



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

APLIKACE CAD/CAM SOFTWARE POWERMILL 2020 PŘI SOUSTRUŽENÍ

APPLICATION OF CAD/CAM SOFTWARE POWERMILL 2020 FOR TURNING

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. David Horáček

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Aleš Polzer, Ph.D.

BRNO 2021

Zadání diplomové práce

Ústav:	Ústav strojírenské technologie
Student:	Bc. David Horáček
Studijní program:	Strojní inženýrství
Studijní obor:	Strojírenská technologie
Vedoucí práce:	Ing. Aleš Polzer, Ph.D.
Akademický rok:	2020/21

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

Aplikace CAD/CAM softwaru PowerMILL 2020 při soustružení

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

V dnešních strojírenských podnicích se velmi úspěšně prosazuje příprava programů pro CNC stroje prostřednictvím CAM softwarů. Tato závěrečná práce je proto zaměřena na návrh vlastní součástky, zpracování nezbytné výrobní dokumentace a naprogramování její výroby v CAM softwaru PowerMILL 2020. Kontrola vyrobitelnosti součásti je především formou grafické simulace v prostředí ViewTurn.

Cíle diplomové práce:

- návrh výroby součástky a vytvoření základní technické dokumentace
- stručný rozbor možností programování v CAM softwaru PowerMILL 2020
- ověření navrženého výrobního postupu (část obrábění) grafickou simulací

Seznam doporučené literatury:

GUPTA, Kapil, ed. Advanced manufacturing technologies: Modern Machining, Advanced Joining, Sustainable Manufacturing. New York, NY: Springer Berlin Heidelberg, 2017. ISBN 978-3-319-56-98-4.

GRZESIK, Wit. Advanced machining processes of metallic materials: theory, modelling and applications. Second edition. Boston: Elsevier, 2017. ISBN 978-0-444-63711-6.

DAVIM, J. Paulo, ed. Surface integrity in machining. London: Springer, 2010, 215 s. ISBN 978--84882-873-5.

TSCHÄTSCH, Heinz. Applied machining technology. Dordrecht: Springer, c2009, xvii, 398 s. ISBN 978-3-642-01006-4.

DAVIM, J. Paulo, ed. Machining: fundamentals and recent advances. London: Springer, c2008, xiii, 361 s. ISBN 978-1-84800-212-8.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2020/21

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.
ředitel ústavu

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

ABSTRAKT

Práce je zaměřena na představení a stručný popis CAM programu PowerMill 2020 od společnosti Autodesk. Dále je v práci probírána problematika CAD/CAM systémů, poté především aditivní výroba. Stručný popis, rozdělení, technologie, materiály a oblasti použití aditivní výroby včetně výhod a nevýhod. Taktéž je v práci zahrnuta problematika hybridní výroby a jsou představeny vybrané firmy působící v oblasti výroby. Praktická část diplomové práce je zaměřena zejména na nastínění procesu obrábění vlastní navržené součásti v programu PowerMILL 2020.

Klíčová slova

CAD/CAM, CAM systém, Autodesk PowerMILL 2020, aditivní výroba, aditivní technologie, hybridní výroba

ABSTRACT

The work is focused on introduction and brief description of CAM software PowerMill 2020 from a company named Autodesk. Furthermore, this thesis discusses the issue of CAD/CAM systems, especially additive manufacturing. Description, division, technology, materials and area of application of additive manufacturing including advantages and disadvantages are discussed. The work also includes the issue of hybrid manufacturing and introduces the most important companies operating in this area of production. The practical part of the thesis is mainly focused on outlining the machining process of own designed part in the PowerMILL2020.

Key words

CAD/CAM, CAM system, Autodesk PowerMILL 2020, additive manufacturing, additive technology, hybrid manufacturing

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

HORÁČEK, David. *Aplikace CAD/CAM softwaru PowerMILL 2020 při soustružení* [online]. Brno, 2021 [cit. 2021-05-19]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/129512>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Aleš Polzer.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma **Aplikace CAD/CAM softwaru PowerMILL 2020 při soustružení** vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

.....
Datum

.....
Bc. David Horáček

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto panu Ing. Aleši Polzerovi, Ph.D. za cenné připomínky a rady, které mi poskytl při vypracování diplomové práce. Chtěl bych také poděkovat své rodině a přátelům za podporu během celého svého studia.

OBSAH

ABSTRAKT	3
PROHLÁŠENÍ.....	5
PODĚKOVÁNÍ.....	6
OBSAH	7
ÚVOD.....	9
1 CAD/CAM systémy	10
1.1 Charakteristika a nástup CAM systémů.....	10
1.1.1 Charakteristika CAM systémů.....	10
1.1.2 Stručný nástup CAD/CAM systémů	10
1.2 Rozdělení CAM systémů.....	11
1.3 Výhody a nevýhody CAD/CAM systémů.....	11
1.3.1 Výhody CAD/CAM systémů.....	11
1.3.2 Nevýhody CAD/CAM systémů	11
1.4 Autodesk PowerMILL Ultimate 2020	12
1.4.1 Novinky v PowerMILL 2020	12
1.4.2 Seznam drah v programu PowerMILL 2020	13
2 Aditivní technologie.....	14
2.1 Charakteristika aditivních technologií a jejich použití	14
2.1.1 Charakteristika aditivních technologií	14
2.1.2 Použití aditivních technologií.....	14
2.2 Rozdělení a technologie.....	16
2.2.1 Technologie aditivní výroby	20
2.3 Materiály používané u aditivních technologií	21
2.4 Výhody a nevýhody aditivních technologií	24
2.5 Aditivní výroba svařováním.....	25
2.6 Následné zpracování a struktura povrchu.....	26
3 Hybridní výroba na CNC obráběcích centrech.....	29
3.1 Popis a teorie hybridní technologie	29
3.1.1 Používané materiály	30
3.2 Použití, výhody a nevýhody	30
3.2.1 Výhody a nevýhody.....	30
3.2.2 Použití hybridní výroby	31
3.3 Stroje, příklady firem a nástup hybridní výroby	31

4	Návrh součásti a stručný rozbor možností programování v CAM softwaru PowerMILL 2020	39
4.1	Návrh součásti	39
4.1.1	Materiály a specifikace součásti	41
4.2	Pracovní postup výroby	43
4.3	Stručný rozbor možností programování v CAM softwaru PowerMILL 2020 a použité nástroje	44
4.3.1	Použité řezné nástroje a řezné podmínky	44
4.3.2	Stručný rozbor možností programování v CAM softwaru PowerMILL 2020	51
	ZÁVĚR	58
	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	59
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	67
	SEZNAM PŘÍLOH	68

ÚVOD

Tato diplomová práce řeší soustružení na frézovacích strojích za použití PowerMILL 2020. V dnešních strojírenských podnicích se velmi úspěšně prosazuje příprava programů pro CNC stroje prostřednictvím CAM softwarů. Dále následuje popis aditivní i hybridní výroby. V praktické části je převážně řešeno nastínění možností programování výroby v CAM softwaru PowerMILL 2020 za použití návrhu vlastní součástky v CAD programu Inventor 2020.

V teoretické části je prvně probírán popis CAD/CAM programů, jejich nástup, výhody i nevýhody použití, rozdělení a představení pracovního prostředí v programu PowerMILL 2020 a ukázka novinek v nejnovější verzi. Další oblast je zaměřena na aditivní výrobu, její stručný popis a široká škála oblastí použití, hlavně tedy automobilový průmysl, také letecký a kosmický. Použití je nalezeno také v medicínském odvětví a energetickém, 3D tisku také využívá gastronomie a šperkařství. Je také uvedeno rozdělení aditivní výroby a používané technologie 3D tisku. Představeny jsou nejčastěji používané materiály, aditivní výroba navařováním, následné zpracování a struktura povrchu po tisku a v poslední řadě výhody a nevýhody. V poslední části teoretické části je představena hybridní výroba a firmy, které se jeví jako nejaktivnější v této oblasti. Společnosti jako DMG Mori, Mazak, Hermle, Siemens, Matsuura a nesmí také chybět český zástupce Kovosvit. Nechybí také ukázka strojů a technické specifikace včetně jejich řídicích systémů.

Praktická část diplomové práce je zaměřena především na nastínění a stručný rozbor možností programování v CAM softwaru PowerMILL 2020 a následné ověření obrábění grafickou simulací součásti vlastního návrhu a vytvoření základní technické dokumentace. Návrh a design je řešen v prostředí CAD programu Inventor 2020 od společnosti Autodesk.

1 CAD/CAM SYSTÉMY

Výrobní a návrhářský průmysl se neustále vyvíjí, přizpůsobuje se novým změnám a potřebám v průmyslových odvětvích. Celá řada společností na trhu a tvůrců by však nemohli být tak úspěšní, kdyby zde nebyla počítačem podporovaná výroba (CAM) [1].

1.1 Charakteristika a nástup CAM systémů

1.1.1 Charakteristika CAM systémů

Počítačem podporovaná výroba (CAM) je jakýsi nástroj nebo software, který využívá numerické řízení (NC) k vytvoření podrobných pokynů a instrukcí tzv. G-kódu, jenž jsou potřebné k funkčnosti počítačově řízených obráběcích CNC strojů. Software v podstatě bere informace a příkazy z návrhu generovaného počítačem k vytvoření pokynů, které řídí pohyby automatizovaného nástroje [1, 2].

Software CAM zefektivňuje obráběcí proces a automatizuje činnosti, jako je například vrtání, frézování, soustružení a aditivní technologie, což z něj činí výhodného pomocníka pro vysoce kvalitní výrobu [2].

Příklady CAM programů:

- PowerMill od společnosti Autodesk,
- SolidCAM od firmy SolidCAM GmbH,
- EUREKA od společnosti Roboris Srl,
- Catia (CAD/CAM/CAE) od Dassault Systèmes,
- EdgeCam a Alphacam od britské společnosti Vero Software.

1.1.2 Stručný nástup CAD/CAM systémů

Počátky sahají až 60 let zpět, kdy vytvořil Dr. Patrick Hanratty první program, který se později stal, v dnešní době již velmi dobře známým, počítačem podporovaným designem neboli CAD. Pro svoji přesnost, všestrannost a možnost úpravy návrhů zažehl CAD revoluci v oblasti inženýrství, architektury a výroby [3, 4].

Prvně používaly CAD programy pouze jednoduché algoritmy k zobrazení čar ve 2D a poté ve 3D [4].

První skutečný program 3D CAD/CAM vytvořil v 70. letech Pierre Bézier, inženýr společnosti Renault. Jeho systém UNISURF CAD transformoval design a výrobu a posunul proces návrhu vozidla z manuálního rýsování do počítačově podporovaného designu. UNISURF je považován za originální model mnoha generací CAD programů [5].

Když se počítače staly více dostupnějšími a jejich celkové rozměry se zmenšovali, využití těchto CAD/CAM systémů ještě stoupl a rozšířilo svou oblast použití mimo automobilový a letecký průmysl, do takřka všech oblastí. Nyní je pro svou přesnost, vizualizaci a optimalizaci výroby a snížení odpadu materiálu využíván i pro navrhování a simulaci obrábění průmyslových, obráběcích a tvářecích nástrojů [5].

1.2 Rozdělení CAM systémů

V nynější době se na trhu nachází spousta CAM systémů se zajímavými funkcemi, jako například Autodesk PowerMill, Dassault Systemes CATIA, nebo SolidCAM. Proto je dělíme dle cenové dostupnosti a druhu použití [6].

- CAM systémy nižší třídy – základní operace ve 2D a 2,5D, pro jednodušší typy součásti, finančně méně náročný,
- CAM systémy střední třídy – pokročilejší operace ve 2D, 2,5D; základní operace ve 3D,
- CAM systémy vyšší třídy – možnost pokročilých 2D, 2,5D, 3D operací, schopnost plynulého obrábění v 5ti osách,
- speciální CAM systémy – open source projekty a nadstavby pro ulehčení programování.

1.3 Výhody a nevýhody CAD/CAM systémů

CAD/CAM systémy jsou sice budoucností, ale stále se nacházíme v období přechodu, kde tyto systémy hrají důležitou roli pro mnoho inženýrů v různých průmyslových oblastech. Avšak stále můžeme vidět, že ne všude jim je dáována přednost [7].

1.3.1 Výhody CAD/CAM systémů

- postprocesor – překladač virtuálního obrábění v NC program,
- účinnost a přesnost – výhodné pro přípravy návrhů pro automatickou výrobu, k dispozici je celá řada nástrojů na měření a kontrolu rozměrů,
- snížené procento chyb – díky značnému množství nástrojů v programu,
- softwarová a designová flexibilita – šetří čas, při používání CAD/CAM softwarů můžeme snadno měnit návrhy a optimalizovat dráhy a časy obrábění, také je můžeme snadno testovat na okolní vlivy prostředí,
- opětovné použití kódu – možnosti kopírování části kódu, nebo programu a jeho následné použití při podobných operacích,
- snadný přenos dat – např. propojení dat s CAD systémy, zálohování,
- možnost vizualizace procesu obrábění,
- možnost zjištění zbytkového materiálu a jeho kontroly [2, 8, 9].

1.3.2 Nevýhody CAD/CAM systémů

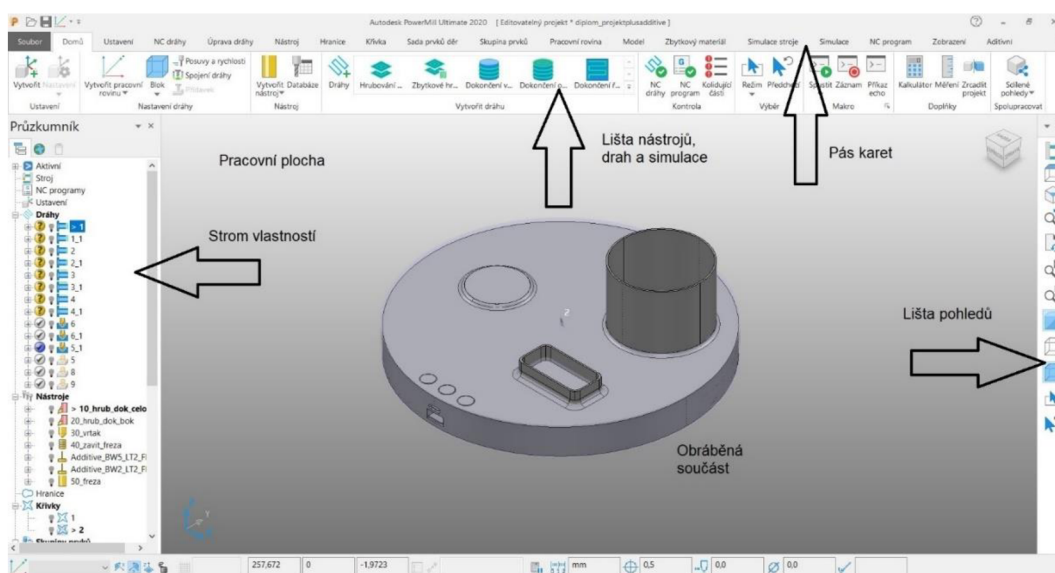
- riziko ztráty dat kvůli náhlému spadnutí systému,
- vysoké náklady na pořízení a licence,
- potřeba výkonný hardware – CAM softwary potřebují k provozu a simulacích větší operační paměti [8, 9].

1.4 Autodesk PowerMILL Ultimate 2020

PowerMILL od firmy Autodesk patří přední světové specializované CAM softwaru pro výrobu převážně složitých tvarů, kde jsou využívány CNC stroje. Výhodný v mnoha odvětvích průmyslu, v nástrojářském, automobilovém a leteckém průmyslu. V neposlední řadě při obrábění odlévacích a vstřikovacích forem [10,11].

Mezi jeho klíčové vlastnosti patří [10]:

- široká škála frézovacích strategií, kde spadají hrubování, dokončování, 3 osé a 5ti osé obrábění,
- rychlý výpočet drah nástrojů,
- výkonné editační nástroje pro zajištění optimálního výkonu.



Obr. 1.1 Pracovní prostředí v PowerMILL 2020.

1.4.1 Novinky v PowerMILL 2020

Zvýšení rychlostí, lépe využívá více vláknové (jádrové) procesory na hardwaru, což má významný dopad na výpočty drah nástroje, zobrazování simulací a doby ověřování. Téměř až o 67 % rychlejší než předchůdce [12,13,14].

Zlepšení drah nástroje [12,13,14]:

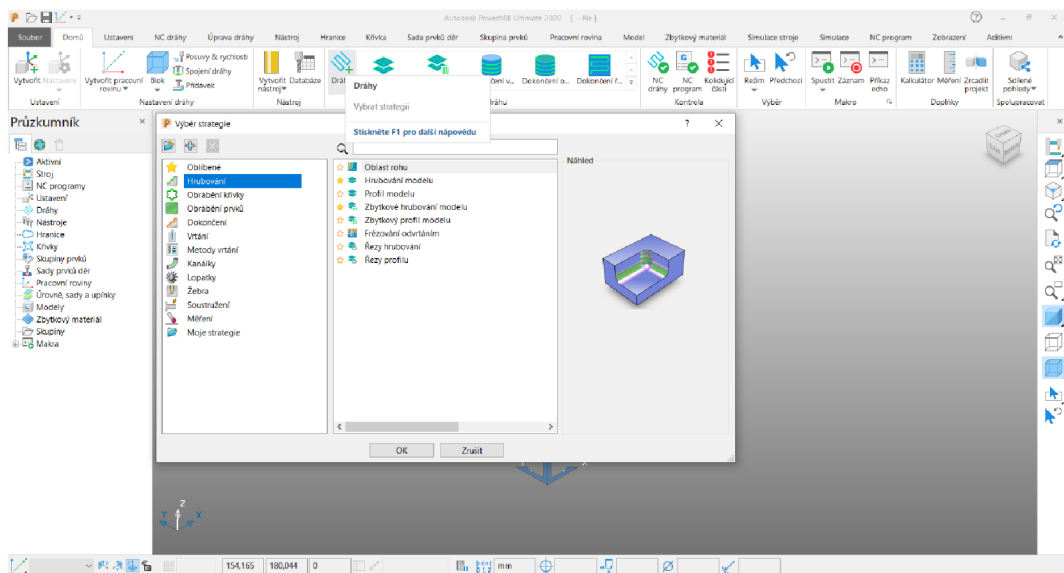
- obrábění rohů vzhůru – dokončovací dráhy nástrojů jsou vedené pouze směrem nahoru do kopce, tato strategie zlepšuje řezné podmínky a zmenšuje pravděpodobnost vibrací, dále se prodlužuje životnost nástroje a zlepšuje povrch po obrobení, používá se pro rohy ve strmých oblastech,
- zaoblení drah nástroje – jedná se o automaticky přidávané oblouky do vnitřních rohů obráběných modelů během výpočtu drah nástroje, pomáhá

zabránit přetížení při frézování, snižuje se doba cyklu, vzniká lépe obrobená plocha a CNC strojům se daří dosáhnout naprogramovaných posuvů,

- aditivní technologie – navařování neboli 3D tisk kovu,
- nahrazování nástroje – zajištění aktualizace drah nástroje jen v tom případě, pokud je geometrie břitu nástroje stejná jako předchozí nástroj.

1.4.2 Seznam drah v programu PowerMILL 2020

Mimo frézovací strategie pro hrubování a dokončování PowerMILL 2020 nabízí také možnosti pro obrábění křivky a prvků, různé způsoby a metody vrtání, pak také strategie pro obrábění kanálek, lopatek a žeber. Nyní i nově soustružení pomocí frézovacích nástrojů a také samozřejmě měření.



Obr.1.2 Ukázka seznamu drah v PowerMILL 2020.

2 ADITIVNÍ TECHNOLOGIE

Přírůstková výrobní technologie, jedná se o vytváření 3D objektů z modelů, zhotovených v CAD systémech.

2.1 Charakteristika aditivních technologií a jejich použití

2.1.1 Charakteristika aditivních technologií

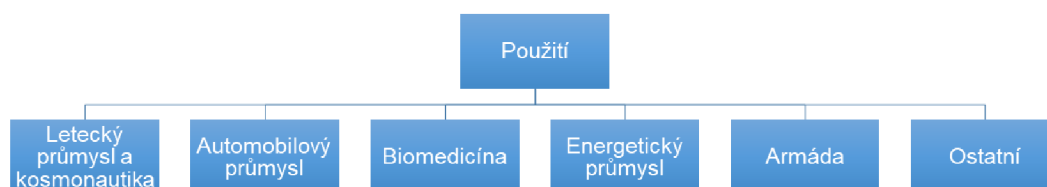
Aditivní technologie se poprvé objevila v roce 1987 a jako první vynález a pokrok v této oblasti připisujeme stereolitografii. Jedná se o důležitou, rychle se vyvíjející výrobní technologii, kde podklad pro výrobu je brán z počítačového modelu z CAD softwaru a následně je součást vyráběna procesem spojování materiálu za účelem vytvoření 3D výrobku, obvykle vrstva po vrstvě. Tato výrobní metoda nabízí spoustu výhod, mezi ně můžeme řadit výrobu složitých geometrií, snížení výrobních nákladů a spotřebu energie [5].

Současné aditivní technologie jsou založeny na principu disperze a akumulace. Jedná se o procesy, které zahrnují ztuhnutí materiálu, jehož původní stav je buď pevný, kapalný nebo práškový, prostřednictvím výroby následných vrstev v předem stanoveném prostoru pomocí elektronických procesů [16].

Aditivní technologie mohou být klasifikovány dle typu použité energie, použitého materiálu atd. Podrobně bude uvedeno v následující podkapitole [15].

2.1.2 Použití aditivních technologií

Zlepšení aditivních technologií velmi pokročilo, což přináší stále rozsáhlejší průmyslové použití. Ve srovnání s obráběcími a tvářecími technologiemi jsou obzvláště výhodné pro malosériovou výrobu, také pak pro součásti se složitou geometrií. Aditivní výroba nabízí vysoký potenciál pro úpravu výrobků dle přání a požadavků zákazníků. Můžou to být vložky pro náhrady kyčle a kolena. Následně můžeme použití hledat v leteckém, automobilovém, biomedicínském a energetickém průmyslu [17].



Obr. 2.1 Použití aditivní výroby.

Letectví a kosmonautika

Většina komponent pro letecký průmysl a kosmonautiku jsou často geometricky složité a jsou vyráběny z materiálů, jako jsou slitiny titanu, niklové super slitiny nebo vysokoteplotní keramika. Tyto materiály jsou nákladné a časově náročné pro obrobění [18].

Aditivní technologie jsou využívány pro lopatky turbíny, které jsou typické tenkostěnné části se složitými kanály uvnitř. Dále pro komplexní komponenty pro satelity, vrtulníky a motory u tryskových letadel. Kromě výroby funkčních dílů jsou významně používány pro opravy dílů motorů letadel za účelem snížení nákladů a prodloužení životnosti komponent, mezi které můžeme zařadit kompresory, turbíny, stator, rotory, těsnění nebo lopatky [19].

Automobilový průmysl

Vývoj nových produktů je pro automobilový průmysl klíčový. Díky zkrácení vývojových cyklů a snížení výrobních nákladů jsou aditivní technologie důležitým nástrojem pro návrh a vývoj komponent pro automobily. Jsou používány také pro malosériovou výrobu funkčních dílů, kde patří výfuky, hnací hřídele, převodovky a brzdové systémy. Zvláště pak nalézáme uplatnění těchto technologií u sportovních automobilů, u nichž jsou pro výrobu často používány lehké slitiny [18].

