

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STROJNÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE



BAKALÁRSKA PRÁCA

Vývoj technológie odliatku chladiča
The development of cooler casting technology

Autor: Gabriel FEDOR
Študijný program: Výroba a ekonomika ve strojírenství
Vedúci práce: doc. Ing. HERMAN Aleš Ph.D.

Praha 2022

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Fedor** Jméno: **Gabriel** Osobní číslo: **466407**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávací katedra/ústav: **Ústav strojírenské technologie**
Studijní program: **Výroba a ekonomika ve strojírenství**
Studijní obor: **Technologie, materiály a ekonomika strojírenství**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Vývoj technologie odlitku chladiče

Název bakalářské práce anglicky:

The development cooler casting technology

Pokyny pro vypracování:

1. Konstrukce a návrh chladičů 2. Materiály používané na odlitky chladičů 3. Technologičnost konstrukce chladiče pro hasboard miner 4. Návrh technologie výroby chladiče 5. Zhodnocení výroby prototypu a návrh sériové výroby

Seznam doporučené literatury:

dle pokynů vedoucího

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

doc. Ing. Aleš Herman, Ph.D. ústav strojírenské technologie FS

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **21.04.2022**

Termín odevzdání bakalářské práce: **09.09.2022**

Platnost zadání bakalářské práce: **31.12.2022**

doc. Ing. Aleš Herman, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce

doc. Ing. Ladislav Kolařík, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

doc. Ing. Miroslav Španiel, CSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

Abstrakt

Táto bakalárska práca sa zaoberá témou vývoja technológie a návrhu výroby odliatku chladiča. Práca sa skladá z dvoch častí, teoretickej a praktickej. Teoretická časť je zameraná na všeobecné poukázanie princípu a rozdelenia chladičov, ako aj na predloženie požiadaviek na konštrukciu predpokladaného chladiča, voľbu vhodnej technológie výroby a návrh konštrukcie samotného odliatku chladiča, kedy práca plynule prechádza do praktickej časti výroby modelu, prípravy a odliatia prototypov, ich strojného obrobenia, záverečnej kontroly kvality použitého materiálu a technológie výroby až po návrh sériovej výroby.

Kľúčové slová

chladič, chladiace zariadenie, odliatok, návrh výroby, prototyp, sériová výroba, technológia gravitačného odlievania, liatie do piesku, 3D model, rebrovaný hliníkový chladič, hliníková zliatina, EN AC - 46 000, AlSi9Cu3

Abstract

This bachelor's thesis deals with the topic of the development of technology and the design of the production of a heat sink casting. The work consists of two parts, theoretical and practical. The theoretical part is focused on the general demonstration of the principle and subdivision of coolers, as well as the presentation of requirements for the construction of the assumed heat sink, the choice of suitable production technology and the design of the construction of the heat sink casting itself, when the work transitions to the practical part of model production, preparation and casting of prototypes, their mechanical machining, final quality control of the used material and production technology up to the design of serial production.

Keywords

heat sink, cooler, cooling device, casting, production design, mass production, gravity casting technology, sand casting, 3D model, finned aluminium heat sink, aluminium alloy, EN AC - 46 000, AlSi9Cu3

Čestné prehlásenie

Prehlasujem, že som túto bakalársku prácu na tému **Vývoj technológie odliatku chladiča** vypracoval samostatne a všetky literárne pramene a zdroje informácií, ktoré som použil, citujem a uvádzam v zozname použitej literatúry a zdrojov informácií.

Ďalej prehlasujem, že nemám závažný dôvod proti použitiu tejto školskej práce v zmysle §60 zákona č. 121/2000 Sb., o práve autorskom, o právach súvisiacich s právom autorským a o zmene niektorých zákonov (autorský zákon).

V Prahe dňa

podpis autora

PodĎakovanie

Rád by som týmto poĎakoval najmä vedúcemu mojej bakalárskej práce, pánovi doc. Ing. Alešovi Hermanovi, Ph.D., za jeho čas a trpezlivosť, ochotu poradiť a obetavosť s pomocou pri vypracovávaní tejto záverečnej práce.

Ďalej sa chcem poĎakovať pánovi Ing. Vítovi Novákovi za pomoc pri výrobe odliatku na zlievarni, ďalej pánovi Ing. Michalovi Slanému za pomoc so strojným obrobením hrubého odliatku a kolegovi Bc. Adamovi Stehlíkovi za pomoc s výrobou 3D modelu.

VĎaka patrí aj samotnému Ústavu strojírenské technologie, FS ČVUT v Prahe za umožnenie praktickej výroby predmetu záverečnej práce, spoločnosti BRAIINS Systems s.r.o. za námet a poskytnutie podkladov potrebných k vypracovaniu práce, ale aj mojej rodine a blízkym za osobnú podporu a pomoc.

Obsah

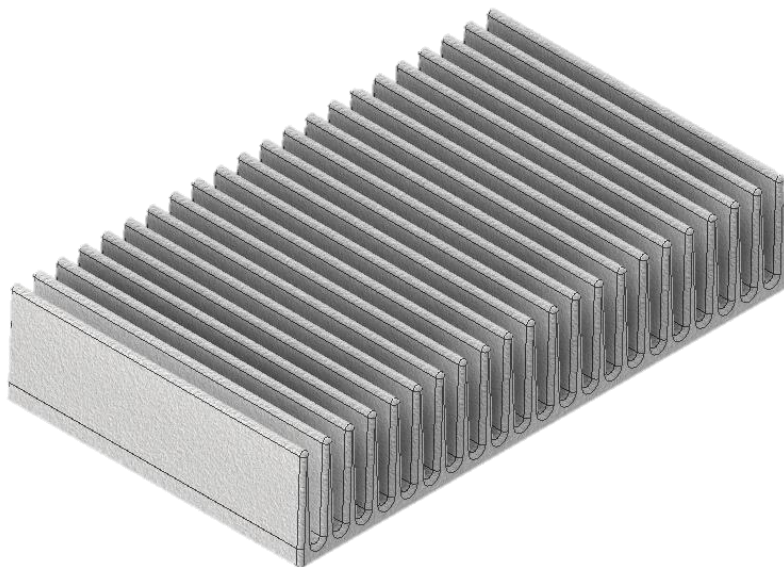
Abstrakt	3
Klíčové slová	3
Abstract	3
Keywords	3
Čestné prehlásenie	4
Poďakovanie	5
1. Úvod a ciele práce	8
2. Konštrukcia a návrh chladičov	9
2.1 Princíp a rozdelenie chladiacích zariadení	9
2.2 Typy a tvary chladičov	10
3. Materiály používané na odliatky chladičov	13
4. Technologičnosť konštrukcie chladiča pre hashboard miner	14
4.1 Stavba ťažiaceho stroja	14
4.2 Konštrukcia chladiča pre hashboard miner	15
5. Návrh technológie výroby chladiča	16
5.1 Voľba konštrukčných prvkov navrhovaného výrobku	16
5.1.1 Rozbor technologičnosti odliatku a návrh prípadných úprav (tvaru, hrúbky rebier, odľahčenia, zaslepenia otvorov, zaoblenia, ...)	16
5.1.2 Návrh optimálneho materiálu, jeho smerného zloženia a doporučeného tepelného spracovania	16
5.1.3 Návrh technológie výroby foriem a jadier	17
5.1.4 Stanovenie polohy a výber polohy odliatku vo forme, deliacej roviny formy a modelu a voľných častí modelu	18
5.1.5 Návrh typu modelových zariadení (nedelený/delený model/modelové dosky)	24
5.1.6 Návrh triedy prevedenia modelu a materiálu modelového zariadenia	26
5.1.7 Stanovenie stupňa presnosti modelu (ČSN 01 44 700, ČSN EN 12 890)	26
5.1.8 Stanovenie úkosov a prídavkov na obrábanie (ČSN 04 2021, ČSN 01 4980, ČSN 12 890)	27
5.2 Voľba technologických prvkov a realizácia výroby	28
5.2.9 Návrh jadier (tvar, uloženie, známky, výstuhy, prieduchy)	28
5.2.10 Návrh nálietkov (typ, počet, rozmery, umiestnenie, napojenie)	28
5.2.11 Návrh rámu a optimálneho rozmiestnenia odliatkov vo forme	28
5.2.12 Návrh vtokovej sústavy a výpočet prierezov	28
5.2.13 Návrh zloženia formovacej zmesi	29
5.2.14 Návrh taviaceho zariadenia	30

5.2.15	Návrh zloženia kovovej vsádzky– kalkulácia na základe zloženia surovín a požadovaného výsledného zloženia taveniny s prihliadnutím k zmenám pri tavení, očkovaní a modifikácii a cenám surovín.....	30
5.2.16	Návrh panvy, teploty odpichu a odlievacej teploty.....	31
5.2.17	Návrh potrebnej doby chladnutia	31
5.2.18	Návrh spôsobu uvoľňovania, odstraňovania vtokov a nálitkov a čistenie	31
5.3	Finálne kroky výroby, kontrola a postúpenie k strojnému obrobeniu výrobku.....	32
5.3.19	Návrh tepelného spracovania	32
5.3.20	Návrh spôsobu kontroly a povrchovej úpravy odliatkov.....	32
5.3.21	Návrh strojného obrobenia	32
6	Zhodnotenie výroby prototypu a návrh sériovej výroby.....	37
6.1	Zhodnotenie výroby prototypu	37
6.2	Návrh sériovej výroby.....	41
6.2.5	Návrh typu modelového zariadenia (nedelený/delený model/modelové dosky)	41
6.2.6	Návrh triedy prevedenia modelu a materiálu modelového zariadenia	45
6.2.7	Stanovenie presnosti modelu (ČSN 01 44 700, ČSN EN 12 890)	45
6.2.15	Návrh zloženia kovovej vsádzky – kalkulácia na základe zloženia surovín a požadovaného výsledného zloženia taveniny s prihliadnutím k zmenám pri tavení, očkovaní a modifikácii a cenám surovín.....	45
6.2.16	Návrh panvy, teploty odpichu a odlievacej teploty.....	45
7	Záver	46
8	Prílohy.....	47
9	Zdroje.....	48
9.1	Zoznam použitej literatúry	48
9.2	Zoznam obrázkov	49
9.3	Zoznam tabuliek	50

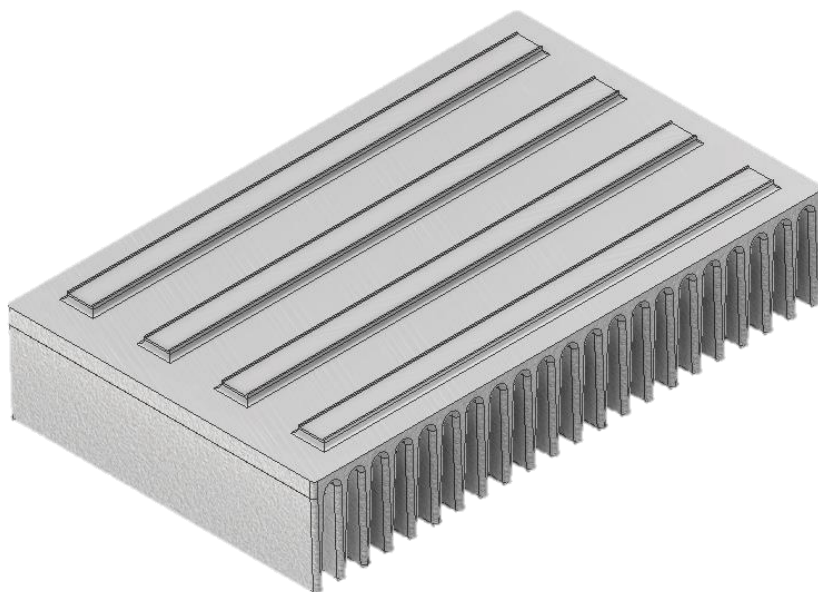
1. Úvod a ciele práce

Predmetom tejto práce je poukázanie na všeobecné princípy chladičov, ich rozdelenie podľa funkcie a najčastejšie používané materiály pri odliatkoch chladičov. Ďalej je v práci opísaný návrh nového chladiča pre zákazníka, dizajnovaného podľa jeho potrieb a požiadavkov v rámci technologických a konštrukčných možností kusevej výroby prototypov, resp. malosériovej výroby predpokladanej kapacity 1 500 kusov.

Cieľmi práce teda je navrhnuť a vyrobiť skúšobné prototypy chladičov, vid' Obr. č.1 a Obr. č.2, na základe technologických predpokladov a konštrukčných požiadavkov zákazníka. V závere práce sa overí použitý spôsob výroby, použitý materiál na odliatky a za predpokladu, že by prototypy vyhovovali potrebám a účelu funkcii, bude navrhnutá sériová výroba chladičov použitých na vlastných nových zariadeniach zákazníka.



Obrázok 1, 3D model návrhu chladiča, pohľad zhora



Obrázok 2, 3D model návrhu chladiča, pohľad zdolu

2. Konštrukcia a návrh chladičov

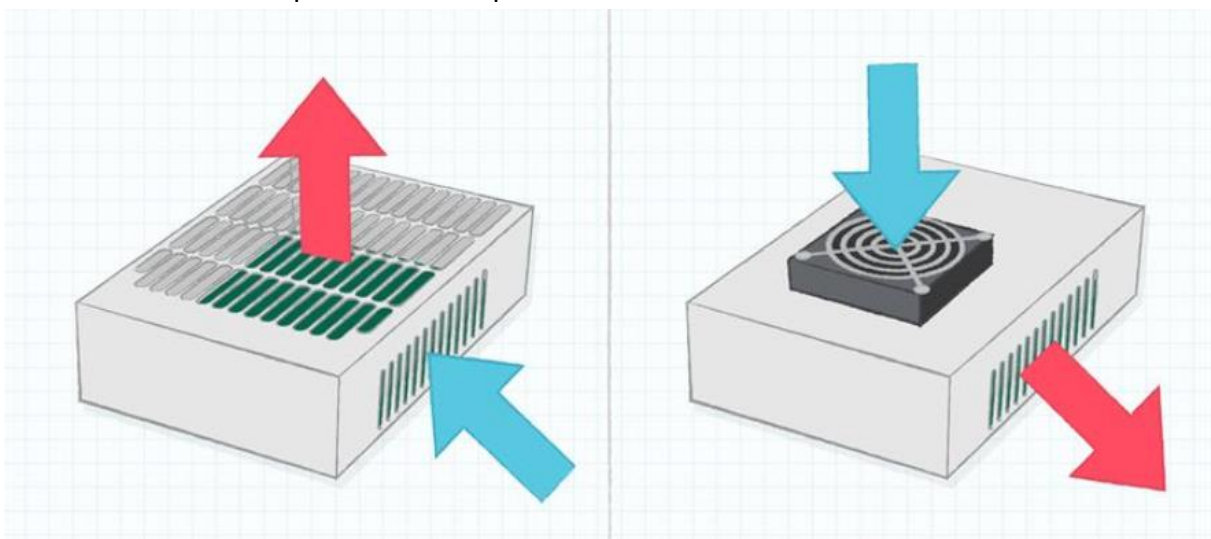
2.1 Princíp a rozdelenie chladiacích zariadení

Chladiace zariadenia sú technologické prístroje, alebo súčasti, ktorých úlohou je úmyselné znižovanie a udržiavanie teploty chladeného prvku v ktorom vzniká stratové teplo pri výkone jeho činnosti.

