



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

VÝROBA SOUČÁSTI "MADLO"

HANDLE PARTS PRODUCTION

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Ondřej Janáč

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Ladislav Žák, Ph.D.

BRNO 2020

Zadání bakalářské práce

Ústav:	Ústav strojírenské technologie
Student:	Ondřej Janáč
Studijní program:	Strojírenství
Studijní obor:	Strojírenská technologie
Vedoucí práce:	Ing. Ladislav Žák, Ph.D.
Akademický rok:	2019/20

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 bakalářské práce:

Výroba součásti "Madlo"

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Výstupem úkolu bude konstrukční řešení formy pro zadanou součástku.

Cíle bakalářské práce:

- Zhodnocení technologičnosti výroby součásti.
- Literární studie problematiky vstřikování plastů.
- Návrh a výpočty potřebných parametrů.
- Konstrukční řešení formy.
- Ekonomické vyhodnocení.

Seznam doporučené literatury:

KOLOUCH, Jan. Strojírenské výrobky z plastů vyráběné vstřikováním. 1. vyd. Praha : SNTL, 1986. 232s. ISBN 04-247-86

ŘEHULKA, Zdeněk. Konstrukce výlisků z plastů a forem pro zpracování plastů. Praha : SEKURKON s.r.o., 2008. ISBN 978-80-86604-36-7.

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

ZEMAN, Lubomír. Vstřikování plastů. 1.vydání. Praha: BEN – technická literatura, 2009, ISBN 978-8-7300-250-3.

JANCUŠOVA, Maria. Formy na tvárnenie plastov. 1. vyd. Žilina : EDIS - ŽU, 2010. 155 s. ISBN 978-810-550-0191-5.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2019/20

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.
ředitel ústavu

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

ABSTRAKT

JANÁČ Ondřej: Výroba součásti „Madlo“.

Práce předkládá návrh konstrukčního řešení formy pro zadanou součást. Na základě literární studie problematiky vstřikování plastů a výpočtů byla navržena vstřikovací forma se všemi náležitostmi. Určení násobnosti formy, velikost rozvodných kanálů, temperační a vyhazovací systém. Forma je z velké části navržena z normalizovaných dílů. Celá sestava je kompatibilní se vstřikovacím lisem Arburg Allrounder 520S. Ten disponuje vstřikovací silou 1600 kN. Tvarové desky formy jsou vyrobeny z nástrojové oceli jakosti 1.2083, která je legovaná. Práce obsahuje výkresovou dokumentaci vstřikovací formy.

Klíčová slova: vstřikovací cyklus, vstřikovací stroje, vstřikovací formy, kvalita vstřikovaných dílů, Madlo

ABSTRACT

JANÁČ Ondřej: Handle parts production.

The work submits the proposal of solutions of mold for specified components. An injection mold with all the essentials was designed based on literature study of plastic injection molding and calculations. Defining of multi-cavity molds, size of the runner system, temperature control and ejector system. The mold is largely designed from standard parts. The whole assembly is compatible with the Arburg Allrounder 520S injection molding machine. It has a clamping force of 1600 kN. The mold plates are made of tool steel of grade 1.2083, which is alloyed. The work contains drawing documentation of the injection mold.

Keywords: injection cycle, injection molding machines, injection molds, quality of injected parts, Handle

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

JANÁČ, Ondřej. *Výroba součásti "Madlo"* [online]. Brno, 2020 [cit. 2020-06-25]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/124939>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Ladislav Žák.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Tímto prohlašuji, že předkládanou bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně, s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího bakalářské práce.

V Brně dne 25.6.2020

.....

Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji panu Ing. Ladislavu Žákovi, Ph.D za cenné připomínky a rady týkající se zpracování bakalářské práce. Děkuji rodině za podporu během celého studia.

OBSAH

Zadání

Abstrakt

Bibliografická citace

Čestné prohlášení

Poděkování

Obsah

ÚVOD	9
1 ROZBOR ZADÁNÍ.....	10
1.1 Volba technologie výroby.....	12
2 LITERÁRNÍ STUDIE PROBLEMATIKY VSTŘIKOVÁNÍ PLASTŮ ..	14
2.1 Materiály	14
2.2 Vstříkovací stroje.....	15
2.2.1 Vstříkovací jednotka.....	17
2.2.2 Uzavírací jednotka.....	17
2.3 Vstříkovací formy	18
2.3.1 Násobnost formy, rozmístění dutin a vtokový systém.....	18
2.3.2 Temperace forem.....	22
2.3.3 Odvzdušnění forem	22
2.3.4 Vyhazovací systém	23
2.4 Vstříkovací cyklus.....	24
2.4.1 Popis a vliv časů vstříkovacího cyklu	25
2.4.2 Faktory ovlivňující vlastnosti a kvalitu výstříků	26
2.5 Vady vstříkovaných výrobků	29
3 NÁVRH A VÝPOČTY POTŘEBNÝCH PARAMETRŮ	32
3.1 Technologičnost a návrh součásti.....	32
3.2 Konstrukční řešení formy	34
3.2.4 Vstříkovací forma	35
3.3 Kontrola parametrů vstříkovacího lisu	39
4 TECHNICKO EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ	42
5 ZÁVĚRY	44

Seznam použitých zdrojů

Seznam použitých symbolů a zkratek

Seznam obrázků

Seznam tabulek

Seznam příloh

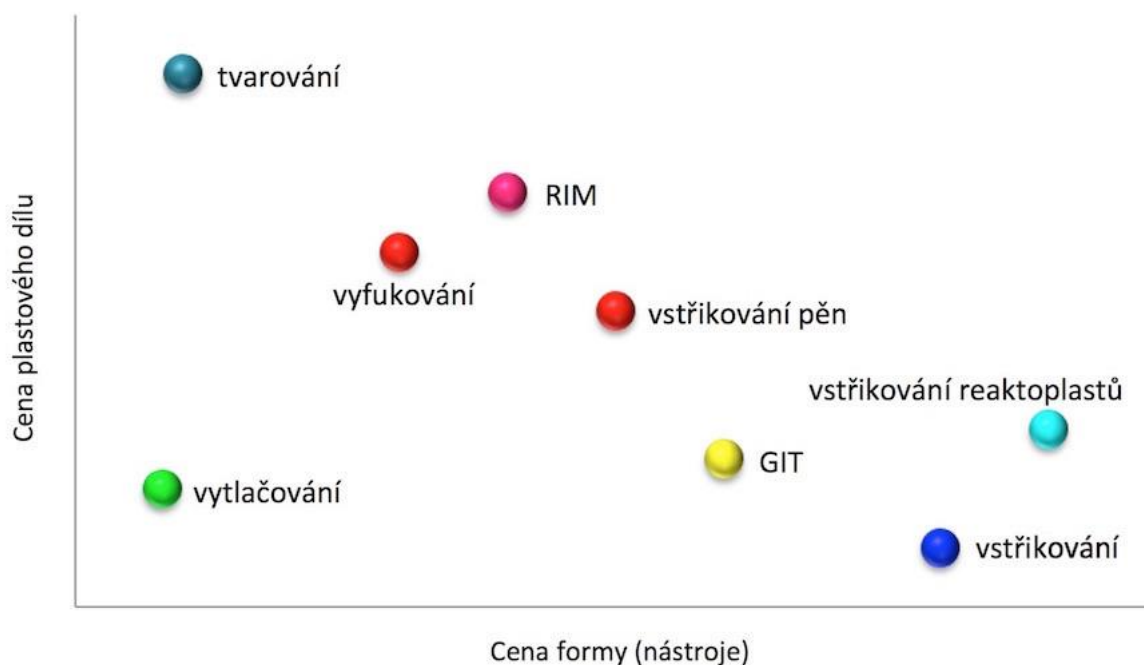
Seznam výkresů

ÚVOD [1], [2], [3]

V dnešní době jsou plasty jedny z nejčastějších, nejrozšířenějších a nejdůležitějších průmyslových materiálů. Plastové díly se využívají snad ve všech odvětvích. Od obalových materiálů, například v potravinářství, přes zbrojní průmysl, až po části automobilů.

Plastové materiály se zpracovávají podobnými technologickými postupy, které se zprvu používaly pro zpracování kaučuku, hliníku a jiných měkkých kovů. Stroje na zpracování těchto materiálů měly specifické vlastnosti. Zjistilo se u nich, že jsou vhodné i ke zpracování polymerů. V dnešní době je tato výroba již tak pokročilá, že stroje i celé výrobní linky jsou plně automatizovány a účast lidské obsluhy je minimální.

Technologických možností ke zpracování plastů, mezi něž se řadí termoplasty, reaktoplasty, kaučuky a pryže, je velké množství. Ke zvolení správného technologického postupu zpracování je třeba znát vlastnosti plastu, který chceme využívat, požadovaný tvar a funkci vyráběné součásti a v neposlední řadě ekonomii celého procesu. Správně zvolená technologie může ušetřit velké množství peněz. Druhy zpracování plastů a jejich náklady jsou na obrázku 1. Plasty lze zpracovávat technologií tváření, tvarováním nebo technologií procesního zpracování, kde patří například vstřikování plastů.



Obr 1. Náklady na vybrané technologie [3]

Nespornou výhodou zpracování plastů je jejich možnost recyklace. Při zpracování plastů vzniká množství odpadu. Odpadem může být přídavný materiál, například vtokový systém u vstřikování plastů, případně zmetky z výroby. Tento plastový odpad je možné znovu nadrtit nebo rozemlít do podoby granulátu a znovu použít. Doporučené množství recyklovaného materiálu, přidávaného v originálnímu plastu je maximálně 20 %.

1 ROZBOR ZADÁNÍ [4]

Předmětem bakalářské práce je výroba součásti s názvem Madlo. Madlo má být vyráběno ve fiktivní firmě, která se zabývá zpracováním plastů. Firma má, ze strojů vhodných pro výrobu zadané součásti, k dispozici obráběcí centrum, lis a vstříkolis.

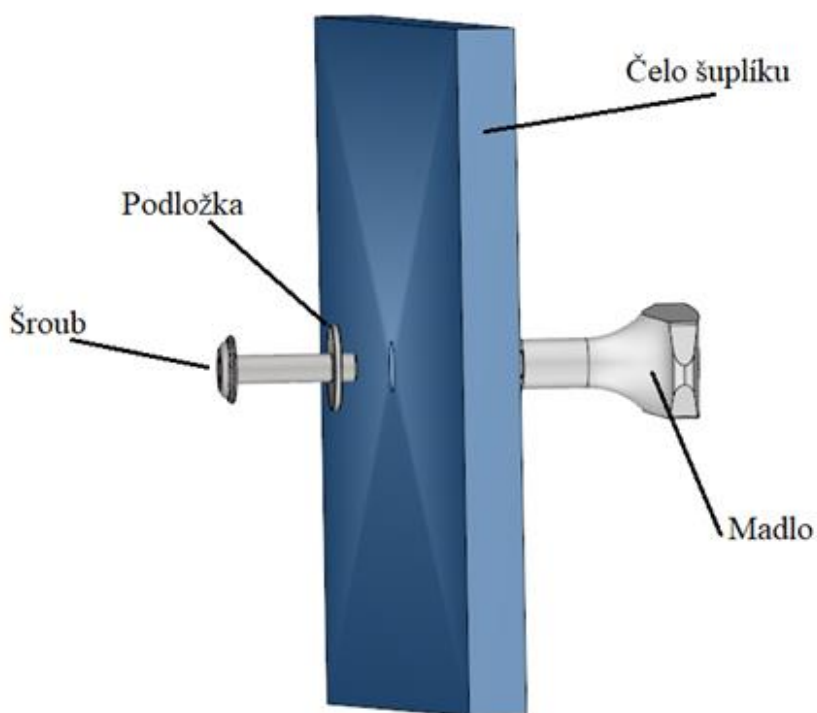
Madlo se bude používat k otevírání skříňek a šuplíků, které jsou primárně určeny ke skladování různých kosmetických a hygienických přípravků v koupelnách. Skříň s madlem je na obrázku 2.

Díl se bude k čelní desce skříňky připevňovat pomocí samořezného šroubu do plastu s půlkulatou hlavou a podložky, které budou našroubovány z druhé strany čela šuplíku, jak můžeme vidět na obrázku 3.

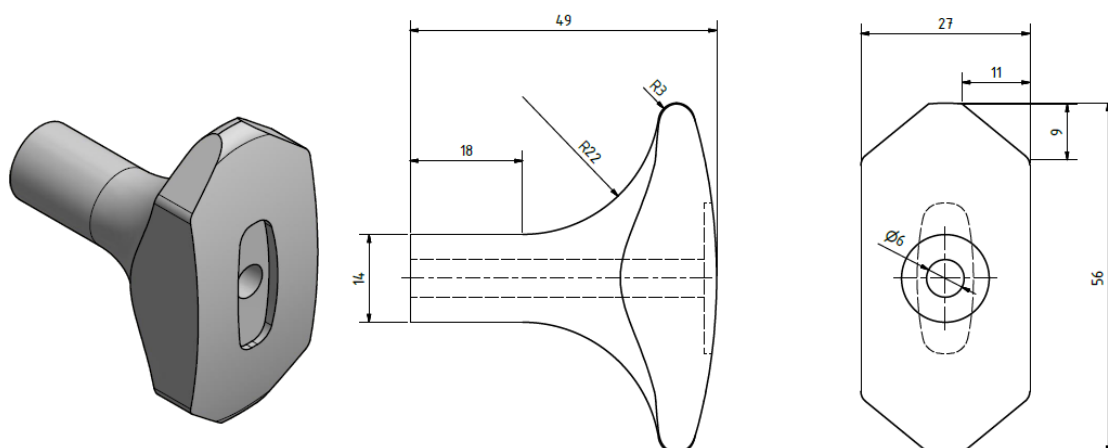
Madlo má mít tyto základní rozměry: výšku 56 mm, šířku 27 mm a celkovou délku 49 mm. Znázorněny na obrázku 4. Tyto hodnoty jsou vybrány pro pohodlný úchop madla a snadnou manipulaci se skříňkou či šuplíkem při jeho otevírání. Dále musí madlo vypadat vzhledově zajímavě, aby ozvláštnilo jednoduchý design nábytku. To by měl zajistit složitý tvar hlavy madla. U dílu nejsou požadovány žádné zvýšené rozměrové nebo geometrické tolerance. Rozměry se tedy řídí dle normy ČSN ISO 2768-1.



Obr. 2 Koupelnová skříň



Obr. 3 Připevnění madla



Obr. 4 Základní rozměry madla

U madla se počítá s produkcí 500 000 kusů. Při spotřebě tří madel na prezentovanou skříň a dalších sedmi madel ke zbytku sestavy koupelnové stěny, poslouží tento počet ke zkompletování 50 000 koupelnových sestav.

Dále bylo potřeba zvolit správný materiál. Do kontaktu s madlem bude denně přicházet lidská ruka. Ta může být mokrá, špinavá nebo mastná. Materiál tedy musí být odolný proti mechanickému poškození a poškrábání, musí mít dostatečnou pevnost a tuhost. Měl by jít snadno čistit a nesmí navlhat. Proto jako materiál na výrobu zadané součástky byl zvolen kopolymer akrylonitril-butadien-styrén – ABS.

Tab. 1 Vlastnosti materiálu ABS [5].

	Jednotka	Hodnota
Všeobecné vlastnosti		
Hustota při 20°C	ρ [g/cm ³]	1,07
Nasákavost (voda)	%	0,4
Nasákavost (vzdušná vlhkost)	%	0,1
Pracovní teplota	°C	-50 / 70
Mechanické vlastnosti		
Tahové napětí	MPa	37
Tažnost	%	7
Tvrдость dle Rockwella	MPa	73/R 105
Pevnost v ohybu	MPa	67
Tepelné vlastnosti		
Teplota měknutí dle VICATA	°C	103
Koeficient délkové roztažnosti	K ⁻¹ · 10 ⁻⁴	0,8
Teplota tání	°C	145
Elektrické vlastnosti		
Specifický vnitřní odpor	$\Omega \cdot \text{cm}$	10 ¹⁵
Elektrická pevnost	kV/mm	32-38

1.1 Volba technologie výroby [2], [6], [7], [8], [9], [10], [11]

V první řadě je třeba vybrat nejvhodnější technologii pro výrobu zadané součásti. Výrobních technologií je nepřehledné množství. Při výběru technologie je nutno brát ohled na to, aby součást byla touto metodou snadno vyrobitelná. Dalším hodnotícím kritériem je ekonomické zhodnocení výroby. Z těchto důvodů se výběr zúžil na tři možné technologie, a to obrábění, lisování a vstřikování.

- Obrábění (obr. 5) – je technologický proces, během něhož je z polotovaru odebrána tříska pomocí rozličných nástrojů. Tím vzniká požadovaný tvar součástky. Hlavní výhodou této technologie je možnost automatizace výroby. Neméně důležitým kladem obrábění jsou poměrně levné nástroje. Jako nevýhoda metody musí být zmíněno množství odpadu vznikajícího při obrábění a dlouhý výrobní čas na jeden díl, způsobený složitostí hlavy madla. Po zhodnocení kladů a záporů se tedy tato technologie jeví jako nevhodná.



Obr. 5 Obrábění plastů robotem [7]

- Lisování (obr. 6) – je výrobní technologie, která se skládá z několika kroků. Do lisovacího stroje je vloženo navážené množství prášku. Ten je následně slisován a ohřát na potřebnou teplotu, která působí, dokud není prášek spečen a vytvrzen. Poté je lis otevřen, díl je vyjmut a očištěn od ořepů. Následně se celý postup opakuje s dalším kusem. Jak již z výrobního postupu vyplývá, proces je zdlouhavý a náročný, proto je nevhodný pro výrobu větší série. Z tohoto důvodu tato technologie nebyla zvolena.



Obr. 6 Lisování plastů [9]

- Vstřikování (obr. 7) – je tvářecí proces, během něhož je granulát dopraven pomocí šnekového dopravníku do formy. Během této cesty je granulát roztaven na vstřikovací teplotu. Po naplnění formy dochází k dotlaku, aby se předešlo smrštění vstřikované součásti při jejím chladnutí. Až se výstřik ve formě dostatečně ochladí a ztuhne, forma se otevře, součást je vyjmuta a celý proces se může opakovat. Výhodou této varianty je plná automatizace, možnost vícenásobné formy a krátký výrobní čas. Naproti tomu nevýhodou je vysoká pořizovací cena stroje a formy.



Obr. 7 Vstřikovací lis Engel [10]

Po zhodnocení všech navrhovaných technologií výroby madla se jako nejvhodnější jeví varianta použití technologie vstřikování. Jednak z důvodu, že naše uvažovaná firma již vstřikovacími lisami disponuje, tudíž odpadá počáteční vysoká investice do nového zařízení. Další výhodou této metody je nejkratší výrobní čas celé série ze všech uvažovaných variant, a to díky možnosti vícenásobné formy a celkovému krátkému času výroby na vstřikovacích strojích. Po odladění vstřikovacích parametrů do nové formy se také počítá s velmi nízkou zmetkovitostí.

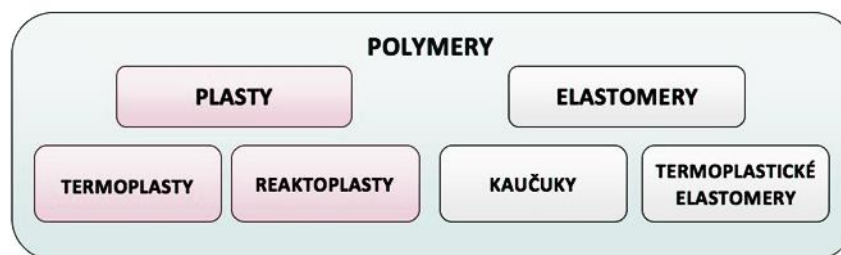
Technologií vstřikování a návrhem vstřikovací formy se bude zabývat teoretická a praktická část této bakalářské práce.

2 LITERÁRNÍ STUDIE PROBLEMATIKY VSTŘIKOVÁNÍ PLASTŮ [2], [3], [7], [12]

Vstřikováním plastů jsou nejběžněji vyráběny součástky, které mají již finální tvar a dají se rovnou používat. Případně jsou vyráběny polotovary, které se před zkompletováním do celkové sestavy musí ještě opracovat. Díly vzniklé vstřikováním jsou charakteristické dobrou rozměrovou i tvarovou přesností, vysokou opakovatelností a mechanickými či fyzikálními vlastnostmi vyráběných dílů. Tato technologie je nejčastějším způsobem zpracování plastů. Proces vstřikování je nepřetržitý, cyklicky se opakující. Vstřikováním se dají zpracovávat téměř všechny typy termoplastů i některé reaktoplasty a kaučuky.

2.1 Materiály [13], [14], [15], [16], [17]

Materiály používané pro vstřikování jsou polymery. Polymery jsou chemické látky s nejrůznějšími vlastnostmi. Ve svých makromolekulách obsahují atomy uhlíku, vodíku a kyslíku, případně dusík, chlor nebo jiné prvky. Polymery se vyskytují v tuhém stavu. do kapalného stavu se dostávají pouze při zpracování, kdy je na ně působeno zvýšenou teplotou a tlakem. Při zpracování získávají polymery nejrůznější tvar, který určuje jejich další předpokládané použití. Základní rozdělení polymerů je na plasty a elastomery. Toto rozdělení znázorňuje obrázek 8.

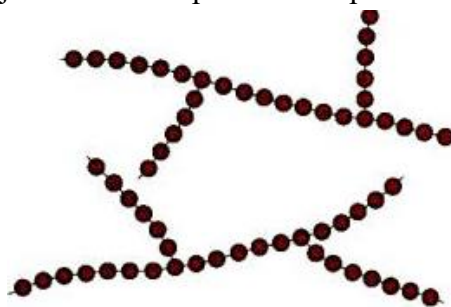


Obr. 8 Základní klasifikace polymerů [14]

Polymery typu plasty jsou za normálních podmínek tvrdé a křehké. Za zvýšené teploty se stávají plastickými, díky čemuž získaly svůj název, a tvarovatelnými. Pokud lze změnu z tuhého do plastického stavu opakovat, jde o změnu vratnou, jedná se o termoplasty. Pokud je změna neopakovatelná (nevratná, trvalá), tak jde o reaktoplasty. K této změně dochází nejčastěji chemickou reakcí za zvýšené teploty.

Druhým typem jsou velmi elastické polymery: elastomery. Elastomery se dají za běžných podmínek za pomoci malé síly deformovat. Tato deformace nezpůsobuje porušení dílu a je často vratná. Nejběžněji se vyskytující elastomery jsou kaučuky. Z kaučuků se vyrábí pryž. Pryže mají lepší elastické vlastnosti než termoplastické elastomery. Termoplastické elastomery mají ale jednu nespornou výhodu. Lze je zpracovávat pomocí vstřikování na běžných strojích, určených primárně pro termoplasty. Další výhodou je jejich možnost opětovného zpracování, recyklace.

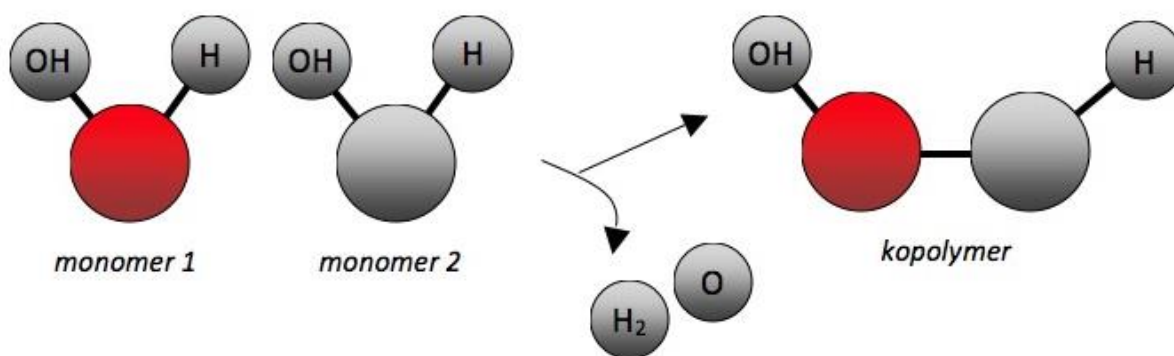
Kopolymer akrylonitril-butadien-styrén se řadí mezi termoplasty. Termoplasty mají polymerní makromolekulu rozvětveného typu (dalšími variantami jsou lineární a zesíťované). Rozvětvené makromolekuly jsou charakteristické tím, že od základního řetězce vybíhají boční větve. Model tohoto řetězce je na obrázku 9. Rozvětvené makromolekuly mají nižší hustotu než lineární. Je to z toho důvodu, že kvůli přítomnosti bočních větví se nemohou jedna ke druhé dostatečně přiblížit. Rozvětvení dále zhoršuje pohyblivost makromolekul, která má vliv na tekutost v roztaveném stavu.



