



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ**

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

**ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO INŽENÝRSTVÍ**

INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

**APLIKACE MODERNÍCH TECHNOLOGIÍ PRO NÁVRH  
VÝROBY PROTOTYPU AUTOMOBILOVÉHO DÍLU**

APPLICATION OF MODERN TECHNOLOGIES TO CONCEPT OF PRODUCTION OF CAR PART PROTOTYPE

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

BACHELOR'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

**Patrik Bachorík**

**VEDOUCÍ PRÁCE**

SUPERVISOR

**doc. Ing. Josef Sedlák, Ph.D.**

**BRNO 2016**

# Zadání bakalářské práce

|                   |                                              |
|-------------------|----------------------------------------------|
| Ústav:            | Ústav automobilního a dopravního inženýrství |
| Student:          | <b>Patrik Bachorík</b>                       |
| Studijní program: | Strojírenství                                |
| Studijní obor:    | Stavba strojů a zařízení                     |
| Vedoucí práce:    | <b>doc. Ing. Josef Sedlák, Ph.D.</b>         |
| Akademický rok:   | 2015/16                                      |

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

## **Aplikace moderních technologií pro návrh výroby prototypu automobilového dílu**

### **Stručná charakteristika problematiky úkolu:**

1. Úvod
2. Teoretická část (popis stávající technologie výroby automobilového dílu)
3. Experimentální část – aplikace moderních technologií pro výrobu prototypového dílu
4. Metrologické měření prototypových dílů pomocí 3D měřicího přístroje
5. Technicko-ekonomické zhodnocení
6. Závěr

### **Cíle bakalářské práce:**

Cílem bakalářské práce bude návrh a výroba prototypového dílu pro automobilový průmysl. Jednotlivé tvary a rozměry prototypového dílu budou zkonstruovány ve 3D parametrickém softwaru Autodesk Inventor. Pro výrobu prototypového dílu bude využita aditivní metoda Fused Deposition Modeling – 3D tiskárna uPrint. Součástí práce bude výroba silikonové formy pomocí vakuového liciho systému, která bude sloužit pro odlití určitého počtu prototypových dílů z komerčně dostupných materiálů. V práci bude provedeno metrologické měření prototypových dílů (díly vyrobené na vstřikovacím lisu, s využitím 3D tiskárny a silikonové formy) pomocí 3D měřicího přístroje za účelem vyhodnocení výrobních tolerancí vůči zadané výkresové dokumentaci. Práce bude ukončena technicko-ekonomickým zhodnocením výroby prototypového dílu s doporučením a rozбором nejvhodnější ekonomické varianty řešení.

**Seznam literatury:**

PÍŠKA, M. a kolektiv. Speciální technologie obrábění. CERM 1. vyd. 246 s. 2009. ISBN 978-80-2-4-4025-8.

CHUA, C. K., LEONG, K. F., LIM, C. S. Rapid Prototyping: Principles and Applications. 3rd ed. New Jersey: World Scientific, c2010, 512 pp. ISBN 978-981-277-897-0.

VLÁČILOVÁ, H., VILÍMKOVÁ, M., HENCL, L. Základy práce v CAD systému SolidWorks. 1. vyd. Brno: Computer Press, a.s., 2006. 319 s. ISBN 80-251-1314-0.

JACOBSON, D. M., RENNIE, A. E. W., BOCKING, C. E. In Proceedings of the 5th National Conference on Rapid Design, Prototyping, and Manufacture. Professional Engineering Publishing, 2004, pp.112. ISBN 186-058-465-9.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2015/16

V Brně, dne

L. S.

---

prof. Ing. Václav Píštěk, DrSc.  
ředitel ústavu

---

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

## ABSTRAKT

Cieľom bakalárskej práce je návrh a výroba prototypového dielu pre automobilový priemysel. Jednotlivé tvary a rozmery prototypového dielu boli skonštruované v 3D parametrickom software Autodesk Inventor 2015. Pre výrobu prototypového dielu bola využitá aditívna metóda Fused Deposition Modeling – 3D tlačiareň uPrint. Súčasťou práce bola výroba silikónovej formy pomocou vákuového liateho systému, ktorá slúžila na odlíatie určitého počtu prototypových dielov z komerčne dostupných materiálov. V práci bolo prevedené metrologické meranie prototypových dielov (diely vyrobené na vstrekovacom lise, s využitím 3D tlačiarne a silikónovej formy) pomocou 3D meracieho prístroja za účelom vyhodnotenia výrobných tolerancií voči zadanej výkresovej dokumentácii. Práca bola ukončená technicko - ekonomickým zhodnotením výroby prototypového dielu s doporučeným a rozborom najvhodnejšej ekonomickej varianty riešenia.

## Kľúčové slova

Vstrekovanie plastov, Autodesk Inventor, Rapid Prototyping, Silikónová forma, 3D súradnicový merací stroj

## ABSTRACT

The objective of my bachelor thesis is the design and manufacture of a prototype component for automobile industry. Specific designs and parameters of the prototype component were constructed in 3D parametric software Autodesk Inventor. Additive method Fused Deposition Modeling – a 3D printer uPrint was used for the production of the prototype component. A part of my work was the manufacturing of a silicone form with the use of a vacuum – moulding system. The purpose of this form was casting the required number of prototype components made of commercially available materials. Also, metrologic measuring of the pieces was carried out using 3D measuring machine with the aim of evaluation of manufacturing tolerance limits compared to the engineering drawing. The work was finished with technical and economic evaluation of the manufacture process of the prototype component with the subsequent analysis and overall assessment of the most convenient economic variant.

## Key words

Injection Moulding, Autodesk Inventor, Rapid Prototyping, Silicone Mould, 3D Coordinate Measuring Machine

## BIBLIOGRAFICKÁ CITÁCIA

BACHORÍK, P. *Aplikace moderních technologií pro návrh výroby prototypu automobilového dílu*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2016. 60 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Josef Sedlák, Ph.D..

## PREHLÁSENIE

Prehlasujem, že som bakalársku prácu na tému **Aplikace moderních technologií pro návrh výroby prototypu automobilového dílu** vypracoval(a) samostatne s použitím odbornej literatúry a prameňov, uvedených na zozname, ktorý tvorí prílohu tejto práce.

---

Dátum

---

Patrik Bachorík

**POĎAKOVANIE**

Týmto by som rád poďakoval predovšetkým doc. Ing. Josefovi Sedlákov, Ph.D. za cenné rady a príkladné vedenie pri vypracovaní bakalárskej práce. Ďalej by som rád poďakoval Ing. Alešovi Jarošovi, Ph.D. za pomoc a poznatky pri výrobe silikónovej formy. Na záver by som rád poďakoval svojej priateľke a rodine za podporu a pomoc pri štúdiu na Vysokej škole.

## OBSAH

|                                                                |    |
|----------------------------------------------------------------|----|
| ABSTRAKT .....                                                 | 4  |
| PREHLÁSENIE.....                                               | 5  |
| POĎAKOVANIE .....                                              | 6  |
| OBSAH.....                                                     | 7  |
| ÚVOD.....                                                      | 9  |
| 1 TEORETICKÁ ČASŤ .....                                        | 10 |
| 1.1 Vstrekovanie plastov.....                                  | 10 |
| 1.2 Materiály pre proces vstrekovania .....                    | 10 |
| 1.2.1 Termoplasty .....                                        | 10 |
| 1.2.2 Zmraštenie termoplastov.....                             | 11 |
| 1.3 Úprava plastický hmôt pred vstrekováním .....              | 11 |
| 1.3.1 Prísady .....                                            | 11 |
| 1.3.2 Granulovanie.....                                        | 12 |
| 1.3.3 Sušenie .....                                            | 12 |
| 1.3.4 Mletie .....                                             | 13 |
| 1.4 Časy vstrekovacích cyklov .....                            | 14 |
| 1.4.1 Strojný čas.....                                         | 14 |
| 1.4.2 Doba vstrekovania .....                                  | 15 |
| 1.4.3 Doba dotlaku.....                                        | 15 |
| 1.4.4 Doba plastifikácie .....                                 | 15 |
| 1.4.5 Doba chladnutia .....                                    | 15 |
| 1.5 Vstrekovacie lisy.....                                     | 16 |
| 1.5.1 Základný princíp činnosti vstrekovacieho stroja .....    | 16 |
| 1.5.2 Vstrekovacia jednotka.....                               | 18 |
| 1.5.3 Uzatváracia jednotka.....                                | 19 |
| 1.5.4 Vzájomné polohy vstrekovacej a uzatváracej jednotky..... | 19 |
| 1.6 Vstrekovacia forma.....                                    | 20 |
| 1.6.1 Popis formy a jej základné časti .....                   | 20 |
| 1.6.2 Vstrekovacia forma pri odformovaní dielu.....            | 22 |
| 1.6.3 Násobnosť vstrekovacej formy .....                       | 23 |
| 1.6.4 Zaformovanie súčastí a voľba deliacej roviny .....       | 24 |
| 1.6.5 Forma so studeným vtokovým systémom .....                | 24 |
| 1.6.6 Forma s horúcim vtokovým systémom.....                   | 25 |
| 1.6.7 Ústie vtokov .....                                       | 26 |

|       |                                                                                         |    |
|-------|-----------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1.6.8 | Odvzdušnenie vstrekovacích foriem.....                                                  | 27 |
| 1.6.9 | Temperácia vstrekovacích foriem.....                                                    | 27 |
| 2     | EXPERIMENTÁLNA ČASŤ.....                                                                | 29 |
| 2.1   | Tvorba modelu v 3D parametrickom software Autodesk Inventor 2015 .....                  | 29 |
| 2.2   | Tlač modelu pomocou 3D tlačiarne Dimension uPrint .....                                 | 30 |
| 2.2.1 | Exportovanie modelu do formátu STL .....                                                | 30 |
| 2.2.2 | Príprava modelu na tlač v programe Catalyst EX.....                                     | 31 |
| 2.3   | Povrchová úprava vytlačeného kusu.....                                                  | 35 |
| 2.4   | Výroba silikónovej formy .....                                                          | 35 |
| 2.5   | Odlievanie dielu do silikónovej formy .....                                             | 38 |
| 3     | METROLOGICKÉ MERANIE.....                                                               | 42 |
| 3.1   | 3D súradnicový merací stroj a jeho základné časti.....                                  | 42 |
| 3.2   | Základné parametre použitého meracieho stroja .....                                     | 42 |
| 3.3   | Postup merania.....                                                                     | 43 |
| 4     | TECHNICKO – EKONOMICKÉ ZHODNOTENIE .....                                                | 48 |
| 4.1   | Finančné náklady na vytlačenie modelu pomocou 3D tlačiarne .....                        | 48 |
| 4.2   | Finančné náklady na úpravu povrchu vytlačeného modelu.....                              | 48 |
| 4.3   | Finančné náklady na výrobu silikónovej formy .....                                      | 49 |
| 4.4   | Finančné náklady na výrobu odliatkov .....                                              | 49 |
| 4.5   | Finančné náklady na metrologické vyhodnotenie rozmerov jednotlivých foriem modelu ..... | 50 |
| 4.6   | Finančné náklady na mzdu pracovníka.....                                                | 50 |
| 4.7   | Celkové finančné náklady na výrobu prototypového automobilového dielu .....             | 51 |
| 5     | DISKUSIA.....                                                                           | 52 |
| 5.1   | Tvorba modelu.....                                                                      | 52 |
| 5.2   | Vytvorenie master modelu pomocou tlačiarne dimension uPrint.....                        | 52 |
| 5.3   | Výroba silikónovej formy a odliatkov .....                                              | 52 |
| 5.4   | Metrologické meranie dielov .....                                                       | 53 |
| 5.5   | Ekonomické zhodnotenie výroby prototypových dielov .....                                | 53 |
|       | ZÁVER .....                                                                             | 55 |
|       | ZOZNAM POUŽITÝCH ZDROJOV .....                                                          | 56 |
|       | ZOZNAM POUŽITÝCH SYMBOLOV A SKRATIEK.....                                               | 58 |
|       | ZOZNAM PRÍLOH.....                                                                      | 60 |

## ÚVOD

K jedným z najvýznamnejších priemyselných odvetví patrí automobilový priemysel. Práve v tomto priemysle sa použitie plastov v súčasnej dobe neustále rozširuje. Podiel tohto materiálu tvorí 8 - 15% automobilu, čo predstavuje približne 750 komponentov [1]. Dnes sa plasty už nachádzajú prakticky vo všetkých častiach vozidla, exteriéru i interiéru od častí karosérie, cez svetlomety, bezpečnostné prvky, až po kabeláž, či časti podvozku a prevodovky. Dôvodom pre voľbu tohto materiálu sú jeho špecifické vlastnosti, ako napríklad malá hmotnosť, vysoká pevnosť a tuhosť, recyklovateľnosť, široká variabilita designu a iné.

Najčastejším spôsobom výroby týchto prvkov je vstrekovanie taveniny plastu do formy pri vysokom tlaku. Pri tomto technologickom postupe je nevyhnutnou súčasťou oceľová forma. Náklady na jej výrobu sa pohybujú v rozmedzí tisícok až desať tisícok eur, preto je dôležité pred výrobou formy zabezpečiť jej správne navrhnutie a overiť použiteľnosť výlisku v praxi.

Jednou z používaných overovacích metód je vstrekovanie plastu do hliníkovej formy, ktorá je lacnejšia, avšak mákšia a vydrží len určitý počet cyklov. Preto efektívnejším a menej nákladným spôsobom by mohlo byť využitie technológie Rapid Prototyping. Táto technológia nám na základe vytvorenia modelu v 3D parametrickom software umožní rýchlu výrobu prototypu, prostredníctvom ktorého môžeme skontrolovať jeho funkčnosť, rozmery, posúdiť vzhľad a následne prevádzať úpravy na forme.

Pomocou tejto technológie sa vytvárajú prototypy z rozličných materiálov ako je vosk, kov či rôzne druhy plastov. Môžeme ju rozdeliť na viacero druhov podľa použitej metódy. Najrozšírenejšou je Fused Deposition Modeling (FDM). 3D tlačiarne, ktoré využívajú túto metódu, vytvárajú diel nanášaním vrstvy po vrstve vytlačaním roztaveného vlákna pomocou vyhrievanej trysky. Súčasti sú vyrábané najčastejšie z ABS, či *ABSplus* plastu. Tieto tlačiarne sú cenovo dostupné a samotné náklady na tlačenie sú nízke. Jedna z takýchto tlačiarň bola použitá i v mojej práci.

V tejto práci je teoreticky popísané spracovanie plastických hmôt pomocou vstrekovacích lisov, prakticky opísané zhotovenie modelu v 3D parametrickom software Autodesk Inventor 2015 a následné vytlačenie 3D tlačiarňou uPrint. Súčasťou práce je i výroba silikónovej formy z vytlačeného modelu pomocou vákuového liateho systému, ktorá bude slúžiť pre odliatie určitého počtu prototypových dielov. Nasledujúcim bodom je prevedenie metrologického merania 3D meracím prístrojom s cieľom vyhodnotenia výrobných tolerancií v porovnaní s výkresovou dokumentáciou. V závere práce je technicko - ekonomické zhodnotenie a posúdenie využitia technológie Rapid Prototypingu spolu s ďalšími modernými výrobnými procesmi pri výrobe oceľovej formy.

## 1 TEORETICKÁ ČASŤ

V teoretickej časti mojej práce je pojednávané o technológií vstrekovania plastov. Táto kapitola je zameraná na výber, prípravu a použitie vhodných materiálov na zhotovenie plastových dielov. V jadre teoretickej časti je priblížený základný princíp činnosti vstrekovacieho stroja. Ďalej sú tu rozoberané základné časti stroja a ich princípy fungovania. Táto časť práce je ukončená teoretickým opisom základných problémov pri návrhu a konštrukcii vstrekovacích foriem.

### 1.1 Vstrekovanie plastov

Vstrekovanie je najčastejšie používaným výrobným procesom pre výrobu plastových dielov. Ide o rýchly proces, ktorý sa používa na výrobu veľkého množstva identických predmetov, rôznych rozmerov a zložitostí. Proces vstrekovania vyžaduje použitie vstrekovacieho stroja, surovej plastickej hmoty a vstrekovacej formy [2].

### 1.2 Materiály pre proces vstrekovania

Existuje mnoho typov materiálov, ktoré môžu byť použité pri procese vstrekovania. Je to väčšina polymérov, vrátane všetkých termoplastov, niektorých termosetov a elastomérov. Pri použití týchto materiálov v procese vstrekovania je ich surová forma v podobe malých granúl (peliet) alebo jemného prášku, pričom každý materiál má iné vlastnosti. Tieto vlastnosti môžu ovplyvňovať nielen pevnosť a funkciu výlisku, ale aj parametre procesu výroby. Jednotlivé druhy materiálu vyžadujú pri spracovaní rôzne parametre ako napr. teplota tavenia materiálu, teplota formy, teplota vstrekovania, tlak vstrekovania a s tým spojenú dobu cyklu. Vstrekovaním sa spracovávajú hlavne termoplasty, preto sa ďalej zameriam predovšetkým na tieto látky [2].

#### 1.2.1 Termoplasty

Sú lineárne alebo málo rozvetvené vysokomolekulové polyméry s dlhými reťazcami spojenými slabými medzimolekulovými Van der Waalsovými silami. Zahriatím termoplastu tieto interakcie slabnú a polymér mäkne. To robí termoplasty tvarovateľné v určitej teplotnej oblasti. Zvyšovaním teploty prechádzajú do iných stavov, čím sa menia ich vlastnosti. Napr. pri izbovej teplote sú ohybné, pri teplote menšej ako 20 °C sa stávajú tvrdými a krehkými a pri teplotách väčších ako 200 °C mäknú. Tým sa stávajú plastickými a niektoré sa môžu aj rozložiť. Termoplasty v takomto stave je možné spracovávať vstrekovaním. Celý tento fyzikálny proces je opakovateľný, čo znamená, že po ochladení ich môžeme zahriatím znova previesť na taveninu a tvarovať bez toho, aby sa výrazne zmenili ich vlastnosti [3].

Ďalšími vlastnosťami termoplastov sú [3]:

- malá tepelná vodivosť,
- dobré izolačné vlastnosti,
- pevnosť v desiatkach MPa, ktorá je v porovnaní s kovmi menšia, a preto sa ich použitie v niektorých prípadoch obmedzuje alebo vyžaduje väčšie prierezy,

- starnutie vplyvom dlhodobého pôsobenia svetla, tepla a vzdušného kyslíku,
- fyziologická nezávadnosť,
- dobrá farbiteľnosť.

### 1.2.2 Zmraštenie termoplastov

Je jednou z najdôležitejších nežiadúcich vlastností termoplastov, ktoré ovplyvňujú geometriu výlisku. Tento jav sa vyskytuje u všetkých plastov. Pri vstrekaní ktoréhokoľvek termoplastu, amorfného alebo čiastočne kryštalického platí, že rozmery výlisku po jeho vyhodení z formy sa líšia rozmermi od toho istého výlisku meraného po istej dobe od jeho výroby respektíve po jeho skladovaní. Uvedené rozmerové zmeny sú často pripisované zmrašteniu. Spravidla meranie zmraštenia prebieha pri izbovej teplote 24 – 48 hodín po výrobe výlisku. Meranie uskutočnené po dlhšej časovej dobe nazývame dodatočné zmraštenie [3, 4].

Základnou požiadavkou každého zákazníka je, aby vyrobený výlisok splňal požadované rozmery, definované menovitou hodnotou, rozmerovými toleranciami a toleranciami tvaru a polohy. Tvarová dutina formy musí byť teda o príslušné zmraštenie v danom mieste väčšia. Dosiahnuť takéhoto požiadavku v praxi je, ale veľmi obťažné. Dôvodom je, že na výsledné zmraštenie pôsobí veľké množstvo ovplyvňujúcich parametrov napr. geometria výlisku, hrúbka steny, umiestnenie vtokovej sústavy, teplota taveniny, teplota formy, tlak pri vstrekaní a doba plnenia formy [4].

### 1.3 Úprava plastický hmôt pred vstrekaním

Z plastov nie je možné bezprostredne vyrábať hotové výrobky. Pred vstrekaním musia byť upravené technológiami prípravného spracovania, kde sa dá polymérom tvar pre ďalšie spracovanie (granulát, pelety, atď.) alebo sa pridajú do neho prísady a odstráni vlhkosť [3].

#### 1.3.1 Prísady

Pri vstrekaní sa obvykle termoplasty nespracovávajú ako čisté polyméry. Tie treba pred samotným procesom upraviť. V priebehu výroby polymérov sa k nim miešaním alebo hnetením pridávajú prísady, ktoré slúžia k zvýšeniu odolnosti napr. proti účinku tepla, svetla, kyslíka a tiež ďalších látok [3].

