

Inženýrský návrh vstřikovací formy pro průmyslový výrobek

Lukáš Kříž



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

Akademický rok: 2024/2025

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení:	Lukáš Kříž
Osobní číslo:	T22893
Studijní program:	B0788A270001 Procesní inženýrství
Forma studia:	Prezenční
Téma práce:	Inženýrský návrh vstřikovací formy pro průmyslový výrobek

Zásady pro vypracování

- Vypracujte literární studii na dané téma.
- Provedte konstrukci 3D modelu vstřikovaného plastového dílu.
- Navrhněte vstřikovací formu pro zadaný díl.
- Nakreslete 2D řez vstřikovací formou včetně příslušných pohledů a kusovníku.

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

1. ZEMAN, Lubomír. Vstřikování plastů: teorie a praxe. Praha: Grada Publishing, 2018, 455 s. ISBN 978-80-271-0614-1.
2. OSSWALD, Tim A., Lih-Sheng TURNG a Paul J. GRAMANN. Injection molding handbook. 2nd ed. Munich: Carl Hanser Publishers, c2008, xvii, 764 s. ISBN 978-1-56990-420-6
3. BEAUMONT, John P. Runner and gating design handbook: tools for successful injection molding. 2nd ed. Munich: Hanser Publishers, c2007, xvi, 308 s. ISBN 978-1-56990-421-3.
4. CATOEN, Bruce a Herbert REES. Injection mold design handbook. Munich: Hanser publishers, [2021], xxviii, 786 s. ISBN 978-1-56990-815-0.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Václav Janošík, Ph.D.**
Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce: **2. ledna 2025**
Termín odevzdání bakalářské práce: **16. května 2025**

prof. Ing. Roman Čermák, Ph.D. v.r.
děkan

L.S.

doc. Ing. Martin Bednařík, Ph.D. v.r.
ředitel ústavu

Ve Zlíně dne 10. února 2025

PROHLÁŠENÍ AUTORA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Beru na vědomí, že

- odevzdáním bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., v platném znění bez ohledu na výsledek obhajoby;
- bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému a bude dostupná k nahlédnutí;
- jedno vyhotovení bakalářské práce v listinné podobě bude ponecháno Univerzitě Tomáše Bati ve Zlíně k uložení;
- na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- podle § 60 odst. 1 autorského zákona má Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- podle § 60 odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – bakalářskou práci – nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- pokud bylo k vypracování bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tj. k nekomerčnímu využití), nelze výsledky bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- pokud je výstupem bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá; neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji, že

- jsem na bakalářské práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem řádně citoval; v případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor;
- odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou obsahově totožné.

Ve Zlíně, dne

.....
podpis autora

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá inženýrským návrhem vstřikovací formy pro polymerní výrobek používaný v průmyslové aplikaci. V teoretické části je uvedeno základní dělení polymerů a jejich vlastnosti ovlivňující volbu materiálu. Popsán je také proces vstřikování, včetně přípravy materiálu, principu fungování vstřikovacího stroje a jednotlivých fází vstřikovacího cyklu. Práce se také věnuje potenciálním vadám při vstřikování a klíčovým konstrukčním komponentům vstřikovací formy. Praktická část je zaměřena na 3D návrh vstřikovací formy pomocí softwaru Catia V5, výběr vhodného polymeru a specifikaci vstřikovacího stroje. Konstrukční řešení vstřikovací formy využívá normálie a je doplněno výkresovou dokumentací.

Klíčová slova: vstřikování, konstrukce forem, polymerní materiály, vstřikovací forma

ABSTRACT

This bachelor thesis deals with the engineering design of an injection mould for a polymer product used in an industrial application. In the theoretical part, the basic classification of polymers and their properties affecting the choice of material are presented. The injection moulding process is also described, including material preparation, the principle of operation of the injection moulding machine and the various stages of the injection moulding cycle. The paper also discusses potential defects in injection moulding and the key structural components of the injection mould. The practical part focuses on the 3D design of the injection mould using Catia V5 software, the selection of a suitable polymer and the specification of the injection moulding machine. The design of the injection mould uses standard parts and is complemented by drawing documentation.

Keywords: injection moulding, mould design, polymer materials, injection mould

Rád bych touto cestou poděkoval hlavně vedoucímu mé bakalářské práce Ing. Václavu Janošíkovi, Ph.D., za jeho ochotný přístup a cenné rady, které mi byly velmi nápomocné při vypracovávání této práce. Poděkování patří také mé rodině, přítelkyni a přátelům za jejich stálou podporu ve všem, co dělám. Dále děkuji i všem spolužákům a pedagogům, které jsem mohl během studia potkat, a kteří mi vždy dokázali poradit. V neposlední řadě děkuji také Fakultě technologické za možnost studovat v příjemném a přátelském prostředí.

OBSAH

ÚVOD.....	13
I TEORETICKÁ ČÁST	14
1 POLYMERŇÍ MATERIÁLY VHODNÉ PRO TECHNOLOGII VSTŘIKOVÁNÍ	15
1.1 ZÁKLADNÍ DĚLENÍ POLYMERŮ.....	15
1.1.1 Plasty	16
1.1.2 Elastomery.....	19
1.1.3 Termoplastický elastomer	19
1.2 VOLBA POLYMERŇÍHO MATERIÁLU	20
1.2.1 Stárnutí polymerních materiálů	21
1.3 POLYMERŇÍ PŘÍSADY	22
1.3.1 Plniva.....	23
2 TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ.....	25
2.1 PRINCIP TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ.....	26
2.2 VSTŘIKOVACÍ STROJ.....	26
2.2.1 Vstřikovací jednotka	27
2.2.2 Uzavírací jednotka	28
2.2.3 Ovládací a řídící prvky	29
2.3 PŘÍPRAVA POLYMERŇÍHO MATERIÁLU PŘED VSTŘIKOVÁNÍM	30
2.3.1 Granulace	30
2.3.2 Sušení	30
2.3.3 Recyklace polymerního materiálu.....	31
2.3.4 Doprava	32
2.4 FÁZE VSTŘIKOVACÍHO CYKLU	32
2.4.1 Strojní časy	34
2.4.2 Doba vstřikování	35
2.4.3 Doba dotlaku	35
2.4.4 Doba plastikace	36
2.4.5 Doba chlazení.....	36
2.4.6 Odformování	37
2.5 VADY PŘI VSTŘIKOVÁNÍ	37
2.5.1 Rozdělení vad výrobků	38
3 VSTŘIKOVACÍ FORMA	40
3.1 VHODNÉ MATERIÁLY PRO KONSTRUKCI VSTŘIKOVACÍ FORMY	41
3.1.1 Povrchové úpravy dutiny vstřikovací formy	41
3.2 NÁSOBNOST VSTŘIKOVACÍCH FOREM	43
3.3 VTOKOVÝ SYSTÉM	43

3.3.1	Systém se studeným vtokem	44
3.3.2	Systém s horkým vtokem	45
3.4	TEMPERAČNÍ SYSTÉM	47
3.5	VYHAZOVACÍ SYSTÉM	48
3.5.1	Mechanický vyhazovací systém	49
3.5.2	Pneumatický vyhazovací systém	50
3.5.3	Hydraulický vyhazovací systém	50
3.6	ODVZDUŠNĚNÍ VSTŘIKOVACÍ FORMY	50
II	PRAKTICKÁ ČÁST	52
4	CÍLE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE	53
5	POUŽITÝ SOFTWARE	54
5.1	CATIA V5-R62020	54
5.2	NORMÁLIE HASCO	54
5.3	NORMÁLIE MEUSBURGER	55
5.4	NORMÁLIE AGATHON AG	55
6	SPECIFIKACE VÝROBKU	56
6.1	POLOHA DĚLÍCÍCH ROVIN	57
6.2	TVAROVÉ VLOŽKY	58
6.2.1	Tvárnice	58
6.2.2	Tvárník	58
6.2.3	Posuvné čelisti	59
6.3	KONSTRUKČNÍ USPOŘÁDÁNÍ TVAROVÝCH VLOŽEK	60
7	KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍ FORMY	62
7.1	PEVNÁ ČÁST VSTŘIKOVACÍ FORMY	62
7.2	POHYBLIVÁ ČÁST VSTŘIKOVACÍ FORMY	64
7.3	NÁSOBNOST VSTŘIKOVACÍ FORMY	65
7.4	VTKOVÝ SYSTÉM	65
7.5	VYHAZOVACÍ SYSTÉM	67
7.6	KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ VYHAZOVACÍHO SYSTÉMU	68
7.7	TEMPERAČNÍ SYSTÉM	68
7.8	ODVZDUŠNĚNÍ VSTŘIKOVACÍ FORMY	71
7.9	MANIPULACE SE VSTŘIKOVACÍ FORMOU	71
8	ZVOLENÍ POLYMERNÍHO MATERIÁLU	72
9	ZVOLENÍ VSTŘIKOVACÍHO STROJE	73
	ZÁVĚR	74
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	75
	SEZNAM OBRÁZKŮ	79

SEZNAM TABULEK.....	81
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	82
SEZNAM PŘÍLOH.....	85

ÚVOD

Vstřikování plastů je jedním z nejvýznamnějších výrobních procesů v současném průmyslu. Umožňuje efektivní a přesnou výrobu širokého spektra plastových výrobků. S rostoucí poptávkou po kvalitních plastových výrobcích se návrh vstřikovacích forem stává klíčovým prvkem výrobního procesu. [1]

Z technického hlediska jde o proces, při kterém je roztavený polymer pod vysokým tlakem vstřikován do uzavřené dutiny vstřikovací formy. Díky tomuto principu je možné vyrábět výrobky s přesně definovaným tvarem, rozměry a opakovatelností, což činí tuto technologii jednou z nejefektivnějších pro sériovou výrobu. [2]

Vstřikování plastů se neustále vyvíjí a přizpůsobuje novým požadavkům trhu i technickému pokroku. Objevují se nové trendy, které vstřikování dále zdokonalují. Díky inovacím si vstřikovací průmysl udržuje svou vedoucí pozici ve výrobě plastových výrobků. [3]

Tato bakalářská práce se zaměřuje na inženýrský návrh vstřikovací formy pro konkrétní průmyslový výrobek. Cílem je nejen porozumět principům a technologickým aspektům vstřikování plastů, ale také navrhnout vstřikovací formu, která bude splňovat specifické požadavky na kvalitu a efektivitu výroby. Práce zároveň usiluje o poskytnutí komplexního pohledu na problematiku návrhu vstřikovacích forem a o hlubší porozumění výzvám i možnostem, které tento proces přináší.

V první části práce jsou představeny základní teoretické koncepty týkající se polymerních materiálů, procesu vstřikování a konstrukce vstřikovacích forem. Druhá část se věnuje praktickému návrhu vstřikovací formy pomocí moderního softwaru Catia V5, přičemž se klade důraz na optimalizaci jednotlivých systémů vstřikovací formy.

I. TEORETICKÁ ČÁST

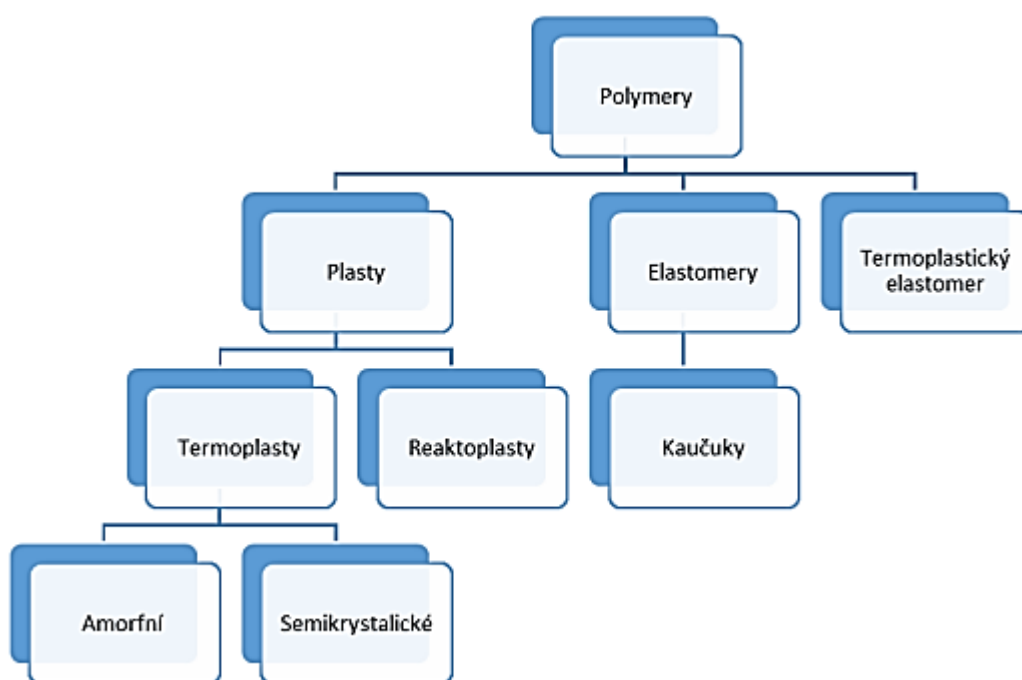
1 POLYMERNÍ MATERIÁLY VHODNÉ PRO TECHNOLOGII VSTŘIKOVÁNÍ

Z chemického hlediska jsou polymery především organické látky, které mohou mít přírodní původ, například kaučuk, nebo mohou být synteticky vyráběné, jako například silikony. Jejich struktura je založena na polymerních řetězcích, které jsou tvořeny základní jednotkou nazývanou mer, jež se v řetězci opakuje mnohokrát, což dává těmto látkám název polymery. [4]

1.1 Základní dělení polymerů

Polymery lze rozdělit do dvou základních kategorií – na plasty a elastomery. Toto základní členění může být dále rozšířeno podle různých kritérií.

Jedním z nejvýznamnějších přístupů k rozdělení polymerů je jejich klasifikace podle chování při zahřívání, což umožňuje lépe porozumět jejich fyzikálním a mechanickým vlastnostem. [4; 5]



Obrázek 1: Rozdělení polymerů

(zdroj: [6])

1.1.1 Plasty

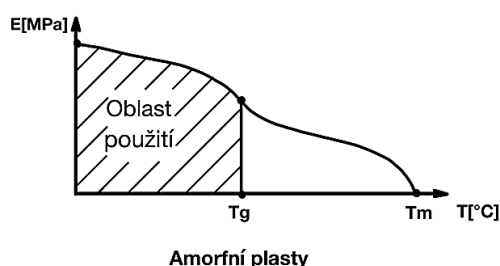
Plasty jsou definovány jako materiály, jejichž základní struktura je tvořena makromolekulárními sloučeninami. Za běžných podmínek vykazují zpravidla vysokou tvrdost, avšak mohou být zároveň křehké. Pro zlepšení jejich mechanických a fyzikálních vlastností se do plastů přidávají různá specifická aditiva. Mezi nejvýznamnější z nich patří stabilizátory, které zachovávají původní vlastnosti polymeru během zpracování, plniva, jež zvyšují pevnost a houževnatost, změkčovadla ovlivňující zpracovatelnost a barviva, která vylepšují estetické vlastnosti finálních výrobků. Podle jejich chování při zahřívání lze plasty rozdělit na termoplasty a reaktoplasty. [5; 7]

Termoplasty:

Termoplasty jsou polymerní materiály, které při zahřátí přecházejí do plastického stavu, což umožňuje jejich tvarování. Při dosažení teploty tání dochází ke změně jejich skupenství na taveninu, zatímco ochlazením pod tuto teplotu opět tuhnou. Tento proces změny skupenství má čistě fyzikální charakter, protože při zahřívání nedochází k žádným chemickým reakcím ani ke změnám v chemické struktuře materiálu. Díky této vratné vlastnosti je možné proces měknutí a tuhnutí teoreticky opakovat neomezeně. [4]

V technologii vstřikování i při praktickém využití je důležité rozlišovat termoplasty na amorfní a semikrystalické, neboť tyto dvě skupiny se liší svým chováním při zahřívání i při následném vstřikování. Tyto rozdíly se projevují také ve vlastnostech výsledných výrobků. Mezi běžně používané termoplasty patří například polyethylen (PE), polypropylen (PP), polystyren (PS), polyvinylchlorid (PVC) a polyamid (PA). [4; 8]

- Amorfní termoplasty – se vyznačují prostorově nepravidelnými a nahodile uspořádanými řetězci. Tato neuspořádaná struktura jim dodává specifické vlastnosti, jako jsou vysoká pevnost a křehkost, nízký index lomu a průhlednost v jejich přirozené podobě. Díky nízkému smrštění při tuhnutí, které je menší než 1 % objemu, jsou ideální pro výrobu výrobků s vysokou rozměrovou přesností. [9]

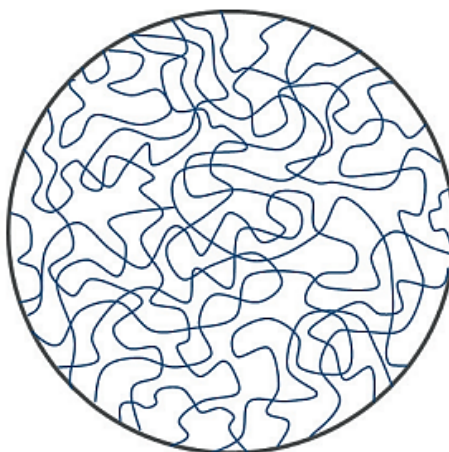


Obrázek 2: Oblast využití u amorfních polymerů

(zdroj: [6])

Z hlediska technologie vstřikování je zásadní teplota skelného přechodu (T_g), která ovlivňuje vyhazovací teplotu výrobků a určuje teplotní rozsah použití finálních výrobků. Tyto materiály nacházejí významné uplatnění například v automobilovém průmyslu, zejména v oblasti světelné techniky díky jejich optickým a mechanickým vlastnostem. [9; 10]

Typickými představiteli amorfních termoplastů jsou polystyren (PS), polykarbonát (PC), polyvinylchlorid (PVC) a polymethylmethakrylát (PMMA). [8; 11]

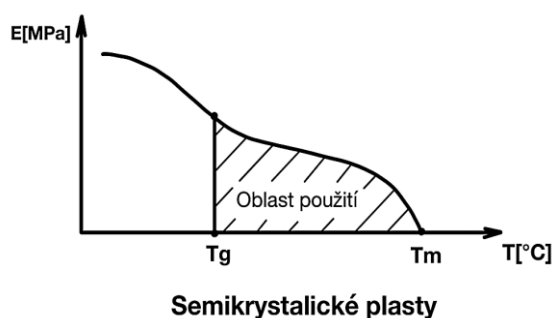


Obrázek 3: Struktura amorfního polymeru

(zdroj: [11])

- Semikrystalické termoplasty – se vyznačují určitým stupněm vnitřního uspořádání, kdy během tuhnutí vytvářejí krystalické oblasti uvnitř amorfních struktur. Tento krystalický charakter ovlivňuje jejich vlastnosti jako je neprůhlednost a větší smrštění při ochlazování, které může dosahovat až 2,5 % objemu. Rychlost chlazení má přitom zásadní vliv na stupeň smrštění a tvorbu krystalické struktury. [9]

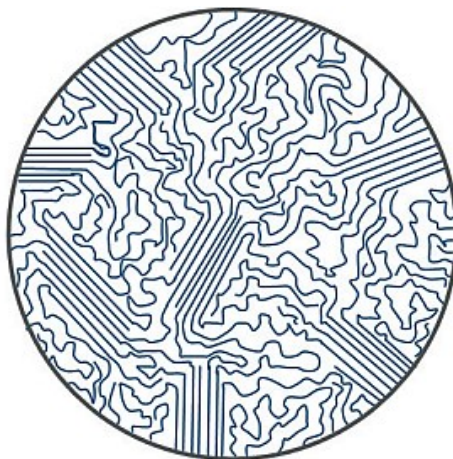
Na rozdíl od amorfních termoplastů má u semikrystalických polymerů teplota skelného přechodu (T_g) menší význam. Hlavní roli zde hraje teplota tání (T_m), při které krystalická struktura přechází do stavu taveniny. Do této teploty si výrobky zachovávají určitou pevnost a tuhost a nerozpadají se. Proces vstřikování probíhá při teplotách vyšších než T_m , kdy se polymer přechází do plastického stavu. [9]



Obrázek 4: Oblast využití u semikrystalických polymerů

(zdroj: [6])

Semikrystalické termoplasty jsou také charakteristické vyšší houževnatostí ve srovnání s amorfními termoplasty. Mezi typické zástupce těchto materiálů patří polyetylen (PE), polypropylen (PP) a polyamid (PA). [8; 11]



Obrázek 5: Struktura semikrystalického polymeru

(zdroj: [11])

Reaktoplasty:

Reaktoplasty jsou materiály, které při prvním zahřátí přecházejí do plastického stavu, což umožňuje jejich snadné tvarování. Při delším zahřívání dochází k postupnému síťování makromolekul (vytvrzování), čímž materiál ztuhne a trvale si zachová

vytvořený tvar. Tento proces vytvrzování může být spuštěn nejen zvýšenou teplotou, ale také přidáním síťovacích činidel (tvrdidel) nebo kombinací obou faktorů. [11]

Po vytvrzení se reaktoplasty už při opětovném zahřívání nevracejí do plastického stavu jsou netavitelné, nerozpustné a nelze je svařovat, protože vytvrzování je nevratný chemický proces. Díky síťování makromolekul získávají reaktoplasty vysokou pevnost, avšak zároveň i zvýšenou křehkost. V nevytvrzeném stavu se tyto materiály běžně nazývají pryskyřice. Patří sem fenoplasty, polyesterová pryskyřice a epoxidová pryskyřice apod. [11; 12]

1.1.2 Elastomery

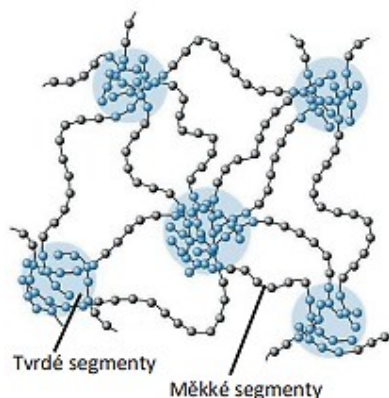
Elastomery jsou vysoce pružné (elastické) a mají nízkou tuhost, což jim umožňuje značnou deformaci i při působení malé síly, aniž by došlo k jejich porušení. Tato deformace je převážně vratná. Typickým zástupcem elastických materiálů je kaučuk, který se vulkanizací (řídkým síťováním makromolekul, obvykle pomocí síry) mění v pryž – vysoce pružný materiál, který odolává trvalé deformaci. Pryž je vulkanizovaný elastomer charakterizovaný chemickými (příčnými) vazbami mezi makromolekulami, které vytvářejí uzly prostorové sítě. [10; 11]

