

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

NÁVRH TECHNOLOGIE VÝROBY ZÁTKY Z PLASTU **DESIGN OF MANUFACTURING TECHNOLOGY FOR PLASTIC PLUG**

DIPLOMOVÁ PRÁCE
DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. IVAN KOČÍ

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. BOHUMIL KANDUS

BRNO 2009

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2008/09

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Kočí Ivan, Bc.

který/která studuje v **magisterském 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:

Návrh technologie výroby zátky z plastu

v anglickém jazyce:

Design of manufacturing technology for plastic plug

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

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

Cíle diplomové práce:

Cílem práce je komplexní návrh technologie výroby na úrovni technologického postupu a konstrukční výkresové dokumentace nástroje na plastovou zátku podložený technicko-ekonomickým zhodnocením.

Seznam odborné literatury:

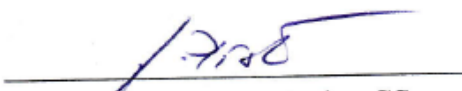
- ŠTĚPEK, Jiří, ZELINGER, Jiří, KUTA, Antonín. Technologie zpracování a vlastnosti plastů. 1. vyd. Praha, Bratislava : SNTL, Alfa, 1989. 638 s. ISBN DT 678.5(075.8).
- SOVA, Miloš, KREBS, Josef. Termoplasty v praxi. 1. vyd. Praha : Verlag Dashöfer, 2001. 2 sv. (580, 425 s.). ISBN 80-86229-15-7.
- MENGES,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

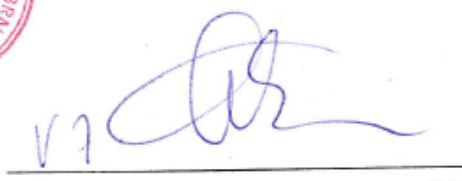
Vedoucí diplomové práce: Ing. Bohumil Kandus

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2008/09.

V Brně, dne 30.10.2008 16:23




doc. Ing. Miroslav Piška, CSc.
Ředitel ústavu


doc. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá návrhem výroby zátky z plastu technologií vstřikování do forem. V práci je proveden návrh technologického postupu včetně potřebných výpočtů a mimo to je práce zaměřená na konstrukci vstřikovací formy. Pro řešení byl použit 3D CAD systém SolidWorks a normálie Hasco, Meusburger, Synventive. Na závěr je práce podložena technicko-ekonomickým zhodnocením.

Klíčová slova

Plast, technologie zpracování plastů, vstřikování, vstřikovací forma

ABSTRACT

This graduation theses analyse a concept of plastic plug production using the technology of injecting plastic into the form. There is performed a design of the technologic process with necessary calculations included here. Besides that the analysis is also focused on construction of the injection form. For the solution the 3D CAD system by SolidWorks and Hasco, Meusburger, Synventive normals were used. The graduation theses is finally valorized by technological-economic summary.

Key words

Plastic, Plastics elaboration technology, injection moulding, injection mold

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

KOČÍ, I. *Návrh technologie výroby zátky z plastu*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009. 61 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Bohumil Kandus.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma Návrh technologie výroby zátky z plastu vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

V Brně dne2009

.....
Ivan Kočí

Poděkování

Děkuji tímto vedoucímu této diplomové práce Ing. Bohumilu Kandusovi za cenné připomínky, rady a vstřícný přístup při vypracování diplomové práce. Dále také děkuji panu Ing. Fíšovi (Formex, s.r.o.) a panu Ing. Sedlákovi (Synventive Molding Solutions, s.r.o.) za jejich odborné rady a velmi vstřícný přístup při návrhu formy pro vstřikování plastů.

OBSAH

Abstrakt.....	4
Prohlášení.....	5
Poděkování	6
Obsah	7
Úvod	9
1 PŘÍPRAVA PLASTŮ.....	10
2 ROZDĚLENÍ PLASTŮ	11
2.1 Elastomery	11
2.2 Reaktoplasty.....	11
2.3 Termoplasty.....	12
2.3.1 Amorfnní plasty	12
2.3.2 Semikrystalické plasty	12
2.4 Plasty používané v praxi.....	13
3 VLIV PŘÍRAD V PLASTECH	14
3.1 Plniva.....	14
3.1.1 Prášková plniva	14
3.1.2 Vláknnitá plniva	14
3.2 Maziva	14
3.3 Barvící přísady.....	15
3.4 Stabilizátory	15
3.5 Změkčovdla	16
3.6 Prostředky snižující hořlavost.....	16
4 TERMODYNAMICKÉ VLASTNOSTI PLASTŮ	17
4.1 Termodynamické vlastnosti amorfnních plastů.....	17
4.2 Termodynamické vlastnosti semikrystalických plastů.....	19
5 TECHNOLOGIE ZPRACOVÁNÍ PLASTŮ	20
5.1 Vyfukování.....	20
5.1.1 Vstřikovací vyfukování.....	20
5.1.2 Vytlačovací vyfukování	21
5.2 Vytlačování trubek a profilů	22
5.3 Lisování	23
5.4 Válcování.....	24
6 VSTŘIKOVÁNÍ PLASTŮ.....	25
6.1 Vstřikovací cyklus	25
6.2 Popis a vliv jednotlivých časů na vstřikovací cyklus	26
6.2.1 Doba strojní	26
6.2.2 Doba vstřikování	27
6.2.3 Doba dotlaku	27
6.2.4 Doba plastikace.....	28
6.2.5 Doba chlazení	28
6.3 Faktory ovlivňující vlastnosti a kvalitu výstřiku.....	29
6.3.1 Smrštění.....	30
6.3.2 Orintace.....	31
6.3.3 Rozměrová přesnost	31
6.4 Vstřikovací stroje	32
6.4.1 Vstřikovací jednotka	32

6.4.2 Uzavírací jednotka.....	34
6.5 Formy pro vstřikování plastů	34
6.5.1 Rozdělení forem	35
6.5.2 Vtokový systém	35
6.5.3 Temperační systém.....	36
6.5.4 Odvzdušnění forem	37
7 NÁVRH ŘEŠENÍ.....	38
7.1 Volba technologie	38
7.2 Volba materiálu.....	38
8 KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍ FORMY	39
8.2 Výpočet objemu a hmotnosti výstřiku	39
8.2 Volba vtokové soustavy	40
8.3 Stanovení násobnosti vstřikovací formy a určení vstřikovacího stroje	42
8.4 Desky vstřikovací formy.....	48
8.4.1 Ocel 1.1730	48
8.4.2 Ocel 1.2343	49
8.5 Návrh temperačního systému.....	49
8.5.1 Temperační systém pevné strany formy	50
8.5.2 Temperační systém pohyblivé strany formy	50
8.6 Návrh odvzdušnění formy.....	51
8.7 Vyhazování výstřiku.....	51
9 SHRUTÍ TECHNICKÝCH DAT	52
10 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ	53
Závěr.....	56
Seznam použitých zdrojů	57
Seznam použitých zkratk a symbolů	58
Seznam výkresů	60
Seznam příloh.....	61

ÚVOD

Používání plastů prošlo různými stádii vývoje a to pro nejrůznější průmyslové výrobky. Historie plastů sahá až do roku 1862, kdy anglický vynálezce Alexander Parkes vynalezl parkesin. Jednalo se o hmotu, která měla nahradit kaučuk, ale nebyla trvanlivá. Parkesin byl prvním polysyntetickým plastem, ale nedočkal se širšího použití. Parkes přesto položil základy, na nichž stavělo i mnoho dalších vynálezců.

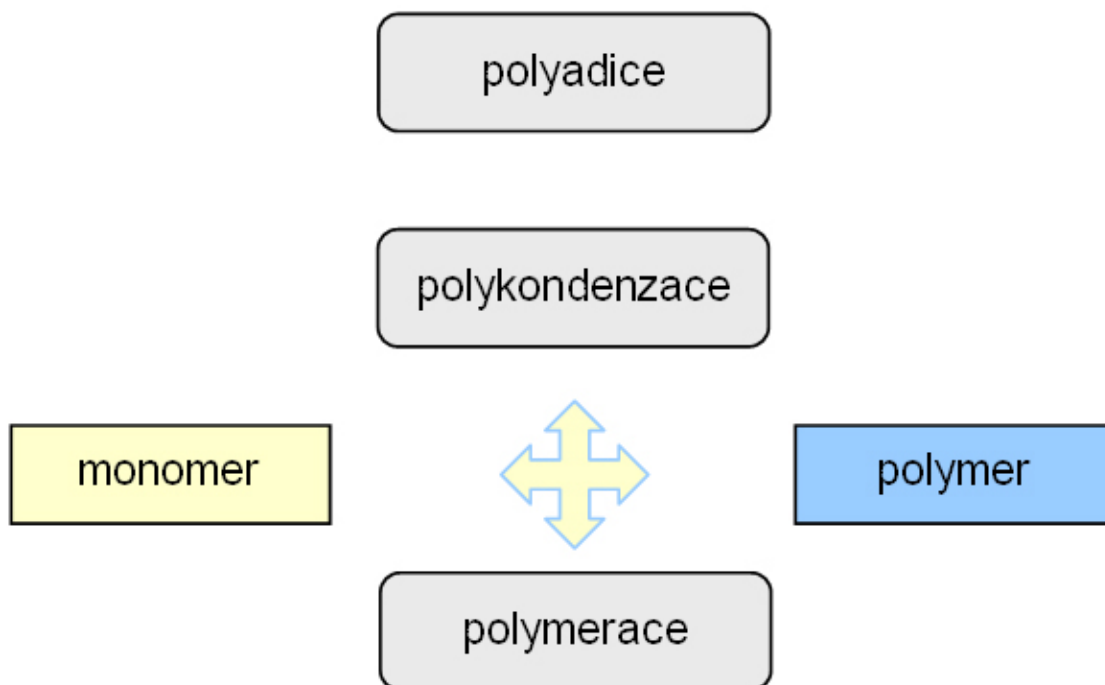
První plně syntetický plast je dílem Belgičana Leo Hendrika Baekelanda, který v roce 1889 přišel do USA a prosadil se vynálezem nového typu fotografického papíru Velox. Baekeland vybudoval v Yonkers (st. New York) laboratoř, v níž se v roce 1907 zrodil bakelit. Po první světové válce se začaly vyrábět první vinylové plasty (PVC, polystyren) a byla objevena syntéza prvního polyamidu (nylonu). V téže době také začíná prudký rozmach výzkumu i výroby většiny dalších plastů, které se používají vesměs dodnes.

Zpočátku se plasty aplikovaly na spotřební zboží, protože nároky na funkční vlastnosti nebyly velké. Měly ekonomický přínos, protože zpracování plastů tvářením bylo poměrně snadné a rychlé. Kromě toho měly výrobky z plastů nízkou hmotnost, nekorodovaly a měly estetický vzhled. Plasty mají velmi dobré elektrické a dielektrické vlastnosti, proto se začali používat i v elektrotechnice, neboť z plastů se daly vyrábět složité tvary izolačních součástí. Později se plasty začaly uplatňovat ve stavebnictví i zemědělství a to výrobou izolačních fólií, trubek, hadic apod. Nejvíce problematické odvětví bylo strojírenství.

Strojní součásti bývají často vystaveny mechanickému a tepelnému namáhání, vyžadují tedy vysoké hodnoty pevnosti. Musí splňovat dostatečnou rozměrovou a tvarovou stabilitu a také musí být relativně přesné. Kovové materiály tyto kritéria splňují, avšak plastové výrobky těmto nárokům nevyhovovaly. Jejich výhodou však byla korozivzdornost, malá hmotnost, ale především možnost výroby relativně levných výrobků v hromadné výrobě, což bylo hnacím motorem toho, že se postupem doby dostáváme k výrobním postupům a výrobkům, o nichž se nám ještě před pár lety ani nesnilo. Jedná se o vyztužené plasty, plasty s tepelnou odolností a s některými speciálními vlastnostmi. Dnes se plasty používají ve všech odvětvích výroby a v některých je díky jejich vlastnostem nelze nahradit jiným materiálem.

1 PŘÍPRAVA PLASTŮ

Synteticky připravované makromolekulární látky vznikají polyreakcí (polymerace, polykondenzace a polyadice). Jedná se o chemické reakce, které se mnohokrát opakují, takže původní nízkomolekulární sloučenina monomer přechází ve vysokomolekulární látku zvanou polymer. Platem se polymer stává až poté, co ho smísíme s nezbytnými přísadami (plniva, barviva, maziva, stabilizátory, apod.) a převedeme do formy vhodné k dalšímu technologickému zpracování, např. do formy granulí, tablet a prášků. [6]

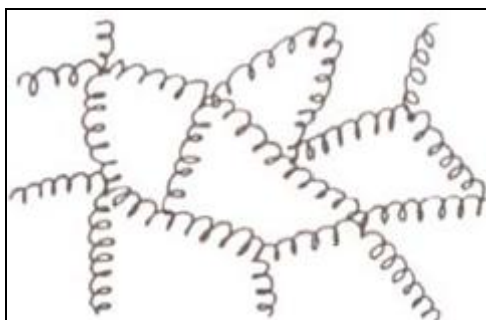


Obr. 1.1 Základní typy reakcí pro přípravu polymerů [6]

2 ROZDĚLENÍ PLASTŮ

2.1 Elastomery

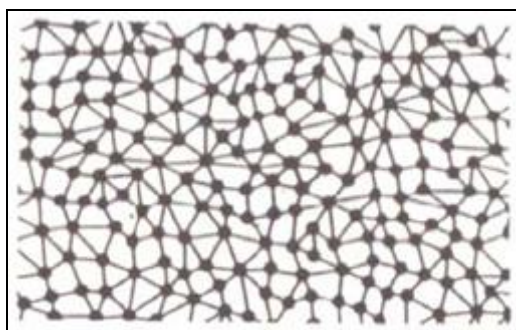
Jedná se o makromolekulární látky, schopné přecházet vulkanizací, (zahřátím na vulkanizační teplotu a působením tlaku po vulkanizační dobu), ze stavu převážně plastického do stavu elastického. Makromolekuly si lze představit jako pružiny, které po deformaci vrací elementy do původního tvaru.[6]



Obr. 2.1 Struktura elastomeru [6]

2.2 Reaktoplasty

Jedná se o polymerní materiály, dříve nazývané termosety, které nejčastěji vznikají polykondenzací nebo polyadiční reakcí, kdy dochází k prostorovému zesíťování struktury, k tzv. vytvrzování. Jedná se v podstatě o jednu velkou makromolekulu. Reaktoplast je zpravidla netavitelný, nerozpustný a nedá se tedy opakovaně zpracovávat. [6]



Obr. 2.2 Struktura reaktoplastu [6]

2.3 Termoplasty

Termoplasty patří do skupiny plastů s lineárními nebo rozvětvenými řetězci, které při zahřívání přecházejí do stavu plastického, kdy je lze snadno tvářet a zpracovávat různými technologiemi. Do tuhého stavu přejdou ochlazením pod teplotu tání T_m (semikrystalické plasty), resp. teplotu viskózního toku T_f (amorfní plasty). U termoplastů lze proces měknutí a následného tuhnutí opakovat teoreticky bez omezení, protože při zahřívání nedochází ke změnám chemické struktury. [6]

2.3.1 Amorfní plasty

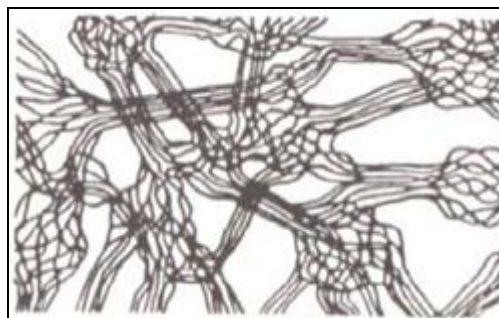
U amorfních plastů makromolekuly zauímají zcela nahodilou pozici. Patří sem např. PS, PMMA, PC, apod. Jsou charakteristické tvrdostí, křehkostí, vysokou pevností, modulem pružnosti a jsou vzhledem k nízkému indexu lomu (1,4 až 1,6) průhledné, resp. dle propustnosti světla čiré (92 % propustnosti světla), transparentní anebo průhledné (60 % propustnosti světla). Součinitel teplotní roztažnosti α je menší, než u semikrystalických polymerů. Použitelnost amorfních polymerů je do teploty zesklenní T_g . [6]



Obr. 2.3.1 Struktura amorfního termoplastu [6]

2.3.2 Semikrystalické plasty

Semikrystalické plasty vykazují určitý stupeň uspořádanosti. Ten se označuje jako stupeň krystalinity (pohybuje se od 40 do 90 %) a vyjadřuje relativní podíl uspořádaných oblastí, uložených mezi oblastmi amorfními. Nemůže nikdy dosáhnout 100 %, proto se krystalické plasty označují jako semikrystalické. Patří sem PE, PP, PA, PTFE, POM, atd. Jsou mléčně zakalené, index lomu je větší a jsou charakterizovány houževnatostí materiálu, pevnost a modul pružnosti roste se stupněm krystalinity. Použitelnost semikrystalických plastů je do teploty tání T_m . [6]



Obr. 2.3.2 Struktura semikrystalického termoplastu [6]

2.4 Plasty používané v praxi

Tab.2.4 Základní systematické rozdělení plastů dle chemického složení [6]