Další využití můžeme nalézt u sportovních motocyklů, zde přesněji pro výrobu krytek vačkových hřídelí, ventily a tlumiče. Také převodovka vyrobená aditivní technologií pro formule F1 šetří asi 20-25% hmotnosti a 20 % objemu a oproti obráběcí výrobě bylo zjištěno nižší opotřebení a absorpce energie [19].

Biomedicína

Aditivní výroba se v medicinském průmyslu rozšířila na takové komponenty, v podstatě ortopedické implantáty, zubní implantáty a zdravotnická zařízení. V nynější době jsou rychle vyvíjeny nové materiály, což může umožnit v blízké budoucnosti aplikace k opravě tkání. Také bioprinting se významně předvedl na výrobu 3D tkáňových modelů představujících fyziologické systémy. V druhém případě je úspěšný při tisku malých funkčních orgánů zvaných organoidy. Avšak největším potenciálem se jeví jeho tisk na funkční orgán, jenž může být transplantován do pacienta [20].

Energetický průmysl

Při výrobě dílů pro letecké deriváty, plynové a parní turbíny nebo kompresory, lze navrhovat rychleji a s optimalizovanou účinností. Použití lze nalézt také u přenosného napájení [21].

Také byl vyvinut proces založený na SLS pro výrobu bipolární desky z grafitového kompozitu, která je jednou z nejdůležitějších komponent v polymerní elektrolytické membráně [19].

Vojenský průmysl

Aditivní výroba může být použita k výrobě lehkých, úsporných komponentů k výměně poškozených nebo chybějících částí do obrněných vozidel, případně zbraní. Také tisk zábran pomocí betonového materiálu.

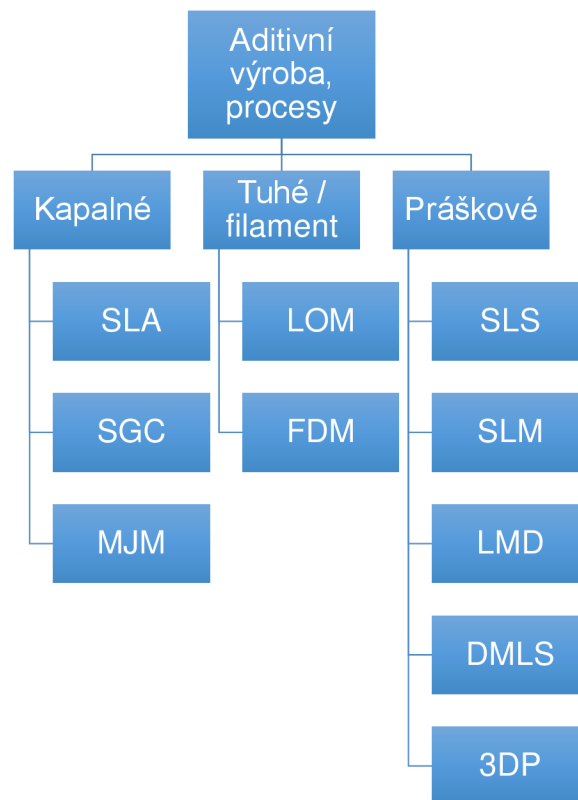
Ostatní

Použití není nacházeno jen v průmyslových oblastech, další můžeme hledat ve výrobě nábytku. Dále je aditivní výroba používána mimo jiné i v gastronomii a šperkařství.

2.2 Rozdělení a technologie

Na trh byly zavedeny různé technologie a procesy aditivní výroby. Jako základní rozdělení je bráno dle stavu vstupního materiálu:

- kapalné,
- vlákno nebo pasta,
- prášek,
- pevný list nebo folie.



Obr. 2.1 Rozdělení dle procesu aditivní výroby [22].

Kapalný vstupní materiál

Procesy založené na kapalném vstupním materiálu nebo materiálu ponořených v nádobě s kapalnou pryskyřicí. Poprvé se objevily s nástupem stereolitografie SLA. Stavění komponent těmito procesy probíhá pod hladinou, kde jsou jednotlivé vrstvy vytvrzovány. Po dokončení jedné vrstvy vyjede vyrovnávací nůž na povrch a před vytvářením další vrstvy je povrch vyhlazen a plošina je snížena o vzdálenost

rovnající se tloušťce vrstvy. Po ukončení tisku jsou výrobky vyjmuty z opor a následně je jejich povrch opracován v UV komoře [15].

Stereolitografie – SLA

Tekutá pryskyřice, která je obsažena v zásobníku, je vytvrzována pomocí vysoce výkonného laseru, poté je vytvořen požadovaný 3D tvar. Stručně řečeno tato technika převádí fotosenzitivní kapalinu na 3D tuhé plasty vrstvy po vrstvě pomocí nízkoenergetického laseru a fotopolymerizace. Jedna ze tří primárních technologií používaných ve 3D tisku [23].



Obr. 2.2 Příklad vytištění metodou stereolitografie [23].

Solid ground cutting – SGC

Objekty jsou sestrojeny pomocí tekutého fotopolymeru, plastu, který reaguje na světlo. Nastavitelná nanášecí deska je zpočátku nastavena ve své nejvyšší poloze a je pouze zakryta tenkou vrstvou fotopolymeru [24].

První vrstva tisknutého modelu je nakreslena na nosné desce, povrch, který má být vytvrzen je průhledný a zbytek desky je pokryt barvou. Oblasti, kde UV světelný paprsek z lampy prochází nosnou deskou a zasahuje kapalinu, ztuhnou, avšak neosvětlený povrch zůstává v původním stavu čili kapalný. Poté se deska odstraní, dochází k obarvení podle tvaru další vrstvy a neztuhlý fotopolymer se vakuově odsaje a na téže místo je nanesen materiál, který slouží jak podpora pro další vrstvy [24].

Multi-jet modeling – MJM

Materiál je tiskovou hlavou selektivně nanášen na desku. Nanášený materiál je převážně tvořen fotopolymery a směskou dalších materiálů, jako je vosk. Ten je používán k podpoře struktur během tisku. Poté je fotopolymerový materiál na desce vytvrzován a tvarován působením UV světla. Při posledním průchodu UV paprsku planerizér vyrovná vrstvy tak, aby byl plochý povrch. Po dotisknutí je nutné odstranění podporového materiálu [25].

Velkou výhodou je odstranění podpůrného materiálu bez použití rukou, to znamená pomocí stroje. Také umožňuje důkladné vyčištění nejjemnějších a složitých vnitřních dutin bez poškození [26].

Vstupní materiál z vlákna tzv. filamentu nebo pevného listu a fólie

Laminated object manufacturing – LOM

Během procesu je používán souvislý list vstupního materiálu, plast, papír nebo v tomto procesu méně běžný kov. Tento materiál je tažen přes platformu pomocí podávacích válců. Často jsou plastové a papírové materiály potaženy lepidlem. Pro vytvoření 3D objektu je nahřátý válec veden přes vrstvu materiálu, dochází k roztavení jeho lepidla a působením tlakem na plošinu vzniká vrstva. Pak je použit řízený laser nebo čepel a materiál je rozřezán na požadovaný vzor. Také je nařezán přebytečný materiál, což vede k jednoduššímu vyjmutí, až je objekt hotov [27, 28].

Stavební platforma se vždy po vytvoření jedné vrstvy snižuje asi o šestnáctinu palce, tedy o typickou tloušťku vrstvy. Předměty vytištěné na papíře, jsou podobné dřevu, včetně jeho vlastností [27].

Fused deposition modeling – FDM

FDM je proces, kdy během tisku mají materiály podobu plastových nití nebo filamentů, které jsou odvíjeny z cívky, pak jsou tryskou taveny a vytlačovány na základnu. Tryska i základna jsou počítačově řízeny, ten převádí rozměry objektu do kartézského souřadnicového systému X, Y a Z, to kvůli tomu, aby se základna a tryska správně pohybovali v prostoru. Obvykle se tato tryska pohybuje vodorovně a svisle a tiskne objekt. Natisknutá tenká vrstva plastu chladne a tvrdne, poté se hned navazuje na spodní vrstvu [29,30].

Práškový vstupní materiál

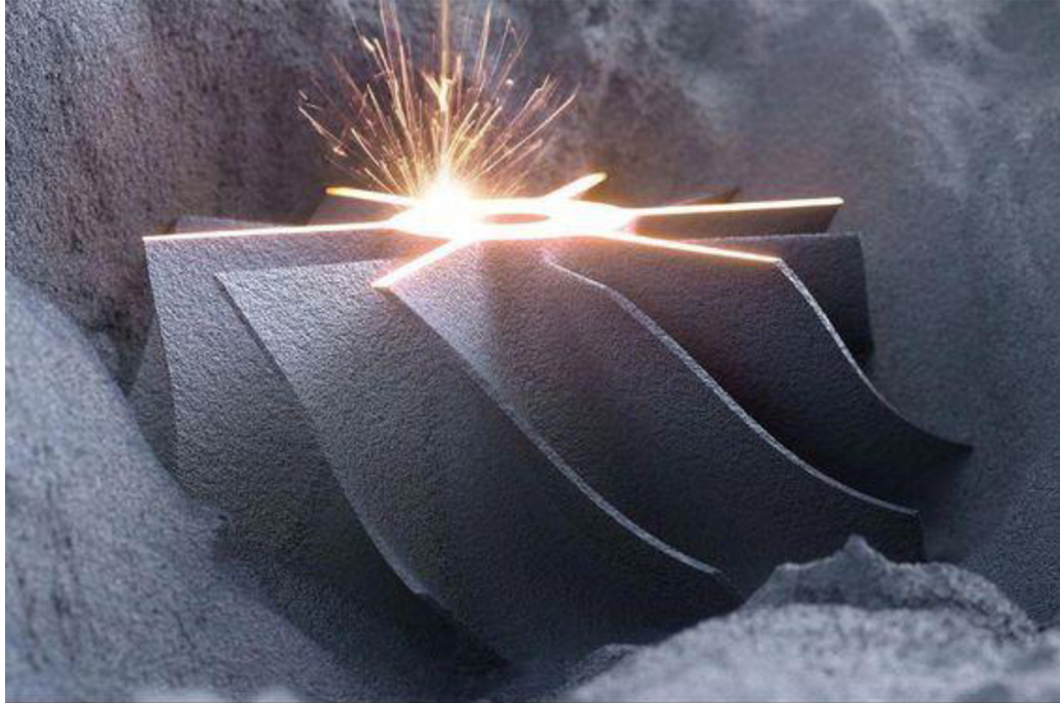
Selective laser sintering – SLS

Práškový vstupní materiál je zahříván těsně pod bodem tání a poté je pomocí válečku rozprostírán do rovnoměrně vrstvy na stavební desce. Pulzující laser vypálí v prášku průřez modelu a tím způsobí, že částice v prášku vzájemně na sobě ulpívají, tzv. slinují se. Stavební deska se poté sníží o tloušťku tisknuté vrstvy, obvykle menší než 0,1 mm. Tentýž proces se neustále opakuje, dokud není model kompletně dokončen. Neslinovaný práškový materiál může být opakovaně použit a od mnoha jiných způsobů aditivní výroby nejsou vyžadovány nutně dokončovací operace [24].

Selective laser melting – SLM

Jedná se o metodu, při níž jsou díly vyráběny po vrstvách pomocí působení vysokoenergetického paprsku na práškový vstupní materiál, který je plně roztaven. Tenká vrstva je nanášena na substrátovou platformu o tloušťce v rozmezí od 50 do 75 μm . Prvně laser naskenuje povrch prášku a poté generované teplo roztaví částice prášku a vytvoří roztavenou vrstvu. Po ztuhnutí je platforma posunuta o

tloušťku vrstvy v ose z dolů, aby mohla být nanесena nová. Celý proces musí probíhat v ochranné atmosféře inertního plynu [31].



Obr. 2.3 Ukázka tisknuté kovové součásti [32].

Vzhledem k omezením během procesu a hmotnosti materiálu jsou vyžadovány podpůrné struktury, které jsou přidávány k převislým prvkům [33].

Laser metal deposition – LMD

Materiál je roztaven laserovým zdrojem tepla. Část energie je absorbována substrátem, práškem, což způsobuje tavení tenké vrstvy základního materiálu. Tryska, nebo více trysek, fouká kovový prášek do procesní oblasti. Laser s práškem interaguje, částice jsou přehřívány pod jejich teplotu tání, tyto částice jsou poté indukovány do taveniny a tvoří vrstvu. Lze vyrobit jednotlivé vrstvy s tloušťkou cca. 0,3 mm a 2 mm a šířkou 0,4 mm. Obvykle se laser a trysky s práškem pohybují pouze v ose Z, zatímco deska, na kterou se tiskne, se pohybuje v rovině X-Y [34, 35].

Tento způsob aditivní výroby lze využít také pro přidání materiálu na povrch součásti za účelem změny tvaru, nebo. Může také nahradit svařování elektrickým obloukem. Také často využívaná pro renovaci komponent [34, 35].

Direct metal laser sintering – DMLS

Jedná se o způsob aditivní výroby srovnávané s metodami DLMF a SLM. Práškový kov, bez pojiva a tavidla, je slinován působením vysokovýkonného laseru ve vrstvách o rozměrech 20 μm nebo 40 μm . Poté je nová vrstva prášku zametena přepouštěcí ramenem, což umožňuje spečení nové vrstvy na již vytvořené. Přestože jsou vrstvy slinovány, jsou nutné podpory [36].

Three-Dimensional Printing – 3DP

Tato metoda je schopna tisknout různé materiály, včetně keramiky. Některé materiály, jako např. písek, nevyžadují další zpracování. Jiné jsou převážně vytvrzovány a slinovány [37].

Proces výroby probíhá tak, že kapalné pojivo, přidávané tiskovou hlavou, se spojí s částicemi prášku. Vrstvy materiálu ztuhnou a vytvoří 3D objekt. Poté je rozprostřena další vrstva prášku a znovu se přidá pojivo. Proces se stále opakuje, objekt vzniká vrstvením [37].

2.2.1 Technologie aditivní výroby

Existuje několik jednotlivých procesů, které se liší ve způsobu výroby vrstev. Liší se například ve výběru použitého vstupního materiálu. Aditivní technologie se dle standardů dělí [38, 39, 40]:

- material extrusion – materiál je táhne z cívky přes trysku, kde se zahřívá a poté se nanáší vrstvu po vrstvě, tryska se může pohybovat horizontálně a deska se pohybuje svisle,
- vat polymerization – objekt je vytvářen v kádi z fotopolymeru s kapalnou pryskyřicí, jedná se o fotopolymerizaci, kdy je každá vrstva vytvrzována pomocí ultrafialového UV světla,
- material jetting – materiál je velkou rychlostí nanášen na stavební desku nebo platformu, kde následně ztuhne a model je tisknut vrstva po vrstvě. Materiál je nanesen z trysky, která se pohybuje vodorovně nad plošinou. Materiál může být vytvrzován ultrafialovým UV světlem, jako nejvhodnější materiály se jeví polymery a vosky, kvůli jejich viskózní povaze a schopnosti vytvářet kapky,
- sheet lamination – LOM používá střídající se vrstvy papíru a lepidla, zatímco UAM používá tenké plechy spojené ultrazvukovým svařováním. UAM je proces používaný pro různé kovy, včetně titanu a hliníku,
- powder bed fusion – k roztavení a následné spojení práškového materiálu je používán laser, nebo elektronový paprsek, metody tavení elektronovým paprskem EBM vyžadují během procesu vakuum. Všechny procesy obsahují rozprostření materiálu přes předchozí vrstvy různými mechanismy, včetně válců nebo nožů,
- binder jetting – používány dva materiály, na bázi prášku a pojivo. Pojivo působí jako lepidlo mezi práškovými vrstvami, je obvykle v kapalně formě. Tisková hlava se pohybuje vodorovně podél os X a Y stroje a nanáší střídavě vrstvy stavebního materiálu z prášku a pojiva. Po každém nanesení je deska snížena o tloušťku vrstvy,
- directed energy deposition – tato technologie používá lasery, elektronové paprsky nebo termální tiskové hlavy k částečnému nebo úplnému roztavení jemných vrstev materiálu. Po ztuhnutí materiálu v 3D objekt je přebytečný prášek z objektu odstraněn. Lze využít polymery, keramiku ale obvykle jsou používány kovové prášky nebo dráty.

2.3 Materiály používané u aditivních technologií

Je možné využít široké spektrum materiálu od slitin kovů, přes různé plasty až po tisknutí potravin.

Termoplasty

Termoplasty nebo polymery patří mezi jedny z nejlevnějších a nejoblíbenějších materiálu, které jsou používány při aditivní výrobě. Taktéž jsou obsahem komerčních 3D tiskáren v domácnostech. Mezi tyto nejpoužívanější termoplasty patří [41, 42]:

- akrylonitrilbutadienstyren (ABS),
- kyselina polymléčná (PLA) – jedná se o biologicky rozložitelná vlákna z rostlinných materiálů viz. obr. 2.4,
- polyvinylalkohol (PVA),
- nylon, polykarbonát,
- polyamid (PA).



Obr. 2.4 Ukázka termoplastového filamentu [43].

Kovy

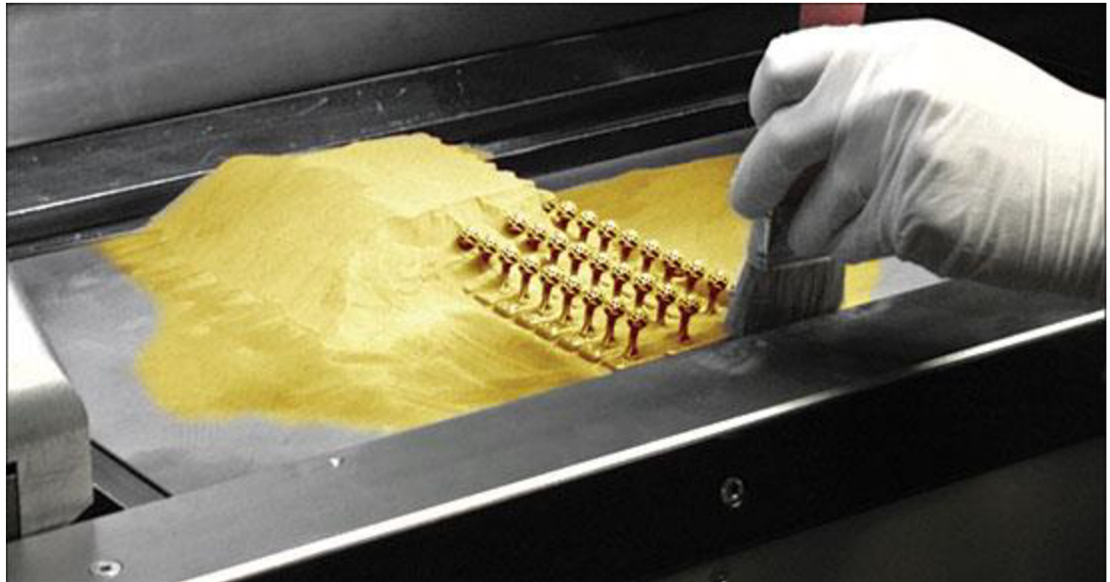
Kovy jsou v aditivní výrobě používány ve formě prášku nebo drátu. Existuje celá řada těchto kovových materiálů, aby vyhovovaly přesným procesům a požadavkům [44].

Kovové komponenty mohou být vyráběny pomocí procesu aditivní výroby buď „nepřímým“ způsobem, kdy se k formování 3D objektu používá pojivo a následné zpracování je až po procesu, nebo „přímým“ způsobem. Kovové částice se úplně roztaví, poté jsou nanášeny jednotlivé vrstvy, kov tuhne a tvoří výsledný objekt [19].

Obecně platí, že kovové slitiny nejsou příliš vhodné pro úplné roztavení, díky rozdílnosti teplot tání. Kovy, které mají vysoké teploty tání se spíše lépe slinují [44].

Mezi tisknutelné kovy patří [44]:

- ocel,
- nerezová ocel,
- hliník – díly mají obvykle strukturovaný, matný povrch odlišný od frézovaných a soustružených dílů,
- zlato – většinou 18ti karátové, s přísady stříbra a mědi viz. obr. 2.5 [45],
- stříbro – obvykle s přísadou mědi [45],
- platina – s přísadou ruthenia [45],
- kovové slitiny – slitiny titanu a hliníku, slitiny kobaltu a chromu, slitiny niklu.



Obr. 2.5 Ukázka tisku šperků ze zlatého prášku [46].

Keramika

Keramika je anorganická nekovová pevná látka. Příklady zahrnují oxid hlinitý, oxid křemičitý, nebo oxid zirkoničitý. Keramické materiály mají obvykle velkou chemickou odolnost a také snesou vysoké teploty. Nicméně jsou křehké a tvrdé, což ztěžuje jejich výrobu. Při aditivní výrobě keramických komponent se využívá přímá i nepřímá metoda [19, 41, 42, 44]:

- nepřímá metoda – jsou zde řazeny keramiky, jako Si_3N_4 , Al_2O_3 , SiO_2 a ZrB_2 , nebo titaničitan zirkoničitý olovnatý PZT. Můžeme také počítat s biokompatibilní keramikou, kde spadá hydroxylapatit, což je přirozená forma vápníku a fosforu. Slouží k výrobě porézních a hustých komponent. Mezi nejpoužívanější procesy patří FDM, SLS, 3DP a SLA,
- přímá metoda – dost náročná pro výrobu díky vysoké teplotě tání keramiky, jež se pohybuje okolo 2000 °C.

Biochemické materiály

Biochemické aplikace vyžadují ve zdravotnictví použití ztužených materiálu z křemíku, fosforečnanu vápenatého a zinku k podpoře struktur a stavby kostí. Také je zkoumáno použití bio-inkoustů vyrobených z kmenových buněk k tvorbě krevních cév i dalších orgánů [41, 42].

Jiné materiály

Spadají sem tradiční materiály používané v gastronomii, nebo mimo jiné čokoláda. V dnešní době je vyžadována tvorba zajímavých komplexních tvarů a designu v oblasti gastronomie. Také je používáno sklo v práškové formě [41, 42].

Kompozity

Kompozitní materiály se obvykle skládají z matrice spojité fáze, poté vyztužení, jako matrice rozptýlené fáze a v poslední části se jedná o pojivo. Jejich vlastnosti se přizpůsobují podle potřeb konkrétní aplikace [47].

Kompozit s polymerní matricí je složen z termosetových nebo termoplastických pryskyřic, zpevněných vláken, která jsou mnohem pevnější a tužší než původní matrice. Tyto materiály jsou atraktivní, protože jejich velkými výhodami jsou lehkost, pevnost a tuhost oproti nevyztuženým polymerům nebo běžným kovům. Spadají sem například uhlíková vlákna a organická vlákna jako aramidy, kapalné krystalické polymery a polyetylen s vysokou molekulovou hmotností [48].

Kompozity s kovovou matricí mají nízkou hustotu, vysoký poměr pevnosti k hmotnosti, pevnosti při vysoké teplotě a odolnost proti tečení, únavě i opotřebení. Typické kompozity obsahují buď karbid křemíku SiC, oxid hlinitý AL₂O₃, nebo jiné keramické částice a krátká vlákna v lehké slitině, jako hliník, hořčík a titan [49].

Tab. 2.1 Ukázka materiálů pro vybrané technologie aditivní výroby [17,19].

