

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STROJNÍ
ÚSTAV PROCESNÍ A ZPRACOVATELSKÉ
TECHNIKY

ZAŘÍZENÍ NA ZPRACOVÁNÍ PLASTŮ
BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2016

David Ježek

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Praze dne

.....

Jméno a Příjmení

Obsah

Obsah.....	6
Úvod	7
1 Co je to plast?	8
1.1 Skladba plastů	8
1.2 Vlastnosti plastů	8
1.3 Dělení plastů	9
1.3.1 Termoplasty.....	9
1.3.2 Reaktoplasty	9
1.3.3 Elastomery	10
1.4 Výroba plastů	11
2 Technologie zpracování plastů	11
2.1 Lisování.....	11
2.2 Vstřikování	13
2.3 Vytlačování	14
2.4 Vyfukování.....	15
2.4.1 Vytlačovací vyfukování	15
2.4.2 Vstřikovací vyfukování	16
2.5 Válcování.....	17
3 Zařízení technologie vstřikování	18
3.1 Vstřikovací stroj s pístovým mechanismem	19
3.2 Vstřikovací stroj se šnekovým mechanismem	20
3.2.1.1 Tryska	21
3.2.2 Plastikační a vstřikovací jednotka	24
3.2.2.1 Násypka	24
3.2.2.2 Tavicí komora	24
3.2.2.3 Šnek vstřikovacího stroje	25
3.2.2.4 Špička šneku a zpětná uzávěra	28
3.2.3 Forma	28
3.2.4 Uzavírací jednotka	30
3.2.4.1 Kloubový uzavírací mechanismus	31
3.2.4.2 Hydraulický uzavírací mechanismus.....	32
3.2.4.3 Vodící tyče	34
3.2.4.4 Upínací desky	34
3.2.4.5 Vyhazovací systém.....	35
3.3 Pohon vstřikovacího stroje	36
3.3.1 Elektromechanické pohony	36
3.3.2 Elektrohydraulické pohony	37
4 Postup dimenzování vodících tyčí uzavírací jednotky	37
5 Vstřikolis Arburg 270 S - 400	39
Závěr	40
Použité zdroje a literatura	41

Úvod

Na úvod bych se chtěl zmínit, proč jsem vybral toto téma své bakalářské práce. Jelikož studuji na fakultě strojní ČVUT v Praze, kde mě v jednom z předmětů zaujal Ústav procesní a zpracovatelské techniky, poohlížel jsem se po tématech na tomto ústavu. Z nabízených témat ústavem mě zaujalo právě téma týkající se plastů. Při promýšlení tématu a prostudování dostupné literatury jsem si uvědomil, že plasty jsou v dnešní době velmi progresivní materiál používaný téměř ve všech odvětvích průmyslu. Rozhodl jsem se tedy, že bych se rád domluvil na zhotovení práce týkající se strojů na výrobu výrobků z plastů, protože mě toto odvětví velmi zaujalo. Po dohodě s panem profesorem Jiroutem jsem mohl dát práci finální podobu, jakou můžete nyní vidět.

Poděkování

Chtěl bych poděkovat panu profesoru Tomáši Jiroutovi, jelikož mi pomohl upřesnit věci týkající se této práce, a také mi pomáhal s její formou. Dále panu docentu Janu Skočilasovi, který mi ukázal a popsal celý vstřikovací stroj a jeho proces.

1 Co je to plast?

Budeme-li se zabírat problematikou zpracování plastů, je dobré si nejdříve povědět, o jaký materiál se jedná. Je to materiál, který se skládá z vláknitých makromolekul. Ty jsou tvořeny určitými molekulami, které se neustále opakují a tvoří tak velké řetězce. Každý plast má opakující se molekulu jinou. Těmto molekulám se také říká monomery a polymerací nebo polykondenzací vznikne polymer neboli dlouhý řetězec monomerů.

1.1 Skladba plastů

Tento materiál se dá obecně rozdělit do tří složek, ze kterých je složen a těmi jsou pojivo, plnivo a přísada. Pojivem se rozumí makromolekulární složka, která předurčuje typické vlastnosti daného plastu. Plniva mají různé funkce. Upravují vlastnosti podle požadavků, někdy ale i zastupují část pojiva a snižují tak cenu. Přísady zlepšují určité vlastnosti. Typickou přísadou jsou stabilizátory proti rozkladu teplem a světlem. Dále se používají jako změkčovadla. Do skupiny přísad patří i barviva, kterými se plasty barví podle požadavků zákazníka.

1.2 Vlastnosti plastů

Polymerní struktura dává tomuto materiálu jeho velmi významnou vlastnost, a tou je plasticita. Ta předurčuje, jakým způsobem se plasty zpracovávají a jaké je jejich použití. Ostatně sám obecný název pro tento typ materiálu je z této vlastnosti odvozen. Mezi hlavní prvky, ze kterých se plast skládá, řadíme uhlík, vodík, kyslík, dusík, chlor, síra a křemík. Způsobem výroby a kombinací těchto prvků lze dosáhnout velkého množství druhů plastů o rozdílných vlastnostech.

Vlastnosti plastů se dají zobecnit pro téměř všechny druhy plastů. V literatuře bývají rozdělovány na výhodné a nevýhodné, což pro různé aplikace nemusí platit vždy. Jinak řečeno, co je pro někoho výhodné, nemusí být výhodné pro druhé. Nicméně z obecného hlediska mezi výhodné vlastnosti řadíme malou hustotu, která zaručuje nízkou hmotnost výrobků, chemickou odolnost a odolnost proti korozi umožňující použití k výrobě jakýchkoliv nádob pro různé kapaliny a chemikálie. Nesmíme zapomenout na již zmiňovanou plasticitu těchto materiálů. Tyto materiály jsou velice pružné a houževnaté, což je dělá téměř nerozbitnými. Dále jsou zde vlastnosti, které předurčují použití plastů jako izolanty. Těmi jsou stálost vůči vodě, která umožňuje použití pro izolaci staveb před vodou, nízká tepelná vodivost proti únikům tepla například z domů, nízká zvuková vodivost pro ochranu před hlukem. Další velmi využívanou vlastností je, že nevedou elektrický proud, čehož se využívá v elektroinstalacích.

Pro každého zpracovatele plastů je také výhodné, že se plasty snadno opracovávají, a to ať už obráběním nebo tvarováním. Jen se musí brát ohled

na nízkou tepelnou vodivost, která zapříčiní vysokou koncentraci tepla v místě obrábění a následné natavení daného místa.

Mezi ty nevýhodné vlastnosti patří malá tepelná stálost, která může činit problémy, jak při zpracování, tak při použití. Dalšími takovými vlastnostmi jsou velká tepelná roztažnost a měkký povrch, na které se musí brát zřetel při údržbě výrobků. Hořlavost je další negativní jev těchto materiálů a v neposlední řadě také nízká odolnost vůči ultrafialovému záření. To způsobuje nižší životnost ve venkovních podmínkách.

1.3 Dělení plastů

V dnešní době existuje několik kritérií, podle kterých můžeme plasty rozčlenit. Například podle chemického složení, podle chemické reakce, kterou vznikly, nebo používanou výchozí surovinou. Kritérium, které je v praxi nyní asi nejvíce používané, je dělení plastů podle jejich chování za zvýšené teploty. Takto dělené plasty se rozdělí do tří skupin, a těmi jsou termoplasty, reaktoplasty a elastomery, které si dále popíšeme.

1.3.1 Termoplasty

Je skupina plastů, které se dostávají se zvyšující se teplotou postupně do oblasti, ve které měknou, čili překročí hranici teploty měknutí. Tyto teploty bývají od 40 °C do 80 °C podle druhu plastu. Při dalším zahřívání se dostanou do oblasti, ve které přechází do kapalného skupenství a překročí tzv. teplotu tání. Teplota tání pro plasty bývá okolo 250 °C opět v závislosti na druhu plastu. Dají se tedy nazvat, že jsou to plasty teplem tavitelné. Pozastavíme-li se nad zmíněnými teplotami, tak si musíme uvědomit, že teploty měknutí jsou poměrně nízké. Některé jsou dokonce dosahovány v horkých letních měsících nebo se jim alespoň blíží. V těchto teplotách termoplasty mění své mechanické vlastnosti a je tedy dobré si uvědomit, že výrobky z těchto materiálů se takto chovají. Do skupiny termoplastů řadíme polyethylen značený značkou PE, dále polypropylen (PP), polystyren (PS), polyvinylchlorid (PVC), polyethylentereftalát (PET) a další. Nicméně těchto 5 druhů zmíněných plastů zaujímá někde okolo 75 % z celkového objemu výroby plastů, z čehož lze usoudit, že tyto plasty jsou nejpoužívanější.

1.3.2 Reaktoplasty

Dříve nazývané jako termosety nebo duroplasty. Jelikož pro pochopení vlastností reaktoplastů je dobré znát způsob výroby výrobků, tak si ho nejprve objasníme. Výrobky z tohoto materiálu se vyrábí tak, že ke zpracovateli se dostane látka ve formě kapaliny a tvrdidlo. Po smíchání těchto složek a jejich zahřátím, například metodou lití směsi do forem, dojde k vytvoření výrobku. Tento proces se nazývá vytvrzování. Spočívá v tom, že zahřátím dojde k zesílení makromolekul do trojrozměrné sítě, a tím k dosažení pevného výrobku. Výrobek při zahřívání nejprve zprvu měkne, ale hned vzápětí znovu dochází k vytvrzování, čili k dalšímu zesílení, a nelze ho tedy dostat znovu do

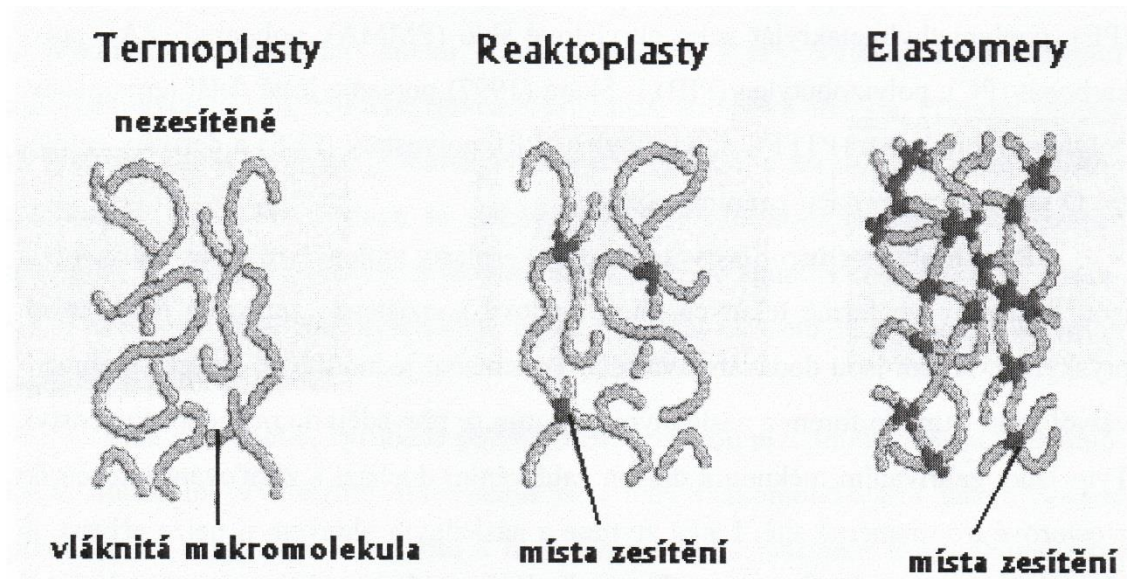
plastického stavu. Proto se těmto plastům říká také plasty teplem vytvrditelné. Reaktoplasty se dají dále dělit na podskupiny a těmi jsou:

- **Fenoplasty**
 - Vyrábí se polykondenzací fenolu s aldehydy
 - Nejčastější fenoplast vzniká polykondenzací fenolu a formaldehydu a jeho název je fenol-formaldehydová pryskyřice (PF)
- **Aminoplasty**
 - Vyrábí se kondenzací látek obsahující aminoskupiny (-NH₂) s aldehydy, nejčastěji s formaldehydem
 - Obvyklými zástupci jsou močovinoformaldehydové (UF) a melanin-formaldehydové (MF) pryskyřice
- **Epoxidy**
 - Jinak řečeno epoxidová pryskyřice (EP)
 - Vyrábí se polyadicí acetyleny a fenolu, zhotovených z uhlí, vápna a vzduchu
- **Polyestery**
 - Nejčastější zástupce je polyesterová pryskyřice (UP)
 - Vyrábí se polymerací nenasyceného polyesteru nejčastěji se styrenem, mohou se přidat i tvrdidla
 - Pro urychlení jinak pomalého vytvrzení se přidává tvrdidlo, které urychlí vytvrzení při normálních teplotách
- **Polyuretany**
 - Jinak řečeno polyuretanové pryskyřice (PUR)
 - Vyrábí se reakcí vícefunkčních izokyanátů s polyalkoholy za vzniku uretanu
 - Jelikož izokyanáty velmi snadno reagují se vším, kde je aktivní vodík, je při výrobě hlavní reakce doprovázena řadou vedlejších reakcí a některých se využívá
 - Různou kombinací a přidáním aditiv lze značně v této reakci ovlivnit výsledek, a to až na úroveň, kdy můžeme dostat termoplast, reaktoplast i elastomer

1.3.3 Elastomery

Někdy jsou označovány jako kaučuky nebo pryže. Tyto materiály jsou plastem, který má elastické vlastnosti. Po zatížení mění svůj tvar. Některé dosahují 500 % poměrné deformace, což odpovídá, například při natahování nějaké hadice, pětinasobnému prodloužení. Dokonce některé elastomery mají poměrnou deformaci i vyšší a po odlehčení zatížení se vracejí do původního tvaru. Jejich další charakteristickou vlastností je, že v určité oblasti teplot zůstávají stejně elastické. Z toho plyne, že i při zahřívání v dané oblasti jsou stejně elastické, což oproti termoplastům, jakožto nejvíce zastoupenou skupinou plastů v celkové produkci plastů, je rozdíl. Termoplasty od určité teploty čím dál tím více měknou a mění se jejich mechanické vlastnosti. Uvedme si například rozmezí teplot se stejnou elasticitou silikonového kaučuku. Ten je stejně elastický od -60 °C do +250 °C. Dalšími typickými zástupci jsou butylkaučuk (IIR), polysulfidový kaučuk (SR) a polyuretanový

kaučuk (PUR). Při zahřívání do vyšších teplot dochází k chemické reakci zvané vulkanizace, která zapříčiní zesítnění makromolekul, tak jako u reaktoplastů při vytvrzování. Vulkanizací se vyrábí pryž.



Obr. 1 Tvary a zesítnění makromolekul jednotlivých druhů plastů [2]

1.4 Výroba plastů

Výroba takového materiálu je vychází buďto z přírodních látek, nebo se vytvoří uměle tzv. synteticky. Dnes se plasty vyrábí především synteticky. Základní prvek pro výrobu tohoto materiálu je monomer. Z toho chemickou přeměnou, zvanou polyreakce, vznikne polymer, což je řetězec spojených monomerů. Přidáním potřebných přísad a smícháním s nimi, pak vznikne plast například ve formě granulí. Existuje několik polyreakčních reakcí. Jsou jimi polymerace, polykondenzace a polyadice. Pro přírodní plasty bývá výchozí látka například přírodní kaučuk, celulóza nebo kasein, ale i další. Surovinou pro syntetické plasty je pak většinou ropa, zemní plyn nebo uhlí.