TERMOPLASTY			
<i>Polyolefiny</i>		<i>Akryláty</i>	
PE	polyetylén	PMMA	polymethylmetakrylát
HDPE	lineární polyetylén	MBS	methylmetakrylát – butadien - styrén
LDPE	rozvětvený polyetylén	<i>Polyamidy</i>	
UHMWPE	ultravysokomolekulární polyetylén	PA	polyamid
PP	polypropylén	<i>Polyétery</i>	
<i>Chlorované plasty</i>		POM	polyoxymetylén
PVC	polyvinylchlorid	PFO	polyfenylénoxid
<i>Styrénové plasty</i>		<i>Polyestery</i>	
PS	polystyrén	PET	polyetyléntereftalát
PS-GP	standardní polystyrén	PBT	polybytléntereftalát
PS-HI	houževnatý polystyrén	PC	polykarbonát
PS-E	pěnový polystyrén	<i>Vinylové plasty</i>	
SB	styrén – butadien	PVAC	polyvinylacetát
ABS	akrylonitril – butadien – styren	<i>Ketony, sulfidy, sulfony a imidy</i>	
SAN	styrén – akrylonitril	PEEK	polyéterétherketon
ASA	akrylonitril – styren – akrylát	PPS	polyfenylénsulfid
<i>Fluoroplasty</i>		PSU	polysulfon
PTFE	polytetrafluóretylén	PES	polyéthersulfon
ETFE	etylén - tetrafluóretylén	PI	polyimid
REAKTOPLASTY			
<i>Fenoplasty</i>		<i>Epoxidy</i>	
PF	fenolformaldehydová pryskyřice	EP	epoxidová pryskyřice
<i>Aminoplasty</i>		<i>Polyesterové pryskyřice</i>	
UF	močovinoformaldehydová pryskyřice	PESL	polyesterové skelné lamináty
MF	melaminové pryskyřice		

3 VLIV PŘÍŠAD V PLASTECH

3.1 Plniva

3.1.1 Prášková plniva

Prášková plniva mění fyzikální vlastnosti, zvyšují tuhost, ale snižují tažnost, rázovou a vrubovou houževnatost a mez únavy. Mezi prášková plniva patří břidličná a křemičitá moučka, která zvyšují tepelnou vodivost a snižují teplotní roztažnost. Plniva jako jsou grafit a sirník molybdeničitý snižují koeficient tření. Mezi prášková plniva se řadí i skleněné mikrokuličky, které snižují teplotní roztažnost, kríp, navlhavost a zvyšují tvarovou stálost za tepla. Skleněné mikrokuličky zhoršují dielektrické vlastnosti, avšak nezpůsobují orientaci a smrštění, takže lze dosáhnout vyšší rozměrové přesnosti a tvarové stability. [12]

3.1.2 Vlákenná plniva

Vlákenná plniva vyztužují hmotu a podstatně zvyšují její pevnost a modul pružnosti. Jedná se o stříhaná vlákna, textilní ústřížky nebo bavlněné tkaniny, ale zejména se v dnešní době používají skleněná vlákna. Skleněná vlákna zvyšují tuhost, pevnost a tvarovou stálost za tepla. Zmenšují kríp a teplotní roztažnost a u navlhavých plastů snižují sorpci vody, čímž celkem zvyšují rozměrovou přesnost a tvarovou stabilitu. Skleněná vlákna značně zhoršují dielektrické vlastnosti, snižují tažnost, rázovou a vrubovou houževnatost a také snižují schopnost tlumení rázů a vibrací. [12]

3.2 Maziva

Maziva jsou přísady, které slouží ke snížení vnitřního a vnějšího tření v plastické tavenině. Jsou tedy rozděleny na vnitřní a vnější maziva. Funkcí vnitřního maziva je umožnit, aby řetězce molekul mohly po sobě lépe klouzat. To také snižuje tavnou viskozitu a tím ovlivňuje i zpracovatelské vlastnosti plastů. Jako vnitřní maziva se používají např. nízkomolekulární glycerin ester nebo kovová mýdla. Vnější maziva nemají velkou slučitelnost s plasty. Vypotí se při vysoké teplotě zpracování a vytvoří mazací film mezi taveninou a povrchem formy, což ulehčuje plnění formy a odformování výrobku. Jako vnější maziva jsou většinou používány vosky vyšší mastné kyseliny. [11]

3.3 Barvicí přísady

Barvicí přísady jsou rozpustné, či nerozpustné barvicí substance, které dodávají plasty barevný vzhled. V barevných plastech se vyskytují v množství 0,5 až 4 % a rozdělují se na barviva a pigmenty. Barviva jsou barevné látky, které jsou rozpustné, přičemž pigmenty jsou nerozpustné. Pigmenty se rozdělují na organické a anorganické. Anorganické pigmenty mají velké pokrytí a jsou velmi odolné proti světlu a teple. [12]

Tab.3.3 Příklady anorganických pigmentů [12]

bílý:	titanová běloba, zinková běloba
žlutý:	chromová žluť, niklotitanová žluť
červený:	molybdenová červeně, červený oxid železa
modrý:	ultramarinová modř, kobaltová modř, manganová fialová
zelený:	chromová zeleň, tyrkysová zeleň
hnědý:	hnědý oxid železa
černý:	saze, černý oxid železa

3.4 Stabilizátory

Jsou to přísady, které chrání plasty proti vlivům, jako je teplo, světelné paprsky s vysokou energií (ultrafialové), atmosférický kyslík a vlhkost. Tyto vlivy ohrožují polymerní materiály tak, že dochází k rozkládání uvnitř řetězců, což má za následek zhoršování mechanických vlastností. [12]

Tab.3.4 Nejdůležitější skupina stabilizátorů [12]

Saze
Kovové mýdlo
Směs organických látek a cínu
Směs organických látek a dusíku
Organofosfát
Epoxidové směsi
Antioxydanty
Absorbenty ultrafialového záření

3.5 Změkčovadla

Změkčovadla jsou přísady, které se používají pro zvýšení poddajnosti, zpracovatelnosti či tažnosti plastů. V převážné většině se změkčovadla používají jako přísada do PVC (85 - 90 %), ale setkáme se s nimi i v polyvinylacetátu, acetátu celulózy, kaučucích, akrylových materiálech, atd. Nejběžnějšími zástupci změkčovadel jsou ftaláty, trimellitáty, polymery nebo alifatické estery (adipáty). [4]

3.6 Prostředky snižující hořlavost

Termoplastický polymer je hmota, která se v současné době, nejvíce získává z ropných produktů. Stejně jako ropné produkty i polymery jsou schopny hořet. Tato negativní vlastnost použití termoplastických polymerů pro některé aplikace limituje, až zcela znemožňuje. Prostředky, které výrazně snižují, až zamezují polymerům schopnost samostatně hořet bez podpory zdroje plamene, se nazývají **retardéry hoření**. Mezi velmi účinné retardéry hoření patří zejména halogenové, ale jejich používání je v dnešní době omezeno nebo zcela zakázáno národními předpisy a zejména Direktivou EU 2005/618/EC, známou jako RoHS Direktiva (Restriction of Hazardous Substances). Bezhalogenové retardéry hoření jsou většinou anorganické sloučeniny, které nemají takový účinek a je třeba je obvykle dávkovat ve vysokých koncentracích. Nevýhodou je potom negativní ovlivnění pevnostních vlastností konečných výrobků. [5]

Tab.3.6 Základní typy retardéru hoření [5]

PRODUKT	POPIS	AKTIVNÍ SLOŽKA	DÁVKOVÁNÍ *)	MAX. TEPLOTA
HP 72521 FR	Univerzálně použitelný retardér s vysokou termostabilitou k retardační úpravě folií a profilů.	brómovaný retardér, neobsahující dekabromdifenyloxid, se synergickým účinkem	LDPE Folie, DIN 4102: ~ 5-6% pro B2 ~ 15% pro B1	~ 280°C
HP 73940 FR	Retardér pro folie, profily a pěny z LDPE.	chlorovaný retardér se synergickým účinkem	LDPE Folie, DIN 4102: ~ 6% pro B2 ~ 15% pro B1	~ 220°C
HP 78900 FR	Retardér pro HDPE a PP vstříkované výrobky a profily.	brómovaný retardér se synergickým účinkem	PP vstříkované díly, V2 dle UL94: ~ 4% B1 dle DIN 4102: 4-6%	~ 240°C
PS 78320/50 FR	Retardér pro přírodně zbarvené nebo vybarvené PS- a HIPS-aplikace	brómovaný retardér, speciálně teplotně stabilizovaný se synergickým účinkem	HIPS vstříkované díly, V2 dle UL94: 7-10% GPPS pěny: B1 dle DIN 4102: 4-5%	220°C
PP 7A4070 FR	Retardér zejména pro PP vstříkované výrobky a profily.	bezhalogenový retardér na bázi fosforu se synergickým účinkem halogenové anorganické sloučeniny	PPcoco tlustostěnné výrobky, V2 dle UL94: 5-6% B1 dle DIN 4102: 5-6% pro PP homo méně	~ 280°C
UNS 76200 FR	Univerzálně použitelný retardér s vysokou termostabilitou	brómovaný retardér, neobsahující dekabromdifenyloxid, se synergickým účinkem	Technické polymery; V0 dle UL94: až 25%	~ 280°C
PPSYSM..... UVFR	retardační systém kompatibilní se stabilizátory světla	nová generace retardéru v kombinaci s UV stabilizátorem; systém „3 v 1“	stadiónová sedadla, venkovní aplikace B1 dle DIN 4102	

4 TERMODYNAMICKÉ VLASTNOSTI PLASTŮ

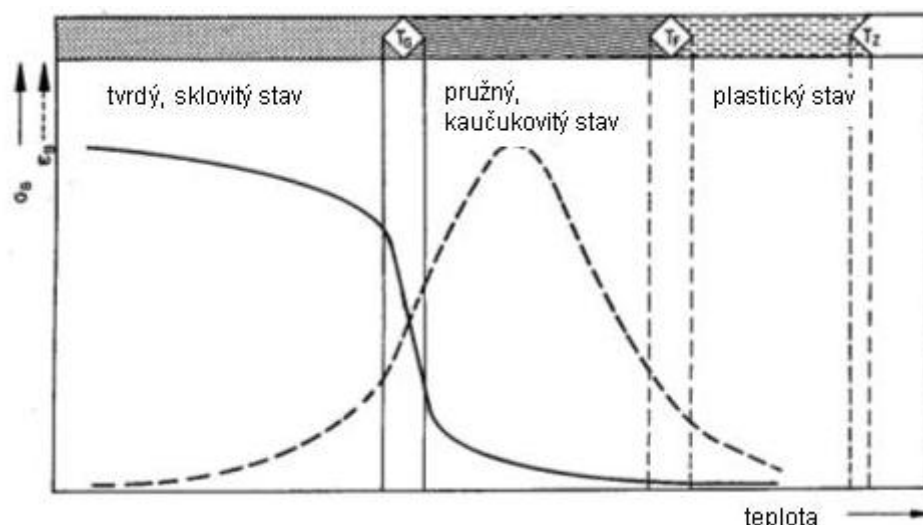
Vlastnosti polymerů jsou závislé především na teplotě a v určité oblasti teplot probíhají tyto změny rychleji anebo se mění skokově. Jedná se o oblasti, které jsou nazývány jako přechodové a v těchto oblastech existují přechodové teploty: Teplota zesklenní T_g (teplota skelného přechodu), teplota viskózního toku T_f (amorfní plasty), teplota tání T_m (semikrystalické plasty). [6]

Tab.4 Přechodové teploty pro vybrané druhy plastů [6]

druh plastu		T_g [°C]	T_m [°C]
semikrystalické plasty	LDPE	-120	110
	HDPE	-120	130
	POM	-50	175
	PP	-15	170
	PA 6	50	223
	PA 6.6	50	260
	PTFE	126	327
	PEEK	143	334
	PI	> 400	-
amorfní plasty	PVC	87	-
	PS	95	-
	ASA	100	-
	SAN	105	-
	ABS	105	-
	PMMA	110	-
	PC	150	-
	PSU	190	-

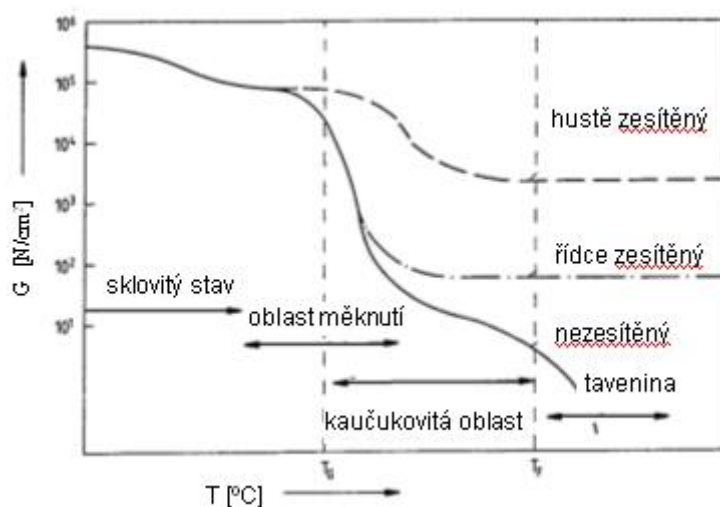
4.1 Termodynamické vlastnosti amorfních plastů

U amorfních plastů se hodnota meze pevnosti v tahu (a také modulu pružnosti) v přechodové oblasti v okolí teploty zesklenní T_g mění skokově, modul pružnosti asi o tři řády a koeficient teplotní roztažnosti o 100 %. Konkrétní hodnota je závislá na velikosti mezimolekulárních sil (čím budou tyto síly větší, tím bude vyšší i teplota zesklenní) a ohebnosti řetězců (čím bude ohebnost větší a mezimolekulární síly menší, tím bude nižší teplota zesklenní). Teplotu zesklenní je možno ovlivnit např. přidávkou změkčovadel, které sníží mezimolekulární soudržnost a tím i teplotu zesklenní. Je tedy zřejmé, že nejnižší hodnotu teploty zesklenní vykazují kaučuky, neboť mají malé mezimolekulární síly a značně ohebné řetězce. [6]



Obr. 4.1.1 Průběh deformačních vlastností u amorfního plastu [6]

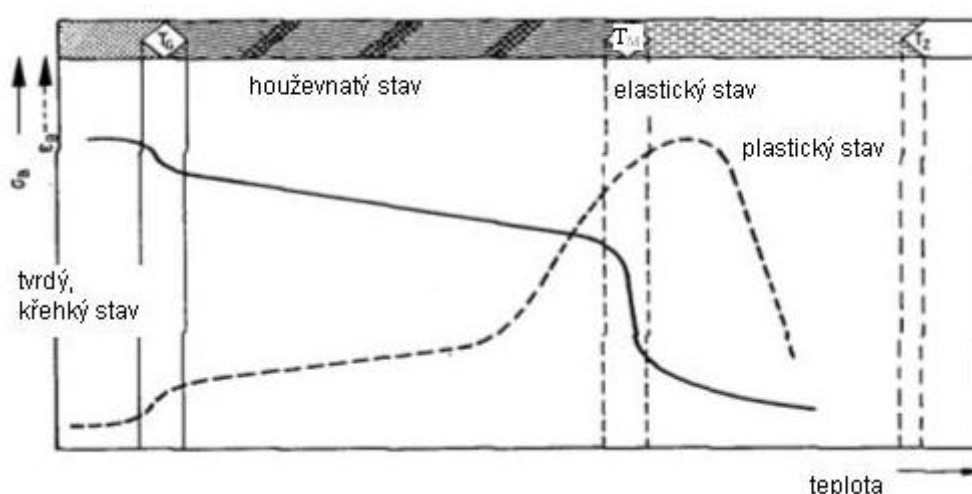
Při teplotě viskózního toku T_f narůstá intenzita změn vlastností polymeru. Při této teplotě ztrácí hmota své kaučukovité vlastnosti a mění se ve vysoce viskózní kapalinu. Nad touto teplotou leží oblast zpracovatelnosti materiálu. Zvýšením teploty klesají mezimolekulární síly a tím se snižuje i viskozita taveniny. Při dalším zvyšování teploty začne probíhat tepelná degradace polymeru (teplota T_d). Zesíťované amorfní polymery se ve srovnání s lineárními chovají odlišně. Tuhá síť chemických vazeb vylučuje přesuny makromolekul jako celku a proto lze u těchto materiálů nalézt při vysokých teplotách jen určitou kaučukovitou oblast s relativně vysokým modulem pružnosti, jehož hodnota pak zůstává konstantní až do teploty rozkladu. [6]



Obr. 4.1.2 Vliv struktury na modul pružnosti ve smyku [6]

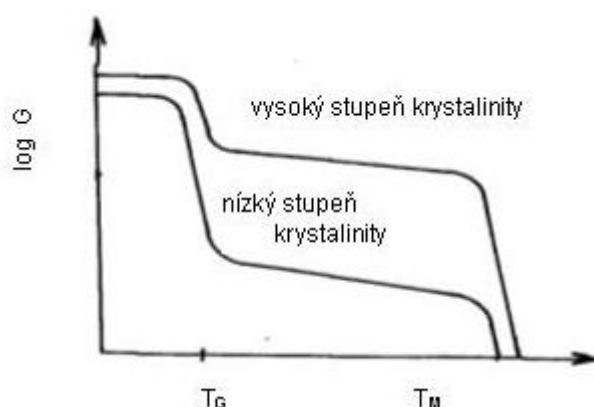
4.2 Termodynamické vlastnosti semikrystalických plastů

U semikrystalických polymerů dochází k nejrychlejším změnám vlastností v oblasti teploty tání T_m . Při teplotě tání dochází k rozpadu a tání krystalitů, což je provázáno změnou fáze hmoty, která přechází ze stavu tuhého do stavu kapalného. Je tedy patrné, že tání se děje v určitém teplotním intervalu a teplota tání představuje pouze střední hodnotu této oblasti, podobně jako teplota zesklňování. Konkrétní hodnota závisí na velikosti mezimolekulárních sil a na velikosti makromolekul. Zvětšení obou veličin má za následek zvýšení teploty tání. [6]



Obr. 4.2.1 Průběh deformačních vlastností u semikrystalického plastu [6]

Protože i semikrystalické polymery obsahují určité množství amorfních podílů, lze u nich stanovit teplotu zesklňování, která charakterizuje výrazné změny vlastností polymeru. Tyto změny se ovšem dotýkají pouze amorfní složky hmoty, takže čím bude polymer vykazovat vyšší stupeň krystalinity (vyšší uspořádanost), tím jsou změny při teplotě zesklňování méně patrné. [6]