Proces aditivní výroby	Použitý materiál
SLA	Fotopolymer, UV vytvrditelná pryskyřice, keramická suspenze
MJM	Vosk, vytvrditelný akrylát
FDM/FFF	Termoplast
Robot casting/DIW	Keramické materiály, kovové slitiny, cermety, kompozity s kovovou a keramickou matricí
SLS	Termoplasty, kovové a keramické prášky
SLM	Různé druhy kovů, nerezové oceli, titanové slitiny, chrom kobaltové slitiny, hliníky
DMLS	Druhy kovových prášků, jako např. nerezové oceli, titanové slitiny, chrom kobaltové slitiny, hliníky
EBM	Téměř veškeré kovové slitiny, včetně titanových a chrom kobaltových slitin
LMD	Kompozity s kovovou matricí
3DP	Polymery, slitiny kovů, keramické materiály
LOM	Papíry, kovové fólie

DEP	Nástřik kovových slitin
EBF	Kovové slitiny

2.4 Výhody a nevýhody aditivních technologií

Výhody

Aditivní výroba nabízí mnoho výhod, avšak úspora času a náklad jsou jedny z nejdůležitějších [17, 50, 51]:

- fyzický model lze rychle dodat ze systému CAD, testovat jej lze dříve než v konstrukčním cyklu,
- využití k obnově dílů tzv. repasování, výroba dílů vyjde levněji a v menších dávkách, čímž jsou snižovány náklady na údržbu,
- kromě přímo vyráběných modelů plastových prototypů lze některé vyrobené díly použít jako vzory pro odlévací formy, v závislosti na použité technologii,
- lze vyrábět nástroje v kratším čase, pomoc při dřívějším uvedení produktů na trh,
- snadné testování složitých geometrií, protože zde existuje větší riziko chyby než u nástrojů a komponent s méně složitou geometrií. Tradičně testování pobíhá po vyrobení nástroje a po obrobení určité součásti,
- zlepšení kvality produktů a snížení rizika selhání, obzvláště díly, které mají složité prvky, zejména malé součásti. Lze tisknout vyrábět s velmi přesnými tolerancemi.
- aditivní výroba je používána v lékařském odvětví, jedná se o tisk orgánů pro lidské tělo. V budoucnu se může jednat o jednu z největších výhod, až přijdou další pokroky ve vývoji.

Nevýhody

Stejně jako u téměř jakýkoliv jiných technologií existují nevýhody i u aditivní výroby, které by měly být zváženy [51, 52]:

- patří k relativně nákladným a lépe vyhovují malosériovým výrobním měřítkům, nejvhodnější se zdá k výrobě náhradních dílů,
- výrobky, které se již vyrábí tradičními metodami obrábění netěží z aditivních technologií, zejména pokud jde o velkosériovou výrobu, kde tradiční výroba vyhrává nižšími náklady,
- 3D tiskárny mají v současnosti malé tiskové komory, které omezují velikost tisknutelných komponentů, cokoli většího lze vytisknout po částech a po výrobě spojit,
- u dílů vyráběných po vrstvách, může nastat delaminace za určitých napětí nebo orientací, tento problém je závažnější u použití procesu FDM, u procesu polyjet a multijet bývají součásti křehčí. Optimálnější je použití procesu se vstříkáváním, vytváří homogenní části,

- populární a levné 3D tiskárny používají plastová vlákna, tiskárny ponechávají stále nepoužitý nebo přebytečný plast v tiskárnách. PLA je biologicky rozložitelný ale například vlákna z ABS jsou stále nejpoužívanějším typem plastu,
- snadné vytváření 3D nožů, zbraní, výbušnin a dalších nebezpečných předmětů pomocí aditivní výroby,
- lidé mají větší možnost vytvářet padělky, které jsou téměř nemožné rozeznat od pravých, to způsobuje problémy, týkající se autorských práv.

2.5 Aditivní výroba svařováním

Výroba kovových komponent kovových komponentů aditivní výrobou vyžaduje lokální aplikaci zdroje tepla, svařování se stává ideálním nástrojem pro výrobu. Surový materiál ve formě kovového prášku nebo drátu je taven nebo slinován vysokými zdroji tepla, jedná se převážně o laser, elektronový paprsek či svařovací oblouk. Elektrický oblouk je jako zdroj tepla nejčastěji průmyslově využíván [53, 54].

Geometrie součásti, která má být vyrobena je hlavní faktor pro proces výroby, jenž může být použit. Pro malé součásti se složitou geometrií je vyžadována nízká míra depozice, a proto se nejvhodněji jeví laserové procesy, mikroplazma nebo elektronový paprsek. U větších kusů je to přesně obráceně. Nejvýhodnější možností je obloukové svařování [54].

K výrobě některých složitých kovových součástí jsou používány procesy, jako je WAM, WAAM, LAM nebo EBAM [53].

Wire arc additive manufacturing WAAM

V závislosti na povaze zdroje tepla jsou běžně k dispozici tři typy procesů WAAM, je sem řazeno svařování elektrickým obloukem na bázi plynu (GMAW), svařování plynem wolframovým obloukem (GTAW) a svařování plazmovým obloukem (PAW). Většina těchto systémů používá průmyslový kloubový mechanismus [55].

K dispozici jsou dvě provedení této technologie. První provedení používá uzavřenou komoru pro účinnější zajištění inertního plynu stínící pracovní prostředí. Při druhém návrhu je využíván stávající nebo pro konkrétní případ navržený plyn, stínící mechanismus. Pokročilý systém robotů mohou být vybaveny senzory pro měření, například zkoumání chování přenosu kovů, nebo měření teploty interpass, čímž je podporováno průběžné monitorování a řízení k dosažení kvalitnějších produktů. U složitějších součástí je náročnější ovládání elektrického oblouku [55, 56].

Mezi nejčastěji používané materiály spadají uhlíkové a nízkolegované oceli, nerezové oceli, slitiny na bázi niklu, slitiny titanu a hliníkové slitiny. Mimo jiné lze použít také materiál, jenž je k dispozici jako svařovací drát [56].

Electron beam additive manufacturing EBAM

Tavení elektronovým paprskem spadá do rodiny práškové aditivní výroby. Na rozdíl od laseru je používán elektronový paprsek. Ten extrahuje elektrony z wolframového vlákna ve vakuu a zrychleným způsobem jsou vysílány na vrstvu kovového prášku

nanesenou na stavební desce. Elektrony poté selektivně taví prášek a tím jsou vyráběny požadované vrstvy objektu. Prášek může být nasypán do nádrže uvnitř stroje, je uložen v tenkých vrstvách a než je použit elektronový paprsek, je tento materiál přehřát. Během procesu vakuum zabraňuje oxidaci prášku při zahřívání. Velká část neroztaveného materiálu, je znova používána [57].

Jelikož je proces založen na principu elektrického náboje, musí být použitý materiál vodivý. Proto výroba polymerních a keramických dílů je téměř nemožná. Hlavní používané materiály jsou slitiny titanu, chrom-kobaltové slitiny a další [57].



Obr. 2.6 Ukázka procesu aditivní výroby elektronovým paprskem [58].

2.6 Následné zpracování a struktura povrchu

Po dokončení procesů aditivní výroby nejsou součásti většinou připraveny pro většinu koncových aplikací. Jsou potřeba další operace zpracování podle jejich určeného použití. Důvodů pro následné zpracování je několik, odstranění přebytečného prášku a podpor, zlepšení vlastností komponent a zvýšení kvality povrchu [15].

Odstranění podpor

Podpurný materiál může být během aditivní výroba považován za nezbytné zlo. Nezbytné pro ukotvení součásti k plošině, snižují riziko uvolnění objektu, vedou teplo, což vede k větší stabilitě procesu a nakonec zabraňují propadání roztaveného kovu. Jedná se o nejběžnější typ následného zpracování po procesu výroby. Podpurný materiál lze rozdělit do dvou kategorií, materiál, který přirozeně obklopuje součást a konstrukce pevné, které jsou k tomu speciálně navrženy [59].

Abrazivní tryskání, pískování a další

Díly vytvořené aditivními technologiemi musí být ještě po výrobě povrchově upraveny. Proces výroby obvykle zanechává stopy po nanášení vrstev. Mohou to být linie, kde se vrstvy spojují, nebo značky po odstranění podpor [60].

Tryskání je dokončovací technika pro 3D aditivně vyrobené objekty. Abrazivní tryskací metoda, podobná tryskání vodou, neboli tlakovému mytí. Při perličkovém tryskání jsou jemně stříkány kuličky z plastu, skla nebo jiné na povrch součásti. Typ kuliček se volí v závislosti na materiálu součásti, aby byl povrch vyhlazen bez poškození. Provádí se pomocí ruční tryskací pistole v uzavřené komoře. Výhodné pro detailní a malé objekty, které by bylo obtížné brousit. Také je to ideální metoda, pro hodnocení povrchu pořízením snímků, protože snižuje odrazy světla od povrchu součásti. Výhodou je také rychlost, obvykle tryskání trvá v rozmezí 5-10 minut [60, 61].

Smirkování nebo pískování je další tradiční způsob dokončování. Je prováděno ručně nebo na stroji. Může snižovat toleranci součásti z důvodu úběru materiálu. Je důležité vybrat vhodný brusný papír, obvykle se začíná hrubším a následně se přesunuje na jemnější [60].

Proces vyhlazování parou je vhodná zejména pro ABS materiály. Objekt je vystaven odpařeným rozpouštědlům po dobu několika sekund, které roztaví vnější vrstvu kolem 2 μ m, aby jim byl poskytnut lesklý a hladký povrch. U vnitřních složitých struktur však nemusí být vyhlazování parami účinné, a tenké ploché objekty jsou náchylné k deformacím [61, 62].

Elektrolytické pokovování je převážně používáno v leteckém průmyslu. Nejčastější používané pokovovací materiály jsou chrom, nikl, měď, stříbro a v neposlední řadě zlato [62].

Spojování

Aditivní výroba nachází omezení v objemu sestavení. Tento problém je obcházen rozdělením objektu na menší části. Tento způsob zrychluje výrobu a snižuje množství použitého podpůrného materiálu. Po povrchové úpravě dochází ke spojení těchto menších kusů dohromady. V praxi existuje několik metod [62]:

- lepení rozpouštědly – může být použito i k opravě objektů injektování rozpouštědla do trhlin,
- svařování horkým vzduchem,
- ultrazvukové bodové svařování,
- super lepení,
- použití epoxidů.

Teplené zpracování

Stejně jako u odlitků nebo u obrobených kovových součástí je vyžadováno tepelné zpracování, aby se snížilo vnitřní pnutí, poté je důležitá povrchová úprava a zajištění i mikrostruktura, což vede k požadovaným fyzikálním vlastnostem. Protože jsou tyto komponenty určeny převážně pro použití v jaderném, turbínovém, lékařském průmyslu nebo pro turbíny, je vyžadováno vysokoteplotní nebo nízkoteplotní izostatické lisování (HIP), aby se kov ztuhlil, čímž jsou odstraněny póry, které mohou zapříčinit těžké poruchy [63].

Proces HIP zahrnuje umístění objektu dovnitř tlakové nádoby a následné čerpání inertního plynu, zejména argonu, aby byl vytvořen tlak kolem celého předmětu, včetně vnitřních povrchů. Jsou aplikovány vysoké teploty v kombinaci s tlakem, aby byla překročena mez kluzu kovového materiálu. To umožní, aby se póry uzavřely vlivem plastické deformace. Nynější grafitové pece mohou dosáhnout až 2000 °C a molybdenové až 1400°C. Studený argonový plyn je pod vysokým tlakem a má vyšší hustotu jako voda, může sloužit jako kalící činidlo, podobné oleji, nebo vodě [63].

Dokončování povrchu

Procesy v aditivní výrobě generují prvky na povrchu součástí, které je nutnosti upravit z hlediska výkonu nebo estetiky. Struktura povrchu závisí zejména na velikosti částic prášku, parametrech taveniny, tloušťce nanesených vrstev a orientaci povrchů vzhledem ke stavební platformě. Horší struktura povrchu může vést k iniciaci trhlin, proto je zapotřebí jeho následné dokončení, opracování nebo tryskání [64].

Mezi běžné povrchové defekty spadá schodišťový efekt, přilnavost prášku, nebo pozůstatky od podpůrného materiálu. Avšak schodišťový efekt je základní otázkou pro depoziční procesy, je obtížné jej překonat, pokud nepoužijeme tisk s tenkou vrstvou, která však zvyšuje pracovní čas. Typ následného zpracování závisí na materiálu a funkci objektu [15, 64].

Pro kovové díly jsou široce používány metody obrábění, brokování a broušení. Také jsou používány chemické procesy ve formě elektrochemického leštění, tento způsob zlepšuje odolnost proti korozi. Také jsou používány automatizované dokončovací techniky ultrazvukové dokončování a abrazivní vibrující miska nebo tubus. Například metoda vibrační misky je schopna vylepšit povrch až o 74 %, proces spočívá v umístění dílu, média a dalších brousicích materiálu do vibrační vany. Následnou vibrací dochází o otáčení a pohybu materiálu ve vaně a tím dochází k obrušování, nebo vyleštění dílu [65].

3 HYBRIDNÍ VÝROBA NA CNC OBRÁBĚCÍCH CENTRECH

Hybridizace je jednou z hlavních strategií ve vývoji flexibilnějších a efektivnějších výrobních procesů a jejich následnou implementací do výrobního prostředí 4.0 průmyslu [66].

3.1 Popis a teorie hybridní technologie

Hybridizace výroby obecně zahrnuje konvenční i nekonvenční obráběcí procesy. Jedná se o kombinaci dvou nebo více obráběcích procesů, které jsou sloučeny do jednoho, zejména tuto funkci splňují hybridní obráběcí CNC centra. V poslední době je nacházen trend kombinující procesy aditivní výroby a subtraktivní procesy, které jsou prováděny na jedné hybridní výrobní platformě sestávající se z multifunkčního CNC obráběcího centra a modulu pro aditivní výrobu spolu s 3D automatickým skenováním a kontrolou rozměrů. Výsledek spočívá v tom, že aditivní výroba a dokončovací obrábění je prováděno na jednom stroji [66, 67].

Hybridní výroba využívá nejcennějších schopností obou technologií, složitá geometrie je vyráběna aditivními procesy, a naopak subtraktivní metody přispívají vysokou přesností výroby. Díl může být i dodatečně vytvořen a obráběn v jediné operaci [68].



Obr. 3.1 Ukázka hybridní výroby [69].

Další kombinace aditivní výroby a subtraktivní zahrnuje proces laserového svařování. Když je součást zhotovena laserovým nanášením vrstev kovu, poté CNC centrum přechází na část frézovací, kdy je dosažena kvalitnější povrchová úprava a vyšší tolerance, oproti aditivnímu způsobu výroby. Právě tato technika se jeví nejslibněji. Strojů je umožněno začlenit obvykle aditivní prvky, jako jsou vnitřní mříže, nebo dutiny s vysokou přesností obrábění. V podstatě se jedná o kombinaci výhod z obou metod do jednoho procesu [70].

Kombinace technik do samostatných strojů umožňuje konstruktérům, technologům a designérům větší svobodu při navrhování komponentů a jejich následné výrobě. Hybridní proces je takový můstek, mezi oběma metodami a stává se ziskovým procesem pro malé a střední výrobní série [66, 70].

3.1.1 Používané materiály

Téměř totožné s materiály používané u čistě aditivních technologií. Závisí také na stroji, může být používán takřka jakýkoliv kov dostupný ve formě drátu nebo prášku. Patří sem kobaltový chrom, hliník, měď, nerezová ocel, nástrojová ocel, titan mnoho dalších včetně jejich slitin. Jednou z výhod hybridních systémů je umožnění nanášení různých kovů na stejnou část, například opláštění [67].

Polymerní systémy často používají pro výrobu roztavené filamenty, kterých lze použít celá řada. Existují hybridní systémy, jež používají vstřikovací pelety a mohou být kompatibilní s kompozitně vyztuženými polymery [67].

3.2 Použití, výhody a nevýhody

Hybridní výroba nabízí řadu výhod oproti samotnému obrábění nebo aditivní výrobě a z nich plynoucí použití v různých odvětvích průmyslu.

3.2.1 Výhody a nevýhody

Výhody

Díky aditivní výrobě je možné sestavit a opravit poškozené díly nebo snížit obráběcí práce, s tím že začíná s menším polotovarem a přidává se materiál, kde je potřeba. Technika aditivní výroby také umožňuje použití více materiálů v jedné části, což umožňuje plátování pro větší pevnost, přidávání mědi pro podporu přenosu tepla, nebo také šetření finančních prostředků při aplikaci drahých kovů [67].

Při výrobě v hybridním centru jsou redukovány chyby plynoucí s přemísťováním a resetováním nastavení na samotném stroji. Je také možné střídání tisku a obrábění, aby byly dokončeny interní prvky, u kterých byly subtraktivní metody krátké [67].

Mezi další hlavní výhody při jejich použití zejména tedy pro výrobu malých objemů patří [66]:

- oprava – umožněno použití buď aditivního nebo subtraktivního procesu pro opravu stávajících komponent,
- povrchová úprava – spojením aditivních procesů s CNC frézováním či soustružením lze vnitřní i vnější povrchy obrábět na povrchovou drsnost, dosažitelnou CNC centry,
- přesnost – umožněno tisknout a obrábět každý tvar ve stejném referenčním souřadnicovém systému, což vede k menším tolerancím.

Nevýhody

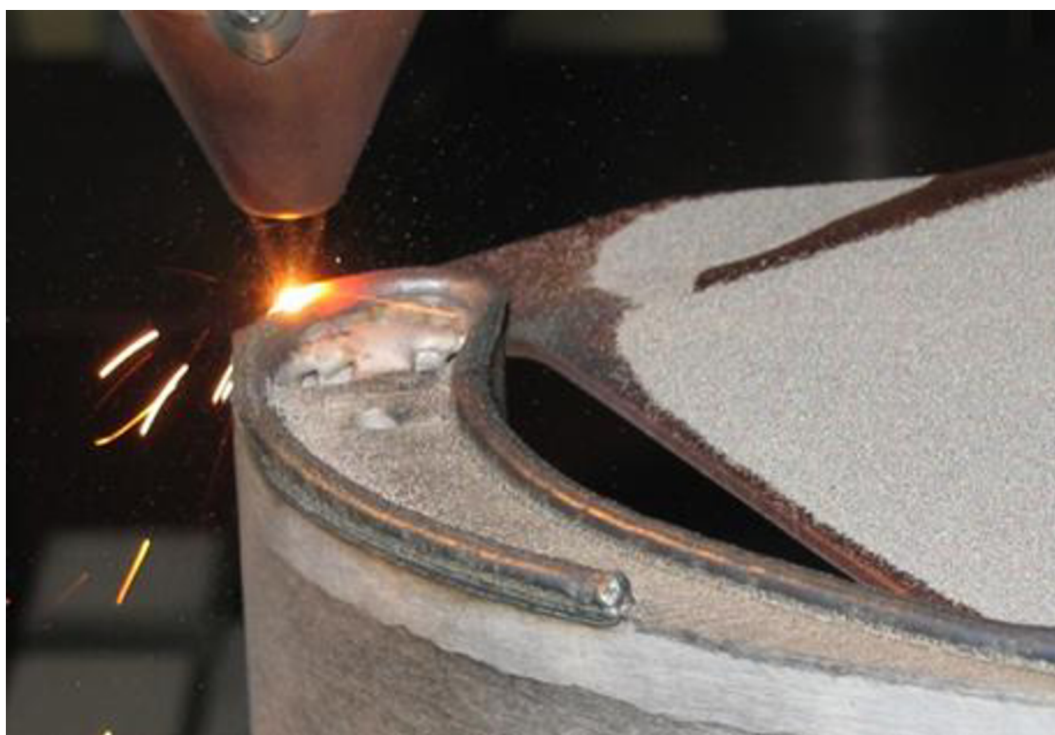
Je známo, že komponenty aditivní výrobou jsou vyráběny alespoň o řád pomaleji než tradiční subtraktivní metodou na CNC centrech. Nastává zde technologické dilema, zda zvolení vyšší produktivity a silnější vrstvy nanášení, tím pádem i horší kvalitu povrchu v důsledku vzniku tzv. „schodového efektu“ nebo naopak kvalitnější

povrch a tenčí nanášení vrstev. Aditivní výroba může být zrychlena se vstupem většího množství energie, což vede právě k vytvoření silnějších nanesených vrstev prášku, avšak opět na úkor kvalitě povrchu. Proto je nutné další zpracování na CNC strojích. Tyto nevýhody aditivní výroby viz. kap. 2 dali vzniknout hybridní výrobě, kde jsou eliminovány tyto nedostatky obou metod [66].

3.2.2 Použití hybridní výroby

Hybridní způsob výroby je používán v leteckém a automobilovém průmyslu, avšak výhodněji se jeví, jako řešení pro zhotovování širokého spektra komponent v lékařském průmyslu. Hybridní systémy doposud nebyly vyvinuty speciálně pro lékařské aplikace. Nicméně tisk lékařských komponentů a jejich následné obrobení je již v průmyslu používáno. Ale s příchodem hybridních center by mohly vyráběny přesné protézy a zubní implantáty, specifikované individuálně podle pacienta [68].

Nejvýhodnější uplatnění je nalézáno v oblasti oprav a údržby. Firmami je používána k opravě lopatek turbíny. Díky hybridní výrobě lze opotřeбенé a poškozené prvky lopatek turbíny opravit nanášením nových kovových vrstev na požadovaný tvar a následným obrobením na přesné tolerance. Tento způsob nejen eliminuje zhotovení součásti z výchozího polotovaru a také snižuje kroky potřebné k opravě [68, 71].



Obr. 3.2 Ukázka opravy lopatky turbíny pomocí nanášení vrstev kovu [72].

3.3 Stroje, příklady firem a nástup hybridní výroby

Jako své první komerční vystoupení, týkající se představení hybridní výroby, bylo firmami učiněno na počátku nového tisíciletí prostřednictvím nanášení kovového prášku laserem v CNC centru. U některých ukázek byl představen robot v oddělené buňce CNC stroje. V té době se ještě tento způsob výroby neseťkal s ohlasy,

laserové přístroje byly investičně nákladné a obvykle byly vyráběny převážně pro aplikace řezání či gravírování [73].

S nástupem 3D tisku kovu a pokrokem v aditivní výrobě kolem roku 2010 došlo k oživení hybridní výroby. Vzhledem ke snížení pořizovacích nákladů zařízení. Nyní se jedná o běžný průmyslově uznávaný termín pro kombinovanou aditivní a subtraktivní výrobu [73].

Zdůrazněno může být pár hlavních firem, které jsou průkopníky a posouvají hybridní výrobu vpřed [67, 73]:

- DMG Mori,
- Mazak,
- Hermle,
- Siemens,
- Matsuura,
- 3D-Hybrid,
- Fabrisonic,
- Hybrid Manufacturing Technologies,
- Optomec,
- Sodick,
- Kovosvit.

DMG Mori

Jedná se o jednu z nejvýznamnějších firem v oblasti hybridní výroby, firmou byl představen systém LASERTEC 65 3D Hybrid, který využívá modul Siemens NX. Používána je laserová hlava ovládaná plně automatickou kyvadlovou dopravou pro nanášení materiálu v 5 osách koaxiální tryskou, tím pádem homogenní distribuce prášku, nezávisle na směru svařování laserovým nanášením. Vše je kombinováno s plným 5 - osým frézovacím centrem a zároveň se provádí monitorování procesu. Software CELOS DMG Mori také umožňuje stálé měření a monitorování celého procesu a automatickou regulaci výkonu laseru v reálném čase pro homogenní vlastnosti součástí [67, 73, 74].