2 Technologie zpracování plastů

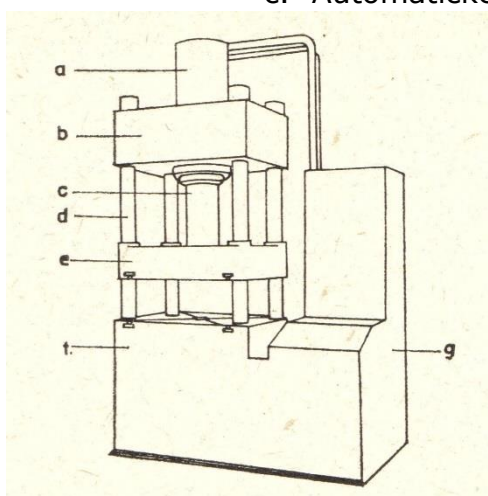
V dnešní době existuje několik způsobů, jak se plast dá zpracovávat. Pokud se nyní nezaměříme na velkopřmyslovou výrobu, kterou se dále budeme zabývat, tak různé polotovary vycházející právě z velkovýroben se opracovávají například svařováním, obráběním, ohýbáním obecně tvarováním a lepením.

2.1 Lisování

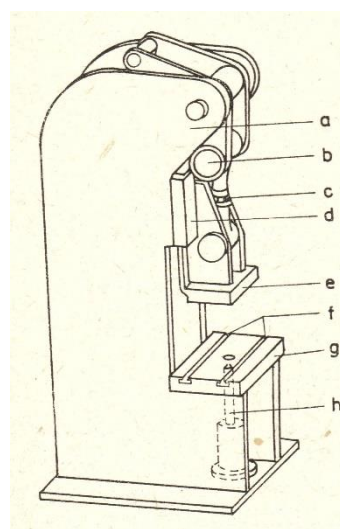
Je to jedna z nejstarších technologií zpracování plastů. Používaný stroj pro tuto technologii je lis. Mezi beran lisu a nepohyblivý stůl se vloží forma. Do formy je vložena lisovaná hmota, která se za zvýšených teplot a tlaků roztaví. Beranem, který působí lisovací silou, se hmota ve formě rozleze do dutin. Forma se nechá zchladnout a poté se vyndá výlisek, který je podle nutnosti a potřeby opracován.

Lisy dělíme

1. Podle konstrukce na
 - a. Stojanové lisy (přístupný ze tří stran)
 - b. Sloupové nebo rámové lisy s uzavřeným stojanem (přístupný zepředu nebo zezadu)
2. Podle způsobu vyvolané síly
 - a. Mechanické lisy
 - b. Hydraulické lisy
3. Podle způsobu provozu
 - a. Mechanické
 - b. Poloautomatické
 - c. Automatické

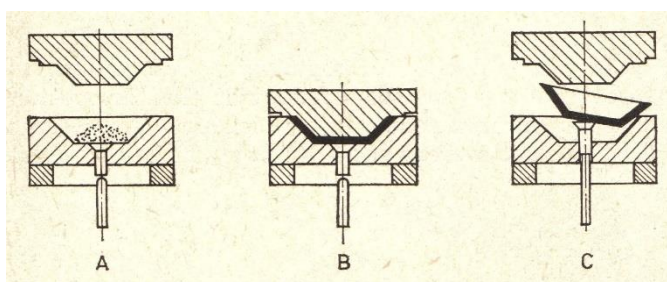


Obr. 2 Sloupový lis: a - hlavní pracovní válec, c - uzavírací píst, d - sloupy, e - beran, f - nepohyblivý stůl, g - skříň, v níž jsou umístěny prvky ovládání lisu a hydraulické čerpadlo [1]



Obr. 3 Stojanový lis: a - stojan, b - kloubový uzávěr, c - stavění výšky beranu, d - vedení beranu, e - beran (pohyblivý stůl), f - upínací drážky, g - nepohyblivý stůl, h - hydraulický vyhazovací píst [1]

Lisováním se zpracovávají především reaktoplasty. Mezi výrobky lisování můžeme zařadit různé misky, kryty elektrických přístrojů apod. Technologií lisování se také vyrábí tzv. umakartové desky. Jejich vznik začíná u papírových pásů napuštěných pryskyřicemi. Poté se tyto pásy vloží do vyhřívaného etážového lisu, kde se tyto pásy slisují v homogenní desku. Existují ale také takzvané rotační lisy, ve kterých se lisují pásy z termoplastů. Slouží tedy ke kontinuálnímu lisování, například podlahových krytin z PVC.



Obr. 4 Princip lisování: A) plnění formy, B) lisování, C) vyjímání vylisku z formy [1]

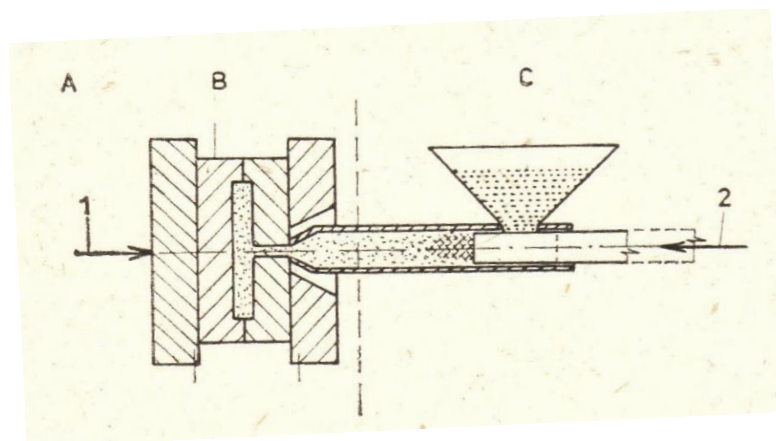
2.2 Vstřikování

Na rozdíl od zpracování plastů lisováním, je technologie vstřikování velmi používanou metodou zpracování plastů. Má hned několik výhod. Roztavený granulát se vstříknutím do formy promění v jedné operaci v hotový výrobek. Je-li dobře navržena forma, nemusí se výrobek ani opracovávat. Z toho co jsem zde uvedl, je patrné, že je to velice rychlá metoda. Navíc dá se poměrně snadno automatizovat, tudíž efektivita výroby je velmi vysoká. Další výhodou je, že vtokové zbytky, jedná-li se o termoplast, se dají rozemlít zpátky na granule a znovu použít. Netvoří se tak téměř žádný odpadní materiál.

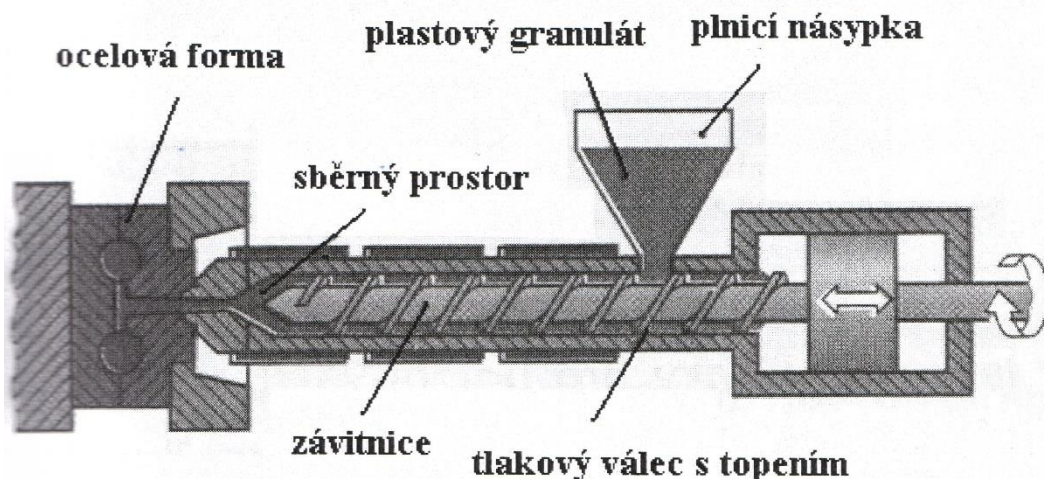
Princip vstřikování spočívá v tom, že plast, většinou ve formě granulí, se přivede do tavící komory, kde je roztaven. Dále je hmota dopravována buďto pístem nebo šnekovým mechanismem tavícím válcem až do trysky. Tryska vyústí až ve formě a po zchladnutí vstříknuté hmoty získáme hotový výrobek.

Typy vstřikovacích strojů:

- a) Vstřikovací stroj s pístovým mechanismem
- b) Vstřikovací stroj se šnekovým mechanismem



Obr. 5 Vstřikovací stroj s pístovým mechanismem [1]



Obr. 6 Vstřikovací stroj se šnekovým mechanismem [2]

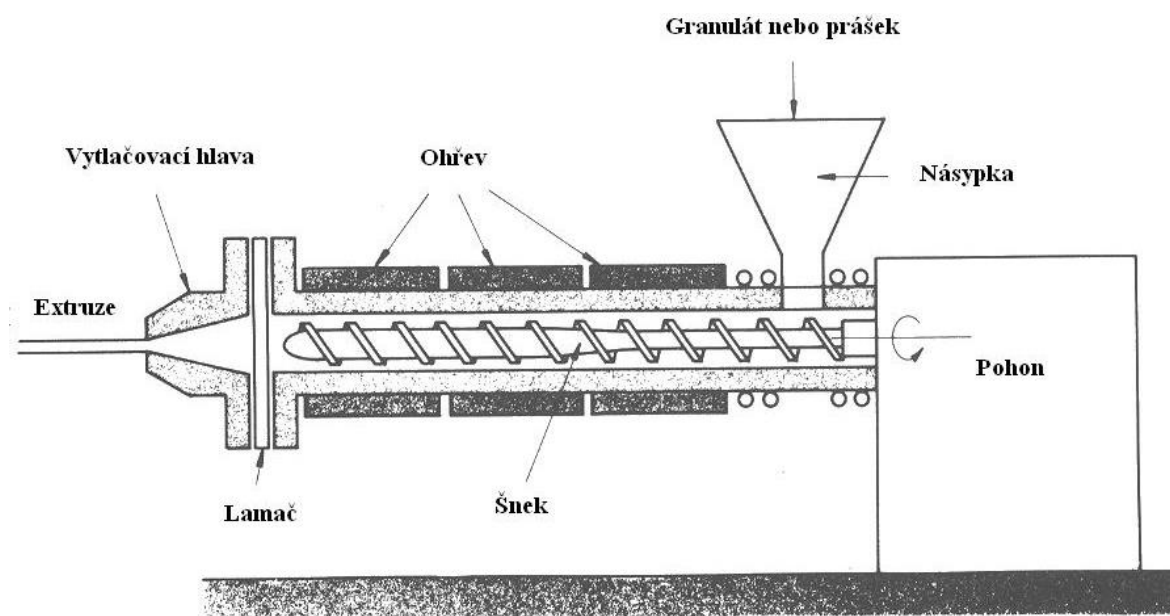
Touto technologií se zpracovávají téměř všechny plasty. Od termoplastů, termostatických elastomerů, polymerních směsí, kompozitů, reaktoplastů až po kaučuky a pryže. Vyrábí se tak jednak polotovary, ale i výrobky s konečnou podobou. Hmotnostně se výrobky pohybují už od desetiny gramu po hmotnosti i několika kilogramů. Technologie je to velmi komplexní a může se zdát vůbec ta nejlepší. I možná proto má tak velké zastoupení při výrobě plastových výrobků. Nicméně její obrovskou nevýhodou je velká pořizovací cena.

2.3 Vytlačování

Technologie zpracování plastů metodou vytlačování a metodou vstřikování jsou, co do skladby strojů, velmi podobné. Vždy se objevuje plnicí komora, kde je granulát nebo třeba prášek nataven a dále dopravován mnohdy podobnými nebo stejnými mechanismy. Rozdíl u vytlačování je ten, že natavená hmota je vytlačována hlavou stroje o požadovaném tvaru průřezu ven do prostoru a je tak získáván tyčovitý výrobek, který má profil podle tvaru vytlačovací hlavy umístěné na konci stroje. Hlava vytlačovacího stroje může být i plochá a vyrábět tak desky nebo fólie.

Typy vytlačovacích strojů:

- a) Pístové vytlačovací stroje
- b) Šnekové vytlačovací stroje
 - a. Jednošnekové
 - b. Dvoušnekové



Obr. 7 Šnekový vytlačovací stroj [9]

Komplexnost této technologie se rozpadá kvůli specifickým vlastnostem každého polymeru. Z toho důvodu se nedá navrhnout a vyrobit takový stroj, ve kterém by se daly vytlačovat všechny plasty. Vznikla tedy

velká řada vytlačovacích strojů, které mají různé typy šneků podle typu plastu, který se bude ve stroji zpracovávat. Z důvodu promíchání směsí jsou pak šneky různě upravovány. Jsou na nich speciální sekce, které mají za úkol zvýšit homogenitu taveniny.

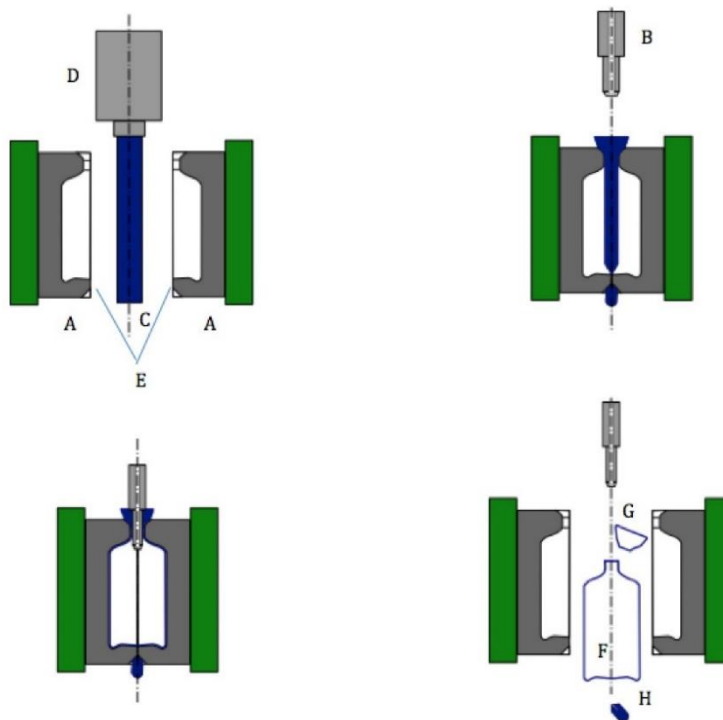
2.4 Vyfukování

Další technologií, která zpracovává plast je vyfukování. Princip této metody spočívá v tom, že plast je nějakým způsobem vyfouknut do formy, která má požadovaný tvar. Takto jsou vyráběny různé nádoby. Například láhve, konve, kanystry, barely apod. Metody takového zpracování jsou vytlačovací vyfukování a vstřikovací vyfukování.

Pro obě metody platí, že se téměř výhradně vyfukují pouze termoplasty, a to z toho důvodu, protože pouze termoplasty mají tu vlastnost, že se při zahřívání dostanou do visko-elastického stavu a dají se poté vyfouknutím vytvarovat přesně podle požadavků.

2.4.1 Vytlačovací vyfukování

Na začátku této technologie je šnekový vytlačovací stroj. Dá se tedy říct, že tato technologie plyně navazuje na technologii vytlačování, což si následně vysvětlíme. Polotovár tzv. parizon, který vylézá z vytlačovacího stroje, se sevře do formy. Jelikož je ještě v plastickém stavu, tak se dovnitř polotovaru zavede trn, který je dutý a touto trubičkou se do plastu přivede vzduch. Tlak přivedeného vzduchu následně vytvaruje plast podle tvaru formy.