Obr. 4.2.2 Vliv stupně krystalinity na modul pružnosti ve smyku [6]

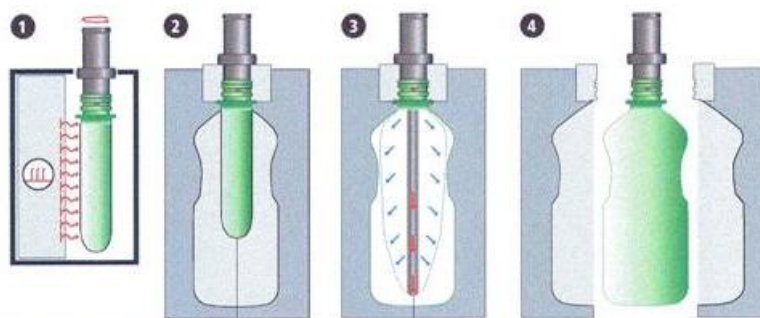
5 TECHNOLOGIE ZPRACOVÁNÍ PLASTŮ

5.1 Vyfukování

Vyfukování plastů je technologie, při které je polotovar (předlisek) tvarován ve vyfukovací formě přetlakem vzduchu do tvaru uzavřeného tělesa. Materiál se musí zahřát do plastického stavu, kdy hmota vykazuje potřebnou tvarovatelnost, ale přitom si ještě udržuje dostatečnou soudržnost. Vyfukováním se zpracovávají hlavně PE a PP (asi 75% produkce), PVC a jeho kopolymery a v poslední době PET. V malé míře jsou zastoupeny další termoplasty, jako např. POM, PC, kopolymery PS a jiné. [6]

5.1.1 Vstříkovací vyfukování

Používá se k výrobě dutých těles menších rozměrů a s velmi členitým tvarem. Při vstříkovacím vyfukování je postup takový, že se ve vstříkovací formě nastříkne tavenina plastu na speciálně upravený trn (obvykle ocel). Tím je vytvořen polotovar (předlisek) a to včetně dna a kompletního hrdla, např. se závitů budoucí láhve. V další fázi se předlisek ohřeje do plastického stavu, ale bez ohřevu hrdla se závitem. Následně se předlisek přesune do vyfukovací formy, kde se vyfoukne na požadovaný tvar, ochladí se a dojde k vyhození konečného výrobku. [6]

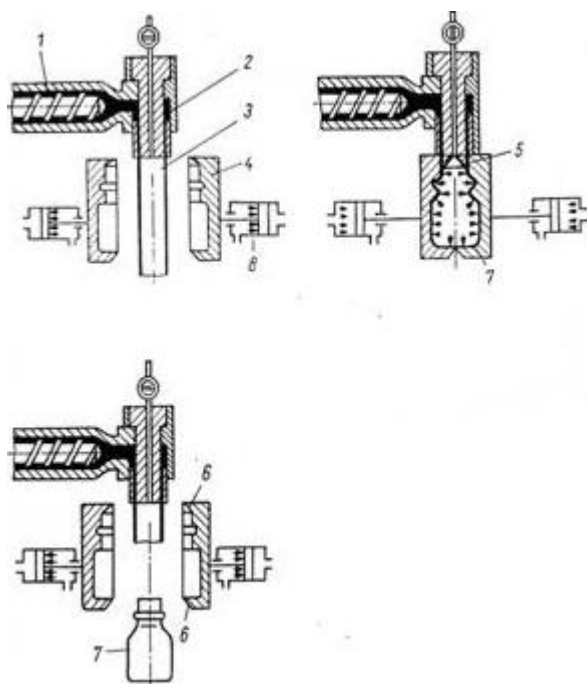


1 – ohřev tvarové části předlisku, 2 – přesun do vyfukovací formy, 3 – vyfukování, 4 – chlazení, vyhození

Obr. 5.1.1 Princip vstříkovacího vyfukování [6]

5.1.2 Vytlačovací vyfukování

Jedná se o nejrozšířenější výrobu dutých těles. Na vytlačovacím stroji s příčnou nebo příčnou vytlačovací hlavou se vytlačí polotovar (parizon). Parizon je trubka, která je schopná plastického přetvoření a odstřihne se v okamžiku, jakmile dosáhne požadované délky. Střížné nůžky jej podrží do okamžiku, dokud nepřijede vyfukovací forma, kde je nasazen na trn. Zavřením formy dojde k vyfukování hrdla a ke svaření dna. Následně se přivede stlačený vzduch a dojde k vyfouknutí. Tlak vzduchu při vyfukování bývá v rozmezí 0,4 až 1 MPa a stlačený vzduch musí působit na vyfouknutý parizon po celou dobu chlazení, aby nedošlo k deformacím. Teplota formy se udržuje mezi 30 až 60 °C. Po ochlazení a ztuhnutí se z výrobku odstraní přetoky od svarových ploch. Nevýhodou vytlačovacího vyfukování je malá přesnost výrobků, poměrně velký odpad a vznik svaru. Výhodou je ekonomie provozu a možnost vyrábět výrobky s většími objemy. [6]

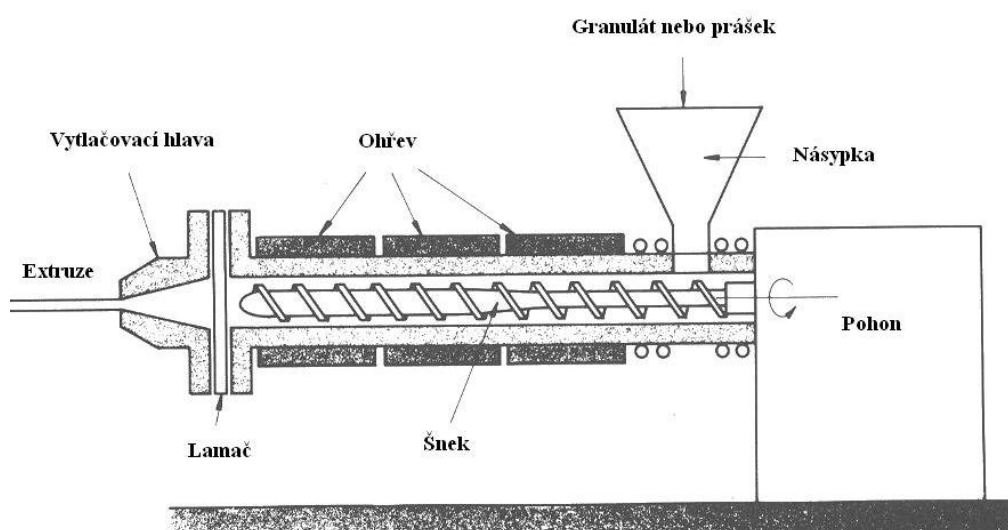


- 1 – vytlačovací stroj
- 2 – příčná hlava
- 3 – parizon
- 4 – vyfukovací forma
- 5 – vzduch
- 6 – svařovací hrany
- 7 – výrobek
- 8 – uzavírací mechanismus

Obr. 5.1.2 Princip vytlačovacího vyfukování [6]

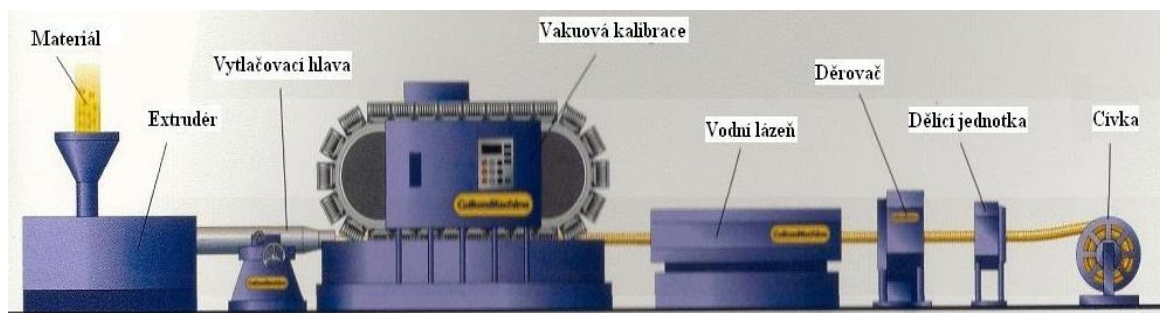
5.2 Vytlačování trubek a profilů

Vytlačování trubek a profilů je technologická operace, při které je tavenina plastu vytlačována přes profilovací zařízení (vytlačovací hlavu) do volného prostoru. Tato technologie využívá hlavně šnekové vytlačovací stroje, které však nepracují samostatně. Jsou součástí výrobních linek, kde ostatní stroje a zařízení zajišťují odtah, kalibraci, měření, doplňkovou úpravu tvaru nebo povrchu, apod. K výrobě trubek se obvykle používají materiály jako je PVC, HDPE a LDPE, méně PP a PA. Profily se vyrábějí z PVC, PS a jejich kopolymerů, PMMA, PC, POM, apod. [6]



Obr. 5.2.1 Šnekový vytlačovací stroj [6]

Účelem kalibračního zařízení je ochladit vytlačovaný profil nebo trubku tak, aby získal požadovaný stabilní tvar a rozměr. Kalibrační zařízení pro výrobu trubek a profilů je buď přetlakové, podtlakové nebo průvlakové. Kalibrační zařízení obvykle doplňuje chladicí zařízení, kde se výrobek dochlazuje na takovou teplotu, aby nedocházelo k deformacím v dalších zařízeních vytlačovací linky. Chlazení se provádí buď sprchováním jako v kalibrační komoře, nebo ponorem ve vodě. Rychlost posuvu vytlačovaného profilu se nastavuje a reguluje odtahovacím zařízením, které k odtahování používá řetězy, kotouče, pásy nebo článkové pásy (každý článek je opatřen vrstvou pryže). Dělicí zařízení bývá řešeno buď pomocí kotoučové pily, nebo sekáním tvarovaným nožem. Pokud nedochází k dělení výrobků na konečnou délku, tak např. u pružných výrobků, u kterých nedochází při ohnutí k trvalé deformaci, následuje navíjení na bubny nebo kotouče. Průměr navíjení by měl být 20krát větší, než průměr trubky. Dělicí zařízení je ovládáno měřicím zařízením a to délkoměrem (mechanický a elektrický). Do linky se podle typu výrobku zařazují i ústrojí na tvarování (hrdlování trubek), vysekávání, apod. [6]

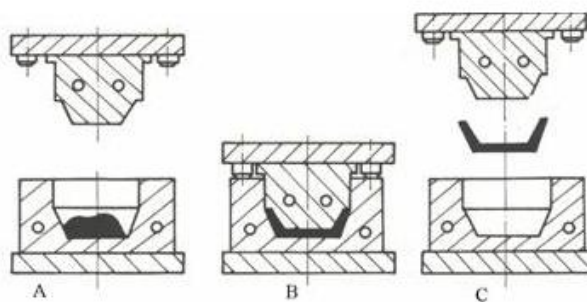


Obr. 5.2.2 Linka na vytlačování trubek [6]

5.3 Lisování

Lisování je způsob tváření plastů ve vytápěné formě, kdy se na materiál působí tlakem, pro dosažení požadovaného tvaru. Používá se především pro lisování reaktoplastů. Formy se vyrábí ze speciálních chromových ocelí a jsou vytápěny elektrickým odporovým topením na teplotu lisování. Teploty lisování jsou v intervalu od 130 do 190°C, přičemž závisí na druhu plastu, tloušťce stěny, geometrii výrobku a teplotě předehřevu. Důležitá je rovnoměrnost teploty formy a stejné parametry na straně tvárníku i tvárnice. Lisování se dělí podle tlaku na nízkotlaké lisování (do 3,5 MPa) a vysokotlaké (10 až 60 MPa). Lisovací tlak má vliv na kvalitu povrchu výlisku a na smrštění. Často se používá i předehřev plastu, jehož největší výhodou je výrazné zkrácení doby vytvrzování, zvýšení zabíhavosti plastů, snížení lisovacího tlaku až o polovinu a rovnoměrné vytvrzení. Teplota předehřevu musí být nižší, než je kritická teplota vytvrzování (závisí na druhu plastu), jinak dojde k předčasnému vytvrzení hmoty. Objem dávkované hmoty musí být vždy větší, než je objem výrobku, aby byl zajištěn 100 % objem výrobku. Přebytečná hmota je potom na výrobku ve formě tzv. přetoků. [1]

Postup při lisování je takový, že se dutina nástroje naplní materiálem (prášek, tablety, apod.) o přesném stanoveném objemu. V důsledku styku plastu s vyhřívanou formou dochází k plastikaci a tlakem tvárníku se jednak dokončí plastikace a jednak dojde k zaplnění tvarové dutiny formy. Následuje odlehčení (snížení lisovacího tlaku a pootevření formy), které je důležité z hlediska odplynění taveniny plastu a dokončení lisování. Odplynění (odvzdušnění) je nutné provést ve správném okamžiku, kdy je hmota dostatečně plastická a vytvrzení ještě není příliš výrazné. Někdy se i opakuje, zvláště u hmot s velkým podílem těkavých látek. V důsledku dodávaného tepla, proběhne v materiálu vytvrzování. Tato část se nazývá doba vytvrzování, kdy dochází k vytvrzovací reakci (vytvoření zesíťované struktury). Po vytvrzení se forma otevře, výlisek se vyhodí, forma očistí a následně se natře separačním prostředkem a cyklus se opakuje. [6]

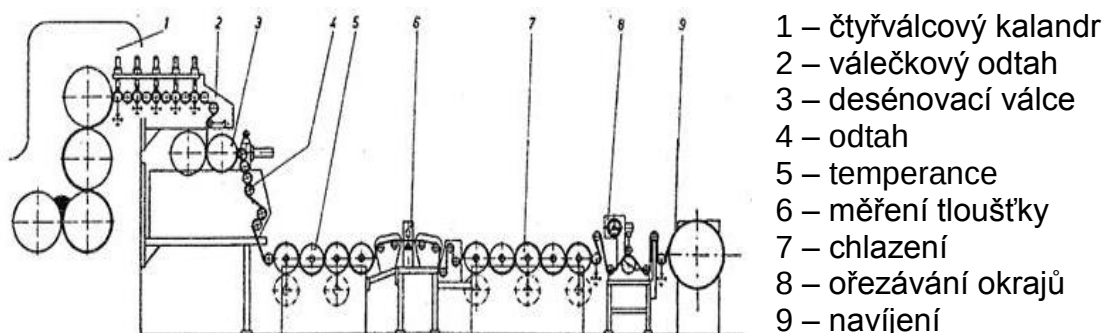


A – vložení reaktoplastu do dutiny formy, B – lisování a vytvrzování, C – vyhození výtisku

Obr. 5.3 Princip lisování [6]

5.4 Válcování

Válcování je technologický proces, který se používá převážně k výrobě fólií a podlahovin. Zpracovávají se hlavně materiály jako je PVC a jeho kopolymery, HDPE, LDPE, apod. Intenzitu válcování ovlivňuje mezera mezi válci a rozdíl obvodových rychlostí válců. Každým dalším průchodem materiálu mezi dvojicí válců se zlepšuje kvalita prohnětení a kvalita povrchu. Postup výroby je patrný z obrázku (obr. 5.4). Plast (PVC), který se připraví mícháním, se ohřeje na teplotu kolem 170°C v hnětacím nebo vytlačovacím stroji. Zplastikovaná směs se dále přivádí na dvouválec, kde se promíchává vlivem nestejných obvodových rychlostí válců, které jsou vytápěné. Odtud hmota odchází na válcovací linku. Průchodem materiálu mezi válci vznikají v mezeře síly, které způsobují prohnutí válců (setiny až desetiny mm). Výrobek je pak uprostřed tlustší, než na okrajích, což s sebou nese problémy při dalším zpracování. Pro odstranění prohnutí válců se používá klenutí válců (broušení povrchu válců), křížení os válců a protiprohnutí válců. [6]



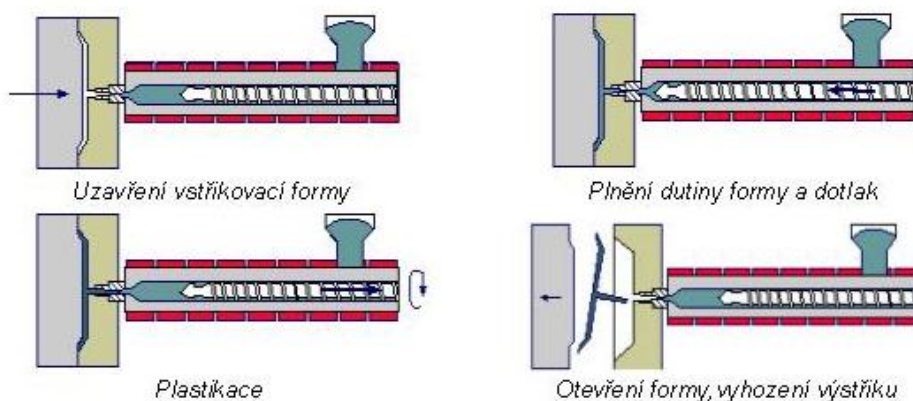
Obr. 5.4 Linka pro válcování fólií z měkčeného PVC [6]

6 VSTŘIKOVÁNÍ PLASTŮ

Vstřikování plastů je nejrozšířenější technologie pro zpracování plastů, kterou lze zpracovávat téměř všechny druhy termoplastů a v omezené míře i reaktoplastů a elastomerů. Jedná se o způsob tváření, při kterém se přesná dávka roztavené hmoty vstříkne velkou rychlostí z tlakové komory stroje do dutiny formy, kde hmota zchladne a ztuhne na finální výrobek. [10]