Obr. 3.3 Ukázka stroje od firmy DMG Mori [75].

Tab. 3.1 Základní vlastnosti stroje LASERTEC 65 3D Hybrid [76, 77].

Max. pojezd v ose X	1 335 mm
Max. pojezd v ose Y	1 250 mm
Max. pojezd v ose Z	900 mm
Max. nosnost stolu	2 000 kg
Průměr stolu	1 250 mm
Vláknový diodový laser	2,5kW (3kW)
Šířka návaru	cca 3 nebo 1,6 mm
Tloušťka	cca 0,3 – 1 mm

Mazak

Mazak® INTEGREX i-400 AM je jedním z největších hybridních výrobních systémů na trhu. Stroj byl vyvinut speciálně pro malosériovou výrobu velmi obtížně obrobitelných materiálů a využívá schopnosti aditivní výroby ke snadnému tisku komponent a následném dokončení vysoce přesnými obráběcími operacemi. Prášek je taven pomocí tepla z vláknového laseru. Trysky na výrobu aditiv aplikují vrstvu roztaveného materiálu po vrstvách, je také umožněno spojování různých typů kovů, což vede k efektivním opravám opotřeбенých nebo poškozených komponent například lopatek turbín, nebo pásů [67, 73, 74].



Obr. 3.4 Ukázka stoje od firmy Mazak [78].

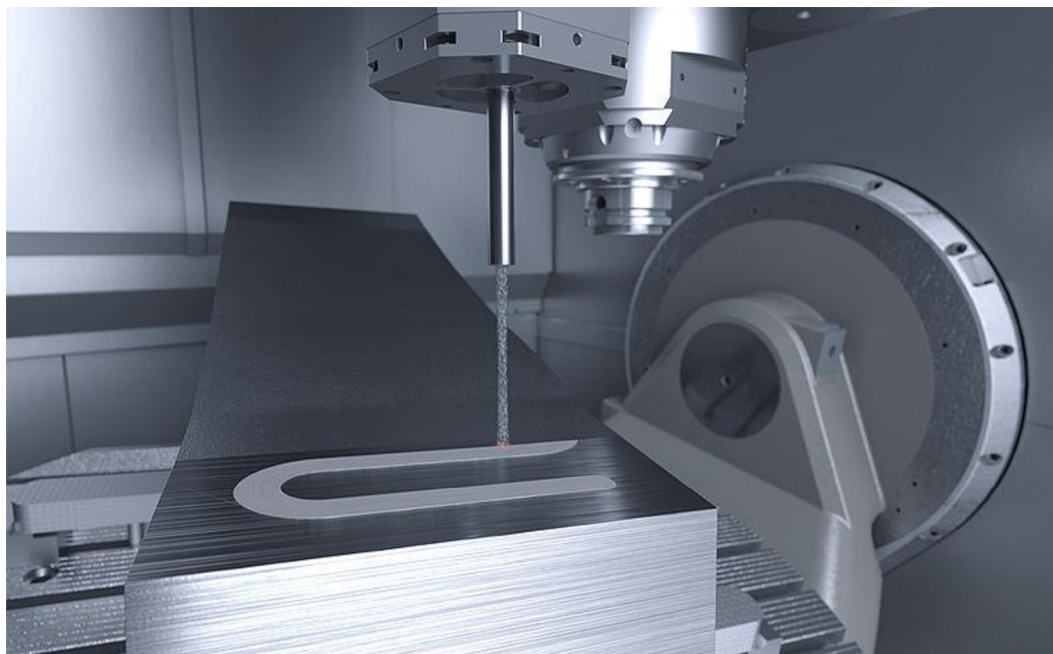
Tab. 3.2 Specifikace stroje Mazak® INTEGREX i-400 AM [79].

Max. průměr obrábění	658 mm
Max. délka obrábění	1,519 mm
Max. otáčky hlavního vřetena	3300 min ⁻¹
Výkon motoru (ED 40% hodnocení)	30 kW
Max. otáčky vřetena frézovací hlavy	12000 min ⁻¹
Výkon motoru (ED 20% hodnocení)	22 kW
Max. pojezd v ose X	615 mm
Max. pojezd v ose Y	260 mm
Max. pojezd v ose Z	1585 mm
Max. pojezd v ose W	1562 mm

Hermle

Další z řady významných firem v subtraktivním odvětví obráběcích strojů. Nabízí možnosti výroby i velkých kovových součástí. Aplikační jednotka materiálu MPA je integrována do pětiosého obráběcího centra Hermle typu C-40. Tato kombinace spolu s frézovacími operacemi vede k hybridnímu procesu, kde je umožněno zhotovit součásti přesahující průměr 500 mm. Technologie MPA je obecně navržena pro tisk materiálu na geometricky přístupných rovinách objektu. Speciální výplňový materiál umožňuje tvorbu vnitřních dutých oblastí a kanálků. Přebytečný materiál je vypláchnut na konci výrobního procesu, následuje tepelné zpracování k dosažení požadované tvrdosti a optimalizování vlastností a mikrostruktury [67, 73, 74].

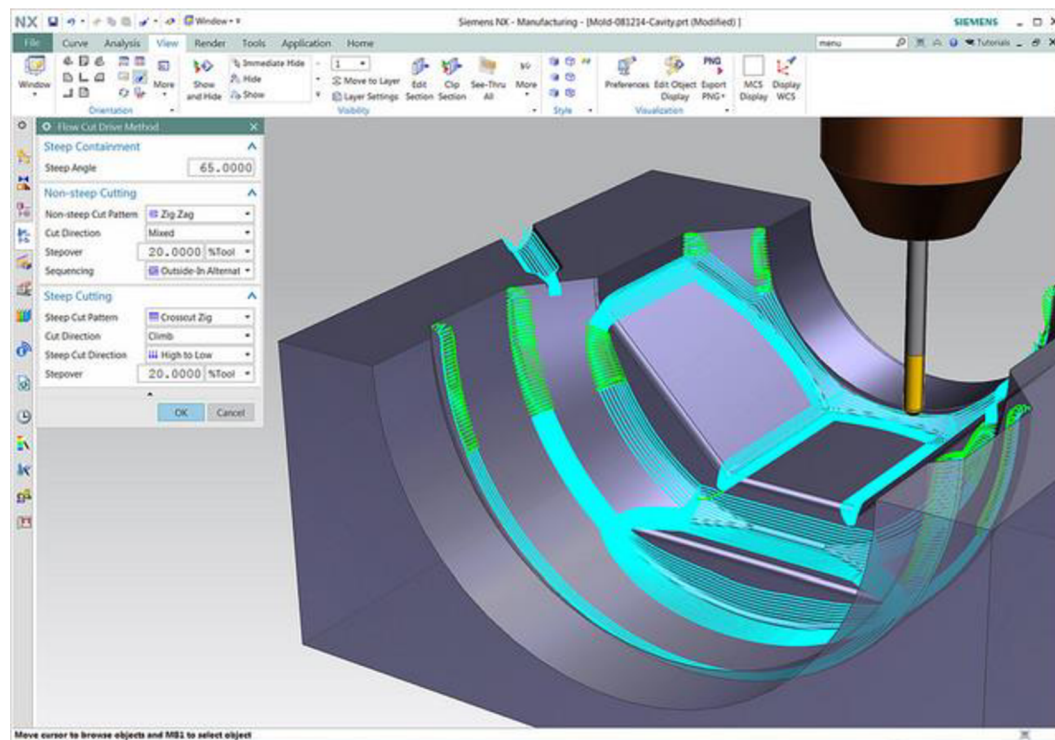
MPA proces znamená, že kovový prášek je aplikován kinetickým zhutňováním, tím jsou vytvořeny zcela utěsněné materiály [80].



Obr. 3.5 Ukázka MPA procesu od firmy Hermle [81].

Siemens

Siemens NX kompletní hybridní modul CAD/CAM, pro aditivní i subtraktivní programování, jediný softwarový balíček pro celý procesní řetězec od návrhu, přes aditivní výrobu až po dokončování. Používán v několika hybridních strojích k přípravě celého výrobního procesu pomocí digitálního dvojče. Systém používá pro výpočet laserové dráhy jak řezné tak i u aditivní části. Ačkoliv tato firma nevyrábí hardware, veškerá práce je vykonávána na softwarové úrovni, při postupu v hybridním procesu. Protože je technologie DED využívána většinou výrobních systémů, software se stává základním kamenem pro optimalizaci geometrie součástí i celého procesu, včetně postprocesingu a simulace obrábění pro integrované laserové opláštění a frézování [67, 73, 74].



Obr. 3.6 Ukázka pracovního prostředí softwaru Siemens NX [82].

Matsura

Japonská společnost jako první implementovala do hybridního procesu práškovou aditivní technologii SLM. Uznávaný lídr na trhu v oblasti automatizovaných CNC obráběcích center. Během posledních let vývoje byl na trh uveden stroj LUMEX Avance-25. Schopnost tohoto centra tisknout kovové komponenty ve vrstvách se složitými vnitřními rysy je činí pozoruhodným a nabízejícím výrobu komplexních geometrií. Druhé centrum v pořadí LUMEX Avance-60 nabízí v podstatě stejné možnosti ale s větším vnitřním prostorem a pracovním krytem [67, 73, 74].

Tab. 3.3 Základní specifikace stroje LUMEX Avance-60 [83].

Laserový oscilátor	Yb vláknový laser
Výkon laseru	1 kW
Max. pracovní plocha	600x600x500
Max. hmotnost polotovaru	1300 kg
Max. otáčky vřetena	45000 min ⁻¹
Max. posuvová rychlost (X/Y/Z)	(60/60/30) m·min ⁻¹



Obr. 3.7 Ukázka centra LUMEX Avance-25 [84].

Mezi zajímavosti tohoto centra spadá, že frézování probíhá nikoliv až po celkovém vytištění hrubého výrobku, nýbrž po každých deseti vrstvách aditivně naneseného kovu o celkové tloušťce 0,5 milimetru. Tím pádem dokáže obrobit i vnitřní části dílů předtím, než je aditivní proces pro další zásahy znepřístupní. Efektivně se proto tento postup používá například pro výrobu forem vybavených kanálky pro tzv. konformní chlazení [74].

Kovosvit

V poslední řadě je představena česká firma Kovosvit MAS, která také disponuje svojí originální patentovanou technologií hybridní výroby. Stroj Weldprint MCV 5X byl vyvinut ve spolupráci s ČVUT. Ve výrobním procesu je využíváno navařování elektrickým obloukem technologií MIG/MAG v kombinaci s pětiosým obráběním. Od zahraniční konkurence se český výrobce odlišuje unikátním řešením řetězení výrobních operací, zahrnující také čištění svarů, odsávání nečistot a chlazení výrobků. Během procesu výroby je vše monitorováno termokamerami, které sledují procesní parametry v reálném čase, díky čemuž lze zaručit kvalitu dílců a po validaci stroje je certifikovat. Obchodní příležitosti vidí Kovosvit MAS zejména v oblasti oprav rozměrných kovových dílů [74].

Tab. 3.4 Specifikace stroje Weldprint MCV 5X [85].

Pojezd v ose X	1100 mm
Pojezd v ose Y	590 mm

Pojezd v ose Z	415 mm
Sklopná osa A	$\pm 110^\circ$
Otočná osa C	360°
Upínací plocha stolu	$\text{Ø}520 \text{ mm}$
Maximální zatížení stolu	400 kg
Maximální rozměry obrobku	$\text{Ø}520 \text{ mm} \times 475 \text{ mm}$
Rychloposuv v osách X, Y, Z	$40000 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$
Maximální otáčky stolu - osa C	20 min^{-1}
Maximální otáčky stolu - osa A	12 min^{-1}
Max. počet nástrojů v zásobníku	30
Max. průměr nástroje v zásobníku	125 mm
Max. délka nástroje v zásobníku	350 mm
Celkový příkon stroje	50 kW
Pracovní tlak pneumatického zařízení	0,06 MPa

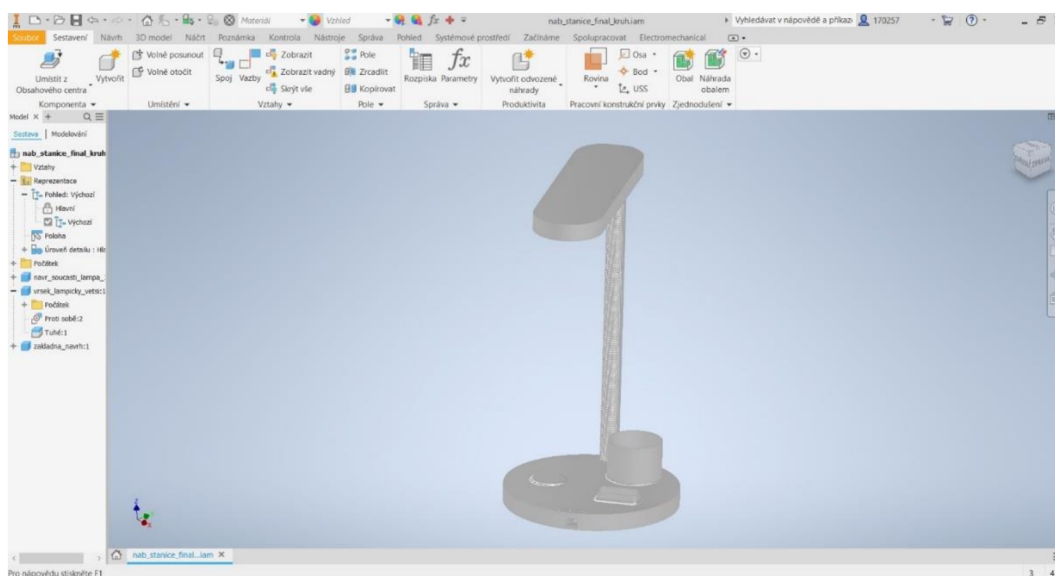


Obr. 3.8 Ukázka centra Weldprint MCV 5X [86].

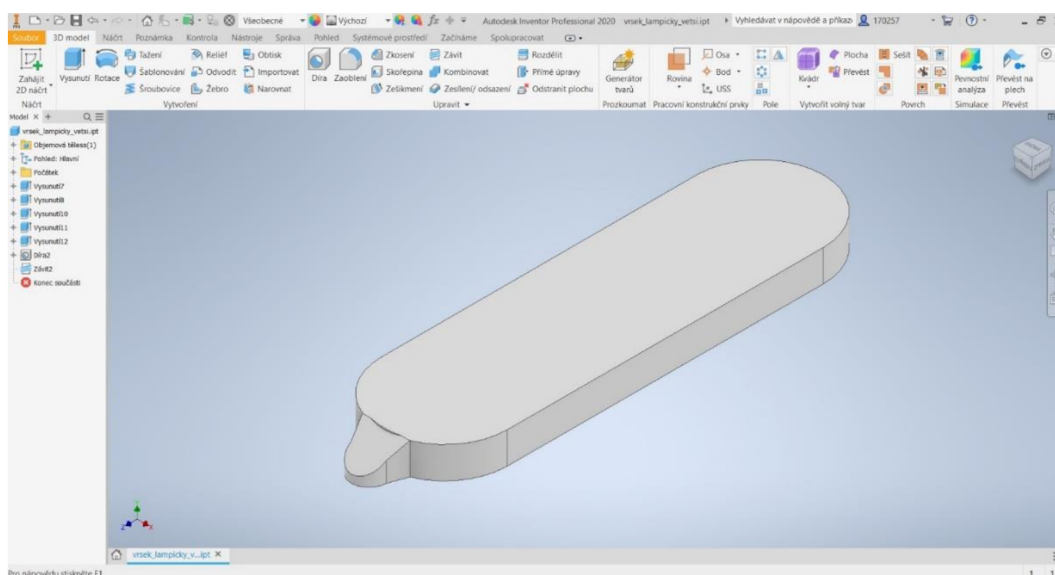
4 NÁVRH SOUČÁSTI A STRUČNÝ ROZBOR MOŽNOSTÍ PROGRAMOVÁNÍ V CAM SOFTWARE POWERMILL 2020

4.1 Návrh součásti

Návrh součástí byl proveden v programu Autodesk Inventor Professional 2020. Jedná se o součást složenou ze tří částí, zaprvé se jedná o rotační podstavu, poté lampu, kde bude umístěn LED světelný pásek a v poslední řadě ohybná spojovací část.

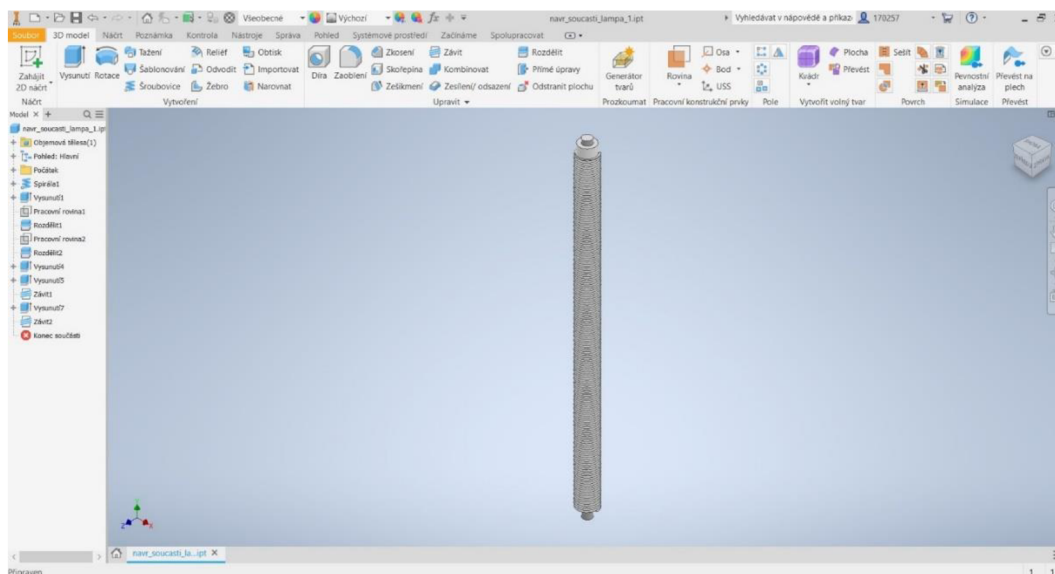


Obr. 4.1 Ukázka navržené součásti v programu Autodesk Inventor Professional 2020.



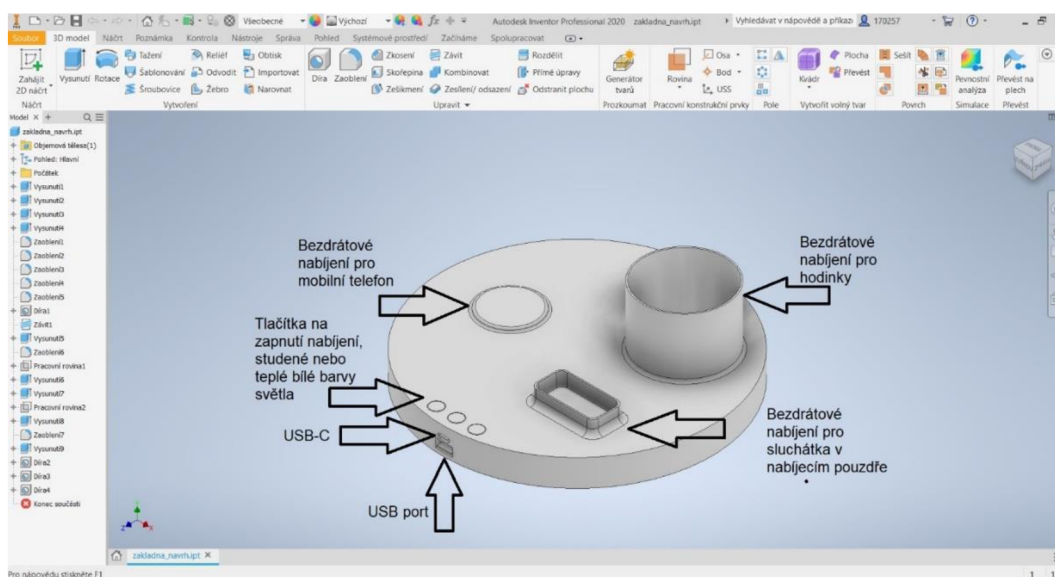
Obr. 4.2 Ukázka světelné části lampy v programu Autodesk Inventor Professional 2020.

Jedná se o ohybnou kovovou spojovací část, pro správné nastavení polohy světelné lampy uživatelem.



Obr. 4.3 Ukázka spojovací ohybné části nabíjecí podstavce a lampy v programu Autodesk Inventor Professional 2020.

Poslední část navrhované součásti. Rotační nabíjecí podstava převážně slouží pro nabíjení Apple produktů, jako jsou hodinky nebo sluchátka v bezdrátově nabíjecím pouzdře. Podložka pro bezdrátové nabíjení telefonů podporuje všechny značky, které mají tuto funkci.



Obr. 4.4 Ukázka rotační základní sloužící pro nabíjení produktů a ovládání barvy světla v programu Autodesk Inventor Professional 2020

Pro vlastníky ostatních mobilních telefonů je také k dispozici USB-C a USB konektor pro drátové nabíjení.

Ve spodní části nabíjecí podstavy bude frézována kapsa a otvory vedoucí z USB konektorů pro potřebnou kompletní kabeláž a elektroniku. Celá sestava navrhované součásti bude do sítě připojována pomocí USB-C kabeláže.

4.1.1 Materiály a specifikace součásti

LED pásek CCT18W12V se doporučujeme instalovat na kov nejlépe hliníkový profil, který slouží jako chladicí materiál. LED pásy CCT mají možnost nastavit teplotu bílé barvy. LED pásy nesmí být instalovány na přímém slunečním svitu. I při vypnutém pásku na něj poté působí vysoká teplota, která snižuje životnost LED diod a může způsobovat prnutí materiálu, a tím poškození spojů, může docházet k výpadkům svícení jednotlivých modulů. [87].

SPECIFIKACE LED PÁSKU	
Barevná varianta	CCT (WW+CW)
Teplota	2400-6000K
Světelný tok	1720lm/m (při zapnutí obou barev)
CRI	>80
Vstupní napětí	12V DC
Příkon	18W/m
Počet LED	120/m
Úhel svitu	120°
LED čip	2835 SMD San'an
Provozní teplota	-15°C až max. 60°C
Životnost	až 50 000h
Šířka pásku	8mm
Šířka pásku	2,4mm
Návin na kotouči	5m
Krytí	IP20
3M samolepicí páska	ANO
Dělitelnost	každých 5cm
Maximální délka zapojení	5m
Záruka	3 roky
Stmívatelné	ANO

Obr. 4.5 Specifikace LED pásku [87].

Stejný materiál bude použit i na podstavovou nabíjecí základnu. Kovový, nebo přesněji hliníkový materiál bude zabraňovat kromě přehřívání LED pásku i nabíjené komponenty a samotnou podstavu při bezdrátovém nabíjení. Je zde také možnost celou základnu potáhnout silikonovou vrstvou, aby bylo dosaženo protiskluzových vlastností.