Vulkanizované elastomery nelze teplem převést do kapalného stavu. Mezi běžné typy kaučuků patří například IR, SBR, NBR, CR, EPDM a další. [11]

1.1.3 Termoplastický elastomer

Termoplastické elastomery jsou materiály, které kombinují pružnost pryže a vlastnosti termoplastů, jako je schopnost opakovaného přechodu do plastického stavu při zahřátí. Jejich struktura je složena z měkkých elastomerních segmentů a tvrdých termoplastických segmentů. [11]

Tyto segmenty musí zůstat navzájem oddělené a nesmí se mísit, aby vytvářely samostatné fáze. Měkké elastomerní segmenty, tvořené elastomerem, se snadno deformují a vyznačují se nízkou teplotou skelného přechodu. Naopak tvrdé termoplastické segmenty, složené ze semikrystalických a amorfních polymerů, jsou obtížně deformovatelné a mají vysokou teplotu tání a skelného přechodu. [11; 13]



Obrázek 6: Struktura TPE

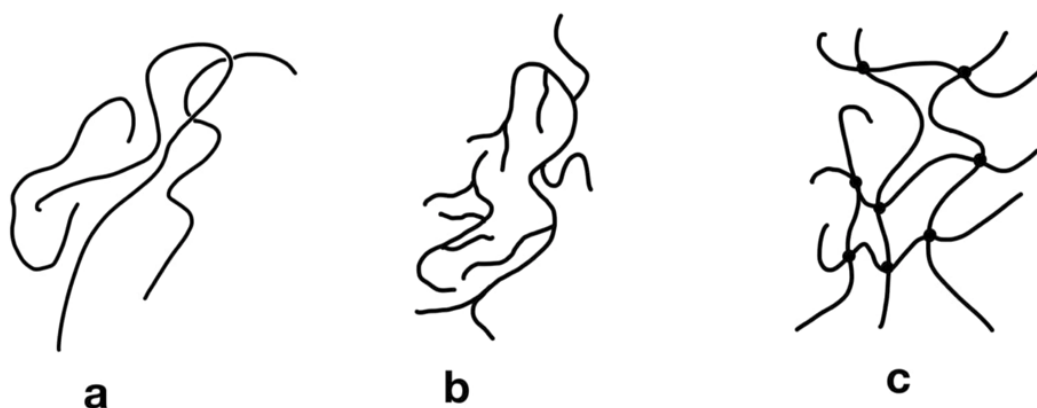
(zdroj: [11])

1.2 Volba polymerního materiálu

Výběr materiálu pro vstřikování je zásadním rozhodnutím, které ovlivňuje výsledné vlastnosti, funkčnost i ekonomickou efektivitu výroby. Zvolený materiál musí odpovídat požadavkům konkrétní aplikace a technickým parametrům vstřikovacího procesu. Při rozhodování je nutné zohlednit řadu faktorů, jako je cena materiálu a různé systémové náklady, stejně jako požadavky na rozměrovou stabilitu, mechanické vlastnosti a další technické parametry. [11; 14]

Mezi klíčové faktory, které ovlivňují volbu materiálu, patří struktura a hmotnost makromolekuly, tokové vlastnosti polymeru, teplota tání, tečení a vytvrzování. Tyto informace jsou obvykle uvedeny v materiálových listech. Vlastnosti polymerního materiálu závisí také na přítomnosti plniv a přísad a na základní struktuře polymeru, která je tvořena organickými látkami obsahujícími atomy uhlíku a vodíku, případně kyslíku, dusíku nebo halogenů, jejichž různé molekulové hmotnosti ovlivňují vazebné síly mezi molekulami. [5]

Polymery se skládají z dlouhých molekulárních řetězců, které vznikají působením tepla nebo chemických reakcí. Tyto řetězce mohou být lineární, rozvětvené nebo síťované, přičemž délka řetězce a přítomnost dalších prvků ovlivňují hmotnost a vlastnosti polymeru. Příliš krátký řetězec by vedl k nižší pevnosti a snadné deformaci výrobku, zatímco příliš dlouhý řetězec by zvyšoval viskozitu a omezoval tokové vlastnosti. Ideální polymer tedy vyžaduje optimální délku a hmotnost řetězců, které jsou spojeny vazebnými silami, jež se vlivem tepla uvolňují, což umožňuje rozvinutí řetězce během zpracování. [11; 13]



Obrázek 7: Schématické znázornění makromolekul

a) lineární, b) rozvětvené c) sesíťované

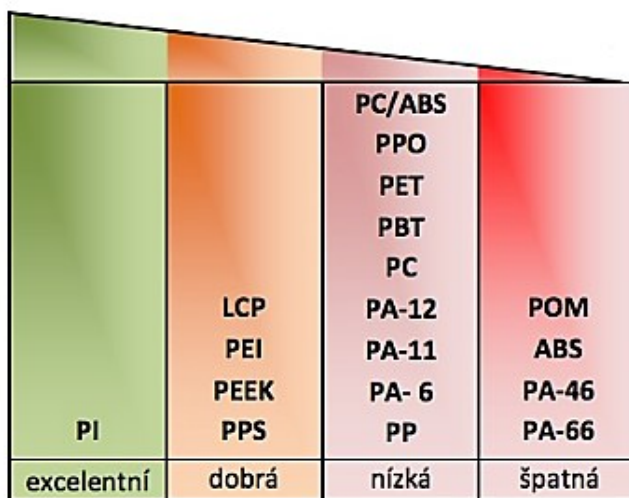
(zdroj: [5])

1.2.1 Stárnutí polymerních materiálů

Polymerní materiály podléhají časovým změnám struktury a vlastností známým jako stárnutí, což je nevratný proces probíhající spontánně nebo vlivem vnějších faktorů jako jsou teplota, světelné záření, kyslík, voda, chemické látky a mechanické namáhání. Stárnutí polymerů, někdy nazývané také koroze, se projevuje ztrátou barvy, lesku, průhlednosti, povrchovým praskáním a zhoršením mechanických vlastností. [11]

Klíčovým faktorem přispívajícím ke stárnutí polymerů je sluneční záření, především ultrafialové (UV) záření, které narušuje vazby mezi atomy v makromolekulárních řetězcích. Tento proces nazývaný fotooxidace, způsobuje vlivem ultrafialového záření rozpad makromolekul na menší částice, které pak snadno reagují s kyslíkem. [4; 15]

Odolnost vůči UV záření má pouze malé procento polymerů, což omezuje jejich životnost při dlouhodobé vystavení slunečnímu záření. [11; 15]



PI	LCP PEI PEEK PPS	PC/ABS PPO PET PBT PC PA-12 PA-11 PA-6 PP	POM ABS PA-46 PA-66
excelentní	dobrá	nízká	špatná

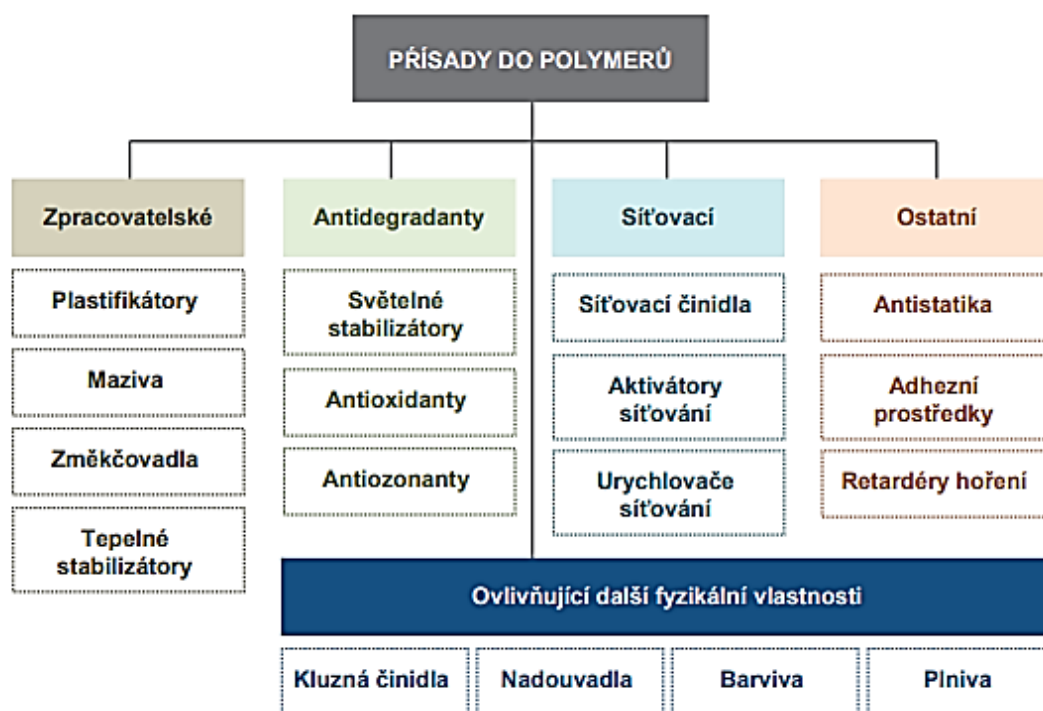
Obrázek 8: Odolnost plastů proti UV záření

(zdroj: [4])

1.3 Polymerní přísady

Polymerní materiály v praxi obvykle obsahují různé přísady známé jako aditiva, které umožňují upravit jejich vlastnosti a přizpůsobit je specifickým požadavkům aplikace. Základní vlastnosti materiálu jsou vždy určeny typem polymeru, zatímco přísady tyto vlastnosti zlepšují, chrání materiál před degradací, usnadňují jeho zpracování nebo snižují výrobní náklady. Aby zpracování polymerů probíhalo hladce, přidávají se přísady s různými funkcemi:

- Tepelné a termooxidační stabilizátory udržují stabilitu taveniny během prodlevy ve vstřikovací komoře nebo v horkých kanálech vstřikovací formy.
- Vnitřní maziva, přidaná již při výrobě materiálu, zlepšují tokové vlastnosti taveniny, což zajišťuje její dobrou zatékavost, bezproblémovou plastifikaci ve šnekové vstřikovací komoře, zabráňuje lepení taveniny a umožňuje snadné vyjímání výrobků ze vstřikovací formy.
- Nukleační činidla podporují vytvoření rovnoměrné a jemné krystalické struktury v částečně krystalických materiálech.
- Termooxidační stabilizátory zvyšují odolnost materiálu vůči termooxidačnímu stárnutí, což rozšiřuje teplotní a časové možnosti použití výrobku při provozních teplotách. [10; 11]



Obrázek 9: Přísady do polymerů

(zdroj: [11])

1.3.1 Plniva

Jsou to látky organického nebo anorganického původu (například minerální plniva), které se do polymerních materiálů přidávají ve formě prášku, částic nebo vláken různé délky. Podle jejich vlivu na mechanické vlastnosti mohou mít buď vyztužující, nebo nevyztužující charakter. [5]

Nevyztužující plniva – výrazně nemění mechanické vlastnosti polymerů, ale přinášejí další výhody jako jsou nižší náklady, snížené smrštění dílu po výrobě, lepší tvarová a rozměrová stabilita při zvýšených teplotách a větší odolnost proti poškrábání (např. uhličitán vápenatý, břidlicová moučka, kaolin, slída). Mohou také dodat materiálu vizuální efekt připomínající dřevěný povrch bez nutnosti údržby nebo ochranných nátěrů (dřevní moučka) a zvýšit odolnost proti oděru (wollastonit, slída) nebo proti chemickému působení kyselin a zásad (síran barnatý). Některá plniva mají specifické využití, například mikroskopické kovové částice zlepšují tepelnou vodivost materiálu. [11]

Vyztužující plniva – se používají především ke zvýšení pevnosti, tuhosti a tvarové stability polymerů. Obvykle mají vláknitou strukturu a nejčastěji se využívají krátká (cca 3 mm) nebo dlouhá (10 až 16 mm) vlákna jako jsou skleněná, uhlíková, aramidová, kovová,

minerální či přírodní vlákna. Technické aplikace vyžadující mimořádné mechanické vlastnosti při nízké hustotě, např. podvozky automobilů, hnací hřídele, sportovní vybavení (rámy kol, lodní trupy) nebo konstrukční části letadel, jsou často založeny na uhlíkových kompozitech s reaktoplastickou matricí. V současnosti se však vyvíjejí i vysoce zatěžované díly, např. pružnice železničních vagónů a těžkých nákladních automobilů z kompozitů na bázi skleněných vláken. [11]

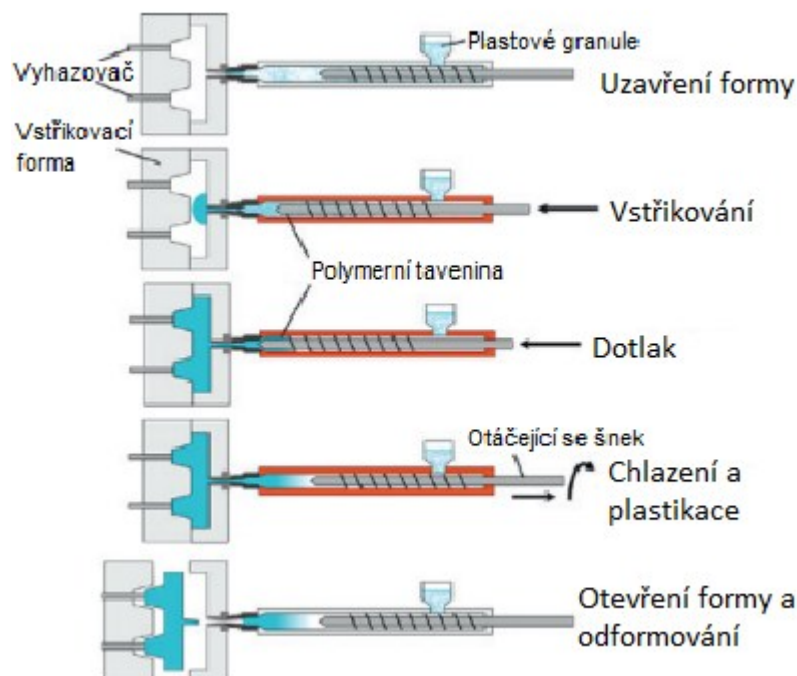
Do skupiny vyztužujících plniv patří také částicová minerální plniva na bázi křemičitanů jako talek (mastek) a skleněné mikrokuličky, které mohou být i duté. Duté skleněné kuličky, běžně s průměrem 16 nebo 30 μm , slouží jako lehké, ale pevné plnivo, jež výrazně snižuje hmotnost a hustotu materiálu, přičemž odolává vysokým tlakům při výrobě i při následném používání. Přidání talku a skleněných mikrokuliček k polymerům zvyšuje tvrdost, houževnatost, pevnost, rozměrovou stabilitu a odolnost vůči chemickým a tepelným vlivům. Skleněné kuličky navíc snižují anizotropii smrštění. Přesto však uvedená zlepšení nejsou tak výrazná jako u polymerů plněných skleněnými vlákny. [7; 11; 16]

2 TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ

Vstřikování polymerů je cyklický proces, jenž slouží k tvarování polymerních materiálů a vede k vytvoření finálního výrobku anebo polotovaru, který je pak dále zpracováván jinou technologií. Tento proces je velmi efektivní a výsledné výrobky se vyznačují vysokou rozměrovou i tvarovou přesností. [17]

Vstřikováním polymerů lze zpracovávat téměř všechny druhy termoplastů. V omezeném rozsahu se vstřikováním polymerů zpracovávají i reaktoplasty a elastomery. Technologie vstřikování umožňuje během krátkého časového intervalu vytvářet složité výrobky. Také je možné vstřikovat více výrobků zároveň. To poté určuje násobnost vstřikovací formy. [11]

Díky těmto vlastnostem je dnes vstřikování polymerů nejpoužívanější technologií při zpracování polymerních materiálů. Vstřikovací proces se na moderních strojích většinou realizuje plně automaticky, což umožňuje dosahovat vysoké produktivity práce. Nicméně pořizovací náklady na strojní zařízení a vstřikovací formy jsou značně vysoké. Tato technologie se proto doporučuje především pro velkosériovou a hromadnou výrobu. [11; 18]



Obrázek 10: Průběh technologie vstřikování

(zdroj: [19])

2.1 Princip technologie vstřikování

Princip vstřikování spočívá ve vstříknutí polymerní taveniny vysokou rychlostí do dutiny kovové vstřikovací formy, při vysokých tlacích. Polymerní tavenina v dutině vstřikovací formy se tvaruje a následně ztuhne ve finální výrobek. Po ztuhnutí polymeru je možné vstřikovací formu otevřít a vyjmout výrobek. I když se proces vstřikování může jevit jako jednoduchý, jedná se o velmi složitý technologický proces, který vyžaduje přesné rozměry vstřikovací formy, správné nastavení teplot, tlaků, pracovních sil a taky důkladné načasování jednotlivých fází vstřikovacího cyklu. [5]

K celému procesu vstřikování je nezbytný vstřikovací stroj, který se skládá ze tří základních částí. První částí je vstřikovací jednotka, jejímž úkolem je přeměnit polymerní granulát na polymerní taveninu a následně ji vstříknout do vstřikovací formy. [5]

Druhou částí je uzavírací jednotka, která zajišťuje otevírání a zavírání vstřikovací formy a také vyjímání finálního výrobku. Vstřikovací forma se upíná do uzavírací jednotky. Vstřikovací forma má levou a pravou polovinu. Levá polovina vstřikovací formy má za úkol se zároveň i pohybovat. Pravá polovina se nehýbe. Hlavním úkolem vstřikovací formy je tvarovat polymerní taveninu do požadovaného tvaru. [11]

Třetí částí vstřikovacího stroje jsou ovládací a řídicí prvky, které nám ukazují veškeré informace a kde můžeme upravovat parametry procesu vstřikování. [11]

2.2 Vstřikovací stroj

Historie vstřikování polymerů sahá až do roku 1872, kdy byl patentován jednoduchý vstřikovací stroj založený na principu přetlačovacího válce. Klíčovým milníkem v této technologii se stalo nahrazení pístu šnekovou vstřikovací jednotkou v roce 1946, ta se od té doby stala dominantní variantou používanou v průmyslu. [20]

Dnešní vstřikovací stroje se dělí podle typu pohonu na tři hlavní kategorie: hydraulické, elektrické a hybridní. Konstrukce těchto strojů se obvykle skládá ze dvou hlavních systémů: vstřikovací jednotky a uzavírací jednotky, které spolupracují nezávisle na sobě. Ovládání těchto jednotek probíhá prostřednictvím centrální řídicí jednotky stroje. [11]

K zajištění správné funkce vstřikovacího stroje je nezbytné, aby byl připojen k několika zdrojům: elektrické energii, vodnímu okruhu pro chlazení stroje a temperaci vstřikovací formy, a případně také k zdroji stlačeného vzduchu. Stroj je vždy napojen na centrální rozvaděč, který zajišťuje potřebnou regulaci. [21]



Obrázek 11: Vstřikovací stroj e-victory od firmy ENGEL

(zdroj: [22])

Výběr vhodného vstřikovacího stroje závisí na specifických parametrech potřebných k úspěšnému provedení vstřikování daného výrobku:

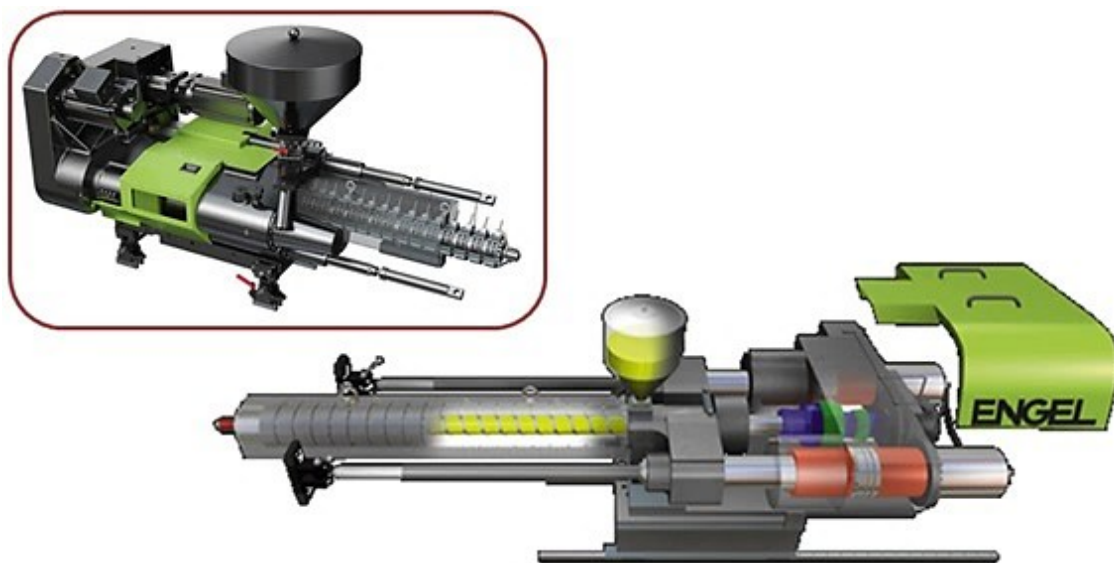
- Podle typu vstřikovaného polymeru (stroje určené pro vstřikování termoplastů, reaktoplastů a elastomerů).
- Podle počtu šneků (jednošnekové, vícešnekové).
- Podle počtu vodicích tyčí (bezsloupkové, se dvěma vodicími tyčemi a se čtyřmi vodicími tyčemi).
- Podle maximální uzavírací síly (do 50 tun, 50–500 tun, anebo nad 500 tun).
- Podle dráhy otevření.
- Podle objemu vstřikované taveniny. [21]

2.2.1 Vstřikovací jednotka

Charakteristickou funkcí vstřikovací jednotky pro zpracování termoplastů je roztavení polymeru, který se nasypává do násypky ve formě polymerních granulí na vysoce viskózní taveninu, která je následně přesunuta do tvarové dutiny vstřikovací formy. Tento proces probíhá s důrazem na maximální tvarovou a rozměrovou přesnost. [18]

Nejčastějším typem vstřikovacích jednotek jsou ty se šnekem, který se otáčí kolem své osy a zároveň se axiálně posouvá dopředu a dozadu. Posuvná konzola, na níž je vstřikovací jednotka přimontována, zajišťuje pohyb jednotky, konkrétně posun trysky směrem k vtokové vložce a vytváření dostatečné přitlačné síly. [5; 18]

Vstřikovací jednotka se skládá z několika klíčových komponent, mezi které patří násypka, vstřikovací komora, topné pásy, tryska a šnek. Tyto prvky společně umožňují efektivní a precizní proces zpracování polymerů. [18]



Obrázek 12: Vstřikovací jednotka

(zdroj: [21])

2.2.2 Uzavírací jednotka

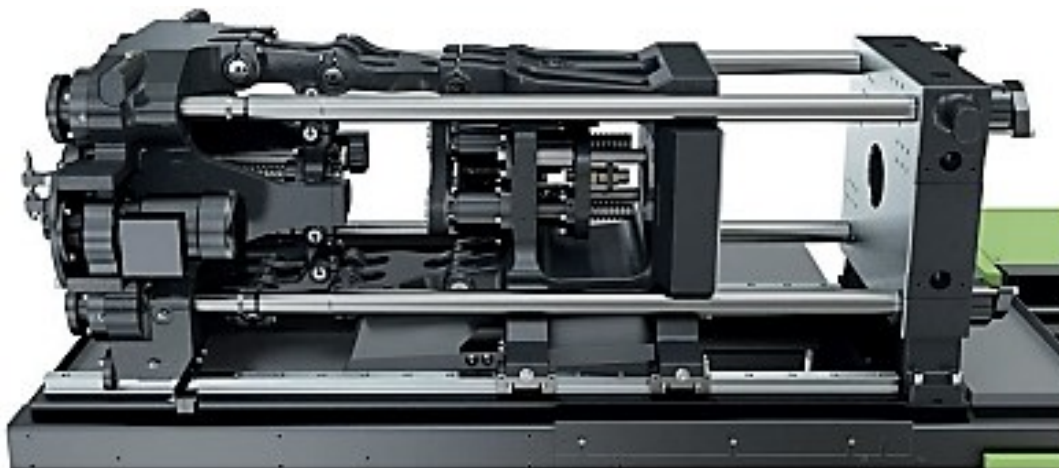
Uzavírací jednotka má klíčovou roli při zprostředkování požadovaného pohybu formy a zejména při jejím uzavření s dostatečnou uzavírací silou. Rychlost a síla uzavírání vstřikovací formy jsou nastavitelné, což umožňuje přizpůsobení procesu specifickým požadavkům. Síla potřebná k uzavření vstřikovací formy může být vyvolána mechanicky, hydraulicky nebo kombinací obou těchto metod. [5; 18]

Mezi základní prvky uzavírací jednotky patří:

- Upínací desky (z nichž jedna je pevná (nepohyblivá) a druhá pohyblivá. Na těchto deskách je upevněna vstřikovací forma. Pohyblivá deska se pohybuje vpřed a vzad, což umožňuje otevírání a zavírání vstřikovací formy.).