6.1 Vstřikovací cyklus

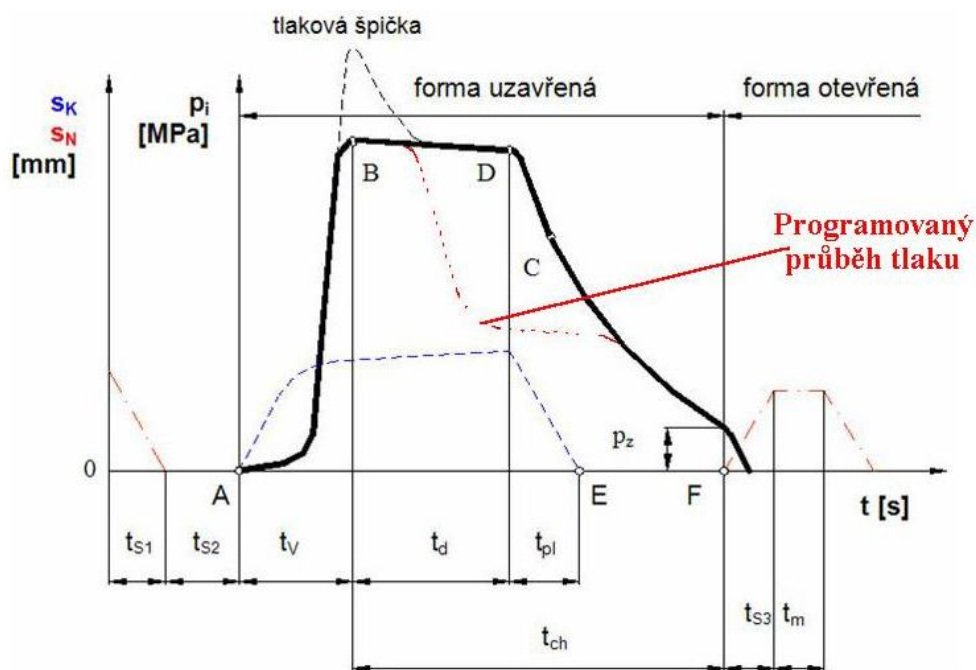
Vstřikovací cyklus tvoří sled přesně specifikovaných úkonů. Nejprve je plast v podobě granulí nasypán do násypky, z níž je odebírán pracovní částí vstřikovacího stroje (šnekem), která hmotu dopravuje do tavící komory. Zde plast za současného účinku tření a topení taje a vzniká tavenina, která je následně vstřikována do dutiny formy. Tavenina zaplní a zaujme tvar formy a následuje tlaková fáze pro snížení smrštění a rozměrových změn. Dále probíhá ochlazování a to tak, že plast předává formě teplo a až ztuhne ve finální výrobek, tak dojde k otevření formy a výrobek je vyhozen. [6]



Obr. 6.1 Vstřikovací cyklus [6]

6.2 Popis a vliv jednotlivých časů na vstřikovací cyklus

Vstřikovací cyklus můžeme posuzovat i z hlediska zpracovávaného plastu a s výhodou jej vyjádřit jako závislost tlaku v dutině formy na čase. Tento tlak se nazývá vnitřní tlak (p_i). Kromě vnitřního tlaku existuje i vnější tlak (p), kterým se myslí tlak vztažený na jednotku plochy průřezu šneku. [6]



Obr. 6.2 Průběh vnitřního tlaku (p_i) v dutině formy během procesu vstřikování [6]

6.2.1 Doba strojní

Jedná se o dobu na zavření formy (t_{s1}), otevření formy (t_{s3}) a dobu přísunu plastikační jednotky (t_{s2}). Doba otevření a zavření formy závisí na rychlosti pohybující se formy a na dráze, kterou musí forma urazit. Dráha otevření formy musí být tak velká, aby bylo možné vyjmout výrobek z formy, případně aby bylo dost prostoru pro činnost manipulátoru ve formě. U moderních strojů lze tyto časy snížit na minimum a to tak, že při zavírání se forma pohybuje velkou rychlostí, avšak těsně před dosednutím formy se rychlost sníží, aby na sebe obě formy měkce dosedly a nedošlo k poškození nárazem. [6]

6.2.2 Doba vstřikování

Doba vstřikování je doba plnění tvarové dutiny formy (t_v) a odvíjí se od vstřikovací rychlosti, tj. rychlost pohybu šneku vpřed, která závisí zejména na teplotě taveniny a na vstřikovacím tlaku. Vliv má také druh plastu, objem výstřiku, jeho geometrický tvar, teplota formy a také řešení vtokové soustavy. V prvním časovém úseku se volí rychlost větší a tvarová dutina se plní objemově (prakticky bez odporu). Rychlost plnění se postupně zmenšuje, neboť materiál přebírá tvar dutiny a jeho tlak stoupá až do stanovené mezní hodnoty (obvykle 50 až 120 MPa). Doba plnění musí být co nejkratší, protože vstřikovaná tavenina se stykem s formou ochlazuje a ztrácí tekutost. Mohlo by tedy dojít ke strhávání již ztuhlého polymeru ze stěny formy do proudícího jádra a také by nedošlo k zaplnění celé dutiny formy a vznikl by nedostříknutý zmetek. Rychlost plnění je ovšem limitována a to hodnotou smykového napětí povrchových vrstev ($\tau = \eta \cdot \gamma$). Při překročení mezní hodnoty tohoto napětí, se u výstřiku objevují povrchové defekty (tokové čáry, spáleniny, studené spoje, vrásnění, apod.). V posledním časovém úseku fáze plnění, kdy již dochází k přepnutí vstřikovacího tlaku na dotlak, je nutné vstřikovací rychlost snížit tak, aby tlaková křivka byla plynulá a ve formě nevznikla tlaková špička způsobující vnitřní pnutí. Plnicí fáze probíhá z časového hlediska velmi rychle, řádově v desetinách sekundy a u výstřiků s větší hmotností pár sekund.

6.2.3 Doba dotlaku

Klíčovým momentem procesu vstřikování je okamžik přepnutí vstřikovacího tlaku na dotlak. Standardně se přepnutí řídí časově, objemově nebo tlakem v dutině formy. Dotlak má být udržován tak dlouho, dokud vtoková soustava neztuhne. Dobu dotlaku (t_d) lze určit vážením výstřiků, při jejím postupném zvyšování. Když se hmotnost výstřiku nemění, tak bylo dosaženo bodu ztuhnutí taveniny a tím i hodnoty doby dotlaku. V praxi se hodnota dotlaku obvykle nastavuje na úrovni 40 až 60% vstřikovacího tlaku a v ojedinělých případech může být i vyšší. Vysoká hodnota dotlaku však zvyšuje energetickou náročnost výrobního procesu, opotřebení formy a zvyšuje i vnitřní pnutí výstřiku. Z tohoto důvodu existuje pro daný tvar výstřiku a zpracovávaný materiál tzv. kritické číslo dotlaku, které odpovídá maximální přípustné úrovni vnitřního pnutí. V průběhu doby dotlaku je do formy dodáváno ještě asi 10% materiálu k vyrovnání objemového smrštění během fáze chlazení. Dotlaková fáze tedy ovlivňuje především hmotnost výstřiku, jeho rozměry, homogenitu a smrštění.

6.2.4 Doba plastikace

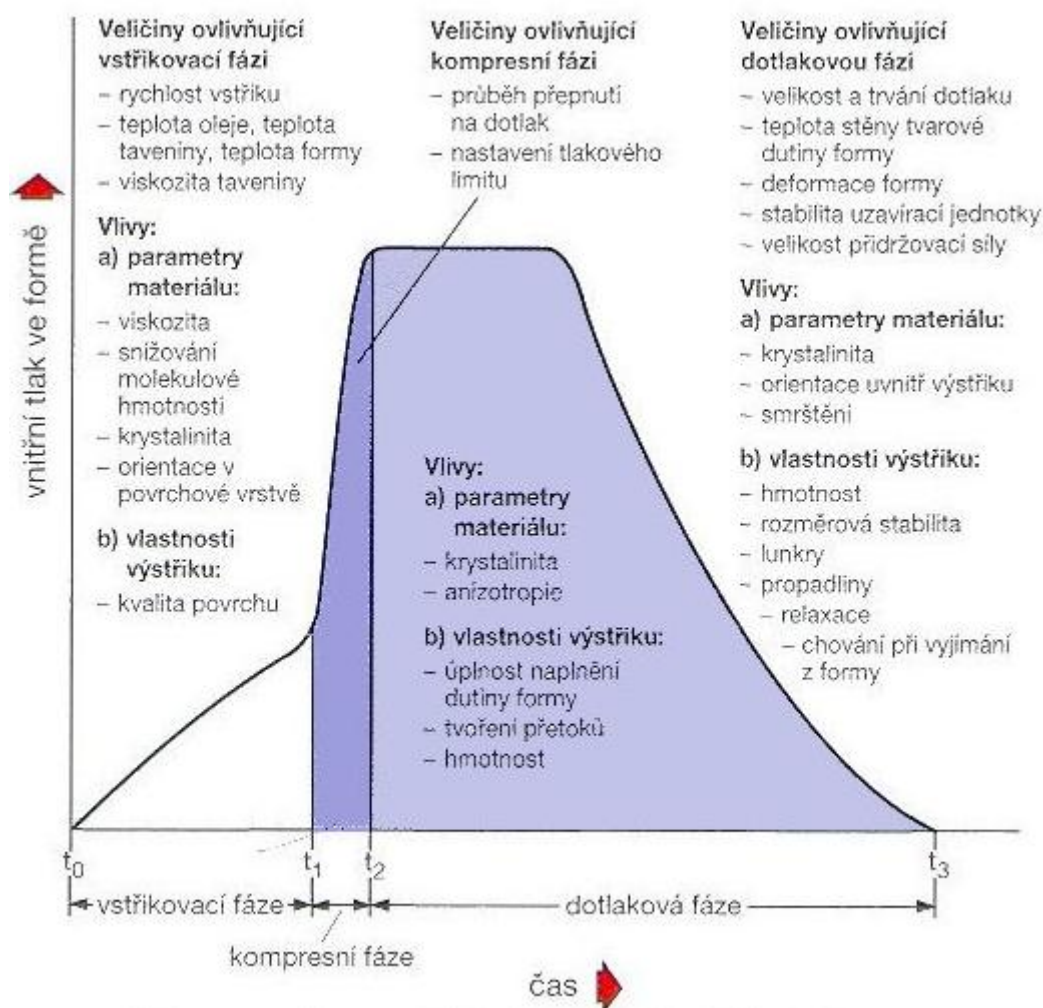
Doba plastikace (t_{pl}) je čas, který je potřebný k tomu, aby došlo k zplastikování dávky plastu a k jejímu rovnoměrnému zhomogenizování a umístění dávky před čelo šneku. Při tomto procesu se šnek posunuje směrem vzad, snižuje se účinná délka šneku a tím i tlak. Z tohoto důvodu se pro rovnoměrnou homogenizaci zavádí zpětný tlak (protitlak), který se obvykle volí 100 ± 50 bar (dle materiálu). Změna protitlaku, případně otáček šneku, ovlivňuje viskozitu taveniny. Otáčky šneku se mají volit tak, aby se obvodová rychlost šneku pohybovala kolem hodnot 0,05 až 0,2 m/s a neměla by překročit hodnotu 0,3 m/s, neboť by mohlo dojít k problémům při zpracování. Na správnou plastikaci má vliv i chlazení plnicí zóny plastikačního válce, kdy se využívá čtyř teplotních profilů, tj. horizontální (teplota je ve všech topných zónách stejná), stoupající, klesající a kombinovaný (stoupající a klesající).

6.2.5 Doba chlazení

Doba chlazení (t_{ch}) představuje nejdelší část cyklu a pohybuje se od několika málo sekund u tenkostěnných výstřiků do několika minut u tlustostěnných výstřiků. Závisí především na tloušťce výstřiku a jeho hmotnosti, druhu plastu, teplotě výstřiku, teplotě formy a také na teplotě výstřiku v okamžiku vyjímání z formy. Ochlazování výstřiku ve formě začíná už po objemovém naplnění tvarové dutiny formy a pokračuje během dotlaku. Během pokračujícího chlazení klesá tlak ve formě a to až na hodnotu zbytkového tlaku (p_z), což je tlak, kdy se výstřik nachází ve formě těsně před jejím otevřením. Tento tlak nesmí být příliš vysoký, jinak dochází ve výstřicích k vysokému vnitřnímu pnutí, což má za následek praskání výstřiků. Zbytkový tlak lze snížit zkrácením doby dotlaku, nebo programovaným průběhem tlaku během dotlaku. Po zchladnutí výstřiku na požadovanou teplotu dojde k vyhození výstřiku a to i s vtokovým zbytkem. Fáze chlazení neovlivňuje jen orientaci, smrštění, krystalizaci a vnitřní pnutí, ale i kvalitu povrchu výstřiku. [6]

6.3 Faktory ovlivňující vlastnosti a kvalitu výstřiku

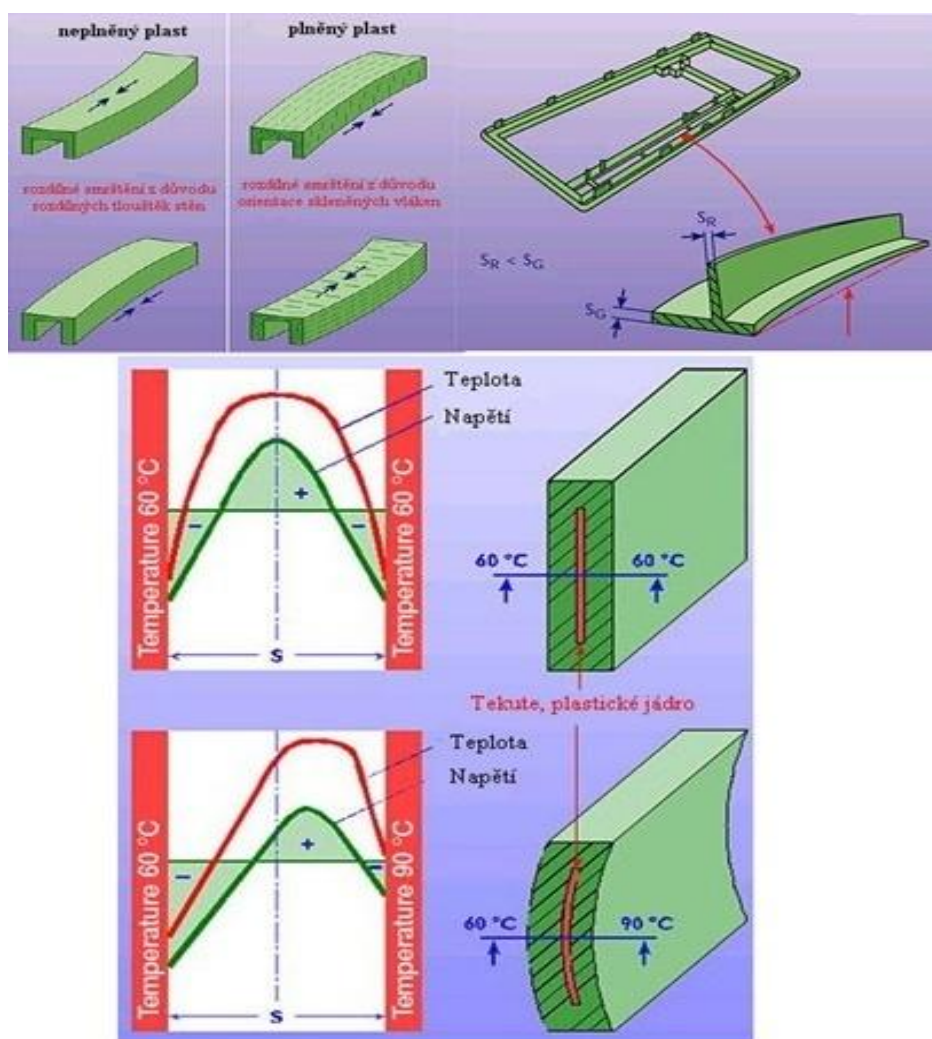
Kvalitu a vlastnosti výstřiku ovlivňuje především druh plastu, technologické parametry, konstrukce formy a volba stroje. Jednotlivé parametry nepůsobí samostatně, ale vždy se ovlivňují navzájem. Z hlediska volby druhu plastu, mají na vlastnosti výstřiku vliv reologické vlastnosti plastu, rychlost plastikace polymeru, uvolňování těkavých látek, tepelná stabilita plastu v rozsahu zpracovatelských teplot, velikost vnitřního pnutí, ale především smrštění plastu. Z technologických parametrů má především vliv vstřikovací tlak a dotlak. Vstřikovací tlak ovlivňuje rychlost plnění, uzavírací sílu, vnitřní pnutí, smrštění, orientaci, atd. Dotlak ovlivňuje hlavně rozměry výrobku, smrštění a vnitřní pnutí. Z hlediska forem má na kvalitu výstřiku vliv rychlost plnění dutiny formy, ale především teplota formy. Ta ovlivňuje tekutost plastu, rychlost plnění, dobu chlazení, lesk výrobku, povrch výrobku, teplotu taveniny, dotlak, vnitřní pnutí, smrštění, aj. Teplota formy má být z technologického hlediska co nejvyšší, hlavně u semikrystalických plastů. [6]



Obr. 6.3 Parametry ovlivňující jednotlivé fáze vstřikovacího cyklu [6]

