

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI**  
**FAKULTA STROJNÍ**

**Studijní program:** B0715A270013S02 – Strojní inženýrství  
**Studijní specializace:** Strojírenská technologie – technologie obrábění

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**Návrh technologie výroby a posouzení technologičnosti konstrukce daného dílce**

**Autor:** Jan MARCEL  
**Vedoucí práce:** Ing. Luboš Kroft, Ph.D.

Akademický rok 2022/2023

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta strojní

Akademický rok: 2022/2023

# ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Jan MARCEL**  
Osobní číslo: **S22B0006P**  
Studijní program: **B0715A270013 Strojní inženýrství**  
Specializace: **Strojírenská technologie-technologie obrábění**  
Téma práce: **Návrh technologie výroby a posouzení technologičnosti konstrukce daného dílce**  
Zadávající katedra: **Katedra technologie obrábění**

## Zásady pro vypracování

1. Úvod do problematiky a cíle řešení
2. Technologičnost konstrukce a její vliv na výrobní technologii
3. Posouzení technologičnosti konstrukce daného dílce
4. Návrh konstrukčních úprav s ohledem na výrobu dílce
5. Návrh a realizace výrobní technologie zadaného dílce
6. Praktická ověření navržené technologie
7. Závěr

Rozsah bakalářské práce: **30 – 40 stran**  
Rozsah grafických prací: **dle potřeby**  
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

- Mádl, Jan; Zelenka, Antonín; Vrabec Martin. Technologičnost konstrukce: obrábění a montáže. Praha, 2005. ISBN 80-01-03288-4.
- Zelenka, Antonín; Král Mirko. Projektování výrobních systémů. Praha, 1995. ISBN 80-01-01302-2.
- Elektronické informační zdroje dostupné z [www.knihovna.zcu.cz](http://www.knihovna.zcu.cz).
- CIRP ANNALS – Manufacturing Technology: (<http://www.cirp.net/>).
- SANDVIK Coromant, Sandviken: Technická příručka obrábění, dostupné z: <http://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/>
- Elektronické informační zdroje.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Luboš Kroft, Ph.D.**  
Katedra technologie obrábění

Konzultant bakalářské práce: **Ing. Václav Marek, Ph.D.**  
Regionální technologický institut

Datum zadání bakalářské práce: **17. října 2022**  
Termín odevzdání bakalářské práce: **26. května 2023**

L.S.

---

**Doc. Ing. Vladimír Duchek, Ph.D.**  
děkan

---

**Doc. Ing. Jan Řehoř, Ph.D.**  
vedoucí katedry

## **Prohlášení o autorství**

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou práci zpracovanou na závěr studia na Fakultě strojní Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské práce.

V Plzni dne: .....

.....

podpis autora

## **Poděkování**

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu bakalářské práce panu Ing. Luboši Kroftovi, Ph.D za profesionální přístup, odborné konzultace a věcné rady. Dále děkuji panu Ing. Václavu Markovi, Ph.D. za CAD model zadaného dílce a konzultace konstrukčních úprav. Také děkuji Bc. Vítu Kroužeckému za věcné rady týkající se 3D tisku kovů.

## ANOTAČNÍ LIST BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

<b>AUTOR</b>	<b>Příjmení</b> Marcel	<b>Jméno</b> Jan	
<b>STUDIJNÍ PROGRAM</b>	B0715A270013S02 Strojní inženýrství		
<b>VEDOUcí PRÁCE</b>	<b>Příjmení (včetně titulů)</b> Ing. Kroft, Ph.D	<b>Jméno</b> Luboš	
<b>PRACOVISŤE</b>	ZČU - FST – KTO		
<b>DRUH PRÁCE</b>	<b>DIPLOMOVÁ</b>	<b>BAKALÁŘSKÁ</b>	<b>Nehodící se škrtněte</b>
<b>NÁZEV PRÁCE</b>	Návrh technologie výroby a posouzení technologičnosti konstrukce daného dílce		

<b>FAKULTA</b>	strojní	<b>KATEDRA</b>	KTO	<b>ROK ODEVZD.</b>	2023
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

### POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

<b>CELKEM</b>	48	<b>TEXTOVÁ ČÁST</b>	46	<b>GRAFICKÁ ČÁST</b>	2
---------------	----	---------------------	----	----------------------	---

<b>STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK)</b> <b>ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY</b>	Bakalářská práce se zaměřuje na teorii technologičnosti konstrukce, posuzování technologičnosti a její vliv na výběr technologie výroby. Dále se zabývá konstrukční úpravou součásti pro zlepšení technologičnosti konstrukce a návrhem technologie výroby upravené součásti. Navržená technologie je ověřena v simulaci a její výsledky jsou porovnány s technologií výroby 3D tiskem.
<b>KLÍČOVÁ SLOVA</b> <b>ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE</b>	technologičnost 3D tisk obrábění frézování CAM

## SUMMARY OF BACHELOR SHEET

<b>AUTHOR</b>	Surname Marcel	Name Jan	
<b>STUDY PROGRAMME</b>	B0715A270013S02 Mechanical Engineering		
<b>SUPERVISOR</b>	Surname (Inclusive of Degrees) Ing. Kroft, Ph.D	Name Luboš	
<b>INSTITUTION</b>	ZČU - FST - KTO		
<b>TYPE OF WORK</b>	<del>DIPLOMA</del>	<b>BACHELOR</b>	Delete when not applicable
<b>TITLE OF THE WORK</b>	Design of production technology and assessment of the technological feasibility of the design of the part		

<b>FACULTY</b>	Mechanical Engineering	<b>DEPARTMENT</b>	KTO	<b>SUBMITTED IN</b>	2023
----------------	------------------------	-------------------	-----	---------------------	------

### NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

<b>TOTALLY</b>	48	<b>TEXT PART</b>	46	<b>GRAPHICAL PART</b>	2
----------------	----	------------------	----	-----------------------	---

<b>BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS</b>	The bachelor thesis focuses on the theory of technological feasibility, assessment of technology and its influence on the selection of production technology. It also deals with the design modification of the component to improve the design manufacturability and the design of the production technology of the modified component. The proposed technology is verified in simulation and its results are compared with the 3D printing manufacturing technology.
<b>KEY WORDS</b>	feasibility 3D printing machining milling CAM

## Obsah

Zadání BP .....	2
Prohlášení o autorství .....	4
Poděkování .....	5
Přehled použitých zkratk a symbolů.....	10
Seznam obrázků .....	11
Seznam tabulek .....	12
1 Úvod do problematiky a cíle řešení.....	13
1.1 Aktuální a budoucí využití 3D tisku.....	13
1.2 Aktuální stav a budoucnost CNC obrábění .....	13
1.3 Cíle Bakalářské práce .....	14
1.4 Popis zadaného dílce .....	14
2 Výběr technologie výroby s ohledem na její vlastnosti .....	15
2.1.1 Vlastnosti 3D tisku .....	15
2.1.2 Vlastnosti CNC obrábění .....	15
2.1.3 Výběr vhodné technologie výroby .....	16
3 Technologičnost konstrukce a její vliv na výrobní technologii .....	17
3.1 Pojem technologičnost konstrukce .....	17
3.2 Základní požadavky na konstrukci .....	17
3.3 Obecné zásady technologičnosti konstrukce relativní pro zadanou součást .....	18
3.3.1 Výrobní náklady .....	18
3.3.2 Pracnost výroby .....	18
3.3.3 Materiál součásti .....	18
3.3.4 Polotovar .....	18
3.3.5 Přístup nástroje k obrobku a pružné deformace nástroje .....	19
3.3.6 Počet upnutí.....	20
3.3.7 Tloušťka stěny.....	20
3.3.8 Množství potřebných podpor .....	21
3.3.9 Postprocessing .....	21
3.4 Aplikace zásad technologičnosti konstrukce a její vliv na výrobní technologii.....	22
4 Posouzení technologičnosti konstrukce daného dílce .....	23
4.1 Zadaný dílec .....	23
4.2 Aktuální technologičnost konstrukce daného dílce .....	24
4.2.1 Technologičnost relevantní pro 3D tisk .....	24



4.2.2	Technologičnost relevantní pro obrábění na 5-osé CNC frézce .....	25
4.2.3	Vyhodnocení aktuálního stavu .....	26
5	Návrh konstrukčních úprav s ohledem na výrobu dílce .....	27
6	Návrh, realizace a ověření výrobní technologie daného dílce v simulaci .....	29
6.1	První návrh výrobní technologie .....	29
6.2	Druhý návrh výrobní technologie.....	30
6.2.1	Čelo a obruba – operace 1, 2 .....	30
6.2.2	Pomocné hrubování drážky – operace 3 .....	30
6.2.3	Hrubování tvaru mělké drážky – operace 4 .....	31
6.2.4	První hrubování hluboké drážky – operace 5 .....	32
6.2.5	Obrobení malého sražení – operace 6 .....	33
6.2.6	Hrubování boků „křidélek“ – operace 7.....	34
6.2.7	Druhé hrubování hluboké drážky – operace 8 .....	35
6.2.8	Dokončení boků mělké drážky – operace 9 .....	35
6.2.9	Dokončení boků „křidélek“ – operace 10 .....	36
6.2.10	Dokončení spodní plochy mělké drážky – operace 11.....	36
6.2.11	Třetí hrubování hluboké drážky a dokončení její vnější stěny – operace 12 .....	37
6.2.12	Dokončení vnitřní stěny hluboké drážky – operace 13 .....	38
6.2.13	Hrubování vtokového vybrání – operace 14 .....	39
6.2.14	Dokončení vtokového vybrání – operace 15.....	40
7	Diskuse výsledků navržené obráběcí technologie a technologie 3D tisku.....	41
7.1	Shrnutí výsledků druhého návrhu obráběcí výrobní technologie .....	41
7.1.1	Hůře obrobená místa .....	41
7.1.2	Shrnutí výsledků druhého návrhu technologie .....	42
7.1.3	Použité nástroje .....	42
7.1.4	Obráběcí čas .....	43
7.2	Shrnutí technologie 3D tisku .....	43
7.3	Porovnání technologií.....	43
8	Závěr.....	44
	Zdroje .....	45
	PŘÍLOHA č. 1 .....	i

## Přehled použitých zkratk a symbolů

3D	trojrozměrný
CNC	počítačové číslicové řízení (computer numeric control)
DMLS	přímé spékání kovů laserem(direct metal laser sintering)
mm	milimetr
RTI	Regionální technologický institut
TPU	Termoplastický Polyuretan (Thermoplastic Polyurethane)
HSS	rychlořezná ocel (high speed steel)
DLC	diamantu podobný uhlík (diamond like coating)

## Seznam obrázků

Obr. 1 Ukázka dílů vyrobených pomocí 3D tisku.....	13
Obr. 2 Zadaný dílec .....	14
Obr. 3 Základní schéma procesu 3D tisku .....	15
Obr. 4 Základní schéma procesu obrábění .....	15
Obr. 5 Graf závislosti ceny vyrobeného dílu na počtu kusů za použití různých technologií...	16
Obr. 6 Příklady normalizovaných polotovarů (kruhový, čtvercový, plochý) .....	19
Obr. 7 Příklady odlitků určených k obrábění .....	19
Obr. 8 Modulární strojní svěrák .....	20
Obr. 9 Znázornění slabostěnného CAD modelu a vytisknuté zdeformované stěny.....	20
Obr. 10 Ukázka použití samonosných úhlů bez podpor.....	21
Obr. 11 Ukázka tištěného dílu před a po postprocesingu.....	21
Obr. 12 Segment chladiče .....	23
Obr. 13 Zadaný model chladiče .....	23
Obr. 14 Problematické místo pro 3D tisk.....	24
Obr. 15 Nejslabší místo základny .....	25
Obr. 16 Obtížně obrobitelná ploška .....	26
Obr. 17 Obtížně obrobitelná hrana .....	26
Obr. 18 Konstrukční úprava chladiče.....	27
Obr. 19 Detail vtokového vybrání.....	28
Obr. 20 Používané nastavení rozměrových hodnot a barev v Solid Verify .....	29
Obr. 21 Výsledek obrobení horní plochy a základny.....	30
Obr. 22 Výsledek operace 3 .....	31
Obr. 23 Řídící křivka HSS – operace 4.....	31
Obr. 24 Výsledek operace 4 .....	32
Obr. 25 Řídící křivka – operace 5 .....	32
Obr. 26 Výsledek operace 5 .....	33
Obr. 27 Výsledek operace 6 .....	34
Obr. 28 Výsledek operace 7 .....	34
Obr. 29 Výsledek operace 8 .....	35
Obr. 30 Řídící křivka HSS – operace 9 .....	35
Obr. 31 Výsledek operace 9 .....	36
Obr. 32 Výsledek operace 10 .....	36
Obr. 33 Výsledek operace 11 .....	37
Obr. 34 Poloha řídicích křivek – operace 12.....	37

Obr. 35 Řídící křivky – operace 12 .....	38
Obr. 36 Výsledek operace 12 .....	38
Obr. 37 Řídící křivky – operace 13 .....	39
Obr. 38 Výsledek operace 13 .....	39
Obr. 39 Výsledek operace 14 .....	40
Obr. 40 Výsledek operace 15 .....	40
Obr. 41 Výsledky navržené technologie – 1 .....	41
Obr. 42 Výsledky navržené technologie – 2 .....	42
Obr. 43 Seznam použitých nástrojů .....	42

## **Seznam tabulek**

Tab. 1 Časy operací .....	43
---------------------------	----

# 1 Úvod do problematiky a cíle řešení

## 1.1 Aktuální a budoucí využití 3D tisku

Aditivní výroba je dnes využívána ve všech odvětvích průmyslu. Předpokládaný průměrný meziroční nárůst trhu s výrobou pomocí aditivních technologií je 33 %. Roku 2018 byly aditivní technologie využívány ve 4 % malých podniků zaměstnávajících 10 a více lidí. Roku 2020 se tento podíl zvýšil na 6 %. U velkých společností, zaměstnávajících nad 250 lidí, využívalo 3D tisk téhož roku dokonce 26 % firem. Z těchto společností přibližně polovina využívá 3D tiskárny ve svém vlastnictví a druhá polovina službu 3D tisku nakupuje. Z podniků využívajících kooperaci jich má 93 % v plánu nákup vlastní tiskárny. [1]

Přibližně polovina firem využívá 3D tisk pro vývoj, testování, inovaci a výrobu prototypů. Čtyřicet sedm procent společností využívá tisk jako podporu výroby a k tisku náhradních dílů. Naopak, méně než 20 % společností si pořídilo 3D tiskárnu za účelem hromadné výroby. [1]

Ve většině podniků, ať už využívajících nebo nevyužívajících této technologie, je 3D tisk vnímán jako perspektivní rychle se rozvíjející obor. Také jako snadný nástroj pro sledování trendů a inovace. S touto technologií je celkově spokojeno 86 % uživatelů. Pokud bychom se bavili o využití profesionálních tiskáren pro střední a velké výtisky, přibližuje se spokojenost uživatelů ke 100 %. Devadesát procent uživatelů by doporučilo využití technologie i ostatním společností. [1]

Z výše uvedených skutečností vyplývá, že technologie 3D tisku je v dnešní době již relativně rozšířená, přičemž se předpokládá další velice rychlé rozšiřování okruhu uživatelů 3D tisku.



Obr. 1 Ukázka dílů vyrobených pomocí 3D tisku [2]

## 1.2 Aktuální stav a budoucnost CNC obrábění

CNC obrábění prošlo dlouhými lety vývoje, díky kterému bylo docíleno vyšší rychlosti a přesnosti strojů. Dnes je CNC obrábění, ať už přímo či nepřímo, součástí prakticky všech průmyslových odvětví. [3, 4]

Budoucí vývoj v oblasti CNC obrábění je zatím nejasný. Jasně ale je, že bude cíleno na zvýšení efektivity. K vyšší efektivitě bude směřováno například rozsáhlejší implementací robotů do obráběcích procesů, než je tomu v dnešních dnech. Tomu by mělo napomoci

například již vyvinuté rozhraní, pomocí kterého lze obsluhovat jak robota, tak i CNC obráběcí stroj na jednom ovládacím panelu. [5]

V následujících letech se bude vývoj nejspíše zabývat strojovým učením (metoda využívající získaná data k předpovědím a rozhodnutím, která nebyla původně naprogramována). Z množství senzorů sledujících řezný proces, jsou získávána data, která jsou následně za pomoci algoritmů strojového učení vyhodnocována. Tyto algoritmy by měly být schopny např. optimalizovat řezné podmínky, předpovídat případnou poruchu nástroje atd. [6]

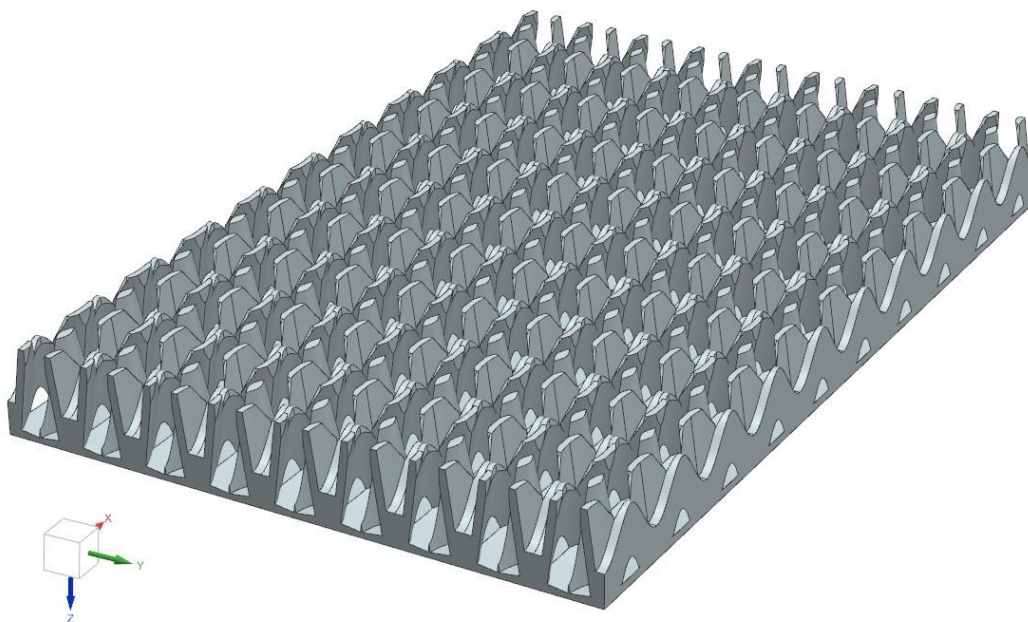
### 1.3 Cíle Bakalářské práce

Pro zadanou součást, která je stručně popsána v následující kapitole, je uvažováno nad výrobou pomocí dvou různých technologií. Je zvažována technologie aditivní, nebo subtraktivní, tedy CNC obrábění. Cílem této práce je zanalyzovat technologičnost konstrukce dané součásti a případně upravit součást tak, aby byla vyrobitelná konvenčními metodami obrábění. Následně navrhnout a zoptimalizovat technologii obrábění tak, aby byly minimalizovány časové i finanční náklady výroby. Navrženou technologii ověřit v simulaci a následně porovnat a vyhodnotit, která z technologií výroby je pro danou součást vhodnější.

