



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

NÁVRH VÝROBY SKLÁDAČKY Z OZUBENÝCH KOL S VYUŽITÍM TECHNOLOGIE 3D TISKU

A PROPOSAL OF PRODUCTION OF JIGSAW PUZZLE OF GEARS USING 3D PRINTING TECHNOLOGY

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Tereza Katrincová

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Josef Sedlák, Ph.D.

BRNO 2019

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie
Studentka: **Tereza Katrincová**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Základy strojírenského inženýrství
Vedoucí práce: **doc. Ing. Josef Sedlák, Ph.D.**
Akademický rok: 2018/19

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:

Návrh výroby skládačky z ozubených kol s využitím technologie 3D tisku

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Cílem bakalářské práce bude výroba skládačky z ozubených kol s využitím technologie 3D tisku. Model skládačky bude navržen a zkonstruován ve 3D parametrickém programu Autodesk Inventor a následně vyroben na 3D tiskárně uPrint s využitím metody Fused Deposition Modeling. Součástí práce bude charakteristika aditivní technologie Rapid Prototyping a rozbor materiálů určených pro 3D tisk. Práce bude ukončena technicko-ekonomickým zhodnocením a rozбором navržených variant výroby.

Cíle bakalářské práce:

- Teoretická část (rozbor ozubení a výrobku).
- Charakteristika technologie Rapid Prototyping a rozbor použitého materiálu pro 3D tisk.
- Experimentální část (návrh, výroba a sestavení skládačky z ozubených kol).
- Technicko-ekonomické zhodnocení.

Seznam doporučené literatury:

PÍŠKA, M. a kolektiv. Speciální technologie obrábění. 1. vyd. Brno: AKADEMICKÉ NAKLADATELSTVÍ CERM, s.r.o., 2009. 246 s. ISBN 978-80-214-4025-8.


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.

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. 112 pp. ISBN 186-058-465-9.

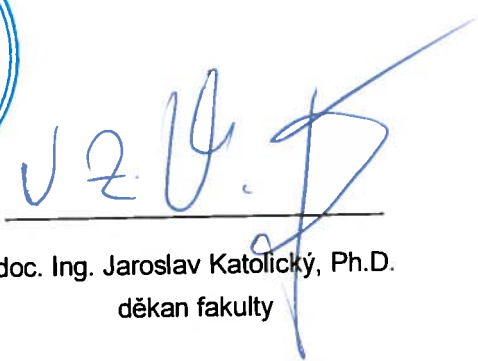
Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2018/19.

V Brně, dne 26. 10. 2018





prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
ředitel ústavu



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

ABSTRAKT

Bakalářská práce se zabývá návrhem a výrobou skládačky z ozubených kol s využitím technologie 3D tisku. Teoretická část je zaměřena na charakteristiku ozubení s důrazem na evolventní ozubení, aditivní technologii Rapid Prototyping a materiály pro 3D tisk. V praktické části je popsán návrh a výroba skládačky, která probíhala na školní 3D tiskárně uPrint s využitím metody Fused Deposition Modeling. V závěru práce je provedeno technicko-ekonomické zhodnocení, které porovnává možnosti výroby ozubených kol.

Klíčová slova

Rapid Prototyping, 3D tisk, ozubené kolo, skládačka, Fused Deposition Modeling

ABSTRACT

The bachelor thesis deals with the design and production of jigsaw puzzle of gears using 3D printing technology. The theory section is dedicated to characteristics of gearing with emphasis on involute gearing, the additive Rapid Prototyping technology and materials for 3D printing. The practical part describes the design and productions of the jigsaw puzzle that was made on a school 3D printer using method called Fused Deposition Modeling. Conclusion of this thesis contains technical-economic evaluation which compares the production possibilities of gears.

Keywords

Rapid Prototyping, 3D printing, gear, jigsaw puzzle, Fused Deposition Modeling

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

KATRINCOVÁ, Tereza. *Návrh výroby skládačky z ozubených kol s využitím technologie 3D tisku*. Brno, 2019. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/117234>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Josef Sedlák.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma **Návrh výroby skládačky z ozubených kol s využitím technologie 3D tisku** vypracovala samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

.....
Datum

Tereza Katrincová

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto doc. Ing. Josefu Sedlákov, Ph.D. za cenné připomínky a rady při vypracování bakalářské práce.

Dále děkuji panu Janu Pokornému, panu Pavlu Nestrojilovi a panu Jiřímu Křivánkovi za pomoc při realizaci praktické části.

V neposlední řadě děkuji své rodině a příteli za podporu nejen při psaní bakalářské práce, ale i během studia.

OBSAH

ABSTRAKT	4
PROHLÁŠENÍ.....	5
PODĚKOVÁNÍ.....	6
OBSAH	7
ÚVOD.....	9
CÍLE PRÁCE.....	10
1 ROZBOR VÝROBKU.....	11
1.1 Charakteristika skládačky z ozubených kol	11
1.2 Části skládačky.....	11
1.3 Možnosti výroby	12
1.4 Přínos skládačky	12
2 ROZBOR OZUBENÍ.....	13
2.1 Převody ozubenými koly	13
2.1.1 Základní pojmy ozubeného kola.....	13
2.2 Evolventní ozubení	14
2.2.1 Podřezání zubu a korekce ozubení.....	15
3 CHARAKTERISTIKA TECHNOLOGIE VÝROBY.....	17
3.1 Aditivní technologie Rapid Prototyping	17
3.1.1 Tvorba modelu	17
3.1.2 Metody Rapid Prototyping.....	18
3.2 Materiály pro 3D tisk	19
4 POSTUP VÝROBY	22
4.1 Výroba skládačky	22
4.1.1 Návrh skládačky	22
4.1.2 Výroba hřídelek a základní desky.....	23
4.1.3 Vzorčky pro zjištění vůlí	24
4.1.4 Příprava modelů a nastavení tiskárny	25
4.1.5 Tisk ozubených kol.....	27
4.2 Povýrobní opracování	28
4.2.1 Broušení a tmelení	28
4.2.2 Barvení.....	29
4.3 Sestavení skládačky	30
5 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ.....	31
5.1 Výroba pomocí technologie 3D tisku	31

5.2 Výroba pomocí technologie obrábění	32
5.3 Srovnání použité 3D technologie a technologie obrábění	34
ZÁVĚR	35
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	36
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	39
SEZNAM PŘÍLOH.....	41

ÚVOD

Hračky jsou dnes nedílnou součástí vývoje dítěte. Rozvíjí motorické schopnosti, smyslové vnímání, myšlení, fantazii a mnoho dalšího [1]. Hračky jako takové jsou klíčové pro rozvoj dítěte a spojují zábavu s formou učení dohromady. Dávají dětem možnost objevit, jak věci fungují. Podporují zvědavost, soustředění a pozornost. Hračky učí také schopnosti řešit problémy. Skládačka z ozubených kol patří mezi hry konstruktivní. Dítě si zlepšuje nejen prostorové vnímání a představivost, ale také hrubou i jemnou motoriku. Při hraní dítě zkoumá jednoduchou mechaniku, zapojuje logické myšlení a procvičuje si vůli a trpělivost [2, 3].

Tato bakalářská práce řeší návrh výroby skládačky z ozubených kol pomocí technologie 3D tisku. Samotná práce je rozdělena na teoretickou a experimentální část, přičemž teoretická část je zaměřena na rozbor výrobku, charakteristiku převodů ozubenými koly a na technologii Rapid Prototyping společně s používanými aditivními materiály. Experimentální část řeší již návrh a realizaci výroby jednotlivých dílů skládačky, povýrobní opracování ozubených kol a následné sestavení skládačky. Poslední kapitolou této práce je technicko-ekonomické zhodnocení, které porovnává možnosti výroby ozubených kol.

Ozubená kola jsou vyrobena pomocí technologie 3D tisku, konkrétně pomocí metody Fused Deposition Modeling (FDM). Tato metoda byla objevena ve druhé polovině 20. století [4]. Spočívá v postupném nanášení aditivního materiálu na podložku po jednotlivých vrstvách, dokud není vytisknut celý model. Díky tomu lze zhotovit jakkoliv tvarově složitou součást, která může být buď vymodelována v jakémkoliv 3D parametrickém programu, nebo může být naskenována již reálná součást pomocí 3D skeneru některou metodou Reverse Engineering [5].

Materiál, z něhož jsou ozubená kola vyrobena, se nazývá Akrylonitril Butadien Styren (ABS). Tento aditivní materiál je zdravotně nezávadný, pevný, odolný vůči mechanickému poškození a patří k nejpoužívanějším materiálům určených pro technologii 3D tisku [6].

CÍLE PRÁCE

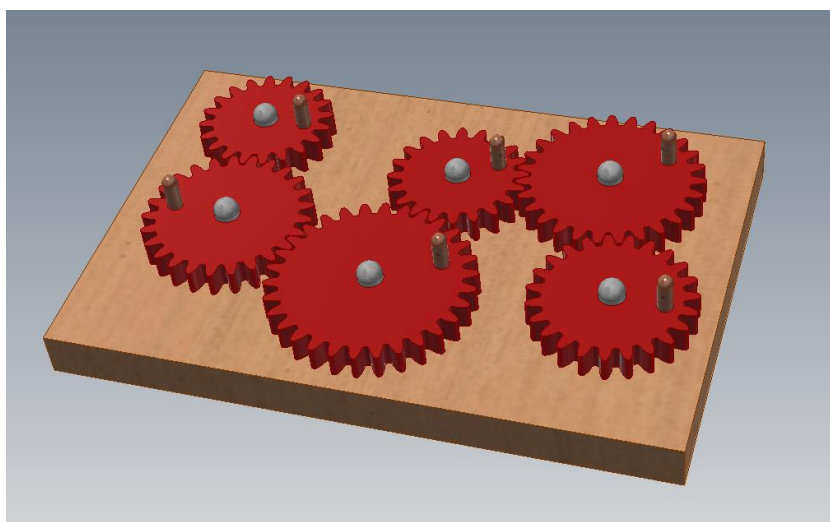
Cílem bakalářské práce bude výroba skládačky z ozubených kol s využitím technologie 3D tisku. Model skládačky bude navržen a zkonstruován ve 3D parametrickém programu Autodesk Inventor a následně vyroben na 3D tiskárně uPrint s využitím metody Fused Deposition Modeling. Součástí práce bude charakteristika aditivní technologie Rapid Prototyping a rozbor materiálů určených pro 3D tisk. Práce bude ukončena technicko-ekonomickým zhodnocením a rozbohem navržených variant výroby.

1 ROZBOR VÝROBKU

Tato kapitola je zaměřena na rozbor výrobku. Nejdříve je popsána charakteristika skládačky společně s popisem jednotlivých částí skládačky. Dále jsou zde uvedeny možnosti výroby ozubených kol. Závěrečná část této kapitoly je zaměřena na přínos skládačky.

1.1 Charakteristika skládačky z ozubených kol

Při návrhu skládačky hrála hlavní roli fantazie. První návrhy byly vytvořeny na papír, kde byl určen základní rozměr skládačky a přibližné rozložení a velikost ozubených kol. Dále byly vypočítány základní parametry ozubených kol a posléze byl tento návrh vymodelován v parametrickém programu Autodesk Inventor. Základní část skládačky tvoří laminátová dřevotřísková deska s vloženými hřídelkami, na které se vkládají různě velká ozubená kola. Cílem skládačky je vkládat jednotlivá ozubená kola na hřídelky tak, aby do sebe ozubená kola zapadala a celá soustava se mohla rozpohybovat. Skládačka má funkci hlavolamu a má jedno správné řešení, které určuje umístění hřídelek na základní desce. Na obr. 1.1 je možno vidět finální návrh skládačky v programu Autodesk Inventor.



Obr. 1.1 Návrh skládačky.

1.2 Části skládačky

Celá skládačka z ozubených kol obsahuje čtyři části. Hlavní částí skládačky je šest různě velkých ozubených kol, které byly vytisknuty na školní 3D tiskárně uPrnit. Další část tvoří laminátová dřevotřísková deska s šesti vyvrtanými otvory v přesných roztečích jednotlivých dvojic ozubených kol. Poslední dvě části skládačky tvoří ocelové hřídelky a tzv. dřevěné kličky (dále jen kličky). Hřídelky jsou vkládány do desky a slouží pro uložení jednotlivých ozubených kol. Kličky jsou vloženy a zalepeny v každém kole a slouží pro rozpohybování celé soustavy.

1.3 Možnosti výroby

V této podkapitole jsou uvedeny možnosti výroby ozubených kol pomocí několika technologií.

První možnou technologií se stal 3D tisk ve třech různých variantách. První variantou byl tisk na školní tiskárně uPrint. Druhou variantou byl tisk na profesionální 3D tiskárně. Poslední variantou 3D tisku se stal tisk na domácí 3D tiskárně.

Druhou možnou technologií byla výroba ozubených kol pomocí obrábění, a to frézování odvalovacím způsobem a obrážením.

Všechny možnosti společně s jejich naceněním jsou dostupné v kap. 5.

Pro výrobu ozubených kol technologií 3D tisku nastala možnost výběru materiálu, ze kterého budou ozubená kola zhotovena. Rozhodnutí probíhalo mezi materiálem Polylactic Acid (PLA) a materiálem Akrylonitril Butadien Styren (ABS). Materiál ABS se vyznačuje svou pevností, pružností a odolností vůči teplu. Je ale složitější na vytisknutí a náchylnější k deformacím vlivem chladnutí materiálu. Materiál PLA je pružný, tvrdý a odolný jako jiné plasty. Výhodou je jeho nepatrný sklon ke kroucení, díky jeho minimálnímu rozpínání během tavení [7]. Po porovnání vlastností těchto materiálů byl zvolen jako výchozí materiál ABS. Tyto materiály společně s dalšími jsou detailněji popsány v kap. 3.2.

1.4 Přínos skládačky

Skládačka z ozubených kol je hrou konstruktivní, dítě se při skládání učí prostorovému vnímání a procvičuje si hrubou i jemnou motoriku. Zlepšuje se i zraková diferenciacce, a to při rozlišování a porovnávání velikostí jednotlivých ozubených kol. Jedná se o hru individuální, která je vhodná pro děti od 7 let [3].

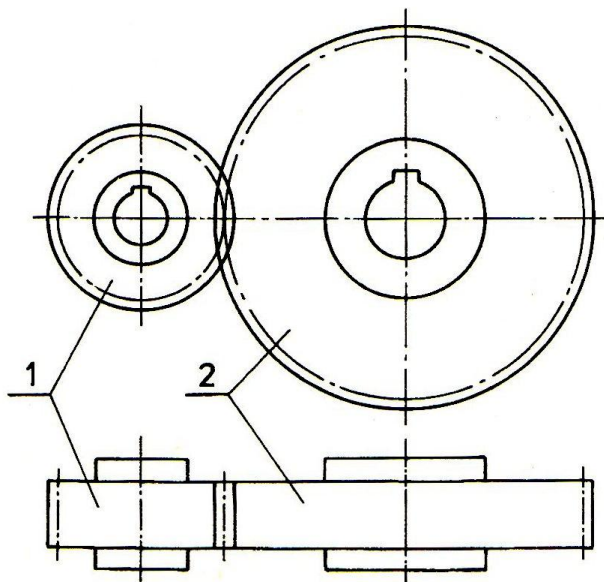
2 ROZBOR OZUBENÍ

Tato kapitola se zabývá charakteristikou ozubení a je rozdělena do dvou částí. V první části je charakterizován převod ozubenými koly, kde jsou vysvětleny základní pojmy ozubeného kola. Druhá část se zabývá evolventním ozubením a korekcemi ozubení.

