



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA PODNIKATELSKÁ

FACULTY OF BUSINESS AND MANAGEMENT

ÚSTAV MANAGEMENTU

INSTITUTE OF MANAGEMENT

INOVACE VÝROBKU S VYUŽITÍM CAE A ADITIVNÍ VÝROBY

PRODUCT INNOVATION USING CAE AND ADDITIVE PRODUCTION

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Pavla Bočková

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Petr Vyroubal, Ph.D.

BRNO 2020

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav managementu
Studentka: **Pavla Bočková**
Studijní program: Procesní management
Studijní obor: bez specializace
Vedoucí práce: **Ing. Petr Vyroubal, Ph.D.**
Akademický rok: 2019/20

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č. 111/1998 Sb., o vysokých školách ve znění pozdějších předpisů a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně zadává bakalářskou práci s názvem:

Inovace výrobku s využitím CAE a aditivní výroby

Charakteristika problematiky úkolu:

Úvod
Vymezení problému a cíle práce
Teoretická východiska práce
Analýza problému a současné situace
Vlastní návrhy řešení, přínos návrhů řešení
Závěr
Seznam použité literatury
Přílohy

Cíle, kterých má být dosaženo:

Cílem bakalářské práce je návrh a konstrukce inovovaného tvaru a upínacího mechanismu jednoručních činek s využitím systémů CAE (Computer aided engineering). Tvar a optimalizace konstrukce bude probíhat v parametrickém modeláři SolidWorks. Model navržené konstrukce bude realizován aditivní metodou FDM, bude proveden rozbor této technologie a jejího využití ve výrobním podniku. Práce bude ukončena technicko–ekonomickým zhodnocením řešené problematiky s rozбором navržených výrobních variant.

Základní literární prameny:

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

PÍŠA, Z. Rapid Prototyping master model □ pomocí CAD/CAM systém □ In: Mezinárodní vědecká konference. Ostrava: VŠB TU Ostrava, Fakulta strojní, 2005. 30 s. ISBN 80-248-0895-1.

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.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2019/20

V Brně dne 29.2.2020

L. S.

doc. Ing. Robert Zich, Ph.D.
ředitel

doc. Ing. et Ing. Stanislav Škapa, Ph.D.
děkan

Abstrakt

Tato bakalářská práce je zaměřena na návrh a konstrukci inovovaného tvaru upínacího mechanismu jednoruční činky. Model upínacího mechanismu i ostatní části činky jsou vymodelovány pomocí parametrického modeláře SolidWorks. Výsledný model je vytištěn na 3D tiskárně Ultimaker 2+ metodou Fused Deposition Modeling. V práci je také zahrnuto představení vybraných CAx systémů, charakteristika Rapid Prototypingu i metody FDM a používané materiály. Práce je zakončena technicko-ekonomickým zhodnocením výroby navrženého prototypu jednoruční činky.

Abstract

This bachelor thesis is focused on the design and construction of an innovated shape of the clamping mechanism of the one-handed dumbbell. The clamping mechanism model and other parts of the dumbbell are modelled using the parametric modeler called SolidWorks. The resulting model is printed on the Ultimaker 2+ 3D printer using the Fused Deposition Modeling method. The thesis also includes the introduction of selected CAx systems, the characteristics of Rapid Prototyping as well as the FDM method and materials used. The end of the thesis is completed by the technical-economic evaluation of the production of the proposed prototype of a one-handed dumbbell.

Klíčová slova

CAx systémy, CAD, Rapid Prototyping, Fused Deposition Modeling, 3D tisk

Key words

CAx systems, CAD, Rapid Prototyping, Fused Deposition Modeling, 3D printing

Bibliografická citace

BOČKOVÁ, Pavla. *Inovace výrobku s využitím CAE a aditivní výroby*. Brno, 2020. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/126825>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta podnikatelská, Ústav managementu. Vedoucí práce Petr Vyroubal.

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 neporušil autorská práva (ve smyslu Zákona č. 121/2000Sb., o právu autorském a o právech souvisejících s právem autorským).

V Brně dne 15. května 2020

.....

podpis autora

Poděkování

Nejvíce bych chtěla poděkovat vedoucímu mé bakalářské práce panu Ing. Petru Vyroubalovi, Ph.D. za jeho pomoc, rady a motivaci při tvorbě této práce.

Obsah

Úvod.....	10
1. Počítačem podporované systémy – CAx	11
1.1 Důvody zavádění.....	11
1.2 Trendy CA systémů.....	13
1.3 Systémový pohled na CA systémy.....	13
1.4 CAD – Computer Aided Design	14
1.5 CAPP – Computer Aided Process Planing.....	16
1.6 CAD/CAM.....	17
1.7 PPS – Production Planning System.....	17
1.8 CAM – Computer Aided Manufacturing	18
1.9 CAQ – Computer Aided Quality.....	19
1.10 PLM – Product Life Management.....	20
2. Rapid prototyping	20
2.1 Prototyp	21
2.2 Technologie Rapid Prototyping	21
2.3 Fused deposition modeling - FDM	22
2.3.1 Materiály používané pro aditivní metodu FDM	24
2.4 Další metody 3D tisku.....	26
2.4.1 Na bázi fotopolymerů	26
2.4.2 Na bázi práškových materiálů.....	27
2.4.3 Na bázi tuhých materiálů	28
3. Analýza současného stavu	30
4. Cíle bakalářské práce	33
5. Praktická část	34
5.1 Solidworks.....	34

5.2	Tvorba jednotlivých dílů činky	34
5.2.1	Tvorba kotoučů	36
5.2.2	Tvorba osy	38
5.3	Tvorba upínacího mechanismu	39
5.3.1	Návrh číslo 1	40
5.3.2	Návrh číslo 2	41
5.3.3	Návrh číslo 3	42
5.4	Volba nejlepšího návrhu	42
5.5	Tvorba výsledného modelu	43
5.6	Výroba modelu	45
5.6.1	Ultimaker CURA	45
5.6.2	Ultimaker 2+	50
6.	Technicko-ekonomické zhodnocení výroby modelu	52
6.1	Náklady výrobního zařízení	52
6.2	Náklady na materiál	53
6.3	Náklady na montáž a dokončovací operace	54
6.4	Náklady na návrh designu a tvorbu 3D modelu	55
6.5	Stanovení celkových nákladů tvorby prototypu	56
	Závěr	58
	Seznam použitých zdrojů	59
	Seznam použitých obrázků	62
	Seznam použitých tabulek	64
	Seznam příloh	65

Úvod

Dnešní svět už si docela těžko dokážeme představit bez počítačů. Pro veškeré činnosti v podniku je stále více využívána počítačová podpora s množstvím nejrůznějších softwarů. Tato podpora je však nejdůležitější v předvýrobních etapách, hlavně při návrhu výroby a výrobků. CAD systémy nám umožňují vymodelovat produkt odpovídající konečnému výrobku. Pomocí metod Rapid Prototypingu pak lze hotový model vyrobit za krátkou dobu, řádově třeba jen několik hodin. Takto vytištěný prototyp přebírá některé charakteristiky budoucího hotového produktu. Může sloužit zejména pro designérské posouzení, reklamní nebo marketingové účely na různých výstavách a veletrzích a pro funkční zkoušky a ověření sestavitelnosti.

V této bakalářské práci jsou popsány vybrané CAx systémy a metody Rapid Prototypingu včetně materiálů. Pomocí parametrického modeláře Solid Works jsou vymodelovány jednotlivé součásti jednoruční činky a navrhnuty 3 řešení inovovaného tvaru upínacího mechanismu. Výsledný model je vytištěn pomocí metody Rapid Prototypingu FDM z materiálu PLM. Práce je zakončena technicko-ekonomickým zhodnocením výroby a kalkulací nákladů na výrobu tohoto prototypu.

1. Počítačem podporované systémy – CAx

Počítačem podporované systémy se obecně nazývají CAx, CAi nebo CA. Zkratka CA (*Computer aided*) značí, že systém, technika, metoda nebo operace je podporována počítačem.

CA systémy jsou počítačové systémy určené pro podporu činností ve všech etapách výroby. Od vývoje a navrhování součástky, plánování výroby až po samotnou montáž, skladování a expedici. Umožňují urychlit a zjednodušit tzv. inženýrské činnosti, jako je kreslení a modelování, dimenzování, uskutečnění analýz a projektování, ale i různé administrativní činnosti jako archivování, vyhledávání, reprodukování a podobně. Jde o důležitý nástroj na zvyšování produktivity, efektivity a racionalizace práce, tak i zvyšování spolehlivosti a přesnosti součástek a tím snižování nákladů na výrobu. V dnešní době existuje spousta CA systémů s různými stupni komplexnosti v různých cenových relacích. Vzájemnou integrací různých automatizovaných systémů ve výrobě spolu s CA systémy se vytváří podnik s vysokým stupněm flexibility.

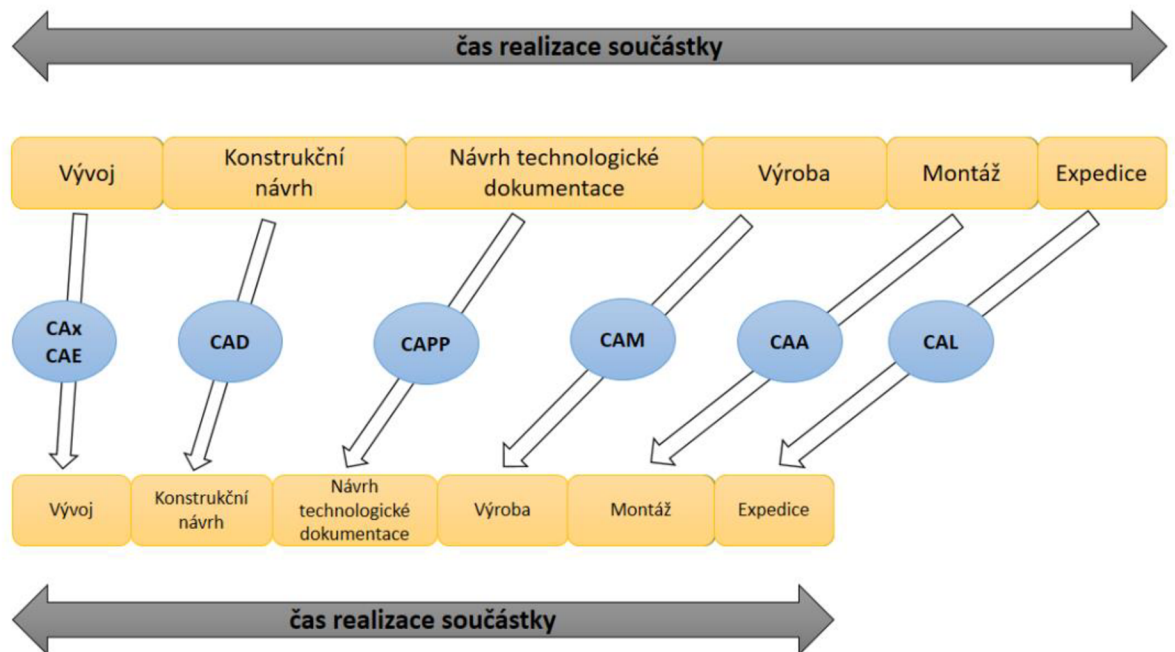
[1], [2]

1.1 Důvody zavádění

Zkrácení celkového výrobního cyklu výrobku, od jeho návrhu až po jeho dodávku k zákazníkovi s co nejmenšími náklady ve výrobě, je dnes nejdůležitější předpoklad úspěchu podniku. Výrobek, který má být konkurenceschopný, musí splňovat kvalitativní a funkční požadavky, mít nízkou cenu, dobrý design, vysokou spolehlivost, splňovat bezpečnostní a ergonomické aspekty a spoustu dalších aspektů rozhodujících o prodejnosti výrobku. Výrobní podnik je navíc neustále podrobovaný změnám daných novými požadavky zákazníků a změnám v samotné výrobě na které musí pružně a dostatečně rychle reagovat a přizpůsobovat tak svoje kapacity novým podmínkám v podniku a jeho okolí. Důležitá je i flexibilita vývojovo-návrhových, plánovacích a řídicích činností. Využívání a zavádění počítačové podpory do výroby si vyžaduje vysoké prvotní náklady na softwarové zajištění podniku, avšak efektivita jejich zavedení

má přínos v podobě kratších výrobních časů, nákladů na mzdy pracovníků, rychleji rostoucí produktivitu práce, zvyšující se kvalitu a tím i konkurenceschopnost podniku.

[1], [3]



Obrázek 1: Vliv CA systémů na čas realizace součástky [1].

Cíle zavádění CAx systémů

- snížení výrobních nákladů
- zvýšení flexibility výroby
- zkrácení doby vývoje i výroby
- zvýšení produktivity
- lepší přehled o stavu výroby
- zvýšení časového a výkonového využití výrobních zařízení
- snížení zásob ve skladech
- odstranění příčin chyb – zvýšení jakosti

[4]

1.2 Trendy CA systémů

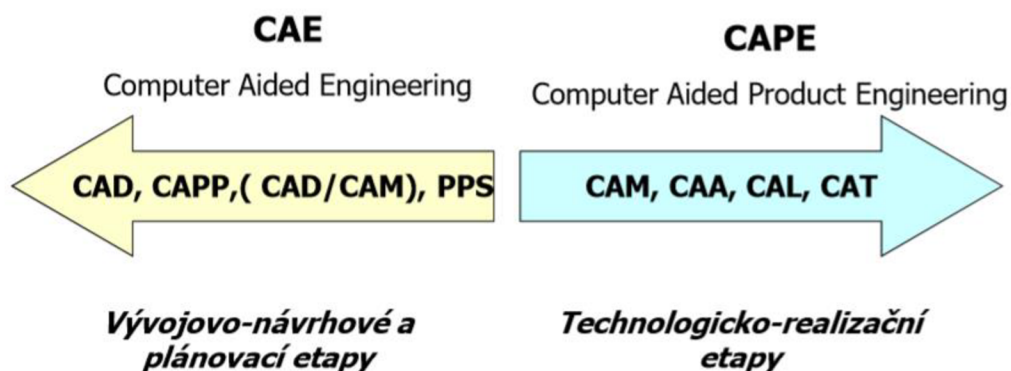
Počítačová podpora spolu s automatizací strojařské výroby tvoří důležitý nástroj v podniku, který mu umožňuje dosahovat příznivých ekonomických ukazatelů. Velmi významným trendem je integrace. Bez důkladné integrace všech počítačem podporovaných systémů, aplikací a výrobních prostředků, je efektivita celé výroby značně oslabená i při existenci několika vysoce automatizovaných a počítačem podporovaných oblastí v podniku. Je potřebné vyřešit sdílení dat z jednotlivých CA systémů po čas celého realizačního procesu. Dalším trendem je inteligence, která se projevuje ve vývoji inteligentních CA systémů. Inteligentní výrobní systémy je možné považovat za vyšší vývojový stupeň pružných výrobních systémů.

[1]

1.3 Systémový pohled na CA systémy

Stejně, jako je možné rozdělit realizaci součástky v podniku na etapu vývojově-návrhovou a výrobně-realizační, dělíme systémy počítačové podpory ve strojírenství na počítačovou podporu inženýrských prací (CAE) a na počítačovou podporu výrobního inženýrství (CAPE). Každá oblast je pak zastoupena vícerymi konkrétními CA systémy.

[1]



Obrázek 2: Systémový pohled na CA systémy [1].

Do oblasti CAE patří především systémy počítačové podpory návrhu součástky (CAD), návrhu technologie výroby (CAPP), integrované CAD/CAM systémy a systémy na plánování a řízení výroby (CAPPS). Je možné sem zahrnout i systémy, které mají na starosti údržbu technických a strojních zařízení (CAMA) a také systémy řízení kvality (CAQ).

[1]

Oblast počítačové podpory výrobně-realizační etapy (*Computer aided product engineering*) zastupují systémy, které mají na starosti celou výrobní a z části i povýrobní etapu. CAPE je zastoupena především systémy podpory výroby (CAM), řízení robotů (CARC), manipulace a skladování (CATS), kontroly, měření a testování (CAT) a podporu montáže (CAA). I do této skupiny se zařazují systémy řízení kvality (CAQ).

[1]

1.4 CAD – Computer Aided Design

Současné CAD systémy umožňují komplexní řešení vývojovo-návrhové etapy. Grafická informace je nejjednodušším a nejnázornějším prostředkem pro popis geometrických charakteristik součástek. Popisuje tvar, rozměry i topologii prvků součástek. Už dávno to proto nejsou systémy, které pouze nahrazují rýsovací prkno a podporují kreslení pouze pomocí 2D entit. Dnešní systémy využívají modul pro 3D modelování součástek. Umožňují vytvářet návrhy s využitím databází dílů, realizovat konstrukční a pevnostní výpočty a různé analýzy, vytvářet sestavy a kreslit klasické výkresy jednotlivých dílů nebo sestav.

[2]

Podle rozsahu a účelu lze CAD systémy rozdělit na malé, střední a velké CAD systémy. Malý CAD je relativně levné softwarové řešení skicování a kreslení, tzv. tvorbu náčrtu. Obsahují všechny editovací funkce potřebné pro tvorbu konstrukční výkresové 2D dokumentace. Jsou vhodné do menších konstrukčních kanceláří, kde se vyhotovuje jen výkresová dokumentace. K známým CAD systémům z této oblasti patří EasyCAD,

DesignCAD, Autosketch, Corel Draw, AutoCAD LT, Technical Imager. Ceny těchto systémů se pohybují v řádech desítek tisíc korun.

Do skupiny středních CAD systémů lze zařadit takové systémy, které podporují kompletní 2D a částečný 3D design. Na vysoké úrovni propracované 2D kreslicí nástroje jsou doplněné o některé 3D nástroje kreslení. Mezi známé CAD systémy z této třídy patří např. FastCAD, Cadkey, Microstation, AutoCAD apod. Ceny těchto systémů jsou okolo stotisíc korun.