Obr. 9 Rozvětvený řetězec makromolekul [15]

Termoplasty mohou mít amorfni nebo semikrystalickou nadmolekulární strukturu. ABS se řadí mezi termoplasty s amorfni strukturou. Tím rozumíme strukturu, která postrádá jakékoliv upořádání, je chaotická. Základní strukturou jsou globuly neboli klubička o velikosti: $10 \div 30$ nm, které obsahují stočené makromolekuly.

Kopolymer ABS vzniká chemickou reakcí zvanou polykondenzace. Polykondenzace je reakce, během níž ze dvou nízkomolekulárních látek vzniká polymer a nějaká jiná látka, nejčastěji voda. Schéma této reakce je znázorněno na obrázku 10.



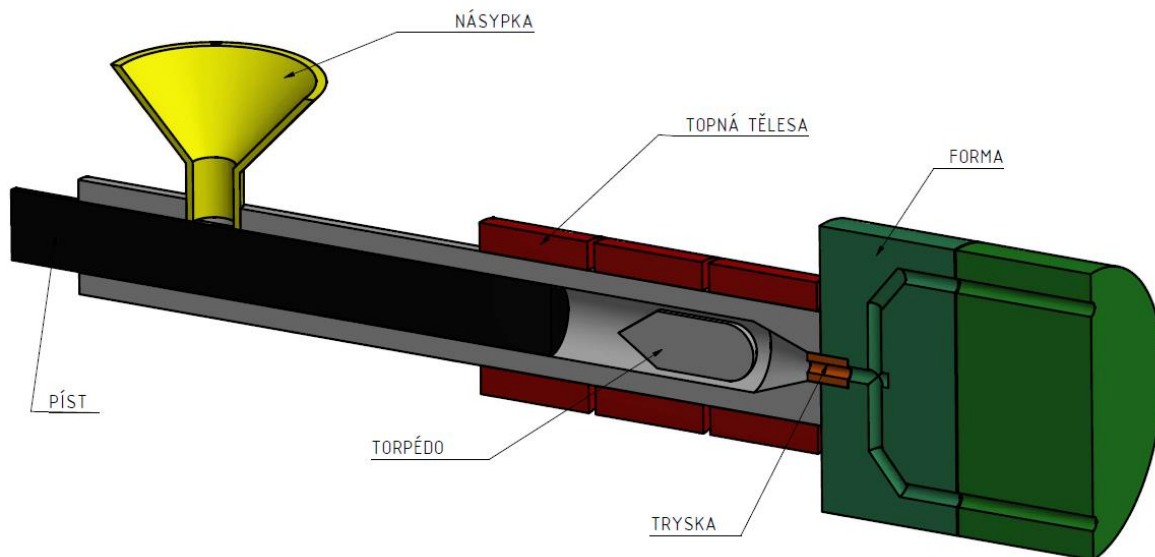
Obr. 10 Vznik kopolymeru pomocí polykondenzace [14]

ABS lze zpracovávat všemi technologickými postupy využívanými ke zpracování termoplastů. Nejvyužívanější z nich je, ale vstřikování. ABS se na trhu vyskytuje v mnoha různých variantách s charakteristickými vlastnostmi: houževnatostí, mechanickými vlastnostmi a chemickou odolností. Povrch výrobků má atraktivní vzhled v důsledku tvrdosti a lesku. Lze jej jednoduše galvanicky pokovovat. Má široké využití, a používá se hlavně ve formě kompozitních materiálů. Kompozitní materiály jsou polymery s přidáním skleněných vláken, díky nimž dosahují lepších mechanických vlastností.

2.2 Vstřikovací stroje [2], [3], [8], [18], [19], [20]

Technologie vstřikování plastů vznikla po 2. světové válce, kdy společnosti jako Engel z Rakouska nebo Arburg z Německa představily první komerční vstřikovací stroje. Postupem času se z jednoduchých lisů vyvinuly plně automatizované stroje s velkou přesností a produktivitou. Dnes se vstřikovací stroje dělí na dva základní typy, pístové a šnekové.

Starším typem jsou pístové vstřikovací stroje. Ve vstřikovací jednotce je umístěn píst, který se pohybuje pouze vpřed a vzad. Jestliže je píst v zadní pozici, napadá před něj granulát, který je připraven v násypce. Jakmile se dá píst do pohybu, tlačí před sebou granulát do tavicí komory. Ten je v komoře díky působení tlaku způsobeného pístem a teplotě komory roztaven. Píst tlačí taveninu dál. Ta se dostane až k trysce a přes ni dál do vstřikovací formy. Před tryskou musí tavenina ještě obtéct torpédo, díky čemuž se promíchá a zajistí si homogenní teplotu v celém objemu. Schéma pístového vstřikovacího stroje je na obrázku 11.

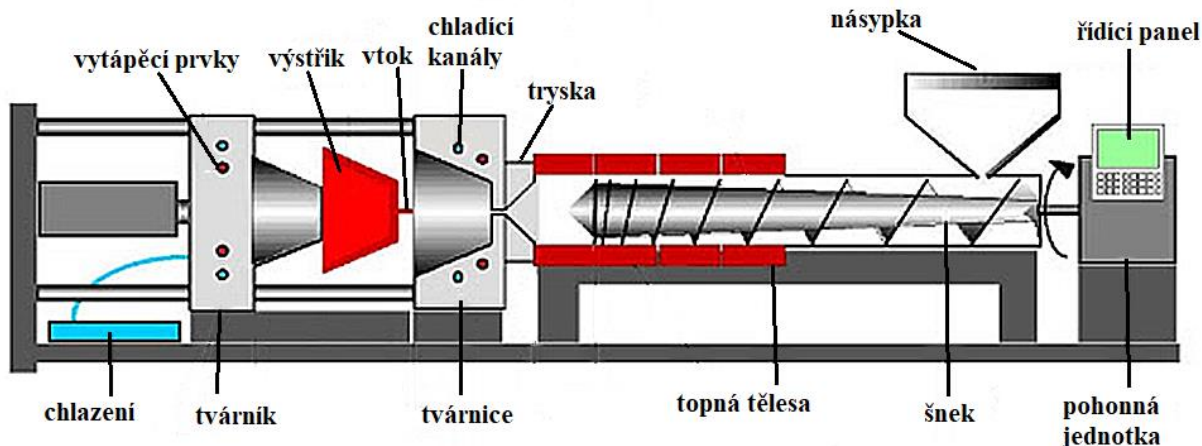


Obr. 11 Pístový vstřikovací lis [19]

Pístové vstřikolisy se v dnešní době téměř nepoužívají, byly nahrazeny šnekovými vstřikovacími stroji, které zajišťují lepší promíchání taveniny před zahájení vstřikování do formy. Pístové vstřikovací stroje se používají pouze pro speciální aplikace.

Šnekové vstřikovací stroje mají již složitější konstrukci. Detailní popis stroje je uveden na obrázku 12. Šnekové vstřikovací stroje se rozdělují podle orientace uzavírací jednotky. Nejčastějším typem je horizontálně orientovaná uzavírací jednotka. Druhou variantou je vertikální umístění uzavírací jednotky. Toto rozložení se používá například pro malé součástky, u kterých potřebujeme, aby je obsluha vytáhla ze stroje ručně a před spuštěním následujícího lisovacího cyklu s nimi provedla další operaci. Například aby obsluha vytáhla zalisované jádro a ustavila ho zpět do formy. Případně pokud hrozí poškození výstřiku pádem do připraveného zásobníku. Třetí variantou je orientace pod úhlem. Mnohé konstrukční řešení umožňují úhel měnit, nejčastěji se používá sklon 45°.

Díky tomu, že je poptávka po těchto strojích poměrně veliká, výrobci strojů nabízejí obrovské množství variant a typů, ze kterých si může zákazník vybrat. Například firma Arburg nabízí možnost si svůj vstřikovací stroj poskládat do nejmenších detailů, kdy kromě standardní možnosti různých velikostí, roztečí vodících sloupků a vstřikovacího tlaku si může zákazník vybrat kolik chce ovládacích topných zón.

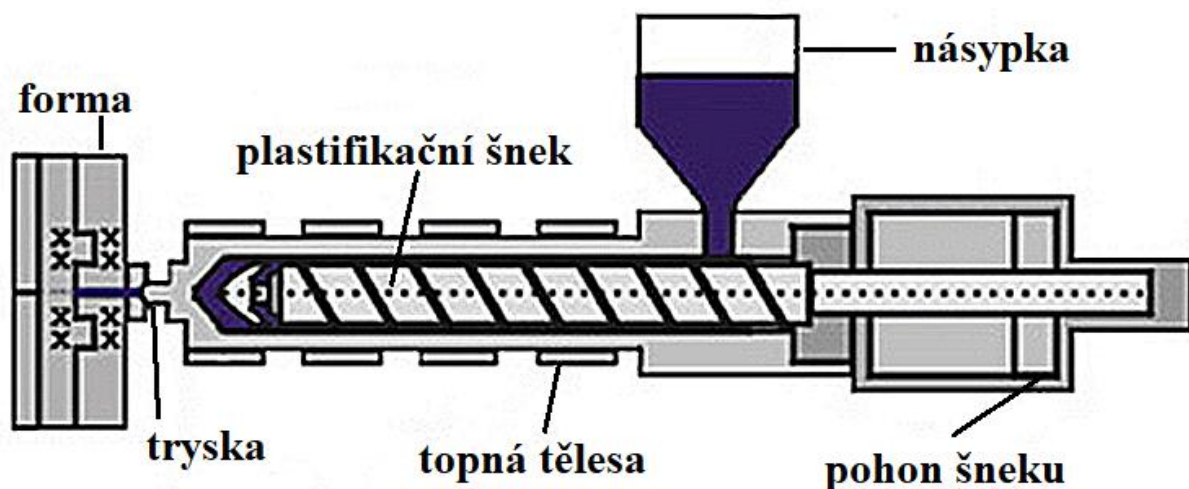


Obr. 12 Šnekový vstřikovací stroj [8]

2.2.1 Vstřikovací jednotka [8], [18], [20]

Vstřikovací jednotka slouží k roztavení granulátu, přivedeného z násypky, na viskózní taveninu a dále k dopravení taveniny do vstřikovací formy a zajištění co nejlepší kvality výstřiku. Vstřikovací jednotka se pohybuje pomocí posuvné konzole, na kterou je připevněna. Hlavní hydraulický pohon zajišťuje rotaci šneku, která napomáhá k roztavení a promísení granulátu. Hydraulický pohon také způsobuje pohyb šneku dopředu a dozadu, který slouží k přenosu taveniny do vstřikovací formy a vytváří tlak na taveninu během fáze dotlaku.

Vstřikovací jednotka (obr. 13) se skládá z následujících komponentů. Vstupní násypka, která zajišťuje samovolný přesun granulátu do tavicí komory. Tavicí komora, to je vlastně dutý válec, zakončený tryskou, ve které se pohybuje šnek. Ohřev tavicí komory zabezpečují topné pásy, které jsou umístěny okolo komory. Topné pásy jsou nejčastěji odporové topné elementy, které lze samostatně ovládat. Tryska slouží jako spojnice mezi vstřikovací jednotkou a vstřikovací formou. Má za úkol zajistit přesné dosednutí vstřikovací jednotky na formu a vzájemné vycentrování.



Obr. 13 Vstřikovací jednotka [18]

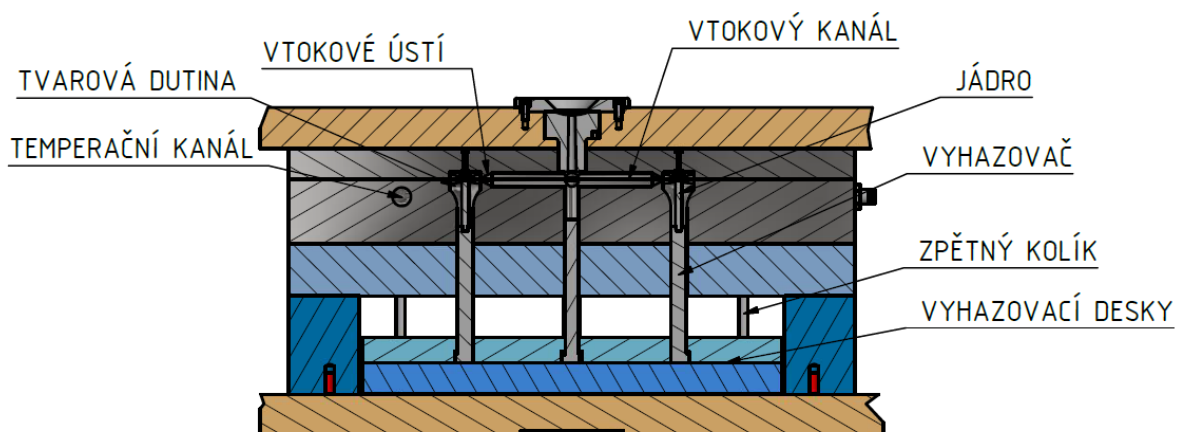
2.2.2 Uzavírací jednotka [8], [18], [20]

Uzavírací jednotka zabezpečuje uzavření a pohyby formy. Skládá se z vodících sloupků. Ty zajišťují přesnou rovnoběžnost upínacích desek. Na upínací desky se připevňuje vstřikovací forma. Upínací desky jsou dvojího druhu. Pevná upínací deska, která je připevněna k rámu stroje a pohyblivá upínací deska, která slouží k uzavírání a otevírání formy. Upínací desky se k formě připevňují pomocí upínek. Ty jsou na bázi bajonetového, hydraulického nebo magnetického systému.

Vyhazování výrobků z formy zajišťuje uzavírací jednotka, a to pomocí dvou metod. Jednodušší variantou je pohyb vyhazovacího systému přes doraz stroje. Druhou možností je použití hydraulického vyhazovacího systému. Vyhazovací systém bude blíže popsán v následující kapitole.

2.3 Vstřikovací formy [8], [18], [20], [21], [22]

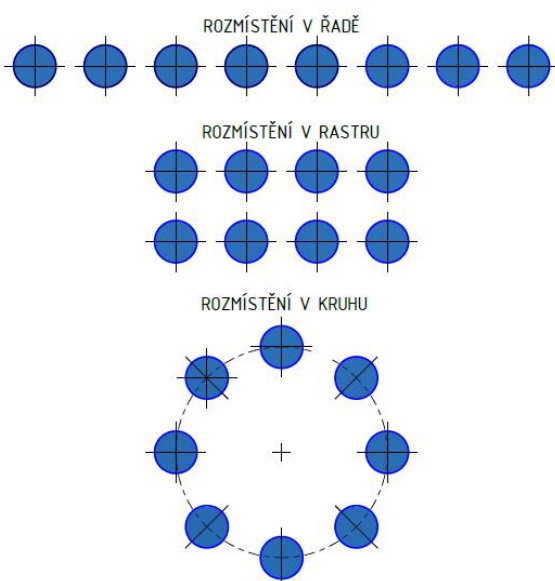
Vstřikovací forma je nejdůležitější a nejsložitější část celého vstřikovacího stroje. Má tři základní funkce, při nichž musí splňovat spoustu požadavků. První funkcí je doprava roztaveného materiálu do dutiny formy, kdy musí být správně navržen vtokový systém, který zajistí rovnoměrné plnění dutiny a zabrání zatuhnutí taveniny v kanálcích. Ústí vtoků sloužící k jednoduchému oddělení výstřiku z tvarové dutiny od vtokového systému. Přitom musí být forma odolná proti deformaci, kterou způsobuje vtlačovaná tavenina. Druhou funkcí, kterou forma zajišťuje, je přenos tepla. Forma musí zajistit odvod tepla z vstřikovaného dílu. K tomu slouží temperační kanálky a použitý materiál formy. Poslední funkcí formy je odformování dílu, kdy je potřeba mít správně navrženou dělicí rovinu pro otevření formy a vytáhnutí jader. Následuje odformování samotného výstřiku, které se nejčastěji provádí pomocí vyhazovačů. Znárodnění popsanych částí formy je vyobrazeno na obrázku 14.



Obr. 14 Části vstřikovací formy [22]

2.3.1 Násobnost formy, rozmístění dutin a vtokový systém [21], [22], [23], [24], [25], [26]

Násobnost formy a rozmístění dutin musí být navrženy tak, aby forma byla kompaktní, snadno vyrobitelná a co nejvíce produktivní. Vtokový systém do rozmístěných dutin musí být co nejkratší, aby v něm zůstávalo co nejmenší množství taveniny. U vícenásobných forem existuje několik variant rozmístění tvarových dutin. Tyto varianty jsou ukázány na obrázku 15.



Obr. 15 Rozmístění dutin ve formě [22]

Rozmístění dutin v řadě není vhodné řešení, protože dráha, kterou musí urazit tavenina na své cestě do dutiny, není stejně dlouhá. Toto rozložení má tedy za následek nerovnoměrné rozložení vstřikovacího tlaku, které vede ke zmetkovitosti dílů. Druhou možností je rozmístění dutin do mřížky. Nejčastěji se tímto způsobem rozmísťují 2, 4, 8, 16, 32 dutin do jedné formy. Tato varianta má lepší rozložení vstřikovacího tlaku při plnění. U vyšších násobků je třeba použít horkou vtokovou soustavu. Při nutnosti rovnoměrného plnění se nejlépe jeví varianta třetí, rozmístění dutin do kruhu. Tento způsob rozmístění ovšem umožňuje maximálně 8 dutin. Není třeba používat horkou vtokovou soustavu a vzdálenost každé dutiny od středu je stejná.

Druhou nevýhodou této možnosti rozmístění jsou velké nároky na prostor. Ideálním řešením pro co nejvyšší násobnost formy je tedy kombinace druhé a třetí varianty.

Pro co nejvyšší hospodárnost procesu vstřikování se tedy určuje násobnost forem. V praxi platí, že čím je díl menší a jednodušší, tím může mít jeho forma vyšší násobnost. Jednonásobná forma se tedy hodí pouze pro velké součásti. Vícnásobné formy závisí na celkovém požadovaném počtu výstřiků, možného času na vyrobení zakázky, parametrech dostupného lisu a finančních možnostech firmy.

- Podle vstřikovací kapacity lisu je násobnost formy určena dle vztahu:

$$n_1 = \frac{0,8 \cdot Q_v}{(V + V_z)}, \quad (2.1)$$

kde: n_x [-] násobnost formy,
 Q_v [cm^3] maximální zdvihový objem,
 V [cm^3] objem výstřiku,
 V_z [cm^3] objem hmotného zbytku $(0,05-1) \cdot V$.

- Podle plastifikačního výkonu lisu je násobnost formy určena dle vztahu:

$$n_2 = \frac{Q_p \cdot t_c \cdot 1000}{(V + V_z) \cdot 3600 \cdot \rho}, \quad (2.2)$$

kde: Q_p [kg/hod] plastifikační výkon stroje,
 t_c [s] celková doba vstřikovacího cyklu,
 ρ [g/cm^3] hustota plastu.

- Podle uzavírací síly lisu je násobnost formy určena dle vztahu:

$$n_3 = \frac{0,8 \cdot F_u}{S_d \cdot p_v}, \quad (2.3)$$

kde: F_u [MN] uzavírací síla stroje,
 S_d [m^2] plocha dutiny a kanálků v dělicí rovině,
kolmo na směr uzavírací síly,
 p_v [MPa] vstřikovací tlak.

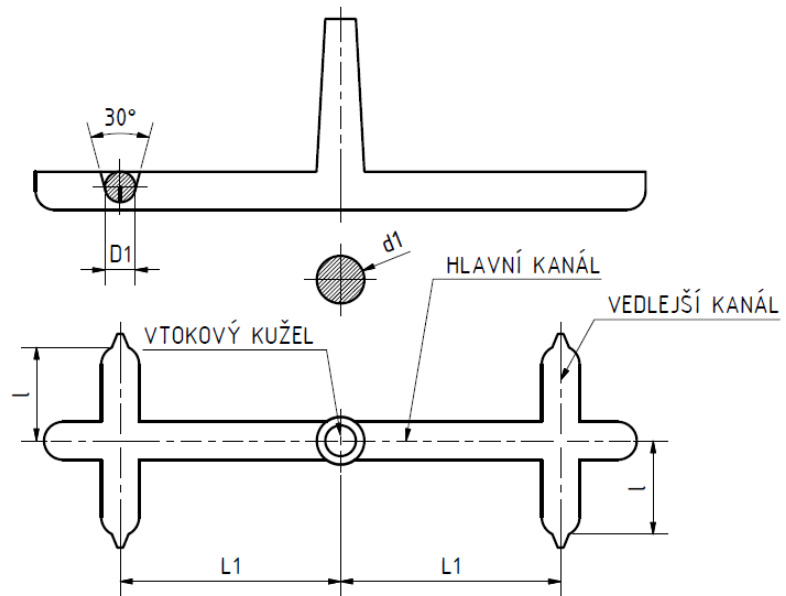
- Podle termínu výroby je násobnost formy určena dle vztahu:

$$n_4 = \frac{N \cdot t_c}{T_p \cdot K_c \cdot 3600}, \quad (2.4)$$

kde: N [ks] požadovaná produkce,
 T_p [hod] doba produkce,
 K_c [-] koeficient využití času.

Vtokový systém slouží k transportu taveniny od čela trysky vstřikovacího stroje přes vtokovou vložku, rozváděcí kanálky a ústí vtoku do tvarové dutiny formy. Schéma je znázorněno na obrázku 16.

