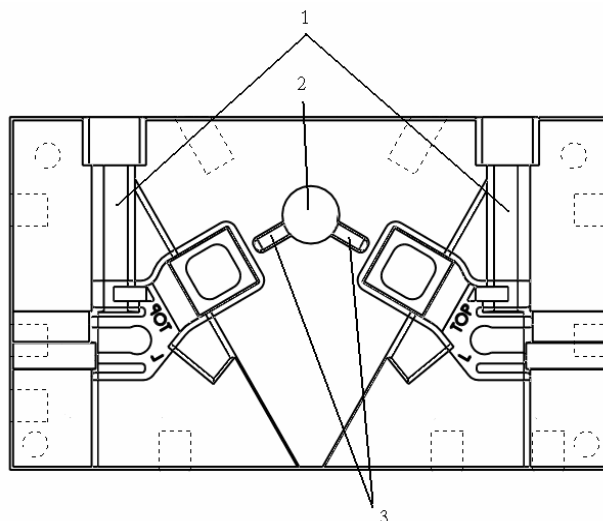
Tvarové desky-vložky

Pro vlastní tvarové desky jsem zvolil materiál 1.2343, značení ČSN 19 552, jenž je vhodný pro práci za tepla a běžně používaný na výrobu částí forem jenž přicházejí do přímého styku s taveninou. Tvarové desky budou řešeny jako dvě vložky: tvárník a tvárnice, viz obr.38,39.



Obr.38, Tvárník

Desku tvárníku jsem navrhl o rozměrech 190 x 110 x 37 mm. Součástí desky bude tunelový vtok, otvory pro vyhazovače(2) a vedení tahačů(1). Desku tvárnice jsem navrhl o rozměrech 190 x 110 x 27 mm, viz obr.39, bude v ní vyroben otvor pro vtokovou vložku(2), rozváděcí kanály(3) a vedení tahačů(1). Vlastní tvarové dutiny budou vyrobeny na CNC strojích a složitější tvary pak elektroerozivně, čímž dosáhneme vysoké přesnosti. Vsazené vložky ve tvarových deskách budou přišroubovány pomocí šroubů M8.



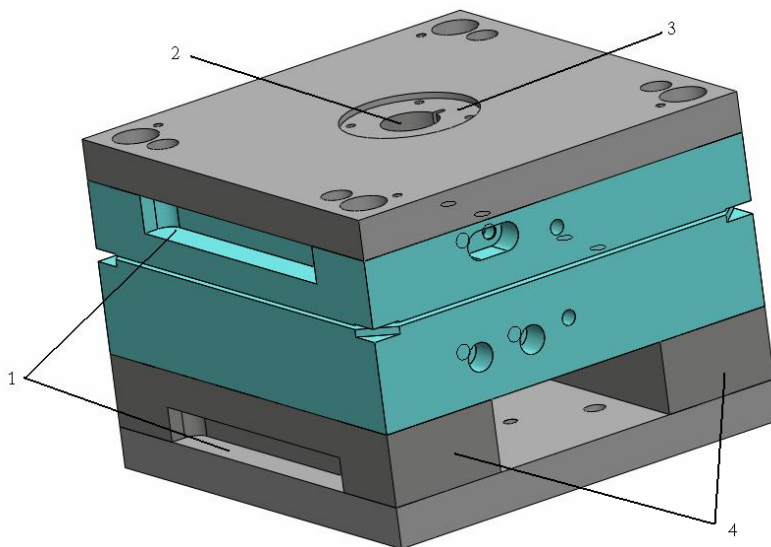
Obr.39, Tvárnice

Tvarové desky

Materiálem tvarových desek jsem zvolil ocel 1.2312, ČSN 19 520, jenž je běžně užívaná pro tyto účely pro její dobrou obrobiteľnosť. Rozměry desek budou vycházet z návrhu velikosti formy, viz kapitola 6.6. Budu volit z katalogu normálií firmy Hasco. Pro pevnou část formy, tedy pro upnutí tvárnice(dále jen TS), volím desku o rozměrech 296 x 296 x 46 mm. Pro pohyblivou část formy, tedy pro upnutí tvárníku(dále jen VS), volím desku 296 x 296 x 66 mm. Deska TS bude upnuta na pevnou upínací desku pomocí čtyř šroubů M12 a vystředěna pomocí osazení na vodících sloupcích. Deska VS bude upnuta na pohyblivou upínací desku také pomocí čtyř šroubů M12, skrze rozpěrky, vystředěna bude pomocí vodících pouzder. Součástí obou desek budou přípojky na okruhy temperace, jež bude popsána dále.

Upínací desky a vtoková vložka

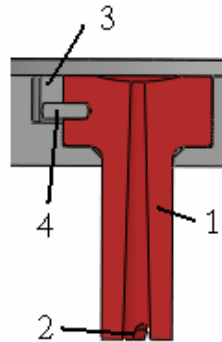
Upínací desky slouží k upnutí formy na vstřikovací stroj. Upnutí musí být dostatečně tuhé, aby během procesu nedošlo k uvolnění upnutí, což by mohlo mít za následek i zničení tvarových dutin formy. Pro výrobu upínacích desek jsem vybral desky z katalogu Hasco o rozměrech 296 x 296 x 27 mm, materiál 1.1730, ČSN 19 083. Pro upnutí formy jsem zvolil upnutí upínkami do bočního vybrání formy. Drážky o rozměrech 20 x 23 x 164 mm, jsou vytvořeny po maximální délce, aby byla zachována jistá variabilita pro upnutí. Drážky jsou patrné z obr.40, pozice(1).



Obr.40, Upínací drážky

V upínací desce, jenž bude upnuta na pevné straně lisu, musí být vyroben otvor(2) pro vtokovou vložku. Vtokovou vložku jsem zvolil z katalogu Hasco, označení Z51/18x56/3,5/40. Vložka se obvykle volí dle průměru vstupního otvoru. Ten je dán závislostí na hmotnosti výstřiku a také by měl být větší než je tryska stroje. Z označení vložky vyplývá, že velikost vstupního otvoru je 3,5mm, celková délka vložky je 74 mm. Rádus pro dosednutí trysky stroje je 40 mm. Pro potřeby montáže byla vložka zkrácena na délku cca 67 mm. Řez vložky(1) je na obr.41. Jak je z obrázku patrné, ve spodní části vložky jsou vytvořeny části rozváděcích kanálů(2). Takovéto řešení vyžaduje přesnou a neměnnou polohu vůči deskám formy, jenž

zajistíme pomocí kolíku(4) o rozměrech 4 x 12 mm, který je usazen v bočním vybrání otvoru(3), jak je patrné z obrázku níže.



Obr.41, Řez usazením vtokové vložky

Součástí upínacích desek jsou i středící kroužky, jenž jsou upevněny v obou upínacích deskách. Slouží k přesnému vymezení polohy na stroji. Jsou zapuštěny do otvoru(3), viz obr.40 a upevněny pomocí čtyř šroubů M6. Středící kroužky jsou vybrány z katalogu Hasco, označení K100/125x15 na pevné straně a K500/125x15 na pohyblivé straně.

