



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

## ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

# APLIKACE MODERNÍCH TECHNOLOGIÍ PRO VÝROBU NÁHRADNÍ SOUČÁSTI AIRSOFTOVÉ ZBRANĚ

APPLICATION OF MODERN TECHNOLOGIES FOR THE PRODUCTION OF SPARE PARTS AIRSOFT GUNS

## BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

## AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Ondřej Král

## VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Aleš Jaroš, Ph.D.

BRNO 2016

# Zadání bakalářské práce

Ústav:	Ústav strojírenské technologie
Student:	<b>Ondřej Král</b>
Studijní program:	Strojírenství
Studijní obor:	Strojírenská technologie
Vedoucí práce:	<b>Ing. Aleš Jaroš, 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 výrobu náhradní součásti airsoftové zbraně**

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

Bakalářská práce je zaměřena na konstrukci a výrobu náhradní součásti airsoftové zbraně. Náhradní součást bude zkonstruována ve 3D parametrickém software Autodesk Inventor. Model součásti bude vyroben pomocí metody Fused Deposition Modeling s využitím 3D tiskárny uPrint. Součástí práce bude výroba silikonové formy, která bude sloužit pro odlití plastového modelu náhradního dílu airsoftové zbraně. Práce bude ukončena technicko-ekonomickým zhodnocením.

### **Cíle bakalářské práce:**

1. Úvod
2. Popis součásti
3. Konstrukce modelu součásti
4. Výroba reálné součásti
5. Technicko-ekonomické zhodnocení
6. Závěr

### **Seznam literatury:**

PÍŠKA, M. Speciální technologie obrábění. 1.vyd.. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2009. 247 s. ISBN 978-80-214-4025-8.

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 1860584659.

PÍŠA, Z., KEJDA, P., GÁLOVÁ, D. Rapid Prototyping in Mechanical Engineering. In Proceedings of the Abstracts 12th International Scientific Conference CO-MA-TECH 2004. Bratislava: STU, 2004. s. 160. ISBN 80-227-2121-2.

SEDLÁK, J., PÍŠA, Z. Rapid Prototyping master modelů pomocí CAD/CAM systémů. In Mezinárodní vědecká konference 2005. Ostrava: VŠB TU Ostrava, Fakulta strojní, 07.09.2005-09.09.2005. 30 s. ISBN: 80-248-0895-1.

5. HORÁČEK, M - CILEČEK, J.: Capabilities of Investment Casting Technology, Livarski ,Vestnik, Vol.54, 4 / 2006, pp. 175-186.

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

V Brně, dne

L. S.

---

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.  
ředitel ústavu

---

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

## **ABSTRAKT**

Tato bakalářská práce popisuje konstrukci a výrobu náhradních součástí do airsoftové zbraně. Vybranými náhradními součástmi byly kohout a držák pružiny, které byly zkonstruovány ve 3D parametrickém programu Autodesk Inventor 2016. Pro výrobu součástí bylo využito metody Fused Deposition Modeling, patřící do technologie Rapid Prototyping. Součásti byly vyrobeny na 3D tiskárně uPrint. Na základě vytvořené součásti držák pružiny byla vytvořena silikonová forma, která sloužila pro výrobu plastové součásti odléváním. Práce je zakončena technicko-ekonomickým zhodnocením, ve kterém bylo zjištěno, že odlévání do silikonové formy je výhodnější při výrobě více kusů.

### **Klíčová slova**

Rapid Prototyping, Fused Deposition Modeling, silikonová forma, odlévání, držák pružiny, kohout, airsoft

## **ABSTRACT**

This bachelor thesis describes design and manufacture of airsoft spare parts. Selected spare parts were hammer and spring holder, which were designed in 3D parametric software Autodesk Inventor 2016. Chosen method to manufacture spare parts, was Fused Modeling Deposition, which is part of Rapid Prototyping technology. The device for producing parts was 3D printer uPrint. The manufacture of silicon mould was based on printed spring holder, which was used for parts manufacture, by casting plastic material. Thesis is completed with a technical-economical evaluation, in which it was found that the silicon mould casting is more profitable in the production of more parts.

### **Key words**

Rapid Prototyping, Fused Deposition Modeling, silicon mould, casting, spring holder, hammer, airsoft

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

KRÁL, O. *Aplikace moderních technologií pro výrobu náhradní součásti airsoftové zbraně*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2016. 45 s. 3 přílohy. Vedoucí bakalářské práce Ing. Aleš Jaroš, Ph.D.



### **PROHLÁŠENÍ**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma **Aplikace moderních technologií pro výrobu náhradní součásti airsoftové zbraně** vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

---

Datum

---

Ondřej Král

## **PODĚKOVÁNÍ**

Děkuji tímto vedoucímu své bakalářské práce Ing. Aleši Jarošovi, Ph.D. za cenné připomínky, rady, jeho ochotu a vstřícný přístup během zpracování této práce. Také bych chtěl velmi poděkovat své rodině a přátelům za jejich podporu a trpělivost po dobu mého studia.

**OBSAH**

ABSTRAKT .....	4
PROHLÁŠENÍ.....	6
PODĚKOVÁNÍ .....	7
OBSAH.....	8
ÚVOD.....	9
1 POPIS SOUČÁSTI.....	10
1.1 Airsoft .....	10
1.2 Airsoftové zbraně .....	10
1.3 Kohout.....	12
1.4 Držák pružiny.....	13
2 KONSTRUKCE MODELU SOUČÁSTI.....	14
2.1 Konstrukce modelu kohoutu .....	14
2.2 Konstrukce modelu držáku pružiny .....	20
3 VÝROBA REÁLNÉ SOUČÁSTI .....	23
3.1 Reverzní inženýrství.....	23
3.2 Rapid prototyping.....	23
3.3 Metoda Fused Deposition Modeling .....	24
3.4 Nastavení FDM tisku .....	25
3.5 Výroba součástí metodou FDM .....	28
3.6 Výroba silikonové formy .....	30
3.7 Odlévání do silikonové formy.....	32
3.8 Konečná úprava součásti.....	33
4 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ.....	35
4.1 Náklady na výrobu metodou FDM .....	35
4.2 Náklady na výrobu odléváním do silikonové formy .....	36
4.3 Porovnání způsobů výroby držáku pružiny.....	37
ZÁVĚR .....	40
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ .....	41
SEZNAM PŘÍLOH.....	45

## ÚVOD

Aditivní technologie Rapid Prototyping (RP) patří mezi rychle se rozvíjející moderní technologie. Tato technologie se vyznačuje především její rychlostí a přesností. Využitím technologie RP se výroba prototypů stala snazší. Mezi technologie RP se řadí metoda Fused Deposition Modeling (FDM). Výrobky vytvořené metodou FDM mohou plně nahradit reálné součásti, vzhledem k vysoké kvalitě a přesnosti výroby.

Pro výrobu metodou FDM je potřeba virtuální 3D model. Takový model je možné vytvořit v parametrickém programu nebo může být získán využitím reverzního inženýrství, u kterého se z reálné součásti získává virtuální model. Takový model lze získat naskenováním součásti. V parametrickém programu pak probíhají úpravy modelu, které vedou k odstranění vad nebo zlepšení funkčnosti modelu.

Další technologií pro výrobu náhradní součásti, je výroba silikonové formy. Při její výrobě jako podklad slouží upravený model, vyrobený metodou FDM. Tato technologie ovšem není vhodná pro tvarově složitější součásti, z důvodu špatného zatékání materiálu do formy. Proces výroby odléváním do silikonové formy je náročnější z hlediska přípravy, ale při výrobě více kusů součástí, jsou náklady na výrobu jednoho kusu nižší.

Tato práce je zaměřena na výrobu náhradních dílů do airsoftové pistole. Výběr součástí na výrobu probíhal na základě jejich využití v pistoli. Součást kohout byla vybrána, protože se jedná o velmi namáhanou součást a při použití větší síly, je možné tento díl zničit. Komponenta držák pružiny má malé rozměry a při rozebrání celé zbraně v terénu je možné ji ztratit. Při jakémkoliv mechanickém poškození této součásti, by se zbraň stala nefunkční, z důvodu nedostatečného ustavení pružiny. Z těchto důvodů lze tyto komponenty označit jako kazové, a proto jsou pro výrobu ideální.

Bakalářská práce je zakončena technicko-ekonomickým zhodnocením, které má za úkol zjistit výhodnější variantu výroby více kusů náhradních součástí.

## 1 POPIS SOUČÁSTI

Tato kapitola je zaměřená na přiblížení pojmu airsoft, rozdělení zbraní a popis součástí, jejichž výroba bude součástí této práce. Modely dílů budou vyrobeny pro konkrétní airsoftovou pistoli H&K USP od firmy Tokyo Marui, a to konkrétně kohout a držák pružiny.

### 1.1 Airsoft

Za objevitele airsoftu se považuje Japonsko, ve kterém bylo v polovině 70. let 20. století nelegální vlastnit střelné zbraně. První airsoftové zbraně byly manuální napodobeniny, které se po každém výstřelu musely ručně natáhnout a jako střelivo se používaly plastové kuličky o velikosti 6 mm známé jako BB projektily. Kvůli zákazu střelných zbraní se tyto první airsoftové zbraně rozšířily i do okolních států jako Čína, Hong Kong, Taiwan nebo Filipíny. Díky vzrůstající popularitě se tyto zbraně dostaly do Evropy a USA během poloviny 90. let 20. století [1].

Airsoft je poměrně nové sportovní odvětví. Jedná se o hru držitelů airsoftových zbraní, kteří proti sobě nenásilnou formou bojují. Nejčastěji skupiny lidí napodobují reálné vojenské jednotky, které pak společně trénují, pořádají a účastní se airsoftových akcí nebo napodobují historické bitvy [2]. Vystřelený projektil nezanechá žádnou stopu po zásahu jako například paintball. Z tohoto důvodu je airsoft založen ve smyslu fair play, kdy se každý zasažený hráč musí sám přiznat k vyřazení ze hry.

Při hraní airsoftu je nejdůležitější dbát na dodržování bezpečnostních pravidel spojených s užíváním zbraní. Při nesprávné manipulaci může být airsoftová zbraň velice nebezpečná, proto je důležité chovat se k ní s respektem. Mezi nejohroženější části těla patří oči, proto je jejich ochrana nejdůležitější částí vybavení. Mezi používané ochranné pomůcky ve hře patří ochranné brýle nebo maska. Zásah BB projektilem může být velmi nepříjemný a proto je vysoce doporučeno mít zakrytou každou část těla [3, 4].

### 1.2 Airsoftové zbraně

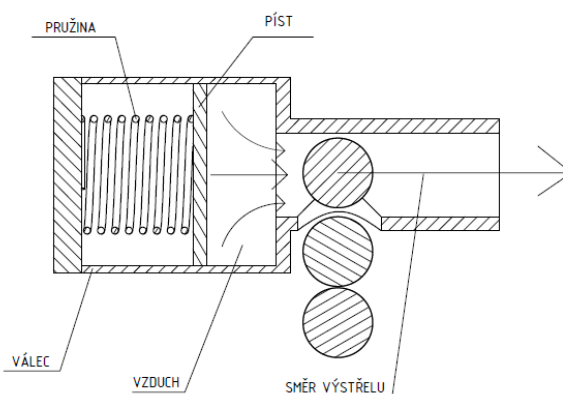
Airsoftové zbraně spadají do zbraní kategorie D, tedy zbraní nepodléhajících registraci. Přesná definice této kategorie zní: „*Zbraň kategorie D nebo střelivo do této zbraně může nabývat do vlastnictví, držet a případně nosit plnoletá a plně svéprávná fyzická osoba a nebo právnická osoba*“ [5].

Jedná se o zbraně střílející plastové BB projektily, které jsou vystřeleny mnohem nižší ústřovou rychlostí, než reálné střelné zbraně. Z tohoto důvodu není možné airsoftovými zbraněmi způsobit smrt nebo vážné zranění související s těžkým krvácením. V dnešní době jsou vzhledově tyto zbraně přesnými kopiemi reálných střelných zbraní [4].

Airsoftové zbraně jsou rozděleny na manuální, elektrické a plynové.

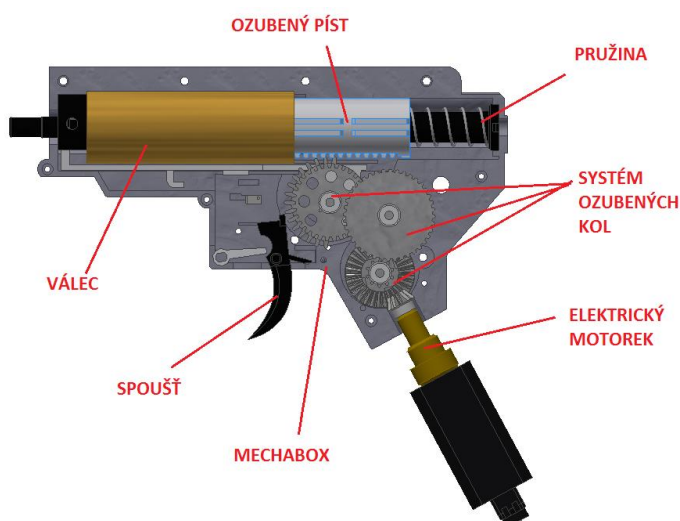
Manuální airsoftové zbraně je nutné pro každý výstřel ručně natáhnout. Výstřel je způsoben okamžitým uvolněním nahromaděné kinetické energie. Princip je zobrazen na obr. 1.1. Ke svému provozu tedy nepotřebují žádné baterie nebo plyn a jejich údržba je velmi nenáročná. Tento způsob provedení je nejlevnější variantou airsoftových zbraní a bývají také daleko více odolné. Střelba z těchto zbraní není ovšem příliš silná a efektivní. Pokud je

u těchto zbraní napínací síla menší než 150 N, nejedná se o zbraně kategorie D, ale o hračku [6, 7].



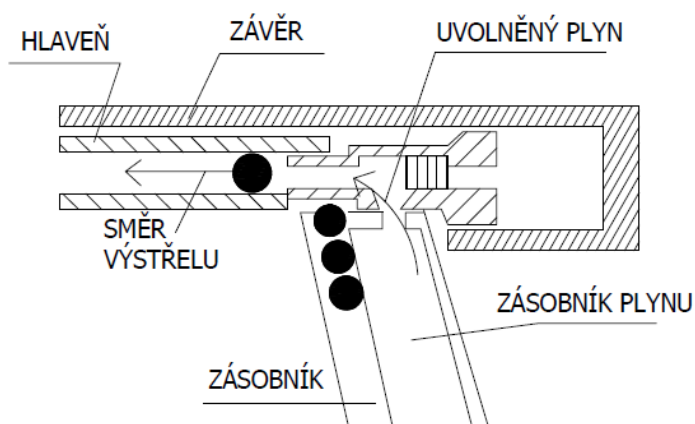
Obr. 1.1 princip manuální zbraně [7].