Velký CAD systém je software, který umožňuje modelovat ve 3D. Tyto systémy mají analogické nástroje a editovací režimy jako střední CAD systémy, rozdíl ale spočívá v tom, že se práce uskutečňuje v 3D prostoru. Přednost velkých CAD systémů spočívá v tom, že jsou pomocí celé řady modulů propojené tak, aby nezabezpečovaly jenom návrhovou etapu, ale i etapu realizační (výrobní). Tyto systémy se pak nazývají integrované CAD/CAM systémy. Příkladem známých systémů může být software *Solidworks*, *PowerShape*, *SolidEdge*, *Pro/Engineer*, *Catia*, *Euclid* a další.

[1]

Výhody využití CAD systému pro podnik spočívají v následujících skutečnostech:

- Využití počítače v konstrukční práci umožní konstruktérovi především dosahovat vyšších technicko-ekonomických parametrů nově navrhovaných výrobků, protože mu systém dovoluje tvořit větší počet konstrukčních variant.
- Konstrukční chyby jsou většinou eliminované zabudovanými konstrukčními moduly.
- Konstrukční dokumentace je zpracována v mnohem kratším čase, což se projeví ve snížení konstrukčních nákladů.
- Tvorba virtuálních prototypů - použitím metod simultárního inženýrství se po čas konstrukčního návrhu analyzují podmínky následující po konstrukci součástky. Zkoumá se především vyrobiteľnost součástek a jejich smontovatelnost do větších celků. Systémy umožňují i výpočty základních ukazatelů (objem, hmotnost, těžiště...), kinematické, dynamické a pevnostní analýzy.
- Zlepšení kvality, srozumitelnosti a jednoznačnosti konstrukční dokumentace.

- Následné využití digitalizované CAD dokumentace. CAD data je možné využívat v následujících etapách realizace součástky, jako je: návrh technologické dokumentace, řízení kvality, plánování a řízení výroby, jde ale také o účinný nástroj pro marketing a obchod.
- Archivace výkresové dokumentace je možná s menšími náklady.

[1], [4]

1.5 CAPP – Computer Aided Process Planing

Cílem CAPP systémů je vytvořit technologické výrobní podklady pro plánování a řízení výroby a především pro výrobní proces. Technologická příprava výroby v podniku představuje jednu z nejnáročnějších etap přípravy výroby nového výrobku. Hlavní úlohou technické přípravy výroby je především:

- zpracování konstrukčně-technologických rozborů,
- určení vhodných polotovarů,
- sestavení plánu výrobních, kontrolních, montážních, manipulačních a dopravních operací,
- volba vhodných strojů, nástrojů, přípravků, měřidel a pomůcek,
- určení řezných podmínek a norem spotřeby času,
- výpočet základních technicko-ekonomických údajů o spotřebě materiálu a energie,
- zhotovení programů pro NC stroje, roboty a kontrolní zařízení,
- zpracování, kompletace a archivace výrobní dokumentace.

Počítačová podpora návrhu technologické dokumentace se realizuje pomocí využití dvou principiálně odlišných přístupů. Využívá se variantní přístup nebo generativní přístup. Často se využívá i hybridní přístup, který je kombinací předchozích dvou metod.

Variantní přístup (princip skupinové technologie) vychází z principu podobnosti technologických postupů pro podobné součástky. CAPP systém je využíván na identifikaci podobných součástek (zejména z hlediska geometrie, technologie, tepelného zpracování a materiálu) a na editaci existující technologické dokumentace.

Efektivita těchto systémů spočívá v rozdělení součástek do skupin podle určitých kritérií. Každá skupina má svého reprezentanta, kterým může být reálná součástka nebo i fiktivní součástka navrhnutá tak, aby co nejlépe popisovala danou skupinu. Pro reprezentanta je vypracovaný technologický postup, obsahující technologické operace pro všechny příbuzné součástky ze skupiny. Systémy, které využívají variantní přístup se nazývají variantní CAPP systémy a označují se VCAPP.

Generativní přístup (exaktní princip) je založený na matematickém modelování a generování vždy nového technologického postupu. Na základě CAD dat vygenerují nový technologický postup pro danou součástku. Systém navrhuje nejvhodnější pořadí operací, seskupení výrobních zařízení a řezné podmínky. Tyto CAPP systémy jsou mnohem složitější než CAPP systémy pracující na principu skupinové technologie. Systémy, které využívají generativní přístup se nazývají exaktní CAPP systémy a označují se G-CAPP systémy. Také je možné tyto systémy označovat jako prvkové, expertní nebo matematické CAPP systémy.

[1], [2]

1.6 CAD/CAM

Systémy CAD/CAM jsou jedny z neznámějších a nejpobulárnějších CA systémů. Jde o počítačové systémy, kde je v rámci jednoho uživatelského prostředí možné navrhnout součástku z hlediska její geometrie, realizovat inženýrské analýzy a současně vyhotovit technologický postup ve formě NC programu pro konkrétní řídicí systém obráběcího stroje.

Všechny CAD/CAM systémy mají tři společné prvky – společnou databázi, počítačovou grafiku a grafickou vizualizaci.

[1]

1.7 PPS – Production Planning System

PPS systémy řeší oblast plánování a řízení výroby. Při plánování a řízení výroby se zpracovává velké množství informací, které si vyžadují podporu počítačové techniky. Jde o zabezpečení výroby potřebným strojním a pomocným zařízením, zabezpečení

materiálu, řízení toku součástek, nástrojů, přípravků, měřidel a dalších pomůcek, sladění více rozpracovaných zakázek z kapacitního hlediska využití strojů a další činnosti organizace podporující výrobu. Od plánování a řízení výroby se odvíjí efektivita celého výrobního procesu.

Při plánování výroby se vychází z objednávky od zákazníka. Stanoví se sortiment a množství, které se musí zadat do výroby a také se zabezpečí termínové rozvrhování pro jednotlivé stroje. Řízení výroby koordinuje vzájemné působení prvků výrobního procesu, tak aby byly splněné požadavky plánování výroby. Aby byl celý proces ještě efektivnější, jsou důležité aktuální informace o skutečném průběhu výrobního procesu v reálném čase.

[1]

1.8 CAM – Computer Aided Manufacturing

Na počítačovou podporu výroby lze nahlížet v užším pojetí, kdy jde pouze o technologický proces, nebo jako na komplexní počítačovou podporu výroby. Pro CAM systémy podporující tvorbu řídicích programů pro NC stroje se využívá zhotovený CAD model. Na základě těchto dat, nejen o geometrii, z CAD modelu je pomocí systémů navržen vhodný NC program. Součástí CAM systémů jsou i programy, tzv. postprocesory, které zabezpečují převod geometrických dat definujících dráhy nástrojů do podoby vhodné pro konkrétní výrobní zařízení. CAM jako komplexní počítačová podpora výroby představuje automatizované řízení výroby, automatické dopravníky, automatizované sklady a numericky řízené výrobní systémy.

Podobně jako CAD systémy, lze i CAM systémy rozdělit podle rozsahu a účelů použití na malé, střední a velké. Malé CAM systémy jsou jednoduché softwary pro tvorbu NC programů pro jednu konkrétní technologii obrábění. Mají minimální nároky na hardware a nízkou pořizovací cenu. Střední CAM systémy umožňují řešit některé náročné výpočty a simulace. Jejich cena už je vyšší a vyžadují výkonnější hardware. Velké CAM systémy dokáží velmi efektivně řešit 3D-5D obrábění s množstvím technologických variací a širokou technologickou podporou.

[1]

1.9 CAQ – Computer Aided Quality

Jedním z rozhodujících faktorů o konkurenční výhodě podniku je i kvalita výrobků a s tím spojené řízení kvality. Pro dosažení vysoké úrovně kvality produktů nestačí zabezpečení kvality samotného výrobního procesu, ale řízení kvality je důležité i v předvýrobních a povýrobních činnostech. Pomocí řízení kvality se kontrolují výrobní procesy a odstraňují se příčiny vadných výkonů ve všech etapách realizace výrobku. Kontrolní a snímací zařízení, monitorovací a vyhodnocovací prostředky, zpracování protokolů a další nástroje systému CAQ je důležité brát jen jako podpůrné prostředky, které samy o sobě v podniku nevytváří a neřeší systém péče o kvalitu. Systémy CAQ umožňují řídit procesy a reagovat ještě před vznikem nekvalitní produkce a minimalizovat tak množství nekvalitních součástí. Kromě sledování kvality vyráběných výrobků systém umožňuje i sledování parametrů výrobních strojů a nástrojů.

Základní vlastnosti CAQ systémů jsou:

- propojení s ostatními CA systémy v podniku,
- propojení na celopodnikový informační systém,
- aplikace zkoušek a kontrola kvality,
- analýza zkoušek a zpracování dokumentace,
- zpracování informací z trhu (vlastnosti výrobků konkurentů, požadavky zákazníků...),
- zpracování informací z nasazení vlastních výrobků (spokojenost zákazníků, reklamace...).

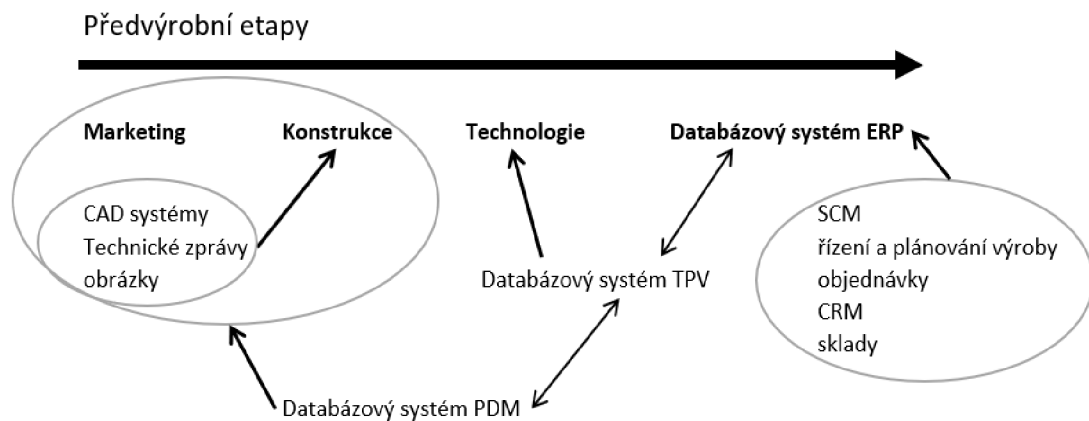
Počítačové řízení kvality se prolíná všemi CA systémy. Jde o proces neustálého ovlivňování a zlepšování kvality ve všech úrovních realizace výrobku. Systémový pohled na CAQ je možné chápat v rovině plánování, řízení a realizace. Úkolem plánování v CAQ je popis a zaznamenání struktury procesů v podniku, které ovlivňují kvalitu, vypracování strategie řízení a zabezpečení kvality. Z hlediska řízení má CAQ za úkol sběr a zpracování informací a následný zásah přímo do procesu výroby. Struktura a složitost CAQ závisí na velikosti podniku, organizační struktuře a složitosti součástky.

[1], [2], [4]

1.10 PLM – Product Life Management

Product Life Management je systém pro správu dat a dokumentace výrobku, systém pro podporu řízení životního cyklu výrobku, zahrnující efektivní sdílení a poskytování informací všem zainteresovaným pracovníkům (včetně spolupracujících organizací) podílejícím se při vývoji, návrhu, realizaci a servisu nových výrobků, tak aby s požadovanou flexibilitou optimálně vyhověly konkrétním požadavkům zákazníka. Cílem systémů PLM je razantní zkrácení vyhledávacích časů a zefektivnění činnosti pracovníků různých oddělení pomocí kontrolovaného a rychlého přístupu k již jednou vytvořeným a uloženým datům. V jednom systému jsou uchovány úplné informace o výrobku po celý jeho život (model, výkres, skica, protokoly o zkouškách, změny, výsledky testů, informace z dílny atd.). PLM mají silnou integrační vazbu na primární systémy typu CAD, CAD/CAM.

[4]



Obrázek 3: Systémy PLM [2].

2. Rapid prototyping

Jedná se o poměrně novou oblast, jejíž praktické nasazení začalo na počátku 90. let 20. století. Rapid Prototyping je technologie rychlé výroby dílu za pomoci trojrozměrných dat. Jde o široce využitelnou metodu tvorby modelů, která je použitelná prakticky pro jakékoliv výrobní odvětví. Nabízí výhody přesného a velmi rychlého zpracování modelu s možností mnohokusové výroby. Pod Rapid Prototyping lze zahrnout všechny technické, metodické a organizační opatření, které vedou od formulace požadavků na výrobek až po jeho výrobu.

Tato technologie pomáhá společnostem ušetřit dny, týdny nebo dokonce až měsíce potřebné k uvedení nového produktu na trh. Umožňuje společnostem zvýšit svou ziskovost a omezit dopad své činnosti na životní prostředí. Organizace mohou vyrábět pouze to co je potřeba a v určitém množství, aniž by to vedlo k plýtvání. Pokud se navíc zjistí, že návrh výrobku obsahuje vadu, lze ji okamžitě opravit s mnohem nižšími náklady, než jaké by vyžadovaly změny u klasické výroby.

[5], [7]

2.1 Prototyp

Prototyp slouží jako pomůcka pro plánování, experimentování a získávání nových poznatků o navrhovaném produktu. Slouží i pro účely prezentace ideí konečnému zákazníkovi nebo k prezentaci na výstavách. Může být využit pro testování montážní sestavy nebo montážního celku. Výsledný prototyp by proto měl co nejdříve simulovat hotový produkt.

[5], [6]

2.2 Technologie Rapid Prototyping

Rozdělení Rapid Prototypingu podle způsobu tvorby modelu je na subtraktivní druh a aditivní druh.

Subtraktivní technologie je založená na principu odebrání materiálu. Patří sem zejména CNC obrábění. Výhodou této technologie je široká nabídka materiálů, její přesnost a kvalitní povrch při zachování rychlosti výroby. Dále možnost vyrábět veliké díly, pevnostní a namáhané výrobky v celku. Nevýhodou této technologie je delší čas výroby prototypu a omezená geometrie tvaru prototypu.

Aditivní technologie rapid prototypingu je naopak založena na principu přidávání materiálu. Zásadní výhodou této technologie je rychlost výroby prototypu. Omezení v geometrii jsou při použití této technologie minimální.

[5], [6]

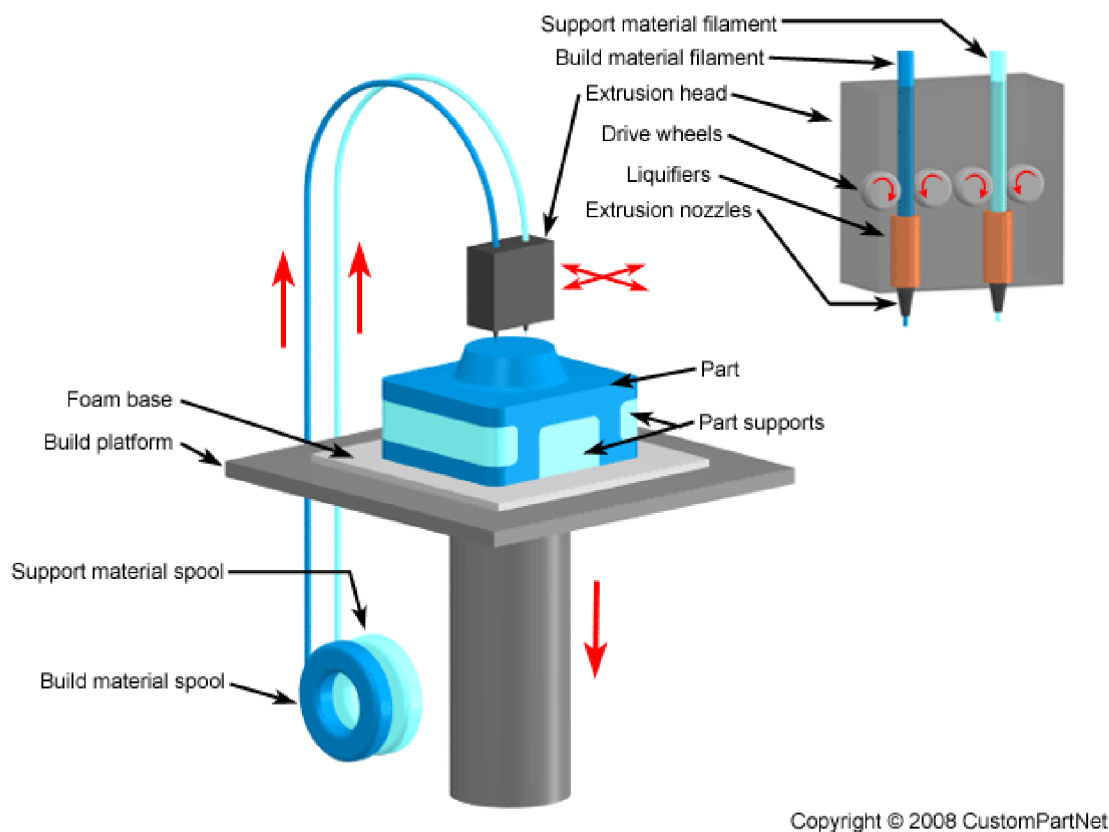
Kromě těchto dvou druhů existuje i tzv. hybridní výroba, která kombinuje aditivní výrobu a subtraktivní výrobu v jednom systému. 3D tisk má mnoho omezení v situacích s přísnou tolerancí, použitelných materiálů a přesnosti výroby. CNC obrábění nezvládá neobvykle komplikované geometrie. Hybridní přístup výroby zamezuje těmto nevýhodám a využívá jen to nejlepší z obou přístupů.