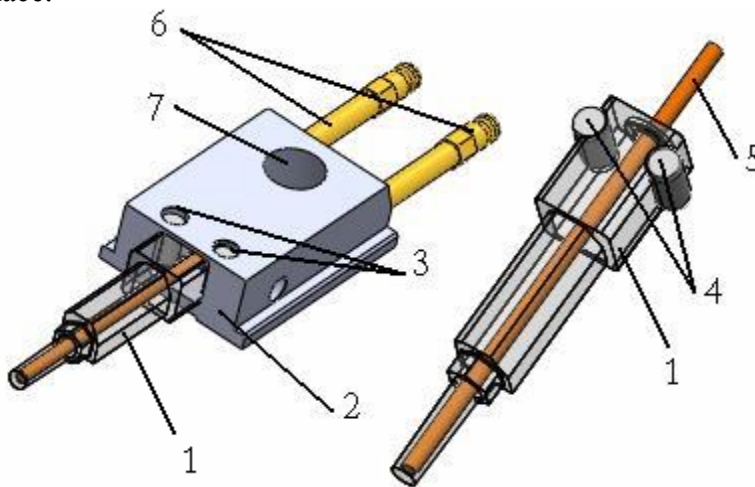
Aby nedocházelo k nadbytečnému ochlazování formy vlivem přestupu tepla z formy do rámu stroje, montují se mezi upínací desky formy a upínací desky stroje tepelně izolační podložky, tyto pak zaručí dostatečnou izolaci. Podložky jsem opět vybral z katalogu Hasco, s označením Z121/296 296/7/90. Izolační deska bude upevněna na upínací desce jednak čtveřicí šroubů M6, ale také středícím kroužkem.

Rozpěrky

Materiálem rozpěrek jsem zvolil ocel 1.1730, ČSN 19 083. Rozpěrky(4) jsou patrné z obr.40. Jsou v nich vytvořeny vybrání(1) pro upínky. V jedné z rozpěrek musí být vytvořen prostor pro šikmé vodící sloupky, jenž ovládají pohyb tahačů. Jsou samostatně upevněny pomocí šroubů M8. Pro minimalizaci průhybu tvarové desky vlivem tlaku v dutině formy jsou pod vlastní tvarovou vložkou umístěny tři válcové rozpěrky o průměru 32mm a upevněny v upínací desce.

Tahače

Pro materiál tahačů(1) jsem zvolil ocel 1.2343, ČSN 19 552. Na obr.42 je vidět tahač(1) v průhledném zobrazení. Bude upevněn v uložení(2) pomocí dvou kolíků(4), jenž jsou zasunuty v otvorech(3). Jako jeden celek se bude nuceně vysouvat a zasouvat z formy díky vodícímu sloupku, jenž bude procházet otvorem(7). Otvor má průměr 19 mm a je to z toho důvodu aby bylo zaručeno jisté zpoždění při vysouvání tahačů. Osa otvoru je totožná s osou vodícího sloupku, jenž bude upevněn v tvarové desce pevné části formy, s níž bude svírat úhel 20°, dlouhý bude 143,7 mm a funkční průměr je 18mm. Vybrán byl z katalogu Hasco. Posuv tahače bude 34 mm, což je dostatečná délka pro úplné odformování a bezpečné vyhození výstřiku z formy. Pro zajištění tahače v krajní poloze při otevíracím zdvihu je forma vybavena aretací tahače. Ta je provedena jednoduše, pomocí pružiny a kuličky, jenž zapadá do mělkého vývrtu vespod tahače.

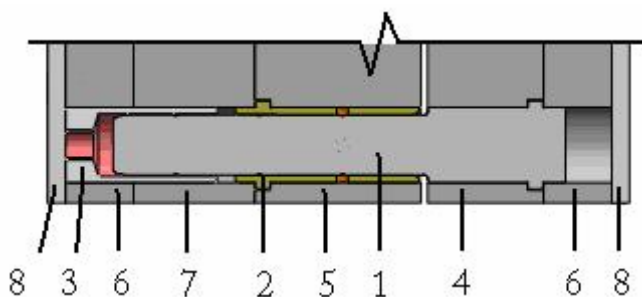


Obr.42, Tahač

Takovýto celek bude mít samostatný okruh temperace, jenž bude připojen pomocí přípojek(6)Z90/9x100, zkrácených na potřebnou délku. Temperace samotného tahače je realizována pomocí měděné tyčinky(5), jenž je zasunuta do dutiny tahače(1). Tyčinka má rozměry 4 x 125 mm. Její volný konec je umístěn v kanálu, jímž proudí temperační médium. Měď je použita z toho důvodu, že má několikanásobně vyšší tepelnou vodivost než ocel.

Vodící prvky

Vodící prvky mají za úkol přesné a spolehlivé vedení při zdvihu formy. Hlavní vodící sloupky(viz obr.43, pozice 1) jsou zvoleny z katalogu Hasco, Z00/46/24x125, průměr funkční plochy je tedy 24 mm, délka funkční plochy je 125 mm. Hlavní vodící pouzdra(2) jsou samomazná a jsou umístěna v tvarové desce pohyblivé části formy.

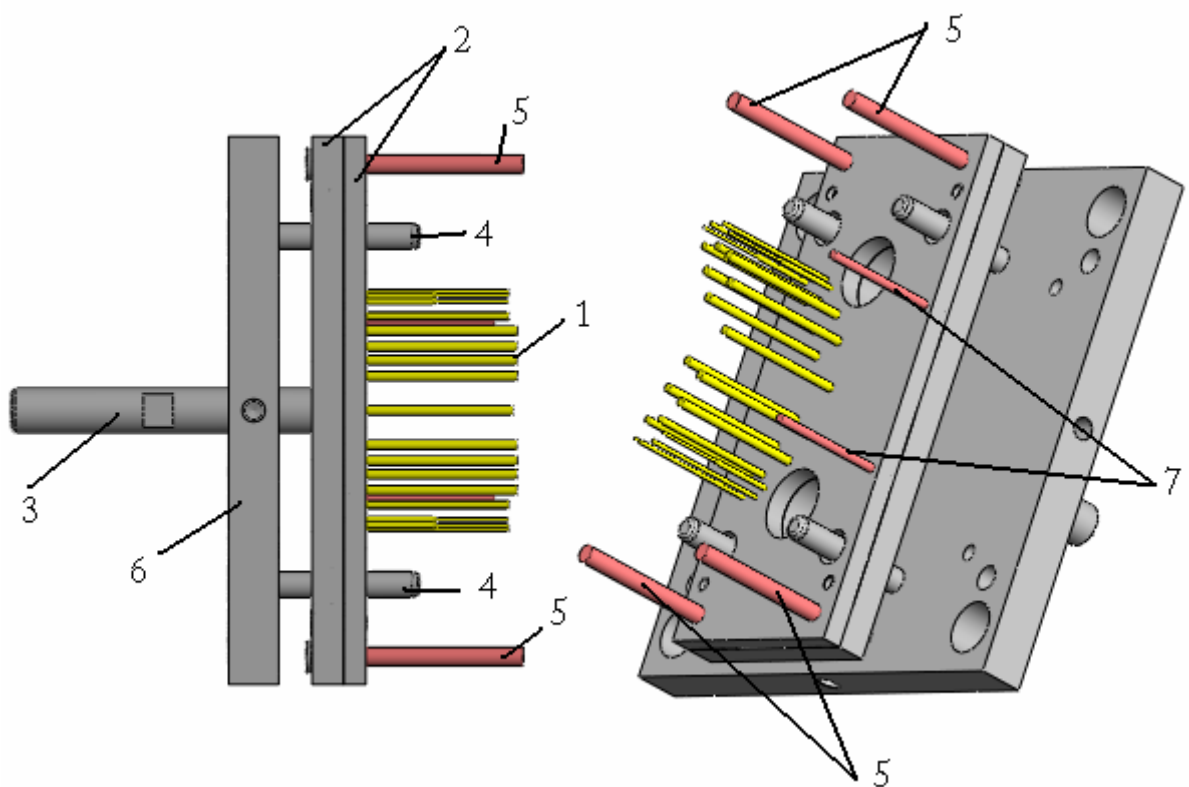


Obr.43, Řez a vedením formy

- 1) vodící sloupek,
- 2) pouzdro sloupku,
- 3)středící trubka,
- 4)form.deska trysková strana,
- 5) tvar.deska vyhazovací strana,
- 6) upínací desky,
- 7) rozpěrky,
- 8) tepelná izolace

