



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA PODNIKATELSKÁ
FACULTY OF BUSINESS AND MANAGEMENT

ÚSTAV MANAGEMENTU
INSTITUTE OF MANAGEMENT

VYUŽITÍ MODERNÍCH TECHNOLOGIÍ PRO NÁVRH VÝROBY DĚTSKÉ SKLÁDAČKY

USAGE OF MODERN TECHNOLOGIES FOR THE DESIGN OF THE PRODUCTION
OF CHILDREN'S PUZZLE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Eva Sedláková

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

doc. Ing. Josef Sedlák, Ph.D.

BRNO 2017

Abstrakt

Bakalářská práce se zabývá návrhem konstrukce a výroby dětské skládačky s využitím moderních metod a technologií. Charakterizuje skládačku jako hračku a její využití, popisuje aditivní technologii Rapid Prototyping, komerčně dostupné aditivní materiály a jejich aplikační využití. V praktické části je popsán návrh jednotlivých dílů skládačky v parametrickém modeláři SolidEdge a jejich výroba na tiskárně typu RepRap Prusa i3. V poslední části bakalářské práce proběhlo technicko-ekonomické zhodnocení.

Abstract

The bachelor thesis deals with the design and production of children's puzzle using modern methods and technologies. It characterizes the puzzle as a toy and its use, it as well describes the additive Rapid Prototyping technology, commercially available additive materials and their applications. The practical part describes the design of the individual parts of the puzzle in the SolidEdge parameter model and their production on a repro Prusa i3 printer. The last part of the bachelor thesis concerns with a technical- economic evaluation.

Klíčová slova

SolidEdge, Rapid Prototyping, RepRap, hračka

Key words

SolidEdge, Rapid Prototyping, RepRap, toy

Bibliografická citace

SEDLÁKOVÁ, E. *Využití moderních technologií pro návrh výroby dětské skládačky*.
Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta podnikatelská, 2017. 62 s. Vedoucí
bakalářské práce doc. Ing. Josef Sedlák, Ph.D.

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že předložená bakalářská práce je původní a zpracovala jsem ji samostatně. Prohlašuji, že citace použitých pramenů je úplná, že jsem ve své práci neporušila autorská práva (ve smyslu Zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském a o právech souvisejících s právem autorským).

V Brně dne 18. května 2017

podpis studenta

Poděkování

Ráda bych poděkovala panu doc. Ing. Josefovi Sedlákov, Ph.D. za vedení bakalářské práce a cenné rady. Panu Ing. Oskaru Zemčíkovi, Ph.D. za výrobu skládaček a mé rodině, kamarádům za podporu při psaní této práce.

OBSAH

ÚVOD.....	9
1 VYMEZENÍ PROBLÉMU A CÍLE PRÁCE	10
1.1 Vymezení problému	10
1.2 Cíle práce	10
2 TEORETICKÁ VÝCHODISKA PRÁCE	11
2.1 Hračky	11
2.1.1 Hry a hračky.....	11
2.1.2 Hračky kdysi a dnes	12
2.1.3 Přínos hry a hračky pro dítě	13
2.1.4 Specifikace didaktické hry a hračky	13
2.2 Přínos skládačky z kostek	14
2.3 CA Aplikace.....	14
3 CHARAKTERISTIKA ADITIVNÍ TECHNOLOGIE RAPID PROTOTYPING .	16
3.1 Aditivní technologie Rapid Prototyping	16
3.2 Metody Rapid Prototyping.....	17
3.2.1 Stereolitografie – SLA	17
3.2.2 Direct Metal Laser Sintering - DMLS	19
3.2.3 Laminated Object Manufacturing – LOM	21
3.2.4 Fused Deposition Modeling – FDM	22
4 PRAKTICKÁ ČÁST	26

4.1	Návrh skládačky.....	26
4.1.1	Návrh na papíru	26
4.1.2	Zakreslení a kótování v programu AutoCAD.....	28
4.1.3	Tvorba 3D modelů	29
4.1.4	Exportování modelů do formátu STL.....	37
4.2	Výroba prototypů	38
4.2.1	Nastavení tiskárny a tisk	38
4.3	Úprava vyrobených sad skládaček	42
4.3.1	Úprava první sady skládačky	42
4.3.2	Úprava druhé sady skládačky	43
5	TECHNICKO – EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ	46
5.1	Náklady na výrobu skládačky na domácí tiskárně.....	46
5.2	Náklady na výrobu v externích firmách.....	47
5.3	Srovnání nákladů a technologického postupu úprav sad skládačky	49
	ZÁVĚR	53
	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	54
	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ	57
	SEZNAM GRAFŮ	58
	SEZNAM OBRÁZKŮ.....	59
	SEZNAM TABULEK	61
	SEZNAM PŘÍLOH.....	62

ÚVOD

Kdo si hraje, nezlobí. Tímto se v nadsázce řídila autorka práce při navrhování výroby dětské skládačky, která je tématem její bakalářské práce. Hraní pro děti není jen zábava, ale i forma jejich vzdělávání.

Dětské hračky jsou vyráběny různými postupy z rozličných materiálů. Jednou z možností je jejich vytisknutí z plastu prostřednictvím 3D tiskáren. Každý si tak může navrhnout a vyrobit hračku dle své fantazie.

Svět 3D tisku se začal rozvíjet koncem minulého století a otevřel tak nové možnosti pro oblast zdravotnictví, strojního a spotřebního průmyslu.

Díky technologii Rapid Prototyping stačí pro výrobu prototypů kromě 3D tiskárny a materiálu, prostorový model z jakéhokoliv systému CAD. Takto řešená realizace prototypů šetří firmám čas a náklady.

Do širšího povědomí mimo profesionální sféru se 3D tisk začal rozšiřovat od roku 2005 díky open source projektu RepRap (*Replicating Rapid Prototyper*), který byl založen na University of Bath doktorem Adrienem Bowyerem.

Do tohoto projektu se zapojil i pan Josef Průša, který od roku 2009 vyvíjí 3D tiskárny Prusa Mendel. Tyto tiskárny, kromě toho, že jsou cenově dostupné všem domácím kutilům, se dokáží samy replikovat, tedy vytisknout nové díly pro sebe nebo zcela novou tiskárnu. Materiály, které převážně tyto tiskárny používají, jsou ABS a PLA.

Nezapomeňte si hrát...

,

1 VYMEZENÍ PROBLÉMU A CÍLE PRÁCE

V této části bakalářské práce jsou vymezeny její řešené problémy a cíle práce.

1.1 Vymezení problému

V úvodní části bakalářské práce byly charakterizovány hry, hračky a jejich přínos pro děti, dále aditivní technologie Rapid Prototyping (RP), jednotlivé metody RP a jimi využívané materiály.

Praktická část se zabývá návrhem skládačky v několika postupných krocích. Finální modely byly navrženy v parametrickém programu SolidEdge. Výroba proběhla na tiskárně typu RepRap Průša i3. Skládačka byla vytisknuta ve dvou sadách a každá byla upravena rozdílným způsobem.

1.2 Cíle práce

Dílčí cíle bakalářské práce jsou následující:

- § na základě dostupné literatury shrnout význam her a hraček pro děti,
- § charakterizovat aditivní technologie Rapid Prototyping,
- § v praktické části jako první vytvořit návrh hračky, který bude následně vytisknut a upraven,
- § technicko–ekonomické zhodnocení výroby hračky pomocí 3D tisku.

2 TEORETICKÁ VÝCHODISKA PRÁCE

V úvodu teoretických východisek práce budou jako první charakterizovány hry a hračky, jejich historie a přínos hraček pro děti. Dále pak budou popsány CAx aplikace, konkrétně pak program AutoCAD a SolidEdge.

2.1 Hračky

Hraček je nespočet. Každá má svoji specifickou charakteristiku a je jen na nás, vybrat tu správnou. Více o hračkách v kapitole 2.1.1. až 2.1.4.

2.1.1 Hry a hračky

„V organismu se hromadí energie, která je přebytná pro nezbytné potřeby přežití. Hromadění této energie je omezeno, proto musí následovat její vyprázdnění. Děje se tak hrou, otevřeným spontánním chováním, které není motivováno zjevnými biologickými potřebami.“ (1, s. 12)

Příčina hry podle další, generalizační teorie vychází z toho, že je ve hře zobecněna zkušenost z odměňování. Do hry jsou přenášeny tzv. úspěšné formy chování. Takové, které byly posilovány odměnou. Groosova teorie hry hru popisuje jako přípravu na život. Nedokonalé mechanismy a instinkty se v mládí zdokonalují a upřesňují právě tehdy, když se organismus připravuje na nové reakce a má formu předcvičování (1, s. 12-13).

„Smysl hry souvisí úzce s tím, co bývá označované jako autotelismus hry. Hra má svůj cíl a smysl sama v sobě. To je pocíťováno v hrajícím v dojmu radosti, napětí a opojení, v zážitku nejistoty a náhody, které navozují emocionální vyladění do čistého prožitku.“ (1, s. 13)

Ke každé hře náleží hračka, tedy nástroj hry. Primárně se hračka stává hračkou až prostřednictvím hrajícího. Nemusí jít o věc určenou přímo k hraní, jako jsou předměty vyrobené dětem pro radost nebo výrobky hračkářského průmyslu. Hračkou se může stát cokoli, co je ve hře užito. Má tedy pro hrajícího dvojí smysl, je to skutečný předmět, který

má nějaké předmětné určení a zároveň mu hrající přiděluje nové významy a určení díky obrazuschopnosti a fantazii, vytváří si iluzi. Pro hru je dále specifický čas, kdy se hra odehrává, prostor a pravidla hry (1, s. 14).

Klasifikace hrových oblastí jsou podřizovány vnějším významům hry. Dělí se dle:

- schopností a dovedností, které vyžadují (smyslové, pohybové, rozumové, speciální),
- předmětů hry (funkční, konstruktivní, fiktivní),
- místa hry (interiérové, exteriérové),
- množství hráčů (individuální, skupinové),
- věku a pohlaví (dětské, dívčí, chlapecké, pro dospělé),
- další (1, s. 15).

Podle klasifikačního schématu Rogera Cailoise se hrové oblasti třídí podle povahy jejich vnitřního smyslu a primární hrové oblasti rozdělují do čtyř skupin. První skupinou jsou *agonální* hry, které jsou založeny na principu boje, soupeření se smyslem dosažení vítězství na základě úsilí a obratnosti. K agonálním hrám patří závody, atletika, šerm, fotbal nebo šachy. Z toho principu vychází mnoho moderních sportovních her, které ovšem ztratily svůj původní smysl hry a staly se tzv. vrcholovými sporty. Tyto hry vyvolávají iluzi boje. Druhou skupinou jsou aleatorické hry, které spočívají na principu štěstí a náhody. Dětská rozpočítávání, sázení, ruleta nebo loterie. Vytváří iluzi štěstí. Třetí skupinou jsou mimetické hry, kam patří dětské imitační a iluzivní hry, hry s hračkami, panenkami nebo loutkami, hraní rolí a přestrojování, maskování. Mimetické hry jsou přímo hrou na iluzi. Poslední čtvrtou skupinou jsou hry vertigonální, kam spadají explorační hry malých dětí, hry s prvky houpání, skoků a pádů. Vyvolává iluzi závratě (1, s. 15-19).

2.1.2 Hračky kdysi a dnes

Předměty, které lze považovat za hračky, byly objevovány při vykopávkách starých civilizací. S míčem si hráli Egypťané, Číňané, Keltové. Jsou známé i figurky z těchto dob. Děti nomádských kmenů si hrály s figurkami koně, v Egyptě zase s figurkami býka

a krokodýla. K antickým dramátům patřily předměty, které později dětem sloužily jako hračky, jako jsou píšťalky, řehtačky, loutky, panenky a vojáčky. K nejmohutnějšímu rozvoji hraček došlo ke konci 16. století. Z baroka pochází houpací kůň, loutkové divadlo a lamezonky (z francouzštiny la maison = dům). V historii hraček mají své místo i hračky lidové. Pro moravskou oblast byly v 18. století typické hliněné hračky (1, s. 19-20, 2, s. 9-22).

2.1.3 Přínos hry a hračky pro dítě

Hry rozvíjí osobnost dítěte ve třech oblastech. V oblasti fyzické (biologické), kde se rozvíjí hrubá a jemná motorika, grafomotorika (kreslení, držení tužky), smyslové vnímání. V této oblasti se propojuje fyzická a psychická stránka osobnosti. Druhou, psychologickou oblast rozvíjí jazykové, řečové, sluchové hry, hry podporující představivost, fantazii, paměťové hry. Hry, které jsou zaměřené na rozvoj sebepoznání, sebeovládání a sebehodnocení. Třetí je oblast sociální, ve které hry a praktické činnosti uvádějí dítě do světa lidí. Patří sem dramatické činnosti, ekologické hry či hraní rolí (3, s. 58-59).

2.1.4 Specifikace didaktické hry a hračky

„Výsledky výzkumů z oblasti didaktiky a vývojové psychologie ukazují, že proces učení nezačíná až se vstupem dítěte do školy. Čím dříve se podněcuje dětská kreativita a koordinace, tím snazší bude pro dítě se později v životě učit, řešit problémy a vytvářet si vlastní názory. Didaktická hra je pro dítě přirozenou činností, poskytuje mu poznatky a dovednosti formou hry, pomáhá překonávat i ty největší obtíže při výuce. Děti si vědomosti získané během hry lépe pamatují, lépe se učí a déle pamatují to, co mohly vidět, slyšet, dotýkat se toho, cítit. Didaktická hra plní konkrétní učební cíle, které pozitivně rozvíjejí vědomosti, dovednosti a návyky. Hravou formou rozvíjí především poznávací funkce (zejména při řešení problémových situací), motivaci a aktivizaci, emocionalitu, socializaci (dítě vnímá své přednosti i nedostatky při týmové spolupráci), komunikaci a kreativitu.“ (4)

2.2 Přínos skládačky z kostek

Skládačka z kostek je hrou konstruktivní, při skládání kostek se děti učí prostorovému vnímání, pozornosti, koordinaci pohybů obou rukou – jemné motorice. Má poznávací aspekt a to tvarů, jejich různé velikosti a barev. Hra s ní je navozená, činnost dětem nabídneme. Kostky jsou hrou individuální. Skládačka má pouze jedno správné řešení, které určují otvory a výběžky. Navržená skládačka je vhodná pro děti od 4 do 8 let. Je hračkou didaktickou.

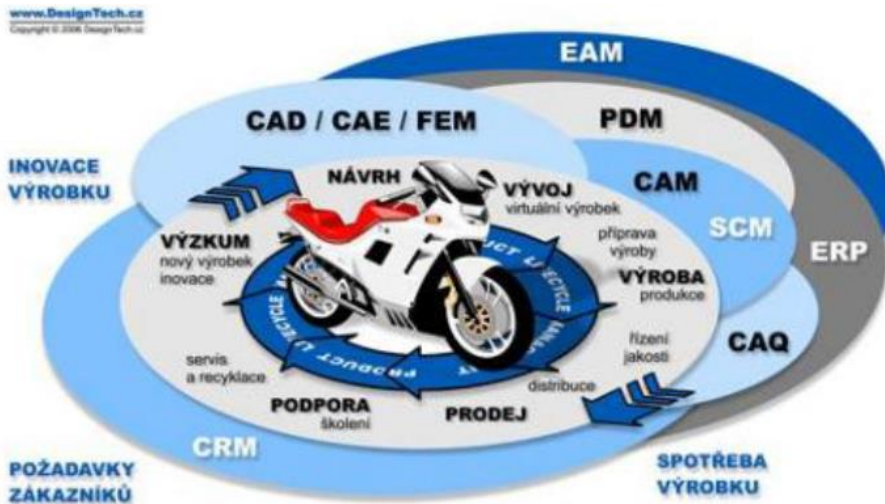
O tom, jak se dětem v MŠ navržená skládačka líbila, více v příloze č. 1.

2.3 CA Aplikace

CAX (Computer-Aided) aplikace shrnují využití výpočetní techniky pro usnadnění práce např. při návrhu, konstrukci, plánování a výrobě. CAX postupy mohou spojit několik různých fází životního cyklu výrobku (PLM). Přínosem jejich použití je zvýšení produktivity, snížení počtu chyb, správa dokumentů, distribuce dokumentace, zjednodušení kooperace, oborová provázanost, mezinárodní spolupráce a zajištění standardů (5).