- Vodicí sloupky (zajišťují přesné vedení pohyblivé upínací desky během jejího pohybu).
- Uzavírací mechanismus (zajišťuje otevírání a zavírání vstřikovací formy a udržuje ji bezpečně zavřenou během vstřikování. Tento mechanismus může být hydraulický nebo elektrický a umožňuje přesné uzavření vstřikovací formy po celou dobu vstřikovacího cyklu.).
- Pohonný systém zajišťuje pohyb pohyblivé upínací desky a může být realizován hydraulickým nebo elektrickým pohonem, v závislosti na konstrukci vstřikovacího stroje.
- Senzory a řídicí systém (senzory monitorují polohu desek, tlak a další kritické parametry. Řídicí systém zajišťuje, že všechny části pracují synchronně a podle nastavených parametrů.).

Důležitou součástí uzavírací jednotky je také vyhazovací systém vstřikovací formy, který zajišťuje efektivní vyjímání finálních výrobků ze vstřikovací formy po skončení procesu vstřikování. [18; 21]



Obrázek 13: Schéma uzavírací jednotky

(zdroj: [11])

2.2.3 Ovládací a řídicí prvky

Ovládací a řídicí prvky vstřikovacího stroje jsou umístěny buď na ovládacím panelu vstřikovacího stroje, nebo v samostatné elektrorozvodné skříni vybavené zásuvkami a vypínači, které umožňují připojení různých přídatných a pomocných systémů. Hlavním

úkolem ovládacích prvků je zajištění přesného nastavení parametrů vstřikovacího procesu, jako jsou teploty, tlaky nebo časové fáze cyklu. [11; 21]

2.3 Příprava polymerního materiálu před vstřikováním

Před samotným vstřikováním plastů se materiál upravuje podle specifického technologického postupu, který je přizpůsoben konkrétnímu výrobku. Tento proces obvykle zahrnuje sušení granulátu, namíchání s rozdrceným odpadním materiálem (regenerát), barvení granulátu či přidávání nadouvadel. Tyto úpravy mají za cíl připravit polymerní materiál do optimálního stavu, aby jeho zpracování probíhalo hladce a finální výrobek splňoval požadované vlastnosti. [11; 18]

2.3.1 Granulace

Polymerní materiály se v technologických procesech používají v různých formách, které jsou přizpůsobeny konkrétním způsobům zpracování. Mezi vstupní tvary patří granule, kaše, pasty, kapaliny a rozemleté polymerní materiály (regeneráty). Granule, jakožto jeden z nejběžněji používaných tvarů, mohou mít různé podoby, například krychlí, čoček nebo válečků. Díky své dobré sypné hmotnosti jsou granule snadno míchatelné s dalšími materiály a umožňují lepší dávkování. [11; 13; 18]

Technologie používaná k výrobě granulí se nazývá granulace. Existují dvě základní metody granulace polymerních materiálů: granulace z pásu a granulace ze strun (za studena a za tepla). Výběr konkrétní technologie granulace závisí na vlastnostech zpracovávané taveniny jako jsou tekutost a tvrdost, stejně jako na prostorových možnostech, požadovaném výkonu a ekonomických aspektech celého procesu. [11; 15; 18]

2.3.2 Sušení

Se sušením jako technologickou operací je třeba počítat v případech, kdy polymerní materiál přišel do styku s vodou během předchozí operace. Většina polymerních materiálů dokáže absorbovat vlhkost ze vzduchu, což může při běžných zpracovatelských teplotách vést k degradaci polymeru. Tím dochází ke snížení kvality některých parametrů a zhoršení povrchové úpravy. Výrobky pak postrádají lesk, v místech vtoku se objevují povrchové vady, výrobky se obtížně vyjímají ze vstřikovací formy. Z tohoto důvodu je nezbytné materiály před zpracováním předsoušet. [11; 17]

Polymerní granule se dodávají buď ve vysušeném stavu ve vzduchotěsných obalech, nebo v nevysušeném stavu v papírových či plastových pytlích. Vysušené granule se obvykle zpracovávají ihned, zatímco nevysušené je nutné nejprve vysušit. U některých typů plastů však není sušení nezbytné, protože daný materiál neabsorbuje vlhkost. [11; 17]

K vysoušení polymerního materiálu se používají sušky pracující se suchým ohřátým vzduchem. Sušky jsou umístěny buď ve vstřikovacích jednotkách vstřikovacího stroje, nebo v sušárně. Při sušení polymerních materiálů je důležité dodržet doporučené teploty, které ovlivňují rychlost difuze molekul vody, a tedy i rychlost ztráty vlhkosti. Hlavně je však nezbytné dodržet dobu sušení, jinak hrozí riziko vzniku termooxidačního stárnutí polymeru, což se projevuje změnou barvy, ztrátou lesku a změnou vlastností plastu. [17]

Pokud se vysušený materiál dostane do prostředí s vyšší vlhkostí, než je jeho rovnovážný stav, dojde k navlhání. Sušení a navlhání jsou vratné procesy, a proto je nutné chránit vysušený materiál před vlhkostí v ovzduší. Do násypky vstřikovacích strojů se tak může umístit pouze takové množství materiálu, které se zpracuje přibližně do 30 minut. [18]



Obrázek 14: Sušicí zařízení KOCH

(zdroj: [23])

2.3.3 Recyklace polymerního materiálu

Během zpracování plastů vzniká určité procento výroby, které nesplňuje požadované standardy kvality, tvaru, rozměrů a vlastností. Tento podíl se označuje jako odpad.

Odpad se podle vzniku a vlastností dělí na technologický a užitný odpad. Technologický odpad zahrnuje materiály vznikající během výroby, jako jsou vtokové systémy, vadné výrobky či odstříky. V praxi se tento typ odpadu označuje jako regenerát. Užitný odpad se skládá z plastových dílů, které byly využity v různých aplikacích, například jako tříděný odpad ze spotřebního zboží, automobilů a dalších zdrojů. U těchto dílů se projevují známky stárnutí, což zahrnuje nevratné změny vlastností plastů vlivem času, teploty, oxidace a povětrnostních podmínek. [11; 18]

Technologický odpad může být z ekonomického a ekologického hlediska vrácen do výroby, neboť si zachovává podobné vlastnosti jako původní polymer. Znečištěný granulát se nejčastěji pomele na nožových mlýnech, poté se smíchá s čistým granulátem a je možné jej znovu použít. Na druhou stranu užitný odpad je většinou znehodnocen nejen nevratnou změnou vlastností, ale také například znečištěním či povrchovými úpravami (jako jsou laky nebo kaširování), a proto se jeho opětovné využití provádí jen velmi omezeně. [11; 17]

2.3.4 Doprava

Doprava polymerního materiálu zajišťuje dodání suroviny k zařízení pro její zpracování. Materiál je dodáván z chemických závodů již připravený pro další zpracování, a to buď ve formě granulí, prášku, balíků, past nebo kapalin. Do výrobních závodů je polymerní materiál dodáván buď v pytlích o hmotnosti 20 či 25 kg, ve velkých pytlích (oktabínách) o hmotnosti až 500 kg, nebo v cisternách. Skladování a manipulace s materiálem by neměly ovlivnit jeho kvalitu ani finální vlastnosti výrobku. [11; 18]

Polymerní materiál je z centrálních skladů výrobního závodu pneumaticky (podtlakově nebo přetlakově) dopravován buď přímo ke strojům, nebo nejprve do sušáren a následně ke vstřikovacím strojům. Výběr dopravního zařízení závisí na typu materiálu (granule, prášek), množství přepravovaného materiálu, na vertikální a horizontální vzdálenosti dopravy, stejně jako na specifických požadavcích na úpravu granulátu jako je barvení, sušení nebo přidávání regenerátu. Základními součástmi centrálního dopravního systému jsou potrubí, rozvody materiálu, generátory podtlaku, bezpečnostní filtry, odlučovače a řídicí jednotky. [11; 18]

2.4 Fáze vstřikovacího cyklu

Vstřikovací cyklus tvoří sled přesně specifikovaných postupných kroků a fází, které se svou činností podílí na výrobě vstřikovaných dílů. Jedná se o proces, během kterého polymerní materiál prochází teplotním a tlakovým cyklem. Na začátku cyklu se granule polymerního

materiálu nasypou do násypky, odkud jsou šnekem dopravovány do pracovní části stroje. V této části plast působením tepla a tření přechází do taveniny, přičemž k tomu dochází díky topným tělískům umístěným po celé délce pracovní části. [24; 25]

Tavenina je následně vstříknuta do dutiny vstřikovací formy, kde vyplní celý prostor a získá finální tvar a objem výrobku. Po zaplnění vstřikovací formy následuje fáze dotlaku, která zajišťuje, že výrobek udrží požadované rozměry a minimalizuje smrštění. Doba chlazení obvykle tvoří přibližně 60 % celkového času cyklu. Po vychlazení se vstřikovací forma otevře a hotový výrobek je vyhozen pomocí vyhazovačů. Tento proces se neustále opakuje v nepřetržitém cyklu. [24; 25]

Jednotlivé úseky vstřikovacího cyklu trvají různě dlouho a jsou ovlivněny polymerním materiálem, konstrukcí (geometrií) výrobku, technologickými podmínkami vstřikování, konstrukcí vstřikovací formy a typem stroje. [25]



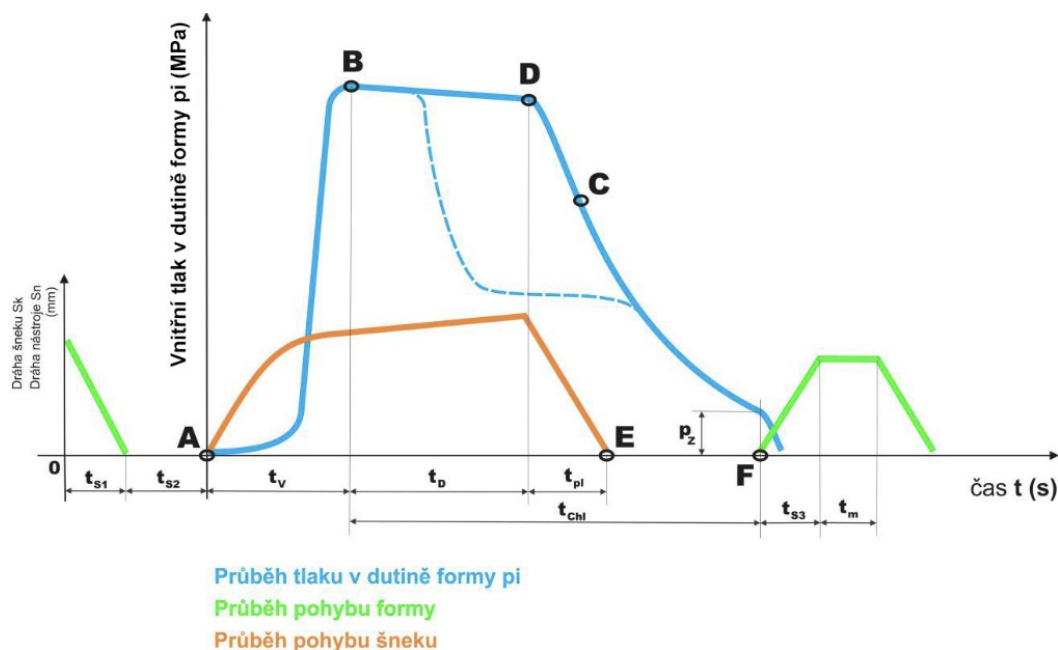
Obrázek 15: Vstřikovací cyklus

(zdroj: [6])

1 – Vstříknutí, 2 – Dotlak, 3 – Vrácení vstřikovací jednotky, 4 – Plastikace, 5 – Prodleva, 6 – Prísun vstřikovací jednotky, 7 – Chlazení, 8 – Otevření vstřikovací formy, 9 – Odformování, 10 – Příprava vstřikovací formy, 11 – Uzavření vstřikovací formy

Vstřikovací cyklus lze také analyzovat z pohledu zpracovávaného plastu, přičemž výhodně ho můžeme vyjádřit jako vztah závislosti tlaku v dutině vstřikovací formy na čase.

Tento tlak se nazývá vnitřní tlak a značí se jako p_i . Kromě vnitřního tlaku existuje také vnější tlak označovaný jako p , který představuje tlak na jednotku plochy průřezu šneku. [24; 25]



Obrázek 16: Průběh vnitřního tlaku p_i v dutině vstřikovací formy během procesu vstřikování

(zdroj: [11])

2.4.1 Strojní časy

Strojní časy zahrnují zavření a otevření vstřikovací formy, přesunutí a odsunutí vstřikovací jednotky. Délka těchto časů závisí na rychlosti pohybu jednotlivých částí vstřikovacího stroje a na dráze, kterou musí vstřikovací forma urazit. Aby bylo možné výrobek bez problémů vyjmout, musí být dráha otevření dostatečně velká. [25]

Pohyb vstřikovací formy není po celé dráze konstantní – při zavírání se nejprve pohybuje velkou rychlostí, ale těsně před dosednutím vstřikovací formy se rychlost snižuje, aby bylo dosaženo měkkého dosednutí a zabránilo se nárazu, který by mohl vstřikovací formu poškodit. [25]

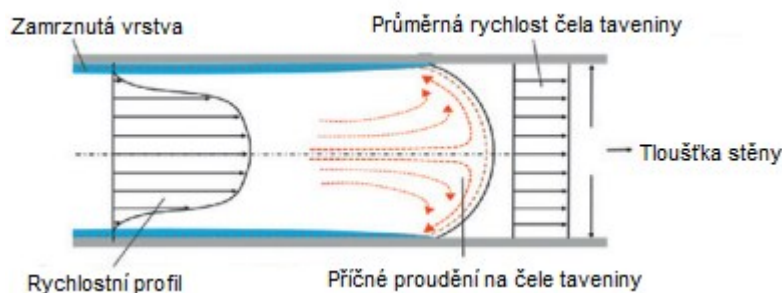
U otevírání vstřikovací formy je postup obdobný – zpočátku se pohybuje vysokou rychlostí, která se před dorazem snižuje, což umožňuje pomalé vyhození výrobku ze vstřikovací formy. [25]

2.4.2 Doba vstřikování

Doba vstřikování je zásadní částí vstřikovacího cyklu. Ovlivňuje nejen úplnost zaplnění dutiny, ale i vlastnosti výsledného výrobku. Tento proces probíhá v řádu zlomků až jednotek sekund, přičemž rychlost vstřikování je určující. Doba vstřikování se odvíjí od teploty taveniny, vstřikovacího tlaku, teploty vstřikovací formy, velikosti a tvaru výrobku, druhu polymerního materiálu i konstrukce vtokového systému. [11; 18]

Správně nastavená vstřikovací rychlost je důležitá – vyšší rychlost zlepšuje tekutost taveniny a orientaci makromolekul, což může zlepšit vlastnosti výrobku, ale příliš vysokou rychlostí se riskuje přehřátí a degradace materiálu. Při pomalejším vstřikování hrozí, že tavenina při kontaktu s chladnější formou částečně zatuhne, a to může způsobit, že výrobky zůstanou nedostříknuté. [18]

Aby se předešlo těmto problémům, je nutné zajistit postupné plnění dutiny laminárním tokem nazývaným též „fontánovým tokem“, kdy tavenina při styku s chladnými stěnami vstřikovací formy ihned tuhne a vytváří izolující vrstvu. Na konci plnění pak prudce roste tlak, který přechází do fáze dotlaku, což pomáhá k dosažení požadované kvality a tvarové přesnosti výrobku. [19]



Obrázek 17: Fontánový tok taveniny

(zdroj: [19])

2.4.3 Doba dotlaku

Po vstříknutí taveniny do dutiny vstřikovací formy přechází vstřikovací cyklus do další fáze, a to do doby dotlaku, která ovlivňuje nejen úplné zaplnění vstřikovací formy, ale také konečné vlastnosti výrobku. Dobou dotlaku se rozumí stlačení polymerní taveniny v dutině vstřikovací formy, při kterém tlak prudce stoupá a rychlost klesá. Pokud by se tak nestalo, mohlo by dojít ke zvětšení hmotnosti a rozměrů výrobku a k velkému namáhání vstřikovací

formy, při něm by mohlo dojít ke vzniku velkého pnutí ve výrobku, k prasknutí vstřikovací formy, anebo k pružnému prohnutí vstřikovací formy, tzv. dýchnutí. [18]

Aby nedocházelo k těmto jevům, sníží se vstřikovací tlak, přepne se na tzv. dotlak. Pokud dojde k přepnutí na dotlak příliš pozdě, může nastat opačný problém, kdy dojde k nedostříknutí výrobku. Doba dotlaku závisí hlavně na průřezu vtokového kanálu, ale i na teplotě taveniny a teplotě vstřikovací formy a zpravidla činí několik sekund až desítky sekund. [17]

Během dotlaku se materiál do vstřikovací formy nadále doplňuje, čímž se kompenzuje smrštění plastu při chladnutí, a minimalizují se tak propadliny a staženiny. K přepnutí na dotlak může dojít na základě dráhy šneku, vstřikovacího času, tlaku ve formě nebo hydraulického tlaku. [17; 18]

2.4.4 Doba plastikace

Proces plastikace slouží k nadávkování potřebného množství polymerní taveniny pro nadcházející výrobní cyklus před čelo šneku. Během této fáze se polymerní materiál, díky rotačnímu a zpětnému pohybu šneku, přetváří na taveninu. Tato přeměna probíhá jednak třením o stěny tavicí komory, jednak třením mezi jednotlivými granulemi plastu a také vlivem tepla generovaného elektrickými topnými tělesy umístěnými na obvodu tavicí komory. [18; 25]

Objem dávky taveniny musí být dostatečný nejen pro zaplnění tvarové dutiny vstřikovací formy a vtokového systému, ale také pro kompenzaci objemových změn způsobených smrštěním během dotlaku. Tento objem se označuje jako "polštář". [18]

Doba plastikace nemá vliv na celkovou délku výrobního cyklu, protože se odehrává během fáze chlazení. Jinými slovy, zatímco výrobek chladne v dutině vstřikovací formy, vstřikovací jednotka vstřikovacího stroje zároveň připravuje potřebné množství taveniny plastu pro následující výrobní cyklus. [7; 25]

2.4.5 Doba chlazení

Ve fázi chlazení dochází k ochlazení polymerní taveniny v dutině vstřikovací formy, neboť pro vyjmutí výrobku ze vstřikovací formy je nezbytné, aby byl polymerní materiál v tuhém stavu. Tato fáze začíná již při prvním kontaktu taveniny s chladnější vstřikovací formou, tedy při vstřikování do vtokového systému, a pokračuje i během dotlaku. Chlazení polymerní taveniny probíhá až do jejího úplného ztuhnutí v dutině vstřikovací formy. [26]

Po vyjmutí výrobku by měla být teplota plastového výrobku dostatečně vysoká, aby nedošlo k jeho deformaci, zároveň však zůstává vyšší než teplota okolí. K ochlazení na teplotu okolí dochází až mimo samotnou dutinu vstřikovací formy. [4; 26]

Doba chlazení je nejdelší fází vstřikovacího cyklu. Tato doba se pohybuje od několika sekund u tenkostěnných výrobků až po několik minut u výrobků s velkou tloušťkou stěny. Je snaha tuto dobu zkrátit na minimum efektivním chlazením vstřikovací formy, přičemž se zaměřuje především na oblasti, kde polymerní materiál chladne nejpomaleji. [4; 26]

2.4.6 Odformování

Výrobní cyklus končí otevřením vstřikovací formy a vyjmutím výrobku. Výrobek může buď spadnout do bedny pomocí vyhazovacího systému, nebo ho převezme robot, který ho následně umístí na dopravní pás nebo do krabice. [4]

Po této fázi může následovat také příprava vstřikovací formy před zahájením dalšího cyklu, která zahrnuje odstranění vtoku, čištění a nanášení povlaku apod. [4]

2.5 Vady při vstřikování

I přes rozsáhlé znalosti o polymerních materiálech a neustále se zvyšující kvalitu a technologickou úroveň vstřikovacích strojů, včetně jejich řídicích systémů a využití softwaru při návrhu vstřikovacích forem a samotných výrobků, nemůžeme zcela eliminovat vady spojené s procesem vstřikování v sériové výrobě. [4; 25]

Vadou výrobku se rozumí jakýkoli defekt, který způsobuje odchylku od stanovených standardů, ať už jde o vzhled, rozměry, tvar nebo mechanické a fyzikální vlastnosti, které by měly odpovídat specifikacím uvedeným ve výkresech, referenčních vzorcích nebo schválených přejímacích kritériích. [25]