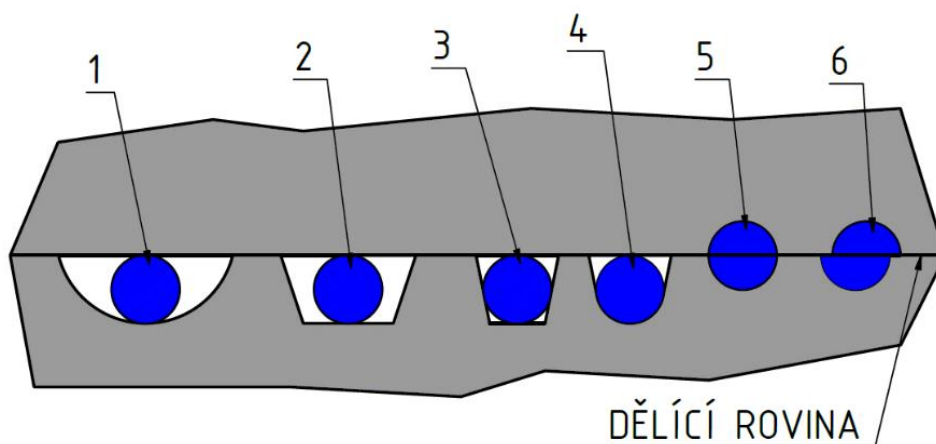
Vtoková vložka slouží k přepravě taveniny do požadované hloubky. To, že je hlava vložky zakončena rádiusem, slouží k přesnému a těsnému dosednutí čela vstřikovací trysky stroje. Velikost rádiusu se nejčastěji pohybuje v rozmezí R15 – R40 mm a musí být stejně veliký jako rádius na čele trysky. Vnitřní kanál vložky má úkos 0,5°-1° sloužící ke snadnému vyjmutí z formy. Rozváděcí kanálky vedou taveninu od vtokové vložky, která je ve středu formy do



Obr. 16 Schéma soustavy rozváděcích kanálů [25]

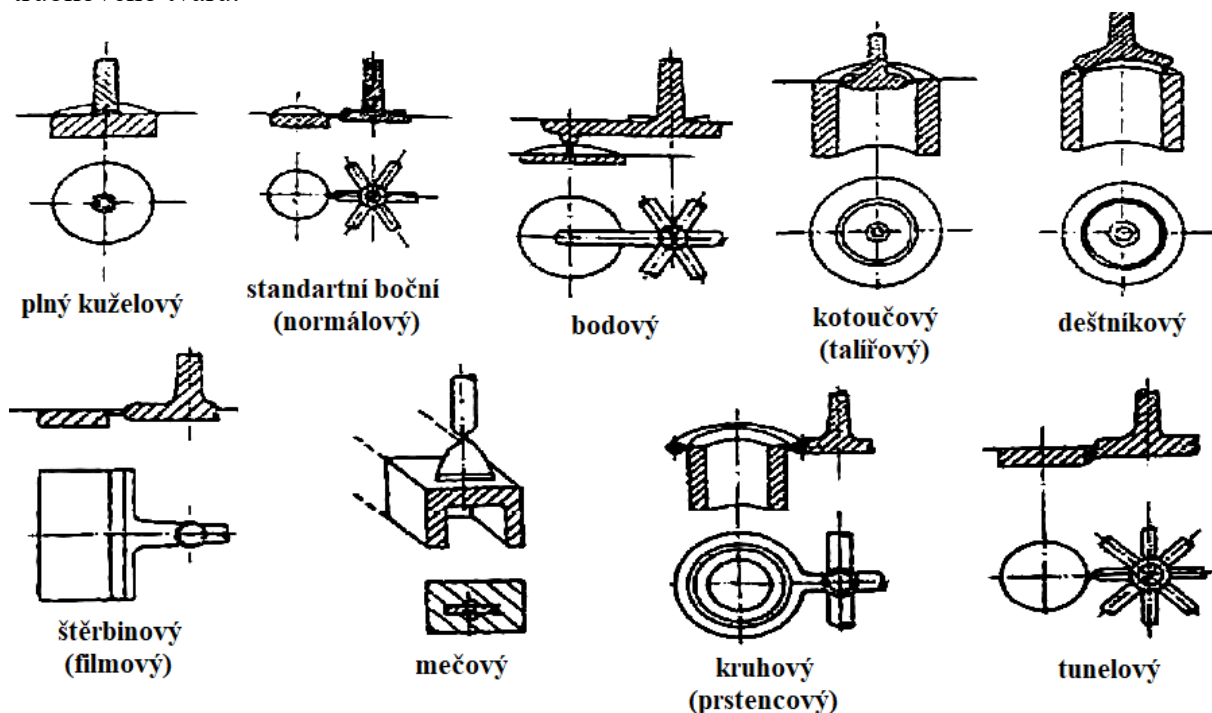
tvarových dutin formy. Rozváděcí kanálky se nejčastěji nachází v dělicí rovině formy. Jejich tvar a velikost má vliv na efektivitu vstřikování, ale i na cenu formy. Porovnání různých variant je na obrázku 17. První dvě varianty jsou jednoduché na výrobu a tudíž i levné. Jejich průřez je ale příliš velký a prodlužují tedy výrobní cyklus a zvyšují množství odpadu. Pokud je průřez kanálku naopak příliš malý, vznikají při vstřikování komplikace s nedostatečnou velikostí vstřikovacího tlaku. Nejvhodnější je tedy taková velikost kanálku, která zajistí co nejjednodušší plnění formy při co nejmenším množství odpadového materiálu. Správným řešením z tohoto pohledu jsou tedy varianty 3, 4 a 5. Vhodnější variantou rozváděcího kanálu jsou možnosti 4 a 5, které díky kruhovému průřezu navíc minimalizují kontakt s povrchem formy. To je důležité pro pomalejší tuhnutí proudícího plastu na stěně rozváděcího kanálku, které vede ke snížení vstřikovacího tlaku do dutiny formy. Ideální variantou je řešení pět, kdy vzniká nejmenší množství odpadu.

Je ale třeba dbát na to, aby na sebe desky formy správně doléhaly. Jinak může vzniknout nesprávná varianta číslo 6.



Obr. 17 Provedení rozváděcích kanálků [22]

Ústí vtoku spojuje vtokové kanálky a tvarovou dutinu formy. Ústí vtoku se vyznačuje tím, že má menší tloušťku oproti rozváděcímu kanálku a stěně vstřikovaného dílu. Díky tomu tavenina v ústí zatuhne jako první. Zabraňuje tím návratu materiálu zpět do rozvodného kanálku v době, kdy přestane působit dotlak. Druhou funkcí zúžení je snadnější oddělení vstřikovaného dílu od rozvodného kanálku. Vyskytuje se řada variant provedení ústí vtoku. Nejčastější z nich jsou znázorněny na obrázku 18. Běžnými typy jsou filmové ústí, vějířovité ústí, zvonové ústí. Díky zvonovému ústí má výsledný výstřik lepší povrch a vzhled v porovnání s filmovým ústím. Je to dáno tím, že zvonové ústí umožňuje lepší působení dotlaku. Dalšími variantami jsou podúrovňové ústí, tunelové ústí, které má funkci samooddělení od vtokového kanálku. Banánové ústí sloužící k plnění dutiny z protilehlé strany. Deštníkové ústí na výrobu dílů s velkým otvorem uprostřed, jako například ozubené kolo. Tento způsob plnění zamezuje vzniku studeného spoje, který je popsán v další kapitole. Talířové ústí pro vystřikování dílů trubkového tvaru.

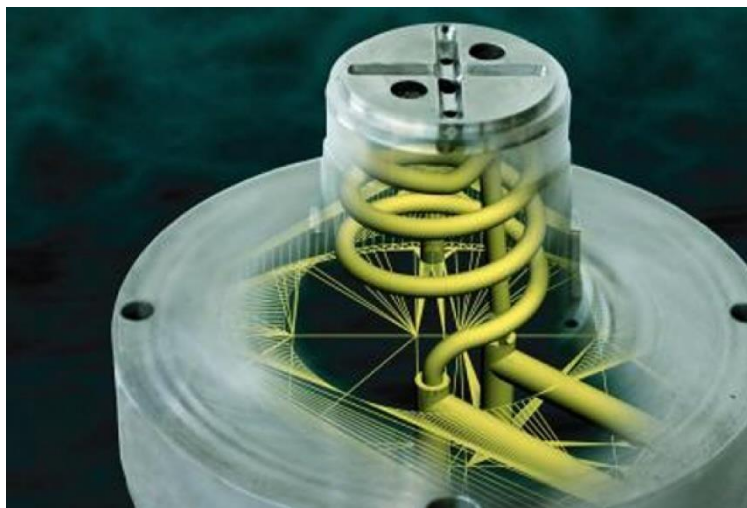


Obr. 18 Druhy vtokových ústí [26]

Vtokové soustavy mají dvě varianty: studený vtokový systém nebo horký vtokový systém. O tom, který vtokový systém bude použit, rozhoduje konstruktér na základě charakteru výstřiku, způsobu a ekonomice výroby. Je třeba, aby byl brán ohled na materiál, ze kterého byly jednotlivé díly vyrobeny. A způsob, jakým se forma bude montovat. Studený vtokový systém je vhodnou variantou pro jednodušší výstřiky a malosériovou výrobu. V případě studeného vtoku není třeba připlácet za odolnější materiál. Dále není nutná složitá a nákladná údržba a odpadají případné komplikace při změně použitého materiálu, které mohou nastat u horkých vtoků. Vyhřívaný vtokový systém je využíván u forem pro velkosériovou výrobu a složitě tvarované výstřiky. Použití horké vtokové soustavy velmi zvyšuje výslednou cenu formy. Jelikož tato soustava značně zatěžuje formu, ať už to tepelně nebo mechanicky. Proto je třeba na výrobu formy použít dražší a odolnější materiály. Horké rozvodné systémy pracují s teplotami dosahujícími až 370 °C. Při takto vysokých teplotách musí být brána v potaz izolace systému a potřebná vůle pro roztahování ohřáté formy. Velkou výhodou horkých rozvodných systémů je možnost uzavíratelného ústí vtoku. Toto uzavření je mechanické a eliminuje nechtěné unikání taveniny plastu ven z rozvodu. Při vhodně navržené konstrukci nevzniká na vstřikovaném dílu v podstatě žádná stopa po oddělení ústí vtoku.

2.3.2 Temperace forem [21], [22], [26]

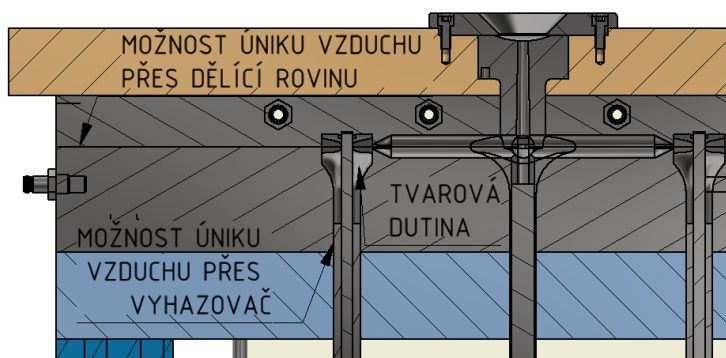
Důležitý vliv na kvalitu vstřikovaného dílu má teplota vstřikovací formy. Teplota formy je ovlivňována systémem temperačních kanálků. Temperační systém tedy zajišťuje ohřátí formy na požadovanou teplotu v průběhu plnění dutiny. To vede ke zkrácení vstřikovacího času a zlepšení mechanických vlastností, kvality povrchu a zmenšení smrštění. Dále temperační systém zajišťuje následný odvod tepla při chladnutí výstřiku, aby mohl být co nejdříve vyjmut z formy. Jako médium se v temperačních kanálkách používají různé oleje nebo voda. Temperační kanálky by měly být umístěny do blízkosti nejobemnější částí dutiny formy, protože tyto místa chladnou nejpomaleji. Temperační kanálky musí být ve formě navrženy tak, aby si nepřekážely například s vyhazovači nebo pohyblivými jádry. Systémy temperačních kanálků jsou složité na výrobu a následnou údržbu. Proto prodražují výrobu formy a její následný provoz. Příklad temperačních kanálků je znázorněn na obrázku 19.



Obr. 19 Temperační systém [27]

2.3.3 Odvzdušnění forem [21], [22], [25], [26]

Tavenina vtékající do dutiny formy stlačuje vzduch, který se v ní nachází. Pokud vzduch není schopný z dutiny uniknout dostatečně rychle, mohou na výstřiku vznikat vady v podobě nedotečených částí, spálených míst nebo bublin uvnitř výstřiku. Běžně je vzduch schopný uniknout přes dělicí rovinu formy, nebo okolo vodících ploch vyhazovačů, popřípadě pohyblivých jader, znázorněno na obrázku 20. Jestliže tyto možnosti nestačí, je třeba do formy zakomponovat odvzdušňovací kanálky, které její výrobu opět prodraží. Šírky odvzdušňovacího kanálku pro různé typy plastů jsou v tabulce číslo 2. Druhou možností je zpomalit rychlost plnění, aby měl vzduch více času uniknout přes již vzniklé spáry. To ale prodlouží čas výroby.



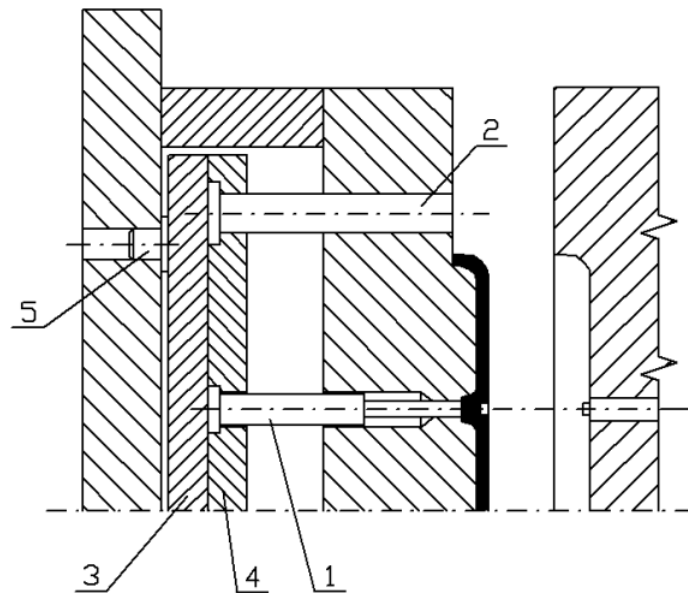
Obr. 20 Příklad odvzdušnění formy

Tab. 2 Doporučené šírky odvzdušňovacích kanálů [22].

Typ plastu	Šírka odvzdušňovacího kanálu [mm]
PC, POM	max. 0,05
PS, ABS	max. 0,05
PA	0,02 - 0,03
PBT	max. 0,03
PA (se skelným vláknem)	0,05
strukturní pěny	max. 0,1

2.3.4 Vyhazovací systém [21], [22], [26], [27]

Vyhazovací systém vstřikovací formy slouží k odformování vstřikovaných dílů z dutiny formy. Skládá se z vyhazovacích kolíků (1), vraccích kolíků (2), opěrné (3) a hlavní (4) vyhazovací desky a pohonu celého systému (5). Vyhazovací kolíky mají nejčastěji válcový tvar a jsou uloženy s vůlí. Toto složení je znázorněno na obrázku 21. Pokud je výstřikem složitější součást, mohou do systému přibýt další potřebné prvky, jako například hydraulické či pneumatické válce, sloužící pro pohyb s pohyblivými jádry, různé šikmé kolíky, pružiny, dorazy, zajišťovací prvky a jiné. Další ze způsobů vyhazování je například použití vzduchového vyhazovače. U tohoto způsobu je mezi výstřik a dutinu formy přiveden stlačený vzduch. Tento způsob se využívá pro odformování hlubokých nádob. Vyhazování pomocí stírací desky se používá pro odformování tenkostěnných dílů.



Obr. 21 Vyhazovací systém [26]

Vyhazování pomocí stírací desky se používá pro odformování tenkostěnných dílů.

Kolíkový vyhazovací systém funguje na jednoduchém principu. Při otevírání formy je spuštěn pohon vyhazovacího systému, který pomocí vyhazovacích kolíků vytlačí nový díl z formy. Díl buď propadne působením gravitace do nádoby připravené pod lisem, nebo je odebrán obsluhou lisu. Když se následně začne forma zavírat, narazí pohyblivá deska na vraccí kolíky vyhazovacího systému a přes ně zatlačí celou sestavu do výchozí pozice.

Síla, která je nutná k odformování, se počítá podle vztahu:

$$F_v = F_o \cdot \operatorname{tg} \varphi, \quad (2.5)$$

kde: F_v [N] vyhazovací síla,
 F_o [N] otevírací síla,
 φ [-] koeficient tření.

Otevírací síla se vypočítá dle vztahu:

$$F_o = p_v \cdot S_d. \quad (2.6)$$

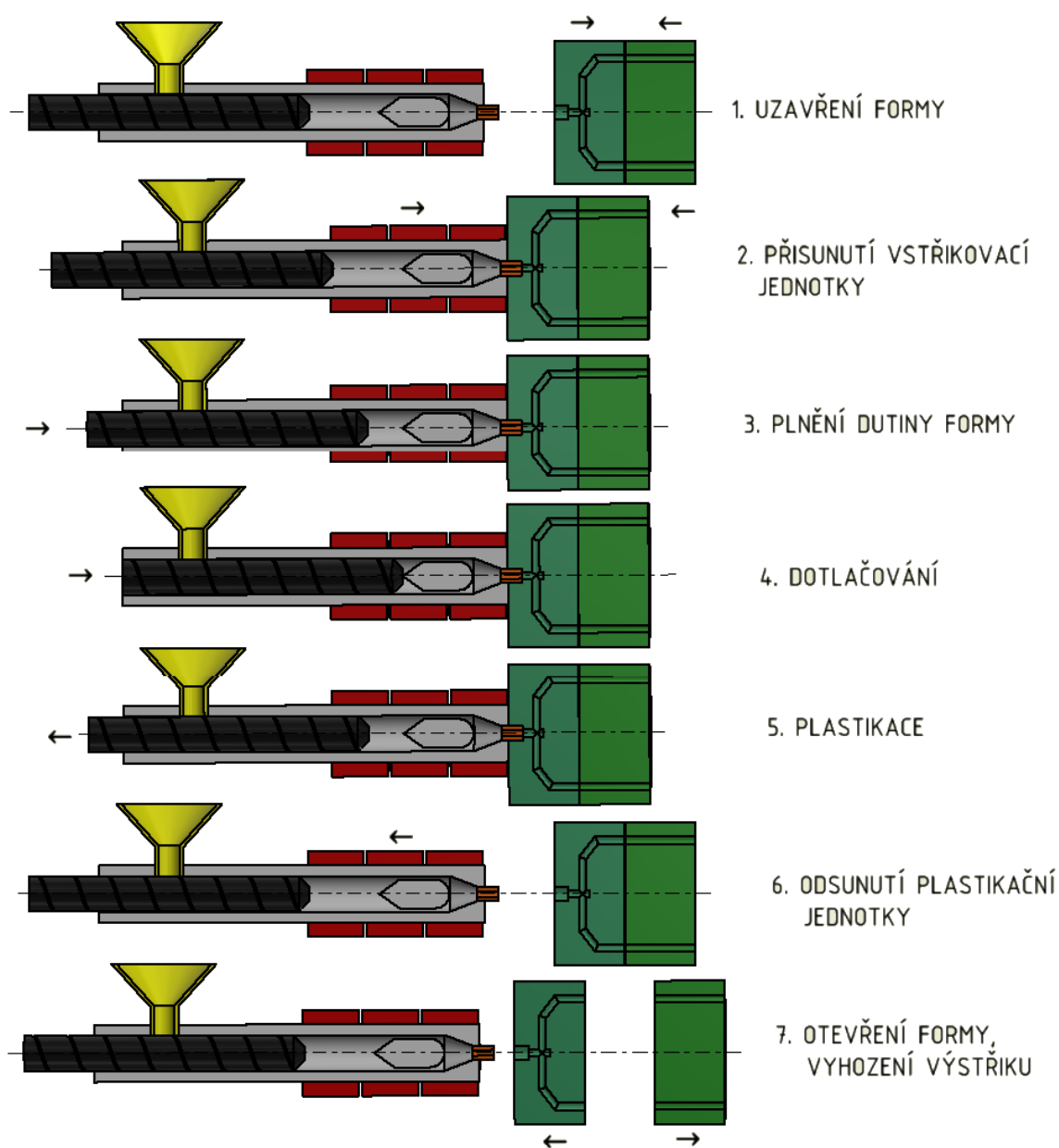
Aby vyhazovací systém správně a spolehlivě fungoval, je nutné, aby výstřik měl hladký povrch a na stěnách výstřiku byl úkos alespoň $0^\circ 30'$. Celý vyhazovací systém se musí pohybovat nahoru a dolů rovnoměrně. Rovnoměrný pohyb zamezí vzpříčení výstřiku, které by vedlo k deformaci a poškození dílu.

Při správném navržení lze vyhazovače používat pro výrobu funkčních dutin místo jader nebo u složitějších tvarů jako části tvárníku. Vyhazovače lze používat na pomoc při odvzdušnění.

Velmi často zanechávají vyhazovače na výstřiku stopu po kontaktu. Proto je potřeba, aby byli umístěny tak do míst, kde stopa nebude na závadu. Například strana dílu, která není pohledová. Pokud to není možné, je výstřik nutné dodatečně opravit.

2.4 Vstřikovací cyklus [3], [8], [28], [29]

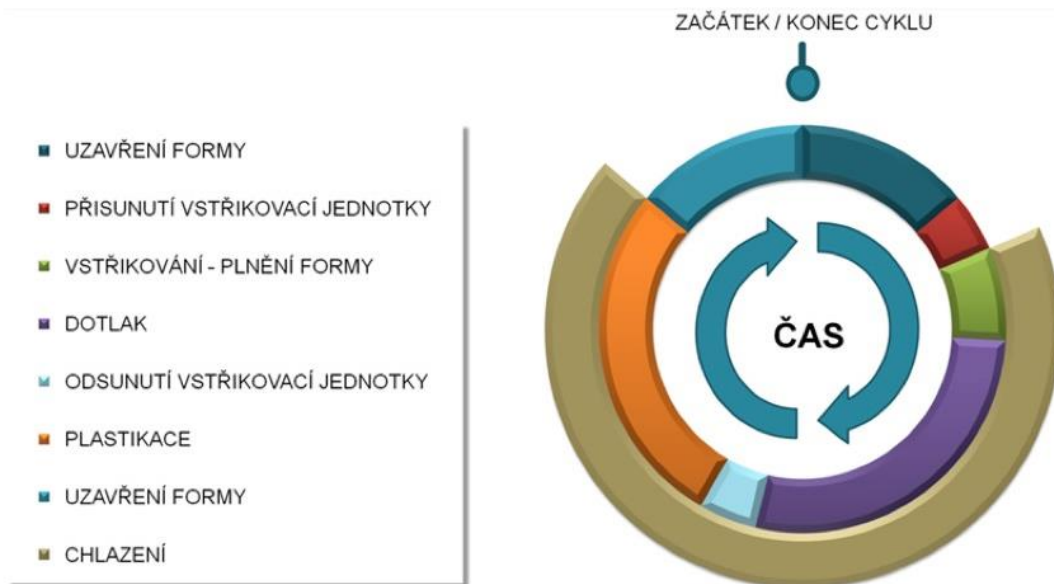
Vstřikovací cyklus je definován jako doba, která začíná uzavřením formy a pokračuje vstřikem polymerní taveniny do dutiny vstřikovací formy. Vstřikovací tlak se následně změní na dotlak. Následuje fáze plastifikace, chlazení taveniny, odsunutí plastifikační jednotky a poslední fází je otevření vstřikovací formy, případně vyhození výstříku z formy pomocí vyhazovačů. Termoplastický materiál má nejčastěji podobu granulí. Je uložen v násypce, která zásobuje pracovní část vstřikovacího stroje, ve které je nejčastěji šnek. Méně časté je použití pístu. Otáčející se šnek tlačí granule plastu do tavicí komory. Díky působení tření a teplotě tavicí komory se granule plastu rozpouští a vzniká tavenina. Takto vzniklá tavenina je vstřikována do dutiny vstřikovací formy, dokud ji celou nezaplní. Poté nastává dotlakovací fáze, která slouží ke zmenšení smrštění a k zabránění vzniku rozměrových změn. Tavenina ve vstřikovací formě odevzdává teplo do okolí, díky čemuž se ochlazuje a tuhne. Ztuhnutím taveniny vznikne finální výrobek. Následně se forma otevře, výrobek je vyhozen z dutiny formy a vstřikovací cyklus se opakuje. Pohyby formy při vstřikovacím cyklu jsou na obrázku 22.



Obr. 22 Pohyby formy při vstřikovacím cyklu [8]

2.4.1 Popis a vliv časů vstřikovacího cyklu [3], [8], [22], [28], [29]

Fáze vstřikovacího cyklu mají rozdílnou délku trvání a jsou ovlivněny několika faktory. Například technologickými podmínkami vstřikování a geometrií výstřiků. Vstřikovací cyklus je popsán dále a znázorněn na obrázku 23.



