



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

## ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

## NÁVRH VÝROBY PLASTOVÉ SOUČÁSTI

PRODUCTION OF A PLASTIC PART

### DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Ing. Šimon Bubník

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Petra Ohnišřová, MSc. Ph.D.

BRNO 2025

# Zadání diplomové práce

Ústav:	Ústav strojírenské technologie
Student:	<b>Ing. Šimon Bubník</b>
Studijní program:	Strojírenská technologie
Studijní obor:	Strojírenská technologie a průmyslový management
Vedoucí práce:	<b>Ing. Petra Ohnišťová, MSc. Ph.D.</b>
Akademický rok:	2024/25

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.1111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

## Návrh výroby plastové součásti

### Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Práce je zaměřena na návrh výroby plastového dílce. Řešení vyžaduje posouzení možných výrobních technologií a zhodnocení technologičnosti řešeného dílce. Zvolené technologii bude věnována literární rešerše. Dále bude navržen nástroj a vytvořeny vybrané výkresy z výkresové dokumentace.

### Cíle diplomové práce:

- Popis zvoleného dílce,
- rozbor možných výrobních technologií,
- zhodnocení technologičnosti zvoleného dílce,
- zpracování literární rešerše se zaměřením na zvolenou výrobní technologii,
- návrh a popis nástroje,
- zhotovení výkresu součásti, sestavy nástroje, vybraných pozic a kusovníku.

### Seznam doporučené literatury:

KAZMER, David O. Injection Mold Design Engineering. 2nd ed. Carl Hanser Verlag, 2016. ISBN 978-1-56990-570-8.

ZEMAN, Lubomír. Vstřikování plastů: Teorie a praxe. Praha: Grada Publishing, 2018. ISBN 978-80-271-0614-1.

ZEMAN, Lubomír. Vstřikování plastů 2: Simulace, analýzy, odstraňování vad, 3D tisk. Praha: Grada Publishing, 2021. ISBN 978-80-271-1294-4.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2024/25

V Brně, dne

L. S.

---

doc. Ing. Jan Zouhar, Ph.D.  
ředitel ústavu

---

doc. Ing. Jiří Hlinka, Ph.D.  
děkan fakulty

## **ABSTRAKT**

Tato diplomová práce se zabývá návrhem výroby plastové součásti – konkrétně krytu nabíjecího portu typu Type 2 pro elektromobily. Cílem práce bylo navrhnout technologický postup výroby vylisku metodou vstřikování plastů, ověřit technologičnost dílu, navrhnout konstrukci vstřikovací formy a vyhodnotit ekonomickou efektivitu celého procesu. Součástí řešení bylo i využití reverzního inženýrství pro získání geometrie původního dílu. Na základě provedených výpočtů byla navržena forma s jednou dutinou, optimalizována volba vstřikovacího stroje a zpracován ekonomický rozbor nákladovosti výroby. Výsledky ukazují, že navržený výrobní proces je z hlediska nákladů i technických parametrů realizovatelný. V práci je rovněž stanoven bod zvratu a doporučena finální cena výrobku.

### **Klíčová slova**

vstřikování plastů, návrh formy, reverzní inženýrství, kryt nabíjecího portu, PA6 GF30

## **ABSTRACT**

This diploma thesis deals with the design of the manufacturing process for a plastic component – specifically a charging port cover of the Type 2 standard for electric vehicles. The aim of the thesis was to propose a technological procedure for manufacturing the part using plastic injection moulding, to verify the manufacturability of the part, to design the injection mould, and to evaluate the economic efficiency of the entire process. The project also included the use of reverse engineering to acquire the geometry of the original component. Based on the performed calculations, a single-cavity mould was designed, the injection moulding machine was selected, and a cost analysis was carried out. The results confirm that the proposed manufacturing process is feasible in terms of both cost and technical parameters. The work also defines the break-even point and proposes a final product price.

### **Keywords**

plastic injection moulding, mould design, reverse engineering, charging port cover, PA6 GF30

---

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

BUBNÍK, Šimon. *Návrh výroby plastové součásti*. Diplomová práce. Petra OHNIŠŤOVÁ (vedoucí práce). Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2025.

---

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma Návrh výroby plastové součásti vypracoval(a) samostatně s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího práce.

---

Brno, 2025

---

Šimon Bubník

---

## PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych rád poděkoval vedoucí mé diplomové práce, Ing. Petře Ohnišťové, MSc., Ph.D., za odborné vedení, cenné rady, trpělivost a čas, který mi věnovala během procesu vypracování této práce. Zvláštní poděkování patří také mému spolužákovi a kamarádovi Ing. Josefu Salajkovi, který mi ochotně pomáhal s konstrukční částí práce. Děkuji rovněž své rodině, přítelkyni a kamarádům, kteří mě během studia podporovali.

---

**OBSAH**

Zadání práce

Abstrakt

Bibliografická citace

Čestné prohlášení

Poděkování

Obsah

ÚVOD .....	9
1 ROZBOR ZADÁNÍ.....	10
1.1 Volba technologie výroby .....	11
1.1.1 3D Tisk .....	11
1.1.2 Odlévání plastů .....	12
1.1.3 Lisování plastů.....	13
1.1.4 Vstřikování .....	13
2 TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ PLASTŮ.....	15
2.1 Vstřikovací cyklus .....	15
2.2 Polymerní materiály .....	17
2.2.1 Plasty .....	19
2.2.2 Termoplasty .....	21
2.3 Vstřikovací stroje .....	21
2.3.1 Vstřikovací jednotka.....	22
2.3.2 Uzavírací jednotka .....	24
2.4 Vstřikovací forma.....	25
2.4.1 Násobnost formy.....	27
2.4.2 Vtoková soustava.....	28
2.4.3 Temperační systém .....	29
2.4.4 Vyhazovací systém .....	31
2.4.5 Odvzdušnění .....	32
3 Reverzní inženýrství .....	34
3.1 Využití reverzního inženýrství v praxi .....	34
3.2 Postup reverzního inženýrství .....	35
3.3 Používané technologie skenování .....	36
4 Návrh výroby součásti .....	38
4.1 Skenování výlisku .....	38
4.2 Posouzení technologičnosti výlisku .....	41
4.3 Výpočty technologických parametrů formy .....	42
4.4 Návrh desek formy .....	46
4.5 Vtokový systém.....	47
4.6 Vyhazovací systém.....	48
4.7 Temperační systém.....	50
4.8 Volba vstřikovacího stroje.....	52

5 Technicko-ekonomické zhodnocení .....	56
ZÁVĚR.....	61

Seznam použitých zdrojů	
Seznam použitých symbolů a zkratk	
Seznam příloh	
Seznam výkresů	

---

## ÚVOD

Elektromobilita představuje jednu z klíčových oblastí současného technologického vývoje a zároveň významnou výzvu v oblasti konstrukce, výroby a bezpečnosti jednotlivých komponent. S rozšiřujícím se využitím elektromobilů roste i důraz na spolehlivost a funkčnost všech součástí vozidla, přičemž jednou z nich je i kryt nabíjecího portu. Tento díl, ačkoli se může zdát z hlediska konstrukce relativně jednoduchý, musí splňovat přísné požadavky na mechanickou pevnost, těsnost, odolnost vůči povětrnostním vlivům a zároveň i estetické nároky, neboť se často nachází na pohledově exponovaném místě karoserie. Motivací k výběru tématu této diplomové práce byla snaha propojit praktické požadavky moderního automobilového průmyslu s technickými znalostmi v oblasti zpracování plastů.

Cílem práce je navrhnout komplexní technologický postup výroby plastového krytu nabíjecího portu pomocí vstřikování plastů, které je v současnosti nejpoužívanější metodou pro sériovou výrobu přesných a tvarově složitých plastových dílů. Součástí řešení je i využití reverzního inženýrství, jehož úlohou je získání přesných dat o původní součásti na základě 3D skenování, a dále návrh samotné vstřikovací formy s ohledem na ekonomickou efektivitu výroby. V práci jsou zahrnuty teoretické poznatky z oblasti vstřikování plastů, konstrukce forem, výběru vhodného materiálu a technologických parametrů. Výsledkem je návrh jednoúčelového nástroje umožňujícího spolehlivou a opakovatelnou výrobu komponentu v požadované kvalitě a množství. Diplomová práce je určena jak studentům a odborníkům v oblasti výrobních technologií, tak i technickým pracovníkům ve firmách zabývajících se návrhem plastových výlisků pro automobilový průmysl.

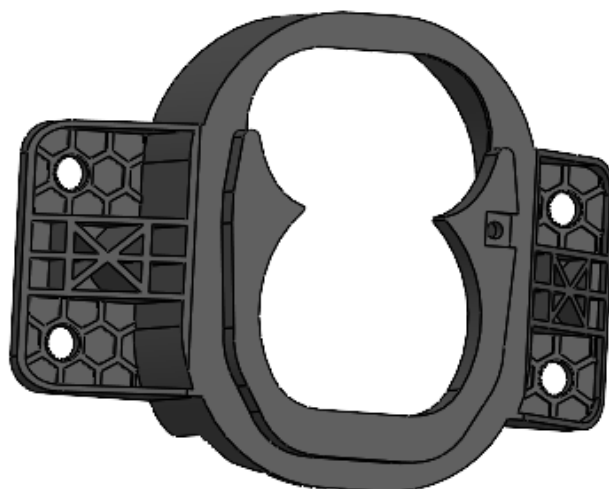
## 1 ROZBOR ZADÁNÍ

V této kapitole bude provedena analýza řešené součásti, kterou je kryt nabíjecího portu pro elektromobil, konkrétně ke konektoru „Type 2“. Jedná se o nejběžnější typ konektoru používaný v elektromobilech a je standardem v celé Evropě. Daný kryt slouží k ochraně nabíjecího konektoru před vnějšími vlivy, jimiž mohou být například vlhkost, prach a mechanické či jiné poškození. Dalšími funkcemi tohoto krytu je zabránění vniknutí nečistot, které by mohly negativně ovlivnit elektrické kontakty a tím narušit celkovou funkčnost nabíjecího systému elektro-automobilu. Na Obr. 1 je zobrazen konektor a jeho poloha na elektromobilu. Velikost série byla stanovena na 30 000 kusů. [1]



Obr. 1 - konektor "Type 2" na elektromobilu [2; 3]

Aby kryt plnil svou funkci, je nutné stanovit správné konstrukční požadavky. Jedním z nejdůležitějších je požadavek na mechanickou pevnost, která zajišťuje odolnost vůči mechanickému namáhání nejen během nabíjení, ale také při manipulaci nebo kolizí s jinými objekty. Při provozu automobilu může být také kryt vystaven dynamickému zatížení způsobeným vibracemi během jízdy – musí zde být požadavek na dostatečnou tuhost, aby nedocházelo k samovolné deformaci krytu. CAD model řešeného krytu znázorňuje Obr. č. 2. [4]



Obr. 2 - CAD model krytu

Dalším z důležitých požadavků je kladen na těsnost. Je nezbytné, aby kryt zajišťoval dostatečnou ochranu proti vniknutí tekutin a prachu dle normy IP. Netěsnost by mohla vést k průniku vlhkosti do nabíjecího konektoru, což by mohlo mít za následek korozi kontaktů a snížení jejich vodivosti. V extrémních případech by vniklá tekutina mohla způsobit zkrat v elektrickém systému a ohrozit tak bezpečnost vozidla i jeho uživatele. [4]

Na základě těchto požadavků bylo rozhodnuto, že součást bude vyrobena z polyamidu, konkrétně druhu PA6 GF30 Ultramid® B3U50G6 BK od společnosti BASF. Tento termoplastický materiál je vyztužený 30 % skelných vláken a vyznačuje se dobrou odolností proti opotřebení, lehkostí, chemické odolnosti proti rozpouštědlům, korozi a vzhledem i k okolnosti, že díl bude obsahovat pohledovou plochu, atraktivností povrchu. Taktéž vykazuje vynikající odolnost proti nárazům a dobrou tvarovou stálost. Nejdůležitější parametry materiálu jsou uvedeny v Tab. 1.[5]

**Tab. 1 – Parametry materiálu PA6 GF30**

Zkratka DIN	Barva	Hustota [g·cm <sup>-3</sup> ]	Teplota tání [°C]	Pevnost v tahu [MPa]	Modul pružnosti [MPa]
PA-6	černá	1,08	218	98	5 700

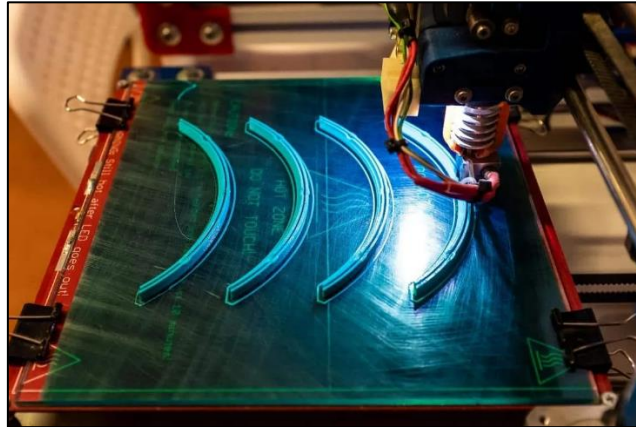
Klíčovým parametrem pro výběr tohoto konkrétního materiálu byla jeho certifikace hořlavosti podle normy UL94, konkrétně V-0, která je uvedena na oficiální tzv. UL Yellow Card. Tento údaj potvrzuje, že materiál splňuje přísné požadavky na samozhášivost a zpomalení hoření, a to i při tloušťkách menších než 1,6 mm. Materiál tak odpovídá vysokým nárokům na bezpečnost a je vhodný pro komponenty, které mohou být vystaveny zvýšenému teplotnímu zatížení nebo elektrickému výboji. Zmíněná žlutá karta od organizace UL (Underwriters Laboratories) slouží jako mezinárodně uznávaný doklad o vlastnostech materiálu a je důležitým argumentem při certifikaci výrobků. Jeho technický list obsažen v příloze č.1.

## 1.1 Volba technologie výroby

Výběr optimální technologie výroby plastové součásti je komplexní proces, který závisí na několika klíčových faktorech, včetně vlastností materiálu, tvaru a rozměrů výrobku, požadované přesnosti a velikosti výrobní série. Existuje mnoho metod zpracování plastů, avšak s ohledem na sériovost, ekonomiku procesu a minimalizaci odpadního materiálu je nutné se zaměřit se na nejefektivnější technologie. Vzhledem k tomu, že se jedná o polymerovou součást vyráběnou ve středně velkých sériích, je klíčové zvolit metodu, která zajistí požadované mechanické a rozměrové vlastnosti při zachování ekonomické efektivity. Výběr proto bude probíhat mezi několika nejběžnějšími a nejefektivnějšími technologiemi zpracování plastů, které splňují všechny požadavky na finální výrobek

### 1.1.1 3D Tisk

3D tisk, známý také jako aditivní výroba, je proces vytváření trojrozměrných objektů z digitálních modelů prostřednictvím postupného nanášení materiálu vrstvu po vrstvě. Tato metoda umožňuje výrobu složitých geometrických tvarů, které by byly obtížně realizovatelné tradičními výrobními technikami. Tato technologie, zachycená na Obr. č. 3, se nejčastěji používá při tvorbě prototypů. [6]



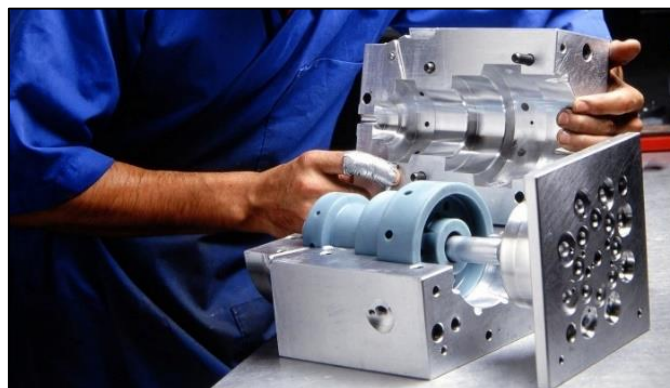
Obr. 3 - Technologie 3D tisku [7]

Výhodami této metody je výrazné zjednodušení procesu tvorby dílů. Inženýři se nemusí zabývat četnými omezeními spojenými se subtraktivními výrobními technologiemi. Dochází také k redukci výrobního času u složitých součástí, které vyžadují více komponent – součást lze vytisknout jako jeden díl. Jako další výhodu lze zmínit také nízký odpad materiálu – metoda používá pouze materiál potřebný pro díl, případně tvorbu podpor. V neposlední řadě metoda disponuje také nízkými náklady na provoz a šetrnost k životnímu prostředí. [7]

Jako nevýhody lze u této technologie zmínit například rozměrovou nižší přesnost vyrobených dílů (ve srovnání např. s CNC soustružením), nízkým objemem výroby (doba výroby není tak rychlá jako u tradičních výrobních procesů) a také nutnost apretace po dokončení výroby (tepelné zpracování, leštění, odstranění podpor). [7]

### 1.1.2 Odlévání plastů

Jedná se o proces výroby plastových dílů, který zahrnuje zavedení zkapalněného plastového materiálu a jeho ztuhnutí ve formě. Plnění formy závisí na atmosférickém tlaku. Jedná se o poměrně jednoduchou metodu tváření plastů, protože nezahrnuje řadu prvků a postupů. Výrobky vyrobené procesem odlévání plastových fólií mají malé nebo žádné vnitřní pnutí, což zaručuje kvalitní povrchovou úpravu pro konkrétní aplikaci. Danou technologii ilustruje Obr. č. 4. [8]



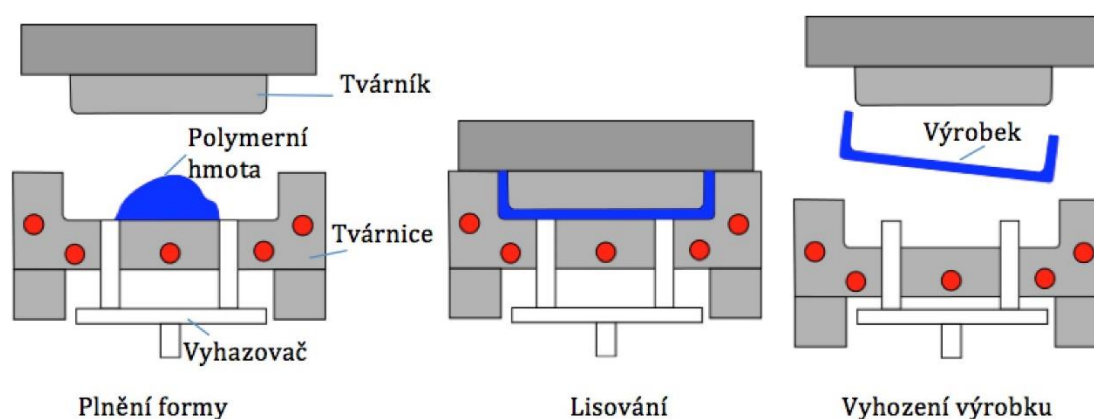
Obr. 4 - Technologie odlévání plastů [8]

Mezi další výhody metody lze jednoznačně zařadit nízké náklady na zařízení, formy a nástroje. Výrobky taktéž mohou být vyrobeny v jedné kompletní součásti a odpadá tak nutnost montáže jednotlivých kusů výrobku. Nevýhodami této technologie mohou být nižší rozměrové přesnosti,

malá rychlost a obtížné řízení tvorby vzduchových bublin a vlhkosti, což může vést k celé řadě problémů. [8]

### 1.1.3 Lisování plastů

Proces lisování probíhá podle základního principu, kdy je materiál vložen do lisovacího stroje, kde dochází k jeho stlačení a zahřátí. U reaktoplastů je zahříván na teplotu potřebnou k vytvrzení, zatímco u termoplastů dosahuje teploty blízké jejich měknutí. Výsledné vlastnosti materiálu jsou ovlivněny složením jednotlivých vrstev, přičemž pro zvýšení pevnosti se často přidávají výztužné složky, jako jsou skelná či uhlíková vlákna. Daná technologie je zachycena na Obr. č. 5. [9]

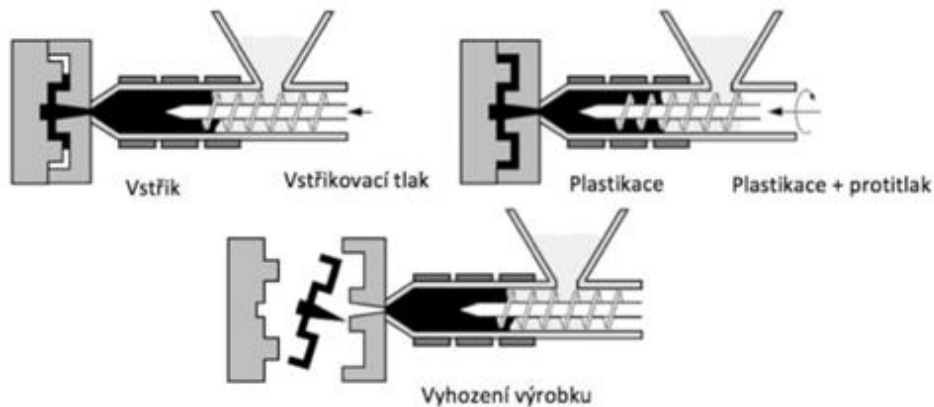


Obr. 5 - Technologie lisování plastů [9]

Lisování nabízí několik výhod, mezi které patří maximální využití materiálu při správném dávkování a vhodné konstrukci formy, minimální vnitřní pnutí ve výliscích díky krátkému a mnoha směrnému toku hmoty a nižší náklady na formy oproti vstřikování. Navíc velikost výlisku je omezena prakticky pouze lisovací silou stroje. Mezi nevýhody této technologie však patří delší lisovací cyklus a nižší produktivita práce. [9]

### 1.1.4 Vstřikování

Vstřikování plastů (Obr. č. 6.) je jedna z nejrozšířenějších metod zpracování polymerních materiálů a kompozitů. Tato technologie umožňuje výrobu finálních produktů, polotovarů nebo dílů určených k dalšímu sestavení. Výrobky vyrobené tímto procesem se vyznačují vysokou rozměrovou a tvarovou přesností, stejně jako konzistentními mechanickými a fyzikálními vlastnostmi. Díky své univerzálnosti umožňuje vstřikování plastů výrobu jak drobných, složitě tvarovaných komponent, tak i velkorozměrných dílů. Teoretický základ této technologie zahrnuje širokou škálu postupů, které optimalizují výrobu a přizpůsobují ji konkrétním požadavkům daného výrobku. Princip vstřikování plastů spočívá v dopravě roztaveného materiálu do uzavřené formy. Tavenina je pomocí šneku nebo pístu vstříknuta z plastikační komory do dutiny formy, kde následně ztuhne v požadovaný tvar díky odvodu tepla. Tento proces umožňuje rychlou a přesnou výrobu plastových dílů s opakovatelnými vlastnostmi. [10; 11]



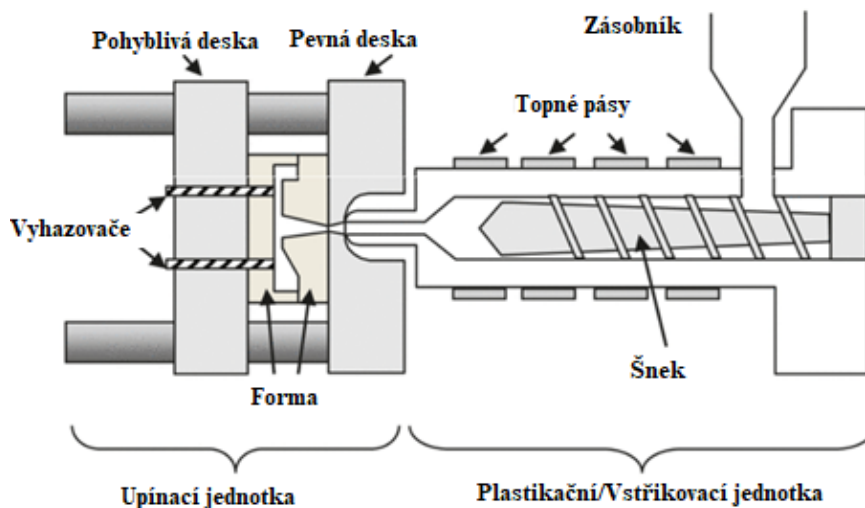
Obr. 6 - Technologie vstřikování plastů [9]

Vstřikování plastů oproti jiným metodám zpracování nabízí řadu výhod. Mezi klíčové přednosti patří výrazné zkrácení výrobního cyklu a schopnost produkovat integrované dílce s rozmanitými tvary. Tato technologie umožňuje dosažení vysoké rozměrové přesnosti a kvalitní povrchové úpravy, přičemž minimalizuje vnitřní pnutí a riziko deformací díky rovnoměrnému smršťování materiálu. Navíc poskytuje konstrukční flexibilitu, která eliminuje potřebu dodatečných úprav povrchu a montážních operací, čímž optimalizuje celý výrobní proces. [10; 11]

Mezi nevýhody vstřikování plastů patří vysoké počáteční náklady a dlouhá doba přípravy výroby. Náklady na návrh, testování a výrobu forem jsou značné, přičemž jakékoli změny v designu jsou obtížné a často vyžadují úpravu nebo výměnu formy. Plastové díly musí splňovat specifická konstrukční pravidla, například rovnoměrnou tloušťku stěn či zaoblené hrany, aby se předešlo vadám při chlazení. Navíc výroba malých sérií je kvůli dlouhé době nastavení stroje a nutnosti čištění mezi jednotlivými výrobními cykly finančně náročná. [11; 12]

## 2 TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ PLASTŮ

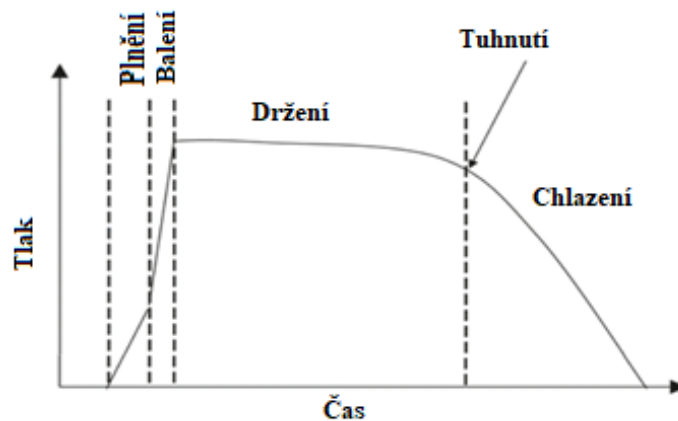
Vstřikování plastů se využívá k hromadné výrobě objektů jednoduchých i složitých tvarů. Vstřikovací stroj se skládá z plastikační/vstřikovací jednotky a uzavírací jednotky, ve které je upevněna forma, jak znázorňuje Obr. č. 7. V případě termoplastických polymerů, které jsou zde zvažovány, je teplota formy obvykle udržována přibližně na úrovni pokojové teploty (pro běžné polymery; u technických polymerů je vyšší) pomocí cirkulace vody, aby se polymer co nejrychleji ztuhl. Naopak u reaktoplastů nebo elastomerů se materiál vstřikuje do vyhřáté formy, aby došlo ke zesíťování. Navzdory vlivu polymeračních nebo vytvrzovacích reakcí na viskozitu a teplotní pole zůstává řada závěrů o vstřikování termoplastů platná i pro reaktoplasty. [13]



Obr. 7 - stroj na vstřikování plastu [13]