Tab. 1: Přehled některých CAX aplikací (upraveno dle 6)

Zkratka	Plné znění v angličtině	Přeloženo do češtiny
CAD	Computer- Aided Design	Počítačem podporované konstruování
CAM	Computer- Aided Manufacturing	Počítačem podporovaná výroba
CAE	Computer- Aided Engineering	Počítačem podporované inženýrství
CAQ	Computer- Aided Quality	Počítačem podporovaná kontrola kvality
CAPP	Computer-Aided Proces Planning	Počítačem podporované plánování procesů
CIM	Computer- Integrated Manufacturing Design	Počítačově integrovaná výroba
ERP	Enterprise Resource Planning	Plánování podnikových zdrojů
PDM	Product Data Management	Správa produktových dat



Obr. 1: Aplikace Cax v kontextu PLM (7)

Program AutoCAD

AutoCAD je 2D a 3D program, který slouží při projektování a konstruování. První AutoCAD od společnosti Autodesk vyšel v roce 1982 a stále jsou vyvíjeny (od roku 1984 na platformě Windows) jeho lepší verze s různými nastávkami. Mezi nejnovější verze AutoCADu patří AutoCAD LT 2017. Je to limitovaná edice, která se soustřeďuje na zjednodušení, propojení a inovaci (8).

Program SolidEdge

SolidEdge je program pro 3D navrhování, který pracuje na modelovacím jádru Parasolid. Řeší všechny aspekty procesu vývoje produktu (PLM), jako např. 3D navrhování, simulaci, výrobu, konstrukční management a další. Má velký počet doplňujících aplikací. SolidEdge kombinuje rychlost a jednoduchost přímého modelování s flexibilitou a kontrolou parametrického modelování. Je jednoduchý pro začínající nebo příležitostné uživatele, efektivní a rychlý pro pravidelné uživatele. SolidEdge vlastní a vyvíjí společnost Siemens Industry Software s.r.o. Konkurenčními softwary jsou např. Autodesk Inventor nebo SolidWorks (9).

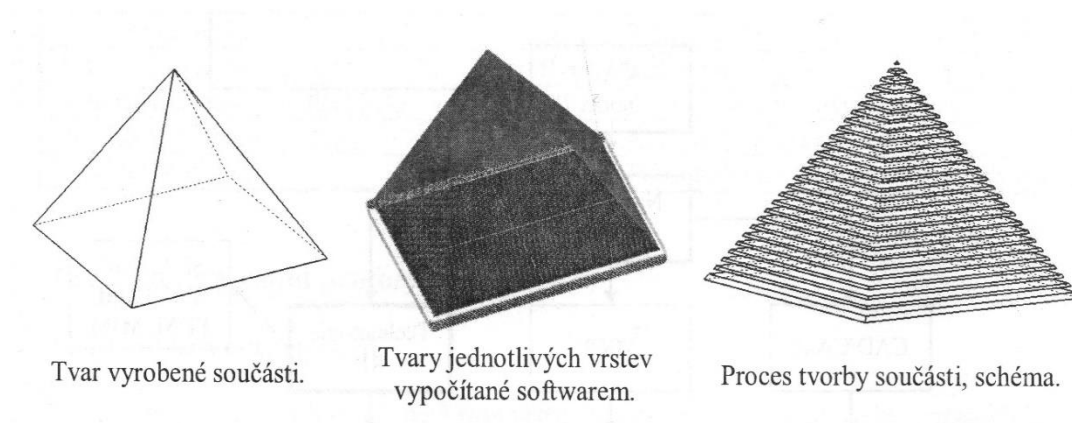
3 CHARAKTERISTIKA ADITIVNÍ TECHNOLOGIE RAPID PROTOTYPING

V této kapitole bude charakterizována aditivní technologie Rapid Prototyping, některé z jejích metod a komerčně dostupné aditivní materiály a jejich využití.

3.1 Aditivní technologie Rapid Prototyping

„Podstatou všech technologií Rapid Prototyping je opakované nanášení materiálu po vrstvách konstantní tloušťky.“ (10, s. 200)

Rapid Prototyping umožňuje rychle a přesně z určitých dat vytvořit fyzický prototyp. Při tomto způsobu výroby se materiál z polotovaru neodebírá, jako např. při obrábění a ani nepřidává najednou, jako např. při odlévání. Prototyp vzniká nanášením vrstev aditivního materiálu, čímž se dosahuje nejen přesného tvaru, ale i úspory nákladů a materiálu polotovaru (v tomto případě pryskyřice, termoplastu, vosku nebo kovového prášku). Výhodou výroby prototypů touto cestou jsou nízké náklady na jeho výrobu a rychlost (10, s. 200).



Obr. 2: Obecný princip technologie RP (10, s. 201)

Data pro tvorbu prototypového modelu lze čerpat ze tří skupin. V první skupině jsou zdrojem data, která se získávají pomocí reverzního inženýrství, kdy po naskenování

vznikne mrak bodů, který se dále převede na trojúhelníkovou síť polygonů a následně vyhladí. Síť polygonů může být uložena do příslušného formátu a tato data použita k dalšímu zpracování. Druhou oblastí jsou virtuální modely, které byly nakresleny v kterémkoliv programu CAD a následně opět uloženy do příslušného formátu. Třetí skupinou zdrojů dat je libovolný CNC řídicí program (10, s. 201).

3.2 Metody Rapid Prototyping

Metody lze rozdělit podle typu používaného materiálu a to na metody, které fungují na bázi fotopolymerů, na bázi práškových materiálů a na bázi tuhých materiálů (10, s. 203).

Tab. 2: Přehled základních technologií RP (Zdroj 10, s. 203)

Základní technologie RP	Zkratka	Materiál modelu
Stereolitografie	SLA, SL	Fotopolymer
Solid Ground Cutting	SGC	Fotopolymer, nylon
Selective Laser Sintering	SLS	Polyamid, nylon, vosk, kovové prášky
Direct Metal Laser Sintering	DMLS	Kovové prášky
Laminated Object Manufacturing	LOM	Papír s jednostranným pojivem
Fused Deposition Modeling	FDM	ABS, vosk, polykarbonat
Multi Jet Modeling	MJM	Termopolymery, akrylátový fotopolymer

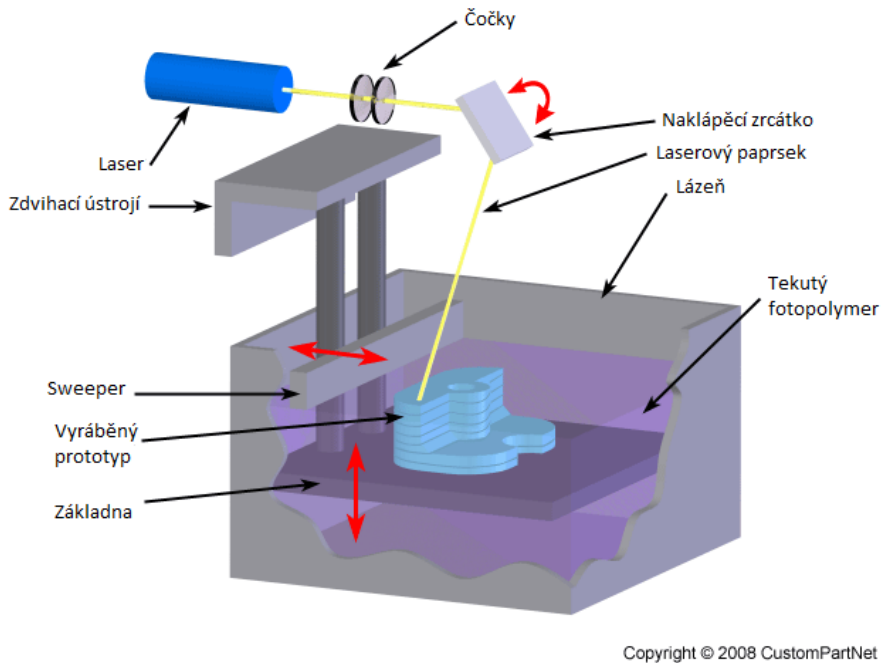
3.2.1 Stereolitografie – SLA

Stereolitografie patří mezi nejstarší a nepřesnější metodu výroby prototypu pomocí technologie Rapid Prototyping, byla patentována Charlesem W. Hullem, zakladatelem společnosti 3D Systems, v roce 1984. Funguje na bázi fotopolymerů (10, s. 203, 11).

„Modely na bázi fotopolymerů jsou většinou stavěny v nádobě s kapalnou pryskyřicí, kdy pod hladinou dochází k postupnému vytvrzení jednotlivých vrstev. Po dokončení jedné vrstvy, se materiál posune o určitou hodnotu a dochází k vytvrzení další vrstvy.“

Tímto způsobem dochází k tvorbě celého 3D modelu. Po skončení výrobního procesu je zbytek pryskyřice odveden a model může být použit pro další operace. Prodejci tohoto zařízení definují své produkty podle typu laseru, metody skenování, zvedacího mechanismu a optické soustavy.“ (10, s. 203)

K výrobě prototypu touto cestou je potřeba pracovní komora, počítač s řídicím softwarem a opticko–laserový systémem (10, s. 203).



Obr. 3: Princip metody SLA (Upraveno dle 13)

Mezi výhody této metody patří zhotovení objemnějších modelů, dostatečná přesnost, jakost povrchu, plynulý průběh procesu. Nevýhodou je pak nutná úprava povrchu, odstranění podpůrného materiálu modelu a následné sušení, které probíhá v peci za pomoci ultrafialového záření (10, s. 204, 12, s. 85).

Prototypy vyrobené touto metodou se používají na testování v aerodynamických tunelech, na výrobu kvalitních odlévacích forem nebo pro přípravu obalových materiálů (12, s. 86).

Materiály pro SLA

Pro technologie SLA jsou vhodné všechny polymery, které jsou vytvrditelné laserovým paprskem a podobají se polypropylénu, ABS. Tento typ materiálu je cenově náročný a často kazový (12, s. 87).

Tab. 3: Přehled materiálů pro SLA (Upraveno dle 12, s. 87-88)

Materiál/ Vlastnosti	Viskozita při 30°C	Pevnost v ohybu [MPa]	Pevnost v tahu [MPa]	Prodloužení při přetrhnutí
Accura 25	250	55 až 58	38	13 až 20%
Accura Bluestone	1200 až 1800	124 až 154	52 až 53	4,4 až 2,4%
Somos NeXt	1000	67,8 až 70,8	31 až 34,4	8 až 10%

Accura 25 je epoxidová pryskyřice, která obsahuje reaktivní rozpouštědla. Prototypy vyrobené z tohoto materiálu jsou vhodné pro automobilový průmysl (12, s. 88).

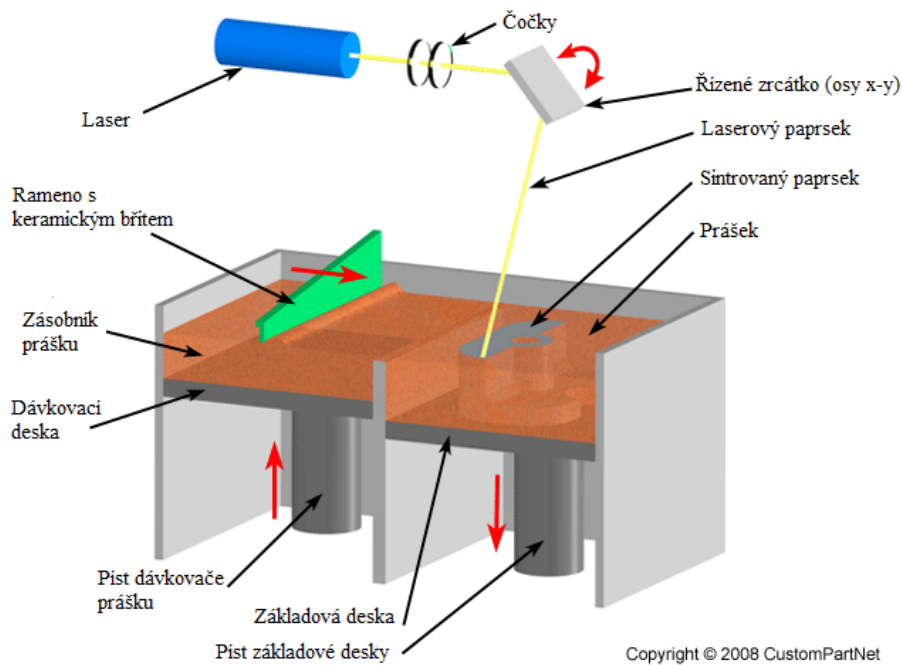
Accura Bluestone je výjimečně pevný a zároveň odolný vůči vysoké teplotě a vlhkosti. Používá se pro testování v reálných podmínkách. Prototypy nebo komponenty z tohoto materiálu mají široké spektrum použití (12, s. 89).

Somos NeXt je speciálně vyvinutá pryskyřice pro technologie Stereolitografie. Modely jsou pevné, s dobrými tepelnými vlastnostmi, odolné vůči vlhkosti a destrukci. Využívají se v leteckém a automobilovém průmyslu, v medicíně a dalších segmentech (12, s. 89).

3.2.2 Direct Metal Laser Sintering - DMLS

Další skupina metod, do které patří DMLS používá jako výchozí materiál k výrobě modelu jemný prášek (10, s. 207).

S ohledem na používaný materiál a požadavky na prototyp, se před spuštěním tisku nastaví vhodná tloušťka výrobních vrstev (0,020 mm nebo 0,040 mm), podle které pak dávkovací zařízení nastaví množství prášku pro jednu vrstvu. Prototyp je postaven na ocelové platformě. Po tom, co je prášek pomocí ramena s keramickým břitem na platformě zarovnán do vrstvy, se v místě dopadu laseru lokálně roztaví a dojde k „protavení“ nanesené vrstvy prášku. Ocelová platforma odvádí teplo a roztavený materiál tuhne velmi rychle. Aby byly prototypy chráněny před oxidací, jsou pracovní komory většinou vyplněny dusíkem. K dokončovacím operacím patří odstranění podpůrných struktur z povrchu výrobku a dále úprava povrchu potřebným způsobem (10, s. 207).



Obr. 4: Princip metody DMLA (Upraveno dle 14)

Materiály pro DMLS

Tab. 4: Přehled materiálů pro DMLS od společnosti EOS (Upraveno dle 12, s. 63)

Materiál/ Vlastnosti	Modul pružnosti [GPa]	Pevnost v tahu [MPa]	Prodloužení při přetrhnutí	Mez kluzu [Rp 0,2%]
EOS Aluminium AlSi10Mg	75	460	9%	270 MPa
EOS NickelAlloy In625	170	990	35%	725 MPa
EOS Titanium Ti64	110	1330	10%	1060 MPa

EOS Aluminium AlSi10Mg je prášek z hliníkové slitiny. Materiál je typický pro součástky s tenkou tloušťkou stěny. Má dobrou pevnost, tvrdost a je často používaný na díly s vysokým zatížením (12, s. 63).

NickelAlloy In625 je prášek z niklové slitiny, která je vysoce elastická a pevná. Materiál je odolný vůči korozi a žáruvzdorný (12, s. 63).

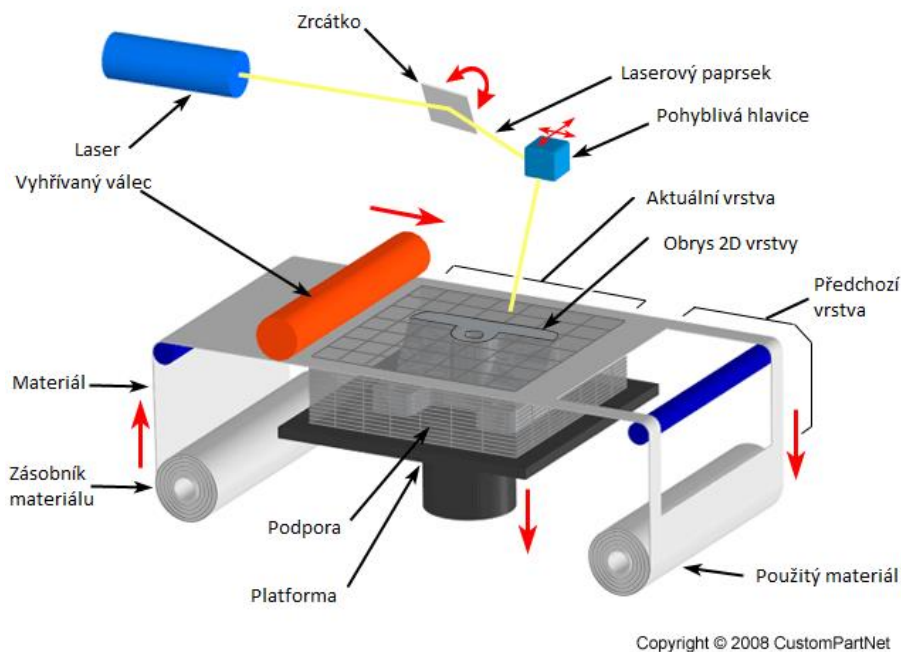
EOS Titanium Ti64 je prášek z titanové slitiny, která je lehká a odolná vůči korozi. Má specifickou hmotnost a je biokompatibilní (12, s. 63).