[9]

2.3 Fused deposition modeling - FDM

FDM je technologie aditivní výroby založená na principu vytváření vrstev z polotekutého plastu, vytlačovaného z trysky tiskové hlavy. Stavební materiál ve formě tenkého tuhého vlákna, který je navinut na cívce je vedený do pohyblivé hlavy. Jakmile se vlákno dostane do hlavy, ohřívače jej roztaví. Takto roztavený materiál je protlačen přes trysku a začíná vytvářet povrch součástky. Jakmile je dokončena jedna vrstva, pracovní plocha se posune o rozměr hloubky následující vrstvy a celý proces nanášení další vrstvy materiálu se opakuje. Výrobní zařízení obsahuje dvě trysky – jednu se základním materiálem a jednu s podpurným materiálem. Pomocný materiál vytváří podpurnou strukturu, která pomáhá při procesu tvorby modelu. Po zhotovení prototypu je pomocný materiál odstraněn.

[5]



Obrázek 4: FDM tiskárna [23].

Výhody a nevýhody metody FDM

Tabulka 1: Výhody a nevýhody metody FDM

Výhody	Nevýhody
vznik minimálního odpadu při výrobě (pouze materiál podpor)	pomalý proces výroby který nelze urychlit
podpurné konstrukce jsou snadno odstranitelné (mechanickým nebo chemickým způsobem)	omezená přesnost daná tvarem materiálu použitým pro tvorbu součásti a průměrem výstupní trysky
lze vyrobit funkční prototypy, které se svými vlastnosti blíží konečným produktům	možné smrštění materiálu během chladnutí při nesprávném nastavení parametrů
jednoduchá změna stavebního materiálu	materiál má tendenci praskat

relativně jednoduché ovládání a údržba tiskárny	kolísání teplot při výrobním procesu vede k slabší přilnavosti jednotlivých vrstev
široký výběr použitelných materiálů	omezená pevnost při zatížení ve směru výstavby prototypu
nízké provozní náklady	
bezúdržbový proces	
netoxické materiály	

[14], [5]

2.3.1 Materiály používané pro aditivní metodu FDM

Akrylonitrilbutadienstyren - ABS

ABS je amorfni termoplastický kopolymer. Jde o široce využívaný konstrukční plast s vysokou odolností, který umožňuje dosažení jemných detailů. Tuhý, houževnatý, odolný proti nízkým i vysokým teplotám, málo nasákavý, zdravotně nezávadný. Je odolný vůči kyselinám, hydroxidům, uhlovodíkům, olejům a tukům. Tento materiál je vhodný pro funkční aplikace, je neprůhledný a dostupný v nejrůznějších barvách. Využívá se například pro přípravky a upínáky, zamykací mechanismy, koncepční modely, koncové komponenty nebo pro zkoušky tvaru, sestavení a funkčnosti. Není vhodný pro výrobky, které budou dlouhodobě vystaveny povětrnostním vlivům a pro medicínské aplikace.

Další varianty ABS jsou: ABS+, ABSi, ABS – T, ABS – ESD7, ABS – M30, ABS – M30i

[11], [12]

Polykarbonát - PC

Polykarbonáty patří díky své vynikající pevnosti v rázu a teplotní odolnosti k nejpoužívanějším průmyslovým termoplastům. Díky mechanickým vlastnostem je tento materiál ideální pro technicky náročné prostředí nebo aplikace vyžadující vysokou pevnost v ohybu a v tahu. Využívá se pro tisk namáhaných součástí, uplatnění nachází i v elektrotechnice a automobilovém průmyslu. Velmi špatně drží na tiskové podložce a díky vysoké tepelné roztažnosti se při chladnutí deformuje a praská. Proto se často používá polykarbonát s příměsí ABS.

Další varianty PC jsou např.: PC/ABS, PC/PBT, PC - ISO

[11], [13]

Polyamid – PA (Nylon)

Nylon je nesmírně odolný, silný a všestranný materiál. Je flexibilní v tenkých vrstvách, ale s velmi vysokou adhezí mezi vrstvami. Jeho nízký součinitel tření a vysoká teplota tání je vynikající volbou pro tisk funkčních a technických dílů. Je velmi hydrofobní, proto musí být vlákno suché, aby byl tisk úspěšný. Suché nylonové vlákno pak tiskne hladké předměty s lesklým povrchem.

[15]

Kyselina polylaktická - PLA

PLA (polylactic acid – kyselina polylaktická) je biologicky plně odbouratelný a recyklovatelný materiál, vyráběný z kukuřičného nebo bramborového škrobu či z cukrové třtiny. Je nejuniverzálnějším materiálem pro technologii tisku FDM, vhodným i pro tisk velkých předmětů. Je stále více průmyslově využíván. Po vytištění modelu je těžké odstranit podpůrné prvky. Je pružný, tvrdý a odolný jako jiné plasty.

[16]

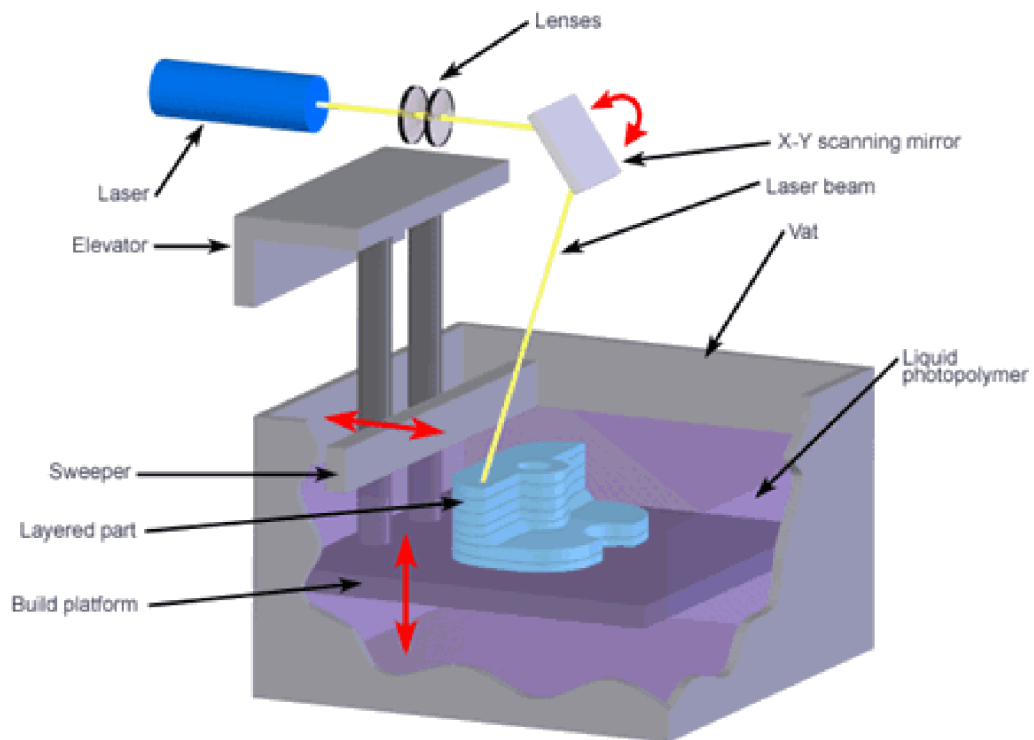
2.4 Další metody 3D tisku

2.4.1 Na bázi fotopolymerů

Modely na bázi fotopolymerů jsou vytvářeny v nádobě s kapalnou pryskyřicí. Pod hladinou dochází k postupnému vytvrzování jednotlivých vrstev, po vytvrzení jedné vrstvy, se materiál posune o určitou hodnotu a vytvrdí se další vrstva. Po ukončení výrobního procesu je zbytek pryskyřice odveden a model může být použit pro další operace.

Do této skupiny lze zařadit tyto metody Rapid prototypingu:

- SGC - Solid Ground Cutting,
- SLA - stereolithography apparatus.



Copyright © 2008 CustomPartNet

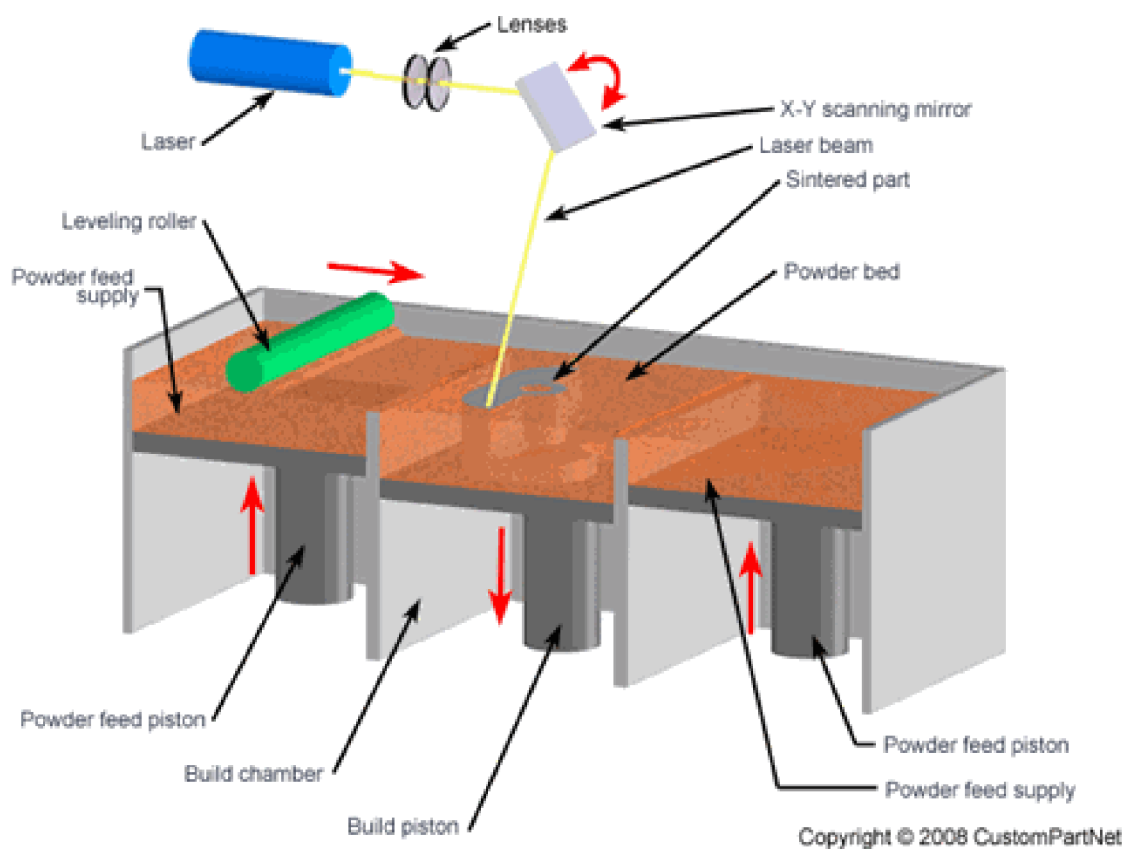
Obrázek 5: Princip technologie SLA [24].

2.4.2 Na bázi práškových materiálů

Jako výchozí materiál pro výrobu modelu se používá jemný prášek. Princip těchto metod spočívá ve vrstvení práškového materiálu na podkladovou desku. V určitých místech je materiál vytvrzen, ve zbylých místech zůstává nespečený prášek, který slouží jako podpora.

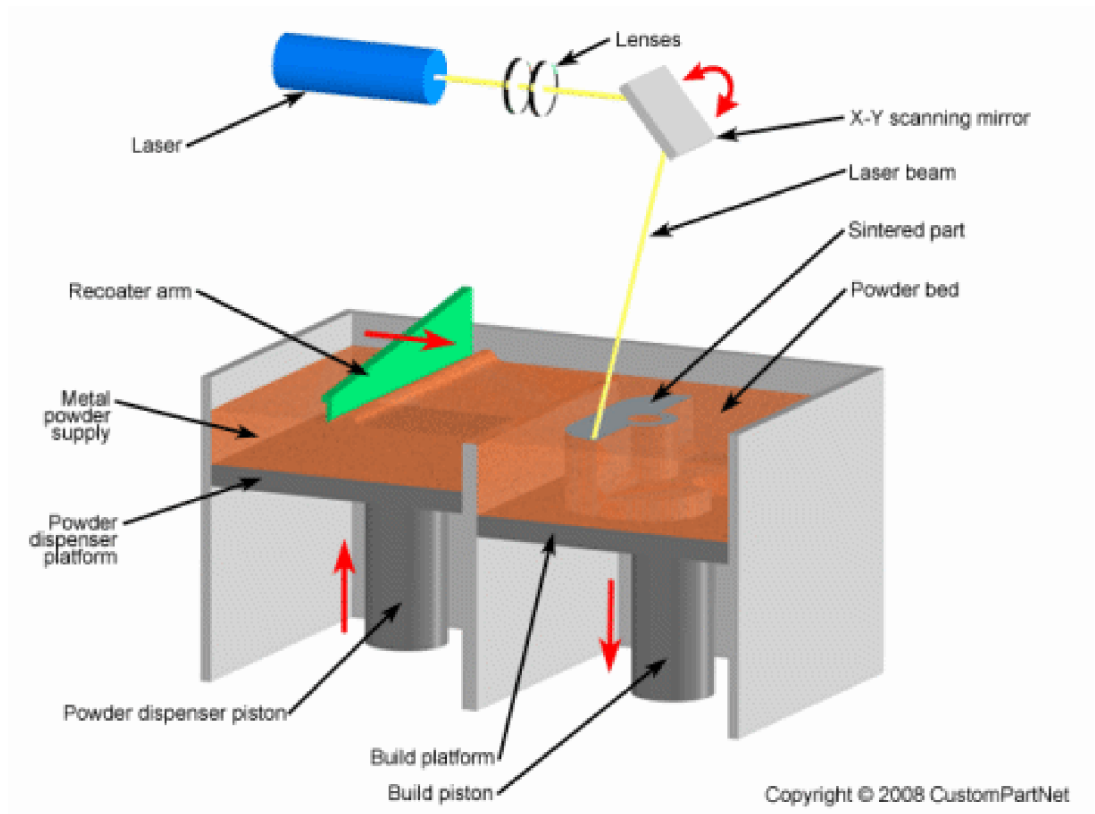
Do této skupiny rapid prototypingu patří:

- SLS – Selective Laser Sintering,



Obrázek 6: Princip metody SLS [25].

- DMLS - Direct metal laser sintering.



Obrázek 7: Princip metody DMLS [26].

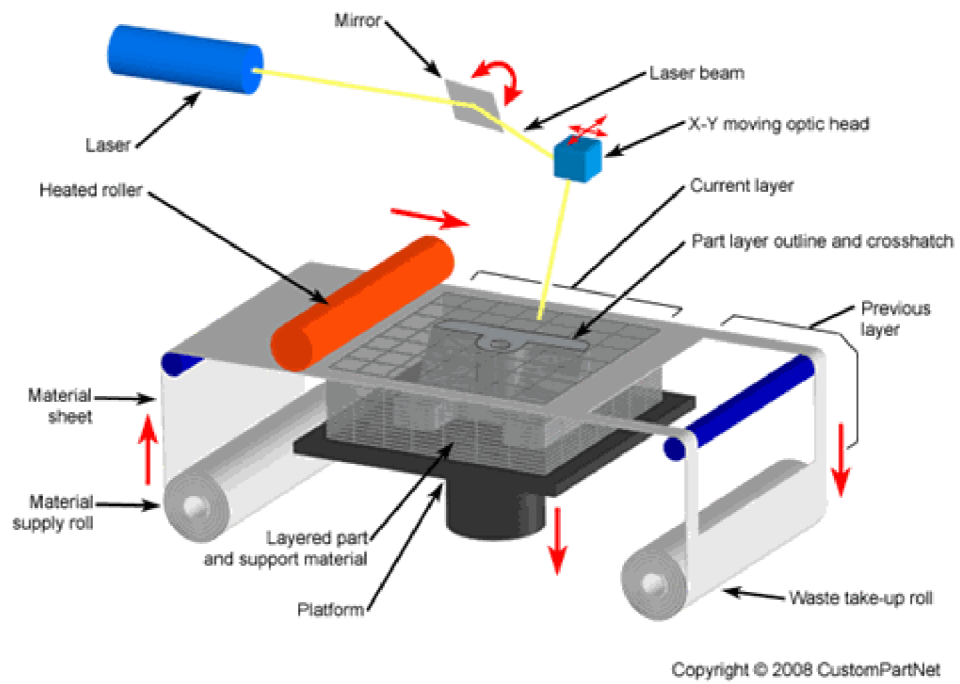
2.4.3 Na bázi tuhých materiálů

K vytvoření prototypové součásti je používán materiál v tuhé fázi. Na rozdíl od předešlých metod, u této metody stavební materiál nevyplňuje celý prostor zařízení, ale je pouze v objemu výstavby modelu. To umožňuje spotřebovat pouze potřebné množství materiálu a eliminovat operace případné recyklace prášků nebo fotopolymérů.

Do této skupiny lze zařadit technologie:

- MJM - Multi Jet Modeling,

- LOM - Laminated Object Manufacturing.



Obrázek 8: Princip metody LOM [27].

[10], [14], [5]

3. Analýza současného stavu

V dnešní době neustále roste zájem lidí o cvičení, fitness a posilování. Tím roste i zájem o vybavení na cvičení včetně jednoručních činek. Na českém trhu lze sehnat spoustu typů jednoručních činek od desítek výrobců. Jednoruční činky můžeme rozdělit na jednoruční činky s pevně danou, neměnnou hmotností a na jednoruční činky nakládací, u kterých si lze hmotnost jednoduše měnit přidáním nebo ubráním kotoučů.



Obrázek 9: Pevné jednoruční činky [18].



Obrázek 10: Nakládací jednoruční činky [19].

Nakládací jednoruční činky lze dále rozdělit podle způsobu uchycení kotoučů. Nejvíce rozšířené jsou dnes činky se závitem a matickou.