2.1 Převody ozubenými koly

Převody ozubenými koly jsou nejčastěji používané mechanické převody. Patří mezi převody přesné. Ozubený převod přenáší rotační pohyb a mechanickou energii z kola hnacího na kolo hnané tvarovým stykem mezi boky zubů a bez prokluzu. Převodový poměr je stálý a není ovlivněn velikostí přenášeného silového zatížení [8, 9].

Dvě ozubená kola s čelním ozubením tvoří základní (nejjednodušší) ozubený převod, jak lze vidět na obr. 2.1. Kolo s menším počtem zubů se nazývá pastorek (1) a kolo s větším počtem zubů kolo (2) [8].



Obr. 2.1 Základní ozubený převod [8].

2.1.1 Základní pojmy ozubeného kola

Základní veličinou ozubených kol je tzv. modul m , který se udává v milimetrech a jeho velikost je normalizována. Je to část průměru roztečné kružnice připadající na jeden zub, přičemž spoluzabírající ozubená kola musí mít modul vždy stejný. Z modulu jsou odvozeny všechny ostatní geometrické veličiny ozubeného kola a jeho hodnota je dána vztahem (2.1) [5, 8].

$$m = \frac{d}{z} = \frac{p}{\pi} \quad [\text{mm}] \quad (2.1)$$

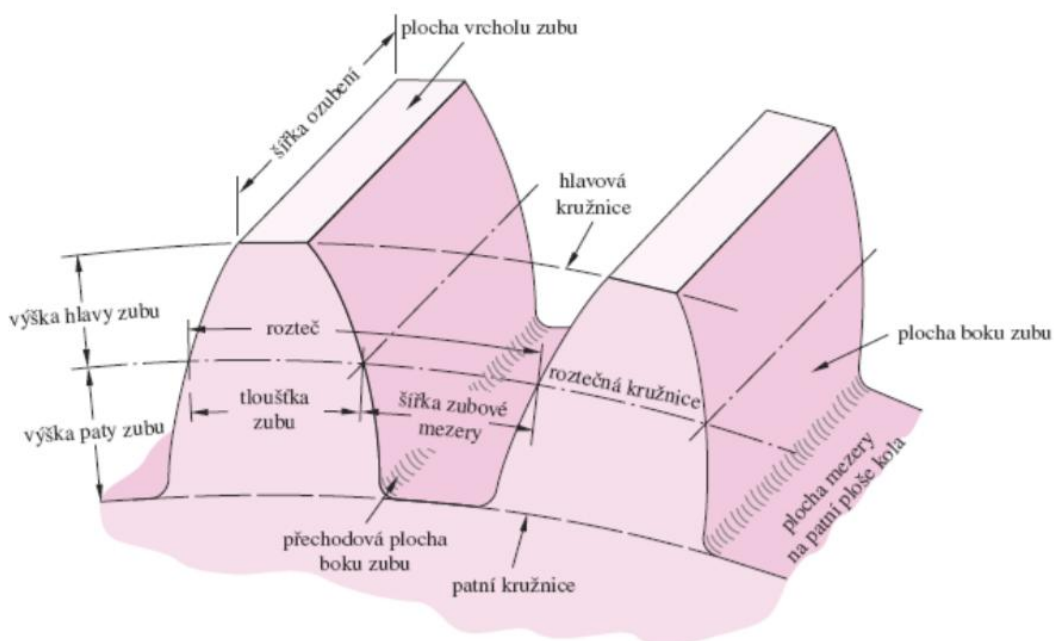
Na každém ozubeném kole rozeznáváme tři hlavní průměry:

- průměr hlavové kružnice d_a ,
- průměr roztečné kružnice d ,
- průměr patní kružnice d_f .

Dalším parametrem ozubeného kola je výška zuby h , která je roztečnou kružnicí rozdělena na výšku hlavy zuby h_a (od roztečné kružnice k hlavové) a na výšku paty zuby h_f (od roztečné kružnice k patní). Mezi hlavovou kružnicí jednoho kola a patní kružnicí druhého kola je hlavová vůle c_a [8].

Vzdálenost os dvou sousedních zubů je tzv. rozteč p . Mezi jednotlivými zuby je zubová mezera e , která je stejná jako tloušťka zuby s . Rozteč musí být pro obě spoluzabírající kola stejná, aby se zub jednoho kola vešel do zubové mezery protikola [8, 10].

Základní parametry jsou znázorněny na obr. 2.2.



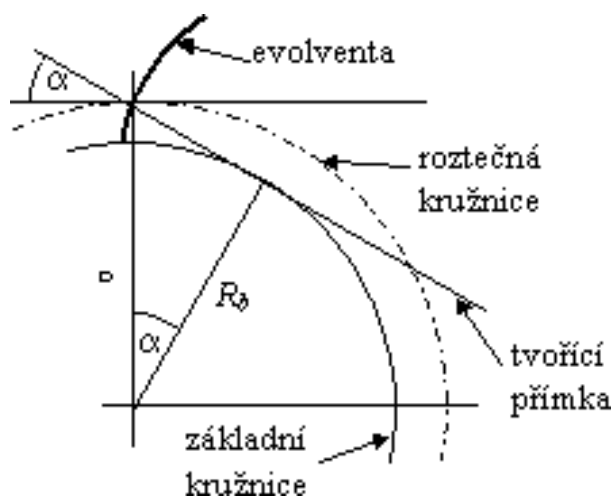
Obr. 2.2 Základní parametry ozubeného kola [9].

Výpočty základních parametrů jsou dány vztahy, které jsou uvedené v příloze č. 1.

2.2 Evolventní ozubení

Evolventní ozubení je momentálně nejrozšířenější typ ozubení. Bok zuby má tvar evolventy, což je křivka, která vzniká odvalováním přímky po jiné křivce, v tomto případě po základní kružnici, jak je znázorněno na obr. 2.3. Základními veličinami, ze kterých vychází tvar evolventy, jsou modul m , úhel záběru α a počet zubů z . Ke kontaktu

spoluzabírajících kol (v případě ozubených kol s přímými zuby) dochází v jedné rovině skloněné pod úhlem záběru α , který je ve většině případů 20° [5, 11].



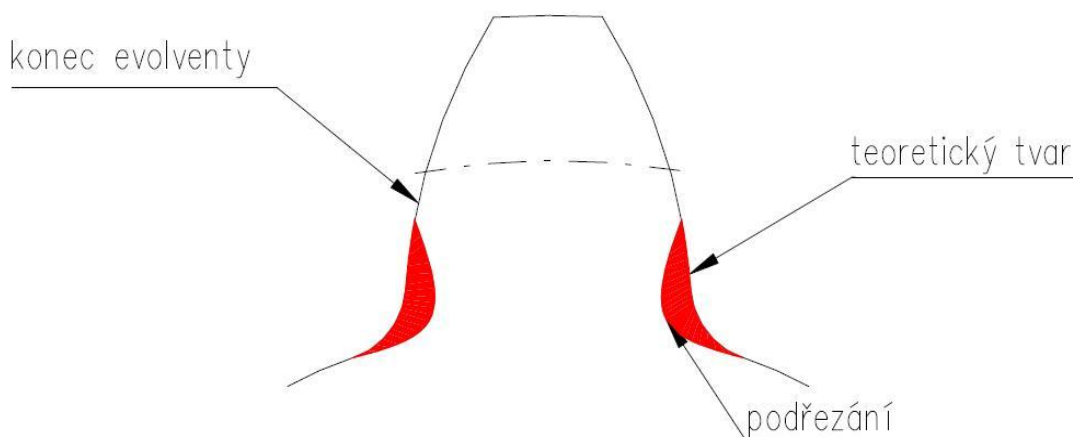
Obr. 2.3 Evolventa [10].

Základní kružnice d_b , po které se odvaluje přímka tvořící evolventu, je dána vztahem (2.2) [11].

$$d_b = m \cdot z \cdot \cos \alpha \text{ [mm]} \quad (2.2)$$

2.2.1 Podřezání zubu a korekce ozubení

Nevýhodou evolventního ozubení je skutečnost, že může dojít k podřezání paty zubu neboli k zeslabení zubu v místě patního přechodu, jak lze vidět na obr. 2.4. Tento nežádoucí prostorový problém vzniká u ozubených kol, kde počet zubů klesne pod kritickou mez (u většiny kol pod 17 zubů). Při výrobě takto malého kola totiž hlavový nástavec nástroje (nástroj má tvar ozubeného hřebene) zeslabí paty jeho zubů [12].



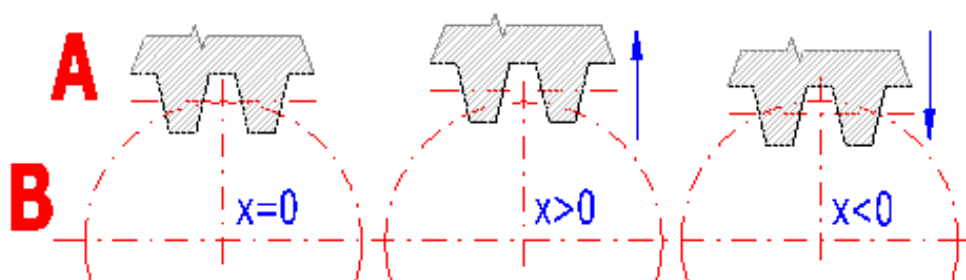
Obr. 2.4 Podřezání zubu [12].

Teoretický mezní počet zubů z_t , při němž již dojde k podřezání zubů kola, je dán vztahem (2.3) [12].

$$z_t = \frac{2}{(\sin \alpha)^2} \quad (2.3)$$

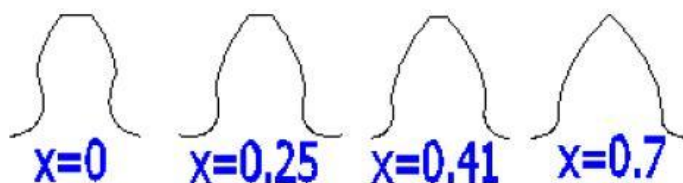
Toto zeslabení se vnímá jako velmi nebezpečný jev, protože oslabuje zub v místě, kde je největší ohybové zatížení [12].

Pro zamezení podřezání zubů se zavádí tzv. korekce ozubení. Při samotné konstrukci ozubeného soukolí se volí hodnoty součinitelů posunutí x_1 a x_2 spoluzabírajících ozubených kol. Tyto hodnoty nám udávají násobek modulu ozubeného kola, o který se přibližuje nebo oddaluje nástroj od středu kola. Tím se mění tvar a vlastnosti evolventního ozubení. Vytváří se tak korigované ozubení. Korigované ozubené kolo má pozměněný průměr hlavové i patní kružnice, průměr roztečné a základní kružnice je zachován. Obr. 2.5 znázorňuje princip vzniku korigovaného ozubení, kde A) je nástroj a B) roztečná kružnice ozubeného kola [5, 12, 13].



Obr. 2.5 Princip vzniku korigovaného ozubení [13].

Korekce ozubení má mimo jiné také vliv na zlepšení účinnosti ozubeného soukolí, snížení vibrací a hlučnosti výsledného soukolí, zvýšení únosnosti ozubení (dotyk, ohyb, zadírání, opotřebení) aj. Na obr. 2.6 je znázorněn vliv velikosti korekčního součinitele na tvar zubu, kde při $x=0$ dochází k podřezání zubu a při $x=0,7$ dochází ke špičatosti zubu [5, 13].



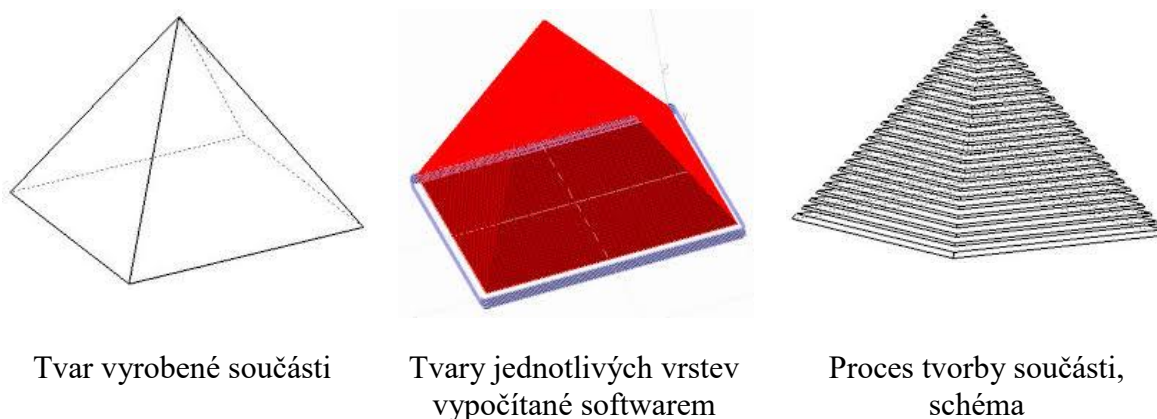
Obr. 2.6 Vliv velikosti korekčního součinitele na tvar zubu [13].

3 CHARAKTERISTIKA TECHNOLOGIE VÝROBY

Tato kapitola se zabývá charakteristikou technologie Rapid Prototyping (RP), která byla použita na výrobu skládačky. Kapitola je rozdělena do dvou částí, přičemž v první části je rozebrána technologie RP společně s tvorbou modelu a různými metodami této technologie. Druhá část je zaměřena na materiály používané pro 3D tisk.

3.1 Aditivní technologie Rapid Prototyping

Pojem RP označuje technologie používané pro výrobu prototypových součástí nebo sestav. Podstatou těchto technologií je aditivní metoda – neboli postupné nanášení tenkých vrstev materiálu na sebe, na rozdíl od obrábění, kde se materiál odebírá formou třísky (subtraktivní metoda). Aditivní metoda má řadu výhod, zejména to, že umožňuje výrobu vnějších i vnitřních tvarů, jakkoliv složitých. Na obr. 3.1 je znázorněn princip technologie RP [5, 14, 15].



Obr. 3.1 Obecný princip technologie RP [14].

3.1.1 Tvorba modelu

Na začátku celého procesu je 3D virtuální model, který je navrhnout a vymodelován v libovolném systému CAD a může být jakkoliv tvarově složitý. Tento model je následně exportován ve výměnném formátu dat, nejčastěji se jedná o formát STL, ale mohou být použity i jiné formáty. Formát STL platí zejména pro systémy CATIA, SolidWorks, Autodesk Inventor a další [5, 16].

Dalším zdrojem může být reálná součást, která je naskenována pomocí 3D skeneru některou metodou Reverse Engineering. Cílem je odvodit z měřeného fyzického objektu digitální model, který je použitelný v běžných CAD systémech. Výsledkem procesu skenování jsou mráčka souřadných bodů, která jsou převedena na trojúhelníkovou síť polygonů a následně vyhlazena. Tato síť polygonů může být uložena do vhodného formátu dat a následně použita k dalšímu zpracování [5, 17].

3.1.2 Metody Rapid Prototyping

Metody RP se rozdělují na tři hlavní skupiny, které jsou popsány níže [14].

Metoda na bázi fotopolymerů

Modely na bázi fotopolymerů jsou většinou stavěny v nádobě, ve které se nachází kapalná pryskyřice. Pod hladinou dochází k postupnému vytvrzování jednotlivých vrstev působením ultrafialového světla (UV). Po vytvrzení vrstvy se materiál posune o hodnotu tloušťky vrstvy a proces se opakuje. Tímto způsobem je vytvořen celý 3D model. Po vyhotovení modelu je zbytek pryskyřice odveden [14, 18].

Mezi tyto metody patří metoda Stereolitografie (SLA), která je založena na postupném vytvrzování jednotlivých 2D vrstev [14]. Jako zdroj UV jsou různé druhy laserů [18].

Metoda Solid Ground Cutting (SGC) je druhou metodou používanou na bázi fotopolymerů. Hlavní znaky jsou stejné jako u metody SLA, jen zde je nanesená vrstva materiálu vytvrzena celá najednou. Zde je zdrojem pro vytvrzování UV lampa o výkonu 4kW [5, 18].