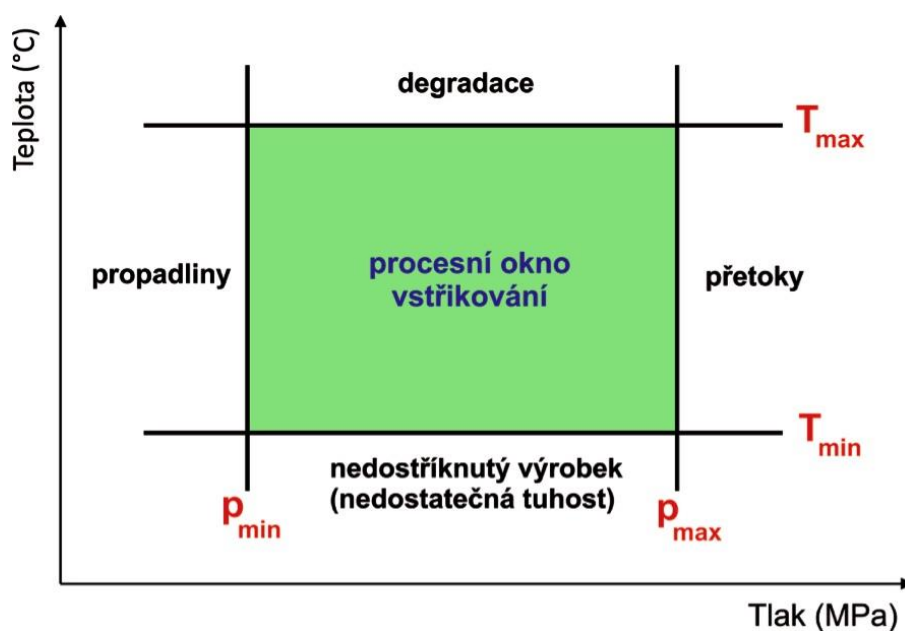
Obr. 23 Vstřikovací cyklus [22]

- Strojní doba – je to doba na zavření a otevření formy. Její rychlost závisí na dráze, kterou musí forma urazit. Dráha musí být tak velká, aby bylo možné výstřik z formy vytáhnout. A to buď ručně nebo pomocí manipulátorů. Strojní doba by měla být co nejkratší. Strojní doby trvají v průměru několik vteřin.
- Doba vstřikovací – neboli doba plnění dutiny formy je závislá na rychlosti vstřikování. Rychlost vstřikování se odvíjí od rychlosti pohybu šneku, popřípadě pístu. Tento pohyb je ovlivněn technologickými podmínkami, jimiž jsou teplota taveniny a vstřikovací tlak. Dalšími podmínkami jsou teplota formy, objem výstřiku, geometrický tvar výstřiku, řešení vtokové soustavy a druh použitého plastu. Doba plnění se odvíjí od velikosti a hmotnosti výstřiku. Malé výstřiky je možné naplnit za zlomek vteřiny. U velkých výstřiků se doba plnění pohybuje okolo několika sekund. Doba plnění musí být co nejkratší, protože tavenina se po kontaktu s formou ochlazuje a ztrácí tekutost. To způsobuje, při dlouhé době plnění formy, že tavenina nestihne zaplnit celou formu a vzniká nedostříknutý zmetek.
- Doba dotlaku – nastává, když je dutina formy naplněna a začne stlačování hmoty ve formě. Tlak prudce stoupne a rychlost plnění klesne. Proto je nutné přepnout na dotlak. Hodnota dotlaku je nižší než vstřikovací tlak, aby se zamezilo vzniku tlakové špičky a nedošlo ke zvětšení hmotnosti a rozměrů výrobku. Což by způsobilo vysoké namáhání formy, které by mohlo vést až k prohnutí formy, tzv. dýchnutí. Pokud k přepnutí nedojde ve správnou chvíli, z výstřiku se stane zmetek. K určení, kdy je třeba přepnutí na dotlak, se využívá buď dráha šneku, vstřikovací čas nebo tlak ve formě, popřípadě v hydraulice. Účelem dotlaku je zabránění smrštění během chlazení. Doba dotlaku závisí na velikosti vtokového kanálku. Podle velikosti výstřiku nabývá hodnot od několika sekund až po desítky sekund.

- Doba plastifikace – je čas potřebný k tomu, aby došlo k zplastifikování dávky plastu, k rovnoměrnému zhomogenizování a přesunu dávky před čelo šneku. Objem zplastifikované dávky musí mít takovou velikost, aby došlo k naplnění vtokového systému a dutiny formy. Doba plastifikace musí zamezit změně objemu způsobeného smrštěním při tuhnutí taveniny. Teplo, které je nutné k roztavení dávky plastu, je tvořeno z jedné třetiny elektrickým odporovým topením a ze dvou třetin třením hmoty při hnětení.
- Doba chlazení – je nejdelší čas vstřikovacího cyklu. U tenkostěnných výstřiků může trvat jen několik málo sekund. Ovšem u velkých dílů může dosáhnout až na několik málo minut. Doba chlazení se odvíjí od tloušťky stěny, druhu plastu, teplotě taveniny a teplotě formy. Doba chlazení lze zkrátit hlavně pomocí účinných chlazení formy. Chladnutí taveniny probíhá od vstřikovací fáze. Fáze chladnutí ovlivňuje strukturu povrchu, kvalitu povrchu a lesk.

2.4.2 Faktory ovlivňující vlastnosti a kvalitu výstřiků [3], [8], [22], [28], [29]

Parametrů ovlivňujících vstřikování je celkem velké množství. Mezi hlavní parametry patří vstřikovací rychlost, tlak, doba dotlaku, teplota taveniny či nástroje a čas přepnutí na dotlak. Zmíněné technologické parametry největším způsobem ovlivňují vstřikovací proces. Z parametrů teploty a tlaku lze sestavit tzv. „procesní“ technologické okno (obr. 24). Jestliže bude vstřikovaný díl vyroben právě v tomto okně, to znamená pokud budou dodrženy potřebné hodnoty teploty a tlaku, výsledný výrobek by měl být bez vad. Při nedodržení těchto parametrů mohou na výstřiku vznikat vady v podobě propadlin, nedotečených dílů nebo naopak přetoků a spálených dílů. Jednotlivé vady budou popsány dále.



Obr. 24 Procesní technologické okno [3]

Faktory ovlivňující kvalitu vstřikování jsou tedy blíže popsány dále.

- Teplota formy je velmi důležitý faktor. Vstřikovací forma slouží jako složitý výměník tepla. Při každém vstřikovacím cyklu je do formy dodáno teplo, které je nutné odvést pryč. Množství tepla dodaného do formy závisí na hmotnosti výstřiku ze všech tvarových složitostí formy a hmotnosti vtokové soustavy. Teplo je z tvarové dutiny vstřikovací formy odváděno vedením do formy a dalších částí vstřikovacího lisu, například do upínacích desek. Další teplo je vysáváno do okolí nebo odchází spolu s vyjmutím výstřiku. Ovšem největší podíl tepla odvádí temperační systém formy.

- Teplotu taveniny uvádíme jako jednu hodnotu. V reálném vstříkovacím procesu může být rozdíl teploty v jedné dávce až 30 °C. Na teplotu taveniny má vliv několik faktorů: teplota jednotlivých topných pásem plastifikační jednotky vstříkovacího stroje. Šnek, a to jeho zpětný odpor a obvodová rychlost, kdy se teplota taveniny zvyšuje s vnitřním odporem a s vyššími otáčkami šneku. Dále se teplota taveniny také zvyšuje dobou, po kterou je tavenina v plastifikační komoře. Při průchodu taveniny rozvodným systémem formy a tvarovými prvky v dutině vzniká třecí teplo.
- Velikost vstříkované dávky se udává buď objemově nebo dráhově. Její velikost je spjata s průměrem šneku. Objem výstřiku se určuje z 3D modelu nebo z konstrukce vstříkovací formy. Hmotnost dávky se tedy vypočítá jako součin objemu a hustoty vstříkovaného materiálu. Hustota materiálů je uvedena v materiálových listech od dodavatele.
- Dekomprese označuje posun šneku bez otáčení zpět k násypce vstříkovacího stroje. Dekomprese po plastifikaci se používá k zabránění samovolného vytékání taveniny z trysky, které způsobuje změnu velikosti vstříkovací dávky. Dekomprese před plastifikací zabraňuje vzniku kapky taveniny, která by mohla vzniknout při vyhazování výstřiku na ústí trysky. Zatuhlá kapka by při dalším vstříkovacím cyklu způsobila povrchovou vadu nebo lokální snížení pevnosti.
- Zpětný odpor šneku vzniká škrčením odtoku hydraulického oleje ze vstříkovacího hydraulického válce. To zpomalí zpětný pohyb šneku. Rotující šnek vnese do taveniny v důsledku své rotace a tření větší obsah tepla. Proto dojde ke zvýšení teploty taveniny. Zpětný odpor je možné programovat pomocí dráhy šneku. Tím se dá zajistit tepelná homogenizace taveniny v celé vstříkovací dávce před čelem šneku.
- Obvodová rychlost šneku, neboli otáčky šneku, je udávána počtem otáček šneku za čas, nejčastěji za minutu. Obvodová rychlost šneku je poté počet otáček šneku vynásobený jeho obvodem. Obvodová rychlost ovlivňuje procesy plastifikace. Mezi oběma parametry platí vztah:

$$n_s = \frac{v}{\pi} \cdot D \cdot 60000, \quad (2.7)$$

kde: n_s	[min ⁻¹]	počet otáček šneku za jednu minutu,
v	[min ⁻¹]	obvodová rychlost na šneku,
D	[mm]	průměr šneku.

Příliš vysoké otáčky šneku mohou způsobovat tepelnou degradaci taveniny, zkrácení vyztužujících plniv a zvýšení opotřebení šneku a vnitřního povrchu plastifikačního válce.

- Doba plastifikace je doba, během které se hromadí vstříkovaná dávka před čelem šneku. Tento údaj slouží pro kontrolu reprodukovatelnosti vstříkovacího procesu. Dále tento údaj vypovídá o kvalitě vstříkovaného materiálu a rovnoměrnosti dávkování aditiv. Čím je vyšší výkon plastifikace, tím je plastifikační doba kratší.
- Úkolem vstříkovacího tlaku a vstříkovací rychlosti je zaplnit celý objem tvarové dutiny formy a přitom způsobit co nejmenší smykové namáhání taveniny, aby se zajistilo co nejmenší pevnostní namáhání vstříkovací formy. Příliš pomalé plnění tvarové dutiny formy může způsobovat tzv. studený tok, při kterém dochází při plnění k velkému ochlazení čela taveniny a vzniku spojových čar na výstřiku. Naopak vysoká rychlost plnění může vést k rozkladu vstříkovaného materiálu. Rozklad je způsoben přehřátím, které vzniká vysokým smykovým namáháním.

- Doba vstřiku je doba plnění tvarových dutin vstřikovací formy. Doba vstřiku je ovlivňována rychlostí pohybu šneku vpřed. Rychlost pohybu je konstantní nebo profilovaná a má vliv na povrchové vlastnosti výstřiku. Rychlost proudění taveniny v tvarové formě nejsme schopni přímo měřit. Proto měření provádíme podle rychlosti pohybu šneku při plnění dutiny formy taveninou. Měřená doba vstřiku nemá vliv na proces vstřikování. Nelze pomocí ní ovlivnit ani optimalizovat vstřikovací proces. Kontrola pouze podává zprávu opakovatelnosti cyklu.
- K přepnutí ze vstřikovacího tlaku na dotlak dochází na základě podnětu dráhy nebo tlaku šneku. Pokud některý ze systémů selže, spustí se přepnutí podle času, který je dopředu nastaven. Tím se zamezí zastříknutí formy nebo jejímu mechanickému poškození. Pomocí přepínacího bodu se řídí komprese taveniny. Stlačení taveniny má vliv na zatečení taveniny do všech tvarů, vytvarovaných kontur a na vznik přetoků v dělicí rovině formy. Pokud dojde k přepnutí ze vstřikovacího tlaku na dotlak pozdě, pozorujeme na šneku jeho odskočení dozadu. Na druhou stranu, pokud dojde k přepnutí brzy, tvarová dutina se zcela nezaplňuje a vznikají povrchové vady.
- Dotlaková fáze má vliv na kvalitu výstřiků s ohledem na tvarovou a rozměrovou přenosnost. Ta je definována dvěma technologickými parametry: časovým profilem tlaku a dobou dotlaku. Velikost dotlaku musí být taková, aby dokázala vyrovnat všechny propadliny, nerovnosti a zaplnit všechny průřezy taveninou, tzn. odstranit vnitřní bubliny. Další vlastností je vliv na velikost vnitřního pnutí ve výstřiku. Čím je dotlaková fáze jemnější, tím je menší vnitřní pnutí.
- Polštář je objem taveniny, která zůstala před čelem šneku v plastifikační komoře stroje po skončení dotlakové fáze, kdy šnek již nedělá žádný pohyb. Hodnota velikosti polštáře je dána optimalizací vstřikovacího procesu. Jeho kontrola hodnotí vstřikovací proces.
- Doba chlazení má být tak dlouhá, aby při vyhazování výstřiku z formy nedocházelo k jeho deformaci, vyražení vyhazovačů nebo k přetrhnutí výstřiku. Pro vypočtení doby ochlazování se používá vzorec:

$$t_{och} = C \frac{s_{max}^2}{a_{eff}} \cdot \ln(B \cdot D_t), \quad (2.8)$$

kde: t_{och}	[s]	doba ochlazování,
s_{max}	[mm]	řídící rozměr – tloušťka stěny, která má nejhorší podmínky pro chlazení,
a_{eff}	[mm ² ·s ⁻¹]	měrná tepelná vodivost plastu,
B, C	[-]	bezrozměrné konstanty charakterizující geometrický tvar tzv. řídicího místa výstřiku,
D_t	[-]	hodnota určená na základě technologických teplot – teplota taveniny, teplota formy, teplota vyhazování výstřiku z formy.

Dobu ochlazování tedy ovlivňuje druh vstřikovaného materiálu, konstrukce výstřiku a procesní teplota.

- Doba manipulace je čas od signálu pro otevření vstřikovací formy po signál k uzavření formy. Je ovlivněna vyhazovacím systémem formy. Vyhazovací systém má různé podoby – vyhazování jedním vyhazovacím zdvihem, opakovaným zdvihem, vytáčení závitových jader, hydraulické tahače jader, vyjímání roboty, ruční vyjímání.

2.5 Vady vstřikovaných výrobků [8], [21], [23], [28], [29], [30], [31], [32], [33]

Vada výstřiku je takový stav součásti, kdy se díl liší vzhledově, vlastnostmi, rozměry nebo jiným defektem od požadovaného ideálu. Vady se dělí na viditelné a skryté. Jsou způsobeny špatně nastavenými parametry vstřikování, popřípadě chybnou konstrukcí formy. Mezi defekty patří:

- Neúplný výstřik, který vzniká, pokud vstřikovaná tavenina nezaplňuje celou tvarovou dutinu formy. Ve formě poté vznikají prázdná místa bez materiálu. Tyto dutiny nejběžněji vznikají v největší vzdálenosti od místa plnění formy a také v místech, kde se stékají taveniny ze dvou vtoků nebo v místech s velmi úzkou stěnou výstřiku. Nejčastější příčinou vzniku neúplného výstřiku je malá viskozita, nedostatečná zabíhavost taveniny a malý objem vstřikovaného plastu. Špatná konstrukce formy. Nevhodné umístění ústí vtoku a malý průřez ústí vtoku, nedostatečné odvědušnění formy. Dále pak jsou na vině nevhodně zvolené technologické parametry – teplota, tlak a dotlak.

- Přetoky a otřepty (obr. 25) vznikají tím způsobem, že vstřikovaná tavenina se při působení tlaku dostane do různých spár. Spáry mohou vznikat u vyhazovačů, čelistí, pohyblivých jader nebo při opotřebení dělicí roviny formy. Případně u špatně vyrobených odvědušňovacích děr. Tavenina se dostane do skulin, které mají větší tloušťku než 0,02 mm. V těchto místech poté ztuhne a vznikají tenké blány a přetoky. Otřepty jsou blány různého tvaru a velikosti, které nejsou předepsány na výrobním výkrese. Důvodem ke vzniku tohoto defektu je opotřebení



Obr. 25 Přetok na výstřiku [30]

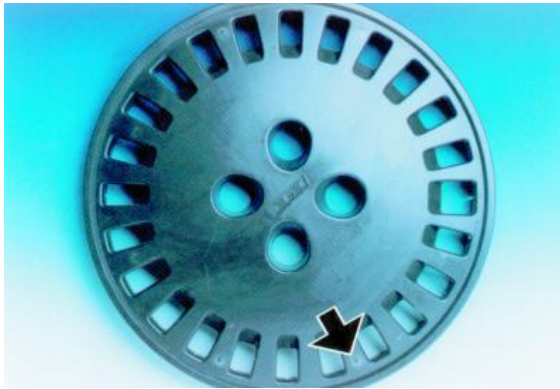
- dělicí roviny, nedostatečná uzavírací síla vstřikovacího stroje, příliš velká viskozita taveniny. Pozdní přepnutí ze vstřikovacího tlaku na dotlak. Velká síla dotlaku. Vysoká teplota formy nebo taveniny. Vznik přetoků a otřepů může způsobovat poškození těsnících ploch formy.

- Propadliny (obr. 26) a vtaženiny vznikají smršťováním taveniny při tuhnutí. Nejčastěji se objevují v místech s nahromaděným materiálem, kde tavenina tuhne pomaleji než okolí. Takovým místem může být například spojení žebra se stěnou výstřiku nebo kuželové ústí vtoku. Příčinou vzniku je tedy špatná konstrukce výstřiku. Například nerovnoměrná tloušťka stěny výstřiku. K technologickým příčinám vzniku patří především nízký vstřikovací tlak, nízká teplota formy, nízká hodnota dotlaku a brzké přepnutí ze vstřikovacího tlaku na dotlak.

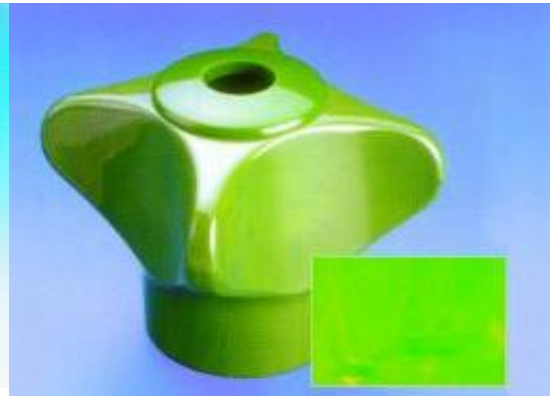


Obr. 26 Propadliny [30]

- Deformace výstřiku je změna rozměrů a tvaru výstřiku oproti požadovanému modelu výstřiku. Deformaci mohou způsobit všechny nepříznivé vlivy působící během procesu vstřikování, přes špatnou manipulaci s výstřikem po jeho vyhození z formy, až po nevhodné balení a zacházení s výstřikem. Poškození dílu vyhazovačem je na obrázku 27.
- Změna barvy výstřiku (obr. 28) od požadovaného odstínu může být způsobena záměnou materiálu nebo barevného koncentrátu, špatným dávkováním barevného koncentrátu. Dále pak špatným promícháním barevného koncentrátu do vstřikované taveniny nebo degradací při přípravě taveniny v plastifikačním válci vstřikovacího stroje.



Obr. 27 Stopa po vyhazovači [30]



Obr. 28 Změna barvy [31]

- Rozdíl v lesku (obr. 29), matné skvrny a rozdíly ve vykopírování vzoru jsou místa s rozdílnou kvalitou povrchu. Nejčastěji se objevují dále od ústí vtoku, kde je nižší působení dotlaku. Různá kvalita povrchu tvarové dutiny může být způsobena odřením při nevhodné manipulaci. Pokud dochází k odírání vzorovaných ploch, je nutné formu opravit, a to zvětšením úkosů.



Obr. 29 Rozdíl v lesku [31]

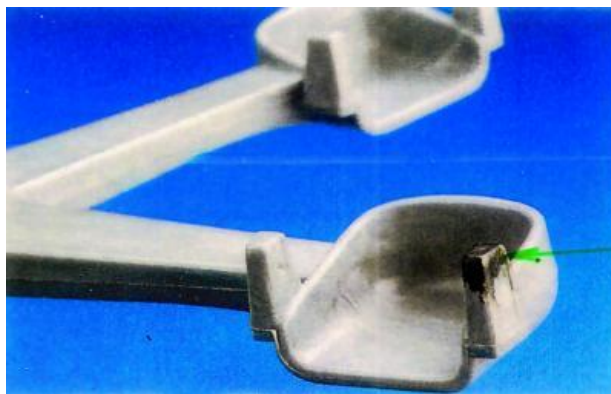
- Optická anizotropie je zkreslení obrazu u čirých plastů při pohledu skrz. Způsobuje ji nehomogenita vnitřního stavu výstřiku. Ta je projevem různé orientace makromolekul plastu. To zapříčiňuje, že index lomu není v celém výstřiku stejný.

- Jemně rýhovaný a pórovitý povrch je způsoben příliš velkým odporem ve tvarové dutině formy při plnění. Odpor zapříčiňuje, že tavenina nevtéká plynule, ale pulsuje a tím vznikají vady. Příklad součásti, která byla vstříknuta pulsujícím plněním je na obrázku 30. Odstranění příčiny vzniku těchto vad je jednoduché. Zvýšení teploty taveniny a formy, případně vyšší vstřikovací tlak a vstřikovací rychlost.



Obr. 30 Kruhové vtokové linie [31]

- Trhlinky a mikrotrhlinky jsou místa na povrchu materiálu u kterých došlo k rozdělení materiálu, takže se zde vytvořily dva povrchy. Trhlinky dělíme na izolované, větvené a síť trhlin. Při působení vnějších sil, například při zapojení výstřiku do provozu, se mikrotrhlinky mohou změnit na makrotrhliny, které vedou k porušení materiálu a tudíž k znehodnocení výstřiku.
- Místní spálení materiálu výstřiku, neboli dieselekt (obr. 31) se projevuje jako černá skvrna. Vyskytuje se na místech tvarové dutiny, na kterých došlo ke stlačení vzduchu vstřikovanou taveninou, v důsledku toho, že stlačovaný vzduch neměl možnost uniknout. V místě spáleného místa dojde k zuhelnatění vstřikovaného materiálu, jelikož teplota stlačeného vzduchu může mít až několik set stupňů Celsia. K předcházení vzniku tohoto problému je nutné formy dobře odvědušnit.



Obr. 31 Dieselekt [32]

- Studený spoj vzniká v místech, kde se stékají dva nebo více proudů taveniny, které se musely z důvodu překážky, například jádra, rozdělit. Příklad studeného spoje je možno vidět na kruhové součástce u obrázku 32. Studený spoj zhoršuje mechanické vlastnosti. Často je zdrojem vzniku mikrotrhlin. Studené spoje se u velkých výstřiků odstraňují použitím kaskádového způsobu vstřikování. U menších výstřiků se v místě styku dvou proudů vytvoří pomocná dutina, do níž proudy natečou a nevytvoří se studený spoj.



Obr. 32 Studený spoj [33]

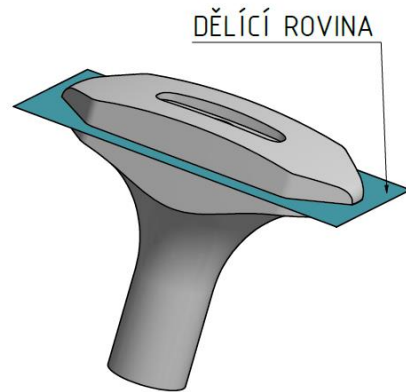
3 NÁVRH A VÝPOČTY POTŘEBNÝCH PARAMETRŮ

3.1 Technologičnost a návrh součásti [21], [24], [25], [26], [28], [29]

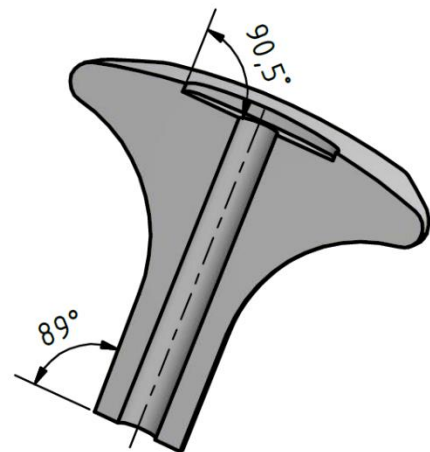
Součást madlo je vyrobitelná technologií vstřikování plastů. Zvolený materiál je běžně používaný při vstřikování. Technologie vstřikování zajistí požadovanou tvarovou a rozměrovou přesnost a kvalitní jakost povrchu, důležitou z estetického hlediska pro navrhovaný díl.

Pro výrobu výstřiku s předem definovanými vlastnostmi musí návrh dílu splňovat zásady technologičnosti konstrukce výstřiků.