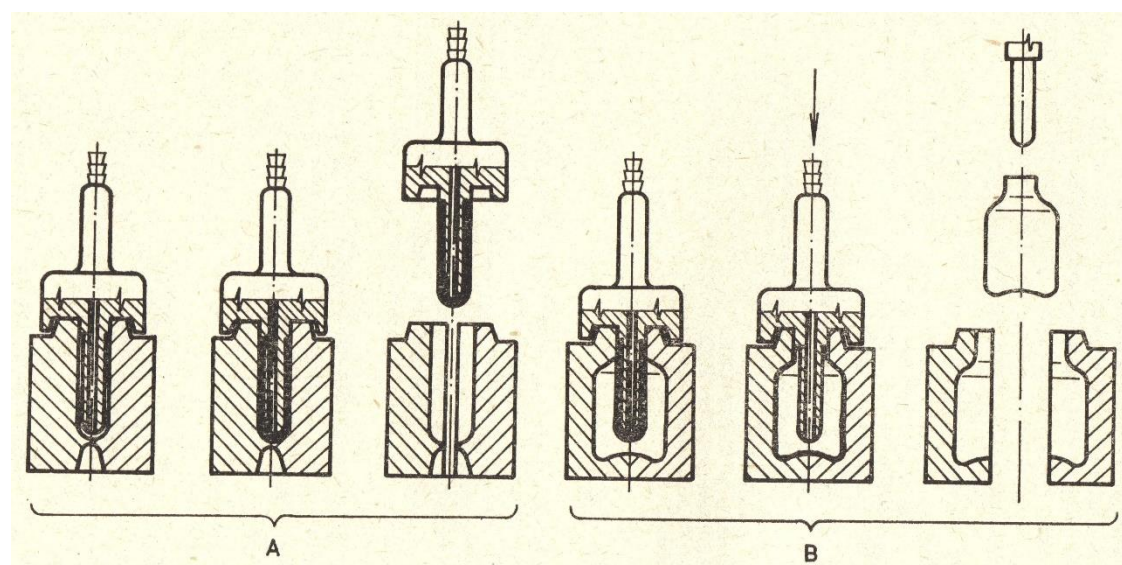


Obr. 8 Schéma vytlačovacího vyfukování: A - vyfukovací forma, B - kalibrační trn, C - parison, D - hadicová hlava, E - svařovací hrana, F - vyfouknutý díl, G - horní odstřížek, H - dolní odstřížek [4]

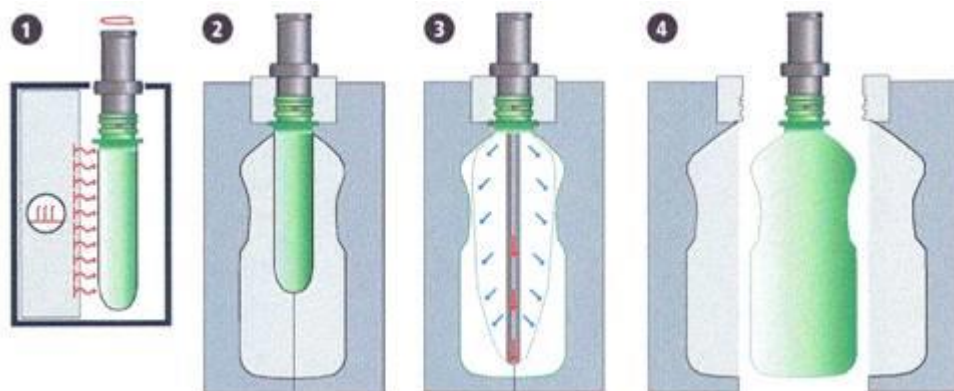
Mechanismy strojů používané na tuto technologii jsou řešeny různým způsobem. Každý způsob se snaží o kontinuálnost chodu a především nepřetržitou výrobu parizonu tak, aby se stroj maximálně využil. První způsob spočívá v tom, že forma je zvednuta k hlavě vytlačovacího stroje, kde sevře potřebný kus polotovaru. Ten je následně vyfouknut, jak jsme si již pověděli. Následně forma sjíždí dolů tak, aby vytlačovací stroj mohl vytvářet další polotovar. Jiné řešení je uspořádání forem do kolébky, kde se v jedné formě vyfukuje výrobek a v druhé formě výrobek chladne. Dalším způsobem, a nutno říci hojně používaným, je uspořádání forem na karusel. Karuselem je otáčeno a výrobek se zde vyrábí stejně jako v předchozích způsobech. Rozdílem je, že otáčením karuselu se získá čas na chlazení výrobku ve formě, čehož se ostatně chce dosáhnout v každém způsobu výroby tak, aby vytlačovací stroj byl maximálně využit a byla dosažena vyšší efektivita.

2.4.2 Vstřikovací vyfukování

Jiný způsob výroby plastových výrobků vyfukováním využívá technologii vstřikování. Operace probíhá tak, že vyfukovací trn je vložen do formy, do které je následně vstříknuta plastová hmota. Trn, na kterém je vystříknutý předlisek, se poté přesune do formy na vyfouknutí a výrobek se vyfoukne. Tento způsob výroby má výhodu v tom, že například hrdlo láhve se závit se vyrobí s daleko větší přesností. Další výhodou je, že formu na vstříknutí předlisku si můžeme vyrobit dle potřeby, tudíž s různou tloušťkou stěn tam, kde je to vhodné. Rozdílná tloušťka stěn předlisku zajistí, že po vyfouknutí nepravidelného tvaru výrobku dosáhneme pravidelné tloušťky stěn již hotového výrobku. Výroba výrobku může být na dvě fáze nebo i na jednu. Často se dělá, že se předlisek nejdříve vystříkne a až poté je vyfouknut. Některé firmy si předlisky i zpravidla kupují u jiných výrobců. U menších a středních sérií se vyrábí tak, že předlisek je nejdříve vystříknut a hned navazuje fáze vyfukování. U tohoto způsobu výroby je dobré a spořivé, že polotovar se nemusí znovu zahřívat do visko-elastické fáze, ale využije se přehřátí ve fázi vstřikování.



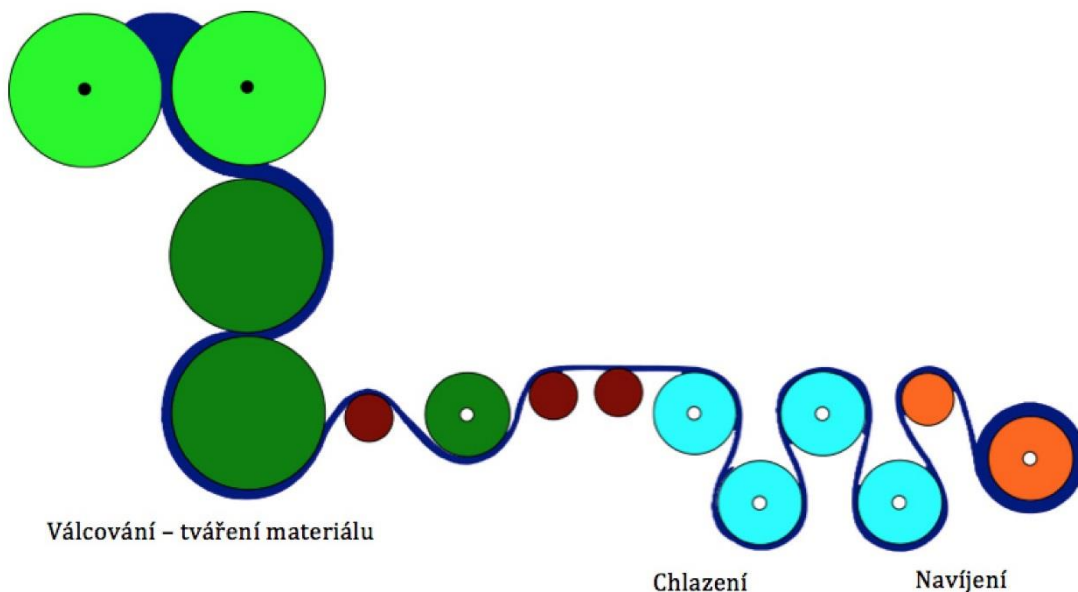
Obr. 9 Schéma vstřikovacího vyfukování: A - vstřikování polotovaru, B - vyfukování výrobku [1]



Obr. 10 Výroba plastové láhve vyfukováním [9]

2.5 Válcování

U válcování, jak už sám název napovídá, se k výrobě plastových výrobků využívá válců. Stroje na tento druh výroby mají celou soustavu válců. Stěžejní je dvouválec, který rozděluje hmotu. Mezi válci je přesně konstrukčně daná výška štěrbiny, kterou prochází požadovaná tloušťka hmoty. Díky přesnosti válců a štěrbiny mezi válci nedochází k tvorbě nesouměrné tloušťky rolíčky. Přesná výroba pak zapřičiňuje hromadění přebytečné hmoty před válci, což je ve svém důsledku kontinuální tloušťky stěny žádoucí. Další válce mají funkci míchání, ohřívání apod. Tím a nejenom tím, že válce musí být neustále ohřívány, tak jsou válcovací linky velmi investičně náročné. Ve zpracovatelském průmyslu plastů vůbec ty nejdražší. Mezi jejich výhody patří vysoká výkonnost a také poměrně rychlá změna používaného materiálu.



Obr. 11 Schéma výroby technologií válcování [4]

Materiály pro zpracování na válcovacích strojích jsou termoplasty, velmi často PVC a kaučuky. Tímto způsobem se vyrábí různé fólie, podlahoviny

a také se takto dají nanášet plasty na textil. U podlahovin z PVC bývá tloušťka role od 0,17 mm do 0,6 mm.

3 Zařízení technologie vstřikování

Princip vstřikování byl objeven v roce 1872. Jak jsme si již uvedli, tato technologie využívá převážně dva typy strojů, a to vstřikovací stroj s pístovým mechanismem a vstřikovací stroj se šnekovým mechanismem. Jelikož stroj s pístovým mechanismem byl na samém začátku této technologie, tak si nejdříve popíšeme tento typ stroje, a pak detailněji, dalo by se říci nástupce, stroj se šnekovým mechanismem.

Oba tyto stroje můžeme rozdělit do tří sekcí, ze kterých se stroj skládá. Jsou jimi plastikační a vstřikovací jednotka, uzavírací jednotka a forma. Plastikační a vstřikovací jednotka má za úkol nejprve natavit plast respektive granulát dodávaný násypkou a proměnit ho v ideálním případě na homogenní směs, a to jak po materiálové, tak i po teplotní stránce s dodržením požadované viskozity, kterou by materiál měl mít. Druhou funkcí této jednotky je doprava taveniny vysokou rychlostí a pod vysokým tlakem do dutiny uzavřené formy. Vstřikovací jednotka vyústí ve formě. Forma je dvoudílná dutá nádoba, která má dutinu. Tyto dva díly na sebe přesně pasují a vznikne mezi nimi tzv. dělící rovina. Jelikož forma musí vydržet velké tlaky, teplotní rozdíly a také v ideálním případě musí dát výrobku přesnou konečnou podobu, tak je velmi nákladná. Třetí oblastí stroje vyrábějícího technologii vstřikování je tzv. uzavírací jednotka. Jejím úkolem je uzavřít formu před vstřikováním a při vstřikování udržet formu zavřenou. Tzn. odolat silám, které jsou vyvolané tlakem taveniny na vnitřní stěny formy. Po dokončení vstřikování a zchladnutí vstříknuté taveniny se forma rozevře a výrobek je vyjmut. Tento děj se následně opakuje.

Vstřikovací stroje mají několik základních parametrů, dle kterých se hodnotí, a těmi jsou:

- **Maximální vstřikovaný objem výstřiku**
 - Je to maximální možný objem výstřiku stroje, který se udává v cm^3 . Vypočte se vynásobením čela šneku nebo pístu s jeho maximálním posunem.
- **Plastikační kapacita**
 - Je to množství plastu, které je stroj schopný převést do plastického stavu za jednu hodinu.
- **Vstřikovací síla a tlak**
 - Síla čela šneku či pístu, kterou je stroj schopen vyvolat na taveninu, čímž pádem v tavenině vzniká vstřikovací tlak.
- **Uzavírací síla**
 - Pro uzavření formy musíme vyvolat uzavírací sílu.
- **Přidržovací síla**
 - Je síla, která při vstřikování udržuje formu při sobě.

- **Rozměry**

- Pro zvolení stroje, na kterém chceme vyrábět požadovaný výrobek je důležité, jakou plochu mají upínací desky formy tak, abychom na ně mohli formu připevnit. Čím menší plochu desky mají, tím menší formu zde upneme a tím menší výrobek vyrobíme.

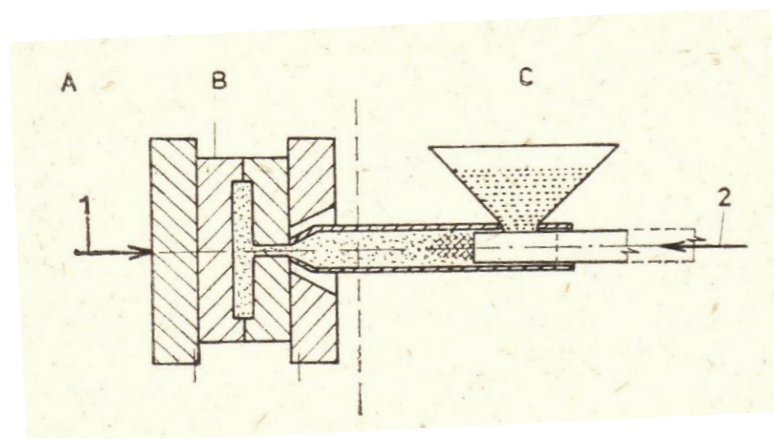
3.1 Vstřikovací stroj s pístovým mechanismem

Tento, dnes již málo využívaný stroj je vlastně prvním návrhem provedení technologie vstřikování. Pro jeho několik nevýhod, které si následně uvedeme, byl vyvinut stroj se šnekovým mechanismem, který se dnes využívá převážně.

Vstřikovací stroj rozdělíme do tří oblastí, jak jsme si uvedli výše. Nicméně jelikož forma, uzavírací jednotka a některé části vstřikovací jednotky je vlastně pro oba stroje stejná, tak si je uvedeme pouze u používanějšího šnekového stroje.

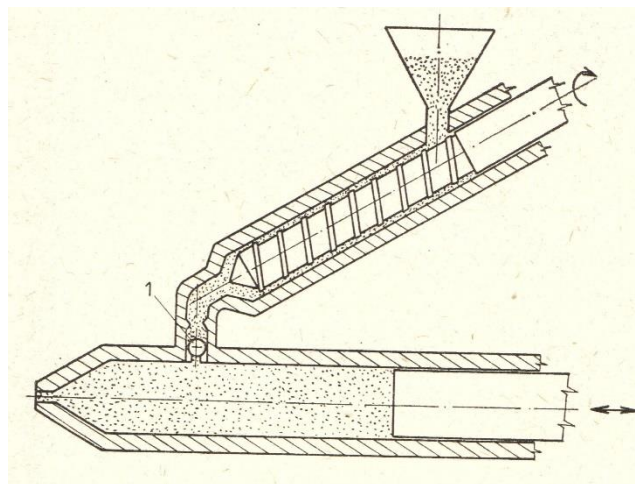
- **Plastikační a vstřikovací jednotka**

Tato část stroje je na obrázku 5 v oblasti C. Jak jsme si již uváděli, tak do této jednotky je přiváděn násypkou granulát polymeru. Před pístem z pohledu formy se nachází plastikační komora. Tato oblast stroje je zevnějšku obklopena odporovým topením, a tak je polymeru dodáváno teplo. Jelikož je proudění tepla v této komoře laminární, a také plasty mají malý přenos tepla, tak při tomto řešení stroje dochází k tomu, že se teplo obtížně dostává do středu taveniny. Z toho vyplývá, že výkonnost stroje roste se zvýšením poměru povrchu taveného plastu a jeho objemu. Díky tomuto závěru se vyvíjely stroje s žebrováním, nicméně i zde se narazilo, a to z toho důvodu, jelikož při vstřikování se zvýšením povrchu se zvýšil také hydraulický odpor a nastávaly velké ztráty. Nicméně jak první, tak druhé řešení stejně nedosáhlo homogenní taveniny. Ať už velké hydraulické ztráty nebo nehomogenní tavenina předurčila tento druh stroje pro výrobu výrobků do hmotnosti 50 g, pokud měl stroj pracovat ekonomicky.



Obr. 12 Vstřikovací stroj s pístovým mechanismem [1]

Jedním z řešení nehomogenity taveniny bylo, že se přidal samostatný vstřikovací válec, ve kterém se zplastizovaný polymer shromažďoval. Další vylepšení bylo dosaženo tak, že se přidalo předplastikační zařízení, viz obrázek 13, oddělené zpětným ventilem (1). Fungovalo pomocí šneku, tak jako u šnekového vstřikovacího stroje a zde byl asi původ myšlenky samostatného šnekového stroje. Tímto řešením se zvýšila jednak výkonnost stroje, ale byla zvýšena i kvalita výstřiků. Takto se také vstřikují reaktoplasty a strukturní pěny.