Metoda na bázi práškových materiálů

Tyto metody používají jako výchozí materiál jemný prášek, který je natavován. U metody Selective Laser Sintering (SLS) je výrobek nataven v požadovaném místě pomocí vysoce výkonného CO₂ laseru. Práškový materiál může být z kovu, plastu, keramiky, skla apod. Tloušťky vrstev jsou velice tenké a to od 20 μm do několika desetin mm [18, 19].

Druhou metodou je metoda Direct Metal Laser Sintering (DMLS), která funguje na stejném principu, avšak pouze pro kovové materiály. Výhodou těchto metod je minimalizace použití podpor a možnost nespotřebovaný prášek z 98 % znovu použít k výrobě [19].

Metoda na bázi tuhých materiálů

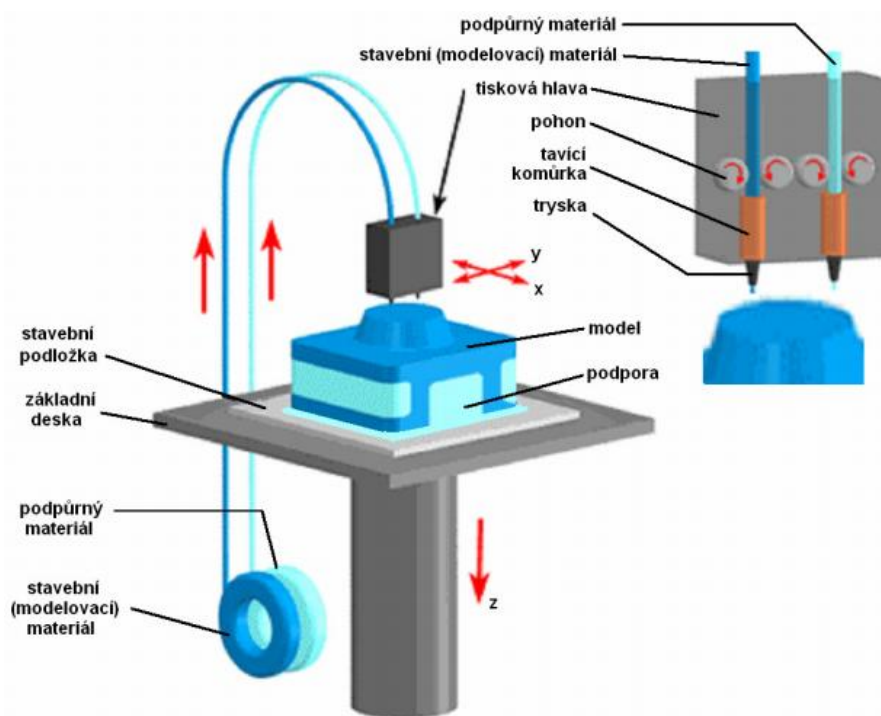
Třetí skupinou jsou metody na bázi tuhých materiálů. Tyto metody jsou velmi odlišné od výroby prototypů na principu kapalné báze. Patří sem metoda Laminated Object Manufacturing (LOM), která používá velké množství fólií. Tyto fólie jsou na sebe postupně přilepovány a následně je vyřezán výsledný tvar modelu [5].

Další metodou je metoda Multi Jet Modeling (MJM). Principem je postupné nanášení jednotlivých vrstev termopolymeru pomocí speciální tiskové hlavy, která má 352 trysek. Současně s modelem je potřeba vytvářet podpěrné konstrukce, které se po dokončení snadno odstraní [5, 20].

Metoda Fused Deposition Modeling (FDM) je druhou nejpoužívanější metodou prototypování [20]. Princip metody je natavování termoplastického materiálu, který je navinut ve formě drátu na cívkách. Tyto cívky jsou uloženy ve speciálních kazetách, přičemž každé zařízení obsahuje 2 kazety – jednu se stavebním materiálem, druhou s materiálem podpor. Materiál je postupně vtačován pomocí kladek do vyhřívané trysky, kde je zahříván do polotekutého stavu a následně je nanášen po jednotlivých vrstvách na podložku. Princip této metody je znázorněn na obr. 3.2 [5, 21]. Je zde zapotřebí opět současně s modelem vytvářet podpory, které se po dokončení mechanicky nebo chemicky odstraní. Tryska se pohybuje v jedné rovině, dokud nedokončí jednu celou vrstvu součásti.

Poté se celá hlava posune o tloušťku vrstvy ve směru osy Z a může být vytisknuta další vrstva. Tento proces se opakuje, dokud nedojde k vytvoření celé součásti [5].

Výhodou této metody je ta skutečnost, že v průběhu výroby je možno kazetu s materiálem vyměnit za nový a pokračovat ve výrobě. Materiály, se kterými se pracuje, jsou zdravotně nezávadné. Naopak nevýhodou je omezená přesnost závislá na tvaru materiálu a průměru výstupní trysky [5].



Obr. 3.2 Princip metody FDM [21].

3.2 Materiály pro 3D tisk

V současné době existuje několik typů materiálů pro 3D tisk, které se liší mnoha vlastnostmi, a to zejména svým složením, pevností, křehkostí apod. Každá technologie užívá jiné materiály [16]. V tab. 3.3 je uveden přehled jednotlivých metod společně s používanými materiály. Tato kapitola je zaměřena na materiály pro výrobu FDM. Mezi nejpoužívanější patří PLA, ABS/ABS+, PC, PA a PET/PET-G [18]. Jednotlivé typy materiálů jsou popsány níže.

Aditivní materiál PLA

Materiál PLA (Polylactic Acid) je biologicky odbouratelný polymer, který je vyráběn z kukuřičného nebo bramborového škrobu, či z cukrové třtiny [23]. Je pevný, pružný a odolný jako jiné plasty. Velkou výhodou PLA je minimální rozpínání při tavení a tím pádem při chladnutí není tolik náchylný k deformacím, jako je tomu u jiných materiálů. PLA jde snadno vrtat, lakovat a ručně brousit. Naopak nevýhodou je nízká teplota tavného bodu, která se pohybuje okolo 60 °C. Z tohoto důvodu nelze materiál dobře strojně brousit. Tuto nevýhodu však lze odstranit chlazením v průběhu opracování. Další nevýhodou je

skutečnost, že snadno pohlcuje vlhkost, a proto je náročnější na skladování. Materiál je zdravotně nezávadný, a tudíž se používá i v potravinářském průmyslu [6, 16, 22]. V tab. 3.1 jsou uvedeny vybrané vlastnosti materiálu PLA.

Tab. 3.1 Vybrané vlastnosti aditivního materiálu PLA [6].

Hustota	1250 kg/m ³
Mez pevnosti v tahu	110 MPa
Modul pružnosti	4 GPa
Teplota skelného přechodu	60 °C
Teplota tisku	185 až 235 °C

Aditivní materiál ABS/ABS+

ABS (Akrylonitril Butadien Styren) je odolný amorfnní termoplastický kopolymer, který má dobrou odolnost vůči mechanickému poškození. Společně s PLA se jedná o nejpoužívanější materiál pro 3D tisk [22]. Je tuhý, houževnatý, odolný vůči nízkým i vysokým teplotám. Není vhodný pro tisk středně velkých a velkých modelů kvůli náchylnosti k deformacím při chladnutí, což je jeho nevýhodou. V tab. 3.2 jsou uvedeny vybrané vlastnosti materiálu ABS. Bez problémů ho lze brousit, vrtat a dále opracovávat. ABS je zdravotně nezávadný a má široké využití. Používá se pro domácí potřeby, designerské předměty, je vhodný pro výrobu vzorků a funkčních modelů. Uplatnění má i v oblasti hudebních nástrojů nebo v automobilovém průmyslu [6, 16].

Tab. 3.2 Vybrané vlastnosti aditivního materiálu ABS [6].

Hustota	1050 kg/m ³
Mez pevnosti v tahu	37 až 110 MPa
Modul pružnosti	2,2 GPa
Teplota skelného přechodu	105 °C
Teplota tisku	220 až 240 °C

ABS+ disponuje vyššími mechanickými vlastnostmi. Pevnost tohoto materiálu je o 40 % vyšší než u standardního ABS [6]. Další výhodou je menší náchylnost k deformacím při chladnutí. Modely mají vyšší přesnost a hladší povrch. Je také zdravotně nezávadný a používá se pro tisk funkčních modelů a součástek, kde je požadavek na vysokou odolnost a přesnost materiálu [16].

Aditivní materiál PC

PC (Polykarbonát) lze zařadit mezi nejodolnější filamenty. Výhodami tohoto materiálu jsou dobrá tepelná odolnost, vysoká pevnost a tuhost, odolnost proti rázům či velmi dobré elektroizolační a dielektrické vlastnosti. Využívá se nejen v elektrotechnickém a automobilovém průmyslu, ale i ve zdravotnictví nebo pro výrobu domácích spotřebičů [6, 22].

Aditivní materiál PA

PA (Nylon) patří mezi vysoce pevné a všestranné materiály. Vyznačuje se nízkým součinitelem tření a vysokou teplotou tání. Je hygroskopický (rychle absorbuje vodu ze vzduchu), a proto vlákno materiálu musí být suché, jinak hrozí na materiálu vznik bublin, což je jeho nevýhodou. Při dobrých podmínkách je po vytisknutí materiál hladký a má lesklý povrch. Používá se například pro ozubené převody v domácích mixérech nebo v automobilovém průmyslu [6, 22].

Aditivní materiál PET/PET-G

PET (Polyetylen Tereftalát) je termoplastický polyester. Je velmi pevný, houževnatý a odolný vůči nízkým i vysokým teplotám. Díky malé náchylnosti ke kroucení při tištění je vhodný pro tisk velkých objektů. Je odolný proti otřesům a vhodný pro lehké předměty [6, 22, 24].

PET-G (Polyetylen Tereftalát – Glykol) je modifikovaný materiál PET obohacený o glykol, který se přidává během výrobního procesu. PET-G je méně křehký a snadnější pro tisk. Odolává i sterilizaci pomocí gama paprsků a ethylenoxidu. Tento materiál slouží v některých případech jako náhrada již zmiňovaného materiálu ABS [22, 24].

Tab. 3.3 Přehled technologií RP a používaných materiálů [14, 25].

Technologie RP	Zkratka	Materiál modelu
Stereolitografie	SLA, SL	Fotopolymery (akryláty, epoxidy, pryskyřice)
Solid Ground Cutting	SGC	Fotopolymer, nylon
Selective Laser Sintering	SLS	Polyamid, nylon, vosk, kovové prášky, keramika
Direct Metal Laser Sintering	DMLS	Kovové prášky
Laminated Object Manufacturing	LOM	Papír s jednostranným pojivem
Fused Deposition Modeling	FDM	ABS, PLA, vosk, polykarbonat
Multi Jet Modeling	MJM	Termopolymer, akrylátový fotopolymer

4 POSTUP VÝROBY

Tato kapitola je zaměřena na návrh, výrobu a následné povýrobní opracování skládačky. V první fázi byl proveden hrubý náčrt na papír a výpočet základních parametrů ozubených kol. Ve druhé fázi byla celá skládačka vymodelována v programu Autodesk Inventor. Výrobní část se zabývá tiskem ozubených kol, který byl proveden na školní tiskárně uPrint. Poslední dvě kapitoly jsou zaměřeny na povrchovou úpravu ozubených kol a následným sestavením skládačky.

4.1 Výroba skládačky

V této podkapitole je podrobněji popsán návrh skládačky společně s výpočty ozubených kol, výrobou vzorků pro zjištění potřebných vůlí a samotnou výrobou jednotlivých částí skládačky.

4.1.1 Návrh skládačky

Jako první vznikl náčrt na papír, kde byla navržena velikost základní desky, a dále průměry a rozložení jednotlivých roztečných kružnic ozubených kol na desce. Dalším krokem byl návrh modulu, který byl navrhnut na $m = 2,5$ mm a následný výpočet parametrů ozubených kol. Níže je uveden postup výpočtů ozubeného kola 1, zbylých pět kol bylo počítáno analogicky a jejich výpočty jsou uvedeny v příloze č. 2.

$$m = 2,5 \text{ mm}$$

$$\text{návrh } d_1 = 48 \text{ mm}$$

$$z_1 = \frac{d_1}{m} = \frac{48}{2,5} = 19,2 \rightarrow z_{1_real} = 20 \rightarrow d_{1_real} = z_{1_real} \cdot m = 20 \cdot 2,5 = 50 \text{ mm}$$

$$h_{a_1} = m = 2,5 \text{ mm}$$

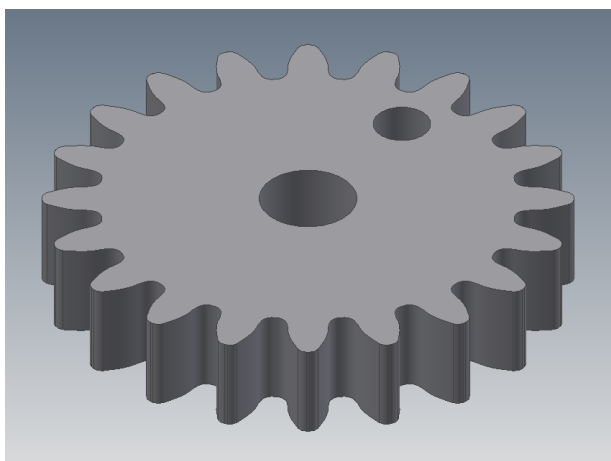
$$h_{f_1} = 1,25 \cdot m = 1,25 \cdot 2,5 = 3,125 \text{ mm}$$

$$h_1 = h_{a_1} + h_{f_1} = 2,5 + 3,125 = 5,625 \text{ mm}$$

$$d_{a_1} = d_{1_real} + (2 \cdot m) = 50 + (2 \cdot 2,5) = 55 \text{ mm}$$

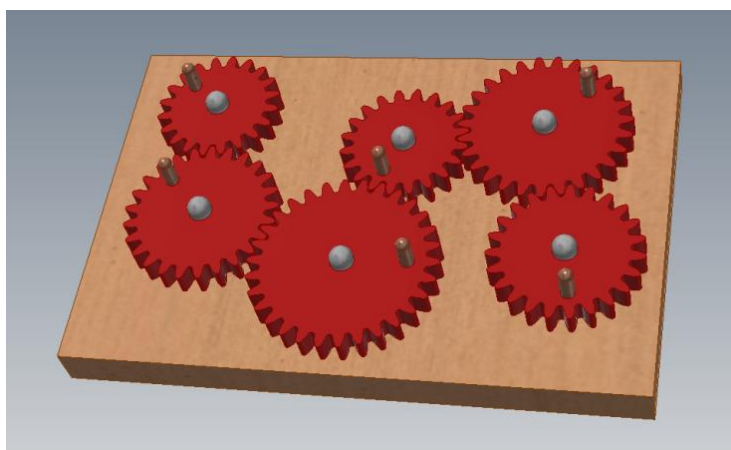
$$d_{f_1} = d_{1_real} - (2 \cdot h_{f_1}) = 50 - (2 \cdot 3,125) = 43,75 \text{ mm}$$

Po provedení výpočtů byla navržena šířka ozubení na 10 mm, dále byly navrženy průměry průchozích otvorů pro hřídelku na 10 mm a průměry otvorů pro dřevěnou kličku na 6 mm, které jsou navrženy do hloubky 5 mm. Poté byla jednotlivá ozubená kola vymodelována v programu Autodesk Inventor. Za pomoci generátoru komponent bylo po zadání určitých vstupních hodnot vygenerováno ozubené kolo. Tento model neměl evolventní tvar zubu, a proto se provedl tzv. export tvaru zubů na evolventní. V tomto kroku bylo možno zadat hodnoty různých vůlí a tolerance. Po exportu tvaru zubů bylo zapotřebí upravit model tak, aby obsahoval potřebné otvory, což bylo zhotoveno pomocí náčrtu a příkazu *Vysunutí* a následně *Rozdíl*, kde se nastavila hloubka rozdílu. Tímto postupem bylo vymodelováno všech šest ozubených kol. Na obr. 4.1 lze vidět model ozubeného kola 1.