3.2.3 Laminated Object Manufacturing – LOM

„Modely vyrobené metodou LOM jsou tvořeny velkým množstvím fólií. Jednotlivé fólie jsou na jedné straně opatřeny přílnavým nátěrem, kterým jsou přilepeny k předcházející vrstvě. Laserem je následně vyřezána kontura modelu. Přebytečný materiál je rozřezán na jednotlivé kvádry, které jsou na závěr procesu odstraněny.“ (10, s. 210)

Prototypy vyrobené touto metodou mají podobné vlastnosti, jako by byly ze dřeva. Výhodou LOM je možnost použití jakéhokoliv materiálu ve formě fólie, nejpoužívanější je papír. Metoda je díky řezání po laminování vrstvy přesná a v hotové součásti nevznikají

žádná zbytková pnutí. Nevýhodou je pak omezená pevnost modelu, která záleží na použitém pojivu mezi jednotlivými vrstvami a velké množství odpadu (10, s. 210, 23).



Obr. 5: princip metody LOM (Upraveno dle 15)

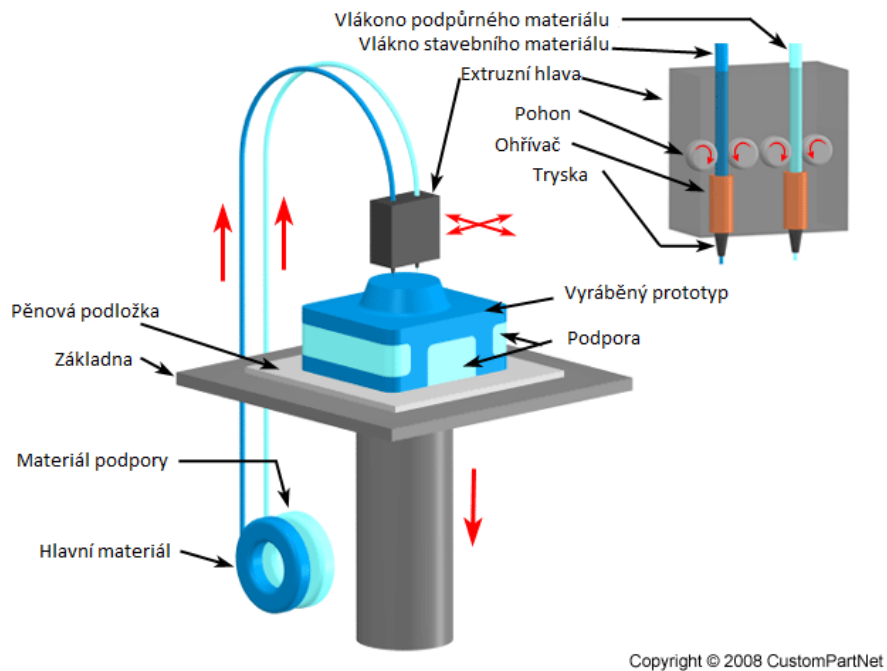
Materiály pro LOM

Pro technologii LOM jsou vhodné materiály ve formě listů, pásů, fólií z papíru, plastů (nylon, polyester) nebo keramiky, které mají schopnost adheze k povrchu stejného materiálu. Tato funkce se dá zvýšit pomocí různých látek (10, s. 210, 12, s. 46).

3.2.4 Fused Deposition Modeling – FDM

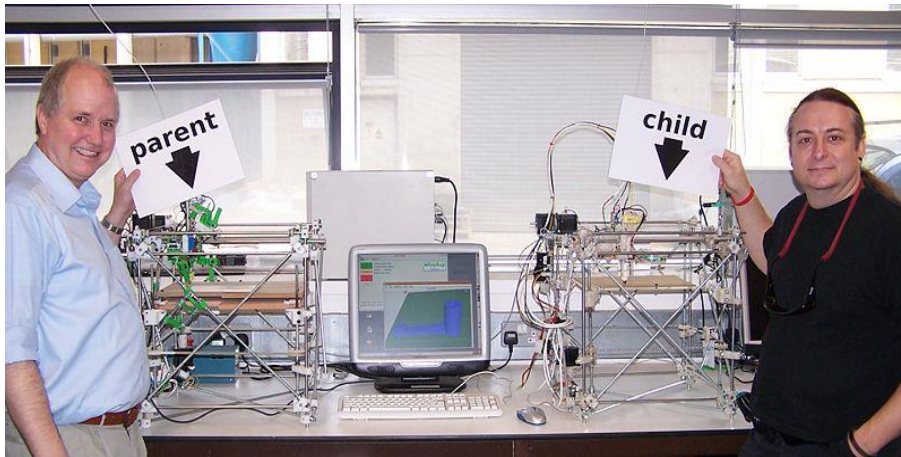
„Princip metody FDM spočívá v natavování termoplastického materiálu navinutého ve formě drátu na cívce, ze které je vtačován do vyhřívané trysky pomocí kladek a následně nanášen po jednotlivých vrstvách na podložku. Metoda vyžaduje stavbu podpor, které se po vyrobení součásti mechanicky nebo chemicky odstraní.“ (10, s. 211)

Na rozdíl od předchozích metod, nevyužívá laseru a extruzní hlava se pohybuje ve všech třech osách X, Y a Z. Nejdříve se v rovině X a Y dokončí celá vrstva, poté se extruzní hlava posune o tloušťku vrstvy v ose Z směrem nahoru a pokračuje v tisku další vrstvy (10, s. 211).



Obr. 6: Princip metody FDM (Upraveno dle 16)

Díky projektu RepRap (*Replicating Rapid Prototyper*), který byl roce 2005 založen na University of Bath doktorem Adrienem Bowyerem, se 3D tisk technologií FDM rozšířil i jako hobby v polo-profí segmentu (do 100 000 Kč za tiskárnu). Idea tohoto projektu byla navrhnout 3D tiskárnu, která bude umět vytisknout co nejvíce vlastních součástí. Projekt RepRap je od začátku Open Source, což umožnilo zapojit se do spolupráce komukoli. Díky tomu jsou dnes tiskárny RepRap nejrozšířenějším druhem tiskáren na celém světě (11).



Obr. 7: Originální a replikovaná 3D tiskárna (Zdroj 17)

Materiály pro FDM

Tab. 5: Přehled materiálů pro FDM (Upraveno dle 13, 14, 15, 16)

Materiál/ Vlastnosti	Pevnost v tahu [MPa]	Pevnost v ohybu [MPa]	Teplota deformace
ABS	46	74	98°C
PA (Nylon)	76	110	160°C
PLA	61 až 66	48 až 110	49 až 52°C

ABS – Akrylonitrilbutadienstyren je termoplast odolný proti mechanickému poškození a kyselinám. Je pevný, houževnatý a časově stabilní. Tento materiál lze slepit i rozpustit pomocí acetonu. Jeho nevýhodou je zápach při zahřívání a smršťování během chladnutí (18, 19).

PA (Nylon) – Polymer je jeden z nejužších materiálů používaných technologií FDM. Je odolný vůči chemikáliím a nárazu. Má ale velmi špatnou přílnavost k tiskové podložce a dlouhou dobu chladnutí extrudovaného materiálu (18, 21).

PLA – Polyactic Acid je termoplast vyrobený z biomasy, kukuřičného nebo bramborového škrobu. Je zdravotně nezávadný a rozložitelný kompostováním. Je velmi podobný plastům vyrobeným z ropy. Prototypy vytištěné z tohoto materiálu mají vyšší pevnost než ABS, jsou lépe tisknutelné. Má ovšem nízkou teplotu deformace (18, 20).

Tyto materiály jsou dodávány ve formě drátů – filamentů. Jsou dostupné v různých barvách a tloušťkách.

4 PRAKTICKÁ ČÁST

Předmětem praktické části bakalářské práce je návrh dětské skládačky, výroba prototypů skládačky a jejich úprava rozdílnými způsoby. V první fázi byl proveden hrubý náčrt. Druhou fází bylo překreslení a okótování jednotlivých částí v programu AutoCAD. Poslední konstrukční fází bylo vymodelování v 3D programu SolidEdge. Výrobní část probíhala na tiskárně typu RepRap Průša i3. Finální úprava prototypů proběhla různým způsobem, aby byl názorně vidět rozdíl ve zpracování.

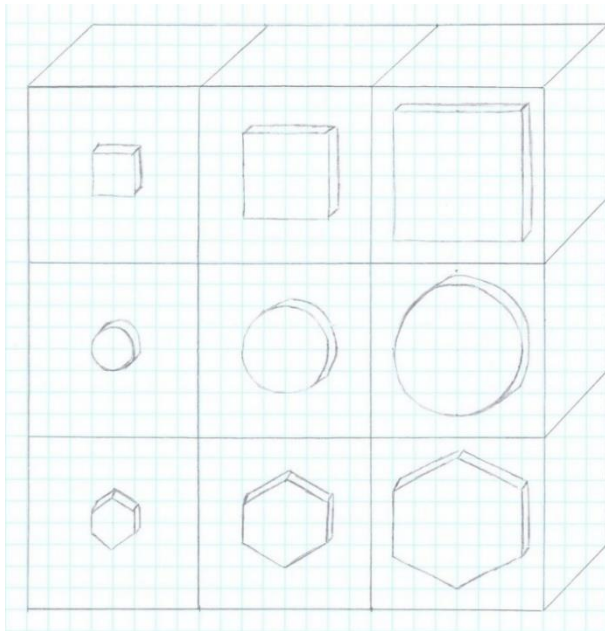
4.1 Návrh skládačky

Při navrhování dětské skládačky inspirace vycházela z hraček a skládaček, které již na trhu jsou, z fantazie a z celkové teorie o hračce. Navrhování probíhalo postupně po krocích: hrubý náčrt, technický výkres a 3D model.

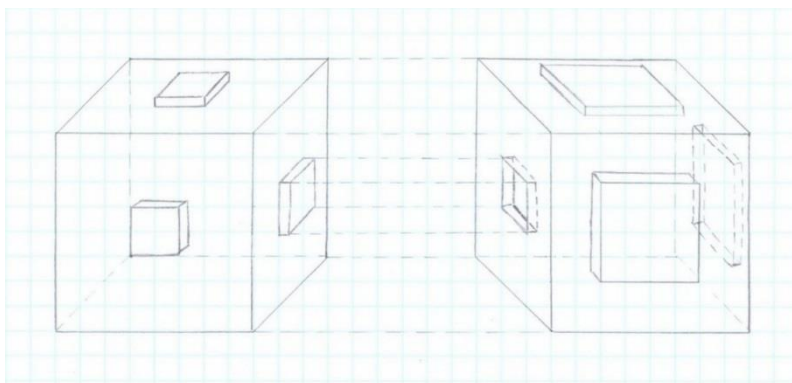
4.1.1 Návrh na papíru

První návrhy vznikaly na papíru, kdy se provedl náčrt kompletní skládačky (obr. 8) a jednotlivých kostek. Z náčrtu je patrný smysl celého projektu a princip skládání.

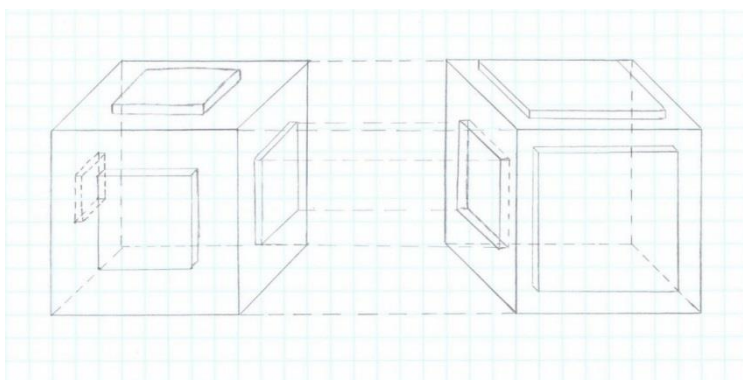
Jako příklad principu skládání je uveden náčrtek první řady skládačky (obr. 9, obr. 10).



Obr. 8: Náčrtek celé skládačky (Zdroj: vlastní zpracování, 2017)



Obr. 9: Vizualizace principu skládání první a druhé kostky (Zdroj: vlastní zpracování, 2017)



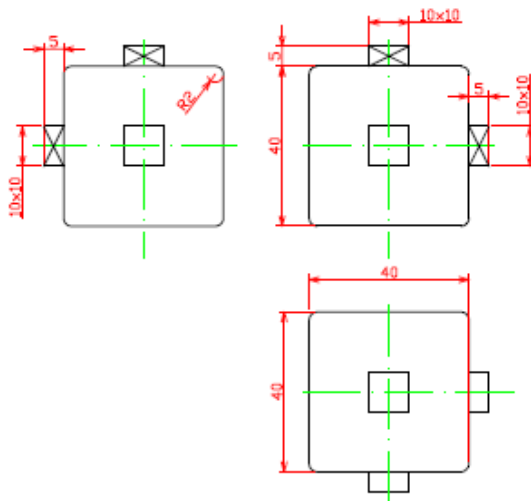
Obr. 10: Vizualizace principu skládání druhé a třetí kostky (Zdroj: vlastní zpracování, 2017)

4.1.2 Zakreslení a kótování v programu AutoCAD

Dalším krokem bylo rozkreslení návrhu v programu AutoCAD. Výstupem této fáze jsou technické výkresy rozpohledovaných kostek a jejich kompletní zakótování (obr. 11 a příloha 2).

Hlavní rozměr hrany kostky byl určen hodnotou 40 mm. Celá kostka má tedy rozměry 40 x 40 x 40 mm. Výstupky mají výšku 5 mm a hloubka prohlubně je 6 mm. Výstupky a prohlubně mají pokaždé jinou velikost a tvar. V první řadě jsou výstupky a prohlubně ve tvaru čtverců, v druhé řadě ve tvaru koleček a ve třetí řadě ve tvaru šestiúhelníků. Rozměry jednotlivých výstupků a prohlubní jsou odstupňovány od nejmenších po největší. Skládačka má tak pouze jedno správné řešení.

Aby byla skládačka bezpečná pro malé děti, byly veškeré hrany zaobleny rádiusem R2 a zkosením 0,5 x 0,5 mm.