Obrázek 11: Maticky na činky [20].

Další způsob uchycení kotoučů je pomocí pružinových uzávěrů.



Obrázek 12: Pružinové uzávěry na činky [21].

Třetí možností uchycení závaží na ose je pomocí uzávěru s klíčkou.



Obrázek 13: Uzávěr s klíčkou [22].

Každý z těchto způsobů uchycení má své výhody i nevýhody.

Upínací mechanismus pomocí závitu a maticky je velice jednoduché a levné řešení. Nevýhodou je ale zdlouhavé odšroubování maticky a opětovné našroubování, když si chceme upravit hmotnost na čince a případné povolování maticky která se pak musí po každé odcvičené sérii utahovat.

Uchycení kotoučů pomocí pružinových uzávěrů je velice rychlé řešení kdy se pružinky během jedné vteřiny nasunou na osu. Toto řešení je ale poměrně náročné na sílu, protože se pružinky musí zmáčknout, aby se zvětšil průměr kroužku a mohly se tak pružinky nasadit na osu. Toto zbytečné vysílení je ale nežádoucí a ubírá tak síly na následné cvičící pracovní série.

Upnutí kotoučů pomocí uzávěru s kličkou je také poměrně rychlé a spolehlivé řešení, jak si upravit hmotnost činky. Nevýhodou je však velká klička, která častokrát překáží a může se stát že ani nejde pořádně utáhnout kvůli překážejícím kotoučům nasazeným na ose.

4. Cíle bakalářské práce

Cílem bakalářské práce je návrh a konstrukce inovovaného tvaru upínacího mechanismu jednoručních činek. Pomocí softwaru SolidWorks bude vytvořen kompletní model jednoruční činky. Tento model se bude skládat z osy, kotoučů a zapínání, které bude tvořit stěžejní část této práce. Budou vymodelovány tři různé varianty inovovaného mechanismu upínání kotoučů na jednoruční čince. Tyto varianty budou rozebrány a vybrána z nich ta nejlepší. Nejlepší vybraná varianta bude realizována pomocí metody 3D tisku FDM. Nakonec bude provedeno technicko-ekonomické zhodnocení výroby finálního modelu.

5. Praktická část

Praktická část mé bakalářské práce se zabývá návrhem inovovaného tvaru upínacího mechanismu jednoručních činek. Budou představeny tři možné varianty řešení a nakonec vybrána jedna nejlepší varianta.

5.1 Solidworks

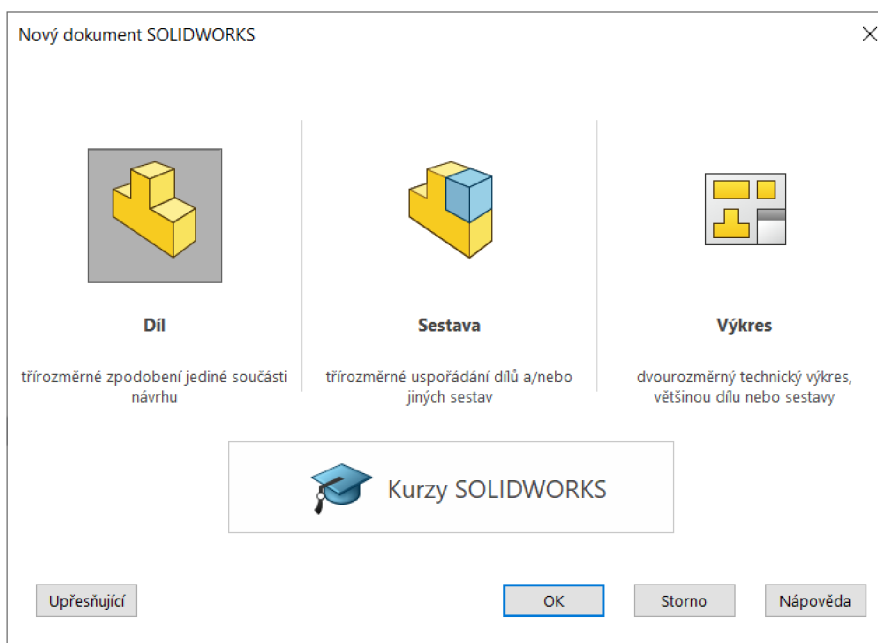
SolidWorks je v současné době nejúspěšnější strojírenský 3D CAD systém na českém trhu. Jde o software určený pro počítačovou podporu navrhování výrobků. SolidWorks je parametrický, objemový a povrchový modelář, postavený na technologii grafického jádra Parasolid, u něhož tvorba modelů vychází z jednotlivých prvků. SolidWorks disponuje pokročilými funkcemi pro navrhování svařenců, plechů, forem a plastových dílů a také je vybaven nástroji pro práci s malými i velkými sestavami, včetně možnosti automatického generování výkresové dokumentace. Další nástroje obsahují funkce pro simulace proudění plynů a kapalin, pevnostní analýzy, animace, fotorealistické renderování, navrhování elektrických schémat, plošných spojů a přípravu dat pro aditivní technologie výroby. SolidWorks lze tedy uplatnit při vývoji výrobků v nejrůznějších odvětvích.

[17]

5.2 Tvorba jednotlivých dílů činky

Po otevření softwaru SolidWorks se zobrazí nabídka tří základních typů dokumentů, kterými jsou díl, sestava a výkres. Každý z těchto dokumentů se používá pro specifický účel, má svou vlastní koncovku souboru a svou šablonu. Pro tvorbu jednotlivých dílů zapínacího mechanismu, vymodelování osy a kotoučů použijeme dokument s názvem Díl. Pro tvorbu zapínacího mechanismu pak použijeme dokument s názvem Sestava.

[17]

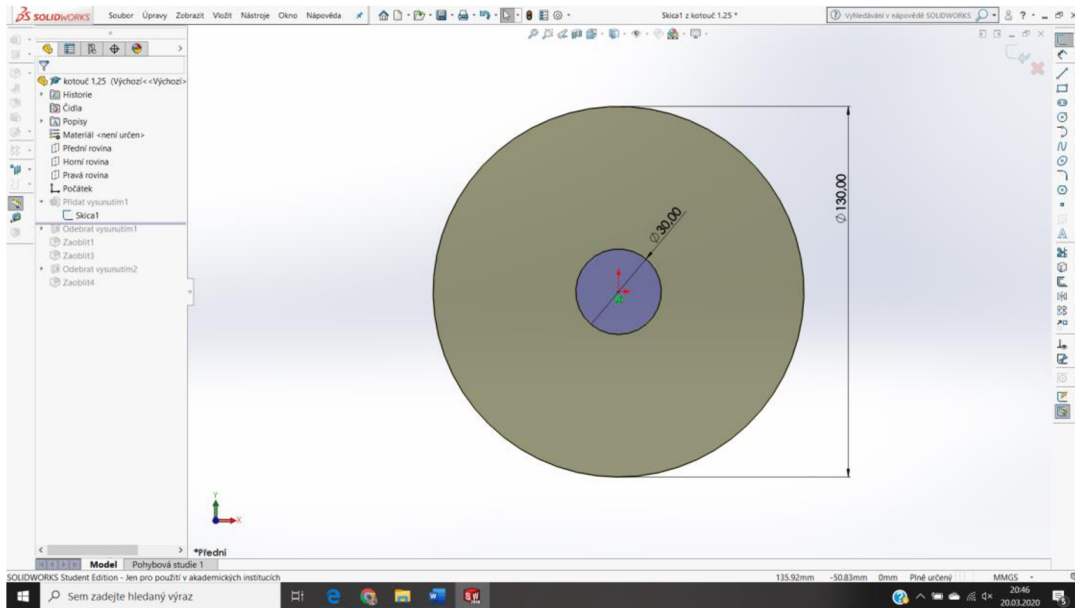


Obrázek 14: Nabídka dokumentů SolidWorksu.

Při modelování dílů vždy začínáme tak, že zvolíme jednu z rovin přední, horní nebo pravou ve které otevřeme 2D skicu. Otevře se nám plocha do které nakreslíme základní tvar součásti pomocí jednoduchých 2D kreslicích příkazů, kterými jsou např. *přímka*, *obdélník*, *kružnice*, *splajna*, *mnohoúhelník*... Náčrt zakótujeme a jakmile je plně určený, můžeme skicu ukončit.

5.2.1 Tvorba kotoučů

Na obrázku č. 15 můžete vidět první skicu, která je základem pro tvorbu modelu kotoučů.

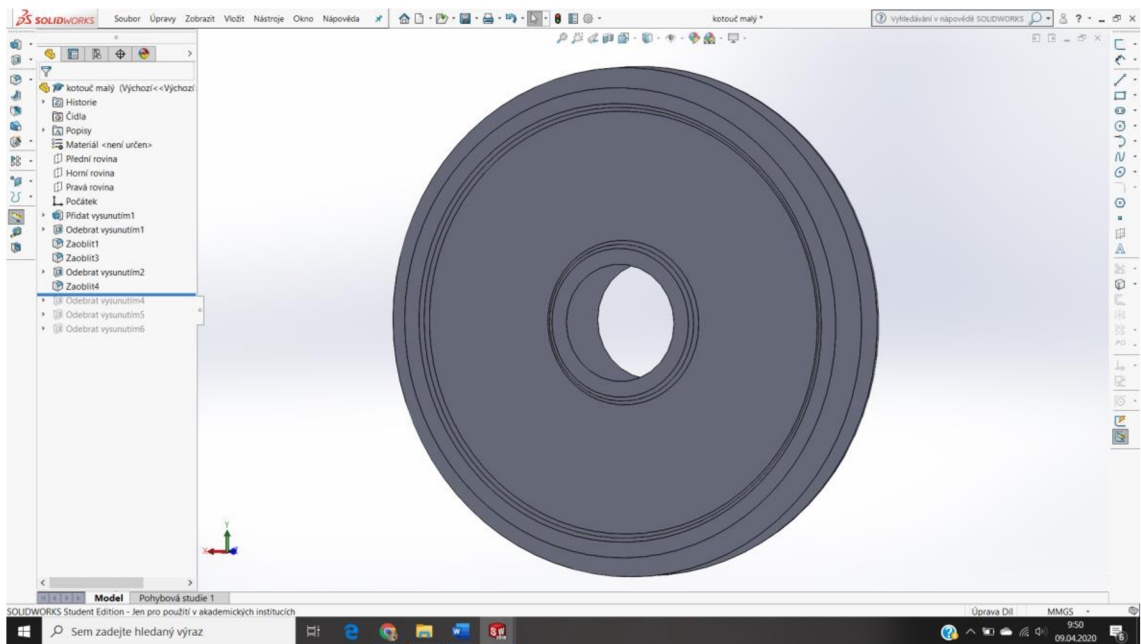


Obrázek 15: Skica kotouče.

Tuto skicu následně vysuneme do prostoru pomocí nástroje *Vysunutí*. Profil vysuneme symetricky směrem od roviny skici a tím získáme základní tvar kotouče.

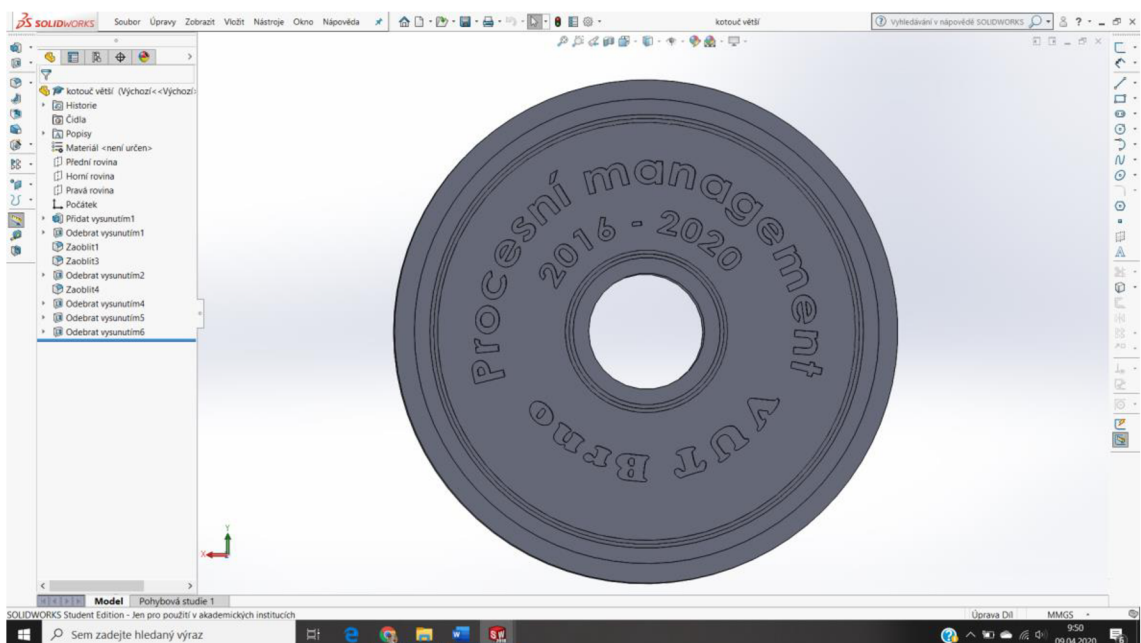
Aby kotouč vypadal estetičtější, měl lepší vlastnosti a byl bezpečnější, doladíme jeho tvar pomocí dalších nástrojů, kterými jsou *Odebrat vysunutím* a *Zaoblit*.

Poslední úpravou bylo přidání nápisu školy, studijního programu a roků na plochu kotouče.



Obrázek 16: 3D model menšího kotouče.

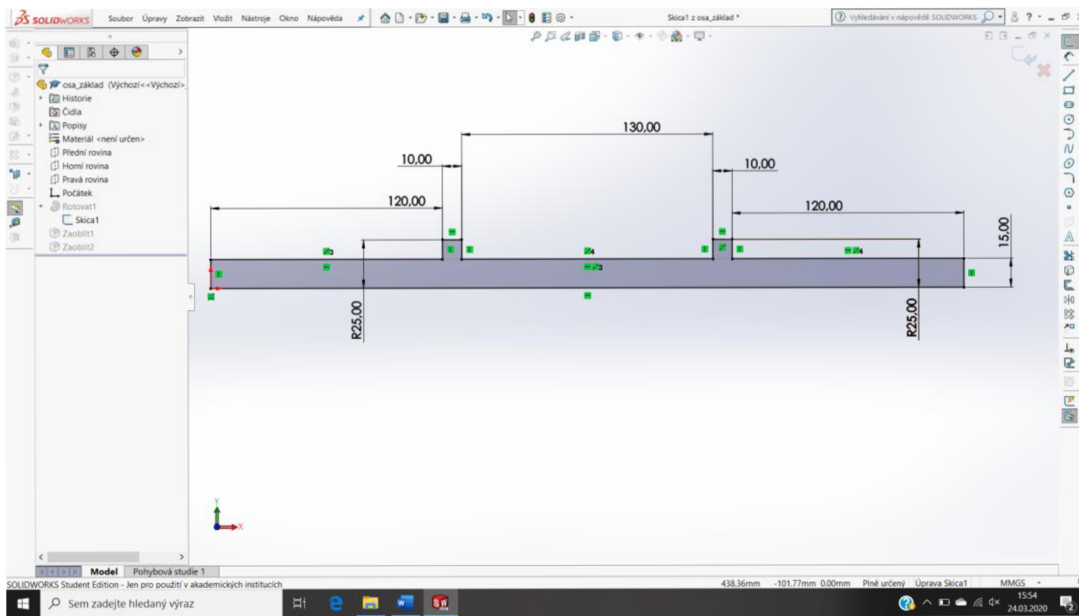
Větší (těžší) kotouč lze jednoduše vytvořit zkopírováním menšího kotouče a změnou některých parametrů, hlavně rozměru kóty průměru kotouče v prvním náčrtu.



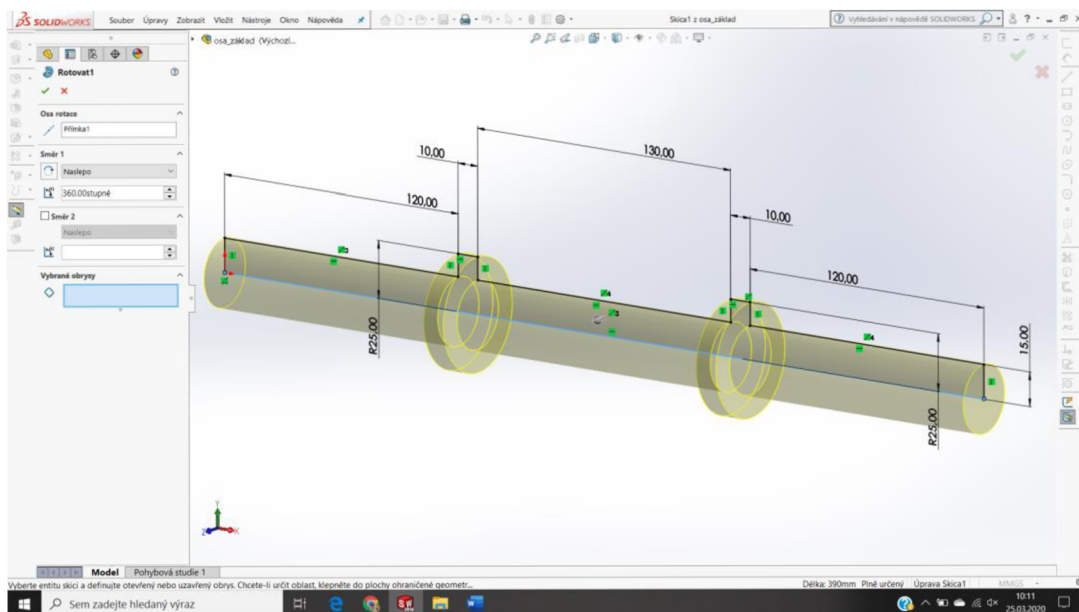
Obrázek 17: Hotový 3D model většího kotouče.