Chladič odvádza jeho teplo do okolitého priestoru, alebo iného média, tak aby udržal bezpečnú prevádzku chladeného prvku, prípadne aby zabránil zníženiu jeho výkonu, resp. jeho úplnému odstaveniu z činnosti.

Z hľadiska vedenia tepla chladičov ich môžeme rozdeliť na pasívne a aktívne, prípadne kombinované:

- pasívne chladenie, vid' Obr. č. 3 vľavo, spočíva v prirodzenom vedení tepla do okolitého prostredia, chladič je napojený priamo na chladený prvok, pri čom je konštruovaný tak, aby mal čo najväčšiu plochu telesa z dôvodu čo najlepšieho odvedenia tepla do okolitého prostredia.
Tento typ chladenia ale nie je možné regulovať, preto v prípade nedostatočného chladenia je nutné obmedziť činnosť chladeného prvku, teda znížiť jeho výkon a vznik stratového tepla, aby sa predišlo jeho poškodeniu.
- aktívne chladenie, vid' Obr. č. 3 vpravo, spočíva vo vynútenom prúdení chladiaceho média po povrchu chladeného prvku, čím odvádza vyžarované teplo a kontrolovane znižuje jeho teplotu. Vynúteným prúdením sa narušuje koeficient prestupu tepla, preto pri rovnakom odvode tepla ako pri pasívnom chladení je možné zmenšiť plochy chladiča, teda aj jeho veľkosť a hmotnosť.
Chladiacim médiom môže byť vzduch hnaný vetrákom, alebo prúd chladiacej kvapaliny pokiaľ to konštrukcia chladeného prvku umožňuje.
Tento typ chladenia je možné regulovať, teda navýšiť v prípade prehrievania zariadenia popri udržaní jeho stáleho výkonu, alebo naopak, chladenie je možné úplne odstaviť, ak zariadenie nevyžaduje chladenie, prípadne ak je to nežiadúce, napríklad pri potrebnom ohreve súčasti na prevádzkovú teplotu.



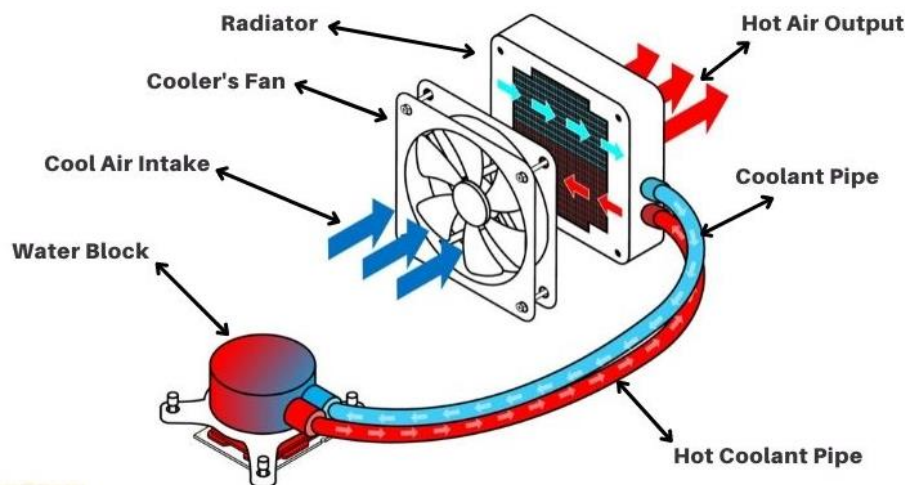
Obrázok 3, Náhľad pasívneho a aktívneho chladenia

- kombinované chladenie, vid' Obr. č. 4, spočíva v spojení princípov pasívneho a aktívneho chladenia, keďže chladený prvok priamo odovzdá svoje teplo do pasívneho chladiča s väčšou plochou, ktorý je následne možné efektívnejšie ochladiť aktívnym chladením.

Táto technológia je najviac využívaná v prípadoch potreby regulovateľného chladenia a zároveň veľkého odvodu tepla zo súčasti.

Rozšírením kombinovaného chladenia je vodné chladenie, ktoré je konštruované ako uzavretý systém, v ktorom prúdi chladiace médium (destilovaná voda, olej a iné chladiace kvapaliny). Okruh pozostáva z čerpadla, pasívnych chladičov jednotlivých súčastí a veľkého pasívneho chladiča, ktorý je možné umiestniť mimo chladených súčastí, alebo sústavy. Tento väčší pasívny chladič, prezývaný aj ako radiátor, je zvyčajne doplnený aktívnym chladičom, ktorý zvyšuje jeho efektivitu.

[1]



Obrázok 4, Schéma vodného chladenia elektronických súčastok

2.2 Typy a tvary chladičov

Pre rôzne použitie a potreby chladiacich zariadení existujú rozličné typy chladičov s prispôbomenými tvarmi podľa danej potreby za účelom zefektívnenia chladiaceho účinku, resp. podľa technologických či konštrukčných možností a preferencií.

Typy chladičov podľa technológie výroby:

- Cold-plate – Obr. č. 5, chladič pozostávajúci z kovovej dosky, zvyčajne z hliníku, v ktorej sú umiestnené trubky, ktorými prechádza chladiace médium a odovzdáva svoje teplo do tejto dosky
- Die-cut – Obr. č. 6, rebrovaný chladič, strojne vyrobený z kovového odliatku tvaru dosky alebo hranola

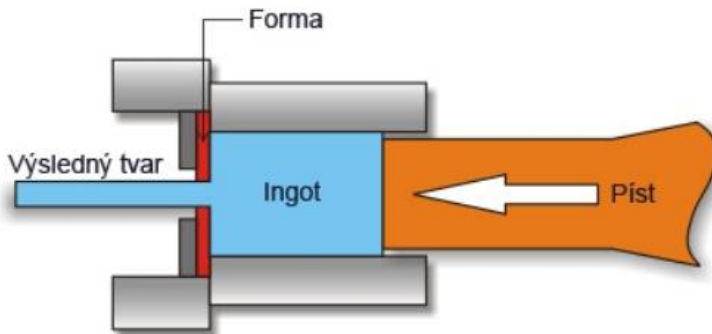


Obrázok 5, Cold-plate chladič



Obrázok 6, Die-cut chladič

- Extrudovaný – kovový chladič vyrobený technológiou pretlačovania zahriateho materiálu, viď Obr. č. 7, do tvarov H,Y,U, ...
- Lisovaný – Obr. č. 8, chladič vyrobený z plechového polotovaru, vylisovaný do potrebných veľkostí a tvarov (plochý , U, ...)

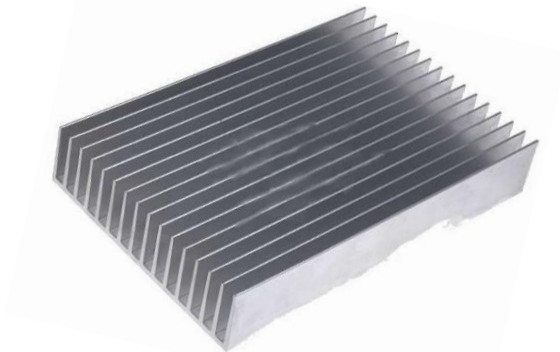


Obrázok 7, Schéma technológie pretlačovania hliníka



Obrázok 8, Lisovaný chladič tvaru U

- Odlievány – Obr. č. 9, chladič vyrobený zvyčajne do tvaru rebier, ktoré môžu byť súčasťou púzdra alebo samotného telesa chladeného prvku (napr. rebrovaný stator elektromotoru), alebo ako samostatný chladič, ktorý je pripojený na daný prvok
- Heat-pipe – Obr. č. 10, chladiaca trubica, alebo plochá tyčinka, zvyčajne z medi kvôli lepším teplovodivým vlastnostiam, uložená do pasívneho chladiča kvôli lepšiemu a rovnomernejšiemu rozvedeniu tepla v telese chladiča



Obrázok 9, Odlievány rebrovaný chladič

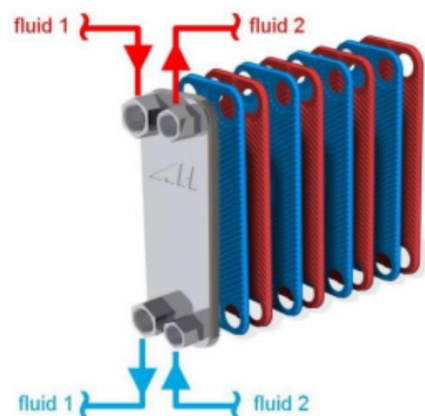


Obrázok 10, Heat-pipe, plochá medená chladiaca tyčinka

- Chladiče s krytom – Obr. č. 11, vytvorenie "tunela" kvôli usmernému prúdeniu chladiaceho média
- Doskový výmenník tepla – Obr. č. 12, rebrované zariadenie s uzavretým okruhom chladiaceho média, vhodné aj na ohrev



Obrázok 11, Chladič s krytom



Obrázok 12, Doskový výmenník tepla

Tvary prevedení chladičov:

- Rebrovaný, Obr. č.13
- Plochý, Obr. č.14



Obrázok 13

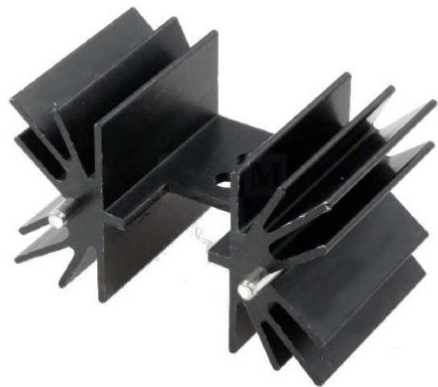


Obrázok 14

- Okrúhly, Obr. č.15
- Tvar H, Obr. č.16



Obrázok 15



Obrázok 16

- Tvar Y, Obr. č.17
- Tvar U, Obr. č.18



Obrázok 17



Obrázok 18

3. Materiály používané na odliatky chladičov

Pre materiály odliatkov chladičov je kľúčová kombinácia nasledovných vlastností:

- Súčiniteľ tepelnej vodivosti λ [W/m.K]
 - definovaný ako množstvo tepla, ktoré prejde za jednotku času medzi dvoma protiľahlými stenami kocky s hranou 1 m, ak je rozdiel teplôt medzi stenami 1 Kelvin
- Vlastnosti odlievania materiálu
 - schopnosť dobrého zatečenia taveniny do tvaru formy
 - minimálne hrúbky stien odliatku
- Hmotnosť
- Strojná obrábiteľnosť
- Cena materiálu

Prehľad tepelných vodivostí a hustôt vybraných materiálov je zobrazený v tabuľke č.1

Tabuľka 1

Materiál	Súčiniteľ tepelnej vodivosti λ [W/m.K]	Hustota [kg/m ³]
Striebro	418	10 490
Hliníková liatina	120	2 700
Meď	393	8 900
Horčíková liatina	77	1 830
Liatina s guľôčkovým grafitom	35-37	7 300
Oceľ	50	7 850

Najlepším tepelným vodičom z kovových materiálov je striebro, ale je príliš drahé a ťažké pre naše použitie.

Meď má výborné teplovodivé a zlievarenské vlastnosti, ale pre naše použitie je taktiež drahá a ťažká.

Oceľ a liatina LGG majú voči sebe podobné teplovodivé vlastnosti, ale majú väčšie nároky na minimálnu hrúbku stien odliatku, sú ťažké a majú pomerne nízku tepelnú vodivosť.

Najpoužívanejšími materiálmi na ľahké odliatky sú hliníkové a horčíkové liatiny, pretože majú výborné zlievarenské vlastnosti a nízku hustotu. Avšak horčíková liatina je v porovnaní s hliníkovými liatinami výrazne drahšia a má nižšiu tepelnú vodivosť.

Pre náš odliatok chladiča volím podľa tabuľky č.1 materiál hliníkovej liatiny EN AC – 46 000 podrobnejšie opísanej v bode č.5.2, ktorá má dobré teplovodivé vlastnosti, je dobre odlievateľná, má nízku hmotnosť a je ľahko obrábiteľná, teda dostatočne spĺňa naše požiadavky.

4. Technologičnosť konštrukcie chladiča pre hashboard miner

4.1 Stavba ťažiaceho stroja

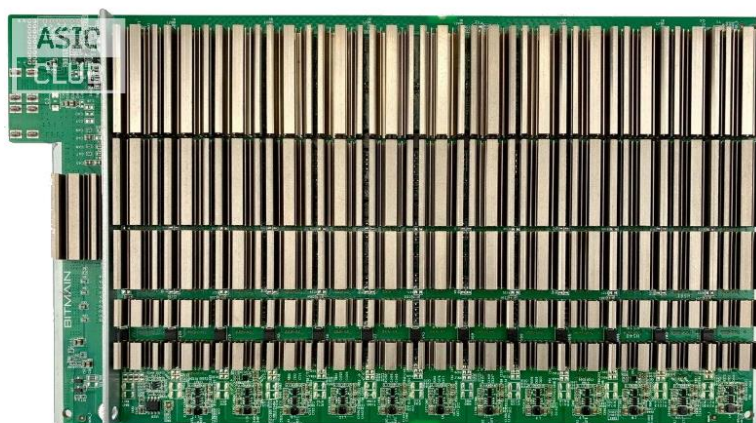
Hlavným komponentom ťažiaceho stroja je tzv. hashboard, viď Obr. č.19, ktorý tvorí PCB doska (Printed Circuit Board – doska plošných spojov), na ktorej sú uložené čipy a iné elektronické prvky. Táto doska slúži ako nosný a konštrukčný prvok elektronických obvodov a prvkov.

Tieto elektronické prvky vytvárajú veľké množstvo stratového tepla, preto je nutné ich dostatočne chladieť pomocou kombinovaného chladenia, aby sa predišlo zníženiu výkonu, alebo v kritických prípadoch až poškodeniu niektorých súčiastok hashboardu.

Chladenie zariadenia je uskutočnené pomocou pasívnych chladičov uložených na hashboard a vynúteným aktívnym chladením prostredia okolo jedného, alebo viacerých hashboardov.

Pasívny chladič je na hashboard pripevnený styčnými plochami drážok chladiča na plochy čipov s použitím elektricky nevodivej tenkej keramickej dosky uloženej medzi nimi. Táto keramická doska ochráni elektronické súčiastky na doske pred vyskratovaním, ale zároveň umožní dobré odvedenie tepla z čipov do chladiča hashboardu.