6.3.1 Smrštění

Při vstřikování plastů dochází ke smrštění výstřiku, které je součtem smrštění ve formě a dodatečného smrštění. Smrštění ve formě je rozdíl mezi rozměrem výstřiku a rozměrem dutiny formy, které se vyjadřuje v procentech z rozměru dutiny formy. Velikost smrštění ve formě obvykle stanovujeme 24 hodin po vystříknutí dílce, při teplotě vzduchu 20°C a 65% relativní vlhkosti. Dodatečné smrštění probíhá v následujících týdnech až měsících a je způsobeno dezorientací (snížení stupně orientace), uvolňováním vnitřního pnutí, případně dodatečnou krystalizací. Dodatečné smrštění lze urychlit teplotou a tím současně stabilizovat rozměry výstřiku. Teplotace se provádí v horkém vzduchu nebo v čistém oleji při teplotě 80 až 130°C (dle materiálu). Smrštění ovlivňuje především struktura polymeru, tvar výstřiku, tloušťka stěny výstřiku, teplota taveniny, teplota formy a vstřikovací tlak a dotlak. Amorfni polymery vykazují smrštění menší (0,3 až 0,5 %), než semikrystalické polymery (0,8 až 4 %). [12]



Obr. 6.3.1 Smrštění při chlazení plastového výrobku [6]

6.3.2 Orientace

Jedná se o orientaci makromolekul, která nastává pouze při vstřikování termoplastů, u reaktoplastů se vlivem zesíťované struktury neobjeví. Princip je v tom, že se rychle chladnoucí viskózní tavenina protlačuje vysokým tlakem úzkými kanálky a průřezy ve formě, kde se nepravidelně zkroucené makromolekuly vysokým smykovým napětím narovnávají ve směru toku a v této nerovnovážné poloze ztuhnou. V případě, že smykové napětí vyvolávající tuto orientaci přestane působit dřív, než tavenina ztuhne, pak se snaží narovnané makromolekuly zaujmout svoji rovnovážnější zkroucenou polohu (dezorientace) a orientace se neprojeví, nebo jen z části. Orientace má vliv zejména na pevnost v tahu a tažnost a také má vliv na rozměrovou stabilitu výstřiků. Orientace je nevratná a mizí teprve po ohřátí na teplotu, při níž překonává existující vazební síly. [12]

6.3.3 Rozměrová přesnost

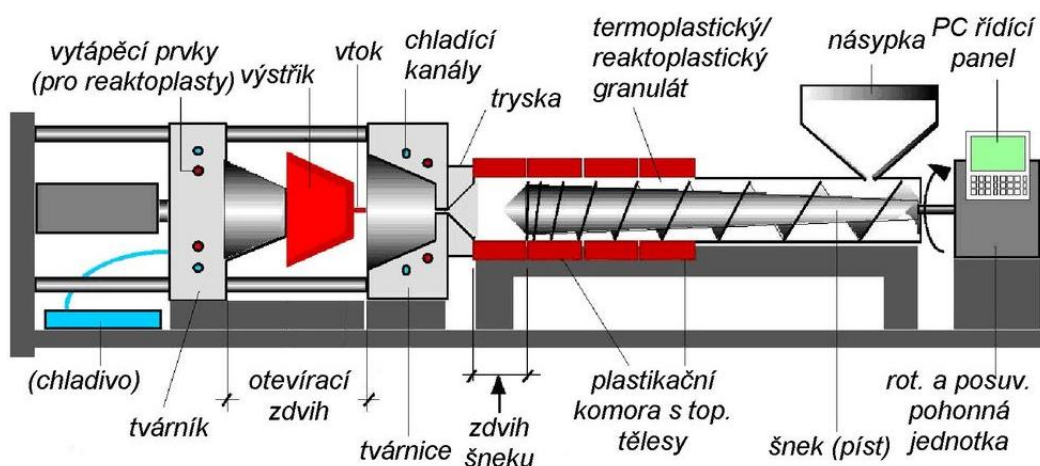
Výrobní tolerance rozměrů výrobků z plastů jsou stanoveny v ČSN 64 0006 (Tolerance a mezní úchyly rozměrů pro tvářené výrobky z plastů). Tato norma stanoví tolerance a mezní úchyly (dále jen tolerance) rozměrů do 500 mm pro výrobky z plastů (dále jen výrobky) zhotovované lisováním a přetlačováním (výlisky), nebo vstřikováním (výstřiky). Platí pro tolerance rozměrů výrobků, při jejichž konstrukci byly dodrženy zásady uvedené v ČSN 64 0008. Neplatí pro zvláštní případy rozměrů (závity, ozubení, apod.), úchyly tvaru a polohy, zaoblení a úchyly úhlů. [13]

Dosažitelná přesnost při běžných technologických podmínkách je následující:

- IT9 až IT11 – amorfní tuhé termoplasty a reaktoplasty
- IT10 až IT12 – semikrystalické tuhé termoplasty
- IT13 až IT15 – měkké termoplasty, elastomery

6.4 Vstřikovací stroje

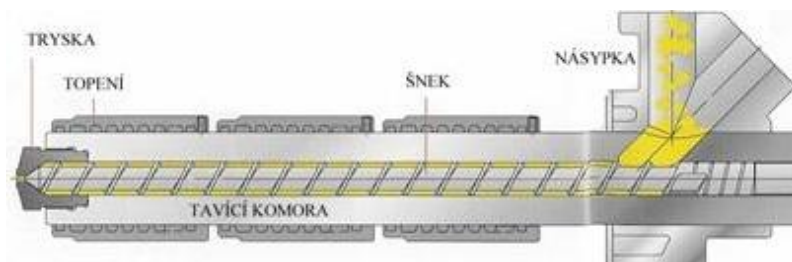
Vstřikovací stroj se skládá ze vstřikovací jednotky, uzavírací jednotky a z řízení a regulace. Každý výrobce vstřikovacích strojů je schopen vybavit vstřikovací stroj tak, aby plnil funkci částečně nebo plně automatizovaného pracoviště, tj. dovybavit stroj manipulátory, roboty, mísícím zařízením, sušárnami, dopravníky pro výrobky a vtoky, mlýny, atd. [6]



Obr. 6.4 Schéma vstřikovacího stroje [6]

6.4.1 Vstřikovací jednotka

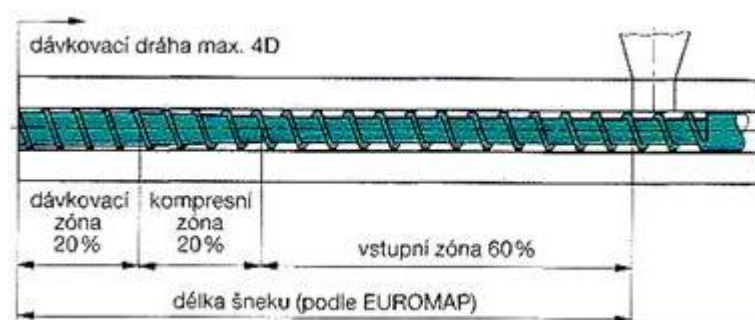
Vstřikovací jednotka má za úkol přeměnit granulát plastu na homogenní taveninu o dané viskozitě a vstříknout ji vysokou rychlostí a tlakem do dutiny formy. Vstřikovací jednotky se dělí na pístové a šnekové, přičemž pístové už se dnes téměř nepoužívají. Nejdůležitější částí vstřikovací jednotky je tavící komora, šnek, tryska a topení včetně dalšího příslušenství. Princip vstřikovací jednotky je takový, že otáčejícím se šnekem je z násypky odebírán granulát, který se stlačuje a je dopravován do vytápěné části tavící komory. Zde materiál taje a jako tavenina se hromadí před čelem šneku, přičemž šnek během otáčení ustupuje dozadu. Po zplastikování potřebného množství plastu se otáčivý pohyb šneku zastaví a bez otáčení se pohybuje dopředu jako píst, přičemž vstřikuje taveninu do dutiny formy. [6]



Obr. 6.4.1.1 Řez vstřikovací jednotkou [6]

Konstrukce šneku je přizpůsobena činností, které šnek musí vykonávat, tj. dávkování a doprava materiálu, plastikace, hnětení a vstříknutí do formy. Vývojem vstřikování se dospělo od obyčejného šneku k diferenciálnímu. Pro diferenciální šnek je typický kompresní poměr, který je definován, jako poměr objemu šnekového profilu pro jedno stoupání závitu pod násypkou k objemu profilu v části šneku před tryskou. Kompresní poměr bývá v rozmezí od 1,5 do 4,5. Kompresního poměru lze dosáhnout buď změnou úhlu stoupání závitu, což se však vzhledem k obtížnější výrobě používá málo, nebo změnou průměru jádra šneku, tedy změnou hloubky drážky, zatímco úhel stoupání je konstantní.

Na šneku se rozlišují tři funkční pásma. První pásmo se nazývá vstupní, kde šnekový kanál je nejhlubší a průměr jádra šneku nejmenší. Hloubka je po celé délce vstupního pásma konstantní. Zpracovávaný materiál je v tomto pásmu stlačován, čímž se vytěsňuje vzduch z prostoru mezi granulami. Ohřev začíná až na konci tohoto pásma, kde už může materiál začít i tát. V druhém pásmu (kompresní nebo přechodové) se průměr jádra šneku směrem k trysce zvětšuje a hloubka šnekového kanálu se zmenšuje, což má za následek, že zde dochází ke značnému stlačování materiálu. Dochází zde k nejintenzivnějšímu tání granulátu, ale vzniklá tavenina ještě není homogenní. Homogenizace je úkolem posledního pásma, které se nazývá homogenizační nebo také dávkovací. V tomto pásmu je průměr jádra šneku největší a hloubka šnekového kanálu je po celé délce konstantní. Důležitou částí je zakončení šneku, neboť tavenina má při vstřikování snahu téci šnekovým kanálem zpět směrem k násypce. Tomuto jevu lze nejspolehlivěji zabránit zakončením zpětným uzávěrem (ventilem). Existují ale různá řešení, jako je tupé zakončení šneku nebo prodloužené zakončení špičky šneku. [6]



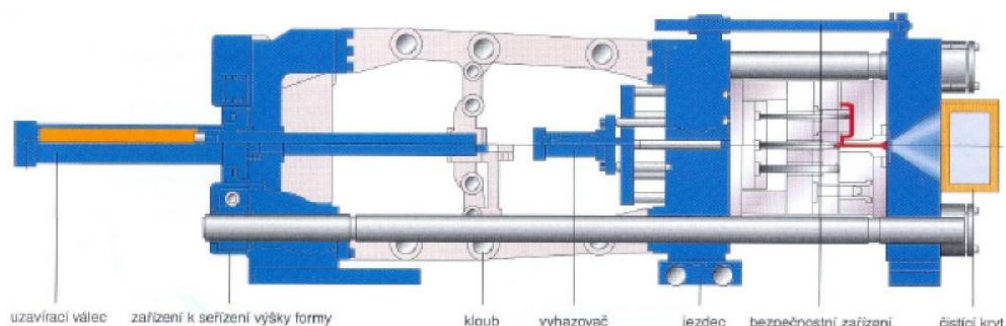
Obr. 6.4.1.2 Diferenciální šnek [6]

Tavící komora je rozdělena do topných pásem, samostatně vytápěných a se samostatnou regulací teploty. Nejvyšší teplota se nastavuje v pásmu u trysky a nejnižší v pásmu u násypky, přičemž část tavící komory, která přiléhá k násypce, se chladí. Tavící komora je zakončena vstříkovací tryskou, která zajišťuje spojení mezi komorou a formou. Trysky se konstruuji buď jako otevřené (vysoce viskózní materiály) s otvorem o průměru 3 až 8 mm, nebo jako uzavíratelné, které se otevrou pouze při dosedu vstříkovací jednotky na formu. [6]

6.4.2 Uzavírací jednotka

Uzavírací jednotka je zařízení, které slouží k uzavření a otevření formy, přičemž uzavírací síla musí být dostatečně velká, aby nedošlo k otevření formy při vstřikování taveniny. Při tomto procesu je nutné rozlišovat přisouvací a uzavírací sílu, protože uzavírací síla je značně vyšší.

Uzavírací jednotka se skládá z těchto hlavních částí: opěrné desky pevně spojené s ložem stroje, pohyblivé desky, na kterou je upnuta pohyblivá část formy, upínací desky s otvorem pro trysku stroje, na kterou se připevní nepohyblivá část vstřikovací formy, vedení pro pohyblivou desku, z uzavíracího a přidržovacího mechanismu. Vstřikovací stroje používají v současné době různé uzavírací systémy, které např. mohou být konstruovány jako hydraulické, mechanické, kombinace hydraulického a mechanického způsobu (závorování) a v poslední době se používají i elektrické systémy. [6]



Obr. 6.4.2 Schéma uzavírací jednotky [6]

6.5 Formy pro vstřikování plastů

Funkcí formy je dát tavenině konečný tvar výstřiku o přesných rozměrech, přičemž musí odolávat vysokým tlakům, musí umožnit snadné vyjmutí výrobku a musí pracovat automaticky po celou dobu své životnosti. Volba materiálu formy závisí na druhu zpracovávaného plastu, na použité technologii, na velikosti výrobku a jeho složitosti, na velikosti série, na tepelné odolnosti a odolnosti proti opotřebení, na korozi, na ceně, apod. Je tedy zřejmé, že jejich konstrukce a výroba je náročná na odborné znalosti a na finanční náklady. [6]

Forma se skládá z:

- dílů vymezujících tvarovou dutinu
- chladicího (temperančního) systému
- vtokového systému
- vyhazovacího systému
- upínacích a vodících elementů

6.5.1 Rozdělení forem

Podle zpracovávaného materiálu:

- pro termoplasty
- pro reaktoplasty
- pro elastomery

Podle násobnosti:

- jednonásobné
- vícenásobné

Podle konstrukce:

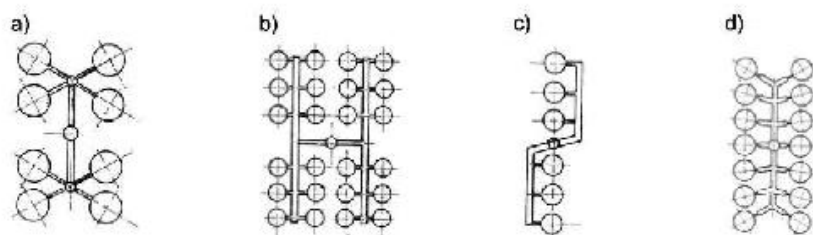
- dvoudeskové
- třídeskové
- etážové
- čelistové
- vytáčecí atd.

Podle konstrukce vstřikovacího stroje:

- formy se vstřikem kolmo na dělicí rovinu
- formy se vstřikem do dělicí roviny

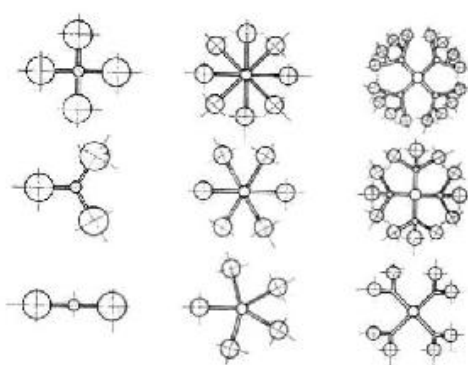
6.5.2 Vtokový systém

Vtokový systém je systém kanálů a ústí vtoku, který musí zajišťovat správné naplnění dutiny formy, snadné odtržení nebo oddělení od výstřiku a snadné vyhození vtokového zbytku. Vtoková soustava je navrhována podle počtu tvarových dutin, podle jejich rozmístění a podle toho, zda bude konstruována jako studený nebo horký rozvod. Vtok má být zásadně řešen tak, aby tavenina naplnila formu nejkratší cestou bez velkých teplotních a tlakových ztrát, co nejrychleji a pokud možno všude ve stejném čase. Pokud bude vstřikovací forma vícenásobná, tak umístění tvarových dutin je možné buď do hvězdy, nebo v řadě. Z hlediska plnění tvarových dutin je lepší uspořádání do hvězdy, protože k zaplnění dochází ve stejném čase a při stejném tlaku, kdežto u uspořádání v řadě se musí provést korekce ústí vtoku, tzn. změnit rozměry rozváděcích kanálů směrem ke vzdálenějším dutinám. [6]



ŘADOVÉ USPOŘÁDÁNÍ VTOKOVÉ SOUSTAVY VÍCENÁSOBNÝCH FOREM

a) se stejnou délkou toku taveniny
b), c), d) s nestejnou délkou toku taveniny (nevhodné bez korekce ústí vtoku)



SYMETRICKÉ USPOŘÁDÁNÍ VTOKOVÉ SOUSTAVY VÍCENÁSOBNÝCH FOREM

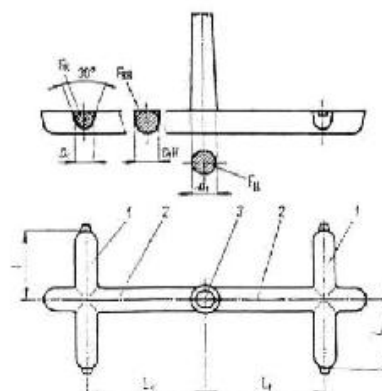


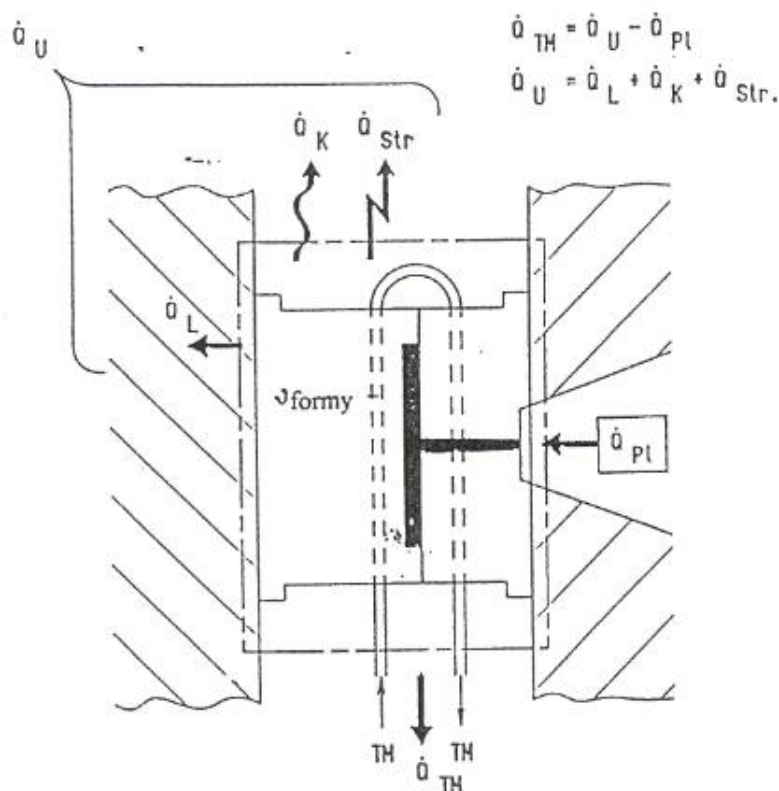
SCHÉMA SOUSTAVY ROZVÁDĚCÍCH KANÁLŮ

1- vedlejší, 2- hlavní,
3- vtokový kužel

Obr. 6.5.2 Rozmístění vtokové soustavy [6]