Elektrické airsoftové zbraně, označované jako AEG jsou poháněné elektrickou energií a jsou nejefektivnějšími používanými zbraněmi. I přes jejich vysokou cenu patří mezi nejrozšířenější zbraně mezi hráči airsoftu. AEG zbraně fungují na principu akumulátoru napájející motorek, který uvádí do pohybu systém ozubených kol zabírajících s ozubenou částí pístu. Na obr. 1.2 lze vidět mechanismus AEG, konkrétně zbraně M4A1. Na rozdíl od zbraní manuálních není nutné AEG zbraně před každým výstřelem ručně nabíjet a tak umožňují automatickou i poloautomatickou střelbu [2, 7].



Obr. 1.2 Mechanismus AEG.

Plynové airsoftové zbraně ke svému provozu potřebují stlačený vzduch nebo plyn (obr. 1.3), který je uchován v plynové komoře zbraně nebo je plynová bombička umístěná přímo ve zbrani. Používanými plyny jsou plyny typu Forane, GreenGas a CO<sub>2</sub>. Plyny typu Forane jsou nehořlavé a také nejméně výkonné. Nejpoužívanější je plyn typu GreenGas, kdy se plynová komora zbraně naplní přímo z bomby se stlačeným plynem. Stále větší oblibu si v airsoftu získávají plněné bombičky CO<sub>2</sub>, pro které je ve zbrani vytvořena speciální komora. Tyto zbraně jsou nejčastěji v provedení pistolí a jsou nejčastější volbou záložní zbraně pro airsoftové hráče. Plynové zbraně mohou mít provedení s pohyblivým nebo nepohyblivým závěrem. Pohyblivý závěr u zbraně se nazývá BlowBack systém a přidává na autentičnosti s reálnou střelnou zbraní [2, 7].



Obr. 1.3 Princip plynové pistole [7].

### 1.3 Kohout

Kohout má u airsoftové pistole funkci natahování spouště (obr. 1.4). Když je spoušť natažená, kohout se nachází v dolní pozici, pokud ale spoušť natažená není, kohout zůstává v pozici horní. Spoušť se dá natáhnout pouze napnutím kohoutu, stisknutím spouště se kohout uvolní a dorazí na součást, ve kterém je upevněn držák pružiny. Pokud je zbraň nabitá, proběhne výstřel. Kohout je se spouští spojen, takže pokud se spouští mačká naprázdno, kohout dělá stejný pohyb. Pistol se nabije natažením závěru pohybem dozadu. Při tomto pohybu závěr zatlačí na kohout a zároveň se natáhne spoušť.



Obr. 1.4 Kohout v nataženém (vlevo) a nenataženém stavu (vpravo).

#### 1.4 Držák pružiny

Držák pružiny slouží jako doraz, pro pružinu aby se pohybovala pouze v jedné ose, a neplní žádnou jinou funkci. Pružina slouží k nahromadění kinetické energie, při natažení závěru. Jedná se o vnitřní součást, která je umístěna v závěru zbraně. Držák je svými upínadly usazen do drážek v těle zbraně. Součást je umístěna uvnitř závěru a opírá se o tělo pistole a součást, do které uhoří kohout. Vzhled držáku lze vidět na obr. 1.5.



Obr. 1.5 Držák pružiny.

## 2 KONSTRUKCE MODELU SOUČÁSTI

Součástí této práce byl vytvořen kompletní model manuální airsoftové pistole, konkrétně H&K USP od firmy Tokyo Marui, v programu Autodesk Inventor 2016 (obr. 2.1). Jako předloha pro tvorbu modelu zbraně sloužily součásti reálné airsoftové pistole. Jednotlivé díly byly měřeny posuvným měřidlem a následně modelovány v parametrickém programu.



Obr. 2.1 Manuální airsoftová zbraň H&K USP.

### 2.1 Konstrukce modelu kohoutu

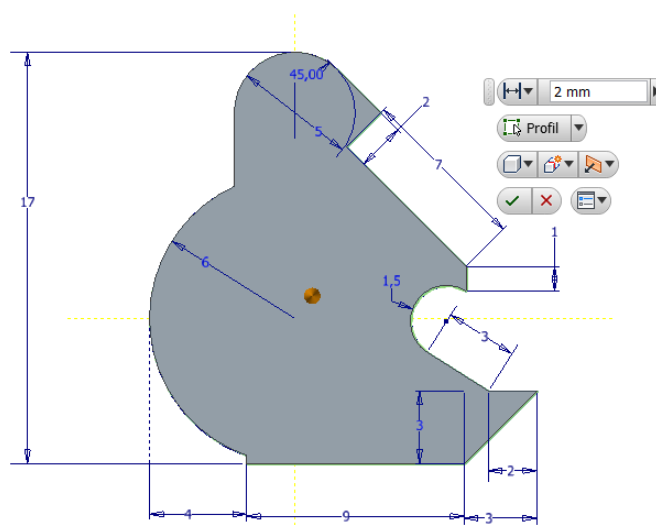
Při tvorbě kohoutu jako podklad sloužila neúplná součást (obr 2.2). Chybějící část této součásti byla navržena tak, aby netvořila žádnou kolizi s vytvořeným modelem zbraně. Před začátkem modelování bylo potřeba vytvořit nový jednoruční projekt pod názvem *USP.ipj* součástí kterého byly později vytvořeny všechny komponenty pistole.



Obr. 2.2 Rozbitý kohout.

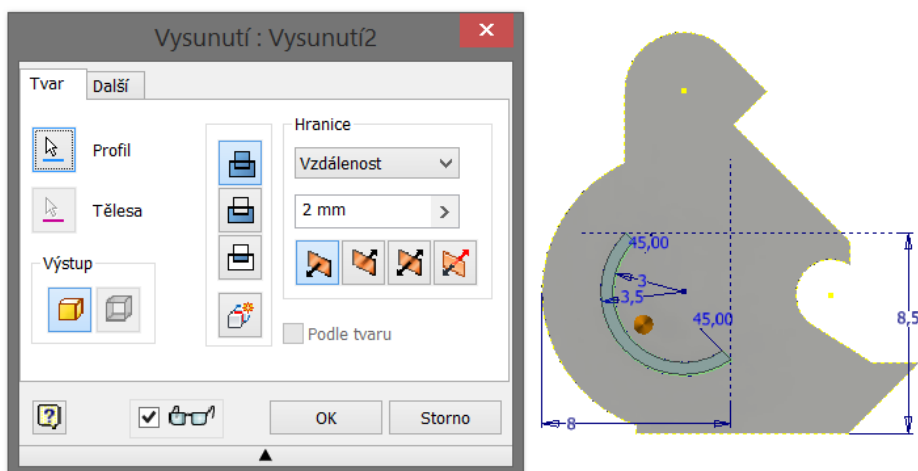
Jako první krok se v aktivovaném projektu *USP.ipj* zvolila položka „Nový“, kde byla v záložce „*Templates*“ zvolena možnost „*Norma.ipt*“. V tomto typu součásti byly přednastaveny jednotky, ve kterých se modelovalo, a to milimetry. Vytvořená nová součást byla ihned uložena pomocí příkazu „*Uložit jako*“ pod názvem *Kohout.ipt*.

Pro začátek modelování se v záložce „*3D model*“ zvolila možnost „*Vytvořit 2D náčrt*“ a do roviny YZ byl vytvořen základní náčrt těla kohoutu. Po promítnutí osy Y a osy Z ve formátu konstrukčních čar se za použití příkazů „*Čára*“ a „*Oblouk*“ byl vytvořen první náčrt, který je viděn na obr. 2.3. Tento náčrt byl vytvořen a okótován podle zbývající části kohoutu, která byla fyzicky k dispozici. Následně byl profil 2D náčrtu převeden do 3D rozměru, pomocí příkazu „*Vysunutí*“ do vzdálenosti 2 mm.



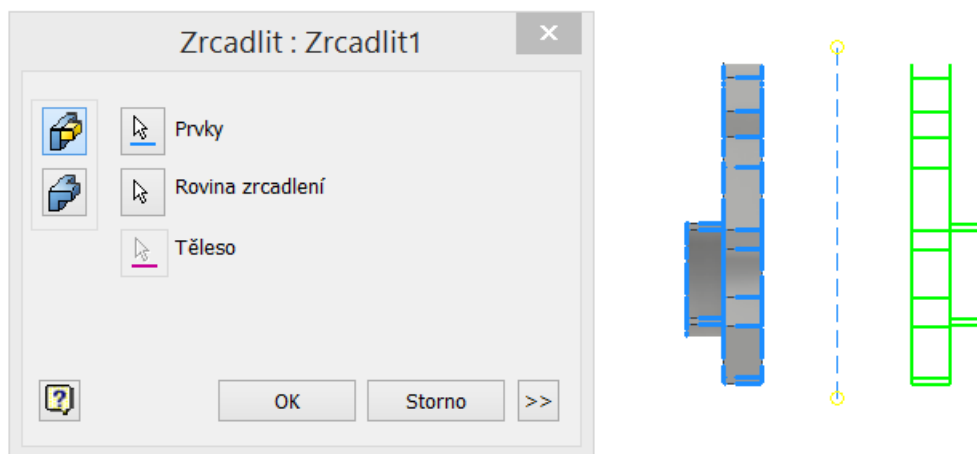
Obr. 2.3 Vytvoření těla kohoutu.

Dalším krokem bylo vytvoření „opěrek“ kohoutu. Na vzniklém 3D modelu byl vytvořen nový 2D náčrt, který lze vidět na obr. 2.4. Ze středu souřadného systému byly vytvořeny kružnice o poloměru 3 mm a 3,5 mm. Kružnice o poloměru 3,5 mm byla ohraničena přímkami v zapnutém formátu „*Konstrukční*“. Horizontální konstrukční přímka je ve vzdálenosti 2,5 mm od středu souřadného systému a vertikální konstrukční přímka je vzdálená od středu souřadného systému 2 mm. Po použití příkazu „*Vysunutí*“ byl rovněž převeden do 3D rozměru ve vzdálenosti 2 mm.



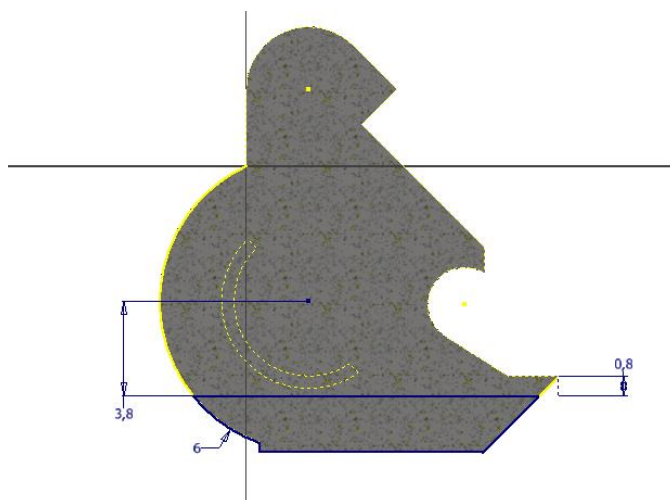
Obr. 2.4 Vysunutí „opěrek“.

Dalším krokem bylo vytvoření nové pracovní roviny YZ pomocí příkazu „*Odsazení roviny*“. Nově vytvořená rovina byla posunuta o vzdálenost 4 mm v záporném směru souřadného systému od základní roviny YZ. Příkazem „*Zrcadlit*“ byla vytvořená druhá část těla podle nově vytvořené roviny, která je symetrická s doposud vytvořenými prvky. Postup lze vidět na obr. 2.5.



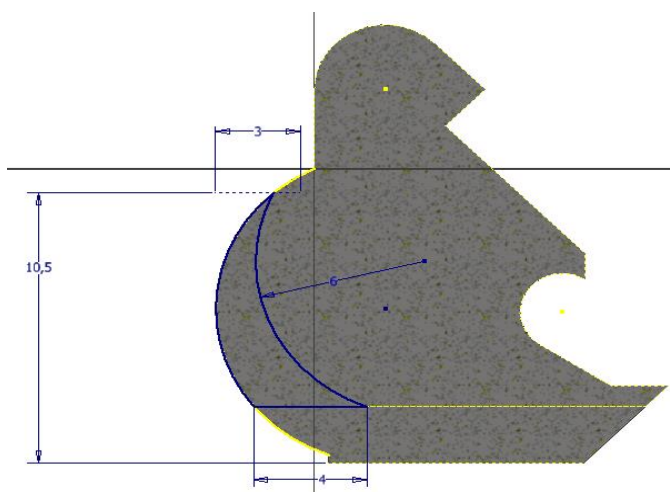
Obr. 2.5 Zrcadlení druhé části těla kohoutu.

V další operaci bylo potřeba vytvořené stěny těla kohoutu spojit. Na vnitřní straně pravé stěny těla, byl vytvořen 2D náčrt, který je viděn na obr. 2.6. V příkazu „*Vysunutí*“ byla zvolena možnost hranice „*Do*“, ve které byla následně zvolena druhá vnitřní stěna. V této operaci bylo vytvořeno základní tělo kohoutu.



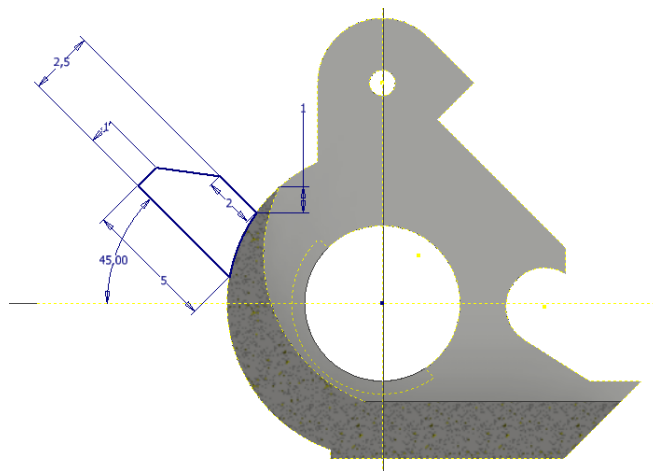
Obr. 2.6 Spojení dvou stran těla kohoutu.