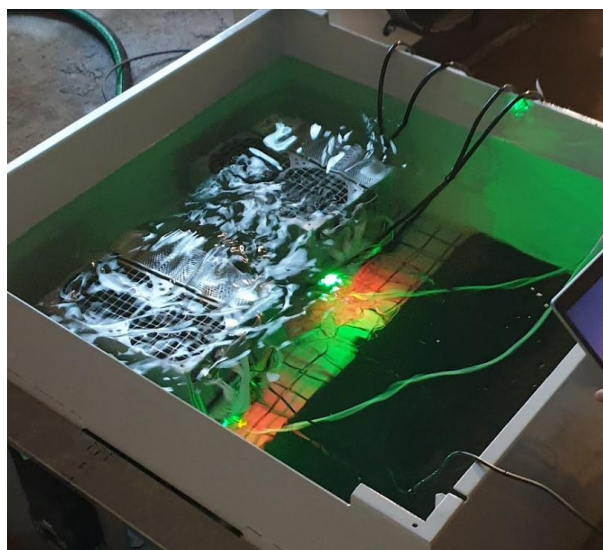
Aktívne chladenie priestoru okolo pasívnych chladičov hashboardov je uskutočnené ventilátormi v prípade zariadenia uloženého na vzduchu, viď Obr. č.20. V prípade, že sa zariadenie uloží do nádoby s elektricky nevodivým olejom určeného na chladenie elektronických súčiastok, viď Obr. č. 21, tak pasívne chladiče hashboardu sú chladené vynúteným prúdením chladiaceho média – oleja.



Obrázok 19, Hashboard AntMiner S17+



Obrázok 20, Ťažiaci stroj AntMiner S17+, vzduchom chladený



Obrázok 21, Ťažiaci stroje uložené do elektricky nevodivého chladiaceho oleja

4.2 Konštrukcia chladiča pre hashboard miner

Pôvodný pasívny chladič hashboardu je vyrobený z hliníka, extrudovaný do rebrovaného tvaru s mnohými rebami tenkých stien a malých rozmerov, vid' príloha - výrobný výkres "hashboard_20210805".

Podľa potrieb zákazníka na výrobu prototypov vlastných hashboardov, prípadne na vlastnú malosériovú výrobu navrhujem nový pasívny chladič odvodený z aktuálnych funkčných rozmerov. Navrhovaný chladič je rozmermi dĺžky a šírky rovnaký ako pôvodný, ktorého chladiaci výkon sa predpokladá ako dostačujúci. Je základom pre návrh nového chladiča, za predpokladu, že povrch rebier ostane rovnaký, aby bola zachovaná jeho chladiaca schopnosť.

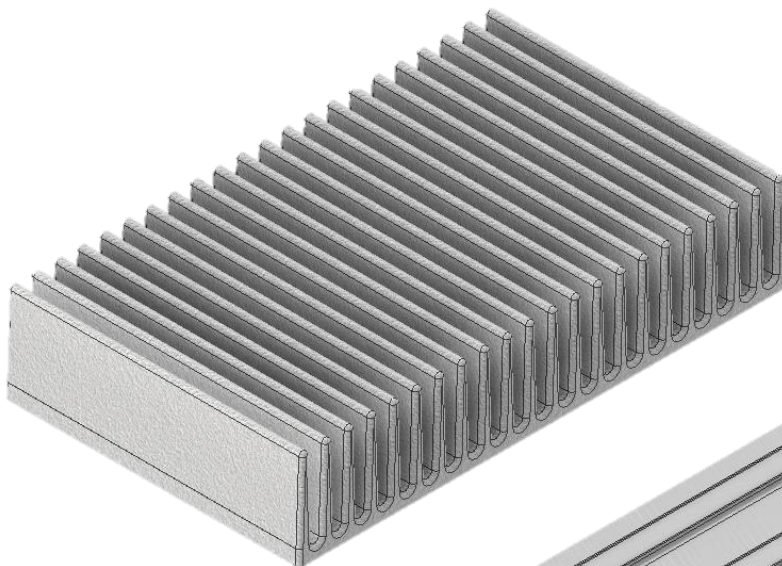
Podľa požiadaviek zákazníka na veľkosť výrobnéj dávky a jej odvíjajúcej sa cene, volíme po konzultáciách a vzájomnej dohode technológiu výroby chladiča gravitačným odlievaním do pieskovej formy s dodatočným strojným obrobením funkčných styčných plôch chladiča. Táto technológia výroby je jednoduchá a lacná, preto je výhodná na experimentálne overenie funkčnosti nového pasívneho chladiča a samotných nových hashboardov.

Navrhovaný pasívny chladič, vid' Obr. č.1 a Obr. č.2, je určený na chladenie vo vzduchu, ale aj v chladiacej kvapaline.

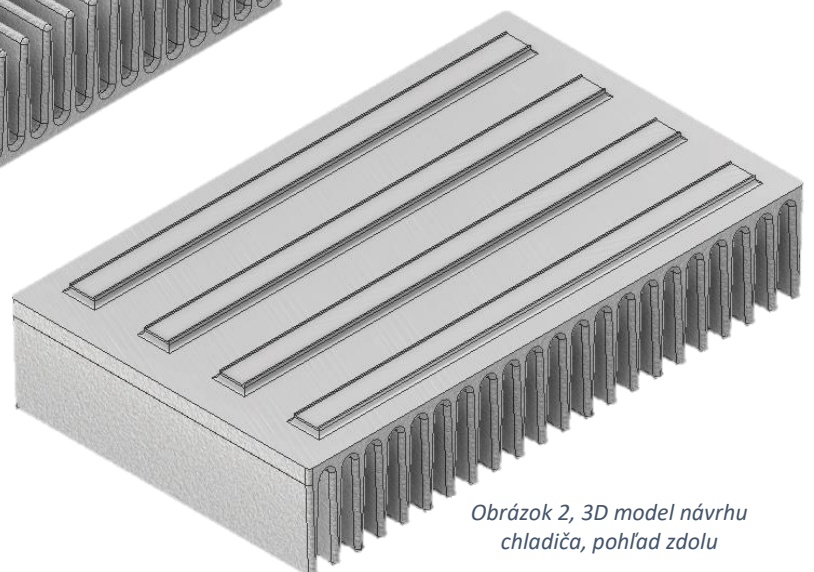
Kvôli vybranej technológii výroby nových chladičov je potrebné upraviť konštrukciu chladiča a to tvar, veľkosť a počet rebier tak, aby ho bolo technologicky možné vyrobiť.

Keďže hrúbky stien rebier sú pre hliník odlievaný gravitačne stanovené na minimálne 3 mm a je potrebné ich vytvarovať s úkosom aspoň 2°, bolo nutné znížiť počet rebier, ale zároveň kvôli zachovaniu veľkosti ich plochy boli zväčšené do výšky.

Po odliatí chladiča sú na záver strojne vyrobené 4 drážky rozmerov 9mm na šírku a 175mm na dĺžku, vid' výrobný výkres prototypu.



Obrázok 5, 3D model návrhu chladiča, pohľad zhora



Obrázok 2, 3D model návrhu chladiča, pohľad zdolu

5. Návrh technológie výroby chladiča

5.1 Voľba konštrukčných prvkov navrhovaného výrobku

5.1.1 Rozbor technologicnosti odliatku a návrh prípadných úprav (tvaru, hrúbky rebier, odľahčenia, zaslepenia otvorov, zaoblenia, ...)

- Stupeň tolerancie určený na CT11
- Zaoblenie hrán polomerom R1,5 na špičke rebra, resp. R2 na dne rebra
- Minimálna hrúbka steny - rebra odliatku určená na 3 mm
- Hrúbka stien sa postupne zväčšuje pre optimálne zatečenie roztaveného materiálu do formy a pre jeho postupné chladnutie smerom od rebier do základne, prípadne až ku nálitku
- Možnosť použitia nálitku pre usmernené chladnutie a doplnenie tavného materiálu pri tuhnutí a zmrštení
- Úkos rebier 2° voči strednej osi medzi rebrami
- Plocha základne strojne obrobená CNC frézkuou pre vytvorenie styčných plôch chladiča, elektricky nevodivej keramickej podložky a čipu hashboardu

5.1.2 Návrh optimálneho materiálu, jeho smerného zloženia a doporučeného tepelného spracovania

- Zvolený materiál – hliníková zliatina EN AC 46 000 (AlSi9Cu3, SS 4250)
 - veľmi dobré zlievarenské vlastnosti, obzvlášť pre gravitačné odlievanie, alebo pre odlievanie tenkých stien odliatku
 - malá tendencia vytvárania sťažení a vnútorných poretít
 - dobre mechanicky obrobiteľný materiál
 - dobré teplovodivé vlastnosti
 - bez nutnosti tepelnej alebo povrchovej úpravy
- Mechanické vlastnosti a chemické zloženie:
 - Hustota ρ 2,7 g/cm³
 - Pevnosť v ťahu Rm 240 MPa
 - Pevnosť v klze Rp0,2 140 MPa
 - Ťažnosť k pretrhnutiu A50 <1 %
 - Tvrdosť podľa Brinella HBS 80
 - Termálna konduktivita 120 W/mK [8]

Tabuľka 2

Chemické zloženie [%] materiálu AlSi9Cu3(Fe) (EN AC-46 000)											
Fe	Si	Mn	Ni	Cr	Ti	Cu	Pb	Mg	Zn	Sn	Al
max 1,3	8-11	max 0,55	max 0,55	max 0,15	max 0,25	2-4	max 0,35	0,05- 0,55	max 1,2	max 0,15	zvyšok


-

5.1.3 Návrh technológie výroby foriem a jadier

- Vzhľadom na rozmery, hmotnosť odliatku a hrúbky stien, podľa tabuliek 3 a 4, volím technológiu výroby formy na surovo pre vrchnú časť formy a pomocou samotuhnúcej zmesi pre spodnú časť formy.
- Pre vrchnú časť formy, v ktorej je uložený vtokový kanál a náliek volím ílovú bentonitovú formovacu zmes, ktorá je vhodná na ručné aj strojné formovanie tvarovo jednoduchších odliatkov s dostatočnou pevnosťou formy po vybratí modelu a je ekonomicky výhodná.
- Pre spodnú časť formy, v ktorej je uložený rebrovaný chladič s pripojeným struskovákem volím samotuhnúcu zmes technológie GEOPOL® vytvrditeľnú anorganickým tvrdilom rady SA.

Táto zmes nám zabezpečí dostatočnú pevnosť a celistvosť formy tvarovo zložitejších odliatkov, najmä tvarovej stopy rebier po vybratí modelu z formy.

Tabuľka 3

	směsi s jílovými pojivy		skořepiny „C“	(CT) „CO ₂ “	samovolně tvrdnoucí směsi	
	na surovo	na sucho			s organickými pojivy	s anorganickými pojivy
Hmotnost odlitku v kg						
do 25	+	-	+	+	-	-
25-80	+	-	+	+	+	-
80-800	+	-	-	+	+	+
800-2 500	-	-	-	+	+	+
2 500-8 000	-	+	-	+	+	+
přes 8 000	-	+	-	-	-	+
Vhodnost pro výrobu						
kusovou	+	+	-	+	+	+
sériovou	+	+	+	+	+	+
hromadnou	+	-	+	-	-	-
Dosažitelná přesnost						
nízká	+	+	+	+	-	-
střední	+	+	+	+	+	+
vysoká	-	-	+	+	+	+
Tvar odlitku						
jednoduchý	+	+	+	+	+	+
složitý	-	+	+	-	+	+
Tloušťky stěn odlitku						
malé	+	+	+	+	+	+
velké	-	+	-	+	+	+

Tabuľka 4

Technológia	Hmotnosť [kg]	Hrúbky stien [mm]	Tolerancie IT	Drsnosť Ra [μm]
Na surovo ručne	0,1 – 300	3 – 50	14 – 16	12,5 – 200
Na surovo strojne	0,1 – 300	2 – 50	12 – 15	12,5 – 100
Tvrdené CT-CO ₂	od 0,1	2 – 600	9 – 15	6,3 – 100
Samotuhnúce zmesi	od 100	2 – 600	14 – 16	6,3 – 100
Vytaviteľný model	0,001 – 20	0,2 – 20	8 – 12	1,6 – 25
Kovové formy	1 – 1 000	5 – 600	11 – 15	3,2 – 25
Tlakové liatie	0,001 – 20	0,5 – 10	8 – 12	0,8 – 12,5

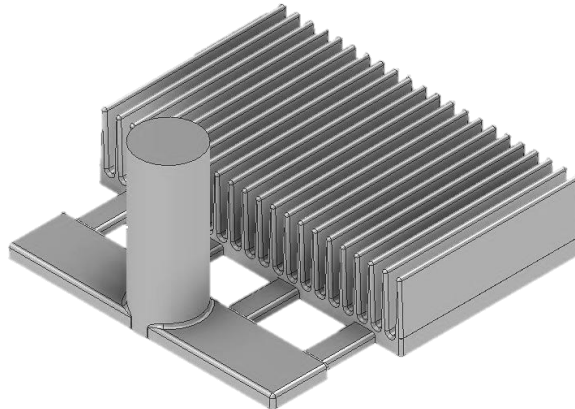
5.1.4 Stanovenie polohy a výber polohy odliatku vo forme, deliacej roviny formy a modelu a voľných častí modelu

- deliacu rovinu volím vodorovne na úrovni plochy základne chladiča
- pre výrobu prototypov navrhujem tri rôzne verzie polohy a orientácie chladiča voči vtokovej sústave, prípadne s použitím nálitku:

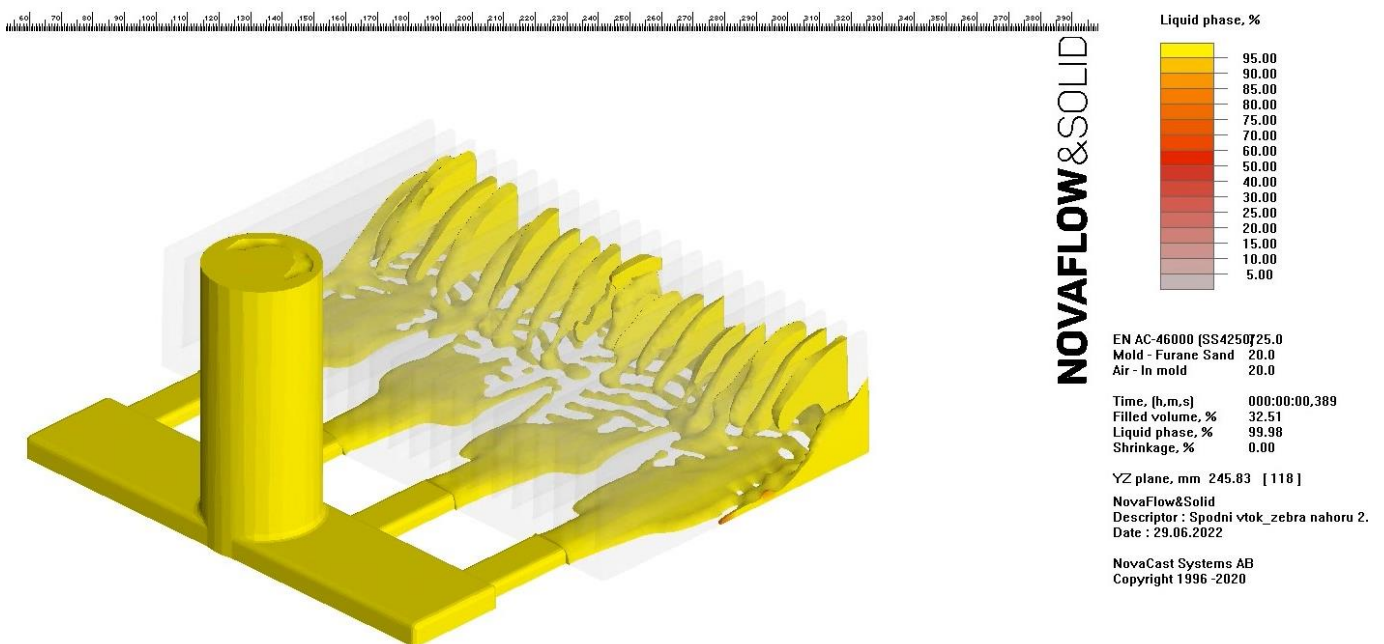
Poznámka: Modely boli simulované v programe NovaFlow&Solid, kde sa sledoval tok taveniny, jej tuhnutie a zmrštenie materiálu s pohľadom v reze kritických miest