Najvýznamnejšie prísady sú:

Mastivá slúžia na uľahčenie spracovania plastických hmôt bez toho, aby mali nejaký vplyv na vlastnosti výrobkov. Pridaním mastív do polymérov sa zlepšuje ich zatekatelnosť, čo vedie k ľahšiemu vybraniu výliskov z formy [3].

Plnivá sú organické a anorganické látky, ktorými sa zvyšujú mechanické, tepelné a elektrické vlastnosti polymérov. Sú to napr. aktívne sadze, grafit, sírnik molybdeničitý, ktoré sa pridávajú vo forme práškov. Prísadou sírnika molybdeničitého a grafitu sa znižuje koeficient trenia polymérov. Plnivá sa môžu vyskytovať tiež vo forme sekaných vlákien, napr. sklenených a azbestových. Ich pridaním sa zvyšuje modul pružnosti, tepelná odolnosť, tvrdosť, rozmerová stabilita a ďalšie vlastnosti polymérov [3].

Zmäkčovadlá sú organické látky, ktorých hlavnými funkciami sú dodávať polymérom húževnatosť a ohybnosť, znižovať viskozitu taveniny a modul pružnosti. Sú kvapalné alebo tuhé, málo prchavé [3].

Pigmenty sú prísady, ktoré ovplyvňujú farbu výrobkov. Voľba pigmentov závisí na povahe plastickej hmoty a na teplote spracovania [3].

### 1.3.2 Granulovanie

Polymerizáciou vznikajú najčastejšie polyméry vo forme práškov, ktorá nie je vhodná pre technológiu vstrekovania. Polyméry vo forme granúl sú pre vstrekovanie oveľa vhodnejšie, preto sa pred spracovaním granulujú. Výhodami polymérov vo forme granúl sú napr. ľahšie dávkovanie, ochrana materiálu pred znečistením, menšia lepivosť a zamedzenie strát spôsobených rozprašovaním [3].

Granulátom sú zrná o veľkosti troch až štyroch milimetrov, ktoré môžu mať tvar valčekov, kociek alebo guľčiek. Tvar granulátu ovplyvňuje sypný uhol, sypný objem a uhol roviny, pri ktorom dochádza k samovoľnému presypaniu vrstvy materiálu. Granulát v tvare hranolčekov má najvyšší sypný objem a najmenší uhol a naopak v tvare guľčiek má sypný objem najmenší a uhol najväčší [3].

Spôsoby výroby granulátu [3]:

- Valcovaním - termoplast sa valcuje do tvaru pásika. Tento spôsob je vhodný najmä pre výrobu granulátu mäkkých materiálov [3].
- Vytlačovaním - vytlačením nekonečného profilu, ktorý sa rozseká. Tento spôsob výroby sa používa najčastejšie a prebieha buď za tepla, alebo za studena. Granuláciu za tepla možno použiť pri materiáloch, ktoré zachovávajú svoj tvar a vo vtláčenom tvare sa nelepia, napr. polyvinylchlorid [3].

### 1.3.3 Sušenie

Jedným z hlavných faktorov ovplyvňujúcich kvalitu termoplastov je obsah vlhkosti. Obvykle sa vyjadruje v hmotnostných percentách udávajúcich počet dielov vody v sto dieloch vlhkého materiálu. Materiál sa dodáva v rôznych typoch obalov ako sú PE mechy, papierové mechy, oktabíny či obaly s ochranou vrstvou pred preniknutím vlhkosti. Obsah vody v polyméroch potom závisí na relatívnej vlhkosti a teplote prostredia, v ktorom je materiál uskladnený. Je dôležité venovať pozornosť premiestneniu materiálu zo skladu s nižšou teplotou vzduchu do lisovne kde je teplota vyššia. Týmto premiestnením dochádza v dôsledku zmeny teplôt k vzniku povrchovej vlhkosti na povrchu granulátu, ktorú je nutné pred spracovaním odstrániť vysušením. Tento jav je závislý na veľkosti a tvare granulátu. Materiál vo forme prášku navlhá omnoho rýchlejšie ako materiál v tvare granúl. Vlhkosť materiálu môže byť spôsobená aj vplyvom predchádzajúcich operácií, kde hmota prišla do styku s vodou. Pri suspenzií a pri emulznej polymerizácii alebo pri granulácii hmoty vytlačovaný profil prechádza vodným chladiacim kúpeľom [4].

Len malá časť plastov je nevlhnúca. Medzi tieto plasty patrí napr. PE, PP a PS, ktoré pri správnom skladovaní nie je potrebné sušiť. Ostatné plasty môžeme rozdeliť podľa schopnosti pohlcovať vlhkosť na dve skupiny. Do prvej skupiny patria plasty ako ABS, PA,

POM a iné. Obsah vlhkosti pri týchto materiáloch spôsobuje, že tavenina má pri vstrekaní nižšiu tuhosť (viď obr. 1.1), čo spôsobuje povrchové vady pri výstreku a to striebrenie alebo biele fľaky na povrchu. Tieto plasty je potrebné pred spracovaním sušiť, teda zbaviť absorbovanej vlhkosti. Stačí ich vysušiť na zbytkovú hodnotu obsahu vody 0,05 – 0,02 hm. %. V druhej skupine plastov sú napr. PC, PET, PBT a iné. Sú to plasty ktoré navlhajú len málo a stopy po vlhkosti sa na povrchu výstreku skoro neobjavujú. I vzhľadom na malé povrchové vady je dôležité tieto materiály vysušiť, pretože i pri malej vlhkosti u nich dochádza k hydrolytickému degradačnému procesu, ktorého výsledkom je zníženie niektorých mechanických vlastností, najmä húževnatosti [5, 6].



Obr. 1.1 Tvar taveniny vytlačenej z trysky vstrekovacieho stroja u suchého a vlhkého polyméru [5].

Pre sušenie granulátu pred spracovaním sa používa niekoľko typov sušiarňí [6]:

- sušiarne so samovoľnou cirkuláciou vzduchu,
- sušiarne s núteným obehom ohriateho vzduchu,
- sušiarne s núteným obehom ohriateho suchého vzduchu,
- podtlakové sušiarne,
- tlakovzdušné sušiarne.

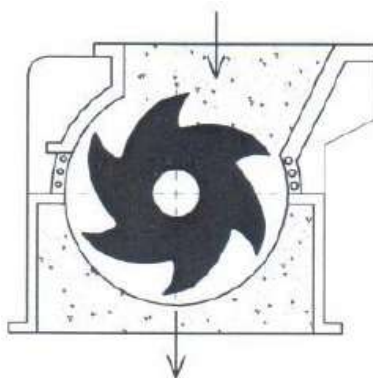
### 1.3.4 Mletie

Mletím sa spracováva plastový odpad ako napríklad zmätky alebo vtokové zbytky, do formy zŕn, ktoré sa vracajú do procesu vstrekovania. Plastové zmätky väčších rozmerov sú pred mletím rozrezané pomocou kotúčových alebo pásových píl na menšie rozmery [3, 6].

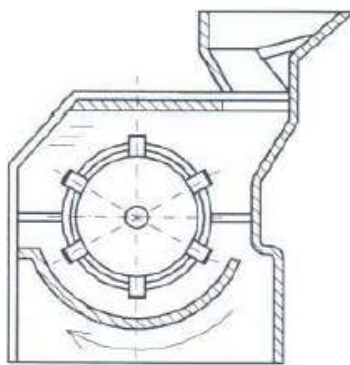
Podľa druhu plastu, ktorý má byť spracovaný mletím vyberáme typ mlynu [6, 7]:

- Nožové mlyny - mlyn s niekoľkými nožmi uložených radiálne okolo rotoru a s nožmi priamo na rotoru. Veľkosť zŕn je daná veľkosťou oka sita v spodnej časti mlynu. Hlavnou výhodou týchto mlynov sú rovnomerne veľké zrná s malým obsahom prachu. Používajú sa pri spracovaní mäkkých a stredne húževnatých materiálov ako sú napríklad polyetylén či polypropylén. Nožový mlyn je znázornený na obr. 1.2 [6, 7].

- Kladivkové mlyny - mlyn s rotorom na ktorom sú voľne zavesené kladivká. Materiál je drvený údermi kladiviek na materiál a následným trením o pancierové steny skrine. Veľkosť zŕn je daná veľkosťou otvorov na rošte v spodnej časti mlynu. Používa sa pri spracovaní krehkých a stredne húževnatých materiálov ako sú napríklad polystyrén, terpolymer ABS a tvrdý polyvinylchlorid. Kladivkový mlyn je znázornený na obr. 1.3 [6, 7].



Obr. 1.2 Nožový mlyn [2].



Obr. 1.3 Kladivkový mlyn [2].

#### 1.4 Časy vstrekovacích cyklov

Pri vstrekovaní majú časy jednotlivých cyklov rôzne trvanie. Tieto časy sú ovplyvnené technologickými podmienkami vstrekovania a tiež geometriou výstreku [6].

##### 1.4.1 Strojný čas

Súčet časov potrebných na otvorenie, uzatvorenie formy a na odstránenie výlisku z formy. Závisí na rýchlosti ktorou sa forma pohybuje a na dráhe ktorú musí uraziť. Dráhu určuje jej otvorenie, ktoré je dané rozmerom výstreku a súčasne musí byť tak veľké aby mohol byť výlisok z formy bezpečne vytiahnutý. Rýchlosť otvorenia nie je na celej dráhe rovnaká. Pri otvorení formy sa najskôr pohyblivá časť vzdiali vyššou rýchlosťou od pevnej časti a pri dosiahnutí dorazu sa táto rýchlosť zníži. To hlavne kvôli bezpečnému odstráneniu výlisku z formy. Rovnako pri uzatváraní je spočiatku rýchlosť pohyblivej časti vysoká a pri

dosadení k pevnej časti sa zníži, aby došlo k ich väčšiemu dosadnutiu a forma sa nepoškodila veľkým nárazom. Je snaha skrátiť strojný čas na minimum zvyčajne sa pohybuje v rozmedzí niekoľkých sekúnd [6, 8].

#### **1.4.2 Doba vstrekovania**

Čas za ktorý sa zaplní dutina formy taveninou. Táto doba je ovplyvnená viacerými faktormi. Hlavným je rýchlosť otáčania šneku pomocou ktorého sa v vstrekovacej jednotke materiál pohybuje. Rýchlosť šneku je daná teplotou taveniny, vstrekovacím tlakom a technologickými podmienkami. Ďalšími dôležitými faktormi sú teplota formy, tvar vtokovej sústavy, objem výstrelu, geometrický tvar výstrelu a druh materiálu. U moderných strojov sa dá podľa potreby doba vstrekovania nastaviť. Pohybuje sa v rozmedzí od zlomku sekundy po niekoľko málo sekúnd. Musí byť však čo najkratšia. V opačnom prípade by pri vzťahu taveniny s chladenou formou mohlo prísť k ochladeniu taveniny, tá by stratila tekutosť a nezaplnila by celú formu, čím by vznikol nedolísovaný kus [6, 8].

#### **1.4.3 Doba dotlaku**

Doba po naplnení formy taveninou, pri ktorej dochádza ku stlačovaniu hmoty. V priebehu tejto doby tlak prudko stúpe a rýchlosť náhle klesne. Ďalej dochádza k dodávaniu taveniny materiálu aby sa odstránil vplyv zmraštenia materiálu behom chladnutia. Ten by mohol spôsobiť prepadliny a deformácie na výlisku. Veľkosť dotlaku sa v priebehu tejto doby mení. Spočiatku je dotlak veľký, aby sa využilo vysokej tekutosti taveniny a ku koncu sa zmenšuje aby nedochádzalo k pretekaniu v oblasti vtoku. Doba dotlaku závisí hlavne na prierezu vtokového kanálu. Jej dĺžka je v rozmedzí niekoľkých sekúnd až niekoľkých desiatok sekúnd [6].

#### **1.4.4 Doba plastifikácie**

Čas pri ktorom dochádza k plastifikácií (roztaveniu) materiálu v podobe malých granúl, k jeho zhomogenizovaniu a umiestneniu pred čelo šneku. K plastifikácii dochádza v taviacej komore. Časť tepla potrebná k roztaveniu materiálu je dodávaná tepelnými telesami, ktoré sú umiestnené po obvode komory a časť tepla vzniká trením pri hnetení hmoty. Jedna dávka roztaveného materiálu musí byť tak veľká aby dokázala zaplniť dutiny formy a vtokový systém formy. Tiež sa musí prihliadnuť na zmraštenie, ktoré spôsobuje zmenu objemu [6].

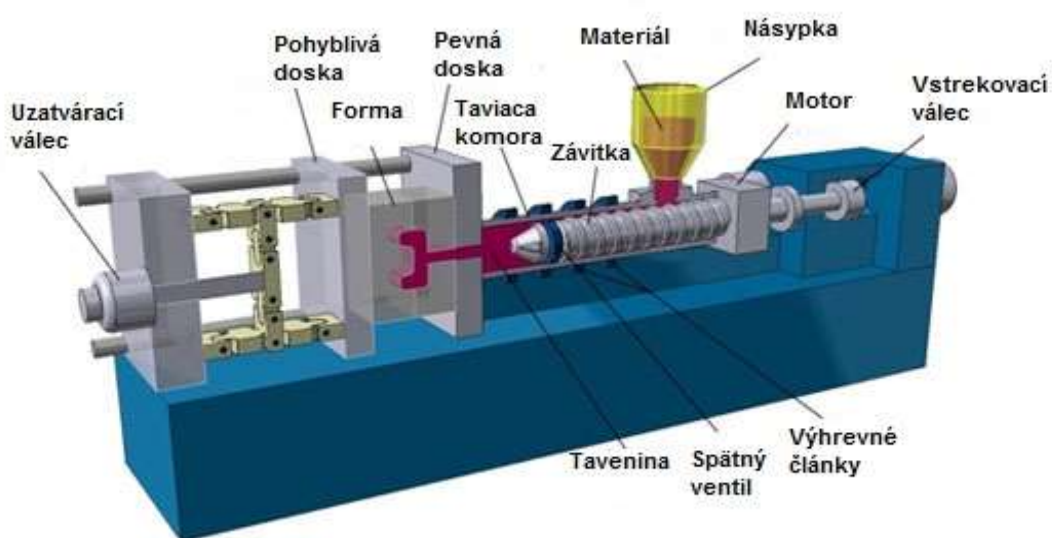
#### **1.4.5 Doba chladnutia**

Čas za ktorý sa výlisok ochladí na takú teplotu, že môže byť vytiahnutý z formy. Pohybuje sa v rozmedzí niekoľkých sekúnd až niekoľkých minút napríklad pri tenkostenných výliskoch. Prestavuje teda najdlhšiu dobu cyklu. Ovplyvňujú najmä šírka stien výrobku, druh plastu, teplota taveniny a teplota formy. Je snaha skrátiť čas chladnutia na minimum. To môže byť dosiahnuté správnou konštrukciou chladiacich kanálov formy a to najmä v miesta kde hmota chladne najpomalšie. Chladnutie prebieha už behom vstrekovania a pokračuje vo fáze

dotlaku. Ovplyvňuje viacero významných vlastností výlisku a to štruktúru, vnútorné pnutie, kvalitu povrchu a jeho lesk [6, 8].

### 1.5 Vstrekovacie lisy

Vstrekovacie stroje sú moderné stroje, ktoré umožňujú plnú automatizáciu vstrekovacieho procesu. Vzhľadom na svoju vysokú cenu sa využívajú najmä vo veľkosériovej výrobe. Vyskytujú sa vo viacerých konfiguráciách vrátane horizontálneho a vertikálneho usporiadania. Skladajú sa z dvoch hlavných častí, zo vstrekovacej jednotky a uzatváracej jednotky. Schéma vstrekovacieho stroja je znázornená na obr. 1.4 [6].

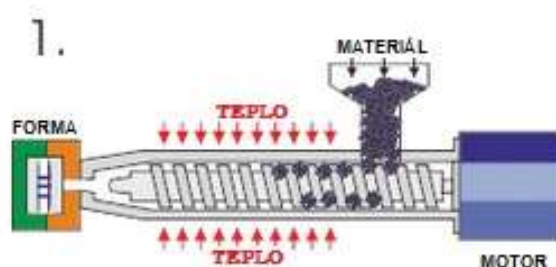


Obr. 1.4 Vstrekovací stroj [9].

#### 1.5.1 Základný princíp činnosti vstrekovacieho stroja

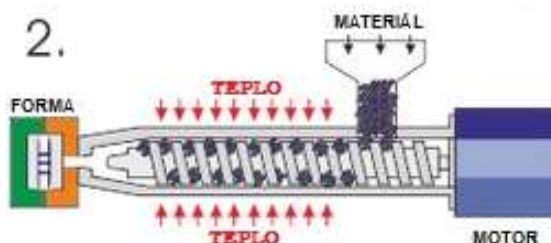
Princíp činnosti vstrekovacieho stroja môžeme rozdeliť do štyroch bodov [10]:

1. Materiál vo forme malých granúl sa dávkuje z násypky umiestnenej vo vrchnej časti vstrekovacieho stroja do taviaceho valca (viď obr. 1.5).



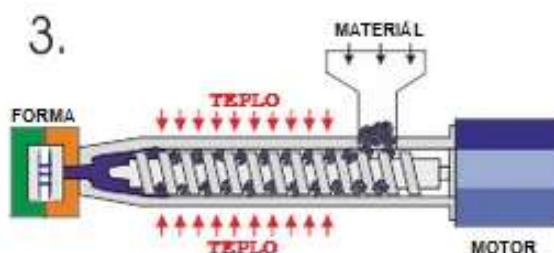
Obr. 1.5 Dávkovanie materiálu z násypky stroja do taviaceho valca [10].

2. Tu je materiál ďalej ohrievaný až do jeho roztopenia na taveninu (viď obr. 1.6).



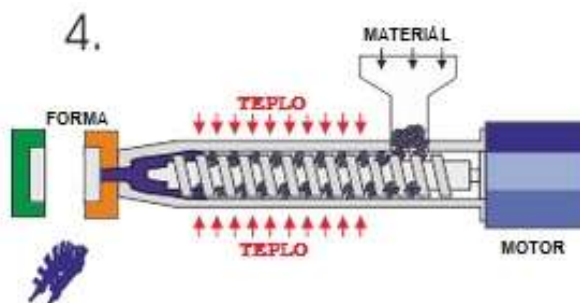
Obr 1.6 Ohrievanie materiálu v taviacom valci [10].

3. Ďalej sa tavenina pod vysokým tlakom pomocou systému vtokov dopravuje do dutiny formy, kde tuhne a zmrašťuje sa (viď obr. 1.7). Počas zmrašťovania je dutina formy dopĺňaná novou taveninou zo vstrekovacieho valca. Táto fáza sa nazýva dopĺňovanie alebo aj dotlak. Prísun taveniny do formy sa preruší, ak prerušíme tlak, pomocou ktorého sa tavenina prepravuje do formy alebo ak tavenina stuhne vo vtokovej sústave formy a vytvorí tak prirodzený uzáver [10].



Obr. 1.7 Vstrekovanie materiálu do dutiny formy [10].

4. Nastáva chladenie výlisku, kedy forma zostáva určitý čas uzatvorená. Po stuhnutí taveniny sa forma otvorí a výlisk sa spolu s celou vtokovou sústavou za pomoci vyhadzovačov vyberie (viď obr. 1.8). Nakoniec sa forma uzavrie a celý cyklus sa opakuje [10].



Obr. 1.8 Otvorenie formy [10].

### 1.5.2 Vstrekovacia jednotka

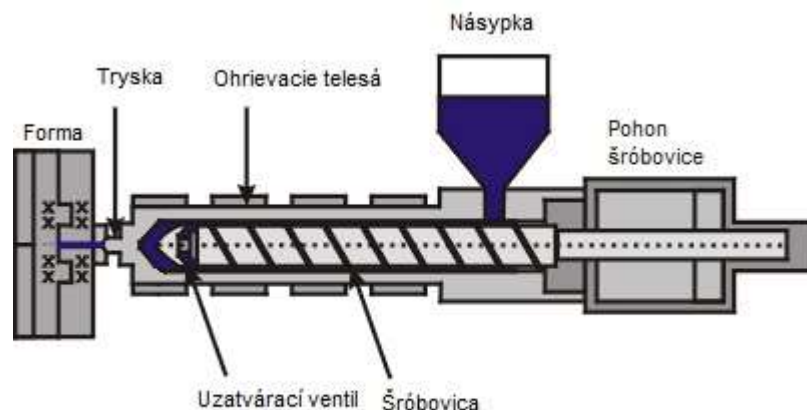
Hlavnou funkciou vstrekovacej jednotky je premena čo najväčšieho množstva materiálu v tvare granúl v čo najkratší čas na taveninu a jej následné vstreknutie vysokou rýchlosťou pod vysokým tlakom do dutiny formy [6].