5.2.2 Tvorba osy

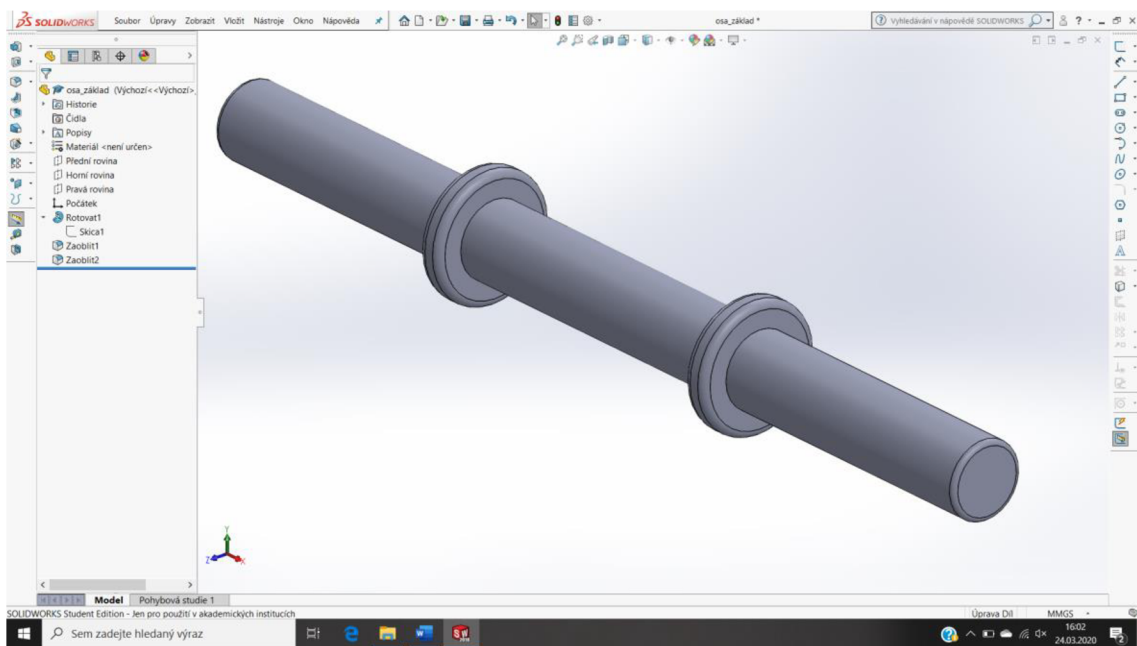
Model osy začneme tvořit opět volbou jedné ze základních rovin, ve které otevřeme 2D skicu. Do této skici nakreslíme profil, viz. obrázek č. 18, který následně orotujeme kolem osy o 360° a vytvoříme tak hotovou osu. Nakonec model upravíme pomocí funkce zaoblit, aby zde nebyly žádné nebezpečné ostré hrany.



Obrázek 18: Náčrt osy.



Obrázek 19: Použití nástroje *Rotovat*.



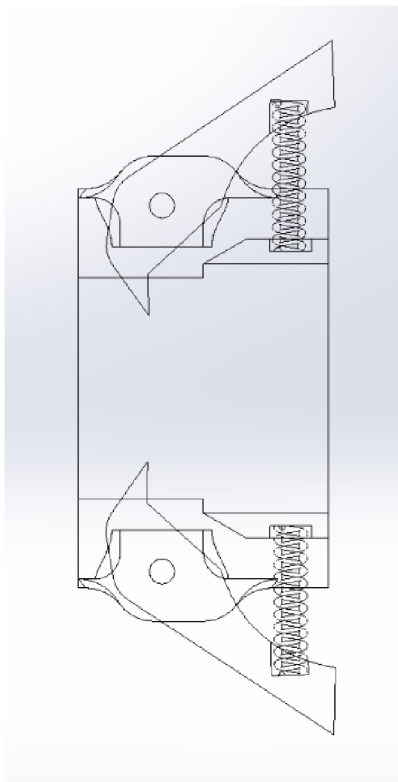
Obrázek 20: 3D model osy.

5.3 Tvorba upínacího mechanismu

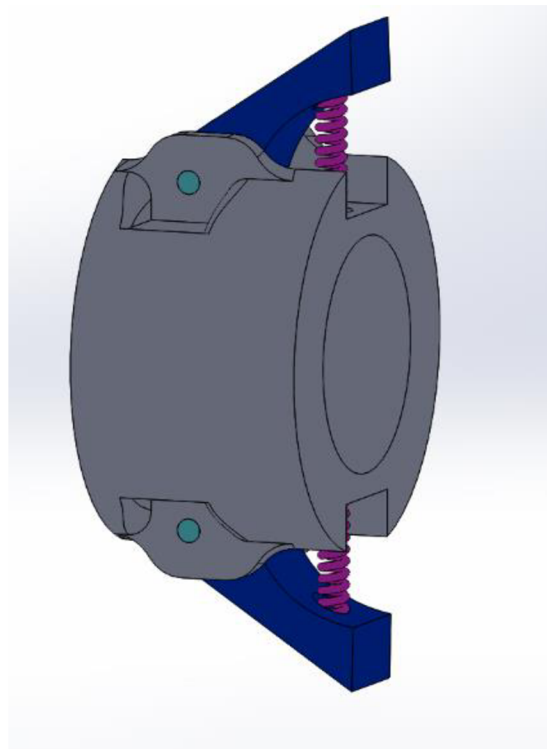
V následujících kapitolách si představíme tři různé návrhy upínacího mechanismu jednoruční činky, které by přicházely v úvahu. U všech těchto tří návrhů bylo nejdříve nutné vymodelovat jednotlivé díly, ze kterých se bude finální upínací mechanismus skládat. Postup modelování těchto částí je analogický postupům modelování osy a kotoučů popsané v předchozích kapitolách této práce. Jakmile jsou všechny součásti vymodelovány, otevřeme si nyní dokument *Sestava*. Zobrazí se prázdné prostředí, do kterého prvně vložíme tzv. pevnou součást a následně všechny ostatní potřebné součásti. Tyto jednotlivé součásti pospojujeme pomocí vazeb, kterými jsou např. *Tečná*, *Rovnoběžná*, *Soustředná*, *Sjednocená*... Spojením všech částí nakonec vznikl hotový model.

5.3.1 Návrh číslo 1

První návrh se skládá z hlavního kroužku do kterého jsou proti sobě zasazené dvě páčky. Tyto dvě páčky drží na kuličkách a po jejich zmáčknutí se stlačí pružinka a hroty na páčkách se tak vysunou do horní pozice, ve které můžeme zapínání nasunout na osu. Jakmile zapínání umístíme na své místo, páčky pustíme, pružinky je opět vytlačí do uzavřené pozice a hroty na páčce zapadnou do drážky na ose.



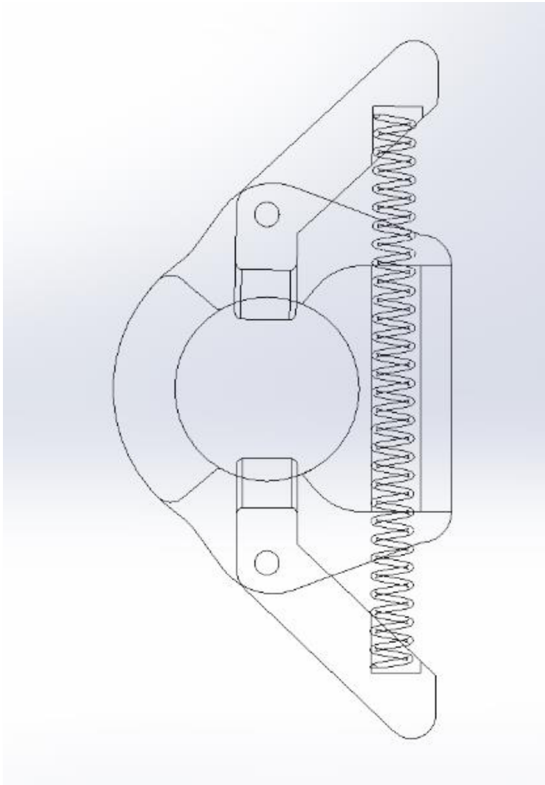
Obrázek 21: Drátový model prvního návrhu.



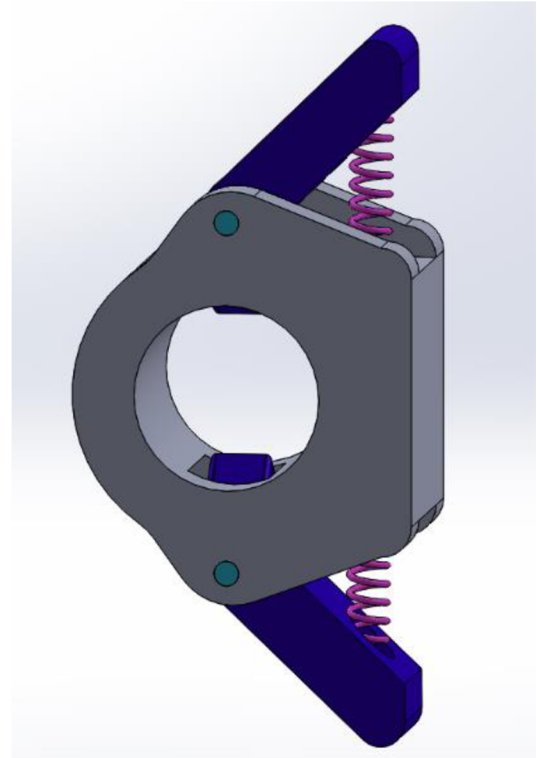
Obrázek 22: 3D model prvního návrhu.

5.3.2 Návrh číslo 2

Návrh číslo 2 je podobně jako první návrh složený ze základního kroužku a dvou páček na jejichž konci je zobáček, který zapadne do drážky na ose. Rozdíl je ale v tom, že je zde použita jen jedna pružina, která je vedena bokem, vedle hlavního otvoru, který se nasouvá na osu.



Obrázek 23: Drátový model druhého návrhu.

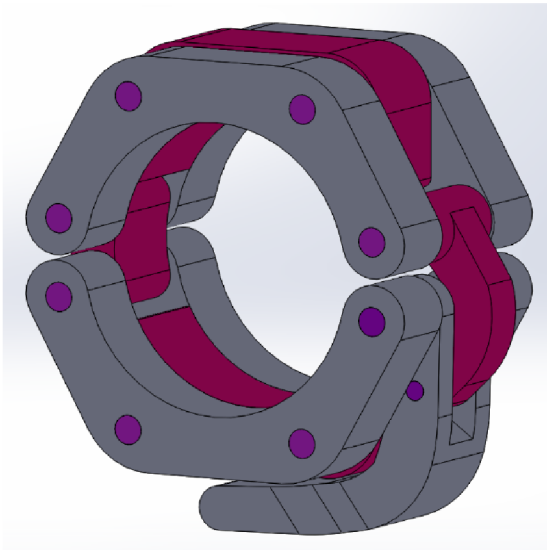


Obrázek 24: 3D model druhého návrhu.

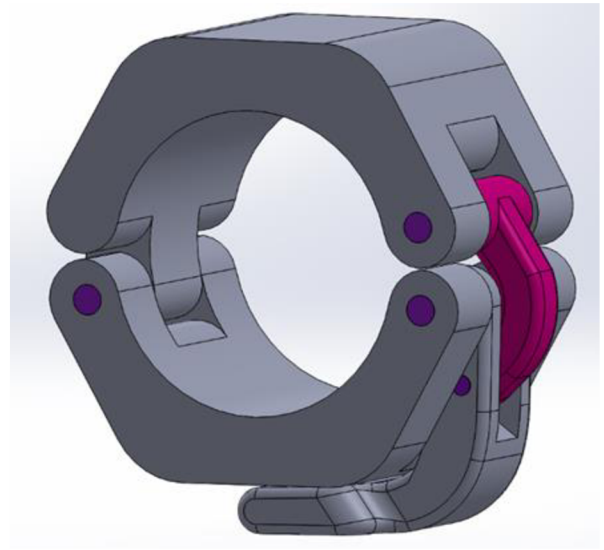
5.3.3 Návrh číslo 3

Tento návrh je oproti předchozím již úplně bez pružinek. Funguje na principu páky, kdy po překonání určitého rádiu se zapínání zacvakne a tak se uzavře.

První varianta tohoto mechanismu se skládala z 9 částí a vyžadovala si 9 šroubků pro jejich spojení. Druhá, vylepšená varianta se skládá už jen ze 4 dílů na jejichž spojení jsou potřeba 4 šroubky.



Obrázek 25: Model třetího návrhu – první varianta.



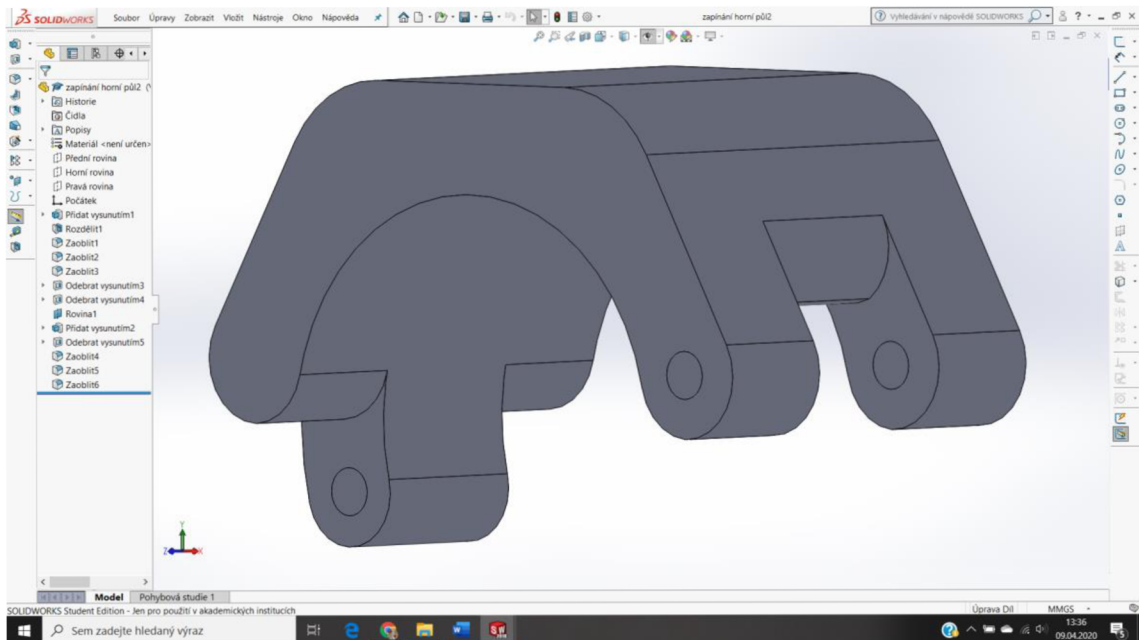
Obrázek 26: Model třetího návrhu – druhá varianta.

5.4 Volba nejlepšího návrhu

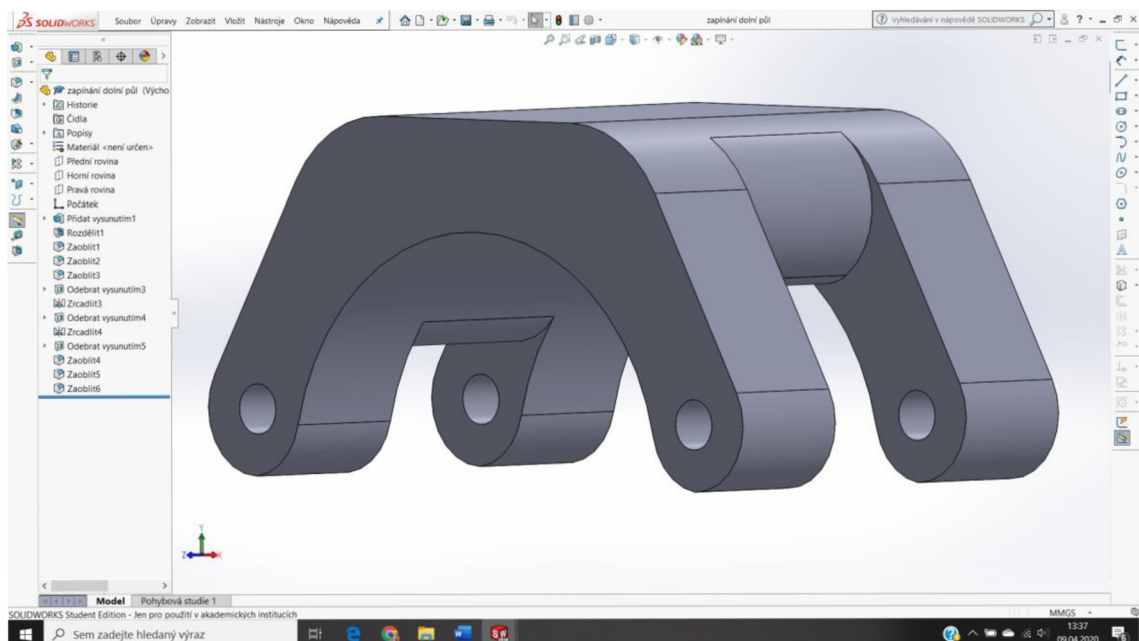
Jako nejlepší návrh nového upínacího mechanismu jsem zvolila návrh číslo 3. Všechny tyto tři návrhy jsou uživatelsky pohodlné a jednoduché, avšak výroba prvního a druhého návrhu je poměrně náročná a nákladná. U návrhu číslo 1 je také potřebné řádně zajistit pružinky, aby nehrozilo jejich vypadnutí a tím ke znehodnocení funkčnosti celého mechanismu. Proto vznikl návrh číslo 2, ve kterém je celá pružinka schovaná uvnitř kroužku, a tudíž nehrozí že by mohla vyletět. Návrh číslo 3 je úplně bez pružinky, takže ani zde toto riziko nehrozí. Jeho výroba je poměrně snadná a použití je taktéž velice jednoduché, a proto je tento návrh ten nejlepší.