Verzia č. 1

- rebrá chladiča smerujúce nahor – plnenie odliatku spodným vtokom
- rovnomerné plnenie taveniny do rebier smerom od dna chladiča
- nežiadúca inklúzia vzduchu do taveniny pri prevalení taveniny po náraze o zadnú stenu dutiny
- vysoké riziko zavalenia taveniny pri odlievaní
- bez nálitku
- výrazné zmrštenie 45% objemu materiálu pri chladnutí



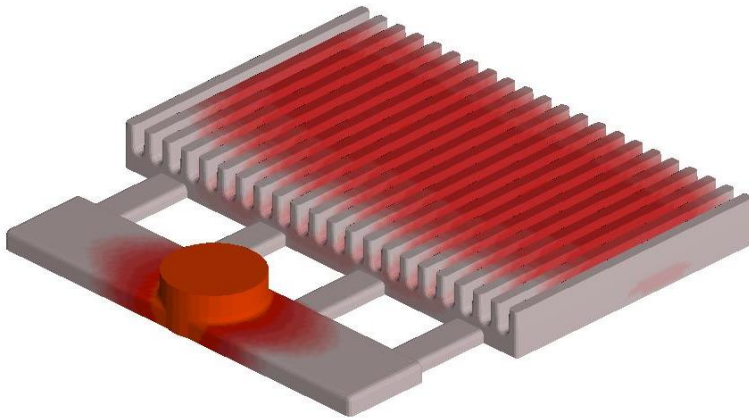
Obrázok 22 – model, verzia č.1



Obrázok 23, plnenie taveninou spodným vtokom

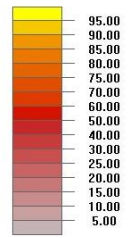


Obrázok 24, fáza likvidu, zobrazenie v reze



NOVAFLOW&SOLID

Liquid phase, %



EN AC-46000 [SS4250]25.0
Mold - Furane Sand 20.0
Air - In mold 20.0

Time, [h,m,s] 000:01:25,748
Filled volume, % 94.10
Liquid phase, % 28.79
Shrinkage, % 5.16

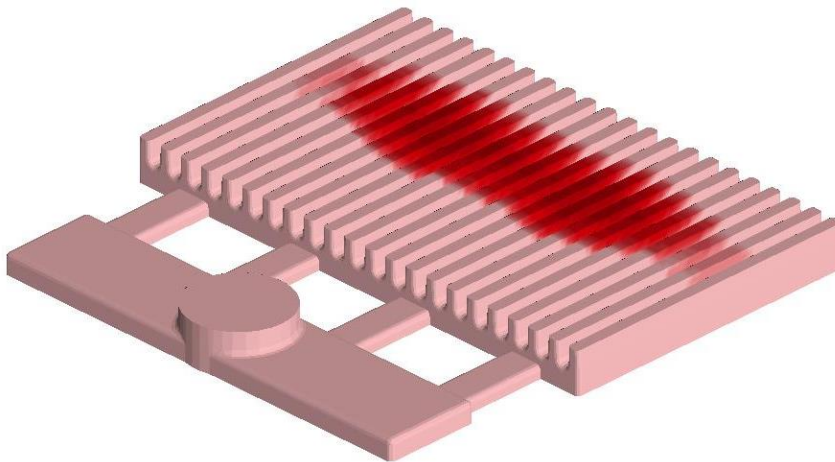
XY plane, mm 45.83 [22]

NovaFlow&Solid
Descriptor : Spodni vtok_zebra nahoru 2.
Date : 28.06.2022

NovaCast Systems AB
Copyright 1996 -2020

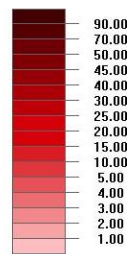


Obrázok 25, simulácia zmrštenia, zobrazenie v reze



NOVAFLOW&SOLID

Shrinkage, %



EN AC-46000 [SS4250]25.0
Mold - Furane Sand 20.0
Air - In mold 20.0

Time, [h,m,s] 000:04:50,537
Filled volume, % 91.94
Liquid phase, % 0.00
Shrinkage, % 5.32

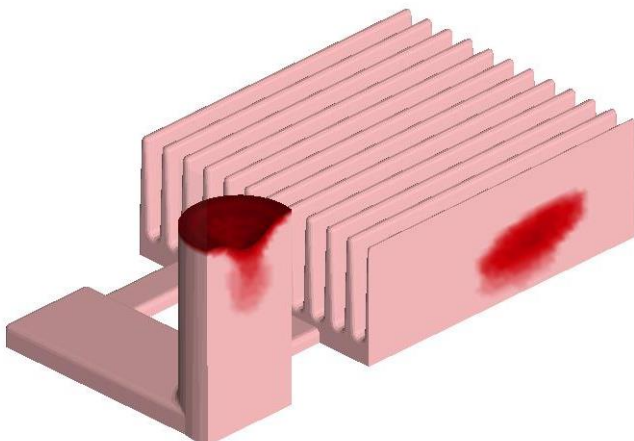
XY plane, mm 43.75 [21]

NovaFlow&Solid
Descriptor : Spodni vtok_zebra nahoru 2.
Date : 29.06.2022

NovaCast Systems AB
Copyright 1996 -2020

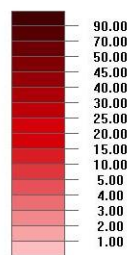


Obrázok 26, simulácia zmrštenia, zobrazenie v reze



NOVAFLOW&SOLID

Shrinkage, %



EN AC-46000 [SS4250]25.0
Mold - Furane Sand 20.0
Air - In mold 20.0

Time, [h,m,s] 000:04:50,537
Filled volume, % 91.94
Liquid phase, % 0.00
Shrinkage, % 5.32

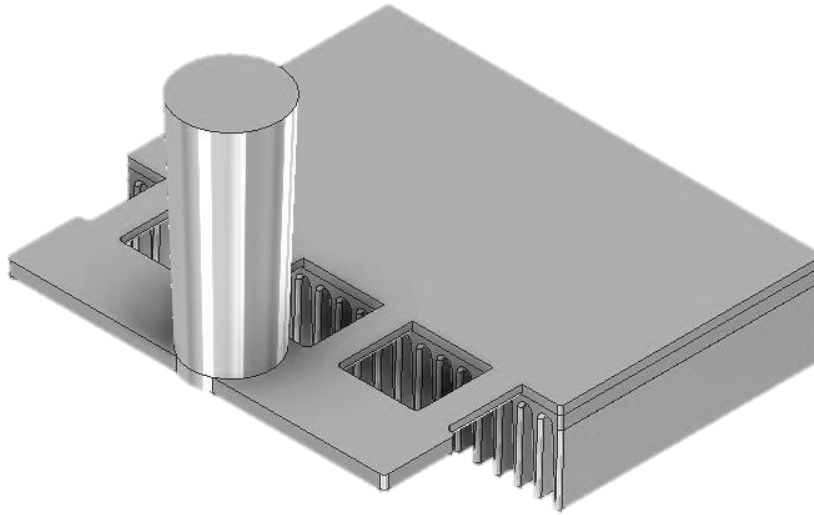
XZ plane, mm 131.25 [63]

NovaFlow&Solid
Descriptor : Spodni vtok_zebra nahoru 2.
Date : 29.06.2022

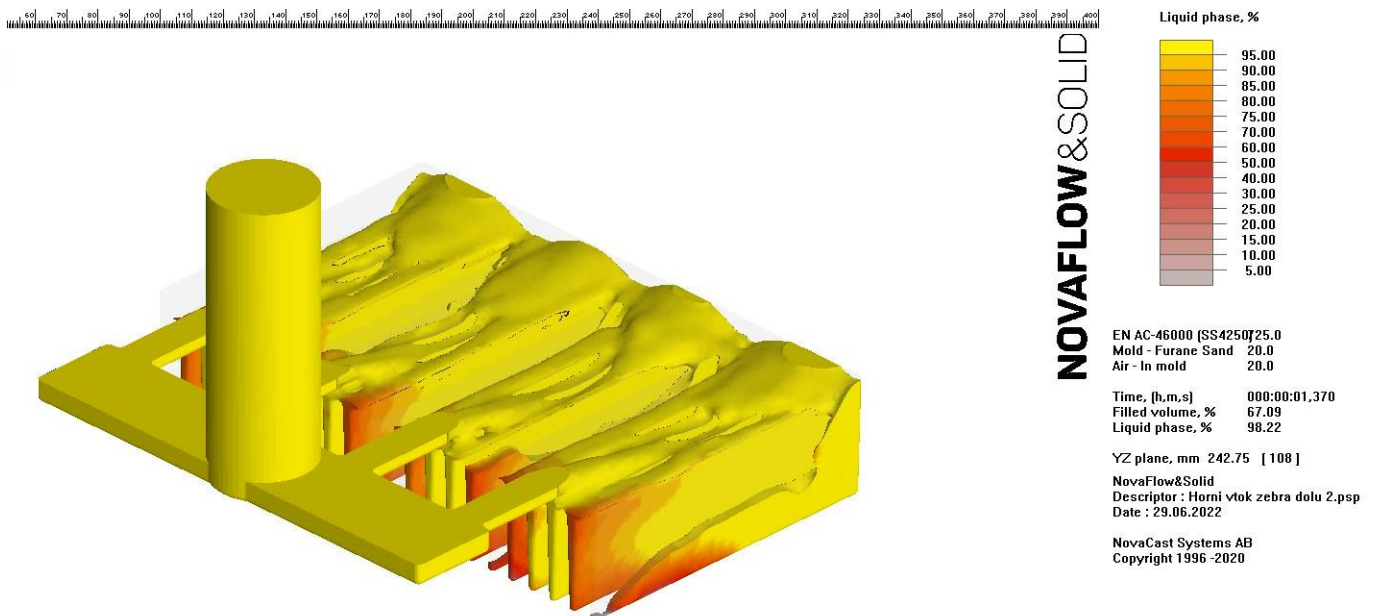
NovaCast Systems AB
Copyright 1996 -2020

Verzia č. 2

- rebrá chladiča smerujúce nadol – plnenie odliatku vrchným vtokom
- nerovnomerné plnenie taveniny do jednotlivých rebier
- znížené riziko prevalenia taveniny pri odliavaní
- bez nálitku
- vysoké riziko zmrštenia 60% objemu materiálu a prepadnutia taveniny po odliatí spôsobené absenciou nálitku

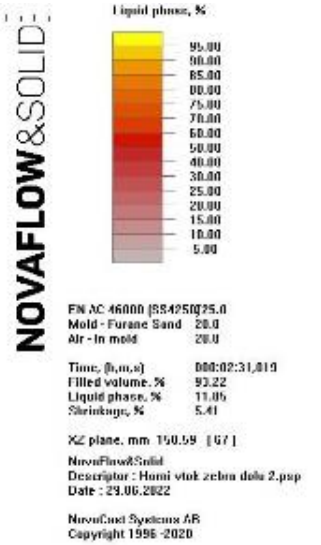
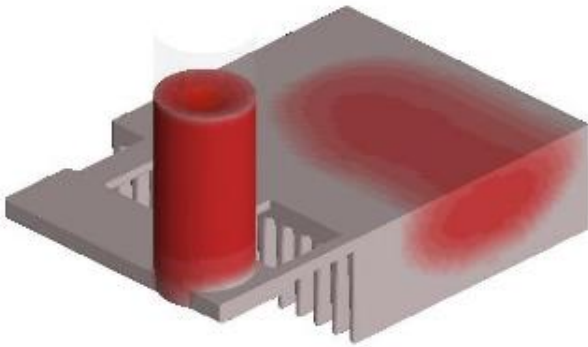


Obrázok 27, model – verzia č.2

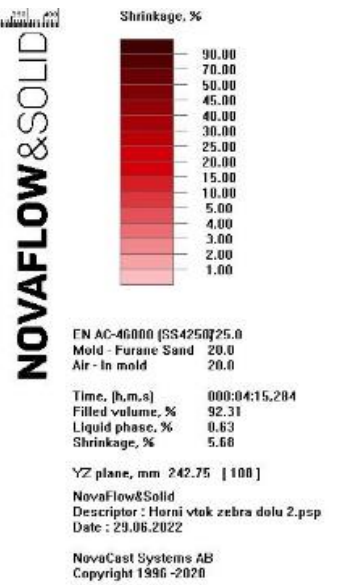
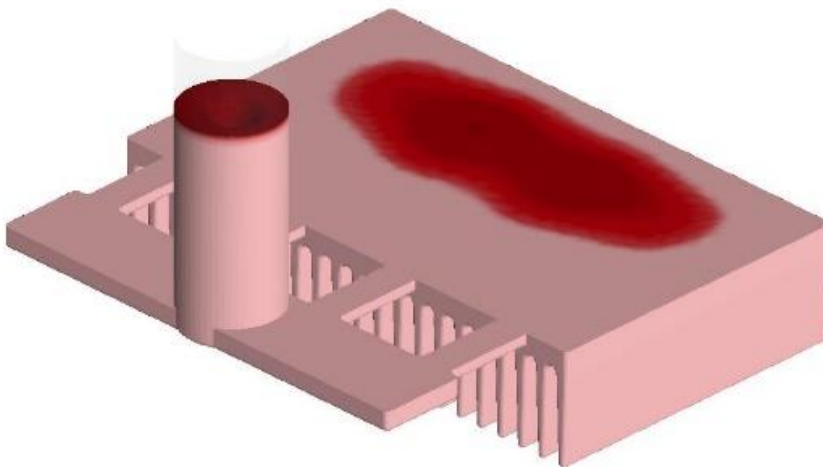