Vyhazovače

U formy bude použito jednoduchého systému vyhazování, a to mechanicky, zdvih 15mm bude vyvozen posunem hydrauliky stroje, na niž bude napojen čep vyhazovačů(3). Samotné vyhazovače(1) jsou zvoleny z katalogu Hasco, řada Z40 a Z44 u osazených, mají průměry od 1,8 do 5 mm, přičemž vyhazovače 1,8mm jsou osazeny větším průměrem pro zvýšení pevnosti. Vyhazovače jsou řešeny jako kruhové tyče s válcovou hlavou, jenž je upevněna mezi deskami vyhazovačů, které jsou sešroubovány a tvoří tak jeden celek-svazek vyhazovacích desek(2). Celkový počet vyhazovačů je 21. Pro zvýšení životnosti vyhazovačů jsou desky vedeny pomocí čtyř vodících sloupků(4) o průměru 14mm, upevněných v upínací desce(6). Desky jsou opatřeny samomaznými pouzdry. Čep vyhazovačů(3) tvoří celek se spodní deskou svazku a je připevněn pomocí šroubu M12(tzv. červ) a závitu vně čepu. Pod hlavou středového-tzv. vtokového vyhazovače je kalená ocelová podložka tloušťky 5mm.



Obr.44, Vyhazování výstřiku

Jelikož je zvykem vše jistit, jsou desky vyhazovačů opatřeny bezpečnostními vyhazovači. Jsou to tzv. „vracecí vyhazovače(5), dále jen VV, a pojistné vyhazovače(7), dále jen PV. Pokud by došlo k jakékoliv poruše mechanismu, jenž ovládá pohyb vyhazovačů a nedošlo tak k jejich vrácení do základní polohy před uzavřením formy, je díky VV zajištěno, že se vyhazovače nuceně vrátí a nedojde tak ke kolizi vyhazovačů a tvárnice. Je to zajištěno tím že při případné poruše by se opřeli o přibližující se tvarovou desku při zavírání formy. Pojistné vyhazovače(7) fungují jako pojistka proti nevysunutí tahače z dutiny formy, čímž by nastala kolize tahače s vyhazovači. Jsou umístěny tak, že pokud nedojde k úplnému vysunutí tahače do aretační polohy, opře se při vyhazovacím zdvihu PV o uložení tahače a tím zabrání vysunutí ostatních vyhazovačů do kolizní polohy, nebo dojde pouze k poškození PV.

Odvzdušnění [11]

Při plnění dutiny formy taveninou je nutné zajistit únik vzduchu, který je v ní obsažen. Čím větší je rychlost plnění, tím účinnější musí být odvzdušnění. Nemůže-li vzduch z formy uniknout, hrozí tzv. dieselův efekt, což v podstatě znamená, že dojde vlivem stlačení vzduchu k velkému nárůstu jeho teploty, a materiál se spálí. Odvzdušňovací kanály mají většinou obdélníkový průřez.

Materiál	Max. rozměry [mm]
PS	0,05
PE,PP	0,04
PA	0,02-0,03
POM	0,04
PBT	0,03
PC	0,05
PMMA	0,05

Tab.3, Dimenzování odvzdušnění

Jelikož v průběhu plnění dutiny může vzduch odcházet i okolo vyhazovačů a uložení tahače, ponechal sem zatím formu bez odvzdušnění a po zkušebním nástřiku se mohou provést dodatečné úpravy.

Manipulace s formou

Pro snadnou a bezpečnou manipulaci s formou jsou v jednotlivých deskách vyrobeny závitové díry M10 a M12. Díry M12 slouží pro montáž konzoly pro přepravu formy, jenž je vyrobena z oceli ČSN 12 050, o rozměrech 50x30x230mm. V konzole je našroubováno závěsné oko pro zavěšení formy se závitem M12. Je umístěno v těžišti formy. Oko je vybráno z katalogu Hasco, výrobcem deklarovaná únosnost je 240kg. V jednotlivých dělicích rovinách mezi deskami je v rozích vyrobeno vybrání pro snadnější rozevření formy při demontáži.

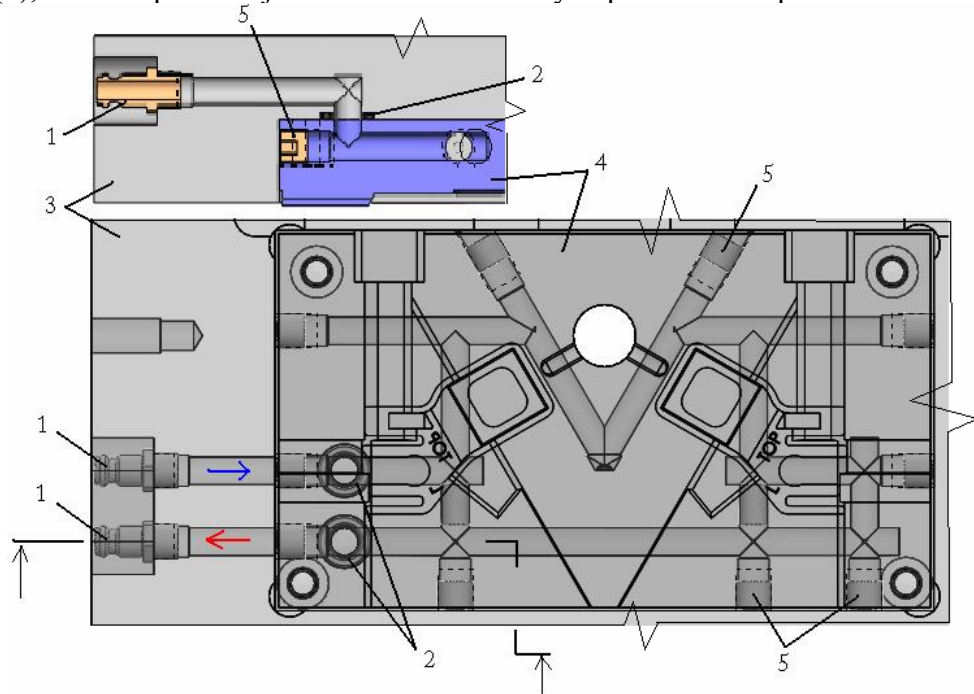
7.9 Temperace

Temperace formy je provedena kanály kruhového průřezu, jejichž průměr je dán hmotností výstřiku a velikostí formy. Průměry jsou voleny dle tabulky, viz obr.45., kde v levém krajním sloupci je udána velikost rámu formy a v horním řádku pak celková hmotnost výstřiku.