5.5 Tvorba výsledného modelu

Jak již bylo zmíněno výše, tento výsledný model upínacího mechanismu se skládá ze 4 dílů. Základní kroužek je vytvořen ze dvou polovic. Model horní poloviny je vidět na obrázku č. 27 a model dolní poloviny pak na obrázku č. 28.

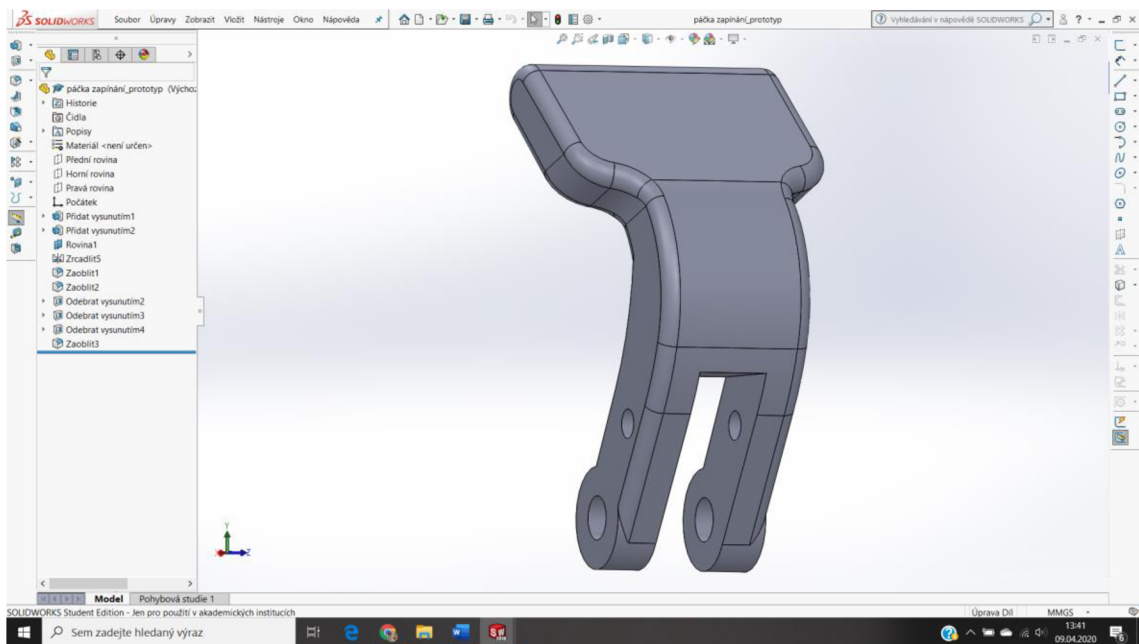


Obrázek 27: Model horní poloviny upínacího mechanismu.

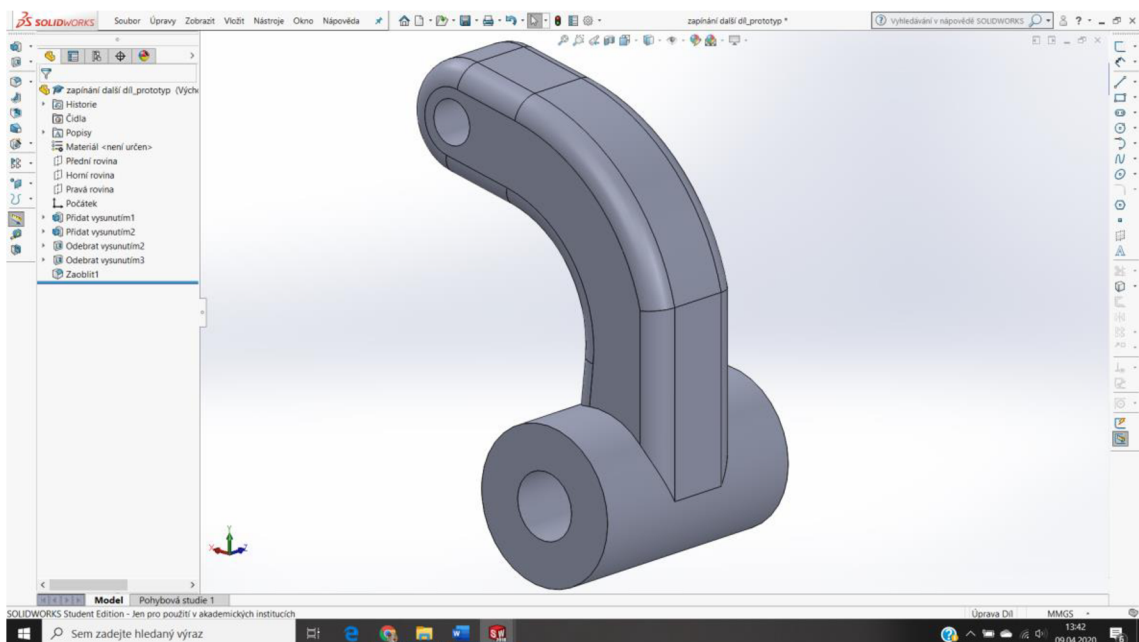


Obrázek 28: Model dolní poloviny upínacího mechanismu.

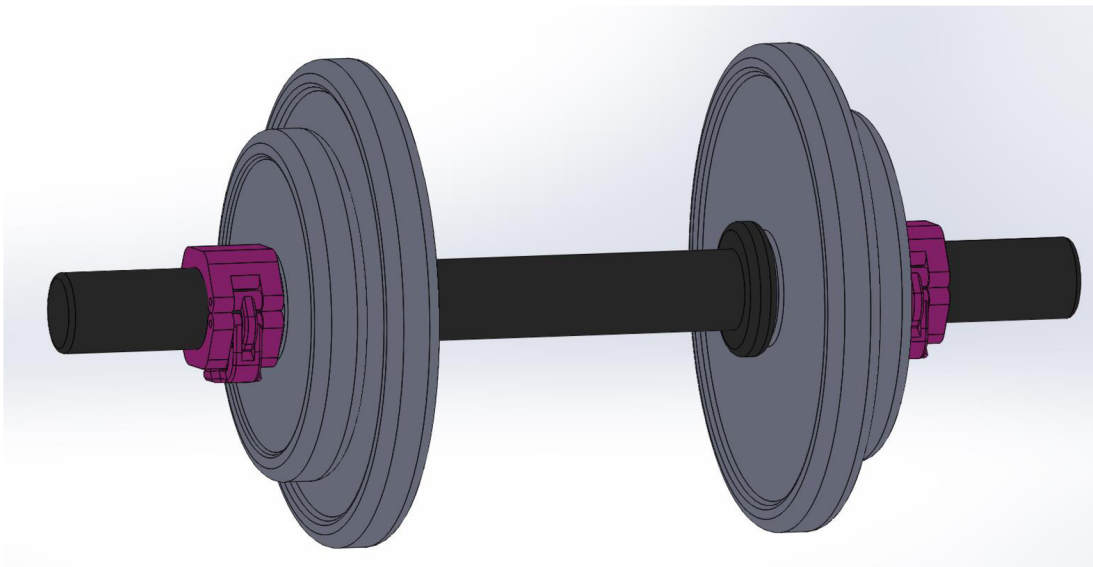
Zapínací část upínacího mechanismu je tvořena z dalších dvou dílů. Konkrétně z páčky jejíž model je vidět na obrázku č. 29 a z pohyblivého kloubu, který je vidět na obrázku č. 30.



Obrázek 29: Model páčky upínacího mechanismu.



Obrázek 30: Model pohyblivého kloubu.



Obrázek 31: Sestava celého modelu jednoruční činky.

5.6 Výroba modelu

V této části bude popsána samotná výroba upínacího mechanismu i ostatních částí jednoručních činek. Prototyp byl vyroben na tiskárně Ultimaker 2+ a byl použit materiál PLA FILAMENT VERBATIM.

5.6.1 Ultimaker CURA

Software Cura generuje pokyny pro 3D tiskárnu. Vezme 3D model a rozdělí jej do vrstev a vytvoří soubor známý jako G-kód, což je kód, kterému 3D tiskárna rozumí.

Po otevření tohoto softwaru se zobrazí prázdná pracovní plocha tiskárny a horní lišta, která je rozdělena do tří částí. Na levé straně této lišty se nachází panel výběru tiskárny, který zobrazí vybranou tiskárnu. Uprostřed je konfigurační panel, který obsahuje nastavení materiálu a jádra tisku. V pravé části této lišty se pak nachází panel nastavení tisku, který obsahuje všechny parametry strategie řezů. Panel nastavení tisku obsahuje 9 sekcí – kvalita (quality), skořápka (shell), výplň (infill), materiál (material), rychlost (speed), chlazení (cooling), podpora (support), adheze desek (build plate adhesion)

a speciální režimy. Každá sekce obsahuje několik nastavení pod nimi. Podrobnější nastavení parametrů tisku v jednotlivých sekcích je popsáno v následujících odrážkách.

- Kvalita (Quality) – v této záložce je možné nastavit výšku jedné potištěné vrstvy v milimetrech. Tato hodnota by měla být celočíselným násobkem velikosti trysky tiskárny. Obecně postačuje tloušťka stěny 2 nebo 3násobek průměru trysky. Nižší hodnota tloušťky jedné vrstvy vede k hladšímu povrchu a k více viditelným detailům v modelu. Na druhou stranu, použitím silnějších vrstev můžeme podstatně zkrátit dobu tisku.
- Skořápka (Shell) - toto nastavení ovlivňuje vnější strany tištěného modelu. Lze zde nastavit počet stěn pro spodní a vrchní vrstvu a ostatní horizontální plochy. Pro všechny tyto tři oblasti lze také nastavit tloušťku jednotlivých vrstev skořápky v milimetrech. Menší tloušťka stěn povede k lehčím a flexibilnějším modelům při obětování stability. Modely, které mají velmi tenké stěny a/nebo horní/dolní vrstvy, jsou slabé a náchylné k poškození. Větší tloušťka stěn povede k robustnějším modelům s větším vyvážením. Modely s velmi silnými stěnami a/nebo vrchními/spodními vrstvami však mohou ovlivnit konečnou podobu modelu, prodlužuje se délka tisku a spotřeba materiálu.
- Výplň (Infill) - hustota výplně definuje množství plastu použitého uvnitř tisknutého předmětu. Vyšší hustota výplně znamená, že uvnitř tištěného předmětu je více plastu, což vede k silnějšímu a pevnějšímu předmětu. Pokud součást nebude vystavena mechanickému namáhání, ale bude sloužit spíše pro estetické účely, postačí hustota výplně kolem 20 %. Ultimaker Cura také umožňuje změnit vzor tištěné výplně.
- Materiál (Materiál)
- Rychlost (Speed) – v tomto bodu lze nastavit rychlost tisku v mm / s, kterou se tisková hlava pohybuje během tisku. Na základě tohoto nastavení vypočítá Ultimaker Cura tok vytlačování materiálu. Vyšší rychlost tisku znamená zkrácení doby tisku. Avšak pokud se hlava tiskárny pohybuje rychleji, nemusí mít vlákno dostatek času k roztavení, když vychází z trysky. Výsledkem jsou pak křehké modely. Vyšší rychlost tiskárny také znamená, že začne hlava tiskárny silněji vibrovat. Výsledkem může být, že se na povrchu objeví vlnky. Proto vyšší rychlost tisku obvykle stojí za cenu snížení kvality.

- Cestování (Travel) – metoda FDM funguje na principu vytlačování roztaveného plastu z trysky. Někdy se však může stát, že tento roztavený plast vyteče z trysky ve chvíli, kdy to zrovna nechceme a zanechá na výtisku nevzhledné řetězce a šmouhy. Pokud tomuto chceme zabránit, můžeme si v této záložce nastavit možnost zatažení materiálu. Také si zde můžeme navolit tzv. *Z Hop When Retracted*. Při tomto nastavení se sestavovací deska navíc posune dolů o nastavenou hodnotu, což umožní tiskové hlavě pohybovat se po ploše tisku, aniž by ho zasáhla a poškodila tak jeho kvalitu.
- Chlazení (Cooling) - pomocí tohoto nastavení můžeme během tisku povolit nebo zakázat ventilátory tiskové hlavy. Vytlačené vlákno totiž zůstává tvárné, dokud nezchladne. Ventilátory tiskové hlavy zajišťují, aby byl materiál před vytištěním další vrstvy řádně ochlazen. Hlavně u vrstev s krátkou dobou tisku a u přesahů v modelu se chlazením zvýší kvalita tisku. Pokud jsou povoleny ventilátory tiskové hlavy, můžete upravit rychlost ventilátoru, tj. rychlost, kterou se ventilátory točí. Hodnota tohoto nastavení je nastavena jako procento z maximální rychlosti ventilátoru. Vyšší rychlost umožňuje lepší chlazení a snižuje vytékání, ale může také zvýšit smršťování materiálu. Proto se doporučená rychlost chlazení u různých materiálů může lišit.
- Podpora (Support) - některé modely mají převislé části, což znamená, že části modelu se při tisku vznášejí ve vzduchu. V tomto případě se musí pod model vytisknout podpůrné struktury, aby nedošlo k pádu plastu. V tomto bodu nastavení lze povolit automaticky generovanou strukturu podpory. Pro tu existují dvě možnosti. První možnost je že se vytvoří podpůrné struktury pod převislými částmi modelu pouze mezi sestavovací deskou a modelem. Pokud vybereme druhou možnost *Everywhere*, Cura 3D bude stavět struktury kdekoli je to nutné. To znamená, že podpůrné struktury budou postaveny nejen na konstrukční desce, ale budou také vygenerovány podpůrné struktury, které jako základ používají část modelu. V dalším bodě je možné nastavit úhel převisu, který ovlivňuje množství přidaného podpůrného materiálu.
- Adheze desek (Build Plate Adhesion) – software Cura nabízí 3 různé typy přilnavosti základní desky, popř. nemusíme využít adhezi žádnou. První možností je *Brim*, který přidá jednu vrstvu rovné plochy kolem základny modelu, aby se

zabránilo deformaci. Druhou možností je *Raft*, který přidává hustou mřížku se střechou mezi model a konstrukční desku. To může být užitečné, když spodní povrch modelu není úplně rovný nebo má malou přilnavost k montážní desce. Třetí možností je tzv. *Skirt*. Jde pouze o čáru vytištěnou kolem objektu ještě před samotným tiskem. Tato čára není k objektu nijak připojena.

[29], [30]

Pro potřeby tisku modelu jednoruční činky bylo použito nastavení hodnot jednotlivých parametrů, které jsou zobrazeny v následující tabulce.

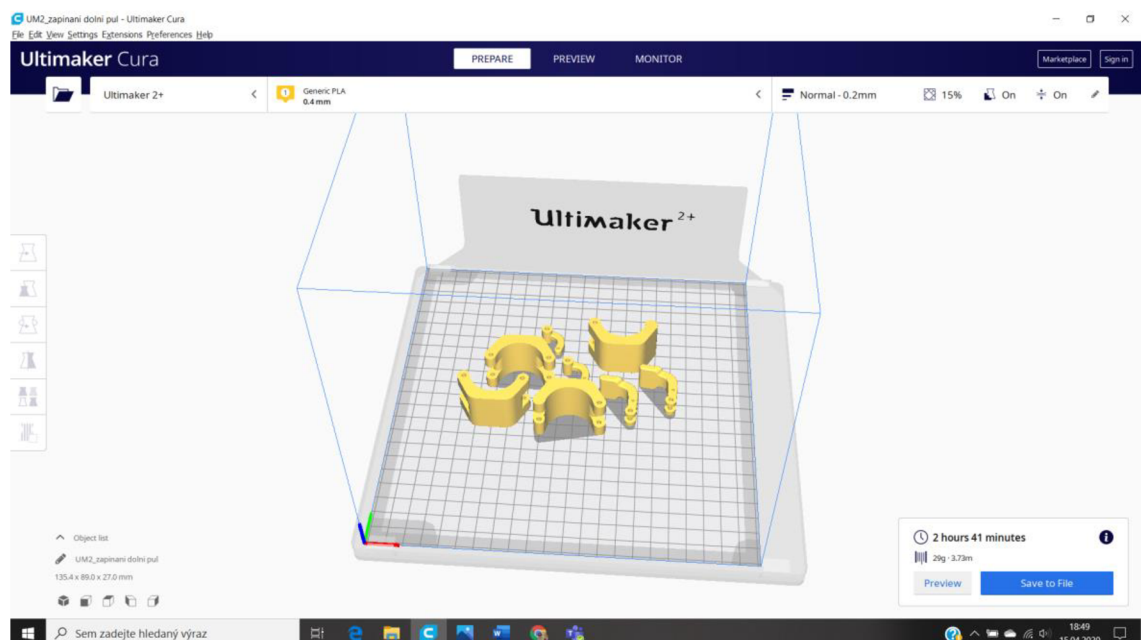
Tabulka 2: Nastavení parametrů 3D tisku.