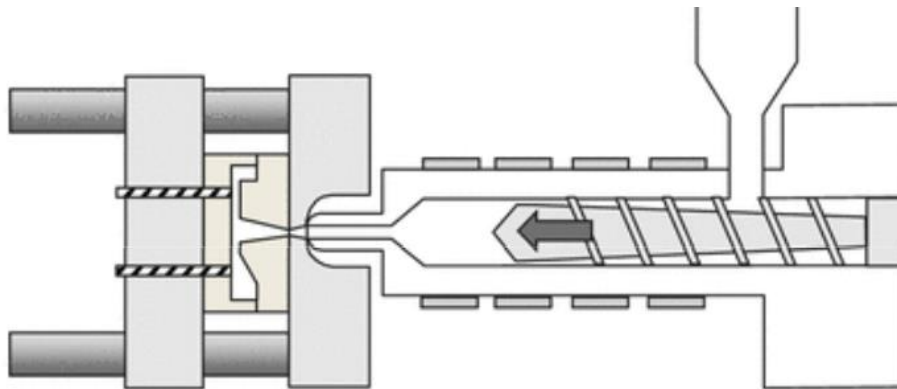
### 2.1 Vstřikovací cyklus

Cyklus vstřikování lze rozdělit do tří fází. Patří mezi ně dutina plnění, balení (držení) a chlazení. Tyto tři fáze vstřikovacího cyklu lze snadno z Obr. č. 8, kde je schematicky znázorněna změna tlaku v závislosti na čase. Při plnění se tlak zvyšuje, jak se tavenina šíří do dutiny. Po této fázi následuje fáze plnění, kdy dochází k rychlému nárůstu tlaku (obvykle během 0,1 s) na maximální hodnotu. Poté následuje fáze chlazení, při níž tlak pomalu klesá. [14]



Obr. 8 - vstřikovací cyklus [14]

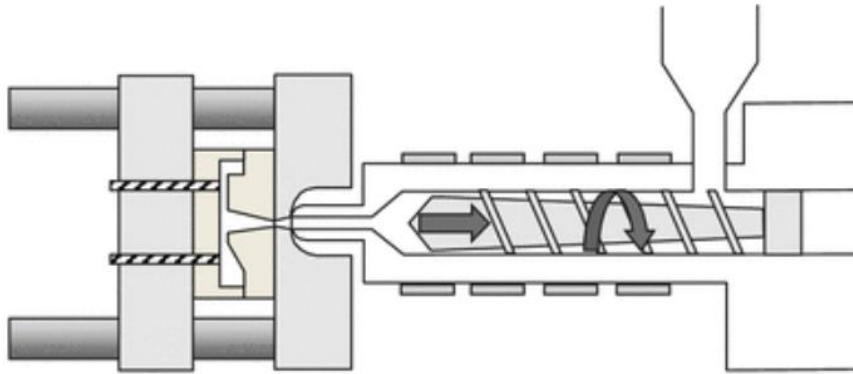
Na začátku vstřikovacího cyklu je dutina formy prázdná a forma otevřená. V okamžiku spuštění cyklu se pohyblivá část formy přesune k pevné, čímž dojde k jejímu uzavření a uzamčení – tento proces zahrnuje strojní časy. Je důležité rozlišit fázi přisouvání formy, která vyžaduje pouze malou přisouvací sílu, a fázi uzamknutí, kde je nutná výrazně vyšší uzavírací síla (až třikrát vyšší), aby se zabránilo nechtěnému otevření formy tlakem taveniny během vstřikování. Poté následuje pohyb šneku v tavicí komoře a zahajuje se samotné vstřikování roztaveného materiálu do dutiny formy. V této fázi šnek vykonává pouze axiální pohyb bez rotace a funguje jako píst. Po naplnění formy (Obr. č. 9) je tavenina ještě stlačena, přičemž tlak v dutině dosahuje svého maxima. [15]



Obr. 9 - Plnění vstřikovací formy a dotlak [13]

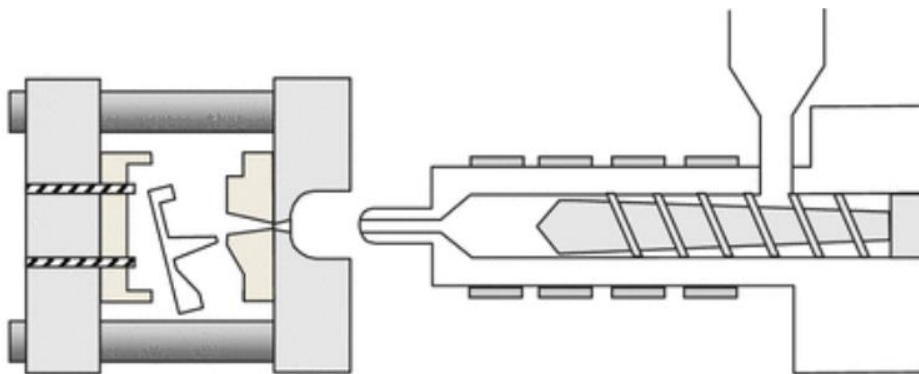
Jakmile tavenina vstoupí do dutiny formy, okamžitě začíná předávat teplo formě a postupně chladne. Proces chlazení pokračuje až do otevření formy a vyjmutí výstřiku. V praxi se rozlišuje chlazení při plném vstřikovacím tlaku a chlazení při postupně klesajícím tlaku. Délka chlazení závisí především na teplotě formy a tloušťce stěny výrobku. Během tohoto procesu dochází ke smršťování hmoty a zmenšování objemu. Aby se zabránilo vzniku propadlin a staženin na výrobku, je nutné tento objemový úbytek kompenzovat dodatečným přísunem taveniny – tzv. dotlakem. Dotlak může být po celou dobu konstantní a odpovídat maximálnímu tlaku, nebo se po několika sekundách snížit, přičemž další chlazení probíhá při nižším tlaku. Z tohoto důvodu se rozlišuje dotlak izobarický a izochorický. Pro zajištění efektivního dotlačování musí před čelem šneku zůstat určité množství plastu – tzv. polštář, na který šnek vyvíjí tlak. Tento objem by neměl být příliš velký (obvykle 10–15 % průměru šneku), aby nedocházelo k tepelné degradaci materiálu. [15; 16]

Po dokončení dotlaku začíná proces plastikace nové dávky plastu. Šnek se otáčí a pod násypkou nabírá granulovaný materiál, který plastikuje a posouvá do prostoru před svým čelem. Přitom se současně posouvá dozadu, přičemž musí překonávat tzv. protitlak neboli zpětný tlak. Výše tohoto tlaku ovlivňuje dobu plastikace a kvalitu prohnětení roztaveného plastu. Příliš vysoký protitlak by však mohl vést až k degradaci materiálu. Ohřev plastu při plastikaci probíhá nejen přenosem tepla ze stěn válce, ale i prostřednictvím frikčního tepla, které vzniká třením plastu o stěny komory a šnek, a dále přeměnou mechanické energie šneku na teplo. Pokud je tavicí komora vybavena samouzavíratelnou tryskou, může plastikace probíhat i při otevřené formě. Následně může, ale nemusí, dojít k odsunutí tavicí komory od formy. Tento děj je zachycen na Obr. č. 10.[15; 16]



Obr. 10 - Chlazení a plastikace [13]

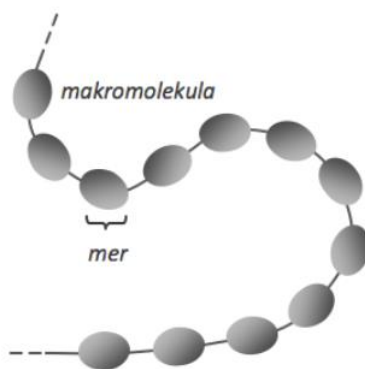
Během pokračujícího chlazení ve formě tlak dále klesá, až dosáhne hodnoty zbytkového tlaku, což je tlak působící na hmotu těsně před otevřením formy. Příliš vysoký zbytkový tlak může způsobit vznik vysokých vnitřních pnutí ve výstřicích, což u křehkých materiálů může vést až k samovolnému praskání. Tento tlak lze snížit buď zkrácením doby dotlaku, nebo řízenou změnou tlaku během dotlaku. Po úplném zchladnutí výstřiku se forma otevře (Obr. č. 11) a hotový výrobek je vyhozen z formy. [15]



Obr. 11 - Otevření vstřikovací formy a odformování výrobku [13]

## 2.2 Polymerní materiály

Polymery představují širokou skupinu materiálů složených z dlouhých řetězců atomů uhlíku, na něž se vážou atomy dalších prvků, zejména vodíku, kyslíku, dusíku, chloru, síry a fluoru. Charakteristickým rysem polymerů je přítomnost makromolekul, tedy molekul s velmi vysokou molární hmotností, které se skládají z opakujících se základních jednotek nazývaných mery. Právě z tohoto principu vznikl název polymery (z řeckého „poly-“ znamenající „mnoho“). Čisté polymery se označují jako pryskyřice, avšak komerční plasty obvykle obsahují různé přísady, jejichž množství může být od stopových hodnot až po více než 50 %. Délka polymerních řetězců v každém vzorku pryskyřice se může značně lišit, ale pro dosažení dobrých mechanických vlastností zpravidla průměrná délka přesahuje několik tisíc merných jednotek. [17; 18]



Obr. 12 - Schéma makromolekuly [18]

Polymerní materiály (Obr. 13) lze rozdělit na dva hlavní proudy, a to: [18]

- Plasty – polymery, u nichž působení vnějších sil vede převážně k trvalým (nevratným) deformacím. Za běžných podmínek mají většinou pevnou strukturu, mohou být tvrdé a někdy i křehké. Podle jejich reakce na zahřívání se dělí na termoplasty a reaktoplasty.
- Elastomery – materiály s vysokou pružností a nízkou tuhostí, které lze snadno deformovat i při působení malé síly, aniž by došlo k jejich poškození. Tato deformace je převážně vratná. Mezi typické elastomery patří kaučuky, které lze vulkanizací (částečným zesítním, nejčastěji pomocí síry) přeměnit na pryž – vysoce pružný materiál odolný vůči trvalé deformaci. Pryž je charakterizována chemickými (příčnými) vazbami mezi makromolekulami, které vytvářejí prostorovou síť. Díky tomuto zesítnění má amorfni strukturu a vykazuje specifické elastické vlastnosti.



Obr. 13 - Polymerní materiály – základní dělení [11]

Další členění polymerů může být provedeno na základě výchozí suroviny, ze které je polymer vyroben: [11]

- Polymery vyrobené na bázi fosilních surovin – zemní plyn, uhlí, ropa nebo břidlicové plyny.
- Polymery vyrobené na bázi obnovitelných zdrojů – rostlinné a živočišné produkty.

### 2.2.1 Plasty

Plasty, označované také jako plastické hmoty nebo méně přesně „umělé hmoty“, představují skupinu syntetických či polosyntetických polymerních materiálů. Pro zlepšení jejich užitných vlastností, jako je odolnost proti stárnutí, houževnatost nebo pružnost, se často přidávají různá aditiva. Plasty lze formovat do pevných výrobků, fólií nebo vláken, přičemž jejich název vychází z vlastnosti zvané plasticita, tedy schopnosti tvarování. Tyto materiály nabízejí širokou škálu fyzikálních a mechanických vlastností, například tepelnou odolnost, tvrdost či pružnost. Mezi jejich hlavní přednosti patří nízká hustota, chemická odolnost, jednotná struktura a složení, stejně jako snadná zpracovatelnost pomocí energeticky nenáročných technologií, například lisování, vstřikování, vyfukování či lití. Díky těmto vlastnostem se plasty uplatňují téměř ve všech průmyslových odvětvích i v běžném životě. Vedle čistých polymerů existují také polymerní směsi, tedy slitiny různých plastů, které nacházejí uplatnění v automobilovém průmyslu (např. na přístrojové desky, interiérové komponenty, nárazníky či disky kol), ve výpočetní a komunikační technice, elektronice a elektrotechnice. [19]

Plasty lze také rozdělit na amorfnní a semikrystalické podle jejich struktury a vlastností při vstřikování:

- Amorfnní plasty – (např. PVC, PC, PPSU, PEI SEMITRON, ESD 410, PSU) se vyznačují nepravidelným uspořádáním molekul, což jim umožňuje být dostupné i v transparentních variantách. Díky svým vynikajícím mechanickým vlastnostem nacházejí uplatnění v elektrotechnice, automobilovém průmyslu a dalších odvětvích.
- Semikrystalické plasty – (např. PP, LD-PE, PTFE, PA, POM) mají částečně uspořádanou molekulární strukturu, což jim dodává specifické mechanické vlastnosti, ale neumožňuje výrobu průhledných verzí. Tyto materiály se obvykle používají v méně namáhaných aplikacích. Struktury obou typů jsou znázorněny na Obr. č. 14. [20]



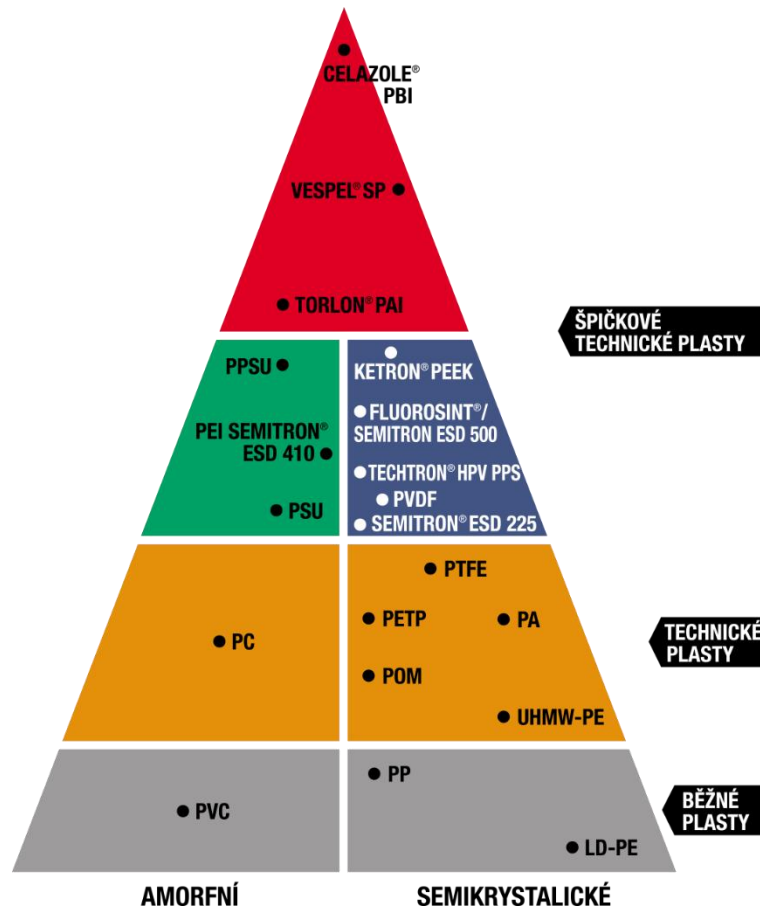
Obr. 14 - Nadmolekulární struktura plastů amorfnní (vlevo) a semikrystalická (vpravo) [20]

Je třeba rozlišovat mezi termínem „plastický“ ve smyslu polymerních materiálů a jeho významem v mechanice materiálů, kde označuje specifické chování při deformaci pod smykovým napětím. [19]

Při výběru vhodného plastu je důležité zvážit jeho teplotní, chemické a elektrické vlastnosti. Dále je nutné určit, zda musí splňovat specifické požadavky, jako je zdravotní nezávadnost (např. pro potravinářské a zdravotnické účely), nehořlavost nebo odolnost vůči vysokým

teplotám a UV záření. Plasty se dělí z hlediska průmyslového použití (Obr. č. 15) do tří základních skupin podle jejich vlastností a použití: [20]

- Běžné plasty jsou vhodné například pro nádrže a jejich obklady, žlaby či potrubí v chemickém průmyslu.
- Technické plasty nacházejí uplatnění v potravinářském průmyslu, běžné mechanice, výrobních linkách, strojírenství i chemickém průmyslu.
- Špičkové plasty se vyznačují vysokou odolností a využívají se v extrémně namáhaných aplikacích, například ve stavebnictví, při výrobě lékařských přístrojů či v potravinářství.



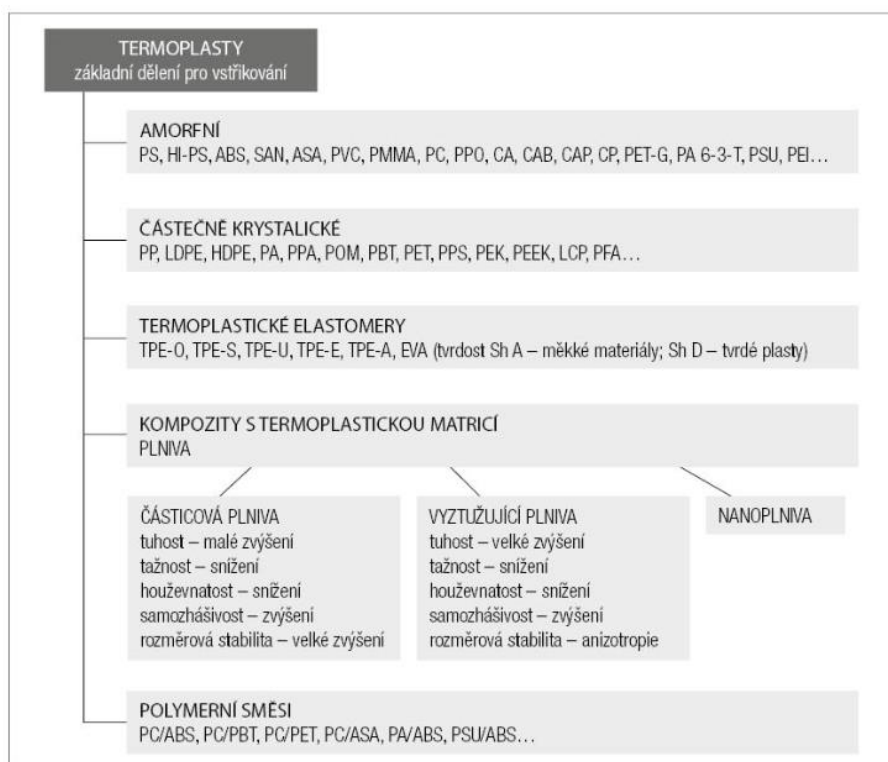
Obr. 15 - rozdělení plastů z hlediska průmyslového využití [20]

Plasty jsou rozděleny na další 2 skupiny, a to: [11; 21]

- Termoplasty – teplem tvarované plasty, přičemž cyklus fixace a tvarování je možné opakovat, tedy po jejich převedení do stavu taveniny a převzetí tvaru ochlazením je možné je opět roztavit do tekutého stavu a znovu schladit do daného stavu.
- Reaktoplasty – na rozdíl od termoplastů lze reaktoplasty tvarovat pouze po určitou dobu po zahřátí, protože během ohřevu dochází k chemické reakci, která způsobuje zesíťování struktury (tzv. vytvrzování). Po vytvrzení se materiál stává trvale pevný a nelze jej znovu změkčit, přepracovat ani vrátit do původního stavu. Díky této vlastnosti se výrobky z reaktoplastů vyznačují vysokou odolností, a to jak chemickou, tak mechanickou. Mezi běžné reaktoplasty patří například Fenolformaldehydová pryskyřice (PF), Epoxidová pryskyřice (EP), Polyesterová pryskyřice (UP) a další.

## 2.2.2 Termoplasty

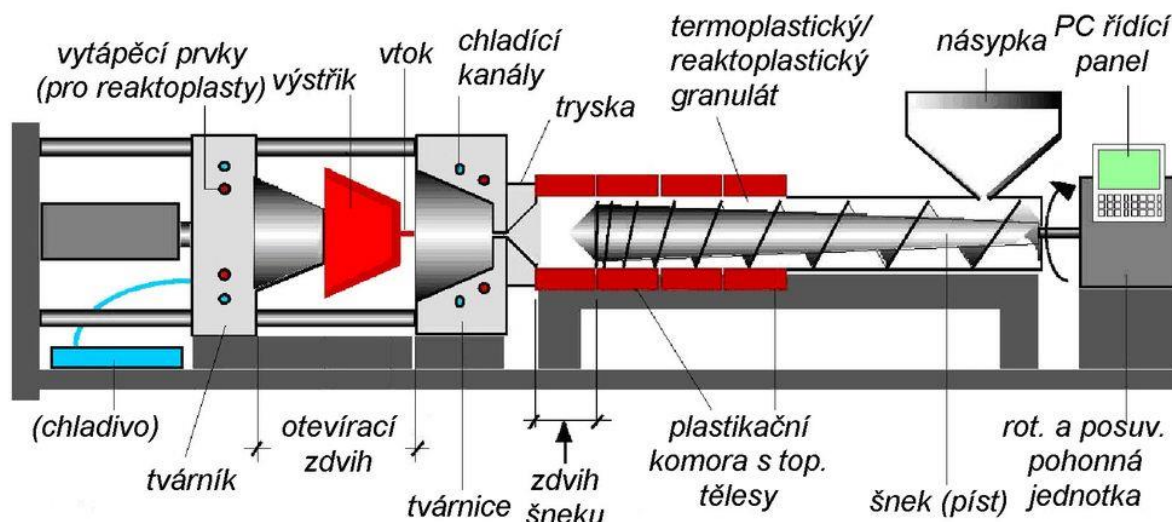
Hlavní vlastností termoplastických polymerů je jejich schopnost opakovaně měknout při zahřátí a následně tuhnut při ochlazení. Molekuly těchto polymerů jsou drženy pohromadě mezimolekulárními van der Waalsovými silami, které se při zahřátí oslabují a umožňují volný pohyb řetězců. Během procesu lisování působí na termoplastickou pryskyřici teplo a tlak, čímž dochází k rozvolnění mezimolekulárních vazeb a umožnění pohybu polymerních řetězců. Ve fázi chlazení se molekuly stabilizují ve svých nových polohách a mezimolekulární síly se obnovují, čímž materiál získává pevný tvar. Díky této schopnosti opakovaně obnovovat své struktury jsou termoplasty ideální pro recyklaci. Při zahřátí se molekulární řetězce posouvají a plast se stává tekutým, při ochlazení se opět spojují a materiál tuhne. Nicméně existují praktická omezení, kolikrát lze tento proces opakovat, protože s každým cyklem může docházet k degradaci polymeru. Mezi běžné termoplasty patří například polykarbonát, nylon, acetal, akryl, termoplastické elastomery (TPE) a polyethylen. Rozdělení termoplastů je znázorněno na Obr. č. 16. [22]



Obr. 16 - Rozdělení termoplastů [11]

## 2.3 Vstřikovací stroje

Přesnost lisovacího procesu, zejména při výrobě složitých dílů, závisí na kvalitě vstřikovacího stroje, jeho mechanismu a celkovém technickém stavu. Klíčovými faktory jsou přesnost stroje, jeho tuhost, správné seřízení, rovnoběžnost desek, kvalita ovládacích prvků a pravidelná údržba. Celý systém vstřikovacího stroje funguje jako celek, přičemž jeho výkon je limitován nejslabším článkem. To znamená, že i vysoce kvalitní forma umístěná do nesprávně seřízeného nebo nekvalitního stroje nevyprodukuje dobré výlisky. Stroj musí být schopen splnit technické požadavky formy. Schéma vstřikovacího stroje je zachyceno na Obr. 17. [23]



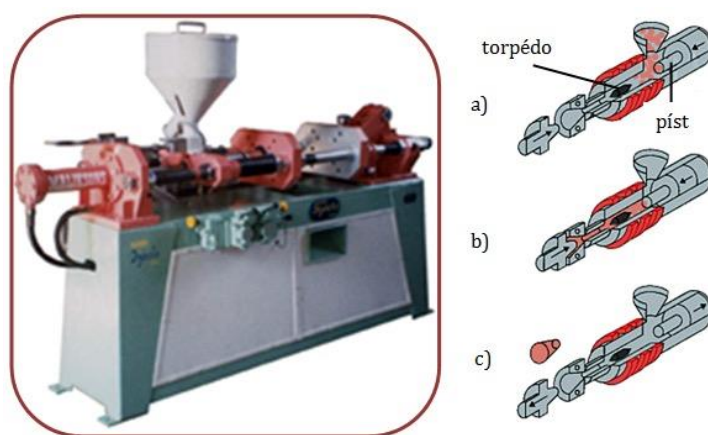
Obr. 17 - Schéma vstříkovacího stroje [15]

Pokud není vstříkovací stroj správně seřízen a pravidelně udržován, může během několika měsíců poškodit novou formu. Udržování stroje v dobrém technickém stavu je proto klíčové pro zajištění správné funkčnosti formy po celou dobu její životnosti. V opačném případě může docházet k opakovaným problémům a poruchám, které nebude možné odstranit. [23]

Vstříkovací stroj je složen ze vstříkovací jednotky, uzavírací jednotky a řídicího systému. Každý výrobce vstříkovacích strojů nabízí možnost přizpůsobení zařízení tak, aby umožňovalo částečně nebo plně automatizovaný provoz. Stroj lze dovybavit manipulátory, roboty, temperačními jednotkami, dávkovacími a mísicími zařízeními, sušárnami, dopravníky pro hotové výrobky a vtoky či drtiči plastového odpadu. [15]

### 2.3.1 Vstříkovací jednotka

První vstříkovací jednotky používané pro vstříkování plastů již na konci 19. století byly pístové jednotky, jejichž princip byl převzat z tlakového lití kovů. Tyto jednotky se udržely až do poloviny 20. století, kdy je postupně zcela nahradily šnekové vstříkovací jednotky, které se dnes používají téměř výhradně. Z tohoto důvodu se další text zaměřuje především na šnekové jednotky. [15]



Obr. 18 - Pístový vstříkovací stroj (vlevo) a schéma průběhu vstříkovacího cyklu (vpravo) [24]

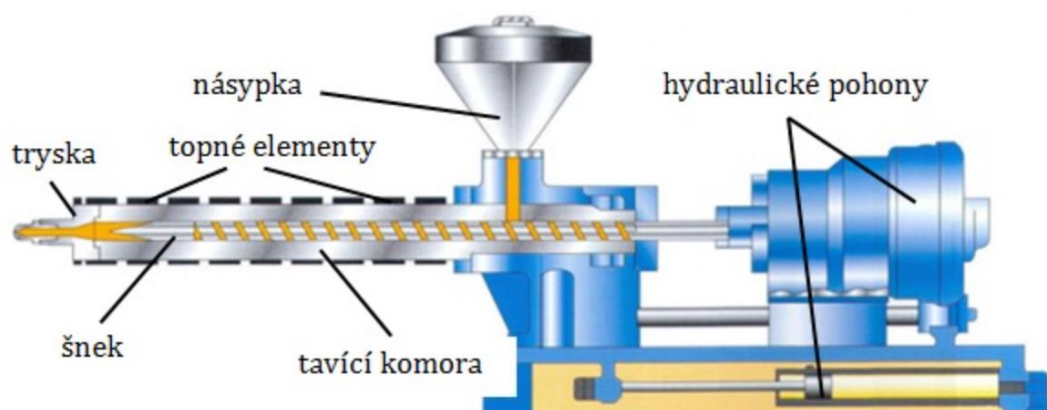
Hlavní rozdíl mezi pístovými (Obr. 18) a šnekovými jednotkami spočívá v konstrukci tavicí komory. Jejím úkolem je co nejrychleji zpracovat co největší množství materiálu a zajistit homogenní taveninu s rovnoměrnou teplotou. Pohyb plastu v komoře je u pístových jednotek zajišťován pístem, zatímco u šnekových jednotek rotačním a axiálním pohybem šneku. Konstrukce šnekových vstřikovacích jednotek dokázala úspěšně eliminovat hlavní nevýhody pístových strojů. [15; 24]

Mezi výhody šnekových vstřikovacích jednotek patří:

- Efektivní plastikace a kvalitní homogenizace taveniny
- Prevence přehřívání materiálu v tavicí komoře
- Vysoký plastikační výkon a velký zdvihový objem, což umožňuje teoreticky neomezené zvyšování velikosti výstřiku
- Snadnější čištění komory při změně materiálu
- Přesné dávkování vstřikovaného materiálu
- Nízké tlakové ztráty během pohybu taveniny
- Lepší řízení vstřikovacího procesu, například přesným nastavováním dotlaku [15; 24]