Dalším krokem bylo vytvoření ochranného krytu pojistky zbraně. Vymodelování části bylo velice podobné jako při předchozí operaci, kdy na vnitřní pravé straně těla kohoutu, byl vytvořen jednoduchý náčrt, který lze vidět na obr. 2.7. Příkazem „*Odsazení od roviny*“ byla vytvořena nová rovina, která byla od počáteční roviny YZ posunuta o hodnotu 2,5 mm v záporném směru souřadného systému. Vytvořený 2D náčrt byl příkazem „*Vysunutí*“ vytažen do prostoru, kdy jako hranice byla zvolena možnost „*Do*“ a vybrána nově vytvořená rovina.



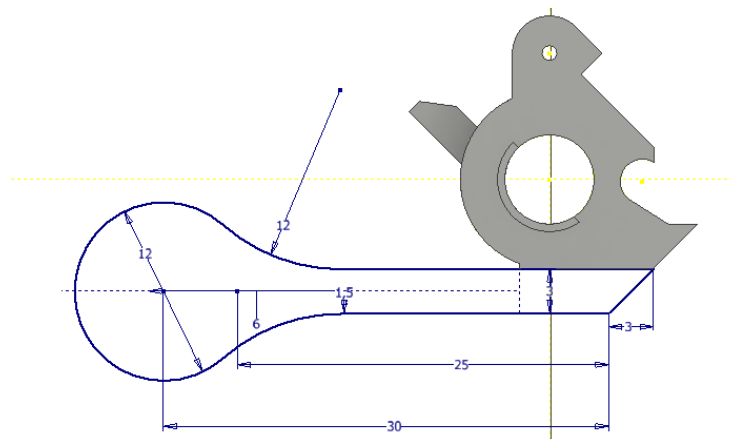
Obr. 2.7 Náčrt ochranného krytu těla kohoutu.

Jako další byla vymodelována „*zarážka*“, která brání nepřiměřenému napnutí kohoutu. Na rovinu, která byla vytvořena v předchozím kroku, byla promítnuta geometrie doposud vytvořené části kohoutu. Tento krok byl proveden příkazem „*Promítnutí geometrie*“ při zapnutém formátu „*Konstrukční*“. Na tento promítnutý náčrt se vytvořila geometrie „*zarážky*“, jejíž náčrt lze vidět na obr. 2.8. Geometrie byla převedena do 3D podoby příkazem „*Vysunutí*“. Při výběru hranice byla zvolena možnost „*Vzdálenost*“ kde byla dosazena hodnota 2 mm a zvolen „*Směr 2*“.



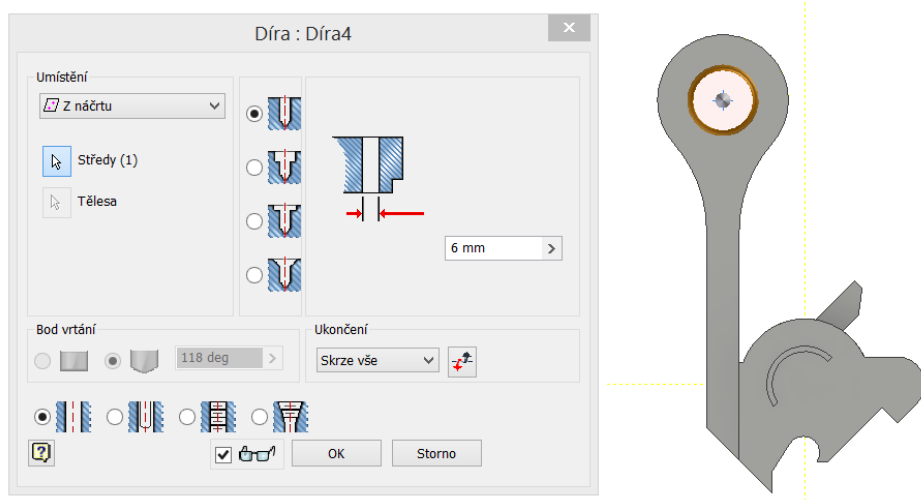
Obr. 2.8 Náčrt „zarážky“.

Dalším krokem bylo vytvoření části kohoutu, která nebyla k dispozici na reálné součásti. Tato část byla navržena tak aby netvořila kolizi v modelu celé airsoftové pistole a také, aby byla podobná kohoutu od reálné zbraně. Na počáteční pracovní rovinu YZ byl vytvořen nový 2D náčrt, který lze vidět na obr. 2.9. Náčrt byl následně vysunut do prostoru příkazem „Vysunutí“, kdy jako hranice byla zvolena možnost „Do“ a vybrána nová rovina, která byla od počáteční roviny posunutá o hodnotu 8 mm v záporném směru souřadného systému.



Obr. 2.9 Náčrt napínací části kohoutu.

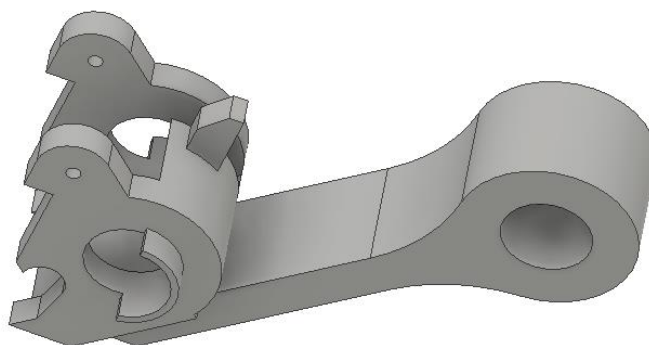
Následovalo vytvoření otvoru části dílu, vytvořeném v přechodím kroku. V počáteční pracovní rovině YZ byl vytvořen nový 2D náčrt, kde byla pomocí konstrukčního formátu promítnuta geometrie části kružnice, kam byl umístěn střed otvoru příkazem „Bod“. Otvor byl vytvořen příkazem „Díra“, kde byla jako umístění zvolena možnost „Z náčrtu“ a byl vybrán vytvořený bod. Druh díry byl zvolen „Vrtaná“ o průměru 6 mm s možností „Jednoduchý otvor“, to mělo za následek vytvoření obyčejného otvoru, který byl pro součást vhodný. V ukončení byla zvolena možnost „Skrze vše“, a to mělo za následek díru, která byla průchozí přes celou součást. Nastavení příkazu „Díra“ lze vidět na obr. 2.10.



Obr. 2.10 Nastavení díry v napínací části kohoutu.

Dalším krokem bylo vytvoření průchozího otvoru pro umístění pojistky pistole. Vytvořila se nová rovina, která byla posunuta od počáteční roviny YZ o 2 mm. Do této roviny byl vložen nový 2D náčrt, ve kterém byl použit příkaz „*Promítnutí geometrie*“ v konstrukčním formátu. Do středů, které byly promítnuty do náčrtu, byly umístěny nové body. Otvor byl vytvořen příkazem „*Díra*“ se stejným nastavením jako v předchozí operaci a pro otvor byl vybrán vytvořený spodní bod.

Pro vytvoření posledního otvoru bylo možné použít stejný náčrt, jako při předchozí operaci, který ale nebyl viditelný po vytvoření otvoru. Ve stromu modelu, který se v základním nastavení nachází na levé straně okna, byl nalezen potřebný náčrt, u kterého byla zvolena možnost „*Sdílet náčrt*“. Tímto krokem byl náčrt viditelný i pro další operace. Znovu byl použit příkaz „*Díra*“, kde nastavení zůstalo stejné, kromě průměru díry, který byl nastaven na hodnotu 1 mm. Pro vytvoření otvoru byla vybrán zbylý vrchní bod. Po vytvoření otvoru, byl sdílený náčrt stejným způsobem skryt. Po této operaci byl kohout pistole kompletně vymodelován a jeho podobu lze vidět na obr. 2.11.

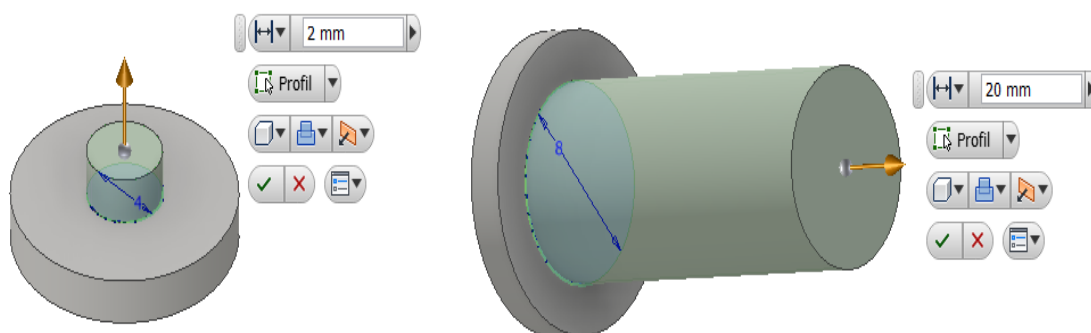


Obr. 2.11 Dokončená součást kohout.

## 2.2 Konstrukce modelu držáku pružiny

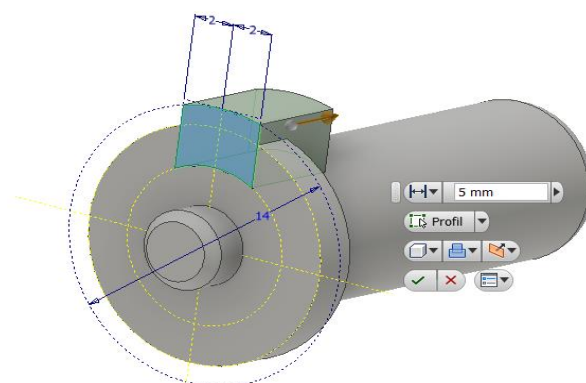
Model držáku pružiny se konstruoval podle rozměrů reálné součásti. Součást byla lehce upravená tak, aby nebyl způsoben problém při výrobě silikonové formy. V aktivovaném projektu *USP.ipj* byla vytvořena nová součást pod názvem *DrzakPruziny.ipt*. V první operaci byl vytvořen nový 2D náčrt v počáteční pracovní rovině XY. Ve středu souřadného systému byla vytvořena kružnice o průměru 12 mm, která byla vysunuta pomocí nástroje „*Vysunutí*“ do tloušťky 2 mm.

V dalším kroku byl zhotoven výstupek na zadní části držáku. Na již vytvořené části byl ve středu souřadného systému zhotoven 2D náčrt kružnice o průměru 4 mm. Příkazem „*Vysunutí*“ byl tento náčrt převeden do 3D podoby ve vzdálenosti 2 mm. Dále byl vytvořen nový 2D náčrt, z druhé strany části, která byla vytvořena v prvním kroku. V tomto náčrtu byla ve středu souřadného systému vytvořena kružnice o průměru 8 mm. Kružnice byla vysunuta pomocí příkazu „*Vysunutí*“ o hodnotu 20 mm. Obě tyto akce lze vidět na obr. 2.12.



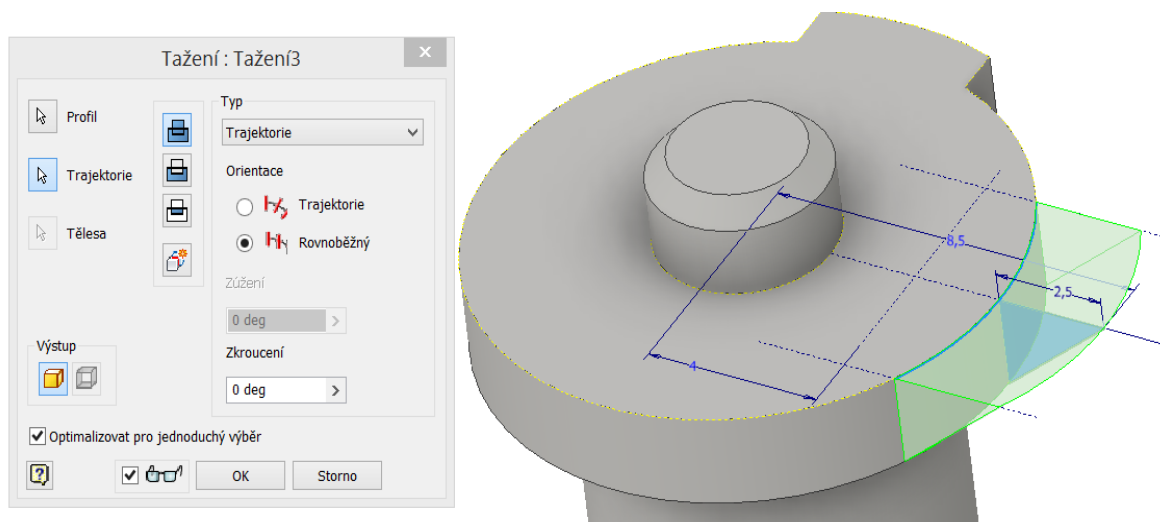
Obr. 2.12 „*Vysunutí*“ č.2 (vlevo) a „*Vysunutí*“ č.3 (vpravo).

Dále byl vymodelován výstupek, určený pro doraz pružiny. Na obr. 2.13 lze vidět, ze které strany byl zhotoven 2D náčrt, který byl vytvořen pomocí kružnic, které byly v konstrukčním formátu. Na geometrii byl použit příkaz „*Vysunutí*“ s vyplněnou vzdáleností 5 mm.



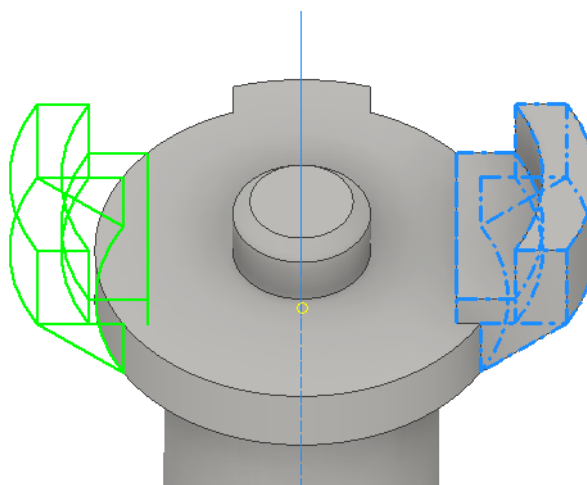
Obr. 2.13 Vytvoření dorazu pružiny.

V dalším kroku bylo potřeba vytvořit základ pro upínací část, díky kterým byl držák pružiny umístěn v těle pistole. Tento základ musel být upraven, pro jednodušší a kvalitnější odlévání do silikonové formy. Pro vytvoření základu bylo potřebné vytvořit 2 náčrt. První náčrt byl pravoúhlý trojúhelník, vytvořený v pracovní rovině XZ. Druhý náčrt obsahoval oblouk vytvořený v rovině XY. Příkazem „*Tažení*“, kdy byl jako profil vybrán první náčrt a druhý náčrt byl vybrán jako trajektorie, byl zhotoven 3D profil. Nastavení příkazu lze vidět na obr. 2.14.