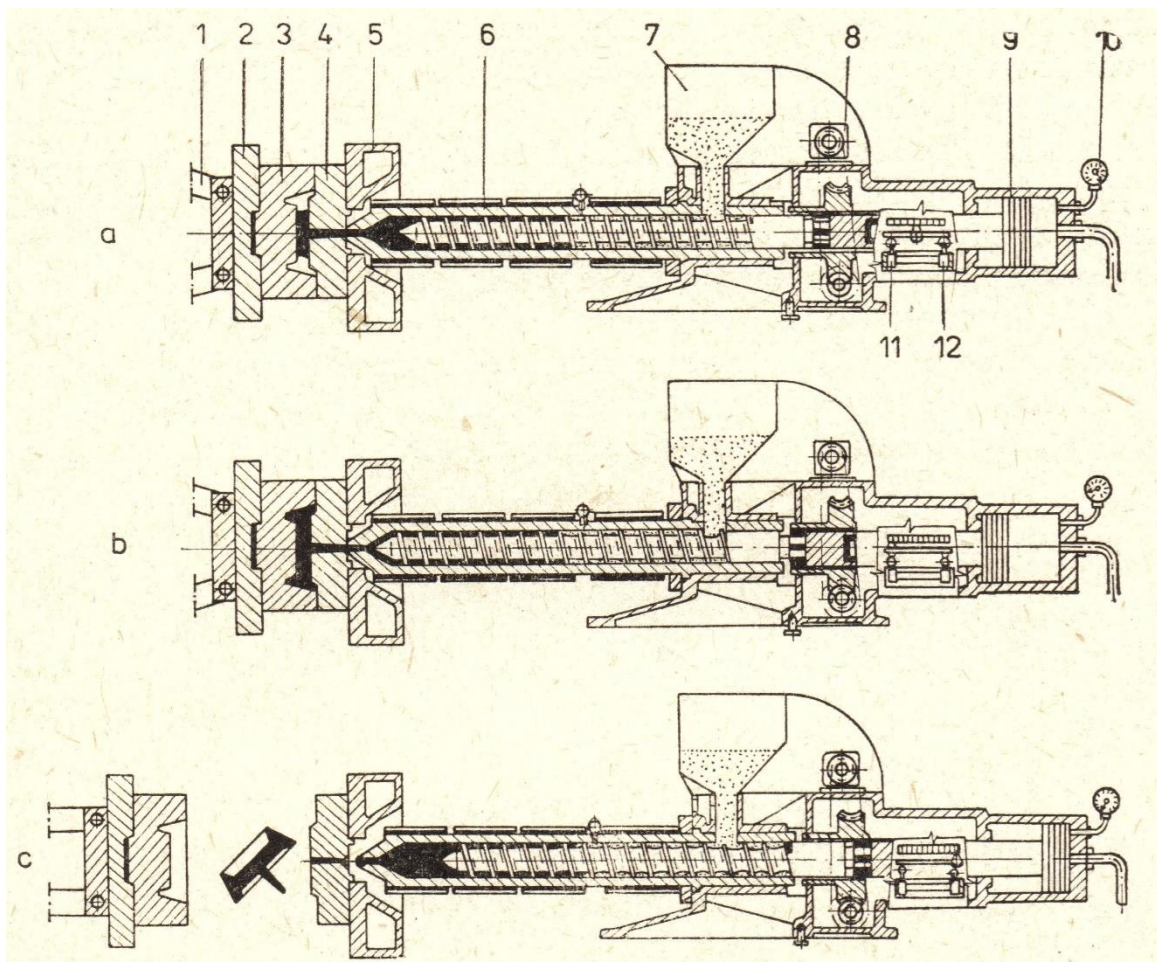
Obr. 13 Vstřikovací stroj s plastikačním šnekem a vstřikovacím pístem [1]

Setkáme-li se někdy v lisovnách se vstřikovacím strojem s pístovým mechanismem, tak to bude nejspíše v kombinaci právě se šnekem nebo jen zřídka v tom klasickém provedení.

3.2 Vstřikovací stroj se šnekovým mechanismem

Dalo by se říci nástupcem pístového stroje, i když ne zcela, se stal šnekový vstřikovací stroj. V devadesátých letech, kdy se vyvinul, se tak dosáhlo větší plastikační výkonnosti stroje a homogenity taveniny. Víceméně jenom nahrazením pístu za šnek. Ten nejenom taveninu promíchává, ale funguje i jako píst při vstřikování. Krom vyšší výkonnosti a lepší homogenity má tento způsob výroby hnedle několik dalších výhod. Dalšími výhodami jsou dosažení menšího smršťování výrobků, a to z toho důvodu, že výstřiky mají menší vnitřní pnutí, dále lepší tok taveniny, zpracování granulátů barvených za sucha a v neposlední řadě také dosažení většího vstřikovacího tlaku, jelikož v komoře se šnekem téměř vymizí třecí ztráty způsobené třením taveniny o stěny. Lepší tok taveniny ve stroji umožňuje výrobu i z termicky nestabilních polymerů např. PVC.

Všechny části šnekového vstřikovacího stroje, hovorově zvaného vstřikolisu, můžeme vidět na obrázku 14.

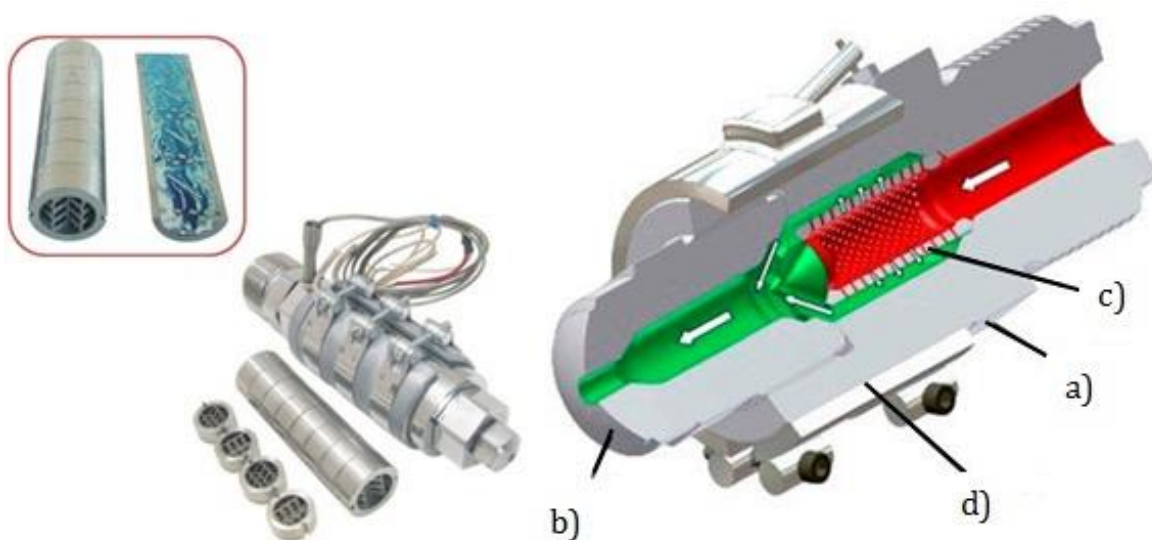


Obr. 14 Pracovní cyklus šnekového vstřikovacího stroje a) vstřikování, b) dotlačování, c) vyjmutí výstřiku z formy; 1 - uzavírací mechanismus, 2 - pohyblivá upínací deska, 3 - tvárnice, 4 - tvárník, 5 - nepohyblivá upínací deska s otvorem pro trysku, 6 - vstřikovací válec, 7 - násypka, 8 - hydraulický motor pro pohon šneku, 9 - hydraulický válec, 10 - barometr, 11 - koncový spínač dotlačování, 12 - koncový spínač zpětného posunu šneku [1]

3.2.1.1 Tryska

Dalším elementem vstřikolisu, jak se vstřikovacímu stroji hovorově říká, je tryska. Ta spojuje vstřikovací jednotku a formu tak, aby byly vzájemně vycentrované. Navržena by měla být tak, aby v ní nevznikaly tlakové ztráty nebo by jim měla alespoň zabránit na minimum. K vstřikovací jednotce bývá připevněna šrouby nebo klasickým závitem. Můžeme se ale setkat i s bajonetovým upevněním, ale to spíše na starších strojích. Zakončení trysky je obvykle kulaté, jak můžeme vidět na obrázku 21 nebo 20. Rádus tohoto kulového zakončení bývá nejčastěji 10, 15, 20 a 35 mm. Platí zásada, že rádus vtokové vložky musí být větší tak, aby tryska správně dosedla na vtokovou soustavu a vycentrovala se. Zakončení trysky může být i rovinné, a to hlavně při vstřikování na dělicí rovinu. Kdyby tryska měla kulové zakončení a vstřikovalo by se na dělicí rovinu, tak by tryska fungovala jako klín a rozevírala by formu. Proto je pro tuto metodu vstřikování zakončení trysky rovinné a vývod trysky se směrem k čelu rozšiřuje. Jelikož je tryska vystavována velkým tlakům, a to tlaku přitlačovací síly vstřikovací jednotky a tlaku taveniny, tak musí být vyrobena z velmi pevného materiálu. Obvykle v rozmezí pevnosti 1200 až 1400 MPa. Z toho důvodu by měla být konstruována tak, aby byla co nejkratší. Otvor v trysce bývá obvykle okolo 5

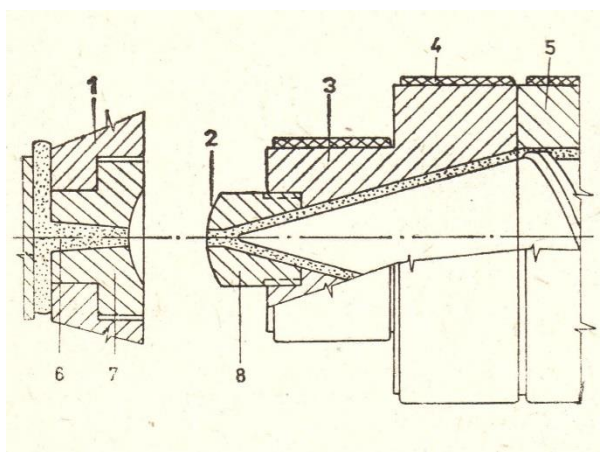
mm. U velkých strojů až 15 mm. Důležitým faktorem pro chod trysky potažmo celého vstřikovacího stroje je i její teplota. Proto má tryska svůj odporový topný element, který teplotu udržuje a čidlo zavedené v ideálním případě až do taveniny, které teplotu reguluje. Někdy má tryska i filtr, který zachycuje nečistoty a někdy také nerozemleté zbytky plastů, které ve vstřikovací jednotce vznikly vytvrzením taveniny po předchozím cyklu. S tímto problémem, ale pomáhá topná zóna trysky. Filtr musí být po dobu vstřikování dostatečně prodyšný, aby byl v trysce předepsaný tlak a u výrobku se dosáhlo požadované kvality. Tento problém řeší tlakový senzor za filtrem. Je tedy jasné, že tryska musí být navržena tak, aby filtr šel jednoduše vyměnit. Speciálním vylepšením trysky může být mixážní zóna, která taveninu promíchává, a tudíž funguje také jako takové síto, i když ne tak účinné jako filtr. Trysky se dělí na dva typy, a to na otevřené trysky a uzavřené.



Obr. 15 Tryska s mixážní zónou: a) tělo trysky, b) špička trysky, c) mixážní část, d) odporové topení [11]

- **Otevřené trysky**

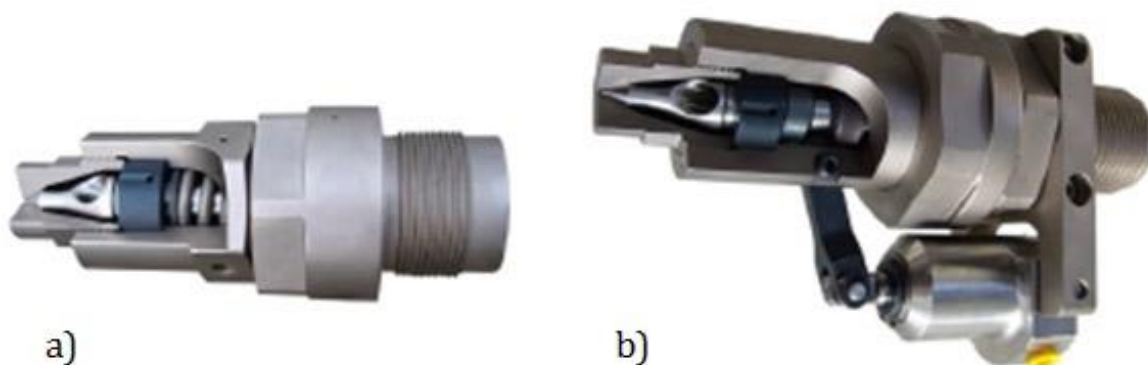
Otevřenou tryskou se rozumí taková tryska, která nemá žádný uzavírací mechanismus. Je ideální pro vstřikování plastu s vyšší viskozitou tak, aby bylo při plnění tavící komory co nejvíce zabráněno výtoku taveniny. V dnešní době bývá šnek zpětně posouván při odjetí vstřikovací jednotky tak, aby se snížil tlak v trysce, a tudíž aby nebyla tavenina vytlačována ven. Nicméně není téměř možné dávkovat taveninu před čelo šneku, dokud tryska nedosedla na vtokovou vložku formy.



Obr. 16 Výkres konce vstřikovací jednotky a začátku formy: 1 - forma, 2 - dosedací plocha, 3 - hlava plastikační jednotky, 4 - topné pásy, 5 - pouzdro plastikační jednotky, 6 - kuželový vtok, 7 - vtoková vložka, 8 - tryska [1]

• Uzavřené trysky

Tyto trysky mají v sobě zabudovaný uzavírací mechanismus, a to právě z toho důvodu, aby tavenina nevytékala. Víceméně existují dva typy uzavíratelných trysek, které se liší ovládním uzavírání. Existují trysky uzavíratelné pružinou nebo trysky s hydraulickým uzavíráním.



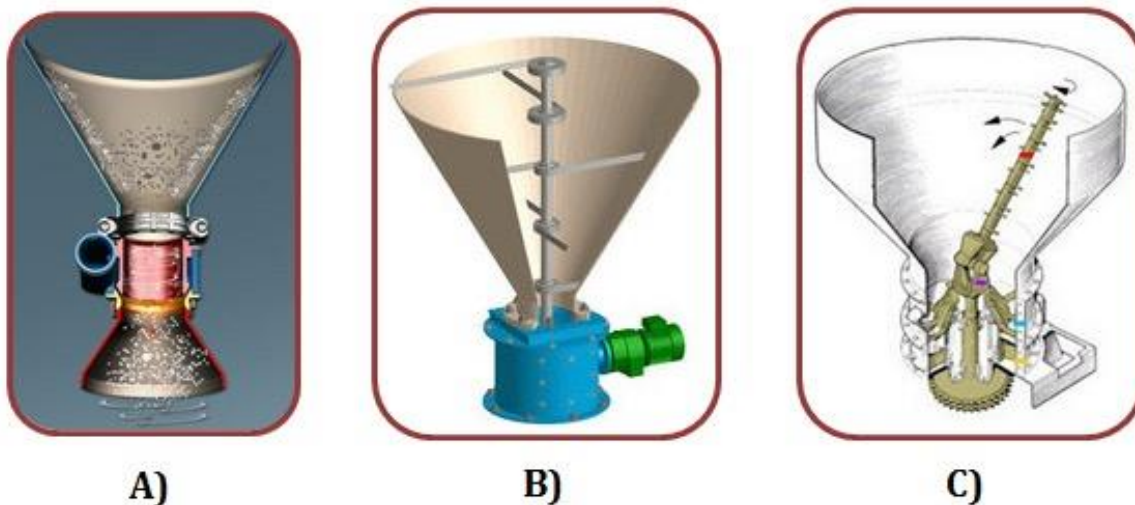
Obr. 17 Uzavíratelné trysky: a) ovládání pružinou, b) hydraulické uzavírání trysky [11]

V praxi se uzavíratelné trysky moc neosvědčují pro jejich poruchovost, a pokud to jenom trochu lze, tak se volí trysky otevřené. Je to zapříčině také tím, že v uzavřené trysce může plast degradovat. Své uplatnění uzavřené trysky, ale rozhodně nachází při vstřikování silikonu, protože ten je velmi tekutý a bez uzavíratelné trysky by se téměř nedal zpracovávat.