6.5.3 Temperační systém

Vstřikovací formy obsahují temperační systém z důvodu zajištění opakovatelnosti výroby, kdy musí hmota v dutině formy zchladnout z technologického a ekonomického hlediska co nejrychleji. Temperační systém je systém kanálů a dutin, umožňujících přestup a průstup tepla z taveniny do formy. Těmito kanálky protéká temperovací kapalina, která udržuje teplotu formy na požadované výši. Temperační systém bývá rozdělen do dvou dílčích okruhů, a to na okruh pro pohyblivou část a na okruh pro pevnou neboli vtokovou část formy. Vzdálenost kanálů od líce formy má být navržena tak, aby nedošlo k porušení povrchu tvarové dutiny formy a aby v tvarové dutině nevznikala podchlazená místa. Kolem dutiny formy se kanály rozmísťují rovnoměrně a v optimálním případě je jejich vzdálenost od líce formy všude stejná. Pouze tam, kde je třeba zvýšit intenzitu chlazení, se kanály přiblíží líci formy nebo se zmenší vzdálenost mezi nimi. Průřez kanálů se volí zpravidla kruhový a bývá 6 až 20 mm. Celková délka kanálů má být taková, aby rozdíl teplot temperační kapaliny na vstupu a na výstupu byl max. 3 až 5 °C. [6]



Obr. 6.5.3 Základní schéma tepelné bilance formy [13]

Q_{TH} - tepelný proud přiváděný nebo odváděný temperačním médiem

TH - temperační médium (voda)

Q_L - tepelný proud odvedený do upínacích desek stroje

Q_{PI} - tepelný proud předaný taveninou plasty

Q_K - tepelný proud předaný do okolí tepelným zářením

Q_{Str} - tepelný proud odvedený tepelným prouděním

Q_U - tepelný proud předaný do okolí

6.5.4 Odvzdušnění forem

Při plnění dutiny formy taveninou je nutné zajistit únik vzduchu, který je v dutině přítomen a rovněž tak plynů případně unikajících z trysky. Odvzdušnění musí být tím účinnější, čím je rychlost plnění větší. Stlačený vzduch se může hromadit v různých místech dutiny formy a může dokonce vniknout do taveniny, kde po zchladnutí vytvoří bubliny. Nejsou-li vytvořeny podmínky pro snadné unikání vzduchu a tvarová dutina není dokonale vyplněna taveninou, pak obvykle volíme další zvýšení vstřikovacího tlaku. Tím však zbytečně vnášíme do výstřiku vnitřní pnutí, zvyšujeme jeho hmotnost a může dojít k tzv. dieslovu efektu a následnému spálení materiálu. Odvzdušnění se obvykle provádí pomocí drážky vybroušené kolem tvarové dutiny, do které se vzduch přivádí příčnými probusy. Odvzdušňovacími drážkami se také často opatřují vyhazovače. Odvzdušňovací kanálky mají odvádět vzduch, ale zároveň nesmí docházet k zatékání plasty do nich. [13]

7 NÁVRH ŘEŠENÍ

7.1 Volba technologie

Zátka z plastu lze vyrobit různými technologiemi, nejvýhodnější je však vstřikování plastů. Technologie vstřikování plastů umožňuje vyrábět plastové dílce po více kusech, což má za následek snížení doby výroby. Další výhodou je, že při použití horké vtokové soustavy, která je navržena v této práci, nevzniká téměř žádný odpad. Z těchto důvodů jsem technologii vstřikování plastů zvolil jako nejefektivnější a nejlevnější pro výrobu zátky z plastu.

7.2 Volba materiálu

Pro výrobu zátky z plastu jsem zvolil materiál **Ultramid A3WG3** (PA66-GF15) od firmy BASF. Jedná se o polyamid 66 vyztuženým 15% skleněným vláknem a je dodáván ve formě kuliček nebo válečků. Ultramid se dodává v balení po 25kg, nebo v nástavbě pro sypký náklad po 1000kg, které jsou chráněné proti vlhkosti. Ultramid je tedy suchý a připravený pro použití. Balení by mělo být otevřeno těsně před zpracováním a skladováno v suchých prostorech, aby nedošlo k navlhnutí sypkého materiálu.

Vlastnosti Ultramid A3WG3:

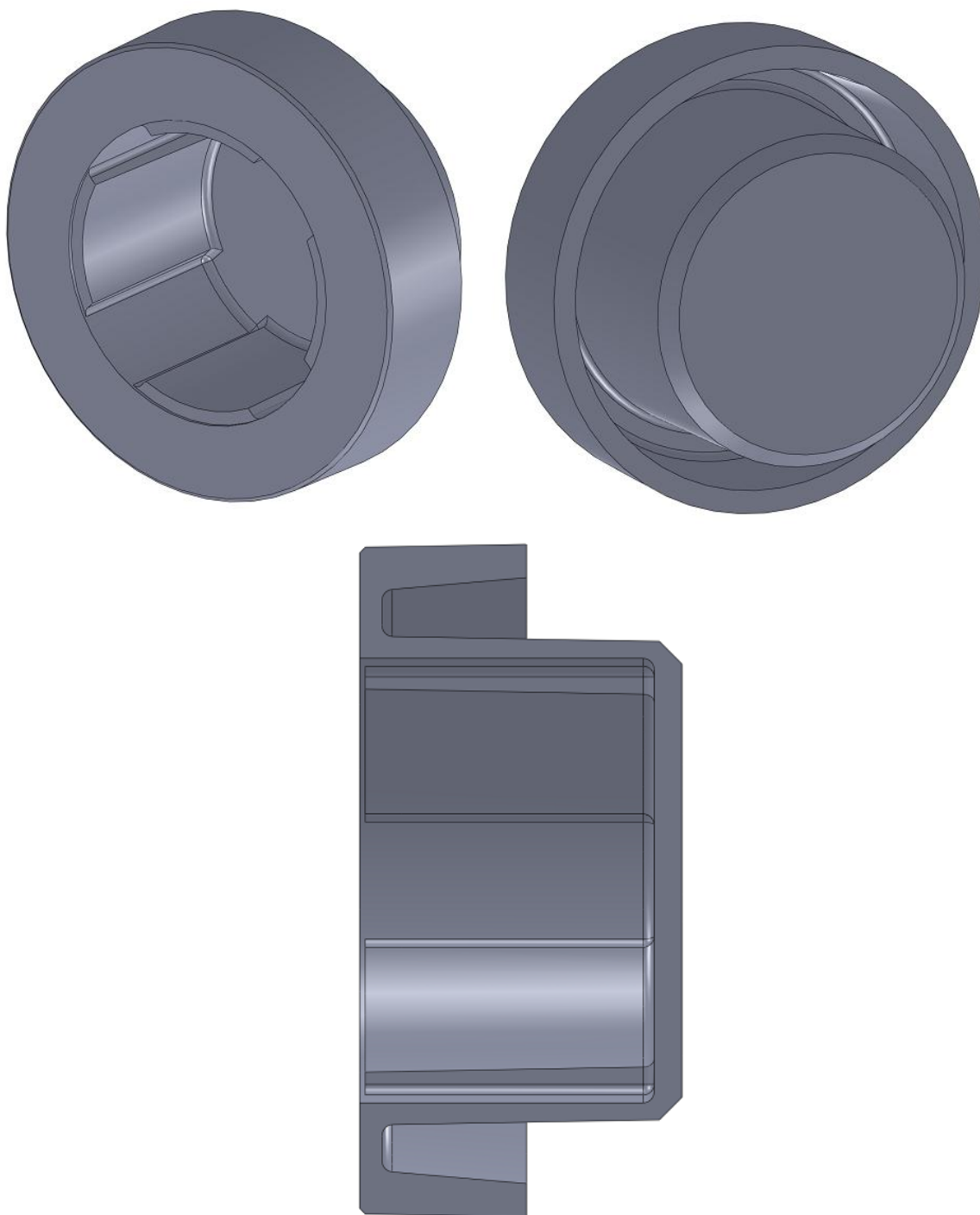
- Hustota 1,23 [g/cm³]
- Smrštění 0,75 [%]
- Modul pružnosti v tahu 4500 – 6000 [MPa]
- Mez pevnosti v tahu 85 – 130 [MPa]
- Mez pevnosti v ohybu 125 – 200 [MPa]
- 50% ztráty pevnosti v tahu po 5000h při teplotě 175 [°C]
- 50% ztráty pevnosti v tahu po 20000h při teplotě 145 [°C]
- Teplota tání 260 [°C]
- Teplota vstřikovaného materiálu 280 – 300 [°C]
- Teplota formy 80 – 90 [°C]

Podrobnější vlastnosti v materiálovém listu viz. příloha 1.

8 KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍ FORMY

8.1 Výpočet objemu a hmotnosti výstřiku

Výpočet je řešen 3D CAD systémem SolidWorks.



```

Hustota = 0.00123 gramy na milimetry krychlový
Hmotnost = 27.69951 gramy
Objem = 22519.92669 milimetry krychlových
Plošný obsah = 17412.74462 milimetry^2

Těžiště: ( milimetry )
X = 27.33545
Y = 0.00000
Z = 0.00000

Hlavní osy setrvačnosti a hlavní momenty setrvačnosti: ( gramy * milimetry čtverečných )
Vybrané z těžiště.
Ix = (0.00000, 1.00000, 0.00000)      Px = 9963.55034
Iy = (0.00000, 0.00000, 1.00000)      Py = 9963.55034
Iz = (1.00000, 0.00000, 0.00000)      Pz = 15273.14555

Momenty setrvačnosti: ( gramy * milimetry čtverečných )
Pochází z těžiště a je zarovnaný s výstupním souřadným systémem.
Lxx = 15273.14555      Lxy = 0.00000      Lxz = 0.00000
Lyx = 0.00000          Lyy = 9963.55034      Lyz = 0.00000
Lzx = 0.00000          Lzy = 0.00000      Lzz = 9963.55034

Momenty setrvačnosti: (gramy * milimetry čtverečných)
Získány z výstupního souřadného systému.
Ixx = 15273.14555      Ixy = 0.00000      Ixz = 0.00000
Iyx = 0.00000          Iyy = 30661.37290      Iyz = 0.00000
Izx = 0.00000          Izy = 0.00000      Izz = 30661.37290

```

$$\rho = 1,23g \cdot cm^{-3}$$

$$S_v = 174127 mm^2 \quad (1)$$

$$V_v = 225199 mm^3 \quad (2)$$

$$m = \rho \cdot V_v = 27,7g \quad (3)$$

8.2 Volba vtokové soustavy

Vtokové systémy jsou u slabostěnných výrobků voleny převážně jako vyhřívané vtokové systémy (VVS), které postupným vývojem vyvinula pro tuto oblast řada výrobců. Studené vtokové soustavy s relativně velkými kanálky představují zvýšení doby chlazení o čas ke ztuhnutí samotného vtokového rozvodu a jsou vylučovány jako odpad (regenerát). Dimenzování prvků VVS, tj. rozvodných bloků a dýz by mělo zohledňovat požadavek na minimální ztráty tlaku a rychlosti taveniny v systému. Vyhřívané vtokové soustavy zaujímají v průmyslu zpracování plastů stále větší uplatnění. Je to dáno nespornými výhodami proti klasickým vtokovým soustavám.

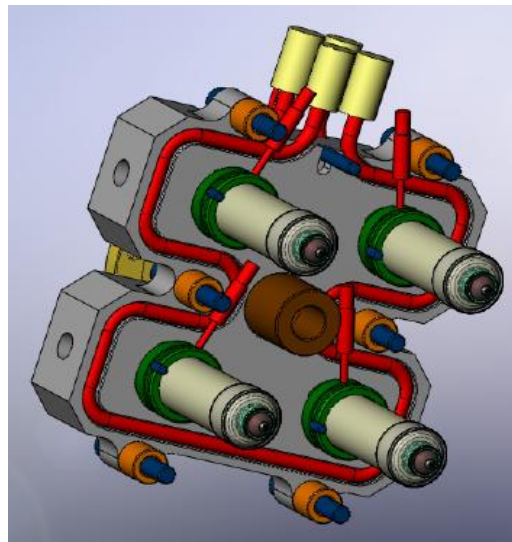
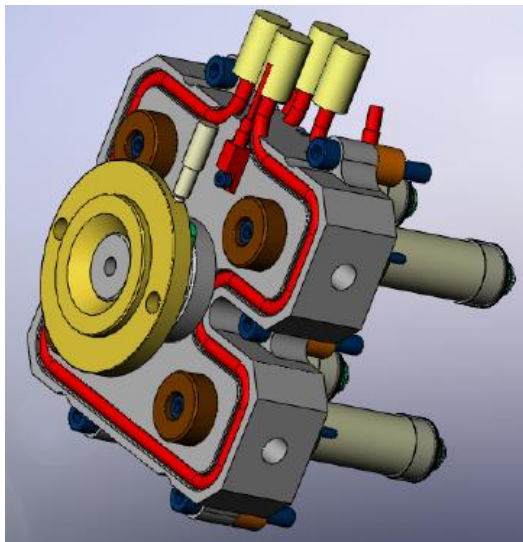
Výhody vyhřívaných vtokových soustav:

- podstatně zkracují výrobní cykly (chladící čas)
- vylučují odpad vtokové soustavy
- odpadá manipulace a regenerace vtokových zbytků
- snižuje náklady na dokončovací práce, není potřeba odstraňovat vtokové zbytky
- vytvořily předpoklad pro výrobu velkých dílů, tvarově a technicky náročných aplikací

Nevýhody vyhřívaných vtokových soustav:

- u vhodně volených aplikací nevznikají
- všechny aplikace nelze realizovat s VVS
- není efektivní při malých sériích
- náročnost na technickou úroveň vstříkoven, jejich vybavení a technickou úroveň zaměstnanců
- nákladné formy, neboť VVS jsou předmětem nákupu od specializovaných firem, včetně regulace

Z hlediska uvedených výhod jsem pro danou aplikaci zvolil vyhřívanou vtokovou soustavu.



8.3 Stanovení násobnosti vstřikovací formy a určení vstřikovacího stroje

Velikost výrobní série: $N = 600\,000$ ks

Požadovaný termín dodání: $T_p = 6$ měsíců

Pro sérii 600 000 ks volím předběžnou násobnost formy $n = 4$.

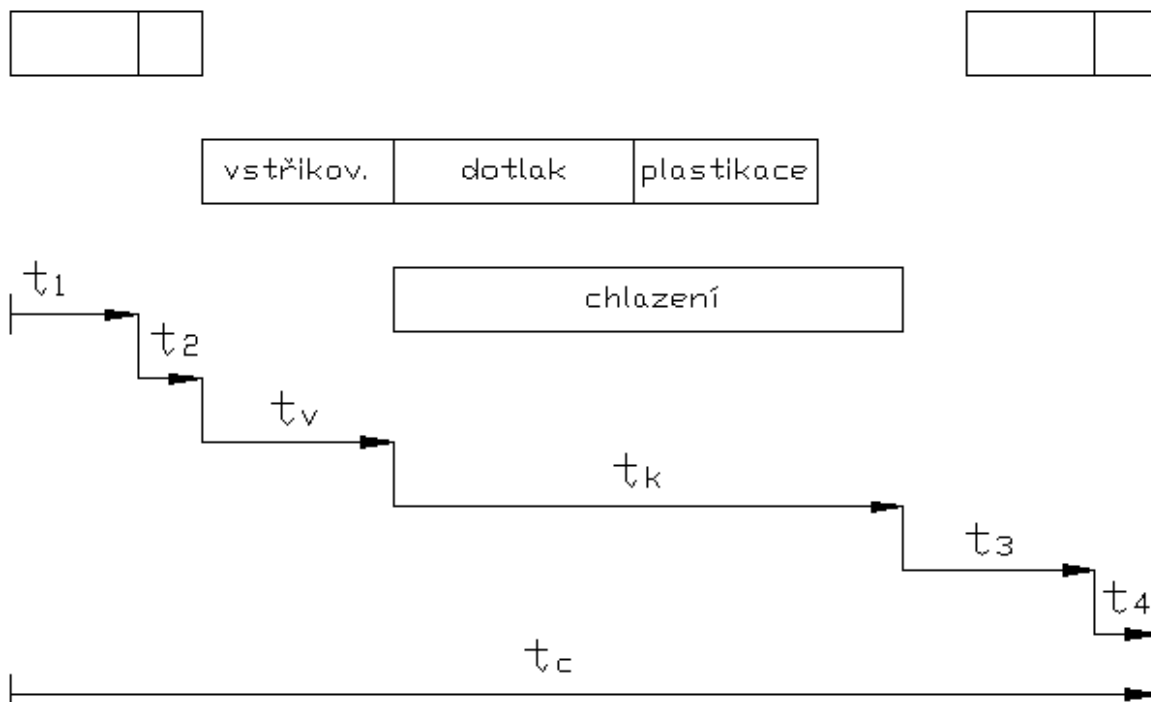
Výpočet velikosti dávky taveniny (vstřikovaného objemu)

$$V_D' = n \cdot V_V = 4 \cdot 22,52 = 90,08 \text{ cm}^3 \quad (4)$$

Před plastikací nebo po plastikaci dochází u horké vtokové soustavy k dekompresi. Velikost dekomprese je cca $5\% V_D'$.

$$V_D = V_D' + 0,05 \cdot V_D' = 90,08 + 0,05 \cdot 90,08 = 94,6 \text{ cm}^3 \quad (5)$$

Výpočet doby vstřikovacího cyklu



Obr. 8.3.1 Základní schéma vstřikovacího cyklu

- t_1 – uzavření formy ($1 \div 1,5$ s)
 t_2 – přisunutí vstřikovací jednotky (0,5 s)
 t_3 – otevření formy a vyhození výstřiku ($1 \div 1,5$ s)
 t_4 – prodleva (0,5 s)
 t_v – doba vstřikování
 t_k – doba chlazení

$$t_c = t_1 + t_2 + t_v + t_k + t_3 + t_4 = 3,0 \div 4,0 + t_v + t_k \quad [\text{s}]$$

Doba vstřikování (t_v) se stanoví v závislosti na vstřikovaném objemu a viskozitě plastu viz. tab. 8.3.1.