Obr. 4.1 Ozubené kolo 1.

Po vymodelování ostatních částí skládačky byl vytvořen model celé skládačky, který lze vidět na obr. 4.2



Obr. 4.2 Model skládačky.

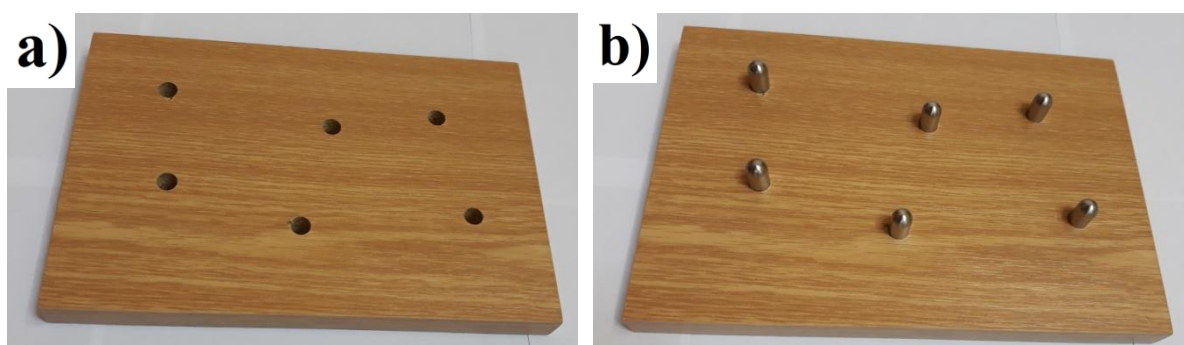
4.1.2 Výroba hřídelek a základní desky

Jako první byly vyrobeny ocelové hřídelky, které byly zhotoveny na CNC soustruhu. Délka každé hřídelky je 35 mm, průměr byl zvolen na $d_{hr} = 9,8$ mm, tudíž byla zvolena vůle mezi hřídelkou a ozubeným kolem na 0,2 mm. Tato vůle byla nedostačující a byly vyrobeny vzorky, které jsou popsány v kap. 4.1.3. Na obr. 4.3 lze vidět zhotovené hřídelky soustružením.



Obr. 4.3 Hřídelky.

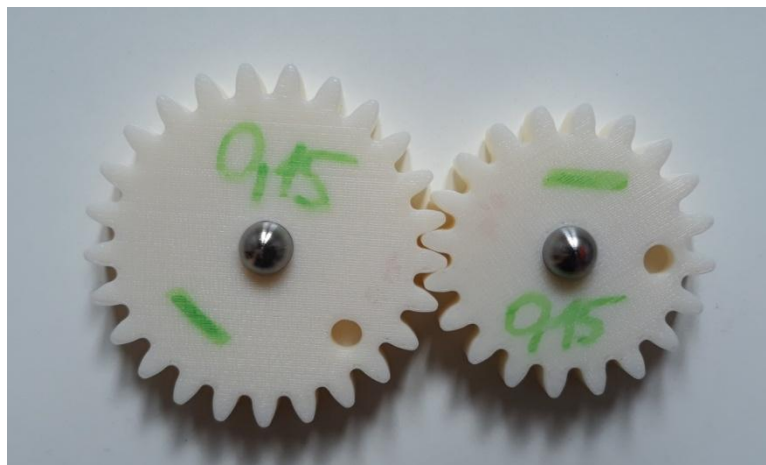
Dále bylo zapotřebí vyvrtání průchozích otvorů do základní desky. Tyto otvory byly vyvrtány vrtákem o průměru 10 mm na CNC frézce, protože bylo nutné dosáhnout přesných vzdáleností jednotlivých otvorů, aby se dosáhlo co nejvíce plynulého chodu celého soukolí. Obr. 4.4 znázorňuje základní desku s vyvrtanými otvory a s vloženými hřídelkami.



Obr. 4.4 Základní deska: a) po vyvrtání otvorů, b) s vloženými hřídelkami.

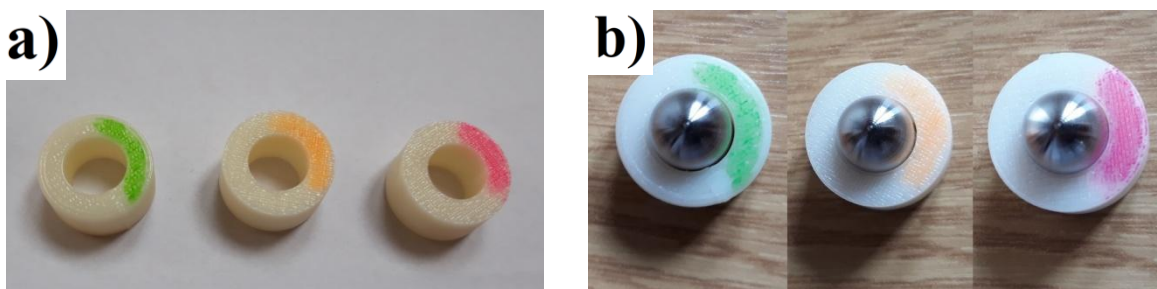
4.1.3 Vzorčky pro zjištění vůlí

Před samotným tiskem ozubených kol bylo nutné zjistit vhodné boční vůle zubů u kol. V programu Inventor byly navrženy vzorky s různými hodnotami bočních vůlí a to 0,15 mm, 0,2 mm a 0,25 mm. Tyto boční vůle byly nastaveny při exportu tvaru zubů, jak je zmíněno v kap. 4.1.1. Jednalo se o soukolí dvou ozubených kol. Na obr. 4.5 je možné vidět vzorek s boční vůlí 0,15 mm.



Obr. 4.6 Vzorek pro zjištění boční vůle.

Tyto vzorky byly vytisknuty s průchozími otvory o průměru 10 mm. Jak bylo řečeno v kap. 4.1.2, tyto vůle byly nedostačující kvůli nesnadnému vkládání ozubených kol na hřídelky. Z tohoto důvodu byly navrženy a vytisknuty tzv. zkušební válečky s průměry 10,15 mm, 10,2 mm a 10,25 mm (obr. 4.7a). Po nasazení válečků na hřídelky byla zjištěna potřebná vůle, viz obr. 4.7b, kde se při rozhodování braly v potaz tloušťky vrstev, které budou tvořeny tmelem a barvou.

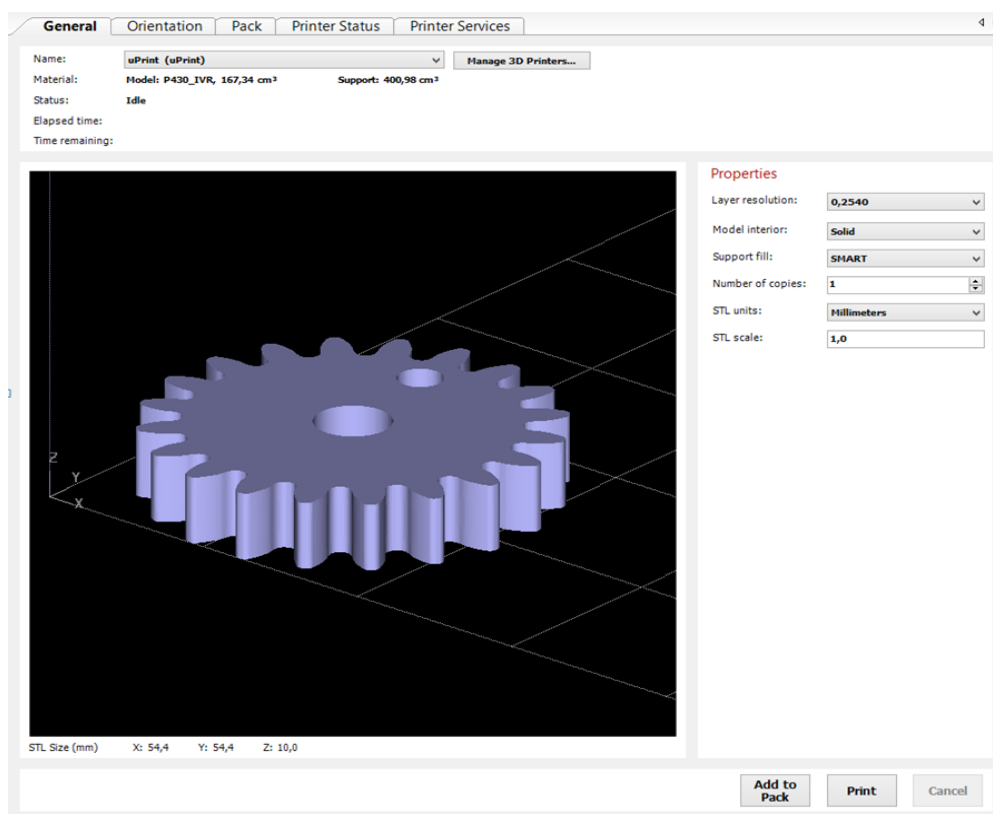


Obr. 4.7 Zkušební válečky: a) po vytisknutí, b) po nasazení válečků na hřídelky.

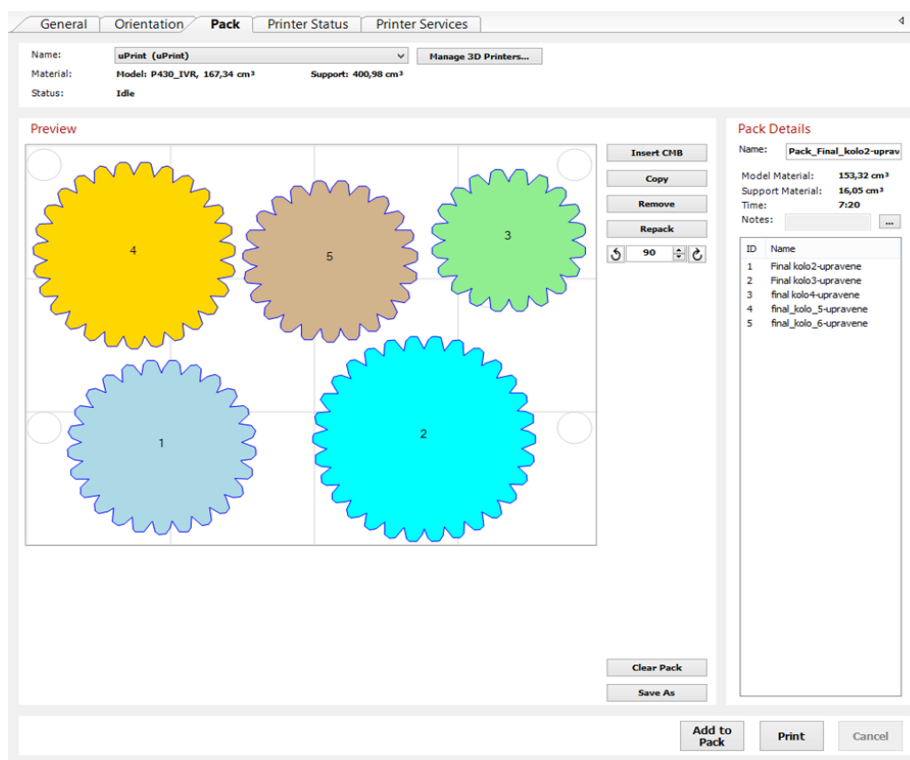
4.1.4 Příprava modelů a nastavení tiskárny

Po zjištění potřebných vůlí a upravení modelů se mohlo přejít na samotný tisk. Jednotlivé modely ozubených kol byly v programu Autodesk Inventor exportovány na formát STL. Následně byla data převedena do programu CatalystEX4.2, kde byly nastaveny parametry tisku. Jako první byla nastavena tloušťka vrstvy, která byla zvolena na 0,254 mm. Dále byla nastavena hustota plnění modelu a podpor. Hustota plnění modelů byla nastavena na Solid a hustota plnění podpor, které v tomto případě sloužily pouze jako základní vrstva, na kterou byl model vytisknut (z důvodu fixování modelů k podložce), byla nastavena na řídkou.

Po zvolení těchto vlastností byla stanovena orientace modelu na desce. Na obr. 4.8 lze vidět nastavení orientace ozubeného kola. V rámci rozmístění modelů na podložce bylo zapotřebí zajistit dostatečné odstupy jednotlivých modelů od sebe a odstupy od kraje podložky. Obr. 4.9 znázorňuje umístění pěti ozubených kol na podložce.



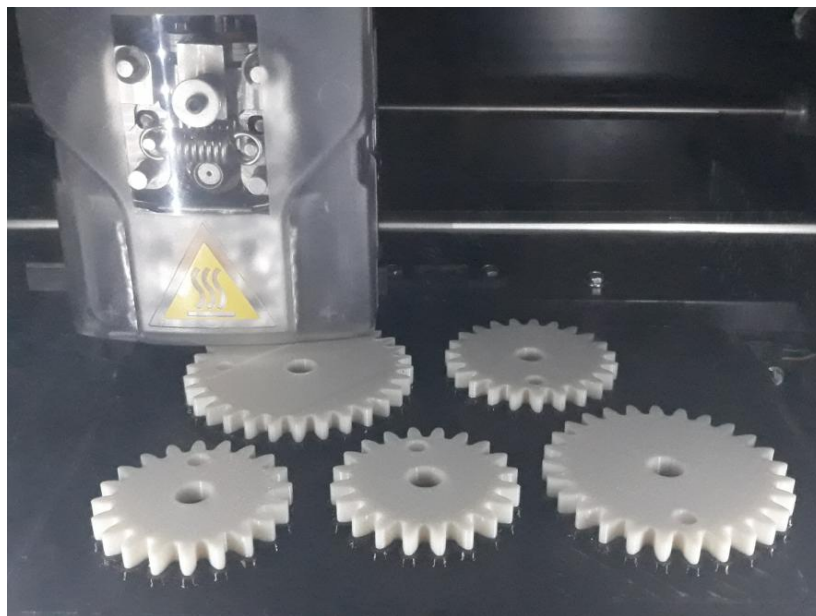
Obr. 4.8 orientace ozubeného kola.



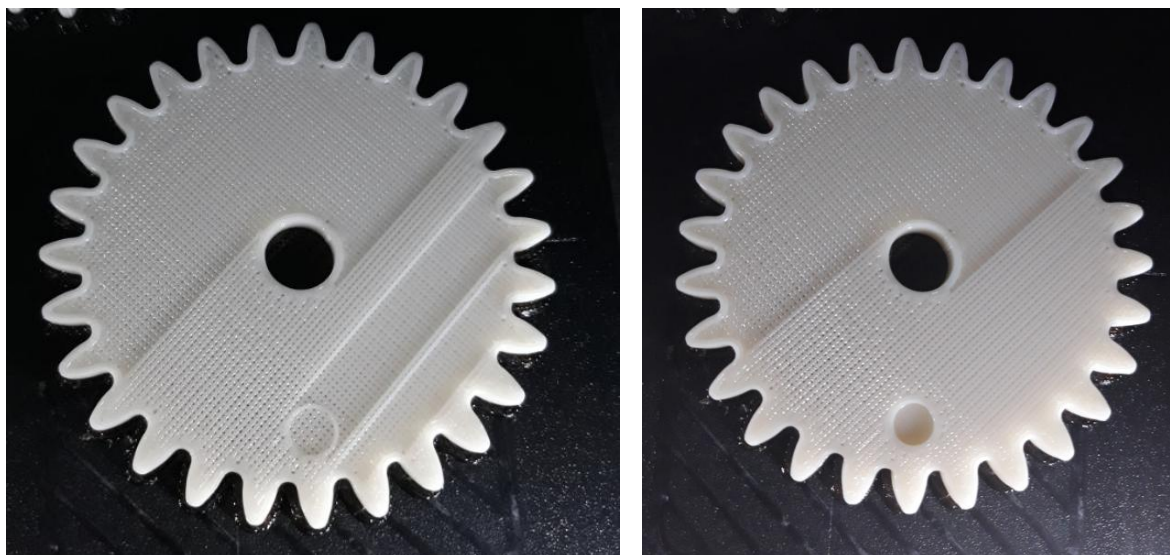
Obr. 4.9 umístění ozubených kol na podložce.