3.2.2 Plastikační a vstřikovací jednotka

3.2.2.1 Násypka

Proces vstřikování začíná nasypáním granulátu či prášku do násypky, která ústí v tavící komoře. Násypka má nejčastěji tvar klasického trychtýře. Pro základní plasty jako je třeba polyetylen není třeba mít násypku nějak složitou. Svoji funkci odvede například odřízlé hrdlo lahve. Pro různé jiné materiály je ale vhodné mít speciální násypku. Jelikož je násypka založena na samovolném přísunu materiálu pomocí gravitace, tak jakýkoliv záhyb by mohl činit problémy. Například přidáváním aditiv do granulátu by se mohly v záhybu usazovat částice, jako jsou barviva, a výsledný plast by pak neměl požadovaný odstín a barva by nebyla rovnoměrně rozptýlena. Dále můžou mít násypky magnety, které brání přísunu kovových částic nebo síta, které zabrání přísunu velkých částic a brání tak ucpání v oblasti ústí násypky k dopravní části šneku. Některé násypky bývají vybaveny sušením tak, aby se do tavící komory nedostal plast s příliš velkou koncentrací vlhkosti a dosáhlo se tak požadované kvality výrobku. Pro kontinuální přísun některých problematických materiálu jsou vybaveny speciálními rotačními aparáty nebo střásacími systémy, které posouvají například přírodní vlákna nebo prášek směrem ke dnu. Na vstupu do tavící komory může být i směšovací zařízení, které přesně namíchá požadovanou směs.



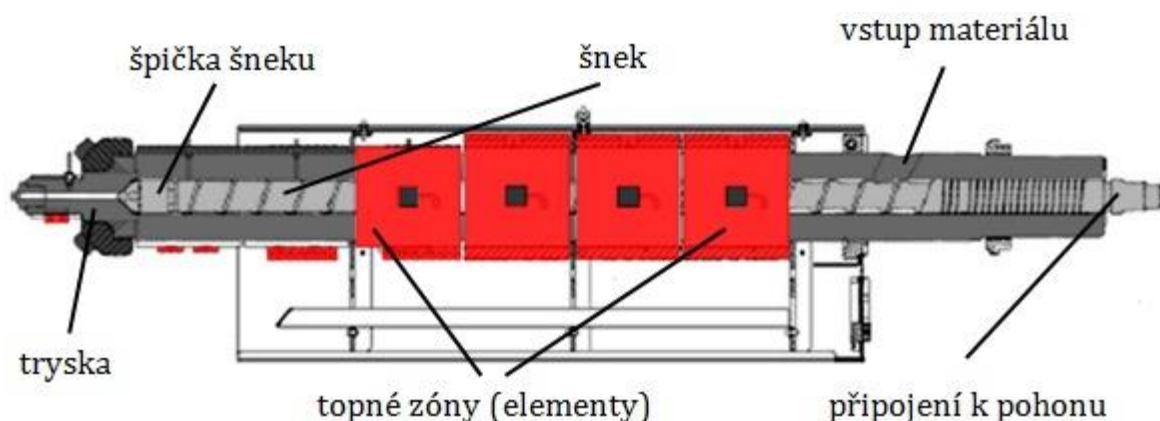
Obr. 18 Některé speciální typy násypek: A) střásací systém, B) a C) rotační systém [11]

3.2.2.2 Tavící komora

Dalo by se říci, že tavící komora je takové centrum dění vstřikovací jednotky, na kterou navazuje akorát tryska. O té ale až dále. Tato komora je tvořena dutým přesně obrobeným válcem, protože uvnitř dutiny je šnek, který mívá velmi malou vůli. Obvykle okolo 0,1 až 0,2 mm, a to z toho důvodu aby téměř všechna tavenina tekla před šnek. Vnitřní stěna komory musí být také velmi hladká, aby byl dosažen plynulý tok taveniny a nikde se nic neusazovalo. Tavený plast funguje i jako mazivo pro šnek a komoru, protože šnek nemá žádnou podporu a mohlo by tak dojít ke kontaktu mezi nimi vlivem

tíhy šneku. Ten by mohl zapříčinit jejich poškození, jelikož jak šnek, tak komora jsou z velmi tvrdých materiálů. Proto se nedoporučuje, aby vstřikovací jednotka byla v chodu, když v ní není plast.

Nyní si objasníme, jak probíhá natavování materiálu, protože jsem se o tom ještě nezmínil. Dutý válec tavící komory je obklopen několika odporovými topnými pásy, které jsou všechny regulovány pomocí termočlánků. Někdy, hlavně pro aplikaci reaktoplastů a elastomerů, probíhá regulace pomocí kapalného média, které protéká kanálky v topných pásích. Pro reaktoplasty a elastomery bývá tavící teplota mnohem menší než u termoplastů, a tak je potřeba je tímto způsobem regulovat, protože jedině tak lze dosáhnout poměrně úzkých teplotních intervalů, za kterých se taví a vstříkuje.



Obr. 19 Vyobrazení vstřikovací jednotky s důrazem na tavící komoru a topnými pásy

Speciální úpravou tavící komory může být odplyňovací otvor. Ten má za důsledek zbavení taveniny různých plynů. Výhodou tohoto typu komory je, že pro plastikaci můžeme použít i vlhký polotovár plastu a zmiňovaný otvor zbaví plast od vlhkosti. V místě, kde je odplyňovací otvor, musí mít i šnek speciální konstrukční provedení tak, aby tento otvor mohl plnit svoji funkci. Je tedy na něm odplyňovací oblast.

3.2.2.3 Šnek vstřikovacího stroje

Šnek je velmi důležitý prvek plastikační a vstřikovací jednotky, kde celý proces vstřikování začíná. Pro každý druh plastu existuje vlastní typ šneku. Dále jsou rozdílné šneky i z hlediska toho jakou funkci budou plnit. Existují např. šnek s vysokým kompresním poměrem nebo šnek s nízkým kompresním poměrem. Liší se tedy co do jejich konstrukce. Jednak délkou, ale i rozdílným stoupáním, průměrem, špičkou šneku apod. Navíc šneky nemají konstantní stoupání šroubovice po celé jejich délce, a stejně tak průměr. Je to dáno tím, že části šneků mají různé funkce. Pro nejběžněji zpracovávaný druh plastu, kterým je termoplast lze šnek rozdělit na tři oblasti. Oblast dopravní jinak řečeno také vstupní oblast se vyskytuje pod násypkou a pokračuje dál směrem k trysce. Její funkce je jednak dopravovat granulát do další zóny, ale druhá také stěsnává prostory mezi granulami a vytlačuje tak vzduch z granulátu. Druhou částí je oblast kompresní. Ta má za úkol stlačit materiál, a proto se v této oblasti hloubka šroubovice i stoupání postupně zmenšují.

Postupujeme- li dál ke špičce šnekového pístu, tak narazíme na poslední oblast před špičkou, a to je oblast tzv. homogenizační. Ta má za úkol promíchat a prohníst taveninu, tedy dostat ji do takového stádia, aby byla co nejvíce stejnorodá, a to jak po té strukturní, tak ale i po té teplotní stránce než se dostane do prostoru, ve kterém hromadí. Tedy mezi čelo šneku a trysku. Existují ale také mixážní zóny nebo zóny odplyňovací, které se používají, pokud je to nutné a materiál, ze kterého bude vyráběn výrobek, to vyžaduje.

Jedním ze stěžejních parametrů z hlediska funkce, ale i identifikace je takzvaný L/D poměr. Je to poměr mezi délkou šneku a jeho průměrem. Tento parametr bývá specifický pro určitý druh plastu. Pro termoplasty tento poměr bývá od 19 do 22:1 s optimální hodnotou většinou 20:1. U reaktoplastů a elastomerů to bývá okolo hodnoty 14:1. Tento rozdíl plyne hlavně z toho důvodu, že čím delší šnek je, tím se materiál více zahřívá, což je u reaktoplastů či elastomerů nežádoucí, protože by docházelo k vytvrzování respektive vulkanizaci. Existují i delší šneky s L/D poměrem i do 26:1. Ty ale obsahují tzv. mixážní zóny, které jsou tam z důvodu lepšího promíchání například u přidání barviva ke granulátu a jiným funkcím.

Další podstatný parametr pro šnek je jeho závit. Jak jsme si již řekli, tak závit není po celé délce šneku konstantní. Rozdílná je jednak výška závitu a jednak stoupání. Výška závitu je v dopravní a homogenizační zóně konstantní a v kompresní zóně se od dopravní po homogenizační zónu postupně snižuje. Patrné z obrázku 17. Dáme-li rozdílné výšky závitu do poměru, tak získáme tzv. kompresní poměr šneku. Mívá hodnoty od 2 do 3:1 podle toho, jaký průměr šneku máme. V kompresní zóně se zmenšuje obvykle i stoupání závitu. U některých aplikací může být kompresní poměr i 1:1. Je tomu tak například u zpracování reaktoplastů, protože se zpracovávají okolo 90 °C, tudíž zhruba v třikrát nižších teplotách než termoplasty a z toho důvodu jsou šneky také kratší.



Obr. 20 Třízónový šnek [11]

Jak je vidět z obrázku 15, tak pro termoplasty bývá dopravní zóna nejdelší. Zaujímá zhruba 60 % délky šneku. Kompresní a homogenizační zóny jsou oproti dopravní zóně mnohem menší a každá z nich má přibližně 20 % délky šneku. Nicméně pro každou aplikaci se ať už většina nebo jen některé parametry mění. Rozdílů si můžete všimnout na obrázku 18.

Standardní šnek pro zpracování termoplastů



Typická délka (L/D)	20:1
Kompresní poměr	2:1
Materiály	Široké použití pro amorfni a semikrystalické materiály

Šneky s nízkým kompresním poměrem



Typická délka (L/D)	20:1
Kompresní poměr	1,6:1
Poznámka	Geometrie s nízkým kompresním poměrem snižuje tepelné namáhání materiálů
Materiály	Tepelně citlivé (PVC) nebo kompozity plněné keramickými nebo kovovými částicemi (technologie PIM)

Šneky s vysokým kompresním poměrem



Typická délka (L/D)	20:1
Kompresní poměr	2,4:1
Poznámka	Větší homogenita taveniny, lepší průběh natavování, přesné dodržování nastaveného plastikačního času
Materiály	Semikrystalické (PA)

Šneky s pozvolnou plastikací



Typická délka (L/D)	24:1
Kompresní poměr	2:1
Poznámka	Vhodné především pro zpracování materiálů s aditivu a plnivu, které by se mohly intezivní kompresí deformovat Zvyšuje se plastikační výkonnost stroje
Materiály	Termoplasty s plnivu (PP, PE, PS, ABS apod.)

Šneky pro zpracování reaktoplastů



Typická délka (L/D)	14:1
Kompresní poměr	1:1
Poznámka	Bez komprese materiálu
Materiály	Reaktoplasty

Šneky pro zpracování silikonů

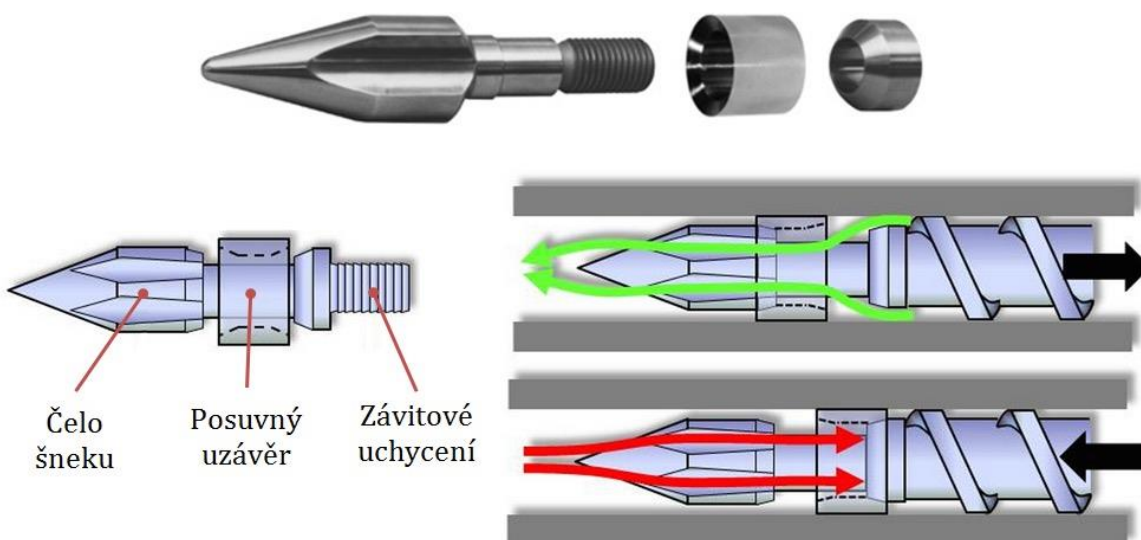


Typická délka (L/D)	14:1
Kompresní poměr	1:1
Poznámka	Bez komprese materiálu
Materiály	Silikony

Obr. 21 Typy šneků [11]

3.2.2.4 Špička šneku a zpětná uzávěra

Přestože špička šneku je přímou součástí šneku, tak je dobré ji oddělit a zabývat se jí samostatně. Spolu se zpětnou uzávěrou má totiž jednu důležitou funkci. Funguje jako zpětný ventil. Tudiž při plnění tavicí komory taveninou je ventil otevřený, a jakmile má dojít ke vstřikování do formy, tak se ventil zavře. Jako zpětný ventil funguje tak, že na špičce je navlečen takový prstenec, který je z obou stran kuželově zakončen a dosedá buďto na špičku při plnění nebo na začátek šneku při vstřikování.



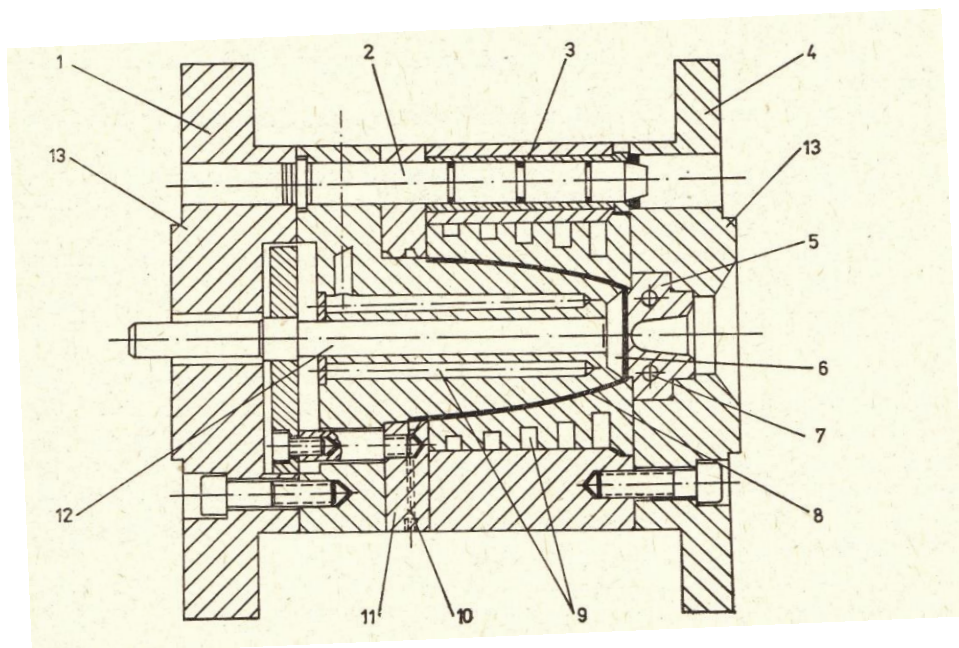
Obr. 22 Špička šneku se zpětným uzávěrem a schéma její funkce [11]

Z obrázku 17 je zřejmá funkce zpětného ventilu, nicméně můžeme si všimnout i dvou detailů. Tvar špičky je dělaný tak, že na špičce je několik vykrojených částí, kterými při plnění protýká tavenina. Kdyby tam nebyly, tak by neměla tavenina kudy téct, protože prstenec je v tu chvíli přitlačen na špičku. Tím druhým a méně důležitým detailem je, že špička je na šnek připevněna pomocí závitů.