V práci budete seznámeni se základní problematikou aditivních technologií a jejich využití v praxi. Následně se seznámíte s jejich výhodami a nevýhodami oproti konvenčním metodám obrábění. Největší podíl teoretické části práce bude věnován technologičnosti konstrukce. Teorie z této části bude následně aplikována na danou součást. Po vyhodnocení technologičnosti proběhne optimalizace modelu součásti pro obrábění a následně samotné navržení technologie obrábění a jeho simulace. Výsledky celého procesu optimalizace součásti a návrhu obráběcí technologie jsou uvedeny v samotném závěru práce.

### 1.4 Popis zadaného dílce

Zadaný dílec byl navržen jako chladič deska výkonného elektronického prvku. Jeho funkcí je tedy odvod přebytečného tepla z elektronického prvku. Samotný chladič bude následně teplo přenášet do chladičícího média, které bude díky nucenému oběhu proudit skrz jeho tvarovou část. Model zadaného dílce je zobrazen na Obr. 2.



Obr. 2 Zadaný dílec

## 2 Výběr technologie výroby s ohledem na její vlastnosti

### 2.1.1 Vlastnosti 3D tisku [7–9]

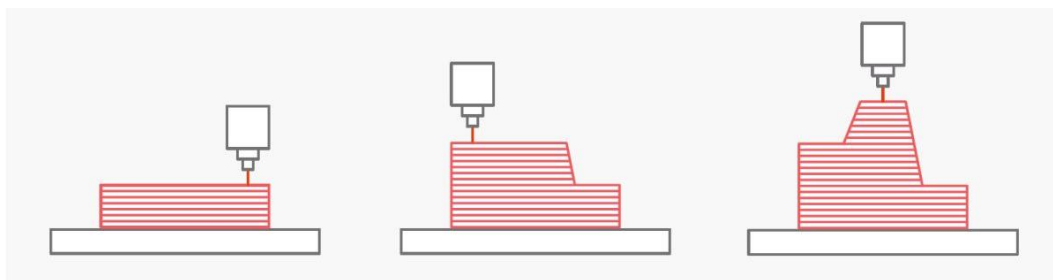
Vytištěné díly jsou výrazně anizotropní, jejich fyzikální vlastnosti v rovině tisku jsou tedy výrazně odlišné od vlastností ve směru kolmém na tyto roviny.

Rozměrová přesnost tiskáren se pohybuje v závislosti na použité metodě mezi hodnotami  $\pm 0,1 - \pm 0,5$  mm. Přičemž kvalita povrchu nemusí být dostačující pro správnou funkci ploch. Pro funkční plochy tedy může být potřebné dokončení pomocí obráběcích technologií.

Geometrické možnosti 3D tisku jsou omezené jen velmi málo, čímž se posouvá hranice možnosti výroby složitých tvarů. Geometrická omezení budou blíže popsána v podkapitole věnující se technologičnosti konstrukce.

Rozměry tiskové plochy jsou omezené. Toto omezení lze obejít rozdělením výrobku na menší kusy, které budou po vytištění sestaveny v jeden celek. Tato metoda ale prodlužuje čas procesu a přináší s sebou riziko problémů s pevností a tuhostí složeného celku.

Před počátkem tisku není třeba provést téměř žádné úkony. Přenastavení tiskárny z jednoho výrobku na jiný, tedy zabere jen několik minut.



Obr. 3 Základní schéma procesu 3D tisku [9]

### 2.1.2 Vlastnosti CNC obrábění [7, 8]

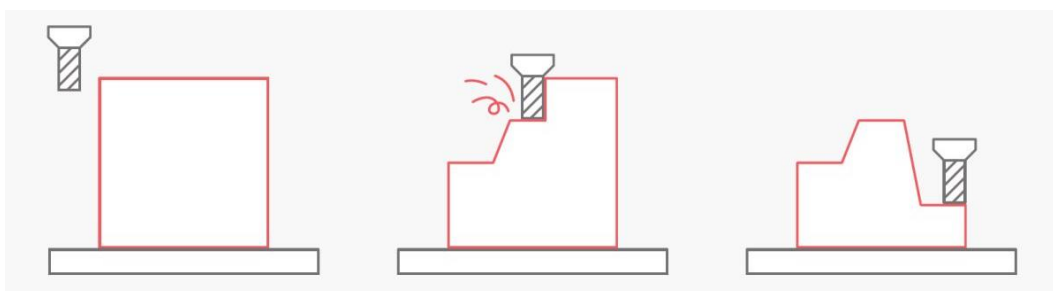
Obráběné díly jsou zpravidla izotropní. Jejich vlastnosti jsou tedy stejné ve všech směrech.

Rozměrová přesnost obrábění dosahuje až  $\pm 0,001$  mm. Díky této přesnosti lze obráběním docílit lepší opakovatelnosti a kvality povrchu obrobených ploch.

Možnosti obrábění složitých tvarů jsou omezené. Omezení je způsobeno především špatnou přístupností obráběného povrchu pro rezný nástroj.

Obráběním lze vyrábět díly různých rozměrů. Od malých až po velmi velké.

Před samotným obráběním je nutná příprava polotovaru, příprava upnutí polotovaru, seřízení nástrojů a v neposlední řadě napsání programu.



Obr. 4 Základní schéma procesu obrábění [9]

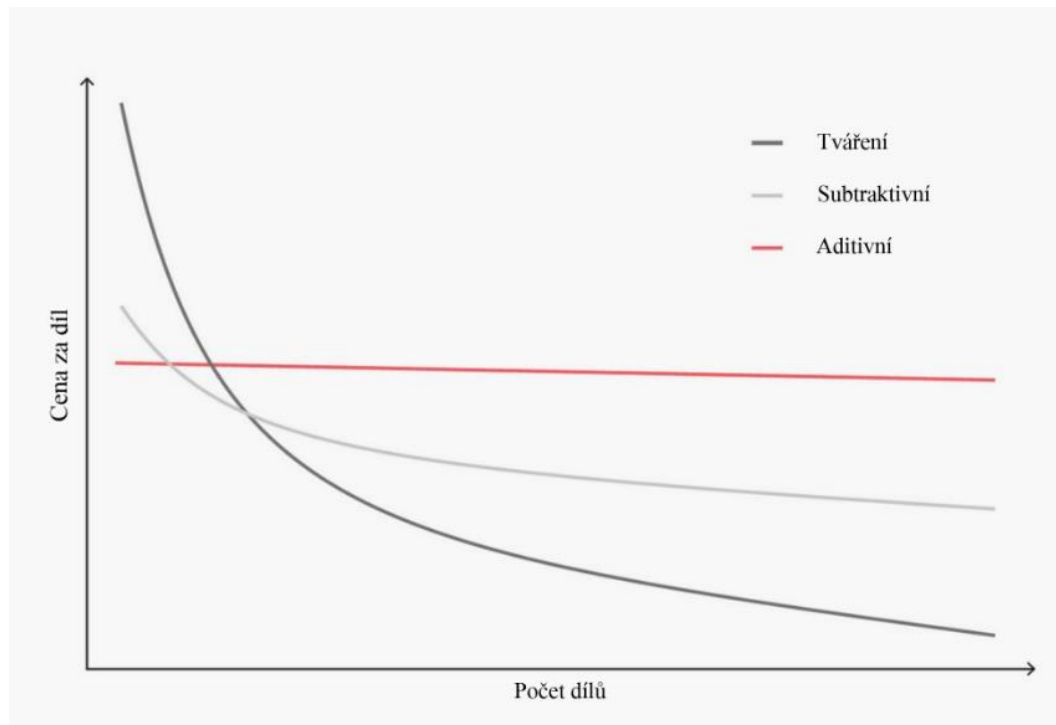
### 2.1.3 Výběr vhodné technologie výroby [9]

Do výběru vhodné výrobní technologie pro danou výrobu vstupuje velké množství faktorů. Obecně lze říci, že díly snadno vyrobitelné subtraktivní technologií (oddělováním materiálu), je vhodnější vyrábět CNC obráběním. Kterým, jak už bylo zmíněno, lze vyrobit díly s izotropními vlastnostmi a větší rozměrovou přesností. U menších objemů výroby je však obvykle spojeno s vyšší cenou. Navíc může být potřebná změna upnutí obrobku nebo využití upínacích přípravků.

Využití technologie 3D tisku je optimální například, pokud obráběcí metody nejsou schopny součást vyrobit s nízkými časovými a finančními náklady, nebo díl nelze obráběním vyrobit vůbec. Taková situace může nastat v případě, vysoce komplexní geometrie součásti, jež může být například výsledkem použití topologické optimalizace. 3D tisk je také vhodné využít v případě nutnosti okamžité výroby daného dílu, nebo při výrobě pouze malého počtu kusů. Výhodný je také pro výrobu dílů z materiálů, které jsou špatně obrobitelné, jako jsou kovové superslitiny a flexibilní TPU. Avšak pro určité geometrie může být potřebné tisknout současně s dílem i podpurné struktury, ty musí být následně odstraněny.

Optimálním řešením technologie daného dílu, může být také kombinace 3D tisku a obrábění. Součást může být vytisknuta s přídatky na plochách, které vyžadují velkou přesnost a ty budou následně obrobeny.

Jak již bylo zmíněno, je počet dílů při rozhodování mezi výrobními technologiemi nezanedbatelná veličina. Pokud bude vyráběno větší množství dílů, v řádu stovek nebo dokonce tisíců kusů, nemusí být vhodná ani jedna z těchto technologií. V takovém případě by se do výběru technologií měla zařadit některá technologie tváření (vstřikování, tlakové lití atd.). Znázornění závislosti jednotkové ceny na počtu dílů za použití různých technologií je vyobrazeno na Obr. 5.



Obr. 5 Graf závislosti ceny vyrobeného dílu na počtu kusů za použití různých technologií [9]



## 3 Technologičnost konstrukce a její vliv na výrobní technologii

### 3.1 Pojem technologičnost konstrukce [10]

Technologičnost konstrukce je základní charakteristikou výrobku, která vychází z parametrů jako jsou hmotnost, životnost výrobku, spolehlivost, nároky na údržbu a opravy, recyklovatelnost atd. Vstupuje do ní ale také problematika efektivnosti výroby (její časová i finanční nákladnost...). Technologičnost se musí zabývat také uplatněním výsledného výrobku na trhu, což ovlivňují aspekty jako je cena, design atd. „*Za technologicky vhodnou konstrukci lze považovat takovou konstrukci, která kromě základních požadavků na funkci stroje, splňuje požadavky z hlediska jeho výroby (nízké výrobní náklady, nízká pracnost, malá hmotnost, výběr optimálních materiálů, sériovost výroby, metrologie, montáž apod.), ale i demontáže, údržby, recyklovatelnosti a ekologie.*“ [10 s. 3]. Technologičnost konstrukce se tedy nezabývá jen vhodností konstrukce z hlediska výrobního, ale vstupují do ní i další aspekty. Jedná se o komplexní pojem obsahující řadu technických, ekonomických, ale i ekologických aspektů, které mohou být někdy protichůdné. Občas je tedy nutné nalézt kompromis mezi těmito požadavky. Obvykle je rozhodujícím požadavkem efektivnost výroby, hned po splnění požadavků týkajících se funkčních vlastností výrobku.

### 3.2 Základní požadavky na konstrukci

Jak už bylo zmíněno v předchozí kapitole, technologičnost konstrukce je pojem zohledňující řadu aspektů. Konstrukci lze obecně považovat za technologicky vhodnou, pokud splňuje následující požadavky:

- Splňuje požadované funkční parametry při dodržení co nejjednodušší konstrukce.
- Konstrukční prvky jsou tvarově co nejjednodušší. Při jejich navrhování je brán ohled na technologii výroby (Obráběné plochy jsou snadno dostupné pro běžně používané nástroje. Speciální nástroje se pokud možno nevyužívají.)
- Při konstrukci je kladen důraz na používání normalizovaných, unifikovaných a typizovaných součástek, tvarů a konstrukčních celků.
- Velikosti a počet ploch dokončovaných obráběním je minimalizován.
- Jsou navrženy vhodné polotovary pro daný případ.
- Materiál je zvolen optimálně za zvážení všech důležitých hledisek (cena, materiálové charakteristiky, technologické charakteristiky, předpokládaný způsob výroby atd.)
- Nákladné materiály se využívají pouze v nutných případech.
- Klade se důraz na minimalizaci výrobních nákladů.
- Minimalizuje se pracnost výroby a montáže.
- Minimalizace délky výrobního cyklu.
- Nejsou požadovány výrobní parametry vyšší, než je nezbytně nutné.
- Tvary ploch odpovídají výrobním možnostem strojového parku podniku.
- V návrhu jsou zahrnuty požadavky ohledně ekologie, údržby a recyklovatelnosti.

Po splnění všech funkčních požadavků, je již zmíněná minimalizace výrobních nákladů tím nejzákladnějším kritériem pro posouzení technologičnosti konstrukce. Některá hlediska mohou být v souladu s jinými požadavky. Existuje však i možnost, že budou požadavky protichůdné. [10]

Posuzování technologičnosti konstrukce musí probíhat se zohledněním výrobních technologií, jejichž využití je případně možné (seznam těchto technologií bude ovlivněn např. strojním parkem společnosti). Všechny výrobní technologie mají sice nějaké zásady společné,

ale každá technologie má nějaké své specifické zásady a požadavky, které s ostatními nesdílí. Tyto specifické požadavky musí být v posouzení zahrnuty také.

### **3.3 Obecné zásady technologičnosti konstrukce relativní pro zadanou součást**

Jak bylo zmíněno v předešlé části, existují zásady technologičnosti specifické pro určité výrobní technologie. V následujícím textu jsou uvedeny jak zásady, které jsou totožné pro všechny technologie, tak zásady specifické pro CNC obrábění a 3D tisk.

#### **3.3.1 Výrobní náklady [10]**

Výrobní náklady jsou nejdůležitějším aspektem při hodnocení technologičnosti konstrukce, samozřejmě za předpokladu splnění technických parametrů výrobku. Všechny zásady popsané v následujících odstavcích přímo ovlivňují výsledné výrobní náklady.

#### **3.3.2 Pracnost výroby [10]**

Pracnost výroby je ovlivněna množstvím faktorů, např. tvarem opracovaných ploch, požadovanou drsností a přesností ploch, ale také velikostí a hmotností součástí. Pracnost výroby se složitostí konstrukce výrazně roste. Růst pracnosti, s ohledem na zvyšující se kvalitativní požadavky, je progresivní.

Pracnost výroby může být neúmyslně navyšována navrhováním přísných kvalitativních požadavků, které neodpovídají požadavkům na funkci povrchu. Je tedy žádoucí, aby byly konstruovány jednoduché konstrukce a předepisovány pouze nutné kvalitativní požadavky.

#### **3.3.3 Materiál součásti [10]**

Základním předpokladem je technická vhodnost materiálu pro funkci dané součásti. Následně do výběru vhodného materiálu vstupují faktory, jako vlastní cena materiálu nebo vhodnost pro technologické operace, jejichž využití se při výrobě předpokládá (např. obrobitelnost při využití technologie třískového obrábění). Tato vhodnost následně ovlivňuje technologický proces výroby, což se promítá i do výrobních časů a výrobních nákladů.

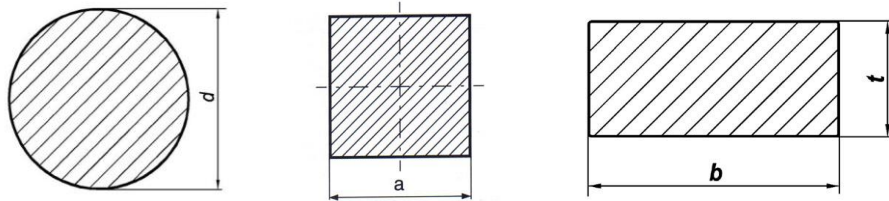
Jak již bylo uvedeno, pokud bude při výrobě využíváno metod třískového obrábění, je vhodné volit materiál s co nejlepší obrobitelností. Tato volba zajistí nejen nejméně nákladný obráběcí cyklus, ale také vhodné utváření třísky. Pokud by materiál tvořil třísku nevhodného tvaru, která by se například namotala na nástroj, vzniklo by riziko nutnosti zásahu operátora do obráběcího prostoru stroje. Takový zásah však může být nemožný, nebo minimálně není možný bez zastavení cyklu stoje, čímž dochází ke zvýšení nákladů a strojního času.

#### **3.3.4 Polotovary [10]**

Optimálním polotovarem se rozumí takový polotovary, jenž minimalizuje výrobní náklady. Polotovary je tedy navrhován tak, aby byl úběr materiálu co nejnižší, čehož bude dosaženo tehdy, když se výchozí polotovary bude co nejvíce blížit konečnému tvaru součásti.

Do návrhu polotovaru však vstupuje také sériovost výroby. Pro malé série a kusovou výrobu jsou obecně nejvhodnější polotovary standardně dodávané (např. tyčový materiál). Pro větší výrobní série může být vhodnější např. odlitek, či výkovek. Použitím těchto polotovaruů dojde ke snížení přídatků na obrábění a tím ke snížení výrobních časů a nákladů.

V neposlední řadě je při výběru polotovaru nutné zohlednit výrobní možnosti a technologie dostupného strojního zařízení. Do této kategorie spadají i svěráky, upínače a případně speciální upínací přípravky. Polotovar musí být navrhnout tak, aby bylo jeho upnutí ve stroji dostatečně tuhé a spolehlivé.