4.1.5 Tisk ozubených kol

Tisk probíhal na školní 3D tiskárně uPrint. Nejprve bylo vytisknuto první kolo pro ověření správnosti a poté bylo vytisknuto zbylých pět kol. Průběh tisku je možné vidět na obr. 4.10 a obr. 4.11. Všech šest ozubených kol bylo vytisknuto za 8 hodin 48 minut a bylo spotřebováno $172,04 \text{ cm}^3$ stavebního materiálu a $21,58 \text{ cm}^3$ podpůrného materiálu.

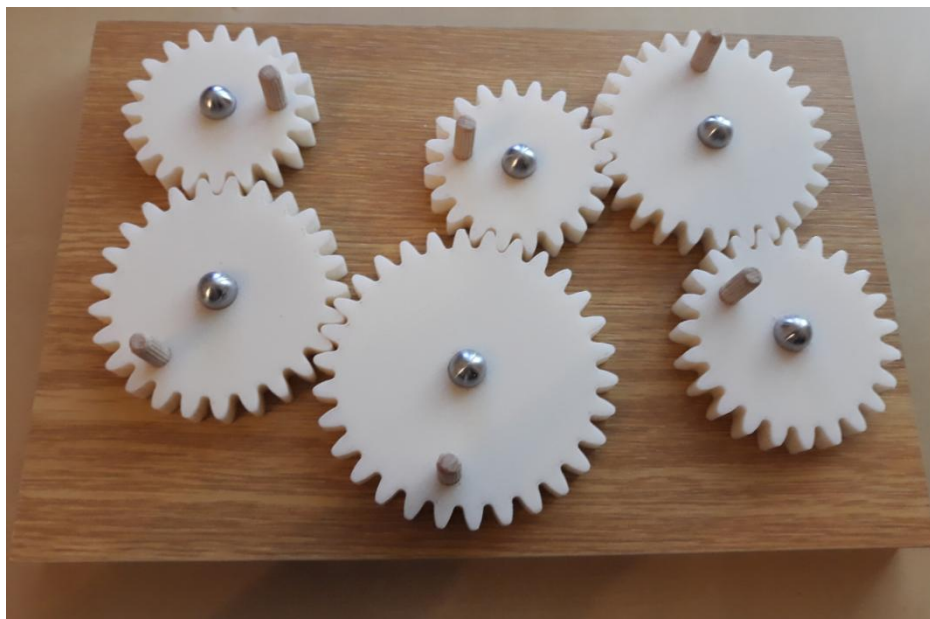


Obr. 4.10 Průběh tisku – tisková hlava.



Obr. 4.11 Průběh tisku – detail vrstvy.

Po vytisknutí byla ozubená kola mechanickým způsobem oddělena od podložky. Před samotným povýrobním opracování se provedlo prvotní sestavení skládačky, jak znázorňuje obr. 4.12.



Obr. 4.12 Prvotní sestavení skládačky.

4.2 Povýrobní opracování

Po vytisknutí ozubených kol nastala fáze povýrobního opracování, kterou je myšleno broušení a tmelení z důvodu zdokonalení hladkosti povrchu a poté nástřik barevného laku pro konečný vzhled.

4.2.1 Broušení a tmelení

Jako první byly plochy ozubených kol broušeny. Tato činnost se prováděla brusným papírem o zrnitosti P400 (obr. 4.13), poté P600 a P800 z důvodu dosažení lepší kvality povrchu pro následné nanášení plniče.



Obr. 4.13 Broušení ploch brusným papírem.

Před prvním nanesením plniče byly plochy ozubených kol očištěny od nečistot a přestříkány základem na plasty ve spreji Motip pro lepší přilnutí plniče na povrch kola, zejména v oblastech zubových mezer. Dalším krokem bylo aplikování univerzálního plniče ve spreji Motip. Plnič byl nanesen nejprve na oblasti zubových mezer (boky ozubených kol) a poté i do průchozích otvorů pro hřídelky. V obou případech byla nanesena jedna vrstva. Po zaschnutí (3 až 4 hod.) byl plnič aplikován na spodní plochy ozubených kol. Po zaschnutí této vrstvy byly plochy broušeny brusnými papíry o stejných zrnitostech jako před aplikováním plniče a znovu přestříkány. Tento postup byl aplikován celkem pětkrát. Po dokonalém zaschnutí poslední vrstvy plniče byly zhotoveny horní plochy ozubených kol stejným postupem, avšak zde se muselo zajistit, aby se plnič nedostal do otvorů pro dřevěné kličky, a proto při nanášení plniče byl v každém otvoru vložen dřevěný kolíček. Na obr. 4.14 je znázorněno ozubené kolo po zaschnutí poslední vrstvy plniče.



Obr. 4.14 Ozubené kolo po aplikaci plniče.

4.2.2 Barvení

Poslední částí povýrobního opracování bylo nanesení barvy. Byl zvolen červený akrylový lak ve spreji Motip. Po očištění povrchů byl proveden nástřik laku stejným způsobem, jako při nástřiku plniče. Po nástřiku a zaschnutí vrstev byla ozubená kola přebroušena jemným brusným papírem o zrnitosti P1200 pro získání co nejhladšího povrchu a poté byl znovu proveden finální nástřik barvy. Obr. 4.15 znázorňuje ozubené kolo po aplikaci barevného laku.



Obr. 4.15 Ozubené kolo po aplikaci barevného laku.

4.3 Sestavení skládačky

Po aplikaci barevného laku zbývalo zalepení dřevěných kliček do ozubených kol, které bylo provedeno lepidlem na dřevo a plasty. Po zalepení všech kliček byla skládačka sestavena. V příloze č. 3 je zobrazen jeden možný postup skládání ozubených kol. Finální model skládačky lze vidět na obr. 4.16.



Obr. 4.16 Finální model skládačky.

5 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

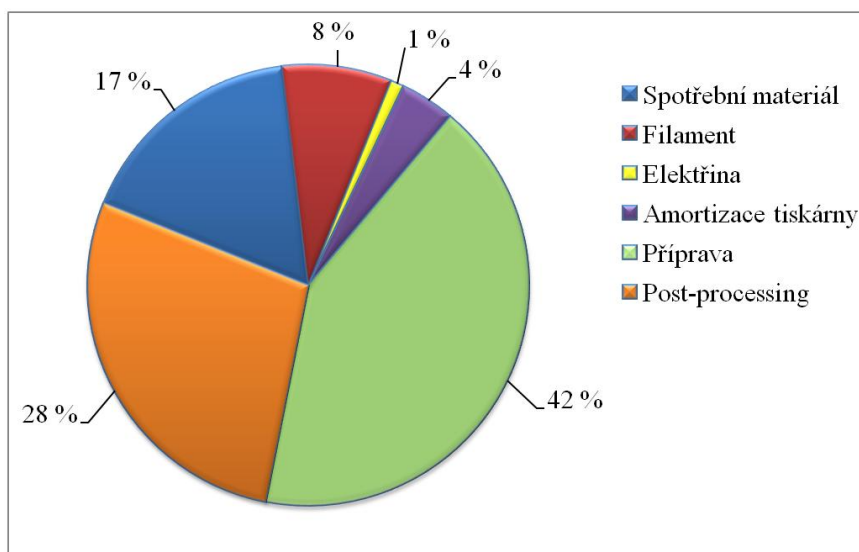
V této kapitole, která je dále rozdělena do tří částí, je uvedeno porovnání různých variant výroby ozubených kol společně s jejich finanční náročností. První část se zabývá výrobou ozubených kol pomocí technologie 3D tisku v několika variantách. Ve druhé části je popsána finanční náročnost výroby ozubených kol pomocí technologie frézování odvalovacím způsobem a technologie obrázení. Poslední část je zaměřena na porovnání použité technologie s technologií frézování a obrázení.

5.1 Výroba pomocí technologie 3D tisku

Ozubená kola byla vytisknuta na školní 3D tiskárně uPrint z aditivního materiálu ABS. Cena výroby jednoho kusu se odvíjí od spotřebovaného podpůrného a stavebního materiálu. Na výrobu ozubených kol bylo spotřebováno 21,58 cm³ podpůrného materiálu a 172,04 cm³ stavebního materiálu. Po sečtení se tedy spotřebovalo celkem 193,62 cm³. Cena materiálu za 1 cm³ je 14,40 Kč, tudíž výrobní cena ozubených kol je 2 788,128 Kč s DPH. Tato cena se navýšila o náklady spojené s povýrobním opracováním, kde jsou zahrnuty náklady na nákup brusných papírů, plniče a barevného laku a dále časové náklady, které se pohybují okolo 5 hodin. Po sečtení všech nákladů je cena za povýrobní opracování cca 1 350 Kč. Konečná cena ozubených kol tedy činí cca 4 138 Kč.

Další variantou byl profesionální 3D tisk ve firmě MCAE Systems s.r.o. Ozubená kola by byla vyrobena na profesionální 3D tiskárně Stratasys Fortus 450 mc. Cena takto vyrobených kol činí 3 330 Kč bez DPH, viz příloha č. 4. Po přičtení základní sazby DPH, která činí 21 %, by výrobní cena dosáhla výše 4 029,30 Kč [26]. I v tomto případě není cena konečná a bylo by nutné přičíst náklady spojené s povýrobním opracováním. Výsledná cena tedy činí cca 5 379 Kč [27].

Třetí varianta byla výroba na domácí 3D tiskárně. V příloze č. 5 je uvedeno nacenění výroby jednotlivých ozubených kol. Cena výroby činí 510,29 Kč. V ceně jsou zahrnuté veškeré výrobní náklady. Na obr. 5.1 je znázorněna grafická závislost těchto nákladů ozubeného kola 1. Z grafické závislosti je patrné, že největší složku ceny tvoří lidská práce (příprava před tiskem, post-processing), samotná výrobní cena kola je pak nižší [28].



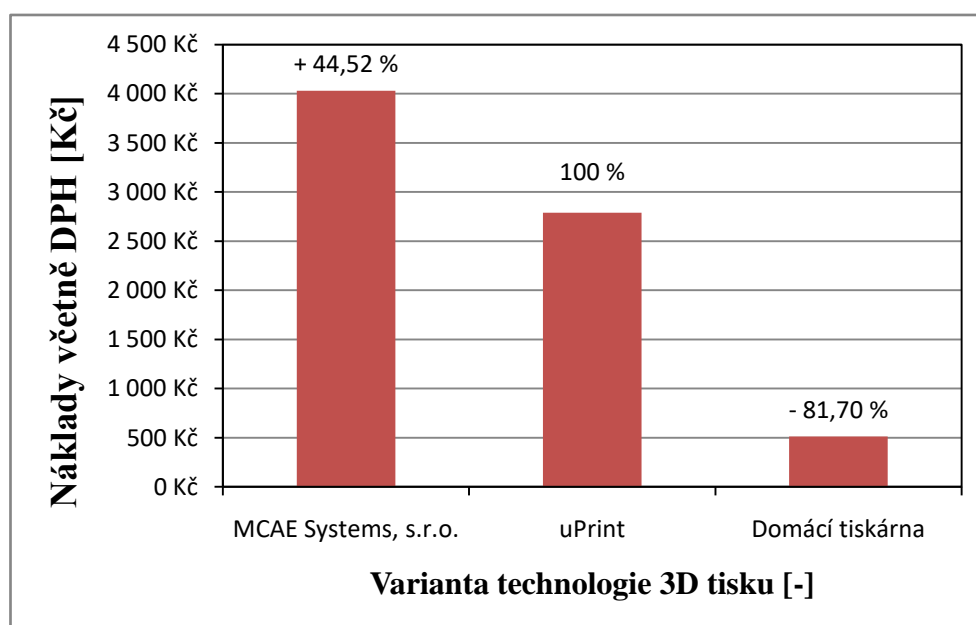
Obr. 5.1 Grafická závislost výrobních nákladů kola 1 [28].

Při uvažování stejných nákladů na povýrobní opracování je celková cena ozubených kol ve výši 1 860,29 Kč.

V tab. 5.1 je vyčíslen přehled výrobních nákladů jednotlivých variant. Obr. 5.2 znázorňuje grafické porovnání těchto variant, kde varianta výroby pomocí 3D tiskárny uPrint je uvažována jako 100%. Je patrné, že výroba pomocí profesionálního 3D tisku je nejdražší, naopak nejlevnější je výroba pomocí domácí 3D tiskárny.

Tab. 5.1 Náklady na výrobu skládačky pomocí technologie 3D tisku.

Skládačka	Profesionální tisk	uPrint	Domácí tiskárna
Celkem	4 029,30 Kč	2 788,128 Kč	510,29 Kč



Obr. 5.2 Grafické znázornění nákladů na výrobu skládačky pomocí technologie 3D tisku.

5.2 Výroba pomocí technologie obrábění

Další možností výroby skládačky byla výroba pomocí technologie obrábění, a to technologií frézování odvalovacím způsobem, nebo technologií obrážením. Ozubená kola by byla vyrobena z materiálu 12 050. V příloze 6 je k nahlédnutí nacenění výroby pomocí těchto technologií.

V tab. 5.2 jsou uvedeny ceny výroby jednotlivých ozubených kol pomocí technologie frézování odvalovacím způsobem. Při výrobě jednoho kusu skládačky je celková cena po přičtení základní sazby DPH 10 201,51 Kč. Pokud by se jednalo o sériovou výrobu 10 kusů, celková cena skládačky za 1 kus by byla 2 520,43 Kč s DPH, tudíž by klesla o 75,29 %. Co se týče výroby 100 kusů, cena by klesla o 78,92 % [29].

Tab. 5.2 Náklady na výrobu pomocí technologie frézování odvalovacím způsobem [29].