- Zaformování dílu a volba dělicí roviny. Dělicí rovina je plocha, kterou se mezi sebou dotýkají pohyblivá a pevná část vstřikovací formy. Části formy na sebe musí přesně dopadat, aby v rovině nevznikaly žádné spáry, které by způsobovaly únik taveniny. Kvůli co nejjednodušší výrobě formy a snadnému odformování výrobku byla dělicí rovina zvolena v nejširším místě vyráběné součásti, jak je znázorněno na obrázku 33.
- Technologický úkos slouží pro snadné vysunutí výstřiku z formy. Má za úkol zabránit zatuhnutí taveniny na stěně formy. Měl by se nacházet na všech plochách rovnoběžných se směrem odformování. Proto byl technologický úkos horního zahlobení zvolen $0,5^\circ$. Tato velikost zajistí snadné vysunutí zahlobení. Vnější úkos válcové části madla byl zvolen 1° . Tato velikost také zajistí snadné vysunutí dílu z formy. A vzhledem k povaze součásti, toto zvětšení neznehodnotí funkčnost madla. U vnitřní dutiny se s technologickým úkosem nepočítá, díl bude z tvárníku (jádra) stažen pomocí trubkového vyhazovače. Další technologické úkosity nejsou potřeba, protože se součástka sama rozšiřuje svým navrženým tvarem. Úkosity jsou znázorněny na obrázku 34.



Obr. 33 Poloha dělicí roviny



Obr. 34 Technologické úkosity

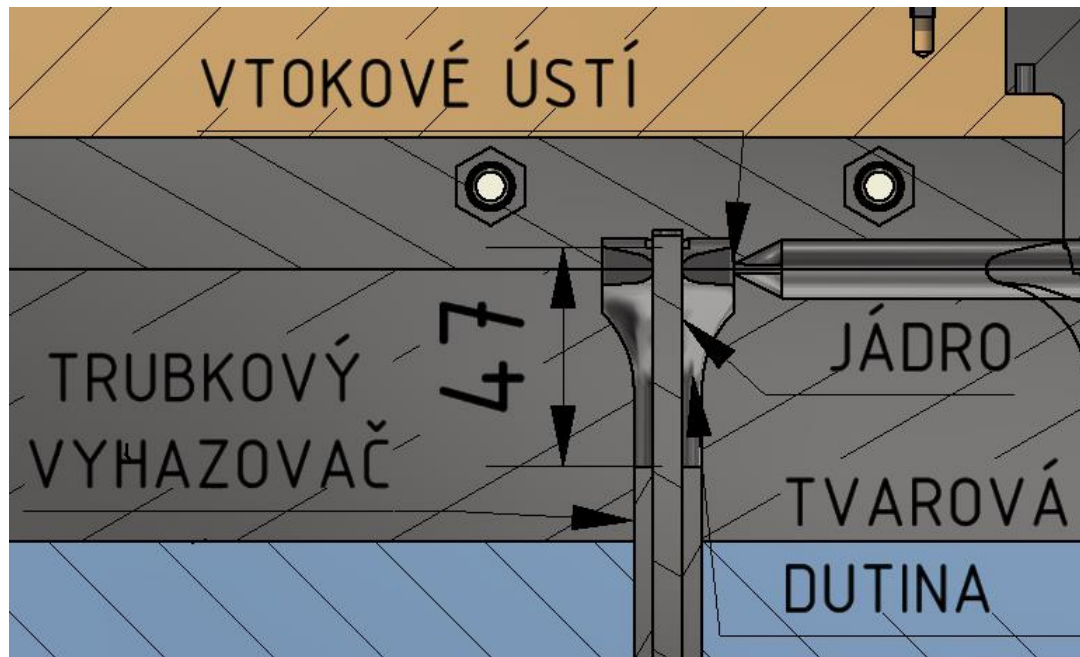
- Jádro je část formy, která tvoří vnitřní dutinu výstřiku. Jádro by mělo být navrženo tak, aby bylo odděleno od výstřiku ve směru odformování. Tento požadavek jádro splňuje a není tedy nutné počítat s dražším a složitějším pohyblivým jádrem, které by bylo vytaženo před otevřením formy. Během plnění dutiny taveninou dochází u hlubokých jader k jejich zatížení, které může způsobit jejich vychýlení. Proto je nutné, aby bylo jádro podepřené z obou stran, jak je vidět na obrázku 35. Z jedné strany je jádro uloženo v trubkovém vyhazovači. Na druhé straně tvarové dutiny zapadá do otvoru v pravé tvarové desce. Jestliže je jádro podepřeno z obou stran a je symetricky obtékáno taveninou (oba tyto požadavky jsou u uvažovaného jádra splněny) může být poměr délky ku průměru jádra 10:1.

Při délce volné části jádra 47 mm a šířce jádra 6 mm má poměr velikost:

$$p_j = \frac{l_j}{\text{š}_j} = \frac{47}{6} = 7,8 \quad (3.1)$$

kde: p_j [-] poměr délky a šířky jádra
 l_j [mm] délka jádra ve tvarové dutině
 š_j [mm] šířka jádra

Výsledný poměr 7,8:1 je menší než maximální poměr 10:1 a tento požadavek je splněn.



Obr. 35 Zajištění jádra

- Smrštění je způsobeno teplotním stažením plastového materiálu při tuhnutí. Proto se u velkých dílů nebo u dílů se zvýšenými požadavky na přesnost, viz příloha 1, počítá se zvětšením formy oproti požadované velikosti výstřiku. Naopak zmenšení formy z důvodů teplotní roztažnosti oceli při ohřátí od taveniny zanedbáme. Při vstřikování ABS je teplota formy okolo 60 °C. Okolní teplota je 20 °C. Rozdíl teplot je tedy pouze 40 °C. Teplotní roztažnost oceli, viz příloha 2 je $12 \cdot 10^{-6} \text{ m/m}^\circ\text{C}$. To znamená, že se při ohřátí o jeden stupeň Celsia roztáhne o 0,000012 m. Jde tedy o změnu 0,048 % ($40 \cdot 0,000012$) od původní velikosti. Velikost smrštění materiálu ABS je podle tabulky v příloze 3 0,4 %. Poměr objemového zvětšení dutiny tedy vypočteme jako:

$$K = \frac{100 \cdot \frac{s_s}{100 - s_s} + 100}{100} = \frac{100 \cdot \frac{0,4}{100 - 0,4} + 100}{100} = 1,00401 \quad (3.2)$$

kde: K [-] poměr objemového smrštění,
 s_s [%] velikost smrštění.

Velikost zvětšení formy z důvodu smrštění dílu je zanedbatelné. Velikost dutiny formy bude tedy odpovídat velikosti finálního výstřiku.

3.2 Konstrukční řešení formy [3], [8], [22], [25]

Forma je navrhována pro vstřikovací lis Arburg Allrounder 520S se vzdáleností mezi vodícími sloupky 520 x 520 mm. A uzavírací silou 1600 kN.

Prvním krokem pro konstrukční řešení formy je určení hmotnosti vstřikované součásti, v našem případě madla. Hmotnost madla se vypočte podle vztahu 3.3. Neznámý objem madla byl určen z modelu výpočtem za pomoci programu Autodesk Inventor Professional 2018. Objem madla je $21256 \text{ mm}^3 = 21,26 \text{ cm}^3$. Hustota vstřikovaného materiálu ABS při $23 \text{ }^\circ\text{C}$ je dle přílohy 3 $1,07 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$. Hmotnost madla je tedy vypočtena ze vztahu:

$$m = \rho \cdot V = 1,07 \cdot 21,26 = 22,75 \text{ g} \quad (3.3)$$

kde: m [g] hmotnost madla.

Hmotnost uvažovaného madla je 22,75g.

Následuje určení praktické násobnosti formy podle grafu v příloze 5. Je to graf závislosti násobnosti formy na počtu vyráběných kusů. Pro $N = 500\,000$ ks je násobnost $n_p = 4$.

Čtyřnásobná forma má několik variant rozmístění tvarových dutin. S ohledem na předpokládanou co nejkratší dráhu toku taveniny a jednoduchost výroby rozvodných kanálků, bylo zvoleno rozmístění do kruhu.

Možný termín na dodání vypočteme po upravení vztahu 2.6 jako:

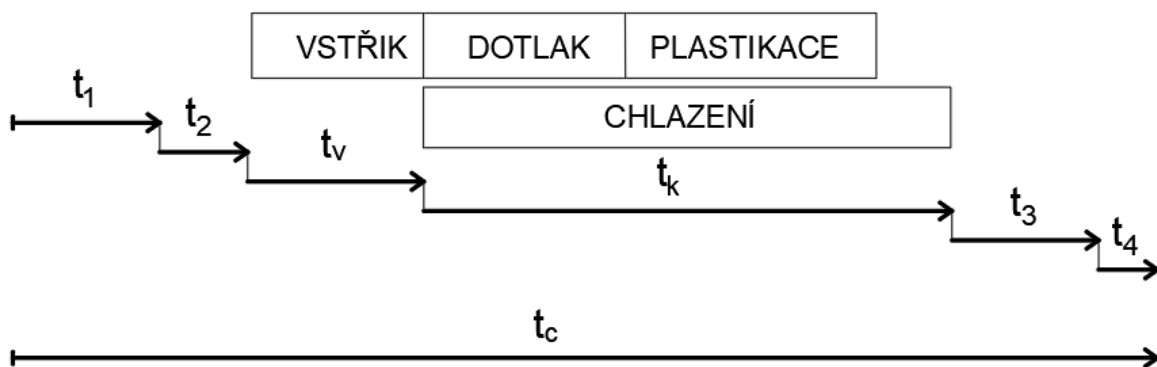
$$T_p = \frac{N \cdot t_c}{n \cdot K_c \cdot 3600} = \frac{500000 \cdot 92,2}{4 \cdot 0,8 \cdot 3600} = 4001,7 \text{ hod,}$$

kde: t_c je určeno výpočtem ze vztahu 3.5,

K_c je zvoleno 0,8.

Při dvousměnném provozu a použití pouze jednoho vstřikovacího lisu je firma schopna vyrobit požadovaný počet madel za přibližně 50 týdnů.

Výpočet celkové doby vstřikovacího cyklu. Ta je složena z šesti rozdílných časů. Působení časů je znázorněno na obrázku 36.

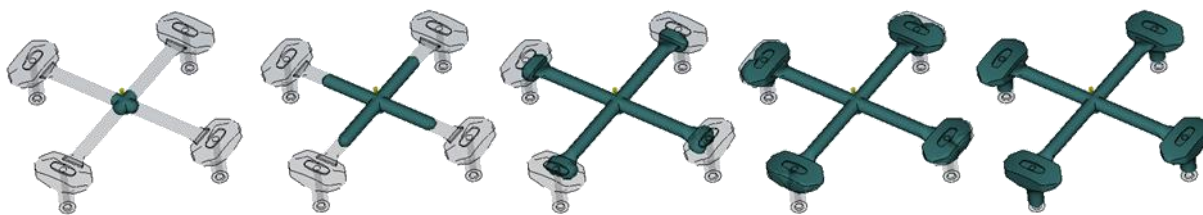


Obr. 36 Znázornění vstřikovacího cyklu [25]

Doba na uzavření formy by měla být co nejkratší, ale zároveň na sebe musí přesně a plynule dosednout pohyblivá a pevná část formy. Doba na uzavření formy se tedy v praxi pohybuje v řádu několika málo sekund. Proto je zvoleno $t_1 = 4 \text{ s}$.

Doba na přisunutí vstřikovací jednotky pro zahájení vstřikovacího procesu je na dnešních strojích již taky nastavitelná. Průměrně je čas této operace $t_2 = 1 \text{ s}$.

Doba vstřikování je určena podle tabulky v příloze 4. Pro uvedený případ je hodnota $t_v = 2,2 \text{ s}$. Průběh plnění dutiny formy je znázorněn na obrázku 37.



Obr. 37 Průběh plnění tvarové dutiny formy

Doba chlazení se vypočítá podle vztahu:

$$t_k = \frac{s^2}{\pi^2 \cdot a_{\text{eff}}} \cdot \ln \left(\frac{8}{\pi^2} \cdot \frac{T_M - T_V}{T_E - T_V} \right) \text{ [s]}, \quad (3.4)$$

kde: a_{eff}	[$\text{mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$]	měrná tepelná vodivost plastu, podle tabulky v příloze 6, je zvoleno $0,084 \text{ mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$,
T_M	[$^{\circ}\text{C}$]	teplota taveniny plastu, podle přílohy 3, je zvoleno $220 \text{ }^{\circ}\text{C}$,
s	[mm]	průměrná tloušťka stěny, vypočteno programem Autodesk Inventor Professional 2018 jako $8,8 \text{ mm}$,
T_V	[$^{\circ}\text{C}$]	teplota formy, podle přílohy 3, je zvoleno $60 \text{ }^{\circ}\text{C}$,
T_E	[$^{\circ}\text{C}$]	střední vyhazovací teplota, podle přílohy 5, je zvoleno $80 \text{ }^{\circ}\text{C}$,

$$t_k = \frac{8,8^2}{\pi^2 \cdot 0,084} \cdot \ln \left(\frac{8}{\pi^2} \cdot \frac{220 - 60}{80 - 60} \right) = 83 \text{ s.}$$

Doba na otevření formy a vyhození výstřiku má být také co nejkratší. Dnešní ovládací systémy vstříkolisů zvládají současně otevírat formu i vysunovat vyhazovače pro odformování výlisku. Díky tomu se $t_3 = 1,5 \text{ s}$.

Časová prodleva - je zvoleno $t_4 = 0,5 \text{ s}$.

Doba vstříkovacího cyklu je tedy vypočtena podle vztahu:

$$t_c = t_1 + t_2 + t_v + t_k + t_3 + t_4 \text{ [s]}, \quad (3.5)$$

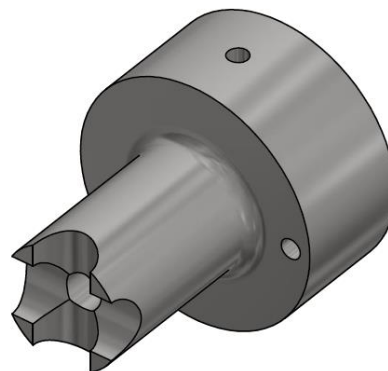
$$t_c = 4 + 1 + 2,2 + 83 + 1,5 + 0,5 = 92,2 \text{ s.}$$

Celková doba vstříkovacího cyklu je $92,2 \text{ vteřiny}$.

3.2.4 Vstříkovací forma [21], [22], [23], [26], [28], [29], [34]

V této části bude určeno, jaké jednotlivé části vstříkovací formy budou pro výrobu zadané součásti použity.

Vtoková soustava byla zvolena studená. Studená vtoková soustava byla zvolena z důvodu udržení nízké výrobní ceny vstříkovací formy. Soustava začíná vtokovou vložkou (obr. 38) od firmy Meusburger typ E 1610, která má poloměr pro dosednutí vstříkovací trysky 40 mm , vnitřní dutina má úhel 1° a celková délka je 59 mm . Vložka je zajištěna proti pohybu dvěma kolíky. Konec vstříkovací vložky je vyfrézován, aby v něm vznikla část rozvodného kanálu. Pod vtokovou vložkou se nachází dutina, ve které se zachytí případné zatuhlé čelo taveniny, které by mohlo vzniknout v důsledku studeného vtokového systému. Dál bude



Obr. 38 Vtoková vložka [34]

tavenina putovat rozváděcími kanály, které budou mít průměr zjištěný ze vztahu:

$$D_K = D' \cdot K_1 \cdot K_2 = 10,64 \cdot 1 \cdot 1,12 = 11,9 \text{ mm}, \quad (3.6)$$

kde: D' [mm] průměr uvedený v tabulce 3, pro tloušťku stěny 8,8 mm a hmotnost 23 g,

K_1 [-] koeficient tekutosti materiálu, pro ABS je $K_1=1$,

K_2 [-] koeficient délky rozváděcího kanálku, z přílohy 7.

Tab. 3 Určení průměru D' [25].

$D' = f(m,s)$	s=1	s=1,5	s=2	s=10
0	2,5	3	3,5	10,5
<10	2,55	3,06	3,56	10,56
10-16	2,59	3,09	3,59	10,59
16-25	2,63	3,14	3,64	10,64

Je zvolen průměr rozvodného kanálku 12 mm.

Kontrola délky toku taveniny ve vtokové soustavě se vypočte jako:

$$L_C = L_H + L_R = 260 + 4 \cdot 80 = 580 \text{ mm}, \quad (3.7)$$

kde: L_C [mm] celková délka toku taveniny,

L_H [mm] délka toku taveniny v hlavním kanále,

L_R [mm] délka toku taveniny v rozvodném kanálku.

Maximální vypočtená délka toku taveniny:

$$L_{\max} = K_A \cdot (1,90682 + 0,12485 \cdot p_t) \cdot s^M \text{ [mm]}, \quad (3.8)$$

kde: L_{\max} [mm] maximální délka toku taveniny,

K_A [-] materiálový koeficient,

p_t [bar] teoretický vstřikovací tlak, pro ABS 650 – 1 550 barů, je zvoleno 700 barů,

M [-] exponent M , vypočten podle vzorce 3.9.

Výpočet exponentu M :

$$M = (0,93471 \cdot p_t^{0,07085}) \cdot K_B, \quad (3.9)$$

kde: K_B [-] materiálový koeficient.

$$M = (0,93471 \cdot 700^{0,07085}) \cdot 1,0527 = 1,57.$$

$$L_{\max} = 1,664 \cdot (1,90682 + 0,12485 \cdot 700) \cdot 8,8^{1,57} = 4517 \text{ mm}.$$

Podmínka využitelnosti zvoleného plastu:

$$L_{\max} \geq L_C \quad (3.10)$$

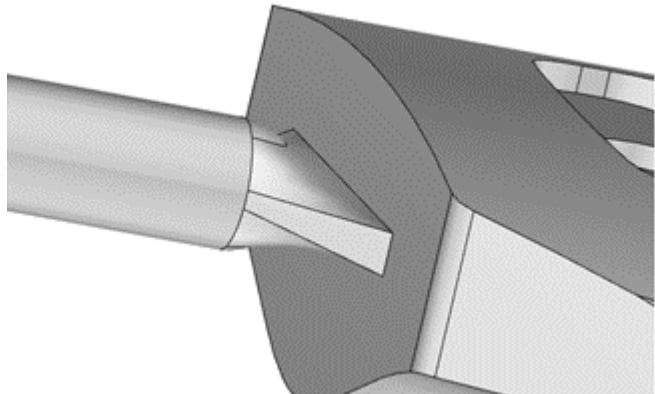
$$4517 \geq 580$$

Podmínka je splněna, zvolený plast ABS vyhovuje a může být použit pro výrobu součástí madlo.

Objem rozváděcího kanálku V_K se poté vypočte jako:

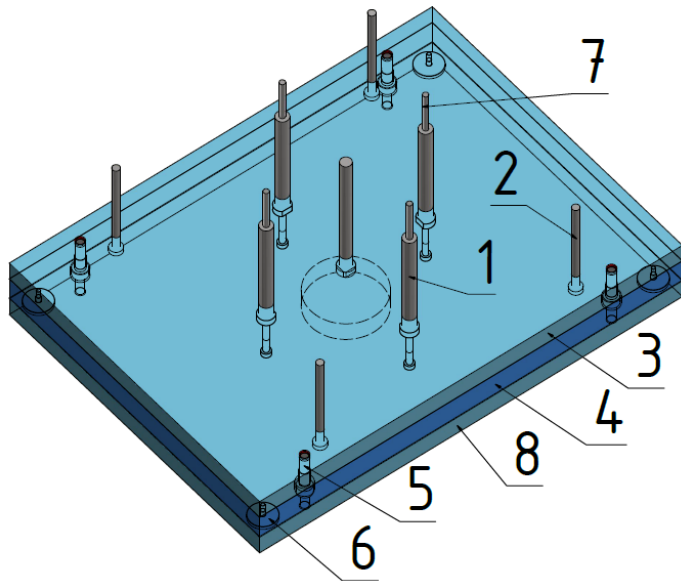
$$V_K = 0,7854 \cdot 10^{-3} \cdot D_K^2 \cdot L_R = 0,7854 \cdot 10^{-3} \cdot 12^2 \cdot 80 = 9,05 \text{ cm}^3 \quad (3.11)$$

Vtokové ústí bylo zvoleno zvonové, znázorněno na obrázku 39. Tento typ ústí se jeví jako ideální pro plnění součásti tvaru madlo. Díky zúžení na konci ústí se zvýší teplota taveniny. Zvýšení teploty je způsobeno třením. Vyšší teplota má pozitivní vliv na kvalitu finálního výstřiku, díky zvýšení tekutosti a zabíhavosti vstřikovaného materiálu. Zvonové vtokové ústí by mělo zajistit snadné oddělení výstřiku od vtokové soustavy, dostatečný tlak při plnění tvarové dutiny a kvalitní povrch a vzhled. Ústí vtoku bylo na vstřikovaný díl umístěno tak, aby tavenina tekla nejdříve do nejtlustšího místa tvarové dutiny. Je umístěno do geometrického středu, což zajistí rovnoměrné naplnění a zamezí vzniku studeného spoje za jádrem. Pozice vtoku také umožňuje únik vzduchu v průběhu plnění.



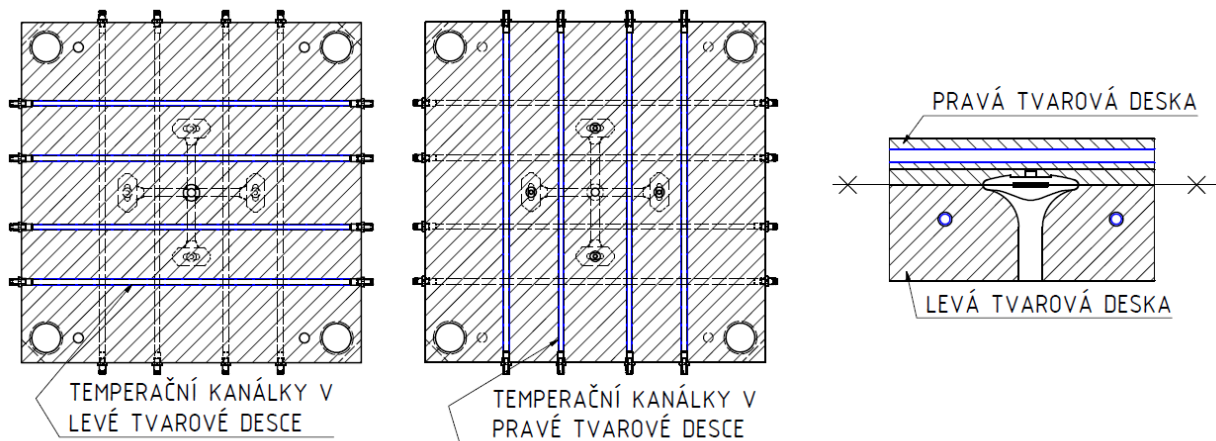
Obr. 39 Zvonové vtokové ústí

Vyhazovací systém (obr. 40) vstřikovací formy byl navržen v podobě trubkového vyhazovače (1). Zvoleným modelem je vyhazovač E 1750 od firmy Meusburger, ve kterém je otvor pro jádro. Vyhazovač je navržen tak, aby při odformování dílu nedocházelo k otláčením na pohledových částech. Jádro (7) má průměr 6 h6 a otvor ve vyhazovači má velikost 6 H7. Toto uložení je smykové, zajišťuje snadné odformování dílu a zabraňuje zatečení taveniny. Jádro je proti pohybu spolu s vyhazovací soustavou zajištěno pomocnou deskou (8), která je přišroubována k upínací desce. Dále jsou ve vyhazovacím systému čtyři zpětné kolíky (2), které při zavření formy vrátí celý systém do původní polohy. Zpětné kolíky mají průměr 8 mm a délku 115 mm. Vyhazovače a zpětné kolíky jsou připevněny pomocí přidržovací (3) a hlavní vyhazovací desky (4). Tyto dvě desky jsou spolu spojeny čtyřmi šrouby M10x45 (5). Hlavní vyhazovací deska má na spodní straně podložky (6), které zajišťují přesné dosednutí celého systému. Celá sestava se dává do pohybu díky pohonu, který je řízen systémem. Vyhazovače jsou vyrobeny s vůlí, která zajišťuje odvodu vzduchu dutiny formy.