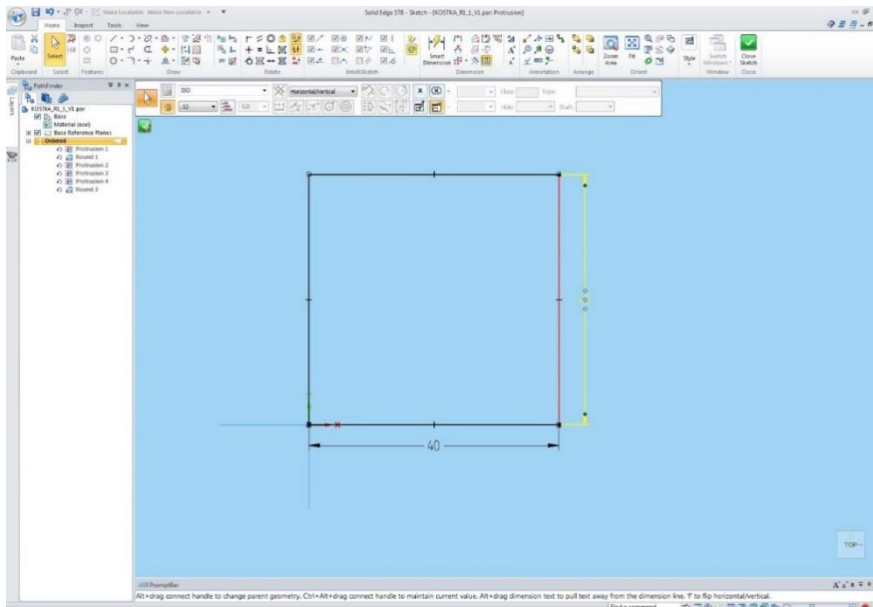


Obr. 11: Narýsovaná první kostka (Zdroj: vlastní zpracování, 2017)

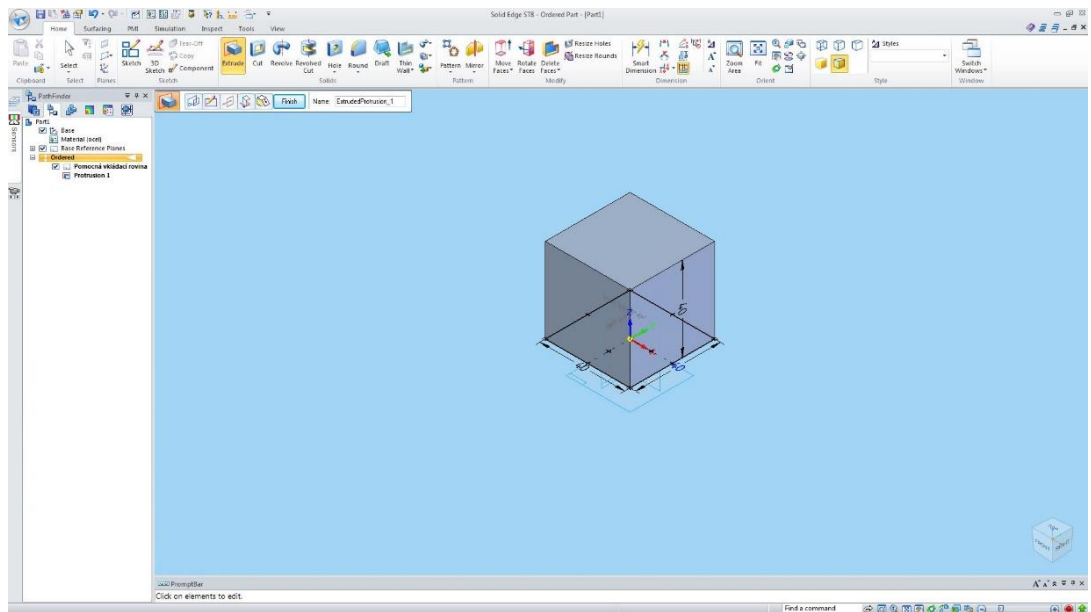
4.1.3 Tvorba 3D modelů

Poslední fází konstrukční činnosti bylo vytvoření 3D modelu v programu SolidEdge. V programu SolidEdge se pracuje postupně, tzn. krok za krokem. Každý krok - příkaz vnikal zvlášť a vytvořil tak strom příkazů, ve kterém je možné jednotlivé kroky vyhledávat a zpětně upravovat.

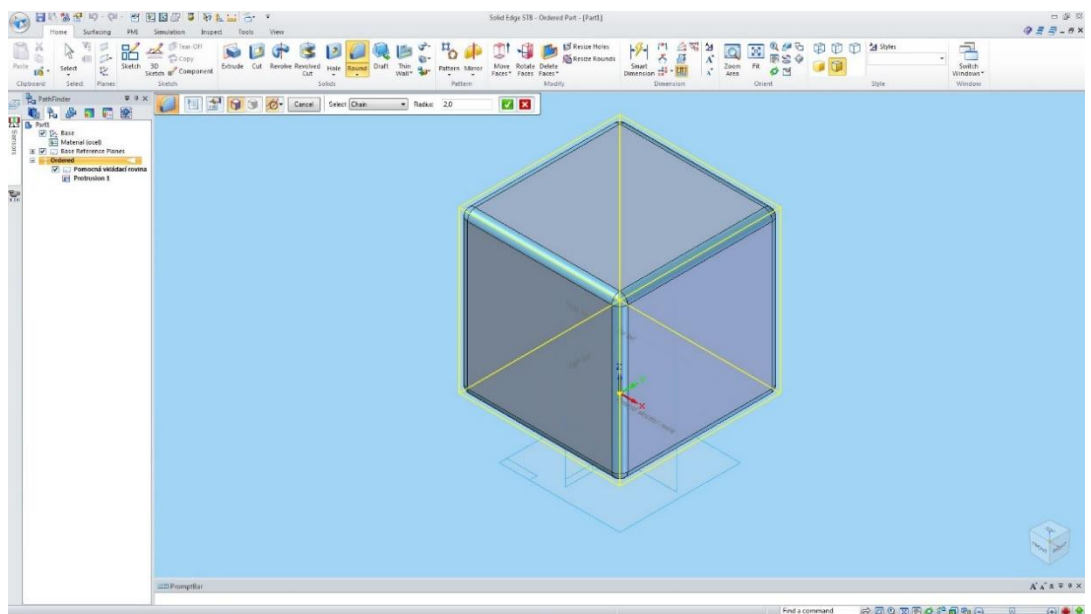
V prvním kroku byla dle technických výkresů nakreslena a zakótována skica půdorysu kostky (obr. 12). Tím vznikl 2D objekt, který přes příkaz *Vytáhnout* vytvořil 3D model. Pro pevné určení v prostoru bylo nutné zakótovat výšku objektu (obr. 13). Vznikla krychle o rozměrech 40 x 40 x 40 mm. V dalším kroku byly zaobleny hrany kostky pomocí příkazu *Zaoblit* (obr. 14). Tímhle krokem byl vymodelován základní tvar, kostka, ze které následně vycházely jednotlivé díly skládačky.



Obr. 12: Skica půdorysu krychle (Zdroj: vlastní zpracování, 2017)



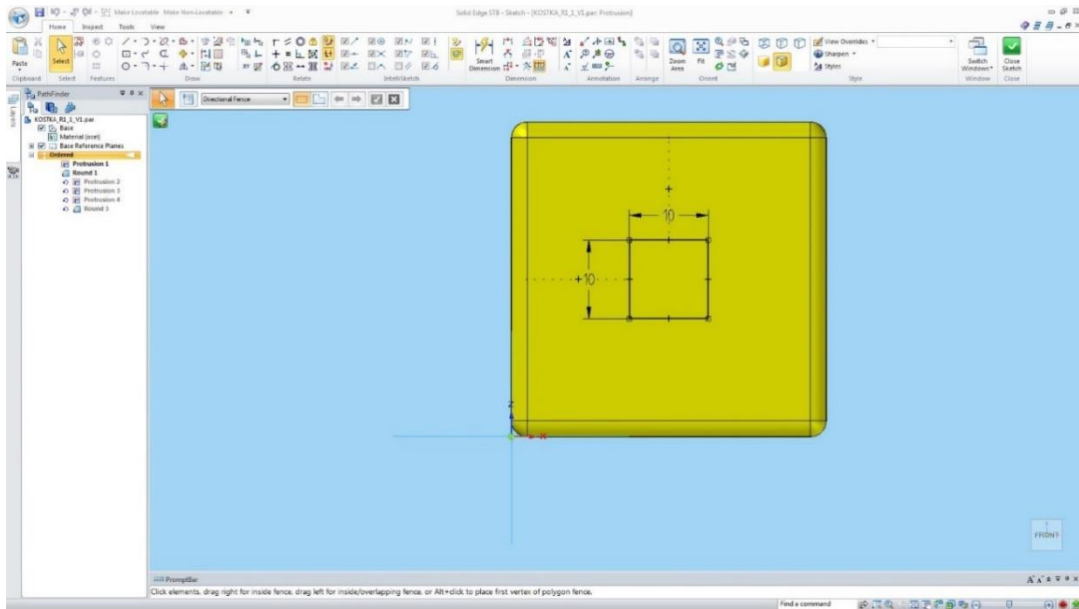
Obr. 13: Zakótování výšky krychle (Zdroj: vlastní zpracování, 2017)



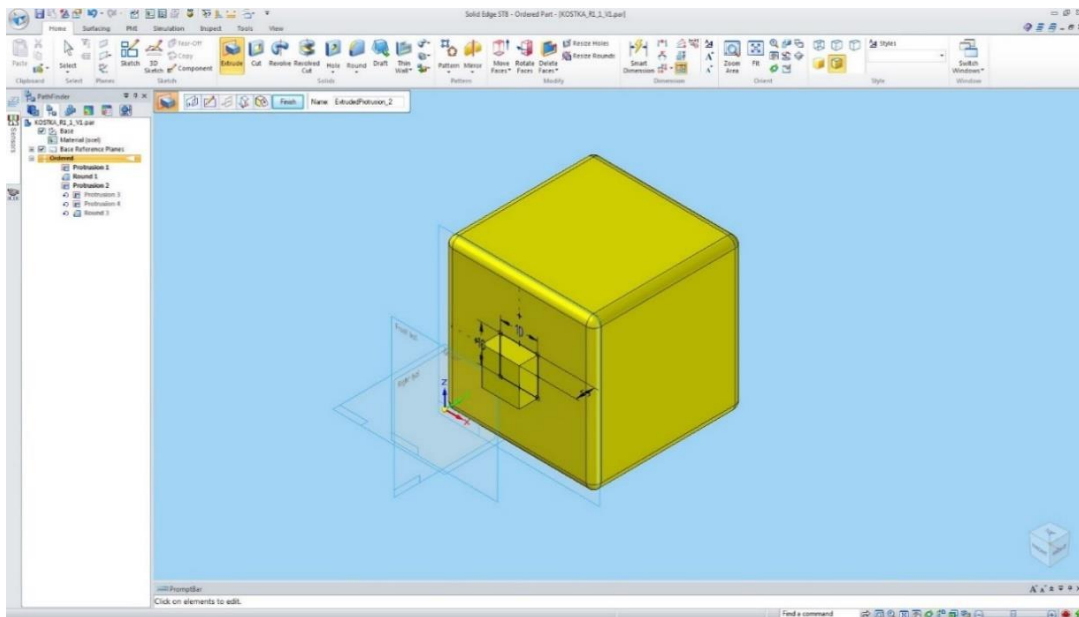
Obr. 14: Základní krychle po zaoblení hran (Zdroj: vlastní zpracování, 2017)

První kostka v první řadě na sobě 3 má výstupky ve tvaru kvádrů o rozměru 10 x 10 x 5 mm. Na stěně kostky byla vytvořena skica výstupku 10 x 10 mm a pevně

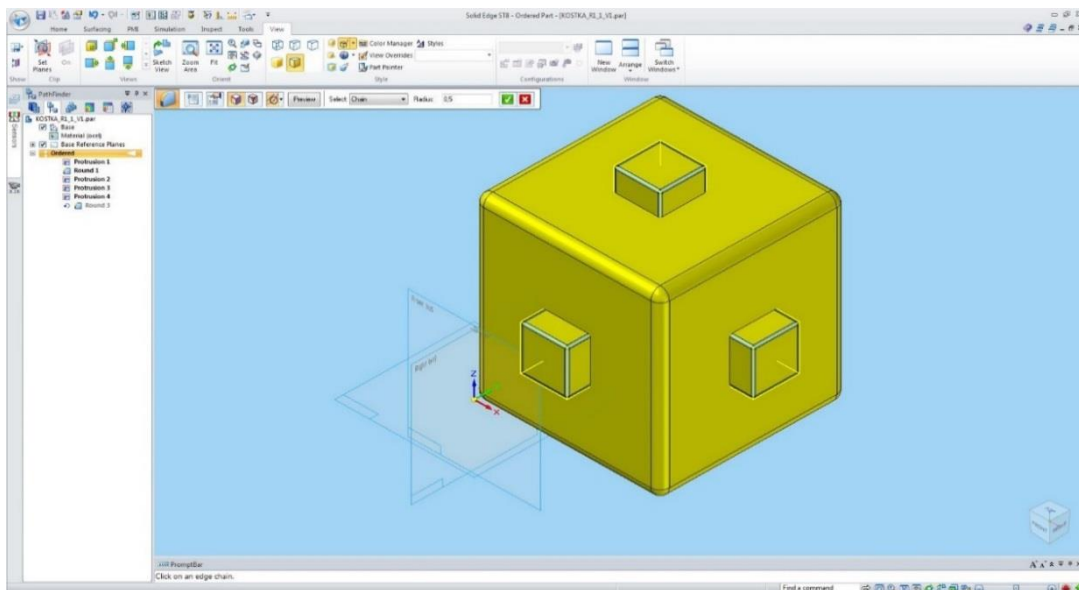
uchycena na osy stran krychle (obr. 15). Pomocí příkazu *Vytáhnout* byl ze skici vytažen přídavek o výšce 5 mm (obr. 16) a ten následně rozkopírován na další dvě předem určené stěny krychle. Posledním krokem bylo sražení hran výstupků pomocí příkazu *Zkosení* 0,5 x 0,5 mm (obr. 17).



Obr. 15: Skica výstupku (Zdroj: vlastní zpracování, 2017)



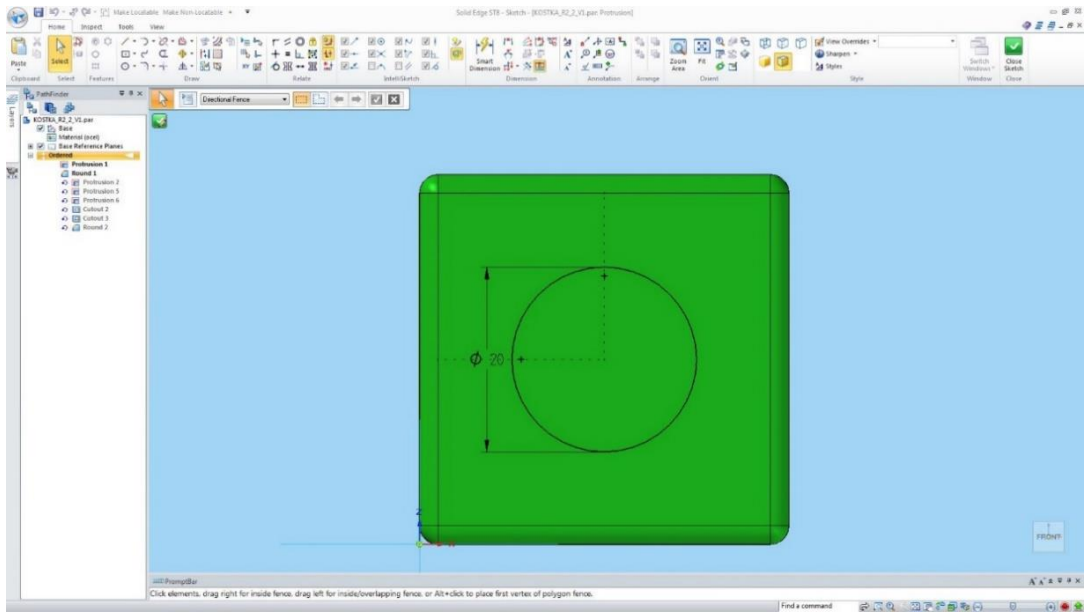
Obr. 16: Přídavek (Zdroj: vlastní zpracování, 2017)



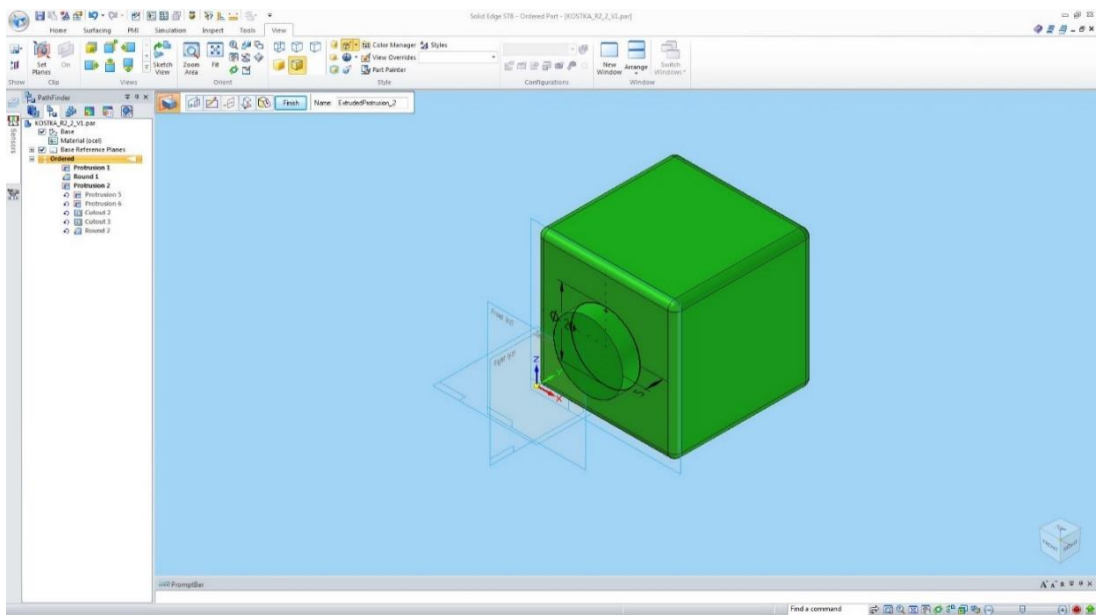
Obr. 17: Konečný tvar kostky se sraženými hranami (Zdroj: vlastní zpracování, 2017)

Jako další příklad modelování byla do praktické části vybrána druhá kostka z druhé řady. Tato kostka byla na modelování nejsložitější.