Základní funkcí vstřikovací jednotky, která je určena pro vstřikování termoplastů je převod tuhého polymeru do vysoce viskózní taveniny a její následný přesun do tvarové dutiny formy pro vstřikování se zajištěním co nejvyšší rozměrové a tvarové přesnosti. Jak již bylo zmíněno, nejvíce rozšířeným typem vstřikovací jednotky pro zpracování termoplastů je vstřikovací jednotka se šnekem rotujícím kolem své osy a axiálně se pohybujícím vpřed a vzad. Jednotka je upevněna k posuvné konzole zajišťující její pohyb, přesněji přísun trysky ke vtokové vložce vstřikovací formy a vytvoření potřebné přitlačné síly a jejího udržení. Hlavní pohony vstřikovací jednotky zajišťují rotaci šneku při plastikaci taveniny i její vstřikování do formy, kdy se šnek pohybuje dopředu a funguje jako píst vytlačující taveninu z tavicí komory. Stejným způsobem působí i při fázi dotlaku. [15; 24]

Moderní vstřikovací jednotky musí umožňovat velmi přesnou kontrolu polohy a rychlosti šneku i celé jednotky, stejně jako přesné řízení tlakových hodnot. Důležitým aspektem konstrukce vstřikovací jednotky a šneku je také snadná a rychlá výměna zpracovávaného materiálu, samotného šneku či celé jednotky, což usnadňuje údržbu a zvyšuje efektivitu výroby. [15]



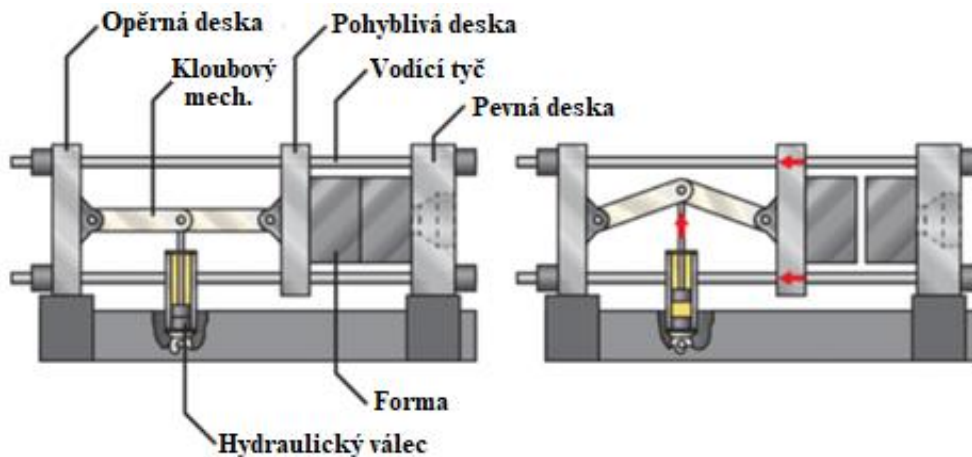
Obr. 19 - šneková vstřikovací jednotka [24]

Vstřikovací jednotka se skládá z několika klíčových částí, jak znázorňuje obr. č. 19. Vstupní část tvoří násypka, na kterou navazuje tavicí (plastikační) komora obklopená topnými pásy. Tavicí komora je zakončena tryskou, která přesně dosedá na vtokovou vložku vstřikovací formy a umožňuje průtok roztaveného plastu do formy. Uvnitř tavicí komory se nachází šnek s charakteristickou geometrií. Ohřev plastu zajišťují nejen topné pásy, ale především tření polymeru mezi stěnami komory a šnekem, které přenáší přibližně 70 % tepelné energie – tento podíl závisí na otáčkách šneku a typu zpracovávaného materiálu. Jelikož plasty mají nízkou tepelnou vodivost, konstrukce šneku je navržena tak, aby minimalizovala objem polymeru mezi jeho stěnami a komorou. Celkové provedení vstřikovací jednotky a tavicí komory se odvíjí od konkrétního typu materiálu, pro který je zařízení určeno. Výkonnost vstřikovací jednotky se hodnotí především podle dvou hlavních parametrů: vstřikovací kapacity a plastikační kapacity. [24]

### 2.3.2 Uzavírací jednotka

Úkolem uzavírací jednotky ve vstřikovacím stroji je otevírat a zavírat vstřikovací formu a těsně formu uzavřít, aby se zabránilo otřepům (nebo jiným vadám) během plnění a držení. Její konstrukce je navržena s ohledem na rychlý a přesný provoz a zároveň chrání formu před poškozením. To je důležité zejména v případě, že výlisek zůstane uvězněn kvůli nesprávnému vyhození nebo pokud dojde k jakémukoli narušení správného a úplného zavíracího cyklu formy. Moderní vstřikovací stroje mají dva převládající typy upínání: mechanické upínání a hydraulické. [25; 26]

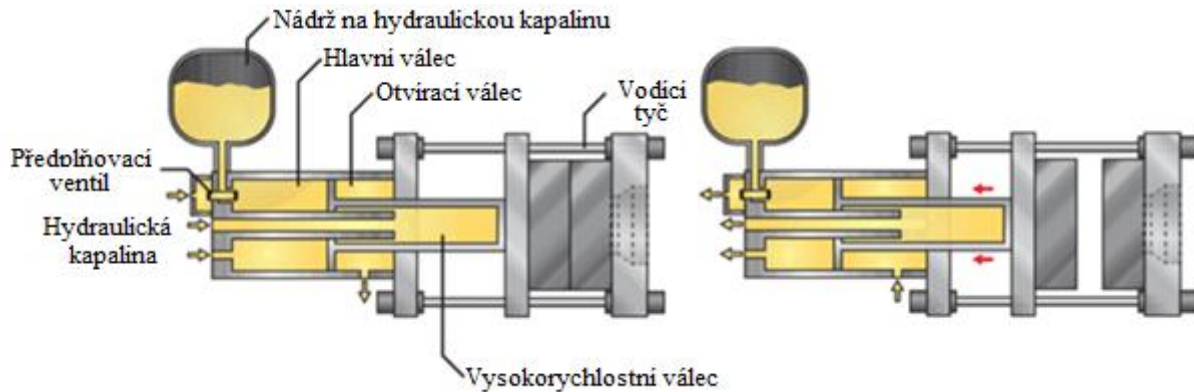
Obr. 20 představuje kloubový mechanizmus v otevřené a uzavřené poloze formy. Ačkoli kloub je v podstatě mechanické zařízení, je ovládán hydraulickým válcem. Výhodou použití kloubového mechanismu je, že když se forma blíží k uzavření, může se kloubový mechanismus dostupná uzavírací síla vzroste a uzavírání se výrazně zpomalí. Nicméně, kloubový mechanismus přenáší svou maximální uzavírací sílu pouze tehdy, když je systém plně vysunutý. [25]



Obr. 20 – mechanická upínací jednotka [25]

Vzhledem k velkému počtu dílů kloubové pákové upínací jednotky je její výroba poměrně nákladná. konstrukci. Optimální páky – s velkou silou při nízkých otáčkách – se dosahuje pouze v úzkém rozsahu. Tento systém může účinně fungovat, dokud pokud se nemění rozměry formy a pokud se nemění rozměry formy. (například když se forma během výroby zahřeje). Vysoký je nutné vynaložit vysoké mechanické úsilí na kompenzaci těchto nevyhnutelných problémů. [27]

Na obr. 21 je schéma hydraulické upínací jednotky v otevřeném a zavřeném stavu. poloze. Výhodou hydraulického systému je, že maximální upínací síla je dosaženo v jakékoli poloze zavření formy a že systém může přijímat různé formy velikosti forem bez nutnosti většího seřizování systému. [25]



Obr. 21 - hydraulická upínací jednotka [25]

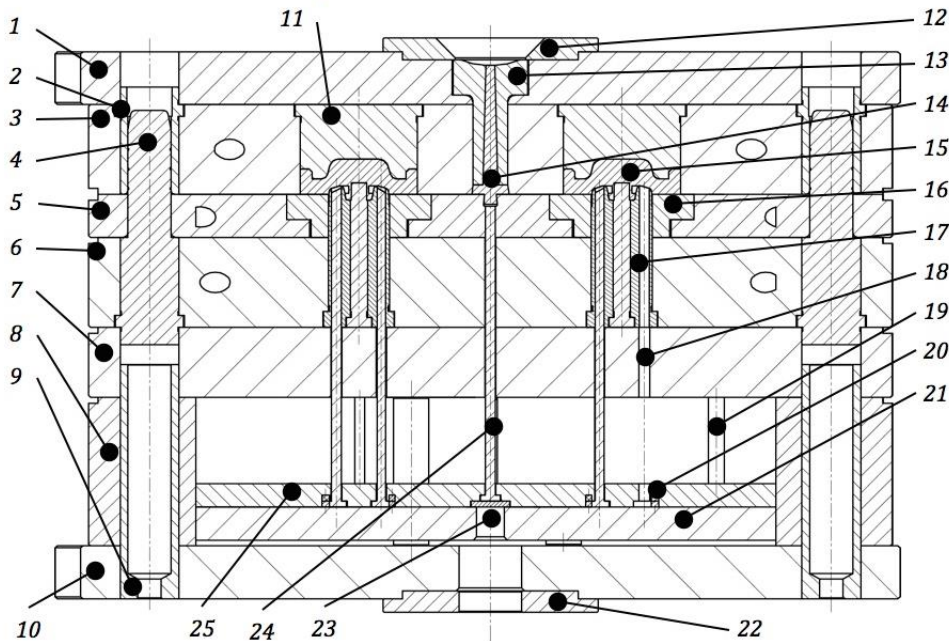
Kromě dvou hlavních typů upínacích jednotek (mechanické a hydraulické), existují také kombinace obou systémů. Všechny systémy mají své výhody a nevýhody. Jinými slovy, neexistuje univerzální optimální konstrukce upínací jednotky. Volba systému použitého při vstřikování plastových výrobků je v konečném důsledku určován nákladově nejefektivnějším způsobem. výrobním postupem, např. jedno – nebo vícekomorovou formou, a vhodností stroje. [27]

## 2.4 Vstřikovací forma

Vstřikovací forma znázorněna na Obr. 22 je sofistikované zařízení, které musí splňovat řadu technických a funkčních nároků vyplývajících z procesu vstřikování termoplastů. Hlavním úkolem formy je přesné a efektivní vedení roztaveného polymeru do tvarové dutiny a zajištění jeho rovnoměrného rozložení. Zároveň musí forma umožnit účinný odvod tepla z taveniny, aby došlo k rychlému ztuhnutí výstřiku. Nedílnou součástí je také bezproblémové vyjímání hotového dílu po ochlazení. Pro dosažení těchto cílů je forma vybavena systémem kanálek, chladicími okruhy i mechanismy pro vyhazování výstřiků. [28]

Kromě těchto klíčových funkcí musí vstřikovací forma v průběhu své životnosti splňovat i další důležité požadavky: [29]

- odolávat vůči vysokým tlakům,
- zajistit požadovaný rozměr a kvalitu výstřiku,
- snadné vyjmutí výstřiku,
- snadná obsluha a automatický provoz,
- nízká pořizovací cena,
- snadná a rychlá výroba,
- vysoké využití zpracovávaného plastu.



Obr. 22 - Uzavřená dvoudesková vstříkovací forma [28]

1 – upínací deska pevné vstříkovací formy, 2 – vodící pouzdro, 3 – deska „A“, 4 – vodící sloupek, 5 – deska „C“, 6 – deska „B“, 7 – podpěrná deska, 8 – rozpěra, 9 – centrovací pouzdro, 10 – upínací deska pohyblivé části vstříkovací formy, 11 – jádro, 12 – středící kroužek pevné části vstříkovací formy, 13 – vtoková vložka, 14 – vtokový systém, 15 – vstříkovaný díl, 16 – vložka pro uložení jádra, 17 – jádro, 18 – vyhazovač, 19 – vraccí kolík, 20 – pojišťovací kolík, 21 – hlavní vyhazovací deska, 22 – středící kroužek pohyblivé části vstříkovací formy, 23 – závitový otvor pro připojení vyhazovacího systému, 24 – vyhazovač/přidržovač vtokového systému, 25 – přidržovací vyhazovací deska

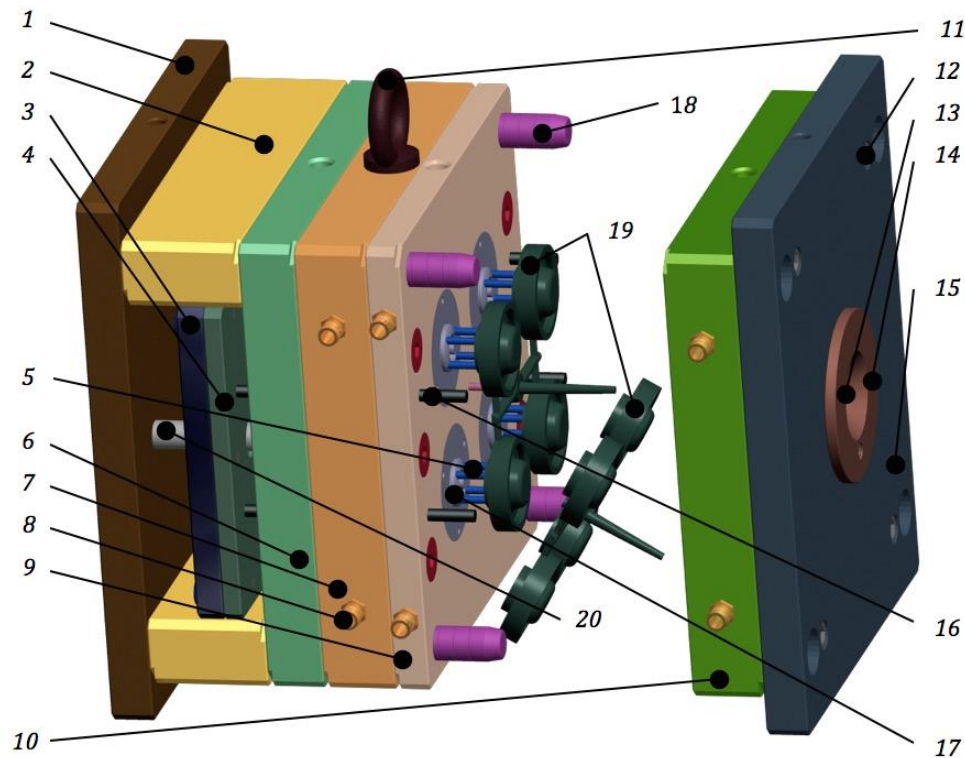
Vstříkovací formy jsou konstrukčně velmi rozmanité a lze je rozdělit do následujících skupin: [15]

- podle násobnosti na jednonásobné a vícenásobné,
- podle způsobu zaformování a konstrukčního řešení na dvoudeskové, třídeskové, etážové, čelist'ové, vytáčeční apod.,
- podle konstrukce vstříkovacího stroje na formy se vstříkem kolmo na dělicí rovinu a na formy se vstříkem do dělicí roviny.

Vstříkovací forma se skládá z dílů, které vymezují tvarovou dutinu, dále z chladičho (temperačního) systému, vtokového systému, vyhazovacího mechanismu a upínacích i vodících prvků. Tyto části lze rozdělit do dvou základních skupin – konstrukční a funkční. Konstrukční části zajišťují správnou funkčnost formy jako celku, zatímco funkční části se přímo stýkají s plastem a udělují mu výsledný tvar. Pro představu o tvarové a konstrukční složitosti vstříkovacích forem slouží ilustrace konstrukce formy uvedená na Obr. 23. [15]

Tento obrázek znázorňuje dvoudeskovou vstříkovací formu v otevřené poloze s vysunutým vyhazovacím systémem. Tavenina plastu byla předtím vstříknuta do formovací dutiny, kde ztuhla a vytvořila výsledný díl. Po otevření formy je tento díl připraven k vyhození (odformování). Aby mohlo k této operaci bezpečně dojít, musí být forma dostatečně otevřená, aby vyhazovací systém mohl díl vysunout a umožnit jeho plynulé uvolnění nebo vypadnutí. Samotné vyhození zajišťuje vyhazovací systém stroje, který vysune vyhazovače vstříkovací formy směrem vpřed. Tyto vyhazovače následně vytlačí hotový výlisek z dutiny pohyblivé části formy, kde byl do té doby fixován třecími silami ve styku s tzv. pevným jádrem formy viz

pozice 17. Jádra vstřikovací formy zpravidla určují vnitřní geometrické tvary výrobku. Jsou zde dále označeny tzv. vraccí kolíky (pozice 16), které plní bezpečnostní funkci. Zajišťují, aby se po uzavření formy vyhadzovače vždy vrátily zpět do výchozí – zadní – polohy, čímž se zabrání jejich poškození při následujícím cyklu vstřikování. [28]



Obr. 23 - Otevřená dvoudesková vstřikovací forma [28]

1 – upínací deska pohyblivé části vstřikovací formy, 2 – rozpěra, 3 – hlavní vyhadzovací deska, 4 – přidržovací vyhadzovací deska, 5 – vyhadzovač, 6 – podpěrná deska, 7 – „B“ deska, 8 – přípojka chlazení, 9 – „C“ deska, 10 – „A“ deska, 11 – manipulační oko, 12 – hlavní montážní šrouby, 13 – vtoková vložka, 14 – středící kroužek pevné části vstřikovací formy, 15 – upínací deska pevné části vstřikovací formy, 16 – vraccí kolíky, 17 – pevné jádro, 18 – vodící sloupky, 19 – vstřikovaný díl, 20 – podpěrné válce

Vraccí kolíky jsou pevně spojeny s hlavní vyhadzovací deskou a v případě, že by pohyb vyhadzovacího systému nebyl plně řízen vstřikolise, zajišťují jeho automatické zasunutí do výchozí pozice. Při zavírání formy totiž dochází ke kontaktu čelních ploch vraccích kolíků s dělicí rovinou pevné části formy, čímž se celý vyhadzovací systém posune zpět. Tím je zaručeno, že vyhadzovače nezasahují do dutiny formy a může bezpečně začít nový vstřikovací cyklus, bez rizika kolize či poškození. Dalším důležitým konstrukčním prvkem je vodící sloupek viz pozice 18, jehož úkolem je zajistit přesné a opakovatelné ustavení pohyblivé a pevné části formy vůči sobě. Tento prvek je zásadní pro správnou funkci formy a zachování požadované kvality výstřiků. [28]

#### 2.4.1 Násobnost formy

S ohledem na vysoké pořizovací náklady vstřikovacích forem se v praxi často využívají tzv. násobné formy, které umožňují výrobu více vylisků během jednoho tvářecího cyklu. Podle normy je násobnost formy definována jako počet vylisků připravených v jediném tvářecím

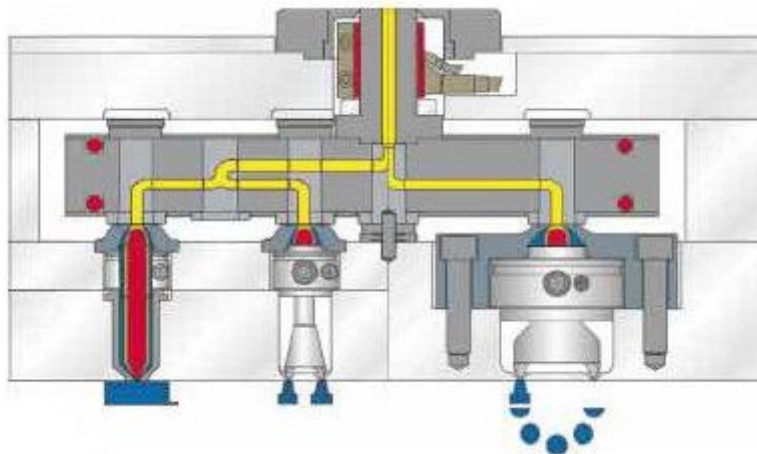
cyklu, tedy počet dutin formy. Vhodně zvolená násobnost může výrazně zvýšit efektivitu výroby, ovšem její volba závisí na řadě faktorů. Mezi hlavní kritéria patří: [29; 30]

- charakter a požadovaná přesnost výstřiku,
- rozměry a kapacita použitého vstřikovacího stroje,
- plánované výrobní množství a termíny dodání,
- ekonomické aspekty výroby.

Vyšší násobnost s sebou však nese určitá úskalí – zejména zvýšené riziko odchylek v přesnosti a kvalitě jednotlivých výstřiků. Proto je v praxi často výhodnější volit co nejnižší násobnost, zejména u tvarově složitých nebo rozměrných dílů, které se zpravidla vyrábějí v jednonásobných formách. Dalším omezením při volbě násobnosti je samotný vstřikovací stroj, který musí být schopen formu naplnit dostatečným množstvím taveniny a zároveň vyvinout potřebnou uzavírací sílu. Z hlediska technického návrhu je doporučeno uvažovat s minimálně 20% rezervou jak u objemu taveniny, tak u uzavírací síly stroje. [29]

### 2.4.2 Vtoková soustava

Jednou z klíčových částí vstřikovací formy je vtoková soustava, která spolu s dalšími funkčními celky – jako je tvarová dutina, chladicí (temperační) systém, vyhazovací systém nebo upínací a vodící prvky – tvoří celek zajišťující bezproblémový průběh vstřikovacího cyklu. Jednotlivé části formy lze přitom rozdělit na konstrukční, které zajišťují správnou funkci nástroje, a funkční, které přichází do přímého kontaktu s roztaveným polymerem a udělují mu požadovaný tvar. Vtoková soustava představuje systém kanálů a vtokových ústí, jejichž úkolem je dopravit taveninu plastu do dutiny formy co nejrychleji, termicky rovnoměrně a s minimálními tlakovými ztrátami. Současně musí umožnit snadné oddělení vtokového zbytku od hotového výstřiku a jeho jednoduché vyhození. Příklad konstrukčního řešení vtokového systému je znázorněn na Obr. 24. [15; 29]



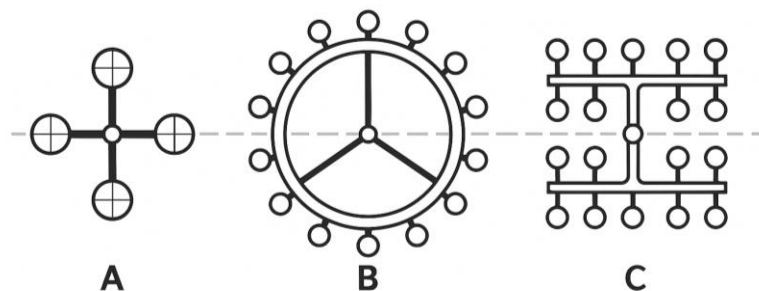
Obr. 24 - konstrukční řešení vtokové soustavy [15]

Na výslednou kvalitu výstřiku má výrazný vliv nejen samotný návrh dutiny formy, ale také tvar, velikost a umístění vtoku a jeho napojení do dutiny. Tyto parametry ovlivňují: [29]

- finální rozměry, vzhled a mechanické vlastnosti vylisku,
- celkové množství použitého plastového materiálu,
- složitost a časovou náročnost odstranění vtokového zbytku,

- energetickou efektivitu celého výrobního procesu.

Kromě vlivu na kvalitu výstřiku ovlivňuje vtokový systém také samotný výrobní proces z hlediska spotřeby plastu, energetické náročnosti a požadavků na následné zpracování dílu – zejména na snadnost začistění vtoků. Konstrukční řešení soustavy se navrhuje s ohledem na typ formy, její násobnost a prostorové rozmístění dutin. Důležitým aspektem je také zajištění bezproblémového oddělení vtokového zbytku od výstřiku a jeho jednoduché vyhození. Volba mezi studeným a horkým rozvedem, stejně jako samotné rozvržení kanálů, zásadně ovlivňuje plynulost výroby i četnost nutných zásahů do procesu. Na efektivitu plnění formy a kvalitu výstřiku má však zásadní vliv také samotné uspořádání tvarových dutin. [15; 29]



Obr. 25 - způsoby uspořádání rozvaděcích kanálů [31]  
A – hvězdicové, B – kruhové, C – řadové

Tvarové dutiny mohou být podle Obr. 25 uspořádány buď radiálně (do tvaru hvězdy), lineárně (v řadě) nebo kruhově. Z hlediska rovnoměrného plnění formy je nejvýhodnější hvězdicové uspořádání, které zajišťuje současné plnění všech dutin za stejných tlakových podmínek. U lineárního uspořádání je dosažení rovnoměrného plnění obtížnější a vyžaduje úpravy v konstrukci rozvaděcích kanálů – konkrétně zvětšení jejich průřezů směrem k více vzdáleným dutinám, čímž se kompenzují tlakové ztráty. [29]

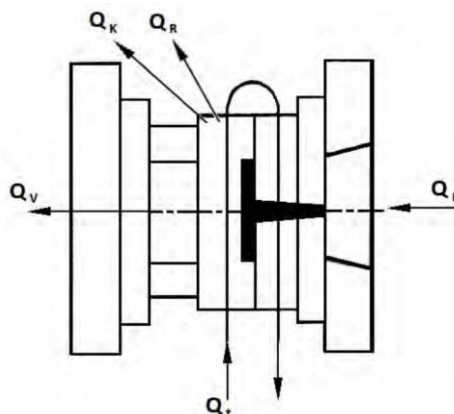
### 2.4.3 Temperační systém

Hlavním úkolem temperačního systému vstřikovací formy během vstřikovacího procesu je rychle nastavit požadovanou teplotu formy a následně ji udržet v požadovaném rozsahu. Temperace zahrnuje nejen odvod tepla při chlazení výrobku, aby bylo možné jej vyjmout z formy, ale i vyhřívání dutiny formy, aby se dosáhlo optimální teploty pro vstřikování plastu. Teplota a její časový průběh ovlivňují chování taveniny a výsledné vlastnosti výrobku, včetně mechanických vlastností, smršnění, kvality povrchu a u semikrystalických plastů i stupně krystalinity, což souvisí s hmotností a hustotou výstřiku. Dalšími faktory jsou velikost vnitřního napětí a doba trvání celého vstřikovacího cyklu, kde fáze chlazení tvoří převážnou část času. Délka chlazení je ovlivněna konstrukcí temperačního systému a typem použitým materiálem, jehož vlastnosti, jako je teplota taveniny a doporučená teplota dílu, určují, kdy je možné výrobek bezpečně vyjmout z formy (příklad je uveden v Tab. 2 níže). [28]

Tab. 2 - doporučené teploty v rámci procesu vstřikování vybraných typů plastů [28]

TYP MATERIÁLU	DOPORUČENÁ TEPLOTA FORMY [°C]	TEPLOTA TAVENINY [°C]	DOPORUČENÁ TEPLOTA DÍLU PŘI ODFORMOVÁNÍ [°C]
PA	80–120	260–300	110–130
PC	80–100	280–320	140
PC + SKLENĚNÁ VLÁKNA	80–130	310–330	150
ABS	60–80	220–260	80–100
SAN	50–80	230–260	80–95
PBT	80–100	250–270	140
PBT + SKLENĚNÁ VLÁKNA	80–100	250–270	150
PP	30–60	200–250	70–90
PE	30–60	180–230	60–90