Ozubené kolo	1 ks	10 ks	100 ks
1	1 349 Kč	341 Kč	240 Kč
2	1 411 Kč	403 Kč	302 Kč
3	1 499 Kč	491 Kč	390 Kč
4	1 349 Kč	341 Kč	240 Kč
5	1 442 Kč	434 Kč	333 Kč
6	1 381 Kč	373 Kč	272 Kč
Celkem	8 431 Kč	2 083 Kč	1 777 Kč
Celkem s DPH	10 201,51 Kč	2 520,43 Kč	2 150,17 Kč

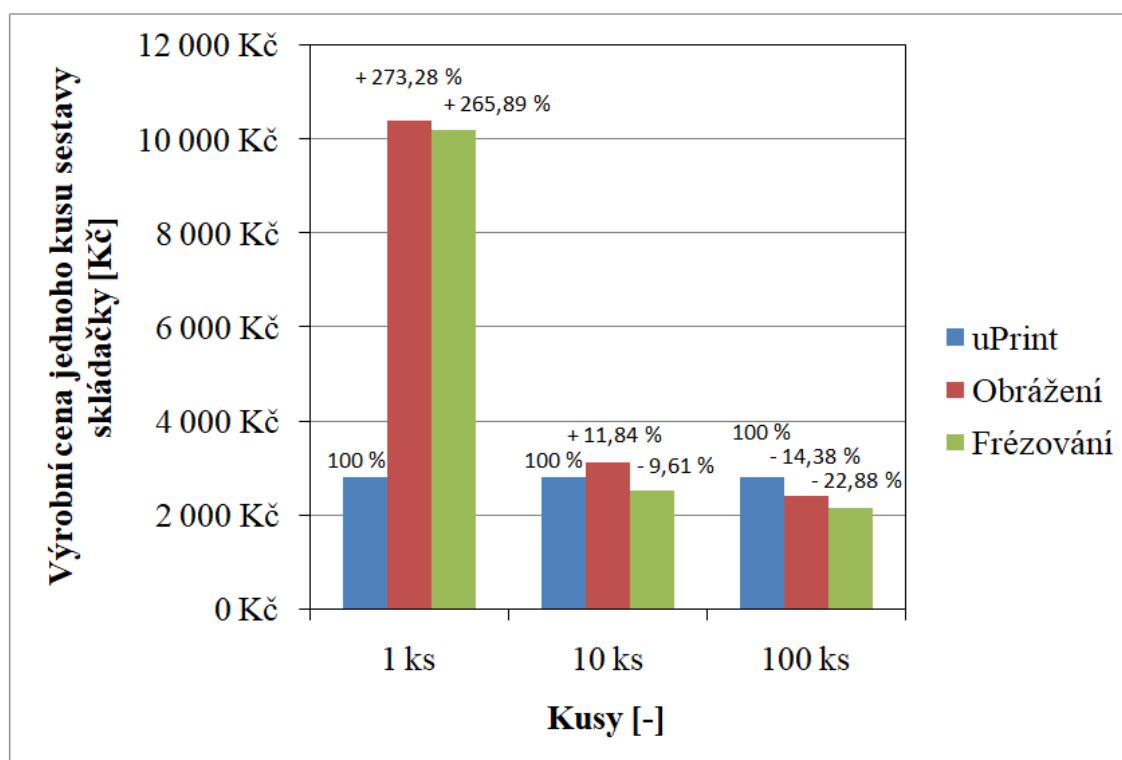
Druhou možností se stala výroba ozubených kol pomocí technologie obrážení. V tab. 5.3 jsou uvedeny ceny výroby jednotlivých ozubených kol pomocí technologie obrážení. V porovnání s technologií frézování je tato metoda o něco dražší, z důvodu navýšení strojního času pro ozubení o cca 30 %. Při výrobě jednoho kusu skládačky se cena navýší o cca 2 % vůči metodě frézování, tudíž na 10 407,21 Kč. Při sériové výrobě 10 kusů cena na jeden kus skládačky opět klesne, a to o 70,04 %. Při výrobě 100 kusů skládačky cena klesne o 77,06 % [29].

Tab. 5.3 Náklady na výrobu pomocí technologie obrážení [29].

Ozubené kolo	1 ks	10 ks	100 ks
1	1 376 Kč	369 Kč	266 Kč
2	1 440 Kč	436 Kč	336 Kč
3	1 529 Kč	531 Kč	433 Kč
4	1 376 Kč	369 Kč	266 Kč
5	1 471 Kč	469 Kč	370 Kč
6	1 409 Kč	403 Kč	302 Kč
Celkem	8 601 Kč	2 577 Kč	1 973 Kč
Celkem s DPH	10 407,21 Kč	3 118,17 Kč	2 387,33 Kč

5.3 Srovnání použité 3D technologie a technologie obrábění

Na obr. 5.3 je zobrazena grafická závislost výrobních nákladů jednoho kusu sestavy skládačky pomocí technologie 3D tisku, technologie frézování a technologie obrázení na počtu vyráběných kusů. Výroba pomocí technologie 3D tisku je uvažována jako 100 %. Je patrné, že při výrobě prototypu jsou výrobní náklady nejdražší za použití technologie obrázení, o něco levněji se jeví technologie frézování. Při použití technologie 3D tisku je výrobní cena nejnižší. Pokud by se jednalo o sériovou výrobu 10 kusů, hodnota výrobních nákladů jednoho kusu skládačky v případě technologie obrázení klesne, avšak pořád je nejdražší. Výrobní cena pomocí technologie frézování se také sníží, ale jeví se již o 9,61 % levněji než varianta 3D tisku. Ohledně sériové výroby 100 kusů, hodnota výrobních nákladů jednoho kusu skládačky u obou variant obrábění opět klesne a nejdražší je již výrobní cena jednoho kusu skládačky pomocí technologie 3D tisku, a to o 14,38 % než technologie obrázení a o 22,88 % než technologie frézování.



Obr. 5.3 Grafická závislost výrobních nákladů použité technologie 3D tisku a technologie obrábění na počtu kusů.

ZÁVĚR

Tato bakalářská práce se zabývala návrhem výroby skládačky z ozubených kol s využitím technologie 3D tisku. V teoretické části byl proveden rozbor skládačky společně s jejím přínosem. Skládačka z ozubených kol je vhodná pro děti od 7 let. Dítě se učí prostorovému vnímání a zlepšuje si zrakovou diferenciaci při rozlišování a porovnávání velikostí jednotlivých ozubených kol.

Dále byly charakterizovány převody ozubenými koly s důrazem na evolventní ozubení a podřezání zubu. Tento jev je nebezpečný, protože dochází k zeslabení zubu v místě největšího ohybového zatížení.

Byla popsána aditivní technologie Rapid Prototyping společně s různými metodami, mezi které patří i metoda Fused Deposition Modeling (FDM), která byla použita na výrobu ozubených kol, které jsou hlavní částí skládačky. Dále zde byly charakterizovány nejpoužívanější materiály pro metodu FDM, mezi které patří např. materiál Polylactic Acid (PLA), materiál Akrylonitril Butadien Styren (ABS), či materiál Polykarbonát (PC). Byly zde uvedeny jejich výhody, nevýhody a oblasti použití.

V praktické části této práce je uveden celý postup výroby skládačky z ozubených kol. Nejprve byl proveden návrh na papír, kde autorka práce vycházela především z fantazie. Po návrhu a výpočtu základních parametrů ozubených kol byl vymodelován návrh skládačky v programu Autodesk Inventor. Po zjištění potřebných vůlí ze vzorků byla ozubená kola vytisknuta na školní 3D tiskárně uPrint z aditivního materiálu ABS. Po vytisknutí bylo provedeno povýrobní opracování, a to ruční broušení a tmelení pro vyhlazení nerovností a následný nástřik barevného laku.

Závěrem této bakalářské práce je provedeno technicko-ekonomické zhodnocení různých variant výroby, a to 3D tisku a technologie obrábění. Profesionální tisk na 3D tiskárně Stratasys Fortus 450 mc vychází o 44,52 % dražší než 3D tisk na školní 3D tiskárně uPrint. Naopak 3D tisk na tiskárně domácí vychází levněji, a to o 81,70 %. Dále je zde porovnání technologie frézování odvalovacím způsobem a technologie obrážení. O cca 2 % na jeden kus skládačky je dražší technologie obrážení z důvodu navýšení strojního času. Jako poslední je uvedena grafická závislost, která porovnává výrobní cenu jednoho kusu skládačky při sériové výrobě. V případě výroby prototypu technologie obrábění je v obou případech dražší o více jak 260 % než 3D tisk na tiskárně uPrint. Pokud by se jednalo o sériovou výrobu 10 kusů, technologie frézování je již o 9,61 % levnější než 3D tisk. V případě výroby 100 kusů jsou obě technologie obrábění výhodnější než 3D tisk.

Závěrem lze konstatovat, že všechny cíle bakalářské práce byly splněny.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. Dara kočárky, *Výběr hračky* [online]. [cit. 2019-05-20]. Dostupné z: <https://www.darababy.cz/vyber-hracky>
2. Studijní-svět.cz, *Hračky - pedagogika* [online]. [cit. 2019-05-20]. Dostupné z: <https://studijni-svet.cz/hracky-pedagogika/>
3. MIKULÁŠEK, Libor. *Přínos skládačky* [osobní konzultace]. 9. dubna 2019 Pedagogicko - psychologická poradna, Brno, Zachova 1 [cit. 2019-04-13].
4. Svět Hardware, *3D tsik: jak funguje FDM/FFF tiskárna* [online]. [cit. 2019-05-20]. Dostupné z: <https://www.svethardware.cz/3d-tisk-jak-funguje-fdm-fff-tiskarna/48457>
5. PÍŠKA, Miroslav. *Speciální technologie obrábění*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2009. ISBN 978-80-214-4025-8.
6. *Materialpro 3D* [online]. [cit. 2019-3-24] Dostupné z: <https://www.materialpro3d.cz/>
7. Levné 3D tiskárny, *Tiskové materiály* [online]. [cit. 2019-03-24]. Dostupné z: <https://www.levne3dtiskarny.cz/cs/content/13-tiskove-materialy>
8. MIČKAL, Karel. *Strojnictví: části strojů*. Praha: Sobotáles, 1995, 220 s. : il. ISBN 80-85920-01-8
9. SHIGLEY, Joseph Edward, Charles R. MISCHKE a Richard G. BUDYNAS, VLK, Miloš, ed. *Konstruování strojních součástí*. V Brně: VUTIUM, 2010. Překlady vysokoškolských učebnic. ISBN 978-80-214-2629-0.
10. FRISCHHERZ, Adolf a Herbert PIEGLER. *Technologie zpracování kovů*. 4. vyd. Praha: SNTL, c2001. ISBN 80-902655-1-0.
11. *Měření ozubených kol* [online]. [cit. 2019-02-18]. Dostupné z: <http://files.strojarna.webnode.cz/200000123-84a8985a26/z%C3%A1kladn%C3%AD%20rozte%C4%8D.pdf>
12. *Podřezání zubů a korekce ozubení* [online]. [cit. 2019-02-18]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/6805425-Podrezani-zubu-a-korekce-ozubeni.html>
13. MITcalc. *Evolventní ozubení* [online]. [cit. 2019-02-18]. Dostupné z: http://www.mitcalc.com/doc/gear1/help/cz/gear_theory.htm
14. *Aditivní technologie* [online]. [cit. 2019-3-23] Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/podklady/sto_bak/cv_STV_04_Aditivni_tecnologie_metody_Rapid_Prototyping.pdf
15. 3D-tisk.cz, *Encyklopedie 3D tisku* [online]. [cit. 2019-3-23] Dostupné z: <https://www.3d-tisk.cz/aktivita/rubrika/3d-wiki/>
16. TRIDER, *Materiály k 3D tisku* [online]. [cit. 2019-3-23] Dostupné z: <https://trider.cz/materialy-k-3d-tisku>

17. *Reverse engineering* [online]. [cit. 2019-3-23] Dostupné z: <http://3dlaboratory.cz/reverse-engineering/>
18. VIK Miroslav, *3D technologie v rámci muzejní praxe* [online]. Hradec Králové, 2015 [cit. 2019-3-23] Dostupné z: <https://theses.cz/id/dvlnmok/STAG83097.pdf>
Bakalářská práce. Univerzita Hradec Králové, Filozofická fakulta, Katedra pomocných věd historických a archivnictví. Vedoucí práce Mgr. Lenka Chadimová
19. JAKEŠ Jakub, *Aditivní technologie výroby* [online]. Ostrava, 2016 [cit. 2019-3-23] Dostupné z: https://dspace.vsb.cz/bitstream/handle/10084/114746/JAK0059_FS_B2341_2303R002_2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y
Bakalářská práce. VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra obrábění, montáže a strojírenské metrologie. Vedoucí práce doc. Ing.et Ing.Mgr. Jana Petřů, Ph.D.
20. PAULOVICĚ Jakub, *Využití technologie Rapid Prototyping pro výrobu slévárenských modelů* [online]. Ostrava, 2015 [cit. 2019-3-23] Dostupné z: https://dspace.vsb.cz/bitstream/handle/10084/109280/PAU0016_FMMI_B3923_3911R034_2015.pdf?sequence=1&isAllowed=n
Bakalářská práce. Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, Fakulta metalurgie a materiálového inženýrství, Katedra materiálů a technologií pro automobily. Vedoucí práce Ing. Jaroslav Beňo, Ph.D.
21. F1NEWS.cz, *Rychlá výroba prototypů* [online]. [cit. 2019-3-23] Dostupné z: <https://f1news.autoroad.cz/technika/45427-rychla-vyroba-prototypu-klic-k-intenzivnim-aerodynamickym-programum-v-f1-video>
22. MK-Eshop, *Přehled materiálů pro 3D tisk* [online]. [cit. 2019-3-24] Dostupné z: <https://mk-eshop.cz/info/prehled-a-popis-materialu-pro-3d-tisk>
23. EKO-PLASTY.CZ, *Informace o bioplastu PLA* [online]. [cit. 2019-3-24] Dostupné z: <https://www.eko-plasty.cz/bioplasty-pla/>
24. PRUSA RESEARCH by Josef Prusa, *Průvodce materiály* [online]. [cit. 2019-3-24] Dostupné z: <https://www.prusa3d.cz/materialy/>
25. *Rapid Prototyping Processes and Operations* [online]. [cit. 2019-3-24] Dostupné z: http://portal.unimap.edu.my/portal/page/portal30/Lecture%20Notes/KEJURUTERAAN_MEKATRONIK/Semester%202%20Sidang%20Akademik%2020112012/ENT%20244%20Manufacturing%20Engineering%20Processes/Lecture%20Note/Rapid%20Prototyping.pdf
26. JAK PODNIKAT, *sazby DPH* [online]. [cit. 2019-5-15] Dostupné z: <http://www.jakpodnikat.cz/dph-sazby.php>
27. SVOBODA, Miroslav. *Nacenění* [e-mailová komunikace]. 15. května 2019 [cit. 2019- 05-15].

28. RYGL, Michal. *Nacenění* [e-mailová komunikace]. 11. května 2019 [cit. 2019- 05-14].
29. CIKÁNEK, Radoslav. *Nacenění* [e-mailová komunikace]. 14. května 2019 [cit. 2019- 05-14].