Pôvodne boli používané piestové vstrekovacie jednotky, ktoré boli postupne nahradené závitovými. Tie vyriešili hlavné nedostatky piestových vstrekovacích jednotiek. Pohyb materiálu u piestových strojov je realizovaný pomocou piestu a u závitových, závitnicou [6].

Hlavnými prednosťami závitových vstrekovacích jednotiek sú [6]:

- nedochádza k prehrievaniu materiálu v taviacej komore,
- presné dávkovanie roztaveného materiálu,
- nízke straty tlaku behom pohybu taveniny,
- spoľahlivá plastifikácia a dobrá homogenizácia roztaveného plastu,
- vysoký plastikačný výkon a veľký zdvihový objem,
- odstránenie problémov pri čistení komory pri výmene materiálu.

Vstrekovacia jednotka (viď obr. 1.9) pozostáva z komory, do ktorej je dodávaný granulát z násypky. Vo vnútri komory sa nachádza šróbovica, pomocou ktorej sa pohybuje materiál k vyhrievacej časti, kde sa roztaví a homogenizuje. Ďalej slúži ako piest, ktorý svojím pohybom bez otáčania vstrekuje taveninu do dutiny formy. Uzatvárací ventil na konci šróbovice zabraňuje spätnému toku taveniny. Na konci vstrekovacieho cyklu sa šróbovica vráti do svojej pôvodnej polohy a proces sa opakuje [11].



Obr. 1.9 Vstrekovacia jednotka [12]

Šróbovica je skonštruovaná tak, aby odpovedala základným funkciám, tj. dávkovanie, preprava granulátu, plastifikácia, odvzdušnenie, stlačenie, homogenizovanie a vstrekovanie [6].

Jej hlavné rozdelenie znázornené na obr. 1.10 pozostáva z troch funkčných častí [6, 11]:

1. Dopravná časť- tvorí približne 60% dĺžky šróbovice. V tejto časti je jej stredný priemer najmenší a drážka šróbovice najhlbšia. Dochádza tu najmä k stlačovaniu materiálu pričom je vytláčaný vzduch. Na konci tejto časti začína tavenie [6, 11].
2. Kompresná časť- tvorí približne 20% dĺžky šróbovice. Smerom k tryske sa stredný priemer zväčšuje a hĺbka drážky šróbovice je menšia. Dochádza k stlačovaniu materiálu a najintenzívnejšiemu taveniu [6, 11].
3. Homogenizačná časť- tvorí tiež obvykle 20% dĺžky šróbovice. Hĺbka drážky je najnižšia a po celej dĺžke konštantná. Jej úlohou je homogenizácia taveniny a tlačí taveninu smerom k tryske. Je ukončená uzatváracím ventilom [6, 11].



Obr. 1.10 Funkčné časti šróbovice [11].

Taviaca komora je ohrievaná pomocou tepelných telies, čím vzniká tavenie materiálu. V oblasti násypky musí byť jej teplota najnižšia aby nedošlo k predčasnému taveniu, čo by mohlo viesť k spekaniu materiálu a následnému upchaniu šróbovice. Je zakončená vstrekovacou tryskou kde je teplota najvyššia [6].

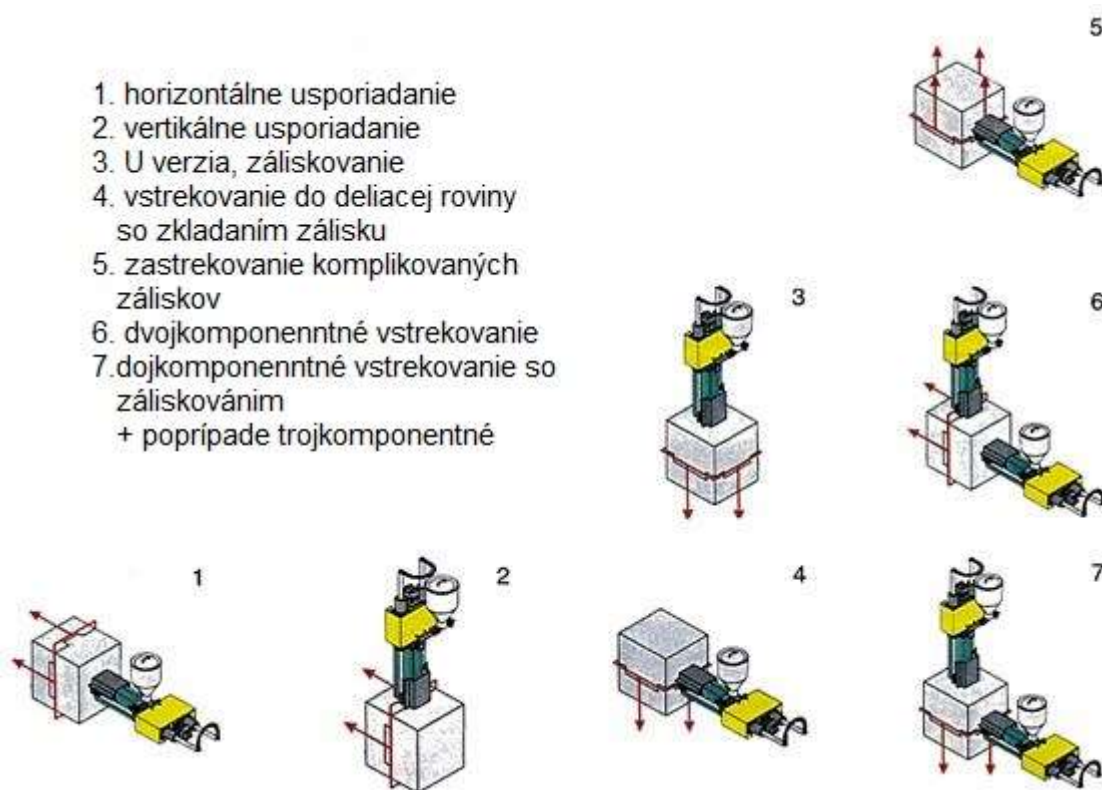
### 1.5.3 Uzatváracia jednotka

Hlavnou funkciou uzatváracej jednotky je otvárať a zatvárať formu vo vhodných časoch počas jednotlivých fáz vstrekovacieho cyklu. Zaisťuje bezpečné uzatvorenie formy, takou silou aby nedošlo k otvoreniu formy počas vstreknutia taveniny. U moderných strojov je možné rýchlosť a silu potrebnú na uzatvorenie vstrekovacej formy nastaviť. Medzi hlavné časti patria pevná doska na ktorú sa upína pohyblivá časť formy. Nachádza sa na nej otvor pre trysku pomocou ktorej je forma plnená. Ďalšou časťou je pohyblivá doska, na ktorú sa upína pohyblivá časť formy. Tá sa pohybuje po nosných stĺpoch ktorých počet závisí na veľkosti stroja. Menšie stroje majú dvojstĺpovú konštrukciu a väčšie stroje majú štvorstĺpovú konštrukciu. Poslednou časťou sú uzatváracie a pridržiavacie mechanizmy [6, 11].

### 1.5.4 Vzájomné polohy vstrekovacej a uzatváracej jednotky

Na obr. 1.11 sú znázornené vzájomné polohy vstrekovacej a uzatváracej jednotky. Tie môžu byť rôzne v závislosti na ich usporiadaní. Najčastejšie usporiadanie je horizontálne, teda obe časti sú horizontálne a dochádza k vstreknutiu taveniny kolmo na deliacu rovinu formy. Veľmi časté je tiež vertikálne usporiadanie pričom sa vstrekuje tavenina do deliacej roviny.

V špeciálnych prípadoch vstrekovania ako sú napríklad dvojkomponentné či trojkomponentné kde sa využívajú stroje s dvoma alebo troma vstrekovacími jednotkami sa využívajú ďalšie vzájomné polohy [6].



Obr. 1.11 Vzájomné polohy vstrekovacej a uzatváracej jednotky [6].

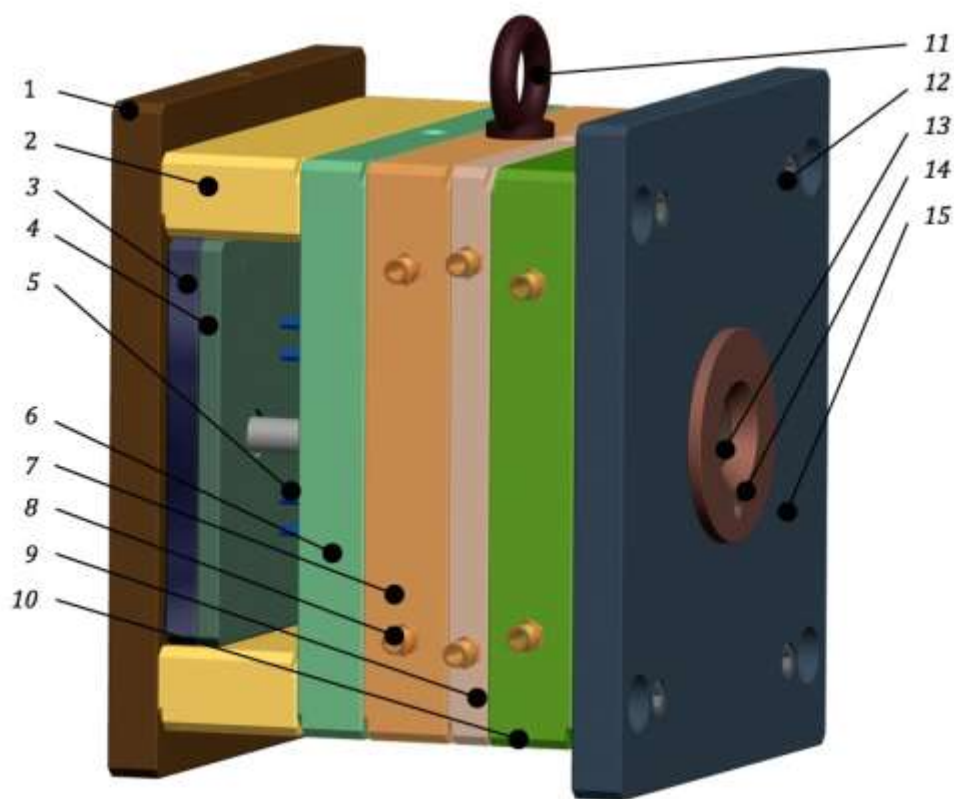
## 1.6 Vstrekovacia forma

Forma je výmennou časťou uzatváracej jednotky. Primárnou funkciou formy je dopraviť taveninu polyméru do dutiny formy a tým dať výrobku výsledný tvar a zachovať ho až do stuhnutia a ochladenia na teplotu pri ktorej už nehrozí podstatná deformácia. Sekundárnou funkciou je odvod tepla privedeného taveninou pomocou systému chladiacich kanálov. Poslednou základnou funkciou formy je jej periodické odformovanie, aby mohol byť výrobok z formy bezpečne odstránený. Okrem týchto troch základných funkcií musí forma odolávať vysokým tlakom, poskytovať výrobkom presné rozmery, zabezpečiť ľahké vytiahnutie výrobkov a po celú svoju dobu životnosti musí pracovať automaticky. Všetky tieto funkcie vychádzajú z jej správnej konštrukcií [4, 13].

### 1.6.1 Popis formy a jej základné časti

Na obrázku 1.12 je znázornená základná stavba dvojdeskovej vstrekovacej formy. Tá je zložená z viacerých dosiek, ktoré sú navzájom spojené najčastejšie pomocou šróbov s valcovou hlavou. Voľba viacerých dosiek s menšou šírkou je výhodná z ekonomickej stránky. Tieto dosky by mohli byť nahradené jednou o celkovej šírke odpovedajúcej súčtu

širok jednotlivých dosiek. Táto náhrada by však znemožnila použitie jednoduchších, lacnejších a produktívnejších výrobných technológií. Upínacie dosky pevné a pohyblivé (poz. 1 a 15) slúžia k upnutiu formy na stroj. Dosky (poz. 7,9 a 10) slúžia k vytvoreniu dutiny podľa požadovaného tvaru výrobku. Dutina môže byť vytvorená priamo do týchto dosiek alebo môže byť do nich ukotvená vo forme vložiek v ktorých je tvarová dutina vytvorená. Pretože tvarová dutina musí byť vytvorená z mechanicky a abrazívne odolnejšieho materiálu, ktorého cena je vysoká, dochádza využitím tvarových vložiek k výraznej úspore nákladov. Na ukotvenie tejto vložky (teda na ostatnú časť dosiek) môžeme využiť menej kvalitný a lacnejší materiál. Ďalšou časťou vstrekovacej formy sú strediace krúžky (poz. 14) na pevnej a pohyblivej časti formy. Slúžia k tomu, aby bola forma na vstrekovacom stroji upnutá presne. To znamená, aby bola upnutá tak, že osa trysky vstrekovacieho stroja je totožná s osou vtokovej vložky formy cez ktorú prúdi tavenina plastu do vtokového systému a dutiny formy. Priemer strediaceho krúžku musí byť totožný s priemerom strediaceho otvoru vstrekovacieho stroja. Miesto rozdelenia formy na pevnú a pohyblivú časť sa nazýva deliaca rovina vstrekovacej formy. Všetky diely, ktoré túto rovinu tvoria musia byť vyrobené z materiálov s dostatočnou odolnosťou a upravené s presnosťou tak, aby pri činnosti formy nedošlo k jej poškodeniu alebo k netesnostiam dutiny formy [13].



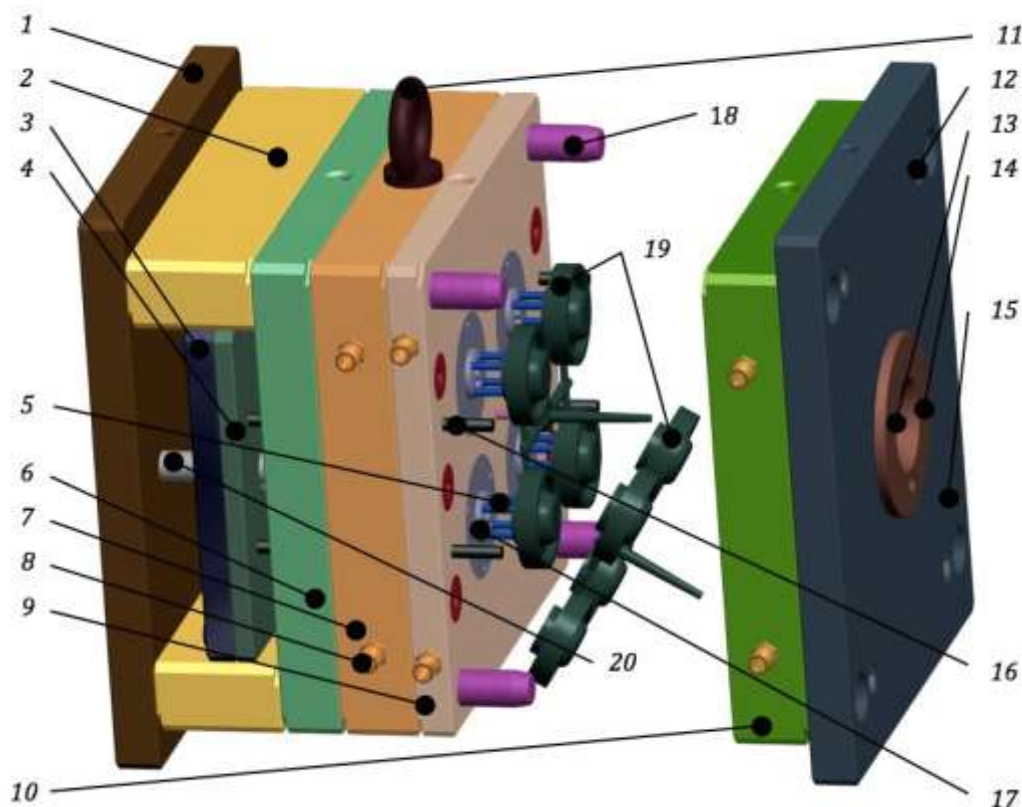
Obr.1.12 Dvojdosková vstrekovacia forma [13].

1 – upínacia doska pohyblivej časti vstrekovacej formy, 2 – rozpera, 3 – hlavná vyhadzovacia doska, 4 – pridržovacia vyhadzovacia doska, 5 – vyhadzovač, 6 – podperná doska, 7 – doska, 8 – prípojka chladenia, 9 – doska, 10 – doska, 11 – manipulačné oko, 12 – hlavné montážne šróby, 13 – vtoková vložka, 14 – strediaci krúžok pevnej časti vstrekovacej formy, 15 – upínacia doska pevnej časti vstrekovacej formy

Oko na vstrekovacej forme (poz. 11) slúži k manipulácii žeriavu s formou, pri jej upínaní na stroj. Ostatné časti, ktoré sú upnuté na pohyblivú dosku formy sú: rozpera (poz. 2), vyhadzovacia doska na ktorú sú upnuté vyhadzovače (poz. 3), pridrżovacia vyhadzovacia doska (poz. 4), podperná doska (poz. 5) a ostatné dosky (poz. 7 a 9) [13].

### **1.6.2 Vstrekovacia forma pri odformovaní dielu**

Na obr. 1.13 je znázornená otvorená dvojdosková vstrekovacia forma s vysunutým vyhadzovacím systémom. Forma je otvorená potom, čo je do dutiny formy vstreknutá tavenina plastu, ktorá stuhne a ochladí sa na teplotu, pri ktorej už nedôjde k deformácii výlisu. Vzdialenosť pohyblivej a pevnej časti formy pri otvorení musí byť tak veľká, aby sa medzi tieto časti vošiel robot a mohol po odformovaní vstrekovacieho dielu bezpečne vytiahnuť výlisok z dutiny vstrekovacej formy. Odformovanie prebieha pomocou vyhadzovacieho systému. Ten je spustený pomocou stroja, čím dôjde k vysunutiu vyhadzovačou, ktoré odformujú výlisok z dutiny pohyblivej časti formy, kde bol spojený s pevným jadrom (poz. 17) pomocou trecích síl. Vyhadzovače sú ukotvené v hlavnej vyhadzovacej doske pomocou ktorej sa po vyhodení výrobku príslušnými pohybmi stroja vrátia do zadnej pozície. Ako poistka aby vyhadzovače počas uzatvárania formy nedošli pri zlyhaní pohybov stroja ku kontaktu s pevnou časťou formy, slúžia tzv. vratné kolíky (poz. 16). Tie sú taktiež spojené s hlavnou vyhadzovacou doskou a pri uzatváraní formy dôjde prostredníctvom kontaktu čelnej plochy vratných kolíkov a pevnej časti formy k zasunutiu vyhadzovacieho systému do správnej pozície. Ďalšou časťou, nachádzajúcou sa vo vnútri formy sú vodiace stĺpiky (poz. 18). Zaručujú správnu vzájomnú a presnú polohu pohyblivej a pevnej časti vstrekovacej formy [13].



Obr. 1.13 Dvojdosková vstrekovacia forma pri odformovaní dielu [13].

1 – upínacia doska pohyblivej časti vstrekovacej formy, 2 – rozpera, 3 – hlavná vyhadzovacia doska, 4 – pridržovacia vyhazovacia doska, 5 – vyhadzovač, 6 – podperná doska, 7 – doska, 8 – prípojka chladenia, 9 – doska, 10 – doska, 11 – manipulačné oko, 12 – hlavné montážne šróby, 13 – vtoková vložka, 14 – strediaci krúžok pevnej časti vstrekovacej formy, 15 – upínacia doska pevnej časti vstrekovacej formy, 16 – vratné kolíky, 17 – pevné jadro, 18 – vodiace stĺpiky, 19 – vstrekovaný diel, 20 – podperné valce

### 1.6.3 Násobnosť vstrekovacej formy

Vstrekovacia forma na obr. 1.13 je štvornásobná. To znamená že má štyri tvarové dutiny a počas jedného cyklu stroja sú vyrobené štyri diely. Výhoda viacnásobných foriem oproti jednonásobnej je hlavne v ekonomickosti týchto foriem a to, že za rovnaký strojný čas vyrobíme napr. na štvornásobnej forme štyri kusy keď na jednonásobnej pochopiteľne iba jeden. Náklady na viacnásobnú formu sú omnoho vyššie najmä preto, že je nutné vyrobiť presne nielen dutinu ale aj vtokovú sústavu, aby jej plnenie bolo rovnomerné a nedochádzalo napr. k tomu že do jednej z dutín bude materiál zatekať horšie ako do ostatných. To by mohlo viesť k výrobe zŕňkatých. Podstatnou nevýhodou viacnásobnej formy je aj fakt, že jej trvanlivosť je menšia ako u jednonásobnej [3, 13].