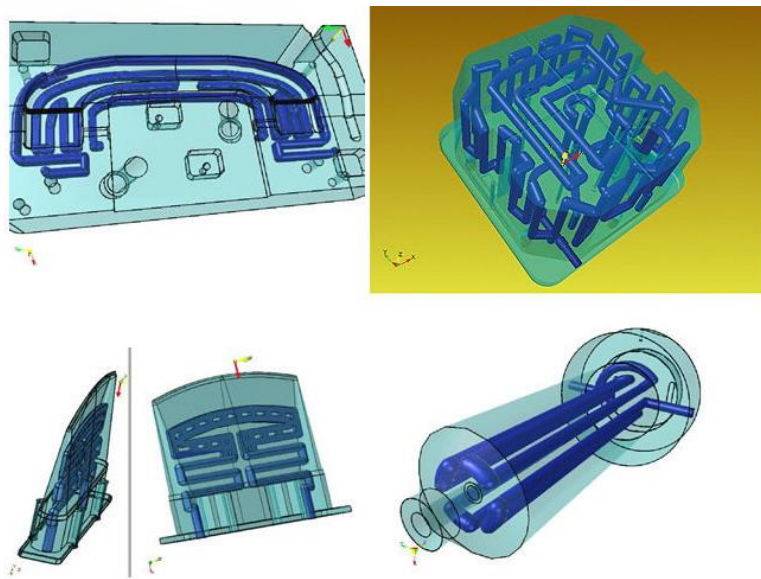
Pro zajištění opakovatelnosti výroby je nezbytné, aby hmota v dutině formy chladla co nejrychleji, a to jak z technologického, tak z ekonomického hlediska. Tento proces je zajištěn temperačním systémem, který se skládá z kanálů a dutin umožňujících přenos tepla z taveniny do formy a do temperovací kapaliny. Udržování požadované teploty formy je realizováno prostřednictvím chladicího média, které protéká chladicími kanály. Aby bylo dosaženo rovnoměrného ochlazování, je ideální, když hmota chladne ve všech místech stejnoměrně, jinak mohou vzniknout problémy, jako je vnitřní pnutí, deformace nebo trhliny. Temperační systém bývá rozdělen na dva okruhy: pro pevnou (vtokovou) část formy a pro pohyblivou část. Tyto okruhy se mohou dále dělit na podokruhy, přičemž jejich uspořádání závisí na konkrétním způsobu zaformování a umístění dělicí roviny. Kromě samotného chlazení formy je třeba také zohlednit tepelné ztráty, které zahrnují odvod tepla do upínacích ploch stroje, únik tepla do okolí a vyzáření viz Obr. 26. Tyto ztráty se velmi obtížně zjišťují, ale přibližné hodnoty lze získat výpočtem, který je poměrně složitý. Pro minimalizaci tepelných ztrát se povrch formy upravuje leštěním nebo se forma pokrývá izolační fólií. Dále se mezi stroj a formu vkládají izolační desky z materiálů na bázi vyztužených reaktoplastů nebo nekovových organických látek, jako jsou sklotextil ARU nebo sklotextil SI, čímž se omezuje úbytek tepla přes upínací plochu formy. [15; 29]



Obr. 26 - tepelná bilance formy [32]

$Q_P$  – teplo přivedené polymerem,  $Q_t$  – teplo odvedené temperací,  $Q_K$  – teplo odvedené do okolí,  $Q_R$  – teplo odvedené zářením,  $Q_V$  – teplo odvedené do upínacích ploch stroje

Při navrhování temperačních kanálů je třeba brát v úvahu celkové řešení formy, včetně umístění vtokové soustavy, vyhadzovacích mechanismů, tvarových vložek a dalších dílů. Důležité je také zajistit těsnost temperačního okruhu. Kanály by měly být umístěny dostatečně daleko od líce formy, aby nedošlo k poškození povrchu formy a aby se zabránilo vzniku podchlazených míst. Vhodnější je použít větší počet menších kanálů než několik větších. Kanály jsou rozmístěny rovnoměrně kolem dutiny formy a jejich vzdálenost od líce by měla být všude stejná, s výjimkou míst, kde je potřeba zvýšit intenzitu chlazení. V těchto místech se kanály přiblíží k líci formy nebo se zkrátí jejich vzdálenost. Průřez kanálů je obvykle kruhový a pohybuje se mezi 6 a 20 mm, ale používají se i kanály s obdélníkovým průřezem. Celková délka kanálů by měla být navržena tak, aby rozdíl teplot temperační kapaliny na vstupu a výstupu byl maximálně 3 až 5 °C. Samotné znázornění temperačního systému je možné vidět na Obr. 27.: [15]



Obr. 27 – Temperační systém vstřikovacích forem [15]

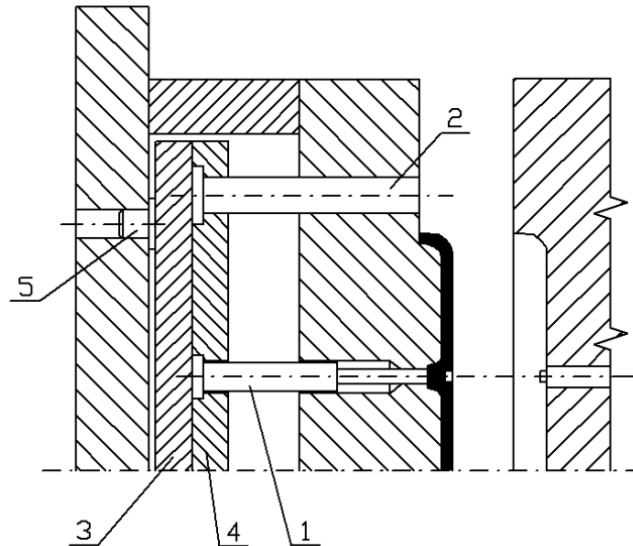
#### 2.4.4 Vyhazovací systém

Vyhazovací systém vstřikovací formy má za úkol vyjmout vstřikovaný díl z dutiny po otevření formy. Ačkoli se tento proces může na první pohled zdát jednoduchý, složitost vyhadzovacího systému se může výrazně lišit v závislosti na specifických požadavcích dané aplikace. K dosažení správné funkce vyhadzovacího systému, ale i celé vstřikovací formy, je nutné vyřešit několik klíčových aspektů. Mezi ně patří: [28]

- osy pohybů vyhadzovacího systému.
- rozložení vyhadzovačů na vstřikovaném dílu.
- síla potřebná pro vyhadzování.
- a další faktory.

Před dimenzováním jednotlivých dílů vyhadzovačů je nutné stanovit základní princip vyjímání vstřikovaných dílů z formy. Základní příklad řešení vyhadzovacího mechanismu pro vstřikovaný díl, včetně umístění kruhových vyhadzovačů, je znázorněn na následujícím obrázku. Vyhazovače ústí do vnitřní plochy vstřikovaného dílu a jsou ukotveny mezi hlavní a přidržovací vyhadzovací deskou, přičemž tento celek je připojen k vyhadzovacímu (obvykle hydraulickému) mechanismu vstřikovacího stroje. Nejčastější způsob vyhadzování výstřiků je mechanický, a to buď pomocí vyhadzovacích kolíků, nebo stíracích desek, stíracích kroužků apod. V řadě případů se tyto způsoby kombinují. Vyhazovací kolíky viz Obr. 28 jsou nejběžnější

a nejlevnější metodou díky své výrobní jednoduchosti, přičemž zaručují funkčnost. Tento způsob se používá tam, kde je možné umístit vyhazovače proti ploše výstřiku ve směru vyhození. Vyhazovací kolíky jsou obvykle válcové a jejich uložení ve formě bývá nejčastěji v tolerancích H7/g6, H7/h6, H7/j6 podle požadované funkce a tekutosti plastu. Tento typ uložení zajišťuje dostatečnou vůli pro odvzdušnění formy. [28; 29]



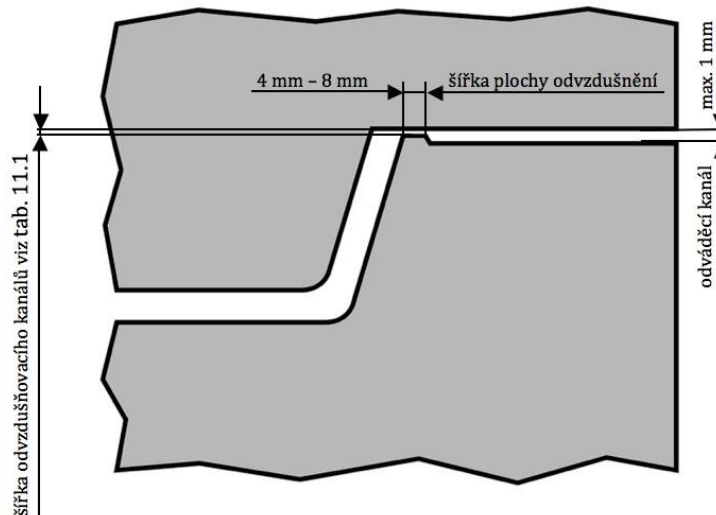
Obr. 28 - vyhazovací kolíky [32]

1- vyhazovací kolík, 2- vratný kolík, 3- spodní deska vyhazovače, 4- horní deska vyhazovače, 5- narážka

Po otevření vstřikovací formy vysune vstřikovací stroj vyhazovací mechanismus do předem určené vzdálenosti, což vede k vysunutí vyhazovacího systému formy. Vstřikovaný díl je tímto způsobem odformován a vytažen z dutiny formy. Při dostatečném vysunutí vyhazovacího systému již mezi dílem a formou neexistuje žádná mechanická vazba a díl je následně ovlivněn gravitací, kdy spadne do prostoru pod formou.

#### 2.4.5 Odvzdušnění

Jak tavenina vstupuje do dutiny vstřikovací formy, rychle vytlačuje vzduch, který v dutině zůstal po uzavření formy. Ačkoli část vzduchu unikne přes dělicí rovinu nebo vodící plochy vyhazovačů či pohyblivých jader, většina vstřikovacích forem vyžaduje další konstrukční prvky pro efektivní a rychlý odvod vzduchu z dutiny. Jedním z nejjednodušších způsobů zlepšení odvzdušnění je umístění odvzdušňovacích ploch do dělicí roviny, které jsou snadno vyrobitelné a představují přímou cestu pro vzduch vytlačovaný taveninou. Obr. 29 ukazuje obecná doporučení pro návrh odvzdušnění v dělicí rovině. Rozměry jednotlivých prvků se liší podle vstřikovaného typu plastu. Obecně platí, že plast s vyšší tekutostí vyžaduje menší rozměry odvzdušňovacího kanálu, zatímco požadovaná intenzita odvzdušnění roste s objemem vstřikovaného dílu a rychlostí vstřikování taveniny do dutiny formy. Intenzitu odvzdušnění lze zvýšit zvýšením počtu odvzdušňovacích kanálů nebo jejich rozšířením. [28]



**Obr. 29 -doporučená konstrukce odvětrávacího kanálu [28]**

Obecně platí, že čím lépe a kvalitněji je dutina formy odvětrána, tím lepší výsledky lze očekávat. Výjimkou však mohou být materiály obsahující například retardéry hoření, které mají tendenci se natavit na povrch dutiny formy a odvětrávacích kanálů. Tomu lze předejít udržením tlaku vzduchu před čelem taveniny, což pomáhá stabilizovat nestabilní přísady plastu. Tento jev je však výjimečný a obvykle na něj upozorňuje výrobce materiálu v jeho technickém listu. [28]

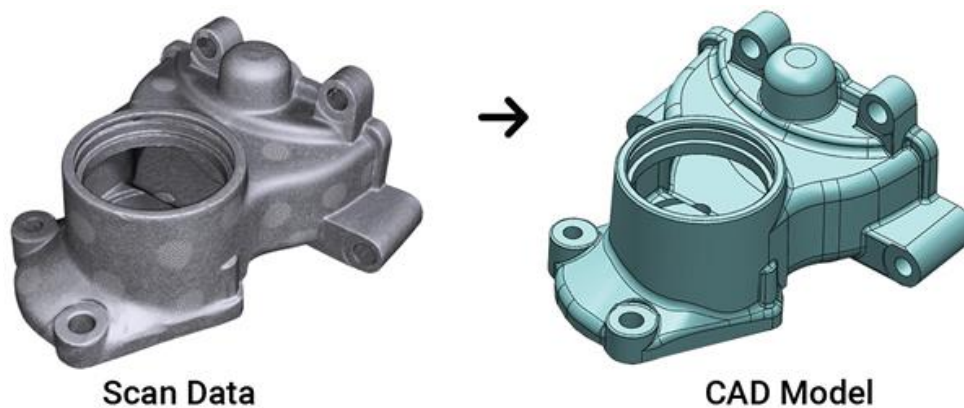
Při plnění dutiny formy vstřikovací taveninou je vzduch v ní stlačován, což způsobuje nárůst jeho tlaku. Tento vzrůstající tlak může v některých případech vést k zažehnutí vzduchu a následnému spálení plastu, což je jev známý jako Dieselův efekt viz Obr. 30. Tento efekt negativně ovlivňuje kvalitu výstřiku, jelikož stlačený vzduch může vytvářet bubliny, které zůstávají uzavřeny ve stěnách výstřiku. Kromě toho, nedostatečné odvětrání formy zvyšuje tlak taveniny, což si vyžaduje vyšší vstřikovací tlak, čímž vznikají nežádoucí vnitřní pnutí ve výstřiku. U tenkostěnných výstřiků může vzduch uvíznout na protilehlé straně od vtoku, což může vést k vadě v podobě nedotečeného výstřiku. Tento problém se může objevit i při nízké teplotě formy nebo malé dávce plastu. Při větších tloušťkách stěn výstřiků může vzduch, který nemohl uniknout, proniknout do taveniny a při zchladnutí vytvořit bubliny, jejichž uspořádání může pomoci určit příčinu vad – bubliny vzniklé špatným odvětráním jsou typicky soustředěny na protilehlé straně vtoku. [29]



**Obr. 30 - Dieselův efekt [33]**

### 3 REVERZNÍ INŽENÝRSTVÍ

Reverzní inženýrství (anglicky Reverse Engineering, zkráceně RE), někdy označované také jako zpětná analýza, je proces, jehož cílem je porozumění funkci, konstrukci nebo způsobu výroby existujícího výrobku. Typicky se uplatňuje v případech, kdy není k dispozici výkresová dokumentace nebo jiné technické podklady. Pomocí zpětného postupu se analyzuje fyzický objekt – například za použití 3D skeneru – a vzniká jeho digitální model, který lze dále zpracovávat v systémech CAD, CAM nebo CAE. Tento proces je znázorněn na Obr. 31 a je široce využíván nejen pro dokumentaci starších součástí, ale i pro optimalizaci návrhu, kontrolu kvality, nebo odhad výrobních nákladů. Výsledkem je obvykle 3D model ve formátech jako STEP, IGES, STL či DXF, který může sloužit jako podklad pro výrobu, úpravy nebo další technickou analýzu. [34; 35; 36]



Obr. 31 - převod nasnímaných dat do CAD modelu [37]

#### 3.1 Využití reverzního inženýrství v praxi

Možnosti využití reverzního inženýrství sahají daleko za pouhou digitalizaci tvaru. V praxi představuje efektivní nástroj pro řešení situací, kdy je potřeba nahradit součást, jejíž výroba byla ukončena, upravit starší konstrukci bez dostupných podkladů, nebo pochopit řešení aplikované konkurencí. A právě díky těmto praktickým výhodám si reverzní přístup našel pevné místo nejen ve vývoji, ale i v servisu, údržbě nebo modernizaci technických systémů. [38]

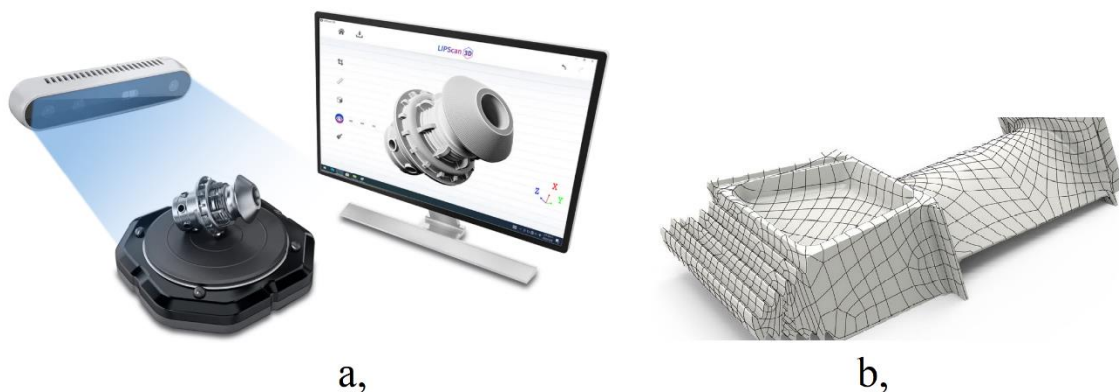
V následující části jsou shrnuty nejčastější důvody, proč se inženýři k tomuto postupu uchylují: [39]

- Původní CAD model nepodporuje úpravy nebo není vhodný pro standardní výrobní metody – starší nebo nevhodně navržené modely mohou být vytvořeny bez ohledu na technologii výroby, např. se složitými nebo nepřesnými prvky, které nelze jednoduše přepracovat. Reverzní inženýrství umožňuje vytvořit nový návrh přizpůsobený aktuálním výrobním možnostem.
- Původní výrobce zanikl nebo potřebný díl se již nevyrábí a není dostupná výrobní dokumentace – v praxi se často vyskytují případy, kdy není možné kontaktovat původního výrobce nebo získat technické výkresy. V těchto situacích je reverzní inženýrství jediným možným způsobem, jak znovu vytvořit funkční náhradu.
- Potřeba výměny opotřebených nebo poškozených komponent, které se již nedodávají – v údržbě nebo servisu starších zařízení je časté, že některé díly již nejsou dostupné. Pomocí 3D skenování a digitální rekonstrukce lze tyto komponenty nahradit i bez původní výrobní dokumentace.

- Nedostatek náhradních dílů – v krizových nebo urgentních případech, kdy není čas čekat na dodání originálních náhradních dílů, je možné daný díl rychle nasnímat, upravit a vyrobit dle potřeby.
- Obnova zastaralých dílů a nástrojů, případně jejich modernizace – reverzní inženýrství je výhodné i při rekonstrukci opotřebených forem, přípravků nebo jiných nástrojů. Díky tomu je možné zefektivnit nebo přizpůsobit jejich funkci současným požadavkům výroby.
- Analýza konkurenčních výrobků – firmy často využívají reverzní inženýrství k podrobné analýze cizích produktů – například pro pochopení jejich konstrukce, výrobních metod nebo materiálového řešení.
- Zvýšení výkonu nebo funkčnosti produktu – na základě digitálního modelu lze původní součást optimalizovat – zlepšit její ergonomii, snížit hmotnost, zvýšit pevnost nebo přizpůsobit tvar konkrétním podmínkám použití.

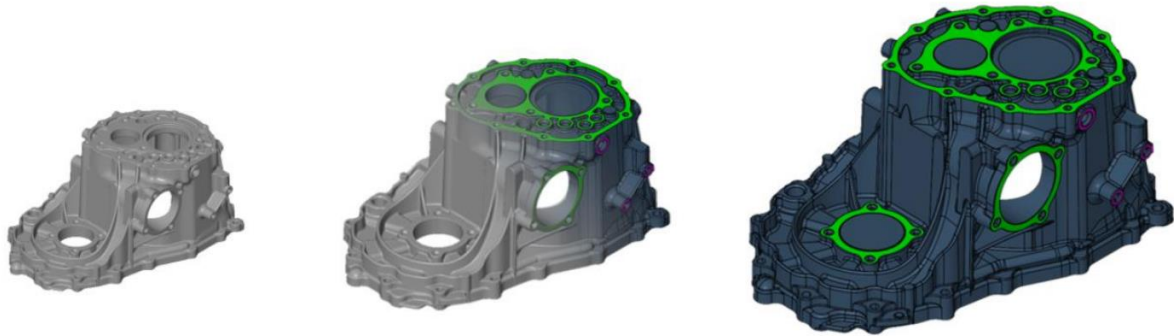
### 3.2 Postup reverzního inženýrství

Při převodu fyzického objektu do digitální podoby prostřednictvím reverzního inženýrství se využívá systematický proces, který zahrnuje několik klíčových kroků. Tento postup umožňuje získat přesný a upravitelný CAD model, jenž slouží jako podklad pro další konstrukční, výrobní nebo analytické účely. Celý proces začíná skenováním fyzického objektu pomocí 3D skeneru. Výsledkem tohoto kroku je tzv. polygonová síť – tedy síť trojúhelníků, které věrně popisují povrchovou geometrii skenovaného tělesa. Následuje zarovnání této sítě do správného souřadnicového systému, což je klíčové pro zachování přesnosti při pozdějším zpracování dat v CAD prostředí. Daný postup znázorňuje Obr. 32. [39; 40]



**Obr. 32 - postup reverzního inženýrství [41; 42]  
a – 3D skener b – polygonová síť**

Další fází je úprava polygonální sítě, kdy dochází k odstranění šumu, vyplnění mezer, zjednodušení geometrie a případně i redukci nadbytečných dat. Tato optimalizace zajišťuje, že data budou vhodná pro následnou rekonstrukci tvaru. Poté následuje extrakce geometrických prvků – např. rovin, válcových ploch, otvorů nebo rozměrově významných rysů, které jsou důležité pro konstrukční návrh. Tyto informace se pak přenášejí do CAD softwaru. [39; 40]



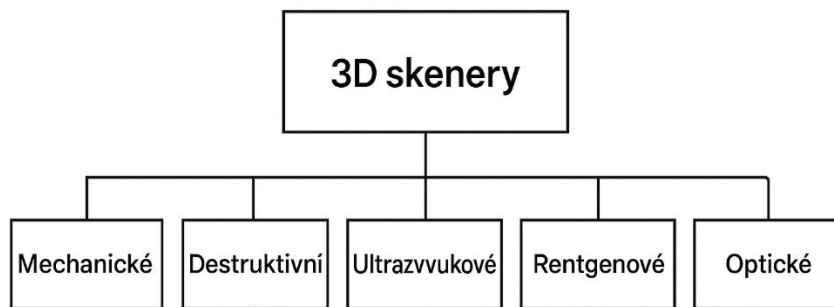
Obr. 33 - rekonstrukce 3D CAD modelu [39]

V samotném CAD prostředí dochází k parametrickému modelování, kdy na základě získaných prvků vzniká plně definovaný model. Proces znázorňuje Obr. 33. Tento model lze dále upravovat a využívat v dalších konstrukčních procesech. Finálním krokem je kontrola přesnosti – tedy porovnání vytvořeného CAD modelu s původním skenem. Tím se ověří, že rekonstrukce skutečně odpovídá původnímu tvaru objektu. Výsledkem je plnohodnotný a editovatelný CAD model připravený pro konstrukci, simulaci nebo výrobu. [39; 40]

### 3.3 Používané technologie skenování

Dotykové skenery pracují na principu fyzického kontaktu se snímaným objektem. Využívají se především pro měření tvaru a přesnosti geometrických prvků, jako jsou otvory, roviny nebo hrany. Snímací hrot postupně prochází jednotlivé body povrchu a zaznamenává jejich souřadnice. Výhodou je vysoká přesnost měření, nevýhodou pak omezená rychlost a nutnost manuálního vedení nebo programování. Typicky se používají v metrologii a kontrole kvality, kde není vyžadováno úplné zachycení celého povrchu, ale pouze konkrétních prvků. Bezkontaktní skenery umožňují rychlé a komplexní snímání celého objektu bez nutnosti fyzického dotyku. Jsou vhodné pro digitalizaci složitých tvarů a volných ploch. V praxi se nejčastěji využívají v oblasti reverzního inženýrství, designu nebo kontroly výrobků s komplikovanou geometrií. Bezkontaktní skenery lze dále dělit podle způsobu manipulace do tří základních skupin: [43; 44]

- Ruční skenery – přenosná zařízení, která obsluha pohybuje kolem objektu. Výhodou je flexibilita, snadná obsluha a možnost skenování i ve ztížených podmínkách.
- Stacionární skenery – pevně umístěná zařízení, ke kterým je nutné skenovaný objekt přenést. Tato řešení nabízejí vyšší přesnost a opakovatelnost, typicky se používají v laboratořích nebo inspekčních pracovištích.
- Mobilní skenery – zařízení kombinující pohyblivou základnu a skenovací technologii. Umožňují skenování přímo v provozu nebo v terénu bez nutnosti přesunu objektu.



Obr. 34 - rozdělení 3D skenerů na základě způsobu snímání bodů [43]

Podle způsobů snímání bodů (Obr. 34) lze 3D skenery rozdělit na dotykové, optické, laserové, destruktivní, rentgenové a ultrazvukové: [44]

- Dotykové – pracují na principu fyzického kontaktu s povrchem objektu. Snímací sonda zachycuje prostorové body a převádí je do digitální podoby. Využívají se hlavně pro přesné měření geometrických prvků, často jako doplněk k CNC strojům. Jejich hlavní výhodou je vysoká přesnost, nevýhodou pak nižší rychlost a omezené pokrytí povrchu.
- Optické – snímají povrch objektu z více úhlů pomocí kamer a světelného zdroje. Skenování je rychlé a bezkontaktní, ideální pro složité tvary. Používají se orientační body (terčíky) a kalibrační tyče pro přesnost. Kromě 3D modelování lze skener využít i jako měřicí zařízení.
- Laserové – vysílají laserový paprsek, jehož odraz se vyhodnocuje z hlediska času a úhlu návratu. Tak lze přesně určit prostorové souřadnice bodů. Výsledkem je přesná polygonová síť, často doplněná o texturové informace díky integrované kameře. Metoda je velmi přesná a vhodná i pro barevnou digitalizaci.
- Destruktivní – slouží k digitalizaci jak vnější, tak vnitřní geometrie, přičemž objekt je při procesu zničen. Materiál se odstraňuje vrstvu po vrstvě, každá nová plocha je naskenována opticky. Využívá se hlavně při analýze složitých vnitřních struktur, kde nelze použít jiné metody.
- Ultrazvukové – využívají ultrazvukovou sondu k bezkontaktnímu měření. Signál je vyslán a následně dekodován do prostorových souřadnic. Tato technologie je cenově dostupná, ale méně přesná (cca 0,3–0,5 mm). Hodí se pro rychlé orientační snímání nebo tam, kde není možný fyzický kontakt.
- Rentgenové – Umožňují nedestruktivní snímání vnitřní geometrie pomocí rentgenového záření. Fungují obdobně jako lékařské CT, ale s vyšší intenzitou záření. Používají se např. při kontrole svařovaných sestav, tlakových nádob nebo uzavřených systémů.

## 4 NÁVRH VÝROBY SOUČÁSTI

Cílem této kapitoly je podrobně popsat jednotlivé kroky, které vedly k návrhu a realizaci výroby plastového dílu pomocí technologie vstřikování. Postup je rozdělen do několika na sebe navazujících podkapitol, počínaje digitalizací původního výlisku pomocí optického 3D skenování. Na základě získaných dat byl vytvořen přesný CAD model, jenž sloužil jako výchozí bod pro konstrukční návrh vstřikovací formy a technologické výpočty. Dále byla provedena analýza technologičnosti výlisku, určeny klíčové parametry formy a navrženy konstrukční části, jako je vtokový, vyhazovací a temperační systém. Kapitola rovněž obsahuje výběr vhodného vstřikovacího stroje a ověření jeho technických parametrů vůči požadavkům výlisku. Celý návrhový proces je doplněn potřebnými výpočty, normovými vztahy a výsledky simulačních analýz.

### 4.1 Skenování výlisku

Pro digitalizaci výlisku byla použita technologie optického 3D skenování za využití systému ZEISS T-SCAN hawk 2 (Obr. 35) ve spojení se softwarem ZEISS INSPECT Optical 3D. Tato technologie umožňuje rychlé a přesné nasnímání složitých geometrických tvarů bez nutnosti kontaktu s povrchem měřeného objektu. Skenování probíhalo v několika po sobě jdoucích krocích, které jsou popsány níže.



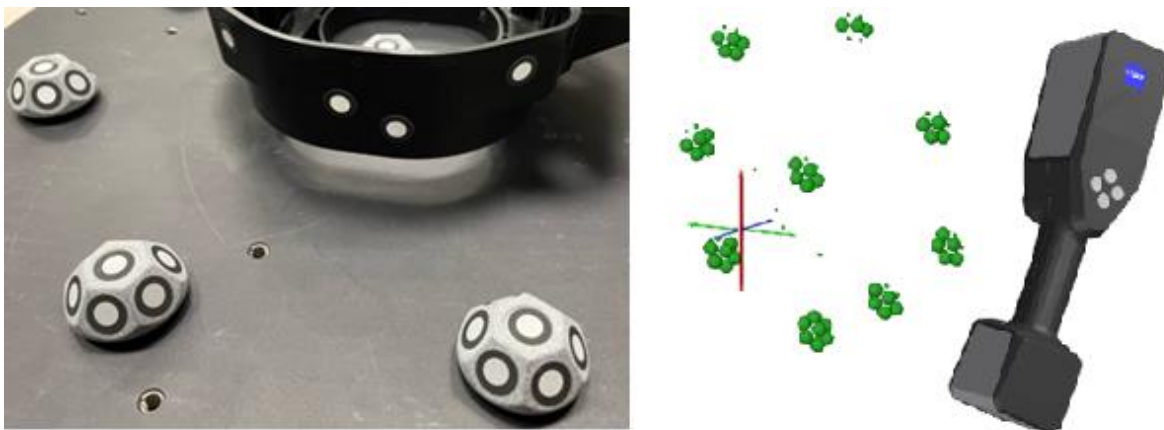
Obr. 35 - T-SCAN Hawk 2 [45]

Před samotným měřením byla provedena kalibrace 3D skeneru, čímž byla zajištěna přesnost optického systému a soulad mezi skenovací jednotkou a referenčním systémem. Kalibrace probíhala podle metodiky výrobce a výsledky byly ověřeny a uloženy ve formě kalibračního protokolu, který potvrzuje správnou funkčnost zařízení. Součástí kalibrace je i monitorování teploty. Teplota ovlivňuje roztažnost materiálů skenovaného objektu i samotného skeneru. Kalibrační deska i skener by měli mít stejnou teplotu, jako okolí. Monitorování teploty je možné vidět na Obr. č. 36. Kalibrační list 3D skeneru je vložen do přílohy č. 2.