Hliník AISi10Mg(a) je hliníková slitina ve formě jemného prášku, která je typicky používána pro výrobu tenkostěnných součástí ve tvaru složitých geometrií. Tento kovový materiál nabízí dobrou obrobiteľnosť, pevnost, tvrdost, dynamické vlastnosti, tepelnou odolnosť a nízkou hmotnosť, takže jsou ideální pro aplikace požadující kombinaci dobrých tepelných vlastností a nízké hmotnosti. Také se jedná o typickou odlévací slitinu. Proces během 3D tisku je charakterizován velmi rychlým tavením a

následným ztuhnutím. Tím vznikne struktura materiálu a odpovídající mechanické vlastnosti ve skutečném stavu, který je podobný tepelně zpracovaným odlitkům [88, 89].

Tab. 4.1 Chemické složení [hm %] [90].

Si	Mg	Mn	Fe	Ti	Zn	Cu	Příměsi celkem	Al
9 – 10,5	0,25 – 0,45	0,10 – 0,40	max. 0,50	max. 0,10	max. 0,10	max. 0,05	max. 0,70	základ

Nabíjecí části podstavy mohou být na CNC centru vyrobeny několika způsoby, viz. kapitola zahrnující aditivní technologie včetně vhodných materiálů pro zpracování. Základní část může být odlita ve formě odlitku, nebo zhotovena z přířezu.

Mezi další způsob výroby může spadat například návrh Německé společnosti Hermle, kde oproti 3D tiskárnám pracujících na principu natavování nebo spékání kovového prášku laserem, tiskne technologie 3D MPA 40 kovové předměty pomocí „mikrokování“. V podstatě se jedná o tepelný postřik, který umožňuje nízkoenergetické kinetické ztuhnutí [91].

Vrstva ztuhněného kovového prášku může být dále opracována frézováním pěti simultánně řízenými osami pro dosažení nejvyšší kvality výsledného povrchu. Po opracování může být materiál tepelně zpracován kalením ve vodě [91].

Tento postup výroby je vysoce přesný a současně schopný míchat různé materiály až z šesti různých kovů. Na stroji MPA 40 můžete zpracovávat materiály například z nerezové oceli, dále měď, bronz, titan a hliník a další. Prášek je velmi jemný se zrnitostí mezi 25 až 75 mikrony, v závislosti na použitém materiálu [91].

Další možnost je nabízena výrobní společností 3D-Hybrid, jenž představila novou sadu nástrojů, které umožňují aditivní výrobu s využitím kovů u stávajících CNC strojů. Nabízí tři typy technologií 3D tisku: Wire-Arc Additive Manufacturing (WAAM – aditivní výroba pomocí kombinace elektrického oblouku jako zdroje tepla a drátu), Laser Metal Deposition (laserové navařování) a Cold Spray (chladicí sprej), jež jsou kompatibilní se skoro jakýmkoliv CNC strojem na trhu. Navíc využívají tři metody využití energie: elektrické, optické a kinetické [92].

4.2 Pracovní postup výroby

Tab. 4.2 Návrh pracovního postupu nabíjecí základny.

Číslo op. pořadové :	Název, označení stroje, zařízení, pracoviště :	Dílna :	Popis práce v operaci :
Orientační:	Třídící číslo :		
00/00	PÁSOVÁ PILA	SKLAD	UPNOUT POLOTOVAR ŘEZAT MATERIÁL $\varnothing 210$ NA DÉLKU 22
01/01	KONTROLA	OTK	KONTOLA DÉLKY POLOTOVARU 22 - 100%
02/02	CNC STROJ HYBRID	OBROBNA	UPNOUT DO SKLÍČIDLA ZA $\varnothing 210$ ZAROVNAT ČELO A ZAVRTAT STŘEDÍCÍ DŮLEK A2,5 ČSN014915
03/03	CNC STROJ HYBRID	OBROBNA	UPNOUT DO SKLÍČIDLA ZA $\varnothing 210$ ZAROVNAT ČELO A ZAVRTAT STŘEDÍCÍ DŮLEK A2,5 ČSN014915
04/04	CNC STROJ HYBRID	OBROBNA	UPNOUT MEZI HROTY - ČELNÍ UNAŠEČ A HROT V KONÍKU HRUBOVAT $\varnothing 210$ S PŘÍDAVKEM 1 MM V CELÉ DÉLCE
05/05	CNC STROJ HYBRID	OBROBNA	DOKONČIT $\varnothing 200$ V CELÉ DÉLCE
06/06	CNC STROJ HYBRID	OBROBNA	FRÉZOVAT KAPSU NA SPODNÍ ČÁSTI PRO OBROBENÍ S VBD O $\varnothing 40$ A DÉLCE 14 mm
07/07	CNC STROJ HYBRID	OBROBNA	HRUBOVAT KAPSU NA SPODNÍ ČÁSTI NABÍJECÍ PODSTAVY O $\varnothing 150$ A DÉLCE 14 mm VRTAT OTVORY PRO KABELÁŽ U USB PORTŮ
08/08	CNC STROJ HYBRID	OBROBNA	HRUBOVAT OTVORY PRO MICRO-USB A USB-C VSTUPY
09/09	CNC STROJ HYBRID	OBROBNA	DOKONČIT OTVORY PRO MICRO-USB A USB-C VSTUPY

10/10	CNC STROJ HYBRID	OBROBNA	VRTAT DÍRU PRO ZÁVIT $\varnothing 8,5$ DO HLOUBKY 10 mm
11/11	CNC STROJ HYBRID	OBROBNA	FRÉZOVAT ZÁVIT M10x1,5 DO HLOUBKY 10 mm
12/12	CNC STROJ HYBRID	OBROBNA	TISKNOT PLOŠKU $\varnothing 50$ A VÝŠCE 2 mm VZDÁLENOU 40 mm OD STŘEDU KRUHOVÉ PODSTAVY
	CNC STROJ HYBRID	OBROBNA	DOKONČIT VYTISKNUTOU PLOŠKU
	CNC STROJ HYBRID	OBROBNA	TISKNOT VÁLEC $\varnothing 60$ O TLOUŠŤCE 2 mm A VÝŠCE 44 mm V SOUŘADNICÍCH X = 40; Y = 40
	CNC STROJ HYBRID	OBROBNA	DOKONČIT VYTISKNUTÝ VÁLEC
	CNC STROJ HYBRID	OBROBNA	TISKNOT VÁLEC KVÁDR O TLOUŠŤCE 2 mm A ROZMĚRECH 44,3x21,3x10 V SOUŘADNICÍCH X = 40; Y = -40 S VNĚJŠÍM A VNITŘNÍM ZAOBLENÍM 2mm
	CNC STROJ HYBRID	OBROBNA	DOKONČIT VYTISKNUTÝ KVÁDR

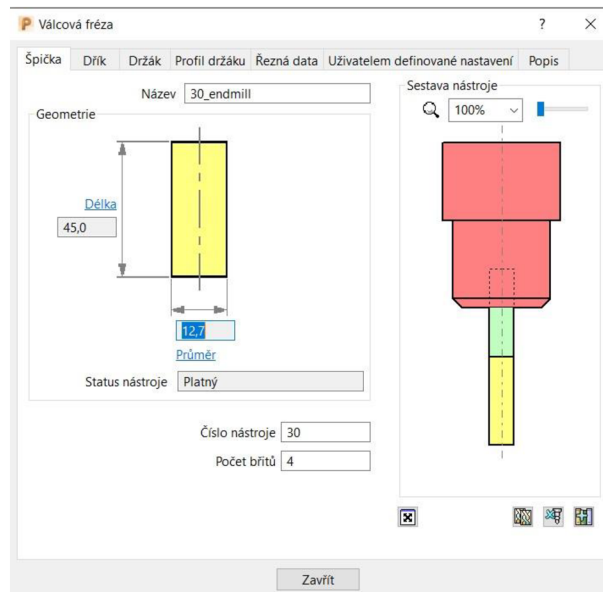
4.3 Stručný rozbor možností programování v CAM softwaru PowerMILL 2020 a použité nástroje

4.3.1 Použité řezné nástroje a řezné podmínky

Nástroje použité pro obrábění součásti vlastního návrhu nabíjecí základny jsou vybrány z internetového katalogu obráběcích nástrojů firmy Sandvik Coromant.

Byly vybrány doporučené nástroje, VBD a řezné podmínky pro každou danou operaci a zvolený materiál.

Fréza pro zhotovení odlehčovacího otvoru

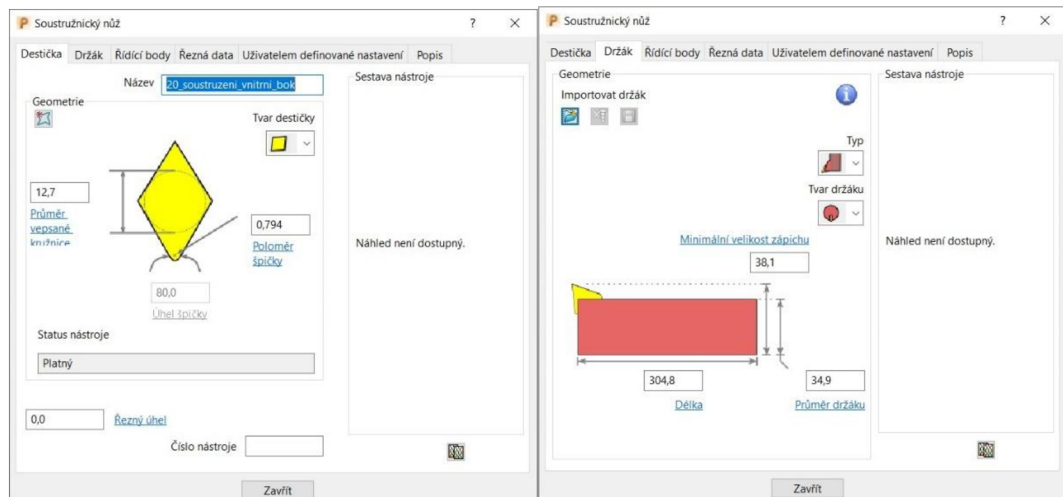


Obr. 4.6 Vyvrťovací fréza.

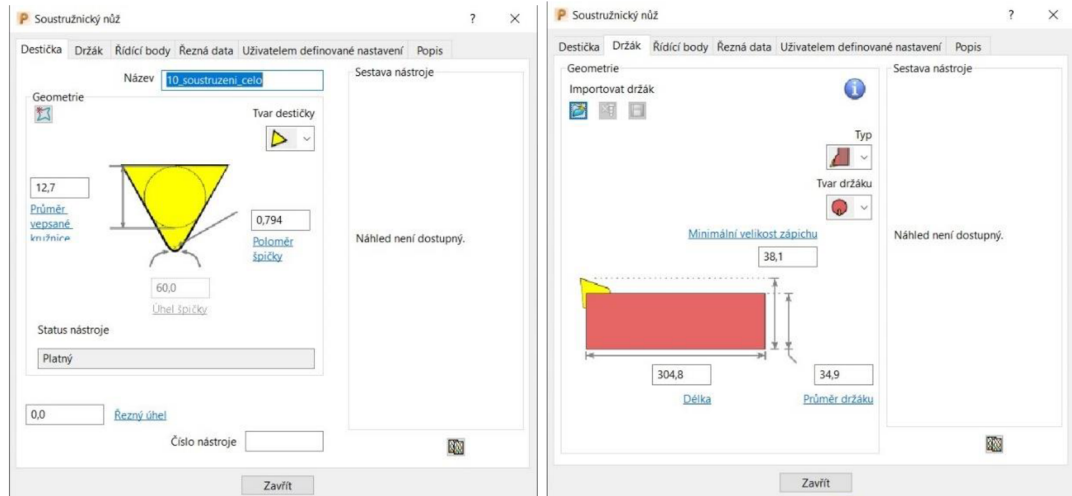
Tab. 4.3 Tabulka řezných podmínek pro frézu potřebných pro zhotovení otvoru.

Frézování	2P070-1588-PB1610	
v_c	605	$m \cdot min^{-1}$
f_z	0,185	mm

Soustružnické nože pro soustružení kapsy na odlehčení



Obr. 4.7 Destička a držák hrubovacího nože.

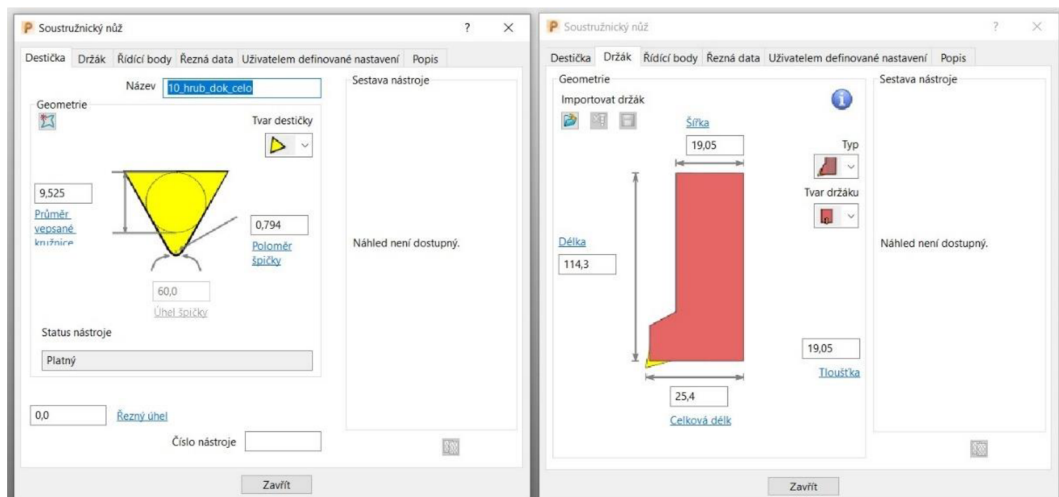


Obr. 4.8 Destička a držák dokončovacího nože.

Tab. 4.4 Tabulka řezných podmínek pro hrubovací nůž kapsy pro odlehčení.

Čelo	TNMG 220408-MM 1125 / CNMG 1204-MM 1125			
	Hrubování		Dokončování	
v_c	444	$m \cdot min^{-1}$	v_c	479 $m \cdot min^{-1}$
f	0,269	mm	f	0,206 mm
a_p	0,5	mm	a_p	0,5 mm

Soustružnický nůž pro soustružení čela

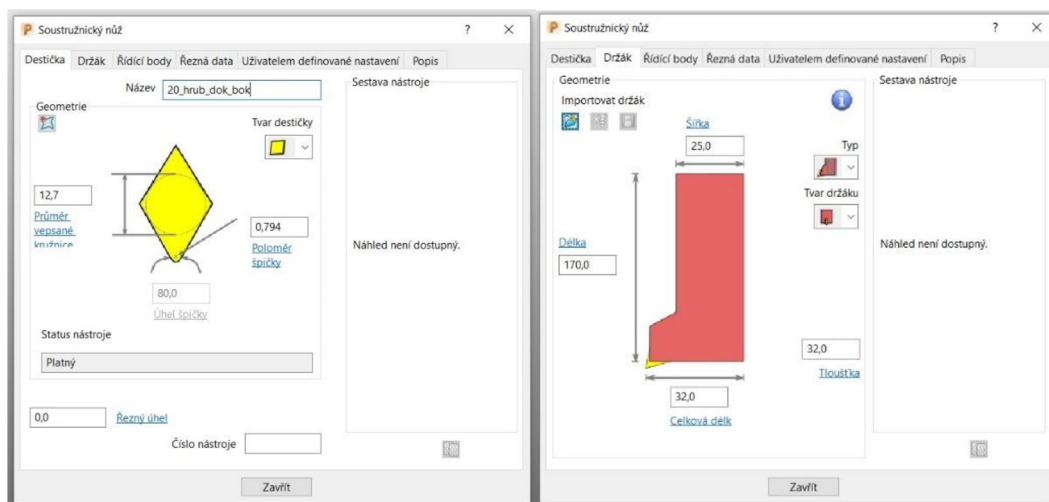


Obr. 4.9 Destička a držák soustružnického nože.

Tab. 4.5 Tabulka řezných podmínek pro nástroj na hrubování čela základny.

Čelo	TNMG 160408-MM 1125				
	Hrubování			Dokončování	
v_c	444	$m \cdot \min^{-1}$	v_c	469	$m \cdot \min^{-1}$
f	0,25	mm	f	0,206	mm
a_p	1	mm	a_p	1	mm

Soustružnický nůž pro soustružení boku součásti



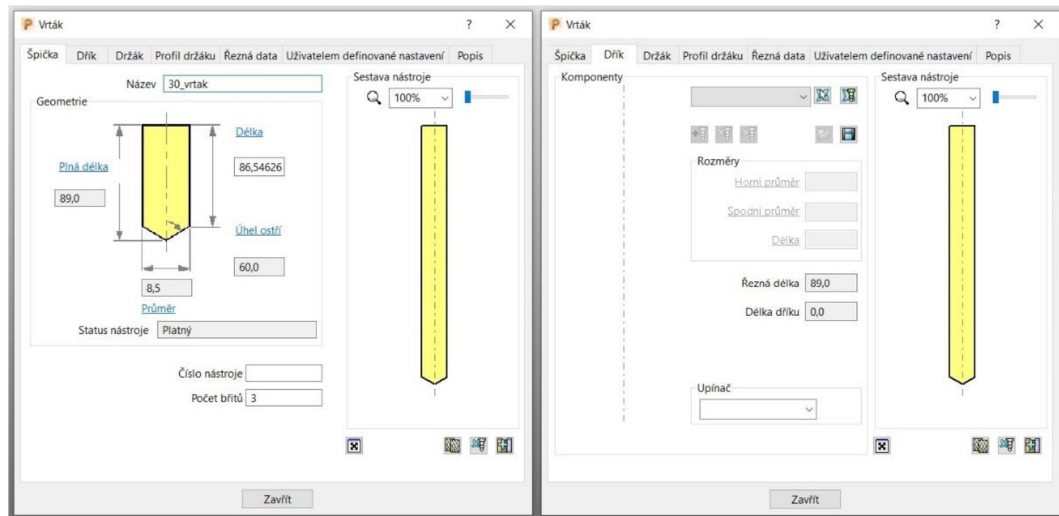
Obr. 4.10 Destička a držák soustružnického nože.

Tab. 4.6 Tabulka řezných podmínek pro nástroj na hrubování boku základny.

Bok	CNMG 120408-MM 1125				
	Hrubování			Dokončování	
v_c	444	$m \cdot \min^{-1}$	v_c	479	$m \cdot \min^{-1}$
f	0,259	mm	f	0,206	mm
a_p	1,63	mm	a_p	0,5	mm

Vrták

Nástroj slouží pro vyvrtání díry potřebné pro závit, aby mohla být přimontována ohýbací část spojující nabíjecí základnu a svítící prvek lampy.

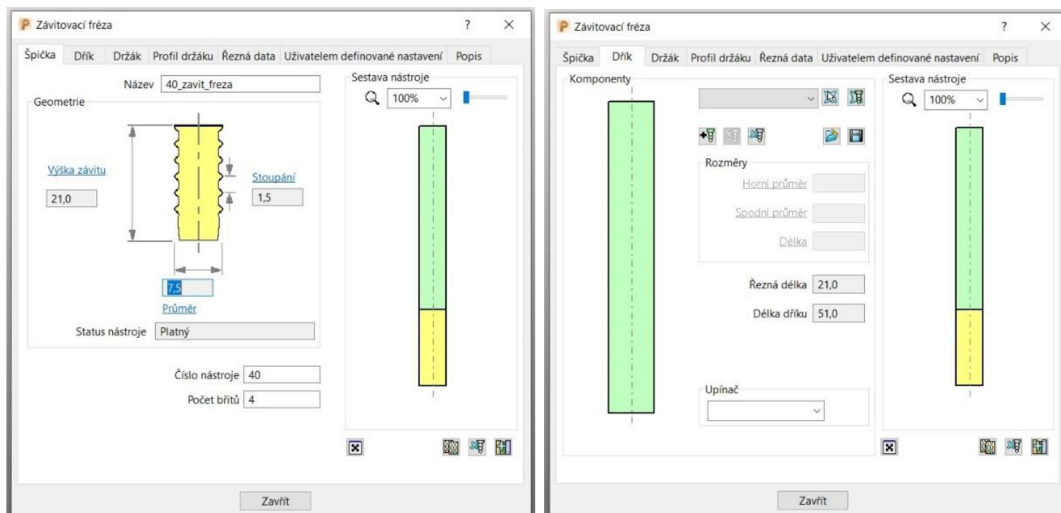


Obr. 4.11 Špička a držák vrtáku.

Tab. 4.7 Tabulka řezných podmínek pro vrták.

Vrtání	8601-0850-027A1-CMX1BM	
v_c	444	$m \cdot \min^{-1}$
f_n	0,28	mm
v_f	2080	$mm \cdot \min^{-1}$

Závitová fréza

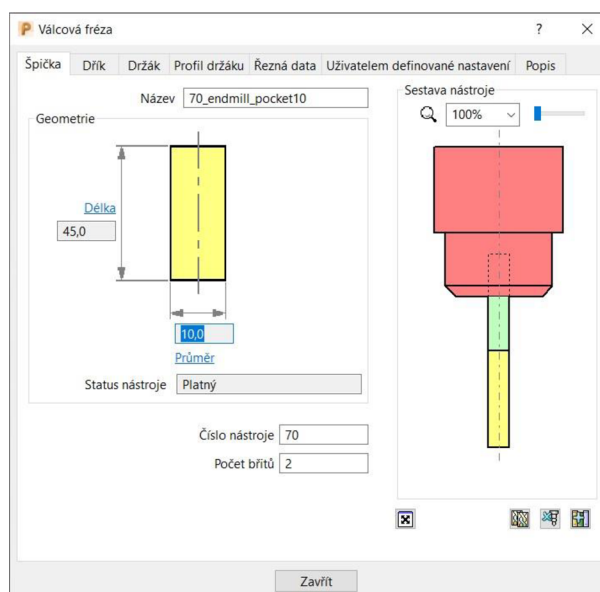


Obr. 4.12 Špička a držák závitovací frézy.

Tab. 4.8 Tabulka řezných podmínek pro závitovací frézu.

Závitování	R217 14C075150AK 21N 1630	
v_c	357	$m \cdot \min^{-1}$
f_z	0,136	mm

Fréza pro dokončení nabíjecí kapsy

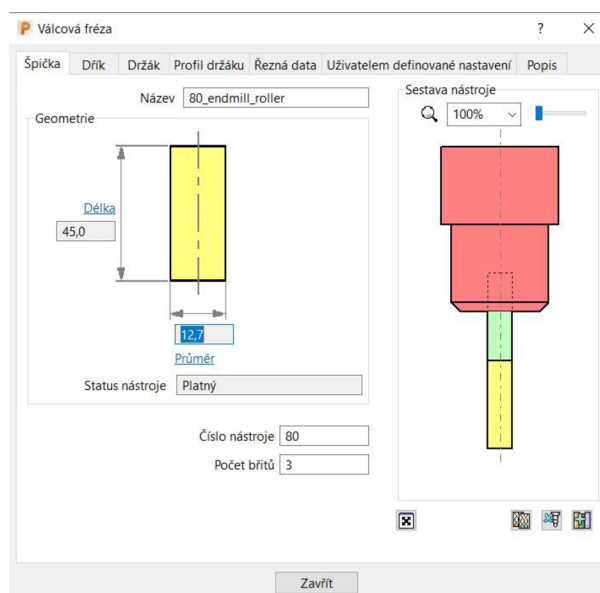


Obr. 4.13 Fréza pro dokončení nabíjecí kapsy.

Tab. 4.9 Tabulka řezných podmínek pro frézu na dokončování nabíjecí kapsy.