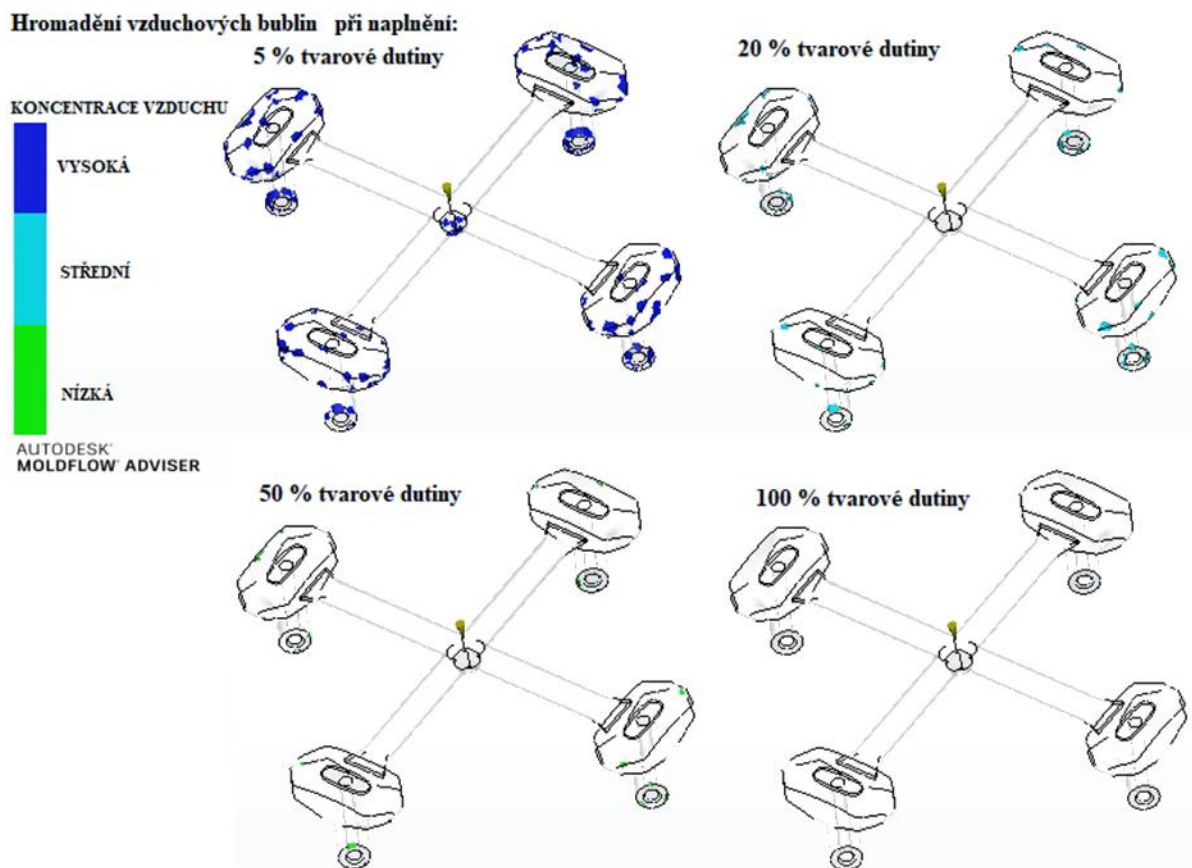
Obr. 40 Vyhazovací systém

Temparační systém je umístěn do pevné (levé) a pohyblivé (pravé) tvarové desky. Temparační kanálky jsou do formy vyvrtány. Kanálky vedou kolem nejširší části tvarové dutiny, a to v každé desce v jiném směru (tvoří pomyslnou síť), aby zajistily rovnoměrné chlazení. Uspořádání je znázorněno na obrázku 41. Toto provedení je nejjednodušší variantou na výrobu. Při výrobě složitějších tvarů kanálků, by bylo potřeba použít ucpávky a výroba formy by se prodražila. Mimo tvarovou desku jsou kanálky propojeny hadicí. Rozměry kanálku jsou určeny podle přílohy 8. Průměr temperačního kanálku je 8 mm. Přívod a odvod chladicího média do temperačního systému formy je zajištěn pomocí nátrubku E 2000 od firmy Meusburger.



Obr. 41 Navržený temperační systém

Odvzdušnění dutiny formy zajišťuje dělicí rovina mezi formami a vůle u vyhazovacích prvků. Správnost tohoto rozhodnutí byla ověřena pomocí programu Autodesk Mouldflow Adviser 2018. Simulace úniku vzduchu je znázorněna na obrázku 42. Na modelu je vidět, že množství vzduchu, který se nachází v tvarové dutině formy, se v průběhu plnění dutiny hromadí právě v místech, kde je vzduchu umožněno unikat přes vzniklou vůli. Na konci plnění nevznikají žádné vzduchové bubliny. A není proto třeba navrhovat další pomocné odvzdušňovací kanály, které by prodražily výrobu formy.

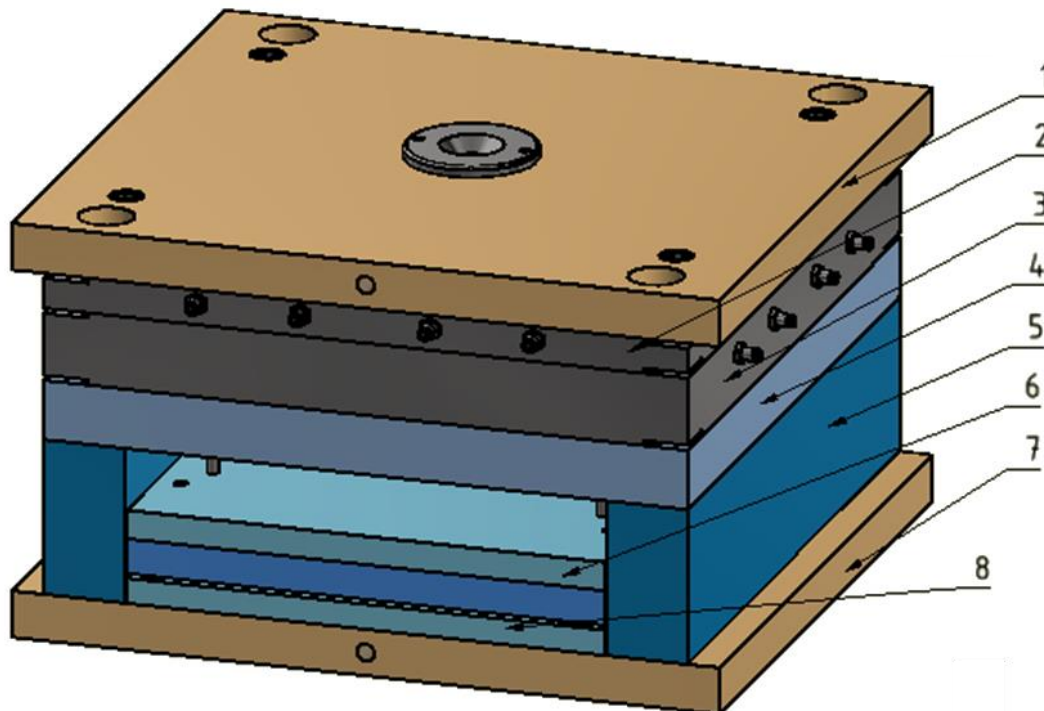


Obr. 42 Hromadění vzduchu ve tvarové dutině

Vstřikovací forma bude sestavena z částí uvedených v kusovníku ve výkresové dokumentaci. Většinou se jedná o normalizované díly firmy Meusburger. Některé z nich jsou upraveny pro funkčnost navržené formy. Ve tvarových deskách jsou vyrobeny tvarové dutiny a rozváděcí kanálky. Ve tvarových deskách jsou dále vyrobeny temperační kanálky. V levé tvarové desce jsou navíc otvory pro vyhazovače a zpětné kolíky. Tyto otvory jsou také vyrobeny v opěrné desce. Jádru je vyrobeno na zakázku. V levé části je uchyceno pomocnou deskou a v pravé při uzavření formy zapadá do připravené dutiny tvárníku.

Celá takto navržená forma váží 540 kg. Proto je potřeba k manipulaci s formou využít jeřáb. S formou se manipuluje tak, že v uzavřeném stavu se do upínacích desek zašroubují distanční podložky od Meusburger E 1927. K těmto podložkám je připevněna nosná lišta, která bude zároveň bránit otevření formy při manipulaci. V nosné liště je závěsné oko E 1270/16. Toto oko má nosnost 700 kg.

Základní díly formy jsou znázorněny na obrázku 43.



Obr. 43 Základní díly vstřikovací formy [22]

1. Upínací deska, 2. Tvarová deska horní, 3. Tvarová deska spodní, 4. Podpěrná deska, 5. Rozpěrky, 6. Vyhazovací sestava, 7. Upínací deska, 8. Pomocná deska

3.3 Kontrola parametrů vstřikovacího lisu [25], [35]

Kontrola parametrů vstřikovacího lisu je důležitá z toho důvodu, aby bylo ověřeno, že lis Arburg Allrounder 520 S, vlastněný naší fiktivní firmou, zvládne zajistit vstřikovací podmínky pro vytvoření součásti madlo. Mezi kontrolované parametry patří vstřikovací kapacita, plastifikační kapacita, přidržovací a uzavírací síla. Parametry lisu jsou v příloze 10.

Minimální vstřikovací kapacita lisu C_v se vypočte podle vztahu:

$$C_v \geq 1,25 \cdot n \cdot (V + V_K) \text{ [cm}^3\text{]}, \quad (3.12)$$

$$C_v \geq 1,25 \cdot 4 \cdot (21,26 + 9,05)$$

$$C_v \geq 151,55 \text{ cm}^3.$$

Minimální vstřikovací kapacita lisu, která je závislá na násobnosti formy a celkovém vstřikovaném objemu tedy je $151,55 \text{ cm}^3$. Lis vlastněný firmou má vstřikovací kapacitu 168 cm^3 , tato kapacita je tedy dostačující.

Minimální plastifikační kapacita lisu C_p se vypočte podle vztahu:

$$C_p \geq \frac{4 \cdot n \cdot \rho \cdot (V + V_K)}{t_c} \text{ [kg} \cdot \text{hod}^{-1}\text{]}, \quad (3.13)$$

$$C_p \geq \frac{4 \cdot 4 \cdot 1,07 \cdot (21,26 + 9,05)}{92,2}$$

$$C_p \geq 5,6 \text{ kg} \cdot \text{hod}^{-1}.$$

Minimální plastifikační kapacita lisu, která je závislá na hustotě vstříkovaného plastu, násobnosti formy, vstříkovaném objemu a vstříkovacím čase je $5,6 \text{ kg} \cdot \text{hod}^{-1}$.

Minimální přidržovací síla F_p se vypočte podle vztahu:

$$F_p \geq 1,25 \cdot n \cdot p_v \cdot (0,7854 \cdot D_{\max}^2 + D_K \cdot L_R) \text{ [N]}, \quad (3.14)$$

kde: D_{\max} [mm] největší průměr vstříkovaného dílu,

$p_v = 90 \text{ MPa}$ je zvoleno dle tabulky v příloze 9,

$$F_p \geq 1,25 \cdot 4 \cdot 90 \cdot (0,7854 \cdot 56^2 + 12 \cdot 80),$$

$$F_p \geq 1\,540\,356,48 \text{ N} = 1\,540 \text{ kN}.$$

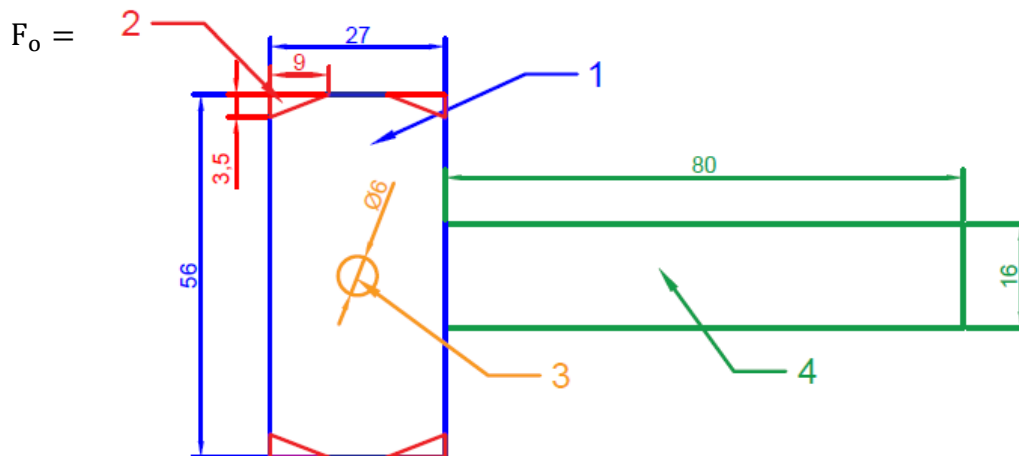
Minimální potřebná přidržovací síla je $1\,540 \text{ kN}$.

Kontrola uzavírací síly se vypočte podle vztahu:

$$F_o = S_d \cdot p_v \leq 0,8 \cdot F_u \text{ [N]}, \quad (3.15)$$

kde: F_u [N] uzavírací síla zvoleného stroje, z přílohy 8 je $1\,600 \text{ kN}$,

S_d zjištěno výpočtem na obrázku 44,



Výpočet povrchu S_d :

$$S = S_1 - 4 \cdot S_2 - S_3 + S_4$$

$$S = 56 \cdot 27 - 4 \cdot 9 \cdot 3,5 / 2 - 3,14 \cdot 3^2 + 80 \cdot 16$$

$$S = 2826,73 \text{ mm}^2$$

$$S_d = 4 \cdot S \text{ (4-násobná forma)}$$

$$S_d = 11306,92 \text{ mm}^2$$

Obr. 44 Výpočet plochy vstříkovací dutiny a rozvodných kanálů

$$11306,92 \cdot 110 \leq 0,8 \cdot 1\,600 \cdot 10^3$$

$$F_o = 1\,244 \cdot 10^3 \leq 1\,280 \cdot 10^3$$

Otevírací síla je menší než uzavírací síla vstřikovacího stroje. Podmínka je tedy splněna.

Vstřikovací rychlost se vypočte podle vztahu:

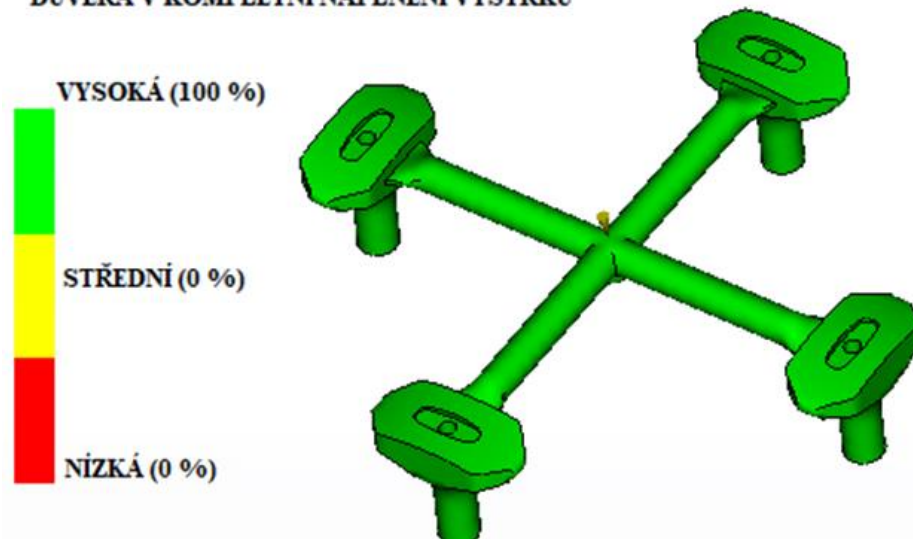
$$v_s = \frac{V + V_k}{t_v} \text{ [cm}^3 \cdot \text{s}^{-1}\text{]}, \quad (3.16)$$

kde: v_s [cm³·s⁻¹] rychlost vstřikování,

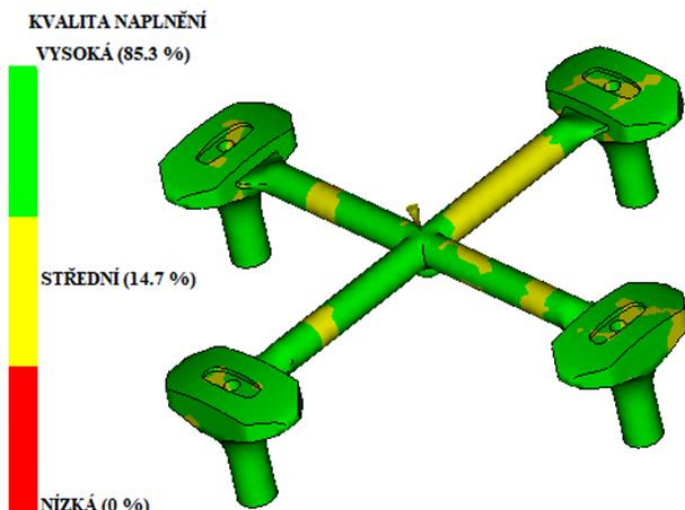
$$v_s = \frac{21,26 + 9,05}{2,2} = 13,8 \text{ cm}^3 \cdot \text{s}^{-1}.$$

Zvolené a vypočtené vstřikovací parametry byly zadány do simulace v programu Autodesk Mouldflow Adviser 2018. Simulace předpovídá, že tvarová dutina bude určitě zcela zaplněna. Tento výsledek je znázorněn na obrázku 45. Obrázek 46 znázorňuje kvalitu finálního výstřiku. 85,3 % výstřiku má vysokou kvalitu výsledného výstřiku. Středně kvalitní výstřik je v 14,7 % výstřiku. Většina oblastí s touto zhoršenou kvalitou se nachází v rozvodných kanálech, které budou od madla odděleny, a proto nehrají žádnou roli. Střední kvalita ve tvarové dutině madla se může vyskytnout pouze v oblasti tzv. studených spojů. Jejich velikost a množství je ovšem tak malé, že nebude mít velký podíl na zmetkovitosti výstřiků a bude možno ho akceptovat. Špatně zaplněná nebo nezaplněná oblast se na simulaci výstřiku nevyskytuje.

DŮVĚRA V KOMPLETNÍ NAPLNĚNÍ VÝSTŘKU



Obr. 45 Simulace úspěšnosti naplnění



Obr. 46 Simulace kvality naplnění

4 TECHNICKO EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ [36], [37], [38],

V technicko ekonomickém zhodnocení je zapotřebí posoudit ekonomičnost výroby nového dílu. Jde tedy o náklady na výrobu jednoho dílu a celé série, které zahrnují nákup potřebného množství materiálu, výrobu nové formy, platy dělníkům a spotřebu energie.

Průměrná cena zvoleného materiálu, granulát ABS, byla k 17.4. 1,66 € za 1 kg při nákupu více než 25 kg materiálu. Kurz Eura byl k tomu datu 1 € = 27,15 Kč. Cena jednoho kilogramu granulátu je 45,069 Kč.

Náklady na materiál pro jedno naplnění dutiny formy se vypočítají jako:

$$N_{MV} = C_M \cdot m_V \text{ [Kč]}, \quad (4.1)$$

kde: N_{MV} [Kč] náklady na materiál pro jedno plnění,
 C_M [Kč·kg⁻¹] cena 1 kg materiálu,
 m_V [kg] hmotnost výstřiku, zjištěna pomocí programu Autodesk Inventor Prof. 2018, jako 0,126 kg,

$$N_{MV} = 45,069 \cdot 0,126 = 5,68 \text{ Kč.}$$

Cena materiálu použitého pro jedno naplnění formy, tj. vyrobení čtyř dílů, je 5,68 Kč.

Náklady na materiál pro vyrobení celé série se vypočítají jako:

$$N_{MS} = N_{MV} \cdot \frac{N}{n} \text{ [Kč]}, \quad (4.2)$$

kde: N_{MS} [Kč] náklady na materiál pro celou výrobní sérii,

$$N_{MS} = 5,68 \cdot \frac{500\,000}{4} = 709\,836,75 \text{ Kč.}$$

Cena materiálu pro výrobu celé série je 709 836,75 Kč. Tato částka lze snížit recyklováním rozvodných kanálků.

Dále je potřeba zjistit spotřebu energie stroje a její cenu. V březnu 2020 byla průměrná cena 1 kWh elektřiny v lokalitě Brno 4,91 Kč. Náklady na hodinu provozu stroje se vypočítají jako:

$$N_{SH} = \frac{P_S \cdot C_e}{K_O} \text{ [Kč} \cdot \text{hod}^{-1}\text{]}, \quad (4.3)$$

kde: N_{SH} [Kč·hod⁻¹] náklady na hodinu provozu stroje,
 P_S [kW] příkon stroje, zjištěn v příloze 10,
 C_e [Kč·kWh⁻¹] cena elektřiny,
 K_O [-] koeficient opotřebení stroje,

$$N_{SH} = \frac{30 \cdot 4,91}{0,8} = 184,13 \text{ Kč} \cdot \text{hod}^{-1}.$$

Čas potřebný na výrobu celé série se vypočte jako:

$$t_H = \frac{t_c \cdot N}{n} \text{ [hod]}, \quad (4.4)$$

kde: t_H [hod] výrobní čas celé série,

$$t_H = \frac{\frac{92,2}{3600} \cdot 500\,000}{4} = 3194 \text{ hod.}$$

Ze zjištěných hodnot lze vypočítat náklady na provoz stroje po celou výrobní sérii:

$$N_{SC} = N_{SH} \cdot t_H \cdot K_S \text{ [Kč]}, \quad (4.5)$$

kde: N_{SC} [Kč] náklady na provoz stroje po dobu výrobní série,
 K_S [-] koeficient seřízení, oprav a údržby stroje a nástroje,

$$N_{SH} = 184,13 \cdot 3194 \cdot 1,15 = 676\,422 \text{ Kč.}$$

Samotný provoz stroje bude po dobu výrobní série stát 676 422 Kč. Stroj je třeba obsluhovat přiměřeně kvalifikovanou obsluhou. Plat dělníka na této pozici byl stanoven na 150 Kč·hod⁻¹. Náklady na hrubou mzdu dělníka vypočteme podle vztahu:

$$N_{DC} = N_D \cdot t_H \text{ [Kč]}, \quad (4.6)$$

kde: N_{DC} [Kč] náklady na hrubou mzdu dělníka po výrobní čas série,
 N_D [Kč] hodinová hrubá mzda dělníka.

$$N_{DC} = 150 \cdot 3194 = 479\,100 \text{ Kč.}$$

Odhadovaná cena výrobní formy je 300 000 Kč. V této částce je započítána cena jednotlivých dílů formy, zjištěná v katalogu firmy Meusburger, a práce na upravení některých komponent. Dalším faktorem, na základě kterého je odhadována výsledná částka, je cena forem pro podobné výrobky.

Celkové náklady na danou výrobní sérii vypočteme ze zjištěných hodnot jako:

$$N_A = N_F + N_{SC} + N_{MS} + N_{DC} \text{ [Kč]}, \quad (4.7)$$

kde: N_A [Kč] celkové náklady na výrobní sérii,
 N_F [Kč] cena výrobní formy,

$$N_A = 300\,000 + 676\,422 + 709\,837 + 479\,100 = 2\,165\,359 \text{ Kč.}$$

Z celkových nákladů, jejichž hodnota je 2 165 359 Kč, budou vypočteny celkové výrobní náklady na výrobu jednoho dílu, ze kterých se následně určí prodejní cena dílu a zhodnotí se, jestli je výroba zadané součásti pro firmu perspektivní.

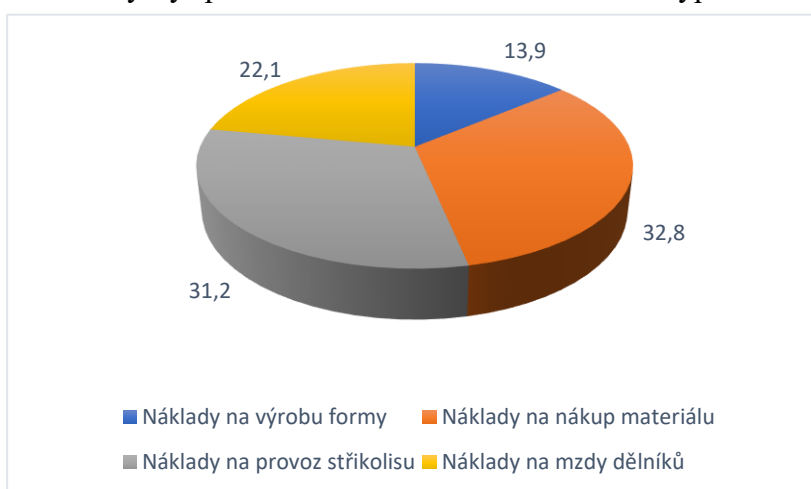
$$N_V = \frac{N_A}{N} \text{ [Kč]}, \quad (4.8)$$

kde: N_V [Kč] celkové náklady na jednu součást,

$$N_V = \frac{2\,165\,359}{500\,000} = 4,33 \text{ Kč.}$$

Výrobní cena madla je tedy 4,50 Kč. Pokud by šla součást do prodeje za cenu 49,90 Kč bude zisk z jednoho kusu 45 Kč. Z celé série by byl poté zisk 22 500 000 Kč. V těchto výpočtech ovšem nejsou zahrnuty cena práce soustružníka na výrobu závitu, expedice, logistika, marketing atd.