Quality	Layer Height	0,2 mm
Shell	Wall Thickness	0,7 mm
	Wall Line Count	2
	Top/Bottom Thickness	0,75 mm
	Top Thickness	0,75 mm
	Top Layers	2
	Bottom Thickness	0,75 mm
	Bottom Layers	4
Infill	Infill density	15 %
	Infill Pattern	Grid
Speed	Print Speed	65 mm/s
Travel	Enable Retraction	✓
	Z Hop When Retracted	x
Cooling	Enable Print Cooling	✓
	Fan Speed	100 %
Support	Generate Support	✓
	Support Placement	Everywhere
	Support Overhang Angle	50
Build Plate Adhesion	Build Plate Adhesion Type	Brim

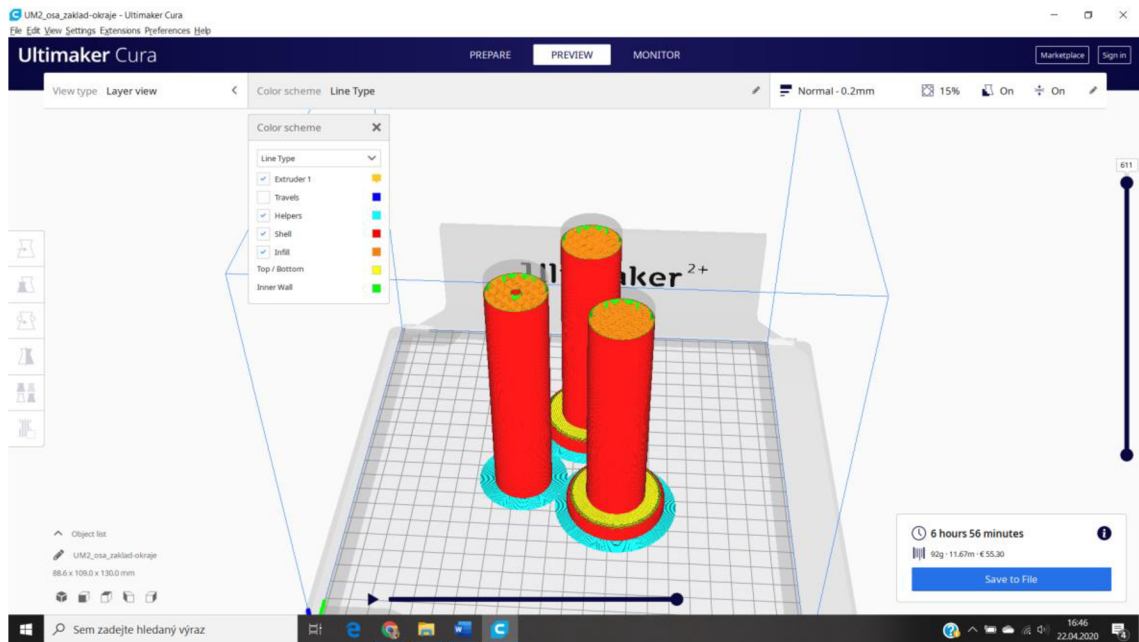
Veškeré soubory s 3D modely jednotlivých součástí je nejprve nutné převést do formátu STL. Modely v tomto formátu jsou tvořeny sítí rovinných trojúhelníků, které obalují původní datový model s požadovanou přesností. Soubory s touto příponou je pak možné otevřít v konfiguračním systému 3D tiskárny, kterým je Ultimaker CURA.

Pomocí ikon na liště na levém okraji můžeme jednotlivé součásti libovolně rozmístit do prostoru tiskárny, otáčet je, zrcadlit, zvětšovat nebo zmenšovat. Jakmile jsme s umístěním součástí spokojeni, klikneme na tlačítko *Scale*, které se nachází v pravém dolním rohu obrazovky. Ultimaker Cura nám pak vypočítá dobu tisku a množství potřebného materiálu. Toto vše se děje v první fázi nazvané *Prepare*. Pokud se přepneme do druhé fáze tzv. *Preview*, zobrazí se nám model rozdělený do tiskových vrstev. Můžeme si zde zobrazit skutečné tiskové cesty, jednotlivé vrstvy tisku, podpory, skořápku i výplň. Mimo tohoto zobrazení vrstev Cura nabízí i rentgenové zobrazení, které poskytuje průsvitný pohled na model pro detekci chybějící a nežádoucí geometrie modelu. Cílem této fáze je zobrazit náhled a vyhodnotit proces 3D tisku. Poslední fází je *Monitor*, která slouží ke sledování probíhajícího tisku.

[31]



Obrázek 32: Vložení jednotlivých částí upínacího mechanismu do 3D Cura.

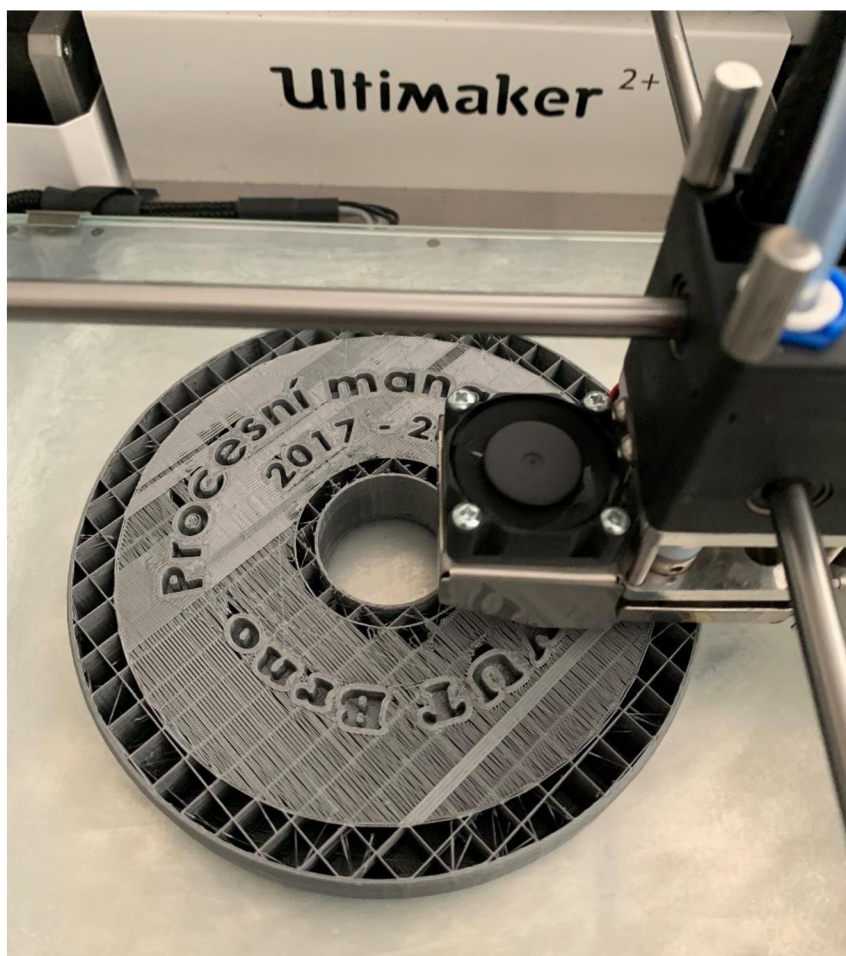


Obrázek 33: Model osy v barevném zobrazení jednotlivých vrstev.

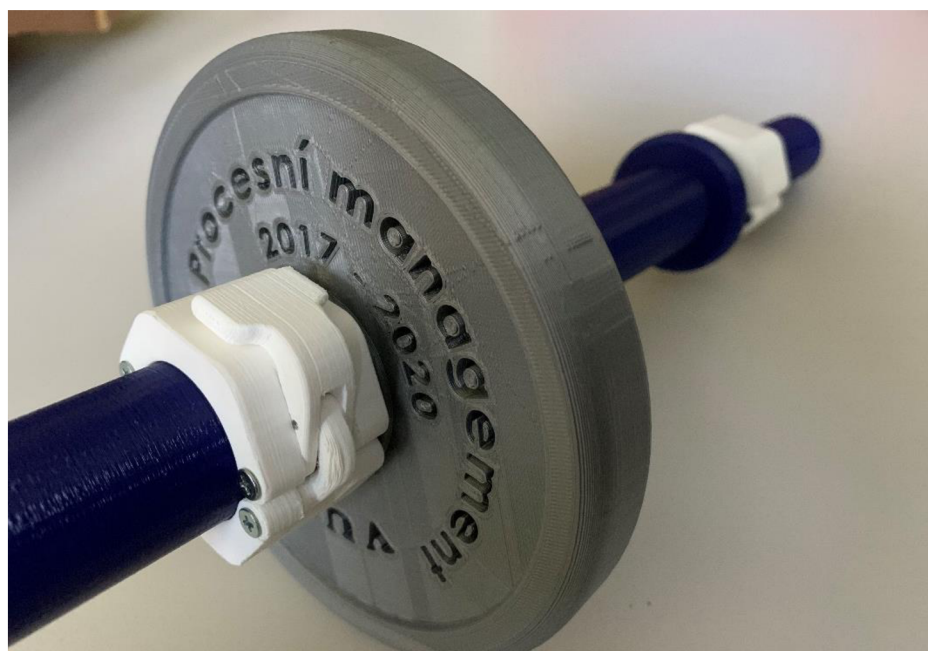
5.6.2 Ultimaker 2+

Tiskárna Ultimaker 2+ na které byl model vyroben patří mezi nejmodernější, nejpřesnější a nejspolehlivější stolní 3D tiskárny. Umožňuje tisknout předměty o rozměrech až 120 x 120 x 305 mm, a to v osvědčené kvalitě. Tiskárna s moderním a elegantním designem krytu a integrovaným OLED displejem tiskne s maximálním rozlišením vrstvy 0,02 mm a dosahuje rychlosti tisku až 300 mm/s. S open source softwarem Cura a vyhřívanou podložkou je vhodná pro vlákna PLA a ABS o průměru 2,85 mm. Díky možnosti výměny trysek je tiskárna flexibilní a umí vytisknout libovolné nejjemnější detaily. Jedno zůstává u všech tiskáren značky Ultimaker stejné: každý model je vyráběn ručně a testován. To zajišťuje trvale vysokou přesnost a kvalitu.

[32]



Obrázek 34: Tisk kotouče.



Obrázek 35: Kotouč upnutý na ose.

6. Technicko-ekonomické zhodnocení výroby modelu

Celkové náklady na výrobu prototypu jsou složeny z nákladů výrobního zařízení, nákladů na materiál a nákladů na montáž a dokončovací operace. Dále pak počítáme s náklady na návrh designu a tvorbu 3D modelu.

6.1 Náklady výrobního zařízení

Hodinová sazba zařízení se pojí k celkovému času výroby modelu. Náklady na provoz 3D tiskárny, na které byl model vytvořen, jsou vyčísleny na 30 Kč/h a doba práce výrobního zařízení na dvou kusech upínacích mechanismů byla 2 hodiny a 41 minut. Celkové náklady výrobního zařízení lze tedy vyjádřit podle vztahu:

$$C_{vz} = S_{vz} \cdot t$$

$$C_{vz} = 30 \cdot 2,68$$

$$C_{vz} = 80 \text{ Kč}$$

Kde: C_{vz} [Kč] – Celkové náklady výrobního zařízení (3D tiskárny)

S_{vz} [Kč/h] – Hodinová sazba výrobního zařízení

t [hod] – Doba práce výrobního zařízení

Náklady na výrobu osy a kotoučů vyčíslíme stejným způsobem jako náklady na výrobu prototypu upínacího mechanismu. Konkrétní hodnoty jsou zaznamenány v následující tabulce.

Tabulka 3: Náklady na provoz 3D tiskárny.

Výrobek	Doba práce 3D tiskárny	Náklady na výrobu [Kč]
Osa	6 hodin 56 minut	208
Velký kotouč	10 hodin 23 minut	311
Malý kotouč	5 hodin 41 minut	170

Náklady výrobního zařízení na výrobu všech částí prototypu jednoruční činky jsou dány součtem nákladů všech komponent. Celkové náklady výrobního zařízení jsou ve výši 1250 Kč.

6.2 Náklady na materiál

Pro výrobu prototypu upínacího mechanismu byl použit materiál PLA FILAMENT 2,85 MM VERBATIM. 1 kg tohoto materiálu se prodává za 599 Kč. Pro výrobu upínacího mechanismu bude potřeba 14,5 g materiálu. [29]

Výpočet nákladů na potřebný materiál je vyčíslen v následujícím vztahu:

$$C_m = m \cdot P_m$$

$$C_m = \frac{14,5}{1000} \cdot 599$$

$$C_m = 9 \text{ Kč}$$

Kde: C_m [Kč] – Celkové náklady na materiál

m [Kg] – Hmotnost spotřebovaného materiálu

P_m [Kč/Kg] – Nákupní cena materiálu

Stejným způsobem vyčíslíme i náklady na zbylé komponenty modelu.

Tabulka 4: Náklady na materiál.

Výrobek	Množství spotřebovaného materiálu [g]	Náklady na materiál [Kč]
Osa	92	55
Velký kotouč	140	84
Malý kotouč	75	45

Celkové náklady na spotřebovaný materiál získáme opět součtem nákladů všech komponent. Náklady na materiál prototypu jsou 331 Kč.

6.3 Náklady na montáž a dokončovací operace

Hodinová sazba pracovníka provádějícího montáž a dokončovací operace je 180 Kč/h. Mezi dokončovací operace patří vyjmutí jednotlivých součástí z 3D tiskárny, jejich očištění a odstranění případných podpor. Co se výroby upínacího mechanismu týče, tyto činnosti zaberou 20 minut času. Samotná montáž upínacího mechanismu pak zabere dalších 10 minut.

Náklady na montáž a dokončovací operace pak lze určit podle vztahu:

$$C_d = (t_{mon} + t_{dop}) \cdot S_p$$

$$C_d = \left(\frac{20 + 10}{60} \right) \cdot 180$$

$$C_d = 90 \text{ Kč}$$

Kde: C_d [Kč] – Celkové náklady na montáž a dokončovací operace

t_{mon} [hod] – Doba trvání montáže

t_{dop} [hod] – Doba trvání dokončovacích operací

S_p [Kč/h] – Hodinová sazba pracovníka montáže

Náklady na montáž a dokončování operace ostatních částí prototypu jsou zaznamenány v následující tabulce.

Tabulka 5: Náklady na montáž a dokončovací operace.

Výrobek	Dokončovací operace [min]	Montáž [min]	Náklady dokončovacích operací a montáže [Kč]
Osa	15	10	76
Velký kotouč	9	0	27
Malý kotouč	9	0	27

Sečtením všech nákladů na montáž a dokončovací operace pro jednotlivé komponenty získáme výslednou hodnotu nákladů ve výši 274 Kč.

6.4 Náklady na návrh designu a tvorbu 3D modelu

Kromě samotné výroby součásti bylo nutné zajistit řadu dalších činností, které souvisí hlavně s předvýrobní etapou.

Hodinová mzda konstruktéra je stanovena na 200 Kč/h. Návrh designu upínacího mechanismu trval 3 hodiny. Samotná tvorba 3D modelu pak trvala 8 hodin.

Celkové náklady na návrh designu a tvorbu 3D modelu pak lze vyčíslit podle vztahu:

$$C_{nt} = (t_{des} + t_{tv}) \cdot S_k$$

$$C_{nt} = (3 + 8) \cdot 200$$

$$C_{nt} = 2200 \text{ Kč}$$

Kde: C_{nt} [Kč] – Celkové náklady na návrh designu a tvorbu 3D modelu

t_{des} [hod] – Doba trvání návrhu designu

t_{tv} [hod] – Doba trvání tvorby 3D modelu

S_k [Kč/h] – Hodinová sazba konstruktéra

Výše nákladů na návrh designu a tvorbu prototypů ostatních součástí jsou v následující tabulce.

Tabulka 6: Náklady na návrh designu a tvorbu 3D modelu.

Výrobek	Návrh designu [hod]	Tvorba 3D modelu [hod]	Náklady na návrh designu a tvorbu 3D modelu [Kč]
Osa	1,5	3	900
Velký kotouč	2	5	1400
Malý kotouč	1,5	4	1100

Náklady na návrh designu a tvorbu 3D modelu prototypu jsou po sečtení hodnot 5600 Kč.

6.5 Stanovení celkových nákladů tvorby prototypu

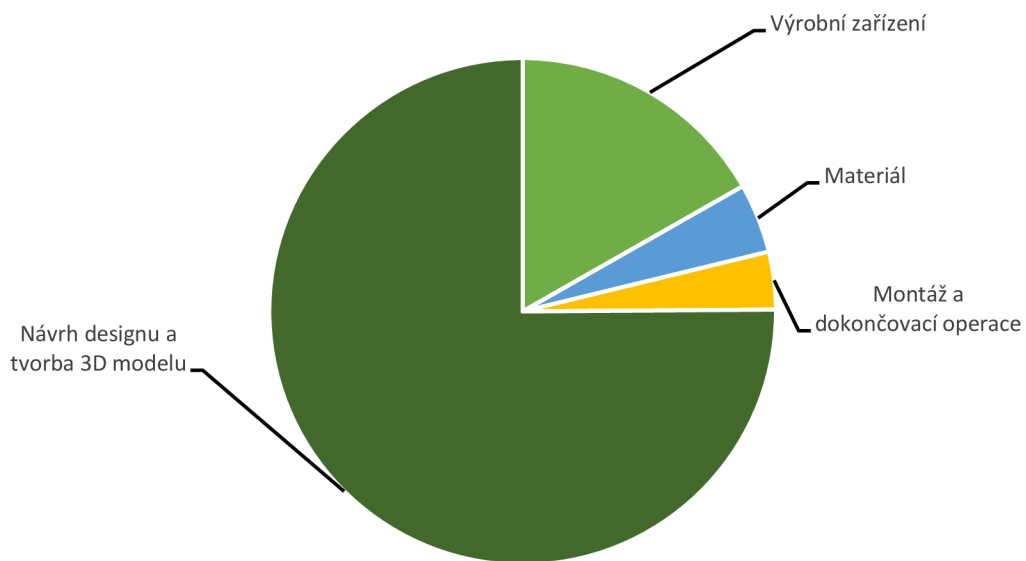
Celkové náklady na výrobu prototypu jsou složeny ze součtu nákladů výrobního zařízení, nákladů na materiál, nákladů na montáž a dokončovací operace a z nákladů na návrh designu a tvorbu 3D modelu. V následující tabulce je přehled všech těchto nákladů a výsledná suma celkových nákladů.