Tab. 8.3.1 Doba vstřikování

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

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

Doba vstřikování je dle tabulky $t_v = 1,2 \div 1,8$ s, ale s ohledem na vstřikovaný objem zátky volím $t_v = 1,4$ s.

Doba chlazení se vypočítá ze vztahu:

$$t_k = \frac{s^2}{\pi^2 \cdot a_{eff}} \cdot \ln \left(\frac{8}{\pi^2} \cdot \frac{T_M - T_W}{T_E - T_W} \right) \quad (6)$$

$$t_k = \frac{3,5^2}{\pi^2 \cdot 0,089} \cdot \ln \left(\frac{8}{\pi^2} \cdot \frac{290 - 80}{120 - 80} \right) = 20,2s$$

Tab. 8.3.2 Materiálové hodnoty

Teplota taveniny	T_M [°C]	290
Teplota formy	T_W [°C]	80
Střední vyhazovací teplota	T_E [°C]	120
Měrná teplotní vodivost	a_{eff} [mm^2 / s]	0,089
Hustota	ρ [g / cm^3]	1,23
Vstřikovací tlak	p_v [MPa]	90
Dotlak	p_d [MPa]	60
Zpětný tlak	p_z [MPa]	6

$$t_c = t_1 + t_2 + t_v + t_k + t_3 + t_4 = 3,5 + t_v + t_k = 3,5 + 1,4 + 20,2 = 25,1s \quad (7)$$

Celková doba jednoho vstřikovacího cyklu je 25,1 sekundy.

Výpočet termínové násobnosti formy

$$n_T = \frac{N \cdot t_c}{T_p \cdot K \cdot 3600} = \frac{600000 \cdot 25,1}{1440 \cdot 0,8 \cdot 3600} = 3,63 \quad (8)$$

Volím násobnost formy $n_T = 4$

K – faktor využití času ($K = 0,7 \div 0,9$), volím $K = 0,8$

T_p – požadovaný termín dodání [hod] $\Rightarrow 6$ měsíců $\cong 1440$ hodin

Výpočet minimální vstřikovací kapacity C_v vstřikovacího stroje

$$C_v \geq 1,1 \cdot n_T \cdot V_v = 1,1 \cdot 4 \cdot 22,52 = 99,1 \text{ cm}^3 \quad (9)$$

Výpočet minimální plastikační kapacity C_p vstřikovacího stroje

$$C_p \geq \frac{4 \cdot n_T \cdot \rho \cdot V_v}{t_c} = \frac{4 \cdot 4 \cdot 1,23 \cdot 22,52}{25,1} = 17,7 \text{ kg / hod} \quad (10)$$

Výpočet uzavírací síly vstřikovacího stroje

$$F_p \geq 1,1 \cdot 10^{-3} \cdot n_T \cdot p_v \cdot A_{proj} = 1,1 \cdot 10^{-3} \cdot 4 \cdot 90 \cdot 2827,4 = 1120 \text{ kN} \quad (11)$$

$$A_{proj} = \frac{\pi \cdot 60^2}{4} = 2827,4 \text{ mm}^2 \quad (12)$$

Při výpočtu uzavírací síly se do vzorce dosazuje doporučený vstřikovací tlak (tab. 8.3.2), který však musí splňovat podmínku $p_v > p_f$.

Výpočet minimálního plnicího tlaku p_f

$$p_f = 3 \cdot K_f \cdot f_c \cdot s^{-1,6} = 3 \cdot 0,17 \cdot 77,25 \cdot 3,5^{-1,6} = 5,3 \text{ MPa} \quad (13)$$

K_f – faktor schopnosti tečení taveniny plastu, $K_f = 0,17 \text{ MPa / mm}$

f_c – celková dráha toku taveniny, $f_c = 77,25 \text{ mm}$

Podmínka $p_v > p_f$ je splněna.

Určení optimálního průměru šneku vstřikovacího stroje

$$7,5 \cdot \sqrt[3]{V_D} < D_s < 10,5 \cdot \sqrt[3]{V_D} \quad (14)$$

$$7,5 \cdot \sqrt[3]{94,6} < D_s < 10,5 \cdot \sqrt[3]{94,6}$$

$$34,17 < D_s < 47,8$$

Průměr šneku se volí z řady průměrů:

$$20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60, 70 \text{ mm}$$

Optimální průměr šneku volím $D_s = 45 \text{ mm}$.

Stanovení délky dráhy pohybu šneku

$$L_s = \frac{4 \cdot 10^3 \cdot V_D}{\pi \cdot D_s^2} = \frac{4 \cdot 10^3 \cdot 94,6}{\pi \cdot 45^2} = 59,5 \text{ mm} \quad (15)$$

Délka dráhy šneku je 59,5 mm, přičemž musí být splněna podmínka:

$$1D_s < L_s < 3D_s \quad (16)$$

$$45 < 59,5 < 135$$

Podmínka $1D_s < L_s < 3D_s$ je splněna.

Výpočet otáček šneku vstřikovacího stroje

$$n_s = \frac{60 \cdot 10^3 \cdot v}{\pi \cdot D_s} = \frac{60 \cdot 10^3 \cdot 0,6}{\pi \cdot 45} = 254,7 \text{ min}^{-1} \quad (17)$$

v – max. obvodová rychlost šneku pro daný materiál, $v = 0,6 \text{ m/s}$.

Výpočet vstřikovací rychlosti

$$v_s = \frac{V_D}{t_v} = \frac{94,6}{1,4} = 67,6 \text{ cm}^3 / \text{s} \quad (18)$$

Volba vstřikovacího stroje

Pro volbu vstřikovacího stroje je rozhodujícím parametrem uzavírací síla F_p , která zajišťuje formu v uzavřené poloze po celou dobu vstřikovacího procesu, aniž by došlo k jejímu otevření vlivem vysokých vnitřních tlaků ve formě. Vstřikovací stroj musí však vyhovovat i jiným parametrům, např. plastikační kapacitě, objemu dávky, vstřikovací rychlosti, průměru šneku aj. Z hlediska vypočtených hodnot volím pro výrobu zátky z plastu, při násobnosti formy $n_T = 4$ vstřikovací stroj od firmy ARBURG: Allrounder 420C 1300 – 800.

Parametry vstřikovacího stroje:

– uzavírací síla	1300 kN
– plastikační kapacita	23 kg / hod
– vstřikovací kapacita	318 cm ³
– průměr šneku	45 mm

Ostatní parametry jsou uvedeny v příloze viz. příloha 2.



Obr. 8.3.2 Vstřikovací stroj Allrounder 420C 1300 – 800 [3]

8.4 Desky vstřikovací formy

Desky formy jsou vyrobeny z oceli 1.1730, přičemž vložka tvárníku a tvárnice z oceli 1.2343. Forma je upnuta na lis pomocí upínek, což umožňuje použití formy i na jiné vstřikovací lisy.

8.4.1 Ocel 1.1730

Jedná se o materiál, který se označuje dle ČSN 419083 a ve většině případů se používá v dodávaném žíhaném stavu. Dostatečnou tvrdost lze dosáhnout zakalením, ocel není náchylná na kalící trhliny. Vyznačuje se vysokou houževnatostí, pevností a odolností vůči rázům při dostatečné povrchové tvrdosti (tvrdý povrch – houževnaté jádro). Má velmi dobrou obrobitelnost v žíhaném stavu a dobře se tváří za tepla. Při svařování je nutný předehřev na 120 až 320 °C.

Mechanické vlastnosti:

- pevnost 640 až 700 MPa
- tvrdost ve stavu žíhaném na měkko max. 190 HB
- dosažitelná tvrdost po kalení 58 HRC

Tepelné zpracování:

Žíhání normalizační	840 - 860 °C
Žíhání na měkko	680 - 710 °C
Žíhání ke snížení pnutí	600 - 650 °C
Kalící teplota	800 - 830 °C
Kalící médium	voda, olej
Teplota popouštění	180-300 °C

Chemické složení:

C	Si	Mn	P max	S max
0,40-0,50	0,15-0,40	0,60-0,80	0,035	0,035

8.4.2 Ocel 1.2343

Jedná se o materiál, který se označuje dle ČSN 419552 a vyznačuje se velmi dobrými pevnostními vlastnostmi za tepla. Ocel má dobrou tepelnou vodivost, odolnost k tvorbě trhlin za tepla a malou citlivost na prudké změny teploty (umožňuje chlazení vodou). Ocel má dobrou obrobiteľnosť, je dobre leštitelná a vhodná k nitridaci. Má obzvláště dobrou kalitelnost na vzduchu a ve vakuu.

Mechanické vlastnosti:

- pevnost 750 MPa
- tvrdost ve stavu žíhaném na měkko max. 230 HB
- dosažitelná tvrdost po kalení 54 HRC

Tepelné zpracování:

Žíhání na měkko	750 - 800 °C
Žíhání ke snížení pnutí	600 - 650 °C
Kalící teplota	1000 - 1040 °C
Kalící médium	olej, vzduch
Teplota popouštění	540 - 560 °C

Chemické složení:

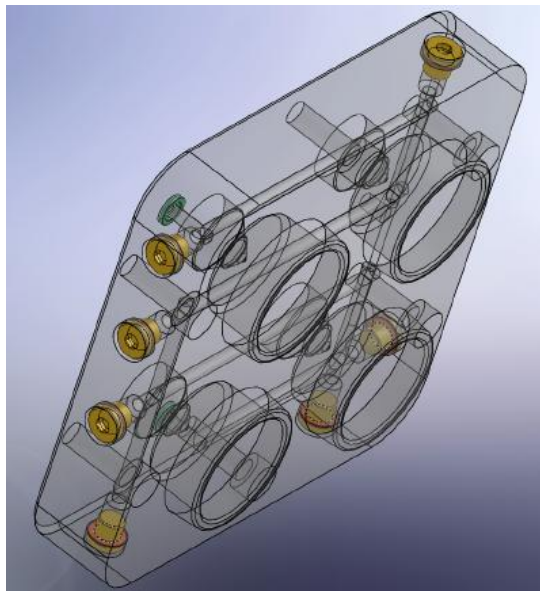
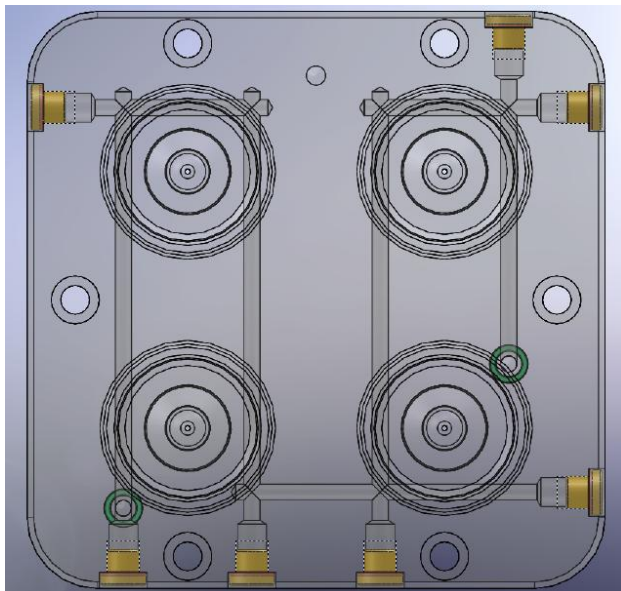
C	Si	Mn	P max	S max	Cr	Mo	V
0,36-0,42	0,90-1,20	0,30-0,50	0,030	0,030	4,80-5,50	1,10-1,40	0,25-0,50

8.5 Návrh temperačního systému

Temperační systém je soustava kanálů a chladících systémů, kterými proudí médium a udržuje teplotu formy na požadované teplotě. Proces temperování je nutné optimalizovat, což znamená zvolit správné rozmístění kanálů, jejich průměr, rychlosti proudění a nastavení temperačního média. Teplota temperačního média a jeho průtok se v dnešní době určuje pomocí simulačního softwaru (CADMOULD 3D-F, aj.).

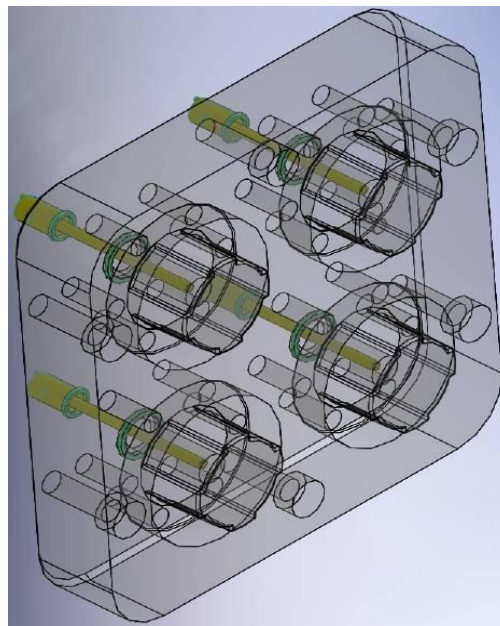
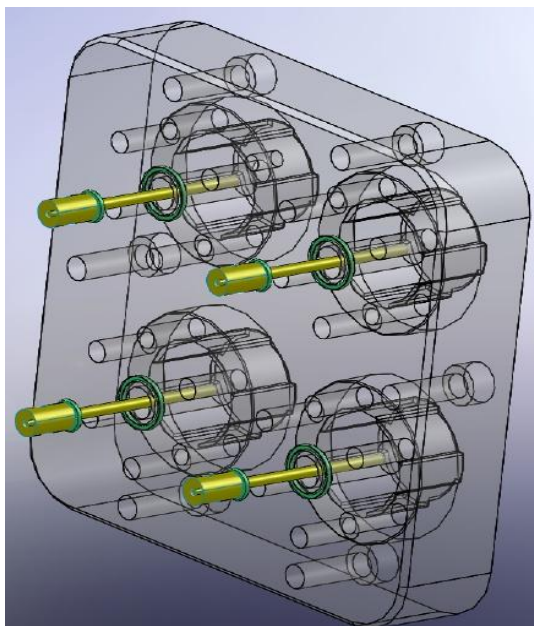
8.5.1 *Temperační systém pevné strany formy*

Temperační systém pevné strany formy je řešen jako soustava kanálů, kterými protéká médium (voda).



8.5.2 *Temperační systém pohyblivé strany formy*

Temperační systém pohyblivé strany formy je řešen pomocí chladících trysek od firmy Meusburger, do kterých je přiváděno médium (voda).



8.6 Návrh odvzdušnění formy

Místa odvzdušnění lze u jednoduchých výlisků určit ze zkušenosti konstruktéra. U komplikovaných výlisků, s více vtoky, nutno zajistit pomocí simulačních metod, analýzou plnění (Mold Flow, Cadmould). Odvzdušňovací kanálky by neměly způsobovat přetoky na výlisku.

Praxí byly získány následující dimenze odvzdušňovacích kanálků, dle materiálu a jeho viskozity:

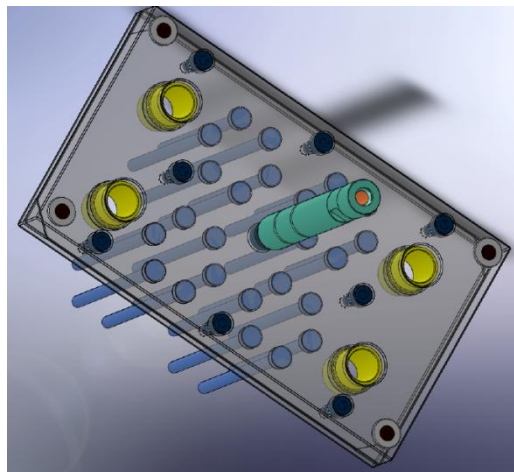
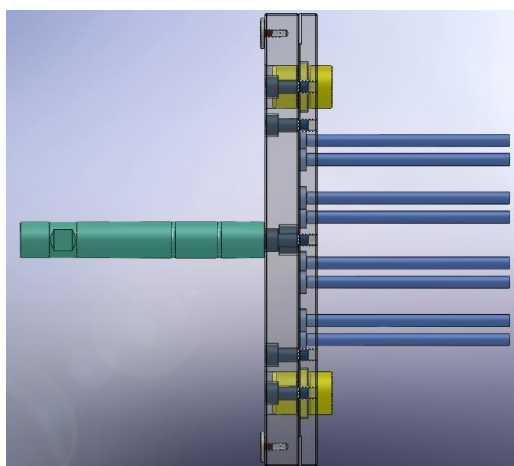
PS	do 0,05 mm	PBT	do 0,03 mm
PE, PP	do 0,04 mm	PC	do 0,05 mm
PA	0,02 - 0,03 mm	PMMA	do 0,05 mm
POM	do 0,04 mm		

Sklem plněné plasty od 0,04 do 0,07 mm [13]

Pro materiál Ultramid A3WG3, který je plněný sklem a je použit v této práci, je optimální zvolit hloubku odvzdušnění 0,05 mm. Odvzdušnění bude po obvodě vnějšího průměru všech částí vložky tvárníku dle výstřiku, o šířce 10 mm a vyvedeno v dělicí rovině formy. Vzhledem k použití vstřikovací formy s vyhřívanou vtokovou soustavou, při daném výstřiku a jeho umístění při vstřikování, není však zřejmé, zda bude odvzdušnění potřebné.