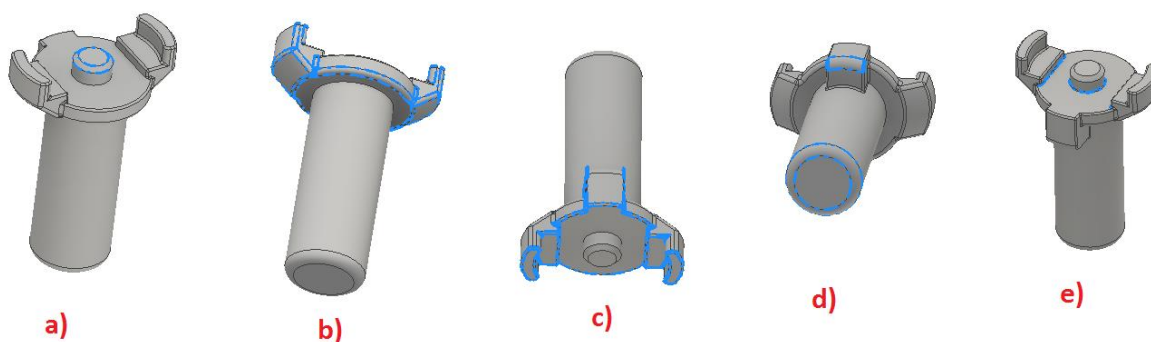
Obr. 2.14 „*Tažení*“ základu pro upínací část.

Následovalo vytvoření upínací části. V rovině XY, byla vytvořena 2D geometrie na základu součásti. Na náčrt byl použit příkaz „*Vysunutí*“, kde hranice byla nastavena na 3 mm. Ve stejné rovině byla vytvořena další 2D geometrie, která byla vysunuta příkazem „*Vysunutí*“ o 1 mm. Vytvoření druhé upínací části se dosáhlo příkazem „*Zrcadlení*“. V tomto příkazu byly vybrány všechny prvky, tvořící upínadlo a rovina YZ. Tento postup lze vidět na obr. 2.15.

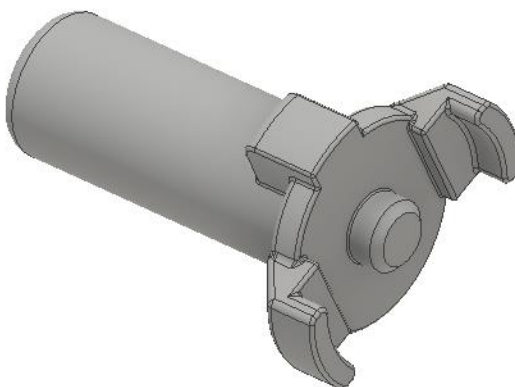


Obr. 2.15 Vytvoření upínacích částí držáku.

Základní těleso součásti bylo v tomto případě hotovo, ale bylo potřeba udělat úpravy pro pozdější vytvoření silikonové formy. Pro lepší odlévání bylo potřeba všechny hrany zaoblit nebo zkosit. Na kruhový výstupek o průměru 4 mm byl použit příkaz „Zkosení“ o vzdálenosti 0,5 mm. Na ostatní hrany součásti byl použit příkaz „Zaoblení“. Hodnoty zaoblení hran byly rozdílné a pohybovaly se od 0,1 mm do 1 mm. Které hrany byly zaobleny, jakou hodnotou lze vidět na obr. 2.16. Po této operaci byl držák pružiny kompletně dokončen a výslednou podobu lze vidět na obr. 2.17.



Obr. 2.16 Zaoblení a zkosení součásti a) zkosení 0,5 mm, b) zaoblení 0,5 mm, c) zaoblení 0,2 mm, d) zaoblení 1 mm, e) zaoblení 0,1 mm.



Obr. 2.17 Výsledná podoba modelu držáku pružiny.

### 3 VÝROBA REÁLNÉ SOUČÁSTI

V této kapitole budou představeny technologie, podle nichž byly zhotoveny vybrané součásti. Model součásti držák pružiny byl vyroben metodou FDM. Následně byla podle vytištěného modelu vyrobena silikonová forma, která bude sloužit pro další výrobu odlitků z plastu. Kohout byl vyroben pouze metodou FDM z důvodu složitosti dílu a tenkých stěn, kvůli kterým by výroba odléváním do silikonové formy byla velmi složitá.

#### 3.1 Reverzní inženýrství

Na rozdíl od klasického procesu, kdy se finální produkt vytváří na základě virtuálního CAD modelu, je u reverzního inženýrství postup opačný. Na začátku procesu se nachází fyzický model, který slouží jako podklad pro výrobu virtuálního modelu použitelného v CAD systémech. U reverzního inženýrství se naskenovaná polygonální data převedou na plochy nebo na objemová data. Výhoda této technologie spočívá v ušetřeném čase při srovnání s klasickými postupy měření. Čím je součást složitější, tím stoupá výhodnost použití této technologie [8,9].

Nejefektivnější způsob, jak získat virtuální model, se nazývá 3D digitalizace. Zařízení potřebné k tomuto procesu mohou být 3D měřicí zařízení, digitizér nebo 3D skener. Data získaná z virtuálního CAD modelu mohou sloužit k odstranění vad, problémů, analýzám, cíleným zkouškám, optimalizacím či dalším potřebným účelům. Tato data dále mohou sloužit k zdokonalení vývoje výrobku a jeho výroby [8, 9].

#### 3.2 Rapid prototyping

Pojem rapid prototyping (RP) lze do češtiny přeložit jako rychlé zhotovení prototypu. Jedná se o poměrně novou technologii, která si získává stále větší oblibu a rozvíjí se. Tato metoda se řadí mezi aditivní technologie obrábění a její princip spočívá v opětovném vrstvení materiálu [9]. Zhotovení prototypu metodou RP je rychlý a zároveň kvalitní způsob zhotovení fyzické podoby modelu. Technologie RP má za úkol urychlit proces od vývoje, přípravy výroby po výrobu. Výroba je založena na použití virtuálně vytvořeného modelu, a proto nejsou zapotřebí žádné formy, zápustky, lisovací nebo řezací nástroje [10].

Při tvorbě fyzického modelu technologií RP může jako zdroj dat sloužit skutečná součást. Pomocí některé z metod reverzního inženýrství se získá mrak bodů, který je následně převeden na trojúhelníkovou síť polygonů a vyhlazen. Dalším zdrojem je virtuální CAD model, který musí mít uzavřené virtuální povrchy. Takový model je následně převeden na nejčastěji používaný formát \*.stl, který je vstupním souborem pro 3D tiskárny [9].

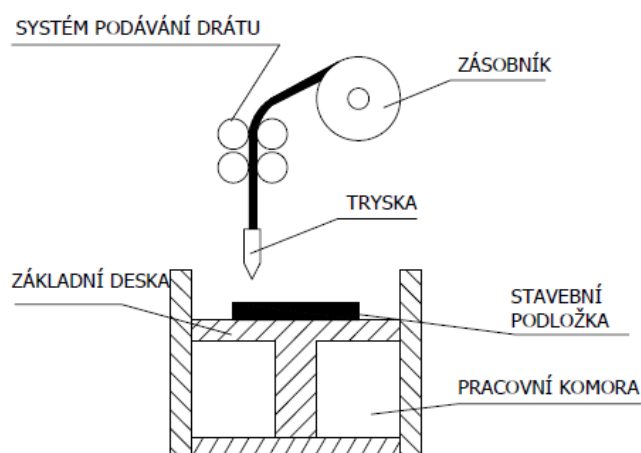
Jednotlivé metody RP se liší dle typu využívaného materiálu a způsobu jeho nanášení. Jako jedna z nejstarších metod RP se označuje Stereolitografie (SLA). Dle složitosti modelu je vypočítána dráha laseru, který se pohybuje nad hladinou nádoby naplněné tekutým fotopolymerem, citlivým na UV záření. Osvícená vrstva se po dokončení ponoří do kapaliny, kde dochází k postupnému vytvrzování. Mezi hlavní výhody metody SLA patří její přesnost, která se pohybuje od 0,05 až 0,2 mm na 100 mm délky materiálu. Na velmi podobném principu funguje i metoda Solid Ground Cutting (SGC). Rozdílem je, že vrstva je vytvořena celá na jedno osvětlení. Mezi jeho výhody patří minimální smrštění vytvořeného modelu [9, 10].

Další skupina metod RP používá pro výrobu modelu materiál ve formě prášku. U metody Selective Laser Sintering (SLS) jsou vrstvy prášku postupně natavovány, nejčastěji nasvícením CO<sub>2</sub> laserem. Neosvícený prášek slouží jako podpora a po dokončení výroby modelu je odstraněn. Hlavní výhodou metody SLS je pevnost vyrobených modelů. Na stejném principu funguje metoda Direct Metal Laser Sintering (DMLS), ale modely vytváří tavením z jemného kovového prášku [9].

Poslední skupina metod využívá při tvorbě modelu materiál v tuhém stavu. V Metodě Laminated Object Manufacturing (LOM) se používají pro tvorbu prototypu fólie, které mají díky nátěru jednu stranu přílnou. Jednotlivé fólie se na sebe postupně vrství a pomocí systému vyhřívaných válců jsou na sebe fólie přilepeny. Potřebný obrys modelu je vyřezán pomocí laseru. Model je položený na nosné desce, která se sníží o tloušťku fólie po každém výřezu. Mezi výhody patří univerzální použití materiálu, který je ve formě fólie, dále také přesnost metody a ekologičnost. Metodou Multi Jet Modeling (MJM) se pro výrobu prototypu používá speciální tisková hlava, která tryskami postupně nanáší vrstvy termopolymeru. Každá tryska má nastaveno kolik materiálu má nanést. Výhodou této metody je jednoduchá konstrukce, nízká časová náročnost a ekonomičnost metody. Metoda Fused Deposition Modeling (FDM) je popsána podrobněji v kapitole 3.3 [9, 10].

### 3.3 Metoda Fused Deposition Modeling

Metoda FDM využívá základního principu RP a to postupného nanášení vrstev materiálu. Na cívice je navinut drát z termoplastického materiálu, který je do trysek posouván systémem podávání drátu, složeného z kladek. Materiál je umístěn do zařízení, určeného pro výrobu, ve 2 kazetách se stavebním a podporovým. Termoplastický drát je v tryskách ohříván 1 °C nad teplotou tavení a následně natavován na podložku. Vytlačený materiál tuhne po dotyku s deskou nebo již vytvořenou součástí a také z důvodu ochlazení vzduchem v okolí. Princip zobrazen na obr. 3.1. Při výrobě součásti je potřeba vytvoření podpor, tak aby součást byla stále ve styku s podložkou. Podpory lze po ukončení výroby odstranit fyzickým nebo chemickým způsobem. Jako materiál lze použít plasty ABS a ABSplus, polykarbonát, elastomer nebo vosk [9, 10].



Obr. 3.1 Princip FDM [10].

Technologii FDM vynalezli zakladatelé společnosti Stratasys, Lisa a Scott Crumpovi v roce 1988. Scott Crump tuto technologii vynalezl, aby vyrobil hračku pro svou dceru. Pro výrobu použil tavicí pistoli a směs polyethylenu s voskem. V roce 1989 si Crump nechal patentovat FDM technologii a založil společnost Stratasys, která vytvořila software pro převod \*.stl souborů do jiného formátu, který 3D model rozdělí na části a určí, jak budou vrstvy součásti vytisknuty [11].

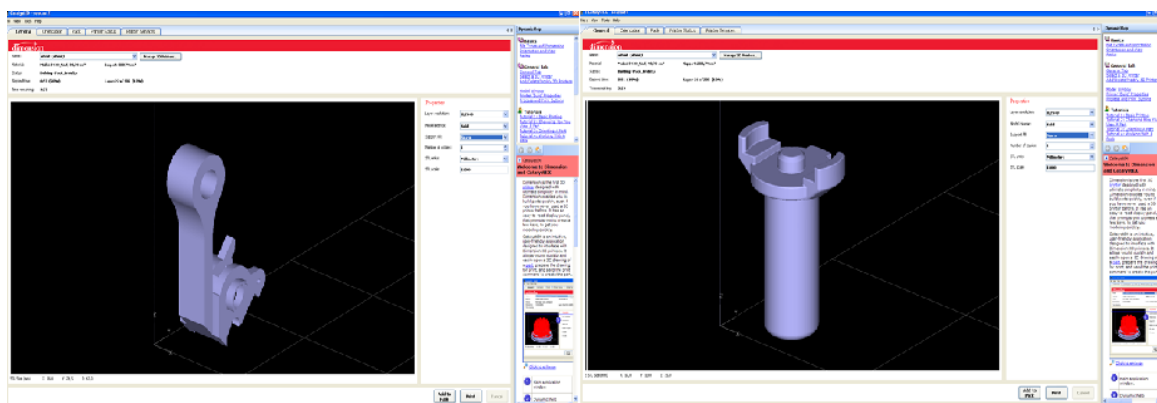
Výrobky vytvořené metodou FDM mají vysokou kvalitu a vlastnostmi jsou, při výrobě prototypu, velmi podobné finálním výrobkům. Během procesu výroby je možné kazety určené pro tisk, po jejich vypotřebování, vyměnit. Výroba metodou FDM nemá, až na vzniklé podpory, skoro žádný odpad. Přesnost výroby je omezena průměrem trysky, kterou se materiál na desku nanáší a tvarem materiálu. Při chladnutí může dojít ke smrštění materiálu, tento jev lze zmírnit pomocí nastavení v programu CatalystEX. V tomto programu lze nastavit různé možnosti tisku jako uložení součásti, tloušťka vrstev, měřítko tisku atd. Celý proces výroby nelze nějak urychlit [9].

### 3.4 Nastavení FDM tisku

Před zahájením tvorby součásti metodou FDM, bylo potřeba převést soubor \*.ipt na \*.stl, tedy na soubor podporovaný programem CatalystEX. Převod formátů bylo provedeno v programu Autodesk Inventor 2016. Při nastavení vlastností formátu \*.stl, bylo potřeba dát pozor na volbu jednotek, které musely být nastaveny na milimetry. Pro co nejmenší odchylku při exportu modelu, bylo zvoleno vysoké rozlišení. V dialogovém okně nastavení byl také zvolen binární formát. Po takto nastaveném exportu do formátu \*.stl, byly soubory připravené pro importování do programu CatalystEX.