Z uvedených výpočtů vyplývá, že nejvyšší podíl na ceně výroby má materiál a provoz stroje, zatím co mzda pro dělníky a cena formy nejsou tak vysoké. Procentuální zastoupení je vyobrazeno na obrázku 47.



Obr. 47 Rozložení nákladů na výrobní proces

5 ZÁVĚRY

Cílem bakalářské práce bylo konstrukční řešení formy pro zadanou součástku Madlo. V uvažované firmě byla požadovaná výrobní série 500 000 ks. V literární studii byla rozebrána problematika vstřikování plastů. Konkrétně vstřikovací cyklus, vstřikovací stroje, vstřikovací formy a vstřikovací vady.

Díl byl zhodnocen jako technologicky vhodný pro výrobu na vstřikovacím lisu. Při návrhu výroby součásti byla určena poloha dělicí roviny do nejširšího místa součásti. Technologický úkos pro horní zahloubení byl zvolen $0,5^\circ$ a vnější úkos má velikost 1° . Pro jádro byl vypočten maximální poměr délky a šířky 7,8. Zvětšení formy z důvodu velikosti smrštění bylo vypočteno jako zanedbatelně malé a proto nebylo uvažováno. Zvoleným materiálem pro vstřikovaný díl byl ABS s obchodním označením Novodur H604. U konstrukčního řešení formy byla určena násobnost formy 4. Při této násobnosti byla určena vstřikovací doba cyklu, která je 92,2. Při této násobnosti bylo zjištěno, že doba na dodání série je 50 týdnů. Následně byla pro navrhnutou čtyřnásobnou vstřikovací formu provedena kontrola na potřebné parametry. Byl zjištěn potřebný průměr rozváděcích kanálků 12 mm. Maximální délka toku taveniny 4517 mm a celkový objem navržených rozváděcích kanálků $9,05 \text{ cm}^3$. Vyhazovací systém obsahuje pět vyhazovačů a čtyř zpětné kolíky. Temperační systém vede levou a pravou tvarovou dutinou okolo nejširší části dílu. Temperační kanálky mají průměr 8 mm. K odvodu vzdušného vzduchu formy poslouží vůle mezi komponenty formy. Forma je sestavena z dílů firmy Meusburger.

Bylo uvažováno, že firma vlastní lis Arburg Allrounder 520S. Pro tento lis byly zkontrolovány pomocí výpočtů potřebné parametry. Celkový vstřikovaný objem vyšel $151,55 \text{ cm}^3$. Požadovaná plastifikační kapacita lisu $5,6 \text{ kg} \cdot \text{hod}^{-1}$. Podmínka pro potřebnou velikost uzavírací síly také vyšla. Rychlost vstřikování byla zjištěna $13,8 \text{ cm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

U ekonomického zhodnocení výroby bylo vypočteno, že cena potřebného materiálu je 709 836,75 Kč. Náklady na provoz vstřikovacího lisu jsou 676 422 Kč. Hrubá mzda dělníka vyjde na 479 100 Kč a nová výrobní forma bude stát přibližně 300 000 Kč. Celkové náklady na výrobu jsou 2 165 359 Kč. Výrobní cena jednoho kusu je 4,50 Kč. Proto při správném nacenění součástky Madlo, bude výroba pro firmu velmi zisková.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ [39]

1. *The Rodon Group: An Introduction to Plastic Injection Molding* [online]. Hatfield: Thomas Marketing Services, 2020 [cit. 2020-05-31]. Dostupné z: <https://www.rodongroup.com/blog/ebook-an-introduction-to-plastic-injection-molding>
2. AUSPERGER, Aleš. *Technologie zpracování plastu* [online]. 01.11.2019. Střední odborné učiliště Svitavy: Code Creator, 2015 [cit. 2020-02-15]. ISBN 978-80-88058-77-9. Dostupné z: <https://publi.cz/books/183/Cover.html>
3. LENFELD, Petr. *Technologie vstřikování* [online]. 01.11.2019. Střední odborné učiliště Svitavy: Code Creator, 2015 [cit. 2020-02-15]. ISBN 978-80-88058-74-8. Dostupné z: <https://publi.cz/books/184/Cover.html>
4. Ostatní termoplasty - popis termoplastů. *Koplast.cz* [online]. Jedovnice, 2016 [cit. 2020-06-02]. Dostupné z: <https://www.koplast.cz/ostatni-termoplasty-popis-termoplastu/>
5. Materiálový list ABS. In: *Akplast.cz* [online]. Ledec nad Sázavou: AK Plast, 2015 [cit. 2020-05-31]. Dostupné z: http://www.akplast.cz/admin/files/ck/files/TechData/ABS_mat_list.pdf
6. KOČMAN, Karel. *Technologické procesy obrábění*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2011. ISBN 978-80-7204-722-2.
7. Obrábění plastů a kompozitních materiálů robotem. *Firmy.mmspektrum.com* [online]. 2013, (12), 40 [cit. 2020-06-01]. Dostupné z: <http://firmy.mmspektrum.com/clanek/obrabeni-plastu-a-kompozitnich-materialu-robotem.html>
8. LENFELD, Petr. *Technologie II: Část II - Zpracování plastů* [online]. Liberec: Technická univerzita Liberec [cit. 2020-02-15]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/index.htm
9. Compression moulding. *Camberley Rubber Mouldings Ltd* [online]. Hampshire, 2020 [cit. 2020-06-01]. Dostupné z: <https://www.camberleyrubber.com/compression-moulding/>
10. Periferie a automatizace pro vstřikovací lisu. *Firmy.mmspektrum.com* [online]. 2014, (3), 107 [cit. 2020-06-01]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/periferie-a-automatizace-pro-vstrikovaci-lisy.html>
11. Vstřikovací lis Victory. *Engelglobal.com* [online]. Praha: ENGEL CZ, c1992-2020 [cit. 2020-06-01]. Dostupné z: <https://www.engelglobal.com/cs/cz/produkty/vstrikovaci-stroje/victory.html>
12. DUCHÁČEK, Vratislav. *Polymery: výroba, vlastnosti, zpracování, použití*. Vyd. 2., přeprac. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 2006. ISBN 80-7080-617-6.
13. Vlastnosti materiálů používaných pro výlisky z plastů. *Plastove-vylisky-formy.cz* [online]. Plzeň: Ing. Pavel Pojar, c2014-2016 [cit. 2020-06-02]. Dostupné z: <http://www.plastove-vylisky-formy.cz/materialy-pro-vylisky-z-plastu>
14. BĚHÁLEK, Luboš. *Polymery* [online]. Svitavy: Code Creator, 2015 [cit. 2020-06-03]. ISBN 978-80-88058-68-7. Dostupné z: <https://publi.cz/pro/eknihy/?book=180-polymery>

15. Polymery. *Pedagogické fakulty Masarykovy univerzity: Oddělení fyziky* [online]. Brno: Přírodovědecká fakulta Masarykovy University, 2013 [cit. 2020-06-03]. Dostupné z: <http://www.ped.muni.cz/wphy/fyzvla/fmkomplet3.htm>
16. DUCHÁČEK, Vratislav. Thermoplastic Elastomers: Modern Polymeric Materials. *Chemické listy* [online]. Praha, 1997, 7.10.1996, **91**(1), 23-29 [cit. 2020-06-03]. Dostupné z: http://w.chemicke-listy.cz/docs/full/1997_01_23-29.pdf
17. BENEŠOVÁ, Marika, Erna PFEIFEROVÁ a Hana SATRAPOVÁ. *Odmaturuj! z chemie. 2., přeprac. vyd.* Brno: Didaktis, c2014. Odmaturuj! ISBN 978-80-7358-232-6.
18. SEIDL, Martin. *Stroje pro zpracování polymerních materiálů* [online]. 06.11.2019. Střední odborné učiliště Svitavy: Code Creator, 2015 [cit. 2020-02-15]. ISBN 978-80-88058-71-7. Dostupné z: <https://publi.cz/books/181/Cover.html>
19. Tecnologie lavorazione polimeri: Chapter 19 Forming and Shaping Plastics and Composite Materials. In: *Università degli Studi di Roma "La Sapienza"* [online]. Roma: Pearson Education, c2006 [cit. 2020-06-04]. Dostupné z: http://www.ingmecc.uniroma1.it/attachments/1816_Tecnologie_%20lavorazione_polimeri.pdf
20. KALPAKJIAN, Serope a Steven SCHMID. *Manufacturing, Engineering & Technology* [online]. Fifth Edition. Upper Saddle River: Pearson Education, 2006 [cit. 2020-06-04]. ISBN 0-13-148965-8. Dostupné z: <https://slideplayer.com/slide/6670456/>
21. ŘEHULKA, Zdeněk. *Konstrukce výlisků z plastů a forem pro zpracování plastů: polymery*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2013. ISBN 978-80-7204-833-5.
22. BOBEK, Jiří. *Vstřikovací formy pro zpracování termoplastů* [online]. 06.11.2019. Střední odborné učiliště Svitavy: Code Creator, 2015 [cit. 2020-02-15]. ISBN 978-80-88058-65-6. Dostupné z: <https://publi.cz/books/179/Cover.html>
23. SOVA, Miloš a Josef KREBS. *Termoplasty v praxi: praktická příručka pro konstruktéry, výrobce, zpracovatele a uživatele termoplastů*. 5. aktualizované vydání. Praha: Verlag Dashöfer, 2001. ISBN 80-862-2915-7.
24. ŽÁK, Ladislav. *Podklady do cvičení: Speciální výrobní technologie*. Brno, 2019.
25. ŽÁK, Ladislav. *Podklady do cvičení: Technologie tváření*. Brno, 2016.
26. ŽÁK, Ladislav. Vstřikovací formy. In: *Ústav strojírenské technologie: Tváření* [online]. Brno, s. 19-39 [cit. 2020-06-04]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/img/cviceni/htn__tvareci_nastroje_vstrikovaci_formy__zak.pdf
27. ZEMAN, Lubomír. Temperace vstřikovacích forem: důležitá podmínka výroby výstřiků z termoplastů, 2. část. In: *PlasticPortal.eu* [online]. Nitra: ICOSA, 2015 [cit. 2020-06-04]. Dostupné z: <https://www.plasticportal.cz/cs/temperace-vstrikovacich-form-dulezita-podminka-vyroby-vystriku-z-termoplastu-2-cast/c/3086/>
28. ZEMAN, Lubomír. *Vstřikování plastů: teorie a praxe*. Praha: Grada Publishing, 2018. ISBN 978-80-271-0614-1.
29. ZEMAN, Lubomír. *Vstřikování plastů: úvod do vstřikování termoplastů*. Praha: BEN - technická literatura, 2009. ISBN 978-80-7300-250-3.

30. NEUHÄUSL, Emil. Vady výstřiků: 2. díl: Vady tvaru a rozměrové vady. *MM Průmyslové spektrum* [online]. Praha: MM publishing, 2010, 30.3.2010, **2010**(4), 64 [cit. 2020-06-23]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/vady-vystriku-2-dil-vady-tvaru-a-rozmerove-vady.html>
31. NEUHÄUSL, Emil. Vady výstřiků: 3. díl: Vady vzhledové. *MM Průmyslové spektrum* [online]. Praha: MM publishing, 2010, 26. 4. 2010, (5), 49 [cit. 2020-06-04]. ISSN 1212-2572. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/vady-vystriku-3-dil-vady-vzhledove.html>
32. NEUHÄUSL, Emil. Vady výstřiků: 1. díl: Příčiny vzniku vad a studené spoje. *MM Průmyslové spektrum* [online]. Praha: MM publishing, 2010, 3. 3. 2010, **2010**(3), 58 [cit. 2020-06-04]. ISSN 1212-2572. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/vady-vystriku-1-dil-priviny-vzniku-vad-a-studene-spoje.html>
33. Studený spoj. In: *PlasticPortal.cz* [online]. Nitra: ICOSA [cit. 2020-06-04]. Dostupné z: <https://www.plasticportal.cz/cs/podla-cinnosti/smartplast-sro/f/235/#gallery-2>
34. Produkty: e-díly. *Meusburger* [online]. Wolfurt: Meusburger Georg GmbH & Co, c2020 [cit. 2020-06-04]. Dostupné z: <https://www.meusburger.com/CS/CZ/produkty/vyroba-nastroju-a-forem/e-dily>
35. Vstřikovací stroje: Technické data. In: *Arburg* [online]. Brno: ARBURG spol., c2018 [cit. 2020-06-04]. Dostupné z: https://www.arburg.com/fileadmin/redaktion/Mediathek/Technische_Daten/ARBURG_ALLROUNDER_520A_multi-component_TD_680281_en_GB.pdf
36. Ceny polymerů: Průměrné měsíční ceny plastů. In: *PlasticPortal.cz* [online]. Nitra: ICOSA [cit. 2020-06-20]. Dostupné z: <https://www.plasticportal.cz/cs/ceny-polymeru/lm/7/>
37. Aktuální (průměrná) cena 1 kWh elektřiny. In: *Energie123.cz* [online]. energie123, c2011-2020 [cit. 2020-06-20]. Dostupné z: <https://www.energie123.cz/elektrina/ceny-elektricke-energie/cena-1-kwh/>
38. Ceny plastových výlisků. In: *Easyplast* [online]. Plzeň: easyplast, c1990-2020 [cit. 2020-06-20]. Dostupné z: <https://www.easyplast.cz/cenik/>
39. *CITACE PRO* [online]. c2012-2020 [cit. 2020-06-21]. Dostupné z: citace.lib.vutbr.cz
40. Plastic mouldings DIN 16 901. In: *Nice Rapid Tooling* [online]. China: Nice Rapid Limited, 1973 [cit. 2020-06-20]. Dostupné z: [https://www.nice-rapidtooling.com/uploadfile/down/20160425/Tolerance%20Guide\(DIN%2016901\).pdf](https://www.nice-rapidtooling.com/uploadfile/down/20160425/Tolerance%20Guide(DIN%2016901).pdf)
41. THYROPLAST® 2083/2083 SUPRA. In: *SCHMOLZ-BICKENBACH.CZ* [online]. Düsseldorf: SCHMOLZ+BICKENBACH, c2004-2020 [cit. 2020-06-20]. Dostupné z: https://www.schmolz-bickenbach.cz/pdf/thyroplas_2083_cz.pdf

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Označení	Legenda	Jednotka
a_{eff}	měrná tepelná vodivost	$[mm^2 \cdot s^{-1}]$
B	konstanta charakterizující geometrický tvar tzv. řídicího místa	[-]
C	konstanta charakterizující geometrický tvar tzv. řídicího místa	[-]
C_e	cena elektřiny	$[Kč \cdot kWh^{-1}]$
C_M	cena 1 kg materiálu	$[Kč \cdot kg^{-1}]$
C_v	minimální vstřikovací kapacita lisu	$[cm^3]$
C_p	minimální plastifikační kapacita lisu	$[kg \cdot hod^{-1}]$
D	průměr šneku	[mm]
D'	hodnota průměru v závislosti na tloušťce stěny a hmotnosti dílu	[mm]
D_K	průměr rozváděcího kanálu	[mm]
D_{max}	maximální průměr dílu	[mm]
D_t	hodnota určená na základě technologických teplot	[-]
F_o	otevírací síla stroje	[N]
F_u	uzavírací síla stroje	[MN]
F_v	vyhazovací síla	[N]
K_1	koeficient tekutosti materiálu	[-]
K_2	koeficient délky rozváděcího kanálku	[-]
K	poměr objemového smrštění	[-]
K_A	materiálový koeficient	[-]
K_B	materiálový koeficient	[-]
K_C	koeficient využití času	[-]
K_O	koeficient opotřebení stroje	[-]
K_S	koeficient seřízení, oprav a údržby stroje a nástroje	[-]
l_j	délka jádra	[mm]
L_C	celková délka toku taveniny	[mm]
L_H	délka toku taveniny v hlavním rozvodném kanále	[mm]
L_{max}	maximální délka toku taveniny	[mm]
L_R	délka toku taveniny v rozvodném kanále	[mm]
m	hmotnost madla	[g]
m_V	hmotnost celého výstřiku	[kg]
n_s	počet otáček šneku	$[min^{-1}]$
M	exponent	[-]
n_T	termínovaná násobnost formy	[-]
n_x	násobnost formy	[-]
N	požadovaná produkce	[ks]
N_A	celkové náklady na výrobní sérii	[Kč]
N_D	hodinová hrubá mzda dělníka	[Kč]
N_{DC}	náklady na hrubou mzdu dělníka po dobu výrobní série	[Kč]
N_F	cena výrobní formy	[Kč]
N_{MS}	náklady na materiál pro celou výrobní sérii	[Kč]
N_{MV}	náklady na materiál pro jedno plnění	[Kč]
N_{SC}	náklady na provoz stroje po dobu výrobní série	[Kč]
N_{SH}	náklady na hodinu provozu stroje	$[Kč \cdot hod^{-1}]$
N_V	celkové náklady na jednu součást	[Kč]
p_j	poměr délky a šířky jádra	[-]
p_t	teoretický vstřikovací tlak	[bar]
p_v	vstřikovací tlak	[MPa]

Označení	Legenda	Jednotka
P_S	příkon stroje	[kW]
Q_p	plastifikační výkon stroje	[kg·hod ⁻¹]
Q_v	maximální objem zdvihu	[cm ³]
s	průměrná tloušťka stěny	[mm]
s_{max}	maximální tloušťka stěny	[mm]
s_s	velikost smršnění	[%]
S_d	plocha vstřikovací dutiny a rozvodných kanálů	[m ²]
\check{s}_j	průměr jádra	[mm]
t_1	doba na uzavření formy	[s]
t_2	doba na přisunutí vstřikovací jednotky	[s]
t_3	doba na otevření formy a vyhození výstřiku	[s]
t_4	časová prodleva u vstřikovacího cyklu	[s]
t_c	doba vstřikovacího cyklu	[s]
t_H	výrobní čas celé série	[hod]
t_k	doba chlazení	[s]
t_{och}	doba ochlazování	[s]
t_v	doba vstřikování	[s]
T_E	střední vyhazovací teplota	[°C]
T_M	teplota taveniny plastu	[°C]
T_p	doba produkce	[hod]
T_V	teplota formy	[°C]
v	obvodová rychlost šneku	[min ⁻¹]
v_s	rychlost vstřikování	[cm ³ ·s ⁻¹]
V	objem výstřiku	[cm ³]
V_K	objem rozváděcího kanálu	[cm ³]
V_z	objem hmotného zbytku	[cm ³]
ρ	hustota plastu	[g·cm ³]
φ	koeficient tření	[-]

Zkratka	Legenda
ČSN	Česká národní norma
DIN	Německá národní norma

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Náklady na vybrané technologie [3]	9
Obr. 2 Koupelnová skříň	10
Obr. 3 Připevnění madla.....	10
Obr. 4 Základní rozměry madla	11
Obr. 5 Obrábění plastů robotem [7]	12
Obr. 6 Lisování plastů [9]	12
Obr. 7 Vstřikovací lis Engel [10]	12
Obr. 8 Základní klasifikace polymerů [14]	14
Obr. 9 Rozvětvený řetězec makromolekul [15]	14
Obr. 10 Vznik kopolymeru pomocí polykondenzace [14]	15
Obr. 11 Pístový vstřikovací lis [19]	16
Obr. 12 Šnekový vstřikovací stroj [8].....	16
Obr. 13 Vstřikovací jednotka [18].....	17
Obr. 14 Části vstřikovací formy [22]	18
Obr. 15 Rozmístění dutiny ve formě [22]	18
Obr. 16 Schéma soustavy rozváděcích kanálů [25]	20
Obr. 17 Provedení rozváděcích kanálků [22].....	20
Obr. 18 Druhy vtokových ústí [26]	21
Obr. 19 Temperační systém [27].....	22
Obr. 20 Příklad odvodu vzdušné formy	22
Obr. 21 Vyhazovací systém [26].....	23
Obr. 22 Pohyby formy při vstřikovacím cyklu [8].....	24
Obr. 23 Vstřikovací cyklus [22]	25
Obr. 24 Procesní technologické okno [3].....	26
Obr. 25 Přetok na výstřiku [30].....	29
Obr. 26 Propadliny [30]	29
Obr. 27 Stopa po vyhazovači [30].....	30
Obr. 28 Změna barvy [31].....	30
Obr. 29 Rozdíl v lesku [31].....	30
Obr. 30 Kruhové vtokové linie [31]	31
Obr. 31 Deselekt [32].....	31
Obr. 32 Studený spoj [33]	31
Obr. 33 Poloha dělicí roviny	32
Obr. 34 Technologické úkosy	32
Obr. 35 Zajištění jádra.....	33
Obr. 36 Znárodnění vstřikovacího cyklu [25]	34
Obr. 37 Průběh plnění tvarové dutiny formy [26].....	35
Obr. 38 Vtoková vložka [33].....	35
Obr. 39 Zvonové vtokové ústí.....	37
Obr. 40 Vyhazovací systém	37
Obr. 41 Navržený temperační systém	38
Obr. 42 Hromadění vzduchu ve tvarové dutině	38
Obr. 43 Základní díly vstřikovací formy [22]	39
Obr. 44 Výpočet plochy vstřikovací dutiny a rozvodných kanálů	40
Obr. 45 Simulace úspěšnosti naplnění	41
Obr. 46 Simulace kvality naplnění	41
Obr. 47 Rozložení nákladů na výrobní proces	44

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Vlastnosti materiálu ABS [5].....	11
Tab. 2 Doporučené šířky odvzdušňovacích kanálů [22]	22
Tab. 3 Určení průměru D' [25].....	36

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1	Obecné tolerance a přípustné odchylky rozměrů dle DIN 16 901 [39]
Příloha 2	Specifikace oceli použité na výrobu tvarové desky [40]
Příloha 3	Orientační parametry vstřikování materiálu ABS [29]
Příloha 4	Tabulka určení vstřikovací doby [25]
Příloha 5	Graf určení praktické násobnosti formy [25]
Příloha 6	Určení měrné tepelné vodivosti a střední vyhazovací teploty [25]
Příloha 7	Tabulka koeficientů K_2 [25]
Příloha 8	Tabulka orientačních hodnot pro volbu průměru kanálků [26]
Příloha 9	Tabulka určení teoretického vstřikovacího tlaku [25]
Příloha 10	Parametry lisu Arburg Allrounder 520S [34]

SEZNAM VÝKRESŮ

Sestava vstřikovací formy	BP_2020_A2_1
Levá tvarová deska	BP_2020_A3_2
Pravá tvarová deska	BP_2020_A3_3
Trubkový vyhazovač	BP_2020_A4_4
Tvarové jádro	BP_2020_A4_5
Madlo	BP_2020_A3_6

Table 2. General tolerances and tolerances on dimensions with deviations entered against the dimension