Obrázok 28, plnenie taveninou horným vtokom

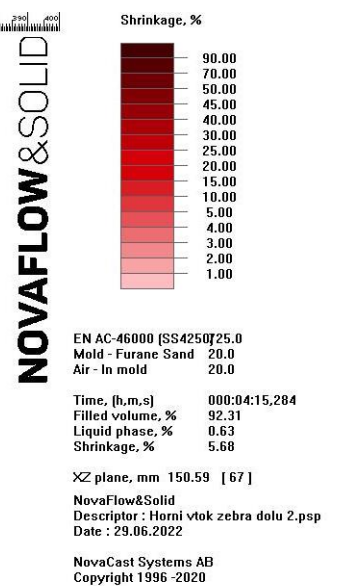
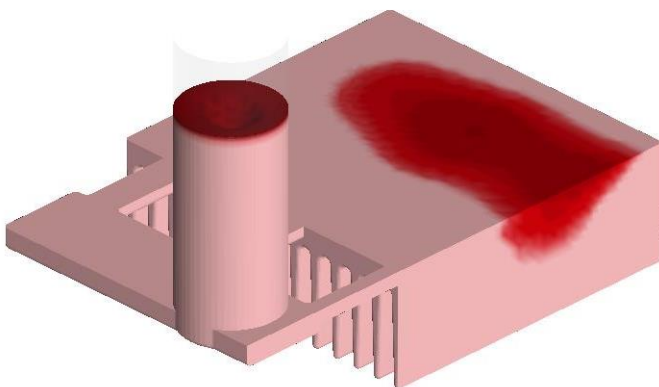
Obrázok 29, fáza likvidu, zobrazenie v reze



Obrázok 30, simulácia zmrštenia

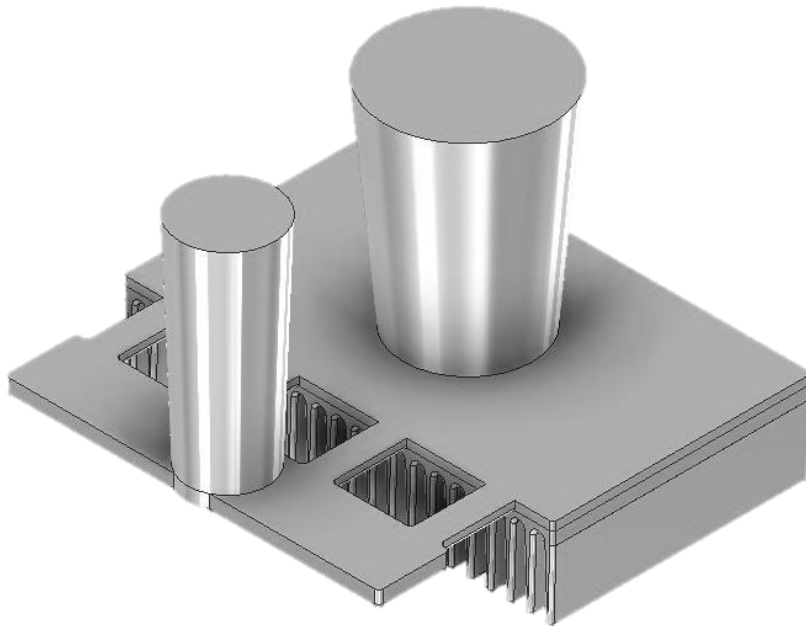


Obrázok 31, simulácia zmrštenia, zobrazenie v reze

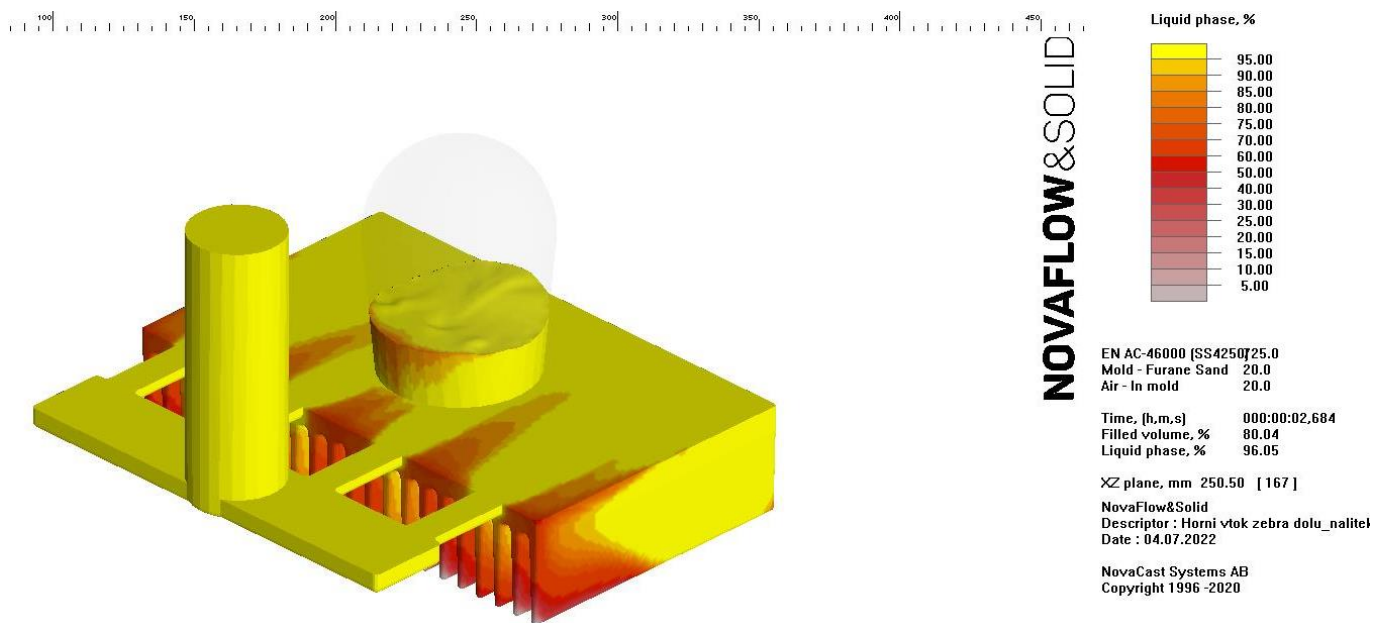


Verzia č. 3

- rebrá chladiča smerujúce nadol, vid' verzia č.2
- s použitím otvoreného nálitku kužeľového tvaru s úkosom 5° a plošne centrovaným na stred chladiča
 - prepadnutie taveniny zabezpečené pridaným nálitkom
 - zmrštenie max. 3% objemu taveniny na krajných rebrách
- Volím verziu odliatku č.3 kvôli vhodnejšiemu toku materiálu, zníženiu rizika vytvorenia inklúzií a prepadlín a najmenšiemu zmršteniu taveniny



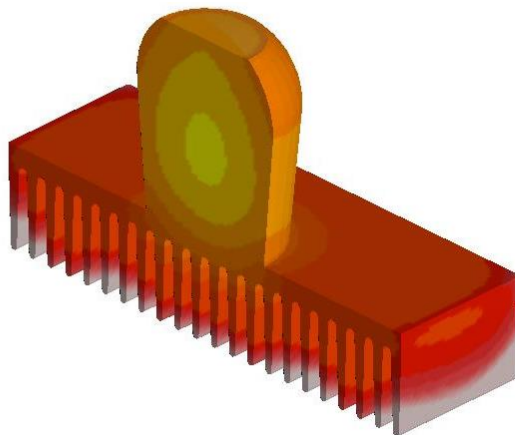
Obrázok 32, model – verzia č.3



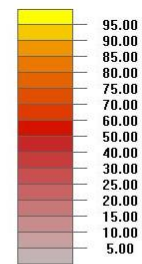
Obrázok 33, plnenie nálitku taveninou



Obrázok 34, fáza likvidu, zobrazenie v reze



Liquid phase, %



NOVAFLOW&SOLID

EN AC-46000 [SS4250]25.0
Mold - Furance Sand 20.0
Air - In mold 20.0

Time, [h,m,s] 000:00:30,962
Filled volume, % 97.29
Liquid phase, % 67.81
Shrinkage, % 2.57

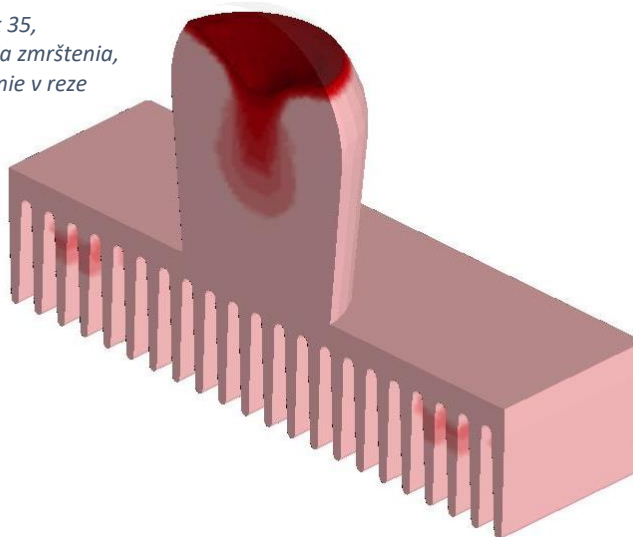
YZ plane, mm 87.00 [58]

NovaFlow&Solid
Descriptor : Horni vtok zebra dolu_nalitek
Date : 04.07.2022

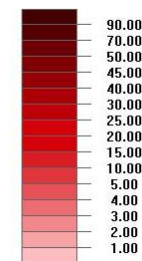
NovaCast Systems AB
Copyright 1996 -2020



Obrázok 35,
simulácia zmrštenia,
zobrazenie v reze



Shrinkage, %



NOVAFLOW&SOLID

EN AC-46000 [SS4250]25.0
Mold - Furance Sand 20.0
Air - In mold 20.0

Time, [h,m,s] 000:09:17,698
Filled volume, % 92.25
Filled mass, kg 2.39
Liquid phase, % 0.00

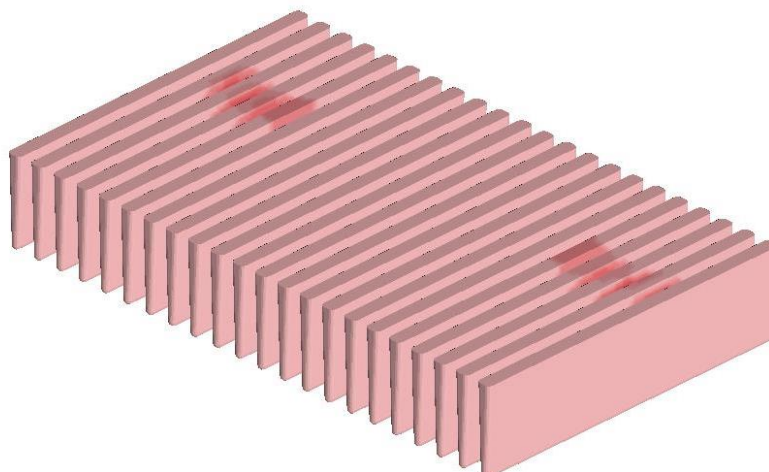
YZ plane, mm 82.50 [55]

Horni vtok zebra dolu_nalitek 2.sim
Horni vtok zebra dolu_nalitek 2.psp
Date : 29.06.2022

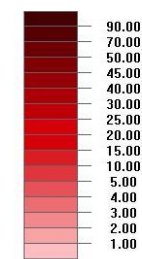
NovaCast Systems AB
Copyright 1996 -2020



Obrázok 36, simulácia zmrštenia, zobrazenie v reze



Shrinkage, %



NOVAFLOW&SOLID

EN AC-46000 [SS4250]25.0
Mold - Furance Sand 20.0
Air - In mold 20.0

Time, [h,m,s] 000:09:17,698
Filled volume, % 92.25
Filled mass, kg 2.39
Liquid phase, % 0.00

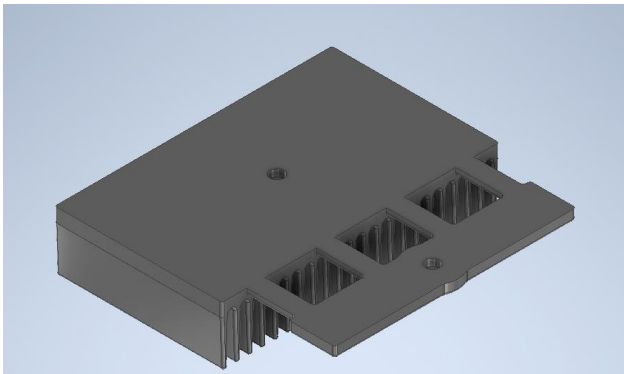
XY plane, mm 58.50 [39]

Horni vtok zebra dolu_nalitek 2.sim
Horni vtok zebra dolu_nalitek 2.psp
Date : 29.06.2022

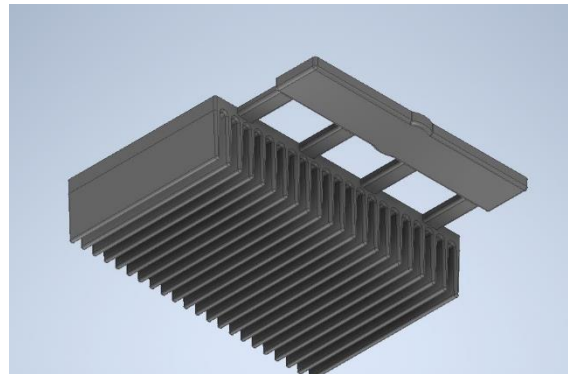
NovaCast Systems AB
Copyright 1996 -2020

5.1.5 Návrh typu modelových zariadení (nedelený/delený model/modelové dosky)

- Vzhľadom na pomerne malé rozmery a nízky počet odliatkov (3ks prototypov) volím ručné formovanie podľa voľného modelu rozdeleného na úrovni deliacej roviny.
- Model je vyrobený na 3D tlačiarňi a následne skontrolovaný podľa výrobného výkresu voľného modelu a na hranách podľa potreby dodatočne ručne obrúsený jemným brúsnym papierom kvôli hladším zaobleniam.
- Táto technológia ručného formovania s voľným modelom je jednoduchá, kvalitatívne dostatočná, vhodná pre požadované množstvo odliatkov a zároveň je ekonomicky výhodná.
- Voľný model pre verziu č.3 sa skladá z troch častí:
 - spodná časť formy:
 - segment č.1 - model chladiča s pripojeným vtokom a struskovák, vid' Obr č. 37 a č.38



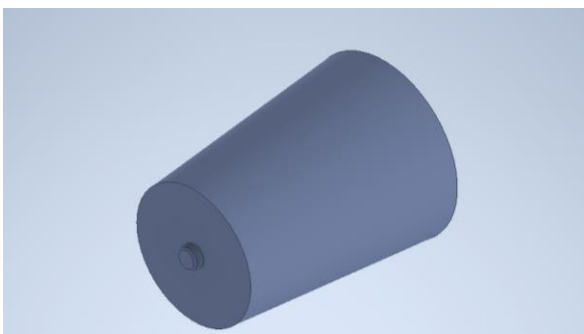
Obrázok 37



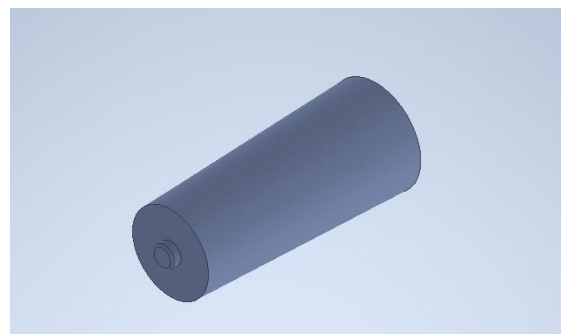
Obrázok 38

- vrchná časť formy:

- segment č.2 - model nálitku, Obr. č.39
- segment č.3 - model vtokového kanálu, Obr. č.40

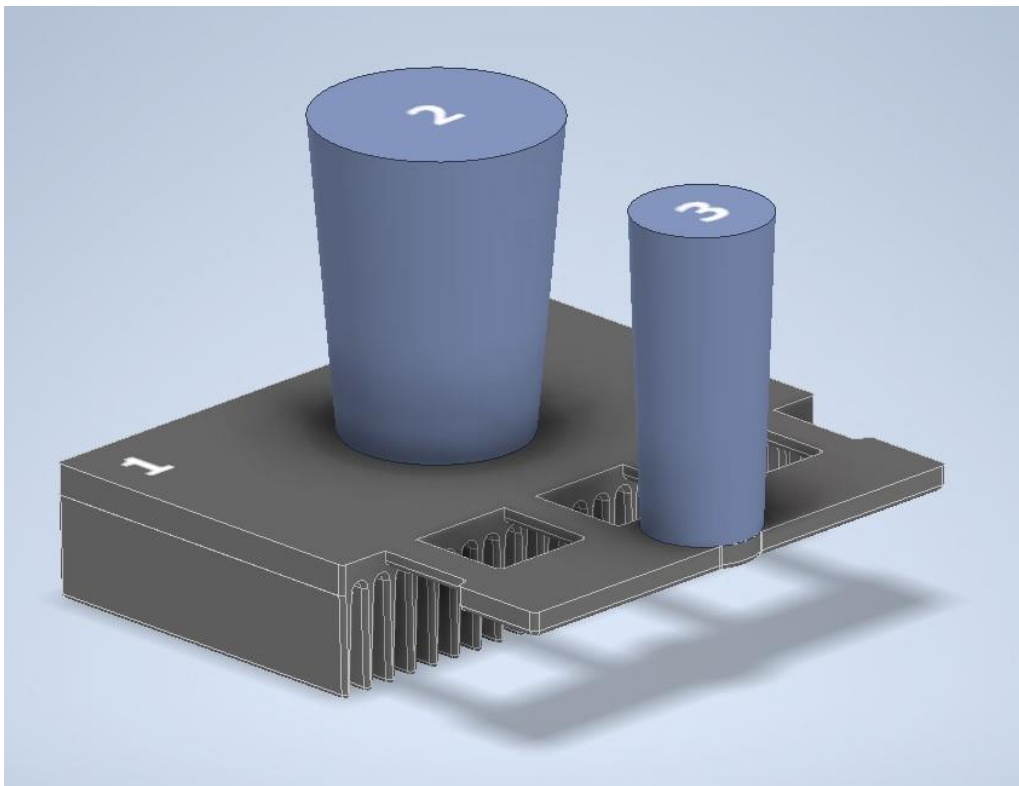


Obrázok 39

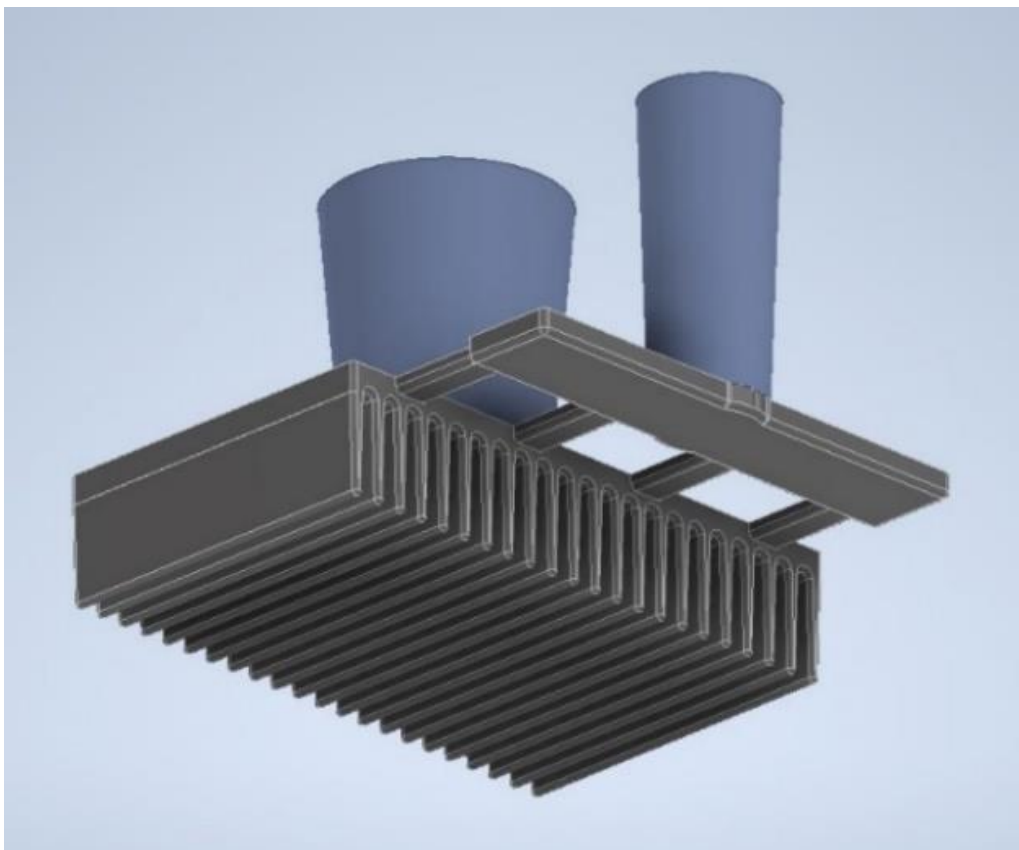


Obrázok 40

- Pri formovaní sa tieto tri segmenty zložia do seba kvôli presnej pozícii liaceho vtoku a nálitku voči telesu chladiča, viď Obr. č.41 a č.42



Obrázok 41



Obrázok 42

5.1.6 Návrh triedy prevedenia modelu a materiálu modelového zariadenia

- Akostnú triedu prevedenia modelového zariadenia volím podľa tabuľky 5 a podľa normy ČSN EN 12890
- Pre voľný model vyrobený na 3D tlačiarňi z ABS plastu volím akostnú triedu K2 vhodnú pre ručné formovanie malých a ťažko vyberateľných modelov

Tabuľka 5

Tabuľka 5					Počet foriem
DREVO	H1	tvrdé a upravené drevo	pre veľké série, ručné aj strojné formovanie pri vysokých nárokoch	veľké modely	< 200
				stredné modely	200 – 5 000
				modely do 10 dm ³	1 000 – 10 000
	H2	stredne tvrdé drevo, preglejky	pre malé množstvá a opakovanú výrobu jednotlivých odliatkov, ručné aj strojné formovanie	modely nad 10 dm ³	5 – 20
				stredné modely	20 – 100
				modely do 10 dm ³	100 – 200
H3	mäkké drevo, veľkoplošné materiály	pre jednotlivé odliatky a ručné formovanie	veľké modely	< 10	
			stredné modely	10 – 20	
			malé modely	20 – 50	
PLAST	K1	liate živice alebo lamináty vystužené kovmi	pre ručné aj strojné formovanie pri vysokých požiadavkách na kvalitu, pre formovacie stroje s vysokými tlakmi	Ra = 12,5 μm	bežné tvary 3 000 – 10 000 jednoduché tvary < 100 000
	K2	živice, vystužené lamináty, upravené drevo	pre ručné aj strojné formovanie, malé ťažko vyberateľné modely, veľké modely a jaderníky pre ručný výrobu, od malých po stredné série	Ra = 12,5 μm	1 000 – 3 000
KOV	M1	oborobená nízkoлегovaná oceľ, zliatiny, zliatiny hliníka a zinku	pre veľkosériovú výrobu a vysoké požiadavky na kvalitu	Ra = 3,2 μm	150 000
	M2	ľahké zliatiny a tvrdé živice, zliatiny, ďalej ako M1	pre strednú a veľkosériovú výrobu	Ra = 6,3 μm	3 000 – 10 000

5.1.7 Stanovenie stupňa presnosti modelu (ČSN 01 44 700, ČSN EN 12 890)

- S ohľadom na kusovú výrobu, ručné formovanie ílovej resp. samotuhnúcej formovacej zmesi a veľkosť odliatku volím podľa tabuľky 6 stupeň presnosti modelu CT11

Tabuľka 6

Metoda	Výroba	Stupeň tolerance CT				
		Materiál odlitku				
		ocel	litiny	slitiny Cu a Zn	slitiny Al a Mg	slitiny Ni a Co
Lití do písku, ruční formování	velkosériová	11 až 14	11 až 14	10 až 13	9 až 12	11 až 14
Lití do písku, strojní formování a skořepiny	velkosériová	8 až 12	8 až 12	8 až 10	7 až 9	8 až 12
Lití do písku, ruční formování, směsi pojené jílem	kusová a malosériová	13 až 15	13 až 15	13 až 15	11 až 13	13 až 15
Lití do písku, ruční formování, směsi pojené chemicky	kusová a malosériová	12 až 14	11 až 13	10 až 12	10 až 12	12 až 14
Metoda spalitelného modelu		10 až 14	10 až 14			
Metoda vytavitelného modelu		5 až 10				5 až 10
Lití do kovových forem		8 až 12			7 až 11	
Nízkotlaké lití					6 až 10	
Tlakové lití					5 až 10	

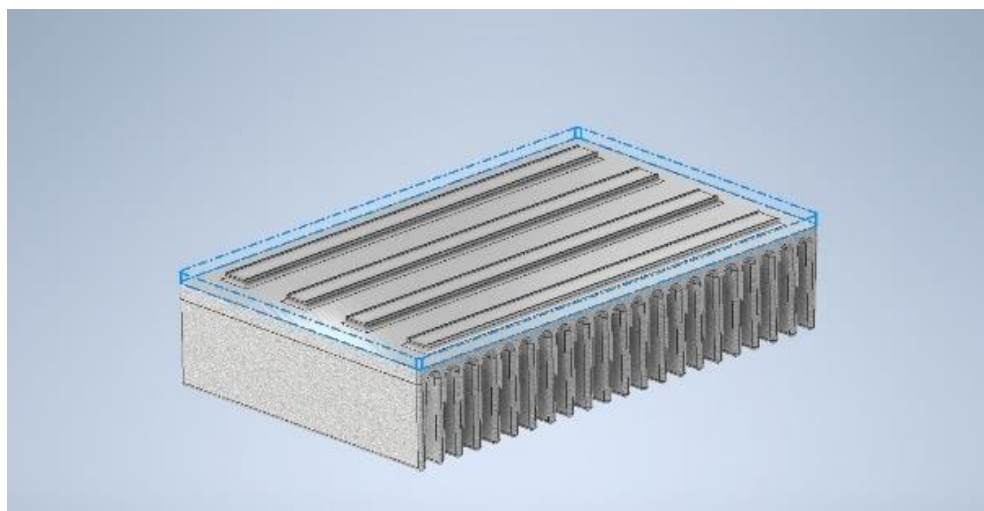
5.1.8 Stanovenie úkosov a prídavkov na obrábanie
(ČSN 04 2021, ČSN 01 4980, ČSN 12 890)

- kvôli tvaru odliatku volím úkosy 2° plôch rebier (4° medzi dvoma priľahlými rebami) kvôli jednoduchšiemu odstráneniu modelu z formy a zachovaniu jej celistvosti
- Zaoblenie hrán rebier polomerom R1,5 na vrchu rebra, resp. R2 na dne rebra
- Pre rozmery nášho odliatku (výšku rebier od základnej obrábanej plochy) podľa tabuľky 7 odpovedá prídavok na obrábanie 0,5 – 1 mm podľa stupňov F až H (0,4 až 0,7 mm podľa stupňov E až G pre strojné formovanie), avšak pre rezervu volím prídavok 1,3 mm vid'. výrobný výkres

Tabuľka 7

Metoda	Doporučené stupně přídavků na obrábění RMA				
	Materiál na odlitky				
	ocel	litiny	slitiny Cu a Zn	slitiny Al a Mg	slitiny Ni a Co
Lití do písku, ruční formování	G až K	F až H	F až H	F až H	G až K
Lití do písku, strojní formování a skořepiny	F až H	E až G	E až G	E až G	F až H
Kovové formy, gravitační a nízkotlaké lití	-	D až F	D až F	D až F	-
Tlakové lití	-	-	B až D	B až D	-
Přesné lití	E	E	E	E	E

Největší celkový rozměr odlitku po konečném obrobení [mm]		Doporučené přídavky na obrábění [mm]									
		Stupně doporučených přídavků na obrábění									
nad	do a včetně	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K
-	40	0,1	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,5	0,7	1,0	1,4
40	63	0,1	0,2	0,3	0,3	0,4	0,5	0,7	1,0	1,4	2,0
63	100	0,2	0,3	0,4	0,5	0,7	1,0	1,4	2,0	2,8	4,0
100	160	0,3	0,4	0,5	0,8	1,1	1,5	2,2	3,0	4,0	6,0
160	250	0,3	0,5	0,7	1,0	1,4	2,0	2,8	4,0	5,5	8
250	400	0,4	0,7	0,9	1,3	1,8	2,5	3,5	5	7	10
400	630	0,5	0,8	1,1	1,5	2,2	3	4	6	9	12
630	1 000	0,6	0,9	1,2	1,8	2,5	3,5	5	7	10	14



Obrázok 43, model chladiča s transparentným zobrazením prídavkov na obrábanie

5.2 Voľba technologických prvkov a realizácia výroby

5.2.9 Návrh jadier (tvar, uloženie, známky, výstuhy, prieduchy)

- v tomto odliatku sa nenachádzajú žiadne dutiny, preto nie je potrebné použitie jadier

5.2.10 Návrh nálietok (typ, počet, rozmery, umiestnenie, napojenie)

- Pre verziu modelu č. 3 volím jeden otvorený kužeľový náliek bez vrchnej tepelnej izolácie, uložený podľa postupového výkresu
- Malý priemer nálietku 60 mm, úkos 5°, výška nálietku 100 mm
- Náliek má výrazne vyšší modul v porovnaní s odliatkom, navýšený objem a bol upravený na základe tepelných a tuhnúcich simulácií v programe NovaFlow&Solid, tak aby bolo zabezpečené doplnenie taveniny do odliatku a tuhnutie nálietku ako posledného v sústave odliatku

5.2.11 Návrh rámu a optimálneho rozmiestnenia odlietkov vo forme

- Rozmery rámu volím 400x500 mm, výšky 100 mm, s centrovaným uložením jedného odliatku vo forme

5.2.12 Návrh vtokovej sústavy a výpočet prierezov

Hmotnosť odliatku: $m = 1500 \text{ g}$

Surová hmotnosť odliatku: $m_s = m \cdot s = 1500 \cdot 1,25 = 1875 \text{ g}$

Doba liatia: $t_L = 3,46 \text{ s}$

Riadiaci prierez vtokovej sústavy:

$$H = h - \frac{p^2}{2 \cdot c} = 100 - \frac{0^2}{2 \cdot 43,3} = 100 \text{ mm}$$

$$\Sigma S_z = \frac{m_s}{\rho_t \cdot t_L \cdot \mu \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H}} = \frac{1,500}{2300 \cdot 3,46 \cdot 0,5 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 0,1}} = 269 \text{ mm}^2$$

Volím $\Sigma S_z = 264 \text{ mm}^2$

4x S_z : 5 x 13,2 mm

Prierez struskovákov: $\Sigma S_s = 528 \text{ mm}^2$ 2x S_s : 8 x 33 mm

Prierez vtokového kanálu: $S_k = 1056 \text{ mm}^2$ 1x S_k : $\varnothing 37 \text{ mm}$

Pomer vtokovej sústavy $S_k : 2 S_s : 4 S_z = 4 : 2 : 1$

Pomerné zmrštenie pri tuhnutí pre zliatiny hliníku: $\beta = 3 - 6 \%$

Súčiniteľ nehospodárnosti nálietku: $x = 5 - 8$

Objem nálietku podľa vzťahu $V_{N \min} = V_{ODL} \frac{\beta \cdot x}{1 - \beta \cdot x} = 246 \text{ 722 mm}^3$

Pre dostatočnú veľkosť a objem nálitku na základnej doske chladiča volím kuželový nálitek s malým priemerom 60 mm, úkosom 5°, výškou 100 mm.