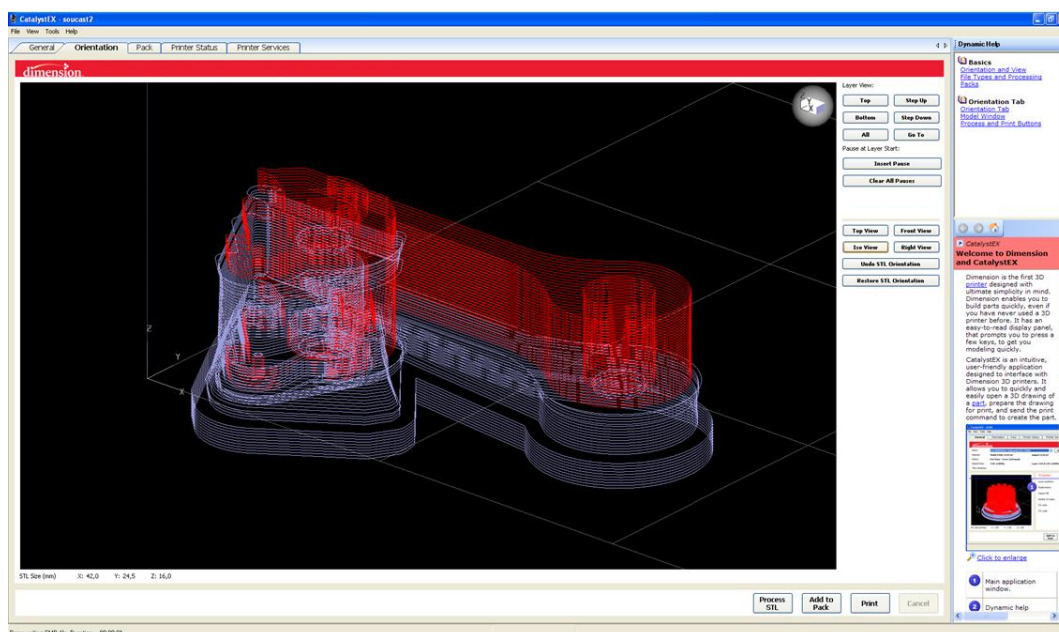
Veškeré nastavení tisku 3D modelu se provádí v programu CatalystEX. Tento program od firmy Stratasys je určen pro 3D tiskárny Dimension. Umožňuje lehce a rychle otevřít 3D model, připravit jej a poslat příkaz k samotnému tisku [12]. V aplikaci lze nastavit polohu modelu na desce, vlastnosti modelu, měřítko tisku modelu nebo tloušťku nanášených vrstev materiálu. Při správném nastavení v programu lze zvýšit kvalitu hotového modelu [9].

Po otevření programu CatalystEX byly naimportovány 3D modely kohoutu i držáku pružiny, ve formátu \*.stl (obr. 3.2). V atributech tisku byla nastavena tloušťka nanášené vrstvy, která byla nastavena na 0,254 mm. Tuto hodnotu dovoluje používaná 3D tiskárna Dimension uPrint [13]. Při nastavování výplně modelu by zvolena možnost pevného materiálu. Podpory zajišťují ustavení modelu na podložce a jejich hustota byla nastavena na řídkou. V programu byla nastavena poloha jednotlivých součástí na desce, tak aby spotřeba podpurného materiálu byla co nejnižší.

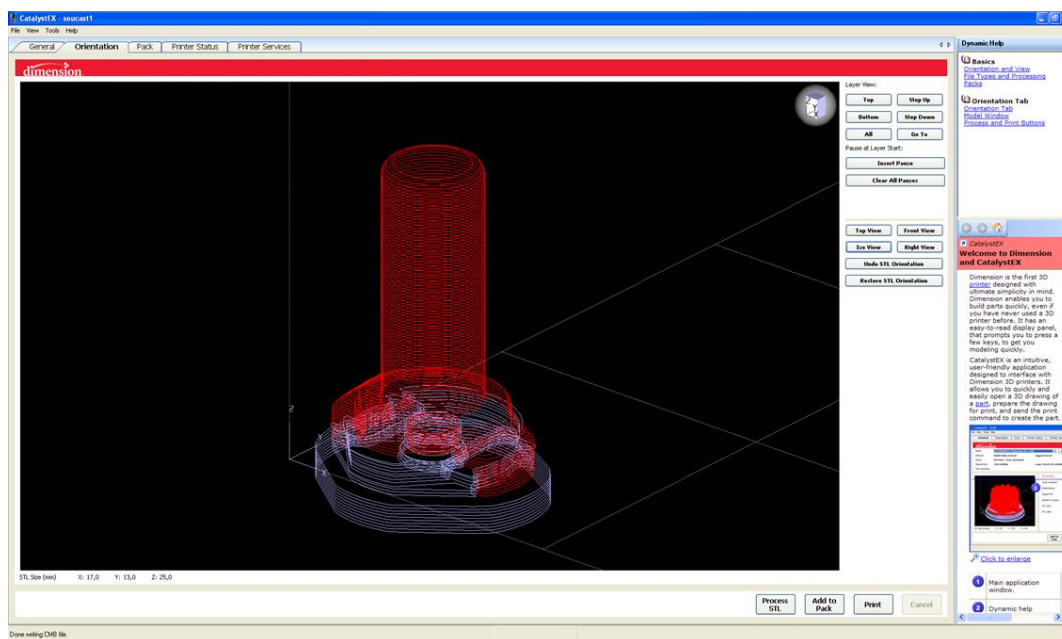


Obr. 3.2 Importované součásti do programu CatalystEX.

Na obr. 3.3 a obr. 3.4 lze vidět umístění jednotlivých modelů na stavební podložce. Červenou barvou je zobrazen stavební materiál a barvou bílou materiál podpůrný. Pro lepší orientaci při prohlížení umístění součásti a rozložení podpůrného materiálu lze v programu měnit pohledy na součást. Mezi možné pohledy natočení patří pohled z vrchu, zepředu, zprava a izometrický pohled.

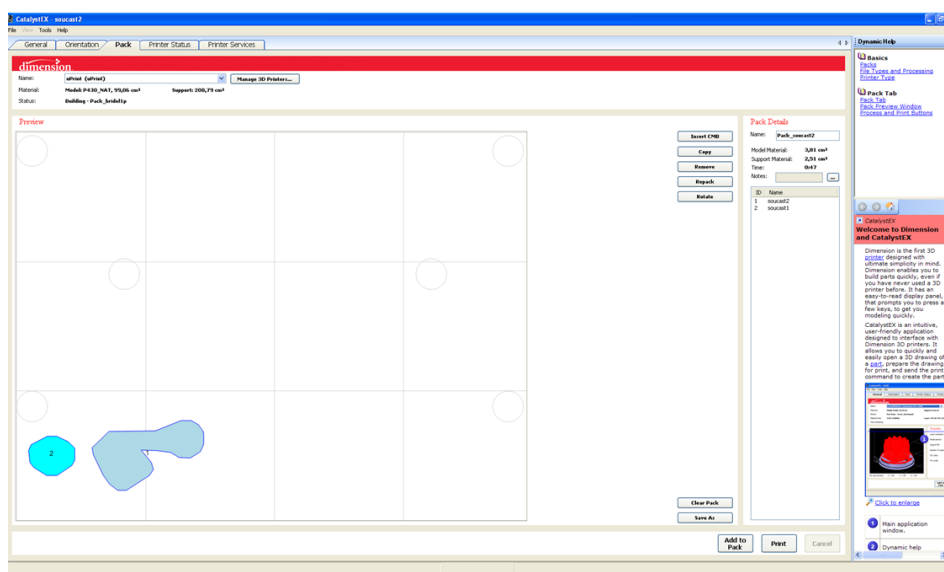


Obr. 3.3 Upravená poloha kohoutu a zobrazení stavebního a podpůrného materiálu.



Obr. 3.4 Upravená poloha držáku pružiny a zobrazení stavebního a podpůrného materiálu.

Poslední nastavením v programu CatalystEX bylo umístění součástí na stavební podložce. Kohout i držák pružiny byly programem umístěny na střed desky. Obě součásti byly umístěny vedle sebe na okraj podložky (obr. 3.5). Zde je již vidět upravené uspořádání součástí, vzhledem k tomu, že původní postavení kohoutu vedlo při odstranění podpor k deformaci. Pomocí programu byla vypočítána spotřeba materiálu součástí, materiálu na podpory a čas tisku. Tyto hodnoty jsou uvedeny v tab. 3.1. Tímto krokem byly součásti připraveny k tisku a program odeslal do 3D tiskárny uPrint příkaz k tisku.



Obr. 3.5 Poloha součástí na stavební podložce.

Tab. 3.1 Přehled spotřebovaného materiálu a času výroby.

Název součásti	Spotřeba materiálu na model [cm <sup>3</sup> ]	Spotřeba materiálu na podpory [cm <sup>3</sup> ]	Čas tisku [min]
Držák pružiny	1,45	0,49	14
Kohout	2,36	2,02	32
Σ	3,81	2,51	47

### 3.5 Výroba součástí metodou FDM

Výroba součástí probíhala na 3D tiskárně Dimension uPrint. Každý typ této tiskárny obsahuje samotnou tiskárnu a dvoudílný zásobník, do kterého jsou vkládány cívky se stavebním a podpurným materiálem. Při využití dvou zásobníkových komor je možné tisknout nepřetržitě. Dále jsou součástí tiskárny recyklovatelné stavební podložky, které se po dokončení tisku vyjmou a vytištěné modely se z ní odstraní. Modelovací prostor má rozměry 203 x 152 x 152 mm. 3D tiskárny Dimension uPrint jsou schopné pracovat v kancelářských podmínkách, modely jsou netoxické a obsluha tisku je jednoduchá. Používaným materiálem je ABSplus plast [13].

Plasty ABSplus jsou až o 40 % pevnější než standardní ABS plasty. Modely vytvořené z plasty ABSplus mají dobré mechanické vlastnosti, jsou hladší a jsou schopné vytvořit detailnější modely. Podpory lze od materiálu oddělit manuálně. Mechanické vlastnosti jsou uvedeny v příloze 1 [14, 15].

Po dokončení výroby součástí, se stavební podložka vyjmula ze 3D tiskárny. Na obr. 3.6 lze vidět původní postavení součástí na podložce, které vedlo k deformaci kohoutu. Po odloupení součástí z podložky bylo potřeba odstranit od součástí podpory. Mechanické odstranění podpor není velmi efektivní, a proto byla pro odstranění podpor použita ultrazvuková čistička (obr. 3.7).



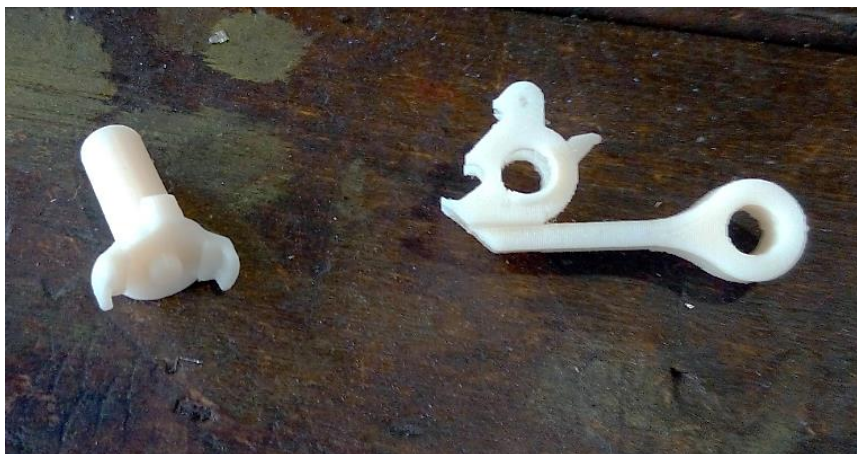
Obr. 3.6 Vytištěné součásti na stavební podložce.



Obr. 3.7 Ultrazvuková čistička.

Ultrazvuková čistička obsahuje čisticí vanu, ultrazvukový generátor a ultrazvukový měnič. Generátor dodává energii do měniče, který mění vysokofrekvenční energii na akusticko-mechanické vlny. Přeměna na tepelnou energii je způsobena pracovní kapalinou a čištěnými díly, které absorbují ultrazvukovou energii. Změnou teploty mezi čištěným dílem, a podporou dochází k částečnému oddělení. Konečné oddělení podpory od součásti je způsobeno kavitací, kdy bubliny vytvořené v kapalině explodují, a uvolněná energie odstraňuje materiál podpory. Proces lze ovlivnit výkonem generátoru, teplotou kapaliny, kmitočtem ultrazvuku. Důležitým prvkem pro ovlivnění procesu je také objem čisticí vany, která musí být taková, aby bylo těleso ponořené [16, 17].

Po vyjmutí z čističky byly součásti připravené a lze je vidět na obr. 3.8. Kohout byl po tomto procesu hotový. Z důvodu menších nepřesností bylo potřeba některé části dílu obrousit, tak aby zapadal do airsoftové pistole.



Obr. 3.8 Součásti očištěné od podpůrného materiálu.

### 3.6 Výroba silikonové formy

Před výrobou silikonové formy pro držák pružiny, bylo nejdříve potřeba vyhladit povrch součásti, protože na vytištěné součásti bylo možné znatelně rozpoznat nanášené vrstvy, způsobené FDM tiskem. Pro vyhlazení povrchu byla součást nastříkána nitroakrylem FILLER od firmy Prisma Color, ze vzdálenosti cca 30 cm. Nanesený tmelící prostředek se na součásti nechal zaschnout (obr. 3.9). Tento proces se pro lepší rozložení tmelu na celé součásti opakoval celkem dvakrát. Po kompletním zaschnutí, se součást začala brousit pomocí pilníků a brusných papírů P280 a P600, které jsou určeny na broušení namočených určených pro mokré broušení. Výsledkem byl hotový model, který sloužil pro výrobu silikonové formy.



Obr. 3.9 Součást nastříkaná sprejem s tmelícím účinkem.

Pro výrobu samotné silikonové formy, bylo potřeba vytvořit skleněnou konstrukci pro odlitek v podobě silikonové formy. Na skleněnou desku byly přilepeny, pomocí tavné lepicí pistole, podlouhlá sklíčka obdélníkového tvaru. Výsledný tvar skleněné konstrukce odpovídal tomu, aby se součást bezpečně vlezla do formy a měla minimálně 1 cm místa od kraje.

Na součásti byla určena dělicí rovina, podle které byla silikonová forma rozdělena na 2 části. Pro výrobu první části formy byla spodní část skleněné konstrukce natěsněno zaplněna plastickou hmotou, do které byl držák pružiny zaformován do úrovně dělicí roviny. Z plastické hmoty byla vytvořena vtoková soustava, která byla připevněna na součást. Pro lepší oddělitelnost formy ze skleněné konstrukce byla takto připravená forma natřena separátorem T1-1 od společnosti Ebalta (obr. 3.10).