Obr. 6 Příklady normalizovaných polotovarů (kruhový, čtvercový, plochý) [11]



Obr. 7 Příklady odlitků určených k obrábění [12]

### 3.3.5 Přístup nástroje k obrobku a pružné deformace nástroje [10]

Je nutné, aby byla konstrukce výrobku navržena s ohledem na dostatečný prostor pro přístup nástroje k obráběným plochám. Obrábění odlehlých ploch, například v prohlubních konstrukce, totiž vyžaduje využití dlouhých štíhlých nástrojů a velké vyložení nástroje z vřetene, čímž dochází ke snížení tuhosti nástroje. Nízká tuhost následně vede k nutnosti snížení rezných sil. Snížení sil lze dosáhnout použitím malé hloubky řezu a nízkých posuvových rychlostí, které však zapříčiňují navýšení strojního času a tím zvýšení nákladů na obrábění.

Pokud by se obrábělo nástrojem malé tuhosti při velkém vyložení z vřetene za použití obvyklých rezných podmínek, docházelo by k nadměrné pružné deformaci nástroje. A tato deformace by vedla ke zhoršení jakosti povrchu.

### 3.3.6 Počet upnutí [10]

Každá změna upnutí obrobku vnáší mezi obráběné plochy vzájemnou nepřesnost. Je tedy cíleno na obrobení celé součásti v ideálním případě na jedno upnutí, nebo obecně na co nejmenší počet upnutí.

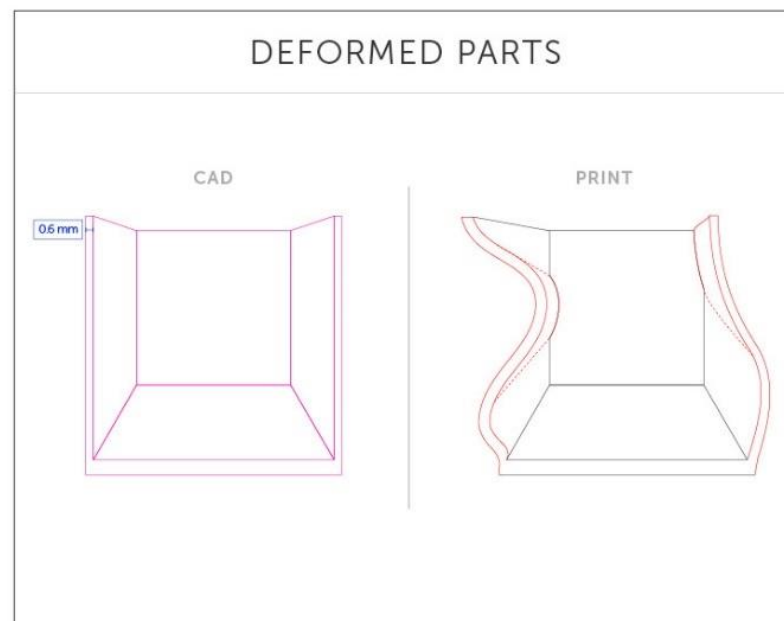


Obr. 8 Modulární strojní svěrák [13]

### 3.3.7 Tloušťka stěny

Minimální tisknutelná tloušťka stěny je ovlivněna primárně technologií 3D tisku. Při filamentovém tisku je tloušťka stěny primárně závislá na průměru použité trysky. Naopak při využití například metody DMLS je minimální tloušťka stěny závislá na podmínkách tisku a materiálu. Tato technologie je schopna vytisknout velmi slabé stěny, které se však vlivem vnitřního pnutí a nedostatečné tuhosti deformují. Tyto deformace jsou znázorněny na Obr. 9. S ohledem na tyto vlastnosti je potřeba provést protiopatření např. ve formě využití podpor.

Obecně je tedy doporučováno využívat tloušťky stěn vyšší než 1 mm pro omezení deformace tištěného dílu. [14]

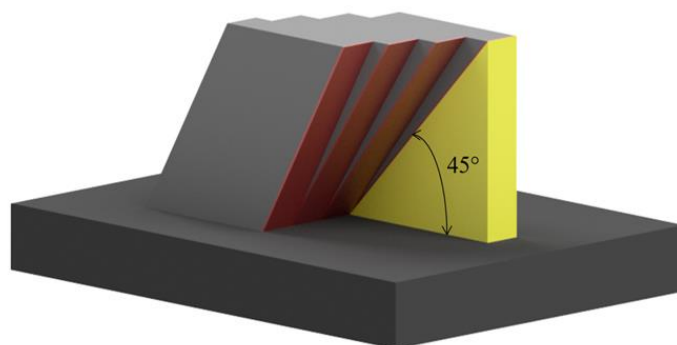


Obr. 9 Znázornění slabostěnného CAD modelu a vytisknuté zdeformované stěny [15]

### 3.3.8 Množství potřebných podpor [14, 16]

Obecně u 3D tisku platí, že je vhodné tisknout s co nejmenším počtem podpor. Každá podpora znamená navýšení spotřebovaného materiálu a prodloužení času tisku, čímž se navyšují i náklady. Avšak při tisku kovů jsou podpory nutné. Nefungují jen jako pomůcka proti vlivu vlastní tíhy, plní také funkci výztuhy a chladiče. Podpory totiž fixují tisknutou součást k platformě, čímž napomáhají součásti odolávat vnitřnímu pnutí a současně ze součásti odvádí teplo vzniklé při spékání prášku.

Množství podpor se minimalizuje návrhem vhodné geometrie. Například eliminací stěn, které svírají s platformou úhel menší než 40-45°, nebo eliminací převislých konců. Vhodné úhly stěn jsou znázorněny na Obr. 10.



Obr. 10 Ukázka použití samonosných úhlů bez podpor [14]

### 3.3.9 Postprocessing

Postprocessingem se rozumí následná úprava součásti po samotném tisku. Do této kategorie spadá například tepelné zpracování pro snížení vnitřního pnutí, odstranění podpor, odstranění kovového prášku z dutin výtisku [7]. Jak už bylo zmíněno dříve, při následné úpravě může být využito také obrábění pro dokončení funkčních ploch součásti. V takovém případě musí být splněna výše zmíněná zásada přístupu nástroje k obrobku, respektive k obráběné ploše.

Při konstrukci je třeba tedy dbát na proveditelnost operací. Není například možné uvažovat využití podpor v úzkých vnitřních kanálcích, které musí být průchozí. Tyto podpory by totiž nebylo možné odstranit a kanálky by nemohly plnit svou funkci.



Obr. 11 Ukázka tištěného dílu před a po postprocesingu [17]

### **3.4 Aplikace zásad technologičnosti konstrukce a její vliv na výrobní technologii**

Výše popsané zásady technologičnosti konstrukce jsou určeny primárně pro konstruktéry, kteří by je měli při navrhování konstrukcí výrobků zohledňovat. Respektováním těchto zásad bude následná výroba součásti co možná nejefektivnější a bude minimalizováno riziko potřeby využívání speciálních nástrojů. Pokud si není konstruktér jistý svým návrhem z hlediska technologičnosti, je vhodná konzultace s technologem obrábění. Spolupráce pracovníků technologie obrábění a konstrukce zajišťuje optimální výstupní konstrukční návrh. [10]

Popsané zásady mohou pomoci i v případě, kdy je součást navržena tak, aby co nejlépe plnila svou primární funkci, bez ohledu na výrobní technologie. Pokud tento případ nastane, je technologičnost konstrukce posuzována dodatečně. Posuzování probíhá v obecném smyslu bez zaměření na předem určenou výrobní technologii. V průběhu posuzování je snahou určit, zda je konstrukční návrh vyrobitelný, nebo bude nutné provést změny v konstrukci. Pokud je návrh vyrobitelný, přistupuje se k určení technologií, které budou při výrobě využity.

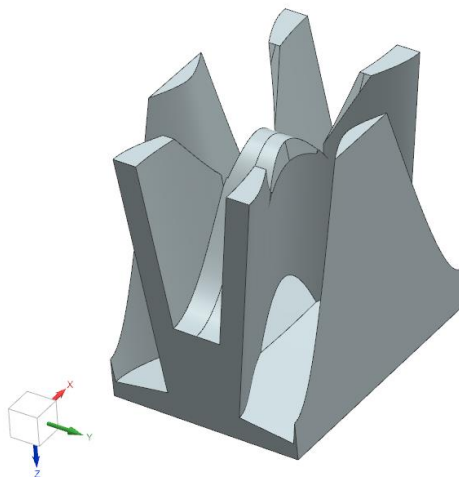
Dalším možným využitím zásad technologičnosti je případ, kdy byla součást navržena pro výrobu technologií, která byla následně změněna. Na tento případ se bude tato bakalářská práce dále zaměřovat. Přesněji se jedná o součást, která byla jako prototyp navržena s původním úmyslem výroby technologií 3D tisku. Následně však vznikla myšlenka výroby za použití konvenční metody obrábění. Geometrie zadané součásti byla konstruktérem odvozena od původního prototypu a částečně upravena pro umožnění obrábění. Další části práce budou tedy již vztaženy k zadané součásti.

## 4 Posouzení technologičnosti konstrukce daného dílce

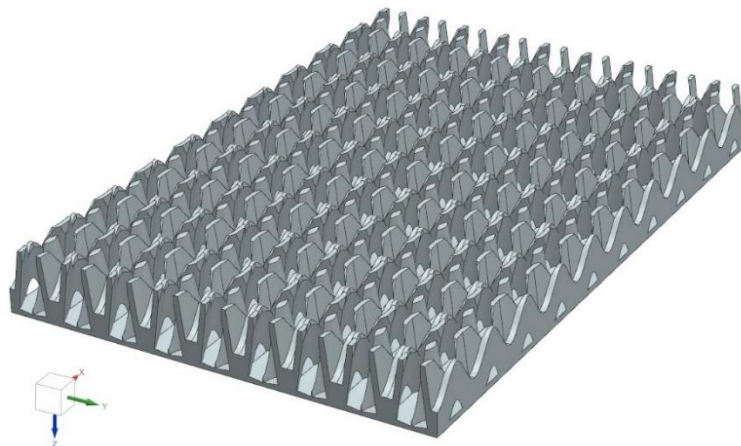
V této části práce bude blíže specifikován zadaný dílec. Následně bude provedeno posouzení technologičnosti konstrukce, které by mělo pomoci určit vhodnější variantu výrobní technologie. Bez ohledu na výsledek posouzení, budou nadále uvažovány obě varianty výroby a vyhodnocení vhodnosti proběhne až na konci této práce.

### 4.1 Zadaný dílec

- Pro dílec je zadán materiál EN AW-5083 (AlMg4,5Mn0,7).
- Dílec je navržen pro plnění funkce chladicí desky výkonného elektronického prvku.
- Součást dosahuje rozměrů 160x108x16 mm.
- Konstrukci chladiče lze rozdělit na 2 části:
  1. Základní (upínací) část, která je v přímém kontaktu s příslušným elektronickým prvkem a odebírá z něj teplo. Tato část je tvořena pouze hladkou plochou.
  2. Horní tvarovou část, která je funkční a je určena k předávání tepla z ochlazovaného prvku chladicímu médiu. Tvořena je malými tvarovými segmenty, které jsou na chladiči v pravidelné mřížce. Detail segmentu je vyobrazen na Obr. 12, celá součást poté na Obr. 13.



Obr. 12 Segment chladiče



Obr. 13 Zadaný model chladiče

## 4.2 Aktuální technologičnost konstrukce daného dílce

Součást byla posuzována se zohledněním všech výše popsanych zásad. Vzhledem k zaměření této práce na porovnání 3D tisku a CNC obrábění, je posouzení pro přehlednost rozděleno do dvou částí. V první části jsou zohledněny zásady týkající se 3D tisku a v druhé CNC frézování.

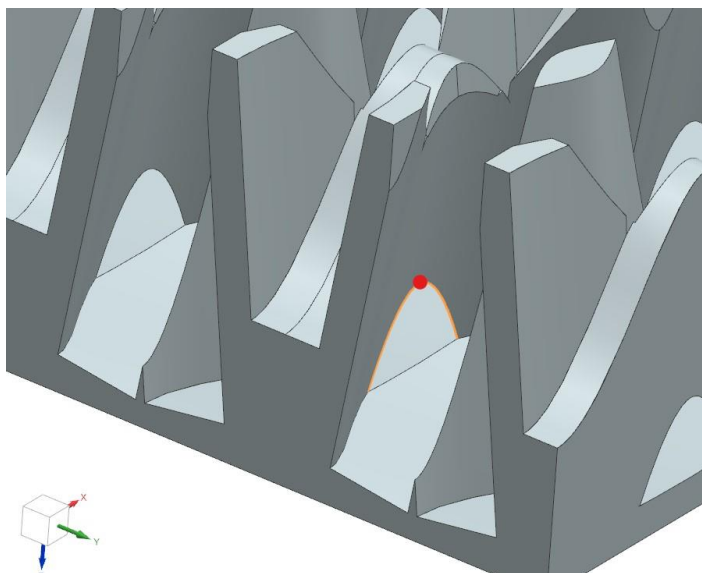
### 4.2.1 Technologičnost relevantní pro 3D tisk

Materiály na bázi hliníku lze určitými metodami tisknout bez problémů.

Geometrie součásti je pro 3D tisk vhodná i přes její nezanedbatelné rozměry. Díky délce nejdelší stěny 160 mm bude muset tisk probíhat v tiskárně umožňující tisk středně velkých dílů. S ohledem na geometrii bude tisk chladiče probíhat v horizontální poloze, tudíž bude materiál vrstven od upínací části k tvarové.

Tloušťka stěn na funkční části chladiče je na většině míst dostatečná, nehrozí tedy nadměrné deformace, které by omezovaly nebo znemožňovaly použití součásti k myšlenému účelu. Objevuje se zde však množství hran, podél kterých se stěny zužují do nulové tloušťky, například hrana zvýrazněná na Obr. 14. Na těchto hranách lze očekávat určité tvarové nepřesnosti. Na funkční části se jeví nejproblematičtější místo, které je zvýrazněno na Obr. 14. Na zvýrazněném místě bude totiž při vrstvení materiálu docházet ke spojení dvou stěn do jedné. Lze předpokládat, že zde vzniknou určité geometrické odchylky, které však u zadané součásti opět nebudou nijak omezovat použitelnost.

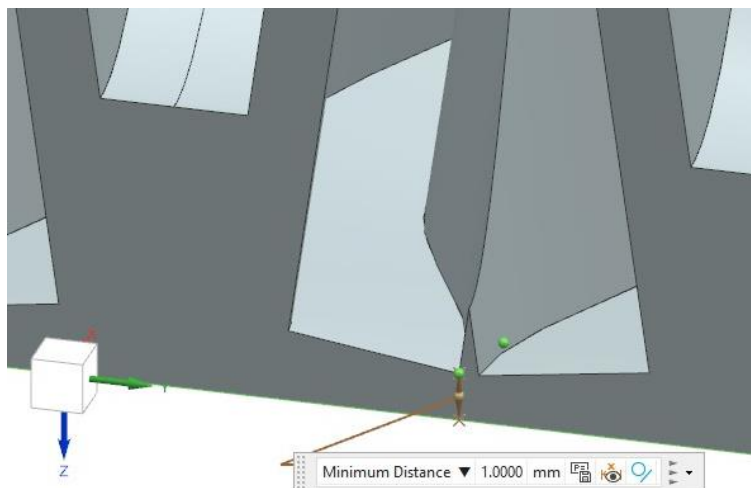
Všechny popsaná problematická místa jsou samonosná, stejně jako veškerá ostatní geometrie. Součást neobsahuje žádné převislé hrany, ani stěny s nevhodným úhlem vůči základně, dodatečné podpory stěn tedy nebudou potřeba.



Obr. 14 Problematické místo pro 3D tisk

Celkově nejproblematičtějším místem pro výrobu je celá základní plocha, která má v nejslabším místě tloušťku pouhý 1 mm, což je patrné na Obr. 15 a v nejsilnějším místě dosahuje základna tloušťky jen 1,5 mm. V průběhu tisku bude celá základna umístěna na podporách pro zajištění pevného spojení, a tedy fixní polohy dílce vůči desce tiskárny. Podpory budou také odvádět přebytečné teplo z výtisku. Díky těmto podporám je pravděpodobné, že samotný tisk proběhne bez problémů. Avšak po dokončení tisku a odstranění těchto podpor v průběhu postprocesingu hrozí výrazné deformace součásti.





Obr. 15 Nejslabší místo základny

Na začátek postprocesingu by bylo možné zařadit tepelné zpracování, které by snížilo vnitřní pnutí a možné deformace by se tím pravděpodobně snížily. Není však zaručeno, že tepelné zpracování eliminuje veškeré deformace a základna zůstane dokonale rovná. Zbylé úkony postprocesingu tohoto dílce budou obtížné hlavně z hlediska upnutí. Drážky jsou dostatečně široké pro snadné odstranění přebytečného prášku a podpory budou umístěny pouze na snadno přístupné spodní ploše. Odstranění podpor bude ale obtížné díky nemožnosti snadného upnutí výrobku bez přípravku. Plocha je dobře dostupná i pro případné přerovnění frézou, které by však nebylo možné provést bez speciálního upínacího přípravku. Pro takový případ by bylo nutné základnu vytisknout s přídavkem určeným pro obrobení.