Závitování	R390-010A10-07L	
v_c	1080	$m \cdot \text{min}^{-1}$
f_z	0,1	mm

Fréza pro dokončení obvodu nabíjecího válce

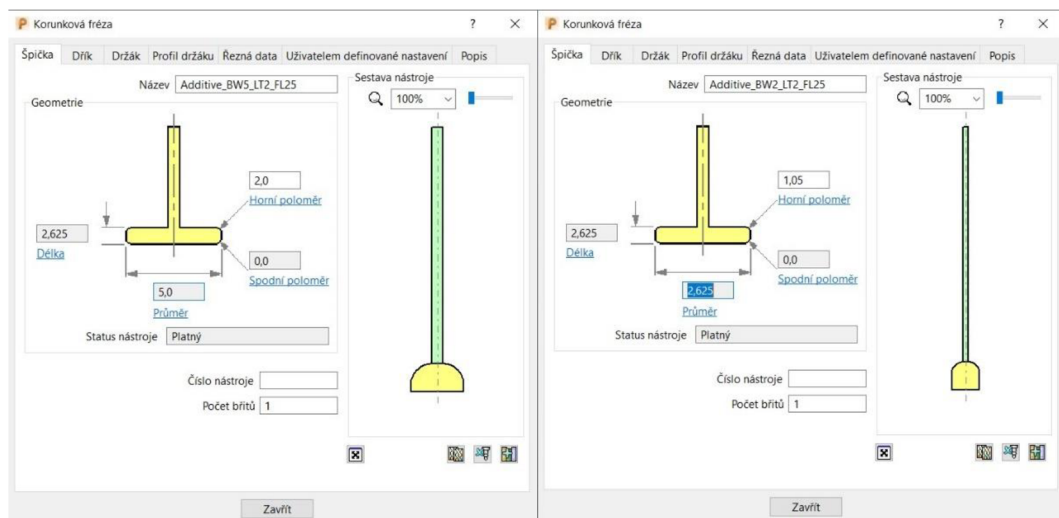


Obr. 4.14 Fréza pro dokončení obvodu nabíjecího válce.

Tab. 4.10 Tabulka řezných podmínek pro závitoreznou frézu.

Závitování	1P330-1270-XA1620	
v_c	1270	$m \cdot \min^{-1}$
f_z	0,418	mm

Nástroje pro 3D tisk

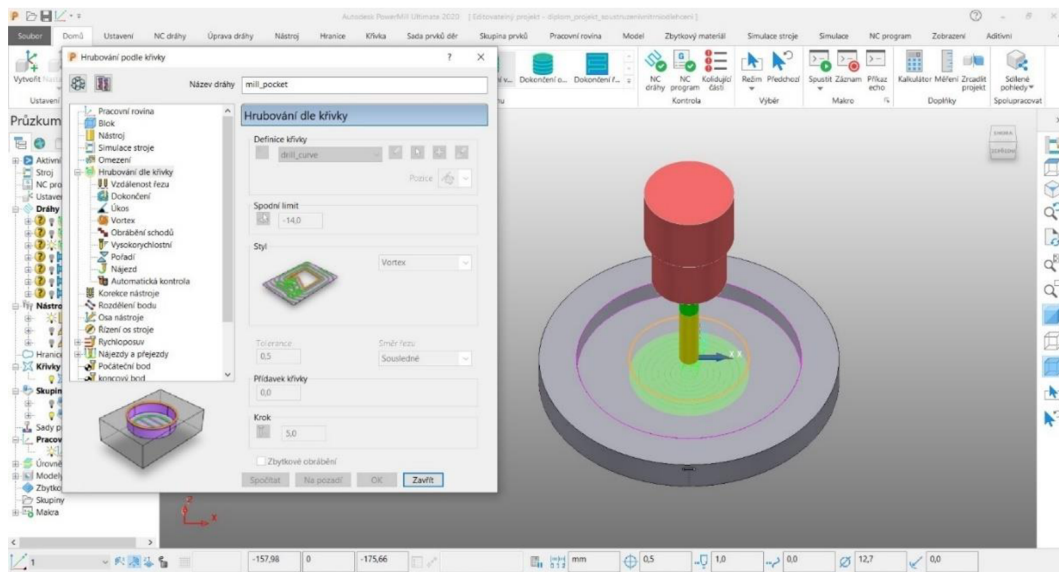


Obr. 4.15 Nástroj pro 3D tisk.

4.3.2 Stručný rozbor možností programování v CAM softwaru PowerMILL 2020

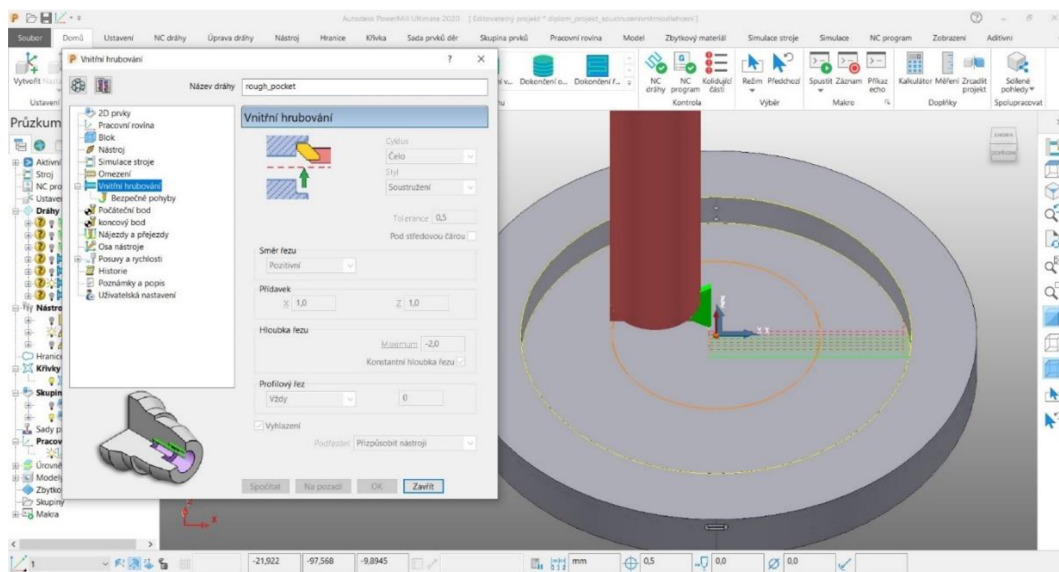
V kapitole bude ukázán stručný rozbor možností programování výroby dané součásti vlastního návrhu. Na obrázcích jsou zobrazeny základní parametry tvorby drah jednotlivých operací a následně jejich grafická vizualizace.

Frézování díry pro soustružení odlehčovací kapsy

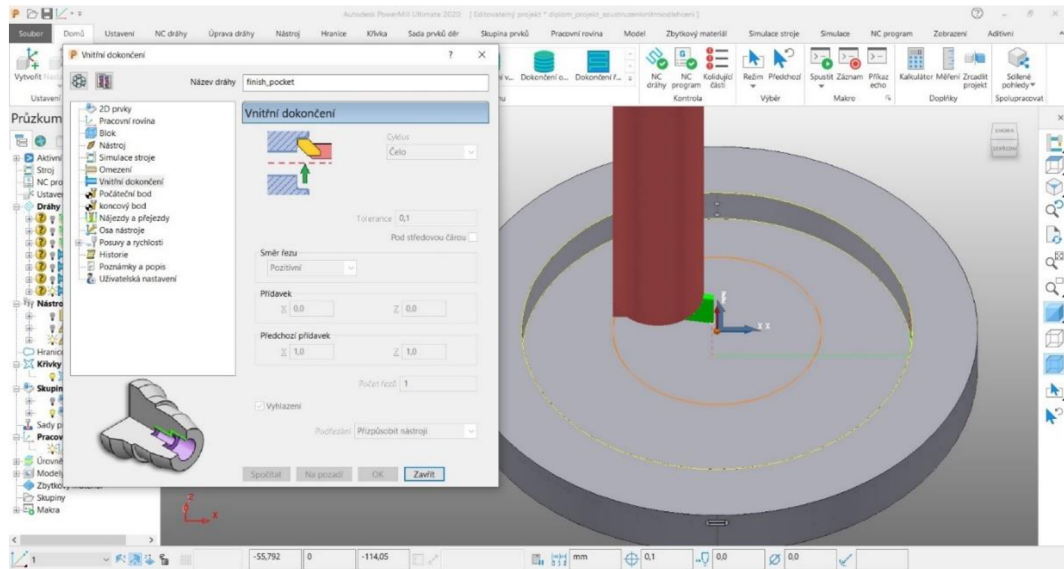


Obr. 4.16 Ukázka frézovací strategie soustružení kapsy.

Soustružení kapsy na odlehčení



4.17 Hrubovací odlehčovací kapsy.

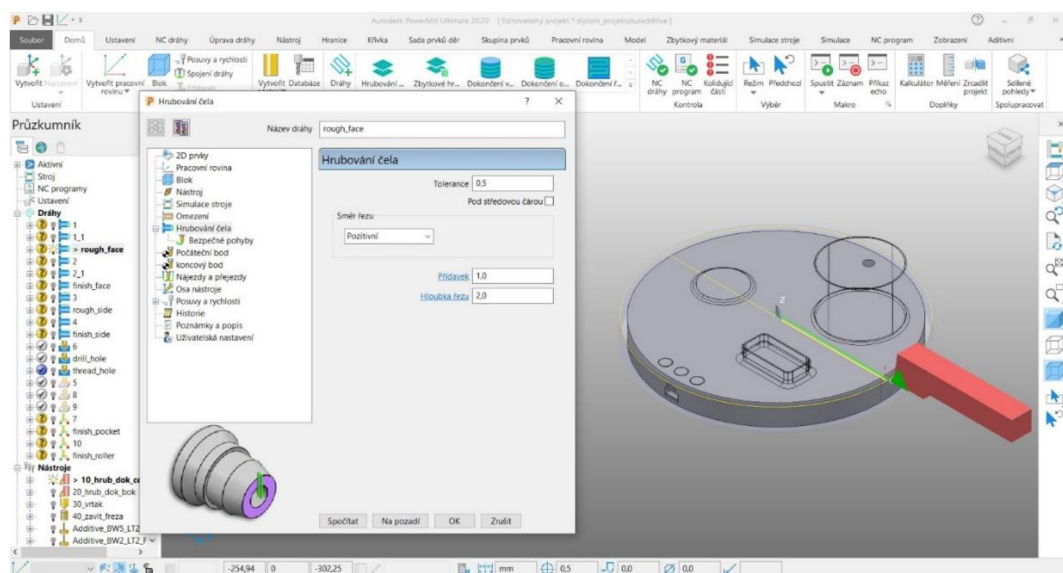


4.18 Dokončování odlehčovací kapsy.

Na obrázcích jsou spočteny strategie pro obrábění odlehčovací kapsy, potřebné pro snížení hmotnosti nabíjecí základny. Nejprve byl frézován otvor, jenž byl nutností pro najetí soustružnických nožů, aby nedocházelo ke kolizím s materiálem a nebyl zničen držák soustružnického nože. Poté mohla být kapsa snáze hrubována a dokončena.

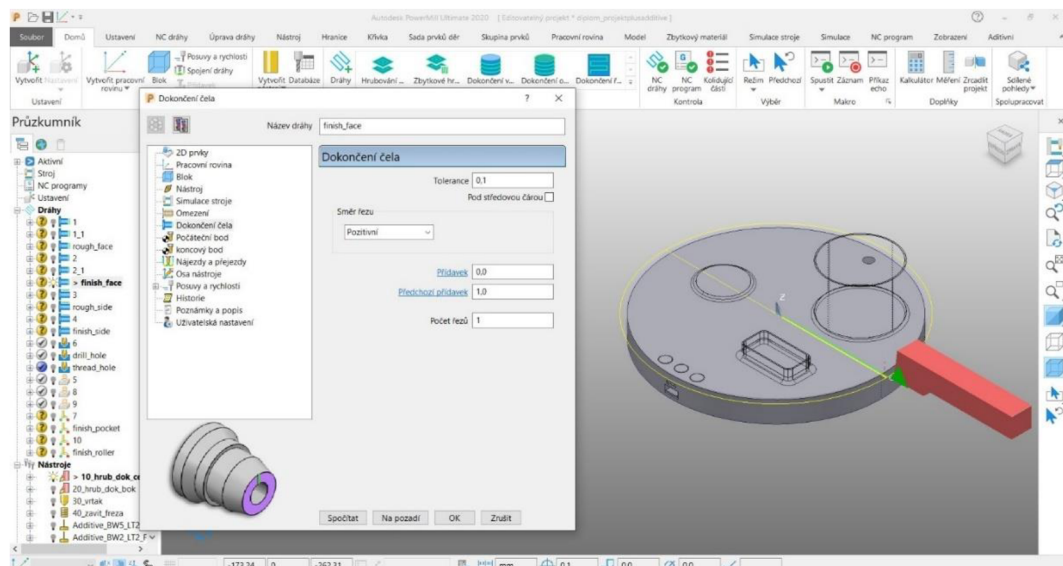
Soustružení čela

Po uštržení polotovaru a kontrole délky je polotovar uchycen do sklíčidla. Následuje hrubování čela na konečnou délku obrobku 20 mm s přídavkem na dokončení.



Obr. 4.16 Ukázka dráhy a použitého nástroje při hrubování čela.

Po hrubování nastupuje dokončení čela na konečnou délku 20 mm a toleranci 0,1 mm.

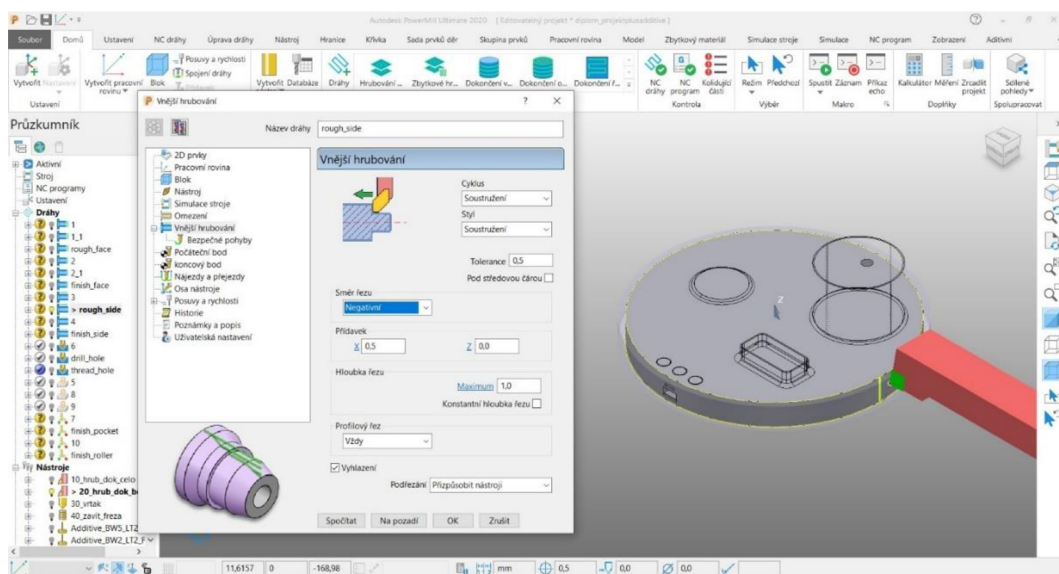


Obr. 4.17 Konečná dráha a ukázka použitého nástroje při dokončování čela obrobku.

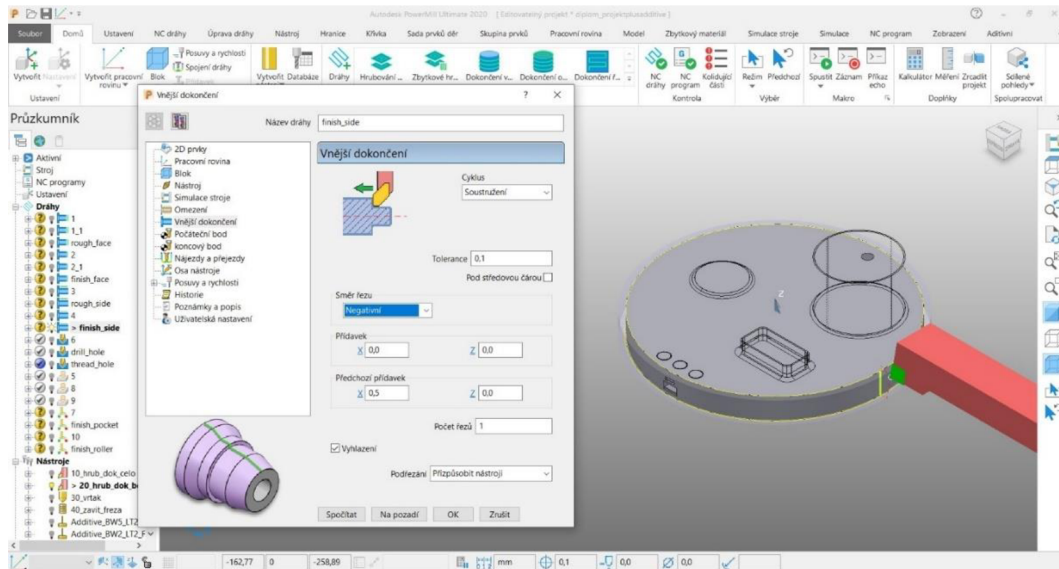
Pro hrubování a dokončování čela nabíjecí základny byl použit stejný nástroj z internetového katalogu firmy Sandvik Coromant, při změně řezných podmínek pro každou z operací.

Soustružení vnějšího průměru nabíjecí základny

V nynější operaci je obráběn vnější průměr celé nabíjecí základny na požadovaný průměr. Hrubování průměru z polotovaru $\varnothing 210$ mm na $\varnothing 200$ mm s přídávkem 1 mm pro následné dokončování.



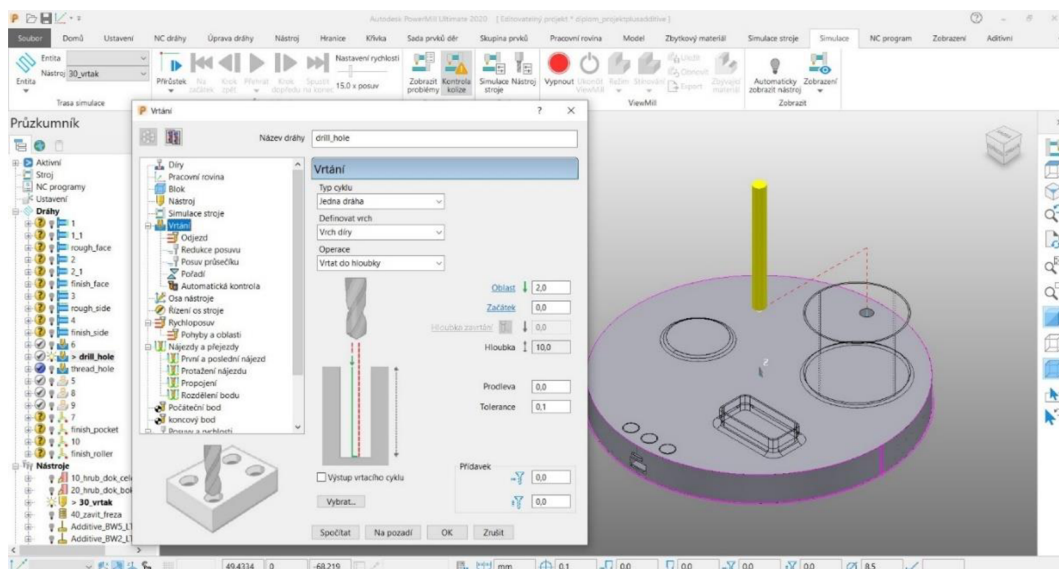
Obr. 4.18 Obráběcí strategie pro hrubování boku.



Obr. 4.19 Ukázka dráhy pro dokončování boku základny.

Vrtací operace

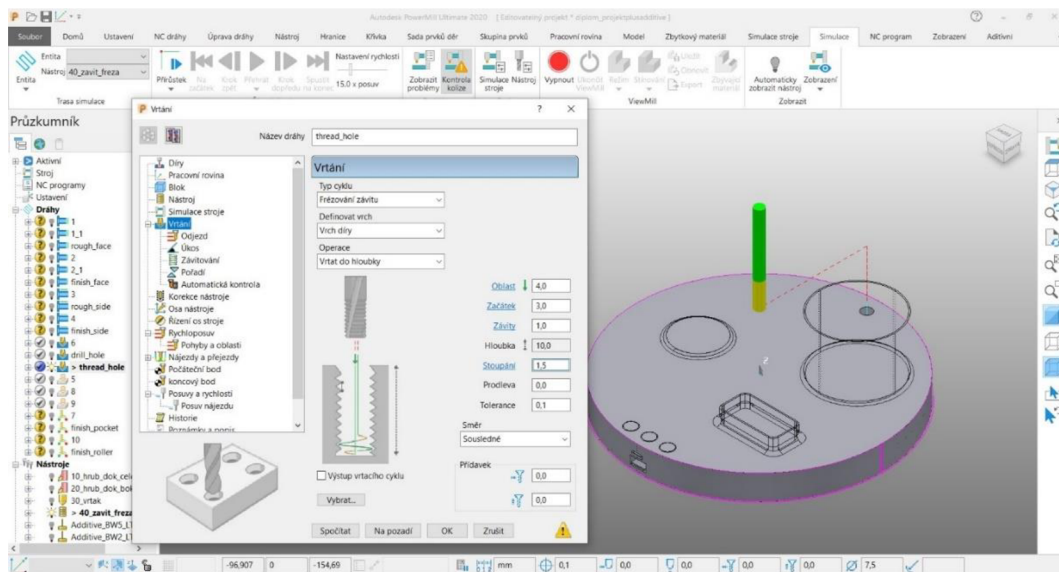
Při vrtací operaci je vyvrtána díra potřebná pro závit, díky němuž bude připojena svítilící část nabíjecí základny ve formě lampy.



Obr. 4.20 Ukázka dráhy pro vrtání díry na spojovací prvek s lampou.

Frézování závitu

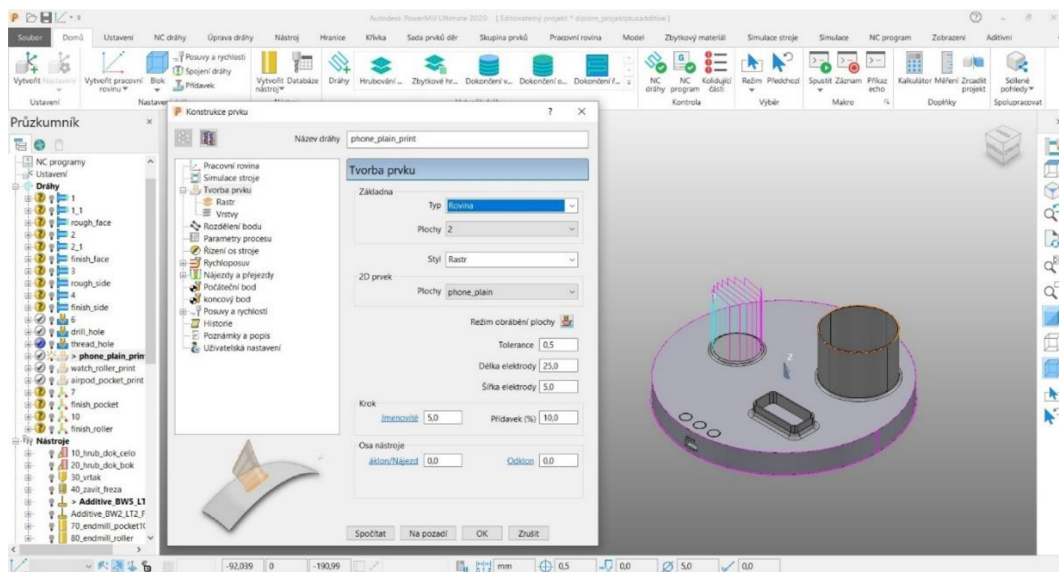
Poslední operací před samotným 3D tiskem nabíjecích prvků je frézování závitu pro montáž propojující části nabíjecí základny a lampy.