Pri výpočte ekonomickosti využitia jednonásobnej formy alebo viacnásobnej formy je potrebné zvážiť tieto kritéria [3]:

- celkový počet výliskov a termín ich dodania,
- gramáž vstrekovacieho stroja, na ktorý je forma upnutá,
- celkové náklady na výrobu jednonásobnej a viacnásobnej formy,
- doba vstrekovacieho cyklu do jednonásobnej a do viacnásobnej formy,
- prevádzkové náklady stroja s menšou gramážou pre jednonásobnú formu a väčšou gramážou pre viacnásobnú formu,
- posúdenie či parametre stroja vyhovujú danému typu formy.

#### 1.6.4 Zaformovanie súčastí a voľba deliacej roviny

Na to aby boli pri výrobe dodržané požadované rozmery a tolerancie výrobku má zásadný vplyv správne zaformovanie súčastí a voľba deliacej roviny. Deliaci rovina je plocha ktorá rozdeľuje vstrekovaciu formu na pevnú a pohyblivú časť. Jej najdôležitejšou funkciou je správne utesnenie formy, tak aby nedošlo k úniku taveniny plastu. Z tohto dôvodu musia byť všetky diely ktoré túto rovinu tvoria vyrobené z materiálu s dostatočne presnou povrchovou úpravou a bez nejakých defektov či spár. Tie by mohli spôsobiť zatekanie roztaveného plastu a vznik tzv. zástrekov. Okrem presnej povrchovej úpravy stykových plôch formy je k tesneniu potrebná tzv. uzavieracia sila, ktorá drží formu počas procesu vstrekovania v celku. Pôsobí kolmo na deliacu rovinu a jej veľkosť sa pohybuje v rozmedzí tisícok až desať tisícok ton [3, 13].

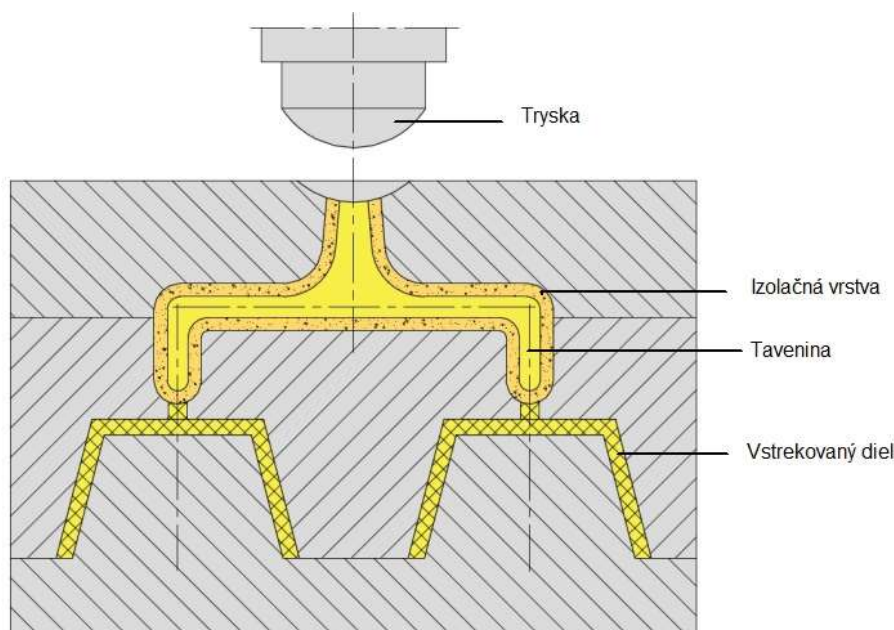
Deliaca rovina sa zvyčajne volí v mieste najväčšieho vonkajšieho obvodu výlisku. Z estetického hľadiska sa navrhuje na nevzhľadových a nefunkčných plochách a v hranách vstrekovacieho dielu, pre ľahké začistenie pretoku. Pri jej voľbe je treba dbať nato, aby sa pri otvorení formy dal výlisk ľahko vybrať. Väčšinou foriem má jednu deliacu rovinu ktorá býva rovnobežná s doskami formy. Avšak pri zložitejších formách je nutné voliť viac deliacich rovín, z ktorých jedna je hlavná a ostatné vedľajšie. Obecne platí, čím menší počet deliacich rovín tým je výroba formy jednoduchšia a tým je zaručené lepšie tesnenie formy [3, 13].

Pri výrobe tvarovej dutiny musíme brať do úvahy zmraštenie. Preto sa pri výrobe presných výliskov vyrobí najskôr menšia tvarová dutina. Následne prebieha výroba skúšobných výliskov pri optimálnych parametroch a z nich sa určí presné zmraštenie. Nakoniec sa forma upravuje na požadované rozmery pomocou brúsenia, leštenia, kalenia a pod [3].

#### 1.6.5 Forma so studeným vtokovým systémom

Princíp vstrekovania so studeným vtokovým systémom spočíva v tom, že roztavený polymér je vstrekaný vstrekovacou jednotkou do chladnej formy. Tým dochádza k okamžitému tuhnutiu taveniny v oblasti studených stien. Tu sa vytvorí izolačná vrstva stuhnutého plastu, ktorá umožňuje prúdenie taveniny stredom kanálu pri vysokých tlakoch až do okamihu kedy je forma úplne naplnená. Tavenina vstupuje do formy vtokovým ústím, ktoré môže byť rôzneho prevedenia v závislosti na konštrukcii formy (viď kap. 1.6.7) Po naplnení formy

nastáva dotlak. Pri dotlaku je doplňovaná dutina formy taveninou pod určitým tlakom, čím sa kompenzuje strata objemu zmrašťovaním. Schematické znázornenie formy so studeným vtokovým systémom je na obr. 1.14 [14].



Obr. 1.14 Rez formou so studeným vtokovým systémom [14].

Výhodami vstrekovacích foriem so studeným vtokovým systémom [14]:

- menšie náklady na jej výrobu oproti forme s horúcim vtokovým systémom,
- jednoduché prevedenie viacnásobnej formy,
- odpadá riešenie energetického pripojenia.

Nevýhody vstrekovacích foriem so studeným vtokovým systémom [14]:

- väčšia spotreba materiálu vďaka vtokovým zbytkom,
- nutné riešenie oddelenia vtokového zbytku od výlisku a jeho vyhodenie z pohyblivej časti vstrekovacej formy.

### 1.6.6 Forma s horúcim vtokovým systémom

Princíp vstrekovania s horúcim vtokovým systémom je založený na tom, že polymér sa udržuje v plastickom stave v oblasti medzi triskou vstrekovacieho stroja a ústím vtoku po celú dobu vstrekovacieho cyklu. Vďaka tomu nie je produkován žiadny odpad v podobe vtokových zbytkov. Keďže je polymér udržiavaný v roztavenom stave až po ústie vtoku, je možné takto vyrábať aj tenkostenné výlisky, pretože nedochádza k predčasnému tuhnutiu ale materiál zatečie do celého priestoru formy [13, 15].

Behom procesu prúdi tavenina od trysky vstrekovacieho stroja do horúcej polovice formy a pomocou vyhrievaných rozvádzacích kanálikov sa dopravuje do dutiny formy s rovnakou teplotou ako upustila trysku. Po naplnení dutiny formy dochádza k zatuhnutiu ústia vtokov. Na začiatku ďalšieho vstrekovacieho cyklu spôsobí tlak taveniny vo vnútri horúceho rozvodu prerazenie zatuhnutých ústí vtokov a proces sa opakuje [13, 15].

K výhodám horúceho vtokového systému patria [15]:

- úspora materiálu,
- skrátenie pracovného cyklu,
- vyššia produktivita celého procesu,
- odpadá riešenie oddelenia vtokového zbytku od výlisku,
- zlepšenie kvality výrobku a redukcia dokončovacích prác.

Za najväčšiu nevýhodu sa považujú vysoké náklady na takýto druh formy [15].

### 1.6.7 Ústie vtokov

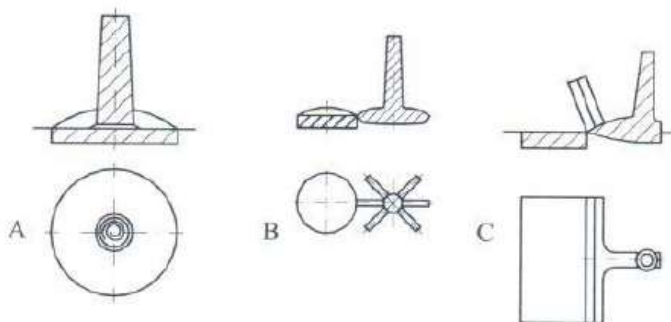
Je spojovací prvok medzi rozvádzacím kanálom a vstrekovaným dielom. Tvorí ho zúžená časť rozvádzacieho kanála, ktorá musí byť užšia ako šírka steny výlisku. V niektorých prípadoch sa využíva nezúžený vtok [13].

Plní dve základne funkcie [13]:

1. Slúži k zamrznutiu materiálu v ústi toku, aby po dotlaku nedošlo k spätnému pohybu roztaveného materiálu do rozvádzacích kanálov [13].
2. Slúži k ľahkému oddeleniu výliskov od rozvádzacích kanálov a k ľahkému vyhodeniu vtokových zbytkov [13].

Ústie vtoku musí zaisťovať správne plnenie dutiny formy a to čo najkratšou možnou cestou bez veľkých tepelných a tlakových strát. Je snaha plniť ju iba jedným vtokom, aby sa zabránilo vzniku tzv. studených spojov. Sú to miesta kde dochádza ku spájaniu čiastočne ochladeného materiálu. Takýto spoj má potom nižšiu mechanickú pevnosť [6, 13].

Rozoznávame viacero druhov vtokov (viď obr. 1.15) ako napr. plný kužeľový, štrbinový, štandardný bočný, tunelový, kruhový a iné [13].



Obr. 1.15 Druhy vtokov [3]. A) plný kužeľový, B) štandardný bočný, C) štrbinový.

Umiestnenie vtoku sa z dôvodu dobrého vstrekovacieho tlaku a dotlaku do výstreku doporučuje do miesta najväčšej šírky jeho steny. Tým sa docieli, že tavenina tečie z miesta s väčším prierezom do miest s menším prierezom. Odstráni sa tak nebezpečie predčasného zamrznutia steny výstreku s menšou hrúbkou steny ktorá stále umožňuje prísun taveniny ale prísun taveniny z dôvodu jej zamrznutia už nie je možný [14].

### 1.6.8 Odvzdušnenie vstrekovacích foriem

Je dôležité zaistiť odvod vzduchu z formy, ktorý sa do nej dostal pri vstrekovaní taveniny alebo uvoľňovaným plynov pri jej ochladzovaní. Uzatvorený vzduch v dutine formy môže spôsobiť jej neúplne vyplnenie, poprípade prehriatie až spálenie plastu tzv. Dieselov efekt v dôsledku prehriatia uzatvoreného vzduchu vplyvom jeho veľkého stlačenia. Aby nedošlo k týmto javom je potrebné tvarovú dutinu formy odvzdušniť [3, 13].

Tab. 1.1 Doporučené šírky odvzdušňovacích kanálov pre daný typ plastu [13].

| Typ materiálu           | Šírka odvzdušňovacieho kanálu [mm] |
|-------------------------|------------------------------------|
| PC, POM                 | max. 0,05                          |
| PS, ABS                 | max. 0,05                          |
| PA                      | 0,02 - 0,03                        |
| PBT                     | max. 0,03                          |
| PA (so skleným vláknom) | max. 0,05                          |
| štruktúrne peny         | max. 0,1                           |

Najjednoduchšia možnosť odvzdušnenia formy je v mieste deliacej roviny. Tu sú vytvorené jemné drážky 0,005 až 0,05 mm hlboké a 3 až 6 mm široké cez ktoré sa odvádza vzduch von z formy. Šírka odvzdušňovacích kanálov pre jednotlivé typy termoplastov je uvedená v tab.1.1. Tavenina s väčšou tekutosťou vyžaduje menší rozmer odvzdušňovacích kanálov a naopak. Efektívnosť odvzdušnenia môže byť zvýšená vyšším počtom kanálov alebo ich rozšírením, pričom sa musí dbať nato aby šírka nebola príliš veľká. To by spôsobilo vznik zástrekov. Ďalšou možnosťou je odvzdušnenie cez vyhadzovacie kolíky, ktoré sa po časti prierezu sploštia prebrúsením. Vzniknutá vôľa potom umožní unikanie vzduchu [3, 13].

### 1.6.9 Temperácia vstrekovacích foriem

Pri procese vstrekovania je potrebné udržiavať teplotu formy v optimálnych teplotných podmienkach. Tým rozumieme, že pred začatím práce formy je potrebné zohriať ju na požadovanú teplotu a po dosiahnutí pracovnej teploty je nutné ju zasa chladiť. Pri chladení formy sa odvádza prebytočné teplo získané z výlisku [16].

Teplota formy je vyššia ako teplota prostredia a nižšia ako vstrekovacia teplota. Spravidla je v rozmedzí medzi 30 až 120 °C s tým, že v špeciálnych prípadoch môže byť interval teplôt širší [3].

Temperácia formy má vplyv na kvalitu výrobku a to na rozmerovú presnosť výlisku, na kvalitu povrchu, na jeho fyzikálne a mechanické vlastnosti a jeho minimálnu deformáciu. Vhodnou voľbou temperačného prostriedku môžeme zefektívniť chladenia výlisku a tým skrátiť vstrekovací cyklus. Dôležitým požiadavkom na správne temperovanie formy je aby došlo k rovnomernému rozdeleniu teploty v dutine formy [3, 13].

Na správne rozdelenie teploty vplýva viacero aspektov ako napr. [3]:

- materiál z ktorého je forma vyrobená,
- druh materiálu ktorý je vo forme odlievajú,
- tvar, hrúbka, veľkosť výlisku a požiadavok na jeho drsnosť povrchu.

Princíp temperácie spočíva v tom, že vo vnútri formy sa nachádza sústava vŕtaných kanálov, ktorými prúdi chladiace médium ktorým je forma podľa potreby temperovaná alebo chladená. Tým býva najčastejšie voda alebo olej. Do sústavy kanálov vo forme je privádzaná zo zásobníku chladiaceho zariadenia pomocou gumových či plastových hadíc. Tie sú z dôvodu ľahkej montáže na formu pripevnené pomocou rýchlospojok. Po pretečení kvapaliny sústavou kanálov sa vracia do chladiaceho zariadenia a späť do zásobníka [13, 16].

Pri návrhu temperovacích kanálov je nutné riadiť sa nasledujúcimi pravidlami [3]:

- umiestnenie kanálov musí byť čo najbližšie k tvarovej dutine formy a zároveň musí byť zachovaná dostatočná pevnosť jej stien,
- kanále sa umiestňujú pre intenzívnejšie odvedenie tepla ku vtoku, kde je forma v styku s prúdom čerstvej taveniny,
- pri chladení musí kvapalina prúdiť z najteplejšieho miesta po najchladnejšie a pri temperovaní zasa naopak,
- temperovací systém musí byť umiestnený vo forme tak aby neprekážal,
- každá polovica formy musí mať vlastný chladiaci prípadne temperovací okruh,
- prierez kanálov má byť kruhový.

Pri veľmi jednoduchých formách sa môže z finančných dôvodov chladenie formy vynechať. To je možné využiť pri doma zhotovených formách určených pre výrobu malého množstva výrobku, kde odvádzanie tepla je priamoúmerné časovému intervalu jedného cyklu a veľkosti výrobku [16].

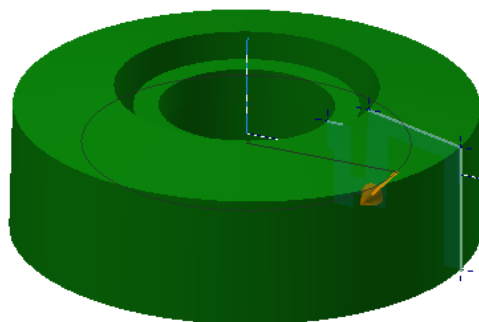
## 2 EXPERIMENTÁLNA ČASŤ

V tejto kapitole bude popísaný postup pri jednotlivých moderných technológiach, ktoré predchádzali výrobe prototypového dielu.

### 2.1 Tvorba modelu v 3D parametrickom software Autodesk Inventor 2015

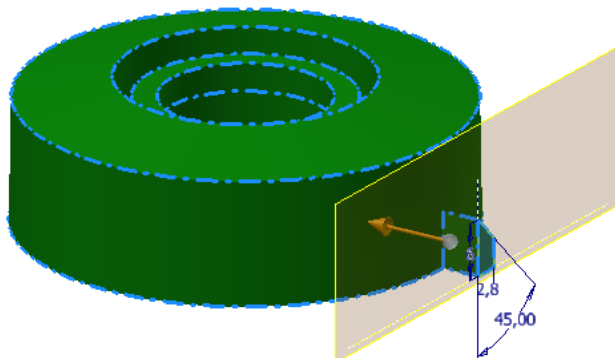
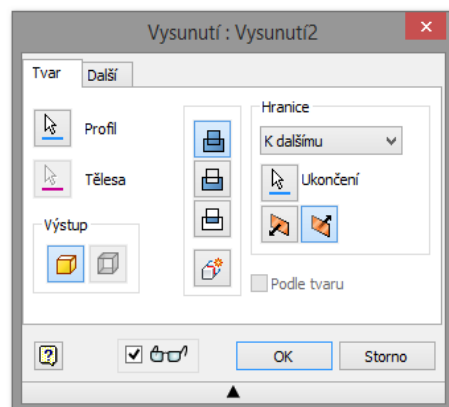
Pred výrobou prototypového dielu pomocou aditívnej metódy Fused Deposition Modeling bolo nutné vytvorenie jeho modelu. Ten bol skonštruovaný v 3D parametrickom softvare *Autodesk Inventor 2015*. Jednotlivé tvary a rozmery vychádzali z výkresovej dokumentácii vid' príloha 1.

Pred začatím modelovania bol vytvorený nový súbor s názvom MODEL. V prvom kroku bol vytvorený náčrt, v ktorom bol nakreslený základný tvar modelu s odpovedajúcimi rozmermi. Po určení osi rotácie a profilu (ktorý mal byť rotovaný) v príkazovom poli bol pomocou príkazu „*Rotácia*“ vytvorený počiatočný tvar modelu vid' obr. 2.1.



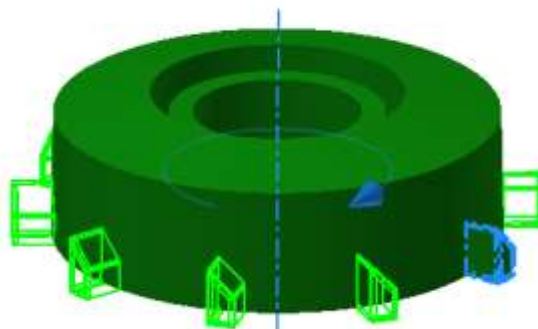
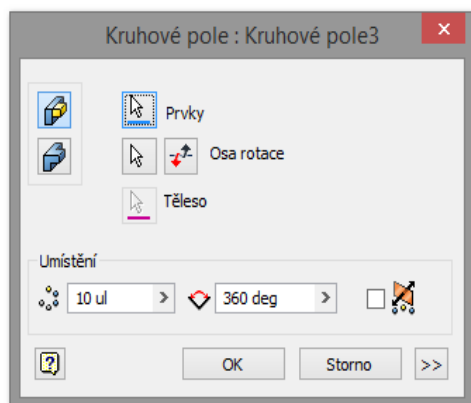
Obr. 2.1 Vytvorenie základného tvaru modelu.

V ďalšom kroku bol na profile modelu vytvorený zub. K tomu bolo potrebné najskôr vytvoriť pomocnú pracovnú rovinu s vysunutím o 27,75 mm od osi rotácie. Do tejto roviny bol vytvorený náčrt zubu ktorý bol pomocou príkazu „*Vysunutie*“ a funkcie „*zjednotenie k ďalšiemu*“ vysunutý tak, aby sa spojil s bočnou hranou profilu vid' obr. 2.2.



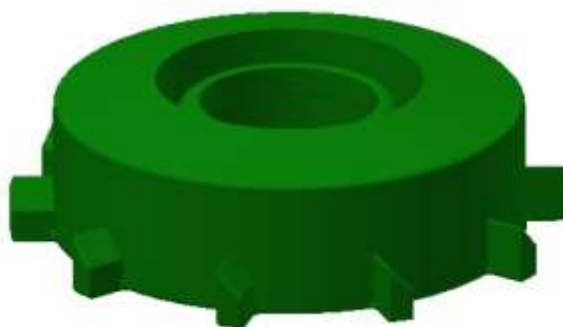
Obr. 2.2 Vytvorenie zubu na profile modelu.