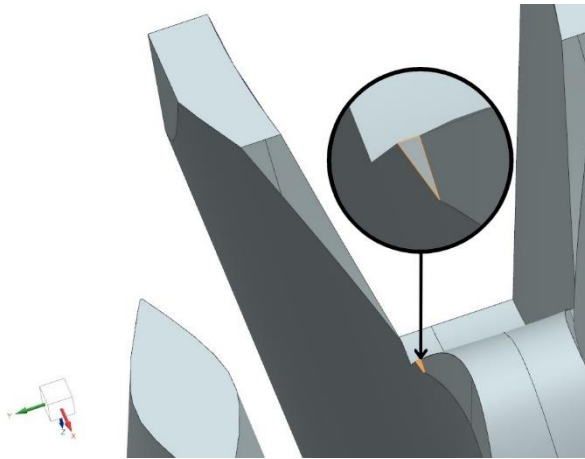
#### 4.2.2 Technologičnost relevantní pro obrábění na 5-osé CNC frézce

Zadaný materiál EN AW-5083 (AlMg4,5Mn0,7) se i přes svou měkkost vyznačuje relativně dobrou obrobiteľnosťou při použití technologie frézování. Slitina má dobrou korozní odolnost, která je pro využití dílu důležitá. Kladným faktorem je také příznivá cena. [18]

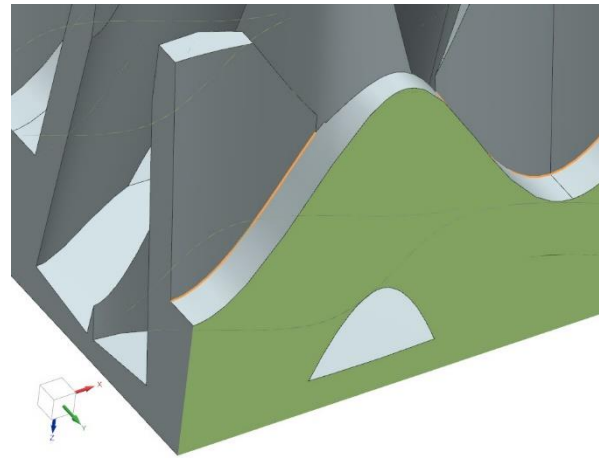
Zadaná hliníková slitina je dostupná ve formě plechů s dostatečnou tloušťkou, tudíž lze bez problémů zajistit polotovary s žadujícími přídavky na obrábění. Polotovary by byly pro kusovou výrobu připraveny nejspíše ručním odříznutím z plechu a následným úhlováním na frézce. Pro sériovou výrobu polotovarů by bylo nejspíše využito technologie laseru nebo vodního paprsku.

Horní tvarová plocha obrobku je tvořena primárně úzkými drážkami, ke kterým se nástroj bez obtíží nedostane, což ale nezaručuje jednoduché obrábění těchto ploch. Frézované drážky jsou hluboké maximálně 15 mm při šířce 3,5 mm. S ohledem na malou šířku drážky bude možné použít nástroj o maximálním průměru 3 mm. S ohledem na malý průměr a velké vyložení nástrojů z upínače, se při návrhu rezných podmínek budou muset vzít v úvahu případné pružné deformace nástroje. Pružné deformace jsou, jak již bylo popsáno v teoretické části, způsobeny reznými silami, které na nástroj v průběhu řezu působí.

Celá geometrie je obrobiteľná, pokud by ale byl obráběn každý detail modelu, bylo by obrábění velice nákladné. Budou tedy přijaty určité kompromisy, které však neovlivní funkci výrobku. Jedná se primárně o plochu zanedbatelných rozměrů, která je zvýrazněna na Obr. 16. Tato ploška tedy nebude dokonale obrobena. Dále se jedná o hranu, která je patrná na Obr. 17. S ohledem na tvar přiléhajících ploch by bylo velice obtížné vést nástroj po normále tvarového dna této drážky, tudíž nebude tato hrana obrobena do ostrého rohu, ale bude zde zaoblení tečně napojené na dno i stěnu.



Obr. 16 Obtížně obrobitelná ploška



Obr. 17 Obtížně obrobitelná hrana

Vzhledem k tomu, že lze celou součást obrobit na 2 upnutí, je třeba zvolit vhodné plochy pro upnutí a jeho postup. První upnutí by sloužilo k zarovnání základní plochy a současně úhlování celé základny. Druhý způsob upnutí nejvíce ovlivní největším problémem celé součásti, kterým je základní plocha, jejíž tloušťka je velice malá. Toto kritické místo bylo blíže popsáno ve třetím odstavci přechozí kapitoly 4.2.1 a zdokumentováno na Obr. 15. S ohledem na malou tloušťku základny se nabízí využití upínací desky s upínkami ovládanými pomocí excentrického šroubu. Toto upnutí počátečního obrobku by bylo dostatečně tuhé, nezaručilo by však to, že se obrobek během obrábění nezačne v kritických místech prohýbat a tím snižovat upínací sílu. V takovém případě by hrozilo posunutí obrobku v upínači, nebo dokonce úplné uvolnění z upnutí. Posun nebo uvolnění by měly za následek kolizi nástroje obrobkem, čímž by došlo při nejmenším k poškození nástroje a vytvoření neshodného výrobku.

Pracnost je pozitivně ovlivněna možností volby vhodného polotovaru. Avšak s ohledem na velký podíl odebíraného materiálu, komplexnost geometrie a malé průměry použitých nástrojů, je pracnost obráběcí operace značná.

### 4.2.3 Vyhodnocení aktuálního stavu

Výrobě technologií 3D tisku sice nejsou kladeny žádné velké překážky, výsledek je však nejistý. S ohledem na nutnost dokonalého dosednutí základní plochy na chlazený elektronický prvek, je riziko deformací výrobku a primárně jeho základny nepřijatelné.

Při výrobě frézováním je rizikovým faktorem vlastní upnutí. Pokud by ale byl nalezen způsob, jak součást upnout bezpečně, stále by hrozilo nebezpečí ve formě deformace základny výrobku, která by mohla nastat po jeho uvolnění z upínače. Tato případná deformace je stejně jako u technologie 3D tisku nepřijatelná.

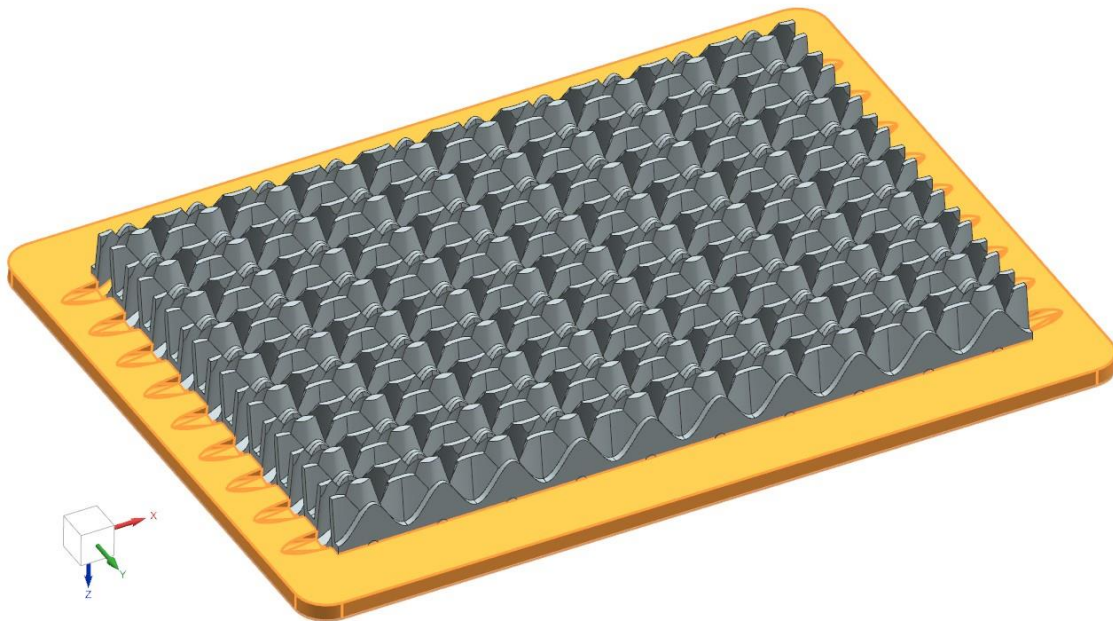
Z posouzení aktuální technologičnosti konstrukce tedy vyplývá poměrně negativní závěr. Z toho důvodu je nutné provedení konstrukčních úprav.

## 5 Návrh konstrukčních úprav s ohledem na výrobu dílce

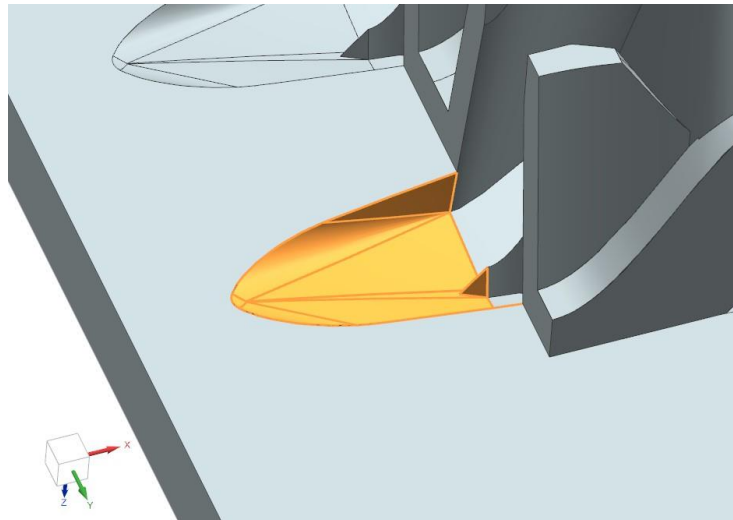
Po konzultaci aktuálního stavu součásti s konstruktérem zadaného modelu bylo přistoupeno k jedné velké změně. Byla přidána 4 mm silná obruba umístěná kolem celého chladiče. Do této obruby byla následně vytvořena vtoková vybrání pro co nejmenší ovlivnění proudění chladicího média. Přidaná geometrie je zvýrazněna na Obr. 18 a detail vtokového vybrání je vidět na Obr. 19.

Tato konstrukční úprava nijak nezasáhla do funkční části chladiče. Vzhledem k faktu, že v současné době není navržena přesná podoba upnutí chladiče na chlazený prvek, byla obruba navržena tak, aby mohla případně sloužit i k tomuto účelu. Obruba lícuje s boky těla chlazeného prvku a nachází se zde dostatek místa pro případné díry, které by sloužily k vzájemnému spojení těles.

Bylo rozhodnuto, že ostatní výtky plynoucí z posouzení technologičnosti, nebudou díky svému malému významu v modelu upravovány. Výtky budou zohledněny pouze při tvorbě technologie obrábění. Z toho vyplývá, že při tvorbě technologie nebude kladen důraz na přesné obrobení malých nevýznamných ploch.



Obr. 18 Konstrukční úprava chladiče



**Obr. 19 Detail vtokového vybrání**

Přidaná obruba by měla dostatečně zpevnit celou základnu, čímž se u 3D tisku i obrábění minimalizuje riziko deformací základní plochy. Společně s obrubou také vznikly plochy vhodné pro upnutí součásti, které lze využít jak při postprocesingu 3D tisku, tak pro dostatečně pevné upnutí obrobku při obrábění. Dílec po úpravách dosahuje rozměrů 188x138 mm, výška 16 mm zůstala nezměněna.

## 6 Návrh, realizace a ověření výrobní technologie daného dílce v simulaci

Celá výrobní technologie je navržena pro pěti-osou frézku DMU40eVo, která je k dispozici ve výrobních prostorách RTI. Tento fakt však nevyklučuje možnost případné výroby na jiné pěti osé frézce. V případě potřeby výroby dílce na jiném stroji by bylo nutné pouze změnit řezné podmínky, které jsou závislé na možnostech daného stroje. S ohledem na malý průměr použitých nástrojů, je totiž využíváno maximálních otáček vřetena stroje.

K návrhu technologie byl použit software Solid CAM, ze kterého jsou všechny obrázky a výstupy v této kapitole. Uváděné obráběcí časy jsou převzaty z výpočtů softwaru při simulaci. Obrázky jsou ze simulace v módu Solid Verify, ve kterém software barevně zobrazuje porovnání stavu obrobene plochy vůči cílovému modelu. Nastavení porovnání používané v celé této kapitole je zobrazené na Obr. 20. Na každém obrázku je v levé části zvýrazněna plocha obrobena při dané operaci, a v pravé části je zobrazené porovnání aktuálního stavu dílu vůči cílovému modelu.

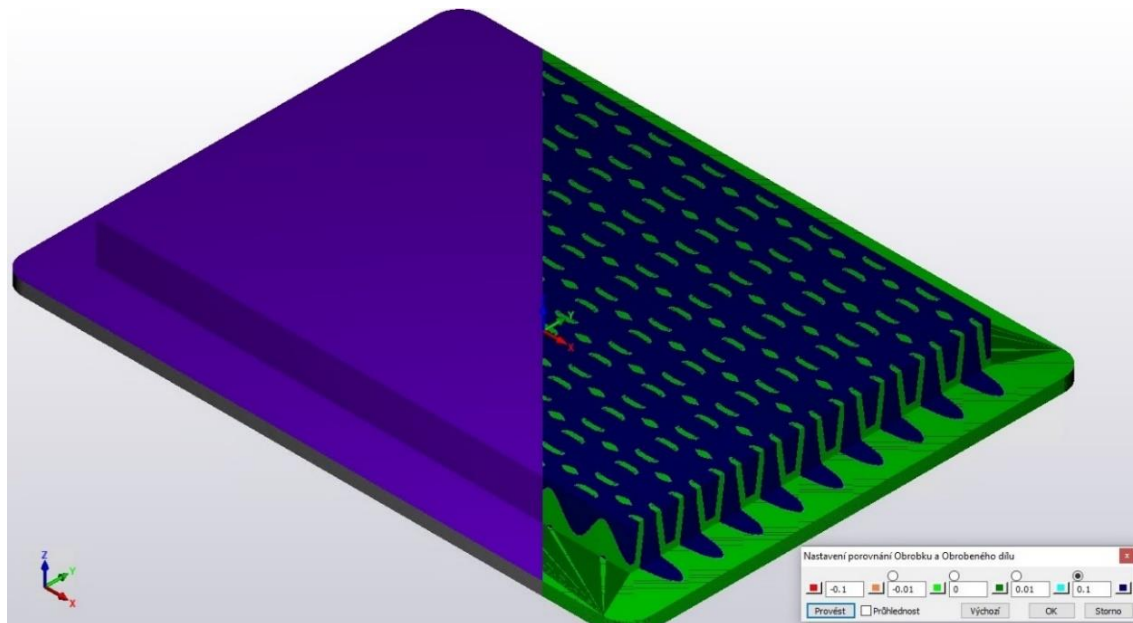


Obr. 20 Používané nastavení rozměrových hodnot a barev v Solid Verify

### 6.1 První návrh výrobní technologie

Jako vstupní polotovár pro návrh technologie byl uvažován obrobek, který prošel procesem úhlování. Dále na něm byla zarovnána spodní plocha a také proběhlo obrobení obruby do hloubky 6 mm.

Předpřipravený polotovár byl upnut zarovnanou základnou na upínací desku upínkami s excentrickými šrouby. Před obráběním vlastní funkční části byla čelní válcovou frézou průměru 40 mm zarovnána horní plocha a obrobena obruba zpevňující základnu. K těmto úkonům byly použity operace Čelní frézování a operace Kontura. Výsledek těchto dvou operací je vidět na Obr. 21. Celkový obráběcí čas těchto dvou operací je 10 minut.



Obr. 21 Výsledek obrobení horní plochy a základny

V první variantě byla uvažována technologie založená na kompletním hrubování funkční části chladiče pomocí dvou operací „iMachining“. Obě operace byly nastaveny na maximální opásání frézy 22 % při stupni zatížení 7. Toto nastavení bylo totožné pro obě operace. První operace byla počítána pro nástroj průměru 3 mm. Druhá operace byla poté počítána pro frézu průměru 2 mm.

Operace „iMachining“ funguje na principu relativně malého bočního přísuvu při nejvyšší možné hloubce řezu a vysokých řezných rychlostech. Tato operace by měla být pro hrubování neefektivnější. V tomto případě je ale hrubování těmito dvěma operacemi jeví neefektivní. Samotné hrubování trvalo dle simulace přibližně 9 hodin. Tento dlouhý čas je nejspíše způsoben úzkými drážkami, ve kterých se při použití této technologie nástroj pohybuje po trajektorii, která by se dala přirovnat k trochoidě. Při této trajektorii je nástroj velký podíl celkové doby mimo řez, což celkový čas prodlužuje.

Kvůli vysokému času hrubování byla technologie přehodnocena a bylo přistoupeno k návrhu druhé varianty.

## 6.2 Druhý návrh výrobní technologie

V druhém návrhu je uvažován stejný vstupní polotovár a totožný způsob upnutí jako v prvním návrhu. Vzhledem k zjištění nevhodnosti použití automatické operace iMachining pro danou součást, bylo přistoupeno k využití neautomatizovaných operací, nad kterými má programátor větší kontrolu.

### 6.2.1 Čelo a obruba – operace 1, 2

První dvě operace, které zarovnávají čelo a obrábí obrubu jsou totožné s prvním návrhem, jejich výsledky již byly popsány v kapitole 6.1. a jsou zobrazeny na Obr. 21.

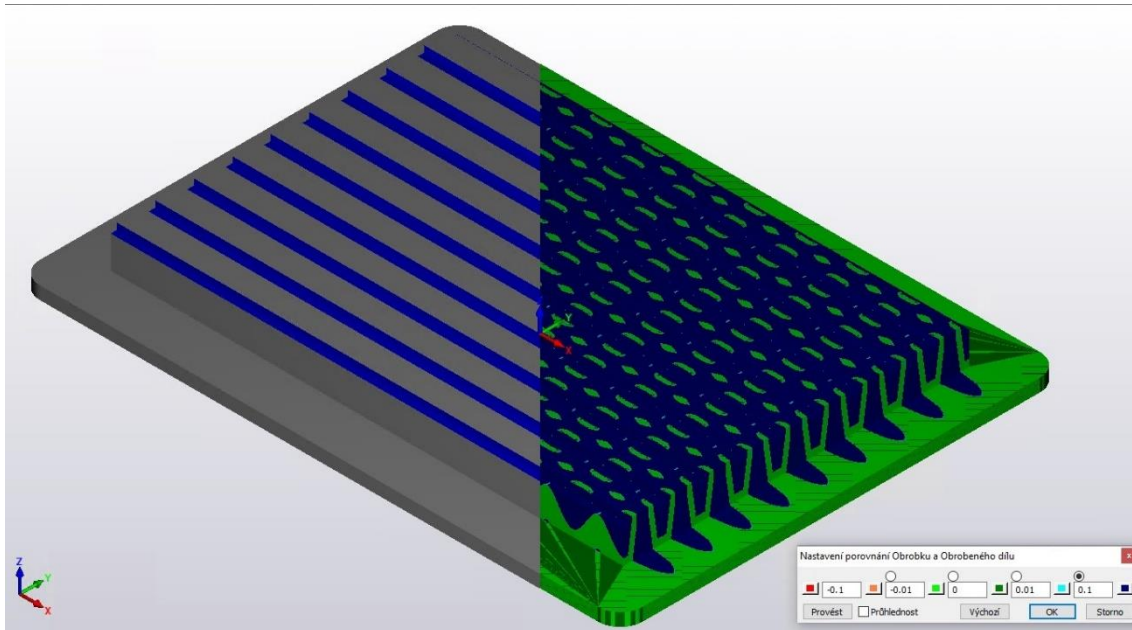
### 6.2.2 Pomocné hrubování drážky – operace 3

V této operaci, probíhá pomocné hrubování drážek. Cílem tohoto hrubování s lineárními dráhami je rychlé odebrání materiálu, u horních ploch tvarové drážky modelu. Bez tohoto předřazeného hrubování by vykonávala následující „HSS“ operace, zbytečné přejezdové dráhy.