Obr. 3.10 Skleněná konstrukce připravená pro odlití první části formy.

V dalším kroku byl namíchán silikon Silastic T-4 s tvrdidlem T-4 O v poměru 10:1. Mechanické vlastnosti použitého silikonového kaučuku jsou uvedeny v příloze 3. Pro namíchání potřebného množství silikonové směsi byly změřeny rozměry skleněné konstrukce, a podle nich byl odhadnut potřebný objem. Odměřené hodnoty jsou zaznamenány v kapitole 4. Po smíchání obou složek, byl kelímek se směsí vložen do vakuovacího lícího zařízení MK Mini, z důvodu odstranění bublin ze směsi. Při průběhu vakuování se bubliny zvětšovaly a následně praskaly. Po odstranění bublin v silikonové směsi byla do skleněné konstrukce odlita první část formy (obr. 3.11). Pro vytvrzení silikonové směsi bylo potřeba počkat cca 12 hodin [18].



Obr. 3.11 Odlitá první část silikonové formy.

Po vytvrzení silikonové formy se první část silikonové formy odstranila ze skleněné konstrukce. Po odstranění plastické hmoty se část formy i se součástí vrátila zpátky do konstrukce, a následně se opakoval postup odlévání jako při výrobě první části formy. V dalším kroku byly obě části formy k sobě připevněny pomocí ruční sponkovačky (obr. 3.12).



Obr. 3.12 Kompletní silikonová forma.

### 3.7 Odlévání do silikonové formy

Pro odlévání součástí v silikonové formě byla použita pryskyřice SG 2000 A a tužidlo SG 2000 B. Vlastnosti tohoto materiálu jsou uvedeny v příloze 2. Pro zjištění množství potřebného materiálu, byla použita přenosná digitální váha, na které byl držák pružiny zvážen. Následně byl na váhu postaven kelímek, do kterého byla namíchána směs pryskyřice

a tužidla, podle váhy součásti, v poměru 1:1. Všechny hodnoty jsou uvedené v kapitole 4. Směs složek A i B byla odlita do formy pomocí vtokového otvoru. Vzhledem k malým rozměrům součásti směs ztuhla velice rychle a tak bylo možné po 10 minutách formu rozdělat a zkontrolovat součást. Při prvním i druhém pokusu směs nezatekla úplně do celé formy a výsledná součást tak nebyla vhodná k použití (obr. 3.13). K odlévání součásti byla použita směs staršího data výroby a to mohlo mít vliv na zabíhavost plastu.



Obr. 3.13 Nepovedený odlitek.

Pro třetí pokus odlití byla použita směs pryskyřice a tužidla novějšího data výroby. Pro jistotu byla forma i lépe provzdušněna, tak aby plast mohl lépe zatékat. Toho se docílilo propíchnutím spodní části formy pomocí jehly. Odlití už proběhlo v pořádku, směs zatekla do celé formy a součást byla připravená pro finální úpravy.

### 3.8 Konečná úprava součásti

Na vyrobených součástech se nacházely vtokové soustavy, které bylo potřeba odstranit. Učinilo se tak pomocí elektrické brusky. Další nepřesnosti součásti vznikly v oblasti dělicí roviny, kdy malé množství zateklo mezi částí silikonové formy. Tyto nepřesnosti byly odstraněny brusným papírem. Odlitky vhodné k použití lze vidět na obr. 3.14.



Obr. 3.14 Odlitky vhodné k použití.

Většina komponent v airsoftové pistoli H&K USP Tokyo Marui má černou barvu. Proto bylo vhodné, aby stejnou barvu měly i vyrobené součásti. Z tohoto důvodu byly součásti nastříkány černým barvicím sprejem. Součásti tak byly připraveny k použití (obr. 3.15).



Obr. 3.15 Hotový nabarvený držák pružiny

## 4 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

V této kapitole jsou spočítány a zhodnoceny náklady na výrobu součástí. V případě kohoutu jsou spočítány náklady při výrobě metodou FDM. U držáku pružiny bude porovnávána výroba metodou FDM s odléváním v silikonové formě.

### 4.1 Náklady na výrobu metodou FDM

Při počítání nákladů na výrobu metodou FDM je potřeba počítat pouze se spotřebovaným materiálem na výrobu součásti a podpurným materiálem. Vzhledem k tomu, že cena obou druhů materiálu je dána na 14,40 Kč za  $\text{cm}^3$ , je možné počítat pouze s touto hodnotou. Celkový spotřebovaný materiál pro výrobu kohoutu i držáku pružiny je uveden v tab. 3.1. Výpočet nákladů pro výrobu součástí je dán vztahem (4.1). Celkové náklady pro výrobu obou součástí metodou FDM je dán vztahem (4.2).

$$N_S = (V_S + V_P) \cdot N_M \quad (4.1)$$

Kde:

$N_S$  ... Celková cena pro výrobu součásti metodou FDM [Kč],

$N_M$  ... Cena za podpurný a stavební materiál [Kč],

$V_S$  ... Objem stavebního materiálu [ $\text{cm}^3$ ],

$V_P$  ... Objem použitých podpor [ $\text{cm}^3$ ].

Náklady pro výrobu kohoutu metodou FDM:

$$N_{S1} = (2,36 + 2,02) \cdot 14,4 = 63,07 \text{ Kč}$$

Kde:

$N_{S1}$  ... Celková cena pro výrobu kohoutu metodou FDM [Kč].

Náklady pro výrobu držáku součástí metodou FDM:

$$N_{S2} = (1,45 + 0,49) \cdot 14,4 = 29,94 \text{ Kč}$$

Kde:

$N_{S2}$  ... Celková cena pro výrobu držáku pružiny metodou FDM [Kč].

Celkové náklady výroby součástí metodou FDM:

$$N_{FDM} = N_{S1} + N_{S2} \quad (4.2)$$

Kde:

$N_{FDM}$  ... Náklady výroby součásti metodou FDM [Kč].

$$N_{FDM} = 63,07 + 29,94 = 93,01 \text{ Kč}$$

#### 4.2 Náklady na výrobu odléváním do silikonové formy

Při výrobě držáku pružiny metodou odlévání do silikonové formy je potřeba do nákladů zahrnout náklady na výrobu součásti metodou FDM, úpravu modelu, výrobu silikonové formy a materiál na odlití součástí. Náklady na výrobu držáku jsou vypočítány v kapitole 4.1 a jsou již známé.

Dalším faktorem jsou náklady na úpravu povrchu vytisknutého modelu, do kterých je započítáno použití spreje s tmelícím účinkem a brusné papíry. Bylo odhadnuto, že sprej FILLER od firmy Prisma Color vystačí na pokrytí 300 ks součástí. Využitelnost použitých brusných papírů P280 a P600 byla odhadnuta na 10 % z každého kusu. Zakoupeny byly archy o rozměru 230 x 280 mm. Náklady byly vypočítány dle vztahu (4.3).

$$N_{PÚ} = \frac{1}{300} \cdot N_{FILLER} + 0,1 \cdot N_{P280} + 0,1 \cdot N_{P600} \quad (4.3)$$

Kde:

$N_{PÚ}$  ... Celkové náklady na povrchovou úpravu [Kč],

$N_{FILLER}$  ... cena spreje FILLER [Kč] ( $N_{FILLER} = 129$  Kč),

$N_{P280}$  ... cena za brusný papír P280 [Kč] ( $N_{P280} = 9$  Kč),

$N_{P600}$  ... cena za brusný papír P600 [Kč] ( $N_{P600} = 9$  Kč).

$$N_{PÚ} = \frac{1}{300} \cdot 129 + 0,1 \cdot 9 + 0,1 \cdot 9 = 2,23 \text{ Kč}$$

Do výpočtu nákladů pro výrobu silikonové formy je zahrnut použitý silikon Silastic T-4 s tužidlem T-4 O, kdy směs byla namíchána v poměru 10:1. Silikon byl zakoupen v balení o hmotnosti 5 kg a tužidlo v balení o hmotnosti 0,5 kg. Náklady pro silikonovou formu byly vypočteny dle vztahu (4.4).

$$N_{SF} = m_{SF} \cdot N_{Silikon} \quad (4.4)$$

Kde:

$N_{SF}$  ... Celkové náklady pro výrobu silikonové formy [Kč],

$N_{Silikon}$  ... cena za 1 g silikonové směsi [Kč] ( $N_{Silikon} = 0,828$  Kč),

$m_{SF}$  ... hmotnost silikonové formy [mg] ( $m_{SF} = 80$  g).

$$N_{SF} = 80 \cdot 0,828 = 66,24 \text{ Kč}$$

Posledním faktorem jsou náklady na odlití součásti. Materiál, který byl zvolen pro výrobu odlitků, je směs pryskyřice SG2000 komp. A a tužidla SG2000 komp. B v poměru 1:1. Nádobka složky A i B měla hmotnost 1 kg. Výpočet nákladů pro odlití je dán vztahem (4.5).

$$N_O = m_{S2} \cdot N_{A+B} \quad (4.5)$$

Kde:

$N_O$  ... Celkové náklady pro odlití součásti [Kč],

$N_{A+B}$  ... cena za 1 g směsi pryskyřice A a tužidla B [Kč] ( $N_{A+B} = 0,24 \text{ Kč}$ ),

$m_{S1}$  ... hmotnost držáku pružiny [mg] ( $m_{SF} = 2 \text{ g}$ ).

$$N_O = 2 \cdot 0,24 = 0,48 \text{ Kč}$$

Celkové náklady pro výrobu odlitku součásti v silikonové formě jsou dány vztahem (4.6).

$$N_{OSF} = N_{S2} + N_{PÚ} + N_{SF} + N_O \quad (4.6)$$

Kde:

$N_{OSF}$  ... Náklady pro výrobu odlitku v silikonové formě [Kč].

Celkové náklady pro výrobu silikonové formy:

$$N_{OSF} = 29,94 + 2,23 + 66,24 + 0,48 = 98,89 \text{ Kč}$$

### 4.3 Porovnání způsobů výroby držáku pružiny

Při výrobě více kusů metodou FDM je cena přímo úměrná počtu vyrobených kusů. Pro výrobu více kusů odlitím do silikonové formy, je potřeba počítat se životností silikonové formy. Vzhledem k méně složitějšímu tvaru součásti a jednoduchému vyjmutí z formy, byla životnost formy odhadnuta na 100 ks a proto je, při porovnání obou metod, počítáno s tímto počtem. Při výrobě metodou FDM se bude postupovat dle vztahu (4.7) a pro výrobu odléváním dle vztahu (4.8).

Náklady na výrobu 100 ks součástí metodou FDM:

$$N_{Cel1} = N_{S2} \cdot n \quad (4.7)$$

Kde:

$N_{Cel1}$  ... Náklady pro výrobu více součástí metodou FDM [Kč],

$n$  ... počet kusů [-] ( $n=100$  ks).

$$N_{Cel1} = 29,94 \cdot 100 = 2994 \text{ Kč}$$

Náklady na výrobu 100 ks součástí odléváním do silikonové formy:

$$N_{Cel2} = N_{S2} + N_{PÚ} + N_{SF} + n \cdot N_O \quad (4.8)$$

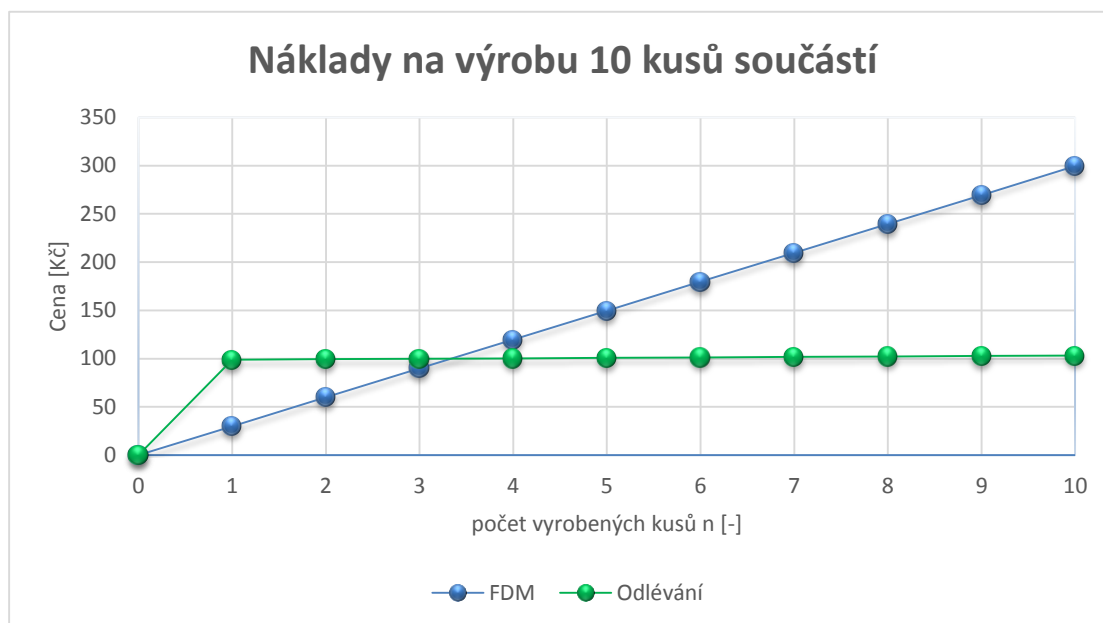
Kde:

$N_{Cel2}$  ... Náklady pro výrobu více součástí odléváním [Kč].

$$N_{Cel2} = 29,94 + 2,23 + 66,24 + 100 \cdot 0,48 = 146,41 \text{ Kč}$$

Tab. 4.1 Náklady na výrobu 10 ks součástí

Počet kusů $n$ [-]	Náklady na výrobu metodou FDM [Kč]	Náklady na výrobu odléváním [Kč]
1	29,94	98,89
2	59,88	99,37
3	29,95	99,85
4	59,89	100,33
5	29,96	100,81
6	59,90	101,29
7	29,97	101,77
8	59,91	102,25
9	29,98	102,73
10	59,92	103,21



Obr. 4.1 Grafická závislost ceny výroby na počtu vyrobených kusů.

Z výpočtů lze vidět, že při výrobě většího počtu kusů je výhodnější zvolit výrobu odléváním do silikonové formy. Závislost ceny na počtu vyrobených kusů je znázorněna v grafu na obr. 4.1, který je vytvořen pro prvních 10 vyrobených kusů, z důvodu lepšího přehledu o výhodnosti použití (tab. 4.1). Z grafu lze vidět, že při výrobě metodou FDM je závislost ceny na počtu vyrobených kusů lineární. V grafu je také patrné, že výroba odléváním do silikonové formy se stává výhodnější od výroby 4 kusů součástí.