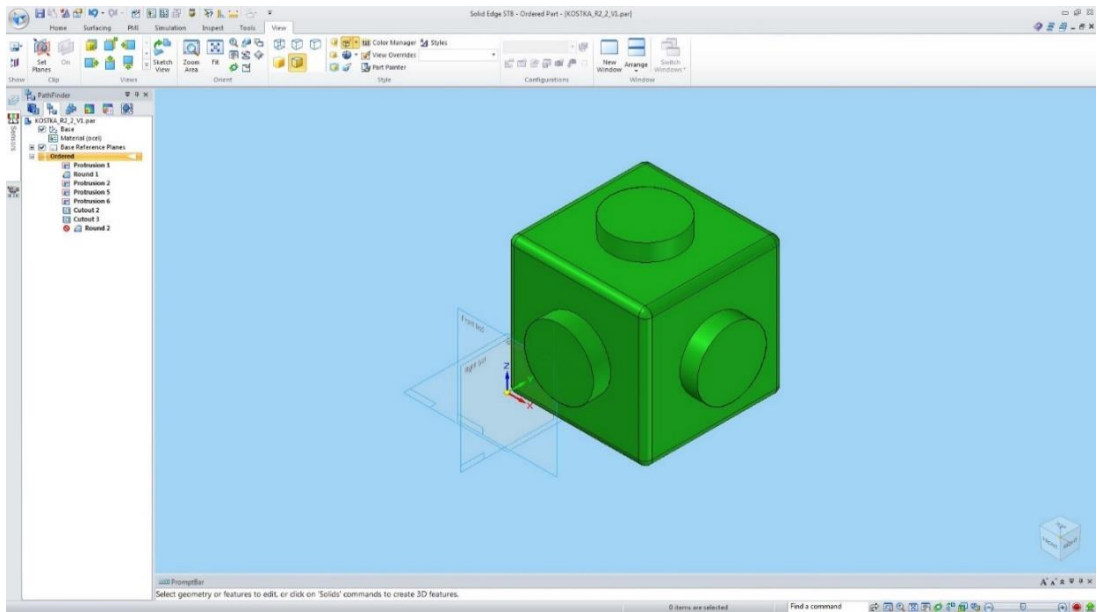
Výchozím tvarem byla základní kostka (obr. 14). Na zvolené straně kostky byla nakreslena skica kružnice o průměru 20 mm (obr. 18). Skica byla pomocí příkazu *Vytáhnout* vytažena na výšku 5 mm (obr. 19). Kruhový výčnělek byl následně rozkopírován na další 2 stěny (obr. 20). Do dvou stěn kostky vstupují výběžky z jiných dílů skládačky, nejmenší válec a střední kvádr. Prohlubeň pro kvádr byla vymodelována obdobným způsobem. Na stěně kostky byla nakreslena skica velikosti 21 x 21 mm (obr. 21) a příkazem *Vyříznout* byl odebrán materiál v hloubce 6 mm (obr. 22). Pro prohlubeň válce byla nakreslena skica kružnice o průměru 11 mm (obr. 23) a následně příkazem *Vyříznout* odebrán materiál v hloubce 6 mm (obr. 24). V posledním kroku modelování této kostky byl použit příkaz *Zkosení* 0,5 x 0,5 mm (obr. 25).



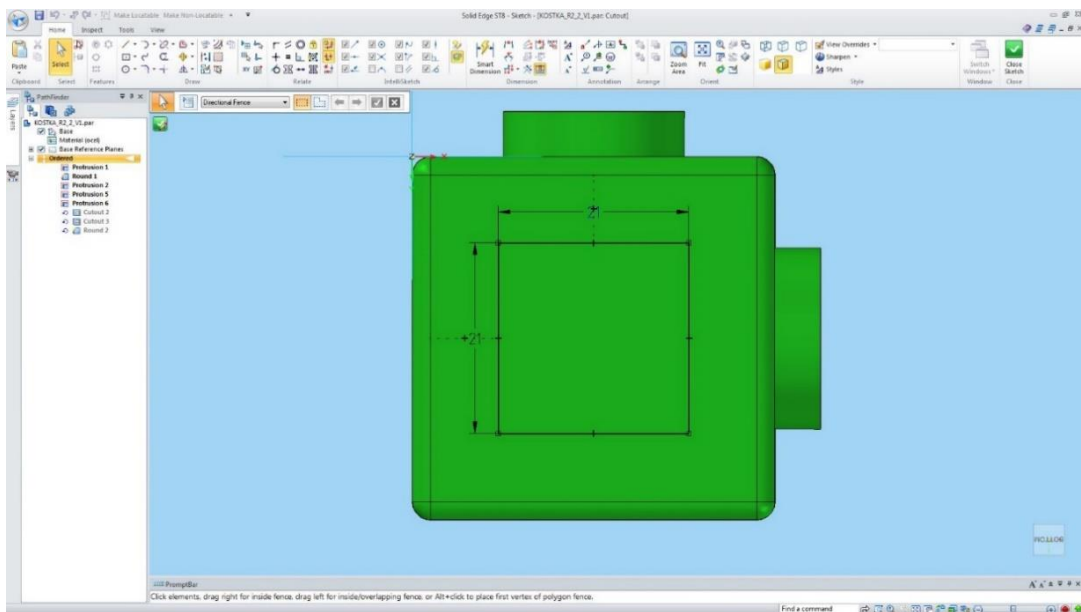
Obr. 18: Skica střední velikosti kružnice (Zdroj: vlastní zpracování, 2017)



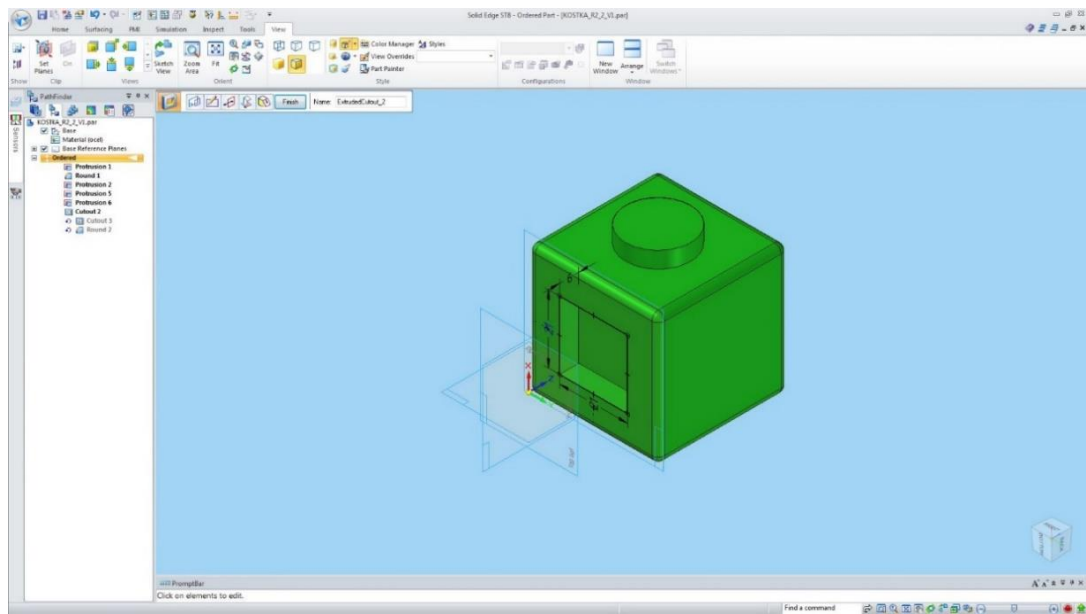
Obr. 19: Kruhový přídavek střední velikosti (Zdroj: vlastní zpracování, 2017)



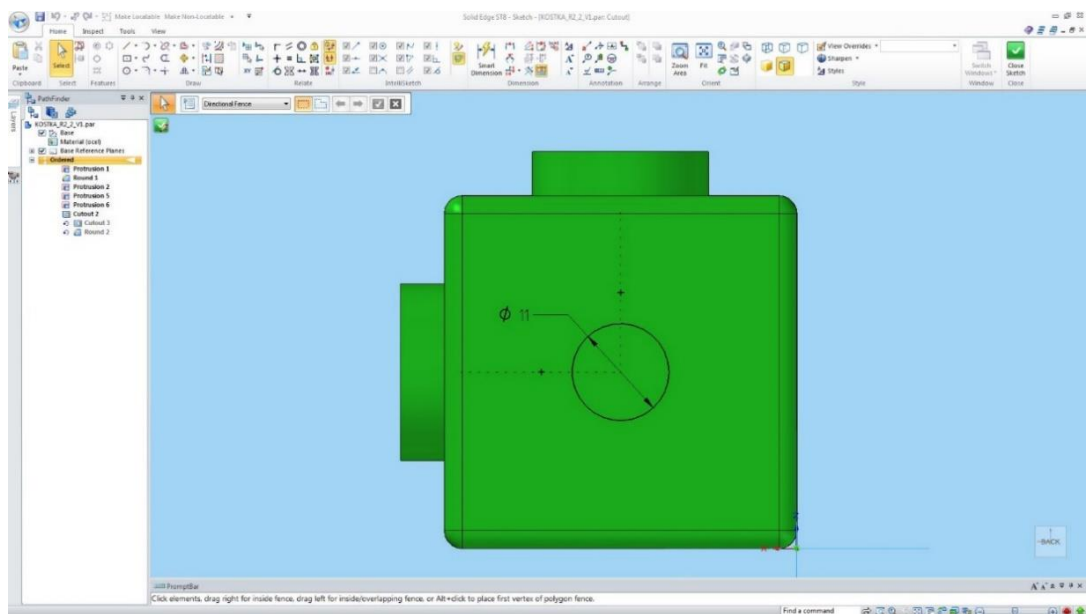
Obr. 20: Kruhové přídavky střední velikosti na předem určených stranách (Zdroj: vlastní zpracování, 2017)



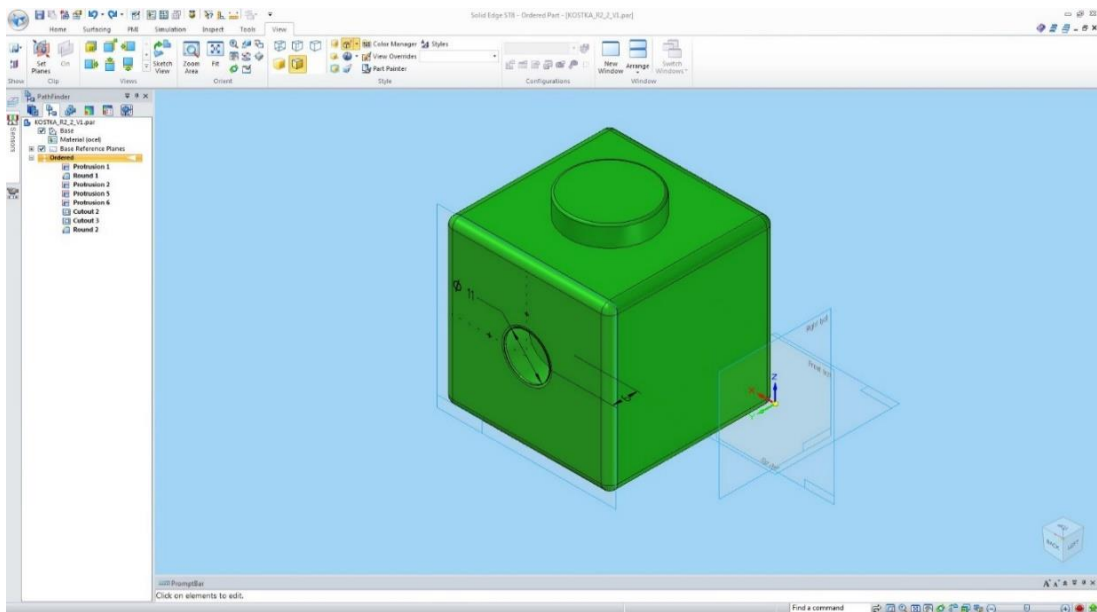
Obr. 21: Skica čtverce střední velikosti (Zdroj: vlastní zpracování, 2017)



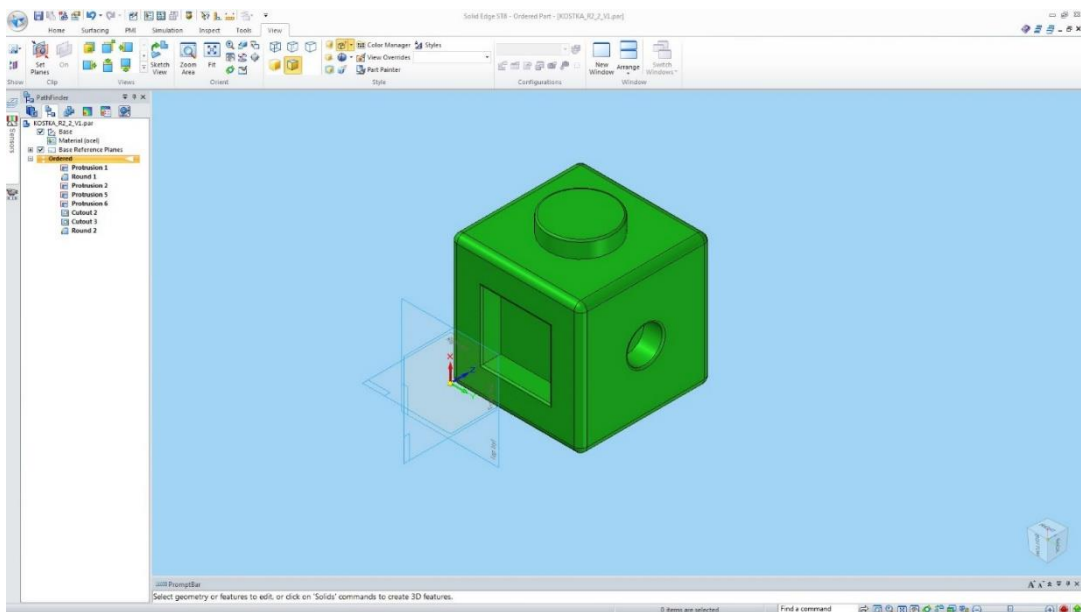
Obr. 22: Prohlubeň (Zdroj: vlastní zpracování, 2017)



Obr. 23: Skica malé kružnice (Zdroj: vlastní zpracování, 2017)

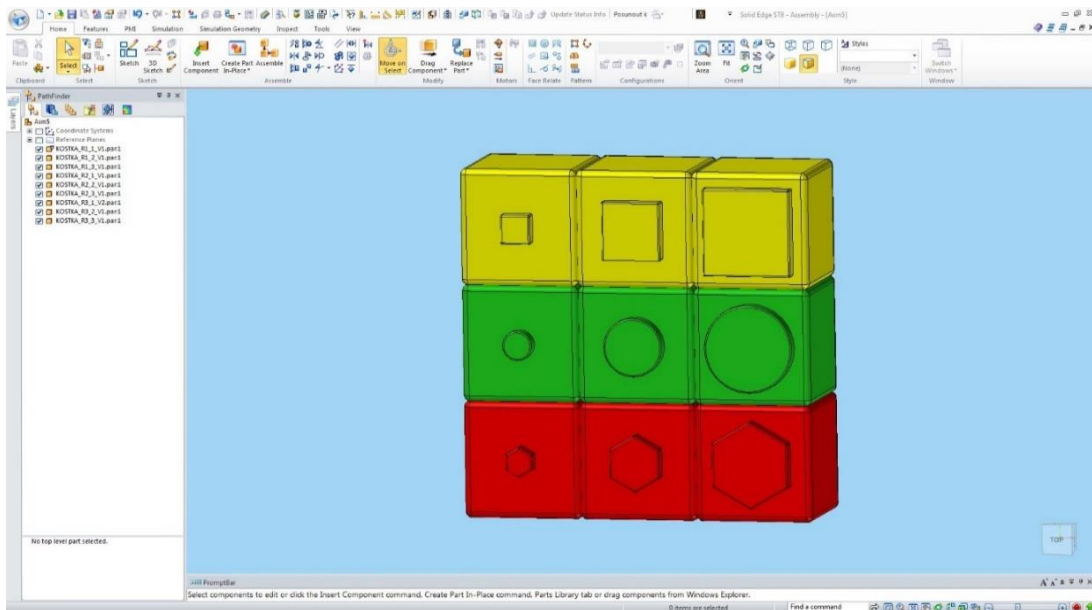


Obr. 24: Prohlubeň (Zdroj: vlastní zpracování, 2017)



Obr. 25: Konečný tvar kostky se sraženými hranami (Zdroj: vlastní zpracování, 2017)

Výsledná sestava vymodelovaných kostek je znázorněna na následujícím obrázku (obr. 26). Celá sestava skládačky z více pohledů je v příloze č. 3.