Zařazením této operace se tedy zjednodušily dráhy následující operace a tím se snížil i celkový výrobní čas.

Pro nastavení této operace byla v softwaru použita funkce „Kontura“. V této operaci nástroj vykonává řezný pohyb podél pomocné přímky, tedy řídicí kontury, která byla v tomto případě vytvořena jako pomocná skica na požadovaném místě obrábění. V této operaci byla použita funkce „Zrcadlení“ a také funkce „Transformace“, která pomocí příkazu „Translace“ zkopírovala obráběcí operaci na všech 10 drážek. Díky této funkci postačovalo nastavit obrábění pouze jedné drážky a nebylo nutné vytvářet další pomocné skici.

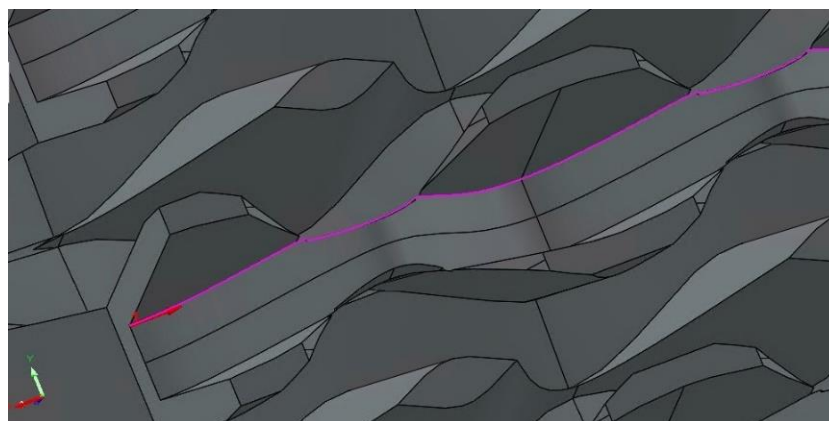
Pro operaci byl využit nástroj o průměru 3 mm a obráběcí čas je přibližně 4 minuty. Dráhy operace a její výsledek je viditelný na Obr. 22.



Obr. 22 Výsledek operace 3

### 6.2.3 Hrubování tvaru mělké drážky – operace 4

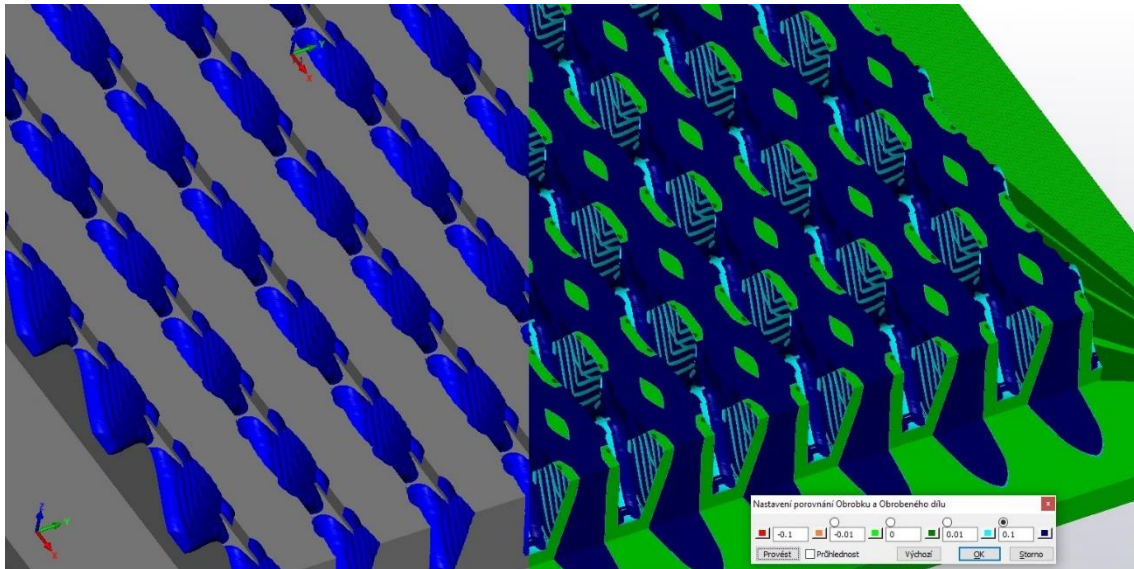
Tato operace přímo navazuje na předchozí obrábění nazvané „operace 3“. V tomto kroku dochází k hrubování tvaru drážky tak, aby mohla následovat dokončovací operace. Operace byla nastavena pomocí 3D funkce „HSS operace rovnoběžně s křivkou“, která je řízena drahami, jež jsou definované technologem určenou křivkou. V tomto konkrétním případě byla za řídicí křivku zvolena spodní hrana hrubované drážky patrná na Obr. 23.



Obr. 23 Řídicí křivka HSS – operace 4

Materiál je v průběhu operace odebírán frézou o průměru 3 mm, která postupně vykonává pohyb po drahách jednotlivých řezů kopírujících řídicí křivku a postupně jsou tedy vyhrubovány boky i dno drážky. Opět byla nastavena technologie pouze na jedné drážce a další drážky byly obrobena totožně užitím funkce „Translace“.

Celá operace jejíž výsledek je zobrazen na Obr. 24, trvá 143 minut.



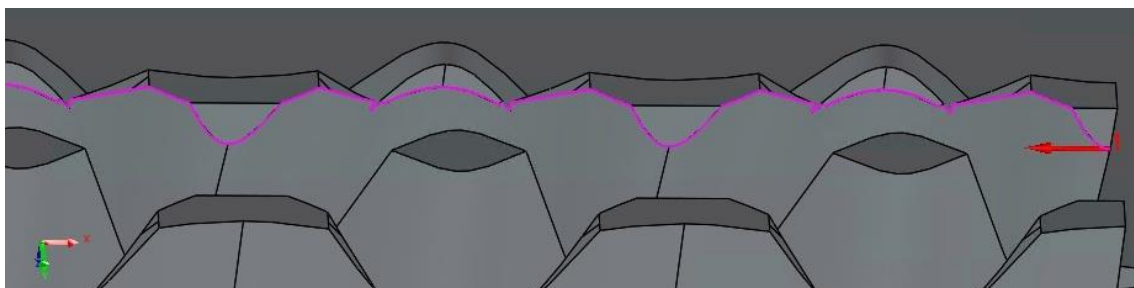
Obr. 24 Výsledek operace 4

#### 6.2.4 První hrubování hluboké drážky – operace 5

V této operaci dochází k prvnímu hrubovacímu úběru materiálu v hluboké drážce. Současně jsou dokončeny malé vertikální plošky umístěné v horní části chladiče. Díky nízkým požadavkům na kvalitu povrchu může toto dokončení probíhat souběžně s hrubováním.

Drážky jsou hrubovány do maximální možné hloubky, ve které nedochází k zafrézování nástroje do modelu, což by znamenalo úběr materiálu, který k úběru není určen. S ohledem na použitý průměr nástroje je tato maximální hloubka rovna přibližně polovině požadované hloubky drážky.

Nástroj je řízen dráhami vygenerovanými operací „Kontura“, která jednotlivými řezy kopíruje zvolenou křivku v horizontálním směru, nástroj tedy v průběhu řezu nemění svou polohu ve směru vřetene (osy Z). Křivka zvolená pro tuto operaci je zvýrazněna na Obr. 25.

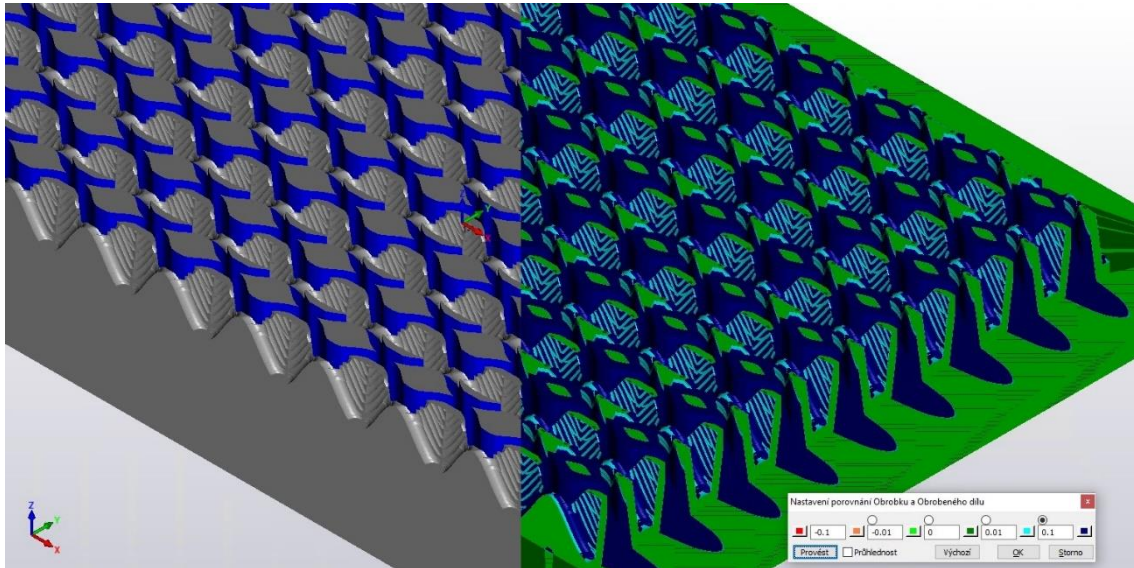


Obr. 25 Řídicí křivka – operace 5

Pro nástroj byly vygenerovány dráhy pro obrobení jen jedné strany segmentu, ty byly následně ozrcadleny na druhou stranu a dále transformovány na ostatní drážky. Tímto postupem je docíleno totožného obrobění všech drážek při co nejmenším množství práce pro technologa.



Oboustranné hrubování všech drážek pomocí nástroje o průměru 2 mm probíhá 33 minut. Výsledek této operace je zobrazen na Obr. 26.



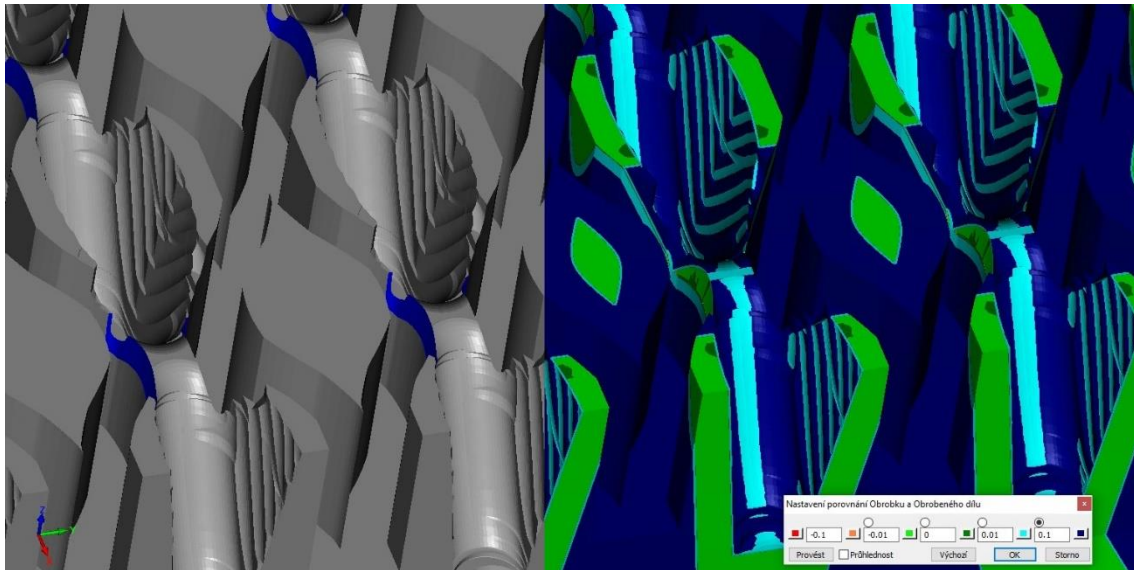
Obr. 26 Výsledek operace 5

### 6.2.5 Obrobení malého sražení – operace 6

Tato operace obrábí malé sražení, které se nachází v horní části funkčních ploch chladiče. Pro nastavení operace byla zvolena funkce „HSS operace rovnoběžně s křivkou“, přičemž za řídicí křivku byla zvolena spodní hrana tohoto sražení. Pro docílení správného vzájemného napojení ploch byly vygenerované dráhy posunuty o malý přírůstek ve směru osy rotace nástroje. Díky nastavení posunutí nástroje bude jeho špička zubu přesahovat plochu určenou k obrobení, tudíž bude zajištěno dokonalé obrobení celé plochy a u řídicí křivky nevznikne na ploše žádná nežádoucí hrana.

Pro nastavení operace bylo využito přednosti obrábění na pěti-osém stroji a byl naklopen souřadnicový systém kolem osy  $x$ . Pro obrobení protilehlého sražení bylo využito naklopení souřadnicového systému v opačném smyslu. Díky aplikaci zmíněných naklopení nebylo nutné využití kulové frézy.

Plocha je obráběna nástrojem o průměru 1,4 mm. Malý průměr nástroje byl zvolen na základě malého prostoru kolem obráběné plochy. Celá operace trvá 6,5 minuty a její výsledek je zobrazen na Obr. 27.

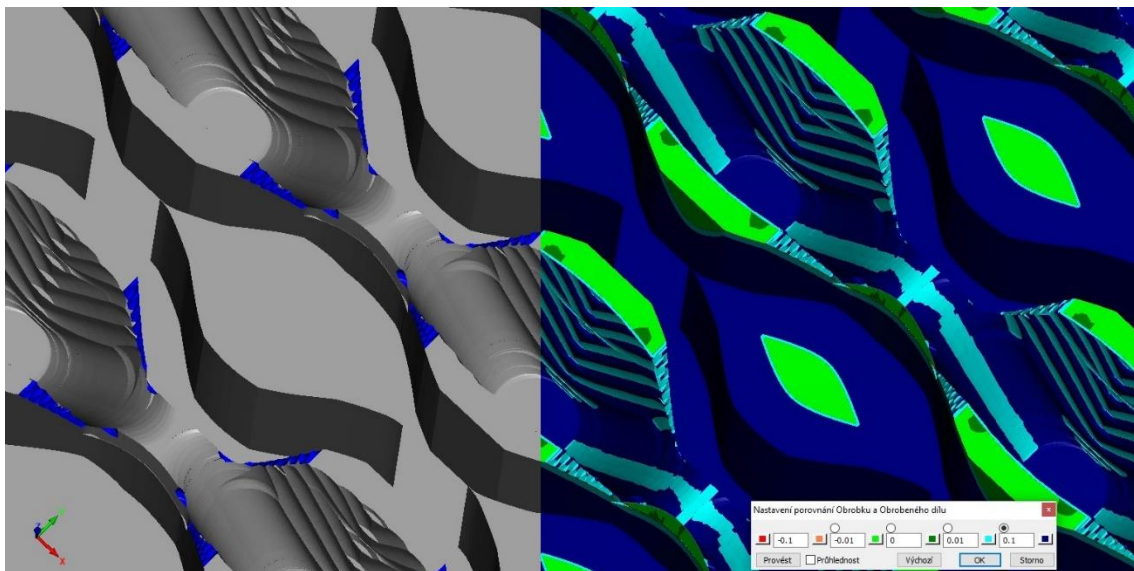


Obr. 27 Výsledek operace 6

### 6.2.6 Hrubování boků „křidélek“ – operace 7

V této operaci jsou obráběny boky „křidélek“ umístěné v horní části chladiče. Po předešlých operacích zůstalo na těchto plochách velké množství zbytkového materiálu, byla tedy zařazena tato hrubovací operace. Obráběné plochy budou po této operaci připraveny k dokončení. Operace byla nastavena pomocí funkce „HSS operace rovnoběžně s křivkou“, která byla využita již u předchozích operací. Tentokrát byla jako řídicí křivka zvolena horní horizontální hrana plochy.

Obrábění probíhá pomocí nástroje o průměru 1,4 mm a trvá 15,5 minuty. Výsledek této obráběcí operace lze vidět na Obr. 28.