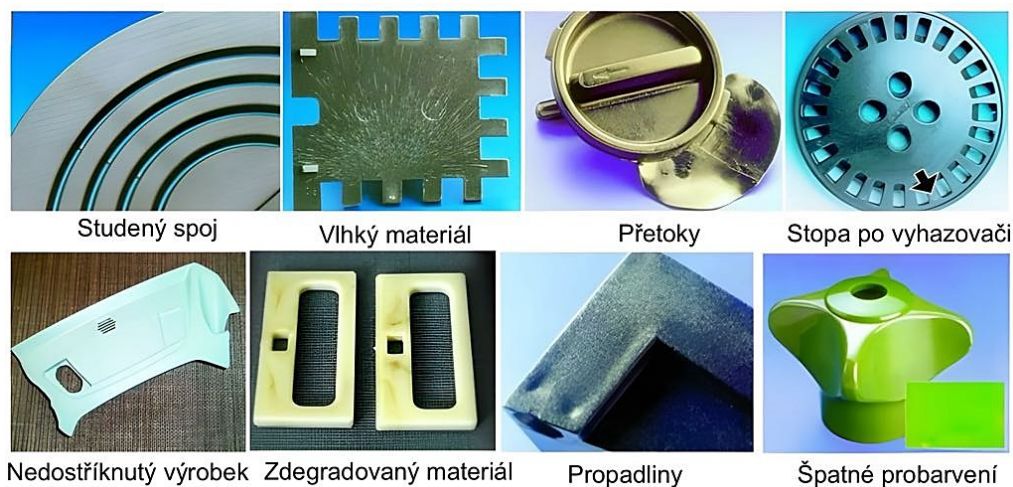
Při identifikaci a odstranění vad hrají klíčovou roli odborné znalosti a zkušenosti. Je zásadní mít dobré porozumění zpracovávanému materiálu, technologiím vstřikovacích strojů a konstrukčním aspektům forem. Také je důležité brát v úvahu, jak technologické parametry ovlivňují kvalitu výrobků. [25]

V praxi se setkáváme s přibližně čtyřiceti různými typy vad, které je třeba zohlednit v procesu vstřikování. Identifikace těchto vad a jejich odstranění je nedílnou součástí optimalizace výrobního procesu. [25]

2.5.1 Rozdělení vad výrobků

Soubor vad, které mohou vzniknout během procesu vstřikování polymerů, se obvykle dělí do dvou základních skupin: na zjevné vady a skryté vady. Toto rozdělení je zásadní pro účinnou diagnostiku a optimalizaci výrobního procesu, protože každá z těchto kategorií vad si žádá individuální přístup k jejich identifikaci a odstranění. [25; 27]

- **Zjevné vady** – Tyto vady lze odhalit již při přímém vizuálním porovnání s kontrolním dílem. Zjevné vady se dále klasifikují na vady tvaru a vady povrchu. Mezi vady tvaru patří například propadliny, nedostříknuté oblasti, přetoky, ořepy, studené spoje, zvlnění, vrstvení a delaminace, stejně jako stopy po vyhazovačích a deformace. Vady povrchu zahrnují nerovnoměrný lesk, matná místa, stopy po vlhkosti, zbytky jiného nebo zdegenerovaného materiálu, poškozený dezén, škrábance, šmouhy, spáleniny a další. Tyto vady mohou výrazně ovlivnit estetiku a funkčnost finálního výrobku, což v konečném důsledku může mít dopad na spokojenost zákazníků a konkurenceschopnost výrobce. [25; 27]



Obrázek 18: Příklady zjevných vad

(zdroj: [27])

- **Skryté vady** – Tyto vady nejsou běžnou vizuální kontrolou odhalitelné, ale mají negativní dopad na mechanicko-fyzikální vlastnosti výrobku. Je tedy nezbytné s těmito vadami počítat a výrobky náležitě kontrolovat. Mezi skryté vady patří vnitřní pnutí (nejvýraznější ve formě tepelných napětí), vakuové bubliny a lunkry v průřezu výrobku, uzavřený vzduch či jiné plyny (což vede k tvorbě bublin) a anizotropie

mechanicko-fyzikálních vlastností. Tyto vady mohou způsobit problémy s pevností a trvanlivostí výrobku, což může vést k jeho předčasnému selhání. [25; 27]

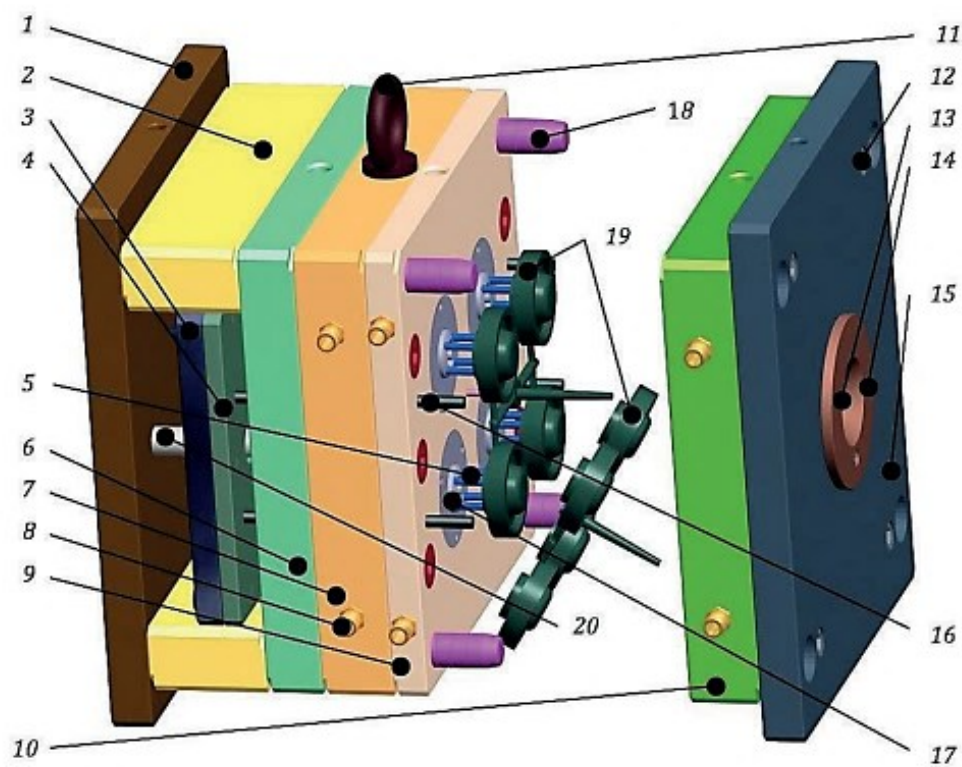
Kromě vad samotných výrobků se mohou v průběhu vstřikovacího procesu vyskytovat i defekty způsobené strojem nebo vstřikovací formou, které mohou významně ovlivnit kvalitu finálních výrobků. Mezi tyto problémy patří například netěsnost zpětného uzávěru šneku, nedostatečné dosednutí trysky na vtokovou vložku vstřikovací formy, zůstávání výrobků na pevných částech vstřikovací formy nebo nedostatečné odvzdušnění vstřikovací formy. Odstranění těchto faktorů hraje klíčovou roli v dosažení vysoké kvality výrobků a minimalizuje výrobu vadných dílů. [25; 27]

Vzhledem k rostoucí poptávce po kvalitních plastových výrobcích je nezbytné, aby výrobci prováděli pečlivé analýzy a testy, které jim pomohou identifikovat a odstranit potenciální vady ve výrobním procesu. Udržování standardů kvality je zásadní pro zajištění spokojenosti zákazníků a konkurenceschopnosti na trhu.

3 VSTŘIKOVACÍ FORMA

Vstřikovací formy pro zpracování polymerních materiálů vstřikováním jsou složitá zařízení, která musí odolávat vysokým tlakům a teplotám, zajišťovat přesné rozměry výrobků, umožňovat snadné vyjmutí výrobků a pracovat automaticky po celou dobu své životnosti. Vstřikovací forma je klíčovým nástrojem ve vstřikovací jednotce, jsou také konstrukčně velmi rozmanité. Pokud je správně navržena, vyrobena a udržována, její životnost výrazně převyšuje dobu životnosti samotného výrobku, který může časem zastarat. [7; 11]

Jednou z hlavních podmínek při návrhu vstřikovací formy je, že po vytvarování musí být výrobek snadno vyjmut bez poškození vstřikovací formy. Veškeré další vybavení ve vstřikovací jednotce podporuje funkci vstřikovací formy a zajišťuje stabilní výrobu kvalitních dílů. [11; 28]



Obrázek 19: Otevřená dvoudesková vstřikovací forma

(zdroj: [11])

- 1 – upínací deska levá, 2 – rozpěra, 3 – opěrná vyhazovací deska, 4 – kotevní vyhazovací deska, 5 – vyhazovače, 6 – opěrná deska, 7 – deska pro rozvod chlazení, 8 – přípojka chlazení, 9 – tvarová deska levá, 10 – tvarová deska pravá, 11 – manipulační oko, 12 – hlavní montážní šrouby, 13 – vtoková vložka, 14 – středící kroužek, 15 – upínací deska pravá, 16 – pojistné kolíky, 17 – pevné jádro, 18 – vodicí sloupky, 19 – vstřikovaný výrobek, 20 – podpěrné válce

Konstrukční návrh vstřikovací formy je stanoven podle specifických požadavků, které musí vstřikovací forma splňovat. Mezi klíčové nároky patří zejména:

- Vysoká přesnost a kvalita povrchu tvarové dutiny.
- Maximální pevnost a odolnost vstřikovací formy.
- Optimální životnost nástroje.
- Dobře navržený systém vyhazování a odformování výrobku.
- Efektivní řešení vtokového a chladicího systému. [28; 29]

3.1 Vhodné materiály pro konstrukci vstřikovací formy

Každá součást vstřikovací formy má specifické požadavky, které určují volbu materiálu a způsob jeho tepelného zpracování. Tyto faktory výrazně ovlivňují funkčnost a životnost celé vstřikovací formy. Materiál se vybírá na základě nároků na kvalitu a nákladovost, přičemž se zohledňují provozní podmínky, jako je například druh zpracovávaného polymerního materiálu a požadavky na výsledný výrobek. Neméně důležitá je také specifická funkce jednotlivých částí vstřikovací formy. [30]

Zásadními vlastnostmi materiálu jsou zejména snadná obrobitelnost a odpovídající mechanická pevnost. Klíčovým materiálem při konstrukci je ocel, kterou je díky jejím mechanickým vlastnostem obtížné nahradit. Pro tvarové a funkční části se využívají nástrojové, legované, prokalitelné nebo nerezové oceli, zatímco rámy a desky, které nejsou vystaveny vysokému namáhání, mohou být vyrobeny z běžných uhlíkových nebo nástrojových ocelí. [30]

3.1.1 Povrchové úpravy dutiny vstřikovací formy

Povrchové úpravy dutiny vstřikovací formy představují faktor, který ovlivňuje výslednou kvalitu, estetiku a funkční vlastnosti plastových výrobků. Různé typy úprav se zaměřují na zlepšení vzhledu, odolnosti proti opotřebení, snadnější údržbu nebo zvýšení užitné hodnoty výrobků. [31]

Povrchové úpravy jsou klasifikovány podle standardů, jako je Society of Plastics Industry (SPI) a Verein Deutscher Ingenieure (VDI), které rozdělují povrchy do kategorií podle úrovně lesku a textury:

- Lesklé povrchy (SPI A) - Tato úprava je charakteristická zrcadlovým leskem, dosaženým detailním diamantovým leštěním. Používá se především u transparentních výrobků, jako jsou čočky nebo ochranné kryty, kde je kladen důraz na vizuální dokonalost.
- Pololesklé povrchy (SPI B) - Pololesklé úpravy jsou dosaženy broušením, které zanechává jemné lineární vzory. Tyto povrchy kombinují estetické a funkční vlastnosti, například skrytí drobných výrobních stop.
- Matné povrchy (SPI C) - Matné povrchy vznikají použitím jemného kamenného prášku. Tato úprava snižuje reflexi světla a zlepšuje odolnost proti znečištění, což je vhodné pro výrobky s častým kontaktem, například rukojeti.
- Texturované povrchy (SPI D) - Texturované úpravy, aplikované technikami jako je pískování, zvyšují přilnavost a maskují případné povrchové nedokonalosti. Používají se zejména tam, kde je vyžadována funkčnost povrchu, například u ergonomických výrobků. [31]



Obrázek 20: Ukázka povrchu podle SPI

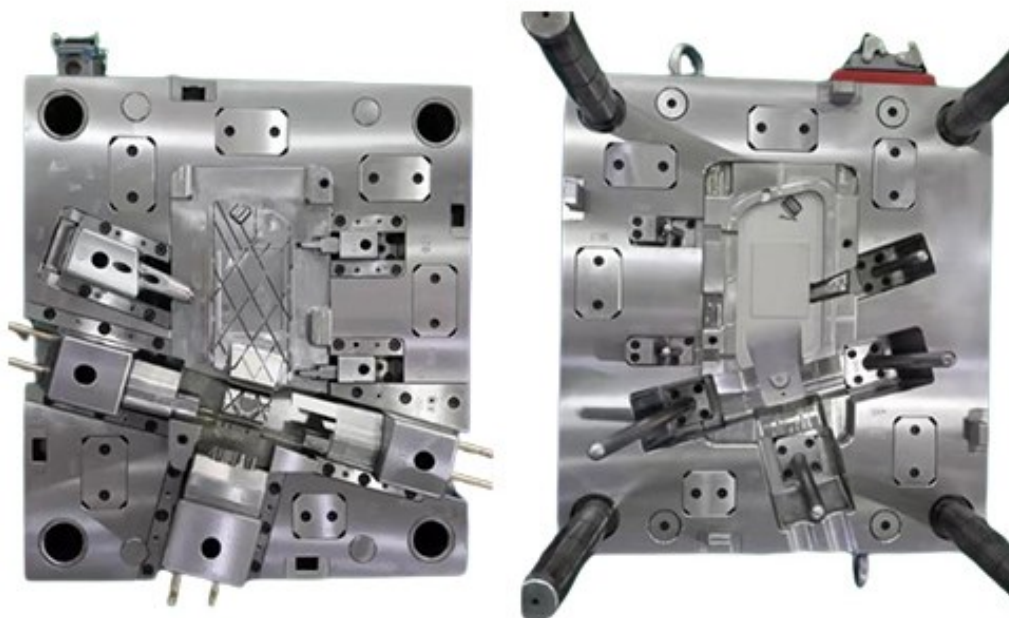
(zdroj: [32])

Povrchová úprava ovlivňuje nejen výsledný vzhled a vlastnosti výrobku, ale i proces vstřikování. Hladké povrchy mohou zlepšit tok taveniny, snížit tření a usnadnit vyjímání výrobků, což přispívá ke zkrácení cyklového času. Naopak texturované povrchy mohou ovlivnit chladicí čas a přilnavost výrobku k vstřikovací formě, což vyžaduje pečlivé nastavení parametrů vstřikování. [31]

3.2 Násobnost vstřikovacích forem

Násobnost vstřikovací formy určuje, kolik výrobků může vstřikovací stroj vyrobit během jednoho pracovního cyklu, což má zásadní vliv na hospodárnost a celkové náklady výroby. Správný výběr násobnosti vstřikovací formy je závislý na několika faktorech, mezi něž patří složitost a přesnost vstřikovaného dílu, požadované množství výrobků, termín dodání, náklady na výrobu vstřikovací formy, vstřikovací a plastikační kapacita stroje a také jeho uzavírací síla. [29]

U jednoduchých dílů s požadavkem na vysoký počet kusů se obvykle volí vícenásobná vstřikovací forma. U složitějších dílů, kde je kladen důraz na přesnost a kvalitu, je vhodnější zvolit jednonásobnou vstřikovací formu. [29]



Obrázek 21: Ukázka jednonásobné vstřikovací formy

(zdroj: [33])

3.3 Vtokový systém

Vtokový systém vstřikovací formy je navržen tak, aby zajišťoval efektivní tok taveniny plastu do dutiny vstřikovací formy. Skládá se z hlavních a rozváděcích kanálů a ústí vtoku. Zároveň musí umožnit snadné oddělení vtoku od výrobku a jednoduché odstranění zbytkového materiálu, známého jako vtokový zbytek. Moderní návrhy vtokových systémů se zaměřují na co největší minimalizaci tohoto odpadu, případně na jeho úplné odstranění.

Rozdíly v konstrukci a uspořádání vtokového systému vycházejí především z konstrukce vstřikovací formy a její násobnosti. [11]

Vtokové systémy se dělí na dvě základní skupiny:

- **Studené vtokové systémy** – kde se tavenina ochlazuje a vytváří ztuhlý vtokový zbytek.
- **Horké vtokové systémy** – kde je tavenina udržována v roztaveném stavu až do vstupu do dutiny vstřikovací formy, což minimalizuje odpad. [29]

Výběr vhodného typu vtokového systému závisí na specifických požadavcích výroby a konstrukci vstřikovací formy. Studené systémy jsou jednodušší a levnější, zatímco horké systémy snižují množství odpadu a zvyšují efektivitu procesu.

3.3.1 Systém se studeným vtokem

Během průtoku taveniny studeným vtokovým systémem se viskozita taveniny na vnějším povrchu zvyšuje, což vede k jejímu tuhnutí. Ztuhlá povrchová vrstva následně slouží jako tepelná izolace pro tekuté jádro taveniny, které dále zaplňuje dutinu vstřikovací formy. Jakmile je dutina zcela zaplněna, dochází k prudkému nárůstu vnitřního odporu, což zpomaluje průtok. Odvod tepla do stěn vstřikovací formy způsobuje postupné tuhnutí polymerního materiálu jak uvnitř dutiny, tak ve vtokových kanálech. [29]

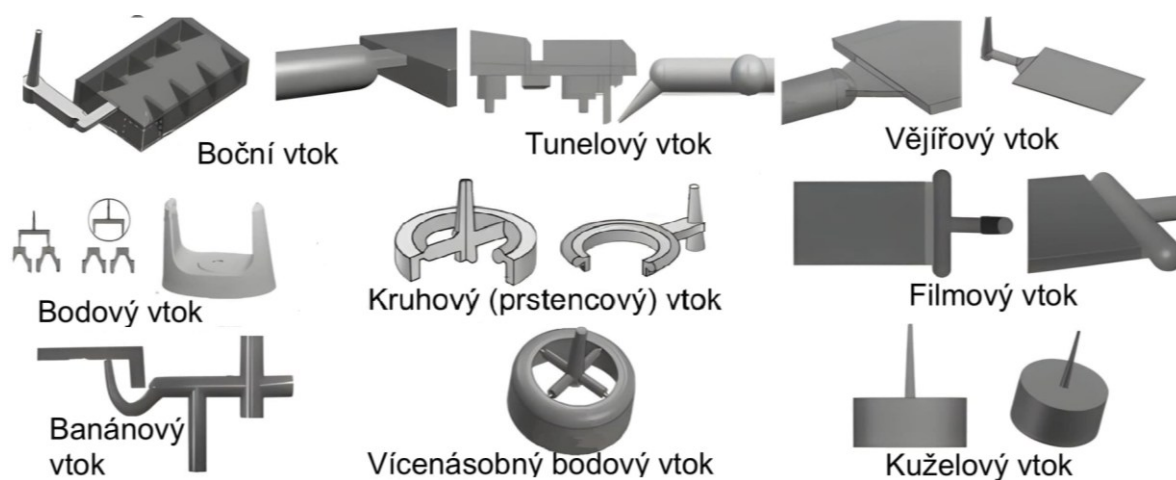
Dotlak generuje dodatečné teplo ve vtokovém ústí, čímž se proces tuhnutí zpomaluje. Jakmile protitlak vznikající během tuhnutí překročí hranici, kterou vstřikovací stroj již nedokáže překonat, dojde k poklesu vstřikovací rychlosti a k úplnému ochlazení polymerní taveniny. [29]

Konstrukce vtokového systému musí být optimalizována tak, aby tavenina polymerního materiálu dosáhla tvarové dutiny co nejrychlejší a nejefektivnější cestou, s minimálními tlakovými a teplotními ztrátami. Pro zajištění rovnoměrného plnění je nutné, aby polymerní materiál dorazil do všech tvarových dutin současně a pod stejným tlakem. Pokud to konstrukční podmínky neumožňují, je nutné provést úpravu vtokových kanálků nebo jejich ústí. [29]

Tvar, velikost a rozmístění rozváděcích kanálků hrají klíčovou roli při řízení toku taveniny uvnitř vstřikovací formy, protože ovlivňují vznik potenciálních defektů jako jsou studené spoje, staženiny, či kvalita povrchu finálního výrobku. Průřezy kanálů musí být navrženy tak, aby umožnily dostatečný průtok, který zajistí, že jádro taveniny zůstane v

plastickém stavu a umožní aplikaci dotlaku. U vícenásobných vstřikovacích forem je důležité odstupňování průřezů kanálků, aby se zachovala rovnoměrná rychlost proudění taveniny do všech dutin vstřikovací formy. [29]

Typ vtokového ústí se volí na základě charakteru vstřikovaného dílu a požadavků výrobního procesu. Nejčastěji používaným tvarem vtokového kanálu je kuželovitý kanál vytvořený uvnitř vtokové vložky. Mezi další typy vtokových ústí patří bodová, banánová, prstencová, tunelová a další (viz Obrázek 22). Každý typ vtokového ústí je přizpůsoben specifickým požadavkům na tvar a vlastnosti výrobku, stejně jako na parametry výrobního procesu. [29]



Obrázek 22: Druhy vtokových ústí

(zdroj: [34])

3.3.2 Systém s horkým vtokem

Horké vtokové systémy představují pokročilou technologii, která nachází stále širší uplatnění v oblasti vstřikování plastů. Jejich vývoj je výsledkem spolupráce konstruktérů, výrobců vstřikovacích forem a dodavatelů polymerních materiálů. Tyto systémy byly navrženy jako odpověď na požadavky na úsporu polymerního materiálu a pracovního času, a to prostřednictvím technologie vstřikování bez vzniku vtokového zbytku. Použití vyhřívaných vtokových systémů zajišťuje, že polymerní tavenina zůstává v celém systému až do ústí vstřikovací formy v plastickém stavu, což eliminuje vznik odpadu a zvyšuje efektivitu výrobního procesu. [29]

Horké vtokové systémy využívají vyhřívané trysky a rozváděcí kanály, které minimalizují tlakové a teplotní ztráty během toku taveniny. Díky tomu je zajištěno rovnoměrné a efektivní plnění dutiny vstřikovací formy a následné působení dotlaku, což

přispívá k vyšší přesnosti a kvalitě vyráběných výrobků. Tento systém navíc umožňuje využití bodových vyústění s malým průřezem, které jsou vhodné pro široké spektrum aplikací. [29]

Mezi hlavní výhody horkých vtokových systémů oproti studeným systémům patří:

- Zkrácení doby výrobního cyklu.
- Automatizace procesu výroby.
- Snížení spotřeby materiálu díky eliminaci vtokového zbytku.
- Minimalizace nákladů na dokončovací operace.
- Odstranění problémů spojených s manipulací a regenerací zbytkového materiálu.