Ďalej bolo funkciou „*Kruhové pole*“ po celom obvode vytvorených i ostatných deväť zubov. V príkazovom poli bolo potrebné zvoliť os rotácie, počet prvkov a uhol kruhového poľa. Príkazové okno a náhľad kruhového poľa sú zobrazené na obr. 2.3.



Obr. 2.3 Vytvorenie ostatných deviatich zubov na profile modelu.

Na záver boli podľa výkresovej dokumentácie prevedené zaoblenia jednotlivých hrán profilu a zubov. Výsledný model prototypového dielu je znázornený na obr. 2.4.

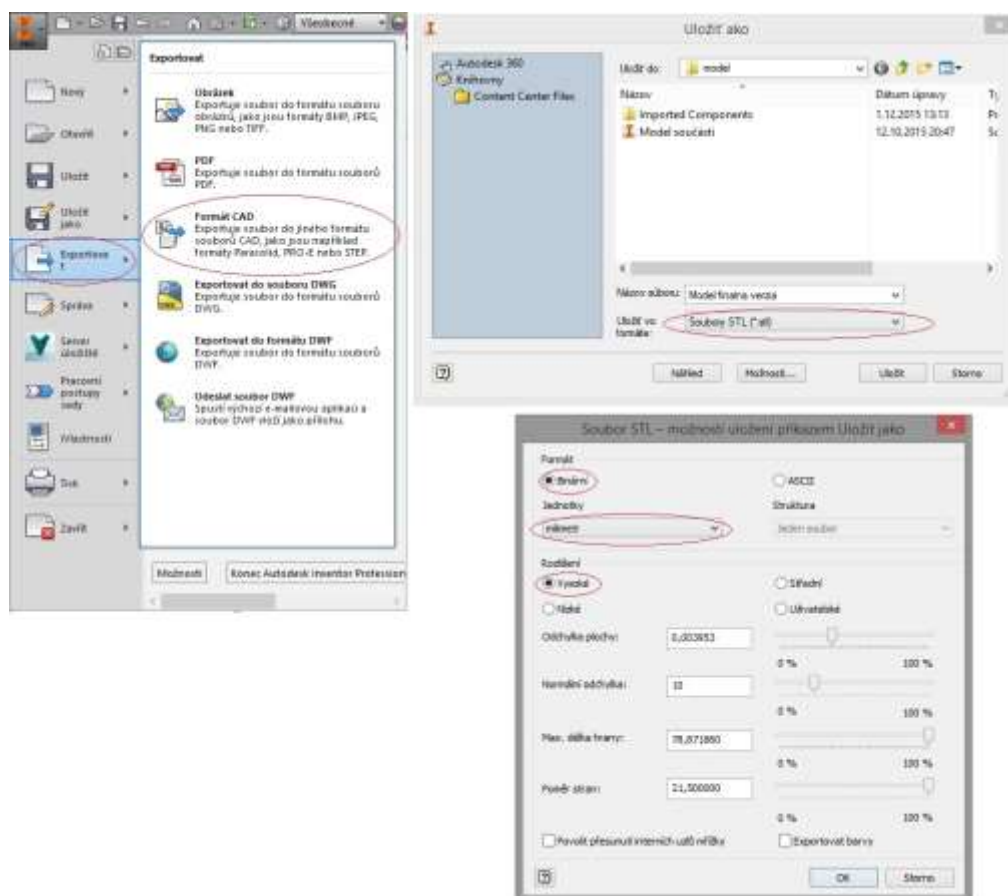


Obr. 2.4 Výsledný model.

## 2.2 Tlač modelu pomocou 3D tlačiarne Dimension uPrint

### 2.2.1 Exportovanie modelu do formátu STL

Po vytvorení finálneho modelu bolo potrebné, exportovať tento model do formátu STL, ktorý je podporovaný každou 3D tlačiarňou. To bolo prevedené priamo v programe *Autodesk Inventor 2015* jednoduchým príkazom „*Exportovať*“ kde v okne „*uložiť vo formáte*“ bol vybraný typ STL. Ďalej boli nastavené v príkazovom okne „*Možnosti*“ jednotlivé parametre podľa odporúčenia vedúceho práce. Celý postup exportovania s vyznačením jednotlivých krokov a nastavených parametrov je znázornený na obr. 2.5.

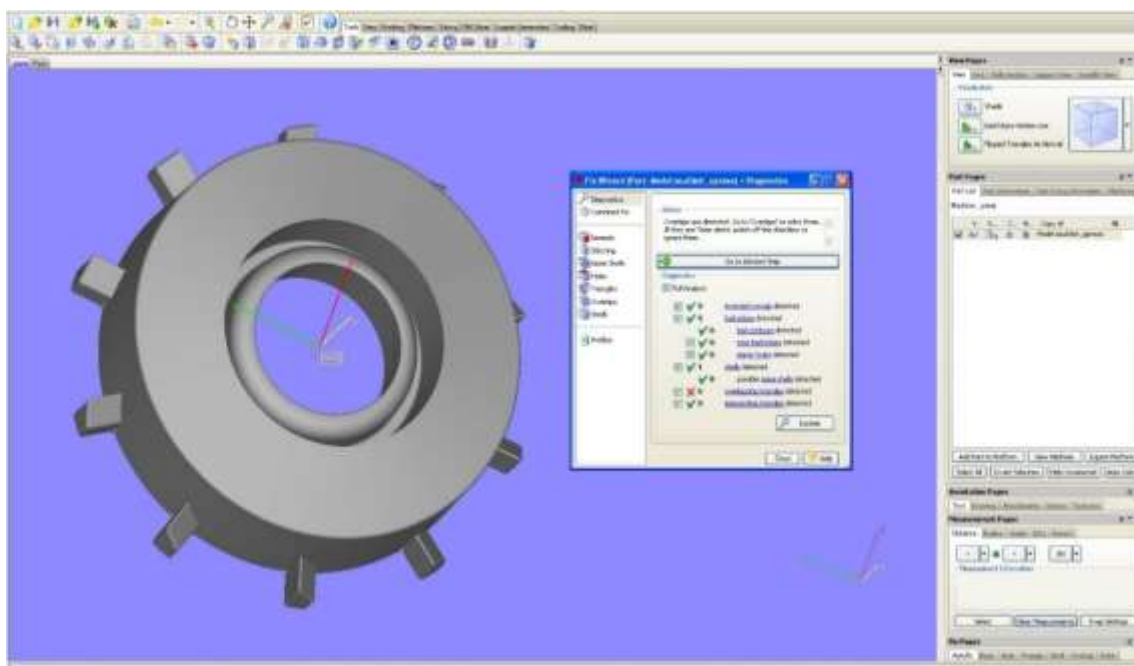


Obr. 2.5 Exportovanie modelu do formátu STL.

### 2.2.2 Příprava modelu na tlač v programe Catalyst EX

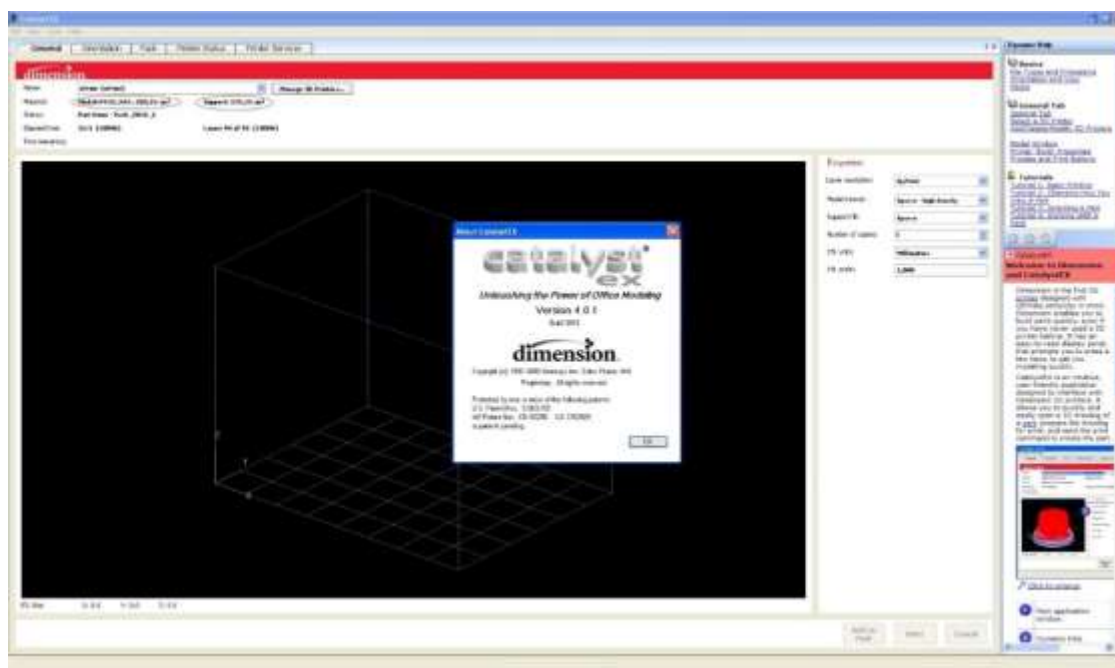
Program *Catalyst EX* je software určený pre komunikáciu s 3D tlačiarňami Dimension. Umožňuje ľahko a rýchlo otvoriť 3D model, pripraviť ho k tlači a odoslať do zariadenia [17].

Prvým krokom bolo skontrolovanie modelu v programe *MiniMagic*. Pomocou tohto programu bolo zaručené, že je v poriadku bez prípadných nespojitostí a iných chýb, ktoré by prekážali pri tlači. V tabuľke na obr. 2.6 je znázornené potvrdenie správnosti modelu.



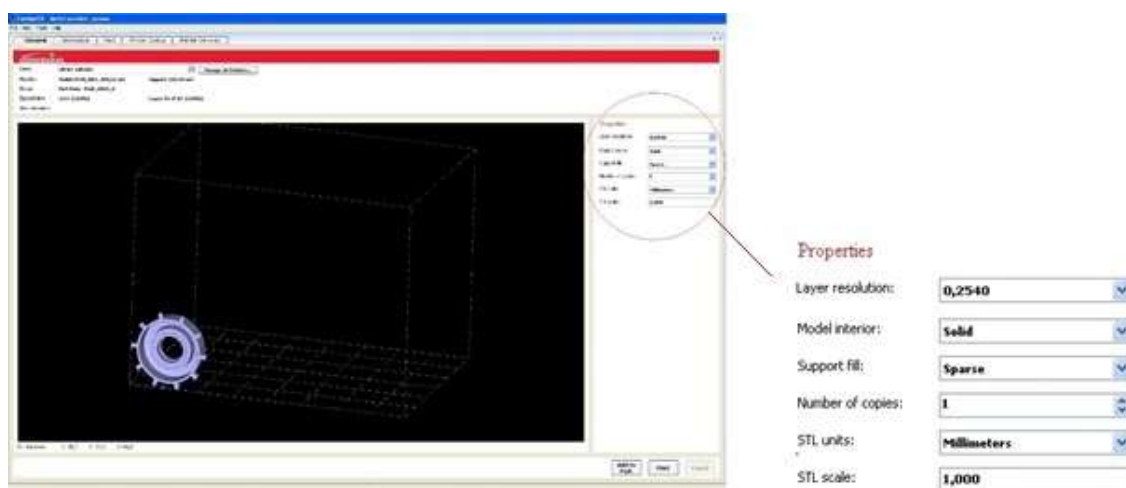
Obr. 2.6 Kontrola modelu v programe MiniMagic.

Po overení správnosti bol otvorený program *Catalyst EX*. Na obr. 2.7 je úvodná strana kde je znázornený panel, ktorý informuje o verzii softwaru, jeho výrobcovi a pod. V ľavom hornom rohu je zobrazený aktuálny stav materiálu v tlačiarňi. V pozadí obrázku je vyznačený priestor tlačiarne s rozmermi 200 x 150 x 150 mm, do ktorého bol následne 3D model súčasti importovaný.



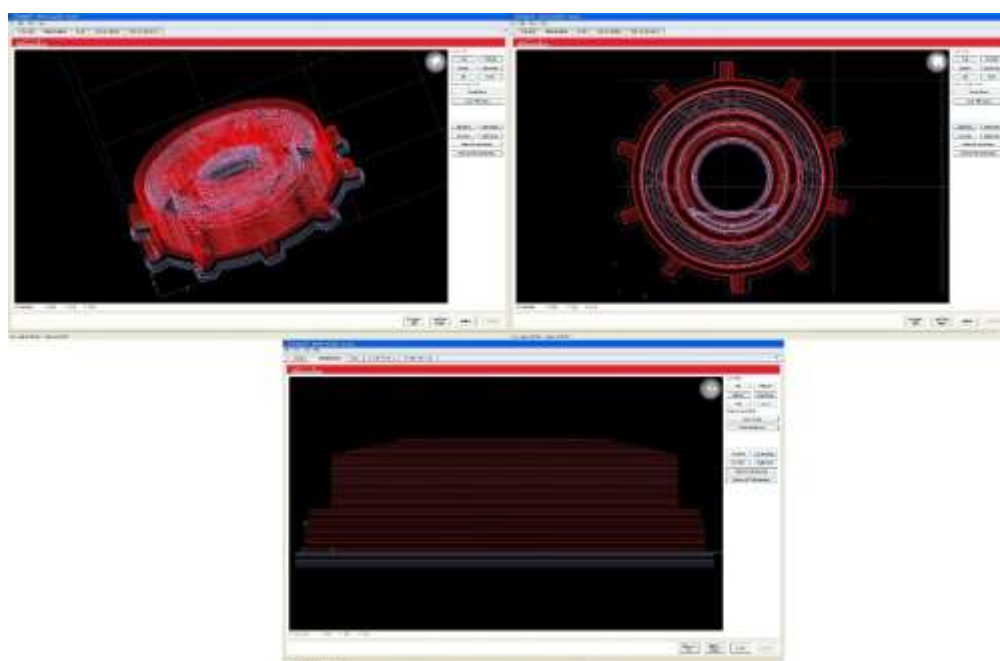
Obr. 2.7 Pracovný priestor programu Catalyst EX.

Po načítaní modelu boli v príkazovom okne nastavené základné parametre tlače ako šírka jednej vrstvy, spôsob vyplnenia modelu, nastavenie podpory, počet kópií, jednotky a mierka. Hodnoty nášho nastavenia sú znázornené na obr. 2.8.



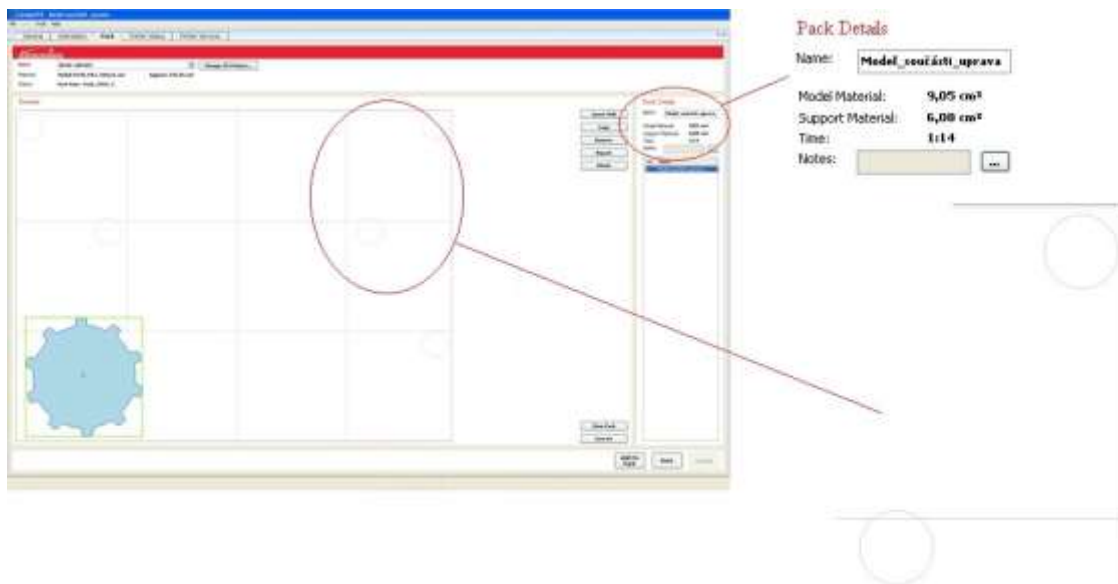
Obr. 2.8 Nastavenie základných parametrov tlače.

V ďalšom kroku bol v záložke „*Orientation*“ model naorientovaný tak, aby bolo potrebné čo najmenšie množstvo podporného materiálu. Ďalej bol pomocou príkazu „*Process STL*“ spočítaný objem modelovacieho a podporného materiálu. Na obr. 2.9 je zobrazený v rôznych pohľadoch, už naorientovaný model, modelovací a podporný materiál, pričom modelovací materiál je znázornený červenou farbou a podporný farbou šedou.



Obr. 2.9 Modelovací a podporný materiál modelu.

Prepnutím do záložky „Pack“ bol umiestnený model na pracovnú podložku tlačiarne. Polohu modelu je možné rôzne meniť. V tejto záložke bol tiež vypočítaný objem materiálu potrebný na tlač a odhadovaná doba tlačenia vid' obr. 2.10. Kružnice znázornené na tomto obrázku predstavujú body pomocou ktorých zariadenie kontroluje, či je podložka v rovine.



Obr. 2.10 Umiestnenie modelu na pracovnej podložke.

Na záver bol spracovaný model odoslaný do zariadenia a následne vytlačený pomocou tlačiarne *Dimension uPrint* vid' obr. 2.11. Jej parametre sú uvedené v prílohe 2. Model bol vyrobený z materiálu *ABSplus* ktorého základné vlastnosti sú uvedené v prílohe 3. Hrúbka jednej vrstvy tohto materiálu bola 0,178 mm.



Obr. 2.11 3D tlačiareň Dimension u Print.

Na obr. 2.11 je vidieť ako výrobok po jednotlivých tlačených vrstvách naberal na objeme až bolo dosiahnutého konečného tvaru.



Obr. 2.11 Postupný nárast modelu při tlači.

V poslednom kroku bol z výrobku odstránený podporný materiál, toho možno docieľiť dvoma spôsobmi. Buď je zo súčasti mechanicky odstránený pomocou skrutkovača či nožika, alebo je chemicky rozleptaný v ultrazvukovej čističke. V našom prípade bola zvolená druhá možnosť. Súčasť bola po vytlačení ponorená na dva dni do chemického roztoku v ultrazvukovej čističke až kým nedošlo k úplnému rozpusteniu všetkých podpôr.

### 2.3 Povrchová úprava vytlačeného kusu

Na vytlačennom kuse zostali na jeho povrchu stopy (v podobe nerovností) po vrstvách, ktoré boli postupne pri tlači na model nanášané. Z tohto dôvodu bolo potrebné pred prípravou formy tento povrch upraviť tak, aby vrúbky nezostali otláčené vo forme. Na vytlačený kus bol najskôr nanesený tmel *SPRINT 2K HS ACRIL*. Po jeho vytvrdnutí po cca 8 hodinách bol povrch obrúsený brúsnou hubkou *GOLDFLEX SOFT P150*. Miesta kde nebol možný prístup s hubkou boli opracované pomocou malých pilníkov. Brúsenie vrstvy tmelu spočiatku viedlo k prenikaniu do pôvodnej vrstvy. Preto musel byť tmel opakovane nanášaný pokým nebolo dosiahnutého konečného hladkého povrchu výrobku viď obr. 2.12.



Obr. 2.12 Vytmelený model.

### 2.4 Výroba silikónovej formy

Výroba formy pozostávala zo zostrojenia rámu zo sklenených doštičiek v tvare obdĺžnikov približne rovnakého rozmeru. Tie boli na hranách prilepené pomocou taviacej pištole v rozmere zodpovedajúcom veľkosti zaformovania dielu.

Ďalej bolo postupované na vytvorení deliacej roviny, medzi dvoma časťami silikónovej formy, na ktorú bola použitá zahriatá plastelína. Tou bola vyplnená jedna polovica formy,

do ktorej bol následne vložený vytmelený model vid' obr. 2.13. Deliaci rovina ako aj steny formy boli natreté separátorom z dôvodu ľahšieho oddelenia silikónu.



Obr. 2.13 Vytvorenie deliacej roviny v sklenenom ráme formy.

Ďalším pracovným postupom pri výrobe formy bola samotná príprava silikónu. Na digitálnych váhach bol navážený 1 diel (23 g) neolejovej tvrdnúcej zmesi a 10 dielov (229 g) dvojzložkového silikónu *SILASTIC T – 4*, ktoré boli zmiešané v nami zvolenom pomere približne 1:10.