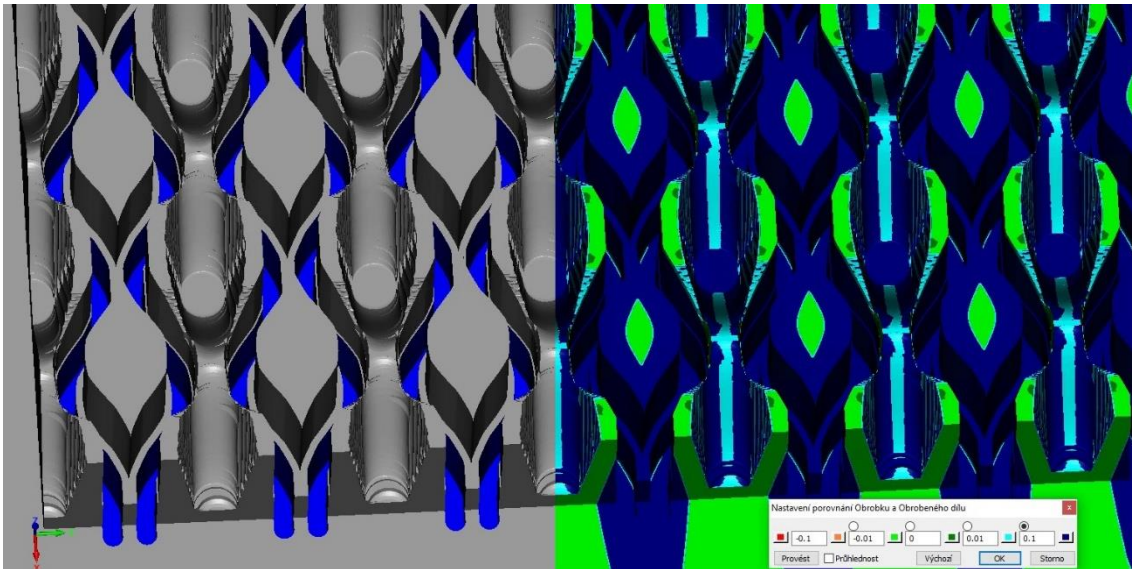


Obr. 28 Výsledek operace 7

### 6.2.7 Druhé hrubování hluboké drážky – operace 8

Tato operace je odvozena od „operace 5“, která byla popsána v kapitole 6.2.4. Jedná se o operaci „Kontura“, její řídicí křivka je tedy totožná s křivkou nastavenou v operaci 5 a lze ji vidět na Obr. 25. Nástroj začíná obrábět ve výšce, ve které obrábění „operace 5“ skončilo. Dráhy této operace jsou odsazeny o 0,1 mm od řídicí křivky. Tím je zajištěno bezpečné obrábění bez rizika kolize neřezné části nástroje se stěnou obrobku, která byla obrobena v předchozích operacích.

Obrábění probíhá 53,5 minut nástrojem o průměru 1,4 mm.

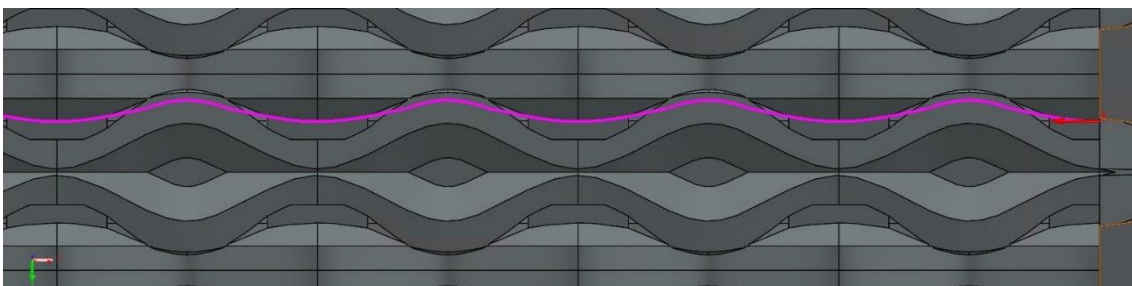


Obr. 29 Výsledek operace 8

### 6.2.8 Dokončení boků mělké drážky – operace 9

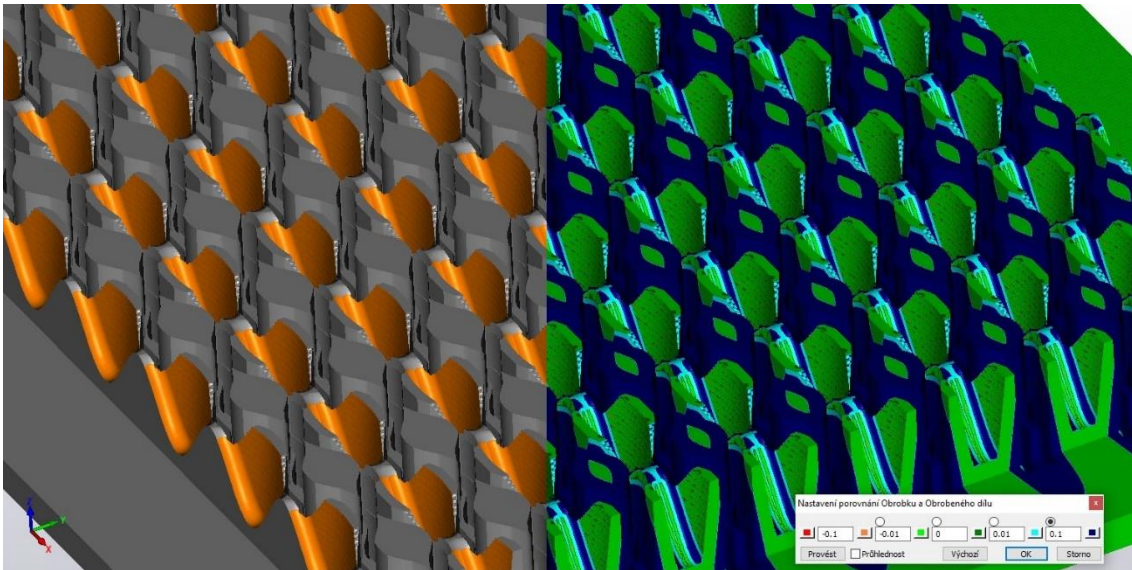
Tato operace dokončuje boční plochy, které byly vyhrubovány krokem „operace 4“ popsané v kapitole 6.2.3. Dokončování ploch bylo opět nastaveno operací „HSS operace rovnoběžně s křivkou“. Řídicí křivka byla vytvořena v pomocné skice, do které jsou promítnuty stěny určené k obrábění touto operací. Výsledná řídicí křivka je zvýrazněna na Obr. 30.

Opět bylo využito přednosti pěti-osého stroje a byly nastaveny dva souřadnicové systémy pootočené kolem osy  $x$ , každý v jiném smyslu otáčení. Díky těmto pootočením bylo možné nastavení většího kroku mezi jednotlivými drahami při zachování podobné kvality obrobeného povrchu, čímž se zkrátil obráběcí čas.



Obr. 30 Řídicí křivka HSS – operace 9

Obrábění, jehož výsledek je zřejmý na Obr. 31 probíhá kulovou frézou o průměru 3 mm a trvá 22 minut.

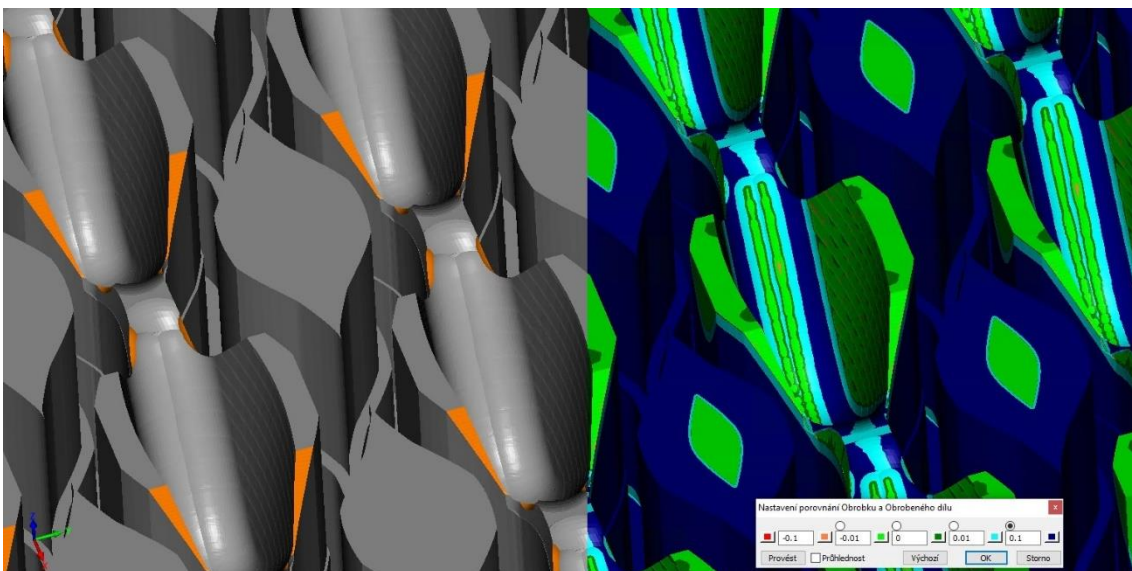


Obr. 31 Výsledek operace 9

### 6.2.9 Dokončení boků „křidélek“ – operace 10

V této operaci jsou dokončovány malé plochy na bocích křidélek nacházející se v horní části funkčních ploch chladiče. Této dokončovací operaci byla předřazena hrubovací „operace 7“ popsaná v předchozí kapitole 6.2.6, která odebrala z ploch většinu přebytečného materiálu a ponechala na nich jen malý přídavek pro tuto dokončovací operaci. Dráhy operace jsou odvozeny od hrubovací operace, pouze s jemnějším krokem mezi jednotlivými řezy.

Materiál je odebrán kulovým nástrojem o průměru 2 mm a čas obrábění činí 8,5 minuty. Výsledek obráběcí operace je zobrazen na Obr. 32.

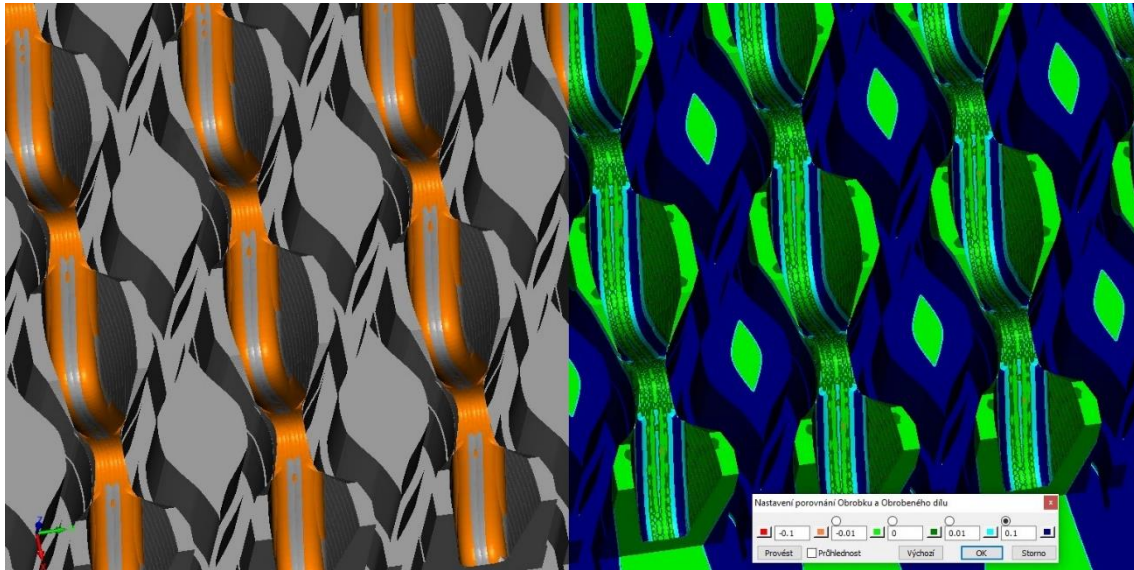


Obr. 32 Výsledek operace 10

### 6.2.10 Dokončení spodní plochy mělké drážky – operace 11

Touto operací je dokončována spodní plocha drážky, která byla vyhrubována v průběhu „operace 4“ popsané v kapitole 6.2.3. Pro nastavení drah bylo využito funkce „HSS operace rovnoběžné řezy: Řádkování“, ta vygenerovala vzájemně rovnoběžné dráhy kopírující spodní plochu.

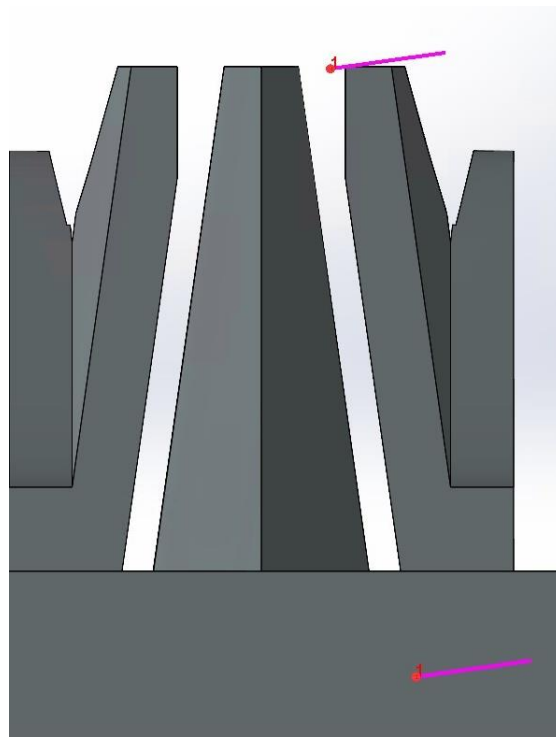
Úběr materiálu probíhá kulovou frézou o průměru 2 mm. Výsledek operace trvající 108 minut je zřetelný na Obr. 33.



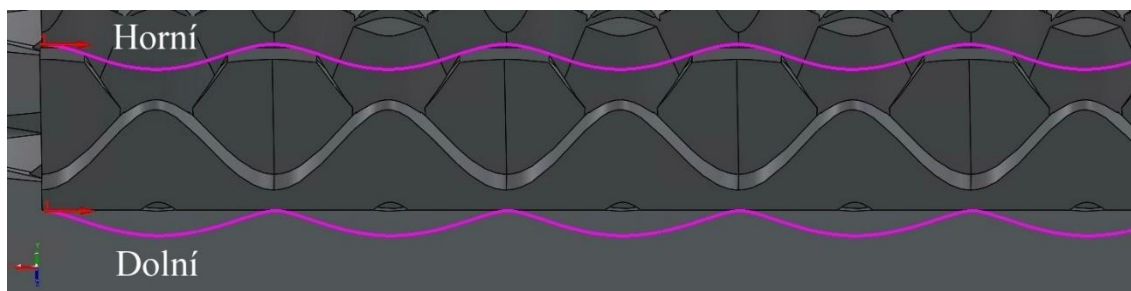
Obr. 33 Výsledek operace 11

### 6.2.11 Třetí hrubování hluboké drážky a dokončení její vnější stěny – operace 12

První částí této operace je hrubování zbytkového materiálu, který nebyl odebrán v průběhu „operace 5“ a „operace 8“ které byly popsány v kapitolách 6.2.4 a 6.2.7. Hrubování probíhá pomocí pěti-osé operace „Frézování bokem nástroje“, při které jsou dráhy nástroje řízeny horní a dolní křivkou určenou technologem. Horní i dolní řídicí křivka pro tuto operaci vznikla promítnutím geometrie obráběných stěn drážky do dvou pomocných skic umístěných na horní a dolní hraně drážky. Poloha skic řídicí křivky je zobrazena na Obr. 34 a jejich geometrie je viditelná na Obr. 35.



Obr. 34 Poloha řídicích křivek – operace 12

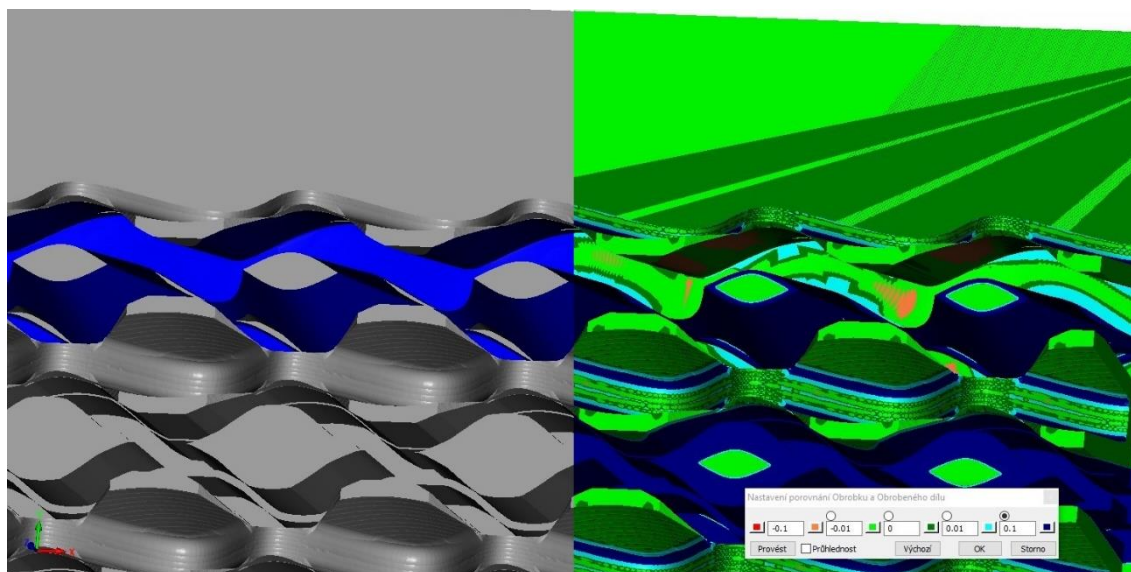


Obr. 35 Řídící křivky – operace 12

Hrubovací část operace odebrává většinu přebytečného materiálu. Na vnější stěně zůstává stejně jako na dně drážky přídavek 0,1 mm pro dokončení, na protilehlé stěně „ostrůvku“ zůstává přídavek větší, ten je určen průměrem použitého nástroje.

Druhá část operace dokončuje vnější stěnu a část dna drážky, přičemž řídicí geometrie i dráhy nástroje zůstávají stejné jako v hrubovací části. Dráhy jsou pouze posunuty o daný přídavek pro dokončení a byl zvětšen krok mezi jednotlivými řezy, při kterých nástroj přesně kopíruje řídicí křivky.

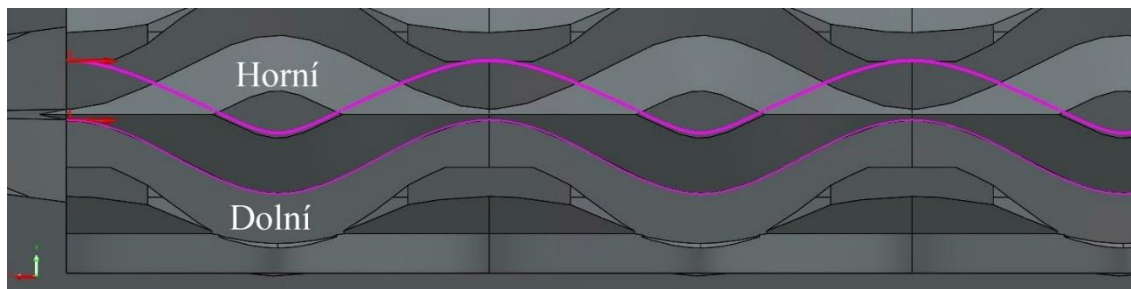
Z důvodu omezené funkce příkazu „Transformace“ u pěti-osých operací v edukační licenci softwaru Solid CAM, byla operace simulována jen na jedné dvojici drážek. Výsledek této simulace je viditelný na Obr. 36. Obrábění bylo simulováno s nástrojem o průměru 3 mm a trvalo přibližně 8 minut. Na výrobku se těchto dvojic drážek nachází 9, provedení této operace na všech dvojicích bude tedy trvat 72,5 minuty.