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Zkratka	Popis
2D	dvourozměrný
3D	trojrozměrný
ABS	Akrylonitril Butadien Styren
ABS+	Akrylonitril Butadien Styren
CAD	Computer Aided Design
CNC	Computer Numeric Control
CO₂	Oxid uhličitý
DMLS	Direct Metal Laser Sintering
DPH	Daň z přidané hodnoty
FDM	Fused Deposition Modeling
GPa	Gigapascal
Kč	Koruna česká
LOM	Laminated Object Manufacturing
MJM	Multi Jet Modeling
MPa	Megapascal
PA	Nylon
PC	Polykarbonát
PET	Polyetylén Tereftalát
PET-G	Polyetylén Tereftalát - glykol
PLA	Polylactic Acid
RP	Rapid Prototyping
SGC	Solid Ground Cutting
SLA	Stereolitografie
SLS	Selective Laser Sintering
UV	Ultra Violet

Symbol	Jednotka	Popis
c_a	[mm]	hlavová vůle
d	[mm]	průměr roztečné kružnice
d_a	[mm]	průměr hlavové kružnice
d_b	[mm]	průměr základní kružnice
d_f	[mm]	průměr patní kružnice
e	[mm]	zubová mezera
h	[mm]	výška zubu
h_a	[mm]	výšku hlavy zubu
h_f	[mm]	výška paty zubu
m	[mm]	modul
p	[mm]	rozteč
s	[mm]	tloušťka zubu
x	[mm]	korekční součinitel
z_t	[-]	teoretický mezní počet zubů
α	[°]	úhel záběru

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1: Výpočty základních parametrů

Příloha 2: Výpočty ozubených kol 2-6

Příloha 3: Možné sestavení skládačky

Příloha 4: Nacnění výroby na profesionální 3D tiskárně

Příloha 5: Nacnění výroby na domácí 3D tiskárně

Příloha 6: Nacnění výroby pomocí technologie frézování a obrázení

PŘÍLOHA 1

Výška hlavy zubu h_a	$h_a = m$ [mm]
Hlavová vůle c_a	$c_a = 0,25 \cdot m$ [mm]
Výška paty zubu h_f	$h_f = m + c_a = 1,25 \cdot m$ [mm]
Výška zubu h	$h_a + h_f = 2,25 \cdot m$ [mm]
Průměr roztečné kružnice d	$d = z \cdot m$ [mm]
Průměr hlavové kružnice d_a	$d_a = d + 2 \cdot h_a = (z + 2) \cdot m$ [mm]
Průměr patní kružnice d_f	$d_f = d - 2 \cdot h_f = (z - 2,5) \cdot m$ [mm]
Rozteč p	$p = \pi \cdot m$ [mm]
Tloušťka zubu s	$s = \frac{p}{2} = \frac{\pi \cdot m}{2}$ [mm]
Šířka zubové mezery e	$e = s = \frac{\pi \cdot m}{2}$ [mm]

PŘÍLOHA 2

Ozubené kolo 2

$$m = 2,5 \text{ mm}$$

$$\text{návrh } d_2 = 62 \text{ mm}$$

$$z_2 = \frac{d_2}{m} = \frac{62}{2,5} = 24,8 \rightarrow z_{2_real} = 25 \rightarrow d_{2_real} = z_{2_real} \cdot m = 25 \cdot 2,5 = 62,5 \text{ mm}$$

$$h_{a_2} = m = 2,5 \text{ mm}$$

$$h_{f_2} = 1,25 \cdot m = 1,25 \cdot 2,5 = 3,125 \text{ mm}$$

$$h_2 = h_{a_2} + h_{f_2} = 2,5 + 3,125 = 5,625 \text{ mm}$$

$$d_{a_2} = d_{2_real} + (2 \cdot m) = 62,5 + (2 \cdot 2,5) = 67,5 \text{ mm}$$

$$d_{f_2} = d_{2_real} - (2 \cdot h_{f_2}) = 62,5 - (2 \cdot 3,125) = 56,25 \text{ mm}$$

Ozubené kolo 3

$$m = 2,5 \text{ mm}$$

$$\text{návrh } d_3 = 74 \text{ mm}$$

$$z_3 = \frac{d_3}{m} = \frac{74}{2,5} = 29,6 \rightarrow z_{3_real} = 30 \rightarrow d_{3_real} = z_{3_real} \cdot m = 30 \cdot 2,5 = 75 \text{ mm}$$

$$h_{a_3} = m = 2,5 \text{ mm}$$

$$h_{f_3} = 1,25 \cdot m = 1,25 \cdot 2,5 = 3,125 \text{ mm}$$

$$h_3 = h_{a_3} + h_{f_3} = 2,5 + 3,125 = 5,625 \text{ mm}$$

$$d_{a_3} = d_{3_real} + (2 \cdot m) = 75 + (2 \cdot 2,5) = 80 \text{ mm}$$

$$d_{f_3} = d_{3_real} - (2 \cdot h_{f_3}) = 75 - (2 \cdot 3,125) = 68,75 \text{ mm}$$

Ozubené kolo 4

$$m = 2,5 \text{ mm}$$

$$\text{návrh } d_4 = 48 \text{ mm}$$

$$z_4 = \frac{d_4}{m} = \frac{48}{2,5} = 19,2 \rightarrow z_{4_real} = 20 \rightarrow d_{4_real} = z_{4_real} \cdot m = 20 \cdot 2,5 = 50 \text{ mm}$$

$$h_{a_4} = m = 2,5 \text{ mm}$$

$$h_{f_4} = 1,25 \cdot m = 1,25 \cdot 2,5 = 3,125 \text{ mm}$$

$$h_4 = h_{a_4} + h_{f_4} = 2,5 + 3,125 = 5,625 \text{ mm}$$

$$d_{a_4} = d_{4_real} + (2 \cdot m) = 50 + (2 \cdot 2,5) = 55 \text{ mm}$$

$$d_{f_4} = d_{4_real} - (2 \cdot h_{f_4}) = 50 - (2 \cdot 3,125) = 43,75 \text{ mm}$$

Ozubené kolo 5

$$m = 2,5 \text{ mm}$$

$$\text{návrh } d_5 = 67 \text{ mm}$$

$$z_5 = \frac{d_5}{m} = \frac{67}{2,5} = 26,8 \rightarrow z_{5_real} = 27 \rightarrow d_{5_real} = z_{5_real} \cdot m = 27 \cdot 2,5 = 67,5 \text{ mm}$$

$$h_{a_5} = m = 2,5 \text{ mm}$$

$$h_{f_5} = 1,25 \cdot m = 1,25 \cdot 2,5 = 3,125 \text{ mm}$$

$$h_5 = h_{a_5} + h_{f_5} = 2,5 + 3,125 = 5,625 \text{ mm}$$

$$d_{a_5} = d_{5_real} + (2 \cdot m) = 67,5 + (2 \cdot 2,5) = 72,5 \text{ mm}$$

$$d_{f_5} = d_{5_real} - (2 \cdot h_{f_5}) = 67,5 - (2 \cdot 3,125) = 61,25 \text{ mm}$$

Ozubené kolo 6

$$m = 2,5 \text{ mm}$$

$$\text{návrh } d_6 = 57 \text{ mm}$$

$$z_6 = \frac{d_6}{m} = \frac{57}{2,5} = 22,8 \rightarrow z_{6_real} = 23 \rightarrow d_{6_real} = z_{6_real} \cdot m = 23 \cdot 2,5 = 57,5 \text{ mm}$$

$$h_{a_6} = m = 2,5 \text{ mm}$$

$$h_{f_6} = 1,25 \cdot m = 1,25 \cdot 2,5 = 3,125 \text{ mm}$$

$$h_6 = h_{a_6} + h_{f_6} = 2,5 + 3,125 = 5,625 \text{ mm}$$

$$d_{a_6} = d_{6_real} + (2 \cdot m) = 57,5 + (2 \cdot 2,5) = 62,5 \text{ mm}$$

$$d_{f_6} = d_{6_real} - (2 \cdot h_{f_6}) = 57,5 - (2 \cdot 3,125) = 51,25 \text{ mm}$$

PŘÍLOHA 3



PŘÍLOHA 4

Dobrý den,

Posílám nacenění na Vaši poptávku tisku 6 ti ozubených koleček. Celková cena za tisk všech koleček na profesionální tiskárně Stratasys Fortus 450 mc by byla 3 330,- Kč bez DPH z materiálu ABS-M30.

S pozdravem



Miroslav Svoboda

Rapid Prototyping Parts Sales

☎ +420 549 128 820

✉ miroslav.svoboda@mcae.cz

📍 MCAE Systems, s.r.o.

Knínická 1771/6 | 664 34 Kuřim | Czech Republic

🌐 www.mcae.cz

PŘÍLOHA 5

Hlavní informace zakázky

Zákazník	Tereza Katrincová
Datum	11.05.2019
Název modelu	Kolo 1

Základní údaje tisku

Tiskárna	Infitary M508	
Filament	Gembird ABS	
Váha	12 g	4,9 m
Čas tisku	1:03 hh:mm	1,1 h

Příprava před tiskem

Příprava modelu (Oprava sítí, modelování)	0 min
Slicing	5 min
Výměna materiálu	5 min
Příprava podložky a Start tisku	5 min
Celkem	15 min

Post-processing

Oddělování od podložky	5 min
Sundávání podpor	0 min
Dokončovací operace	5 min
Celkem	10 min

Dodatečné náklady

Podložka	10 Kč
----------	-------

Celková cena

Filament	4,80 Kč
Elektřina	0,52 Kč
Amortizace tiskárny	2,45 Kč
Příprava	25,00 Kč
Post-processing	16,67 Kč
Spotřební materiál	10,00 Kč
Čistá cena	59,43 Kč
Cena pro případnou reklamaci	65,38 Kč

Shrnutí ceny

Marže	125%
Doporučená cena	81,72 Kč

Shrnutí

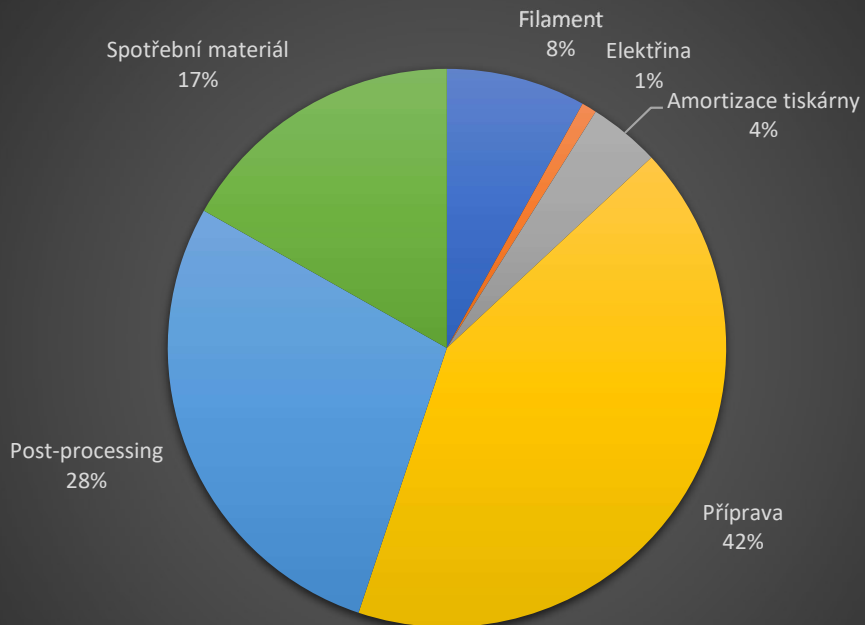
Gembird ABS

12 g || filament

1,1 h || čas tisku

81,72 Kč || *Doporučená cena*

Celková cena dílu



■ Filament ■ Elektřina ■ Amortizace tiskárny ■ Příprava ■ Post-processing ■ Spotřební materiál

Hlavní informace zakázky

Zákazník	Tereza Katrincová
Datum	11.05.2019
Název modelu	Kolo 2

Základní údaje tisku

Tiskárna	Infitary M508	
Filament	Gembird ABS	
Váha	19 g	7,8 m
Čas tisku	1:32 hh:mm	1,5 h

Příprava před tiskem

Příprava modelu (Oprava sítí, modelování)	0 min
Slicing	5 min
Výměna materiálu	5 min
Příprava podložky a Start tisku	5 min
Celkem	15 min

Post-processing

Oddělování od podložky	5 min
Sundávání podpor	0 min
Dokončovací operace	5 min
Celkem	10 min

Dodatečné náklady

Podložka	10 Kč
----------	-------

Celková cena

Filament	6,65 Kč
Elektřina	0,76 Kč
Amortizace tiskárny	3,58 Kč
Příprava	25,00 Kč
Post-processing	16,67 Kč
Spotřební materiál	10,00 Kč
Čistá cena	62,65 Kč
Cena pro případnou reklamaci	68,91 Kč

Shrnutí ceny

Marže	125%
Doporučená cena	86,14 Kč

Shrnutí

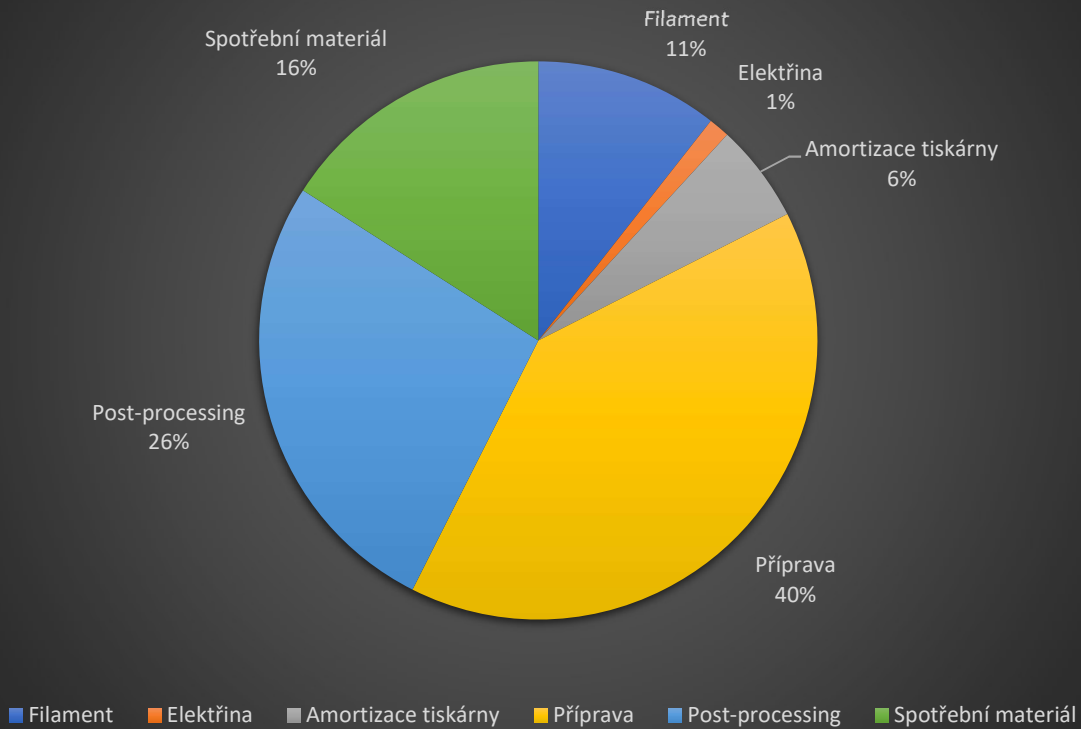
Gembird ABS

19 g || filament

1,5 h || čas tisku

86,14 Kč || **Doporučená cena**

Celková cena dílu



Hlavní informace zakázky

Zákazník	Tereza Katrincová
Datum	11.05.2019
Název modelu	Kolo 3

Základní údaje tisku

Tiskárna	Infitary M508	
Filament	Gembird ABS	
Váha	23 g	9,5 m
Čas tisku	2:07 hh:mm	2,1 h

Příprava před tiskem

Příprava modelu (Oprava sítí, modelování)	0 min
Slicing	5 min
Výměna materiálu	5 min
Příprava podložky a Start tisku	5 min
Celkem	15 min

Post-processing

Oddělování od podložky	5 min
Sundávání podpor	0 min
Dokončovací operace	5 min
Celkem	10 min

Dodatečné náklady

Podložka	10 Kč
----------	-------

Celková cena

Filament	8,05 Kč
Elektřina	1,04 Kč
Amortizace tiskárny	4,94 Kč
Příprava	25,00 Kč
Post-processing	16,67 Kč
Spotřební materiál	10,00 Kč
Čistá cena	65,70 Kč
Cena pro případnou reklamaci	72,27 Kč