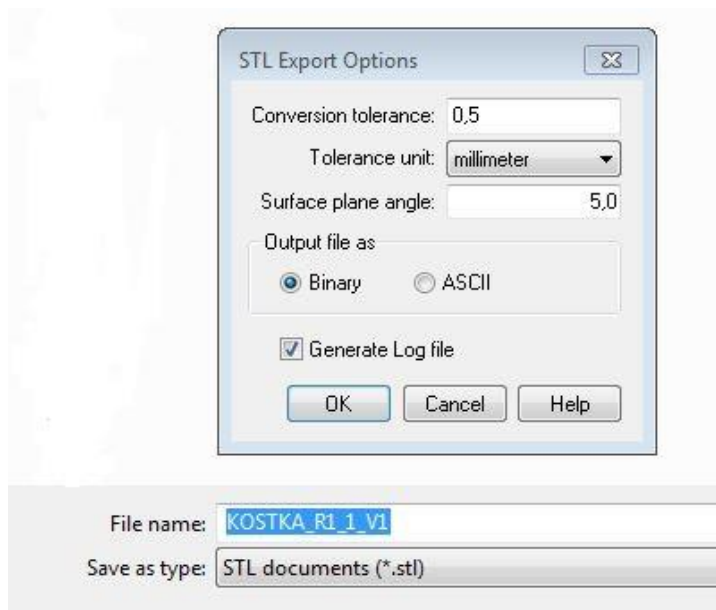
Obr. 26: celá skládačka (Zdroj: vlastní zpracování, 2017)

4.1.4 Exportování modelů do formátu STL

Soubory z SolidEdge jsou ukládány s koncovým formátem *.par. Pro 3D tisk je ale potřeba koncový formát *.stl, který popisuje třírozměrnou povrchovou geometrii modelu a je nejčastěji používán pro export dat do 3D tiskáren ze softwarových 3D modelářů (22).

Při provádění exportu je nutné nastavit následující parametry:

- odchylka 0,5 milimetrů,
- úhel 5°,
- binární soustava (obr. 27).



Obr. 27: Nastavení parametrů pro převod modelu *.stl (Zdroj: vlastní zpracování, 2017)

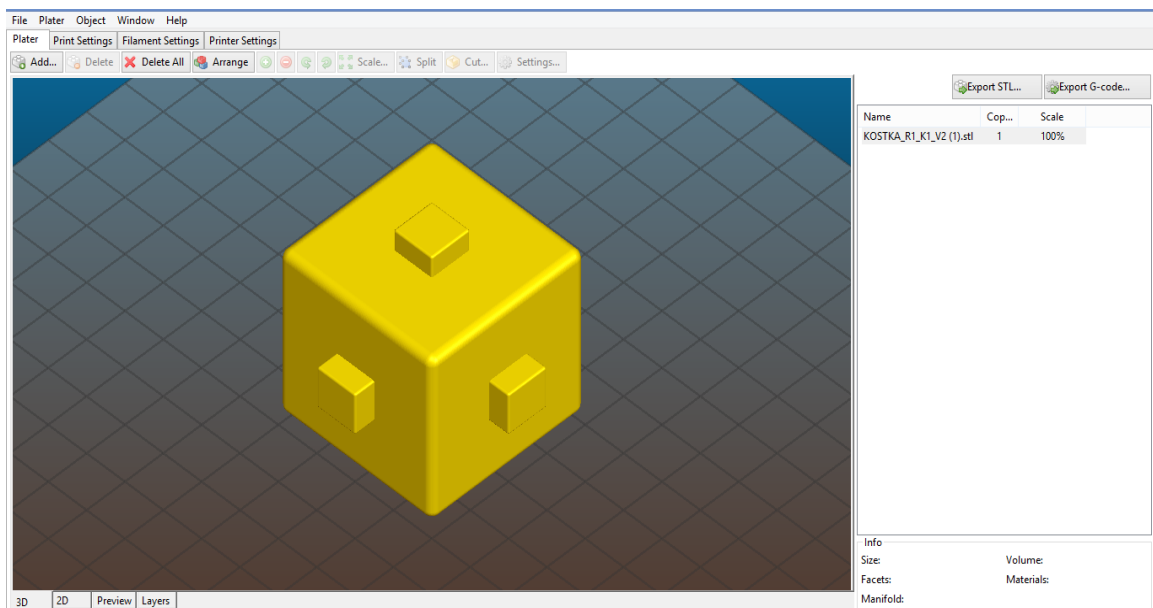
4.2 Výroba prototypů

Před samotnou výrobou jednotlivých kostek bylo nutné vytvořit soubor se zdrojovými informacemi pro 3D tiskárnu. V praxi to znamená, že z původního přenosového formátu *.stl se získá formát *.g, který umí číst 3D tiskárny a na základě informací v něm obsažených provede tisk dílu.

4.2.1 Nastavení tiskárny a tisk

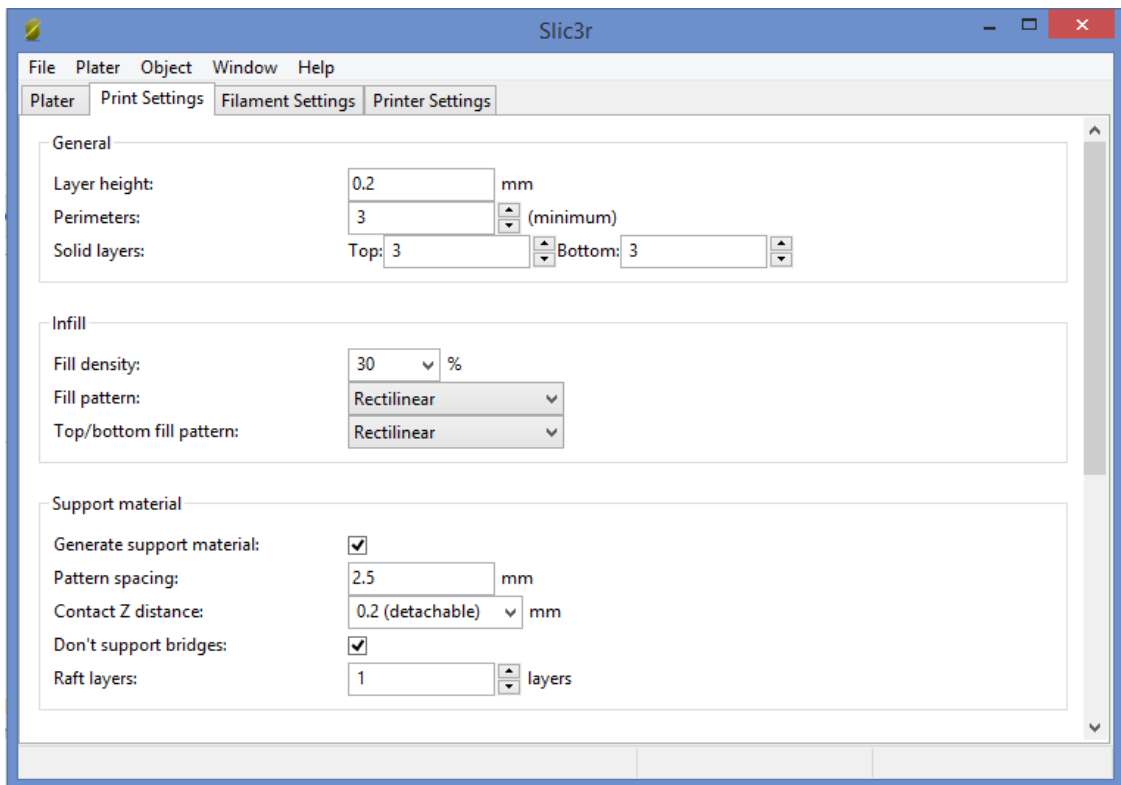
Před samotnou výrobou kostek se musel soubor *.stl převést na *.g kód. G kód je typ souboru, kterému rozumí 3D tiskárny. Jsou v něm uloženy informace, které specifikují tloušťku vrstvy nanášeného materiálu, výplň modelu, nastavení podpůrného materiálu nebo i to, která část modelu a v jaké velikosti se bude tisknout. Tyto podrobnosti byly nastaveny v programu Slic3r.

V prvním kroku se nahrál *.stl model do programu Slic3r pomocí příkazu *Přidat* (obr. 28).

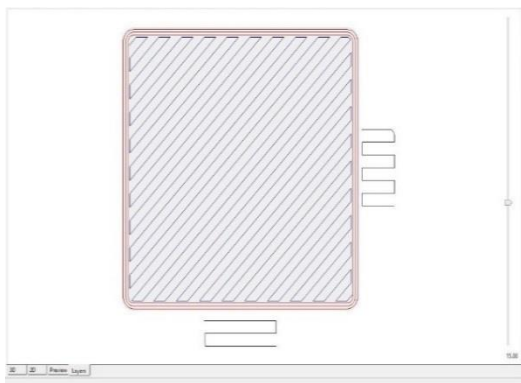


Obr. 28: 3D model kostky nahraný v programu Slic3r (Zdroj: vlastní zpracování, 2017)

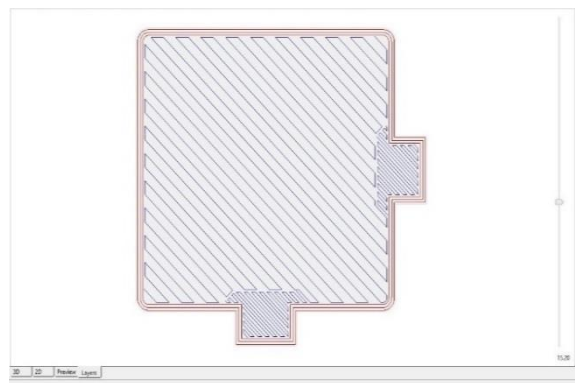
V *Nastavení tisku* byla zadána tloušťka vrstvy na 0,2 mm a perimetry na 3 – tloušťka stěn. Čím je vrstva tenčí, tím je povrch modelu hladší. Následně bylo zvoleno, z kolika procent bude model vyplněn. U kostiček byla nastavená 30% výplň typu Rectilinear - přímočará. Jako poslední byl nastaven typ podpurného materiálu a jeho vzdálenost od modelu na 0,2 mm (obr 29). Princip nanášení vrstev materiálu je znázorněn na obr. 30 až obr. 32. Pro kontrolu nastavení byl využit 3D náhled na model (obr. 33).



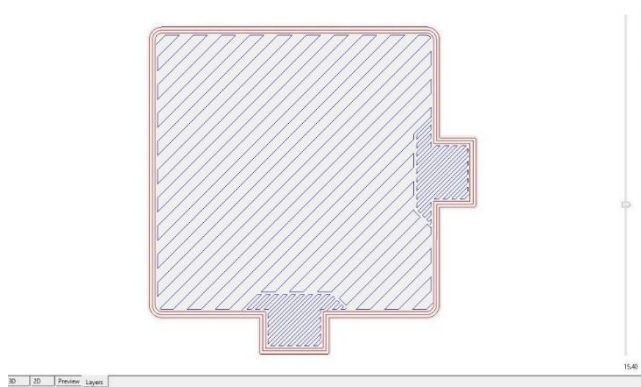
Obr. 29: Nastavení *.g kódu (Zdroj: vlastní zpracování, 2017)



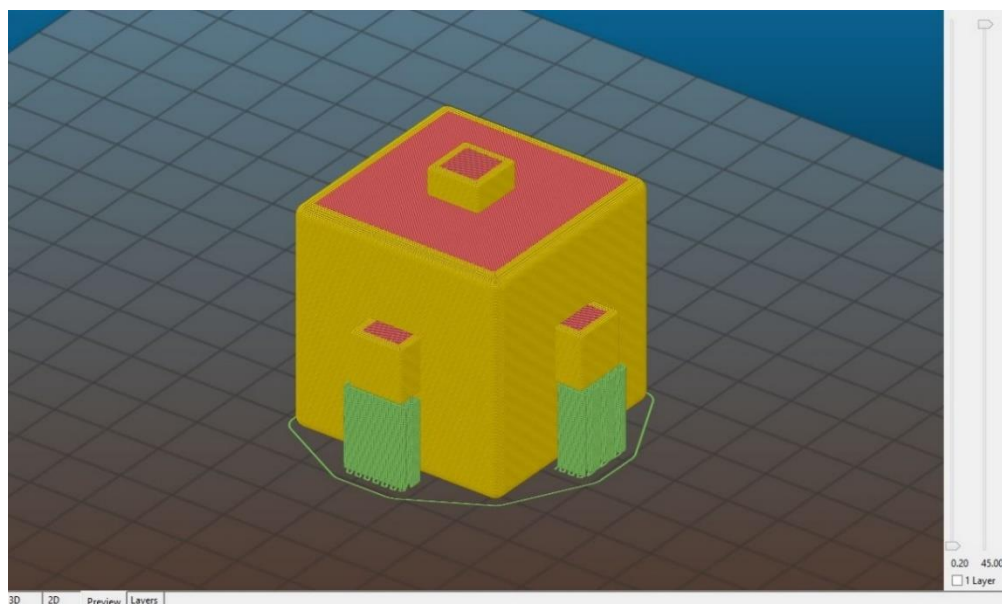
Obr. 30: Vrstva materiálu ve výšce 15.00 mm
(Zdroj: vlastní zpracování, 2017)



Obr. 31: Vrstva materiálu ve výšce 15.20 mm
(Zdroj: vlastní zpracování, 2017)

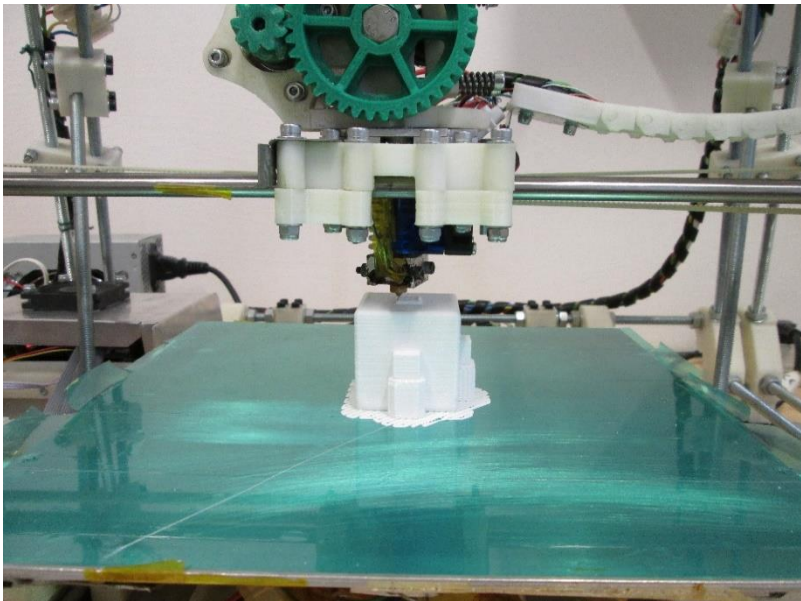


Obr. 32: Vrstva materiálu ve výšce 15.40 mm (Zdroj: vlastní zpracování, 2017)



Obr. 33: Znáznornění celé kostky v programu Slic3r (Zdroj: vlastní zpracování, 2017)

Tisk kostek probíhal na tiskárně typu RepRap Průša i3 (obr. 34). Vytisknout jednu kostku trvalo 2 až 2,5 hodiny.