Pomer modulu: $V_{ODL} = 575\,685\text{ mm}^3$ $V_N = 373\,522\text{ mm}^3$
 $M_{ODLITEK} = 2,5$ << $M_{NÁLITEK} = 12,7$

5.2.13 Návrh zloženia formovacej zmesi

- Spodná časť formy – odliatok a pripojený struskový kanál, Obr.č. 44
 - druh formy: samotuhnúca zmes s anorganickým tvrdidlom
 - pojivo: 2% Geopol®, 0,5% tvrdidlo SA71
 - použitie:
 - formy veľkosti od 80 mm
 - kusová až sériová výroba

 - výhody:
 - vysoká pojivová schopnosť a pevnosť formy
 - ekologicky a ekonomicky výhodná zmes
 - spracovateľnosť zmesi od 2 do 90min
 - nevýhody:
 - časovo obmedzená doba vyformovania
 - horšia rozpadavosť v porovnaní s bentonitovou zmesou
 - možnosť regenerácie až po mechanickej otierke

- Horná časť formy – vtokový kanál a nálitek, Obr.č.45
 - druh formy: bentonitová zmes na surovo
 - pojivo: 9% bentonit, 5% voda, 3% sóda
 - použitie:
 - malé a stredne veľké formy, jednoduché jadrá
 - kusová až sériová výroba

 - výhody:
 - vysoká bobtnavosť a pojivová schopnosť za surova
 - ekologicky a ekonomicky výhodná zmes
 - bez nutnosti sušenia
 - dobrá rozpadavosť a čistenie
 - možnosť recyklácie
 - nevýhody:
 - nutnosť nitrifikácie sódou proti prevlhčeniu
 - menej pevná v porovnaní so samotuhnúcimi zmesami
 - malá životnosť zmesi



Obrázok 45



Obrázok 46

5.2.14 Návrh taviaceho zariadenia

- Volím statickú kelímkovú indukčnú pec LAC PT200/11 Mk.II, s kapacitou 185kg taveniny Al a s vrchným otvorom kelímku



Obrázok 47, Kelímková indukčná pec s vrchným otvorom

5.2.15 Návrh zloženia kovovej vsádzky– kalkulácia na základe zloženia surovín a požadovaného výsledného zloženia taveniny s prihliadnutím k zmenám pri tavení, očkovaní a modifikácii a cenám surovín

- Na kusovú výrobu prototypov použijeme hliník EN AC-46 000 recyklovaný po iných odliatkoch na zliavarni, prípadne použijeme nový ingot danej zliatiny
- Zloženie recyklovaného šrotu, resp. ingotu nie je potrebné dodatočne upravovať

Tabuľka 8

Metalurgický predpis pre materiál			EN AC – 46 000
Typ pece	Kuplovna	Oblúčková pec	Indukčná pec
Vymurovanie	kyslá	zásaditá	Neutrálna
Vsádzka	priebežne	6 t	2 t
Predpokladaný výkon	6 t / h	6 t / 4,5 h	2 t / 2,5 h
Spotreba paliva/energie	180 kg koksu / t	680 kWh / t	790 kWh/t

Tabuľka 9

Kalkulácia nákladov pre výrobnú dávku prototypov bez ohľadu na objem pece					
		[%]	[kg]	[Kč/kg]	[Kč]
Vsádzka do pece	Polotovár - hliníkový ingot EN AC-46 000	100	10	40	400
Celkem		100	10	40	400

5.3 Finálne kroky výroby, kontrola a postúpenie k strojnému obrobeniu výrobku

5.3.19 Návrh tepelného spracovania

- Hliníkovú zliatinu EN AC-46 000 (SS 4250) nie je všeobecne, ani pre naše použitie nutné tepelne upravovať
 - Táto hliníková zliatina má prirodzene homogénnu štruktúru s minimálnou porézitou a dobrú strojnú obrobiteľnosť
- [8]

5.3.20 Návrh spôsobu kontroly a povrchovej úpravy odliatkov

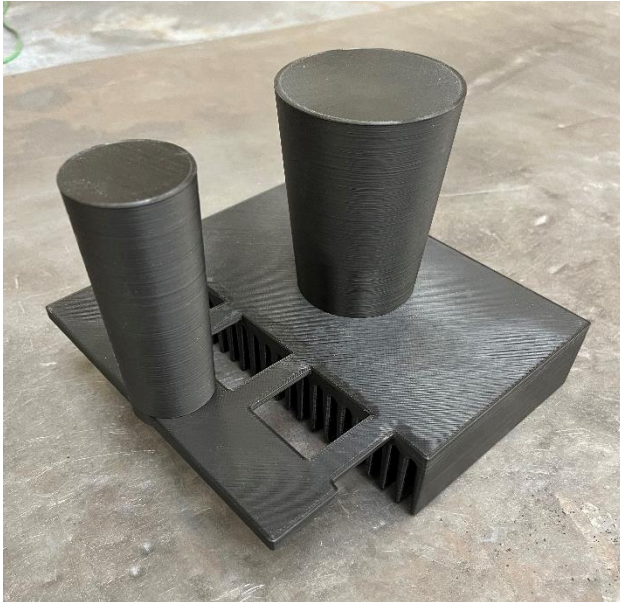
- Odliatok sa po otryskaní a odstránení vtokovej sústavy vizuálne skontroluje a overia sa jeho rozmery pre následné strojné obrobenie na CNC frézke
- Testovací odliatok sa v kritických miestach určených na základe simulácii rozreže na menšie vzory, ktoré sa skontrolujú na metalografickom výbruse

5.3.21 Návrh strojného obrobenia

- Upnutie odliatku do zveráku
- Zarovnanie plochy frézovacou hlavou $\varnothing 63\text{mm}$
- Vytvorenie vonkajšieho tvaru drážok frézovacou hlavou $\varnothing 20\text{mm}$
- Vytvorenie vnútorného tvaru drážok šírku 9mm pomocou frézovacej hlavy $\varnothing 8\text{mm}$
- Kontrola rozmerov obrábaných plôch

Poznámky k výrobnému postupu:

- Operácia č.10 – výroba voľného modelu na 3D tlačiarňi, vid' Obr.č.48 a č.49
 - hrúbka vrstvy tlačie 0,2 mm
 - ručne dobrúsené styčné plochy valcových plôch priemeru 10 mm určených na spojenie častí modelu
 - kontrolné zloženie segmentov voľného modelu



Obrázok 48



Obrázok 49

- Operácia č.30 - ručná výroba formy pomocou voľného modelu, Obr.č.50 a č.51
 - o výroba spodnej časti formy:
 - model chladiča je uložený do stredu formovacieho rámu, zaprášený deliacim grafitovým práškom a zasypaný samotuhnúcou zmesou GEOPOL®

Obrázok 50



Obrázok 51



- obrátenie formy deliacou rovinou nahor
- tuhnutie formovacej zmesi po dobu 60 minút
- výroba vrchnej časti formy (Obr.č.52 a č.53):
 - zaistenie vrchného rámu o spodný, uloženie modelu nálitku a vtokového kanálu do modelu chladiča
 - zaprášenie deliacim prípravkom za účelom vytvorenia deliacej roviny
 - zasypanie a utlačenie bentonitovej formovacej zmesi
 - pri spätnom oddeľovaní foriem sa najprv odstráni model nálitku a vtoku, vyčistí sa ich tvarová stopa vo vrchnej časti formy, oddelia sa rámy a odstráni model chladiča



Obrázok 52



Obrázok 53

- Operácia č.50 - odlíatie taveniny do foriem, Obr.č.54 a č.55
 - zloženie spodnej a vrchnej časti formy, zaistenie rámov poistným kolíkom a zaťaženie formy proti nadvihnutiu pri odlievaní
 - ručné liatie taveniny do vtokového kanálu

Obrázok 54



Obrázok 55



- Operácia č.70
- očistený hrubý odliatok, obr.č.56 a č.57



Obrázok 56



Obrázok 57

- orezanie vtokovej sústavy a nálitku na pásovej píle, obr.č.58 a č.59



Obrázok 58

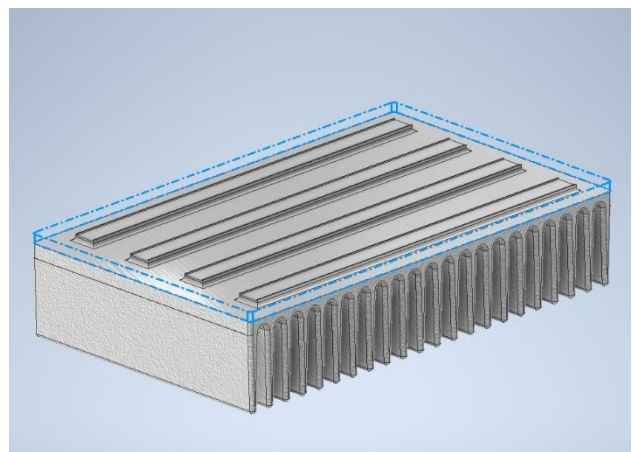


Obrázok 59

- Operácia č.90 - Strojné obrobenie odliatku na CNC fréze na základe 3D modelu
- polotovár: hrubý odliatok s prídavkom na obrábanie, obr.č.60 a č.61



Obrázok 60

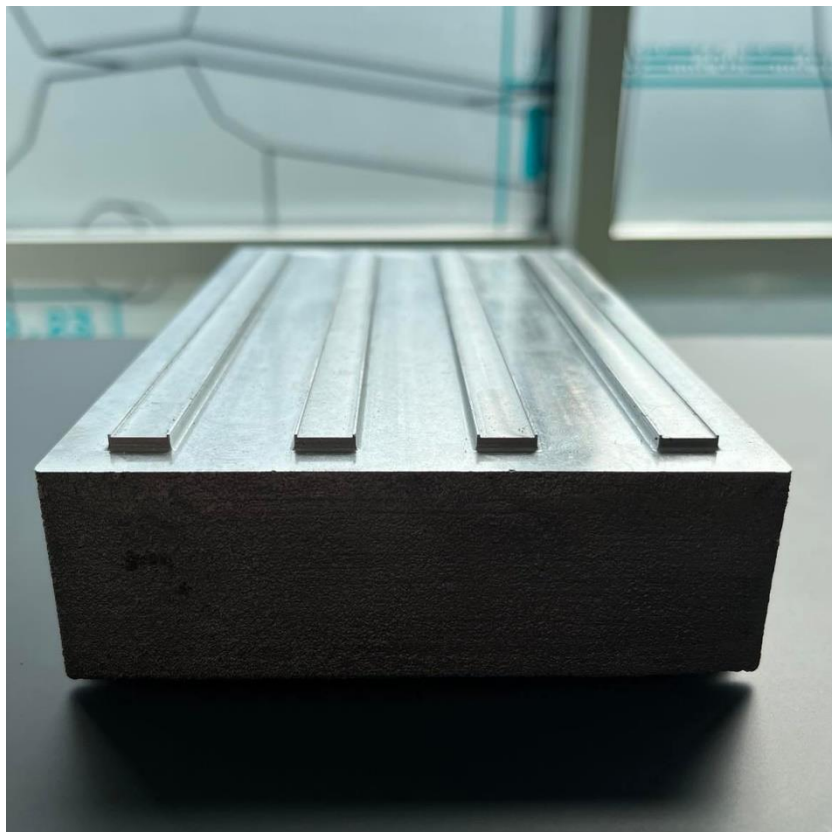


Obrázok 61

- hotový prototyp chladiča s odfrézovanými drážkami, obr.č.62 a č.63



Obrázok 62



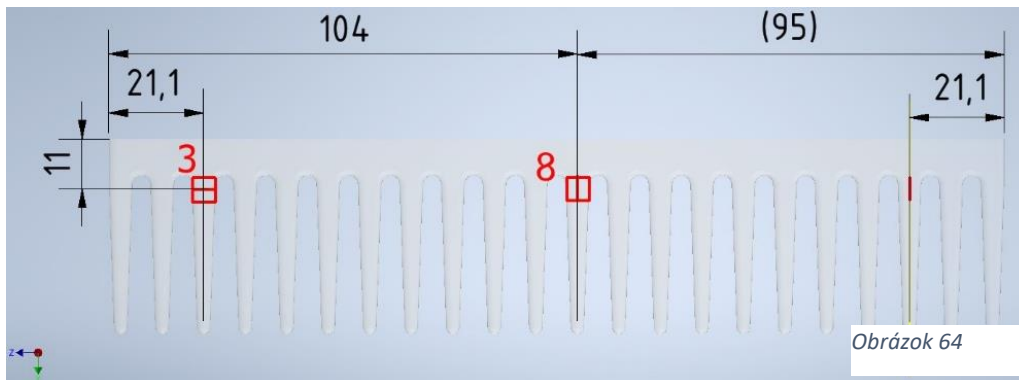
Obrázok 63

6 Zhodnotenie výroby prototypu a návrh sériovej výroby

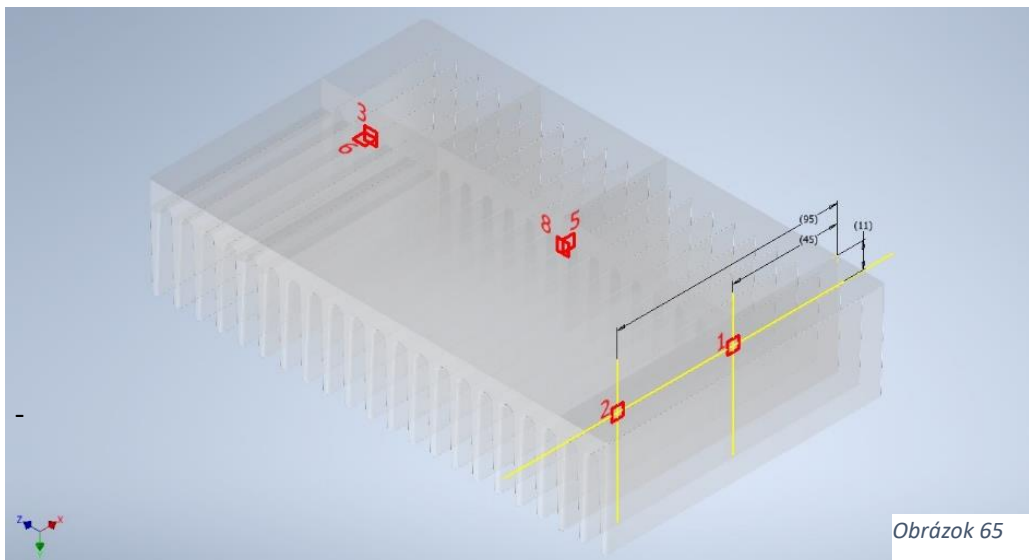
6.1 Zhodnotenie výroby prototypu

Pozorovanie a vyhodnotenie mikroštruktúry liatiny EN AC-46 000 na metalografickom výbruse