rámo [mm]	výstřik [g]															
	1	3	5	8	10	15	20	30	50	100	200	300	500	800	1000	
160x160	6	6	6	6	6	8	8	8								
160x230		6	8	8	8	8	8	8								
230x230		8	8	8	8	8	8	8	8							
230x300			8	8	8	8	8	8	8	10						
300x300			8	8	8	8	8	8	8	10	10					
300x370				8	8	8	8	8	8	10	10	10				
370x370				8	8	8	8	8	8	10	10	10	10			
370x440					8	8	8	8	8	10	10	10	12	12		
440x440					8	8	8	8	8	10	10	12	12	12	12	
440x510						8	8	8	10	10	10	12	12	12	12	
510x510							8	8	10	10	10	12	12	12	12	
510x650								8	8	10	10	12	12	12	12	

Obr.45, Volba průměru temperačních kanálů

Průměr kanálů byl tedy zvolen 8mm dle tabulky. Temperovány jsou obě tvarové vložky a tahače, jenž mají nezávislý okruh. Celkem jsou vytvořeny 4 okruhy temperace. Teplota média je zvolena dle parametrů uvedených v materiálovém listu pro zadaný materiál, viz. příloha 2, tedy v rozmezí 30-60°C. Na obr.46 je řez tvárnici a tvarovou deskou (tvárnice i deska jsou zprůhledněny pro lepší orientaci). Temperační okruh je na formu připojen pomocí přípojek(1), kde vstup média je označen modrou a výstup červenou šipkou.



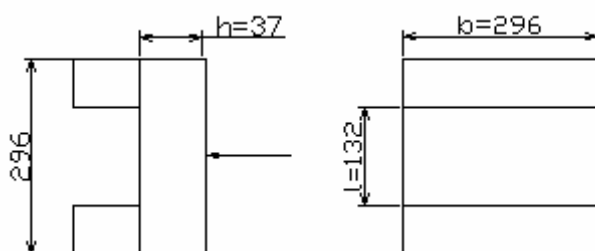
Obr.46, Temperace tvárnice

Přípojky jsou upevněny ve tvarové desce(3) a zapuštěny kvůli manipulaci. Utěsnění spoje mezi tvárnicí(4) a tvarovou deskou(3) je provedeno pomocí o-kroužků(2) z materiálu Viton, vybrané z katalogu Hasco. Uzavření jednotlivých kanálů je provedeno pomocí záslepek Hasco(5), jenž jsou našroubovány do závitu v desce a jimiž je tok média směřován jedním směrem. Obdobným způsobem je řešena i temperace tvárníku.

8. Výpočet průhybu tvarové desky

Desky, jenž jsou umístěny na rozpěrkách, jsou namáhány ohybovou silou, závislou na tlaku taveniny v dutině formy a průmětu plochy, na kterou tlak působí. Tato plocha je dána velikostí plochy samotných tvarových dutin a také plochou rozváděcích kanálů. Při návrhu formy je nutné stanovit bezpečnou tloušťku takovéto desky, aby nedocházelo k jejímu nadměrnému průhybu. V případě naší formy je na ohyb namáhána pouze jedna deska, a to deska tvarová v pohyblivé části formy. Deska má rozměry 296x296x66 mm a je podepřena rozpěrkami o šířce 82 mm po celé své délce. Krom toho je dále podepřena trojicí válcových rozpěrek. Do této desky je zapuštěná tvarová vložka a to do hloubky 29mm. Zbývající tloušťka desky je tedy 37 mm a s ní budeme při výpočtu počítat.

Počební kontrola průhybu tvarové desky



Obr.47, Uložení desky

Maximální průhyb desky je dán vztahem:

$$u_D = \frac{u_o}{100} \cdot l \quad [\text{mm}] \quad (8.1)$$

V praxi se obvykle dodržuje pravidlo že maximální průhyb by neměl překročit $u_o=0,02$ mm. Je možné také využít vzorce (8.1), dle kterého platí, že na délku 100 mm je maximální průhyb 0,02mm.

$$u_D = \frac{0,02}{100} \cdot 132 \quad (8.2)$$
$$u_D = 0,0264 \text{ mm}$$

Maximální povolený průhyb desky o šířce 132 mm je tedy $u_D = 0,0264$ mm.

Kde:

u_D maximální dovolený průhyb [mm]

u_o doporučený maximální průhyb [mm]

l délka mezi rozpěrami [mm]

Pro samotný výpočet se uvažuje s deskou takovou jako je na obr.47, tj. podepřenou pouze podélnými rozpěrkami, průhyb je pak dán vztahem:

$$u_{MAX} = 0,026 \frac{P_n l^4}{E \cdot h^3} \quad [1] \quad (8.3)$$

Pro zjištění tlaku působícího na tvarovou desku použijeme sílu, jenž je vyvozená tlakem uvnitř tvarové dutiny, $F=159320\text{N}$, viz výpočet (7.5). Tato síla působí na styčnou plochu tvarové vložky formy a tvarové desky S_p a způsobuje deformaci této desky. Pro výpočet tlaku působícího na tvarovou desku použijeme následujícího výpočtu.

$$\begin{aligned} S_p &= b \cdot d \\ S_p &= 110 \cdot 190 \\ S_p &= 20900 \text{mm}^2 \end{aligned} \quad (8.4)$$

Potom:

$$\begin{aligned} P_n &= \frac{F}{S_p} \\ P_n &= \frac{159320}{20900} \\ P_n &= 7,62 = \text{cca}8 \text{Mpa} \end{aligned} \quad (8.5)$$

Maximální průhyb pak bude:

$$\begin{aligned} u_{MAX} &= 0,026 \frac{P_n l^4}{E \cdot h^3} \\ u_{MAX} &= 0,026 \frac{8,132^4}{E \cdot 37^3} \\ u_{MAX} &= 5,93 \cdot 10^{-3} \text{mm} \end{aligned} \quad (8.6)$$

Kde:

u_{MAX} ... průhyb desky [mm]
 P_n tlak zatěžující [MPa]
 E modul pružnosti v tahu [MPa]
 h tloušťka desky [mm]
 S_p zatěžovaná plocha [mm^2]
 b šíře tvarové desky [mm]
 d délka tvarové desky [mm]
 F síla vyvolaná tlakem v dutině formy [N]

Z výsledku je patrné že vypočítaný průhyb pomocí vztahu (8.6) nedosahuje mezních hodnot pro dané rozměry desky viz(8.2) a desku o této tloušťce lze podle výpočtu použít.

Výpočet ovšem nezahrnuje vliv otvorů a dutin v desce, proto je pouze orientační. Při reálném navrhování se využívá zejména zkušenosti konstruktéra a vše se konstruuje tzv. „s rezervou“, tzn. že je lepší formu pevnostně naddimenzovat, než v průběhu výroby zjistit, že forma pevnostně nevyhovuje. V praxi lze také využít nejrůznějších simulačních programů, jenž jsou také součástí SolidWorks 2008, ve kterém byla forma navrhována. Modul COSMOSXpress simuluje cyklus návrhu a nabízí výsledky napětí. Zobrazí také kritické plochy a úrovně bezpečnosti v různých oblastech součástí. K výpočtu napětí používá lineární statickou analýzu založenou na metodě konečných prvků. Lineární statická analýza vychází při výpočtu napětí v dílu z několika předpokladů:

Předpoklad linearity - vyvolaná odezva je přímo úměrná použitému zatížení. Pokud například zdvojnásobíte zatížení, zdvojnásobí se také odezva modelu (posuny, protažení a napětí).