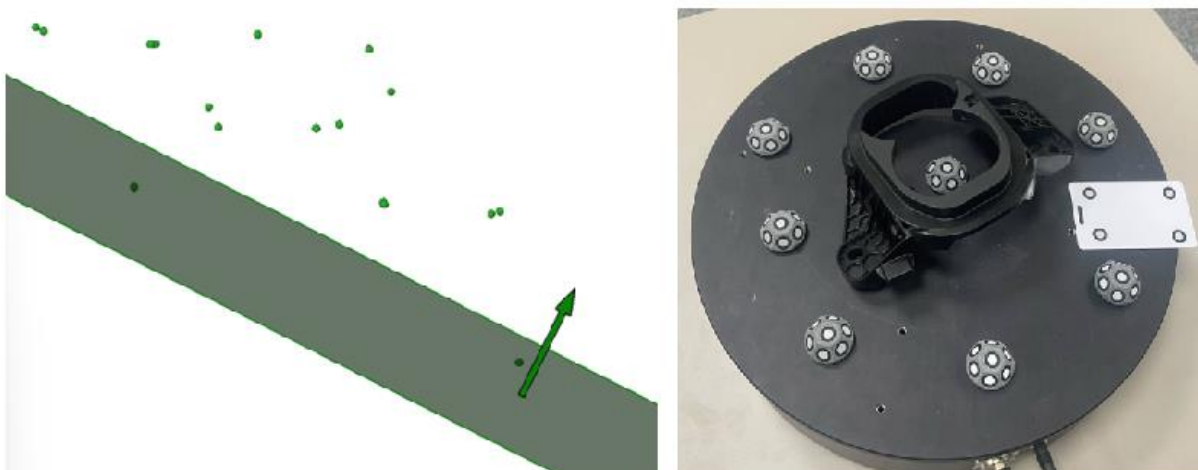
Obr. 36 - monitorování teploty

Po kalibraci následovalo skenování referenčních bodů umístěných na a okolo výlisku. Tyto body slouží jako základ pro správné prostorové zarovnání jednotlivých skenovacích snímků a pro následnou rekonstrukci celého 3D modelu. Referenční body umožňují systému sledovat polohu skeneru v prostoru a správně zarovnávat jednotlivé skeny. Umístění referenčních bodů a samotné skenování referenčních bodů je zachyceno na obr. č. 37.



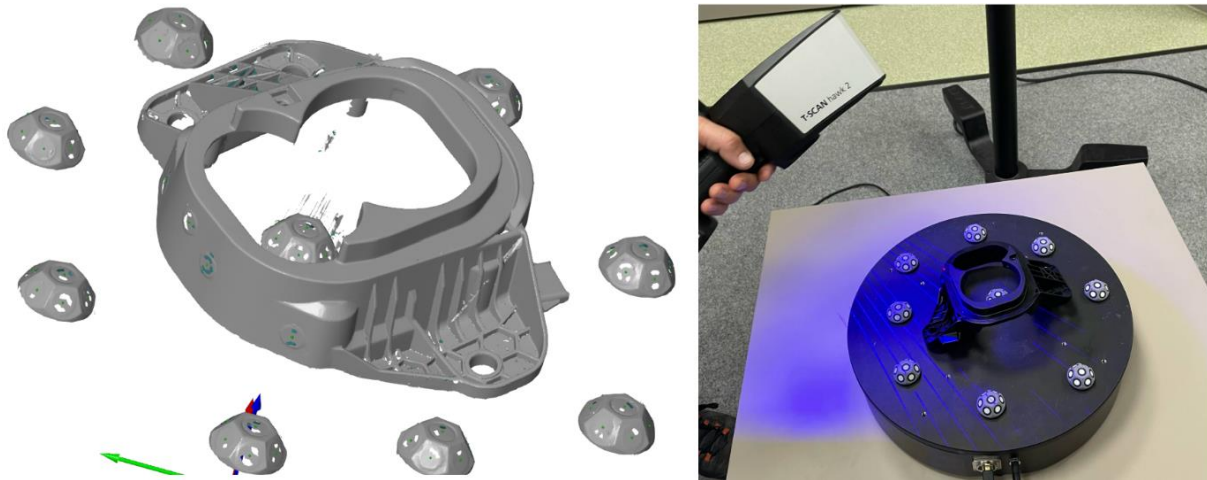
Obr. 37 - umístění referenčních bodů na výlisku a jejich skenování

Před samotným skenováním bylo definováno tzv. řezové nebo ořezové rozhraní (Obr. 38), které odděluje relevantní skenovanou oblast od okolních rušivých prvků. Tento krok zajišťuje, že budou do výsledného modelu zahrnuta pouze požadovaná data a usnadňuje další zpracování.



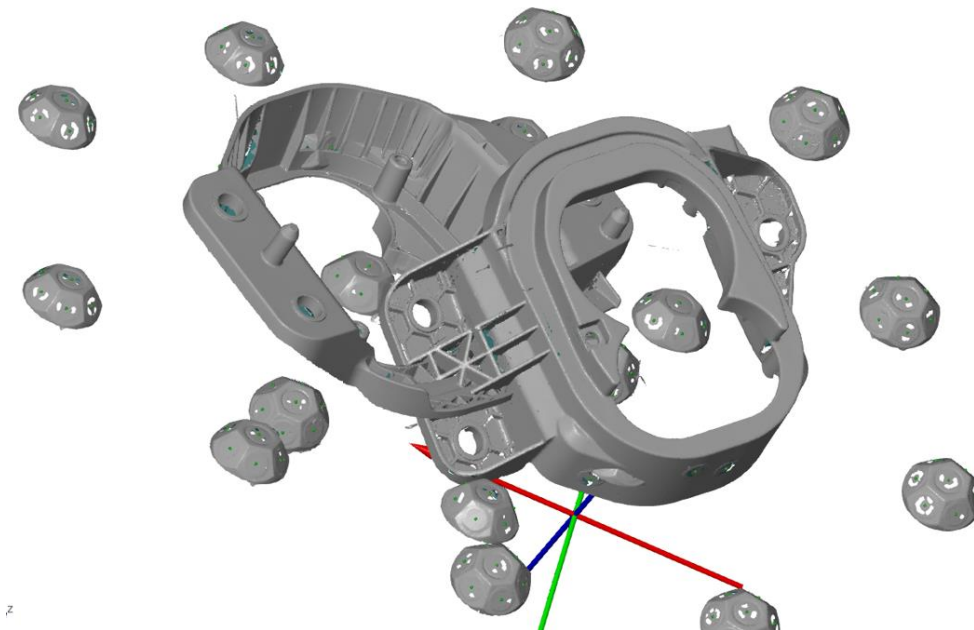
Obr. 38 - ořezové rozhraní

Následovalo samotné optické skenování výlisku viz obr. 39. Byly nasnímány všechny přístupné povrchy součásti. Zvláštní pozornost byla věnována hlubokým otvorům a dutinám, kde bylo nutné přizpůsobit úhel skenování a polohu zařízení tak, aby bylo dosaženo co nejvyšší kvality výsledné geometrie.



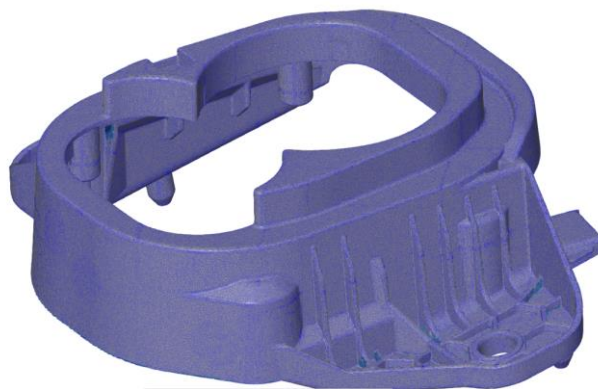
Obr. 39 - skenování výlisku

Po ukončení skenování bylo nutné zarovnat jednotlivé skeny do jednoho celku (Obr. 40). Tento krok byl proveden pomocí nasnímaných referenčních bodů, které sloužily jako styčné body pro přesné překrytí jednotlivých dílčích skenů. Výsledkem bylo vytvoření jednotné polygonální sítě, která zachycuje kompletní tvar výlisku.



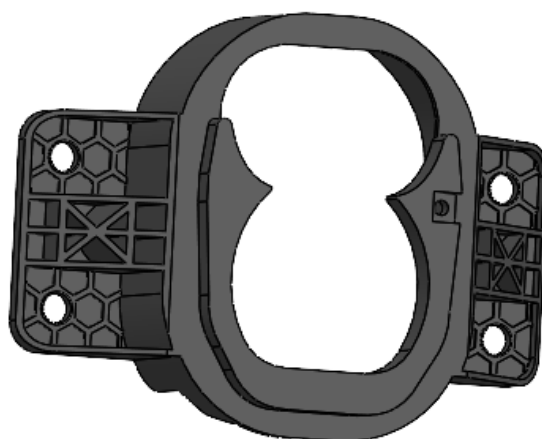
Obr. 40 - zarovnání skenů do jednoho celku

Posledním krokem bylo sloučení všech dat do jediné sítě a její následná optimalizace. Byly provedeny úpravy jako je odstranění šumu, vyhlazení sítě a zalepení děr v místech, která nebylo možné nasnímat (např. extrémně úzké dutiny nebo stíněné části). Tím vznikl kompletní a čistý 3D model výlisku vytvořený polygonovou sítí (Obr. 41), který je připraven pro další využití při tvorbě CAD modelu nebo návrhu vstřikovací formy.



Obr. 41 - vytvoření polygonové sítě

Na základě vzniklé polygonové sítě byl následně vytvořen přesný CAD model výlisku (Obr. 42) v softwaru SolidWorks. Tento proces spočíval v geometrickém odečítání klíčových rozměrů – jako jsou roviny, osy, průměry nebo vzdálenosti – přímo ze sítě, která byla importována do pracovního prostředí. Model nebyl automaticky rekonstruován, ale byl ručně překreslen podle odečtených hodnot, což umožnilo vytvořit plně parametrický 3D model vhodný pro další konstrukční a technologické úpravy, například návrh vstřikovací formy. Tato metoda zajišťuje optimalizaci některých prvků a čistou topologii CAD modelu bez zbytečných síťových chyb, které by mohly komplikovat další konstrukční kroky.



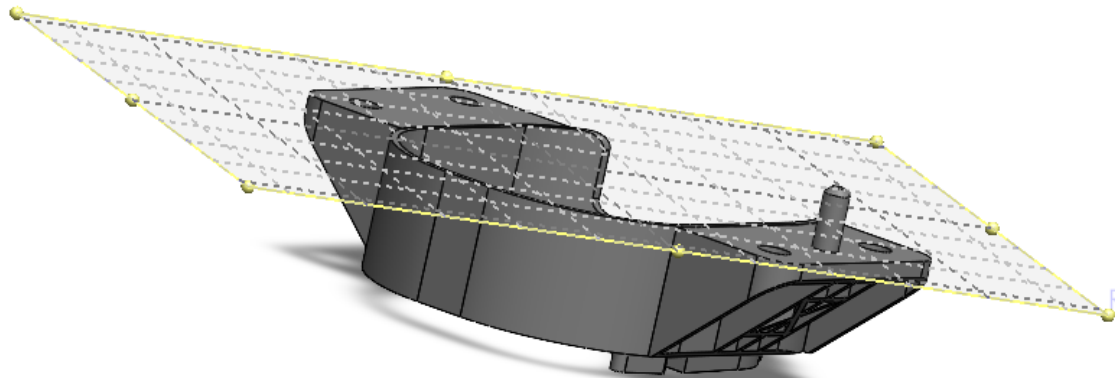
Obr. 42 - model vytvořený v programu Solidworks na základě polygonové sítě

## 4.2 Posouzení technologičnosti výlisku

Výlisky vyráběné technologií vstřikování plastů by měly splňovat určité technologické požadavky, aby byla jejich výroba co nejjednodušší a bezproblémová. Mezi klíčové faktory, které je třeba při návrhu dílů zohlednit, patří správně navržená tloušťka stěn, vhodné úkosy usnadňující vyjmutí z formy a rovněž zohlednění smrštění materiálu.

- Tloušťka stěny je jedním z klíčových parametrů při návrhu plastového výlisku. Pokud jsou stěny příliš silné, prodlužuje se doba chlazení, zvyšuje se spotřeba materiálu a mohou vznikat vnitřní pnutí nebo propadliny v důsledku nerovnoměrného tuhnutí. Naopak příliš tenké stěny mohou způsobit neúplné vyplnění formy, což vede k vadám výlisku nebo jeho snížené pevnosti. Rovnoměrná a optimálně navržená tloušťka stěn tedy přispívá k bezproblémové výrobě i kvalitě finálního dílu. Výlisek však má tloušťku stěny velmi různorodou, a to od 1 mm po 5 mm, s čímž bylo nutné počítat při konstrukci formy.

- Technologické úkosy jsou důležité především kvůli bezproblémovému odformování vylisku. Pokud by byly stěny zcela kolmé k dělicí rovině formy, vylisek by se mohl při vyjímání zadřít nebo poškodit. Úkosy, tedy mírné zkosení stěn ve směru otevírání formy, snižují tření mezi vyliskem a formou a usnadňují jeho uvolnění. To zvyšuje životnost formy, zkracuje výrobní cyklus a snižuje riziko výrobních vad. Pro daný vylisek byly zvoleny technologické úkosy 3 stupně.
- Smrštění materiálu je přirozený jev, který nastává při chladnutí plastu po vstřikování. Různé materiály mají odlišné smrštění, a je proto nutné s tímto faktorem počítat už při konstrukci formy. Pokud by se smrštění opomnělo, vylisek by mohl mít neodpovídající rozměry nebo deformace. Konstrukce formy musí být upravena tak, aby výsledek po ochlazení odpovídal požadovanému tvaru a rozměrům vylisku. Pro materiál Ultramid® B3U50G6 BK bylo z datového listu vyčteno smrštění 0.8 %.
- Určení dělicí roviny ilustruje Obr. č. 43 – pokud není vhodně navržena, může docházet k problémům při plnění dutiny formy, vzniku ořepů nebo k obtížím při vyjímání vylisku. Správně zvolená dělicí rovina usnadňuje tok taveniny během vstřikování, minimalizuje riziko vzniku netěsností nebo estetických vad a zároveň umožňuje snadné a bezpečné odformování dílu bez poškození.



Obr. 43 - určení dělicí roviny vylisku

### 4.3 Výpočty technologických parametrů formy

Nejdůležitějším parametrem, který je nezbytný pro další výpočty, bylo určení objemu vstřikovaného dílu. Tato veličina byla zjištěna v programu Solidworks, kde byl vylisek vymodelován.

Objem  $V$  [cm<sup>3</sup>] plastového dílce:

$$V = 110,8 \text{ cm}^3$$

Díky znalosti objemu vstřikovaného dílu bylo možné určit hmotnost dílu. Hodnota hustoty byla určena z materiálového listu materiálu.

Výpočet hmotnosti  $G$  [g] plastového dílce:

$$G = \rho \cdot V = 1,08 \cdot 110,8 = 120 \text{ g} \quad (4.1)$$

kde:  $\rho$  – hustota [g/cm<sup>3</sup>] – z tabulky materiálových hodnot,  
 $V$  – objem dílce [mm].

Dalším krokem bylo určení délky rozváděcího kanálku. Tato délka byla stanovena konstrukčním uspořádáním formy. Délka rozváděcího kanálku [mm] byla zvolena:

$$L_K = 30,3 \text{ mm}$$

Po stanovení délky rozváděcího kanálku bylo možné stanovit jeho objem. Hodnota koeficientu  $K_1$  byla stanovena v závislosti na materiálu a jeho hodnota pro použitý materiál je  $K_1=1$ . V případě použití jiného druhu materiálu je pro stanovení koeficientu použita Tab. 3.

Výpočet průměru rozváděcích kanálků  $D_K$  [mm]: [31]

$$D_K = D' \cdot K_1 \cdot K_2 \quad (4.2)$$

kde:  $D'$  – f (G; s) – se stanoví z tabulky průměrů rozváděcích kanálků formy,  
 $K_1$  – koeficient tekutosti materiálu [-],  
 $K_2$  – koeficient délky rozváděcího kanálku [-].

**Tab. 3 - tabulka průměrů D' a koeficientů K<sub>1</sub>[31]**

s [mm] G [g] přes – do	s = 1	s = 1,5	s = 2	s = 2,5	s = 3	s = 3,5	s = 4	s = 4,5	s = 5
0	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	6,5
<10	2,56	3,05	3,54	4,03	4,53	5,02	5,52	6,01	6,51
10–16	2,6	3,08	3,57	4,06	4,55	5,04	5,53	6,03	6,52
16–25	2,65	3,12	3,6	4,09	4,57	5,06	5,55	6,04	6,54
25–40	2,74	3,2	3,66	4,14	4,62	5,1	5,58	6,07	6,56
40–63	2,87	3,3	3,75	4,21	4,68	5,16	5,63	6,11	6,59
63–100	3,06	3,47	3,9	4,34	4,79	5,24	5,71	6,18	6,65
100–160	3,35	3,72	4,11	4,53	4,95	5,39	5,83	6,28	6,73
160–250	3,75	4,07	4,42	4,8	5,19	5,59	6,01	6,43	6,86
250–400	4,33	4,6	4,89	5,22	5,56	5,92	6,29	6,67	7,07
400–630	(5,09)	5,30	5,54	5,80	6,08	6,38	6,70	7,03	7,37
630–1000	(6,12)	(6,27)	6,44	6,63	6,84	7,07	7,31	7,57	7,84
1000–1600	(7,50)	(7,59)	(7,68)	7,80	7,92	8,06	8,21	8,37	8,55
1600–2500	(9,19)	(9,21)	(9,24)	(9,27)	9,31	9,35	9,40	9,45	9,51
K <sub>1</sub>	1,17	1,14	1,12	1,1	1,09	1,08	1,07	1,06	1,05

Tloušťka stěny dílce se pohybuje v rozmezí 1-5 mm, proto byla pro tento výpočet zvolena střední hodnota, a to  $s = 3$ . Vypočtená hmotnost dílce je 120 g. Předběžný průměr  $D'$  byl tedy stanoven na 4,95 mm.

Dalším krokem bylo určení koeficientu  $K_2$ , na základě tabulky č. 4. Stanovená délka rozváděcího kanálku 30,3 mm, tudíž byla hodnota daného koeficientu stanovena na 1,04.

**Tab. 4 - tabulka koeficientů K<sub>2</sub> [31]**

Délka kanálku L přes – do	K <sub>2</sub>	Délka kanálku L přes – do	K <sub>2</sub>
0–20	1,0	100–150	1,20
20–40	1,04	150–200	1,29
40–70	1,08	200–250	1,39
70–100	1,12	250–300	1,52

Po dosazení do rovnice vyšla hodnota průměru rozváděcích kanálků následovně:

$$D_K = 4,95 \cdot 1 \cdot 1,04 = 5.148 \text{ mm} \quad (4.3)$$

Na základě této vypočtené hodnoty byl průměr zvolen na  $D_K = 5 \text{ mm}$ . Dalším krokem po výpočtu průměru rozváděcího kanálku bylo možné stanovit objem rozváděcího kanálku.

Výpočet objemu rozváděcího kanálku  $V_K$  [ $\text{cm}^3$ ] dle vzorce: [31]

$$V_K = \frac{\pi}{4} \cdot D_K^2 \cdot L_K = \frac{\pi}{4} \cdot 5^2 \cdot 30.3 = 595 \text{ mm}^3 = 0,595 \text{ cm}^3 \quad (4.4)$$

kde:  $D_K$  – průměr rozváděcích kanálků [mm],  
 $L_K$  – délka rozváděcího kanálku [mm].

Po předchozím výpočtu následovalo stanovení praktické násobnosti formy. Bylo určeno na základě grafu, který je možné nalézt v příloze č. 2. Vzhledem k počtu kusů celé série (30 000 ks) byla praktická násobnost formy stanovena podle následující rovnice.

Stanovení praktické násobnosti formy  $n_p$  z grafu;  $n_p = f(N)$ : [31]

$$n_p = f(N) = f(1) \quad (4.5)$$

kde:  $N$  – počtu kusů série

Dalším krokem bylo vypočtení objemu hlavního vtoku. To pro zjednodušení bylo stanoveno jako dvojnásobek objemu rozváděcího kanálku.

$$V_{HV} = 2 \cdot V_K = 2 \cdot 0,595 = 1,19 \text{ cm}^3 \quad (4.6)$$

kde:  $V_K$  – objem rozváděcího kanálku

Po odečtení praktické násobnosti formy z grafu a stanovení objemu hlavního vtoku bylo možné vypočítat vstřikovaný objem dávky. Ten je dán dle následující rovnice. V rovnici je nutné počítat s faktem, že součást je vstřikována pomocí čtyř rozváděcích kanálků.

Výpočet vstřikovaného objemu (dávky)  $V_D$  [ $\text{cm}^3$ ]: [31]

$$V_D = n_p \cdot (V + 4V_K) + V_{HV} = 1 \cdot (110,8 + 4 \cdot 0,595) + 1,19 = 114,37 \text{ cm}^3 \quad (4.7)$$

kde:  $n_p$  – násobnost formy [-],  
 $V$  – objem plastového dílce [ $\text{cm}^3$ ],  
 $V_K$  – objem rozváděcího kanálku [ $\text{cm}^3$ ],  
 $V_{HV}$  – objem hlavního vtoku [ $\text{cm}^3$ ]

Následujícím krokem bylo stanovení doby vstřikování. Tato veličina je závislá na velikosti vstřikovaného objemu dávky a viskozity použitého materiálu. Tu bylo možné určit dle tabulky 5.

**Tab. 5 - tabulka viskozity materiálů [31]**

Viskozita	Vstřikovaný materiál
nízká	PE-LD, PP, PS, PA 6, PA 66, PA 610, PA 11, PPS
střední	PE-HD, ABS, CA, POM, PET, PBT, PA 12, PPO, PVC-P, SB, SAN
vysoká	PMMA, PC, PVC-U, PSU, PEI

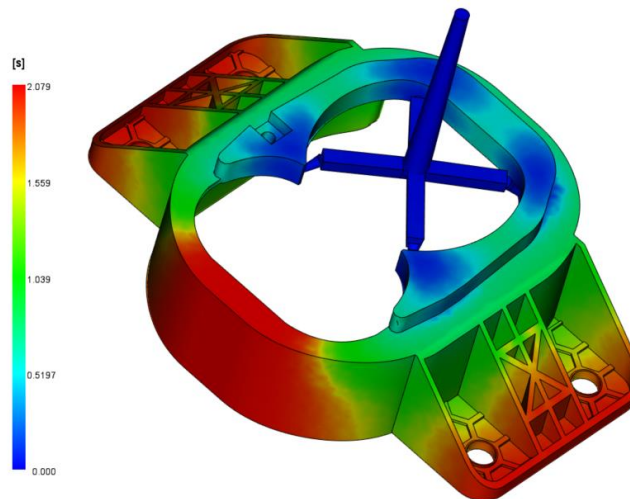
Jelikož použitým materiálem je PA 6, byla viskozita materiálu stanovena na nízkou – materiál je nízkoviskózní. Díky znalosti míry viskozity použitého materiálu a hodnoty vstřikovaného objemu bylo možné stanovit dobu vstřikování z tabulky 6.

**Tab. 6 - určení doby vstřikování [31]**

Vstřikovaný objem [cm <sup>3</sup> ]	Doba vstřikování [s]		
	Nízkoviskozní materiál	Středněviskozní materiál	Vysokoviskozní materiál
1–8	0,2 – 0,4	0,25 – 0,5	0,3 – 0,6
8–15	0,4 – 0,5	0,5 – 0,6	0,6 – 0,75
15–30	0,5 – 0,6	0,6 – 0,75	0,75 – 0,9
30–50	0,6 – 0,8	0,75 – 1,0	0,9 – 1,2
50–80	0,8 – 1,2	1,0 – 1,5	1,2 – 1,8
80–120	1,2 – 1,8	1,5 – 2,2	1,8 – 2,7
120–180	1,8 – 2,6	2,2 – 3,2	2,7 – 4,0
180–250	2,6 – 3,6	3,2 – 4,5	4,0 – 5,5
250–500	3,6 – 4,8	4,5 – 6,0	5,5 – 8,0
500–800	4,8 – 6,2	6,0 – 8,0	7,5 – 10,0

Dle tabulky 6 bylo na základě vstřikovaného objemu a míry viskozity materiálu vyčtena doba vstřikování na 1,2 – 1,8 sekund. Z tohoto intervalu byla zvolena hodnota 1,5 sekund pro následující výpočty. Dalším krokem byl výpočet doby chlazení. Při tomto výpočtu bylo nezbytné určit hodnotu efektivní teplotní roztažnosti  $a_{eff}$ . Hodnota byla vyčtena z materiálového listu materiálu na 0,4. Teploty (taveniny, materiálu, odformování) byly taktéž určeny z materiálového listu.

Hodnota byla porovnána se simulací doby vstřikování, kterou je možné vidět na obr. č. 44. Získaná hodnota ze simulace (2,079 s) se téměř shoduje s hodnotou vypočtenou, tudíž je možné konstatovat, že určení vstřikovací doby z výpočtu proběhlo správně.


**Obr. 44 - simulace vstřikovacího času**

Výpočet doby chlazení  $t_K$  [s] dle vzorce: [31]

$$t_K = \frac{s^2}{\pi^2 \cdot a_{eff}} \cdot \ln \left( \frac{8}{\pi^2} \cdot \frac{T_M - T_F}{T_E - T_F} \right) = \frac{3^2}{\pi^2 \cdot 0.089} \cdot \ln \left( \frac{8}{\pi^2} \cdot \frac{240 - 80}{95 - 80} \right) = 22,10s \quad (4.8)$$

kde:  $s$  – tloušťka [mm],  
 $a_{eff}$  – efektivní teplotní vodivost [-],  
 $T_M$  – teplota materiálu (taveniny) [°C],  
 $T_F$  – teplota formy [°C],  
 $T_E$  – teplota odformování [°C]

Po zjištění doby chlazení již bylo možné vyčíslit celkovou dobu vstřikovacího cyklu. Ta je složena ze součtu dob vstřikování, chlazení a vedlejšího času. Vedlejší čas bývá volen v intervalu 3–5 sekund. Pro následující výpočty byla zvolena hodnota vedlejšího času 5 sekund.

Výpočet doby vstřikovacího cyklu  $t_c$  [s]: [31]

$$t_c = t_v + t_K + t_N = 1,8 + 22,10 + 5 = 28,9 \text{ s} \quad (4.9)$$

kde:  $t_v$  – doba vstřikování [s],  
 $t_K$  – doba chlazení [s],  
 $t_N$  – vedlejší čas [s].

10, Výpočet termínované násobnosti formy  $n_T$  [-] [31]

$$n_T = \frac{N \cdot t_c}{T_p \cdot K \cdot 3600} = \frac{30000 \cdot 27,9}{1400 \cdot 0,7 \cdot 3600} = 0,25 \quad (4.10)$$

kde:  $T_p$  – požadovaný termín dodání [hod],  
 $K$  – faktor využití času 0,7 až 0,9.