[29]

Vstřikovací formy s horkými vtokovými systémy využívají buď vyhřívané, nebo izolované rozváděcí kanály, které zajišťují rovnoměrný tok taveniny i do vzdálených vtokových ústí. Tento přístup přispívá ke snížení materiálových ztrát a k vyšší rozměrové přesnosti výrobků. [29]

Nevýhodami této technologie jsou vyšší pořizovací náklady na konstrukci vstřikovacích forem, zvýšené nároky na údržbu a potřeba energetického připojení. Přesto horké vtokové systémy, díky svým ekonomickým a technologickým přínosům, nacházejí stále širší uplatnění ve výrobní praxi. [29]



Obrázek 23: Ukázka systému s horkým vtokem

(zdroj: [35])

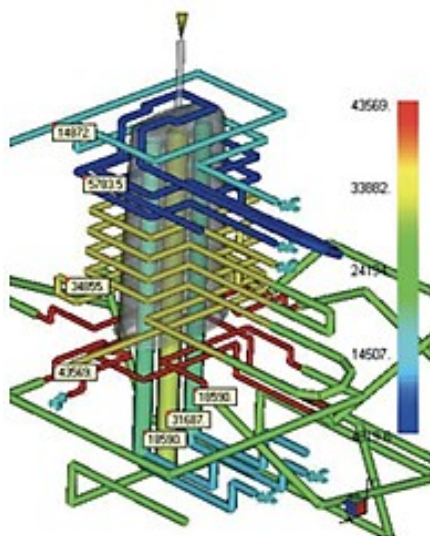
3.4 Temperační systém

Temperační systém je nezbytnou součástí vstřikovacích forem a hraje klíčovou roli při zajišťování kvality vyráběných produktů. Skládá se ze soustavy kanálů a dutin, kterými proudí temperační médium, nejčastěji voda nebo olej. Regulace teploty vstřikovací formy prostřednictvím tohoto systému významně ovlivňuje mechanické vlastnosti výrobků, jejich vzhled, rozměrovou stabilitu i míru smrštění. [28; 29]

Primárním cílem temperace je udržovat teplotu vstřikovací formy na požadované úrovni po celém povrchu dutiny, což zajišťuje rovnoměrné ochlazování nebo ohřev materiálu. Tím je umožněno optimální tuhnutí polymerního materiálu a zkrácení pracovního cyklu a to zvyšuje celkovou efektivitu výroby. [28]

Teplota vstřikovací formy se přizpůsobuje druhu polymerního materiálu a tvaru výrobku. U materiálů, které vyžadují vyšší teplotu vstřikovací formy, je nezbytné vstřikovací formu aktivně ohřívat, protože tepelné ztráty mohou být větší než ohřev způsobený samotnou taveninou. Naopak u materiálů, které vyžadují rychlé ochlazení, se klade důraz na efektivní odvod přebytečného tepla, což umožňuje rychlejší vyjmutí výrobku ze vstřikovací formy. [28; 29]

Rozmístění temperačních kanálů, jejich rozměry a průřezy jsou navrženy tak, aby zajišťovaly rovnoměrnou distribuci tepla a minimalizovaly riziko nerovnoměrného ochlazování. Kanály bývají obvykle kruhového průřezu a jsou umístěny co nejbližší k nejobjemnějším částem dutiny, které chladnou nejpomaleji. Průtok temperačního média je obvykle směřován od nejteplejších částí vstřikovací formy k těm nejchladnějším. U složitějších vstřikovacích forem mohou být temperační systémy rozděleny do několika nezávislých okruhů (viz. Obrázek 24), které regulují teplotu zvlášť pro pohyblivé a pevné části vstřikovací formy, čímž je dosaženo optimálního teplotního režimu. [28; 29]



Obrázek 24: Ukázka temperačního systému vstřikovací formy

(zdroj: [11])

Při návrhu temperačního systému je třeba zohlednit:

- Druh vstřikovaného polymerního materiálu.
- Velikost a tvar výrobku.
- Požadavky na přesnost výrobku.
- Materiál vstřikovací formy.
- Umístění dalších konstrukčních prvků vstřikovací formy, jako jsou vyhazovače nebo pohyblivá jádra. [28]

3.5 Vyhazovací systém

Vyhazovací systém zajišťuje odstranění výrobku nebo vtokového zbytku z dutiny vstřikovací formy po jejím otevření. Jeho správná funkčnost má zásadní vliv na kvalitu výrobků, produktivitu a délku výrobního cyklu. Konstrukce systému musí být navržena tak, aby nedocházelo k deformaci ani poškození výrobku. [29]

Proces vyhazování probíhá ve dvou fázích. První zahrnuje dopředný pohyb, kdy je výrobek vytlačen z dutiny vstřikovací formy, zatímco druhá fáze zajišťuje zpětný pohyb vyhazovačů do výchozí polohy. K dosažení optimální funkčnosti je nutné zajistit hladký povrch dutiny vstřikovací formy a dostatečný úkos stěn, který by měl být minimálně 30°. Rozmístění vyhazovačů musí zajistit rovnoměrné vyhození výrobku, aby se zabránilo jeho vzpříčení nebo poškození. [28; 29]

Vyhazovací systém se skládá z vyhazovacích desek (kotevní a opěrné), vratných kolíků, vodicích pouzder a táhel, které propojují vyhazovací mechanismus s pohybem vstřikovacího stroje. Tyto komponenty spolupracují tak, aby byl výrobek spolehlivě a plynule odstraněn ze vstřikovací formy. Síla potřebná k vyhození výrobku závisí na jeho velikosti, tvaru, míře smrštění a technologických podmínkách vstřikování. [29]

Složitost vyhazovacího systému je ovlivněna požadavky na přesnost výrobku, jeho povrchovou úpravu a typ vstřikovaného polymerního materiálu. Vyhazovače jsou obvykle umístěny na méně viditelné části výrobku, aby stopa po vyhození nenarušovala estetický vzhled nebo funkčnost. [29]

Vyhazovací systémy lze rozdělit na mechanické, pneumatické a hydraulické, přičemž každý typ je zvolen podle specifických potřeb výrobního procesu. Důraz je kladen na minimalizaci doby cyklu, přesnost vyhození a ochranu výrobku před poškozením. Dobře navržený systém přispívá k efektivitě výroby a kvalitě výsledných produktů. [29]

3.5.1 Mechanický vyhazovací systém

Mechanické vyhazování je nejčastěji používaná metoda odstraňování výrobků z dutiny vstřikovacích forem, a to díky své jednoduchosti, efektivitě a ekonomické výhodnosti. Tento systém se vyznačuje různými konstrukčními variantami, které lze přizpůsobit požadavkům na tvar, velikost a povrchovou kvalitu výrobku. [29]

Konstrukční provedení mechanických vyhazovačů zahrnuje:

- Vyhazování pomocí vyhazovacích kolíků.
- Stírací desky nebo trubkové vyhazovače.
- Šikmé vyhazování.
- Postupné vyhazování.
- Speciální vyhazování. [28]

Mechanické vyhazování lze kombinovat s jinými metodami, například hydraulickým nebo pneumatickým vyhazováním, což umožňuje optimalizaci vyhazovacího procesu u složitějších výrobků nebo forem. Tato flexibilita zajišťuje, že mechanické vyhazování může být efektivně použito v široké škále aplikací. [29]

3.5.2 Pneumatický vyhazovací systém

Pneumatické vyhazování je metoda, která se používá zejména u slabostěnných a rozměrnějších výrobků dutého charakteru jako jsou nádoby, kbelíky nebo květináče. Při vyhazování je důležité výrobky zavzdušnit, aby se zamezilo jejich deformaci. Tento způsob vyhazování je založen na využití stlačeného vzduchu, který je zaváděn mezi povrch vstřikovací formy a výrobek. Rovnoměrné působení tlaku vzduchu umožňuje uvolnění výrobku od stěn vstřikovací formy bez poškození. Stlačený vzduch je veden přes ventil (talířový, jehlový nebo kolíkový), který je otevírán tlakem vzduchu a zavírán pružinou. [29]

3.5.3 Hydraulický vyhazovací systém

Hydraulické vyhazování je metoda, která se používá především k ovládání mechanických vyhazovačů, jako jsou vyhazovací kolíky nebo stírací desky, případně posuvných čelistí. Tento systém je charakteristický velkou vyhazovací silou a pomalejším, ale přesným chodem, což umožňuje vysokou kontrolu nad vyhazovacím procesem. [29]

Hydraulické vyhazovače se obvykle vyrábějí jako uzavřené jednotky, které jsou zabudovány přímo do připravených míst ve vstřikovací formě. Tento způsob konstrukce umožňuje pružný a flexibilní pohyb vyhazovacích komponent, to je klíčové zejména u složitějších vstřikovacích forem a tvarově náročných výrobků. [29]

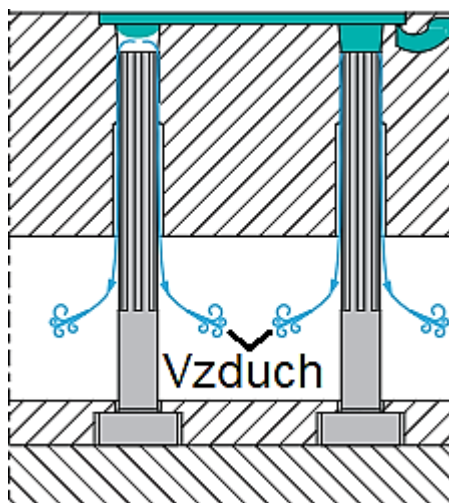
3.6 Odvzdušnění vstřikovací formy

Odvzdušnění zajišťuje únik vzduchu a plyných zplodin z tvarové dutiny během jejího plnění polymerní taveninou. Tento krok je nezbytný pro správné vyplnění dutiny vstřikovací formy a prevenci defektů na výrobku. Nedostatečné odvzdušnění může vést k tvorbě bublin, nedotečených míst nebo spálenin, známých jako Dieselův efekt, jenž vzniká přehřátím vzduchu při jeho extrémním stlačení. [28; 29]

Kritickými oblastmi, které vyžadují účinné odvzdušnění, jsou místa zaplňovaná taveninou jako poslední - rohy, slepé otvory a oblasti vzdálené od vtoků. Kvalitní odvzdušnění nejen eliminuje tyto vady, ale také zvyšuje rychlost a rovnoměrnost plnění vstřikovací formy. [28]

Nejběžnějším řešením odvzdušnění jsou odvzdušňovací kanálky umístěné v dělicí rovině vstřikovací formy, jejichž šířka je přizpůsobena typu polymerního materiálu použitého při vstřikování. Dalšími prostředky odvzdušnění mohou být vůle mezi vyhazovači, vodicími plochami nebo pohyblivými jádry. V některých případech se využívají

speciální odvzdušňovací vložky z porézních materiálů, odvzdušňovací drážky či speciální vyhazovače pro odvzdušnění. [28]



Obrázek 25: Vyhazovač pro odvzdušnění

(zdroj: [36])

II. PRAKTICKÁ ČÁST

4 CÍLE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Má bakalářské práce si klade za cíl splnit tyto následující úkoly:

- Seznámit se s problematikou vstřikování plastů a konstrukcí vstřikovacích forem.
- Zkonstruovat 3D model zvoleného plastového výrobku.
- Navrhnout a zkonstruovat 3D model vstřikovací formy pro zvolený výrobek.
- Zpracovat kompletní výkresovou dokumentaci vstřikovací formy, včetně kusovníku.

V teoretické části této práce byly popsány základní principy návrhu vstřikovacích forem se zaměřením na konstrukční prvky vstřikovacích forem, vlastnosti polymerních materiálů a základní teorii technologie vstřikování plastů. Tyto poznatky sloužily jako výchozí podklad pro návrh vstřikovaného dílu a samotné vstřikovací formy.

Cílem praktické části bylo navrhnout vstřikovací formu pro plastový výrobek, který je součástí kompaktních jističů 3VA, a který bude odpovídat požadavkům vycházejícím z teoretické části práce. Pro konstrukci byla zvolena dvounásobná vstřikovací forma s kombinací horkého a studeného vtokového systému. Standardizované díly byly vybrány z online katalogů společností HASCO, Meusburger a Agathon AG. Návrh plastového výrobku i samostatné vstřikovací formy byl proveden v softwaru Catia V5R20.

5 POUŽITÝ SOFTWARE

V následující části jsou uvedeny softwarové nástroje a normalizační katalogy, které byly využity při konstrukci plastového výrobku a návrhu vstřikovací formy. Použité programy a normálie sehrály klíčovou roli při modelování, sestavování a dokumentaci návrhu.

5.1 Catia V5-R62020

Catia představuje pokročilý softwarový nástroj pro 3D modelování, který se řadí mezi nejrozšířenější systémy využívané v oblasti strojírenství. Je určen zejména pro konstrukci, vývoj a výrobu technicky náročných součástí. Kromě samotného navrhování umožňuje také provádění simulací a analýz návrhů. Využívá se převážně v automobilovém a leteckém průmyslu. Software byl vyvinut ve Francii firmou Dassault Systèmes.

Při tvorbě modelu vstřikovaného výrobku bylo využito prostředí Part Design, které nabízí nástroje pro přesné tvarové modelování. Tvarové části vstřikovací formy, jako jsou tvárník, tvárnice a boční tahače, byly dále vytvořeny pomocí funkcí dostupných v prostředí Generative Shape Design. Kompletní konstrukce formy byla realizována v prostředí Mold Tooling Design, které je určeno pro sestavování forem včetně využití normalizovaných dílů. Výkresová dokumentace celé sestavy byla následně zpracována v prostředí Drafting.

Tento ucelený přístup v rámci jednoho softwarového prostředí umožnil efektivní a přesné zpracování celého návrhu při zachování požadovaných konstrukčních zásad a standardů.

5.2 Normálie HASCO

Společnost HASCO nabízí rozsáhlý online katalog normalizovaných dílů, který umožňuje konstruktérům rychlý a přehledný výběr potřebných komponentů pro vstřikovací formy. Každý díl je doplněn o technickou specifikaci, tabulku rozměrů a návod k jeho správnému použití v konstrukci formy. Součástí katalogu jsou také 3D modely v různých formátech.

Pro účely této práce byl nejvhodnější formát STEP, který lze snadno importovat do softwaru, jako je Catia. Díky tomu je možné efektivně integrovat normalizované díly přímo do sestavy formy, což výrazně urychluje konstrukční proces a minimalizuje riziko chyb při navrhování.

5.3 Normálie Meusburger

Meusburger je uznávaným výrobcem standardizovaných dílů, které nacházejí široké uplatnění v oblasti konstrukce vstřikovacích forem. Jeho online platforma poskytuje uživatelům intuitivní rozhraní pro výběr vhodných komponentů, přičemž každý prvek je detailně popsán včetně rozměrových tabulek a montážních doporučení. Součástí nabídky jsou rovněž 3D modely dostupné ke stažení v několika běžných formátech.

Při konstrukci vstřikovací formy v rámci této práce byl použit formát STEP, který umožňuje bezproblémový import do prostředí Catia. Tento postup výrazně usnadnil začlenění normalizovaných prvků do sestavy formy, zvýšil přesnost návrhu a přispěl ke zrychlení celého konstrukčního procesu.

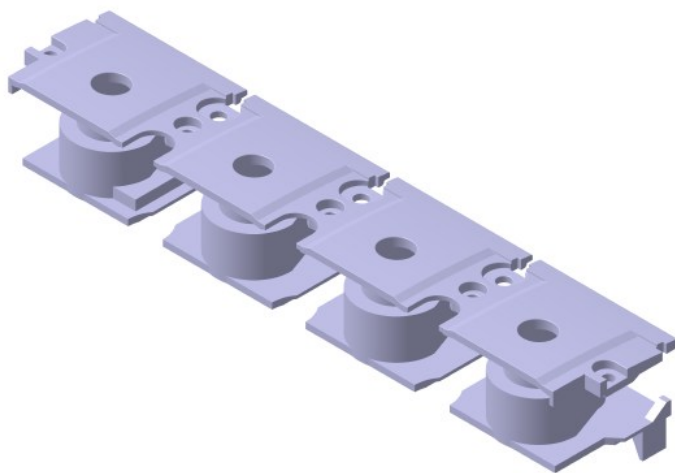
5.4 Normálie Agathon AG

Společnost Agathon AG se specializuje na výrobu vysoce přesných normalizovaných dílů, především v oblasti vedení a středění vstřikovacích forem. Jejich výrobky jsou známé pro svou vysokou kvalitu a dlouhou životnost, a proto se často využívají v náročných aplikacích, kde je kladen důraz na přesnost a opakovatelnost.

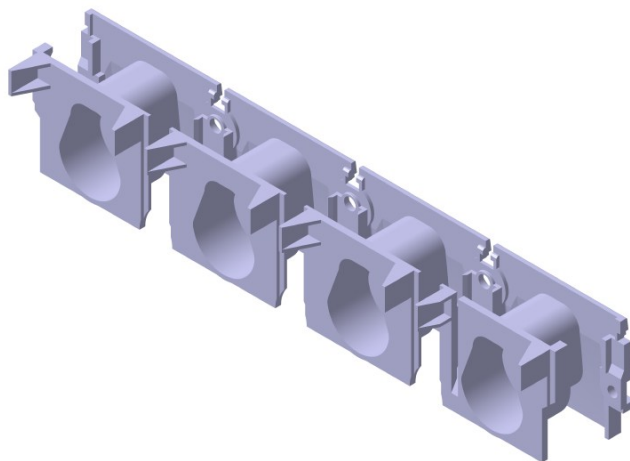
V rámci této práce bylo z portfolia Agathon AG využito pouze středění vstřikovací formy. Díky dostupnosti 3D modelu ve formátu STEP bylo možné komponentu snadno vložit do sestavy vstřikovací formy v prostředí Catia, čímž bylo dosaženo přesného zarovnání jednotlivých částí a zajištěna správná funkce formy při provozu.

6 SPECIFIKACE VÝROBKU

Vstřikovaný výrobek představuje montážní součást, která slouží jako držák nebo usměrňovací prvek ve vnitřní konstrukci jističe typu 3VA od firmy O EZ. Jedná se o tenkostěnný výrobek, jehož konstrukce zahrnuje sérii opakujících se segmentů s přesně definovanými otvory a výstupky pro zajištění kompatibility s ostatními prvky sestavy. Rozměry výrobku jsou $186 \times 37 \times 35$ mm (délka $\times$ šířka $\times$ výška).



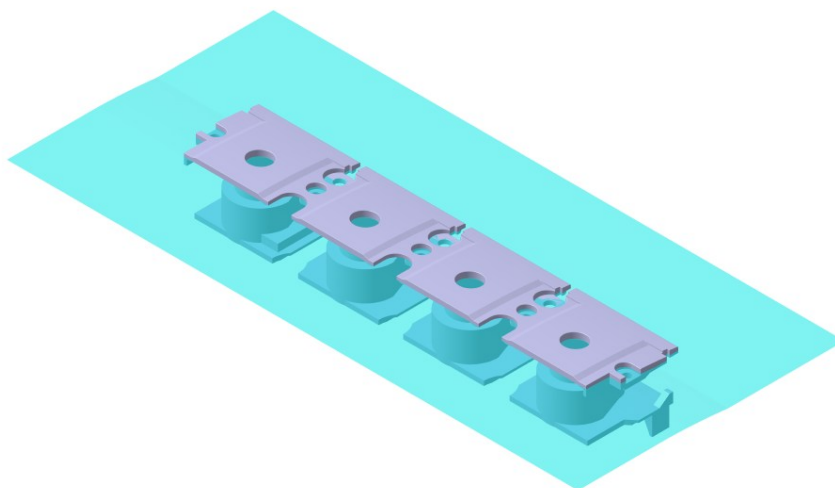
Obrázek 26: Vrchní pohled na 3D model vstřikovaného dílu



Obrázek 27: Spodní pohled na 3D model vstřikovaného dílu

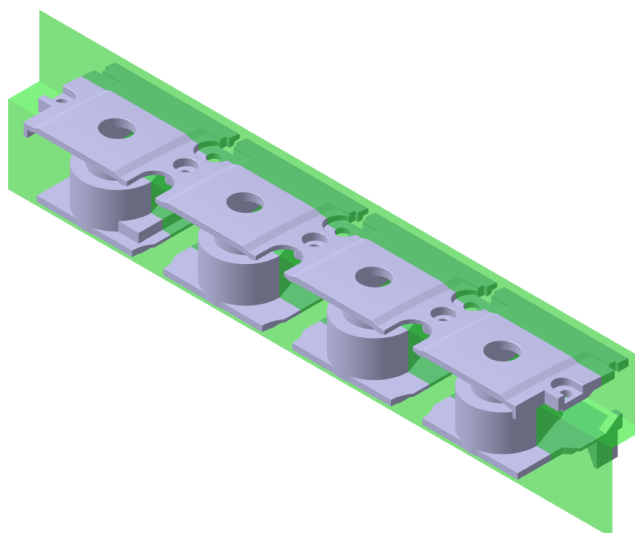
6.1 Poloha dělicích rovin

Stanovení polohy dělicích rovin je klíčovým krokem při konstrukci vstřikovací formy. V tomto případě byly navrženy dvě dělicí roviny. Hlavní dělicí rovina je vedena pod tloušťkou vrchní plochy vstřikovaného dílu.



Obrázek 28: Poloha hlavní dělicí roviny

Vedlejší dělicí rovina je umístěna v centrální části vstřikovaného výrobku, kde se nachází zaoblení a zkosení přecházející mezi funkčními plochami, a je navržena tak, aby umožnila bezproblémové odformování této tvarově složitější oblasti.



Obrázek 29: Poloha vedlejší roviny

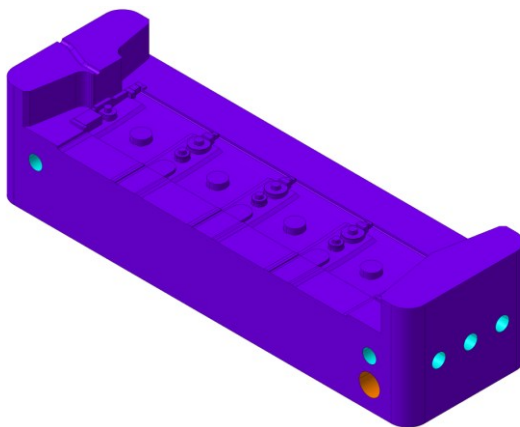
6.2 Tvarové vložky

Tvarové vložky vstřikovací formy se skládají z tvárnice, tvárníku a dvou posuvných čelistí, které společně tvoří dutinu vstřikovací formy – negativ tvaru vstřikovaného výrobku zvětšený o technologické smrštění. Tvárnice je umístěna v nepohyblivé části vstřikovací formy, zatímco tvárník a posuvné čelisti jsou umístěny v pohyblivé části vstřikovací formy.