Předpoklad pružnosti -po odstranění zatížení se díl vrátí ke svému původnímu tvaru (nedojde k trvalé deformaci).

Statický předpoklad -zatížení se aplikuje pomalu a postupně, dokud nedosáhne své plné velikosti. Naráz aplikovaná zatížení mohou způsobit další posuny, protažení a napětí.

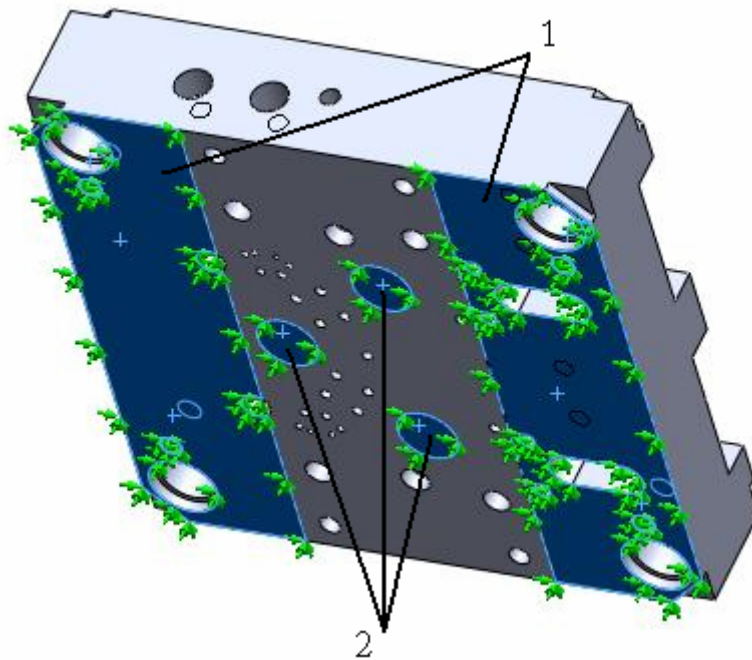
Simulační analýza průhybu tvarové desky

Zadané parametry:

Hodnota	Vlastnost	Název
210000 N/mm ²	Modul pružnosti	EX
0.28	Poissonova konstanta	NUXY
81000 N/mm ²	Modul pružnosti ve smyku	GXY
1.3e-005	Koeficient tepelné roztažnosti	ALPX
0.00785 g/mm ³	Hustota	DENS
43 W/m K	Tepelná vodivost	KX
460 J/kg K	Měrné teplo	C
1000 N/mm ²	Mez pevnosti	SIGXT
880 N/mm ²	Mez kluzu	SIGYLD

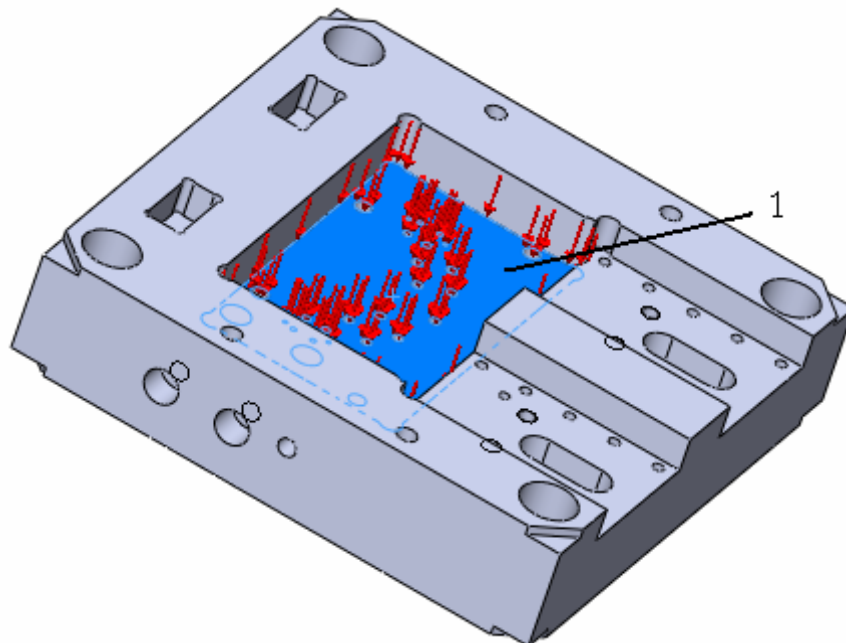
Obr.48, Zadané parametry oceli 1.2312

Uložení dílu bylo zvoleno dle skutečných opěrných ploch na desce formy, jak je patrné z obr.49, tedy jako podpora v místě rozpěrek (1) a v místě válcových rozpěrek(2).



Obr.49, Uložení desky pro simulaci

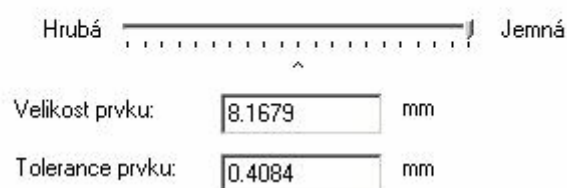
Zatížení bylo zadáno jako tlak P_n na ploše styku tvarové vložky a tvarové desky(1) viz obr.50.



Obr.50, Namáhání desky pro simulaci

Před výpočtem byla zvolena co nejvyšší přesnost výpočtu, viz obr.51.

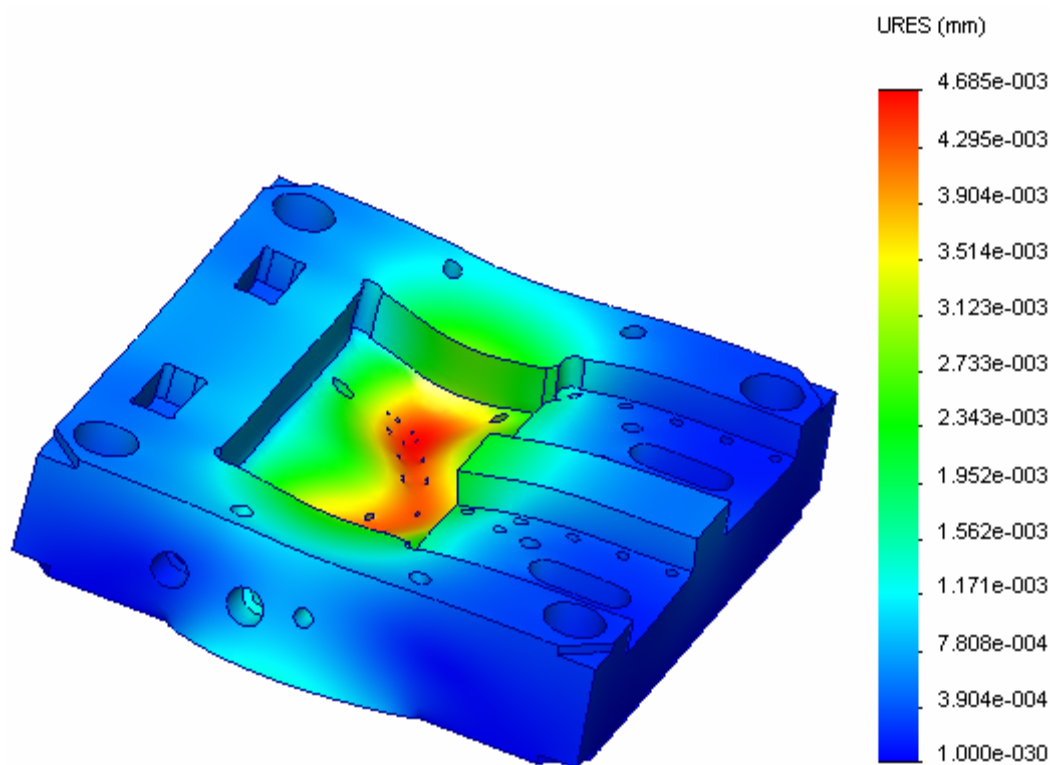
COSMOSXpress rozdělí model do sítě malých prvků. Zadáním menší velikosti prvku docílíte přesnějších výsledků, ale analýza vyžaduje více času a zdrojů.