Obr. 36 Výsledek operace 12

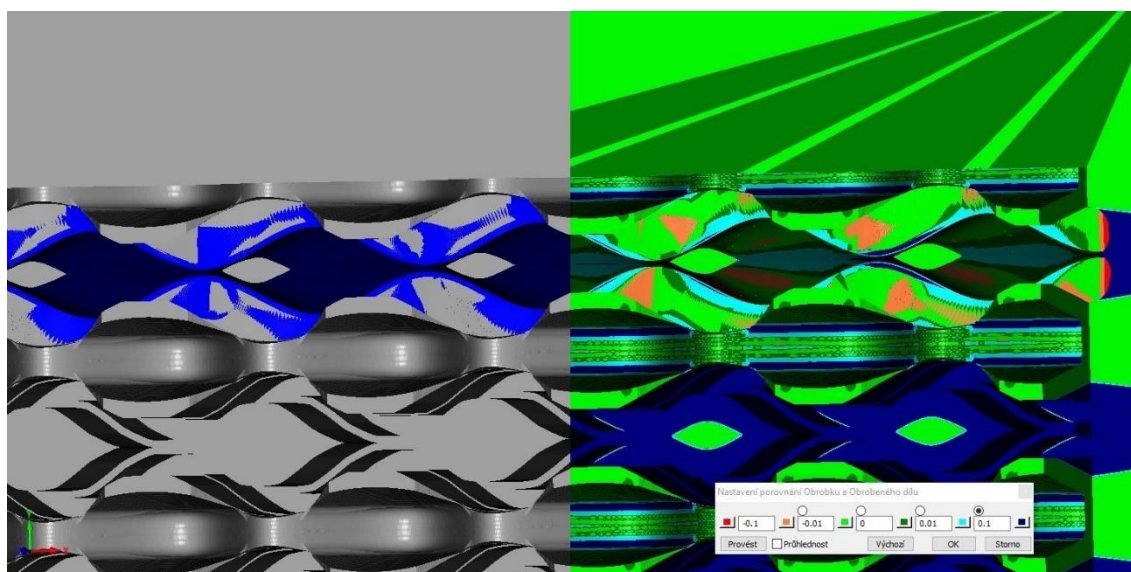
### 6.2.12 Dokončení vnitřní stěny hluboké drážky – operace 13

Tato operace je nastavena k dokončení stěny „ostrůvku“ jež je protilehlá stěně dokončené v předcházející operaci popsané v kapitole 6.2.11. Dráhy jsou vygenerovány stejnou pěti-osou funkcí jako v předchozí operaci a to „Frézování bokem nástroje“. Opět bylo tedy potřeba určit horní a dolní řídicí křivku, podél kterých se nástroj při obrábění pohybuje. Horní křivka byla vytvořena promítnutím obráběných ploch do pomocné skici. Spodní hrana ploch obráběných v této operaci, tvoří spojitou křivku, která je vhodná k použití jako řídicí. Dolní křivku tedy nebylo nutné vytvářet. Obě řídicí křivky jsou zvýrazněny na Obr. 37.



Obr. 37 Řídící křivky – operace 13

Vzhledem k malému přídávku na plochách je tato operace uvažována jako dokončovací. Dokončení jedné dvojice drážek při použití frézy průměru 3 mm trvá 3,5 minuty, obrobení všech devíti dvojic na chladiči bude tedy trvat 9,5 minuty. Výsledek simulace obrobení jedné dvojice drážek je viditelný na Obr. 38.



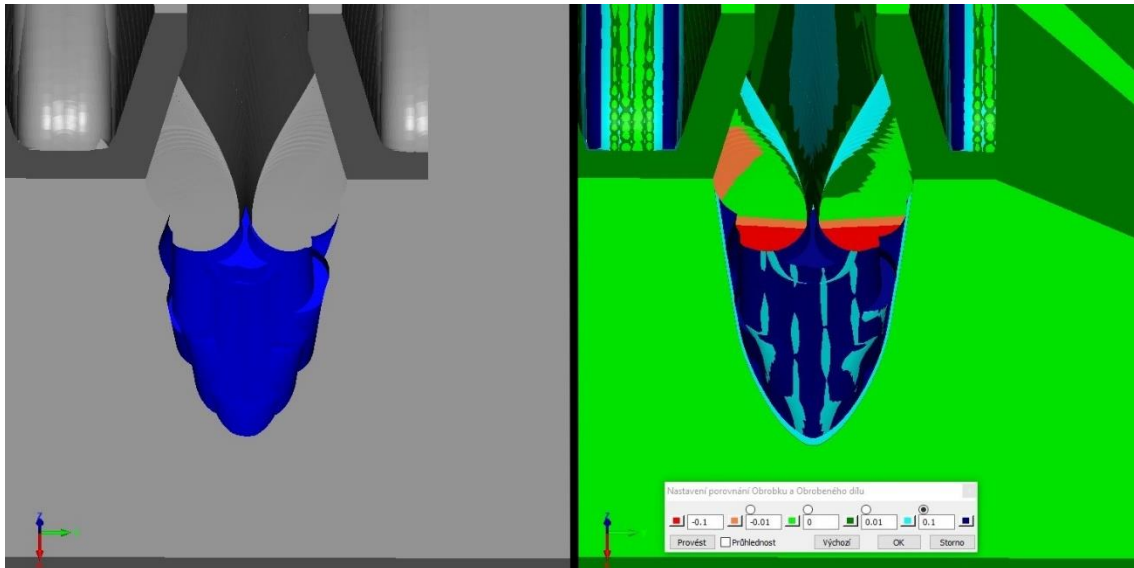
Obr. 38 Výsledek operace 13

### 6.2.13 Hrubování vtokového vybrání – operace 14

Tato operace hrubuje vtokové vybrání umístěné ve spodní části chladiče. Dráhy hrubování byly generovány funkcí „HSS operace rovnoběžně s křivkou“ přičemž řídicí křivkou byla zvolena přímka napojení dna na boční zaoblení. Také v této operaci bylo využito možnosti naklopení souřadnicového systému, čímž se zamezilo kolizím upínače s obrobkem a bylo docíleno lepšího přístupu nástroje k obráběným plochám.

Se zohledněním simulace předchozích pěti-osých operací pouze na jedné dvojici drážek, byla tato hrubovací operace simulována také jen na jednom vtoku, který ústí do dříve simulované dvojice drážek. Při simulaci vtoku na ostatních drážkách, které nebyly v předchozí simulaci obrobny, by byly zobrazovány „falešné“ kolize. Při výrobě by tento problém nenastal, neboť by byla využita plná licence na software, která umožňuje transformace všech použitých operací.

Materiál jednoho vtoku je odebrán nástrojem o průměru 2 mm po dobu přibližně 0,5 minuty. Výsledek této hrubovací operace je viditelný na Obr. 39. Obrábění všech osmnácti vtoků nacházejících se na součásti by probíhalo 9,5 minuty.

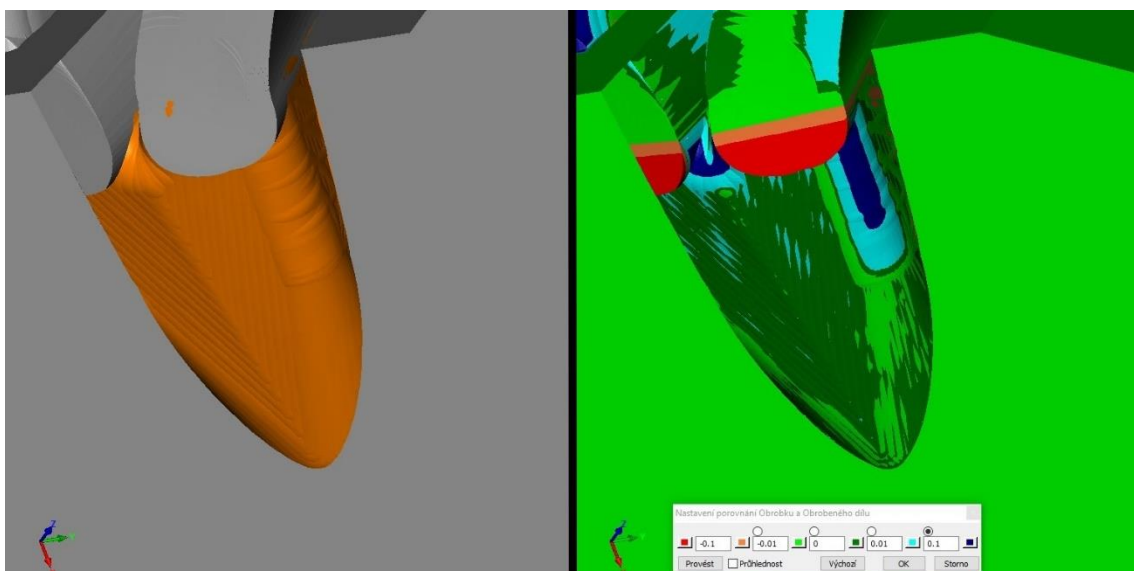


Obr. 39 Výsledek operace 14

### 6.2.14 Dokončení vtokového vybrání – operace 15

Tato operace přímo navazuje na předcházející „operace 14“, dokončuje totiž plochy, které byly předchozí operací vyhrubovány. Operace je s ohledem na uzavřenou geometrii vstupního kanálku rozdělena na dvě části, přičemž v první části je nastaven jeden pootočený souřadnicový systém a je obráběna levá polovina vtoku. V druhé části je využit souřadnicový systém pootočený v opačném smyslu a je obráběna se pravá strana kanálku. V obou případech je nastavení operace totožné, pouze jsou ve vstupní geometrii operací zvoleny jedny plochy levé strany a následně plochy pravé strany.

Simulace dokončování proběhla také na jednom vtoku, jehož obrábění kulovým nástrojem o průměru 2 mm trvalo přibližně 1,5 minuty. Výsledek této simulace dokončování je zobrazen na Obr. 40. Dokončení všech osmnácti vtoků by tedy trvalo přibližně 25 minut.



Obr. 40 Výsledek operace 15



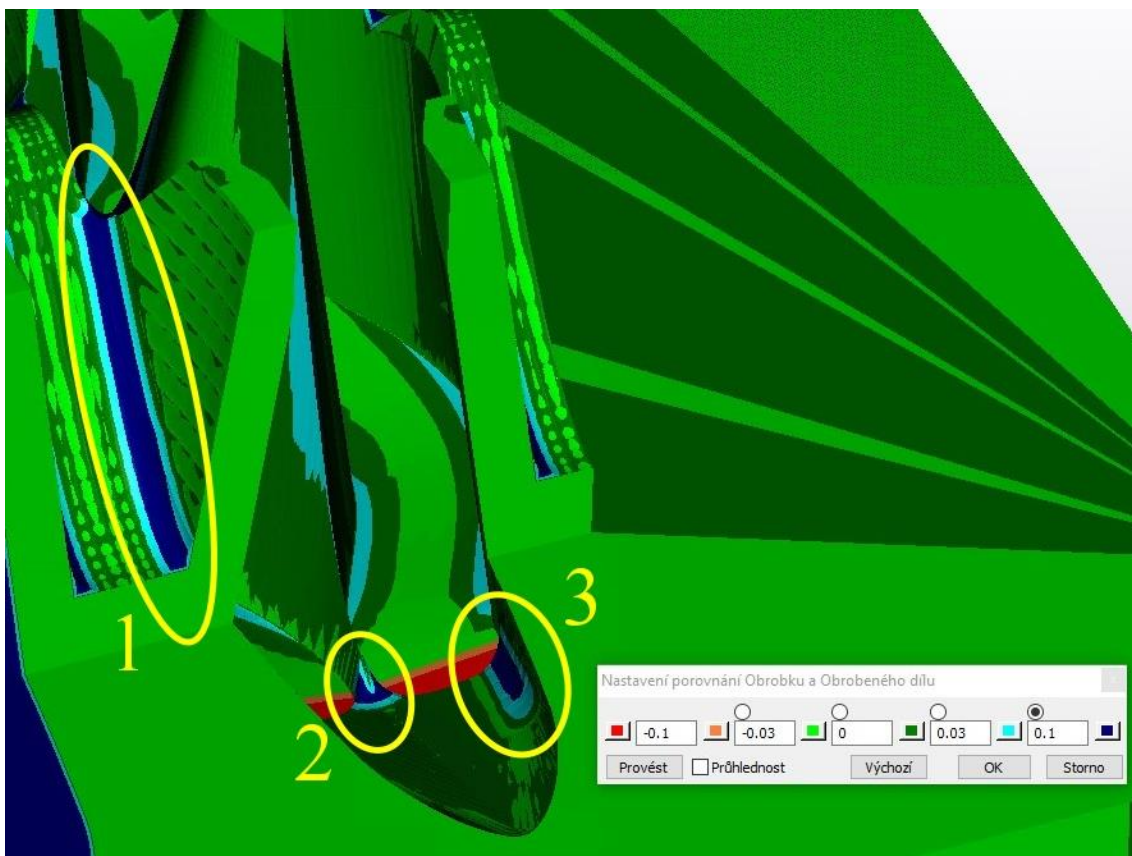
## 7 Diskuse výsledků navržené obráběcí technologie a technologie 3D tisku

### 7.1 Shrnutí výsledků druhého návrhu obráběcí výrobní technologie

#### 7.1.1 Hůře obrobená místa

Relativně velké množství zbytkového materiálu zůstalo po dokončení krokem „operace 11“ v rozích mělké drážky. Tato skutečnost byla předpokládána již při posuzování technologičnosti konstrukce popsané v kapitole 4.2.2 a zdokumentována na Obr. 17 Obtížně obrobitelná hrana. Problematické místo je na Obr. 41 zvýrazněno polem číslo 1. V tomto a také v následujících obrázcích jsou ve funkci porovnání obrobku vůči cílovému modelu nastavené vyšší rozměrové hodnoty pro zřetelnější vizualizaci problémových míst. Z Obr. 41 jsou dále zřetelná další 2 nedokonalě obrobená místa ve vtokovém kanálku dokončovaném krokem „operace 15“, ta jsou zvýrazněna poli 2 a 3. Všechna tato místa by bylo možné obrobit lépe, další obrábění těchto ploch by však znamenalo navyšování nákladů. Za předpokladu pouze zanedbatelného vlivu těchto odchylek od cílového modelu na funkci chladiče by bylo další obrábění těchto ploch neopodstatněné.

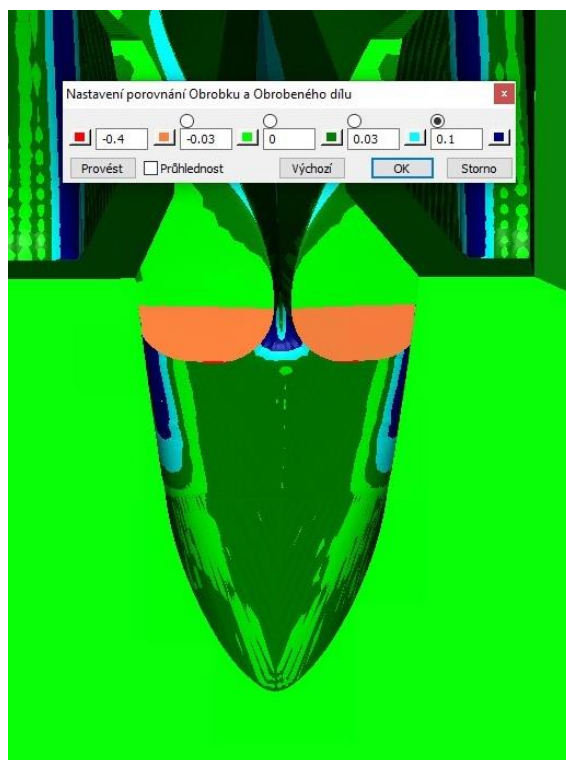
Drobné odchylky od cílového modelu se objevují také na plochách obráběných pěti-osou operací „Frézování bokem nástroje“, tyto odchylky se však pohybují v rozmezí  $\pm 0,05$  mm, což je opět zanedbatelná hodnota. Je nutné také vzít v úvahu určitou nepřesnost zobrazení porovnání obrobeného dílu a modelu cílového obrobku.



Obr. 41 Výsledky navržené technologie – 1

Významnou odchylkou je ale nadměrné odebrání materiálu v části vtokového kanálku. Tato problematická oblast je červeně zvýrazněna na Obr. 41 a detailněji vyobrazena na Obr.

42, ze kterého lze odečíst odchylku až -0,4 mm. Toto místo je jediné na obrobku, kterém je dle simulace odebráno více materiálu, než bylo zamýšleno. Lze předpokládat, že tato odchylka bude mít minimální vliv na funkci chladiče, přesto by byla vhodná konstrukční úprava zajišťující plynulejší napojení vtokového kanálku na drážky.



Obr. 42 Výsledky navržené technologie – 2

### 7.1.2 Shrnutí výsledků druhého návrhu technologie

Pomocí navržené technologie byly obrobny všechny důležité funkční plochy, musely však být přijaty určité kompromisy ohledně míst popsaných v kapitole 7.1.1, které ale neovlivňují funkci chladiče.

### 7.1.3 Použité nástroje

Všechny zvolené nástroje jsou vyráběny společností PM-tech, jejichž nástroje jsou běžně využívány při obrábění v prostorách RTI. Byly upřednostňovány nástroje s povrchovou úpravou DLC. Použité nástroje jsou viditelné na Obr. 43, přičemž nástroje typu DRE a DLB disponují již zmíněným DLC povlakem, zbylé 2 nástroje jsou bez povlaku.