## ZÁVĚR

Tato bakalářská práce byla zaměřena na výrobu náhradních dílů do manuální airsoftové pistole H&K USP od firmy Tokyo Marui za použití moderních technologií. Konkrétně se jednalo o součásti kohout a držák pružiny. V první části práce byl přiblížen pojem airsoft, jelikož se jedná o poměrně nové sportovní odvětví. Dále byly popsány vyráběné součásti a jejich funkce ve zbrani. Součástí teoretické části bylo také vysvětlení pojmu Reverzní inženýrství, Rapid Prototyping a Fused Deposition Modeling.

Součástí experimentální práce bylo vytvoření kompletního modelu airsoftové pistole v parametrickém programu Autodesk Inventor 2016. Pro vytvoření 3D modelů jednotlivých součástí byly použity prvky reverzního inženýrství. Dále byly v programu modely převedeny do formátu \*.stl, který je podporován vstupním programem 3D tiskárny Dimension uPrint, konkrétně programem CatalystEX. Po nastavení vlastností tisku v programu, byla ve 3D tiskárně zahájena výroba. Pro tisk kohoutu i držáku pružiny byla využita metoda FDM. Po dokončení výroby byl od součástí odstraněn podpůrný materiál pomocí ultrazvukové čističky.

Druhým způsobem výroby byla metoda odléváním směsi pryskyřice do silikonové formy. Pro výrobu formy byla použita součást vytvořená FDM metodou, jejíž povrch musel být upraven, pro odstranění nerovností po jednotlivých tištěných vrstvách. Silikonová forma se skládala ze dvou částí, které byly postupně odlité do vytvořené skleněné konstrukce. Jako materiál pro výrobu formy, byl zvolen silikon Silastic T-4, který byl namíchán s tužidlem T-4 O v poměru 10:1. Do vyrobené formy byl odlitý materiál, který byl namíchán ze dvou složek, a to pryskyřice SG 2000 A a tužidla SG 2000 B od společnosti Ebalta. Z vytvořené součásti byla odstraněna vtoková soustava a odbroušeny nepřesnosti v oblasti dělicí roviny.

V technicko-ekonomickém zhodnocení byly porovnány obě metody výroby držáku pružiny. Z grafické závislosti finančních nákladů na počtech kusů bylo zjištěno, že při výrobě do tří kusů součástí je výhodnější zvolit výrobu metodou FDM. Pro výrobu čtyř a více kusů držáků je vhodnější zvolit metodu odléváním směsi pryskyřice do silikonové formy. Vzhledem k jednoduchosti součástí a snadnému vytažení součásti z formy byla životnost silikonové formy odhadnuta na výrobu 100 ks součástí.

Z hlediska funkčnosti držáku pružiny je vhodné zvolit obě metody výroby. Z důvodu složitosti součásti byl kohout vytvořen pouze metodou FDM.

## SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. STREETDIRECTORY. *Airsoft Gun History* [online]. [vid. 2016-04-25]. Dostupné z: [http://www.streetdirectory.com/travel\\_guide/120271/technology/airsoft\\_gun\\_history.html](http://www.streetdirectory.com/travel_guide/120271/technology/airsoft_gun_history.html).
2. AIRSOFT.CZ. *Co je to airsoft* [online]. 2011 [vid. 2016-04-25]. Dostupné z: <http://airsoft.cz/co-je-to-airsoft/o-airsoftu>.
3. STREETDIRECTORY. *Airsoft Guns: Some Basic Safety Guidelines* [online]. [vid. 2016-04-27]. Dostupné z: [http://www.streetdirectory.com/travel\\_guide/39192/recreation\\_and\\_sports/airsoft\\_guns\\_some\\_basic\\_safety\\_guidelines.html](http://www.streetdirectory.com/travel_guide/39192/recreation_and_sports/airsoft_guns_some_basic_safety_guidelines.html).
4. TAC CITY AIRSOFT. *What is airsoft?* [online]. Fullerton, CA, 2010 [vid. 2016-04-28]. Dostupné z: [http://www.streetdirectory.com/travel\\_guide/39192/recreation\\_and\\_sports/airsoft\\_guns\\_some\\_basic\\_safety\\_guidelines.html](http://www.streetdirectory.com/travel_guide/39192/recreation_and_sports/airsoft_guns_some_basic_safety_guidelines.html).
5. MINISTERSTVO VNITRA ČESKÉ REPUBLIKY. *Zbraně podléhající zákonu o zbraních a podmínky jejich nabývání a držení* [online]. Praha, ČR [vid. 2016-04-30]. Dostupné z: <http://www.mvcr.cz/clanek/zbrane-podlehajici-zakonu-o-zbranich-a-podminky-jejich-nabyvani-a-drzeni.aspx?q=Y2hudW09Nw%3D%3D>.
6. ČESKÝ ÚŘAD PRO ZKOUŠENÍ ZBRANÍ A STŘELIVA. *Airsoftové zbraně - hračky nebo zbraně* [online]. Praha, ČR [vid. 2016-04-30]. Dostupné z: <http://www.cuzzs.cz/cs/airsoftove-zbrane/>.
7. AIRSPLAT. *General airsoft gun information and & definitions* [online]. Valencia, CA, 2014 [vid. 2016-04-30]. Dostupné z: <http://www.airsplat.com/airsoft-definition>.
8. ODDĚLENÍ REVERZNÍHO INŽENÝRSTVÍ A ABRAZIVNÍCH TECHNOLOGIÍ, VUT BRNO. *Reverse Engineering* [online]. Brno, ČR [vid. 2016-05-04]. Dostupné z: <http://3dlaboratory.cz/reverse-engineering/>.
9. PÍŠKA, Miroslav a kolektiv. *Speciální technologie obrábění*. 1. Vydání. Brno: Akademické nakladatelství CERM. 2009. 246 s. ISBN 978-80-214-4025-8.
10. ŘASA, Jaroslav, Přemysl POKORNÝ a Vladimír GABRIEL. *STROJÍRENSKÁ TECHNOLOGIE 3 - 2.díl*. 2001: Scientia, s.r.o, 2009. ISBN 80-7183-227-8.
11. WHITE CLOUD. *Fused Deposition Modeling (FDM)* [online]. Ogden, UT [vid. 2016-05-05]. Dostupné z: <https://www.whiteclouds.com/3dpedia-index/fused-deposition-modeling-fdm>.
12. INFORMER TECHNOLOGIES. Inc. *CatalystEX* [online]. 2015 [vid. 2016-05-15]. Dostupné z: <http://catalystex.software.informer.com>.
13. MCAE SYSTEMS. s.r.o. *uPrint SE 3D Print Pack* [online]. Kuřim, ČR [vid. 2016-05-15]. Dostupné z: <http://www.mcae.cz/novinka-uprint-se-3d-print-pack-132974650014>.
14. MATWEB. *Stratasys® ABSplus* [online]. [vid. 2016-05-15]. Dostupné z: <http://www.matweb.com/search/datasheettext.aspx?matguid=14193b776a7b4c1ca6d4ecf86497204b15>.
15. STRATASYS Ltd. *3D Printing With ABSplus* [online]. Eden Prairie, MN [vid. 2016-05-15]. Dostupné z: <http://www.stratasys.com/materials/fdm/absplus>.
16. JETONE ULTRASONIC CLEANER. *O ultrazvuku* [online]. Ledč nad Sázavou, ČR [vid. 2016-05-15]. Dostupné z: <http://www.ultrasonic-cleaner.cz/page/o-ultrazvuku/6>.

17. ULTRAZVUK s.r.o. *Ultrazvukové čističky Laboratory* [online]. Hradec Králové, ČR [vid. 2016-05-20]. Dostupné z: <http://www.ultrazvuk-sro.cz>.
18. KTK BLANSKO. s r.o., *Silastic T-4* [online]. Kotvrdovice, ČR [vid. 2016-05-21]. Dostupné z: <http://www.ebalta.cz/cz/katalog-produktu/silikony/silastic-t-4>.

## SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Symbol/Zkratka	Jednotka	Popis
$N_{A+B}$	[Kč]	Cena za 1 g směsi pryskyřice A a tužidla B
$N_{Cel1}$	[Kč]	Náklady pro výrobu více součástí metodou FDM
$N_{Cel2}$	[Kč]	Náklady pro výrobu více součástí odléváním
$N_{FDM}$	[Kč]	Náklady výroby součástí metodou FDM
$N_{FILLER}$	[Kč]	Cena spreje FILLER
$N_M$	[Kč]	Cena za podpurný a stavební materiál
$N_O$	[Kč]	Celkové náklady pro odlití součásti
$N_{OSF}$	[Kč]	Náklady pro výrobu odlitku v silikonové formě
$N_{P280}$	[Kč]	Cena za brusný papír P280
$N_{P600}$	[Kč]	Cena za brusný papír P600
$N_{PÚ}$	[Kč]	Celkové náklady na povrchovou úpravu
$N_S$	[Kč]	Celková cena pro výrobu součástí metodou FDM
$N_{S1}$	[Kč]	Celková cena pro výrobu kohoutu metodou FDM
$N_{S2}$	[Kč]	Celková cena pro výrobu držáku pružiny metodou FDM
$N_{SF}$	[Kč]	Celkové náklady pro výrobu silikonové formy
$N_{Silikon}$	[Kč]	Cena za 1 g silikonové směsi
$V_P$	[cm <sup>3</sup> ]	Objem podpurného materiálu
$V_S$	[cm <sup>3</sup> ]	Objem stavebního materiálu
$m_{S1}$	[g]	Hmotnost držáku pružiny
$m_{SF}$	[g]	Hmotnost silikonové formy
$n$	[-]	Počet kusů
<b>*.ipj</b>	[-]	Formát souboru sestavy v programu Autodesk Inventor

<b>*.ipt</b>	[-]	Formát souboru součásti v programu Autodesk Inventor
<b>*.stl</b>	[-]	Stereolithography
<b>2D</b>	[-]	Dvourozměrný
<b>3D</b>	[-]	Trojrozměrný
<b>ABS</b>	[-]	Akrylonitributadienstyren
<b>ABSplus</b>	[-]	Vylepšená verze Akrylonitributandienstyrenu
<b>AEG</b>	[-]	Automatic Electric Gun
<b>BB</b>	[-]	Ball Bearing
<b>CAD</b>	[-]	Computer Aided Design
<b>CO2</b>	[-]	Oxid uhličitý
<b>DMLS</b>	[-]	Direct Metal Laser Sintering
<b>FDM</b>	[-]	Fused Deposition Modeling
<b>LOM</b>	[-]	Laminated Object Manufacturing
<b>MJM</b>	[-]	Multi Jet Modeling
<b>RP</b>	[-]	Rapid Prototyping
<b>SLA</b>	[-]	Stereolitografie
<b>SGC</b>	[-]	Solid Ground Cutting
<b>SLS</b>	[-]	Selective Laser Sintering

**SEZNAM PŘÍLOH**

Příloha 1: ABSplus – P430

Příloha 2: SG 2000 / Komp. A + B

Příloha 3: Silastirilc T-4

# PŘÍLOHA 1



ABSplus™ is a true production-grade thermoplastic that is durable enough to perform virtually the same as production parts. When combined with Design Series 3D Printers, ABSplus is ideal for building 3D models and prototypes in an office environment.

MECHANICAL PROPERTIES	TEST METHOD	ENGLISH	METRIC
		XZ AXIS	XZ AXIS
Tensile Strength, Ultimate (Type 1, 0.125", 0.2"/min)	ASTM D638	4,700 psi	33 MPa
Tensile Strength, Yield (Type 1, 0.125", 0.2"/min)	ASTM D638	4,550 psi	31 MPa
Tensile Modulus (Type 1, 0.125", 0.2"/min)	ASTM D638	320,000 psi	2,200 MPa
Tensile Elongation at Break (Type 1, 0.125", 0.2"/min)	ASTM D638	6%	6%
Tensile Elongation at Yield (Type 1, 0.125", 0.2"/min)	ASTM D638	2%	2%
IZOD Impact, notched (Method A, 23°C)	ASTM D256	2.0 ft-lb/in	106 J/m

MECHANICAL PROPERTIES	TEST METHOD	ENGLISH		METRIC	
		XZ AXIS	ZX AXIS	XZ AXIS	ZX AXIS
Flexural Strength (Method 1, 0.05"/min)	ASTM D790	8,450 psi	5,050 psi	58 MPa	35 MPa
Flexural Modulus (Method 1, 0.05"/min)	ASTM D790	300,000 psi	240,000 psi	2,100 MPa	1,650 MPa
Flexural Strain at Break (Method 1, 0.05"/min)	ASTM D790	4%	4%	2%	2%

THEMAL PROPERTIES <sup>1</sup>	TEST METHOD	ENGLISH	METRIC
Heat Deflection (HDT) @ 66 psi	ASTM D648	204°F	96°C
Heat Deflection (HDT) @ 264 psi	ASTM D648	180°F	82°C
Glass Transition Temperature (Tg)	DSC (SSYS)	220°F	108°C
Melting Point	-----	Not Applicable <sup>2</sup>	Not Applicable <sup>2</sup>
Coefficient of Thermal Expansion	ASTM E831	4.90x10 <sup>-6</sup> in/in/°F	8.82x10 <sup>-6</sup> mm/mm/°C

STRATASYS.COM



THE 3D PRINTING SOLUTIONS COMPANY



# ABSplus-P430

## PRODUCTION-GRADE THERMOPLASTIC FOR DESIGN SERIES 3D PRINTERS



ELECTRICAL PROPERTIES <sup>4</sup>	TEST METHOD	VALUE RANGE
Volume Resistivity	ASTM D257	2.0x10 <sup>14</sup> - 5.0x10 <sup>14</sup> ohm-cm
Dielectric Constant	ASTM D150-06	2.3 - 2.85
Dissipation Factor	ASTM D150-06	0.0046 - 0.0053
Dielectric Strength	ASTM D149-09, Method A, XZ Orientation	130 V/mil
Dielectric Strength	ASTM D149-09, Method A, ZX Orientation	290 V/mil

OTHER <sup>5</sup>	TEST METHOD	VALUE
Specific Gravity	ASTM D792	1.04
Flame Classification	UL94	HB (0.09", 2.50mm)
UL File Number	-----	E345258
Rockwell Hardness	ASTM D785	109.5

SYSTEM AVAILABILITY	LAYER THICKNESS CAPABILITY	SUPPORT STRUCTURE	AVAILABLE COLORS
uPrint SE™	0.013 Inch (0.330 mm)	Soluble Supports	<input type="checkbox"/> Ivory <sup>6</sup> <input type="checkbox"/> White <input type="checkbox"/> Black <input type="checkbox"/> Dark Gray <input type="checkbox"/> Red <input type="checkbox"/> Blue <input type="checkbox"/> Olive Green <input type="checkbox"/> Nectarine <input type="checkbox"/> Fluorescent Yellow
uPrint SE Plus™	0.010 Inch (0.254 mm)	Breakaway Supports	
Dimension Elite™	0.007 Inch (0.178 mm) <sup>8</sup>	(BST 1200es only)	
Dimension SST 1200es™			
Dimension BST 1200es™			
Fortus 250mc™			



The information presented are typical values intended for reference and comparison purposes only. They should not be used for design specifications or quality control purposes. End-use material performance can be impacted (+/-) by, but not limited to, part design, end-use conditions, test conditions, color etc. Actual values will vary with build conditions. Product specifications are subject to change without notice.