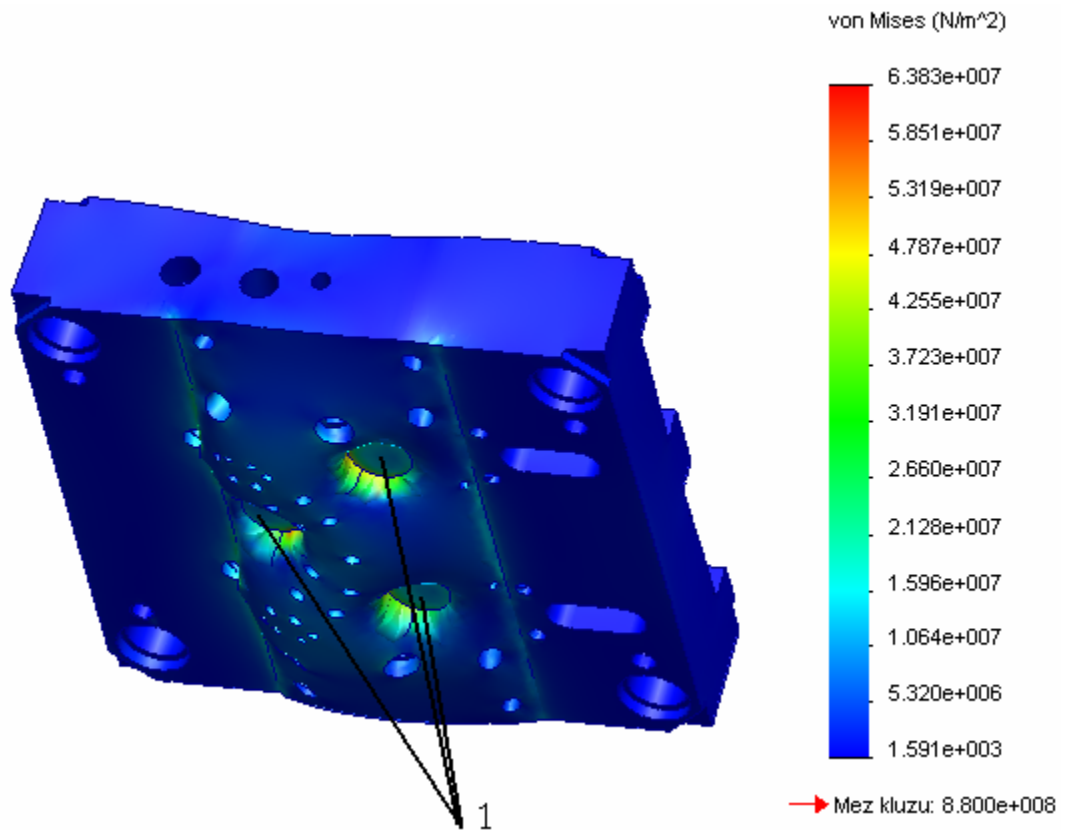
Obr.51, Přesnost výpočtu

Výsledky simulace

Z výsledků simulace můžeme vyvodit tyto závěry: maximální průhyb tvarové desky byl dle aplikace Cosmosxpress stanoven na hodnotu $u_{MAX-C} = 4,685 \cdot 10^{-3} \text{mm}$, viz obr.52, což je hodnota která zdaleka nedosahuje limitní hodnoty pro průhyb této desky. Dle propočtu maximálního napětí v návrhu, viz obr.53, byl koeficient bezpečnosti stanoven na hodnotu 13,8.



Obr.52, Průhyb tvarové desky



Obr.53, Výsledné maximální napětí

Vyhodnocení

	Průhyb [mm]
Maximální povolený dle(8.2)	0,0264
Dle výpočtu(8.6)	0,00593
Dle simulace Cosmosxpress	0,00468

Tab.4, Výsledky výpočtu průhybu tvarové desky

Dle provedených výpočtů je zřejmé, že takto zadaná a zatěžovaná tvarová deska je schopna plnit funkci opěrné desky v daném konstrukčním řešení formy. Rozdílné hodnoty vypočtených průhybů jsou dány možnými nepřesnostmi ve vzorci (8.3) a zejména rozdílnými geometriemi počítaných tvarů. Na hodnotu průhybu mají také vliv dutiny, jež jsou v desce vytvořeny a hlavně válcové rozpěrky, viz obr.49 pozice 2 a obr.53 pozice1, umístěné mezi tvarovou a upínací deskou.

9. Ekonomické zhodnocení

Náklady na materiál

Cena materiálu $C_m = 1,9 \text{ EUR/kg} \Rightarrow 50,73 \text{ Kč/kg}$
(přepočít dle kurzu CZK/EUR k datu 28.5.2009)

Hmotnost celková jednoho výstřiku M_c

$$V_c = 13,96 \text{ cm}^3 \quad \text{viz(7.3)}$$

$$\begin{aligned} M_c &= V_c \cdot \rho_{\text{materiálu}} \\ M_c &= 13,96 \cdot 1,12 \\ M_c &= 15,63 \text{ g} \end{aligned} \quad (9.1)$$

Hmotnost materiálu celé série M_{cm}

$$\begin{aligned} M_{cm} &= M_c \cdot S_v \\ M_{cm} &= 15,63 \cdot 200000 \\ M_{cm} &= 3127040 \text{ g} \Rightarrow 3127,04 \text{ kg} \end{aligned} \quad (9.2)$$

Náklady celkové na materiál N_{cm}

$$\begin{aligned} N_{cm} &= M_{cm} \cdot C_m \\ N_{cm} &= 3127,04 \cdot 50,73 \\ N_{cm} &= 158634,73 \text{ Kč} \end{aligned} \quad (9.3)$$

Náklady na výrobu formy N_f

Cena použitého materiálu N_m

$$N_m = \text{cca } 60000 \text{ Kč}$$

Odhad nákladů na výrobu N_{vf}

$$N_{vf} = \text{cca } 130000 \text{ Kč}$$

$$\begin{aligned} N_f &= N_m + N_{vf} \\ N_f &= 60000 + 130000 \\ N_f &= 190000 \text{ Kč} \end{aligned} \quad (9.4)$$