Pro zajištění funkčnosti vstřikovací formy a životnosti jednotlivých komponentů byly zvoleny vhodné materiály. Tvárník, tvárnice i posuvné čelisti jsou vyrobeny z nástrojové oceli 1.2343, která byla následně cementována a kalena.

6.2.1 Tvárnice

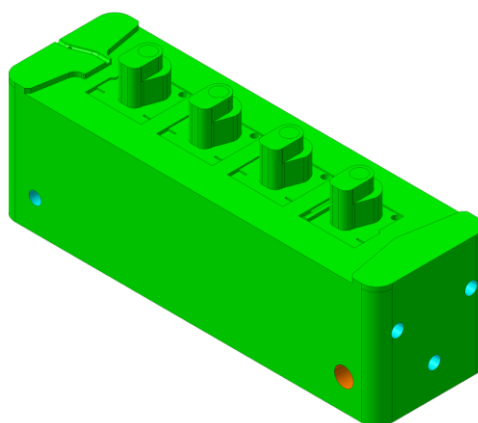
Tvárnice v tomto případě utváří pouze horní část vstřikovaného výrobku. Je usazena do drážky ve tvarové desce nepohyblivé části vstřikovací formy a zajištěna pomocí šesti šroubových spojů. Ve tvárnici byl vyfrézován rozvodný kanál a dále byly vyvrtány otvory pro temperační okruhy a závity pro uchycení šroubů.



Obrázek 30: Tvárnice

6.2.2 Tvárník

Tvárník utváří vnitřní tvar vstřikovaného výrobku. Je usazen ve tvarové desce pohyblivé části vstřikovací formy a ze zadní strany poté zajištěn šesti šroubovými spoji. Do tvárníku byly vyvrtány otvory pro vyhazovače, temperační okruhy a závity pro uchycení šroubů. Součástí tvárníku je také vyfrézovaný rozvodný kanál.



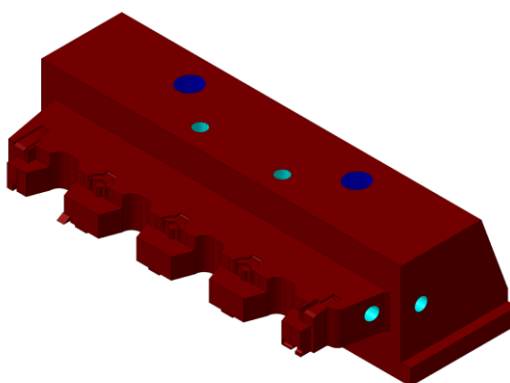
Obrázek 31: Tvárník

6.2.3 Posuvné čelisti

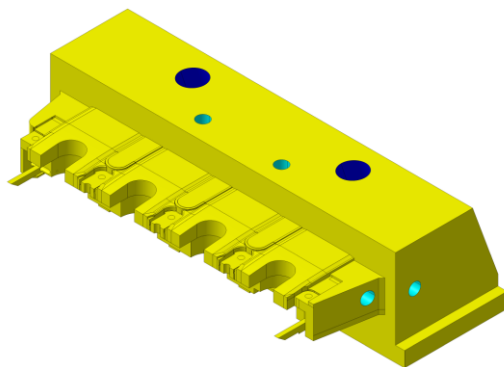
Posuvné čelisti slouží k bočnímu odformování tvarových prvků výrobku. Jejich pohyb je dán šikmými kolíky uloženými pod úhlem 18° , které se aktivují při otevírání hlavní dělicí roviny vstřikovací formy. Posuvné čelisti se pohybují příčně ve tvarové desce pohyblivé části vstřikovací formy. Pohyb je veden ve vodicích lištách po kluzných deskách opatřených DLC povlakem.

Aby bylo zabráněno nežádoucímu pohybu posuvných čelistí při odsunu pohyblivé části vstřikovací formy, je jejich poloha zajištěna pomocí kuličkové aretace. Dorazovou funkci pak plní váleček, který je pevně uchycen ve tvarové desce pohyblivé části vstřikovací formy.

Ve vstřikovací formě byly posuvné čelisti použity k odformování tvarových geometrií nacházejících se na dvou bočních stranách výrobku. Vzhledem k rozdílné geometrii těchto stran byly do vstřikovací formy použity dva odlišné druhy posuvných čelistí, z nichž každý byl navržen tak, aby odpovídal specifickým tvarovým požadavkům dané strany výrobku.



Obrázek 32: Posuvná čelist typu A

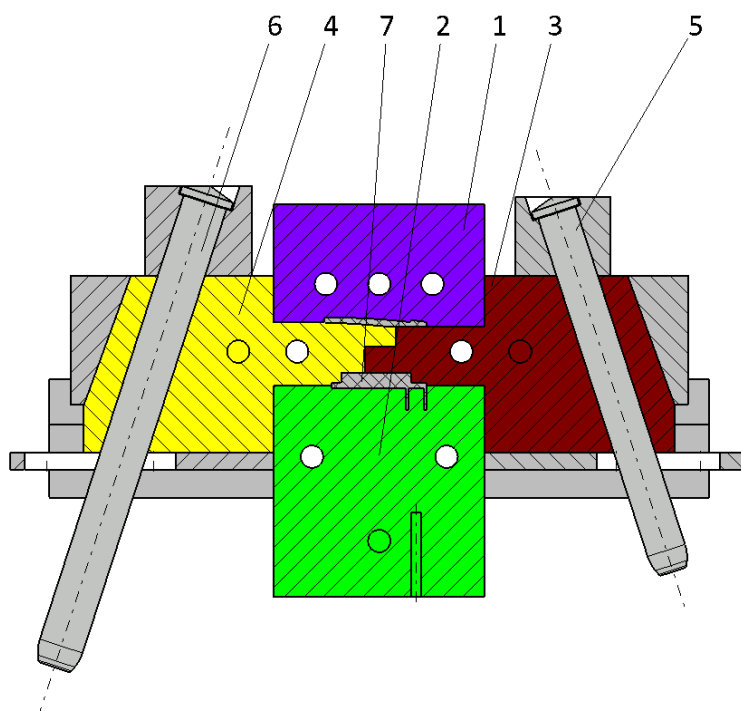


Obrázek 33: Posuvná čelist typu B

6.3 Konstrukční uspořádání tvarových vložek

Jak již bylo zmíněno, pro správné tvarování vstřikovaného výrobku je nutné využít nejen hlavní, ale i vedlejší dělicí roviny. Konstrukční řešení tvarových vložek je znázorněno (Obrázek 34).

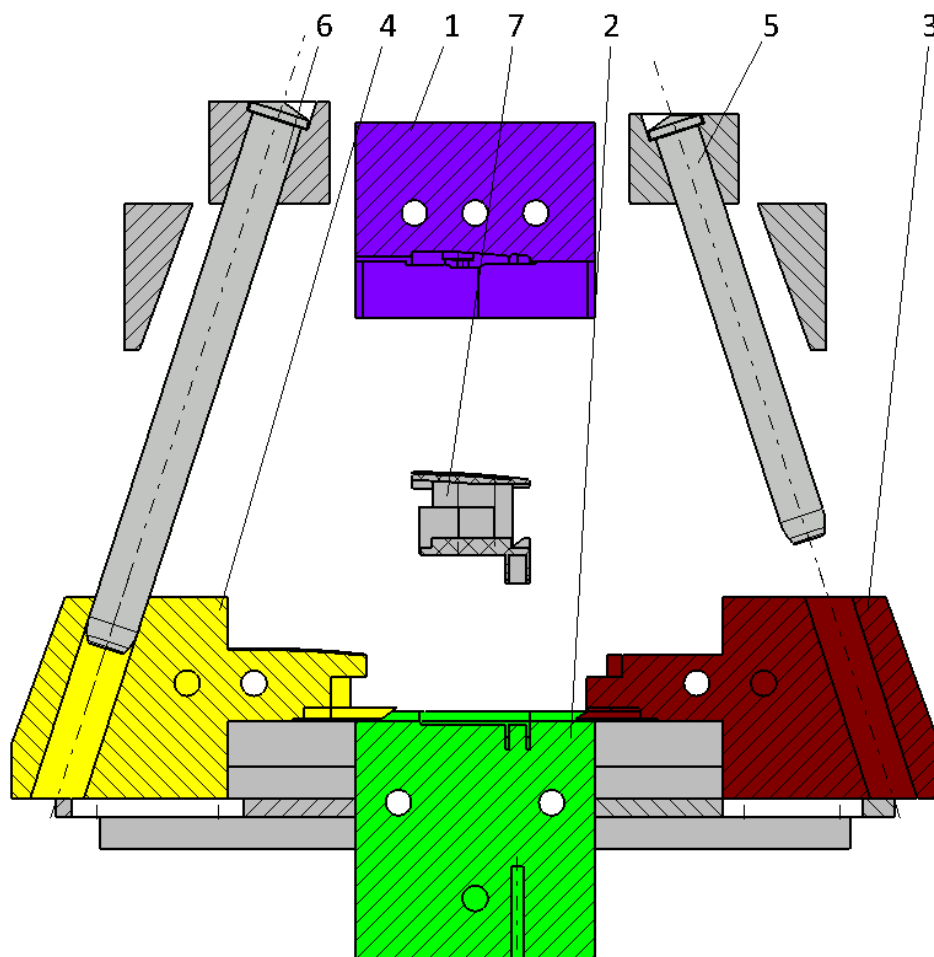
Sestava se skládá z tvárníku a tvárnice, které na sebe dosedají ve vodorovné dělicí rovině. Z bočních stran jsou přidány posuvné čelisti, které se pohybují po kluzných deskách a jsou vedeny pomocí vodicích lišt. Při uzavírání vstřikovací formy, pomáhá k přesnému zasunutí posuvných čelistí opěrka.



Obrázek 34: Tvarové vložky (uzavřeno)

1 – tvárnice, 2 – tvárník, 3 – posuvná čelist typu A, 4 – posuvná čelist typu B, 5 – kolík A,
6 – kolík B, 7 – výrobek

K vysunutí posuvných čelistí dochází, při otevírání vstřikovací formy, pomocí šikmých vodicích kolíků. Na následujících obrázcích je znázorněn mechanismus odformování dutiny vstřikovací formy. Zobrazeny jsou pouze hlavní konstrukční díly.



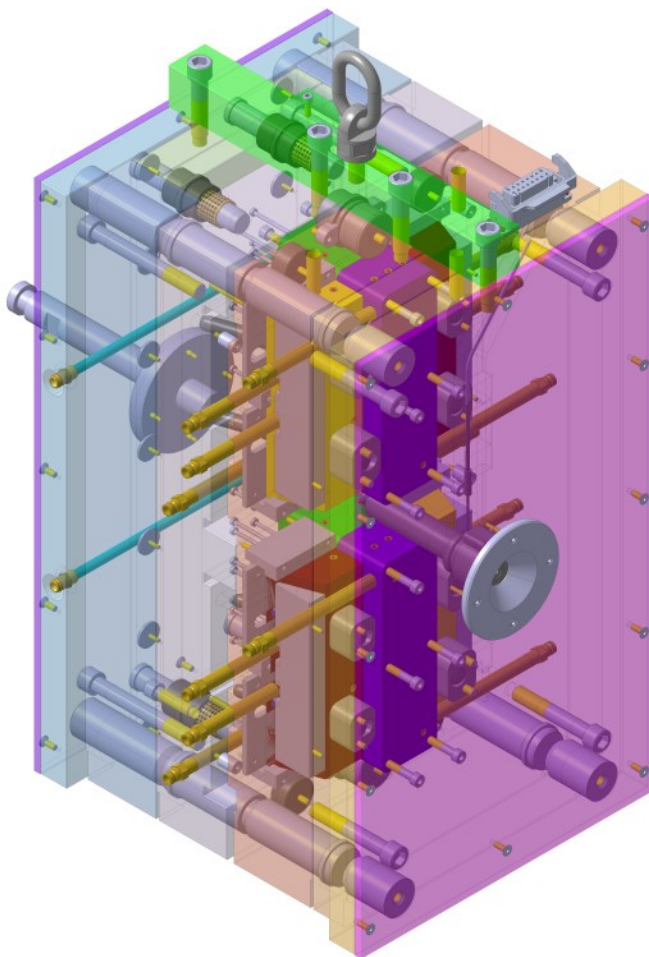
Obrázek 35: Tvarové vložky (otevřeno)

1 – tvárnice, 2 – tvárník, 3 – posuvná čelist typu A, 4 – posuvná čelist typu B, 5 – kolík A,
6 – kolík B, 7 – výrobek

7 KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍ FORMY

Konstrukce a návrh vstřikovací formy byly výrazně ovlivněny tvarem vstřikovaného dílu, násobností a typem použitého polymerního materiálu. Vstřikovací forma byla sestavena z normalizovaných komponentů firem HASCO, Meusburger a Agathon AG, přičemž některé normalizované díly byly upraveny speciálně na míru konkrétním požadavkům. Zakomponování těchto normalizovaných dílů usnadnilo návrh vstřikovací formy a zároveň přispělo ke snížení celkových výrobních nákladů.

Sestava vstřikovací formy o rozměrech $696 \times 396 \times 442$ mm (délka $\times$ šířka $\times$ výška) je konstrukčně rozdělena do tří hlavních funkčních celků – pohyblivé (levé) části, pevné (pravé) části a vyhazovacího systému.



Obrázek 36: 3D model vstřikovací formy

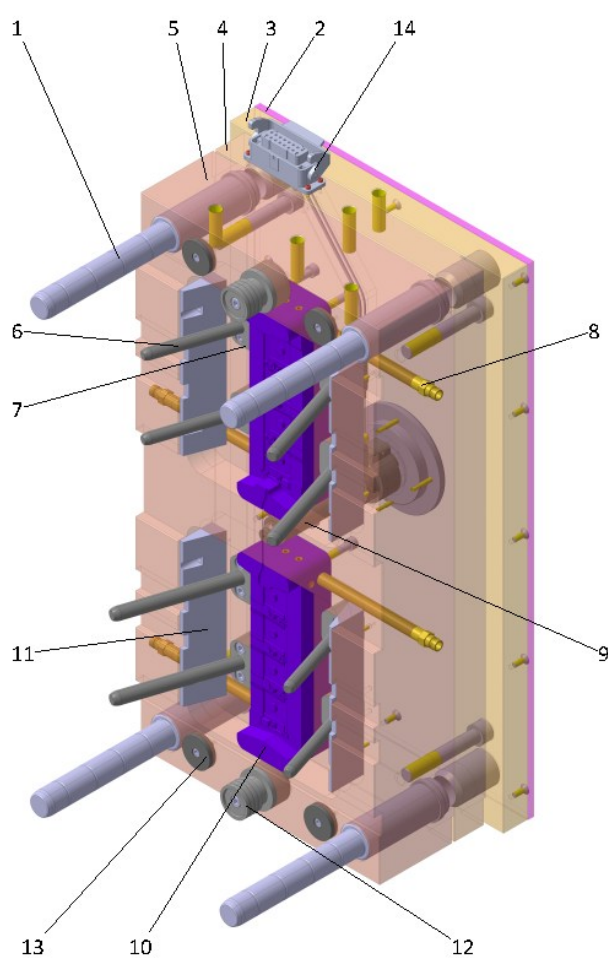
7.1 Pevná část vstřikovací formy

Nepohyblivá část vstřikovací formy označována také jako pravá polovina, se skládá ze čtyř základních desek. Pravá izolační deska slouží k tepelnému oddělení vstřikovací formy od

plastikační jednotky vstřikovacího stroje. K upnutí vstřikovací formy ke stacionární části stroje slouží pravá upínací deska, ve které je zároveň integrován středící kroužek pro přesné vystředění vstřikovací formy.

Další důležitou součástí této části vstřikovací formy je deska pro horký vtokový systém, v níž jsou umístěny napájecí kabely se zásuvkou a samotný horký vtok. Poslední komponentou je tvarová deska, do níž jsou uloženy dvě tvárnice, uchycení pro šikmé kolík a samotné šikmé kolíky.

Součástí je dále přítlačná deska, středění a opěrka dělicí roviny.



Obrázek 37: Pevná část vstřikovací formy

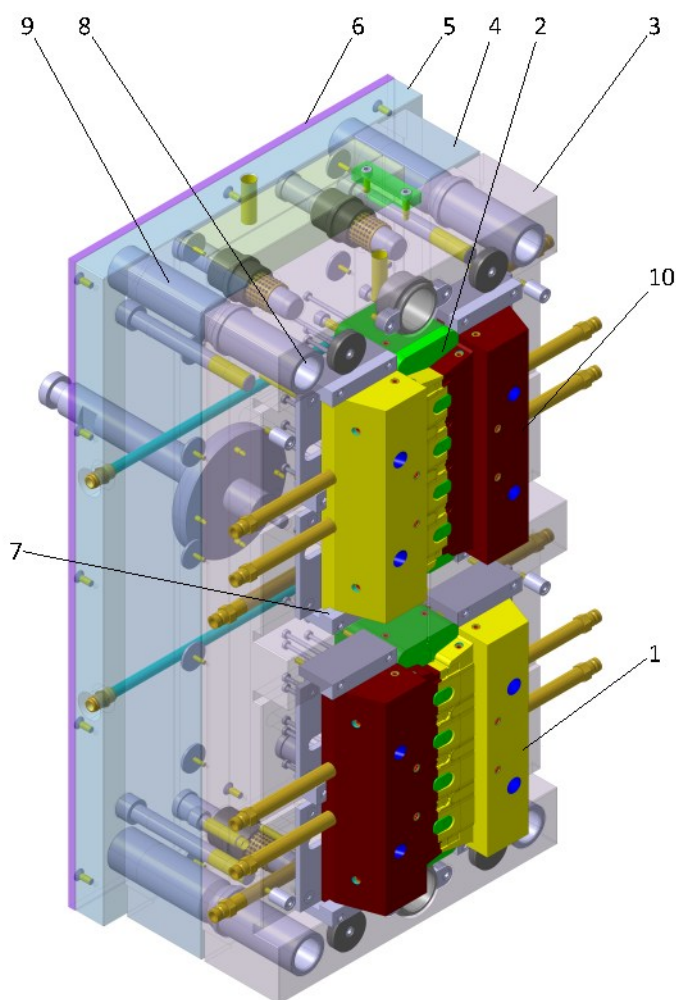
1 – vodící čep, 2 – izolační deska, 3 – kotevní deska, 4 – deska horkého vtoku, 5 – tvarová deska, 6 – šikmý kolík, 7 – uchycení šikmého kolíku, 8 – prodloužená přípojka, 9 – horký vtok, 10 – tvárnice, 11 – přítlačná deska, 12 – středění, 13 – opěrka dělicí roviny

7.2 Pohyblivá část vstřikovací formy

Pohyblivá část vstřikovací formy, označovaná jako levá polovina, je tvořena sestavou několika konstrukčních desek: izolační, upínací, dvěma rozpěrnými deskami a tvarovou deskou. Součástí této části vstřikovací formy jsou rovněž vodící, středící a upínací prvky, které zajišťují přesné vedení a vystředění pohyblivé části vůči části nepohyblivé.

V tvarové desce jsou upevněny posuvné čelisti. Dále jsou v této desce vyvrtány otvory pro vedení vyhazovačů. Dále je v této desce umístěno středění a opěrky dělicí roviny.

Rozpěrné desky obsahují středící pouzdra, která zajišťují přesnou polohu mezi upínací a opěrnou deskou. Mezi tvarovou a rozpěrnými deskami jsou upevněna vodící pouzdra. Vodící čepy jsou pevně nalisované v upínací desce.



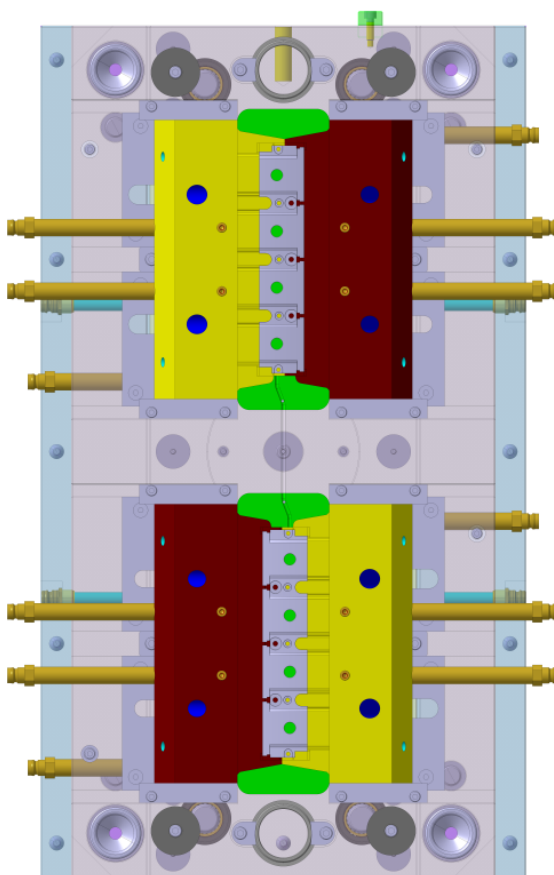
Obrázek 38: Pohyblivá část vstřikovací formy

- 1 – posuvná čelist typu B, 2 – tvárník, 3 – tvarová deska, 4 – rozpěrky, 5 – upínací deska, 6 – izolační deska, 7 – vedení, 8 – vodící pouzdro, 9 – středící trubka, 10 – posuvná čelist typu A

7.3 Násobnost vstřikovací formy

Násobnost vstřikovací formy je zvolena s ohledem na rozměry a tvar vstřikovaného výrobku, požadovanou kvalitu a ekonomickou efektivitu výroby. S rostoucí násobností se zvyšuje produktivita a tím i rentabilita výroby, avšak zároveň dochází ke zvýšení konstrukční složitosti vstřikovací formy a potenciálnímu poklesu kvality vstřikovaných výrobků.

V mém případě byla zvolena dvounásobná násobnost vstřikovací formy, která vychází z geometrie vstřikovaného výrobku a požadavků na rozmístění posuvných čelistí. Vstřikované výrobky jsou umístěny nad sebou. Vyšší násobnost by vedla k neúměrnému zvětšení rozměrů vstřikovací formy a komplikacím při jejím návrhu i výrobě.