8.7 Vyhazování výstřiku

Vyhazovací systémy forem slouží k vyhození výstřiku a svojí funkcí by měly zajišťovat převážně automatický výrobní cyklus. Při ochlazení výstřiku dochází ke smrštění a výstřik ulpívá na tvarové části formy. Umístění dílce musí být tedy navrženo tak, aby zůstal na pohyblivé části formy, při odsunutí od pevné. Následně dojde k pohybu vyhazovacího systému vpřed a výstřik je vyhozen do skladovacího prostoru. Při vyhazování výstřiku by nemělo dojít k jeho deformaci, ani k otlacení od vyhazovačů.



9 SHRnutí TECHNICKÝCH DAT

Parametry vstřikování:

Materiál:	Ultramid A3WG3	
Teplota vstřikovaného materiálu:	280 – 300	[°C]
Teplota formy:	80 – 90	[°C]
Střední vyhazovací teplota:	120	[°C]
Vstřikovací tlak:	90	[MPa]
Dotlak:	60	[MPa]
Zpětný tlak:	6	[MPa]
Doba jednoho vstřikovacího cyklu:	25,1	[s]
Doba vstřikování:	1,4	[s]
Doba chlazení:	20,2	[s]
Vstřikovací kapacita:	99,1	[cm ³]
Plastikační kapacita:	17,7	[kg/hod]
Uzavírací síla:	1120	[kN]
Průměr šneku:	45	[mm]
Otáčky šneku:	254,7	[min ⁻¹]
Vstřikovací rychlost:	67,6	[cm ³ / s]
Dráha pohybu šneku:	59,5	[mm]

Parametry vstřikovacího stroje:

Uzavírací síla:	1300	[kN]
Vstřikovací kapacita:	318	[cm ³]
Plastikační kapacita:	23	[kg/hod]
Vstřikovací tlak:	247	[MPa]
Vstřikovací rychlost:	174	[cm ³ / s]

10 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ VÝROBY

Vstupní hodnoty potřebné k výpočtu nákladů na výrobu:

Tab. 9 Cena materiálu (granulát) Ultramid A3WG3

Název materiálu	množství - 500 kg	množství - 1 t	množství - 2 t	množství - 3 t	množství - 5 t
Ultramid A3WG3 černý 00564		3,55	3,50	3,48	3,30

Jedná se o cenu v € za 1kg. Cena se liší dle množství odběru (čím větší je odběr, tím nižší je cena). Směnný kurz dni 23. 4. 2009 je 27,550 Kč.

– velikost série	N	600 000	[Ks]
– cena elektrické energie	C _e	3,5	[Kč / kW]
– příkon stroje	P _s	46,3	[kW]
– hrubá mzda dělníka	N _d	180	[Kč / hod]
– hmotnost výstřiku	m	27,7	[g]
– koeficient opotřebení stroje	k	0,8	[-]
– násobnost formy	n _τ	4	[-]
– doba vstřikovacího cyklu	t _c	25,1	[sek.]

Potřebné množství materiálu pro velikost série 600 000 ks:

$$M = N \cdot \frac{m}{1000} = 600000 \cdot \frac{27,7}{1000} = 16620 \text{ kg} \quad (19)$$

Pro velikost série N = 600 000 ks je potřeba objednat:

$$3 \cdot 5t = 15000 \text{ kg} \cdot 3,3\text{€} = 49500\text{€}$$

$$1 \cdot 2t = 2000 \text{ kg} \cdot 3,5\text{€} = 7000\text{€}$$

Cena materiálu za 1kg:

$$C_m = \frac{49500 + 7000}{15000 + 2000} = 3,324\text{€} \quad (20)$$

Cena materiálu za 1kg činní $3,324\text{€} \cdot 27,550\text{Kč} = 91,58\text{Kč}$.

$$C_m = 91,58 \text{ Kč}$$

Náklady za materiál na jeden výstřik:

$$N_m = C_m \cdot \frac{m}{1000} = 91,58 \cdot \frac{27,7}{1000} = 2,54 \text{Kč} \quad (21)$$

Náklady za materiál pro celou sérii:

$$N_c = N_m \cdot N = 2,54 \cdot 600000 = 152400 \text{Kč} \quad (22)$$

Náklady hodinového provozu stroje:

$$N_s = \frac{P_s \cdot C_e}{k} = \frac{46,3 \cdot 3,5}{0,8} = 202,6 \text{Kč} \quad (23)$$

Čas potřebný k výrobě celé série:

$$T_{celk} = \frac{t_c}{n_T} \cdot N = \frac{0,006972}{4} \cdot 600000 = 1045,8 \text{hod} \quad (24)$$

Náklady na provoz stroje pro celou sérii:

$$N_{cs} = N_s \cdot T_{celk} = 202,6 \cdot 1045,8 = 211880 \text{Kč} \quad (25)$$

Náklady na výrobu formy:

Forma pro vstřikování plastů se skládá z mnoha částí a odhadovaná cena nákladů na výrobu činní přibližně 350 000 Kč.

$$N_f = 350000 \text{Kč} \quad (26)$$

Celkové náklady na výrobu celé série:

$$N_i = N_f + N_{cs} + N_c + (N_d \cdot T_{celk}) \quad (27)$$

$$N_i = 350000 + 211880 + 1524000 + (180 \cdot 10458) = 2274124 \text{ Kč}$$

Celkové náklady na jeden výstřik:

$$N_{\text{vys}} = \frac{N_i}{N} = \frac{2274124}{600000} = 3,79 \text{ Kč} \quad (28)$$

Celkové náklady na výrobu celé série činní 2 274 124 Kč, přičemž náklady na výrobu jednoho kusu činní 3,79 Kč.

ZÁVĚR

Úkolem této diplomové práce bylo navrhnout výrobu zátky z plastu technologií vstřikování do forem. Pro tento výrobek jsem použil materiál PA66-GF15 od firmy BASF, který má výrobní označení Ultramid A3WG3.

Při konstrukci formy jsem vycházel ze zpracovatelských parametrů plastu a předpokládaných výrobních podmínek. Pro technologii vstřikování plastů do forem byla navržena čtyřnásobná vstřikovací forma s horkou vtokovou soustavou, která je pro zadaný plastový dílec nejvhodnější. Forma se skládá z dílů, které nabízí firma Meusburger, Synventive a Hasco.

Dále je v této práci zvolen vstřikovací stroj od firmy Arburg, který nejvíce vyhovuje požadavkům pro zpracování plastového dílce. Jedná se o vstřikovací stroj Allrounder 420C 1300 – 800.

Výroba plastového dílce je na závěr podložena technicko-ekonomickým zhodnocením.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] ČERNÁ, B. - GREGOR, R.: Úvod do technologie plastů. Brno, 1987
- [2] DLUHOŠ, J.: Materiály a technologie. *Plasty a vybrané nekovové materiály*. Praha, 1998. ISBN 80-7042-131-2
- [3] <http://www.arburg.com/com/CZ/cs/index.jsp>
- [4] <http://www.gapis.cz/zobrazit.php?zobraz=kprobl/fakt336>
- [5] <http://www.industry-eu.cz/novinky/9421.pdf>
- [6] http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/obsah_plasty.htm
- [7] <http://www.synventive.com>
- [8] KOLAŘIKOVÁ, J. - LENCOVÁ, H.: Polotovary a výrobky z plastických hmot. Praha, 1991. ISBN 80-7032-205-5
- [9] Kolektiv autorů: Stroje pro zpracování plastů ČSVTS. Brno, 1990. ISBN 80-02-00443-4
- [10] Kolektiv autorů: Využití technologie vstřikování plastů ve strojírenství ČSVTS. České Budějovice, 1988. ISBN 18-25.03-60-629-88
- [11] KOLOUCH, J.: Strojní součásti z plastů SNTL. Praha, 1981. ISBN 04-234-81
- [12] KOLOUCH, J.: Strojírenské výrobky z plastů vyráběné vstřikováním SNTL. Praha, 1986. ISBN 04-247-86
- [13] ŘEHULKA, Z.: Konstrukce výlisků a forem pro zpracování plastů. Brno, 2008. ISBN 978-80-86604-36-7

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

Zkratka/Symbol	Jednotka	Popis
A_{proj}	$[cm^2]$	Plocha průmětu tvarové dutiny do dělicí roviny formy
α_{eff}	$[mm^2 / s]$	Měrná teplotní vodivost
C_m	[Kč]	Cena materiálu
C_e	[Kč/kW]	Cena elektrické energie
C_v	$[cm^3]$	Vstřikovací kapacita vstřikovacího stroje
C_p	[kg/hod]	Plastikační kapacita vstřikovacího stroje
D_s	[mm]	Průměr šneku vstřikovacího stroje
F_p	[kN]	Uzavírací síla vstřikovacího stroje
f_c	[mm]	Celková dráha toku taveniny
K	[-]	Faktor využití času
K_f	[MPa/mm]	Faktor schopnosti tečení taveniny plastu
k	[-]	Koeficient opotřebení stroje
L_s	[mm]	Délka dráhy pohybu šneku
M	[kg]	Množství materiálu
m	[g]	Hmotnost plastového dílce
N	[ks]	Velikost výrobní série
N_c	[Kč]	Náklady za materiál pro celou sérii
N_{cs}	[Kč]	Náklady na provoz stroje pro celou sérii
N_d	[Kč/hod]	Hrubá mzda dělníka
N_f	[Kč]	Náklady na výrobu formy
N_i	[Kč]	Celkové náklady na výrobu celé série
N_m	[Kč]	Náklady za materiál na jeden výstřik
N_{vys}	[Kč]	Celkové náklady na jeden výstřik
n_T	[-]	Termínová násobnost formy
P_s	[kW]	Příkon stroje
p_d	[MPa]	Dotlak
p_f	[MPa]	Plnicí tlak minimální
p_v	[MPa]	Vstřikovací tlak doporučený
p_z	[MPa]	Zpětný tlak
S_v	$[mm^2]$	Plošný obsah plastového dílce
T_{celk}	[hod]	Čas potřebný k výrobě celé série
T_E	[°C]	Střední vyhazovací teplota
T_M	[°C]	Teplota taveniny
T_p	[hod]	Termín dodání
T_w	[°C]	Teplota formy
t_1	[s]	Doba uzavření formy
t_2	[s]	Doba přisunutí vstřikovací jednotky
t_3	[s]	Doba otevření formy a vyhození výstřiku
t_4	[s]	Prodleva

t_c	[s]	Celková doba jednoho vstřikovacího cyklu
t_k	[s]	Doba chlazení
t_v	[s]	Doba vstřikování
V_D	[cm^3]	Velikost dávky taveniny
V_v	[mm^3]	Objem plastového dílce
v	[m / s]	Max. obvodová rychlost šneku pro plastikaci taveniny
v_s	[cm^3 / s]	Vstřikovací rychlost
ρ	[g / cm^3]	Hustota použitého plastu

SEZNAM VÝKRESŮ

DP – 0 – 5060 – 00	Sestava vstřikovací formy
DP – 1 – 5060 – 01	Výrobní výkres vložky tvárníku
DP – 2 – 5060 – 02	Výrobní výkres vložky tvárnice
DP – 4 – 5060 – 03	Výkres součástky

SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha 1 Materiálový list
Příloha 2 Vstřikovací stroj Allrounder 420C 1300 – 800
Příloha 3 Vstřikovací systém s kluznými tryskami

Příloha 1

Ultramid® A3WG3



Typical values at 23°C ¹⁾	Test method ²⁾	Unit	Values ³⁾
Properties			
Polymer abbreviation	-	-	PA66-GF15
Density	ISO 1183	kg/m ³	1230
Viscosity number (0.5% in 96 % H ₂ SO ₄)	ISO 307, 1157, 1628	cm ³ /g	145
Moisture absorption, equilibrium 23°C/50% r.h.	similar to ISO 62	%	1.9 - 2.5
Water absorption, saturation in water at 23°C	similar to ISO 62	%	6.7 - 7.3
Processing			
Melting point	ISO 11357-1/-3	°C	260
Melt volume-flow rate MVR	ISO 1133	cm ³ /10min	60
Temperature	ISO 1133	°C	275
Load	ISO 1133	kg	5
Melt temperature, Injection moulding/extrusion	-	°C	280 - 300
Mould temperature, Injection moulding	-	°C	80 - 90
Moulding shrinkage, constrained ⁴⁾	-	%	0.75
Flammability			
UL 94 rating at 1,6 mm thickness	UL 94	class	HB
Automotive materials (Thickness >= 1mm)	-	-	+
Mechanical properties			
			dry / cond.
Tensile modulus	ISO 527-1/-2	MPa	6000 / 4500
Stress at break	ISO 527-1/-2	MPa	130 / 85
Strain at break	ISO 527-1/-2	%	3 / 10
Tensile creep modulus, 1000 h, strain <= 0.5%, 23°C	ISO 899-1	MPa	* / 2600
Flexural modulus	ISO 178	MPa	5500 / 4000
Flexural strength	ISO 178	MPa	200 / 125
Charpy unnotched impact strength (23°C)	ISO 179/1eU	kJ/m ²	45 / 70
Charpy unnotched impact strength (-30°C)	ISO 179/1eU	kJ/m ²	43 / -
Charpy notched impact strength (23°C)	ISO 179/1eA	kJ/m ²	8 / 11
Charpy notched impact strength (-30°C)	ISO 179/1eA	kJ/m ²	7 / -
Izod notched impact strength 1A (23°C)	ISO 180/1A	kJ/m ²	5.5 / 6.5
Thermal properties			
HDT A (1.80 MPa)	ISO 75-1/-2	°C	240
HDT B (0.45 MPa)	ISO 75-1/-2	°C	250
Max. service temperature (short cycle operation) ⁶⁾	-	°C	240
Temperature Index at 50% loss of tensile strength after 5000 h	IEC 216	°C	175
Temperature Index at 50% loss of tensile strength after 20000 h	IEC 216	°C	145
Coefficient of linear thermal expansion, longitudinal (23-80)°C	ISO 11359-1/-2	E-4/°C	0.3 - 0.35
Coefficient of linear thermal expansion, transverse (23-80)°C	ISO 11359-1/-2	E-4/°C	0.7 - 0.8
Thermal conductivity	DIN 52612-1	W/(m K)	0.33
Specific heat capacity	-	J/(kg K)	1800
Electrical properties			
			dry / cond.
Relative permittivity (1 MHz)	IEC 60250	-	3.5 / 5.5
Dissipation factor (1 MHz)	IEC 60250	E-4	140 / 3000
Volume resistivity	IEC 60093	Ohm*m	1E13 / 1E10
Surface resistivity	IEC 60093	Ohm	* / 1E10
Comparative tracking index, CTI, test liquid A	IEC 60112	-	450

Příloha 2



Typ stroje		420 C	420 C	420 C
Mezinárodní velikost stroje dle EUROMAP ¹⁾		1000-350	1300-350	1300-800
Uzavírací jednotka				
Uzavírací síla	max. kN	1000	1300	1300
Otevření	max. mm	500	500	500
Výška formy	min. mm	250	250	250
Světlost mezi upínacími deskami	max. mm	750	750	750
Vzdálenost mezi vodícími sloupky ⁶⁾	mm	420 x 420	420 x 420	420 x 420
Velikost upínací desky (hor. x vert.)	mm	570 x 570	605 x 605	605 x 605
Vyhazovací síla	max. kN	40	40	40
Zdvih vyhazovače	max. mm	175	175	175
Hydraulika, pohon, všeobecně				
Výkon čerpadla	kW	22	22	30
Doba cyklu nasucho při otevření ²⁾	s- mm	2,0 (1,6)-294	2,0 (1,9)-329	2,0 (1,9)-329
Celkový příkon stroje ²⁾	kW	33,9	33,9	46,3
Vstříkovací jednotka				
Průměr šneku	mm	35 / 40 / 45	35 / 40 / 45	45 / 50 / 55
Poměr šneku	L/D	23 / 20 / 18	23 / 20 / 18	22 / 20 / 18
Objem dávky	max. cm ³	139 / 182 / 230	139 / 182 / 230	318 / 392 / 474
Hmotnost vstříkovací dávky	max. g PS	127 / 166 / 210	127 / 166 / 210	291 / 359 / 434
Kapacita zpracování materiálu ⁷⁾	max. kg/h PS	25 / 29 / 35	25 / 29 / 35	46 / 53 / 59
	max. kg/h PA 6.6	12,5 / 15 / 17,5	12,5 / 15 / 17,5	23 / 27 / 30
Vstříkovací tlak ⁴⁾⁵⁾	max. bar	2500 / 2120 / 1670	2500 / 2120 / 1670	2470 / 2000 / 1650
Vstříkovací rychlost (objemová) ⁴⁾⁵⁾	max. cm ³ /s	128 / 168 / 212	128 / 168 / 212	174 / 214 / 260
Vstříkovací rychlost (objemová) s akumulací	max. cm ³ /s	492 / 642 / 814	492 / 642 / 814	530 / 656 / 792
Krouticí moment šneku	max. Nm	480 / 550 / 610	480 / 550 / 610	880 / 880 / 880
Přítlačná síla trysky	max. kN	60	60	70