Náklady na výrobu

Náklady na hodinu provozu stroje N_s

$$N_s = 500 \text{ Kč/hod}$$

Doba jednoho pracovního cyklu t_{s1}

$$t_{s1} = \text{cca } 15 \text{ s} \Rightarrow 4,16 \cdot 10^{-3} \text{ hod}$$

Doba pro výrobu celé série t_{sc}

$$\begin{aligned}t_{sc} &= t_{s1} \cdot s_v \\t_{sc} &= 4,16 \cdot 10^{-3} \cdot 200000 \\t_{sc} &= 833,3 \text{ hod}\end{aligned}\tag{9.5}$$

Náklady celkové na provoz stroje N_{sc}

$$\begin{aligned}N_{sc} &= N_s \cdot t_{sc} \\N_{sc} &= 500 \cdot 833,3 \\N_{sc} &= 416650 \text{ Kč}\end{aligned}\tag{9.6}$$

Celkové náklady N_c

$$\begin{aligned}N_c &= N_{sc} + N_f + N_{cm} \\N_c &= 416650 + 190000 + 158634 \\N_c &= 765284 \text{ Kč}\end{aligned}\tag{9.7}$$

Cena jednoho páru výrobku C_v

$$\begin{aligned}C_v &= N_c / s_v \\C_v &= 765284 / 200000 \\C_v &= 3,82 \text{ Kč}\end{aligned}\tag{9.8}$$

10. Závěr

Cílem diplomové práce byl návrh výroby součásti z plastu. Po provedení literární studie problematiky zpracování plastů byla dle zadání vybrána technologie vstřikování, jež byla dále více rozebrána. Dále jsem popsal jednotlivé konstrukční řešení vstřikovacích forem a lisů, jež se běžně používají. Materiálem pro součást byl zvolen PP GF30, což je materiál, jež se běžně využívá v oblasti automobilového průmyslu pro podobné aplikace. Další část práce se zabývá vytvořením návrhu konstrukce vstřikovací formy. Formu jsem navrhl jako 1+1 násobnou s využitím tahačů, studenou vtokovou soustavou a vložkovými tvarovými deskami. Materiály pro jednotlivé konstrukční části jsem volil dle běžných zvyklostí a dle umístění součásti ve formě, při návrhu jsem v širokém měřítku využil normativ firmy Hasco. Dále jsem spočetl a dle modulu Cosmosxpress, jež je součástí programu SolidWorks2008, určil průhyb tvarové desky pohyblivé části formy, jež se ukázal jako vyhovující. Pro výrobu součásti byl zvolen vstřikovací lis Arburg Allrounder 320C, jež vyhovuje ve všech směrech pro použití dané formy. Na závěr práce bylo provedeno jednoduché ekonomické zhodnocení, dle něhož náklady na výrobu jednoho páru součásti jsou $C_v = 3,82$ Kč, viz výpočet (9.8), což se zdá příznivé a je tedy možné konstatovat, že výroba tímto způsobem je ekonomicky i technicky přijatelná.

Seznam použitých zdrojů

- [1] SOVA , Miloš, KREBS, Jaroslav. *Termoplasty v praxi : praktická příručka pro konstruktéry, výrobce, zpracovatele a uživatele termoplastů*. 5. aktualiz. vyd. Praha : Verlag Dashoffer, 1999-2000. růz.sv., CD-ROM. ISBN 80-86229-15-7.
- [2] KOLOUCH, Jan. *Strojírenské výrobky z plastů vyráběné vstřikováním*. 1. vyd. Praha : SNTL, 1986. 229 s.
- [3] HENDRICH, J. *Standartizace ráků a součástí forem pro vstřikování termoplastů*. Praha : SNTL, 1986.
- [4] ŘEHULKA, Zdeněk. *Konstrukce výlisků z plastů a forem pro zpracování plastů*. Brno : Sekurkon s.r.o, 2004. 220 s. ISBN 80-86604-16-0.
- [5] *Ateam.zcu* [online]. [1998] [cit. 2009-04-20]. Dostupný z WWW: <<http://www.ateam.zcu.cz/download/plasty.pdf>>
- [6] *Internetová skripta TUL* [online]. [2000] [cit. 2009-04-20]. Dostupný z WWW: <http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/index.htm>
- [7] *Muni*[online]. [2001] [cit. 2009-04-20]. Dostupný z WWW: <www.ped.muni.cz/wphy/FyzVla/FMkomplet3.htm>
- [8] *Wikipedia* [online]. [1998] [cit. 2009-04-29]. Dostupný z WWW: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Plast> >
- [9] Ing. MOLÍKOVÁ, Eva, Ph.D. *Konstrukční plasty a kompozity, moudro do cvičení nauka o materiálu*. VUT FSI Brno,2006/07
PÍŠA, Zdeněk
- [10] Asahi Thermofil. *Materiálový list PP APG 30A*. 2002
- [11] *Hasco* [online].[2009][cit. 2009-04-15]. Dostupný z WWW:< <http://www.hasco.de/>>

Seznam použitých symbolů a zkratek

Označení	Jednotka	Popis
b	[mm]	šíře tvarové desky
CAD	[-]	computer aided design
C_v	[kč]	cena jednoho páru výrobku
d	[mm]	délka tvarové desky
D	[mm]	průměr šneku stroje
E	[MPa]	modul pružnosti v tahu
F	[N]	síla od tlaku v dutině formy
F_{str}	[kN]	přidržovací síla stroje
F_{10}	[N]	síla F navýšená o 10 %
h	[mm]	tloušťka tvarové desky
l	[mm]	délka mezi rozpěrami
L	[mm]	celková délka kanálů
L_d	[mm]	délka jednoho kanálu
L_s	[mm]	délka šneku stroje
m_d	[g]	hmotnost jednoho výstřiku
M	[g]	celková hmotnost výstřiku
M_c	[g]	celková hmotnost výstřiku+vtok
MFI	[g/10 minut]	melt flow index
n	[-]	počet kanálů
N	[-]	počet kanálů
N_c	[kč]	celkové náklady
N_p	[-]	předběžná násobnost
N_s	[kč]	náklady na hodinu provozu stroje
N_{sc}	[kč]	náklady celkové na provoz stroje
p_i	[MPa]	vnitřní tlak(tlak v dutině formy)
$p_{vstř}$	[MPa]	maximální vstřikovací tlak
P_n	[MPa]	tlak zatěžující tvar. desku
P_z	[MPa]	zbytkový tlak
Q_p	[kg.h ⁻¹]	plastifikační kapacita
Q_v	[cm ³]	vstřikovací kapacitou
R_m	[MPa]	mez pevnosti v tahu
R_e	[MPa]	mez kluzu v tahu
RE	[-]	reverzní inženýrství
RP	[-]	rapid prototyping
s	[mm]	šířka kanálu
S	[mm ²]	celková plocha kanálů
S_c	[mm ²]	plocha celková(kanálů + dutin)
S_D	[mm ²]	plocha průmětu tvarové dutiny
S_p	[mm ²]	zatěžovaná plocha
t_d	[s]	doba dotlaku
t_{ch}	[s]	doba chlazení
t_{pl}	[s]	doba plastifikace
t_{s1}	[s]	doba jednoho pracovního cyklu
t_{sc}	[s]	doba pro výrobu celé série
T_f	[°C]	Teplota viskozního toku