Shrnutí ceny

Marže	125%
Doporučená cena	90,34 Kč

Shrnutí

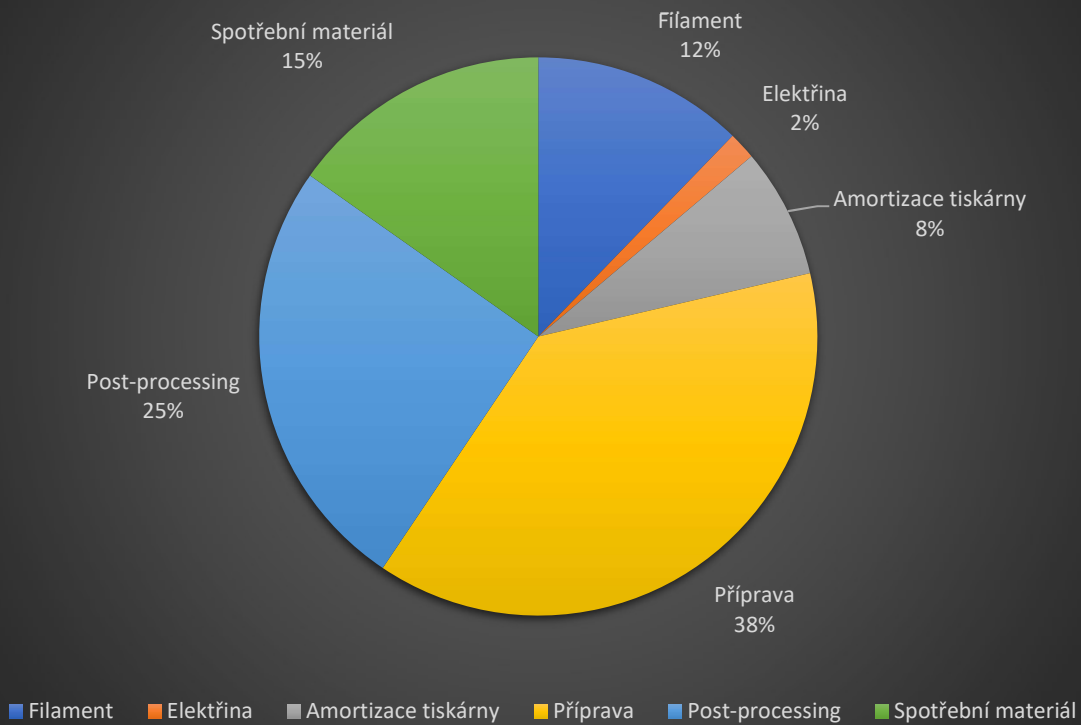
Gembird ABS

23 g || filament

2,1 h || čas tisku

90,34 Kč || Doporučená cena

Celková cena dílu



Hlavní informace zakázky

Zákazník	Tereza Katrincová
Datum	11.05.2019
Název modelu	Kolo 4

Základní údaje tisku

Tiskárna	Infitary M508	
Filament	Gembird ABS	
Váha	12 g	4,9 m
Čas tisku	1:03 hh:mm	1,1 h

Příprava před tiskem

Příprava modelu (Oprava sítí, modelování)	0 min
Slicing	5 min
Výměna materiálu	5 min
Příprava podložky a Start tisku	5 min
Celkem	15 min

Post-processing

Oddělování od podložky	5 min
Sundávání podpor	0 min
Dokončovací operace	5 min
Celkem	10 min

Dodatečné náklady

Podložka	10 Kč
----------	-------

Celková cena

Filament	4,80 Kč
Elektřina	0,52 Kč
Amortizace tiskárny	2,45 Kč
Příprava	25,00 Kč
Post-processing	16,67 Kč
Spotřební materiál	10,00 Kč
Čistá cena	59,43 Kč
Cena pro případnou reklamaci	65,38 Kč

Shrnutí ceny

Marže	125%
Doporučená cena	81,72 Kč

Shrnutí

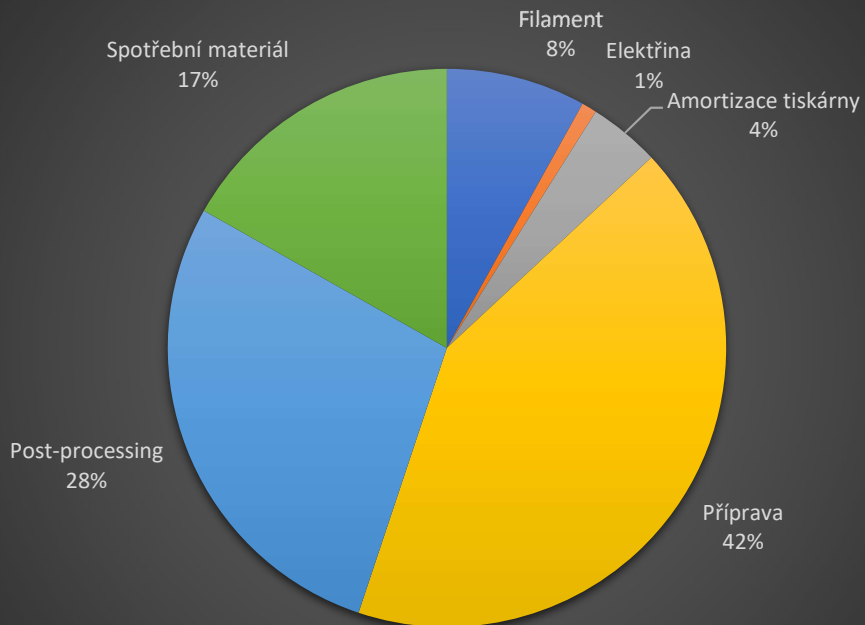
Gembird ABS

12 g || filament

1,1 h || čas tisku

81,72 Kč || *Doporučená cena*

Celková cena dílu



■ Filament ■ Elektřina ■ Amortizace tiskárny ■ Příprava ■ Post-processing ■ Spotřební materiál

Hlavní informace zakázky

Zákazník	Tereza Katrincová
Datum	11.05.2019
Název modelu	Kolo 5

Základní údaje tisku

Tiskárna	Infitary M508	
Filament	Gembird ABS	
Váha	19 g	7,8 m
Čas tisku	1:45 hh:mm	1,8 h

Příprava před tiskem

Příprava modelu (Oprava sítí, modelování)	0 min
Slicing	5 min
Výměna materiálu	5 min
Příprava podložky a Start tisku	5 min
Celkem	15 min

Post-processing

Oddělování od podložky	5 min
Sundávání podpor	0 min
Dokončovací operace	5 min
Celkem	10 min

Dodatečné náklady

Podložka	10 Kč
----------	-------

Celková cena

Filament	6,65 Kč
Elektřina	0,86 Kč
Amortizace tiskárny	4,08 Kč
Příprava	25,00 Kč
Post-processing	16,67 Kč
Spotřební materiál	10,00 Kč
Čistá cena	63,26 Kč
Cena pro případnou reklamaci	69,59 Kč

Shrnutí ceny

Marže	125%
Doporučená cena	86,99 Kč

Shrnutí

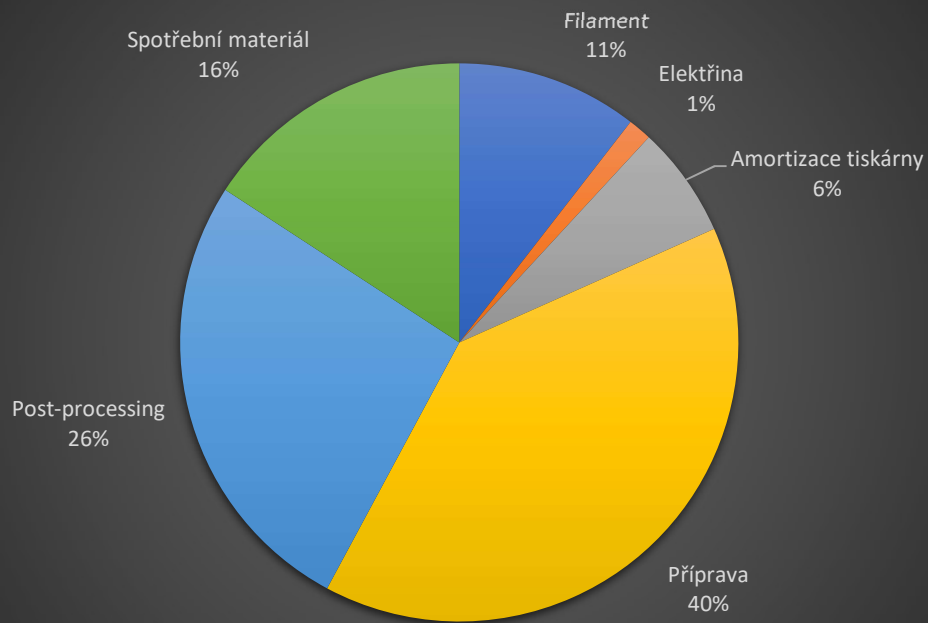
Gembird ABS

19 g || filament

1,8 h || čas tisku

86,99 Kč || Doporučená cena

Celková cena dílu



■ Filament ■ Elektřina ■ Amortizace tiskárny ■ Příprava ■ Post-processing ■ Spotřební materiál

Hlavní informace zakázky

Zákazník	Tereza Katrincová
Datum	11.05.2019
Název modelu	Kolo 6

Základní údaje tisku

Tiskárna	Infitary M508	
Filament	Gembird ABS	
Váha	15 g	6,2 m
Čas tisku	1:19 hh:mm	1,3 h

Příprava před tiskem

Příprava modelu (Oprava sítí, modelování)	0 min
Slicing	5 min
Výměna materiálu	5 min
Příprava podložky a Start tisku	5 min
Celkem	15 min

Post-processing

Oddělování od podložky	5 min
Sundávání podpor	0 min
Dokončovací operace	5 min
Celkem	10 min

Dodatečné náklady

Podložka	10 Kč
----------	-------

Celková cena

Filament	5,25 Kč
Elektřina	0,65 Kč
Amortizace tiskárny	3,07 Kč
Příprava	25,00 Kč
Post-processing	16,67 Kč
Spotřební materiál	10,00 Kč
Čistá cena	60,64 Kč
Cena pro případnou reklamaci	66,70 Kč

Shrnutí ceny

Marže	125%
Doporučená cena	83,38 Kč

Shrnutí

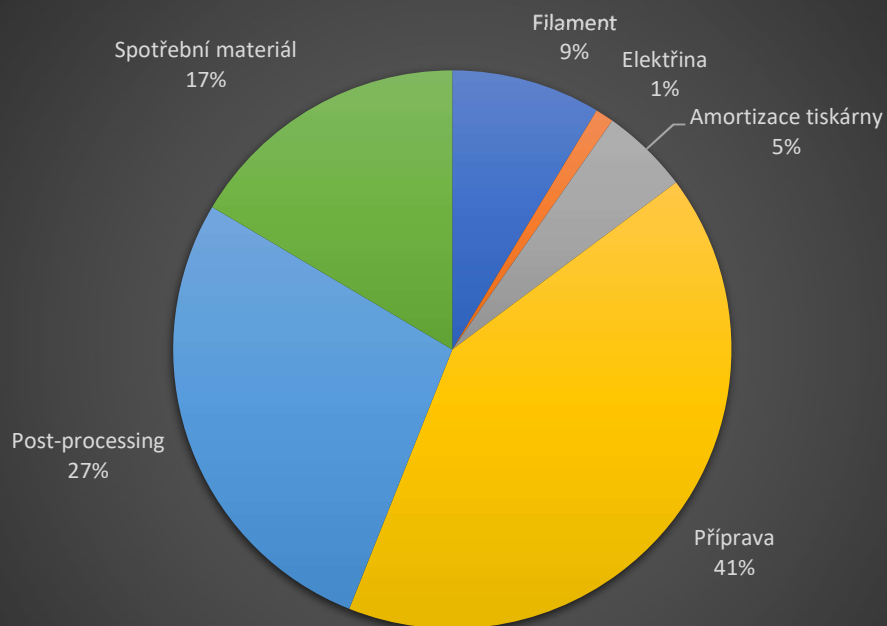
Gembird ABS

15 g || filament

1,3 h || čas tisku

83,38 Kč || Doporučená cena

Celková cena dílu



Filament Elektřina Amortizace tiskárny Příprava Post-processing Spotřební materiál

PŘÍLOHA 6



S. R. O.
KOVOOBRÁBĚNÍ, VÝROBA OZUBENÍ

PROVOZOVNA :

BONDY,s.r.o.
Komenského 591
664 42 Modřice

Tel. : + 420 547 216 062
FAX : + 420 547 216 560
www.bondy.cz
e-mail bondy@bondy.cz
Bank.spojení ČSOB 203668 / 0300 (CZK)
Bank.spojení ČSOB 107775084 / 0300 (EUR)

Firma BONDY je zapsána v Obchodním rejstříku u Krajského soudu v Brně , oddíl C , vložka 6702

Veškerý písemný a telefonní styk uskutečňujte pouze s provozovnou !!!

K rukám paní Terezy Katrincové

K poptávce č. email 14.05.2019

Cenová nabídka číslo 14/05/2019

Dobrý den, na základě Vaší poptávky nabízíme Vámi poptané dílce.
Cena je za kompletní zhotovení dle dodaných podkladů, mat.12050 (C45) bez TPZ,
polotovar soustružen hotově v IT8, ozubení frézované hotově.

Variantně nabízíme ozubení i obrážené (zvyšuje strojní čas pro ozubení o cca 30%), na
1 ks zvýší tato technologie cenu o cca 2%, na 10 ks cca 8% a při dávce 100 ks je cena
dílce vyšší o 11%)

Nabídkové parametry a jmenovité rozměry dílců jsou v příloze, pokud neurčíte jinak,
bude tolerance hlavových průměrů Da (0/-0,05) a tolerance míry přes zuby (-0,05/-
0,07). Ostatní dle přílohy.

a)Pozice 1) m=2,5 z=20 – kompletní zhotovení

S ozubením frézovaným: 1 ks á 1 349 Kč, 10 ks á 341 Kč/ks, 100 ks á 240 Kč/ks

S ozubením obráženým: 1 ks á 1 376 Kč, 10 ks á 369 Kč/ks, 100 ks á 266 Kč/ks

b)Pozice 2) m=2,5 z=25 – kompletní zhotovení

S ozubením frézovaným: 1 ks á 1 411 Kč, 10 ks á 403 Kč/ks, 100 ks á 302 Kč/ks

S ozubením obráženým: 1 ks á 1 440 Kč, 10 ks á 436 Kč/ks, 100 ks á 336 Kč/ks

c)Pozice 3) m=2,5 z=30 – kompletní zhotovení

S ozubením frézovaným: 1 ks á 1 499 Kč, 10 ks á 491 Kč/ks, 100 ks á 390 Kč/ks

S ozubením obráženým: 1 ks á 1 529 Kč, 10 ks á 531 Kč/ks, 100 ks á 433 Kč/ks

d)Pozice 4) m=2,5 z=20 – kompletní zhotovení

S ozubením frézovaným: 1 ks á 1 349 Kč, 10 ks á 341 Kč/ks, 100 ks á 240 Kč/ks

S ozubením obráženým: 1 ks á 1 376 Kč, 10 ks á 369 Kč/ks, 100 ks á 266 Kč/ks

e)Pozice 5) m=2,5 z=27 – kompletní zhotovení

S ozubením frézovaným: 1 ks á 1 442 Kč, 10 ks á 434 Kč/ks, 100 ks á 333 Kč/ks

S ozubením obráženým: 1 ks á 1 471 Kč, 10 ks á 469 Kč/ks, 100 ks á 370 Kč/ks

f)Pozice 6) m=2,5 z=23 – kompletní zhotovení

S ozubením frézovaným: 1 ks á 1 381 Kč, 10 ks á 373 Kč/ks, 100 ks á 272 Kč/ks

S ozubením obráženým: 1 ks á 1 409 Kč, 10 ks á 403 Kč/ks, 100 ks á 302 Kč/ks

Termín: 3 – 6 týdnů dle velikosti výrobní dávky

Na objednávce uvádějte číslo nabídky.

Výše uvedené ceny platí jen při objednání všech poptávaných kusů a jsou bez DPH. Platba hotově při převzetí, nebo předem zálohovou fakturou. Zboží nelze vydat, pokud jsou starší faktury po splatnosti. Pokud nabídka obsahuje i termín, je tento vždy s výhradou meziprodeje kapacity. Platnost nabídky-30 dní.

V Modřicích dne 14.05.2019

Ing.Radoslav Cikánek

Fa.Bondy s.r.o.

Tel.547 216 552

Mob.731 507 751

Fax.547 216 560

Email : cikane**k**@bondy.cz