Tolerance group from table 1	Code letter 1)	Nominal dimension range																							
		over up to	0	1	3	6	10	15	22	30	40	53	70	90	120	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	
General tolerances																									
160	A	±0,28	±0,30	±0,33	±0,37	±0,42	±0,49	±0,57	±0,66	±0,78	±0,94	±1,15	±1,40	±1,80	±2,20	±2,70	±3,30	±4,10	±5,10	±6,30	±7,90	±10,00			
	B	±0,18	±0,20	±0,23	±0,27	±0,32	±0,39	±0,47	±0,56	±0,63	±0,84	±1,05	±1,30	±1,70	±2,10	±2,60	±3,20	±4,00	±5,00	±6,20	±7,80	±9,90			
150	A	±0,23	±0,25	±0,27	±0,30	±0,34	±0,38	±0,43	±0,49	±0,57	±0,68	±0,81	±0,87	±1,20	±1,50	±1,80	±2,20	±2,80	±3,40	±4,30	±5,30	±6,60			
	B	±0,13	±0,15	±0,17	±0,20	±0,24	±0,28	±0,33	±0,39	±0,47	±0,58	±0,71	±0,87	±1,10	±1,40	±1,70	±2,10	±2,70	±3,30	±4,20	±5,20	±6,50			
140	A	±0,20	±0,21	±0,22	±0,24	±0,27	±0,30	±0,34	±0,38	±0,43	±0,50	±0,60	±0,70	±0,85	±1,05	±1,25	±1,55	±1,90	±2,30	±2,90	±3,60	±4,50			
	B	±0,10	±0,11	±0,12	±0,14	±0,17	±0,20	±0,24	±0,28	±0,33	±0,40	±0,50	±0,60	±0,75	±0,95	±1,15	±1,45	±1,80	±2,20	±2,80	±3,50	±4,40			
130	A	±0,18	±0,19	±0,20	±0,21	±0,23	±0,25	±0,27	±0,30	±0,34	±0,38	±0,44	±0,51	±0,60	±0,70	±0,80	±1,10	±1,30	±1,60	±2,00	±2,50	±3,00			
	B	±0,08	±0,09	±0,10	±0,11	±0,13	±0,15	±0,17	±0,20	±0,24	±0,28	±0,34	±0,41	±0,50	±0,60	±0,80	±1,00	±1,20	±1,50	±1,90	±2,40	±2,90			
Tolerances on dimensions with deviations entered against the dimension																									
160	A	0,56	0,60	0,66	0,74	0,84	0,98	1,14	1,32	1,56	1,88	2,30	2,80	3,60	4,40	5,40	6,60	8,20	10,20	12,50	15,80	20,00			
	B	0,36	0,40	0,46	0,54	0,64	0,78	0,94	1,12	1,38	1,68	2,10	2,60	3,40	4,20	5,20	6,40	8,00	10,00	12,30	15,60	19,80			
150	A	0,46	0,50	0,54	0,60	0,68	0,76	0,86	0,98	1,14	1,36	1,62	1,94	2,40	3,00	3,60	4,40	5,60	6,80	8,60	10,60	13,20			
	B	0,26	0,30	0,34	0,40	0,48	0,56	0,66	0,78	0,94	1,16	1,42	1,74	2,20	2,80	3,40	4,20	5,40	6,60	8,40	10,40	13,00			
140	A	0,40	0,42	0,44	0,48	0,54	0,60	0,68	0,76	0,86	1,00	1,20	1,40	1,70	2,10	2,50	3,10	3,80	4,60	5,80	7,20	9,00			
	B	0,20	0,22	0,24	0,28	0,34	0,40	0,48	0,56	0,66	0,80	1,00	1,20	1,50	1,90	2,30	2,90	3,60	4,40	5,60	7,00	8,80			
130	A	0,36	0,38	0,40	0,42	0,46	0,50	0,54	0,60	0,68	0,76	0,88	1,02	1,20	1,50	1,90	2,20	2,60	3,20	3,90	4,90	6,00			
	B	0,16	0,18	0,20	0,22	0,26	0,30	0,34	0,40	0,48	0,56	0,68	0,82	1,00	1,30	1,60	2,00	2,40	3,00	3,70	4,70	5,80			
120	A	0,32	0,34	0,36	0,38	0,40	0,42	0,46	0,50	0,54	0,60	0,68	0,78	0,90	1,06	1,24	1,50	1,80	2,20	2,60	3,20	4,00			
	B	0,12	0,14	0,16	0,18	0,20	0,22	0,26	0,30	0,34	0,40	0,48	0,58	0,70	0,86	1,04	1,30	1,60	2,00	2,40	3,00	3,80			
110	A	0,18	0,20	0,22	0,24	0,26	0,28	0,30	0,32	0,36	0,40	0,44	0,50	0,58	0,68	0,80	0,96	1,16	1,40	1,70	2,10	2,60			
	B	0,08	0,10	0,12	0,14	0,16	0,18	0,20	0,22	0,26	0,30	0,34	0,40	0,48	0,58	0,70	0,86	1,06	1,30	1,60	2,00	2,60			
Precision engineering	A	0,10	0,12	0,14	0,16	0,20	0,22	0,24	0,26	0,28	0,31	0,35	0,40	0,48	0,58	0,70	0,86	1,06	1,30	1,60	2,00	2,50			
	B	0,05	0,06	0,07	0,08	0,10	0,12	0,14	0,16	0,18	0,21	0,25	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,86	1,06	1,30	1,60	2,00	2,50		

1) A for non-mould-related dimensions
B for mould-related dimensions

Příloha č. 2 Specifikace oceli použité na výrobu tvarové desky [41]



THYROPLAST® 2083/2083 SUPRA

Material No. Code

Material No.	AISI
1.2083	420

Chemical composition

Typical analysis in %

C	Cr
0.42	13.0

Steel properties

Korozivzdorná ocel s dobrou leštitelností. Pro nejvyšší požadavky na leštitelnost doporučujeme použít THYROPLAST 2083 SUPRA – ocel přetavenou pod struskou.

Physical properties

Koeficient tepelné roztažnosti

10 ⁻⁶ m/(m · K)	20 – 100	20 – 200	20 – 300 °C			
Žiháno	11.1	11.4	11.8			
Kaleno a popouštěno	11.1	11.5	11.6			
Tepelná vodivost W/(m · K)	100	150	200	250	300 °C	
Žiháno	28.4	28.6	28.8	29.2	29.6	
Kaleno a popouštěno	22.5	23.1	23.5	24.4	25.7	

Applications

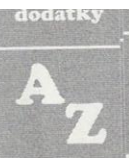
Formy na zpracování plastických hmot které způsobují korozi.

Heat treatment

Žihání na měkko °C	Ochlazování	Tvrдость HB						
760 – 800	pec	max. 230						
Kalící teploty °C	médium	Tvrдость po kalení HRC						
1000 – 1050	Olej, solná lázeň 500 – 550 °C	56						
Popouštění °C			100	200	300	400	500	600
HRC			56	55	52	51	52	40

Příloha č. 3 Orientační parametry vstřikování pro materiál ABS [29]

Termoplast	Zkratka	Amorfni - A Křesťalické - K	Hustota [g cm ⁻³]	Sušení suchým teplem (typická hodnota)	Max. obsah vlhkosti po sušení [%]	Teplota laveny (typický rozsah)	Teplota formy (typický rozsah)	Vstřikovací tlak před čelem šneku (typický rozsah)	Dtlak v % ze vstřikovacího tlaku	Zpětný odpor - hydraulický tlak (typický rozsah)	Obvodová rychlost na šneku [m s ⁻¹]	Max. doba prodlívání ve vstřikovací vaici a hrom rozsah (př. teplotě laveny)	Pořítání v %		
													zárky (typický rozsah)	Výrobní směrání	
Acetát celulózy	CA	A	1,20-1,31	55-70	0,25 (0,15)	170-210	40-70	500-1400	40-80	do 30	0,1-0,2	12	4-6	0,3-0,6	0,3-0,6
Butyrolacát celulózy	CAB	A	1,18-1,22	55-65	0,25 (0,15)	170-220	40-70	500-1400	40-80	do 30	0,1-0,2	12	4-6	0,4-0,7	0,4-0,7
Propionát celulózy	CP	A	1,18-1,24	55-65	0,25 (0,15)	180-230	40-80	500-1400	40-80	do 30	0,1-0,2	12	4-6	0,3-0,6	0,3-0,6
Polypropylen	PP	K	0,900-0,907	ne. 80	0,1	180-300	20-60(100)	500-1200	50-90	do 50	až 0,3	40	až 10	1,5-2,5	1,5-2,5
Polypropylen s 20 % tlaiku	PP 20T PP	K	1,04	110-120	0,1	220-280	30-50	600-1600	50-90	do 50	až 0,3	40	až 10	0,8-1,6	0,7-1,4
Polypropylen s 30 % SV 30SV	PP	K	1,14	110-120	0,1	240-300	40-80	800-1800	50-90	do 30	až 0,25	40	až 10	0,6-1,4	0,6-1,4
Vysokotermi	HDPE	K	0,939-0,965	ne. 80	0,5	200-280	10-90	800-1400	50-80	do 50	až 0,3	40	až 10	1,4-2,5	1,2-2,2
Nizkotermi	LDPE	K	0,914-0,928	ne. 80	0,5	180-260	10-60	300-800	50-80	do 50	až 0,3	40	až 10	1,8-3,5	1,8-3,0
Standardní polystyren	PS	A	1,05-1,10	50	0,1	170-260	30-70	400-1500	30-80	do 50	až 0,3	30	až 10	0,2-0,6	0,2-0,6
Houževnatý polystyren	Hil-PS	A	1,04-1,06	70-80	0,1	180-280	40-70	600-1500	30-80	do 50	až 0,3	30	až 10	0,4-0,7	0,4-0,7
Styren - akrylonitrilový	ABS	A	1,04-1,10	80	0,1	180-260	40-90	600-1400	40-80	do 40	až 0,3	30	až 10	0,4-0,8	0,4-0,8
Akrylonitril-butadien- styrenový kopolymer	MABS	A	1,10-1,12	80	0,1	200-280	40-80	600-1600	50-80	do 20	až 0,2	30	až 10	0,4-0,8	0,4-0,8
Methylmetakrylát- akrylonitril-butadien- styrenový kopolymer	EVA	K	0,94-0,95	50-60	0,1	150-200	10-50	600-1000	50-80	do 30	až 0,2	20	až 10	2,0-3,0	2,0-3,0
Ethylen-vinyl-acetátový kopolymer	PVC	K	1,38-1,39	60-70	2-3	160-190	20-50	900-1500	30-60	do 30	až 0,2	20	do 5	0,5-0,9	0,5-0,9
Polyvinyl-chlorid (tvrdý, houževnatý)	PVC	K	1,35-1,36	60-70	2-3	150-190	20-50	900-1500	30-60	do 30	až 0,2	20	do 5	0,7-1,2	0,7-1,2
Polyvinyl-chlorid (měkčivý)	PVC	K	1,19-1,28	50-60	2-3	140-200	20-50	400-1000	30-60	do 30	až 0,2	20	do 5	0,8-3,5	0,8-3,5
Polyethylmetakrylát	PMMA	A	1,18-1,19	80-90	4-6	180-250	40-80	800-2000	40-90	do 30	až 0,2	30	do 5	0,2-0,8	0,2-0,8
Polyamid 6	PA6	K	1,12-1,14	80	0,2	230-270	40-90	600-1200	40-90	do 40	až 0,25	20	do 10	0,6-2,1	1,0-2,2
Polyamid 6, skleněné vlákno	PA6 SV	K	1,28-1,50	80-90	4-8	250-290	50-120	800-1400	40-90	do 30	až 0,15	20	do 10	0,2-0,4	0,9-1,2
Polyamid 6, minerální plnivo	PA6 M	K	1,22-1,50	80-90	4-8	240-290	50-110	800-1400	40-90	do 40	až 0,25	20	do 10	0,5-0,9	0,8-1,0
Polyamid 66	PA66	K	1,13-1,15	80	0,2	270-310	50-100	600-1400	40-90	do 40	až 0,25	20	až 10	1,2-1,9	1,2-2,2
Polyamid 66-skleněné vlákno	PA66 SV 13- 50	K	1,28-1,42	80	0,2	280-310	50-120	800-1600	40-90	do 30	až 0,15	20	až 10	0,2-0,5	0,7-1,2
Polyamid 66-minerální	PA66 M	K	1,24-1,50	80-90	4-8	280-300	50-110	800-1500	40-90	do 40	až 0,25	20	až 10	0,4-1,5	1,0-1,4
Polyamid 46	P46	K	1,18-1,82	80	0,1	260-330	60-120	800-1600	40-80	do 20	až 0,25	10	do 50	2	2
Polyamid 11	PA11	K	1,04-1,05	75-80	8-16	220-280	40-80	500-1000	40-80	do 30	až 0,25	20	až 10	0,8-1,4	1,2-2,0
Polyamid 11 skleněné vlákno	PA11 SV	K	1,26-1,30	80-90	8-16	240-290	60-100	700-1600	40-80	do 30	až 0,15	20	až 10	0,4-0,8	0,8-1,2
Polyamid 12	PA12	K	1,01-1,02	75-80	0,1	220-280	40-80	600-1200	40-80	do 20	až 0,25	20	až 10	0,8-1,4	1,2-2,0
Polyamid 12 skleněné vlákno	PA12 SV	K	1,21-1,25	80-90	8-16	240-290	60-100	700-1600	40-80	do 30	až 0,15	20	až 10	0,4-0,8	0,8-1,2
Polyamid transparentní	PA-T	K	1,00-1,05	80	0,02	260-300	80-120	800-1500	40-90	do 30	až 0,25	10	až 8	0,4-0,6	1,2-2,0
Polykarbonát	PC	A	1,20-1,21	120	4-6	260-320	70-120	800-1600	50-80	do 30	až 0,25	10	až 8	0,6-0,8	0,6-0,8
Polykarbonát se skleněným vláknem	PC SV	A	1,42-1,52	120	0,02	290-320	80-120	1000-2000	50-80	do 30	až 0,15	10	až 8	0,2-0,8	0,2-0,8
Polyoxymethylen nebo polyformaldehyd nebo polyacetát	POM	K	1,41-1,43	100-110	2-4	180-220	60-120	600-1800	50-100	do 20	do 0,25	15	do 5	1,6-2,2	2,2-2,6
Polyfenylenoxid	PPO	A	1,06	110-120	2-4	260-280	80-110	1000-1800	50-80	do 30	do 0,25	10	do 5	0,5-0,8	0,5-0,8
Polyethylen-tereftalát	PET	K	1,37-1,38	120-140	2-8	260-280	90-140	600-1600	50-80	do 20	do 0,25	6	do 5	0,5-2,0	1,0-5,0

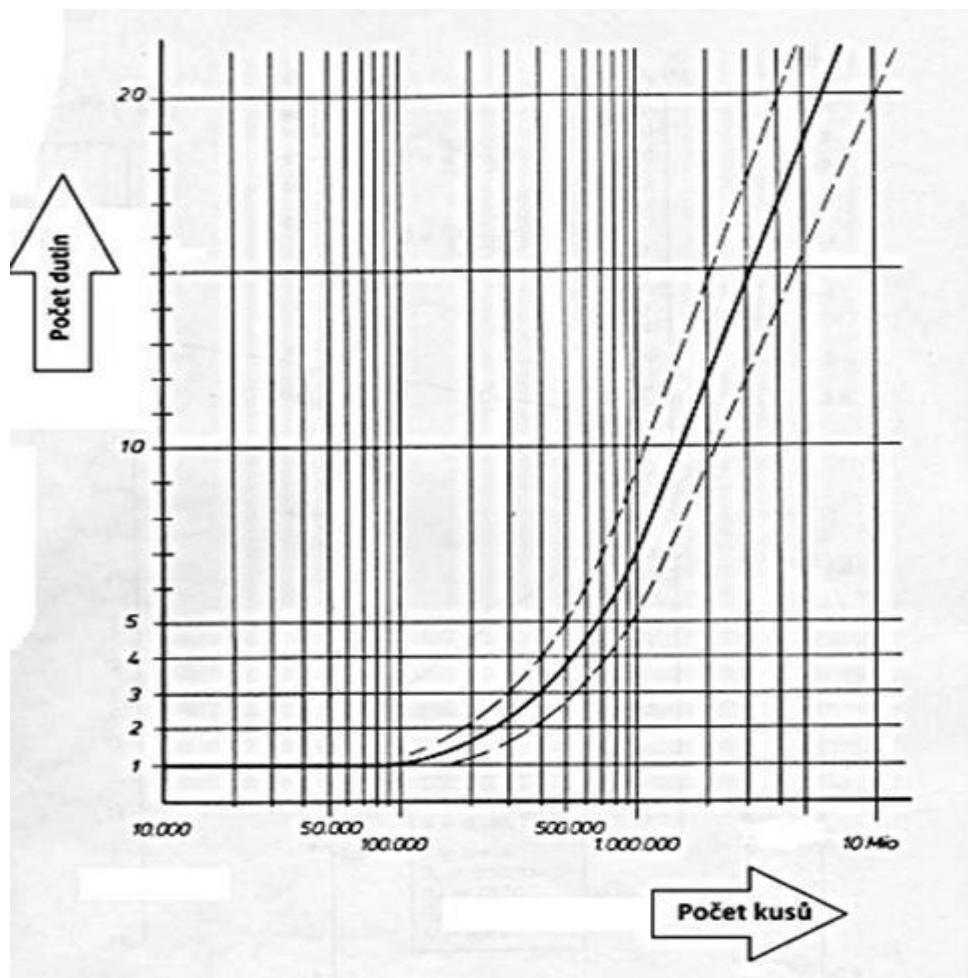


Příloha č. 4 Tabulka určení vstřikovací doby [25]

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

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

Příloha č. 5 Graf určení praktické násobnosti formy [25]



Příloha č. 6 Určení měrné tepelné vodivosti a střední vyhazovací teploty [25]

Materiál	Teplota taveniny ϑ_M [°C]	Teplota formy ϑ_W [°C]	Střední vyhazovací teplota $\overline{\vartheta_E}$ [°C]	Měrná teplotní vodivost a_{eff} [mm ² /s]	Hustota ρ [g/cm ³]
PS	160 – 280	20 – 80	60 – 100	0,086	1,05
ABS	200 – 270	50 – 80	60 – 100	0,084	1,06
PVC hart	150 – 210	20 – 70	60 – 100	0,073	1,40
PVCweich	120 – 190	20 – 55	60 – 100	0,072	1,28
PMMA	180 – 260	20 – 80	70 – 110	0,074	1,18
PC	270 – 320	85 – 120	90 – 140	0,112	1,20
PE - HD	200 – 300	40 – 60	60 – 110	0,078	0,95
PE - LD	170 – 245	20 – 60	50 – 90	0,087	0,92
PP	200 – 300	20 – 100	60 – 100	0,067	0,90
PA 6	235 – 275	60 – 95	70 – 110	0,089	1,13
PA 6.6	260 – 300	60 – 90	80 – 140	0,089	1,14
POM	190 – 230	40 – 120	90 – 150	0,059	1,41
PBT	230 – 270	30 – 90	80 – 140	0,089	1,31

Příloha č. 7 Tabulka koeficientů K_2 [25]

Délka kanálku L	K_2	Délka kanálku L	K_2
0 - 20	1,0	100 - 150	1,20
20 - 40	1,04	150 - 200	1,29
40 - 70	1,08	200 - 250	1,39
70 - 100	1,12	250 - 300	1,51

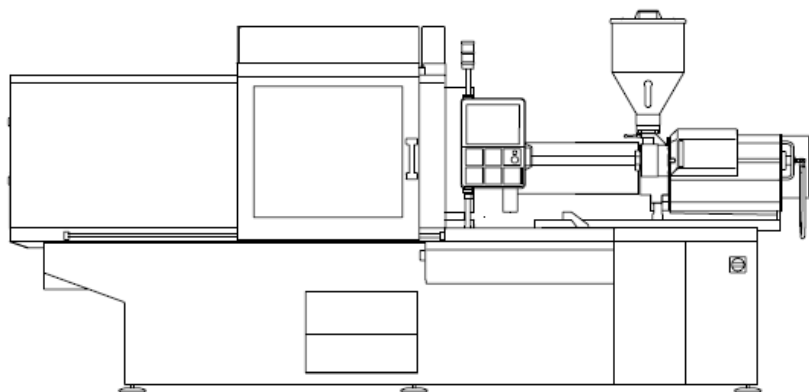
Příloha č. 8 Tabulka orientačních hodnot pro volbu průměru kanálků [26]

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

Příloha č. 9 Tabulka určení teoretického vstřikovacího tlaku [25]

Materiál	Vstřikov. tlak P_v [MPa]	Dotlak P_d [MPa]	Zpětný tlak P_z [MPa]
PS	65 – 155	35 – 90	4 – 8
ABS	65 – 155	35 – 90	4 – 8
PVC hart	100 – 155	40 – 90	4 – 8
PVC weich	40 – 155	30 – 60	4 – 8
PMMA	100 – 140	50 – 115	8 – 12
PC	100 – 160	60 – 130	8 – 12
PE - HD	60 – 135	30 – 80	6 – 9
PE - LD	60 – 135	30 – 80	4 – 8
PP	80 – 140	50 – 100	6 – 9
PA 6	45 – 155	35 – 105	4 – 8

Příloha č. 10 Parametry lisu Arburg Allrounder 520S [34]



ALLROUNDER 520 S

Distance between tie bars: 520 x 520 mm
 Clamping force: 1300, 1500, 1600 kN
 Injection unit (acc. to EUROMAP): 290, 400, 800

TECHNICAL DATA | 520 S

Clamping unit		520 S		
with clamping force	max. kN	1300	1500	1600
Opening force stroke	max. kN mm	365 575		
Mould height, fixed variable	min. mm	250 ---		
Platen daylight fixed variable	max. mm	825 ---		
Distance between tie bars (w x h)	mm	520 x 520		
Mould mounting platens (w x h)	max. mm	695 x 695		
Weight of movable mould half	max. kg	1050		
Ejector force stroke	max. kN mm	50 175		
Dry cycle time EUROMAP ²	1 pump	2,5 - 364		
	2 pumps	1,9 - 364		
	Accum.	1,7 - 364		

Injection unit		290			400			800		
with screw diameter	mm	30	35	40	35	40	45	45	50	55
Effective screw length	L/D	23,3	20	17,5	23	20	18	22	20	18
Screw stroke	max. mm	150			160			200		
Calculated stroke volume	max. cm ³	106	144	188	154	201	254	318	392	474
Shot weight	max. g PS	97	132	172	141	184	232	291	359	434
Material throughput	max. kg/h PS	17	20,5	24,5	25	29	35	46	53	59
	max. kg/h PA6.6	8,5	10,5	12,5	12,5	15	17,5	23	27	30
Injection pressure	max. bar	2500	2000	1530	2500	2000	1580	2470	2000	1650
Holding pressure	max. bar	2500	2000	1530	2500	2000	1580	2470	2000	1650
Injection flow ²	1 pump	130			128			174		
	2 pumps	178			168			214		
	Accum.	232			212			260		
	max. cm ³ /s	130	178	232	128 160	168 210	212 266	174	214	260
	max. cm ³ /s	316	430	562	492	642	814	530	656	792
Screw circumferential	1 pump	51			47			54		
	max. m/min	60	60	69	53	53	60	60	60	66

Screw torque	max. Nm	320	380	430	480	550	610	880
Nozzle contact force retraction stroke	max. kN mm	60 240			60 300			70 400
Heating capacity zones	kW	6,4 5			9,4 5			19,9 8
Feed hopper	l	50			50			50

Drive and connection		1 pump			2 pumps			Accum.			
with injection unit		290	400	800	290	400	800	290	400	800	
Net weight of machine	kg	5600	5900	6350	5600	5900	6350	---			
Sound press. level Insecurity ⁴	dB(A)	70 3			70 3			70 3			
Oil filling	l	175			240			240			
Drive power ²	max. kW	22	22	30	30			22	22	30	
Electrical connection ³											
	Total	kW	31	34	52	39	42	52	31	33	52
	Machine	A	80	80	100	100	100	125	80	80	125
	Heating	A	63	63	80	80	80	80	63	63	80
	Heating	A	16	20	35	16	20	35	16	20	35
Cooling water connection	max. °C	25			25			30			
	min. Δp bar	1,5 DN 25			1,5 DN 25			1,5 DN 25			

Machine type		Drive
with EUROMAP size designation ¹		
520 S 1300-290 400		1 2 Accum.
520 S 1500-290 400 800		1 2 Accum.
520 S 1600-290 400 800		- 2 Accum.

Upon request: other machine types and mould installation heights, screws, drive powers etc.
 All specifications relate to the basic machine version. Deviations are possible depending on variants, process settings and material type. Depending on the drive, certain combinations, e.g. max. injection pressure and max. injection flow may be mutually exclusive.

- 1) Clamping force (kN) - size of injection unit = max. stroke volume (cm³) x max. injection pressure (kbar).
 - 2) Specifications depend on the drive config. - 1st value applies to the lowest clamping force.
 - 3) Specifications relate to 400 V/50 Hz.
 - 4) Detailed info in the operating instr.
- [] Specifications apply to alternative equipment.

Fixed mould mounting platen | A