Obr. 4.21 Ukázka dráhy pro řezání závitu.

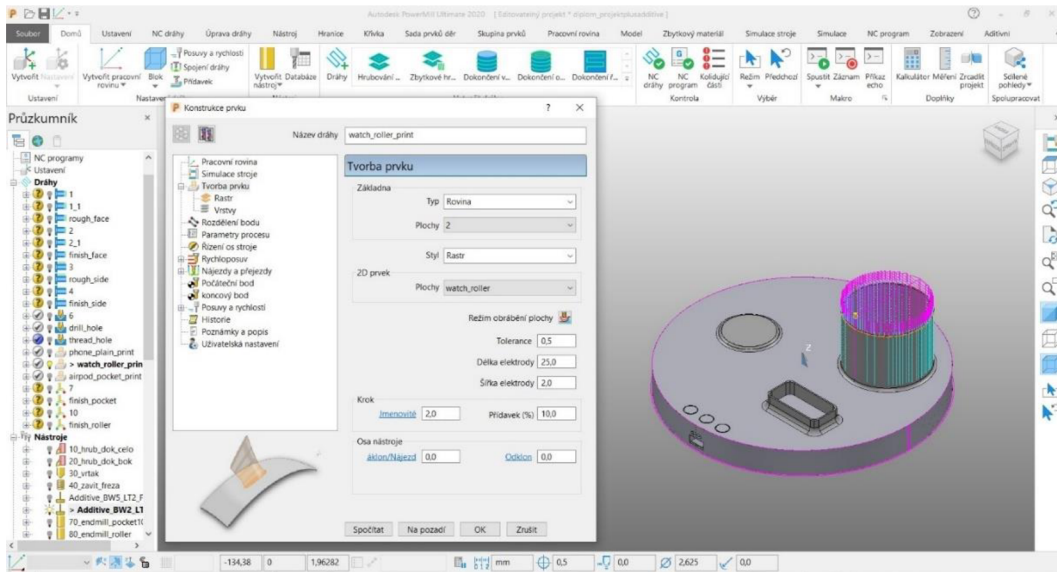
3D tisk nabíjecích prvků

Díky možnostem hybridní výroby je nám umožněno provádět 3D tisk kovů nabíjecích komponentů na již obrobenou základnu. Bude tím sníženo množství odpadu po obrábění a tím i potřebný materiál k obrobení.

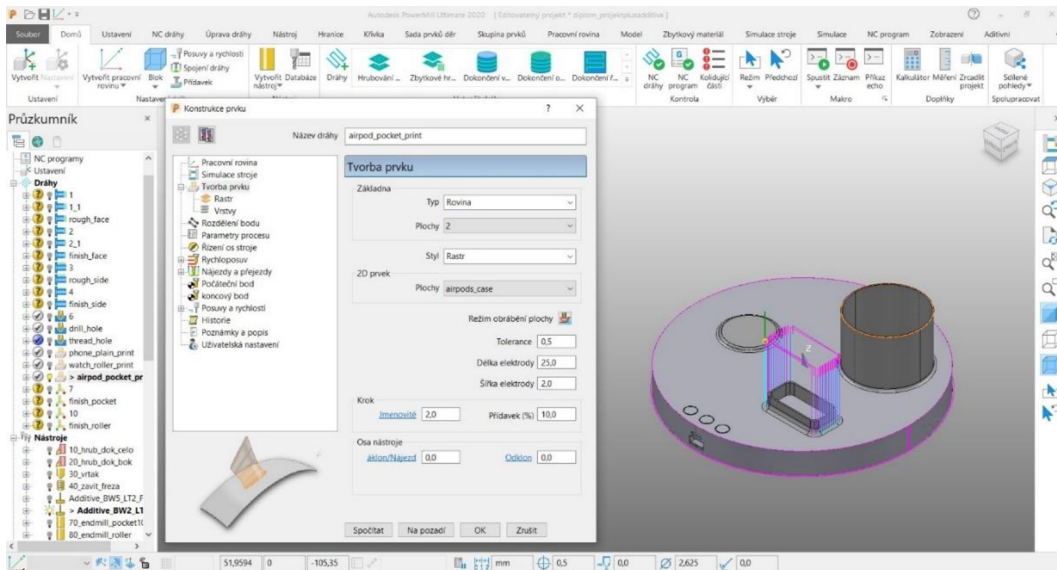


Obr. 4.22 3D tisk malé plošky pro znázornění nabíjecí plochy mobilního telefonu.

Funkce nabíjecí plošky je vymezena spíše jen pro znázornění, aby zákazník přesně věděl, kde je třeba umístit mobilní telefon pro ideálnější nabíjení.



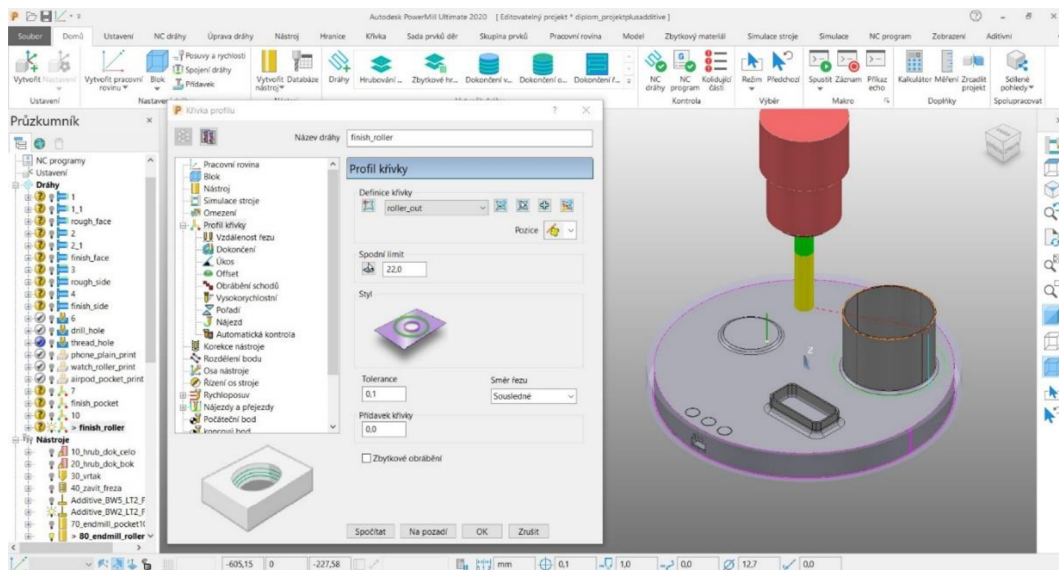
Obr. 4.23 3D tisk dutého válce pro nabíjení hodinek.



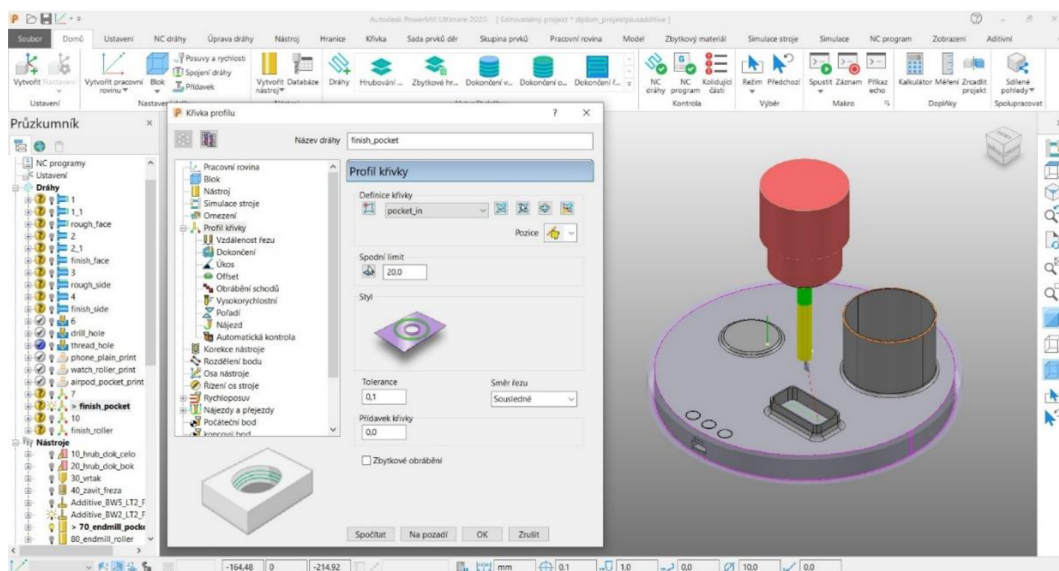
Obr. 4.24 3D tisk kapsy pro nabíjení sluchátek v nabíjecím pouzdře.

Po 3D tisku již není třeba hrubovat, budou provedeny jen dokončovací operace, přesněji dokončení frézováním na požadovanou toleranci. Více viz. kap. 2.6.

Dokončování nabíjecího válce a kapsy



Obr. 4.25 Ukázka dokončovací dráhy nabíjecího válce.



Obr. 4.26 Ukázka dokončovací dráhy nabíjecí kapsy pro sluchátka.

Prvky nabíjecího válce a nabíjecí kapsy jsou dokončeny frézováním viz obr. 4.25 a 4.26. Prvek nabíjecí plošky není dokončen, jedná se výhradně o znázornění místa, kde nejlépe pokládat mobilní telefon.

ZÁVĚR

Praktická část diplomové práce je zaměřena především na nastínění a stručný rozbor možností programování v CAM softwaru PowerMILL 2020 a následné ověření obrábění grafickou simulací součásti vlastního návrhu a vytvoření základní technické dokumentace. Návrh a design je řešen v prostředí CAD programu Inventor 2020 od společnosti Autodesk.

Nejprve byl navržen model nabíjecí základny pomocí programu Inventor 2020, přesněji se jedná o základnu kruhovitěho tvaru, která je doplněna bezdrátově nabíjecími prvky převážně pro produkty od firmy Apple, přičemž to mohou být jak chytré hodinky až do velikosti ciferníku 44 mm, tak sluchátka v nabíjecím pouzdře. Mobilní telefon může být použit libovolně, podmínkou zůstává možnost bezdrátového nabíjení.

Hlavním výstupem diplomové práce je především stručný rozbor možností programování v softwaru PowerMILL Ultimate 2020. Nástroje a k tomu doporučené řezné podmínky jsou použity z internetového katalogu firmy Sandvik Coromant dle daného typu operace. V softwaru byly vypočteny dráhy pro potřebné operace obrábění a také 3D tisku nabíjecích prvků, poté byla provedena jejich grafická vizualizace pomocí ViewMill.

- Byly vytvořeny obráběcí dráhy pro soustružení čela a vnějšího průměru nabíjecí základny, pro potřebné odlehčení celé součásti byla také obrobena odlehčovací kapsa,
- grafickou vizualizací byl ověřen celý proces, jak obrábění, tak 3D tisk, aby nedocházelo ke kolizím,
- nebyly zjištěny žádné kolize nástrojů s materiálem a výchozím polotovarem,
- použitím hybridní výroby na CNC stroji tedy metody 3D tisku je ušetřen odebíraný materiál a tím i možný vzniklý odpad ve formě třísek.

Oproti klasickému obrábění je 3D tisk časově náročnější, tedy hlavně tisk větších rozměrů, například zde řešený nabíjecí válec pro chytré hodinky. Oproti 3D tisku nabíjecí plošky a pouzdra, jež trvaly jednotky minut, tak tisk nabíjecího válce pro chytré hodinky se pohyboval časově v rámci hodin.

Konkrétnější časy tisku jednotlivých komponent, generovaných pomocí vypočtených drah, byly:

- do 2 minut by trval tisk nabíjecí plošky, o něco déle do 5 min se pohybuje tisk nabíjecího pouzdra,
- časově nejdéle trvá tisk nabíjecího válce pro chytré hodinky, přesněji 1 hodinu a 23 minut.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. Scan2cad.com [online]. [cit. 2020-04-05]. Dostupné z: <https://www.scan2cad.com/cad/history-of-cam/>
2. All3dp.com [online]. [cit. 2020-04-05]. Dostupné z: <https://all3dp.com/2/cam-software-what-is-it-and-what-does-it-do/>
3. Partsolutions.com [online]. [cit. 2020-04-05]. Dostupné z: <https://partsolutions.com/60-years-of-cad-infographic-the-history-of-cad-since-1957/>
4. Scribd.com [online]. [cit. 2020-04-05]. Dostupné z: <https://www.scribd.com/document/46598156/The-History-of-CADCAM>
5. Thomasnet.com [online]. [cit. 2020-04-05]. Dostupné z: <https://www.thomasnet.com/insights/the-history-and-future-of-cad-cam-technology/>
6. LUKEŠ, Michal. Aplikace CAD/CAM softwaru PowerMILL pro tvorbu NC programu, : Diplomová práce. Brno: Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie, 2007. 60 s, 4 přílohy. Ing. Aleš Polzer.
7. Technicalfoamservices.co.uk [online]. [cit. 2020-04-05]. Dostupné z: <https://www.technicalfoamservices.co.uk/blog/cad-cam-advantages-disadvantages/>
8. Arcvertex.com [online]. [cit. 2020-04-05]. Dostupné z: <https://www.arcvertex.com/article/advantages-and-disadvantages-of-using-computer-aided-design-cad/>
9. Bizfluent.com [online]. [cit. 2020-04-05]. Dostupné z: <https://bizfluent.com/12750555/the-advantages-and-disadvantages-of-cadcam>
10. Knowledge.autodesk.com [online]. [cit. 2020-04-05]. Dostupné z: <https://knowledge.autodesk.com/support/powermill/getting-started/caas/CloudHelp/cloudhelp/2020/ENU/PWRM-GettingStarted/files/GUID-9C4B14FB-F5AC-425A-908D-5C1F1D452909-htm.html>
11. Manufacturinglounge.com [online]. [cit. 2020-04-05]. Dostupné z: <http://www.manufacturinglounge.com/autodesk-launches-powermill-2020/>
12. Autodesk.com [online]. [cit. 2020-04-05]. Dostupné z: <https://www.autodesk.com/products/powermill/new-features>
13. Damassets.autodesk.net [online]. [cit. 2020-04-05]. Dostupné z: <https://damassets.autodesk.net/content/dam/autodesk/www/pdfs/powermill-2020-whats-new-flyer-a4.pdf>
14. Knowledge.autodesk.com [online]. [cit. 2020-04-05]. Dostupné z: <https://knowledge.autodesk.com/support/powermill/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2020/ENU/PWRM->

[WhatsNew/files/GUID-82F32D8C-5785-45C4-8A70-65319133259D-htm.html](https://www.whatsnew.com/files/GUID-82F32D8C-5785-45C4-8A70-65319133259D-htm.html)

15. Bahnini, I., Rivette, M., Rechia, A. et al. Additive manufacturing technology: the status, applications, and prospects. *Int J Adv Manuf Technol* 97, 147–161 (2018). <https://doi.org/10.1007/s00170-018-1932-y>
16. Hindawi.com [online]. [cit. 2020-04-05]. Dostupné z: <https://www.hindawi.com/journals/complexity/2019/9656938/>
17. SATISH PRAKASH, K., T. NANCHARAIH a V.V. SUBBA RAO. Additive Manufacturing Techniques in Manufacturing -An Overview, [online]. 2018, , 3873-3882 [cit. 2020-04-05]. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2017.11.642>. ISSN ISSN 2214-7853. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214785317329152>
18. GISARIO, Annamaria, Michele KAZARIAN, Filomeno MARTINA a Mehrshad MEHRPOUYA. Metal additive manufacturing in the commercial aviation industry: A review. *Journal of Manufacturing Systems* [online]. 2019, , 124-149 [cit. 2020-04-05]. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2019.08.005>. ISSN ISSN 0278-6125. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0278612519300731>
19. Guo, N., Leu, M.C. Additive manufacturing: technology, applications and research needs. *Front. Mech. Eng.* 8, 215–243 (2013). <https://doi.org/10.1007/s11465-013-0248-8>
20. AHANGAR, Pouyan, Megan COOKE, Michael H. WEBER a Derek ROSENZWEIG. Current Biomedical Applications of 3D Printing and Additive Manufacturing. *Applied Sciences* [online]. 2019, (9(8):1713) [cit. 2020-04-06]. DOI: DOI: 10.3390/app9081713. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/332643806_Current_Biomedical_Applications_of_3D_Printing_and_Additive_Manufacturing
21. New.siemens.com [online]. [cit. 2020-04-06]. Dostupné z: <https://new.siemens.com/global/en/products/energy/topics/additive-manufacturing.html>
22. PEKO, Ivan, Nikola GJELDUM a Bozenko BILIC. Application of AHP, fuzzy AHP and PROMETHEE method in solving additive manufacturing process selection problem. *Tehnicki Vjesnik* [online]. 2018, (25(2) [cit. 2020-04-06]. DOI: DOI: 10.17559/TV-20170124092906. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/324694277_Application_of_AHP_fuzzy_AHP_and_PROMETHEE_method_in_solving_additive_manufacturing_process_selection_problem
23. All3dp.com [online]. [cit. 2020-04-06]. Dostupné z: <https://all3dp.com/2/stereolithography-3d-printing-simply-explained/>
24. Manufacturingguide.com [online]. [cit. 2020-04-06]. Dostupné z: <https://www.manufacturingguide.com/en/solid-ground-curing-sgc>

25. KITSAKIS, Konstantinos, Z. MOZA, Vassilis IAKOVAKIS, Nikos E MASTORAKIS a John KECHAGIAS. An investigation of dimensional accuracy of Multi-Jet Modeling parts [online]. 2015 [cit. 2020-04-06]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/286924354_An_investigation_of_dimensional_accuracy_of_Multi-Jet_Modeling_parts
26. 3dsystems.com [online]. [cit. 2020-04-06]. Dostupné z: <https://www.3dsystems.com/resources/information-guides/multi-jet-printing/mjp>
27. Livescience.com [online]. [cit. 2020-04-06]. Dostupné z: <https://www.livescience.com/40310-laminated-object-manufacturing.html>
28. SAFARI, A. a M. ALLAHVERDI. Electroceramics: Rapid Prototyping. Encyclopedia of Materials: Science and Technology [online]. 2. 2001, , 2510-2518 [cit. 2020-04-08]. DOI: <https://doi.org/10.1016/B0-08-043152-6/00454-X>. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/laminated-object-manufacturing>
29. LEE, Joshua, Afeesh Rajan UNNITHAN, Chan Hee PARK a Cheol Sang KIM. 3D bioprinting for active drug delivery. Biomimetic Nanoengineered Materials for Advanced Drug Delivery [online]. 2019, , 61-72 [cit. 2020-04-08]. DOI: <https://doi.org/10.1016/B0-08-043152-6/00454-X>. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/topics/materials-science/fused-deposition-modeling>
30. Livescience.com [online]. [cit. 2020-04-06]. Dostupné z: <https://www.livescience.com/39810-fused-deposition-modeling.html>
31. MORITZ, Tassilo a Saeed MALEKSAEEDI. Additive manufacturing of ceramic components. Additive Manufacturing: Materials, Processes, Quantifications and Applications [online]. 2018, , 105-161 [cit. 2020-04-08]. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812155-9.00004-9>. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/topics/materials-science/selective-laser-melting>
32. I.pinimg.com [online]. [cit. 2020-04-06]. Dostupné z: <https://i.pinimg.com/564x/85/e8/40/85e840c6bfd2112cdb255e634cdf035d.jpg>
33. All3dp.com [online]. [cit. 2020-04-06]. Dostupné z: <https://all3dp.com/2/selective-laser-melting-slm-3d-printing-simply-explained/>
34. LÖFFLER, K. Developments in disk laser welding. Handbook of Laser Welding Technologies: Woodhead Publishing Series in Electronic and Optical Materials [online]. 2013, , 73-102 [cit. 2020-04-08]. DOI: <https://doi.org/10.1533/9780857098771.1.73>. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/laser-metal-deposition>

35. Spilasers.com [online]. [cit. 2020-04-06]. Dostupné z:
<https://www.spilasers.com/application-additive-manufacturing/what-is-laser-metal-deposition/>
36. SINGH, R., S. SINGH a M.S.J. HASHMI. Implant Materials and Their Processing Technologies. Reference Module in Materials Science and Materials Engineering [online]. 2016 [cit. 2020-04-08]. DOI:
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803581-8.04156-4>. Dostupné z:
<https://www.sciencedirect.com/topics/materials-science/direct-metal-laser-sintering>
37. 3dprintingmedia.network [online]. [cit. 2020-04-06]. Dostupné z:
<https://www.3dprintingmedia.network/additive-manufacturing/am-technologies/what-is-3dp-binder-jetting/>
38. Ge.com [online]. [cit. 2020-04-06]. Dostupné z:
<https://www.ge.com/additive/additive-manufacturing>
39. Lboro.ac.uk [online]. [cit. 2020-04-06]. Dostupné z:
<https://www.lboro.ac.uk/research/amrg/about/the7categoriesofadditivemanufacturing/>
40. YANG, Li, Keng HSU, Donald GODFREY, Francisco MEDINA, Mamballykalathil MENON a Soeren WIENER. Additive Manufacturing of Metals: The Technology, Materials, Design and Production [online]. 2017 [cit. 2020-04-07]. DOI: 10.1007/978-3-319-55128-9. ISBN 978-3-319-55128-9.
41. Spilasers.com [online]. [cit. 2020-04-07]. Dostupné z:
<https://www.spilasers.com/application-additive-manufacturing/additive-manufacturing-materials/>
42. Ge.com [online]. [cit. 2020-04-07]. Dostupné z:
<https://www.ge.com/additive/additive-manufacturing>
43. Agru.at [online]. [cit. 2020-04-07]. Dostupné z:
https://www.agru.at/fileadmin/user_upload/images/news/3D-filaments/AGRU-filaments-3D-960.jpg
44. Ge.com [online]. [cit. 2020-04-07]. Dostupné z:
<https://www.ge.com/additive/additive-manufacturing/information/metal-additive-manufacturing-materials>
45. 3d-alchemy.co.uk [online]. [cit. 2020-04-07]. Dostupné z:
<https://www.3d-alchemy.co.uk/3d-printing-in-gold.html>
46. I.pinimg.com [online]. [cit. 2020-04-07]. Dostupné z:
<https://i.pinimg.com/564x/d6/40/16/d64016c7b52e5278179a529fd5bd1f48.jpg>
47. YAKOUT, Mostafa a Mohamed ELBESTAWI. Additive Manufacturing of Composite Materials: An Overview [online]. 2017 [cit. 2020-04-07]. Dostupné z:

<https://www.researchgate.net/publication/316688880> Additive Manufacturing of Composite Materials An Overview