Číslo nástro...	B	Popis	Průměr	Typ nástroje
Mag...				
1		FR-D1.4_2-DRE	1.400	Válcová fréza
2		FR-D2_2-DRE	2.000	Válcová fréza
3		FR-D3-2ALE	3.000	Válcová fréza
4		FR-D40-serie2x10	40.000	Čelní fréza
7		FR-D3_2-DRE	3.000	Válcová fréza
8		KUL-D3_2-DLB	3.000	Kulová fréza
9		KUL-D2_2-DLB	2.000	Kulová fréza

Obr. 43 Seznam použitých nástrojů

### 7.1.4 Obráběcí čas

V následující Tab. 1 jsou shrnuty použité metody, nástroje a doby trvání jednotlivých obráběcích operací. Po součtu všech časů ze simulací byl získán obráběcí čas přibližně 9 hodin. Tomuto obráběcímu času by však předcházela příprava polotovaru a jeho úhlování. Délka přípravy byla odhadnuta na 30 minut, výsledný čas obrábění včetně přípravy by tedy činil přibližně 9,5 hodiny. Tento čas je pouze orientační, reálný čas obrábění na stroji by oproti času simulace byl mírně odlišný.

Tab. 1 Časy operací

číslo operace	metoda	nástroj	čas
1,2	FM, kontura	FR-D40-serie2x10	0:10:05
3	Kontura	FR-D3_2-DRE	0:04:17
4	HSS	KUL-D3_2-DLB	2:23:02
5	Kontura	FR-D2_2-DRE	0:33:21
6	HSS	FR-D1,4_2-DRE	0:06:31
7	HSS	FR-D1,4_2-DRE	0:15:27
8	Kontura	FR-D1,4_2-DRE	0:53:30
9	HSS	KUL-D3_2-DLB	0:21:50
10	HSS	KUL-D2_2-DLB	0:08:30
11	HSS	KUL-D2_2-DLB	1:48:13
12	SWRF	FR-D3_2-ALE	1:12:36
13	SWRF	FR-D3_2-ALE	0:32:24
14	HSS	FR-D3_2-DRE	0:09:36
15	HSS	KUL-D2_2-DLB	0:24:54
Celkový čas obrábění:			9:04:16

## 7.2 Shrnutí technologie 3D tisku

Po provedení konstrukčních úprav součásti nejsou žádné významné překážky znemožňující výrobu dílu technologií 3D tisku. Pro zjištění času výroby byl proveden výpočet pro tisk na stroji dostupném v prostorách RTI. Jedná se o tiskárnu EOS M290 využívající technologii DMLS. Čas tisku udaný výpočtem je pouze orientační, v prostorách RTI nejsou materiály na bázi hliníku k tisku používány, výpočet byl tedy proveden při uvažování tisku z jiného materiálu. Tímto postupem je do výpočtu času vnesena nespecifikovaná odchylka.

Vypočítaný orientační čas tisku zdokumentovaný v PŘÍLOHA č. 1 činí 15 hodin při využití celkem 1 300,44 g materiálu, z čehož 279,9 g materiálu bylo spotřebováno na podpory. Čas postprocesu byl odhadnut na 2 hodiny.

## 7.3 Porovnání technologií

Přibližný strojní čas pro technologii obrábění je 9,5 hodiny, pro technologii 3D tisku je čas tisku přibližně 15 hodin a následují zhruba 2 hodiny postprocesingu. S ohledem na časovou náročnost se tedy jeví výhodněji technologie obrábění, v jejímž celkovém trvání ale není promítnuta příprava stroje před obráběním a příprava upínacího zařízení. Tyto časy ale nebudou zanedbatelné.

Celkové náklady na každou technologii nelze vzhledem ke dříve popsaným skutečnostem přesně vyčíslit. Lze ale konstatovat poměr hodinových sazeb výrobních strojů uvažovaných v této práci. Uvažovaná pěti-osá frézka má hodinovou sazbu přibližně trojnásobnou oproti zmiňované 3D tiskárně. Tento poměr se však může v různých výrobních závodech lišit.

## 8 Závěr

V této práci byly popsány základní principy aditivní a subtraktivní technologie výroby. Dále byla shrnuta teorie ohledně technologičnosti konstrukce a její vliv na volbu správné technologie výroby posuzované součásti. Teorie týkající se technologičnosti byla následně aplikována na zadanou součást. Z tohoto posouzení technologičnosti vyplynula nevhodnost její geometrie pro obě uvažované technologie výroby.

Následně po zhodnocení geometrie jako nevhodné bylo přistoupeno k drobným konstrukčním úpravám, po kterých byla součást uznána za podmíněně vhodnou pro obrábění i 3D tisk.

Po provedení konstrukčních úprav bylo přistoupeno k prvnímu návrhu výrobní technologie, ve kterém byla projevena snaha o automatické hrubování součásti pomocí operace „Machining“. Tato operace se u zadané součásti jevila jako neproduktivní, návrh byl tedy vyhodnocen jako nevyhovující.

V druhém návrhu výrobní technologie byla součást postupně vyhrubována a dokončena různými operacemi, jejichž dráhy může technolog více ovlivňovat. Tímto postupem byla součást obrobena do stavu, který se minimálně odlišuje od cílového modelu. Celá technologie byla ověřena v softwaru Solid CAM simulací v módu Solid Verify, která odhalila veškeré nedostatky konstrukce dílu a obráběcí technologie. Z výstupu simulace vyplývá potřeba dalšího drobného konstrukčního zásahu pro hladké napojení obráběných ploch.

Zmíněný konstrukční zásah by se týkal úpravy napojení vtokového vybrání na dna drážek. Dno vtokového vybrání by bylo upraveno tak, aby se napojovalo na dna drážek tečnou plochou o délce 2 mm. Tím by bylo zajištěno plynulé napojení ploch a současně dostatek prostoru pro nástroj vykonávající nájezd do, nebo odjezd od řezu při obrábění boku drážky.

Z konečného porovnání uvažovaných technologií nelze jednoznačně říci, která z nich je vhodnější. Pro posouzení vhodnosti technologií by bylo třeba uvažovat hodinové sazby strojů, které by byly k výrobě využity a také vedlejší časy doprovodných operací, které nebyly v této práci vyčísleny. Nezanedbatelným faktorem pro posouzení je také množství vyráběných kusů.

Z práce plyne, že součást lze vyrobit oběma typy technologie. 3D tiskem lze chladič vyrobit bez významných problémů a obrábění může být použito při přijetí malých geometrických kompromisů, které však téměř neovlivní funkční vlastnosti chladiče.

V návaznosti na tuto práci by bylo vhodné zvážit provedení konstrukčních úprav na plochách, jejichž obrábění je časově nejnáročnější. Dále by bylo vhodné přesněji určit vedlejší časy výrobních operací, například postprocessingu u 3D tisku, nebo přípravy stroje a nástrojů před frézováním. Díky zpřesnění celkových časů by bylo přesnější i výsledné porovnání vhodnosti technologií.

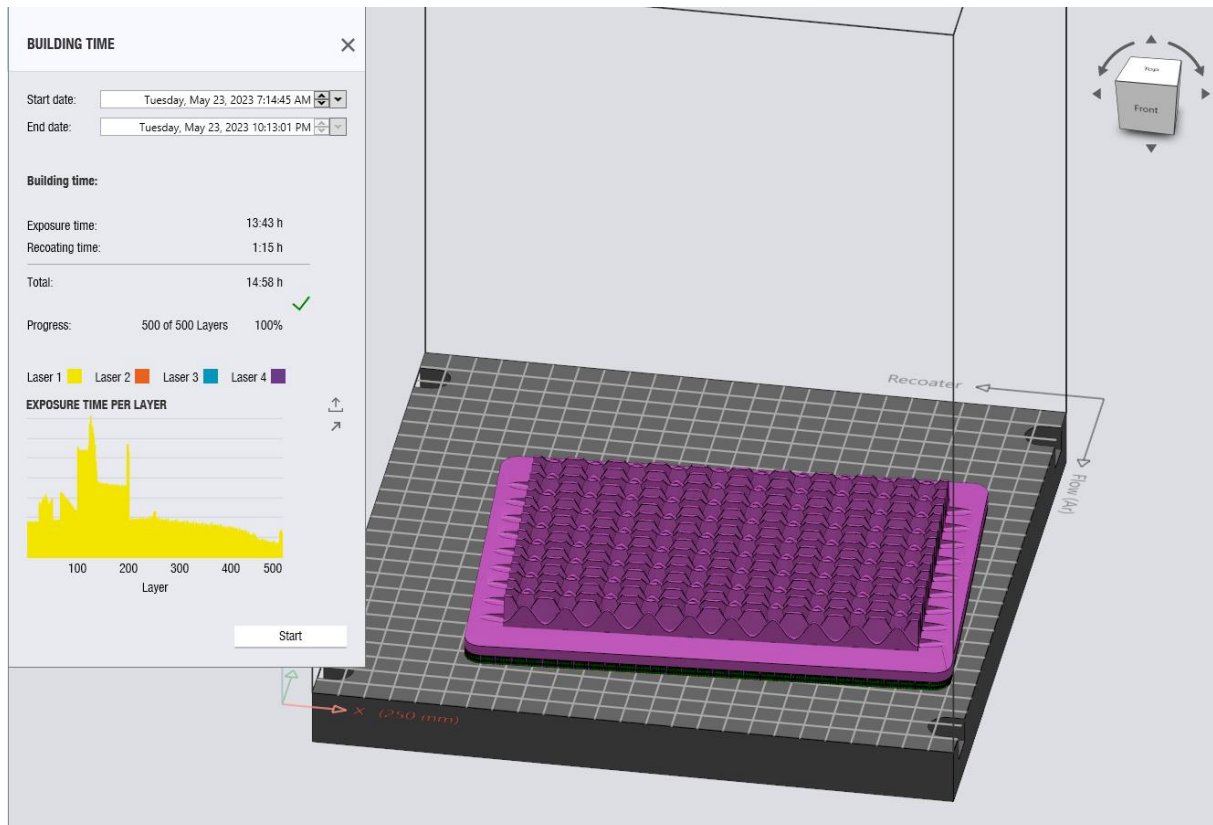
## Zdroje

- [1] B-INSIDE S.R.O. Professional 3D printing in Central Europe. *3Dwiser* [online]. 2021 [vid. 2022-11-13]. Dostupné z: <https://cloud.3dwiser.com/s/F7235in7JjZmimj>
- [2] AMFG. Why Companies Embrace 3D Printing for End-Part Production. *AMFG* [online]. 30. srpen 2021 [vid. 2023-02-12]. Dostupné z: <https://amfg.ai/2021/08/30/why-companies-embrace-3d-printing-for-end-part-production/>
- [3] TEAM FICTIV. A Brief History of CNC Machining. *Fictiv* [online]. 8. únor 2021 [vid. 2023-03-18]. Dostupné z: <https://www.fictiv.com/articles/a-brief-history-of-cnc-machining>
- [4] RAPIDDIRECT. Applications of CNC Machining: Understanding Their Benefits. *rapiddirect* [online]. [vid. 2023-03-18]. Dostupné z: <https://www.rapiddirect.com/knowledge-base/applications-of-cnc-machining/>
- [5] MAMADJANOVICH, Alisher, Sardorbek MARUFOVICH a Shokhrukh SADIROV. Advantages and the future of CNC machines. *SCIENTIFIC PROGRESS*. 2021, 2(1).
- [6] SOORI, Mohsen, Behrooz AREZOO a Roza DASTRES. Machine learning and artificial intelligence in CNC machine tools, A review. *Sustainable Manufacturing and Service Economics* [online]. 2023, 100009 [vid. 2023-03-18]. ISSN 26673444. Dostupné z: [doi:10.1016/j.smse.2023.100009](https://doi.org/10.1016/j.smse.2023.100009)
- [7] ISCAR ČR S.R.O. 3D tisk versus CNC obrábění v kovovýrobě. *Strojírenství* [online]. 2022 [vid. 2022-11-19]. Dostupné z: <https://www.strojirenstvi.cz/3d-tisk-versus-cnc-obrabeni-v-kovovyrobe>
- [8] WP ENGINEERING. Srovnáváme 3D tisk a CNC obrábění. *WP engineering* [online]. 13. únor 2021 [vid. 2022-11-19]. Dostupné z: <https://www.wpeng.cz/l/srovnavame-3d-tisk-a-cnc/>
- [9] 3D printing vs. CNC machining: Which is better for prototyping and end-use parts? *Hubs* [online]. 2022 [vid. 2022-11-20]. Dostupné z: <https://www.hubs.com/knowledge-base/3d-printing-vs-cnc-machining/>
- [10] MÁDL, Jan, Antonín ZELENKA a Martin VRABEC. *Technologičnost konstrukce obrábění a montáže*. první. Praha: Vydavatelství ČVUT, nedatováno. ISBN 80-01-03288-4.
- [11] Feron online. *Feron* [online]. [vid. 2023-02-15]. Dostupné z: <https://online.ferona.cz/vyhledavani/307>
- [12] slévárna. *Seco Industries s.r.o.* [online]. [vid. 2023-02-15]. Dostupné z: <https://www.secoindustries.cz/slevarna>
- [13] VABEX s.r.o. [online]. [vid. 2023-02-15]. Dostupné z: <https://www.shop.strojniveraky.cz/produkty/modularni-sverak-vmp-4-detail>

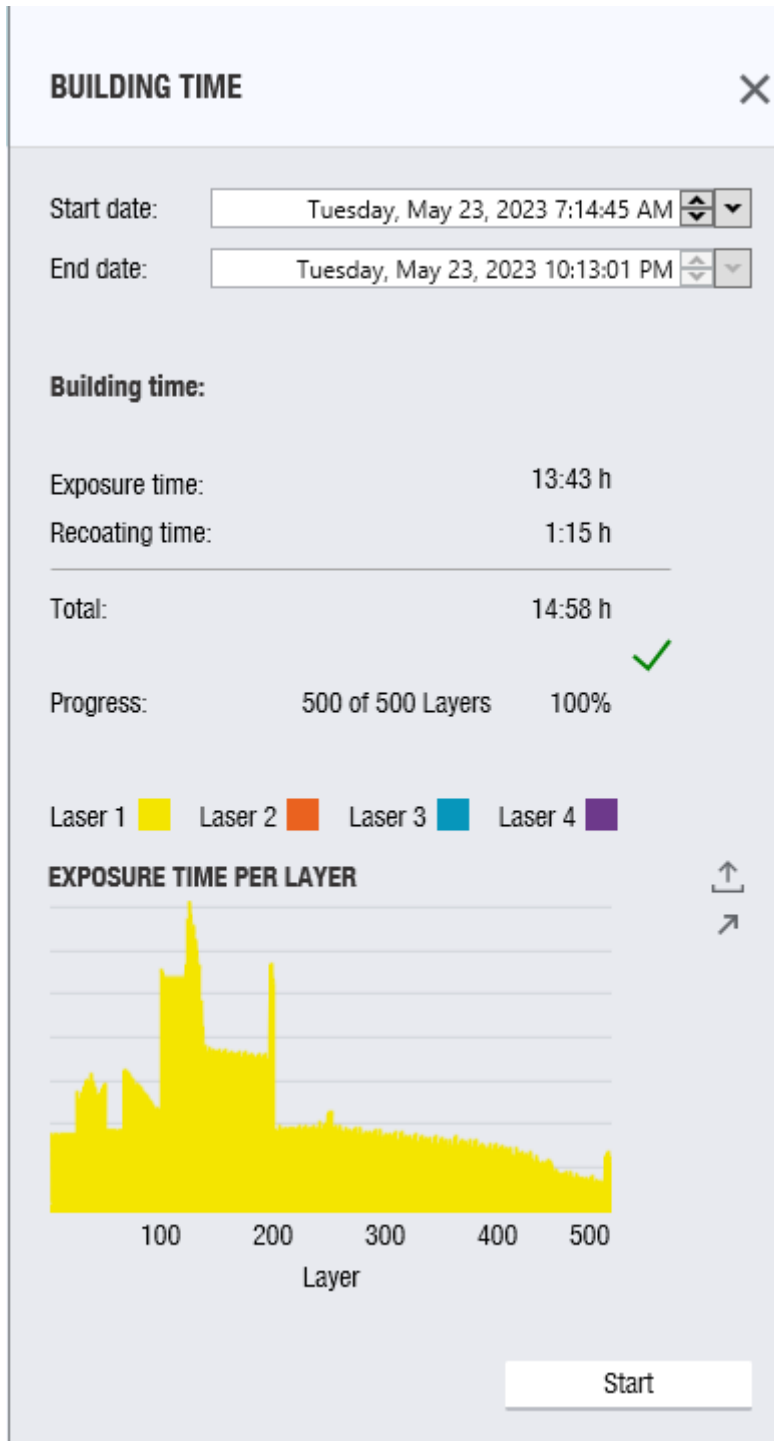
- [14] Technologičnost konstrukce při 3D tisku kovových dílů. *ČVUT Fakulta strojí* [online]. [vid. 2023-02-05]. Dostupné z: <https://www.fs.cvut.cz/ostatni/sekce-3dtisk/3dtisk/moznosti-3dtisk/technologicnost-konstrukce-3dtisk/technologicnost-konstrukce-pri-3d-tisku-kovovych-dilu-3dtisk/>
- [15] AXSOM, Tessa. Recommended Wall Thickness for 3D Printing. *Fictiv* [online]. 5. květen 2022 [vid. 2023-02-15]. Dostupné z: <https://www.fictiv.com/articles/recommended-wall-thickness-for-3d-printing>
- [16] ZETKOVÁ, Ivana. *Problematika výroby strojních kovových součástí 3D tiskem* [online]. Plzeň, 2017. ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI FAKULTA STROJNÍ. Dostupné z: <https://dspace5.zcu.cz/bitstream/11025/28412/1/Zetkova.pdf>
- [17] Why you need to include 3D printing post processing into your manufacturing process. *Made in the Midlands* [online]. [vid. 2023-02-15]. Dostupné z: <https://madeinthemidlands.com/news/why-you-need-to-include-3d-printing-post-processing-into-your-manufacturing-process>
- [18] SPÁČIL, Petr. *AL slitiny* [online]. [vid. 2023-01-31]. Dostupné z: <http://www.kovo-spacil.cz/alloys/cz.htm>

## PŘÍLOHA č. 1

### Data ze simulace 3D tisku



Obr. 1 Simulace 3D tisku



Obr. 2 Detail údajů ze simulace