Obrázek 39: Rozložení výrobků ve vstřikovací formě (pohled do pohyblivé části vstřikovací formy)

7.4 Vtokový systém

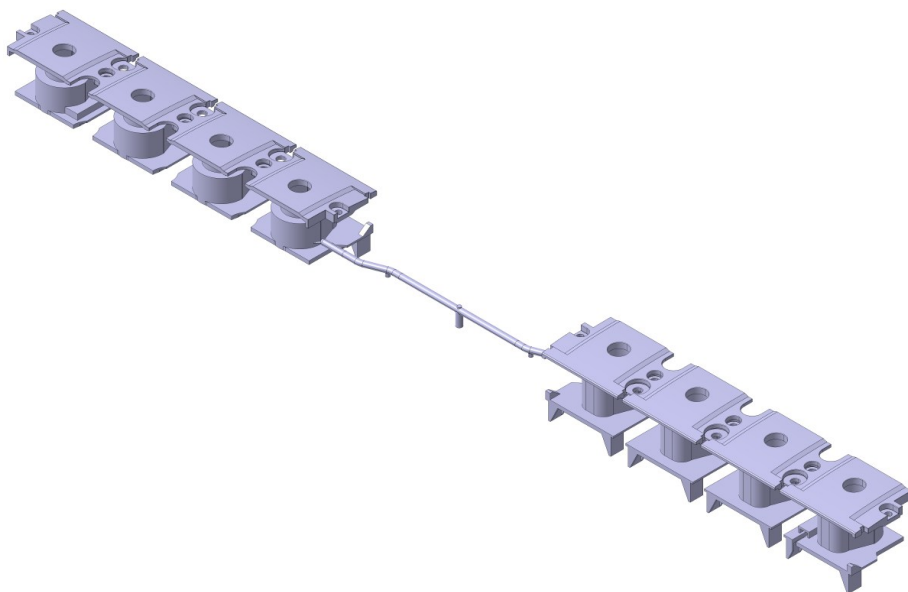
U této vstřikovací formy byla zvolena kombinace horkého a studeného vtokového systému, která umožňuje optimalizovat proces vstřikování s ohledem na konstrukční a technologické požadavky.

Návrh horkého vtokového systému byl proveden s využitím katalogu společnosti Meusburger, přičemž po zadání požadovaných technických parametrů byl výsledný návrh automaticky vygenerován konfiguračním nástrojem. V rámci tohoto řešení byla zvolena jednoduchá (single) horká tryska, která zajišťuje přímé přivedení taveniny do rozváděcí části studeného vtokového systému.



Obrázek 40: Horký vtokový systém

Vtok je umístěn v centrální části výrobku, konkrétně na zaoblené ploše na nepohledové straně, čímž je minimalizován jeho vliv na vzhled funkčních částí. Současně se jedná o tunelový vtok, který přispívá k automatickému oddělení vtokového zbytku. Ten je po ukončení vstřikovacího cyklu odebírán pomocí manipulačního robota, což přispívá ke zkrácení cyklového času a zajišťuje opakovatelnost procesu.

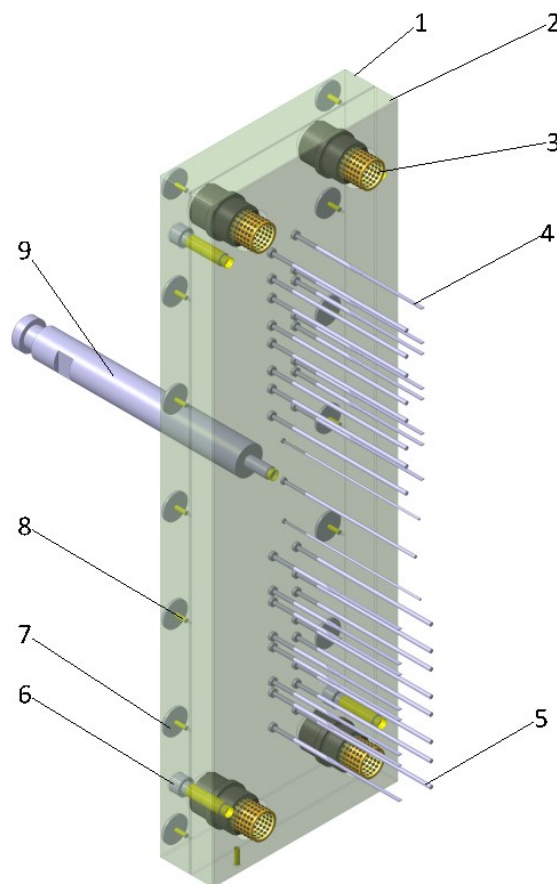


Obrázek 41: Vtoková soustava

7.5 Vyhazovací systém

Vyhazovací systém je nezbytnou součástí vstřikovací formy, sloužící k odformování vstřikovaného výrobku a vtokového zbytku z rozváděcích kanálků. Tvoří jej dvě vyhazovací desky – kotevní a opěrná, mezi nimiž je umístěno celkem 35 vyhazovačů. Z toho 32 vyhazovačů (16 plochých a 16 válcových) slouží k vyhazování výrobku a 3 vyhazovače jsou umístěny v rozvodných kanálcích pro odformování vtokového zbytku. Obě desky jsou spojeny šrouby.

Součástí vyhazovacího systému je táhlo, které je uchyceno závitem v kotevní desce. Pro zajištění přesného vedení vyhazovacího systému jsou dále použita vodící kuličková pouzdra a dorazové destičky (dosedky).

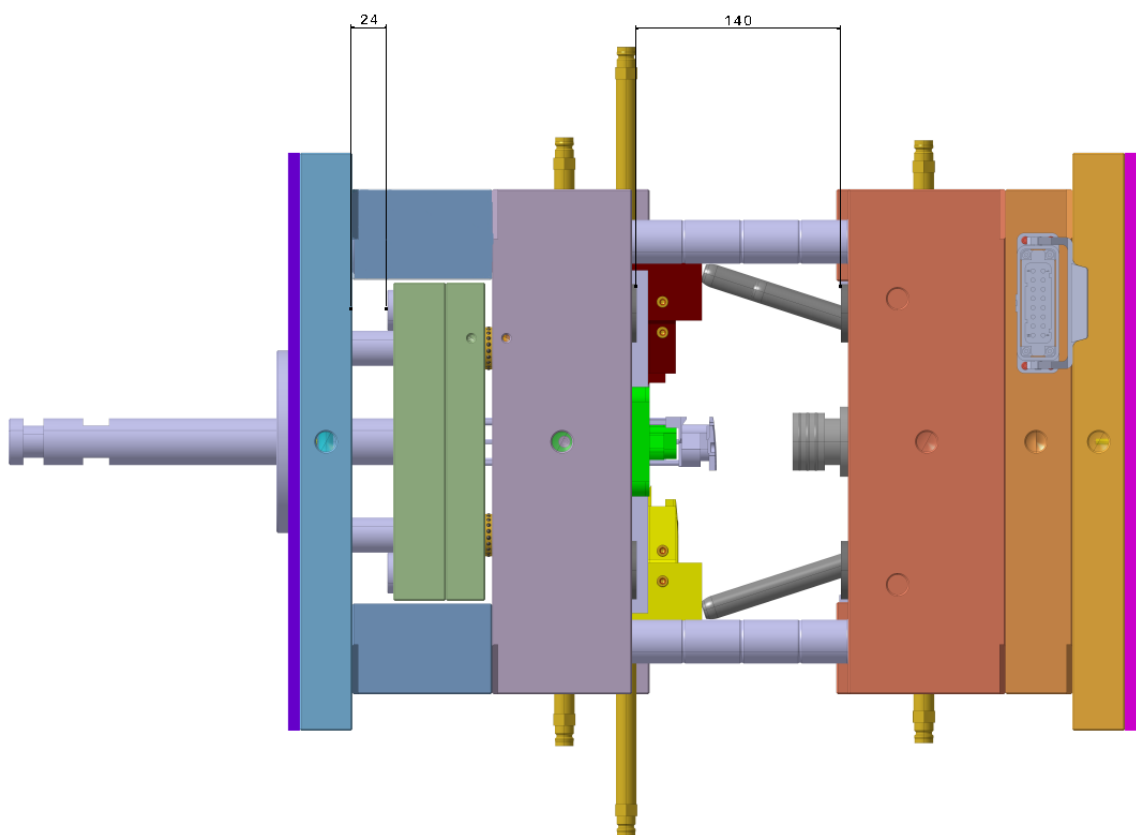


Obrázek 42: Vyhazovací systém

- 1 – opěrná deska, 2 – kotevní deska, 3 – kuličkové vodící pouzdro, 4 – plochý vyhazovač,
5 – válcový vyhazovač, 6 – šroub M12 x 45, 7 – dosedka, 8 – šroub M4 x 16, táhlo

7.6 Konstrukční řešení vyhazovacího systému

Vyhazovací systém zajišťuje spolehlivé uvolnění výrobku z dutiny vstřikovací formy. Využitím tunelového vtokového kanálu je zároveň zajištěno automatické oddělení vtokového zbytku od výrobku. Následující obrázek potvrzuje, že zdvih vyhazovačů je dostatečný, přičemž pro úplné vyhození výrobku je nutné jejich vysunutí o 24 mm. Během odformování by se měla levá část vstřikovací formy posunout minimálně o 140 mm, aby vznikl dostatečný prostor pro vypadnutí výrobku i vtokového zbytku.



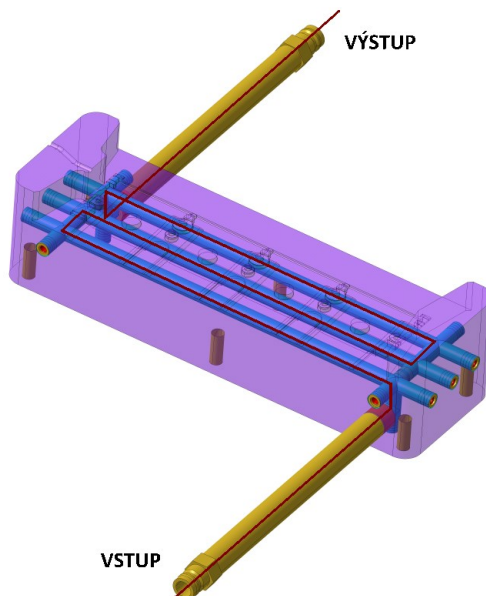
Obrázek 43: Požadované vysunutí vyhazovačů a odjezd levé části vstřikovací formy při odformování

7.7 Temperační systém

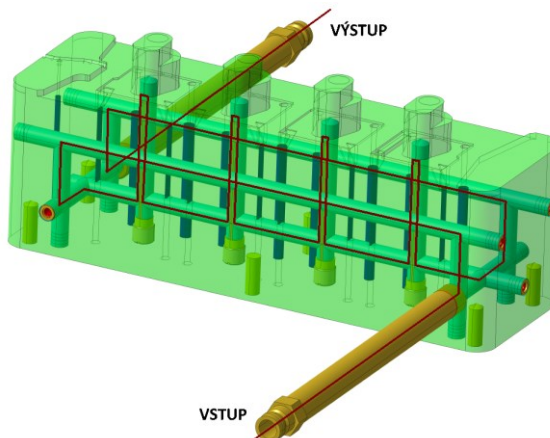
Během vstřikovacího procesu dochází k přenosu tepla z polymerní taveniny do vstřikovací formy, čímž se forma zahřívá. Efektivní odvod tohoto tepla je zajištěn temperací, při níž temperační médium proudí speciálně vyvrtanými kanály ve vstřikovací formě. Temperace může sloužit také k ohřevu vstřikovací formy na provozní teplotu při jejím startu.

Každá tvarová část vstřikovací formy byla vybavena temperačním okruhem pro odvod tepla. Dále byla temperací opatřena i upínací deska v pohyblivé části vstřikovací formy, a to

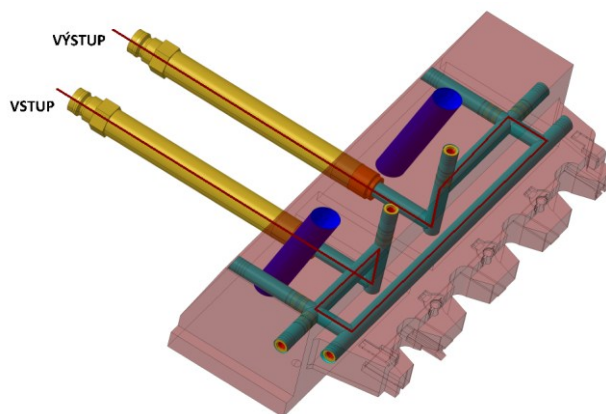
z důvodu, že kanálek zde funguje jako průchozí otvor pro jednodušší zapojení hadic. Přívod temperačního média do tvárnice a tvárnice byl řešen prodlouženými přípojkami vedenými skrze tvarové desky. Jako temperační médium byla zvolena voda.



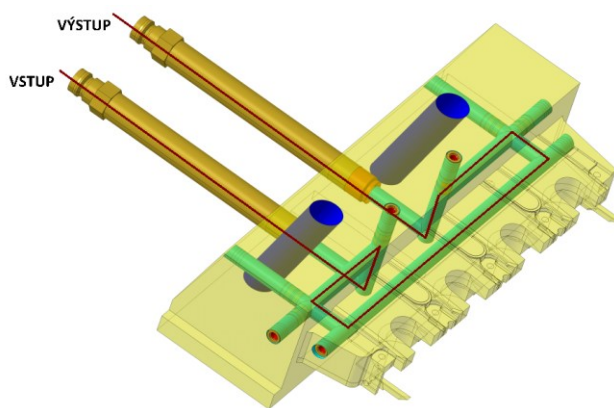
Obrázek 44: Temperace tvárnice



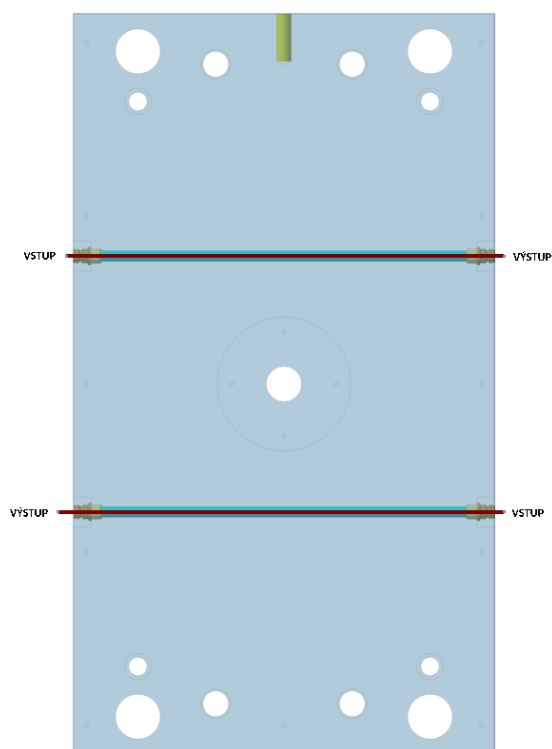
Obrázek 45: Temperace tvárníku



Obrázek 46: Temperace posuvné čelisti typu A



Obrázek 47: Temperace posuvné čelisti typu B



Obrázek 48: Temperace upínací desky

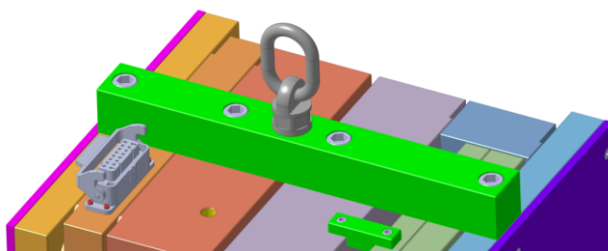
7.8 Odvzdušnění vstřikovací formy

Nedostatečné odvzdušnění dutiny vstřikovací formy může vést k provozním komplikacím. Uvězněný vzduch uvnitř dutiny může způsobit neúplné zaplnění vstřikovací formy nebo vznik vizuálních a funkčních vad na výrobku.

V případě této vstřikovací formy bylo při konstrukčním návrhu počítáno s odvzdušněním prostřednictvím dělicích rovin a vůlí kolem vyhazovačů.

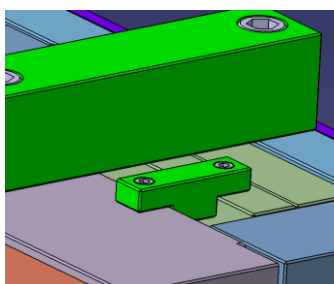
7.9 Manipulace se vstřikovací formou

Pro manipulaci se vstřikovací formou je na její horní straně upevněn ocelový mostek, který je k formě přichycen pomocí čtyř šroubů. Součástí tohoto řešení je také závěsné oko se závitem M16 a nosností 2800 kg, což je více než dostačující vzhledem k hmotnosti vstřikovací formy, která činí 1210 kg. Zároveň mostek zamezuje nežádoucímu otevření vstřikovací formy během manipulace.



Obrázek 49: Ocelový mostek

Jako doplňkový bezpečnostní prvek je u vstřikovací formy použita mechanická pojistka proti samovolnému pohybu vyhazovačů. Jedná se o vyfrézovaný ocelový prvek, který se vkládá do mezery mezi tvarovou desku pohyblivé části vstřikovací formy a kotevní desku. Pojistka je následně upevněna pomocí šroubů do obou desek, čímž zajišťuje pevné spojení a zabráňuje nechtěnému pohybu vyhazovacího systému během manipulace se vstřikovací formou.



Obrázek 50: Pojistka vyhazovacího systému

8 ZVOLENÍ POLYMERNÍHO MATERIÁLU

Pro výrobu daného výrobku byl zvolen materiál Durethan® BKV30FN04, konstrukční Polyamid 6 (PA6) vyztužený 30 % skelných vláken. Tento materiál se vyznačuje vysokou pevností, tuhostí a rozměrovou stabilitou. Díky nehořlavé modifikaci (označení FN) je vhodný pro použití v elektrotechnickém průmyslu, kde jsou kladeny zvýšené požadavky na bezpečnost a tepelnou odolnost. Zvolený polymerní materiál tak zajišťuje spolehlivou funkci výrobku i při vyšším mechanickém a tepelném namáhání.

Tabulka 1: Vlastnosti polymerního materiálu Durethan

Vlastnosti	Parametr	Hodnota	Jednotka	Norma
Reologické vlastnosti	Index toku taveniny	17	cm ³ / 10 min	ISO 1133-1
	Výrobní smrštění, podélné	0,2	%	ISO 294-4
	Výrobní smrštění, příčné	0,7	%	ISO 294-4
Teplotní vlastnosti	Teplota taveniny	250 - 280	°C	-
	Teplota vstřikovací formy	70 - 90	°C	-
Mechanické vlastnosti	Modul pružnosti v tahu	6700	MPa	ISO 527-1,-2
	Mez pevnosti v tahu	90	MPa	ISO 527-1,-2
Fyzikální vlastnosti	Hustota	1423	kg/m ³	ISO 1183

(zdroj: [37])

9 ZVOLENÍ VSTŘIKOVACÍHO STROJE

Pro zhotovení zvoleného výrobku byl vybrán vstřikovací stroj ENGEL e-victory 120. Výběr vstřikovacího stroje vycházel především z požadovaných rozměrů vstřikovací formy, potřebné uzavírací síly a zajištění dostatečného otevření vstřikovací formy pro automatizovaný odběr výrobků pomocí robota. Zvolený vstřikovací stroj disponuje uzavírací silou 1 200 kN, která je dostatečná pro danou velikost vstřikovací formy a plánovaný typ výroby.

Pro naplnění dutiny vstřikovací formy je požadován objem taveniny 70,3 cm³, který spadá do rozsahu vstřikovací kapacity daného stroje. Výběr vstřikovacího stroje tak odpovídá jak technickým požadavkům vstřikovací formy, tak potřebám výrobního procesu. Vyobrazení zvoleného vstřikovacího stroje je uvedeno (Obrázek 11).

Tabulka 2: Technické parametry vstřikovacího stroje ENGEL

e-victory 120	Hodnota	Jednotka
Uzavírací síla	1200	kN
Průměr šneku	40	mm
Objem vstřikovací jednotky	226	cm ³
Maximální vstřikovací tlak	2000	bar
Maximální velikost upínací desky	740 x 680	mm
Maximální délka otevření	507	mm

(zdroj:[38])

ZÁVĚR

Hlavním cílem práce bylo navrhnout a zkonstruovat vstřikovací formu pro konkrétní plastový výrobek, a to včetně její 3D modelace. Pro veškeré modelovací a konstrukční práce byl použit softwarový program Catia V5-R62020, který umožňuje efektivní tvorbu nejen výrobků, ale i celých sestav vstřikovacích forem.

Teoretická část posloužila jako základ pro praktické zpracování návrhu vstřikovací formy, přičemž byly respektovány technologické zásady správné konstrukce vstřikovacích forem pro vstřikování polymerů. Nejprve byl navržen samotný plastový výrobek, vybraný z oblasti elektroinstalací, konkrétně jističe 3VA. Modelování výrobku zahrnovalo práci s rovinami a dalšími funkcemi programu Catia. Po dokončení modelu výrobku následoval návrh a následné sestavení vstřikovací formy, přičemž většina dílů byla převzata z katalogových systémů firem HASCO, Meusburger a Agathon AG.

Volba dělicích rovin byla inspirována předlohou výrobku. Skládá se z jedné hlavní dělicí roviny a dvou vedlejších. Forma byla navržena jako dvojnásobná, a to s ohledem na rozměry výrobku a požadavek bočního odformování. Celá vstřikovací forma je rozdělena na tři hlavní podsestavy – pevné, pohyblivé a vyhazovací části. Pro zajištění správného odformování výrobku byl navržen systém s více druhy vyhazovačů, a to jak válcových, tak plochých. Specifikem návrhu bylo také řešení bočního odformování pomocí šikmých vodicích kolíků a rozdílných čelistí, které se odtahují během otevření vstřikovací formy.

Kombinace horkého a studeného vtokového systému zajišťuje rovnoměrné plnění dutin. Tunelový vtok umístěný v levé části vstřikovací formy usnadňuje oddělení vtokového zbytku.