Existují i řešení zpětného ventilu pomocí kuličky, kde se dosahuje také rychlého a plynulého chodu ventilu, ale běžnější typ je výše popsáný.

3.2.3 Forma

Jak plyne z předchozího textu, tak při vstřikování na trysku navazuje forma potažmo vtoková vložka, což je díl formy. Forma je významnou částí stroje, jelikož dává konečnou podobu výrobku, a protože plastový výrobek je vlastně důvod, proč se tento stroj vyvinul, tak se výrobě formy musí dát patřičný prostor, aby byla dostatečně pečlivě vyrobena a zhotovovala požadovaný výrobek. Musí se navrhnut a vyrobít tak, aby se při ochlazování výrobek nedeformoval, vydržela vysoké tlaky, poskytovala přesné výrobky a umožnila snadné, většinou automatické vyjmutí výstřiku.



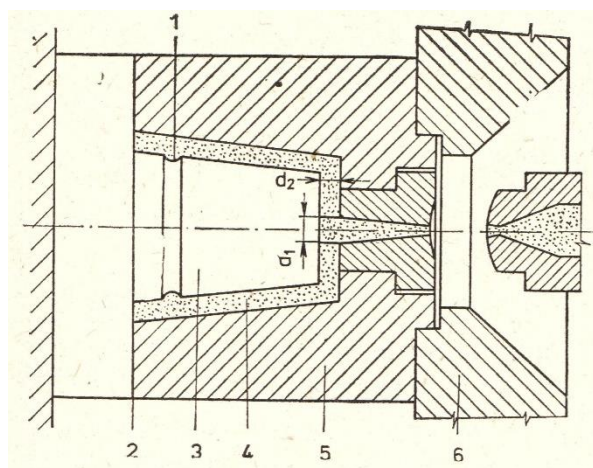
Obr. 23 Vstřikovací forma: 1 - upínací deska tvárníku, 2 - vodící sloupek, 3 - vodící pouzdro, 4 - upínací deska tvárnice, 5 - vtoková vložka, 6 - talíř vyhazovače, 7 - chladičí kanálky vtokové vložky, 8 - výstřik, 9 - chlazení, 10 - přívod tlakového vzduchu, 11 - vyhazovací stírací kroužek, 12 - vyhazovací tyč, 13 - středění [1]

Vyjmutí výstřiku probíhá pomocí hydraulického nebo pneumatického zařízení, které ovládá vyhazovací mechanismus, v případně obrázku 23 vyhazovací tyč. V dnešní době, kdy je snahou absolutní automatizace se k vyjmutí využívá i automatických robotů s naprogramovaným pohybem ramene robota.

Jak jsme si již uvedli, vstřikování probíhá buďto kolmo na dělicí rovinu tzv. do osy nebo do dělicí roviny tzv. do spáry. Podle těchto dvou způsobů vstřikování lze formy také rozdělit. Kolmo na dělicí rovinu je vhodné vstřikovat rotační výrobky a nádoby. Do dělicí roviny pak podlouhlé předměty jako jsou například hřebeny, rukojeti šroubováků apod.

Formy mohou být jednonásobné nebo vícenásobné. To znamená, že buďto je vytvářen pouze jeden výrobek nebo je tvořeno více výrobků na jeden cyklus vstřikování.

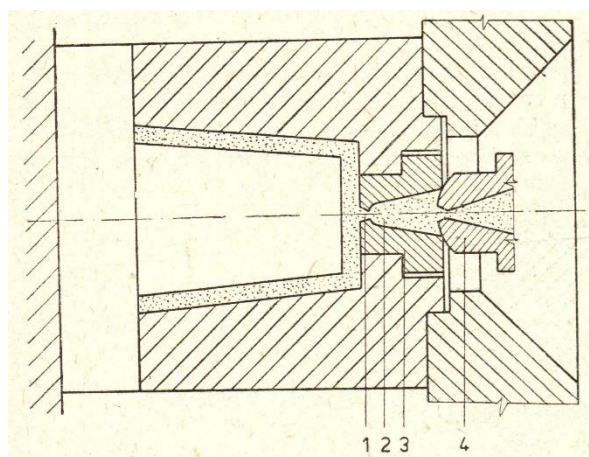
Forma se může skládat i z dvě stě jednotlivých dílů, které vytvoří dvoudílný celek, který je rozdělený dělicí rovinou. V tomto místě je forma otevírána a výrobek vyjímán. Velmi důležitý prvek je vtoková soustava. Ta velmi ovlivňuje kvalitu výrobku při dodržení standartních podmínek jako je přítlačná síla apod. Začíná vtokovou vložkou, na kterou je při vstřikování přivedena tryska. Základní dutina této vložky má tvar kužele s kuželovitostí 3 až 4°. Využívá se pro výrobu větších výrobků v jednonásobných formách. Kuželový vtok je vyobrazen na obrázku 24.



Obr. 24 Schéma formy pro vstřikování kuželovým vtokem: 1 - drážka, 2 - dělicí rovina, 3 - tvárník, 4 - výstřik, 5 - tvárnice, 6 - upínací deska, d_1 - průměr ústí kuželového vtoku, d_2 - největší tloušťka výrobku [1]

Průměr ústí kuželového vtoku se volí tak, aby byl o 1 až 1,5 mm větší než největší tloušťka výrobku. Je to proto, aby byl výrobek kvalitně vyroben. Nevýhodami tohoto tvaru vtoku je, že se obtížně odděluje od finálního výrobku. Navíc se musí zajistit začistění místa po jeho odstranění a z hlediska objemu materiálu ve vtokové soustavě je také neekonomický.

Z důvodu nutnosti vylepšení odstraňování vtokových zbytků se vymyslel tzv. bodový vtok. Bodové ústí tohoto řešení má průměr 1 mm, a tak není větší problém vtokovou soustavu odstranit. V praxi se poté osvědčil bodový vtok s předkomůrkou, viz obrázek 25. Na něm je vidět vzduchová mezera mezi vložkou a formou. Ta způsobuje chladné stěny předkomůrky, na kterých plast ztuhne. Nicméně jádro komůrky zůstane plastické, tudíž nevznikne problém. Je-li doba vstřikovacího cyklu krátká, tak se nemusí ani vyjmát vtokový zbytek z předkomůrky, protože je v následujícím cyklu proražen.



Obr. 25 Vstřikování bodovým vtokem s předkomůrkou: 1 - bodový vtok, 2 - předkomůrka, 3 - vtoková vložka, 4 - tryska [1]

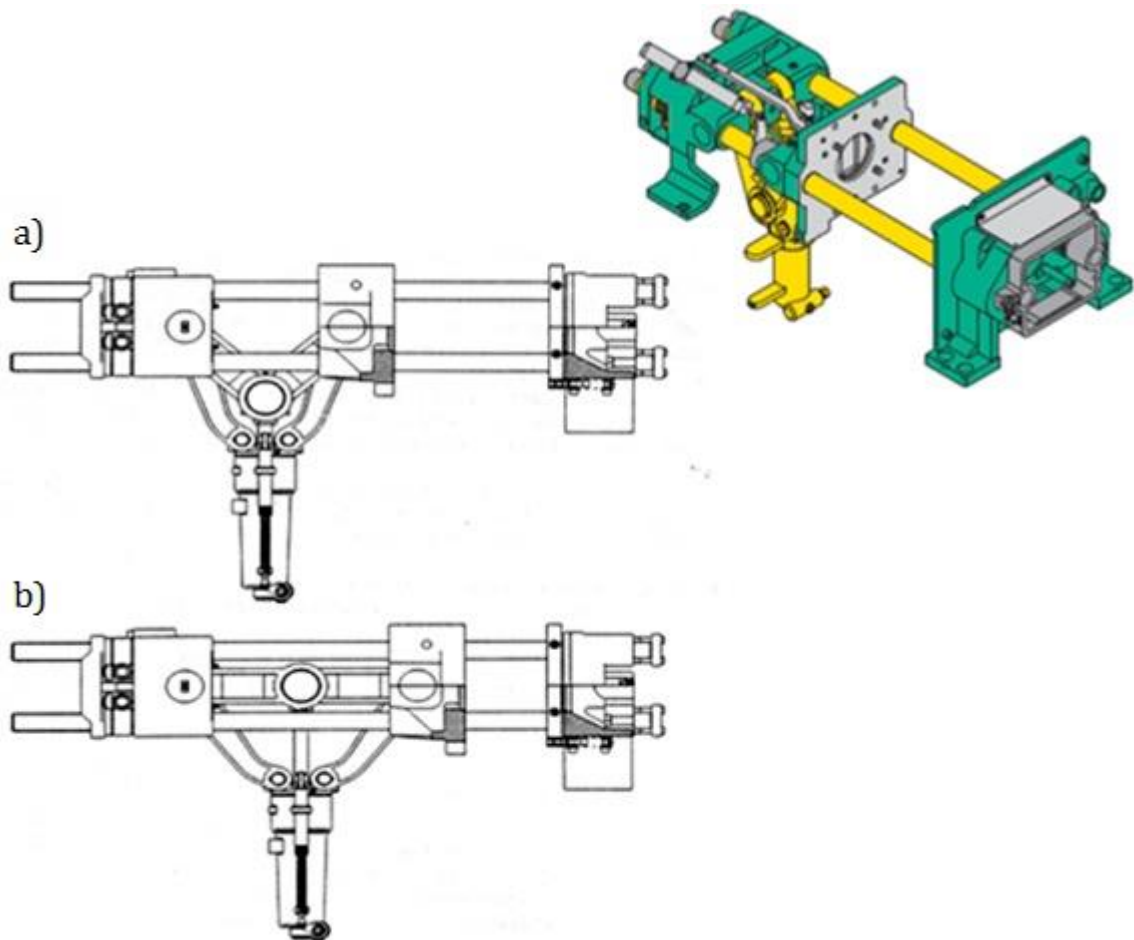
3.2.4 Uzavírací jednotka

Poslední funkční částí vstřikovacího procesu je uzavírací jednotka. Skládá se ze čtyř hlavních částí. Jsou jimi uzavírací systém, vodící tyče,

upínací desky a vyhazovací systém. Jejimi funkcemi jsou upnutí formy na upínací desky, plynulé pohyby formy a vytlačení případně vyhození výrobku z formy. Zjednodušeně řečeno otevírá a zavírá formu tak, aby do ní mohlo být vstříknutý výrobek. Celý tento mechanismus musí zajistit uzavírací a přidržovací sílu, která působí proti vstřikovacím tlaku v průběhu vstřiku a dotlaku. Tato síla je vyvolaná použitým mechanismem na stroji, a to buďto mechanicky, kdy dojde k zapříčení uzavíracího mechanismu nebo hydraulicky, kdy se síly dosáhne pomocí kapaliny a pístu, který na ní tlačí. Z těchto dvou rozdílných dosažení uzavírací síly dělíme tyto mechanismy na kloubové uzavírací mechanismy a na hydraulické uzavírací mechanismy.

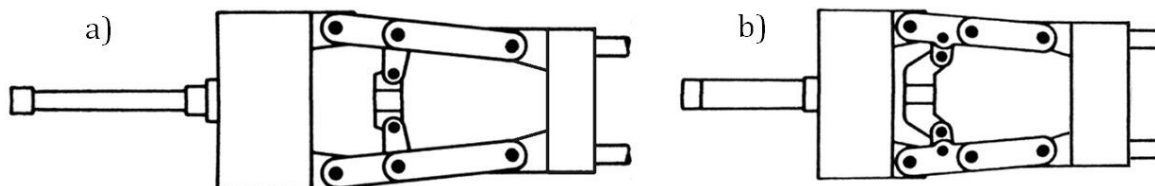
3.2.4.1 Kloubový uzavírací mechanismus

Nejpoužívanější z mechanických uzavíracích systémů je právě ten kloubový. Zajišťuje dobře regulovatelnou rychlost pohybů a menší spotřebu energie než u systému hydraulických. Přibližně je potřeba o 10 až 20 % energie méně. Podle typu pohonu celého stroje je pak poháněna i tato jednotka. Vyskytuje se tedy buď poháněná elektricky pomocí elektromotoru, nebo hydraulicky. Hydraulicky poháněný kloubový mechanismus s uzavíracími silami do 500 kN, využívaný u těch menších strojů, je poměrně malý a nemá tak velké nároky na velikost stroje. Viz obrázek 26. Přestože píst má poměrně malý zdvih, tak díky kinematice tohoto systému jsou kloubové mechanismy velmi rychlé.



Obr. 26 Jednoduchý kloubový mechanismus s hydraulickým pohonem: a) otevřený, b) zavřený [11]

U větších strojů se vyžadující větší uzavírací síly, tudíž musí být konstrukce uzavírací jednotky masivnější. Tyto jednotky s větší tuhostí jsou pak schopné přenést sílu až 50000 kN. U kloubových mechanismů jsou často velmi namáhány právě klouby, tudíž aby byla zajištěná dlouhá životnost, tak se používají čepy a pouzdra kalené. Větší tuhosti oproti jednoduchým kloubovým mechanismům dosáhnou mechanismy vícekloubové. Na obrázku 27 můžeme vidět čtyřkloubový a pětikloubový mechanismus, které mají vyšší tuhost než mechanismus z obrázku 26.



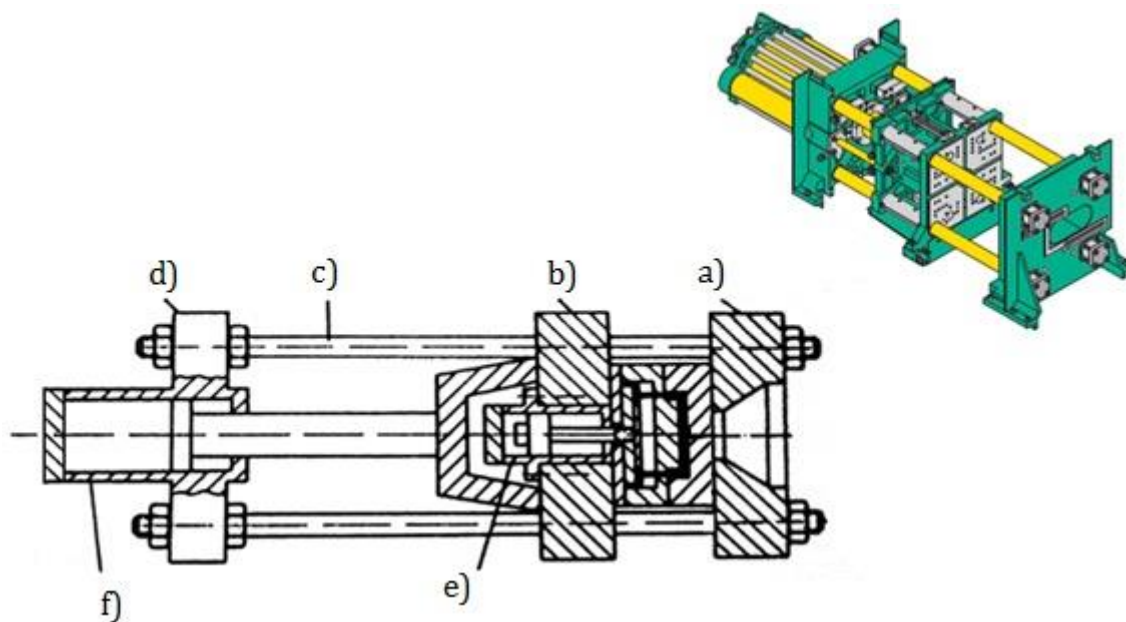
Obr. 27 Vícekloubové mechanismy: a) 4-kloubový, b) 5-kloubový [11]

Nespornou výhodou kinematiky těchto řešení uzavírání formy je jejich rychlostní profil. U všech kloubových mechanismů rychlostní profil vypadá tak, že na začátku je rychlost pomalá, následuje velké zrychlení a na konci je pomalý dojezd, což je téměř ideální pro uzavírání forem. Kdyby byl například dojezd upínací desky stejně rychlý jako při rychlém přemístění uprostřed krajních poloh, tak by následoval velký náraz a mohla by se ať už forma nebo celý mechanismus poničit. Maximální rychlost, kterou dokáže kloubový mechanismus dosáhnout, se pohybuje v řádu stovek mm za sekundu. V literatuře se uvádí někdy až 1200 mm/s. Výše popsaná vlastnost je oproti klasickým hydraulickým uzavíráním nespornou výhodou. U hydraulického systému lze takového rychlostního profilu dosáhnout pomocí škrťacího ventilu.