Tabulka 7: Celkové náklady na výrobu prototypu.

Místo vzniku nákladů	Náklad [Kč]	Podíl na celkových nákladech [%]
Výrobní zařízení	1250	16,77
Materiál	331	4,44
Montáž a dokončovací operace	274	3,67
Návrh designu a tvorba 3D modelu	5 600	75,12
Celkem	7455	100

Z níže uvedeného grafu můžeme vidět, že největší položkou jsou náklady na návrh designu a tvorbu 3D modelu. Tyto náklady tvoří 75,12 % z celkových nákladů na výrobu prototypu. Naopak nejnižšími náklady jsou náklady na materiál, které tvoří 4,44 % z celkových nákladů a náklady na montáž a dokončovací operace, které tvoří 3,67 % z celkových nákladů na výrobu prototypu. Náklady na výrobní zařízení pak tvoří 16,77 % z celkových nákladů.

Rozložení jednotlivých položek nákladů na tvorbu prototypu



Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo navrhnout inovovaný tvar upínacího mechanismu a vytvořit prototyp jednoruční činky reprezentující funkčnost tohoto navrženého mechanismu. Pro výrobu prototypu byla použita moderní technologie 3D tisku, která slouží právě pro výrobu prototypů.

V teoretické části práce byly představeny CAx systémy, jejich použití ve výrobním podniku, důvody zavádění a přínosy těchto systémů. Nejznámější CAx systémy pak byly v jednotlivých podkapitolách ještě více rozebrány a popsány. Druhý velký celek teoretické části práce byl zaměřen na rozbor používaných Rapid Prototyping technologií. Technologie FDM byla detailněji popsána, byly popsány její výhody i nevýhody. Dále byly blíže popsány materiály používané metodou FDM.

V analytické části práce byly popsány různé modely jednoručních činek nabízené na trhu. Byly rozebrány tři nejpoužívanější varianty upínání kotoučů na jednoručních činkách a odhaleny jejich nedostatky.

Praktická část práce se věnovala popisu postupu výroby modelu jednoruční činky od úplného počátku. Nejprve byly vymodelovány dva kotouče, osa a jednotlivé díly upínacího mechanismu v parametrickém modeláři SolidWorks. Z těchto jednotlivých dílů byla potom vymodelována sestava inovovaného upínacího mechanismu. Postupně byly vymodelovány tři různé varianty upínacího mechanismu a nakonec byl vybrán ten nejlepší návrh. Tento výsledný návrh spolu s oběma kotouči i osou byl vytištěn na tiskárně Ultimaker 2+. Práce také obsahuje popis samotné tiskárny i představení softwaru Ultimaker Cura a jednotlivých nastavení, které byly použity pro tisk modelu. Výsledný model jednoruční činky byl vytištěn z materiálu PLA FILAMENT 2,85 MM VERBATIM.

Náklady na výrobu prototypu byly rozčleněny do několika položek. Náklady na provoz 3D tiskárny byly ve výši 1 250 Kč, náklady na materiál byly 331 Kč, náklady dokončovacích operací a montáže 274 Kč a náklady na návrh designu a tvorbu 3D modelu byly 5 600 Kč. Celkové náklady na výrobu tohoto prototypu jednoruční činky byly tedy 7 455 Kč.

Všechny vytyčené cíle bakalářské práce byly splněny.

Seznam použitých zdrojů

- (1) KURIC, Ivan. Počítačem podporované systémy v strojárstve. Žilina: EDIS, 2002. Vysokoškolské učebnice. ISBN 80-7100-948-2
- (2) KRÁL, Ján. Příprava výroby s využitím CAx technologií. Košice: Technická univerzita v Košiciach, Strojnícka fakulta, 2010. Edícia študijnej literatúry. ISBN 978-80-553-0707-7
- (3) Ivana Kleinedlerová. Řízení Výrobních Činností V Podniku Prostřednictvím CA Systémů. In: Trilobit. [online]. 2011 [cit. 2020-04-09]. Dostupné z: <http://trilobit.fai.utb.cz/rizeni-vyrobnych-cinnosti-v-podniku-prostrednictvim-ca-systemu>
- (4) [Viera Glombíková], POČÍTAČEM PODPOROVANÉ SYSTÉMY - CA SYSTÉMY, [prezentace na Technické univerzitě v Liberci] [online]. [cit. 2020-04-09]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/2298475-Pocitacem-podporovane-systemy-ca-systemy.html?fbclid=IwAR03zSx3H-PLINA4sUESrGi7sRfBwLOiEo-PH2zPMpKImqLpMC3BnxGbwDw>
- (5) SLOTA, Ján, Martin MANTIČ a Ivan GAJDOŠ. Rapid Prototyping a Reverse Engineering v strojárstve. Košice: Strojnícka fakulta, Technická univerzita v Košiciach, 2010. Edícia študijnej literatúry. ISBN 978-80-553-0548-6
- (6) Michal Vrbický. Rapid prototyping a použití ve výrobě. In: CAD.cz. [online]. [cit. 2020-04-09]. Dostupné z: <https://www.cad.cz/strojirenstvi/38-strojirenstvi/8009-rapid-prototyping-a-pouziti-ve-vyrobe.html>
- (7) KLOSKI, Liza Wallach a Nick KLOSKI. Začínáme s 3D tiskem. Brno: Computer Press, 2017. ISBN 978-80-251-4876-1.
- (8) Strojirenstvi.cz. Hybridní výroba spojuje 3D tisk s přesným obráběním [online]. [cit. 2020-04-09]. Dostupné z: <https://www.strojirenstvi.cz/hybridni-vyroba-spojue-3d-tisk-s-presnym-obrabenim>
- (9) TechTarget. hybrid manufacturing [online]. [cit. 2020-04-09]. Dostupné z: <https://searcherp.techtarget.com/definition/hybrid-manufacturing>
- (10) Studium. *Vysoké učení technické v Brně*. Aditivní technologie – metody Rapid Prototyping. [online]. Brno: Vysoké učení technické v Brně ©2018 [cit. 2020-04-09]. Dostupné z:

http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/podklady/sto_bak/cv_STV_04_Aditivni_technologie_metody_Rapid_Prototyping.pdf

- (11) Materialise. Fused Deposition Modeling (FDM) [online]. [cit. 2020-04-09]. Dostupné z: <https://www.materialise.com/cs/manufacturing/technologie-materialy-a-dokoncovaci-upravy/fused-deposition-modeling-fdm>
- (12) Materialpro 3D. ABS [online]. [cit. 2020-04-09]. Dostupné z: <https://www.materialpro3d.cz/materialovy-slovník/abs/>
- (13) Materialpro 3D. PC [online]. [cit. 2020-04-09]. Dostupné z: <https://www.materialpro3d.cz/materialovy-slovník/pc/>
- (14) PÍŠKA, Miroslav. Speciální technologie obrábění. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2009. Učební texty vysokých škol. ISBN 978-80-214-4025-8
- (15) Materialpro 3D. NYLON (PA) [online]. [cit. 2020-04-09]. Dostupné z: <https://www.materialpro3d.cz/materialovy-slovník/nylon/>
- (16) Materialpro 3D. PLA [online]. [cit. 2020-04-09]. Dostupné z: <https://www.materialpro3d.cz/materialovy-slovník/pla/>
- (17) PAGÁČ, Marek. Učebnice SolidWorks. V Brně: Vydavatelství Nová média, [2017]. ISBN 978-80-270-0918-3
- (18) Insportline. Šestihranná činka inSPORTline Hexsteel 5 kg [online]. [cit. 2020-04-09]. Dostupné z: https://www.insportline.cz/1134/sestihranna-cinka-insportline-hexsteel-5-kg?gclid=EAIaIQobChMIhqOAugWi6AIVCIPTCh2akwmzEAQYByABEgKnjPD_BwE
- (19) Fitsport. JEDNORUČNÍ ČINKA NAKLÁDACÍ 10 KG TRINFIT NCP 30 MM [online]. [cit. 2020-04-09]. Dostupné z: <https://www.fitsport.cz/jednorucni-cinka-nakladaci-10-kg-trinfit-ncp-30-mm>
- (20) FITHAM. Uzávěr na činku TRINFIT matice 30 mm [online]. [cit. 2020-04-09]. Dostupné z: <https://www.fitham.cz/uzaver-na-cinku-trinfit-matice-30-mm>
- (21) FITHAM. Uzávěr na činku pružinový 30 mm TUNTURI – pár [online]. [cit. 2020-04-09]. Dostupné z: <https://www.fitham.cz/uzaver-na-cinku-pruzinovy-30-mm-tunturi-par>

- (22) FITHAM. Uzávěr na činku FITHAM CS klička 30mm [online]. [cit. 2020-04-09]. Dostupné z: <https://www.fitham.cz/uzaver-na-cinku-fitham-cs-klicka-30mm>
- (23) CUSTOMPART.NET. Fused Depositionion Modeling (FDM) [online]. ©2008 [cit. 2020-04-09]. Dostupné z: <http://www.custompartnet.com/wu/fused-depositionion-modeling>
- (24) CUSTOMPART.NET. Stereolitografie [online]. ©2008 [cit. 2020-04-09]. Dostupné z: <http://www.custompartnet.com/wu/stereolithography>
- (25) CUSTOMPART.NET. Selective Laser Sintering [online]. ©2008 [cit. 2020-04-09]. Dostupné z: <http://www.custompartnet.com/wu/selective-laser-sintering>
- (26) CUSTOMPART.NET. Direct Metal Laser Sintering [online]. ©2008 [cit. 2020-04-09]. Dostupné z: <http://www.custompartnet.com/wu/direct-metal-laser-sintering>
- (27) CUSTOMPART.NET. Laminated Object Manufacturing (LOM) [online]. ©2008 [cit. 2020-04-09]. Dostupné z: <http://www.custompartnet.com/wu/laminated-object-manufacturing>
- (28) Materialpro 3D. PLA FILAMENT 2,85 MM BÍLÝ VERBATIM 1 KG [online]. [cit. 2020-04-09]. Dostupné z: <https://www.materialpro3d.cz/pla-2-85/pla-filament-2-85-mm-bily-verbatim-1-kg/>
- (29) Ultimaker. Print settings [online]. [cit. 2020-04-09]. Dostupné z: <https://support.ultimaker.com/hc/en-us/sections/360003548619-Print-settings>
- (30) Dibya Chakravorty. 2020 Cura Tutorial: Master Cura Slicer Software Settings All3DP. [online]. 2020 [cit. 2020-04-09]. Dostupné z: <https://all3dp.com/1/cura-tutorial-software-slicer-cura-3d/#what-are-curas-custom-settings-and-why-should-you-bother>
- (31) Ultimaker. The Ultimaker Cura workflow explained [online]. [cit. 2020-04-09]. Dostupné z: <https://support.ultimaker.com/hc/en-us/articles/360011733980-The-Ultimaker-Cura-workflow-explained>
- (32) Conrad. 3D tiskárna Ultimaker 2 Extended+ [online]. [cit. 2020-04-09]. Dostupné z: <https://velkoobchod.conrad.cz/3d-tiskarna-ultimaker-2-extended.k1417151>

Seznam použitých obrázků

Obrázek 1: Vliv CA systémů na čas realizace součástky [1].	12
Obrázek 2: Systémový pohled na CA systémy [1].	13
Obrázek 3: Systémy PLM [2].	20
Obrázek 4: FDM tiskárna [23].	23
Obrázek 5: Princip technologie SLA [24].	26
Obrázek 6: Princip metody SLS [25].	27
Obrázek 7: Princip metody DMLS [26].	28
Obrázek 8: Princip metody LOM [27].	29
Obrázek 9: Pevné jednoruční činky [18].	30
Obrázek 10: Nakládací jednoruční činky [19].	30
Obrázek 11: Matičky na činky [20].	31
Obrázek 12: Pružinové uzávěry na činky [21].	31
Obrázek 13: Uzávěr s kličkou [22].	31
Obrázek 14: Nabídka dokumentů SolidWorksu.	35
Obrázek 15: Skica kotouče.	36
Obrázek 16: 3D model menšího kotouče.	37
Obrázek 17: Hotový 3D model většího kotouče.	37
Obrázek 18: Náčrt osy.	38
Obrázek 19: Použití nástroje <i>Rotovat</i> .	38
Obrázek 20: 3D model osy.	39
Obrázek 21: Drátový model prvního návrhu.	40
Obrázek 22: 3D model prvního návrhu.	40
Obrázek 23: Drátový model druhého návrhu.	41
Obrázek 24: 3D model druhého návrhu.	41
Obrázek 25: Model třetího návrhu – první varianta.	42
Obrázek 26: Model třetího návrhu – druhá varianta.	42
Obrázek 27: Model horní poloviny upínacího mechanismu.	43
Obrázek 28: Model dolní poloviny upínacího mechanismu.	43
Obrázek 29: Model páčky upínacího mechanismu.	44
Obrázek 30: Model pohyblivého kloubu.	44

Obrázek 31: Sestava celého modelu jednoruční činky.	45
Obrázek 32: Vložení jednotlivých částí upínacího mechanismu do 3D Cura.	49
Obrázek 33: Model osy v barevném zobrazení jednotlivých vrstev.....	50
Obrázek 34: Tisk kotouče.	51
Obrázek 35: Kotouč upnutý na ose.	51

Seznam použitých tabulek

Tabulka 1: Výhody a nevýhody metody FDM	23
Tabulka 2: Nastavení parametrů 3D tisku.	48
Tabulka 3: Náklady na provoz 3D tiskárny.	52
Tabulka 4: Náklady na materiál.	53
Tabulka 5: Náklady na montáž a dokončovací operace.....	54
Tabulka 6: Náklady na návrh designu a tvorbu 3D modelu.	55
Tabulka 7: Celkové náklady na výrobu prototypu.....	56

Seznam příloh

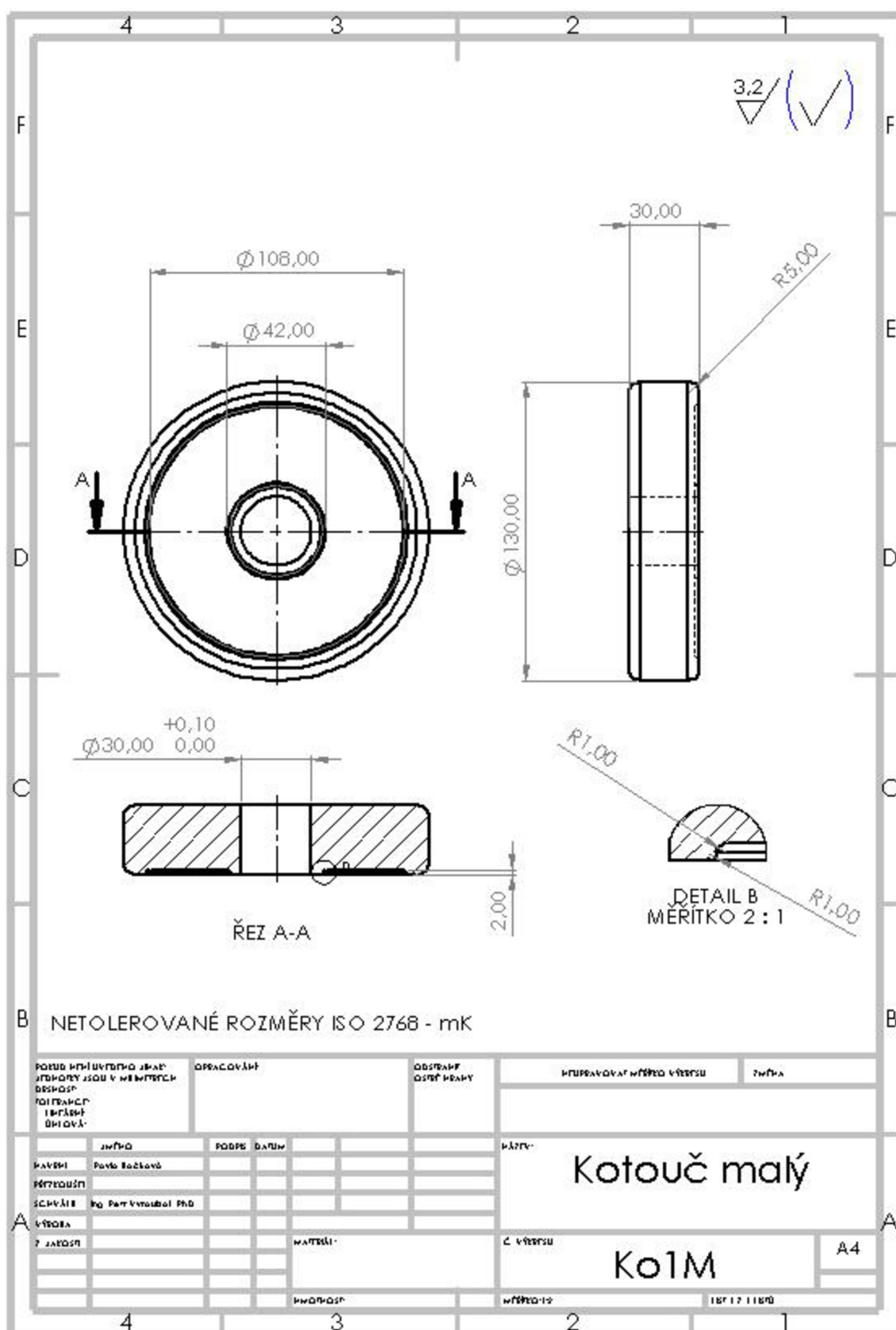
Příloha 1: Technický výkres malého kotouče.

Příloha 2: Technický výkres velkého kotouče.

Příloha 3: Technický výkres osy.

Příloha 4: Technický výkres sestavy upínacího mechanismu.

Příloha 1: Technický výkres malého kotouče



Příloha 3: Technický výkres osy