Požadovaným termínem jsou 3 měsíce, což v činní 1440 hodin. U faktoru času byla zvolena hodnota 0.7. Z výsledku vyplývá, že zvolená násobnost formy je zvolena správně, vyšší násobnost by nebyla z hlediska efektivity potřeba. Dalším krokem, který je velmi důležitý pro výběr vstřikovacího stroje je výpočet plastikační kapacity a minimální plastikační kapacity.

Plastikační kapacita - max. množství taveniny, kterou je stroj schopen za jednotku času převést do plastického stavu je dána vzorcem: [31]

$$c_V \geq 1,2 \cdot V_D = 1,2 \cdot 114,37 = 137,244 \text{ cm}^3 \quad (4.11)$$

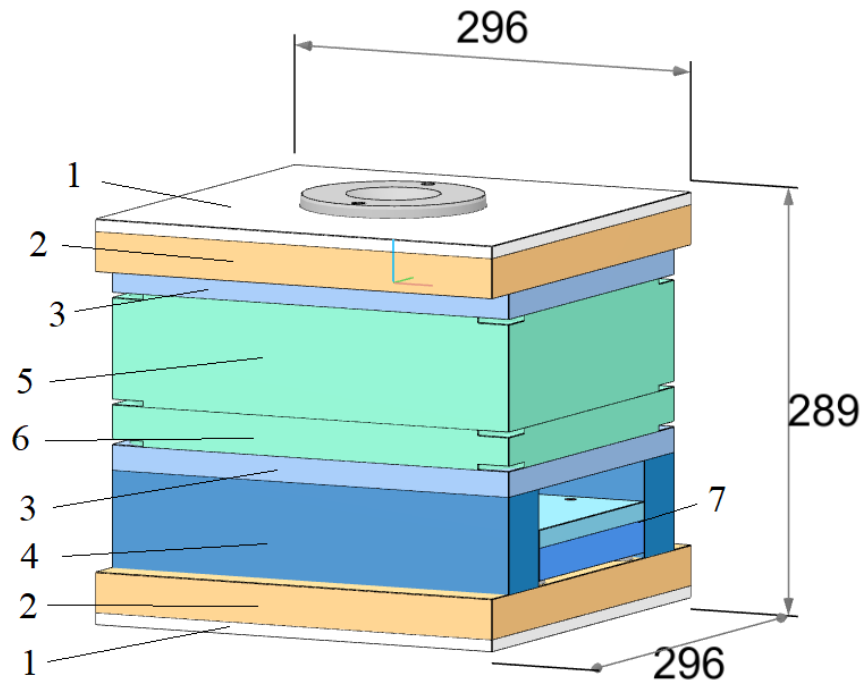
Minimální plastikační kapacita – nejmenší množství plastu, které musí vstřikovací stroj za jednotku času roztavit a dopravit do formy, aby bylo možné správně a plynule naplnit dutinu formy bez přerušování cyklu. Je dána vzorcem: [31]

$$c_p = \frac{4 \cdot \rho \cdot V_D}{t_c} = \frac{4 \cdot 1,08 \cdot 114,37}{29,1} = 16,97 \text{ kg} \cdot \text{h}^{-1} \quad (4.12)$$

Získané hodnoty slouží jako orientační přehled o parametrech vstřikovacího procesu. Je však pravděpodobné, že během samotného konstrukčního návrhu dojde k jejich úpravě, což může mírně ovlivnit výsledky výpočtů. Pro účely předběžného návrhu a dalšího technického rozpracování jsou tyto výsledky plně dostačující.

#### 4.4 Návrh desek formy

Návrh vstřikovací formy vychází z tvaru a konstrukce výlisku, přičemž jsou zohledněny také požadavky na vnitřní funkční prvky formy, jako je vyhazovací mechanismus, chladičí (temperační) systém nebo způsob uchycení tvarových vložek. S ohledem na efektivitu výroby je snahou minimalizovat spotřebu materiálu a optimalizovat celkové rozměry formy. Výchozí rámová sestava formy je znázorněna na Obr. 45. Při konstrukci byly využity normalizované desky od společnosti Meusburger, které byly následně přizpůsobeny konkrétním požadavkům dané součásti. Přehled použitých komponent je uveden v tabulce č. 7.



Obr. 45 - návrh desek formy

Tab. 7 - tabulka složení desek formy

Číslo desky	Označení	Rozměry	Materiál	Počet kusů
1	Izolační deska	246x296x8	1730	2
2	Upínací deska	246x296x27	1730	2
3	Podpěrná deska	246x296x17	1730	2
4	Rozpěrné lišty	246x296x66	1730	1
5	Tvarová deska pohyblivé části	246x296x76	1730	1
6	Tvarová deska nepohyblivé části	246x296x27	1730	1
7	Vyhazovací paket	296x156x34	1730	1

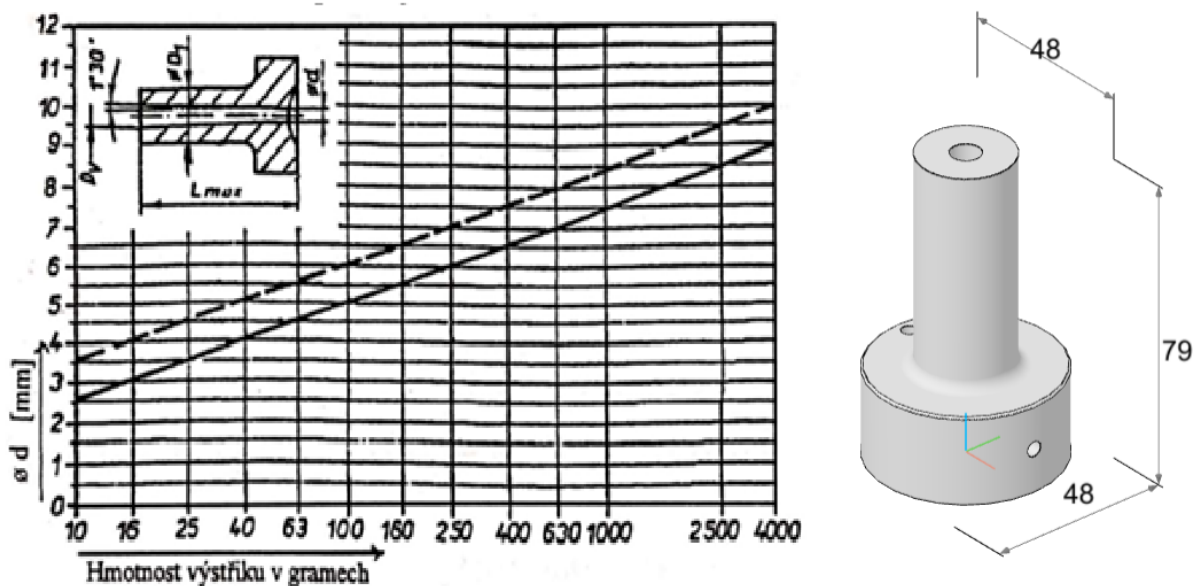
## 4.5 Vtokový systém

Pro navrhovanou výrobu byla zvolena forma s jednou tvarovou dutinou. Tavenina musí být vedena tak, aby bylo zajištěno její plynulé a bezchybné vyplnění dutiny bez vzniku vad. Základní uspořádání vtokového systému formy bylo navrženo s ohledem na prostorové možnosti formy a především na základě reverzního inženýrství původního výlisku. Při zpětné analýze fyzického dílu bylo možné jasně identifikovat pozici a orientaci původních vtokových rozváděcích kanálů. Tato informace zásadním způsobem ovlivnila volbu typu vtokové soustavy i umístění vtoku. Na základě těchto skutečností byla pro daný díl zvolena studená vtoková soustava, přičemž bylo cílem co nejvíce zkrátit dráhu toku taveniny od trysky vstřikovacího stroje k tvarové dutině, aby bylo dosaženo optimálního plnění a minimalizace tlakových ztrát. Zvolená vtoková soustava je ilustrována na Obr. 46.



Obr. 46 - použitá vtoková soustava

Na základě reverzního inženýrství bylo zjištěno, že pro plnění tvarové dutiny byly využity čtyři vtokové kanálky. Tyto kanálky jsou napojeny na rozváděcí kanál, který je umístěn v dělicí rovině formy a do nějž je tavenina přiváděna prostřednictvím hlavního vtoku. S využitím známé hmotnosti výlisku bylo možné určit potřebný vstupní průměr hlavního vtokového kanálu. Tento průměr byl stanoven pomocí nomogramu uvedeného na Obr. 47, ze kterého byla odečtena hodnota 5 mm. Pro zajištění plynulého toku taveniny byla zvolena vtoková tryska s jedním stupněm a rádiusem 40 mm, která zároveň přispívá ke snížení tlakových ztrát a minimalizaci možnosti vzniku spálenin v oblasti vtoku.

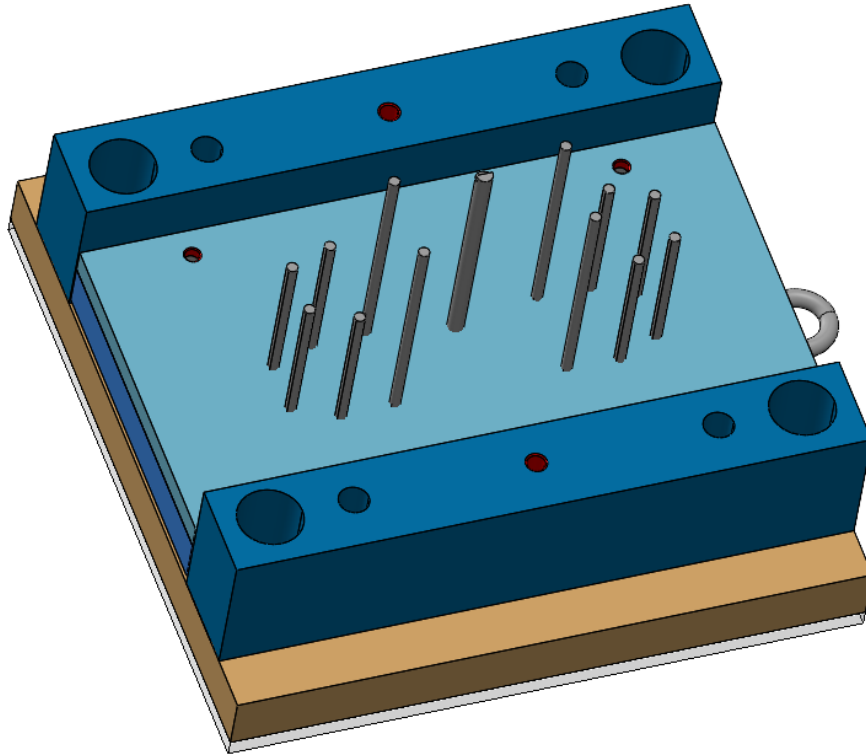


Obr. 47 - graf pro zvolení průměru vtokového kanálu a zobrazení použité vtokové trysky [31]

#### 4.6 Vyhazovací systém

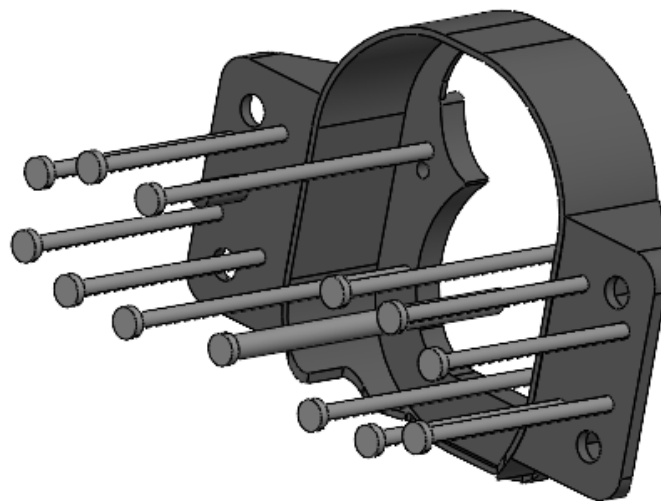
Vyhazovací systém formy zajišťuje bezpečné a spolehlivé uvolnění výlisku po ukončení vstřikovacího cyklu. Jeho návrh byl proveden na základě reverzního inženýrství původního dílu – na originálním výlisku byly zřetelně patrné stopy po vyhazovačích. Jejich poloha byla důležitým vodítkem při určování pozic nových vyhazovačů, které byly z tohoto důvodu implementovány do podobných oblastí, aby byla zajištěna správná funkce systému a stabilní uvolnění dílu z dutiny formy. Z konstrukčního hlediska jsou vyhazovače vedeny standardním

způsobem skrz vyhazovací desku, která je součástí nepohyblivé poloviny formy viz Obr. 48. Vyhazovače jsou rozmístěny převážně v centrální části formy a jejich pozice odpovídají oblastem s vyšší tloušťkou stěny a silnějším adhezním spojením s formou. Tím je zajištěno rovnoměrné působení vyhazovací síly a omezení rizika deformace výlisku při jeho uvolnění.



Obr. 48 - vyhazovací paket formy

Na následujícím obrázku (Obr. 49) je zachyceno konkrétní rozmístění vyhazovačů na samotném výlisku. Zřetelné je jejich uspořádání vůči funkčním plochám součásti, přičemž konstrukce byla volena tak, aby nedocházelo k poškození povrchu dílu ani k otřepům. Pro všechny pozice byly zvoleny standardní kalené vyhazovače typu E 1710 s průměrem 5 mm.



Obr. 49 - umístění vyhazovačů na výlisku

V oblasti zakončení hlavního vtokového kanálu byl navržen samostatný vyhazovací prvek (Obr. 50), jehož účelem je zajistit setrvání vtokového zbytku na pohyblivé části formy po jejím otevření. Aby bylo dosaženo požadovaného výsledku, bylo využito přirozeného smrštění taveniny v kombinaci s geometricky upraveným vyhazovačem. Tento vyhazovač je umístěn přímo pod vtokový rozvod a jeho specifický tvar na čelní ploše umožňuje spolehlivé přidržení materiálu během oddělování formy. Použit byl vyhazovací kolík o průměru 10 mm, jehož konec je upraven tak, aby při otevření formy nedošlo k oddělení vtoku, ale až v následné fázi odformování výstřiku. Tímto způsobem je zajištěno plynulé a kontrolované oddělení vtokové soustavy bez poškození tvarové dutiny ani výlisku samotného.



Obr. 50 - použité typy vyhazovačů

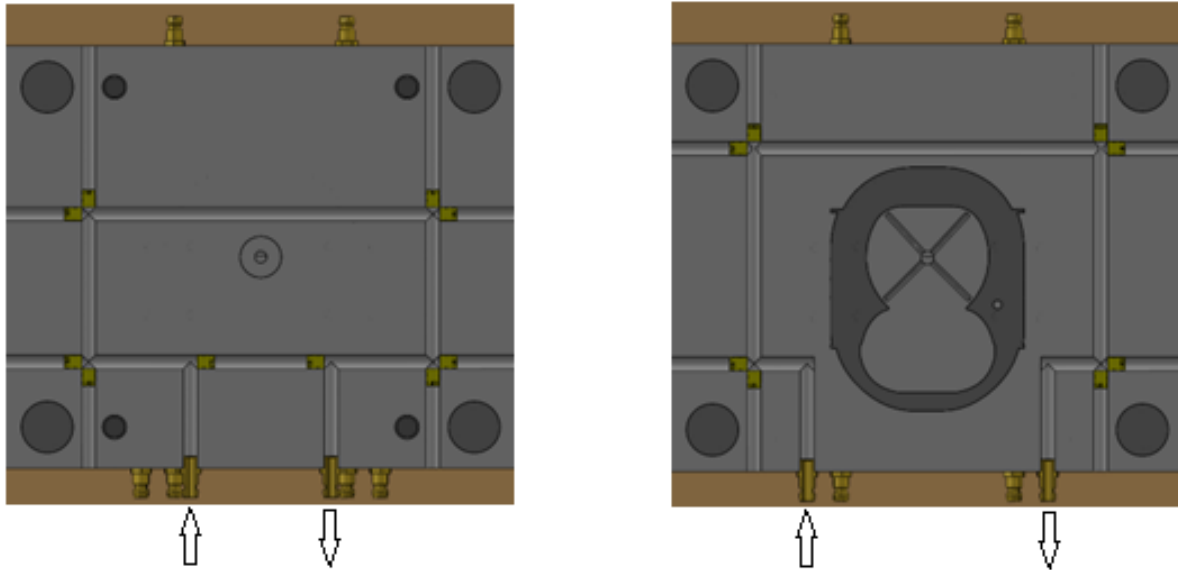
## 4.7 Temperační systém

Návrh temperačního systému formy je klíčovým prvkem ovlivňujícím kvalitu výlisku, stabilitu rozměrů a dobu cyklu. V této formě byl zvolen vodní temperační systém, který je rozveden pomocí soustavy kanálů vyvrtaných v deskách formy a osazených standardizovanými komponenty, jako jsou ventily na vodu a záslepky. Konstrukční uspořádání temperace bylo navrženo s cílem rovnoměrného rozložení teploty po celé ploše formy. Temperace je rozdělena do čtyř úrovní kolem výlisku – tři v pohyblivé části formy a jedné v části nepohyblivé. Uspořádání a průměr temperačních kanálků byl volen na základě tabulky č. 8.

Tab. 8 - uspořádání temperačního systému [28]

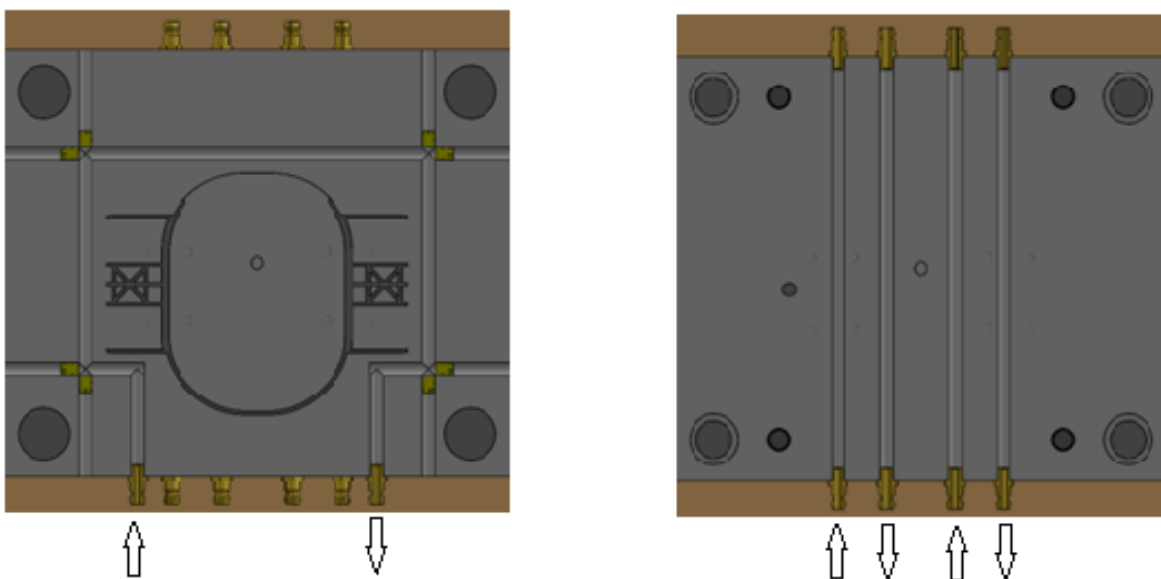
Tloušťka stěny vstříkovaného dílu $t$ [mm]	Vzdálenost osy temperačního kanálu od dutiny vstříkovací formy $A$ [mm]	Vzájemná vzdálenost os sousedních temperačních kanálů $v$ [mm]	Průměr temperačního kanálu $D$ [mm]
0–1	10–14	10–12	5–6
1–2	10–20	12–16	6–8
2–4	20–25	16–22	8–10
4–6	25–35	22–28	10–12
6–8	32–42	28–36	12–16
8–12	42–55	36–50	16–20

Na základě tloušťky stěny vstříkovaného dílu, která se pohybuje v rozmezí 1–5 mm, byly zvoleny odpovídající hodnoty z tabulky č. 8. Těmto podmínkám odpovídá vzdálenost osy temperačního kanálu od dutiny v rozmezí 20–25 mm, vzájemná vzdálenost mezi sousedními temperačními kanály v intervalu 16–22 mm a průměr temperačního kanálu byl zvolen v hodnotě 8 mm. Tyto parametry byly zohledněny při návrhu umístění a dimenzování temperačních kanálů tak, aby byla zajištěna rovnoměrná a efektivní regulace teploty po celém tvarovém povrchu formy. Samotné provedení je možné vidět na obrázcích 51 a 52.



**Obr. 51 - řez první a druhou úrovní temperačního systému formy**

Tato ilustrace (Obr. 51, vlevo) znázorňuje nejvyšší úroveň temperace umístěnou v horní části pohyblivé poloviny formy. Chladič je navržen tak, aby co nejefektivněji obepínal oblast tvarové dutiny a vstříkovací trysky, přičemž zůstává ve stálé blízkosti k povrchu vylisku, a tím zajišťuje rovnoměrný odvod tepla. Ilustrace vpravo zachycuje konkrétní případ, kdy je vedení okruhu optimalizováno kolem tvarové vložky, což přispívá ke stabilitě teploty v nejvíce zatěžované části formy.



**Obr. 52 - řez třetí a čtvrtou úrovní temperačního systému formy**

Obr. 52 zobrazuje další úrovně temperace formy. Levá část znázorňuje třetí temperační patro, které se nachází ve spodní části pohyblivé poloviny formy. Chladič je zde, podobně jako u předchozích úrovní, řešen ve formě uzavřeného okruhu, který diagonálně obepíná oblast tvarové vložky. Cílem je zajistit rovnoměrné chlazení ve všech směrech a minimalizovat teplotní rozdíly v kritických místech formy. Pravá ilustrace pak zachycuje nejnižší úroveň – temperaci ve spodní (nepohyblivé) části formy. Zde je zvolen jednoduchý průtokový systém, kdy je voda vedena přímou trasou skrz formu – z jedné strany vstupuje a na druhé straně

vystupuje. Tento způsob je konstrukčně jednodušší a zajišťuje odvod tepla z prostoru pod tvarovou vložkou, kde již není nutné tak intenzivní řízení teploty jako v horních částech formy.

Zvolený způsob temperace přináší výhodu rovnoměrného ochlazování tvarových dutin, což se pozitivně projevuje na kvalitě vylisku i na snížení cyklového času. Diagonální vedení okruhů a jejich samostatná regulace umožňuje pružně reagovat na změny výrobních podmínek. Konstrukčně jednoduché řešení s použitím standardizovaných komponent navíc zajišťuje snadnou údržbu a dobrou servisní dostupnost. Použité standardizované komponenty temperačního systému ilustruje Obr. č. 53.



Obr. 53 - rychlospojka (vlevo) a záslepka (vpravo)

#### 4.8 Volba vstřikovacího stroje

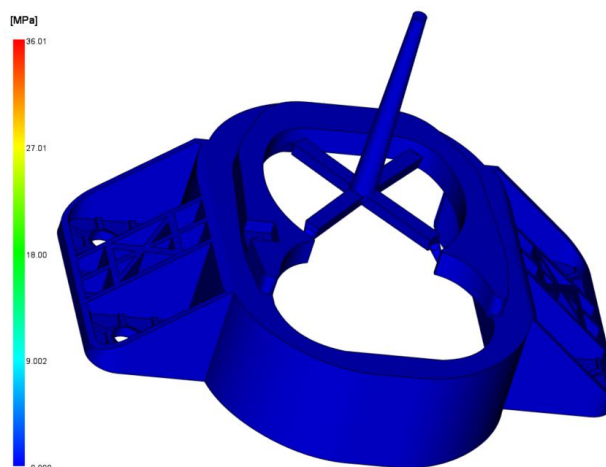
Výpočet začíná určením tvářecího tlaku, který je klíčovým vstupním parametrem pro správné dimenzování formy a výběr vhodného vstřikovacího stroje.

Tvářecí tlak  $p_A$ [bar]: [31]

$$p_A = \frac{p_V}{2} + 100 = \frac{500}{2} + 100 = 350 \text{ bar} = 35 \text{ MPa} \quad (4.13)$$

kde:  $p_V$  – vstřikovací tlak [bar]

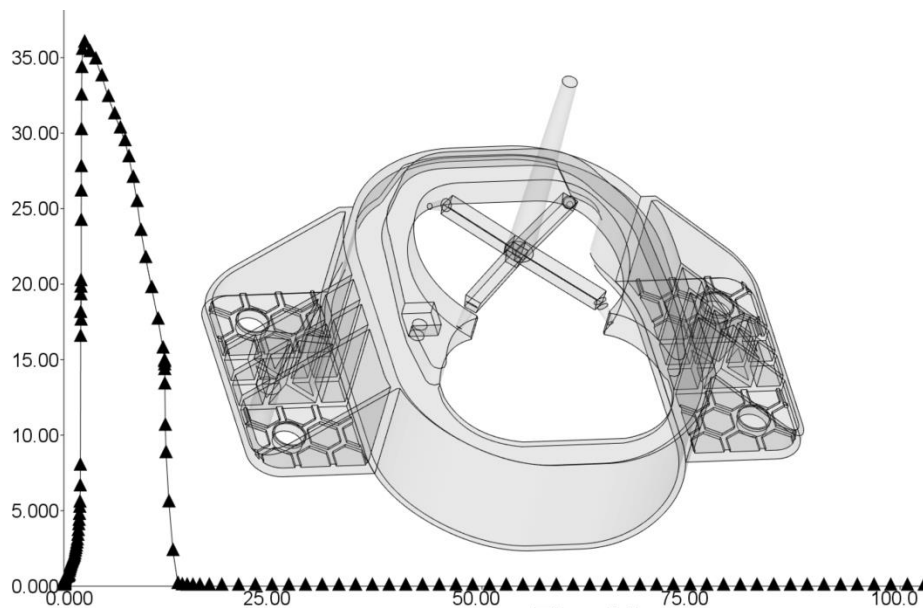
Doporučená hodnota vstřikovacího tlaku byla stanovena na základě údajů uvedených v příloze č. 4, kde byla zvolena uvedeného rozmezí tlaků (450-1550) pro materiál PA 6. Zvolenou hodnotu bylo možné porovnat s hodnotou nasimulovanou, kterou zachycuje Obr. 54. Z obou výsledků vyplívá, že hodnota tvářecího tlaku se shoduje jak s výpočtem, tak i s hodnotou získanou simulací.



Obr. 54 - Simulace tvářecího tlaku

Na základě provedené simulace byla určena potřebná uzavírací síla, která musí být vyvinuta vstřikovacím strojem, aby forma během procesu zůstala bezpečně uzavřená a nedošlo k jejímu

nechtěnému otevření působením tlaku taveniny. Tato hodnota vychází z výsledků simulační analýzy, která zohledňuje reálné podmínky plnění formy i geometrii výlisku. Na Obr. 55 je možné vyčíst závislost tun (vertikální osa) na čase (horizontální osa). Ze simulace je patrné, že uzavírací síla vyšla přibližně 35 tun, tedy 350 kN.



Obr. 55 - graf pro určení uzavírací síly

Následující krok se týká samotného vstřikovacího stroje, konkrétně výběru vhodného průměru šneku. Tento průměr je odvozen z objemu dávky taveniny pomocí empirického vztahu, který stanoví doporučené rozmezí. Vypočtená hodnota se pak porovnává s tabulkou standardizovaných průměrů a zaokrouhluje se na nejbližší běžně používaný rozměr.

Optimální průměr šneku  $D_S$  [mm]: [31]

$$7,5 \cdot \sqrt[3]{V_D} < D_S < 10,5 \cdot \sqrt[3]{V_D}$$

$$7,5 \cdot \sqrt[3]{114,37} < D_S < 10,5 \cdot \sqrt[3]{114,37} = 36,4 < D_S < 50,1 \quad (4.14)$$

kde:  $V_D$  – dávka taveniny [ $\text{cm}^3$ ]

Tab. 9 - standardizované průměry šneků [31]

Standardizované průměry šneků $D_S$ [mm]											
20	25	30	35	40	45	50	55	60	70	80	90

Na základě výpočtu byl zvolen šnek o průměru 45 mm.