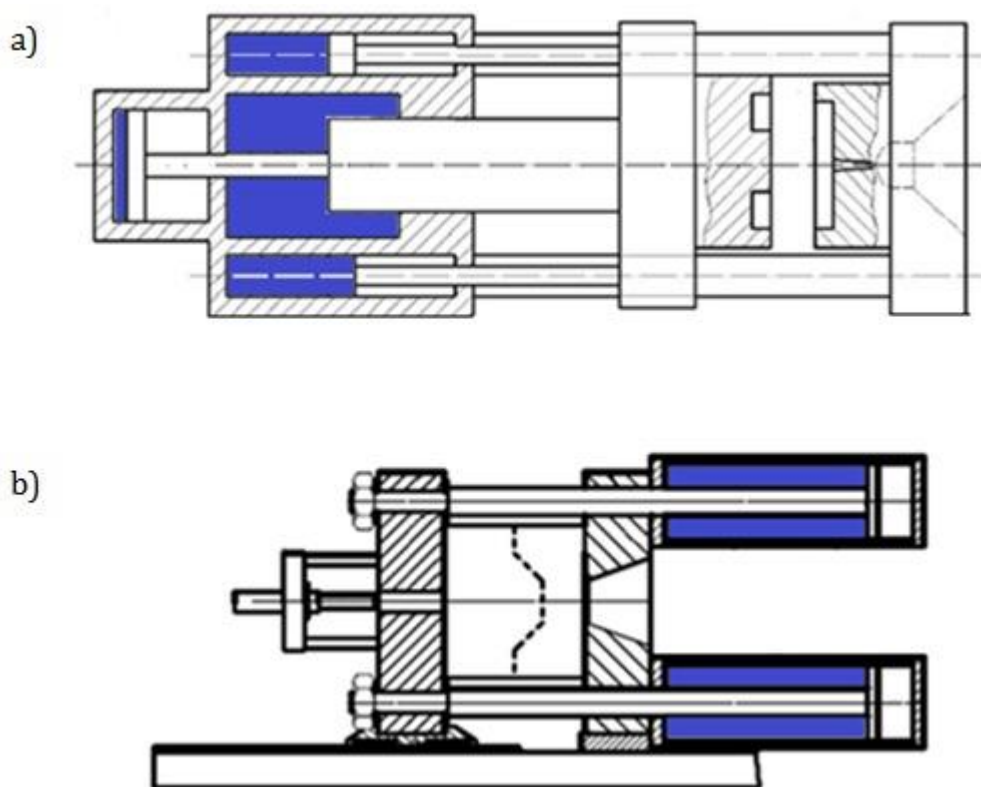
3.2.4.2 Hydraulický uzavírací mechanismus

Druhým nejobvyklejším řešením uzavírání formy je přímý hydraulický mechanismus. Jeho nejdůležitějším členem je hydraulický válec, který je umístěný symetricky v ose systému. Někdy bývá i přímo spojen s pohyblivou upínací deskou tak, jak je to na obrázku 28. Uzavírací síla je možná vyvodit v celé pracovní délce pístu. Vylepšením, především pro stroje s vyšší uzavírací silou, je zvýšení posuvné rychlosti přidáváním symetricky umístěných menších podpůrných pístů. Zdrojem těchto podpůrných pístů je nejčastěji stejná hydraulická pumpa jako pro celý uzavírací systém.

Dobrych výsledků, co se týče rovnoměrného rozložení sil, přesnosti vedení a rychlosti pohybu posuvné upínací desky, bylo dosaženo i přesunem pístového mechanismu do všech čtyřech vodících tyčí, jak můžeme vidět na obrázku 29. Existují dvě provedení, a to takové, že hydraulické písty jsou buďto na straně pevné nebo posuvné upínací desky, viz obrázek 29.



Obr. 28 Hydraulická uzavírací jednotka: a) pevná část formy, b) pohyblivá část formy, c) vodící tyče, d) rám stroje, e) hydraulický vyhazovač, f) hydraulický válec pro ovládní pohyblivé části formy [11]



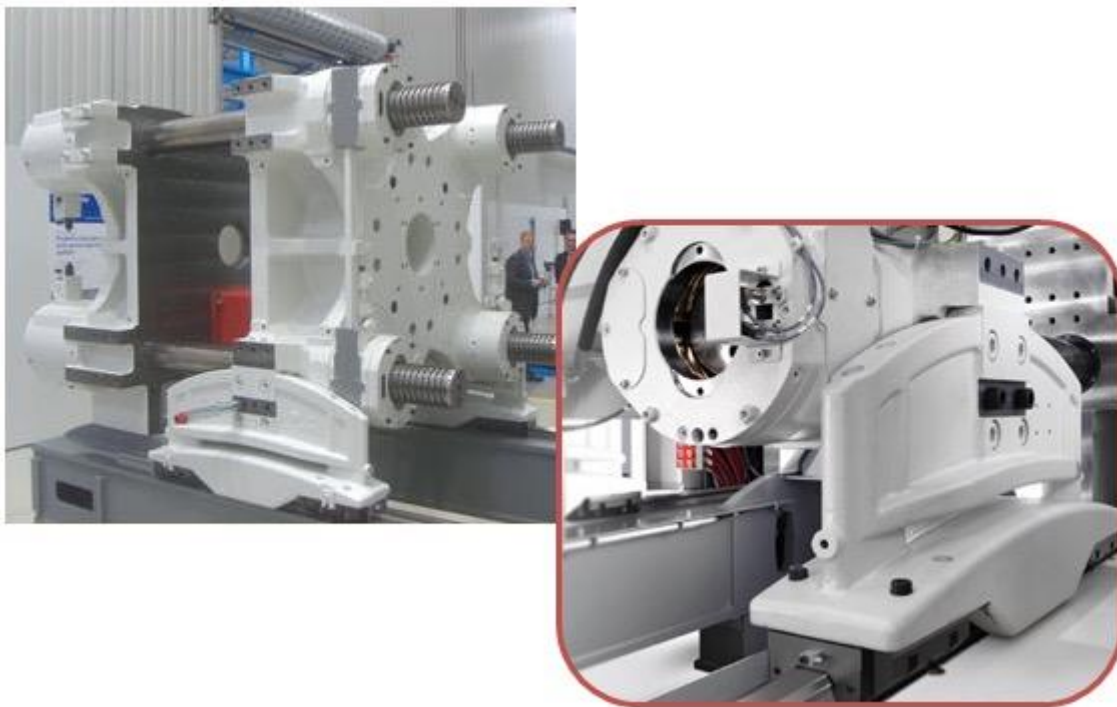
Obr. 29 Možné rozmístění hydraulických pístů v uzavírací jednotce: a) na straně pohyblivé upínací desky, b) na straně pevné upínací desky [11]

Pro získání maximálně efektivního zařízení a spojení výhod obou typů zařízení vznikl tzv. kombinovaný uzavírací systém, kde hlavní posuvy má za úkol kloubový mechanismus a udržení uzavírací síly pak zajišťuje hydraulický systém s mechanickým zajištěním.

3.2.4.3 Vodící tyče

Pro přesný rovnoběžný přenos upínacích desek byl vymyšlen systém tyčí, po kterých se posuvná upínací deska bude posunovat. Standardně bývají v uzavíracím mechanismu čtyři vodící tyče. Můžeme se ale výjimečně setkat i se dvěma tyčemi, nicméně vyskytují se spíše na starších vstřikovacích strojích a navíc malých rozměrů. Tyto tyče jsou nosnou částí konstrukce uzavírací jednotky. Jsou jimi přenášeny vstřikovací tlaky a uzavírací a přidržovací síla. Proto se v nich sleduje namáhání při všech fázích vstřikování. Musí proto být masivní, aby všechna namáhání vydržela. Používá-li se taková technologie, která má výrobní parametry vyšší než standardní, tak dochází k přetěžování a z toho plynoucí deformace těchto tyčí. V krajním případě to může skončit i prasknutím, protože jsou právě velmi náchylné na přetěžování. Pro odlehčení zatížení těchto tyčí se vymyslel systém tzv. botiček. Ty mají svůj význam zejména na velkých vstřikolisech, kde je upínací deska značných rozměrů a hmotností. Tyto botičky jsou totiž umístěny právě pod posuvnou deskou a pohybují se s ní, tudíž téměř všechna její hmotnost je přenášena do konstrukce stroje. Viz obrázek 30, kde jsou také dobře vidět vodící tyče.

Velmi důležitou charakteristikou těchto tyčí je tzv. světlost mezi sloupky. Je to to vlastně maximální vzdálenost mezi těmito tyčemi. Ta určuje, jak velké formy budou moci být upnuty, a tím i velikost výrobků, které mohou být na stroji vyráběny. Světlost také nepřímo určuje velikost strojů, protože čím větší a těžší forma je, tím větší tuhost musí stroje vykazovat.

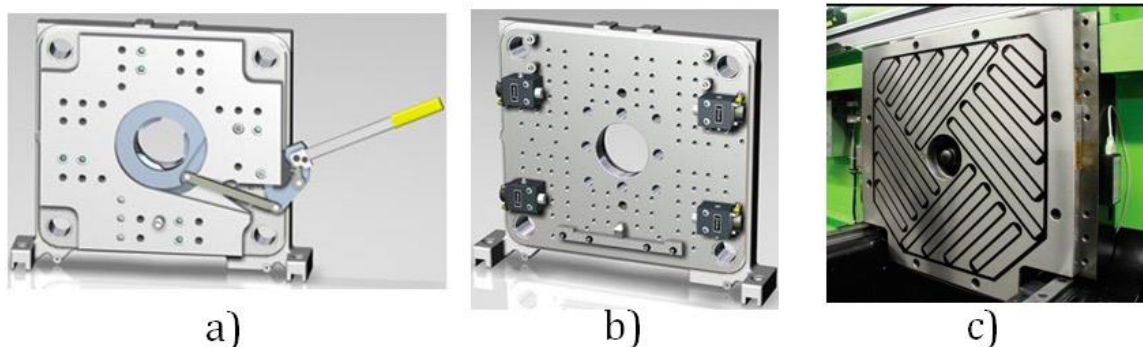


Obr. 30 Podpůrný mechanismus pro vedení pohyblivé upínací desky [11]

3.2.4.4 Upínací desky

Aby mohl být do formy vstříknutý výrobek, tak musí být někde upnuta a zajištěna. K tomu účelu jsou upínací desky. Na každé straně uzavírací jednotky je jedna deska s tím, že ta bliž vstřikovací jednotce je nepohyblivá a

ta dál se pohybuje. Otevírá a zavírá tak svým pohybem formu. V pevné desce je umístěna vtoková vložka, která zajišťuje vtok taveniny do formy přitlačenou tryskou na vložku. I tyto díly musí vykazovat značnou tuhost, aby byly výrobky přesné. Existuje několik způsobů jak na tyto desky oba díly formy připevnit. Základním uchycením formy na upínací desky je pomocí upínek. Jde o velmi jednoduchý způsob upnutí, avšak z hlediska výměny forem ne zrovna praktický. Pro rychlejší výměnu forem byl vymyšlen bajonetový systém uchycení. Samotný bajonetový úchyt by nebyl dostačující, a tak součástí tohoto systému připevnění formy jsou fixační elementy, které jsou ovládány buďto mechanicky nebo automaticky. Přesné umístění pak zajistí centrovací prvky. Další alternativou, která nachází využití hlavně u velkých vstřikovacích strojů pro těžké formy, jsou magnetické upínací desky. Výměna formy i z důvodu její velké hmotnosti probíhá automaticky. Předností magnetického systému upnutí je působení upínací síly po celé ploše formy, aniž by musela být nějak upravována. Forma může být upnuta i hydraulickým systémem upnutí. Nicméně tento způsob upevnění vyžaduje přesné rozměry formy, což je zřejmé z obrázku 31, kde je tento magnetický a bajonetový způsob upevnění vyobrazen.



Obr. 31 Způsoby upnutí vstřikovací formy: a) bajonetový systém, b) hydraulický systém, c) magnetický systém [11]

3.2.4.5 Vyhazovací systém

Vyjmutí výrobku z formy zařizuje vyhazovací systém, který je také součástí uzavírací jednotky. Existují dva způsoby, kterými lze výrobek z formy vyndat. Prvním dnes již ne toliko používanou variantou, ale velmi jednoduchou a spolehlivou, je vyhazovací systém umístěný přímo v pohyblivé upínací desce. Při jejím pohybu dozadu, tudíž při otevírání formy, narazí na doraz stroje a vyhazovací systém výrobek vyjme. Při zpětném pohybu vpřed se systém vyhazování, kontaktem s nepohyblivou částí formy, vrátí zpět do polohy pro vyhození a takto se to opakuje. Někdy se tomuto procesu říká odformování. Druhým způsobem vyndání výrobku z formy je vyhazování pomocí hydraulického systému. Vyjmutí probíhá hydraulickým pístem, který je zcela nezávislý na pohybu uzavírací jednotky. Můžeme tedy výrobek vyjmout v jakékoliv poloze dráhy otevření, libovolnou rychlostí a proces vyhazování můžeme během jednoho cyklu několikrát opakovat. Tento systém můžeme vidět na obrázcích 28 a 29. Takto se vyjímají výrobky ze vstřikolisu především. Můžeme se setkat i s odformováním pomocí stlačeného vzduchu. Ten je využíván většinou v kombinaci s předešlými variantami. Stlačeným vzduchem

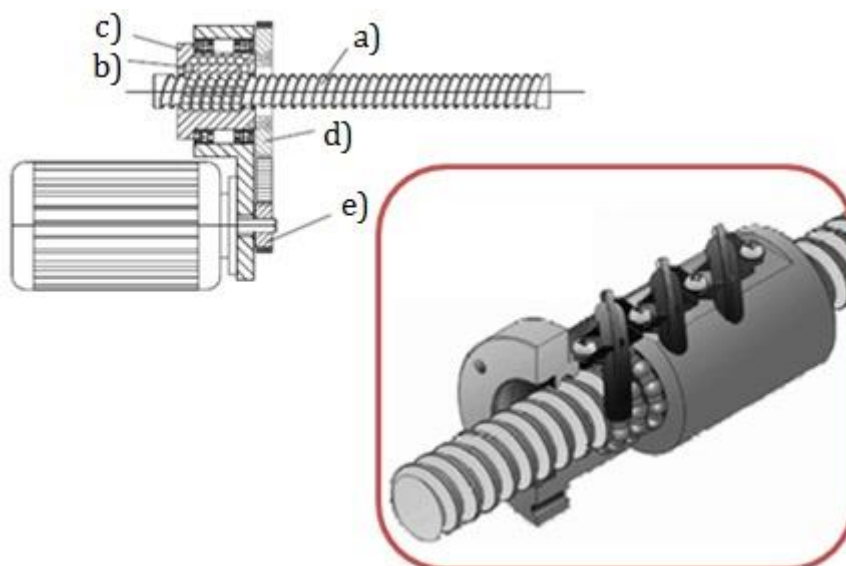
se odformovávají materiály, které přilnavají na povrch formy. Při použití běžných způsobů bez pomoci stlačeným vzduchem by mohlo docházet k jejich deformaci. Takovými materiály jsou různé pryže a silikony.