Aby bolo zabránené vzniku nežiadúcich vzduchových bublín v silikóne, ktoré by mohli porušiť odliatok, takto pripravená hmota bola daná do vákuovej komory vid' obr. 2.14, ktorá bola vopred natlakovaná za cca. 20 min. Vákuová komora značky *MK Mini* je znázornená na obr. 2.14.



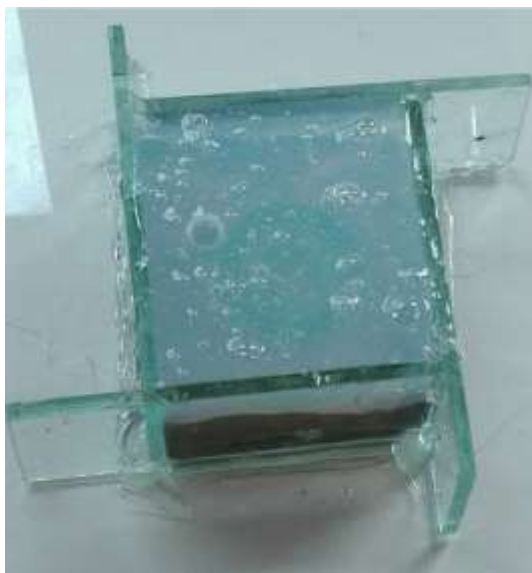
Obr. 2.14 Vákuová komora MK Mini.

Ako je vidieť na obr. 2.15 počas odstraňovania vzduchu zo silikónu dochádzalo k rastu jeho objemu, preto bolo počas tohoto postupu potrebné jeden krát odpustiť tlak vo vákuovej komore.



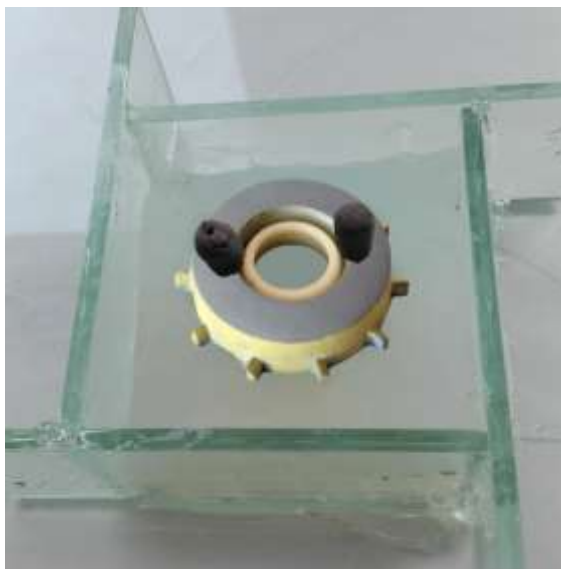
Obr. 2.15 Nárast objemu silikónu vo vákuovej komore.

Na záver bola takto pripraveným silikónom zaliata prvá časť formy vid' obr. 2.16.



Obr. 2.16 Zaliata prvá časť formy.

Po cca ôsmich hodinách, ktoré boli potrebné na vytvrdnutie silikónu bol sklenený rám rozobratý a prvá vzniknutá časť formy bola očistená od plastelíny. Očistená odliata časť formy bola následne opäť osadená do skleneného rámu. Na tvarovú časť bol vložený diel, na ktorého povrch boli osadené z plastelíny vytvorené dva valčeky, ktoré slúžili na vytvorenie vtokov formy vid' obr. 2.17. Vtoky boli do formy volené s predpokladom, že bude zabezpečené zatekanie materiálu do všetkých častí formy. Takto pripravená forma na zaliatie bola opäť natretá separátorom, aby nedošlo k spojeniu oboch častí formy.



Obr. 2.17 Voľba vtokovej sústavy.

Pri vytvorení druhej časti formy bol silikón upravený rovnako ako je opísané pri príprave prvej časti. Následne ním bola opätovne forma zaliata a po odstránení skleneného rámu vznikla kompletná forma skladajúca sa z dvoch totožným postupom odliatych častí znázornených na obr. 2.18.



Obr. 2.18 Dve časti silikónovej formy.

## 2.5 Odlievanie dielu do silikónovej formy

Nami vyrobené dve samostatné časti formy boli pomocou spiniek zložené do celku. Takto vyrobený celok formy bol pripravený k samotnému odlievaniu. Ďalším pracovným postupom pri odlievaní bola samotná príprava zmesi na vytvorenie odliatku. Tá pozostávala z 30 g živice *EBALTA SG 2000 A* a 30g tužidla *EBALTA SG 2000 A* v pomere 1:1. Obe zložky zmesi boli dôkladne premiešané a takto pripravenou zmesou bola plnená tvárová dutina silikónovej formy.

Pri plnení dutiny muselo byť dbané na rýchlosť plnenia zmesi, aby nedošlo k tuhnutiu, ktoré pri tomto druhu zmesi prebieha veľmi rýchlo. Po naplnení dutiny bola zmes vytvrdnutá v priebehu cca 60 min. Následne sa forma rozobrala, bol z nej odstránený odliatok, vyčistila sa a znovu bola pomocou spiniek spojená do celku, tak aby bola pripravená na ďalšie odlievanie. Pri každom ďalšom odlievaní bola nevyhnutná úprava formy pre ktorú sme sa rozhodli s cieľom zefektívnenia zatekania zmesi do celej jej dutiny. V našom prípade bolo odliatych celkovo šesť kusov, pričom posledný bol finálny odliatok. V ďalšej časti tejto kapitoly je detailne opísaný postup niekoľko násobného odlievania spolu s úpravami na forme.

Pri prvom pokuse bola jednoduchým spôsobom plnená zmesou dutina formy jedným z vtokov pričom druhý zostal pre lepšie odvedenie vzduchu nezakrytý. Výsledkom boli nezatečené miesta v oblasti geometrie na obode odliatku a v jeho hornej časti, ktoré sú znázornené na obr. 2.19.



Obr. 2.19 Prvý odliatok.

Ďalší pokus prebiehal rovnakým spôsobom s tým rozdielom, že pri naplnení formy bolo ňou otáčané z dôvodu snahy lepšieho zatečenia v oblasti defektov z prvého pokusu. Výsledok vid' obr. 2.20 bol veľmi podobný ako v prvom prípade.



Obr. 2.20 Druhý odliatok.

Pri treťom pokuse bola forma plnená súčasne oboma vtokovými otvormi. Ani týmto postupom sme nedosiahli úplne zatečenie odliatku vid' obr. 2.21.



Obr. 2.21 Tretí odliatok.

Pri štvrtom pokuse boli oblasti zubov po obvode a miesta kde nedochádzalo k úplnému zatekaniu, poprepichované ihlou. Takto vzniknuté kanáliky mali docieľiť lepší odvod vzduchu z formy tak, aby nedochádzalo ku vzniku vzduchových bublín, do ktorých plast nezatiekol. Pri tomto pokuse sme pre dosiahnutie ešte lepšieho vyplnenia kritických miest zvolili nahriatie silikónovej formy v peci. Ďalej sme pri tomto pokuse postupovali upchatím jedného z vtokov a zmes do formy bola vstrekovávaná pod tlakom pomocou injekčnej striekačky, čo malo simulovať vstrekovací stroj. Avšak ani týmto postupom nebol dosiahnutý požadovaný výsledok a problémy, ako sú znázornené na obr. 2.22, sa opakovali.



Obr. 2.22 Štvrtý odliatok.

Pri pokuse číslo päť bola pri plnení využitá vákuová komora. Forma bola najskôr opäť nahriata v peci na požadovanú teplotu, ako pri štvrtom pokuse a následne sa vložila do vákuovej komory, kde už bola pripravená zmes na odlievanie. Potom bola uzavretá, natlakovala sa a následne bola v nej forma plnená. Po jej naplnení sa odpustil tlak z vákuovej komory, čo spôsobilo čiastočné vysatie vzduchu z formy. Po tejto aplikácii boli dosiahnuté lepších výsledok ako v predchádzajúcich prípadoch, ale na odliatku boli stále nezatečené miesta ako sú znázornené obr. 2.23.



Obr. 2.23 Piaty odliatok.

Pri piatom pokuse bolo zistené, že priemer kanálikov, ktoré mali slúžiť pre odvzdušnenie formy je malý a nedostačujúci pre odvedenie všetkého vzduchu. Preto boli tieto kanáliky upravené pomocou 3 mm vrtáku na väčší priemer. Po tejto úprave bol opakovaný postup ako pri piatom pokuse. Výsledkom bol finálny odliatok znázornený na obr. 2.24.



Obr. 2.24 Finálny odliatok.

### 3 METROLOGICKÉ MERANIE

#### 3.1 3D súradnicový merací stroj a jeho základné časti

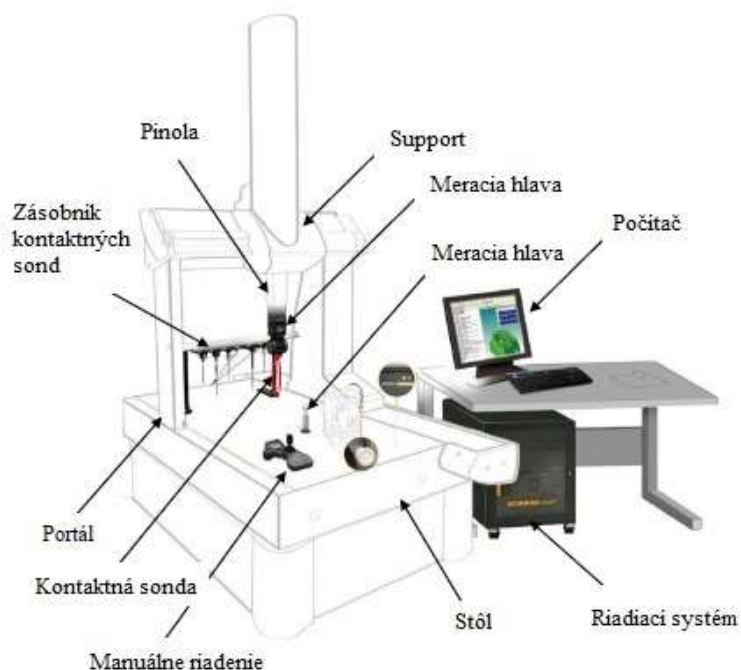
Súradnicový merací stroj poskytuje univerzálne využitie pri kontrole tvarovo zložitých súčastí v oblasti strojárstva a automobilového priemyslu [18].

Je to počítačom kontrolované zariadenie, ktoré má zložitý merací systém a je schopný merať v rovine alebo v priestore danej súradnicovej sústavy [18].

Pracuje s dvoma súradnicovými systémami [18]:

- súradnicový systém stroja,
- súradnicový systém meraného predmetu.

Základné časti tohto stroja sú popísané na obr. 3.1.



Obr. 3.1 Základné časti 3D súradnicového stroja [18].

#### 3.2 Základné parametre použitého meracieho stroja

Metrologické meranie jednotlivých foriem dielu bolo prevedené na meracom stroji *Wenzel LH 1010* vid' obr. 3.2. Ide o 3D súradnicový stroj portálového typu s pevným stolom. Jeho hlavné časti, a to základná doska, portál a pinola, sú vyrobené z čierneho granitu, ktorý zaručuje rovnakú teplotnú rozťažnosť vo všetkých osiach. Váha granitovej pinoly je vyvažovaná pneumatickým valcom a je spojená s indikateľnou snímacou hlavicou, ktorá umožňuje natáčať sondu v jednotlivých osiach a zaistiť ju v požadovanej polohe. Na konci sondy sa nachádza guľička, ktorá sprostredkováva kontakt medzi meraným dielom a sondou. Signál, ktorý je pritom generovaný umožňuje zaznamenať súradnice meraného bodu. Táto

gulička môže byť vyrobená z rôznych materiálov s rôznymi priermi. V našom prípade bola použitá guľka z rubínu o priemere 1,5 mm. Základným prvkom pojazdových dráh sú vzduchové ložiská, čím je docielená plynulá prevádzka stroja bez opotrebenia s vysokou presnosťou merania. Tieto dráhy sú v osiach X a Y kryté vlnovcom, ktorý ich chráni pred vplyvmi okolitého prostredia [19].



Obr. 3.2 3D merací stroj Wenzel LH 1010 [19].

Merací rozsah v jednotlivých osiach je nasledovný [19]:

- osa X = 1000 mm
- osa Y = 2500 mm
- osa Z = 1000 mm

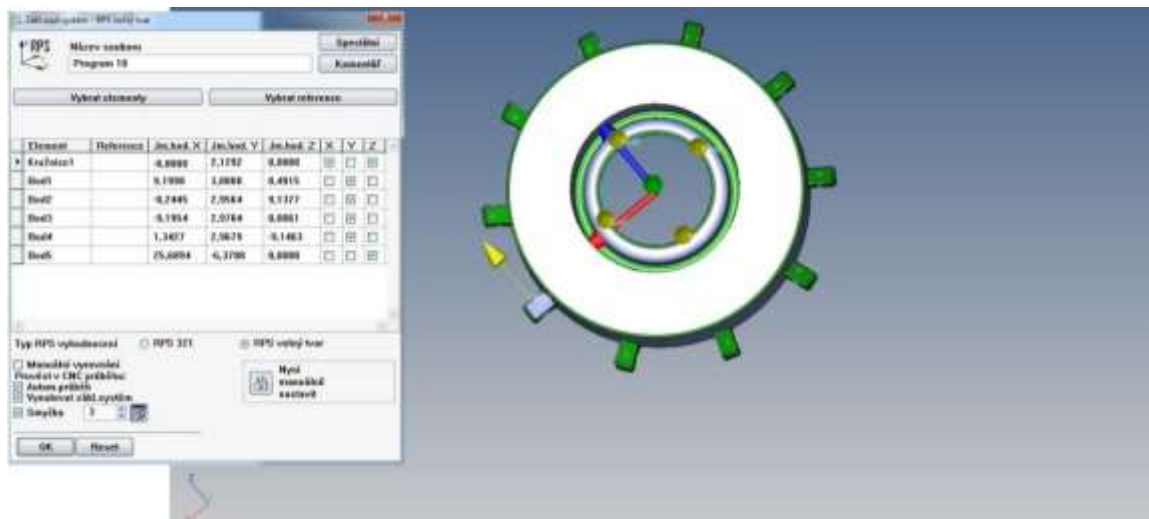
Stroj je ďalej vybavený aktívnym tlmením vonkajších vibrácií a online teplotnou kompenzáciou. Ďalšie technické parametre stroja sú uvedené v prílohe 4 [19].

### 3.3 Postup merania

Pred samotným metrologickým meraním, bolo potrebné meranú súčasť pevne upnúť na stôl stroja, aby pri dotyku meracou sondou nedošlo k jeho pohybu. K tomu bola použitá obojstranná lepiaca páska. Upevnenie je treba voliť tak, aby bolo možné zmerať čo najviac potrebných rozmerov. Rozmery, ktoré neumožňuje upnutie súčasti zmerať strojom sú merané posuvným meradlom. Tak bolo tomu i v našom prípade.

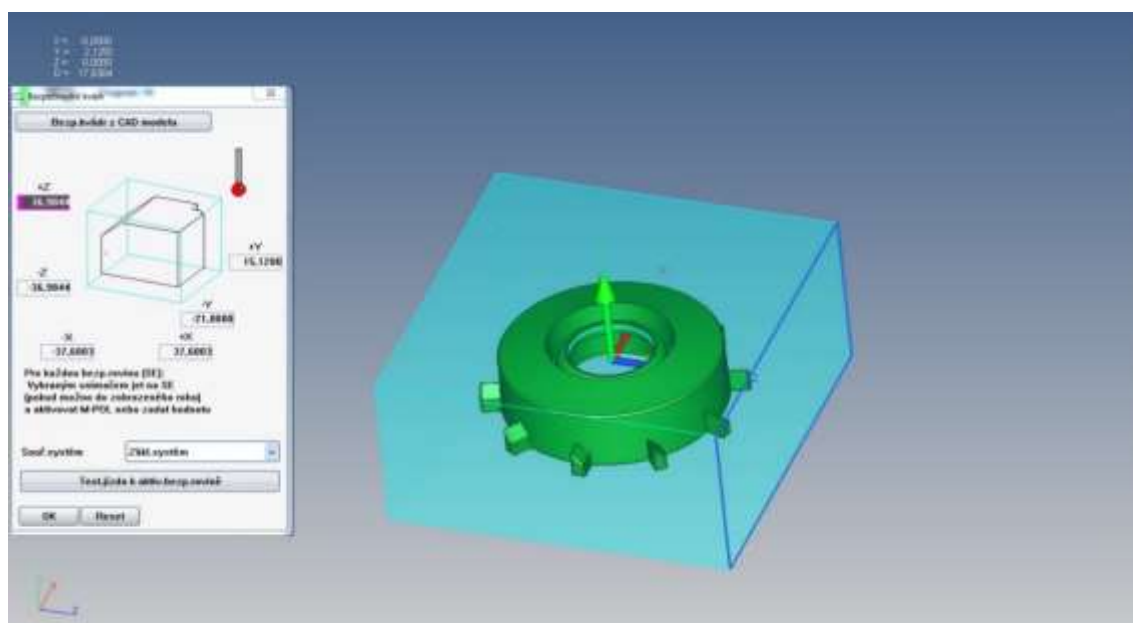
Po tomto kroku a po naštudovaní výkresovej dokumentácie bol model načítaný v programe *CALYPSO 2014*. Nasledovala úprava modelu, v príkazovom poli „*Nastavenie zobrazenia*“ boli zvolené jemné kontúry a zobrazenie hrán pre lepšiu viditeľnosť meraných objektov. Ďalším krokom bolo ustanovenie modelu v tomto programe.

Ako prvé bolo prevedené vyrovnanie dielu, čiže zadefinovanie jeho polohy v súradnicovom systéme. Aby bolo zarovnanie správne je potrebné meranému objektu odobrať šesť stupňom voľnosti. Toto bolo dosiahnuté zadefinovaným RPS bodov pomocou metódy „RPS voľný tvar“. Touto metódou boli zadefinované RPS body tak, aby každý odoberal jeden zo stupňov voľnosti vid' obr. 3.3.



Obr. 3.3 Zadefinovanie RPS bodov.

Po vyrovnaní dielu bol vytvorený bezpečnostný kváder pomocou funkcie „Bezpečnostný kváder z CAD modelu“ vid' obr. 3.4. Ten tvorí hranice priestoru, v ktorom sa meracia sonda pohybuje nižšou rýchlosťou, aby nedošlo ku kolízií s meraným objektom. V našom prípade bola nastavená hranica + 10 mm od najvzdialenejšieho bodu v jednotlivých osiach. Mimo tohto priestoru sa prístroj pohybuje vyššou rýchlosťou. Plochy bezpečnostného kvádra definujú bezpečnostné skupiny. Tie určujú smer, v ktorom sa bude dotyk pohybovať kolmo k meranej ploche alebo bodu.



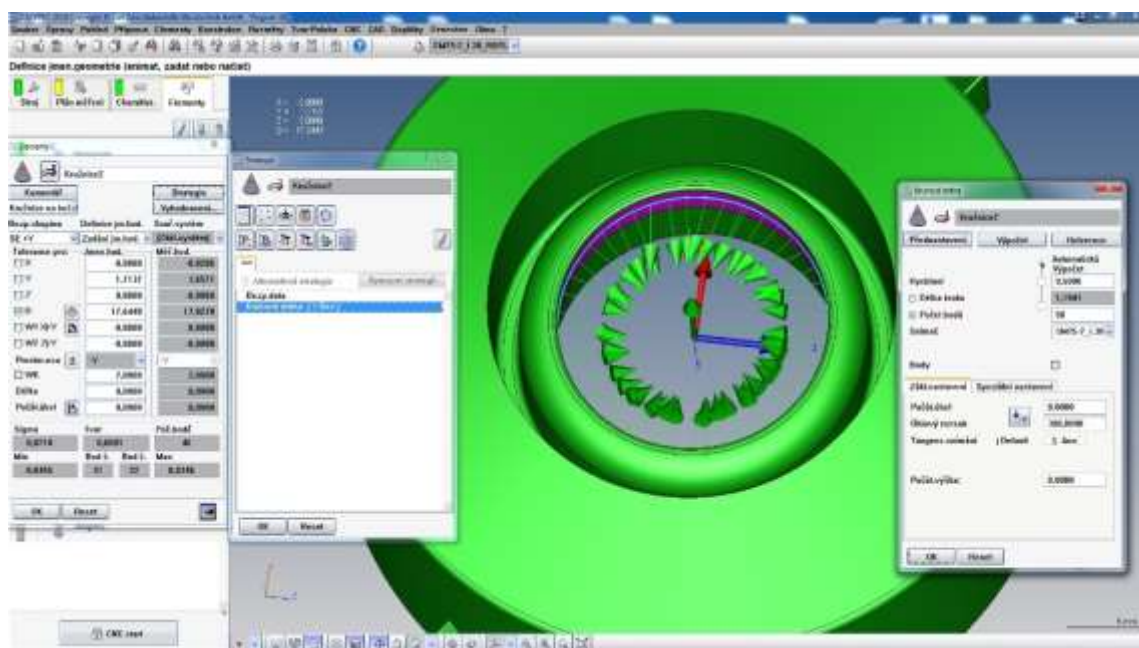
Obr. 3.4 Vytvorenie bezpečnostného kvádra.