48. PARK, Soo-Jin a Min-Kang SEO. Interface Science and Technology: Chapter 7 - Types of Composites [online]. 2011, 18, 501-629 [cit. 2020-04-07]. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-375049-5.00007-4>. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/topics/materials-science/polymer-matrix-composites>
49. MALLICK, P.K. Interface Science and Technology: 2 - Advanced materials for automotive applications: an overview [online]. 2012, , 5-27 [cit. 2020-04-07]. DOI: <https://doi.org/10.1533/9780857095466.5>. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/topics/materials-science/metal-matrix-composite>
50. Industrystarsolutions.com [online]. [cit. 2020-04-07]. Dostupné z: <https://www.industrystarsolutions.com/blog/2018/09/4-major-advantages-additive-manufacturing/>
51. Twi-global.com [online]. [cit. 2020-04-07]. Dostupné z: <https://www.twi-global.com/technical-knowledge/faqs/what-is-3d-printing/pros-and-cons>
52. Gesrepair.com [online]. [cit. 2020-04-07]. Dostupné z: <https://gesrepair.com/what-are-the-pros-and-cons-of-additive-manufacturing/>
53. KUMAR, Manish, Abhay SHARMA, Uttam Kumar MOHANTY a Suryakumar SIMHAMBHATLA. Additive Manufacturing with Welding [online]. 2019 [cit. 2020-04-07]. DOI: DOI: 10.1201/9781351234825-5. Dostupné z: <https://www.researchgate.net/publication/330202713> Additive Manufacturing with Welding
54. SILVA, R.J., G.F. BARBOSA a J. CARVALHO. Additive Manufacturing of Metal Parts by Welding [online]. 2015, , 2318-2322 [cit. 2020-04-07]. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2015.06.433>. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405896315006722>
55. WU, Bintao, Zengxi PAN, Donghong DING, Dominic CUIURI, Huijun LI, Jing XU a John NORRISH. A review of the wire arc additive manufacturing of metals: properties, defects and quality improvement [online]. 2018, (35), 127-139 [cit. 2020-04-07]. DOI: A review of the wire arc additive manufacturing of metals: properties, defects and quality improvement. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com.ezproxy.lib.vutbr.cz/science/article/pii/S1526612518310739>
56. Twi-global.com [online]. [cit. 2020-04-07]. Dostupné z: <https://www.twi-global.com/technical-knowledge/job-knowledge/arc-based-additive-manufacturing-137>
57. 3dnatives.com [online]. [cit. 2020-04-07]. Dostupné z: <https://www.3dnatives.com/en/electron-beam-melting100420174/>

58. [online]. [cit. 2020-04-07]. Dostupné z:
https://d2n4wb9orp1vta.cloudfront.net/cms/1602_am_possibilitiesofebam_0.jpg;width=550;quality=60
59. Materialise.com [online]. [cit. 2020-04-07]. Dostupné z:
<https://www.materialise.com/en/blog/5-easy-ways-to-remove-metal-support-structures>
60. Protocam.com [online]. [cit. 2020-04-07]. Dostupné z:
<https://www.protocam.com/learningcenter/blog/bead-blasting-additive-manufacturing-protocam/>
61. Machinedesign.com [online]. [cit. 2020-04-07]. Dostupné z:
<https://www.machinedesign.com/3d-printing-cad/article/21832012/how-to-smooth-3dprinted-parts>
62. Makepartsfast.com [online]. [cit. 2020-04-07]. Dostupné z:
<https://www.makepartsfast.com/choosing-finishing-method-additive-manufacturing/>
63. Industrialheating.com [online]. [cit. 2020-04-07]. Dostupné z:
<https://www.industrialheating.com/articles/93048-heat-treating-3d-printed-metals>
64. Engineering.com [online]. [cit. 2020-04-07]. Dostupné z:
<https://www.engineering.com/AdvancedManufacturing/ArticleID/19881/The-Importance-of-Surface-Finish-in-Additive-Manufacturing.aspx>
65. KUMBHAR, Nikhil Nivrutti a Arati MULAY. Post Processing Methods used to Improve Surface Finish of Products which are Manufactured by Additive Manufacturing Technologies: A Review [online]. 2016 [cit. 2020-04-07]. DOI: DOI: 10.1007/s40032-016-0340-z. Dostupné z:
https://www.researchgate.net/publication/307438198_Post_Processing_Methods_used_to_Improve_Surface_Finish_of_Products_which_are_Manufactured_by_Additive_Manufacturing_Technologies_A_Review
66. GRZESIK, Wit. Hybrid additive and subtractive manufacturing processes and systems: A review [online]. 2018 [cit. 2020-04-07]. DOI: DOI: 10.5604/01.3001.0012.7629. Dostupné z:
https://www.researchgate.net/publication/329421387_Hybrid_additive_and_subtractive_manufacturing_processes_and_systems_A_review
67. Additivenews.com [online]. [cit. 2020-04-07]. Dostupné z:
<https://additivenews.com/whats-hybrid-manufacturing-advantages-materials-market-leaders/>
68. Amfg.ai [online]. [cit. 2020-04-07]. Dostupné z:
<https://amfg.ai/2018/07/10/hybrid-technology-the-future-of-manufacturing/>
69. Res.cloudinary.com [online]. [cit. 2020-04-07]. Dostupné z:
https://res.cloudinary.com/engineering-com/image/upload/w_640,h_640,c_limit,q_auto,f_auto/Banner_kk8qat.jpg

70. Manufacturinglounge.com [online]. [cit. 2020-04-07]. Dostupné z: <http://www.manufacturinglounge.com/combining-additive-subtractive-techniques-hybrid-manufacturing/>
71. LIOU, Frank, Kevin SLATTERY, Mary KINSELLA a Joseph NEWKIRK. Applications of a hybrid manufacturing process for fabrication of metallic structures. Rapid Prototyping Journal [online]. 2007, 13, 236-264 [cit. 2020-04-08]. DOI: DOI: 10.1108/13552540710776188. Dostupné z: [https://www.researchgate.net/publication/235280967 Applications of a hybrid manufacturing process for fabrication of metallic structures](https://www.researchgate.net/publication/235280967_Applications_of_a_hybrid_manufacturing_process_for_fabrication_of_metallic_structures)
72. Oerlikon.com [online]. [cit. 2020-04-08]. Dostupné z: https://www.oerlikon.com/ecomaXL/files/metco/oerlikon_COMP6.png?w=457
73. 3dprintingmedia.network [online]. [cit. 2020-04-08]. Dostupné z: <https://www.3dprintingmedia.network/the-top-ten-hybrid-manufacturing-companies/>
74. Strojirenstvi.cz [online]. [cit. 2020-04-08]. Dostupné z: <https://www.strojirenstvi.cz/hybridni-vyroba-spojuje-3d-tisk-s-presnym-obrabenim>
75. Cz.dmgmori.com [online]. [cit. 2020-04-08]. Dostupné z: https://cz.dmgmori.com/resource/image/396770/product_picture/xlg/3/lasertec-125-3d-hybrid-product-picture.png
76. Cz.dmgmori.com [online]. [cit. 2020-04-08]. Dostupné z: <https://cz.dmgmori.com/produkty/stroje/aditivni-vyroba/praskovatriska/lasertec-65-3d-hybrid>
77. Docplayer.cz [online]. [cit. 2020-04-08]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/105925150-Hybridni-technologie-a-jejich-moznosti-stroje-rady-lasertec.html>
78. Mazakfiles.blob.core.windows.net [online]. [cit. 2020-04-08]. Dostupné z: https://mazakfiles.blob.core.windows.net/web-site/image/machine/large/00e387a5-2b5b-4815-b490-3c5898fedd72/INTEGREX_i-400SAM_LMD_AHC_800x600.png
79. Mazakeu.cz [online]. [cit. 2020-04-08]. Dostupné z: <https://www.mazakeu.cz/cs/machines/integrex-i-400/>
80. Additivemanufacturing.media [online]. [cit. 2020-04-08]. Dostupné z: <https://www.additivemanufacturing.media/articles/hermle-combines-metal-powder-application-process-with-five-axis-machining>
81. Additivemanufacturing.media [online]. [cit. 2020-04-08]. Dostupné z: https://www.3dprintingmedia.network/wp-content/uploads/2019/02/hermle-mpa-innenraum-ansicht1-tb-rgb_ret-640x394.jpg
82. Cad.cz [online]. [cit. 2020-04-08]. Dostupné z: https://www.cad.cz/images/stories/aktuality/2014/10/Siemens_NX_10-CAM_Mold-1441.jpg

83. Lumex-matsuura.com [online]. [cit. 2020-04-08]. Dostupné z: <https://www.lumex-matsuura.com/english/lumex-avance-60>
84. I.pinimg.com [online]. [cit. 2020-04-08]. Dostupné z: <https://i.pinimg.com/originals/25/62/58/256258a440b1a2010492e28aec23f6b.jpg>
85. Kovosvit.cz [online]. [cit. 2020-04-08]. Dostupné z: <https://www.kovosvit.cz/weldprint-mcv-5x-p44.html#technicaldata>
86. Kovosvit.cz [online]. [cit. 2020-04-08]. Dostupné z: https://www.kovosvit.cz/ext_apps/tiny_mce/phpThumb/phpThumb.php?f=jpeg&q=95&zc=1&src=https://www.kovosvit.cz/galerie/lightproducts_produkty_cs/1540366136_cs_1_429_weldprint.jpg&bg=ffffff&zc=0
87. T-led.cz [online]. [cit. 2020-09-08]. Dostupné z: <https://www.t-led.cz/p/led-pasek-cct-cct18w12v-78071>
88. Zare.it [online]. [cit. 2020-09-08]. Dostupné z: <https://www.zare.it/en/materials/aluminium-alsi10mg>
89. Proto3000.com [online]. [cit. 2020-09-08]. Dostupné z: <https://proto3000.com/materials/dmls-aluminum-2/>
90. Techportal.cz [online]. [cit. 2020-09-09]. Dostupné z: https://www.techportal.cz/searchcontent.phtml?getFile=2AXR_TUAMiBFGAgUc6BzY5pKR4a_RmSdJyeRJhvvhWt6GT3USXlrODF32bS3UUhLQzuL5aEnWu-NsFmbGrQqRg
91. 3d-tisk.cz [online]. [cit. 2020-09-08]. Dostupné z: <https://www.3d-tisk.cz/hybridni-petiose-cnc-centrum-frezuje-i-tiskne-kov/>
92. Cad.cz [online]. [cit. 2020-09-08]. Dostupné z: <https://www.cad.cz/aktuality/77-aktuality/8663-3d-hybrid-nabizi-3d-tisk-kovu-u-vsech-cnc-stroju.html>

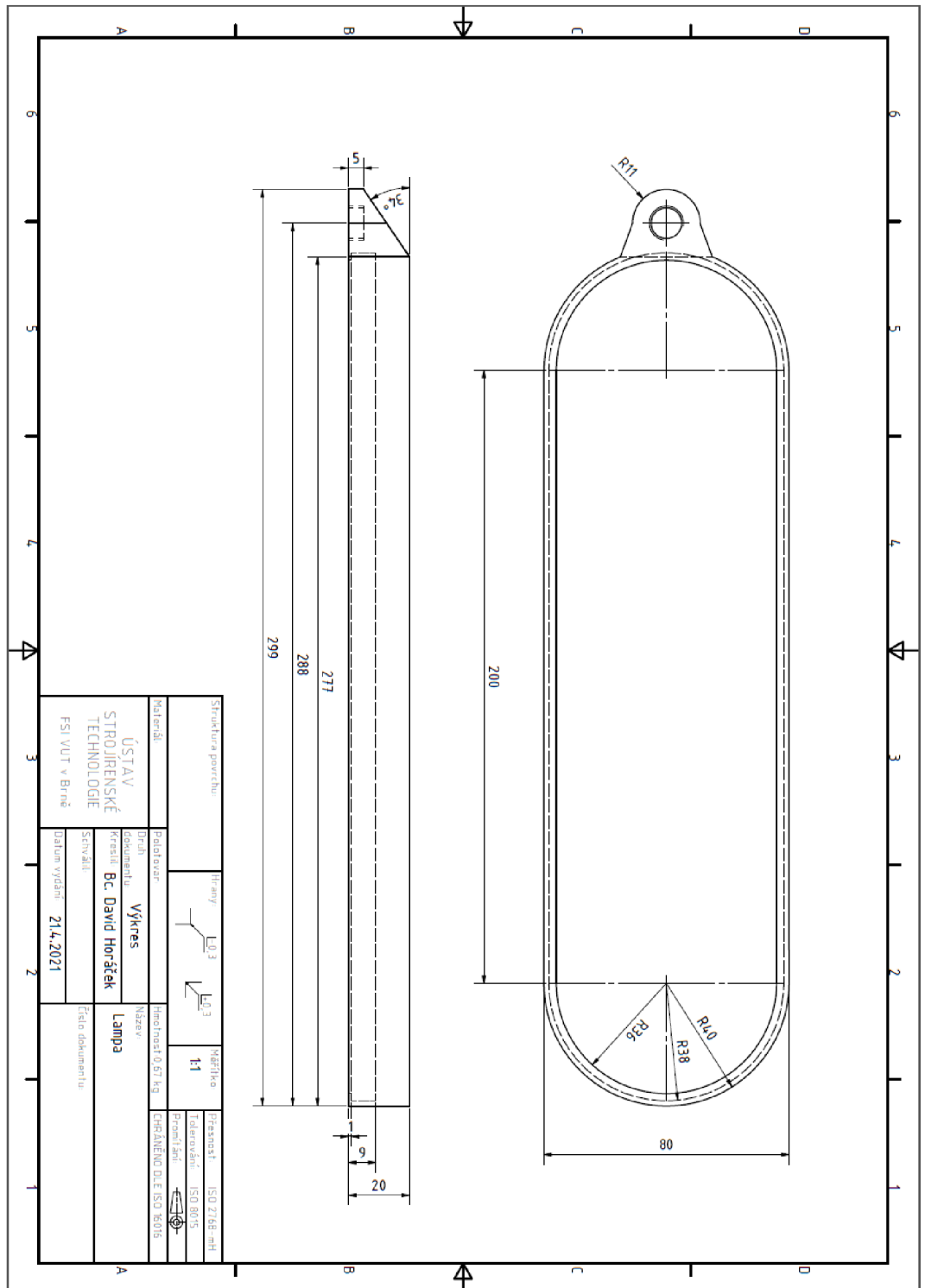
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Zkratka/Symbol	Jednotka	Popis
CAD	-	Computer Aided Design - počítačem podporované navrhování
CAM	-	Computer Aided Manufacturing - počítačem podporovaná výroba
CNC	-	Computer Numerical Control
NC	-	Numerical Control
SLA	-	Stereolitografie
SGC	-	Solid Ground Cutting
MJM	-	Multi-jet modeling
LOM	-	Laminated object manufacturing
FDM	-	Fused deposition modeling
SLS	-	Selective laser sintering
SLM	-	Selective laser melting
LMD	-	Laser metal deposition
DMLS	-	Direct Metal Laser Sintering
3DP	-	3D Printing
UAM	-	Ultrasound Additive Manufacturing
EBM	-	Electron Beam Melting
Si ₃ N ₄	-	Nitrid křemičitý
Al ₂ O ₃	-	Oxid hlinitý
SiO ₂	-	Oxid křemičitý
ZrB ₂	-	Zirconium diboride
PLA	-	Kyselina polymléčná
ABS	-	Akrylonitrilbutadienstyren
WAAM	-	Wire Arc Additive Manufacturing
EBAM	-	Electron Beam Additive Manufacturing
LAM	-	Liquid Additive Manufacturing
WAM	-	Wire additive manufacturing

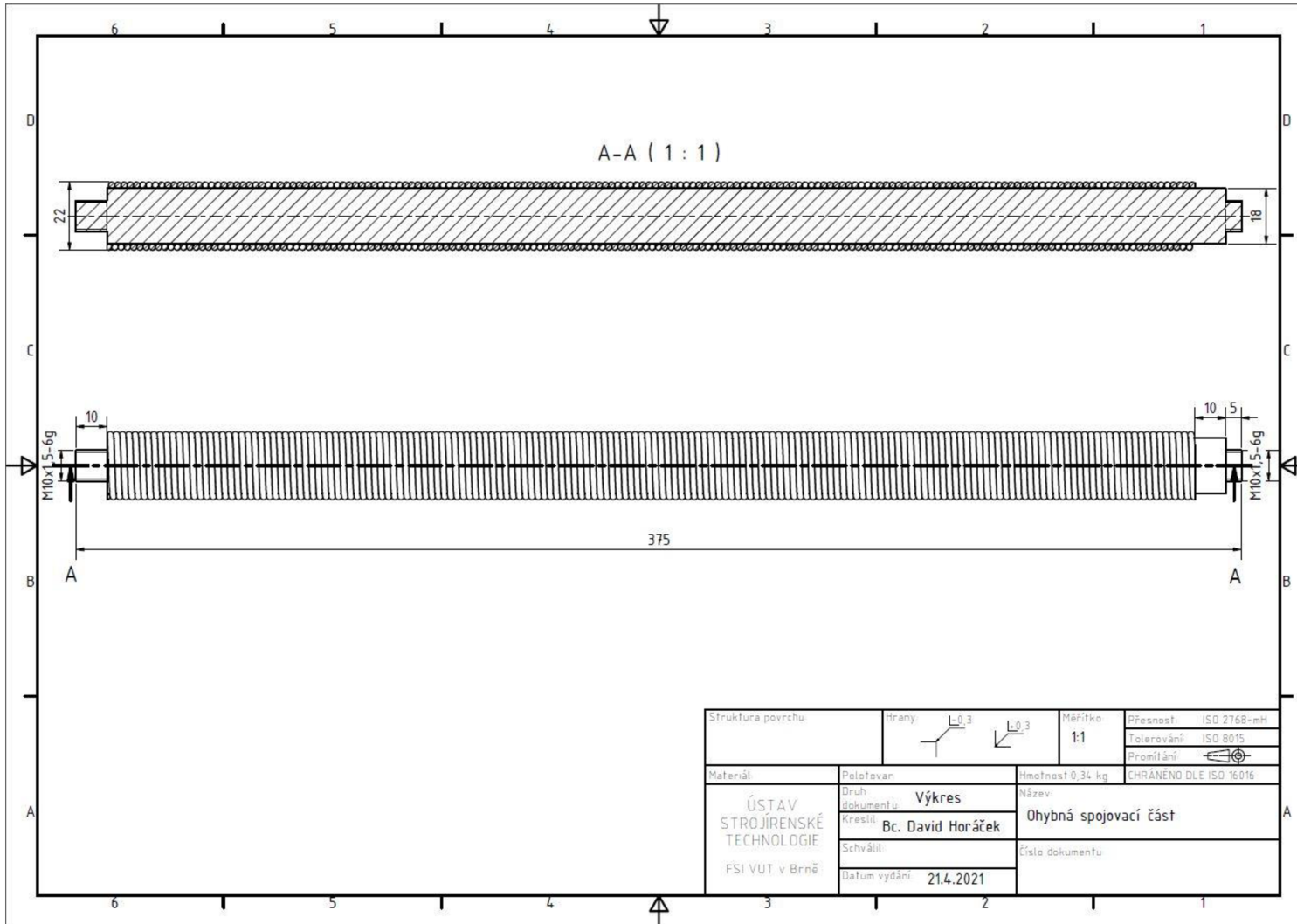
SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha 1 Výkres součásti lampy
- Příloha 2 Výkres spojovací součásti
- Příloha 3 Výkres součásti nabíjecí základny
- Příloha 4 Výkres kompletního návrhu nabíjecí stanice

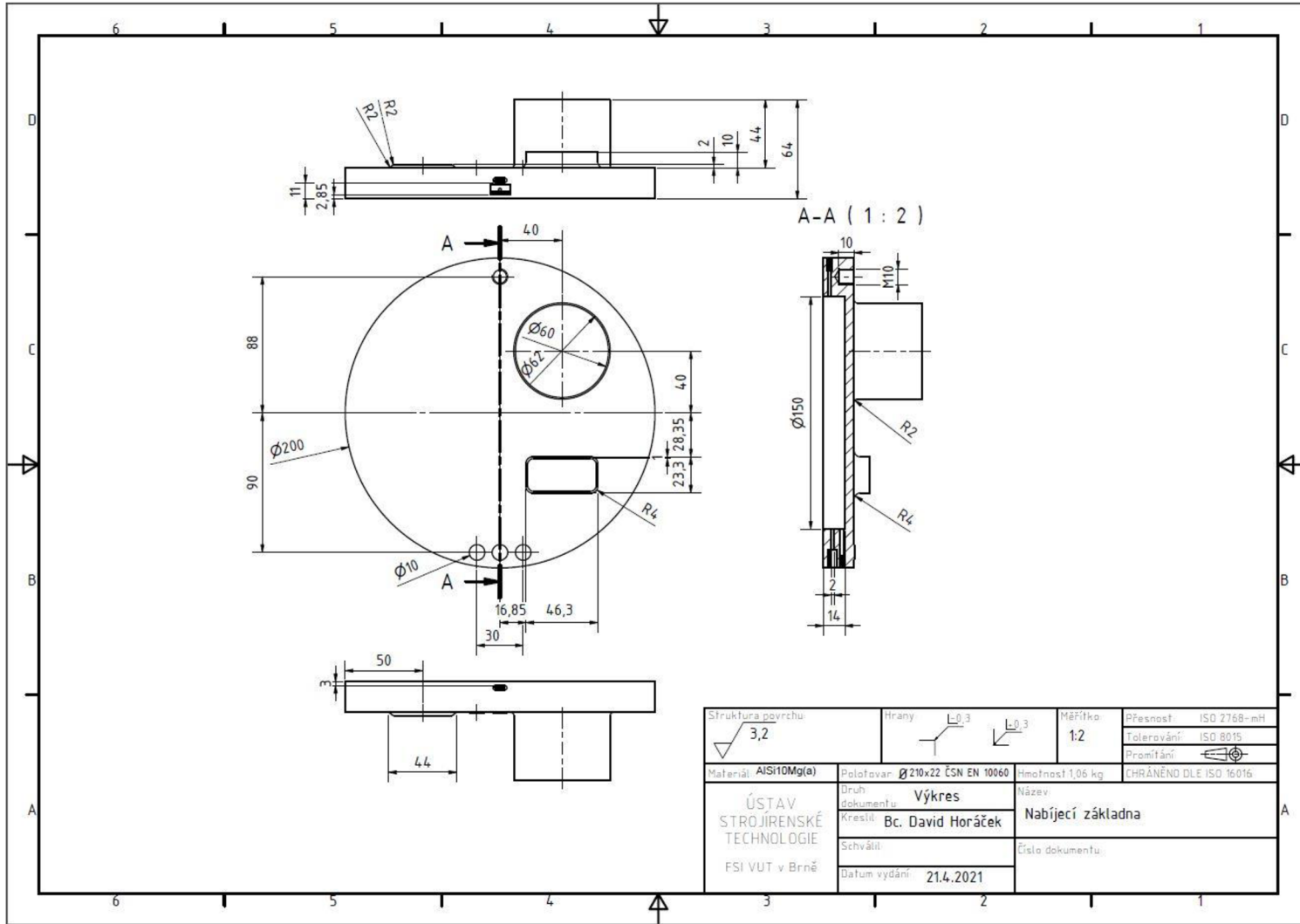
PŘÍLOHA 1



PŘÍLOHA 2



PŘÍLOHA 3



PŘÍLOHA 4