Pro daný plastový výrobek byl zvolen materiál PA6 (Durethan) s ohledem na jeho pevnostní vlastnosti, rozměrovou stabilitu a nehořlavou úpravu. Zohledněno bylo i smrštění polymerního materiálu při návrhu dutiny vstřikovací formy. Vstřikovací stroj e-victory 120 od společnosti Engel byl zvolen na základě požadavků. V závěru práce byla vytvořena výkresová dokumentace.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Advanced Injection Molding Methods: Review. Online. National Library of Medicine. 2023. Dostupné z: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/37687494/>. [cit. 2025-05-09].
- [2] Influence of Injection Molding Parameters and Distance from Gate on the Mechanical Properties of Injection-Molded Polypropylene. Online. Web of Science. 2025. Dostupné z: <https://www.webofscience.com/wos/woscc/full-record/WOS:001474571100001>. [cit. 2025-05-09].
- [3] A Review of Current Trends in Injection Moulding Process. Online. ResearchGate. 2024. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/380968875_A_Review_of_Current_Trends_in_Injection_Moulding_Process. [cit. 2025-05-09].
- [4] BĚHÁLEK, Luboš, 2015. *Polymery*. Online. Code Creator. ISBN 978-80-88058-66-3. Dostupné z: <https://publi.cz/books/180/Cover.html>. [cit. 2024-11-24].
- [5] VRATISLAV, Ducháček, 2011. *POLYMER: Výroba, vlastnosti, zpracování, použití*. 3rd ed. Praha: VŠCHT Praha. ISBN 978-80-7080-788-0.
- [6] KALODA, Vít. *Konstrukce vstříkovací formy pro výrobu zkušebních těles*. Bakalářská práce. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta technologická., 2018.
- [7] PETR, Lenfeld, 2016. *Technologie II. Část 2., Zpracování plastů*. 3rd ed. Liberec. ISBN 978-80-7494-305-8.
- [8] FRICK, Achim; STERN, Claudia a MURALIDHARAN, Vibunanthan. *Practical Testing and Evaluation of Plastics*. Wiley, 2018. ISBN 9783527334117.
- [9] *Polymery amorfni a semikrystalické z hlediska vstřikování*. Online. MM Průmyslové spektrum. 2012. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/polymery-amorfni-a-semikrystalicke-z-hlediska-vstrikovani>. [cit. 2024-11-26].
- [10] CALLISTER JR., William D. a RETHWISCH, David G. *Materials Science and Engineering: An Introduction*. 8th ed. Wiley, 2019. ISBN 978-0-470-41997-7.
- [11] BĚHÁLEK, Luboš; BRDLÍK, Pavel; BORŮVKA, Martin a LENFELDOVÁ, Irena. *Úvod do technologií zpracování plastů*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2019. ISBN 978-80-7494-460-4.

- [12] GORDON, M. Joseph. *Total quality process control for injection molding*. 2nd ed. Wiley, 2010. ISBN 978-0-470-22963-7.
- [13] CHANDA, Manas a ROY, Salil K. *Plastics Technology Handbook*. 4th ed. CRC Press, 2006. ISBN 9780429124020.
- [14] SEIDL, Martin. *Konstrukce plastových dílů*. Online. Technická univerzita v Liberci, 2019. ISBN 978-80-7494-461-1. Dostupné z: <https://publi.cz/book/2539-konstrukce-plastovych-dilu>. [cit. 2024-11-26].
- [15] FINK, Johannes Karl. *Reactive Polymers Fundamentals and Applications - A Concise Guide to Industrial Polymers*. Online. 2nd ed. Elsevier, 2013. ISBN 978-1-4557-3158-9. Dostupné z: <https://app-knovel-com.proxy.k.utb.cz/kn/resources/kpRPFAAC05/toc>. [cit. 2024-11-25].
- [16] FRIED, Joel R. *Polymer Science and Technology*. 3rd ed. Pearson Education, 2014. ISBN 978-0-13-703955-5.
- [17] ZEMAN, Lubomír. *Vstřikování plastů 2 simulace, analýzy, odstraňování vad, 3D tisk - teorie a praxe*. Online. Grada, 2021. ISBN 978-80-271-4248-4. Dostupné z: <https://www.bookport.cz/e-kniha/vstrikovani-plastu-2-2037495/>. [cit. 2024-11-25].
- [18] LENFELD, Petr. *Katedra tváření kovů a plastů - skripta*. Online. Katedra tváření kovů a plastů. 2010. Dostupné z: https://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/04.htm. [cit. 2024-11-25].
- [19] CHEN, Shia-Chung a TURNG, Lih-Sheng. *Advanced injection molding technologies*. Mnichov: Hanser, 2016. ISBN 978-1-56990-603-3.
- [20] YANG, Yi; CHEN, Xi; LU, Ningyun a GAO, Furong. *Injection molding process control, monitoring, and optimization*. Mnichov: Hanser, 2016. ISBN 9781569905920.
- [21] SEIDL, Martin. *Stroje pro zpracování polymerních materiálů*. Online. Code Creator, 2016. ISBN 978-80-88058-71-7. Dostupné z: <https://publi.cz/books/181/Cover.html>. [cit. 2024-11-26].
- [22] *Vstřikovací stroj victory*. Online. In: ENGEL. 2021. Dostupné z: <https://www.engelglobal.com/cs/cz/produkty/vstrikovaci-stroje/bezsloupkove-vstrikovaci-stroje>. [cit. 2024-12-01].

- [23] *FASTI KOCH XPERT*. Online. In: KOCH TECHNIK. Dostupné z: <https://www.koch-technik.com/produkte/granulat-trocknung/fasti-koch-xpert-%e2%80%92-trocknen-mit-der-erd-drucklufttechnologie/>. [cit. 2024-12-01].
- [24] ROSATO, Dominick V.; ROSATO, Donald V. a ROSATO, Marlene G. *Injection Molding Handbook*. Online. 3rd ed. Springer New York, 2012. ISBN 978-1-4613-7077-2. Dostupné z: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-1-4615-4597-2>. [cit. 2024-11-26].
- [25] ZEMAN, Lubomír. *Vstřikování plastů*. Online. Praha: Grada, 2018. ISBN 978-80-247-2818-6. Dostupné z: <https://www.bookport.cz/e-kniha/vstrikovani-plastu-2038859/>. [cit. 2024-11-26].
- [26] OSSWALD, Tim A.; TURNG, Lih-Sheng a GRAMANN, Paul. *Injection Molding Handbook*. 2nd ed. Mnichov: Hanser, 2007. ISBN 978-3-446-40781-7.
- [27] NEUHÄUSL, Emil. *Vady výstřiků – (1.–6.) díl*. Online. MM Průmyslové spektrum. 2010. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/vyhledavani/clanek?q=Vady+v%C3%BDst%C5%99ik%C5%AF+>. [cit. 2024-11-26].
- [28] BOBEK, Jiří. *Vstřikovací formy pro zpracování termoplastů*. Online. Code Creator, 2016. ISBN 978-80-88058-65-6. Dostupné z: <https://publi.cz/books/179/Cover.html>. [cit. 2024-11-28].
- [29] *Vstřikovací formy*. Online. Ústav strojírenské technologie. 2009. Dostupné z: https://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/img/cviceni/htn_tvareci_nastroje_vstrikovaci_formy_zak.pdf. [cit. 2024-11-28].
- [30] MOHREN, Paul; MICHAELI, Walter a MENGES, Georg. *How to Make Injection Molds*. Online. 3rd ed. Mnichov: Hanser, 2001. ISBN 978-3-446-40180-8. Dostupné z: http://www.ciando.com/img/books/extract/3446401806_lp.pdf. [cit. 2024-11-28].
- [31] ZHOU, Sophia. *Surface Finishes for Plastic Injection Molded Parts*. Online. In: HITOPIND. 2024. Dostupné z: <https://hitopindustrial.com/surface-finishes-for-plastic-injection-molded-parts/>. [cit. 2024-11-28].
- [32] *Finishing Services SPI*. Online. In: Xometry where big ideas are built. C2018-2024. Dostupné z: <https://xometry.eu/en/xometry-finishing-service/#gallery-finishes-slider-674c5608dc988-2>. [cit. 2024-12-01].

- [33] *Elektrická přesná plastová vstřikovací forma*. Online. In: Thinkmold. 2023. Dostupné z: <https://cs.thinkmold.net/product/electrical-precision-plastic-injection-mold>. [cit. 2024-12-08].
- [34] MELITO, Steve. *Druhy vtokových ústí*. Online. In: Fictiv. 2024. Dostupné z: <https://www.fictiv.com/articles/the-ten-most-common-injection-molding-defects>. [cit. 2024-12-08].
- [35] *HOT RUNNER SYSTEMS*. Online. In: Meusburger. 2024. Dostupné z: <https://www.meusburger.com/CS/CZ/produkty/horke-vtoky/customised-hot-runner-systems>. [cit. 2024-12-01].
- [36] *Vyhazovač pro odvzdušnění*. Online. In: Meusburger. 2024. Dostupné z: <https://ecom.meusburger.com/e/index.asp?id=2309&rnd=89254>. [cit. 2024-12-08].
- [37] *Durethan® BKV30FN04 000000 - PA6-GF30 FR(40) – CAMPUS® Datasheet*. Online. 2024. Dostupné z: <https://www.campusplastics.com/campus/en/datasheet/Durethan%C2%AE+BKV30FN04+000000/Envalior/50/e5a68bf9/SI?pos=155>. [cit. 2025-04-18].
- [38] *Technická data victory*. Online. 2013. Dostupné z: <https://www.plastex.cz/userfiles/P6ENGELe-victory440-12090110technickdata.pdf>. [cit. 2025-05-05].

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: Rozdělení polymerů	15
Obrázek 2: Oblast využití u amorfních polymerů	17
Obrázek 3: Struktura amorfního polymeru	17
Obrázek 4: Oblast využití u semikrystalických polymerů.....	18
Obrázek 5: Struktura semikrystalického polymeru	18
Obrázek 6: Struktura TPE.....	20
Obrázek 7: Schématické znázornění makromolekul	21
Obrázek 8: Odolnost plastů proti UV záření	22
Obrázek 9: Přísady do polymerů	23
Obrázek 10: Průběh technologie vstřikování.....	25
Obrázek 11: Vstřikovací stroj e-victory od firmy ENGEL.....	27
Obrázek 12: Vstřikovací jednotka	28
Obrázek 13: Schéma uzavírací jednotky	29
Obrázek 14: Sušicí zařízení KOCH	31
Obrázek 15: Vstřikovací cyklus.....	33
Obrázek 16: Průběh vnitřního tlaku p_i v dutině vstřikovací formy během procesu vstřikování	34
Obrázek 17: Fontánový tok taveniny.....	35
Obrázek 18: Příklady zjevných vad	38
Obrázek 19: Otevřená dvoudesková vstřikovací forma.....	40
Obrázek 20: Ukázka povrchu podle SPI.....	42
Obrázek 21: Ukázka jednonásobné vstřikovací formy	43
Obrázek 22: Druhy vtokových ústí.....	45
Obrázek 23: Ukázka systému s horkým vtokem	46
Obrázek 24: Ukázka temperačního systému vstřikovací formy	48
Obrázek 25: Vyhazovač pro odvzdušnění	51
Obrázek 26: Vrchní pohled na 3D model vstřikovaného dílu	56
Obrázek 27: Spodní pohled na 3D model vstřikovaného dílu	56
Obrázek 28: Poloha hlavní dělicí roviny	57
Obrázek 29: Poloha vedlejší roviny	57
Obrázek 30: Tvárnice.....	58
Obrázek 31: Tvárník	59
Obrázek 32: Posuvná čelist typu A.....	59
Obrázek 33: Posuvná čelist typu B	60

Obrázek 34: Tvarové vložky (uzavřeno)	60
Obrázek 35: Tvarové vložky (otevřeno)	61
Obrázek 36: 3D model vstřikovací formy	62
Obrázek 37: Pevná část vstřikovací formy	63
Obrázek 38: Pohyblivá část vstřikovací formy	64
Obrázek 39: Rozložení výrobků ve vstřikovací formě (pohled do pohyblivé části vstřikovací formy).....	65
Obrázek 40: Horký vtokový systém.....	66
Obrázek 41: Vtoková soustava	66
Obrázek 42: Vyhazovací systém.....	67
Obrázek 43: Požadované vysunutí vyhazovačů a odjezd levé části vstřikovací formy při odformování	68
Obrázek 44: Temperace tvárnice	69
Obrázek 45: Temperace tvárníku	69
Obrázek 46: Temperace posuvné čelisti typu A	70
Obrázek 47: Temperace posuvné čelisti typu B.....	70
Obrázek 48: Temperace upínací desky	70
Obrázek 49: Ocelový mostek.....	71
Obrázek 50: Pojistka vyhazovacího systému.....	71

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1: Vlastnosti polymerního materiálu Durethan.....	72
Tabulka 2: Technické parametry vstřikovacího stroje ENGEL.....	73

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

A	Start vstřikování, tavenina do dutiny
ABS	Akrylonitrilbutadienstyren
bar	Jednotka tlaku
B	Konec plnění, začátek dotlaku a chlazení
C	Zatuhnutí taveniny ve studeném vtokovém kanálu
cm ³	Centimetr krychlový
cm ³ /10 min	Centimetr krychlový za 10 min
CR	Chloroprenový kaučuk
D	Konec dotlaku, začátek plastikace
DLC	Diamond-like carbon (diamantu podobný uhlík)
E	Končí plastikace
EPDM	Etylen-propylen-dienový kaučuk
F	Otevření formy a vyhození výrobku
IR	Izoprenový kaučuk
kg/m ³	Kilogram na centimetr krychlový
kg	Kilogram
kN	Kilonewton
LCP	Liquid crystal polymers (tekuté krystalické polymery)
mm	Milimetr
MPa	Megapascal
NBR	Butadien-akrylonitrilový kaučuk
PA	Polyamid
PA-xx	Různé typy polyamidu
PC	polykarbonát
PE	polyethylen

PEEK	Polyetheretherketon
PEI	Polyetherimid
PET	Polyethylentereftalát
PBT	Polybutylentereftalát
PI	Polyimid
PMMA	Polymetametakrylát
POM	Polyoxymethylen
PP	polypropylen
PPO	Polyfenylenoxid
PS	Polystyren
PVC	Polyvinylchlorid
p	Tlak
p_i	Vnitřní tlak v dutině formy
p_z	Zbytkový tlak
s	Sekunda
SBR	Butaiden-styrenový kaučuk
SPI A-D	Society of the Plastics Industry (povrchové úpravy vstřikovacích forem)
T	Teplota
T_g	Teplota skelného přechodu
T_m	Teplota tání
t	Čas
t_d	Doba dotlaku
t_{chl}	Doba chlazení
t_{pl}	Doba plastikace
t_v	Doba plnění
t_m	Doba prodlevy

t_{s1}	Uzavření vstřikovací formy
t_{s2}	Přisunutí plastikační jednotky ke vstřikovací formě
t_{s3}	Doba vyhození výstřiku
TPE	Termoplastický elastomer
UV	Ultrafialové záření
VDI	Verein Deutscher Ingenieure (Spolek německých inženýrů)
2D	dvourozměrný
3D	trojrozměrný
%	Procento
°C	Stupeň Celsia

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha P I: Datový list polymerního materiálu

Příloha P II: Technický list stroje

Příloha P III: Sestava vstřikovací formy

PŘÍLOHA P I: DATOVÝ LIST POLYMERNÍHO MATERIÁLU



Datasheet

Durethan BKV30FN04 000000

PA 6, 30% glass fibers, injection molding, halogen free flame retardant, heat-aging stabilized

ISO Shortname: ISO 18396-PA 6,GF30 FR(40),GF2HR,S12-110

Property	Test Condition	Unit	Standard	guide value ¹ d.s.m. cond.	
Rheological properties					
C Melt volume-flow rate	280 °C; 5 kg	cm ³ /(10 min)	ISO 1133-1	17	
C Molding shrinkage, parallel	80x80x2; 280 °C / MT 80 °C; 600 bar	%	ISO 294-4	0.2	
C Molding shrinkage, transverse	80x80x2; 280 °C / MT 80 °C; 600 bar	%	ISO 294-4	0.7	
Post- shrinkage, parallel	80x80x2; 120 °C; 4 h	%	ISO 294-4	0.1	
Post- shrinkage, transverse	80x80x2; 120 °C; 4 h	%	ISO 294-4	0.1	
Mechanical properties (23 °C/50 % r. h.)					
C Tensile modulus	1 mm/min	MPa	ISO 527-1,-2	10300	6700
C Tensile Stress at break	5 mm/min	MPa	ISO 527-1,-2	130	90
C Tensile Strain at break	5 mm/min	%	ISO 527-1,-2	3	6
C Charpy impact strength	23 °C	kJ/m ²	ISO 179-1eU	60	68
C Charpy impact strength	-30 °C	kJ/m ²	ISO 179-1eU	55	50
C Charpy notched impact strength	23 °C	kJ/m ²	ISO 179-1eA	<10	13
C Charpy notched impact strength	-30 °C	kJ/m ²	ISO 179-1eA	<10	
Izod impact strength	23 °C	kJ/m ²	ISO 180-1U	55	65
Izod notched impact strength	23 °C	kJ/m ²	ISO 180-1A	<10	13
Flexural modulus	2 mm/min	MPa	ISO 178-A	10200	6600
Flexural strength	2 mm/min	MPa	ISO 178-A	230	158
Flexural strain at flexural strength	2 mm/min	%	ISO 178-A	3.1	5.2
Flexural stress at 3.5 % strain	2 mm/min	MPa	ISO 178-A		140
Ball indentation hardness		N/mm ²	ISO 2039-1	205	110
Thermal properties					
C Melting temperature	10 °C/min	°C	ISO 11357-1,-3	220	
C Temperature of deflection under load	1.80 MPa	°C	ISO 75-1,-2	205	
C Temperature of deflection under load	0.45 MPa	°C	ISO 75-1,-2	219	
Vicat softening temperature	50 N; 120 °C/h	°C	ISO 306	212	
C Coefficient of linear thermal expansion, parallel	23 to 55 °C	10 ⁻⁶ /K	ISO 11359-1,-2	0.2	
C Coefficient of linear thermal expansion, transverse	23 to 55 °C	10 ⁻⁶ /K	ISO 11359-1,-2	0.8	
C Burning behavior UL 94	1.5 mm	Class	UL 94	V-0	
C Burning behavior UL 94	0.75 mm	Class	UL 94	V-0	
C Burning behavior UL 94-5V	1.5 mm	Class	UL 94	5VA	
C Oxygen index	Method A	%	ISO 4589-2	32	
Resistance to heat (ball pressure test)		°C	IEC 60895-10-2	209	
Glow wire test (GWFI)	0.4 mm	°C	IEC 60895-2-12	960	

PŘÍLOHA P II: TECHNICKÝ LIST STROJE

Technická data victory .../90,110,120 e-victory .../90,110,120

		Uzávěr		
		victory 90 e-victory 90	victory 110 e-victory 110	victory 120 e-victory 120
Uzavírací síla	to/kN	90 / 900	110 / 1100	120 / 1200
Otevírací síla	kN	38	38	38
Max. dráha otevírání	mm	500	500	500
Mín. vestavná výška formy	mm	300	300	300
Odstup desek max.	mm	800	800	800
Standardní velikost upínacích desek h x v	mm	740 x 680	740 x 680	740 x 680
Zvětšené upínací desky / Wide-Platen h x v	mm	790 x 680	790 x 680	790 x 680
Šířka vypádací sady Standard	mm	500	500	500
Šířka vypádací sady Wide-Platen	mm	550	550	550
Dráha vyhazovače	mm	130	130	130
Síla vyhazovače vpřed / zpět	kN	40 / 14	40 / 14	40 / 14
Max. hmotnost formy na BAP/Těžké ¹	kg / mm	800 / 183	800 / 183	800 / 183
Počet chladicích okruhů nástroje	nxl/min	4x10	4x10	4x10
Doba běhu naprázdno	sec @ mm	1.6 @ 200	1.6 @ 200	1.6 @ 200

1. Bez přídavných vodících botek

victory 90, 110, 120		Vstříkovací jednotka			
		200	330	500	650
Hmotnost	to	6.6 / 7.0	6.7 / 7.1	6.8 / 7.2	7.0 / 7.4
Standard / Wide-Platen	US tons	7.3 / 7.7	7.4 / 7.8	7.5 / 7.9	7.7 / 8.2
Olejová náplň ¹	l	300	300	300	300
	gal	79.3	79.3	79.3	79.3
Výkonu pohonu HV1 / HV2	kW	15 / 18.5	15 / 18.5	18.5 / 18.5	22 / 22
	hp	20.1 / 24.8	20.1 / 24.8	24.8 / 24.8	29.5 / 29.5
Výkonu pohonu SHV1 / SHV2	kW	17.1 / 18.3	18.3 / 20.9	19.8 / 24.8	21.3 / 22.2
	hp	22.9 / 24.5	24.5 / 28.0	26.6 / 33.3	28.6 / 29.8
Topný výkon vstříkovací jednotky (max. výkon / max. zón)	kW / n	6.8 / 4	9.2 / 4	12.2 / 5	13.4 / 5
Přivedený příkon HV1 / HV2	kW	23 / 27	26 / 29	32 / 32	37 / 37
Přivedený příkon SHV1 / SHV2	kW	26 / 26	28 / 31	33 / 38	36 / 37
Proud připojení ² HV1 / HV2	A	41 / 47	44 / 51	53 / 53	65 / 65
Proud připojení ² SHV1 / SHV2	A	37 / 39	42 / 46	44 / 52	54 / 56
Spotřeba chladicí vody ³ HVx / SHVx	m ³ /h	0.5 / 0.25	0.5 / 0.25	0.5 / 0.25	0.6 / 0.3
	gal/h	132 / 66	132 / 66	132 / 66	158 / 79

1. Při objednání oleje pro uvádění do provozu ve výř. závodě ENGEL +15%

2. Při napětí 3 x 380V - 400V + N + PE, 50/60 Hz

3. Při teplotě okolního prostředí max. 35° C / 95° F

e-victory 90, 110, 120		Vstříkovací jednotka		
		170	310	440
Hmotnost	to	6.9 / 7.3	7.1 / 7.5	7.5 / 7.9
Standard / Wide-Platen	US tons	7.6 / 8.0	7.8 / 8.3	8.3 / 8.7
Olejová náplň ¹	l	300	300	300
	gal	79.3	79.3	79.3
Výkonu pohonu SHV1 / SHV2	kW	18 / 18	22.7 / 22.7	22.7 / 22.7
	hp	24.1 / 24.1	30.4 / 30.4	30.4 / 30.4
Topný výkon vstříkovací jednotky (max. výkon / max. zón)	kW / n	6.8 / 4	9.2 / 4	12.2 / 5
Přivedený příkon ² SHV1 / SHV2	kW	26 / 26 / 33	33 / 33 / 37	36 / 36 / -
Proud připojení ^{2 3} SHV1 / SHV2	A	38 / 38 / 48	49 / 49 / 54	48 / 48 / -
Spotřeba chladicí vody ⁴ SHVx	m ³ /h	-	-	-
	gal/h	-	-	-

1. Při objednání oleje pro uvádění do provozu ve výř. závodě ENGEL +15%

2. Při použití kompenzačních zařízení pro korekci účinnosti stroje resp. zařízení nebo části zařízení je nutno použít kompenzaci jalového proudu s kondenzátory s tlumičkami.

3. Při napětí 3 x 380V - 400V + N + PE, 50/60 Hz

4. Při teplotě okolního prostředí max. 35° C / 95° F