Posledním krokem ustanovenia dielu bolo manuálne nasnímanie vyššie zadaných RPS bodov. Pomocou ručného ovládania znázorneného na obr. 3.5 boli jednotlivé nasnímané meracím dotyk RPS body na súčasti upevnenej na stole. Jeho poloha bola určená podľa prvého manuálneho nasnímania všetkých RPS bodov znázornených na modeli. Obsluha bola strojom vyzvaná k nasnímaniu jednotlivých RPS bodov a bodov definujúcich jednotlivé elementy napr. rovina, kružnica a pod. Po takto určených bodoch boli prepočítané reálne súradnice dielu v systéme stroja do súradníc v programe, čím bol diel pripravený k meraniu.



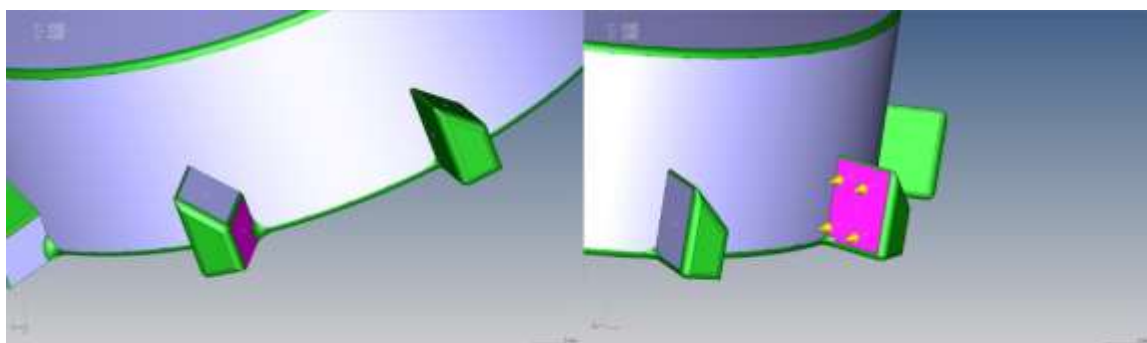
Obr. 3.5 Ručné ovládanie.

Po ustanovení dielu nasledovalo programovanie merania. Ako prvé boli na modeli vyznačené jednotlivé geometrie, ktoré mali byť zmerané napr. priemery kružníc, šírka, poloha zubov, atď. Týmto geometriám boli následne predpísané rozmerové tolerancie podľa výkresovej dokumentácie, aby po ich zmeraní vedel stroj vyhodnotiť či sú, alebo nie sú ich rozmery v tolerancií. Po takto zadaných elementoch bola zvolená stratégia merania. Pri meraní priemerov jednotlivých kružníc bola z dôvodu vyššej presnosti zvolená tzv. scanová metóda snímania, ktorá je zobrazená na obr. 3.6. Tá spočíva v tom, že po označení konkrétnej kružnice jej program prideli nahusto rozmiestnené body po celom jej obvode. Merací dotyk každý tento bod nasníma a z ich súradníc vypočíta výsledný priemer kružnice. Týmto spôsobom boli zmerané všetky priemery kružníc na prednej a zadnej časti dielu.



Obr. 3.6 Scanová metod snímání.

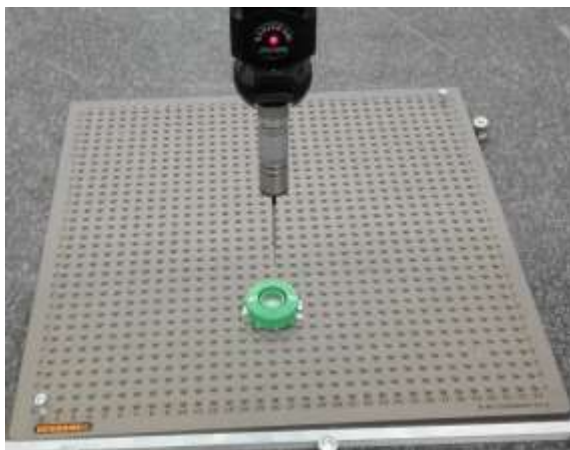
Pri meraní šírky zubu a uhlu skosenia jeho hornej časti, boli na jeho plochách pomocou štyroch bodov vytvorené roviny vid' obr. 3.7. Následne sme dali vyhodnotiť vzdialenosť dvoch rovnobežných rovín a uhol medzi bočnou a hornou rovinou zubu. Rádiusy, ktoré boli menšie ako priemer rubínovej guľičky neboli z tohto dôvodu zmerané. Výšku zubu tak ako aj výšku celého dielu bolo nutné zmerať pomocou posuvného meradla, z dôvodu upevnenia súčasti na stôl, ako je spomenuté v úvode tejto kapitoly. Pri manuálnom meraní rozmerov bolo použité digitálne posuvné meradlo značky *PLOBERGER* s rozlíšiteľnosťou 0,01 mm a meracím rozsahom 0 – 150 mm.



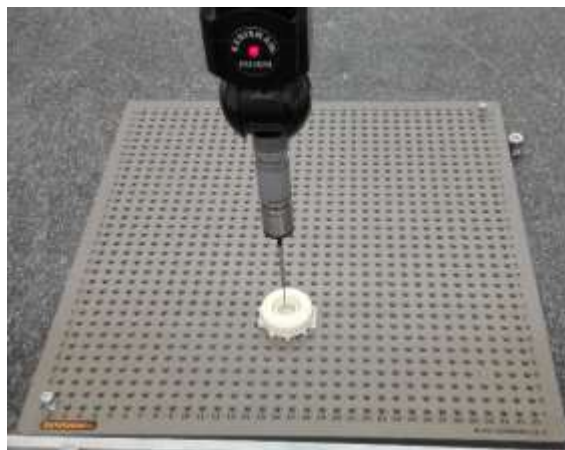
Obr. 3.7 Vytvorenie roviny na plochách zubu.

Po takto zmeranom prvom diely boli následne zmerané i ostatné jeho formy (vytlačení kus na 3D tlačiarňi, vytmelený kus, kus vyrobený vstrekovacím strojom a odliatok) vid' obr. 3.8. Pred upnutým ostatných dielov na stôl bola na obojstrannej páske opísaná vnútorná kružnica prvého merané dielu aby ostatné súčasti boli upnuté približne v rovnakej polohe. Tým bolo dosiahnuté, že ďalšia meraná forma dielu nemusela byť nanovo ustanovená v programe.

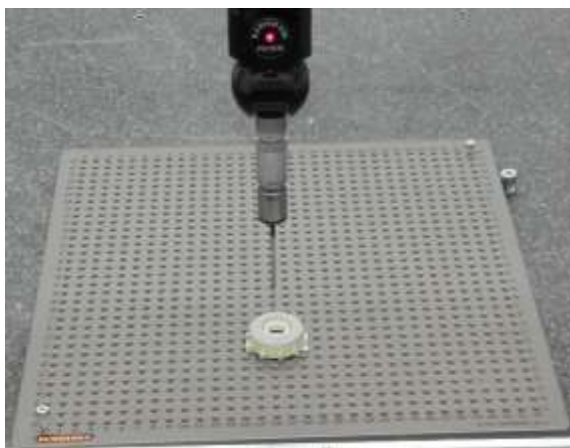
Na záver metrologického merania boli urobené protokoly o meraní v ktorých sú zapísané rozmery meraných geometrií u jednotlivých foriem meraného dielu. Protokoly o meraní sú uvedené v prílohe 5.



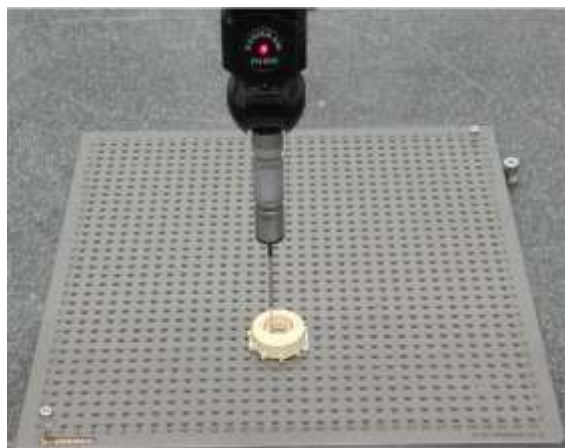
a)



b)



c)



d)

Obr. 3.8 Meranie jednotlivých foriem súčasti. a) súčasť vyrobená vstrekovacím strojom, b) vytlačená 3D tlačiarňou, c) vytmelená, d) odliata v silikónovej forme.

## 4 TECHNICKO – EKONOMICKÉ ZHODNOTENIE

Cieľom tejto kapitoly ako aj jedným z cieľov mojej bakalárskej práce bolo vyhodnotenie celkových finančných nákladov na výrobu konečného prototypu automobilového dielu pomocou odlievania do silikónovej formy. V jednotlivých podkapitolách sú vyčíslené náklady po sebe nasledujúcich technologických postupov, ktoré tejto výrobe predchádzali. V závere sú podrobné vyčíslené celkové finančné náklady, ktoré zahŕňajú personálne, materiálové, prevádzkové náklady a časovú náročnosť pri výrobe finálneho dielu.

### 4.1 Finančné náklady na vytlačenie modelu pomocou 3D tlačiarne

Náklady na výrobu vytlačeného kusu boli tvorené iba materiálom potrebným na jeho vytlačenie. Ako je uvedené v kap. 2.2.2 na tlač bol použitý materiál *ABSplus*, ktorého objem bol spočítaný pomocou programu CatalystEX.

Cena základného materiálu a materiálu podpôr bola vyčíslená na 14,40 Kč/cm<sup>3</sup>.

Celkové finančné náklady na výrobu súčastí pomocou 3D tlačiarne boli vypočítané podľa vzťahu (4.1).

$$F_{NT} = V_{ZM} \cdot C_M + V_{PM} \cdot C_M \text{ [Kč]} \quad (4.1)$$

kde:  $V_{ZM}$  [cm<sup>3</sup>] - Objem základného materiálu,

$V_{PM}$  [cm<sup>3</sup>] - Objem podporného materiálu,

$C_M$  [Kč] - Cena základného a podporného materiálu,

$F_{NT}$  [Kč] - Finančné náklady na tlač.

$$F_{NT} = 9,05 \cdot 14,40 + 6,08 \cdot 14,40 = \underline{217,9 \text{ Kč}}$$

### 4.2 Finančné náklady na úpravu povrchu vytlačeného modelu

Povrchová úprava modelu, ako je popísaná v kap. 2.3 pozostávala z opakovaného nanášania tmelu, ktorý bol následne opracovávaný brúsnou hubkou až pokým nebol dosiahnutý hladký povrch modelu. Pri tomto postupe bolo použitých 45 ml dvojzložkového tmelu *SPRINT 2K HS ACRYL* a 4 útržky brúsnej hubky *MIRKA GOLDFLEX SOFT P240*.

Celkové finančné náklady na úpravu povrchu vytlačeného modelu boli vyčíslené podľa vzťahu (4.2).

$$F_{NUP} = V_T \cdot C_T + \frac{1}{50} \cdot C_{BH} \text{ [Kč]} \quad (4.2)$$

kde:  $V_T$  [ml] - Objem použitého tmelu,

$C_T$  [Kč] - Cena 1 ml dvojzložkového tmelu,

$C_{BH}$  [Kč] - Cena jedného balenia (200 ks. útržkov) brúsnych hubiek,

$F_{NUP}$  [Kč] - Finančné náklady na úpravu povrchu.

$$C_T = 0,406Kč$$

$$C_{BH} = 1600Kč$$

$$F_{NUP} = 45 \cdot 0,406 + \frac{1}{50} \cdot 1600 = \underline{50,3Kč}$$

#### 4.3 Finančné náklady na výrobu silikónovej formy

Výrobná cena silikónovej formy bola tvorená nákladmi na zmes silikónu *SILASTIC T – 4* s neolejovou tvrdnúcou zmesou v pomere 10:1. Cena 1 kg zmesi bola stanovená na 900 Kč čo predstavuje 0,9 Kč na 1 g tejto zmesi.

Celkové finančné náklady na výrobu silikónovej formy boli vyjadrené vzťahom (4.3)

$$F_{NVF} = m_Z \cdot C_Z \text{ [Kč]} \quad (4.3)$$

kde:  $m_Z$  [kg] - Hmotnosť zmesi potrebnej na výrobu silikónovej formy,

$C_Z$  [Kč] - Cena 1 gramu zmesi potrebnej na výrobu silikónovej formy,

$F_{NVF}$  [Kč] - Finančné náklady na výrobu silikónovej formy.

$$F_{NVF} = 2525 \cdot 0,9 = \underline{226,8Kč}$$

#### 4.4 Finančné náklady na výrobu odliatkov

Zmes na výrobu odliatkov ako je uvedené v kap. pozostávala z dvoch zložiek, zo živice EBALTA SG 2000 A a z tužidla EBALTA SG 2000 A v pomere 1:1. Cena každej zložky bola vyčíslená na 237 Kč za 1 kg čo je v prepočte na cenu za jeden gram 0,237 Kč. Celkovo bolo vytvorených 6 odliatkov pričom na každý odliatok bolo použitých 30 g z každej zložky.

Celkové finančné náklady na výrobu šiestich odliatkov boli vyčíslené pomocou vzťahu (4.4).

$$F_{NVO} = k \cdot (m_Z \cdot C_Z + m_T \cdot C_T) \text{ [Kč]} \quad (4.4)$$

kde:  $k$  [-] - Celkový počet odliatkov,

$m_Z$  [g] - Hmotnosť živice potrebnej na výrobu jedného odliatku,

$m_T$  [g] - Hmotnosť tužidla potrebného na výrobu jedného odliatku,

$C_Z$  [Kč] - Cena 1 gramu živice EBALTA SG 2000 A,

$C_T$  [Kč] - Cena 1 gramu tužidla EBALTA SG 2000 A,

$F_{NVO}$  [Kč] - Finančné náklady na výrobu šiestich odliatkov.

$$F_{NVO} = 6 \cdot (30 \cdot 0.237 + 30 \cdot 0,237) = \underline{85,3Kč}$$

#### 4.5 Finančné náklady na metrologické vyhodnotenie rozmerov jednotlivých foriem modelu

Finančné náklady na metrologické vyhodnotenie boli vyrátané pomocou vzťahu (4.5) na základe sadzby 3D parametrického stroja, ktorá bola stanovená vo výške 1350 Kč za hodinu. Celkovo boli zmerané 4 formy modelu a to vytlačený, vytmelený, odliaty a originálny kus vyrobený pomocou vstrekovacieho stroja.

$$F_{NMV} = hs \cdot (t_{PM} + t_{TP} + t_{PS} + t_{VP}) \text{ [Kč]} \quad (4.5)$$

- kde:
- $hs$  [Kč] - Hodinová sadzba 3D parametrického stroja,
  - $t_{PM}$  [Kč] - Čas potrebný na prípravu merania kde je zahrnutý čas štúdia výkresovej dokumentácie a upnutia dielu na stôl,
  - $t_{TP}$  [Kč] - Čas potrebný na tvorbu programu,
  - $t_{PS}$  [Kč] - Čas práce stroja pri meraní pri všetkých štyroch foriem modelu,
  - $t_{VP}$  [Kč] - Čas potrebný na vytvorenie protokolu o meraní,
  - $F_{NMV}$  [Kč] - Finančné náklady na metrologické vyhodnotenie rozmerov jednotlivých foriem modelu.

$$F_{NMV} = 1350 \cdot (0,5 + 3 + 1 + 1) = 7425Kč$$

#### 4.6 Finančné náklady na mzdu pracovníka

Tieto náklady predstavujú mzdu za vykonanú prácu pri jednotlivých technologických postupoch, pričom hodinová mzda pracovníka bola mnou stanovená na 100 Kč na hodinu. V tab. 4.1 sú popísané jednotlivé pracovné úkony spolu s dobou ich trvania. Celková časová náročnosť všetkých pracovných úkonov bola vypočítaná na 36,5 hod. Následne bola podľa vzťahu (4.6) vynásobená hodinovou mzdou pracovníka, čím boli tieto náklady vyčíslené.

Tab. 4.1 Jednotlivé pracovné úkony pracovníka a doba trvania.

| Pracovný úkon                                                    | Čas [hod]   |
|------------------------------------------------------------------|-------------|
| Tvorba modelu v 3D parametrickom programe Autodesk Inventor 2015 | 2           |
| Tlač modelu                                                      | 1           |
| Povrchová úprava vytlačeného modelu                              | 12          |
| Výroba silikónovej formy                                         | 3           |
| Odlievanie                                                       | 8,5         |
| <b>Celkovo</b>                                                   | <b>36,5</b> |

$$F_{NMP} = t_p \cdot hm \text{ [Kč]} \quad (4.6)$$

kde:  $t_p$  [hod] - Pracovní doba,

$hm$  [hod] - Hodinová mzda,

$F_{NMP}$  [Kč] - Finančné náklady na mzdu pracovníka.

$$F_{NMP} = 36,5 \cdot 100 = \underline{3650Kč}$$

#### 4.7 Celkové finančné náklady na výrobu prototypového automobilového dielu

Celkové finančné náklady boli vyčíslené sčítaním všetkých finančných nákladov jednotlivých technologických postupoch vrátane nákladov na mzdu pracovníka pomocou vzťahu vid'. vzťah (4.7).

$$F_{NC} = F_{NT} + F_{NUP} + F_{NVF} + F_{NVO} + F_{NMV} + F_{NMP} \text{ [Kč]} \quad (4.7)$$

kde:  $F_{NT}$  [Kč] - Finančné náklady na tlač,

$F_{NUP}$  [Kč] - Finančné náklady na úpravu povrchu,

$F_{NVF}$  [Kč] - Finančné náklady na výrobu silikónovej formy,

$F_{NVO}$  [Kč] - Finančné náklady na výrobu šiestich odliatkov,

$F_{NMV}$  [Kč] - Finančné náklady na metrologické vyhodnotenie, rozmerov jednotlivých foriem modelu,

$F_{NMP}$  [Kč] - Finančné náklady na mzdu pracovníka,

$F_{NC}$  [Kč] - Celkové finančné náklady.

$$F_{NC} = 217,9 + 50,3 + 226,8 + 85,3 + 7425 + 3650 = \underline{\underline{11655Kč}}$$

## 5 DISKUSIA

### 5.1 Tvorba modelu

Model súčasti bol vytvorený v 3D parametrickom software Autodesk Inventor 2015. Samotné modelovanie prebehlo bez nejakých väčších problémov. Taktiež pri exportovaní modelu do formátu STL nenastali žiadne komplikácie, čo bolo potvrdené kontrolou v programe MiniMagic. Modelovanie súčastí si vyžaduje znalosť čítania výkresovej dokumentácie a závisí na zručnosti užívateľa.

### 5.2 Vytvorenie master modelu pomocou tlačiarne dimension uPrint

Pri tvorbe modelu pomocou 3D tlačiarne je dôležité najmä správne nastavenie tlače. Jednotlivé parametre môžu ovplyvniť náklady a čas na výrobu modelu ako aj jeho samotné vlastnosti. V našom prípade bol z dôvodu potreby dosiahnutia geometrických tolerancií podľa výkresovej dokumentácie najdôležitejším parametrom hrúbka jednej vrstvy. Tá ovplyvňuje celkovú presnosť geometrických rozmerov modelu a spravidla platí, čím nižšia hrúbka vrstvy, tým je model presnejší. To bolo potvrdené i v tejto práci. Menšie geometrie master modelu vytlačenom s hrúbkou jednej vrstvy 0,254 mm boli už na oko menej presné ako by sme potrebovali. Z tohto dôvodu bol model znovu vytlačený s hrúbkou vrstvy 0,178 mm, ktorého rozmery boli zmerané 3D súradnicových prístrojom. Ďalším dôležitým parametrom pri tlači je voľba materiálu. Nami zvolený materiál bol *ABSplus* pre jeho dobré vlastnosti viď príloha č. 3 ako napr. mechanické pevnosť a rozmerová stálosť. Ďalšou veľkou výhodou tohto materiálu je, že pracuje s podporným materiálom, ktorý je chemicky rozpustný a teda podpory nemusia byť odstránené mechanicky. To by v niektorých prípadoch mohlo vytlačený model poškodiť. Značný vplyv na spotrebu podporného materiálu a dobu tlače má umiestnenie modelu do pracovného priestoru tlačiarne a jeho správne naorientovanie.