3.3 Pohon vstřikovacího stroje

Pohony strojů vstřikování využívá víceméně dva typy pohonných systémů. Jsou to buď elektromechanické, nebo elektrohydraulické systémy. Tyto systémy převádí elektrickou energii zprvu na rotační pohyb a případně dále dle potřeby na pohyby posuvné. Oba systémy mohou využívat všechny pohyblivé zařízení na vstřikolisu. Ať už tedy šnek, vstřikovací jednotka, uzavírací jednotka nebo vyhazovač.

3.3.1 Elektromechanické pohony

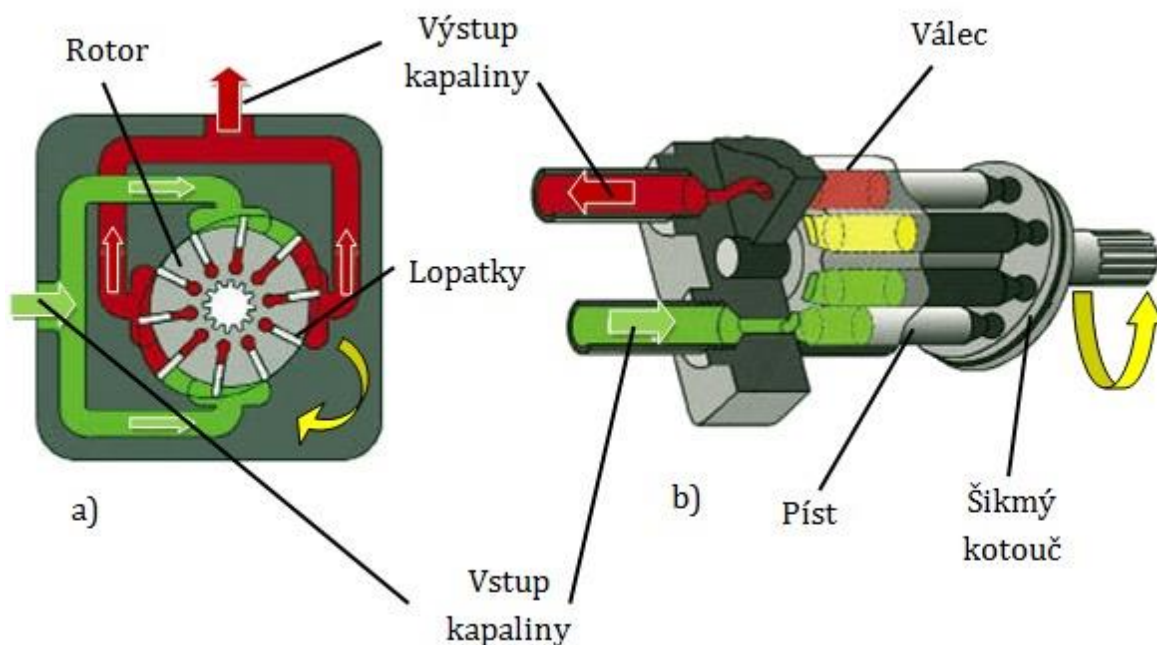
Pohony, přeměňující elektrickou energii čistě na mechanickou, využívají kuličkových šroubů k přeměně rotačního pohybu servomotoru na posuvný, přičemž servomotor je vlastně prvotní transformátor elektřiny na rotační pohyb čili mechanickou energii. Tyto pohony, jak už bylo řečeno, mohou ovládat všechny pohybující se části stroje. Dosahují i velmi vysokých rychlostí pohybu, čehož se s výhodou využívá u vstřikování tenkostěnných dílů. Přeměny rotace na posuv se v rámci tohoto systému může dosáhnout i klikovým mechanismem, což se někdy využívá u vyhazování. Elektrické pohony začínají být velmi populární, a to hlavně z důvodu úspory energie a přesnosti pohybu. Nicméně nikdy se nedosáhne stejné udržovací síly jako při srovnatelném zařízení využívající hydrauliku. Na obrázku ukázka kuličkového šroubu.



Obr. 32 Elektrický pohon s kuličkovým šroubem: a) šroubovice kuličkového šroubu, b) obíhající kuličky, c) kuličková matice, d) ozubený pás zajišťující přenos rotačního pohybu, e) ozubený převod [11]

3.3.2 Elektrohydraulické pohony

K dosažení požadovaného pohybu částí stroje pomocí hydrauliky čili kapalinového systému musíme v provozní kapalině vyvinout tlak a dosáhnout její cirkulace. Zdrojem vyššího tlaku a cirkulace provozní kapaliny jsou hydraulická čerpadla. Rozlišujeme několik druhů čerpadel. Lopatková čerpadla, radiální pístové čerpadlo, které můžeme vidět na obrázku 33, dále axiální pístové čerpadlo a výtlačné čerpadlo.



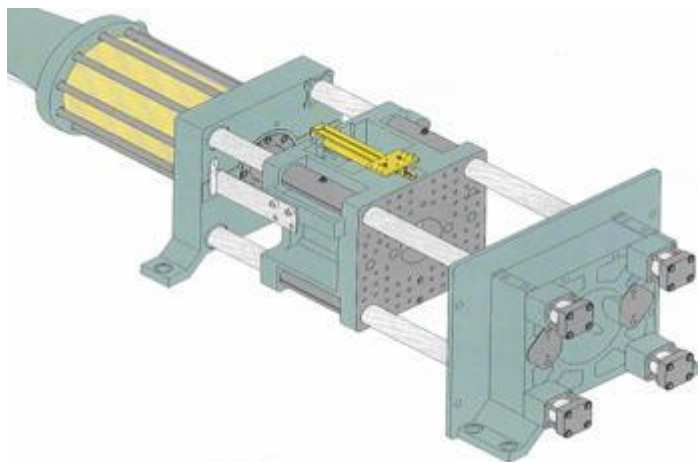
Obr. 33 Hydraulická čerpadla: a) lopatkové, b) axiální pístové [11]

Dosažené vlastnosti provozní kapaliny je dále nutné přeměnit na mechanickou energii. To obstarávají hydraulické motory. Mění energii hydraulické kapaliny na rotační nebo lineární pohyb a mohou takto ovládat všechny pohyblivé části stroje. Funkční médium tohoto systému je zahříváno vlivem ztrát způsobených třením, i když ne nějak dramaticky. Nicméně s rostoucí teplotou mění médium své vlastnosti jako je viskozita, stlačitelnost apod. Z toho důvodu dnes již téměř každý nový stroj má regulaci teploty provozní kapaliny. Při zapnutí stroje je kapalina ohřívána na provozní teplotu a během chodu je na provozní teplotě udržována, tudíž je mírně dochlazována. Čerpadla mají také svoji regulaci tak, aby bylo dosaženo požadovaného tlaku.

4 Postup dimenzování vodících tyčí uzavírací jednotky

Pro popis postupu dimenzování jsem si vybral vodící tyče uzavírací jednotky. Ty jsou namáhány uzavírací, potažmo uzamykací silou, které mají za úkol udržet formu při sobě ve fázi vstřikování. Jak jsme si již uvedli, tak se vyskytují stroje jak se čtyřmi, tak se dvěma vodícími tyčemi. Nicméně dvě vodící tyče se objevují spíše u starších strojů a dnes se vyrábí vstřikovací

stroje především se čtyřmi tyčemi. Vodící tyče můžeme dobře vidět na obrázku 34. Zatížení těchto tyčí uvažujme takové, že jsou namáhány pouze tahem vyvolaným uzavírací silou. Tedy pohyblivá upínací deska je buďto opatřena tzv. botičkami, jak můžeme vidět na obrázku 30, nebo hmotnost této desky, která by vyvolala průhyb tyčí, můžeme zanedbat.



Obr. 34 Uzavírací jednotka [9]

Pro navrhnutí rozměrů tyčí je nutné vědět jakou aplikaci nebo jaké vlastnosti stroj má mít. Důležitou roli v tomto ohledu hraje uzavírací síla. Má-li to být stroj větších rozměrů, tak budou jak upínací desky, tak vstřikovací forma větší a budou se používat způsoby vstřikování s většími tlaky, a proto musí tyče vydržet více. Pro příklad si uvedme uzavírací sílu 400 kN. Takovou mají spíše menší a střední vstřikolisy. Uvažujme, že se síla rovnoměrně rozloží do všech čtyř tyčí. V každé tyči tedy bude působit síla o velikosti 100 kN. Rovnoměrnému rozložení sil se mechanismy velmi blíží, tudíž maximální velikost síly nebude tolika odlišná od 100 kN. Nicméně i menší nárůst by měla pohltit zvolená bezpečnost.

Dále je nutným parametrem počet vodících tyčí v uzavírací jednotce. Zabývejme se tedy spíše uzavírací jednotkou se čtyřmi tyčemi, protože ty jsou dnes běžnější a dá se na ně vyvinout mnohem větší síla, než na strojích se dvěma tyčemi o stejných rozměrech.

Abychom mohli tyče nadimenzovat, musíme také znát materiál, ze kterého budou vyrobeny. Pro ukázkou si zvolme třeba konstrukční ocel 11600, která má minimální mez kluzu v tahu $\sigma_{Kt} = 325 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$ a mez pevnosti v tahu okolo $\sigma_{Pt} = 600 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$.

Uvedme si nyní pár vztahů, které budeme potřebovat. Jimi jsou vztahy pro napětí:

- Vztah pro normálové napětí: $\sigma = \frac{N}{A}$
- Vztah pro dovolené napětí: $\sigma_D = \frac{\sigma_{Kt}}{k_k}$

Sloučením těchto vztahů dohromady a vyjádřením získáme vztah pro plochu průřezu tyče:

- $A = \frac{N \cdot k_k}{\sigma_{Kt}}$

Jelikož se po vodících tyčích musí pohybovat posuvné upínací desky, tak je zřejmé, že specifický údaj bude, spíše než plocha průřezu tyče, její průměr. Plocha kruhové tyče se vypočítá následujícím způsobem:

$$\bullet \quad A = \frac{\pi d^2}{4}$$

Po úpravě sloučeného vztahu vztahem předchozím, získáme vztah pro výsledný průměr.

$$\bullet \quad d = \sqrt{\frac{4 \cdot N \cdot k_k}{\sigma_{Kt} \cdot \pi}}$$

Pro ukázkou si nyní provedme výpočet průměru tyče s údaji, které jsme si uvedli jako příklad, kde N je uzavírací síla v Newtonech, k_k je bezpečnost a σ_{Kt} je mez kluzu v tahu v $\text{N} \cdot \text{mm}^{-2}$. Bezpečnost pro náš výpočet volím $k_k = 3$. Výsledek pro zkrácení jednotek vyjde v milimetrech.

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot N \cdot k_k}{\sigma_{Kt} \cdot \pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 100000 \cdot 3}{325 \cdot \pi}} = 34,3 \text{ mm} \doteq 3,5 \text{ cm}$$

Pro námi zvolené údaje stroje a materiál tyčí nám vyšel průměr tyče 3,5 cm s hodnotou bezpečnosti rovnu třem.

5 Vstřikolis Arburg 270 S - 400

V rámci mé bakalářské práce mi bylo panem docentem Skočilasem představeno vstřikovací zařízení Arburg, které má Ústav procesní a zpracovatelské techniky ve svých laboratořích. Označení stroje Arburg 270 S - 400, vyjadřuje jeho vlastnosti. První číslice tedy 270 představuje vzdálenost vodících tyčí. Písmeno S je označení pro typ stroje. V tomto případě hydraulický. Koncové číselné označení nám má sdělit, jakou uzavírací sílu stroj má. V případě stroje ve školních laboratořích je uzavírací síla 400 kN. Jediné co označení nedává vědět, zda se jedná o vertikální nebo horizontální provedení. V našem případě se jedná o horizontální stroj.

V rámci ukázky stroje mi byl předveden také celý proces vstřikování a jednotlivé komponenty stroje. Na stroji se vyráběl výrobek na tahovou zkoušku z polyethylenu. Vstřikovací jednotka stroje byla opatřena šnekem. Celý stroj tzn. i uzavírací jednotka byla poháněna hydraulicky. U stroje byl zásobník provozní kapaliny, který má i funkci regulace teploty kapaliny. Pro správný chod stroje je nutné předem zapnout stroj, aby se kapalina dostala na svoji provozní teplotu a mohlo se na něm vyrábět, tak jak mi bylo předvedeno.

Závěr

V první části této bakalářské práce se zabývám oblastí plastů jako materiálu. Zmiňuji jakou má plast skladbu, vlastnosti, jak se plasty dělí a jak vyrábí. Následuje část, ve které popisuji okrajově všechny jednotlivé technologie vyrábějící výrobky z plastů, a poté jsem si jednu z těchto technologií zvolil a popsal detailněji včetně konstrukčního řešení. Vybral jsem si technologii vstřikování. V poslední části jsem měl za úkol popsat, jak bych postupoval při návrhu a dimenzování nějaké funkční části stroje zvolené technologie. Vybral jsem si vodící tyče uzavírací jednotky a následně popsal, jak by se navrhovaly.

Domnívám se, že vyhotovení práce bylo pro mě obrovským obohacením a získáním nových vědomostí, a to nejenom v oblasti plastů jako materiálu, ale hlavně v oblasti konstrukčních provedení strojů. Hodně mechanismů používaných na těchto strojích se totiž vyskytuje i na jiných strojích určených pro úplně jiné účely. Z toho usuzuji, že tyto nabyté vědomosti budou pro mě užitečné v navazujícím magisterském studiu a potažmo i pro mé budoucí povolání.

Použité zdroje a literatura

- [1] ŠTĚPEK, Jiří, Antonín KUTA a Jiří ZELINGER. *Technologie zpracování a vlastnosti plastů: celostátní vysokoškolská příručka pro vysoké školy chemickotechnologické, studijní obor 28-10-8 Technologie výroby a zpracování polymerů*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1989.
- [2] PECINA, Pavel a Josef PECINA. *Materiály a technologie - plasty*. Brno: Masarykova univerzita, 2006. ISBN 80-210-4100-5.
- [3] BĚLOHRÁDEK, PH.D., Ing. Luboš. *Polymery* [online]. [cit. 2016-08-02]. ISBN 978-80-88058-68-7. Dostupné z: <https://publi.cz/books/180/Cover.html>
- [4] AUSPERGER, Ing. Aleš. *Technologie zpracování plastů* [online]. [cit. 2016-08-02]. ISBN 978-80-88058-77-9. Dostupné z: <https://publi.cz/books/183/Cover.html>
- [5] *Wikipedie* [online]. 2002 [cit. 2016-08-02]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Hlavn%C3%AD_strana
- [6] Plasty a jejich zpracovatelské vlastnosti. In: *Technická univerzita v Liberci fakulta strojní: Katedra strojírenské technologie Oddělení tváření kovů a plastů* [online]. [cit. 2016-08-02]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/01.htm
- [7] Plasty. In: *Západočeská univerzita v Plzni fakulta strojní: Oddělení povrchového inženýrství* [online]. [cit. 2016-08-02]. Dostupné z: <http://www.ateam.zcu.cz/plasty.pdf>
- [8] Plasty. In: *Vyšší odborná škola zdravotnická s Střední zdravotnická škola Hradec Králové* [online]. [cit. 2016-08-02]. Dostupné z: <http://ptc.zshk.cz/vyuka/plasty.aspx>
- [9] Studijní materiály - Zpracování plastů / Teorie zprac. nekovových mat. In: *Technická univerzita v Liberci fakulta strojní: Katedra strojírenské technologie Oddělení tváření kovů a plastů* [online]. [cit. 2016-08-02]. Dostupné z: <http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/tzn.htm>
- [10] ZEMAN, Lubomír. *Vstřikování plastů: úvod do vstřikování termoplastů*. Praha: BEN - technická literatura, 2009. ISBN 978-80-7300-250-3.
- [11] SEIDL, Ing. Martin. *Stroje pro zpracování polymerních materiálů* [online]. 2015. [cit. 2016-08-10]. ISBN 978-80-88058-71-7. Dostupné z: <https://publi.cz/books/181/Cover.html>