Obr. 34: Tisk prvního dílu skládačky (Zdroj: vlastní zpracování, 2017)

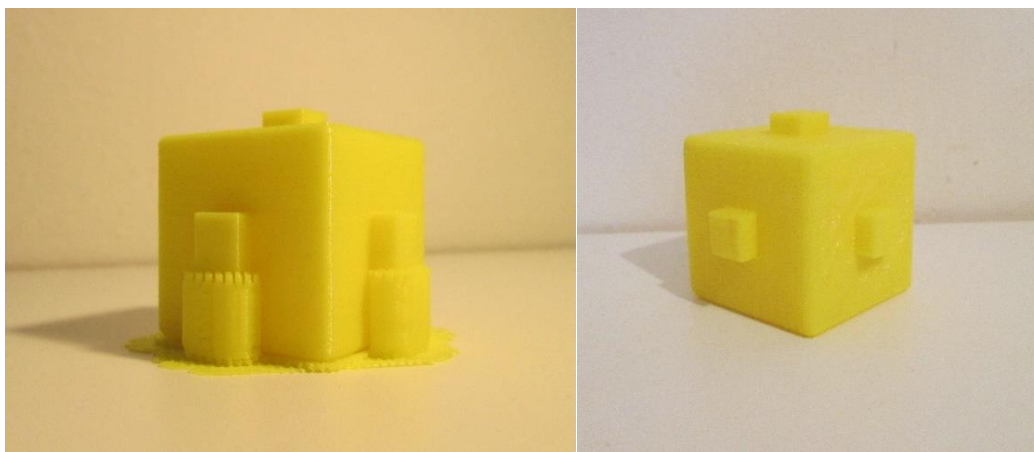
4.3 Úprava vyrobených sad skládaček

Prototypy bylo nutné po výrobě zbavit podpurného materiálu a dosáhnout lepší kvality povrchu. Některé kroky byly pro obě skládačky shodné.

4.3.1 Úprava první sady skládačky

První sada kostek byla vyrobena barevně a to v kombinaci žluté, zelené a červené. Po tisku bylo nutné odstranit podpurný materiál (obr. 35). K tomu bylo použito metod obrábění – řezání, stříhání, broušení.

Podpurný materiál kolem podstavy byl ostříhán a ořezán. Spodní strana kostky, kde bylo podpurného materiálu na ploše nejvíce, byl pomalu a pečlivě osekán a obroušen, tak, aby bylo dosaženo rovné podstavy. Menší nesrovnalosti byly zbroušeny na pásové ruční brusce s brusným papírem o zrnitosti 80, menší plochy a hrany pak upraveny ručně.



Obr. 35: První kostka před a po odstranění podpůrného materiálu (Zdroj: vlastní zpracování, 2017)

4.3.2 Úprava druhé sady skládačky

Druhá sada skládačky se v prvních krocích upravoval obdobně. Z kostek se musel odstranit podpůrný materiál a zbrousit největší nerovnost.

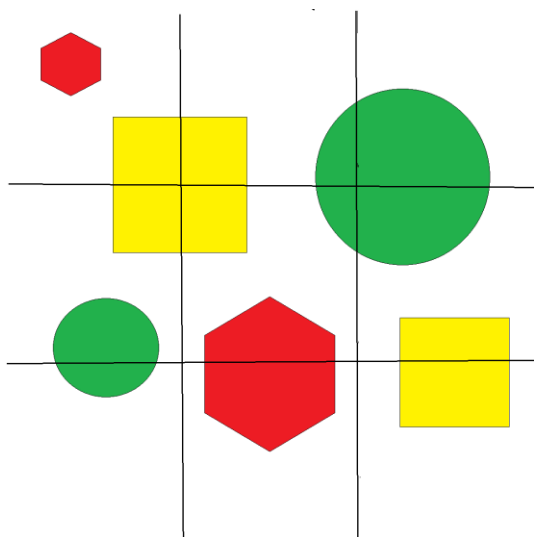
Jako názorná ukázka různých způsobů finální úpravy, byly kostky druhé sady očištěny od nečistot a dle návodu nastříkány univerzálním plničem ve spreji Motip. Po dodržení technologické přestávky na schnutí, cca 3 hodiny, byly kostky broušeny pod vodou brusným papírem o zrnitosti 600 a znovu nastříkány. Tento postup byl proveden pětkrát. Díky opakovanému broušení aplikovaného plniče byl povrch prototypů zbaven nerovností vytvořených během tisku a bylo dosaženo hladkého povrchu.

Po dokonalém vyschnutí byl nevýrazně barevný nástřik plničem přestříkán barevným rychleschnoucím akrylovým lakem Motip. Výsledná barva kostek z této sady skládačky je oranžová (obr. 36).



Obr. 36: Kostka po aplikaci tmelu a barevného laku (Zdroj: vlastní zpracování, 2017)

Posledním krokem byla úprava spodní strany skládačky. V případě první sady se kostky liší barvami. U druhé sady mají všechny kostky stejnou barvu. Náповědou při sestavování druhé sady skládačky bude obrázek (obr. 37), který byl nalepen na spodní stranu skládačky. Všechny kostky mají podstavu rovnou a tak je možné na ni pomocí lepidla přilepit díly obrázkového puzzle rozděleného na 9 stejných dílků. Obrázek byl zvolen se stejnou tématikou, jakou mají kostky. Tedy základní tvary – kolečka, čtverce a šestiúhelníky v různých barvách a kombinacích.



Obr. 37: Motiv na spodní stranu skládačky (Zdroj: vlastní zpracování, 2017)

Návrh na zlepšení skládačky

Na prototypch skládačky se ukázalo, že velikost vůle mezi výstupkem a prohlubní je moc velká, kostky v sobě po zasunutí nedrží a rozpadají se, což má za následek nutnost skládat kostky na rovném podkladu. Tento nedostatek by bylo možné odstranit úpravou vymezené vůle a kontrolou správnosti řešení výrobou dalších prototypů.

Na doporučení pedagoga, který dohlížel na testování skládačky v mateřské škole, by pro děti bylo lepší nahradit výstup ve tvaru šestiúhelníku za trojúhelník.

5 TECHNICKO – EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

Předmětem této kapitoly je ekonomické srovnání nabízených variant výroby prototypu skládačky a vyčíslení vybrané varianty výroby. Dále je zde popsáno technické a ekonomické zhodnocení použitých způsobů úpravy první a druhé sady skládačky.

5.1 Náklady na výrobu skládačky na domácí tiskárně

Při výrobě prototypů metodou Fused Deposition Modeling není během procesu nutný neustálý dohled pracovníka, metoda je téměř bezobslužná. Náklady na výrobu touto metodou byly tvořeny z přímých nákladů na materiál. Skládačky byly vyrobeny z bílého a barevného materiálu PLA. Objem spotřebovaného materiálu je vyčíslen v tab. 6, kde jsou kostky označeny svou polohou ve skládačce, Ř značí řadu, K kostku.

Tab. 6: Vyčíslení objemu spotřebovaného materiálu (Zdroj: vlastní zpracování, 2017)

	Objem modelovacího materiálu [cm ³]	Objem podpůrného materiálu [cm ³]	Objem celkem [cm ³]
1.Ř, 1.K	28,49	0,49	28,97
1.Ř, 2.K	30,71	0,89	31,60
1.Ř, 3.K	31,36	0,89	32,25
2.Ř, 1.K	28,36	0,64	29,00
2.Ř, 2.K	29,76	1,37	31,13
2.Ř, 3.K	29,64	1,55	31,19
3.Ř, 1.K	28,06	0,38	28,44
3.Ř, 2.K	28,88	0,99	29,87
3.Ř, 3.K	28,23	1,30	29,53
Celkem [cm³]	263,48	8,50	271,99

Cena modelovacího materiálu a podpůrného materiálu (barevného a bílého) byla stejná a to 1 [Kč/cm³]. V této ceně byly zahrnuty náklady na provoz tiskárny a její obsluhu. Celkové náklady na výroby jedné sady skládačky byly určeny podle vztahu:

$$N_C = (V_{ZM} + V_{PM}) \times P_M \quad (1)$$

$$N_C = (263,48 + 8,50) \times 1$$

$$N_C = 271,98 \text{ Kč}$$

Celková cena výroby jedné sady skládačky je po zaokrouhlení 272 Kč. Celková cena výroby obou sad skládaček je 544 Kč.

Kde: V_{ZM} [cm³] - Celkový objem základního materiálu,

V_{PM} [cm³] - Celkový objem podpůrného materiálu,

P_M [Kč/ cm³] - Cena základního a podpůrného materiálu,

N_C [Kč] - Celková cena výroby.

5.2 Náklady na výrobu v externích firmách

Před výrobou prototypů hračky byla odeslána poptávka několika externím firmám a následně byly srovnány jejich cenové nabídky. V poptávce byl uveden materiál, ze kterého měla být skládačka vyrobená, modely kostek ve formátu *.stl a požadavek na specifickou barevnost skládaček. První sada měla být vyrobena v barevné kombinaci žlutá, zelená, červená a druhá pak v bílé barvě.

Cena výroby dvou sad skládačky na FSI VUT v Brně, Ústav strojírenské technologie na tiskárně uPrint byla dána objemem spotřebovaného materiálu. Celkový objem jedné skládačky je 271,99 cm³, z toho 238,77 cm³ je materiál modelu a 33,22 cm³ podpůrný materiál. Cena 1 cm³ je 14,40 Kč. Celková cena výroby jedné sady je 3 917 Kč, cena obou je 7 834 Kč.

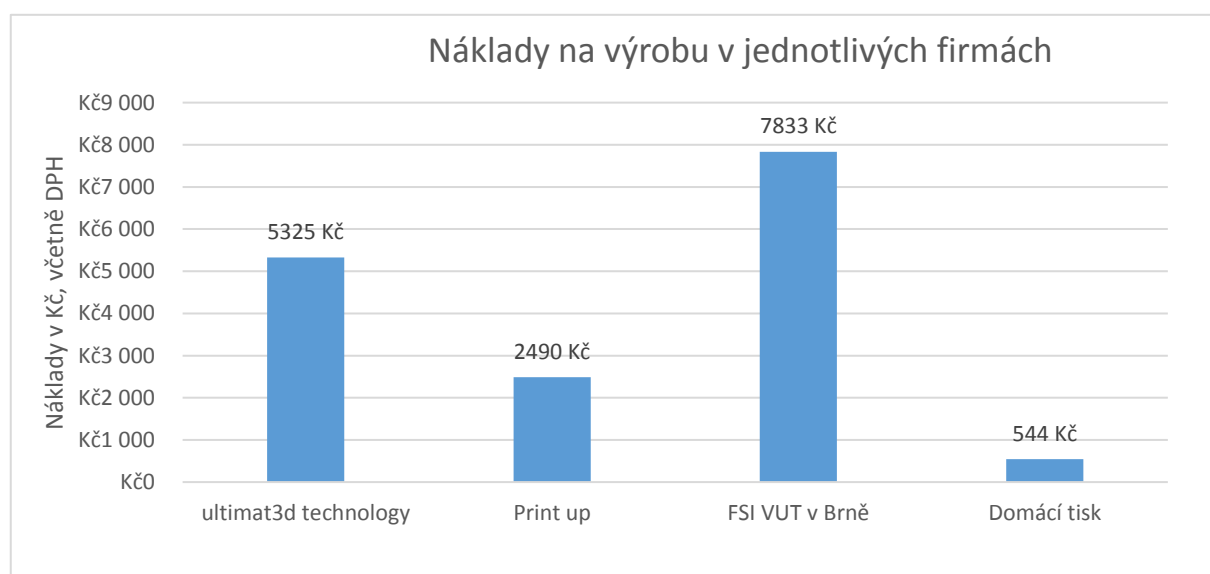
Kostky bylo možné nechat vyrobit ve firmě ultimat3D technology s.r.o. Dobu výroby kostek si tato firma stanovila na 5 dnů. Nabídnutá cena byla 5 325 Kč.

Další poptávka byla odeslána na web Prinup.cz, kde výrobu skládaček ocenili na 2 490 Kč.

Přehled a porovnání nákladů na výrobu dvou sad skládačky u vybraných firem je vyčísleno v tab. 7. a porovnáno v grafu 1.

Tab. 7: Náklady na výrobu skládaček u jednotlivých firem (Zdroj: vlastní zpracování, 2017)

Firma	ultimat3d technology	Print up	FSI VUT v Brně	Domácí tisk
Cena výroby	5 325 Kč	2 490 Kč	7 833 Kč	544 Kč



Graf 1: Srovnání nákladů na výrobu v jednotlivých firmách (Zdroj: vlastní zpracování, 2017)

5.3 Srovnání nákladů a technologického postupu úprav sad skládačky

První sada skládačky byla vytisknuta barevně, její úprava (viz. 2.3.1) spočívala v odstranění podpůrného materiálu a zbroušení nerovností. Během této úpravy byl spotřebován brusný papír v hodnotě 30 Kč (tab. 8). Celkový čas úpravy byl 4,5 hodiny (tab. 9).

Druhá sada skládačky byla vytisknuta bíle, její úprava (viz. 2.3.2) spočívala v odstranění podpůrného materiálu, zbroušení nerovností, očištění, tmelení, lakování a lepení obrázkového motivu. Během této úpravy byl spotřebován brusný papír v hodnotě 80 Kč, tmel v hodnotě 120 Kč, lak v hodnotě 60 Kč a lepidlo v hodnotě 15 Kč. Náklady na spotřebovaný materiál byly 275 Kč (tab. 8). Celkový čas úpravy byl 16,5 hodin (tab. 9).

Režijní náklady na provoz zařízení

Po odstranění podpůrného materiálu ze skládaček byla pro zbroušení největších nerovností využita pásová ruční bruska, která má příkon 0,6 kW. Cena elektrické energie byla 7,80 Kč/kWh. Pásová bruska byla pořízena za 1600 Kč. Její životnost je 1000 hodin broušení. Odpisová sazba za jednu hodinu broušení je 0,1 % z ceny pásové brusky.

Spotřeba elektrické energie na broušení 1 sady skládačky:

$$E = (P \times h) \times P_e \quad (2)$$

$$E = (0,6 \times 2) \times 7,80$$

$$E = 9,36 \text{ Kč}$$

Odpis zařízení:

$$O = (VC \times OS) \times h \quad (3)$$

$$O = (1600 \times 0,001) \times 2$$

$$O = 3,2 \text{ Kč}$$

Režijní náklady celkem:

$$RN = E + O \quad (4)$$

$$RN = 9,36 + 3,2$$

$$RN = 12,56 \text{ Kč}$$

Režijní náklady na úpravy jedné sady skládačky jsou po zaokrouhlení 13 Kč.

Kde: P [kW] – Příkon,

P_e [Kč/kWh] - cena elektrické energie,

h [h] - Hodina práce,

E [Kč] - Cena spotřeby elektrické energie,

VC [Kč] - Vstupní cena pásové brusky,

OS [%] - Odpisová sazba,

O [Kč] - Odpisy,

RN [Kč] - Režijní náklady.

Mzdové náklady byly stanoveny ve výši 1500 Kč. Jednalo se o mzdu za určenou práci, bez ohledu na časové náklady zpracování úprav obou sad skládačky. Mzdové náklady na 1 sadu skládačky byly vyčísleny prostým dělením.

Celkové náklady na úpravu skládaček jsou vyčísleny v tab. 8.