The performance characteristics of these materials may vary according to application, operating conditions, or end use. Each user is responsible for determining that the Stratasys material is safe, lawful, and technically suitable for the intended application, as well as for identifying the proper disposal (or recycling) method consistent with applicable environmental laws and regulations. Stratasys makes no warranties of any kind, express or implied, including, but not limited to, the warranties of merchantability, fitness for a particular use, or warranty against patent infringement.

<sup>1</sup>Build orientation is on side-long edge. <sup>2</sup>Literature value unless otherwise noted. <sup>3</sup>Due to amorphous nature, material does not display a melting point. <sup>4</sup>All Electrical Property values were generated from the average of test plaques built with default part density (sparse). Test plaques were 4.0 x 4.0 x 0.1 inches (102 x 102 x 2.5 mm) and were built both in the flat and vertical orientation. The range of values is mostly the result of the difference in properties of test plaques built in the flat vs. vertical orientation. <sup>5</sup>0.007 inch (0.178 mm) layer thickness available on Dimension Elite and Fortus 250mc only. <sup>6</sup>Ivory is the only color option for uPrintSE. The test data was collected using ABSplus Ivory (Natural) specimens. ABSplus colored materials will have similar properties, but can vary up to 10%.

Orientation: See Stratasys Testing white paper for more detailed description of build orientations.

XZ = X or 'on edge'

XY = Y or 'flat'

ZX = or 'upright'



E info@stratasys.com / STRATASYS.COM  
ISO 9001:2008 Certified

### HEADQUARTERS

7865 Commerce Way, Eden Prairie, MN 55344  
+1 888 480-3548 (US Toll Free)  
+1 952 937-3000 (Intl)  
+1 952 937-0070 (Fax)

2 Holtzman St., Science Park, PO Box 2498  
Rehovot 76124, Israel  
+972 74 745-4000  
+972 74 745-5000 (Fax)

©2014, 2015 Stratasys Inc. All rights reserved. Stratasys, Dimension, uPrint, Catalyst, FDM, Dimension SST, Dimension SST, WaveWeek, and EcoWorks are registered trademarks of Stratasys Inc. FDM Technology, Fused Deposition Modeling, uPrintPlus, uPrintSE, uPrint SE Plus, Dimension Elite, Fortus 250mc, ABSplus, Catalyst EX, and Smart Supports are trademarks of Stratasys, Inc. All other trademarks are the property of their respective owners, and Stratasys assumes no responsibility with regard to the selection, performance, or use of these non-Stratasys products. Product specifications subject to change without notice. Printed in the USA. M55\_PDM\_ABSplusP430\_EN\_1015

## PŘÍLOHA 2



### SG 2000 / Komp. A + B

Označení : vysoce jakostní, velmi tekutá rychletvrdnoucí lici hmota

Pryskyřice : SG 2000 Komp. A

Tužidlo : SG 2000 Komp. B

Barva : slonová kost

**Použití** - slévárenské modely

- jaderníky
- formovací desky
- negativy
- prototypy
- vakuové hlubokotažné formy
- kopírovací modely

**Vlastnosti materiálu** - neplněná

- velmi tekutá
- vysoká možnost plnění
- dokonalé celkové vytvrzení
- velmi vysoká pevnost
- vysoká tepelná odolnost

#### Informace pro zpracování

Výrobek		Směs SG 2000 / Komp. A + B	Pryskyřice SG 2000 Komp.A	Tužidlo SG 2000 Komp. B
Barva		slonová kost	bílá	žlutavá
Poměr míchání	hm. díly		100	100
Viskozita při 25°C	mPas	50 ± 5	80 ± 10	25 ± 5
Hustota při 20°C	g/cm <sup>3</sup>	1,10 ± 0,02	1,02 ± 0,02	1,14 ± 0,02
Čas zprac. 200g/20°C	minut	4	-	-
Vytvrzení při pokojové tep.	hod.	0,5 - 1	-	-

#### Fyzikální informace

Vlastnosti	Typ zkoušky	Jednotka	Hodnota
Pevnost v ohybu	EN ISO 178	MPa	57 ± 5
E-Modul ( v ohybu )	EN ISO 178	MPa	1500 ± 100
Deformace ohybem v okamžiku lomu	EN ISO 178	%	7,5 ± 0,4
Pevnost v tlaku	EN ISO 604	MPa	45 ± 5
Rázová houževnatost ( Charpy )	EN ISO 179	kJ/m <sup>2</sup>	24 ± 4
Tepelná odolnost tvaru dle Martens	DIN 53458	°C	66 ± 3
Tvrdość Shore	DIN 53505	Shore D	72 ± 2
Koeficient délkové roztažnosti	DIN 53752	10 <sup>-6</sup> K <sup>-1</sup>	-
Lineární smrštění	interní	%	-

#### Forma dodání:

Karton:

Jednotlivé balení: Pryskyřice SG 2000 Komp.A 1 kg; 5 kg; 25 kg  
Tužidlo SG 2000 Komp.B 1 kg; 5 kg; 25 kg

### **Poznámky ke zpracování**

Plniva by se měla do jednotlivých komponent vmíchat tak, aby měli asi stejnou viskozitu. Poté se dají obě komponenty velmi dobře společně promíchat.

Při malém množství a při dostatečných zkušenostech, je také možné nejdříve smíchat nenaplněné komponenty a teprve poté vmíchat plnivo, aniž by byla doba zpracování pro lití příliš krátká.

Odlévat na suchý a čistý povrch, který byl předem ošetřen vhodným separátorem.

### **Všeobecně**

U řady SG 2000 se jedná o vysoce hodnotné, téměř bezzápachové dvoukomponentní polyuretanové licí hmoty bez vmíchaného plniva. Toto plnivo se vmíchá teprve při promíchání obou komponent. K výběru jsou různé pryskyřičné komponenty, které se zpracovávají se stejným tužidlem. Jednotlivé typy se liší v době zpracování a vytvrzení.

Rychlé vytvrzení těchto materiálů způsobuje krátkou dobu doformování. Velmi nízká viskozita nám umožňuje vysoký stupeň plnění. Přidáním různých druhů plniv ovlivníme výsledné vlastnosti a pevnosti.

Nádoby s komponenty by se měly před použitím pečlivě promíchat ( protřepat ).

Stupeň plnění a způsob dodání plniv jsou uvedeny ve zvláštní tabulce.

Použitím surovin se mohou u výrobku vyskytnout barevné rozdíly, které nemají vliv na kvalitu a vlastnosti pryskyřice.

### **Skladování**

V temperovaných místnostech ( 18 – 25°C ) v neotevřeném originálním balení lze skladovat 6 měsíců.

Rozdělaná balení vždy uzavřít a co nejdříve zpracovat.

### **Ochranná opatření**

Při zpracování tohoto produktu by se mělo dbát ochranných opatření odborového svazu chemického průmyslu. Řídit se bezpečnostními radami.

### **Likvidace**

Vytvrzené materiály lze po domluvě s příslušným úřadem likvidovat jako domovní odpad.

Nevytvrzené výrobky se musí dle domluvy s příslušným úřadem náležitě zlikvidovat.

### **K upozornění**

Tyto údaje a doporučení byly stanoveny s největší starostlivostí na základě důkladných pokusů a dlouholetých, praktických zkušeností. Protože není možné kontrolovat zpracování přímo u spotřebitele, možnosti použití a pracovní metody jsou velice různorodé, není možné přebírat záruku za jednotlivé případy. Tyto údaje jsou nezávaznými informacemi nejsou zárukou za určité příznaky nebo vlastnosti produktu. Naše informace neosvobozují zákazníka od provedení vlastních průkazných zkoušek ve vztahu k používání a postupům.

V případě nutnosti záruky za údaje je nutná doplňující písemná dohoda.

## PŘÍLOHA 3



### SILASTIC® T-4

**Silikonový kaučuk – základní hmota a tužidlo T-4/T-4**  
**Vysoce pevný silikonový tepelně odolný kaučuk**

#### Použití:

Silastic T-4 je vysoce pevný silikonový kaučuk k výrobě forem pro prototypy a malé série. Byla vyrobena zejména pro rychlou výrobu prototypů.

Silastic T-4 je dvousložkový silikonový kaučuk s možností volby tužidla a to mezi **T-4 S** (standard) nebo **T-4 O** (olejové). Po smíchání s tužidlem v poměru 10 : 1 se vytvrzuje při pokojové teplotě na průhledný (transparentní) kaučuk.

Tužidlo T-4 O vyvolává samomazný efekt, čímž vylepšuje separační vlastnosti materiálu.

Hlavní znaky

#### Vlastnosti:

- vynikající samoseparační vlastnosti
- vytvrzení je možno urychlit teplem
- velmi neopatrné smrštění a dobrá dimenzní odolnost
- Velmi tvrdý, ale flexibilní a tuhý
- Vhodný zejména pro použití při vyšších teplotách
- Dvě silikonová tužidla:
  - T-4 S (standard) nebo
  - T-4 O (olejové)

#### Popis:

Silastic T-4 je dvousložkový silikonový kaučuk s možností volby tužidla a to mezi **T-4 S** (standard) nebo **T-4 O** (olejové). Po smíchání s tužidlem v poměru 10 : 1 se vytvrzuje při pokojové teplotě na průhledný (transparentní) kaučuk.

Tužidlo T-4 O vyvolává samomazný efekt, čímž vylepšuje separační vlastnosti materiálu.

Hlavní znaky

#### Informace pro zpracování

		Směs SILASTIC S	Hmota	Tužidlo
Barva		průsvitná	-	-
Poměr míchání	Hmot. díly	-	<b>100</b>	<b>10</b>
Viskozita	mPas	cca 35 000	cca 70 000	cca 300
Čas zpracování	minut	90	-	-
Vytvrzení při pokoj. teplotě	Hod.	8	-	-

#### Vlastnosti

	Typ zkoušky	Jednotka	Hodnota
Tvrdość Shore	DIN 53505	Shore A	cca 40
Pevnosť v tahu	EN ISO 527	MPa	6,7
Protažení	EN ISO 527	%	400
Odolnosť proti pětřžení	DIN ISO 34-1	kN/m	-
Hustota při 23°C	-	g/cm <sup>3</sup>	-
Lineární smrštění	Interní pokyny	%	<0,1

### **Zpracování a použití:**

Po smíchání s tužidlem v poměru 10:1 se vytvrzuje při pokojové teplotě na transparentní (průhledný) kaučuk. Tužidlo T-4 O vyvolává "samomazný efekt", čímž vylepšuje separační vlastnosti materiálu.

Hlavní znaky:

- rychlé vytvrzení za 6-8 hodin při pokojové teplotě
- nízká viskozita - snadné míchání a odplynění
- dobré separační vlastnosti

Povrch originálu musí být čistý bez zbytků staré hmoty. Při porézním povrchu používáme separátor voskový, anebo PTFE sprej. Mícháme v poměru 100:10 v čisté nádobě, důkladně až k úplnému spojení obou složek. Mícháme ručně nebo pomocí míchadla, plynule v menších dávkách a dbáme, aby teplota během míchání nestoupla nad 35°C. Doporučujeme směs podrobit vakuování pro odstranění vzduchu (1 - 2 min.). Během vakuování nabude směs až 5-ti násobku výchozího stavu, s čímž je třeba počítat při volbě velikosti mísicí nádoby. Když vakuování neprovádíme, naneseme vlasovým štětcem malou vrstvu (1-2 mm). Po jejím vytvrzení pak pokračujeme dále.

Odléváme co nejdříve, abychom snížili možnost pohlcení vzduchu. Vytvrzení do stavu flexibilní gumy nastane při teplotě 22-24°C za 6-8 hodin, pak můžeme rozebírat. Zkrácení vytvrzovací doby dosáhneme ohřevem, ale jen za cenu větší smrštivosti.

### **UPOZORNĚNÍ:**

Všechny elastomery vytvrzované tužidly, jsou při styku s určitými materiály náchylné k nedokonalému vytvrzení, to jest do 24 hod. Dojde jen k částečnému vytvrzení, anebo kontaktní plocha s druhým materiálem zůstává lepivá. Materiály, které obsahují aminy, organické sloučeniny cínu, nebo látky složené ze sloučenin kyselin, působí mimořádně silně proti vytvrzování. Proto doporučujeme přezkoušet míchací nádoby, formy, vlastní modely a separátory, zda nebrání vytvrzování.

### **Použití:**

Formy ze SILASTIC T-4 mají i při vysokých teplotách dlouhou životnost. Stálé používání nad 200°C však po delší době způsobuje snížení elasticity. Použití pro teploty nad 250°C se nedoporučuje.

Po úplném vytvrzení je SILASTIC T-4 velmi odolný chemikáliím. Dlouhodobý styk pryskyřicemi a dalšími agresivními hmotami může mít vliv na fyzikální vlastnosti, dělitelnost, eventuálně na přesnost rozměrů formy. Doporučuje se proto pravidelně rozměry forem přezkoušet.

### **Omezené ručení – prosím čtěte pozorně**

Údaje obsažené v tomto návodu byly zhotoveny dle nejlepšího svědomí na základě výzkumů provedených v Dow Corning. Protože D. C. nemůže ovlivnit způsoby použití a podmínky, za kterých se výrobky používají, je nutno provést testy, aby se zjistilo, že výrobky v ohledu na výkon, účinek a spolehlivost jsou vhodné pro určité použití zákazníkem. Návrhy na použití výrobků nejsou chápány jako pokus o porušení patentových práv. Dow Corning dává záruku pouze na to, že výrobky odpovídají v době dodání aktuálnímu popisu výrobku. Nároky na záruku a jím odpovídající povinnosti výrobce Dow Corning v případě uznání záruky se omezi na náhradní dodávku nebo vrácení kupní ceny daného produktu. Dow Corning neručí za náhodné nebo následné škody.