Jakmile je znám vhodný průměr šneku, lze určit délku jeho dráhy pohybu potřebnou pro natlačení celé dávky materiálu do formy. Tento výpočet je důležitý pro kontrolu správné funkce plastikační jednotky. Výsledná hodnota se pak porovnává s konstrukčním rozmezím, které definuje, že dráha šneku musí být větší než jeho průměr, ale zároveň nesmí překročit jeho trojnásobek. Tato podmínka zajišťuje stabilní zpracování bez nadměrného zatížení šneku.

Stanovení délky dráhy pohybu šneku  $L_S$  [mm] pro vstřikování dávky  $V_D$  dle vzorce: [31]

$$L_S = \frac{4 \cdot 10^3 \cdot V_D}{\pi \cdot D_S^2} = \frac{4 \cdot 10^3 \cdot 114,37}{\pi \cdot 45^2} = 71,91 \text{ mm} \quad (4.15)$$

kde:  $D_S$  – optimální průměr šneku [mm],  
 $V_D$  – vstřikovaný objem (dávky) [ $\text{cm}^3$ ].

Vypočtená dráha pohybu šneku musí splňovat následující podmínku: [31]

$$D_S < L_S < 3 \cdot D_S = 45 < 71,91 < 3 \cdot 45 \quad (4.16)$$

kde:  $D_S$  – optimální průměr šneku [mm],  
 $L_S$  – délka dráhy pohybu šneku [mm].

Z výpočtu vzešlo, že podmínka byla splněna. Dalším důležitým výpočtem je stanovení otáček šneku, které určují jeho obvodovou rychlost během plastikační fáze. Tato rychlost má přímý vliv na kvalitu natavení taveniny, její rovnoměrnost a tím i výsledné vlastnosti výlisku. Důležitým parametrem pro výpočet je maximální obvodová rychlost šneku pro plastikaci taveniny. Tato veličina byla zjištěna na základě materiálového listu pro použitý materiál a její hodnota se pohybuje v rozmezí 0,15 až 3 m/s. Hodnota pro výpočet byla vyčíslena na 0,3 m/s.

Výpočet otáček šneku vstřikovacího stroje  $n$  [ $\text{min}^{-1}$ ]: [31]

$$n_S = \frac{60 \cdot 10^3 \cdot v}{\pi \cdot D_S} = \frac{60 \cdot 10^3 \cdot 0.3}{\pi \cdot 45} = 127,32 \text{ min}^{-1} \quad (4.17)$$

kde:  $D_S$  – optimální průměr šneku [mm],  
 $v$  – maximální obvodová rychlost šneku pro plastikaci taveniny [-].

Závěrem byla stanovena vstřikovací rychlost, která říká, jak rychle se dávka taveniny dostane do formy. Tento parametr je zásadní pro zajištění úplného a rovnoměrného vyplnění dutiny bez vzniku studených spojů nebo jiných defektů. Výpočet je založen na poměru mezi objemem dávky a dobou vstřikování, která se obvykle určuje na základě simulační analýzy.

Vstřikovací rychlost [ $\text{cm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ] je dána vzorcem: [31]

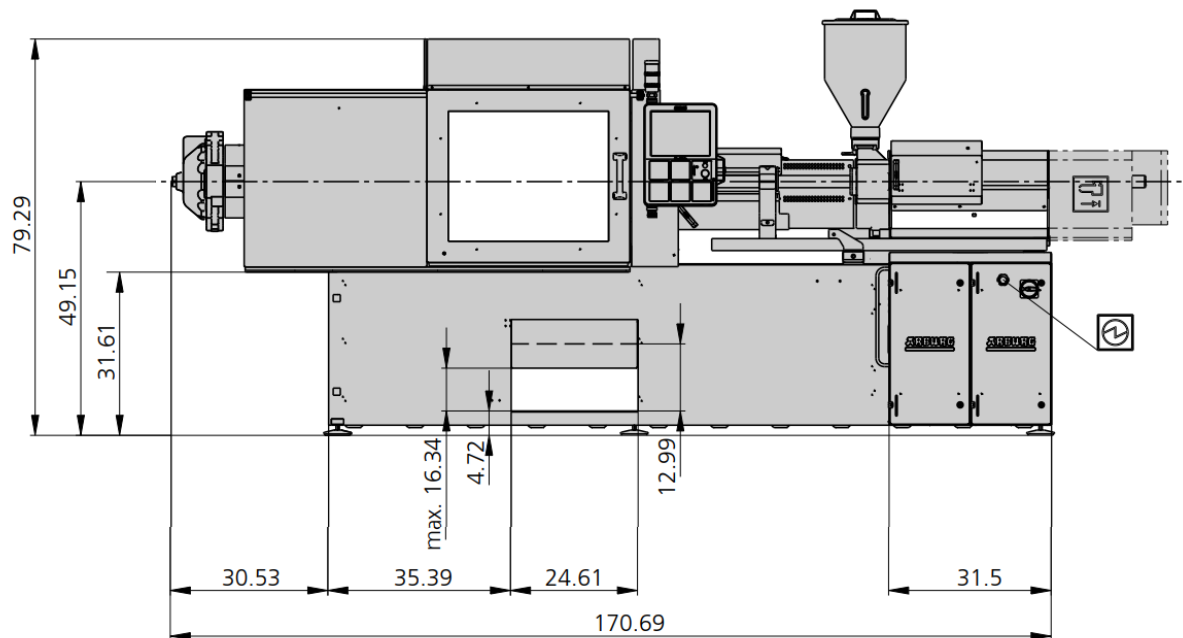
$$n_S = \frac{V_D}{t_V} = \frac{114,37}{2,079} = 55,01 \text{ cm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \quad (4.18)$$

kde:  $V_D$  – dávka taveniny [ $\text{cm}^3$ ]  
 $t_V$  – doba vstřikování (zvoleno dle simulace) [s].

Na základě provedených výpočtů a simulačních analýz byly stanoveny klíčové parametry, jako je tvářecí tlak, potřebná uzavírací síla, optimální průměr šneku, délka jeho pohybu, otáčky a vstřikovací rychlost. Pro daný výlisek byla navržena dávka taveniny o objemu 114,37  $\text{cm}^3$  a použití šneku o průměru 45 mm. Z výsledků je zřejmé, že veškeré výpočtové požadavky jsou v souladu s technickými možnostmi vstřikovacího stroje Arburg 470 C 1500-800 (Obr. 56). Jehož technický list je uveden v příloze 5. Stroj splňuje nejen požadovanou uzavírací sílu a vstřikovací tlak, ale nabízí také dostatečnou plastikační kapacitu a rychlost zpracování taveniny. Na základě porovnání všech klíčových parametrů lze tedy s jistotou konstatovat, že tento stroj je pro navrženou výrobu zcela vyhovující. Porovnání technických parametrů stroje a návrhu je možné vidět v tabulce č. 10.

**Tab. 10 - porovnání technických parametrů stroje a návrhu**

Porovnávaný parametr	Hodnota návrhu	Hodnota stroje	Zhodnocení
Vstřikovací tlak [MPa]	36	až 2000	Vyhovující
Uzavírací síla [kN]	350	1500	Vyhovující
Průměr šneku [mm]	45	50	Vyhovující
Velikost dávky taveniny [cm <sup>3</sup> ]	114,47	392	Vyhovující
Rozměry desek [mm]	296x296	650x650	Vyhovující
Minimální výška formy [mm]	189	250	Vyhovující
Rychlost [cm <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> ]	55,01	až 212	Vyhovující
Zdvih vyhazovače [mm]	66	500	Vyhovující
Plastikační kapacita [Kg/hod]	16,97	17,5	Vyhovující


**Obr. 56 - Arburg 470 C 1500-800 [31]**

## 5 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

V prvním kroku bylo nutné stanovit celkové náklady na formu, které zahrnují náklady na její konstrukci, samotnou výrobu a vstupní materiál potřebný pro její zhotovení. Tyto tři složky tvoří dohromady celkovou investici do formy a představují výchozí hodnotu pro další ekonomické výpočty. Náklady na vstupní materiál jsou uvedeny v tabulce č. 11.

**Tab. 11 - tabulka cen vstupního materiálu formy**

Název	Označení	Počet kusů	Cena v Kč
Izolační deska	E 1400/296 296/8/90	2	3236,08
Upínací deska	F 10/246 296/ 27/1730	2	12323,58
Podpěrná deska	F 60/246 296/ 17/1730	2	8342,39
Rozpěrné lišty	F 70/246 296/ 44/ 66/1730	1	8342,39
Tvarová deska pohyblivé části	F 50/246 296/ 76/1730	1	8342,39
Tvarová deska nepohyblivé části	F 50/246 296/ 27/1730	1	5575,85
Vyhazovací paket	F 90/246 296/156/1730	1	5745,96
Sředící kroužky	E 1362/125/90/26 x 20 E 1367/125/ 90 x 20	2	2877,46
Vodící sloupky	E 1000/22–76/ 55	4	2785,44
Vodící pouzdro	E 1100/22–27	4	2463,12
Centrovací pouzdra	E 1160/30 x 100	4	1820,48
Vtoková vložka	E 1610/24 x 66/5	1	2036,36
Vyhazovače	E 1710	11	859,01
Ostatní položky (spojovací materiál, přípojky, záslepky, manipulační prvky)	-		5756,18
<b>Celková cena</b>			<b>70506,69</b>

Na základě stanovené ceny za vstupní materiál formy ve výši 70 506,69 Kč, která tvoří přibližně 25 % z celkových nákladů, byly dopočítány i zbývající složky ceny formy. Pro výpočet bylo využito běžně uváděného poměrového rozdělení nákladů, kdy konstrukce formy představuje přibližně 15 %, výroba formy 60 % a materiál zbývajících 25 % celkové částky.

Celkové náklady na formu: [31]

$$C_F = C_{kf} + C_{vf} + C_{mf} = 42\,304 + 169\,216 + 70\,506,69 = 282\,026 \text{ Kč} \quad (5.1)$$

kde:  $C_{kf}$  – náklady na konstrukci formy [Kč],

$C_{vf}$  – náklady na výrobu formy [Kč],

$C_{mf}$  – náklady na vstupní materiál formy [Kč].

Na tuto hodnotu navazuje výpočet amortizace formy. Vzorec zohledňuje jak počet vyráběných kusů, tak životnost formy a její násobnost.

Amortizace formy: [31]

$$N_f = \frac{N \cdot C_F}{Z_f \cdot n_T} = \frac{30\,000 \cdot 282\,026}{700\,000 \cdot 1} = 12\,086,82 \text{ Kč} \quad (5.2)$$

kde:  $N$  – velikost výrobní série [ks],  
 $C_F$  – celkové náklady na formu [Kč],  
 $Z_f$  – životnost formy – 700 000 [počet cyklů],  
 $n_T$  – termínová násobnost formy [-].

Následně se určila hmotnost granulátu potřebná pro jeden výlisek. Tento výpočet vychází z objemu plastové součásti a hustoty zvoleného materiálu. Je to základní údaj pro výpočet materiálových nákladů.

Hmotnost dávky granulátu na jeden díl: [31]:

$$N_{gks} = V_p \cdot \rho = 114,37 \cdot 1,08 = 123,5 \text{ g} \quad (5.3)$$

kde:  $V_p$  – objem dávky taveniny [ $\text{cm}^3$ ]  
 $\rho$  – hustota [ $\text{kg/m}^3$ ] – z tabulky materiálových hodnot.

Na to navazuje výpočet celkových nákladů na granulát pro celou výrobní sérii. Využívá se zde cena granulátu za kilogram, výsledná hmotnost dávky pro jeden kus a velikost výrobní série. Tato hodnota představuje podstatnou část přímých variabilních nákladů.

Náklady na granulát celé série: [31]

$$N_{gc} = C \cdot N_{gs} \cdot N = 80 \cdot 30\,000 \cdot 123,5 = 295\,200 \text{ Kč} \quad (5.4)$$

kde:  $C$  – cena za kg granulátu [Kč],  
 $N_{gs}$  – hmotnost dávky granulátu na jeden díl [kg],  
 $N$  – počtu kusů série.

Čistý strojní čas: [31]

$$t_{s\check{c}} = \frac{N \cdot t_c}{3600 \cdot n_T} = \frac{30\,000 \cdot 28,9}{3600 \cdot 1} = 240,83 \text{ hod} \quad (5.5)$$

kde:  $N$  – velikost výrobní série [ks],  
 $t_c$  – čas cyklu [s],  
 $n_T$  – termínová násobnost formy [-].

Pro určení celkové doby výroby bylo nutné spočítat, kolik hodin bude trvat výroba celé série. Výsledná hodnota se odvíjí od délky jednoho cyklu, počtu kusů a násobnosti formy. Tento čas je důležitý pro plánování vytížení stroje a odhad personálních a provozních nákladů.

Celkové čas produkce: [31]

$$t_{\check{c}p} = \frac{240,83}{0,8} = 301 \text{ hod} \quad (5.6)$$

kde:  $t_{s\check{c}}$  – náklady na granulát na výrobu celé série,  
 $K$  – koeficient využití času (0,7 - 0,9) [-].

Na jeho základě se pak stanovil podíl z ročního odpisu stroje, který připadá na jednu konkrétní sérii. Tento výpočet bere v úvahu pořizovací cenu stroje, dobu jeho odpisu a skutečně odpracovaný čas na sérii. Výsledkem je částka, která reprezentuje opotřebení a hodnotový pokles stroje připadající na danou výrobu.

Stanovení podílu z ročního odpisu stroje pro výrobní sérii: [31]

$$N_{OS} = \frac{C_s}{24 \cdot 365 \cdot t_0} \cdot t_{\check{c}p} = \frac{870\,400}{24 \cdot 365 \cdot 3} \cdot 301 = 14\,953 \text{ Kč} \quad (5.7)$$

kde:  $C_s$  – náklady na pořízení stroje – byl vybrán použitý stroj [Kč],  
 $t_0$  – doba odpisu stroje [rok].

Souhrnně se pak spočítaly veškeré náklady spojené s provozem stroje během výroby – tedy náklady na materiál, přímý čas výroby i poměrná část odpisu stroje. Tento údaj umožňuje realisticky zachytit skutečné provozní náklady na sérii.

Celkové náklady na provoz stroje po dobu série: [31]

$$N_{ps} = t_{s\check{c}} \cdot C_{ps} + N_{OS} = 301 \cdot 250 + 14\,953 = 90\,203 \text{ Kč} \quad (5.8)$$

kde:  $t_{s\check{c}}$  – náklady na granulát na výrobu celé série [Kč],  
 $C_{ps}$  – náklady na výrobu formy [Kč],  
 $N_{OS}$  – náklady na vstupní materiál formy [Kč].

K těmto nákladům se připočetly i náklady na obsluhu stroje, které vycházejí z délky výroby a hodinové mzdy obsluhy. Tento údaj je důležitý pro zahrnutí lidské práce do kalkulače.

Náklady na obsluhu stroje [31]

$$N_{mo} = t_{\check{c}p} \cdot N_{hm} = 301 \cdot 230 = 69\,230 \text{ Kč} \quad (5.9)$$

kde:  $t_{\check{c}p}$  – náklady na granulát na výrobu celé série [Kč],  
 $N_{hm}$  – hrubá mzda operátora (zvoleno 230) [Kč · h<sup>-1</sup>]

Po sečtení všech níže zmíněných položek vznikla hodnota celkových variabilních nákladů. Ty představují všechny náklady, které přímo souvisí s vyrobeným množstvím – tedy materiál, práce, náklady na stroj i formu.

Celkové variabilní náklady: [31]

$$N_{pn} = N_{gc} + N_{ps} + N_{mo} + N_f = 295\,200 + 90\,203 + 69\,230 + 12\,086 = 466\,719 \text{ Kč} \quad (5.10)$$

kde:  $N_{gc}$  – náklady na granulát na výrobu celé série [Kč],  
 $N_{ps}$  – celkové náklady na provoz stroje po dobu série [Kč],  
 $N_{mo}$  – náklady na obsluhu stroje [Kč],  
 $N_f$  – amortizace formy [Kč].

Dalším krokem bylo zahrnutí nepřímých nákladů formou výrobní, správní a odbytové režie. Ty se vypočítaly pomocí příslušných koeficientů, které vyjadřují, jak velká část režijních nákladů připadá na osobní náklady pracovníků ve výrobě. Tyto náklady pokrývají např. údržbu, administrativu, energii nebo logistiku.

Výrobní režie pokrývající náklady na údržbu, energie a opravy: [31]

$$N_{VR} = VR \cdot N_{mo} = 1,3 \cdot 69\,230 = 89\,999 \text{ Kč} \quad (5.11)$$

kde:  $VR$  – koeficient mzdy výrobní režie (130 %) [-],  
 $N_{mo}$  – hrubá mzda operátora (zvoleno 200) [Kč · h<sup>-1</sup>]

Správní režie (HR, účetní oddělení): [31]

$$N_{SR} = SR \cdot N_{mo} = 0,6 \cdot 69\,230 = 41\,538 \text{ Kč} \quad (5.12)$$

kde:  $SR$  – koeficient mzdy správní režie (60 %) [-],

$N_{mo}$  – hrubá mzda operátora (zvoleno 200) [ $Kč \cdot h^{-1}$ ]

Odbytová režie (skladování, expedice): [31]

$$N_{OR} = OR \cdot N_{mo} = 0,3 \cdot 69\,230 = 20\,769 \text{ Kč} \quad (5.13)$$

kde:  $OR$  – koeficient mzdy odbytové režie (30 %) [-],

$N_{mo}$  – hrubá mzda operátora (zvoleno 200) [ $Kč \cdot h^{-1}$ ]

Sečtením všech těchto režijních složek vznikla hodnota celkových nepřímých nákladů. Spolu s variabilními náklady tvoří dohromady kompletní náklady na celou výrobní sérii.

Celkové nepřímé náklady: [31]

$$N_{nn} = N_{VR} + N_{SR} + N_{OR} = 89\,990 + 41\,538 + 20\,769 = 152\,297 \text{ Kč} \quad (5.14)$$

kde:  $N_{VR}$  – výrobní režie [Kč],

$N_{SR}$  – správní režie [Kč],

$N_{OR}$  – odbytová režie [Kč].

Celkové náklady na výrobní sérii: [31]

$$N_{cn} = N_{pn} + N_{nn} = 466\,719 + 152\,297 = 619\,016 \text{ Kč} \quad (5.15)$$

kde:  $N_{pn}$  – přímé náklady [Kč],

$N_{nn}$  – nepřímé náklady [Kč].

Následně se celkové náklady na sérii vydělily počtem kusů, čímž se stanovila jednotková cena výroby jedné součástky bez započtení DPH a zisku.

Náklady na výrobu jedné součástky bez DPH: [31]

$$N_{ks} = \frac{N_{cn}}{N} = \frac{619\,016}{30\,000} = 20,6 \text{ Kč} \quad (5.16)$$

kde:  $N_{cn}$  – celkové náklady na výrobní sérii [Kč],

$N$  – velikost výrobní série [ks].

Plánovaný zisk: 50 % celkových nákladů [31]

$$Z_S = 0,5 \cdot N_{cn} = 0,5 \cdot 619\,016 = 309\,508 \text{ Kč} \quad (5.17)$$

kde:  $N_{cn}$  – celkové náklady na výrobní sérii [Kč].

Velikost zisku na výrobek: [31]

$$Z_{ks} = \frac{Z_S}{N} = \frac{309\,508}{30\,000} = 10,31 \text{ Kč} \quad (5.18)$$

kde:  $Z_S$  – plánovaný zisk [Kč],

$N$  – velikost výrobní série [ks].

Na závěr se k těmto nákladům připočetl plánovaný zisk ve výši 50 % a určila se výsledná prodejní cena jednoho kusu. Tento výpočet je důležitý pro správné stanovení ceny výrobku vůči zákazníkovi a pro zajištění ekonomické návratnosti projektu.

Konečná cena výrobku se ziskem: [31]

$$C_{ks} = N_{ks} + Z_{ks} = 20,6 + 10,31 = 30,91 \text{ Kč} \quad (5.19)$$

kde:  $N_{ks}$  – náklady na výrobu jedné součástky bez DPH [Kč],  
 $Z_{ks}$  – velikost zisku na výrobek [Kč].

Pro správné stanovení kalkulace jednotkové ceny výrobku je nutné určit přímé náklady připadající na jeden kus. Tento údaj slouží jako výchozí hodnota pro stanovení ceny výrobku bez režijních a ziskových přírůžek.

Přímé náklady vynaložené na výrobu jednoho kusu součásti [31]:

$$N_{pnks} = \frac{N_{pn}}{N} = \frac{466\,719}{30\,000} = 15,55 \text{ Kč} \quad (5.20)$$

kde:  $N_{pn}$  – přímé náklady [Kč],  
 $N$  – velikost výrobní série [ks].

Dosažení bodu zvratu je klíčové pro zajištění návratnosti investice. Tento výpočet stanovuje minimální množství výrobků, které je nutné vyrobit a prodat, aby se pokryly veškeré náklady spojené s výrobou, bez dosažení zisku

Bod zvratu [31]:

$$Q_{bz} = \frac{N_{nn}}{C_{ks} - N_{pnks}} = \frac{152\,297}{30,91 - 15,55} = 9\,915 \text{ ks} \quad (5.21)$$

kde:  $N_{nn}$  – celkové nepřímé náklady [Kč],  
 $C_{ks}$  – konečná cena výrobku se ziskem [Kč].

Na základě provedených výpočtů byly stanoveny veškeré náklady spojené s výrobou zadaného plastového dílu. Celkové náklady na formu činí 282 026 Kč, přičemž jejich podíl na výrobní sérii odpovídá 12 086,82 Kč. Variabilní náklady zahrnující materiál, provoz stroje a obsluhu dosáhly výše 466 719 Kč. Po započtení nepřímých nákladů (výrobní, správní a odbytová režie) činí celkové náklady na výrobní sérii 619 016 Kč. Při uvažovaném plánovaném zisku ve výši 50 % se výsledná cena jednoho výrobku stanovila na 30,31 Kč. Vypočtený bod zvratu činí 9 915 kusů, což znamená, že od tohoto množství se investice do výroby začíná ekonomicky vyplácet. Výsledky potvrzují, že zvolený návrh formy i výrobní plán jsou z ekonomického hlediska realizovatelné.

## ZÁVĚR

Diplomová práce se komplexně zabývá návrhem výroby plastové součásti – konkrétně krytu nabíjecího portu typu „Type 2“ určeného pro použití v elektromobilech. V první fázi byl analyzován stávající díl pomocí reverzního inženýrství, na jehož základě vznikl CAD model nezbytný pro další technické zpracování. Byl vybrán vhodný materiál PA6-GF30, který splňuje požadavky na mechanickou odolnost, rozměrovou stálost, chemickou odolnost a certifikaci hořlavosti dle normy UL94 V-0, čímž je zajištěna jeho bezpečnost pro použití v automobilovém prostředí.

Na základě technické analýzy a výpočtů byl navržen tvar a konstrukce vstřikovací formy, včetně všech potřebných funkčních prvků jako je vtoková, temperační a vyhazovací soustava. Forma byla navržena jako jednonásobná, což vychází z požadavků na kvalitu výlisku, objem výroby i kapacitu dostupného vstřikovacího stroje. Byla rovněž provedena volba vhodného typu vstřikolisu na základě potřebné uzavírací síly a objemu taveniny.

Z pohledu ekonomického hodnocení bylo stanoveno, že bod zvratu nastává při výrobě přibližně 9 915 kusů. Vzhledem k plánované velikosti série 30 000 kusů je tedy výroba ekonomicky výhodná. Kromě technického návrhu práce rovněž ukazuje, že zvolený technologický postup je zcela realizovatelný v průmyslové praxi a může sloužit jako vzorový příklad pro návrh podobných plastových dílů.

Celkově lze konstatovat, že stanovený cíl práce byl naplněn. Výsledný návrh splňuje požadavky na funkčnost, kvalitu a ekonomickou efektivitu, a představuje komplexní řešení výrobního procesu od analýzy původního dílu až po závěrečné ekonomické zhodnocení.