Tab. 8: Vyčíslení finančních nákladů úprav (Zdroj: vlastní zpracování, 2017)

Náklady	Finanční náklady		
	Barevná sada	Bílá sada	Celkem
Náklady mzdové	750 Kč	750 Kč	1 500 Kč
Náklady na spotřebovaný materiál	30 Kč	275 Kč	305 Kč
Režijní náklady na provoz zařízení	13 Kč	13 Kč	26 Kč
CELKOVÉ NÁKLADY NA ÚPRAVU	793 Kč	1038 Kč	1 831 Kč

Tab. 9: Vyčíslení časových nákladů úprav (Zdroj: vlastní zpracování, 2017)

Činnost	Časové náklady	
	Barevná sada	Bílá sada
Odstranění podpůrného materiálu	1,5 h	1,5 h
Broušení na pásové brusce	2 h	2 h
Broušení ruční	1h	1 h
Očištění		0,5 h
Tmelení		5 h
Broušení		5 h
Lakování		1 h
Lepení obrázku		0,5 h
CELKOVÝ ČAS	4,5 h	16,5 h

Výsledky vyplývající z tab. 8 a tab. 9 byly následovné. Celkový čas úpravy barevné sady skládačky byl 4,5 hodiny a bílé sady skládačky 16,5 hodin. Celkové náklady na úpravu barevné sady skládačky byly 793 Kč. Celkové náklady na úpravu bílé skládačky byly 1038 Kč. Celkové náklady na úpravu obou sad byly 1831 Kč (graf 2).



Graf 2: Poměrové složení celkových nákladů na úpravu skládaček (Zdroj: vlastní zpracování, 2017)

Úprava barevné skládačky byla časově o 12 hodin kratší a celkové náklady na úpravu byly o 245 Kč nižší. Celkové náklady na úpravu bílé sady skládačky ovlivnily vysoké náklady na spotřebovaný materiál.

ZÁVĚR

Hlavním cílem bakalářské práce byl návrh výroby dětské skládačky s využitím moderních technologií, konkrétně 3D tisku, který v dnešní době má široké spektrum využití, nejčastěji právě pro realizaci zkušebních prototypů.

V teoretické části je charakterizována hra a hračka a její význam pro dítě. Dále byla popsána aditivní technologie Rapid Prototyping, její metody a materiály, kterých využívají. Metoda Fused Deposition Modeling byla použita při výrobě skládačky.

V praktické části byl vylíčen celý proces návrhu výroby dětské skládačky. Návrhy skládačky vznikaly postupně jako náčrtky na papíru, výkres a konečné modely v parametrickém programu SolidEdge. Při navrhování tvarů a velikostí jednotlivých kostek hračky se vycházelo z teorie o hračce a charakteristiky aditivní technologie Rapid Prototyping. Prototypy skládačky byly vytisknuty ve dvou provedeních na 3D tiskárně typu RepRap Pruša i3 metodou FDM z materiálu PLA. Velkou výhodou tohoto materiálu je jeho složení z kukuřičného škrobu a široká škála dostupných barev. Jednotlivé prototypy byly upraveny dvěma různými způsoby, které jim dodaly rozdílné přidané funkce. První sada skládačky byla vyrobena z barevného materiálu PLA. Druhá byla vyrobena z bílého materiálu PLA, tmelená a lakována na oranžovou barvu. Na spodní stranu druhé sady hračky byl přilepen obrázkový motiv jako druhá alternativa způsobu složení skládačky.

Navržená skládačka je vhodná pro děti od 4 do 8 let. Dítě se hrou s ní učí tvarům, barvám a jemné motorice. Skládačka má pouze jedno správné řešení.

Z nabízených variant výroby byla vybrána nejlevnější varianta a to na domácí tiskárně. Náklady na výrobu obou sad skládačky byly 544 Kč. Cena úprav obou sad skládaček 1831 Kč.

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

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- (1) BORECKÝ, Vladimír. *Svět hraček*. 1. vyd. Praha: Mona (ÚV Českého svazu žen), 1982. 95 s. ISBN 59-244-79. (strana 19- 21)
- (2) MIŠURCOVÁ, Věra. *Hra a hračka v životě dítěte*. 1. vyd. Praha: SPN, 1980. 143 s. ISBN neuvedeno
- (3) SUCHÁNKOVÁ, Eliška. *Hra a její využití v předškolním vzdělávání*. 1. vyd. Praha: Portál, 2014. 182 s. ISBN 978-80-262-0698-9
- (4) *Správná hračka: Chytré didaktické HRAČKY a HRY pro děti+* [online]. [cit. 2017- 03-07]. Dostupné z: <http://www.spravnahracka.cz/chytre-didakticke-hracky-a-hry-pro-deti>
- (5) *CA TECHNOLOGIE* [online]. [cit. 2017-03-10]. Dostupné z: <http://www.vosaspsekrizik.cz/cs/download/studium/sps/vyp-technika/acad.pdf>
- (6) WIKIPEDIE, The free encyklopedie, 2017: *Computer-aided technologies* [online]. [cit. 2017-03-01]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Computer-aided_technologies
- (7) Organizace přípravy výroby, metodická příručka k laboratorním cvičením (cvičení). Brno: VUT v Brně, Fakulta podnikatelská, 11. 11. 2015
- (8) *CAD Studio: AutoCAD* [online]. © 2017 [cit. 2017-03-15]. Dostupné z: <http://www.cadstudio.cz/prichazi-novy-autocad-2017-a-autocad-lt-2017-art2200>
- (9) *Siemens Product Lifecycle Management Software Inc.: Solid Edge* [online]. © 2017 [cit. 2017-03-17]. https://www.plm.automation.siemens.com/cz_cz/products/solid-edge/index.shtml
- (10) PÍŠKA, Miroslav. *Speciální technologie obrábění*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2009. ISBN 978-80-214-4025-8.
- (11) PRŮŠA, Josef a Michal PRŮŠA. *Základy 3D tisku* [online]. 2014 [cit. 2017-04-11]. Dostupné z: <http://www.prusa3d.cz/kniha-zaklady-3d-tisku-josefa-prusi/>

- (12) BENIAK, Juraj. *Systémy Rapid Prototyping*. Bratislava: Slovenská technická univerzita v Bratislave, 2014, 134 s. ISBN 978-80-227-4287-0.7
- (13) *CustomPartNet: Stereolithography* [online]. © 2017 [cit. 2017-03-10]. Dostupné z: <http://www.custompartnet.com/wu/stereolithography>
- (14) *CustomPartNet: Direct Metal Laser Sintering* [online]. © 2017 [cit. 2017-03-10]. Dostupné z: <http://www.custompartnet.com/wu/direct-metal-laser-sintering>
- (15) *CustomPartNet: Laminated Object Manufacturing* [online]. © 2017 [cit. 2017-03-10]. Dostupné z: <http://www.custompartnet.com/wu/laminated-object-manufacturing>
- (16) *CustomPartNet: Fused Deposition Modeling* [online]. © 2017 [cit. 2017-03-10]. Dostupné z: <http://www.custompartnet.com/wu/fused-deposition-modeling>
- (17) *RepRap* [online]. [cit. 2017-03-16]. Dostupné z: <http://reprap.org/wiki/File:Pc-va.jpg>
- (18) *Na3d: Přehled dostupných materiálů* [online]. [cit. 2017-03-14]. Dostupné z: <https://www.na3d.cz/materialy/>
- (19) *Creative Mechanisms: Everything You Need to Know About ABS Plastic* [online]. © 2016 [cit. 2017-03-14]. Dostupné z: <https://www.creativemechanisms.com/blog/everything-you-need-to-know-about-abs-plastic>
- (20) *Creative Mechanisms: Everything You Need To Know About Polylactic Acid (PLA)* [online]. © 2016 [cit. 2017-03-14]. Dostupné z: <https://www.creativemechanisms.com/blog/learn-about-poly-lactic-acid-pla-prototypes>
- (21) *Creative Mechanisms: Everything You Need To Know About Nylon (PA)* [online]. © 2016 [cit. 2017-03-14]. Dostupné z: <https://www.creativemechanisms.com/blog/3d-printing-injection-molding-cnc-nylon-plastic-pa>

(22) *3D-tisk: STL* [online]. © 2014 [cit. 2017-04-08]. Dostupné z: <http://www.3d-tisk.cz/stl/>

(23) *MM Průmyslové spektrum: Nekonvenční metody obrábění 10. díl* [online]. © 2017 [cit. 2017-05-11]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/nekonzvencni-metody-obrabeni-10-dil.html>

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

3D	3-Dimenzionální/trojrozměrný
CA	Computer Aided
CAD	Computer-Aided Design
RP	Rapid Prototyping
RepRap	Replicating Rapid Prototyper
STL	Stereolitografie
PLM	Product Lifecycle Management
SLA	Stereolytografie
DMLS	Direct Metal Laser Sintering
LOM	Laminated Object Manufacturing
FDM	Fusion Deposition Modeling
ABS	Akrylonitrilbutadienstyren
PLA	Polyactic Acid
Kč	Koruna česká

SEZNAM GRAFŮ

Graf 1: Srovnání nákladů na výrobu v jednotlivých firmách	48
Graf 2: Poměrové složení celkových nákladů na úpravu skládaček.....	52

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1: Aplikace Cax v kontextu PLM	15
Obr. 2: Obecný princip technologie RP	16
Obr. 3: Princip metody SLA	18
Obr. 4: Princip metody DMLA	20
Obr. 5: princip metody LOM.....	22
Obr. 6: Princip metody FDM	23
Obr. 7: Originální a replikovaná 3D tiskárna	24
Obr. 8: Náčrtek celé skládačky	27
Obr. 9: Vizualizace principu skládání první a druhé kostky.....	27
Obr. 10: Vizualizace principu skládání druhé a třetí kostky.....	27
Obr. 11: Narýsovaná první kostka	28
Obr. 12: Skica půdorysu krychle	29
Obr. 13: Zakótování výšky krychle	30
Obr. 14: Základní krychle po zaoblení hran	30
Obr. 15: Skica výstupku.....	31
Obr. 16: Příklad	31
Obr. 17: Konečný tvar kostky se sraženými hranami	32
Obr. 18: Skica střední velikosti kružnice	33
Obr. 19: Kruhový přídavek střední velikosti	33

Obr. 20: Kruhové přídavky střední velikosti na předem určených stranách	34
Obr. 21: Skica čtverce střední velikosti	34
Obr. 22: Prohlubeň	35
Obr. 23: Skica malé kružnice	35
Obr. 24: Prohlubeň	36
Obr. 25: Konečný tvar kostky se sraženými hranami	36
Obr. 26: celá skládačka	37
Obr. 27: Nastavení parametrů pro převod modelu *.stl.....	38
Obr. 28: 3D model kostky nahraný v programu Slic3r	39
Obr. 29: Nastavení *.g kódu	40
Obr. 30: Vrstva materiálu ve výšce 15.00 mm	40
Obr. 31: Vrstva materiálu ve výšce 15.20 mm	40
Obr. 32: Vrstva materiálu ve výšce 15.40 mm	41
Obr. 33: Znázornění celé kostky v programu Slic3r	41
Obr. 34: Tisk prvního dílu skládačky	42
Obr. 35: První kostka před a po odstranění podpůrného materiálu	43
Obr. 36: Kostka po aplikaci tmelu a barevného laku.....	44
Obr. 37: Motiv na spodní stranu skládačky	44

SEZNAM TABULEK

Tab. 1: Přehled některých CAx aplikací	14
Tab. 2: Přehled základních technologií RP	17
Tab. 3: Přehled materiálů pro SLA	19
Tab. 4: Přehled materiálů pro DMLS od společnosti EOS	21
Tab. 5: Přehled materiálů pro FDM	24
Tab. 6: Vyčíslení objemu spotřebovaného materiálu	46
Tab. 7: Náklady na výrobu skládaček u jednotlivých firem	48
Tab. 8: Vyčíslení časových nákladů úprav	50
Tab. 9: Vyčíslení finančních nákladů úprav	51

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1: Vyzkoušení skládačky v mateřské škole

Příloha 2: Výkres kostek z AutoCadu

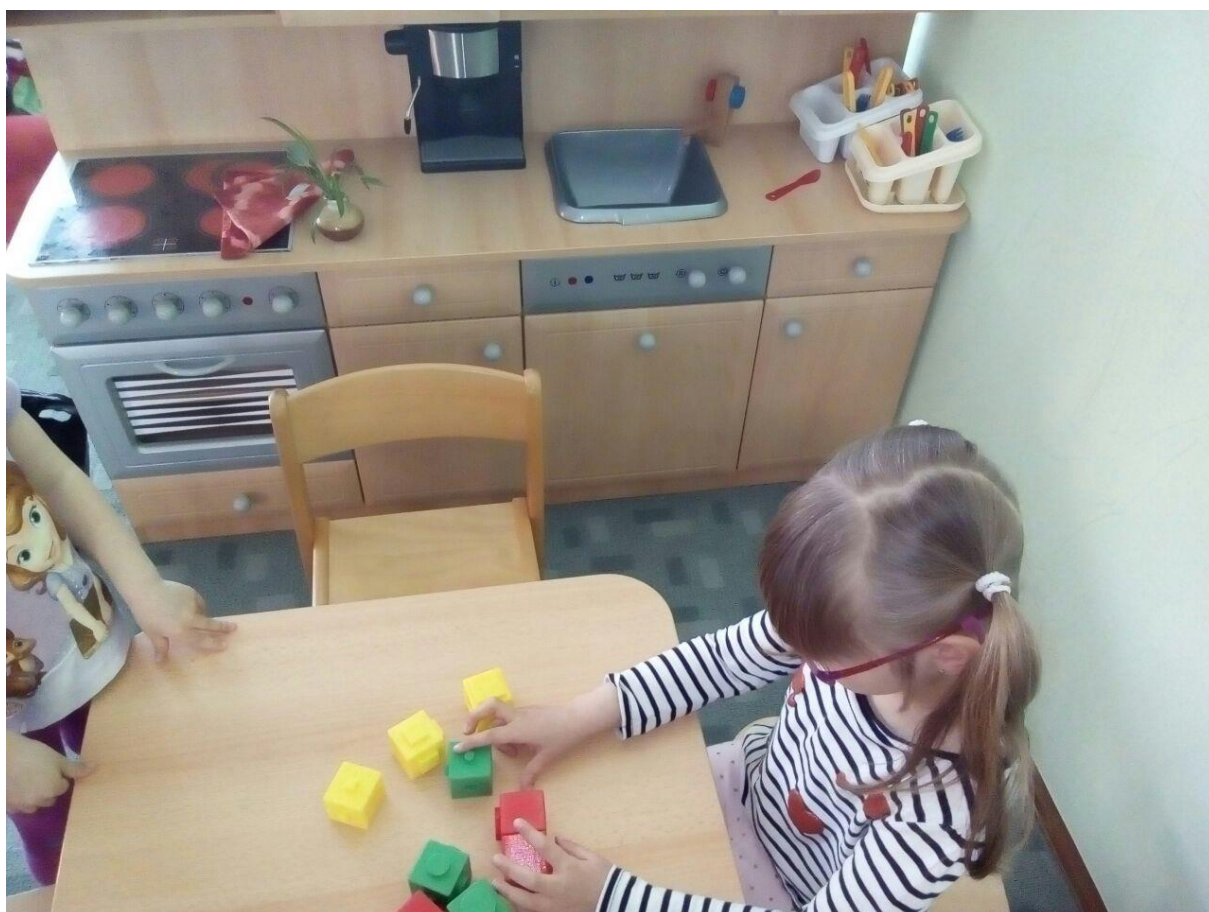
Příloha 3: Znázornění celé skládačky z více pohledů v programu SolidEdge

Příloha 1: Vyzkoušení skládačky v mateřské škole

Prototyp navržené skládačky zkoušely děti z mateřské školy v Líšni.

Se skládačkou si hrálo 10 dětí ve věku 4 – 7 let. Nejdřív jim skládačka byla ukázána jako celek a vysvětlen princip skládání podle barev a tvarů. Na otázku, zda se jim skládačka líbila, odpovídaly všechny shodně ano. Nejrychleji měla skládačku složenou za 6 minut holčička ve věku 6 let a nejdéle ji skládal 15 minut chlapeček ve věku 4 let.

Paní ředitelka mi pak k hračce řekla: „*Skládačka má mnohostranné využití, děti se na ní mohou učit počty, barvy, tvary a ovládat jemnou motoriku. Podobnou jsem neviděla. Pro děti by bylo lepší, kdyby tvar šestiúhelníku nahradil ovál nebo trojúhelník.*“



Příloha 3: Znázornění celé skládačky z více pohledů v programu SolidEdge