### 5.3 Výroba silikónovej formy a odliatkov

Master modely vytlačené pomocou 3D tlačiarne sú presne a môžu slúžiť ako plne funkčný výrobok alebo môžu slúžiť na výrobu silikónovej formy pomocou vákuového liateho systému, ako tomu bolo i v našom prípade. Pred samotnou výrobou formy bola potrebná povrchová úprava vytlačeného kusu a to z dôvodu, aby neboli nerovnosti vzniknuté pri tlači otlačené do tvarovej dutiny formy. Následne bol takto upravený model zaliaty do silikónového materiálu. Po vytvrdnutí silikónu vznikla tvarová dutina, do ktorej boli neskôr odlievane kusy. Pri výrobe tejto formy bolo dôležité správne umiestnenie deliacej roviny a vtokových otvorov, aby bolo dosiahnuté úplné zatekanie plastu v tvarovej dutine. S tým bol spočiatku problém, a preto bolo potrebné najmä vhodné odvzdušnenie formy a jej rôzne úpravy tak ako sú popísané v kapitole 2.5. Výroba silikónovej formy nemá význam len pre tvorbu prototypových dielov, ale môže aj prakticky overiť správnosť navrhnutého umiestnenia deliacej roviny a vtokových otvorov. Potvrdením ich správnej polohy môže značne uľahčiť návrh a výrobu riadnej ocelevej formy a ušetriť čas. Zo skúseností získaných počas tejto práce si dovoľím tvrdiť, že tento postup je z dôvodu problematikosti zatekania plastu v tvarovej dutine formy vhodný skôr pre menšie výrobky s nie veľmi náročnou

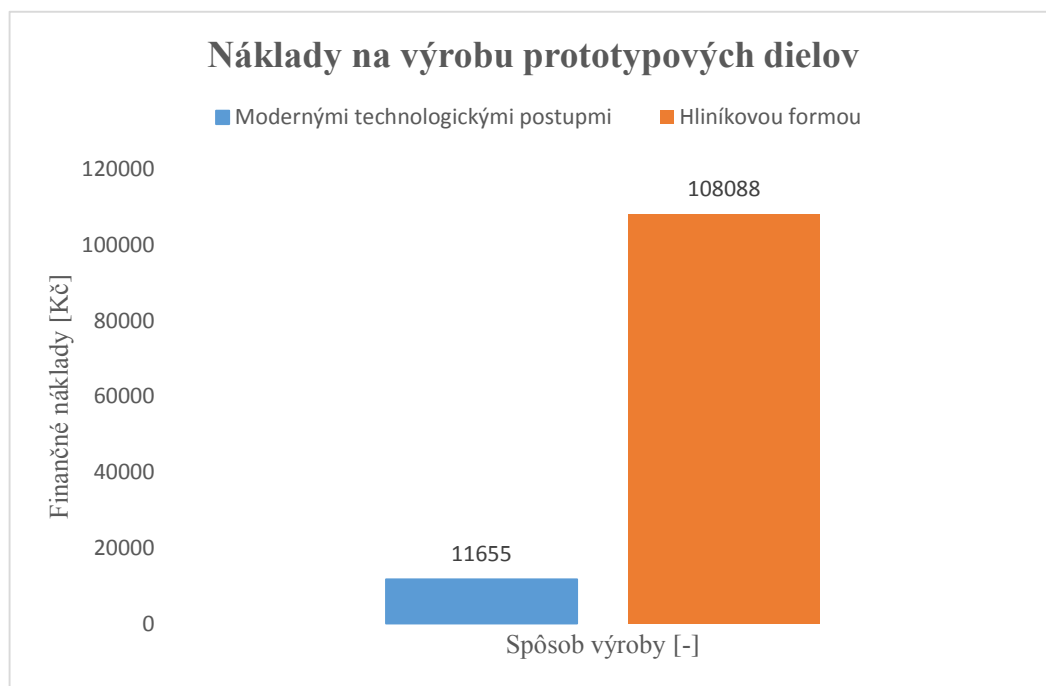
tvarovou zložitostí. Avšak skutočnosťou je, že takýchto plastových výrobkov môžeme v praxi nájsť veľmi veľa.

#### **5.4 Metrologické meranie dielov**

Metrologické meranie prebehlo na 3D súradnicovom meracom stroji Wenzel LH 1010 s kombináciou použitia digitálneho posuvného meradla PLOBERGER. Týmto meradlom boli zmerané rozmery, ktoré neumožňovalo upnutie výrobku na stôl zmerať strojom. Všetky ostatné rozmery okrem rádiusov, ktoré boli menšie ako priemer rubínovej guľičky, boli zmerané 3D súradnicovým meracím strojom. Nezmerané rádiusy by bolo možné zmerať guľičkou s menším priemerom, ktorú sme žiaľ nemali k dispozícii. Toto meranie potvrdilo, že geometrické rozmery jednotlivých foriem prototypových dielov odpovedajú toleranciam predpísaným výkresovou dokumentáciou. Po tomto meraní bolo skonštatované, že takto zvoleným postupom výroby prototypových dielov by bolo možné nahradiť overovaciu metódu spojenú s výrobou hliníkovej formy.

#### **5.5 Ekonomické zhodnotenie výroby prototypových dielov**

V tejto časti boli vyhodnotené finančné náklady jednotlivých pracovných postupoch. Ich sčítaním boli vyčíslené celkové náklady na výrobu finálneho prototypu automobilového dielu pomocou odlievania do silikónovej formy. To predstavovalo presne 11 655 Kč. Na výrobu takýchto plastových prototypových výrobkov sa v praxi využíva hliníková forma. Vďaka väčšiemu materiálu, z ktorého je vyrobená, slúži iba na výrobu určitého počtu výliskov. Ak sú takto vyrobené prototypové kusy v poriadku, na základe tejto formy je vyrobená drahšia oceľová forma určená pre sériovú výrobu. V prílohe č. 6 je čínskou firmou vypracovaná finančná ponuka na výrobu jednonásobnej hliníkovej formy na základe tvaru a rozmerov nášho dielu. Jej cena bola vyčíslená na 4000 Eur, čo je cca. 108 088 Kč. Avšak táto čiastka nezahŕňa náklady spojené s hodinovou mzdou pracovníka a energiou pri výrobe prototypových dielov. Napriek tomu, táto suma potvrdzuje, že modernými technologickými postupmi možno až 10 násobne ušetriť financie, čo je znázornené i na obrázku č. 5.1.



Obr. 5.1 Porovnanie nákladov na výrobu prototypových díelov.

## ZÁVER

Bakalárska práca pojednáva o aplikácii moderných technológií pre návrh výroby prototypu automobilového dielu. Práca bola rozdelená na teoretickú a praktickú časť. V teoretickej časti bola rozobraná problematika technológie vstrekovania plastov, jej základný princíp fungovania a materiály vhodné pre túto technológiu. Ďalej táto časť obsahuje základné komponenty vstrekovacieho stroja spolu s princípom ich fungovania a opisom základných problémov pri návrhu vstrekovacích foriem. V praktickej časti boli popísané jednotlivé technológie, ktoré predchádzali výrobe prototypového dielu odliatím do silikónovej formy spolu s metrologickou časťou.

Pomocou softwaru Autodesk Inventor 2015 bol podľa výkresovej dokumentácie ako prvé vytvorený model. Ten bolo potrebné exportovať do formátu STL, ktorý je podporovaný každou 3D tlačiarňou. Po jeho kontrole v programe MiniMagic bol načítaný v obslužnom software tlačiarne CatalystEX, kde boli nastavené jednotlivé parametre tlače. Takto pripravený model bol odoslaný do 3D tlačiarne Dimension uPrint, v ktorej bol vytlačený tzv. master model z *ABSplus* materiálu.

Z takto zhotoveného master modelu bola vytvorená silikónová forma, ktorá slúžila na odlievanie prototypových dielov. Pred jej výrobou bolo potrebné čo najlepšie vyhladiť tento model, aby nerovnosti po tlači na jeho povrchu neboli otláčené v tvarovej dutine formy. To bolo docielené pomocou viacnásobného nanášania tmelu a jeho následného brúsenia brúsnou hubkou. Ako materiál na odlievanie prototypových dielov bola použitá zmes živice a tužidla EBALTA SG 2000 A+B. Pri tomto odlievaní sme sa stretli s problémom nezatekania plastu do všetkých častí tvarovej dutiny. Z tohto dôvodu boli potrebné rôzne úpravy formy, ktorými bol docielený finálny odliatok.

V metrologickej časti bolo 3D meracím súradnicovým strojom prevedené meranie prototypových dielov (diel vyrobený na vstrekovacom lise, s využitím 3D tlačiarne, vytmelený a odliaty do silikónovej formy). Rozmery, ktoré nebolo z dôvodu upnutia meraného dielu na stole možné zmerať 3D meracím strojom, boli zmerané digitálnym posuvným meradlom. Na záver tejto časti boli vytvorené protokoly o meraní, ktoré potvrdzujú, že rozmery všetkých prototypových dielov sú v geometrických toleranciách predpísaných výkresovou dokumentáciou. Z toho vyplýva, že súčasti vyrobené pomocou moderných technológií môžu byť použité ako plnohodnotné prototypové diely.

V technicko – ekonomickej časti boli vyčíslené finančné náklady jednotlivých pracovných postupov. Ich sčítaním boli zistené celkové finančné náklady na výrobu finálneho prototypu automobilového dielu odliatím v silikónovej forme. Tie boli na záver porovnané s nákladmi na výrobu jednonásobnej hliníkovej formy, slúžiacej ako obdobná overovacia metóda pred výrobou riadnej oceľovej formy. Tieto náklady boli vyčíslené čínskou spoločnosťou na základe zaslanej výkresovej dokumentácie. Týmto porovnaním bolo zistené, že úspora finančných nákladov na výrobu prototypových dielov s využitím moderných technológií je oproti výrobe hliníkovej formy za rovnakým účelom takmer desať násobná.

Ciele bakalárskej práce vyrobiť plne funkčný prototypový automobilový diel s požadovanými rozmermi podľa výkresovej dokumentácií za pomoci moderných technologických postupov boli splnené.

Využitím moderných technológií obsiahnutých v tejto práci môžeme nie len skrátiť čas potrebný na výrobu prototypových dielov, ale aj výrazne znížiť náklady na ich výrobu.

**ZOZNAM POUŽITÝCH ZDROJOV**

- [1] OLEXOVÁ, M., KICKOVÁ, M., HERDITZKY A. *Plastové komponenty ako neoddeliteľná súčasť automobilu v dnešnej dobe*. Transfer inovácií. [online]. Č. 12 (2008). [cit: 2016-03-08]. Dostupné z: <<http://www.sjf.tuke.sk/transferinovacii/>> . ISSN 1337-7094
- [2] CUSTOMPARTNET. *Injection Molding* [online]. [cit. 2016-03-08]. Dostupné z: <<http://www.custompartnet.com/wu/InjectionMolding>>
- [3] RAGAN, E., RUŽBARSÝ, J., MAŇAS, M. A KOL: *Vstrekovanie a spracovanie plastických hmôt*, Prešov: Vydavateľstvo Michala Vaška, 2008, 549 s., ISBN 978-80-553-0102-0
- [4] ZEMAN, L.: *Vstříkování plastů*, Praha: BEN – technická literatura, 2009, 247 s., ISBN 978-80-7300-250-3
- [5] NEUHÄUSL, E. *Snížení rizika vzniku vad při vstříkování plastových dílů*. [online]. 11.03.2014. [cit. 2016-03-17]. Dostupné z: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/snizeni-rizika-vzniku-vad-pri-vstrikovani-plastovych-dilu.html>>
- [6] LENFELD, P. *Přípravné zpracování plastů* [online]. Liberec: TUL KST. [cit. 2016-04-12]. Dostupné z: <[http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta\\_tkp/sekce\\_plasty/03.htm](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/03.htm)>
- [7] LINKEŠOVÁ, M., PAVELEKOVÁ, I.: *Vybrané kapitoly z chemickej a potravinárskej technológie*, Trnava: Trnavská univerzita v Trnave, 2007, 133 s., ISBN 978-80-8082-170-8
- [8] TORAY INDUSTRIES, INC. *Technical Information / Injection-molding / Estimating molding cycle time* [online]. [cit. 2016-03-08]. Dostupné z: <[http://www.toray.jp/plastics/en/amilan/technical/tec\\_012.html](http://www.toray.jp/plastics/en/amilan/technical/tec_012.html)>
- [9] RUTLAND PLASTICS LTD. *Plastic Injection Moulding Machine* [online]. [cit. 2016-03-17]. Dostupné z: <[http://www.rutlandplastics.co.uk/advice/moulding\\_machine.html](http://www.rutlandplastics.co.uk/advice/moulding_machine.html)>
- [10] TECHNOLOGYSTUDENT. *Injection Molding of plastics* [online]. [cit. 2016-03-08]. Dostupné z: < <http://www.technologystudent.com/equip1/inject1.htm> >
- [11] SINOTECH, INC. *Injection Molding* [online]. [cit. 2016-03-17]. Dostupné z: < <http://www.sinotech.com/injectionMolded.html> >

[12] MORRIS, A. *Plastic Injection Moulding - An Introduction* [online]. 11.07.2013. [cit. 2016-04-12]. Dostupné z: <<http://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=265>>

[13] BOBEK, J. *Vstřikovací formy pro zpracování termoplastů* [online]. 19. 6. 2015, [cit. 2016-04-12]. Dostupné z: <<https://publi.cz/books/179/Impresum.html> >. ISBN: 978-80-88058-65-6

[14] KRAHN, H., EH, D., VOGEL, H.: 1000 Konstruktionsbeispiele für den Werkzeug- und Formenbau beim Spritzgießen. Mnichov: Carl Hanser, 2008, 568 s. ISBN 978-3-446-41243-9

[15] VARGA, J., DULEBOVÁ, Ľ. *Inovatívne metódy vstrekovania* [online]. Košice: KTM, SjF TU Košice 2016. [cit. 2016-04-12]. Dostupné z: <http://http://www.engineering.sk/clanky2/stroje-a-technologie/853-inovativne-metody-vstrekovania>

[16] [www.14220.cz](http://www.14220.cz). *Tváření plastů a výroba forem II* [online]. 8.06.2014. [cit. 2016-04-12]. Dostupné z: <<http://www.14220.cz/technologie/tvareni-plastu-a-vyroba-form-ii/>>

[17] CatalystEX 4.0.1<sup>®</sup>, ©2010 Stratalys Inc. Eden Prairie, MN. Všechna práva vyhrazena [online]. [cit. 2016-04-12]. Dostupné z: <<http://www.dimensionprinting.com/applications/rapid-prototyping.aspx>>

[18] PETŘKOVSKÁ, L., ČEPOVÁ, L. *Metrologie a řízení kvality* [online]. Ostrva: VŠB - Technická univerzita Ostrava 2012. [cit. 2016-04-12]. Dostupné z: <[http://projekty.fs.vsb.cz/459/ucebniopory/Metrologie\\_a\\_rizeni\\_kvality.pdf](http://projekty.fs.vsb.cz/459/ucebniopory/Metrologie_a_rizeni_kvality.pdf) >. ISBN 978-80-248-2771-1

[19] BRT SERVIS. *Wenzel* [online]. [cit. 2016-04-12]. Dostupné z: <<http://www.brtservis.cz/cs/wenzel.html> >

**ZOZNAM POUŽITÝCH SYMBOLOV A SKRATIEK**

| <b>Skratka</b> | <b>Jednotka</b> | <b>Popis</b>                            |
|----------------|-----------------|-----------------------------------------|
| <b>3D</b>      | [-]             | Trojdimenzionálny                       |
| <b>ABS</b>     | [-]             | Acrylonitril Butadién Styren            |
| <b>Kč</b>      | [-]             | Koruna česká                            |
| <b>PA</b>      | [-]             | Polyamid                                |
| <b>PC</b>      | [-]             | Polykarbonát                            |
| <b>PE</b>      | [-]             | Polyetylén                              |
| <b>PBT</b>     | [-]             | Polybutyléntereftalát                   |
| <b>PET</b>     | [-]             | Polyetyléntereftalát                    |
| <b>POM</b>     | [-]             | Polyoxymetylén                          |
| <b>PP</b>      | [-]             | Polypropylén                            |
| <b>PS</b>      | [-]             | Polystyrén                              |
| <b>RPS</b>     | [-]             | Reference Point System                  |
| <b>STL</b>     | [-]             | Stereo Litography – Dátový formát *.stl |
| <b>atď.</b>    | [-]             | A tak ďalej                             |
| <b>cca</b>     | [-]             | Cirka/približne                         |
| <b>hm.</b>     | [-]             | Hmotnostný                              |
| <b>hod.</b>    | [-]             | Hodina                                  |
| <b>kap.</b>    | [-]             | Kapitola                                |
| <b>napr.</b>   | [-]             | Napríklad                               |
| <b>obr.</b>    | [-]             | Obrázok                                 |
| <b>poz.</b>    | [-]             | Pozícia                                 |
| <b>t. j.</b>   | [-]             | To jest                                 |
| <b>tzv.</b>    | [-]             | Takzvaný                                |

| Symbol        | Jednotka | Popis                                                                                                       |
|---------------|----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $C_{BH}$      | [Kč]     | Cena jedného balenia (200 kusov útržkov) brúsnych hubiek                                                    |
| $C_M$         | [Kč]     | Cena základného a podporného materiálu                                                                      |
| $C_T$         | [Kč]     | Cena 1 ml dvojzložkového tmelu                                                                              |
| $C_Z$         | [Kč]     | Cena 1 gramu zmesi potrebnej na výrobu silikónovej formy                                                    |
| $C_{\dot{Z}}$ | [Kč]     | Cena 1 gramu živice EBALTA SG 2000 A                                                                        |
| $F_{NC}$      | [Kč]     | Celkové finančné náklady                                                                                    |
| $F_{NMP}$     | [Kč]     | Finančné náklady na mzdu pracovníka                                                                         |
| $F_{NMV}$     | [Kč]     | Finančné náklady na metrologické vyhodnotenie rozmerov jednotlivých foriem modelu                           |
| $F_{NT}$      | [Kč]     | Finančné náklady na tlač                                                                                    |
| $F_{NUP}$     | [Kč]     | Finančné náklady na úpravu povrchu                                                                          |
| $F_{NVF}$     | [Kč]     | Finančné náklady na výrobu silikónovej formy                                                                |
| $F_{NVO}$     | [Kč]     | Finančné náklady na výrobu šiestych odliatkov                                                               |
| $V_{PM}$      | [Kč]     | Objem podporného materiálu                                                                                  |
| $V_T$         | [Kč]     | Objem použitého tmelu                                                                                       |
| $V_{ZM}$      | [Kč]     | Objem základného materiálu                                                                                  |
| $K$           | [-]      | Celkový počet odliatkov                                                                                     |
| $H_m$         | [Kč]     | Hodinová mzda                                                                                               |
| $H_s$         | [Kč]     | Hodinová sadzba 3D parametrického stroja                                                                    |
| $m_T$         | [g]      | Hmotnosť tužidla potrebného na výrobu jedného odliatku                                                      |
| $m_Z$         | [g]      | Hmotnosť zmesi potrebnej na výrobu silikónovej formy                                                        |
| $m_{\dot{Z}}$ | [g]      | Hmotnosť živice potrebnej na výrobu jedného odliatku                                                        |
| $t_p$         | [hod]    | Pracovná doba                                                                                               |
| $t_{PM}$      | [hod]    | Čas potrebný na prípravu merania kde je zahrnutý čas štúdia výkresovej dokumentácie a upnutia dielu na stôl |
| $t_{PS}$      | [hod]    | Čas práce stroja pri meraní pri všetkých štyroch foriem modelu                                              |
| $t_{TP}$      | [hod]    | Čas potrebný na tvorbu programu                                                                             |
| $t_{VP}$      | [hod]    | Čas potrebný na vytvorenie protokolu o meraní                                                               |

**ZOZNAM PRÍLOH**

|           |                                                            |
|-----------|------------------------------------------------------------|
| Príloha 1 | Výkresová dokumentácia                                     |
| Príloha 2 | Parametre 3D tlačiarne Dimension uPrint                    |
| Príloha 3 | Základné vlastnosti ABSplus materiálu                      |
| Príloha 4 | Parametre 3D súradnicového meracieho stroja Wenzel LH 1010 |
| Príloha 5 | Protokoly o metrologickom meraní prototypových dielov      |
| Príloha 6 | Cennová ponuka na výrobu hliníkovej formy                  |