T_g	[°C]	teplota zesklenní
T_m	[°C]	teplota tání
u_D	[mm]	maximální dovolený průhyb
u_{MAX}	[mm]	průhyb tvar. desky, početně
u_{MAX-C}	[mm]	průhyb tvar. desky, simulace
u_o	[mm]	doporučený maximální průhyb
V	[cm ³ .s ⁻¹]	objemová vstřikovací rychlost
V_c	[cm ³]	celkový objem materiálu
V_t	[cm ³]	objem materiálu vtokové soustavy
V_v	[cm ³]	objem materiálu jednoho výstřiku
V_{v10}	[cm ³]	celkový objem materiálu + 10 %
w_k	[%]	stupeň krystalinity
3D	[-]	prostorový model

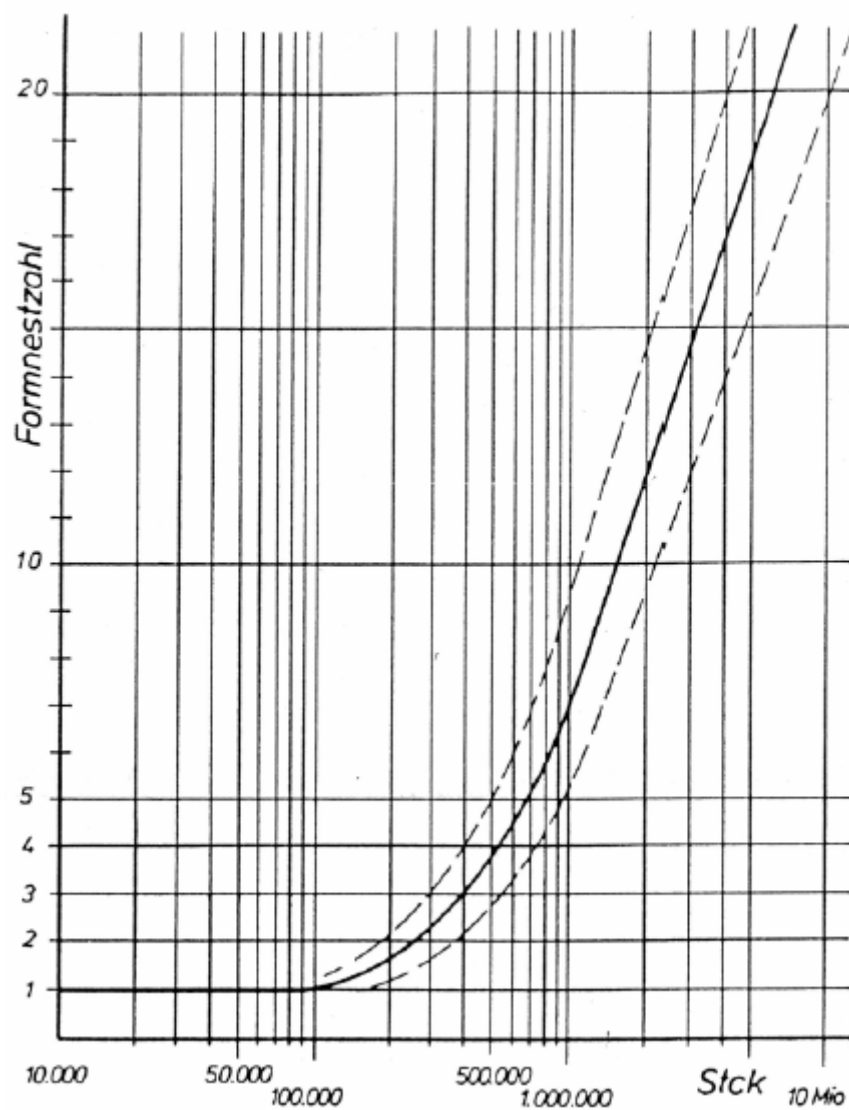
Seznam příloh

Číslo přílohy	Název přílohy
1.	Graf určení násobnosti formy
2.	Materiálový list PP APG30A
3.	Náčrt rozložení dutin

Seznam výkresů

4.	DIP.2009-01 - Výkres tvárnice
5.	DIP.2009-02 - Výkres tvárníku
6.	DIP.2009-03 - Výkres tvarového jádra
7.	DIP.2009-04 - Výkres součásti
8.	DIP.2009-05 - Výkres sestavy

Graf určení násobnosti formy



Materiálový list

TECHNICAL DATA SHEET 

PRODUCT CODE:	THERMOFIL PP APG30A
CATEGORY:	ADVANCED ENGINEERING
DESCRIPTION:	30% glass fibre, chemically coupled homopolymer polypropylene compound
APPROVALS :	FORD SK-M4D9736-A/B
TYPICAL APPLICATIONS:	Washtanks, fan blades, fan cowls

Properties at 23°C	Test Method	Units	Value
Reinforcement Content	ATL Method	%	30
Specific Gravity (SG)	ISO R1183		1.12
Melt Flow Index (MFI)	ISO R1133	g/10 minutes	1.5
Mould Shrinkage	ATL Method	%	0.2-1.0
Water Absorption	ISO 62	%	-
Flammability Resistance	UL 94/3.2mm	-	HB
Tensile Strength	ISO R527	MPa	83
Elongation at Break	ISO R527	%	3
Tensile Modulus	ISO R527	GPa	6.5
Flexural Strength	ISO 178	MPa	135
Flexural Modulus	ISO 178	GPa	5.8
Izod Impact (notched)	ISO R180/ASTM D256	J/m	107
Charpy Impact (notched)	ISO 179	KJ/m²	-
Charpy Impact (unnotched)	ISO 179	KJ/m²	-
Heat Distortion Temperature	ISO 75/0.46 MPa	°C	157
Heat Distortion Temperature	ISO 75/1.81 MPa	°C	150

PRODUCT CODE :	THERMOFIL PP APG30A
-----------------------	----------------------------

PRE-DRYING REQUIREMENTS

	Units	Values
Pre-Dried Ready For Use	-	Yes
Storage Life (unopened) @ 23°C/50%R.H	Months	6
Open Storage Time Before Pre-Drying Required	Hours	6
Pre-Drying Recommendation		3-4 Hours at 90°C

PROCESSING GUIDELINES

Processing Parameter	Units	Recommendation
Barrel Temperature Profile (Rear to Nozzle)	°C	200, 220, 230, 250
Injection Speed		Medium
Use of Back Pressure		Low
Tool Temperature Requirement	°C	30-60
Regrind Addition (Maximum)	% by Weight	10

SPECIALIST PROCESSING ADVICE IS AVAILABLE FROM THERMOFIL TECHNICAL DEPARTMENT

HEALTH & SAFETY DATA

	Units	Recommendation
Maximum Barrel Residence Time	Minutes	15
Maximum Barrel Temperature	°C	280
Spontaneous Ignition Temperature	°C	320
Disposal of Purgings and Melts		Cooled in Water to avoid fire

A separate Material Safety Data Sheet is also available

HANDLING RECOMMENDATIONS AND DETAILS

Packaging Code (Digit 9)	Pallet Size WxLxH(mm)	Overall Height (m)	Maximum Stack Height (Pallets)	Weight Per Pallet Net (Kg)	Suitable for Racking System Supported on 2 Sides	Description	2 Way or 4 Way Entry Pallets
B	1000x1200x120	2.0	2	1000	Yes	Octabin	2
H	1000x1200x120	1.1	3	500	Yes	Gallia Standard Octabin	2
S	1000x1200x120	1.5	2	1000	No	20-25Kg Bags	4

Náčrt rozložení dutin