---

## SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] *The Type 2 connector: the European standard for electric cars*. Online. 2020. Dostupné z: [www.renaultgroup.com](http://www.renaultgroup.com). [cit. 2025-02-13].
  - [2] GOODMAN, Steven J. *Charging port on electric vehicle*. Online. In: . 2022. Dostupné z: <https://blog.epectec.com/sae-j1772-the-standard-connector-for-ev-to-battery-charging-stations>. [cit. 2025-02-13].
  - [3] WHITE, Tom. *Type 2 (Mennekes) connector*. Online. In: . 2021. Dostupné z: <https://www.carsguide.com.au/ev/advice/ev-plug-types-explained-everything-you-need-to-know-about-electric-car-charging-83505>. [cit. 2025-02-13].
  - [4] ISO 16750-2:2023-ed.5.0, *Road vehicles — Environmental conditions and testing for electrical and electronic equipment*. 2023.
  - [5] XIAMEN KEYUAN PLASTIC CO. *PA6 Gf30% granule pro automobilové díly*. Online. Dostupné z: <https://cz.ky-plastics.com/polyamide-6/pa6-gf30-granule-for-auto-parts.html>. [cit. 2025-02-17].
  - [6] ALEXANDER, Amy E.; WAKE, Nicole; CHEPELEV, Leonid; BRANTNER, Philipp; RYAN, Justin et al. A guideline for 3D printing terminology in biomedical research utilizing ISO/ASTM standards. Online. *3D printing in medicine*. 2021, roč. 7, č. 1, s. 8-8. ISSN 2365-6271. Dostupné z: <https://doi.org/10.1186/s41205-021-00098-5>. [cit. 2025-02-17].
  - [7] DASSAULT SYSTÈMES. *Pros and Cons of 3D Printing*. Online. Dostupné z: <https://www.3ds.com/make/solutions/blog/pros-and-cons-3d-printing>. [cit. 2025-02-19].
  - [8] WEPROFAB. *Plastic Casting Process: The Ultimate FAQ Guide*. Online. 2024. Dostupné z: <https://www.weprofab.com/plastic-casting-process/>. [cit. 2025-02-17].
  - [9] AUSPERGER, Aleš. *Technologie zpracování plastů*. Online. Code Creator, 2016. ISBN 978-80-88058-77-9. Dostupné z: <https://publi.cz/books/183/Impresum.html>. [cit. 2025-02-19].
  - [10] HROMKOVÁ, Tereza. *Technologie vstřikování plastů: Průběh a co byste měli vědět*. Online. In: . 2024. Dostupné z: <https://prumysl.inform.cz/vyroba/technologie-vstrikovani-plastu-prubeh-a-co-byste-meli-vedet/>. [cit. 2025-02-19].
  - [11] ZEMAN, Lubomír. *Vstřikování plastů: teorie a praxe*. Praha: Grada Publishing, 2018. ISBN 978-80-271-0614-1.
  - [12] *What are the Advantages and Disadvantages of Injection Moulding?* Online. In: . PLASTIKCITY, 2022. Dostupné z: <https://www.plastikcity.co.uk/blog/advantages-disadvantages-of-injection-moulding/>. [cit. 2025-02-19].
  - [13] AGASSANT, Jean-François; AVENAS, Pierre; CARREAU, Pierre J.; VERGNES, Bruno a VINCENT, Michel. *Polymer Processing - Principles and Modeling (2nd Edition)*. Hanser Publishers, 2017. ISBN 978-1-56990-605-7.
  - [14] MALKIN, Alexander Ya. a AVRAAM I., Isayev. *Rheology - Concept, Methods, and Applications (4th Edition)*. ChemTec Publishing, 2022. ISBN 978-1-927885-93-2.
  - [15] LENFELD, Petr. *Technologie II. Vstřikování plastů*. 2009. ISBN 978-80-7372-467-2.
  - [16] BANERJEE, Ritima; SUPRAKAS SINHA, Ray; BANDYOPADHYAY, Jayita a ORASUGH, Jonathan Tersur. *Emerging Technologies in Polymer Processing*. Online. Hanser Publishers, 2025. ISBN 978-1-56990-928-7. [cit. 2025-05-20].
-

- 
- [17] OBERG, Erik; JONES, Franklin D.; HORTON, Holbrook L.; RYFFEL, Henry H. a MCCAULEY, Christopher J. *Machinery's Handbook (32nd Edition)*. Industrial Press, 2024. ISBN 978-0-8311-3732-8.
- [18] BĚHÁLEK, Luboš. *Polymery*. Code Creator, s.r.o.; distribuce publi.cz, 2016. ISBN 978-80-88058-68-7.
- [19] ONE INDUSTRY. *Plast, plasty, plastické hmoty*. Online. Dostupné z: <https://www.oneindustry.cz/lexikon/plast-plasty-plasticke-hmoty/>. [cit. 2025-02-24].
- [20] TRIBON S.R.O. *Materiály polotovarů*. Online. Dostupné z: <https://www.technicke-plasty-tribon.cz/prodej-plastu/materialy-polotovaru>. [cit. 2025-03-23].
- [21] *Rozdělení plastů podle teplotního chování*. Online. 2021. Dostupné z: [https://www.titan-multiplast.cz/produkty/rozdeleni-a-charakteristika-plastu-163?\\_gl=1\\*1u2q9ob\\*\\_gcl\\_au\\*NTYxMTQyMTk5LjE3NDA0MDU0OTQ.\\*\\_ga\\*MjAyMzkzMzQ1NS4xNzQwNDA1NDk1\\*\\_ga\\_47XMY0BH8X\\*MTc0MDQxMzc5Mi4zLjAuMTc0MDQxMzc5Mi42MC4wLjU4ODExMjUzMw...](https://www.titan-multiplast.cz/produkty/rozdeleni-a-charakteristika-plastu-163?_gl=1*1u2q9ob*_gcl_au*NTYxMTQyMTk5LjE3NDA0MDU0OTQ.*_ga*MjAyMzkzMzQ1NS4xNzQwNDA1NDk1*_ga_47XMY0BH8X*MTc0MDQxMzc5Mi4zLjAuMTc0MDQxMzc5Mi42MC4wLjU4ODExMjUzMw...) [cit. 2025-02-24].
- [22] TRES, Paul A. *Designing Plastic Parts for Assembly (10th Edition)*. Hanser Publishers, 2024. ISBN 978-1-56990-912-6.
- [23] CATOEN, Bruce a REES, Herbert. *Injection Mold Design Handbook*. Hanser Publishers, 2021. ISBN 978-1-56990-815-0.
- [24] SEIDL, Martin. *Stroje pro zpracování polymerních materiálů*. Publi.cz, 2016. ISBN 978-80-88058-71-7.
- [25] OSSWALD, Tim A. a ROMÁN, Allen Jonathan. *Understanding Polymer Processing - Processes and Governing Equations (3rd Edition)*. Hanser Publishers, 2025. ISBN 978-1-56990-922-5.
- [26] YAM, Kit L. *Wiley Encyclopedia of Packaging Technology (3rd Edition)*. John Wiley, 2009. ISBN 978-0-470-08704-6.
- [27] MICHAELI, Walter; GREIF, Helmut; KRETZSCHMAR, Gernot a EHRIG, Frank. *Training in Injection Molding - A Text- and Workbook (2nd Edition)*. Hanser Publishers, 2001. ISBN 978-1-56990-302-5.
- [28] BOBEK, Jiří. *Vstřikovací formy pro zpracování termoplastů*. Online. Publi.cz, 2016. ISBN 978-80-88058-65-6. Dostupné z: <https://publi.cz/books/179/Cover.html>. [cit. 2025-04-09].
- [29] ŽÁK, Ladislav. *Vstřikování plastických hmot*. Online. Dostupné z: [https://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/img/cviceni/htn\\_tvareci\\_nastroje\\_vstrikovaci\\_formy\\_zak.pdf](https://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/img/cviceni/htn_tvareci_nastroje_vstrikovaci_formy_zak.pdf). [cit. 2025-04-09].
- [30] ČSN 63 0002, *Gumárenská terminologie*. Praha: ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT, 2005.
- [31] ŽÁK, Ladislav. *Technologie zpracování plastů (HTZ): Přednášky a cvičení*. Obor technologie tváření kovů a plastů, Ústav strojírenské technologie, Fakulta strojního inženýrství VUT Brno, 2020.
- [32] KREBS, Josef a SOVA, Miloš. *Termoplasty v praxi: praktická příručka pro konstruktéry, výrobce, zpracovatele a uživatele termoplastů*. 5. Praha, 1999-2000. ISBN 80-86229-15-7.
- [33] YOUNG, Lee. *Burn marks on the rib of the molded plastic part*. Online. In: . 2024. Dostupné z: <https://firstmold.com/tips/burn-marks/>. [cit. 2025-04-22].
- [34] TME CZECH REPUBLIC, S.R.O. *Reverzní inženýrství – co je to reverzní technika a je legální? 2024-01-11*. Online. 2024. Dostupné z: <https://www.tme.eu/cz/news/library->
-

- 
- [articles/page/56932/reverzni-inzenyrstvi-co-je-to-reverzni-technika-a-je-legalni/#zabezpieczenia](#). [cit. 2025-05-08].
- [35] VŠB – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA, FAKULTA STROJNÍ KATEDRA OBRÁBĚNÍ, MONTÁŽE A STROJÍRENSKÉ METROLOGIE, CENTRUM 3D TISKU PROTOLAB. *Reverzni inženýrství - 3D modely*. Online. Dostupné z: <https://protolab.vsb.cz/cs/sluzby/reverzni-inzenyrstvi/>. [cit. 2025-05-08].
- [36] AIRA GROUP, S.R.O. *Reverzni inženýrství*. Online. 2022. Dostupné z: <https://www.sprava-site.eu/reverzni-inzenyrstvi/>. [cit. 2025-05-08].
- [37] *Reverse engineering design services*. Online. In: . Dostupné z: <https://www.indiamart.com/proddetail/reverse-engineering-design-services-2850454723033.html>. [cit. 2025-05-11].
- [38] SIEMENS. *Reverzni inženýrství*. Online. Dostupné z: <https://www.sw.siemens.com/cs-CZ/technology/reverse-engineering/>. [cit. 2025-05-11].
- [39] CREAFORM ACADEMIA. *Reverzni inženýrství*. Online. 2018. Dostupné z: [https://www.3d-skenovani.cz/wp-content/uploads/2020/01/ACADEMIA\\_ReverseEngineering\\_ukazka.pdf](https://www.3d-skenovani.cz/wp-content/uploads/2020/01/ACADEMIA_ReverseEngineering_ukazka.pdf). [cit. 2025-05-11].
- [40] HELIUM, Cincinnati. *Steps in the Reverse Engineering Process*. Online. 2022. Dostupné z: <https://3d-engineering.net/reverse-engineering-process-steps/>. [cit. 2025-05-11].
- [41] *Rapid Surface Model*. Online. In: ERUROPAC 3D. Dostupné z: <https://europac3d.com/products/rapid-surface-model/>. [cit. 2025-05-11].
- [42] *LIPScan 3D™ Desktop*. Online. In: LIPS. Dostupné z: <https://www.lips-hci.com/lipscan-3d>. [cit. 2025-05-11].
- [43] 3DEES INDUSTRIES S.R.O. *Jaké jsou typy 3D skenerů?* Online. Dostupné z: <https://www.3dees.cz/faq/82-jake-jsou-typy-3d-skeneru>. [cit. 2025-05-11].
- [44] ŠIMONÍK, Martin. Digitalizace - její princip a rozdělení. Online. *MM Průmyslové spektrum*. 2004. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/digitalizace-jeji-princip-a-rozdeleni>. [cit. 2025-05-11].
- [45] *T-SCAN hawk 2*. Online. In: ZEBICON A/S. Dostupné z: <https://www.zebicon.com/en/metrology-systems/3d-scanners/t-scan-hawk-2-handheld>. [cit. 2025-05-16].
-

## SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

## Symboly

Označení	Legenda	Jednotka
$C_F$	celkové náklady na formu	[Kč]
$C_{kf}$	náklady na konstrukci formy	[Kč]
$C_{ks}$	konečná cena výrobku se ziskem	[Kč]
$C_{mf}$	náklady na vstupní materiál formy	[Kč]
$C_{ps}$	Cena provozu stroje	[Kč]
$C_{vf}$	náklady na výrobu formy	[Kč]
$D'$	předběžný průměr rozváděcích kanálků	[mm]
$D_K$	průměr rozváděcích kanálků	[mm]
$D_S$	optimální průměr šneku	[mm]
$K_1$	koeficient tekutosti materiálu	[-]
$K_2$	koeficient délky rozváděcího kanálku	[-]
$L_K$	délka rozváděcího kanálku	[mm]
$L_S$	délka dráhy pohybu šneku	[mm]
$N_{hm}$	hrubá mzda operátora	[Kč · hod <sup>-1</sup> ]
$N_{OR}$	odbytová režie	[Kč]
$N_{OS}$	podíl z ročního odpisu stroje pro výrobní sérii	[Kč]
$N_{SR}$	správní režie	[Kč]
$N_{VR}$	výrobní režie	[Kč]
$N_{cn}$	Celkové náklady na výrobní sérii	[Kč]
$N_f$	Náklady na amortizaci formy	[Kč]
$N_{gc}$	Náklady na granulát celé série	[Kč]
$N_{gks}$	Hmotnost dávky granulátu na jeden díl	[g]
$N_{ks}$	Náklady na výrobu jedné součástky bez DPH	[Kč]
$N_{mo}$	Náklady na obsluhu stroje	[Kč]
$N_{nn}$	Celkové nepřímé náklady	[Kč]
$N_{pn}$	Celkové variabilní náklady	[Kč]
$N_{ps}$	Celkové náklady na provoz stroje po dobu série	[Kč]
$T_E$	Teplota odformování	[°C]
$T_F$	teplota formy	[°C]
$T_M$	teplota materiálu (taveniny)	[°C]
$T_p$	požadovaný termín dodání	[hod]
$V_D$	vstřikovaný objem (dávky)	[cm <sup>3</sup> ]
$V_K$	objem rozváděcího kanálku	[cm <sup>3</sup> ]
$Z_S$	Plánovaný zisk	[Kč]
$Z_f$	životnost formy	[-]
$Z_{ks}$	Velikost zisku na výrobek	[Kč]
$a_{eff}$	efektivní teplotní vodivost	[-]
$n_S$	otáčky šneku vstřikovacího stroje	[min <sup>-1</sup> ]
$n_T$	Termínovaná násobnost formy	[-]
$n_p$	Praktická násobnost formy	[-]
$t_K$	Doba chlazení	[s]
$t_N$	vedlejší čas	[s]
$t_c$	Doba vstřikovacího cyklu	[s]
$t_{sč}$	Čistý strojní čas	[hod]

$t_v$	Doba vstřikování	[s]
$s$	střední tloušťka dílu	[mm]
$V$	objem plastového dílce	[m <sup>3</sup> ]
$G$	hmotnost	[g]
$K$	faktor využití času	[-]
$N$	počet kusů série	[-]
$OR$	koeficient mzdy odbytové režie	[-]
$SR$	koeficient mzdy správní režie	[-]
$VR$	koeficient mzdy výrobní režie	[-]
$\rho$	hustota	[kg/m <sup>3</sup> ]

### Zkratky

Označení	Legenda
PE-LD	Polyethylen nízké hustoty ( <i>Low-Density Polyethylene</i> )
PP	Polypropylen
PS	Polystyren
PA 6	Polyamid 6 (nylon 6)
PA 66	Polyamid 66 (nylon 66)
PA 610	Polyamid 610
PA 11	Polyamid 11
PPS	Polyfenylensulfid ( <i>Polyphenylene Sulfide</i> )
PE-HD	Polyethylen vysoké hustoty ( <i>High-Density Polyethylene</i> )
ABS	Akrylonitril-butadien-styren
CA	Celulózový acetát ( <i>Cellulose Acetate</i> )
POM	Polyoxymetylen ( <i>acetal, POM</i> )
PET	Polyethylentereftalát
PBT	Polybutylentereftalát
PA 12	Polyamid 12
PPO	Polyfenylenoxid ( <i>Polyphenylene Oxide</i> )
PVC-P	Měkčené PVC ( <i>Plasticized Polyvinyl Chloride</i> )
SB	Styren-butadien
SAN	Styren-akrylonitril
PMMA	Polymethylmethakrylát ( <i>plexisklo</i> )
PC	Polykarbonát
PVC-U	Neměkčené PVC ( <i>Unplasticized Polyvinyl Chloride</i> )
PSU	Polysulfon
PEI	Polyetherimid

## SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha 1 Materiálový list PA 6 GF30
- Příloha 2 Graf pro určení praktické násobnosti formy
- Příloha 3 Kalibrační list skeneru
- Příloha 4 Rozsahy nastavovaných tlaků pro zpracování vybraných polymerů
- Příloha 5 Technický list stroje Arburg 470 C 1500-800

## SEZNAM VÝKRESŮ

Výkres dílu 2025-DP-208448-01

Výkres sestavy 2025-DP-208448-02

---

## Ultramid® B3U50G6 BK

### Product Information



Typical values for uncoloured product at 23 °C <sup>1)</sup>	Test method	Unit	Values <sup>2)</sup>
<b>Properties</b>			
Polymer abbreviation	-	-	<b>PA6-GF30 FR(53+30)</b>
Density	ISO 1183	kg/m <sup>3</sup>	<b>1500</b>
Viscosity number (0.5% in 96% H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )	ISO 307, 1157, 1628	cm <sup>3</sup> /g	<b>115</b>
Water absorption, saturation in water at 23°C	similar to ISO 62	%	<b>5.5 - 5.7</b>
Moisture absorption, equilibrium 23°C/50% r.h.	similar to ISO 62	%	<b>1.5 - 1.7</b>
<b>Processing</b>			
Melting temperature, DSC	ISO 11357-1/-3	°C	<b>220</b>
MVR 275 °C/5 kg	ISO 1133	cm <sup>3</sup> /10min	<b>25</b>
Melt temperature, injection moulding/extrusion	-	°C	<b>240 - 265</b>
Mould temperature, injection moulding	-	°C	<b>80 - 90</b>
Molding shrinkage (parallel)	ISO 294-4	%	<b>0.25</b>
Molding shrinkage (normal)	ISO 294-4	%	<b>0.80</b>
<b>Thermal properties</b>			
Deflection temp. under load 1.8 MPa (HDT A)	ISO 75-1/-2	°C	<b>210</b>
Deflection temp. under load 0.45 MPa (HDT B)	ISO 75-1/-2	°C	<b>220</b>
Temperature limit for high temperatures, 20000 h, related to 50% decrease of tensile strength	IEC 60216	°C	<b>165</b>
Temperature limit for high temperatures, 5000 h, related to 50% decrease of tensile strength	IEC 60216	°C	<b>180</b>
Coeff. of linear therm. expansion 23°C - 55°C (parallel)	ISO 11359-1/-2	E-6/K	<b>23</b>
Coeff. of linear therm. expansion 23°C - 55°C (normal)	ISO 11359-1/-2	E-6/K	<b>82</b>
<b>Flammability (UL-yellow card see attachment)</b>			
GWFI (thickness)	IEC 60695-2-12	°C (mm)	<b>960 (≥ 0.75)</b>
GWIT (thickness)	IEC 60695-2-13	°C (mm)	<b>775 (≥ 0.75)</b>
Railway: Hazard level acc. to requ. sets R22 and R23	EN 45545-2	class	<b>HL2 (0,8 - 3mm)</b>
<b>Electrical properties</b>			
			<b>dry / cond.</b>
Relative permittivity (1 MHz)	IEC 62631-2-1	-	<b>4.1 / 4.7</b>
Dissipation factor (1 MHz)	IEC 62631-2-1	E-4	<b>170 / 730</b>
Volume resistivity	IEC 62631-3-1	Ohm*m	<b>1E12 / 1E08</b>
Surface resistivity	IEC 62631-3-2	Ohm	<b>- / 1E12</b>
CTI, solution A	IEC 60112	-	<b>450</b>
Electric strength K20/K20, (60*60*1 mm <sup>3</sup> )	IEC 60243-1	kV/mm	<b>39 / -</b>
<b>Mechanical properties</b>			
			<b>dry / cond.</b>
Tensile modulus	ISO 527-1/-2	MPa	<b>11500 / 8200</b>
Stress at break	ISO 527-1/-2	MPa	<b>170 / 115</b>
Strain at break	ISO 527-1/-2	%	<b>2.5 / 3.9</b>
Flexural modulus	ISO 178	MPa	<b>11500 / 8000</b>
Flexural strength	ISO 178	MPa	<b>250 / 180</b>
Charpy unnotched impact strength, 23°C	ISO 179/1eU	kJ/m <sup>2</sup>	<b>65 / 70</b>
Charpy unnotched impact strength, -30°C	ISO 179/1eU	kJ/m <sup>2</sup>	<b>45 / -</b>
Charpy notched impact strength, 23°C	ISO 179/1eA	kJ/m <sup>2</sup>	<b>7 / 8.5</b>

**Ultramid® B3U50G6 BK**

**UL - Yellow Card**



Component - Plastics E41871

BASF SE  
 Performance Materials Europe, PMD/EX - H201, Ludwigshafen 67056 DE  
 B3U50G6(t)(f2)  
 Polyamide 6 (PA6) "Ultramid", furnished as pellets

Color	Min. Thk (mm)	Flame Class	HWI	HAI	RTI Elec (°C)	RTI Imp (°C)	RTI Str (°C)
ALL	0.40	HB	0	0	140	105	130
	0.75	V-0	0	0	150	115	140
	1.5	V-0,5VA	0	0	150	115	140
	3.0	V-0,5VA	0	0	150	115	140

Comparative Tracking Index (CTI): 1  
 Dielectric Strength (kV/mm): -  
 High-Voltage Arc Tracking Rate (HVTR): -  
 Dimensional Change (%): -

Inclined Plane Tracking (IPT) kV: 1  
 Volume Resistivity (10<sup>x</sup>ohm-cm): -  
 Surface Resistivity (10<sup>x</sup>ohms/square): -  
 High Volt, Low Current Arc Resis (D495): -

(f2) - Subjected to one or more of the following tests: Ultraviolet Light, Water Exposure or Immersion in accordance with UL 746C, where the acceptability for outdoor use is to be determined by UL.  
 (t) - May be followed by the letters LS and a color code indicating laser sensitive coloring.

ANSI/UL 94 small-scale test data does not pertain to building materials, furnishings and related contents. ANSI/UL 94 small-scale test data is intended solely for determining the flammability of plastic materials used in the components and parts of end-product devices and appliances, where the acceptability of the combination is determined by UL.

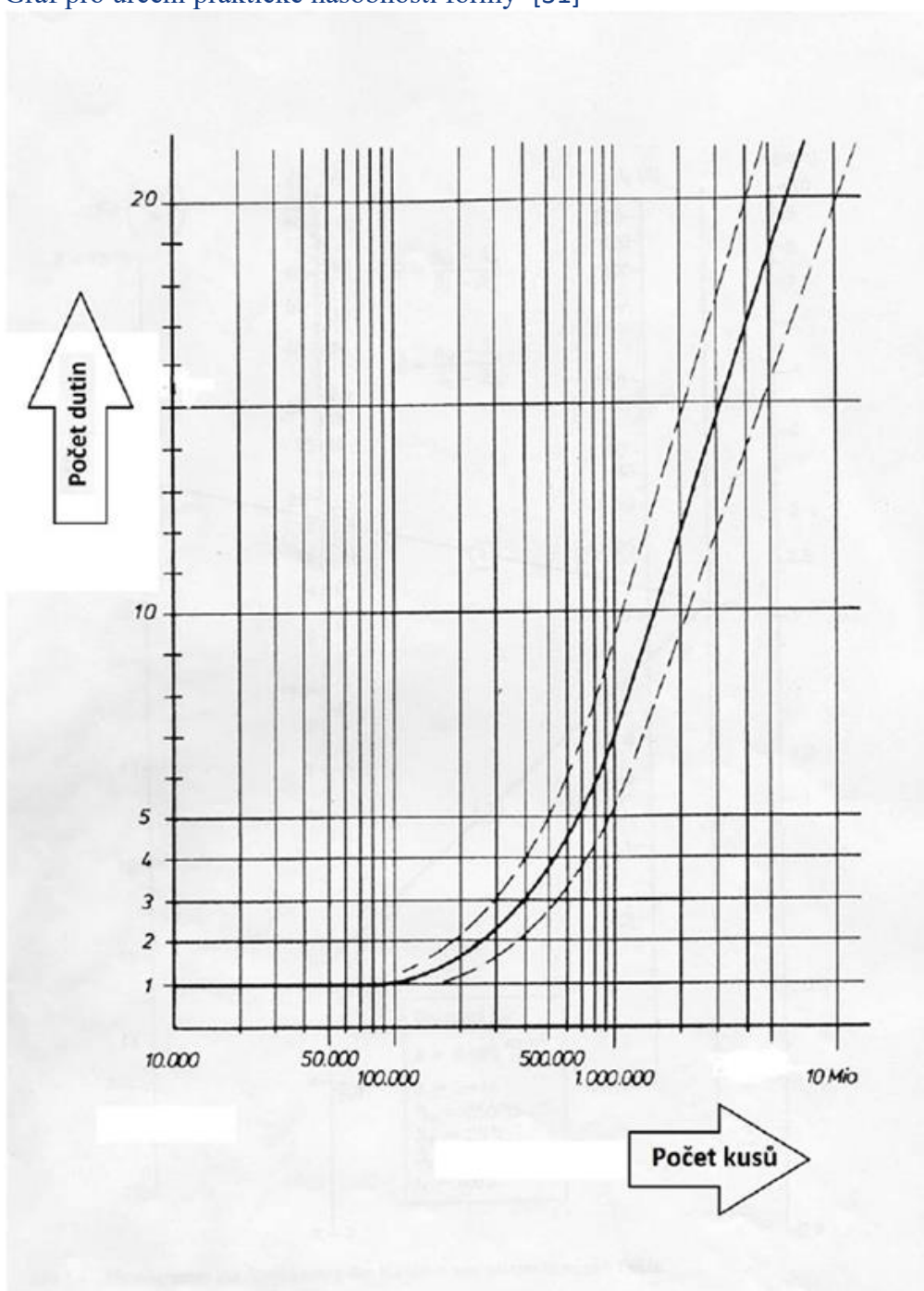
Report Date: 2016-12-14 © 2025 UL Solutions   
 Last Revised: 2018-11-23

IEC and ISO Test Methods

Test Name	Test Method	Units	Thk (mm)	Value
Flammability	IEC 60695-11-10, IEC 60695-11-20	Class (color)	0.40	HB, HB75 (ALL)
			0.75	V-0 (ALL)
			1.5	V-0,5VA (ALL)
			3.0	V-0,5VA (ALL)

Class Mfr

Graf pro určení praktické násobnosti formy [31]



## Current Calibration Info

### General

Calibration date	5/12/2025 11:34:24
Calibration type	HyperScale recalibration (3x)

### Calibrated sensor

Sensor name	T-SCAN hawk 2
Serial number	250530

### Calibration object

Object type	Panel (T-SCAN hawk 2)
Name	CPR30/400/11238
Certification date	2/19/2025
Certification ID	121103/D-K-21312-01-00/2025-02
Certification temperature	20.0 °C
Expansion coefficient	$25.53 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$
Calibration temperature	26.0 °C

### Recalibration object

HyperScale	HG3738
------------	--------

### Calibration settings

Camera lenses	8.00 mm
---------------	---------

### Recalibration Result

Recalibration deviation	0.012 Pixels
Recalibration deviation (check)	OK (limit value: 0.100 Pixels)
Recalibration temperature	23.0 °C

### Calibration Result

Calibration deviation	0.030 Pixels
Calibration deviation (check)	OK (limit value: 0.100 Pixels)
Laser calibration deviation	0.027 mm
Laser calibration deviation (check)	OK (limit value: 0.100 mm)
Camera angle	26.1°
Height variance	472 mm
Measuring volume	275 / 390 / 455 mm

Rozsahy nastavovaných tlaků pro zpracování vybraných polymerů [24]

		Vstřikovací tlak [bar]	Dotlak [bar]	Předpokládaný tlak ve tvarové dutině vstřikovací formy [bar]	Protitlak [bar]
Amorfni termoplasty	PS	650-1150	300-700	150-350	40-80
	SAN	650-1150	350-900	250-450	40-80
	ABS	650-1150	400-900	300-550	40-80
	PMMA	1000-1400	500-1150	350-550	80-120
	PC	1000-1600	600-1300	350-650	80-120
	PES	900-1400	500-1100	400-600	80-120
	PA amorfni	900-1300	450-800	350-450	40-80
Semikrystalické termoplasty	PE nízkohustotní	600-1350	300-800	200-600	40-80
	PE vysokohustotní	600-1350	300-800	200-600	60-90
	PP	800-1400	500-1100	300-650	60-90
	PA 6	450-1550	400-750	350-550	40-80
	PA 6.6	650-1550	550-1050	450-750	40-80
	POM	800-2000	700-1500	550-1050	40-80
	PET	800-1500	550-1050	450-750	60-90
	PBT	800-1550	500-1000	400-700	40-80
	PEEK	800-1500	450-800	400-700	60-90
Reakto plasty	PF	800-1500	350-900	200-550	20-80
	EP	800-2500	350-1000	200-600	10-60
Elastomery	Tekuté silikony	300-800	120-350	80-250	10-60

## TECHNICAL DATA | 470 C GOLDEN EDITION

Clamping unit		470 C GOLDEN EDITION	
with clamping force	max. tons	165	
Opening force   stroke	max. tons   inch	38.50   19.69	
Mold height, fixed   variable	min. inch	9.84   ---	
Platen daylight fixed   variable	max. inch	29.53   ---	
Distance between tie bars (w x h)	inch	18.50 x 18.50	
Mold mounting platens (w x h)	max. inch	25.59 x 25.59	
Weight of movable mold half	max. lbs	1760	
Ejector force   stroke	max. tons   inch	4.40   6.89	
Dry cycle time EUROMAP 2	min. s - inch	1.8 - 12.95	

Injection unit [EUROMAP designation]		8.2 oz [400]			15.3 oz [800]		
with screw diameter	mm	35	40	45	45	50	55
Effective screw length	L/D	23	20	18	22	20	18
Screw stroke	max. inch	6.30			7.87		
Calculated stroke volume	max. cu. inch	9.4	12.3	15.5	19.4	23.9	28.9
Shot weight	max. oz / PS	5.0	6.5	8.2	10.3	12.7	15.3
Material throughput	max. lbs/h PS	55.0	63.8	77.0	101.2	116.6	129.8
	max. lbs/h PA6.6	27.5	33.0	38.5	50.6	59.4	66.0
Injection pressure	max. psi	36250	29000	22910	35815	29000	23925
Holding pressure	max. psi	36250	29000	22910	35815	29000	23925
Injection flow 2	max. cu. inch/s	7.8	10.2	12.9	10.6	13.1	15.9
Screw circumferential speed 2	max. ft./min	154	174	197	177	197	217
Screw torque	max. ft./lbs	354	406	450	650		
Nozzle contact force   retraction stroke	max. tons   inch	6.60   11.81			7.70   15.75		
Heating capacity   zones	kW	9.70   5			19.90   8		
Feed hopper	lbs	80			80		

Drive and connection		2 pumps	
with injection unit		8.2 oz	15.3 oz
Net weight of machine	lbs	10670	11440
Sound press. level   Ref. only *	dB(A)	69   3	
Oil filling	gal.	52.84	
Drive power 2	max. kW	18.5	22
Electrical connection 3	kW	31	44
	Total	A	100   ---
	Machine	A	---   35
	Heat	A	---   50
Cooling water connection	max. °F	86	
	min. Δp psi	22   1*	

**Machine type**  
with EUROMAP size designation 1  
470 C GOLDEN EDITION 1500-400 [800]

All specifications relate to the basic machine version. Deviations are possible depending on variants, process settings and material type. Depending on the drive, certain combinations, e.g. max. injection pressure and max. injection flow may be mutually exclusive.

- 1) Clamping force (tons) - size of injection unit = max. stroke volume (cu. inch) x max. injection pressure (psi)
  - 2) Specifications depend on drive version / drive design.
  - 3) Specifications relate to 230V/60 cycles | 460V/60 cycles.
  - 4) Detailed info in the operating instr.
- [ ] Information applies to alternative equipment.