- Na testovacích vzoroch sme sledovali štruktúru materiálu a jeho zloženie, ale aj pórovitosť, zmrštenie, alebo inklúzie vzduchu a iných nečistôt do taveniny
- Na základe simulácií toku materiálu a zmršteniu taveniny po odliatí bol testovací odliatok rozrezaný v miestach, kde sa malo vyskytovať najvýraznejšie zmrštenie taveniny – 3% objemu materiálu v oblasti 3. rebra od krajov chladíča a v hĺbke 11mm pod rovinou jeho základnej plochy, vid' obr.č.64 a č.65
- Testovacie vzory a ich orientácia:
 - v oblasti najvýraznejšieho zmrštenia:
 - Vzor č. 1 - rez v rovine XY, stredom rebra
 - Vzor č. 3 – rez v rovine YZ, kolmo na rebro
 - Vzor č. 6 – rez v rovine XZ, v hĺbke 11mm
 - v oblasti bez výrazných zmrštení:
 - Vzor č. 2 - rez v rovine XY, stredom rebra rovnako ako vzor č.1
 - Vzor č. 5 – rez v rovine XY, stredom rebra, v oblasti pod nálitkom
 - Vzor č. 8 – rez v rovine YZ, kolmo na rebro, v oblasti pod nálitkom



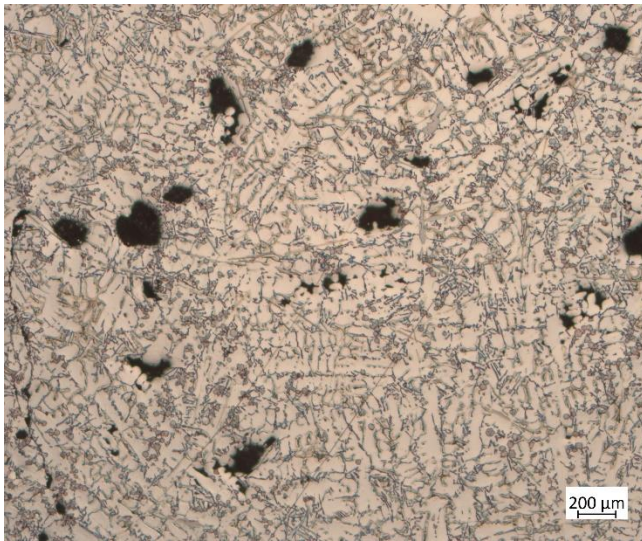
Obrázok 64



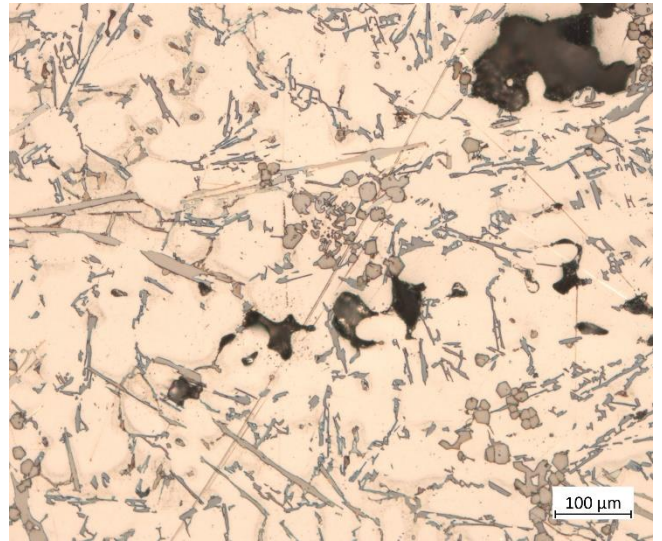
Obrázok 65

Porovnanie metalografických výbrusov vzoru č.1 v oblasti zmrštenia a vzoru č.2 bez výrazného zmrštenia

- rez rovinou XY, stredom 3. rebra od kraja chladiča, pozdĺžne smerom rebier



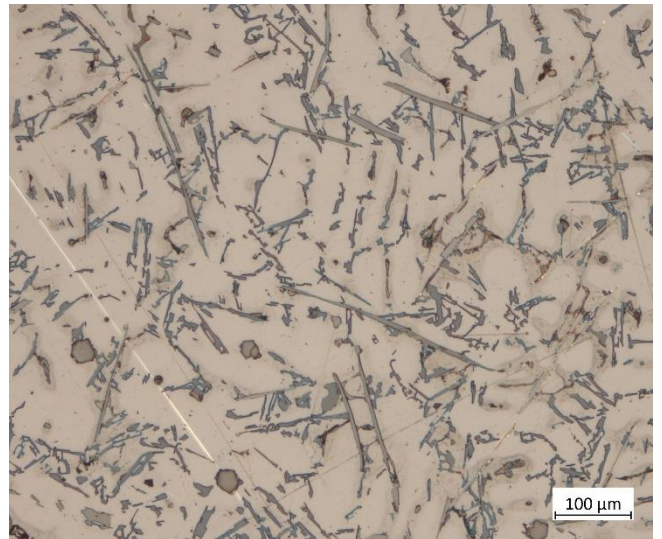
Vzor č.1, zväčšenie 25x



Vzor č.1, zväčšenie 100x



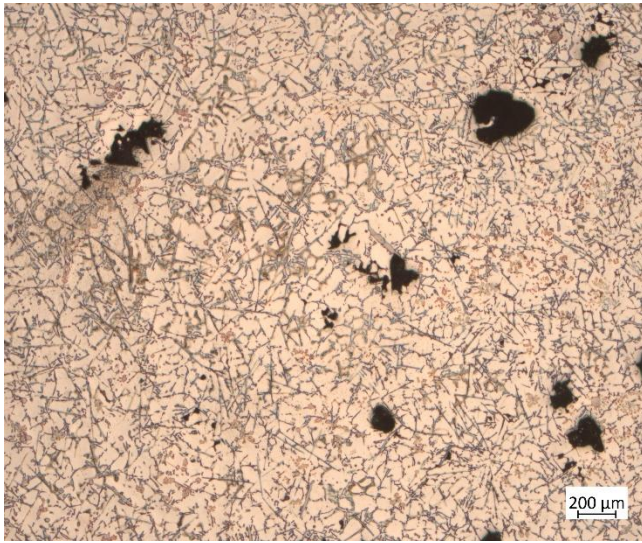
Vzor č.2, zväčšenie 25x



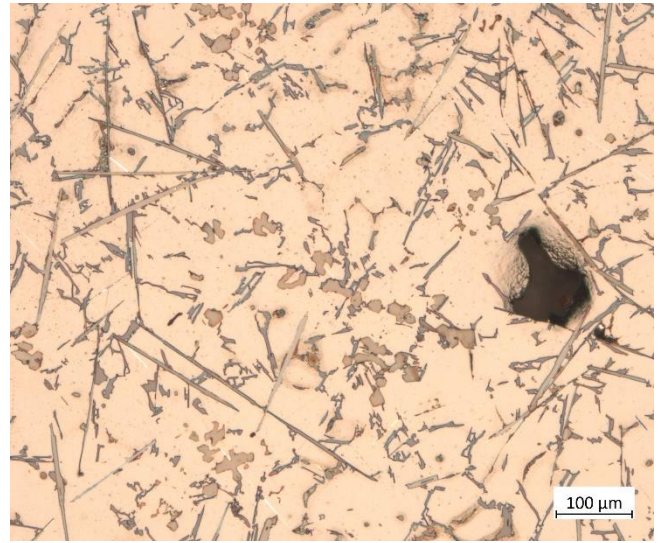
Vzor č.2, zväčšenie 100x

- V mieste odberu vzorky č.1 sú viditeľné výrazné póry veľkosti 50 až 200 μ m
- V mieste odberu vzorky č.2 nie sú viditeľné takmer žiadne póry či iné chyby štruktúry

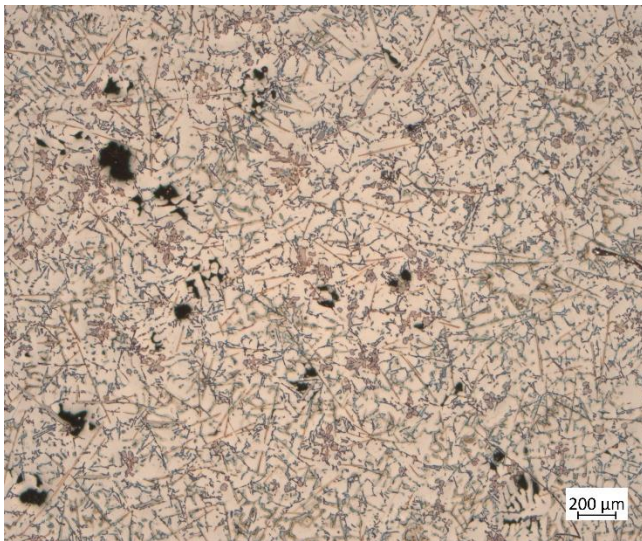
- Metalografický výbrus vzorov č.3 a 6 v oblasti výrazného zmrštenia
- rez rovinou YZ a XZ, stredom 3. rebra od kraja chladiča



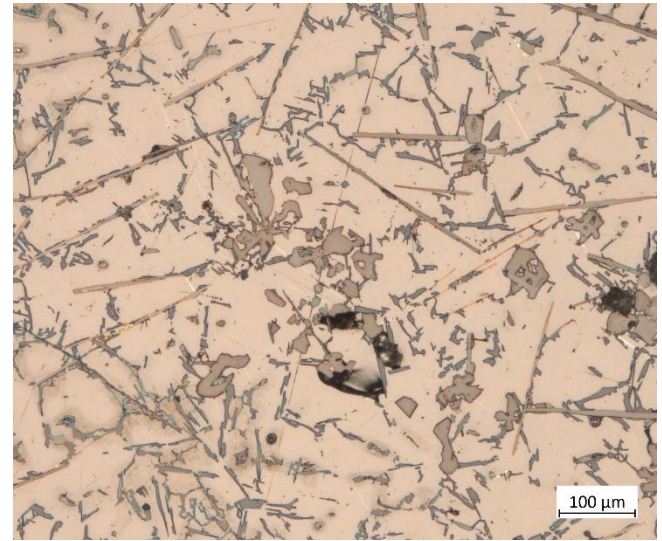
Vzor č.3, zväčšenie 25x



Vzor č.3, zväčšenie 100x



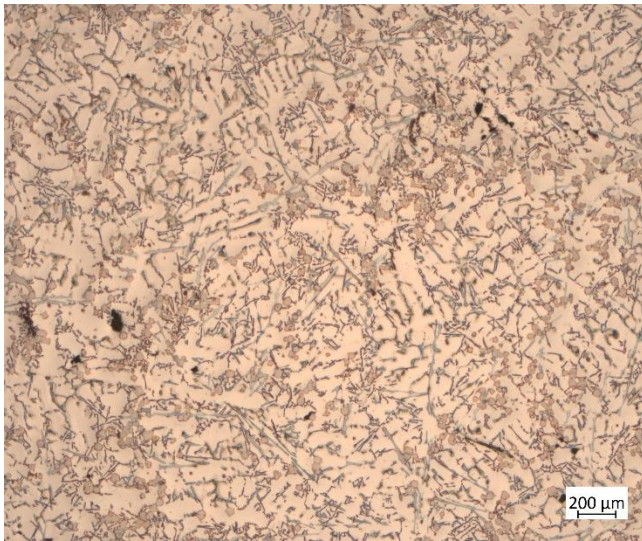
Vzor č.6, zväčšenie 25x



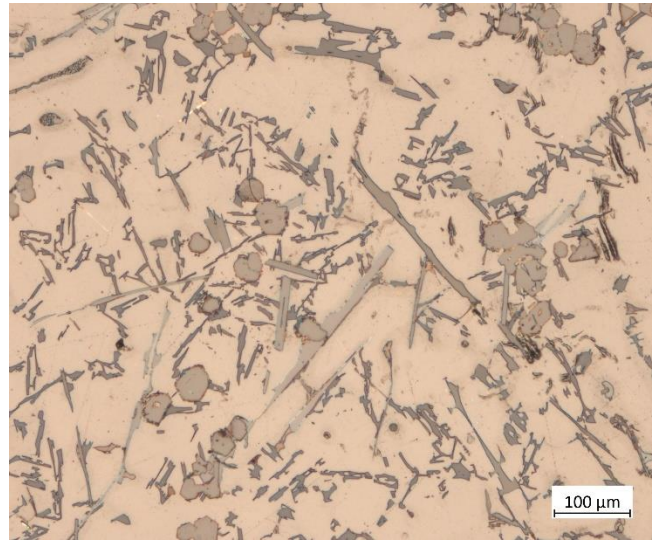
Vzor č.6, zväčšenie 100x

- V mieste odberu vzorky č.3 sú viditeľné výrazné póry veľkosti 50 až 220 μm
- V mieste odberu vzorky č.6 sú viditeľné póry veľkosti do 150 μm

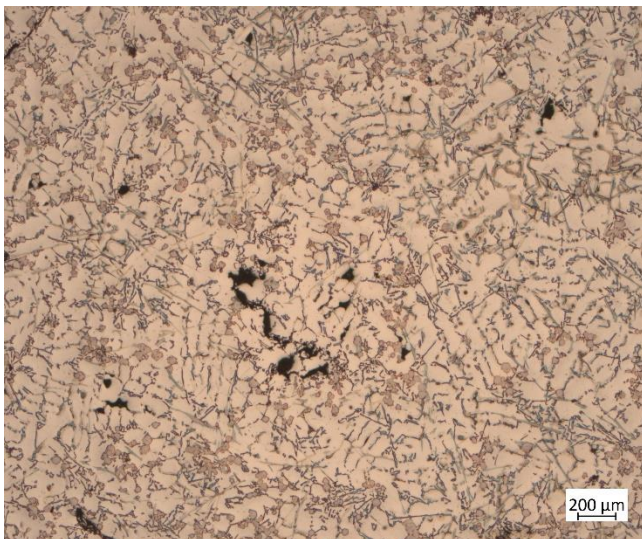
- Metalografický výbrus vzorov č.5 a 8 v oblasti bez výrazného zmrštenia
- rez rovinou XY a YZ, rebro v strede odliatku v mieste pod nálitkom



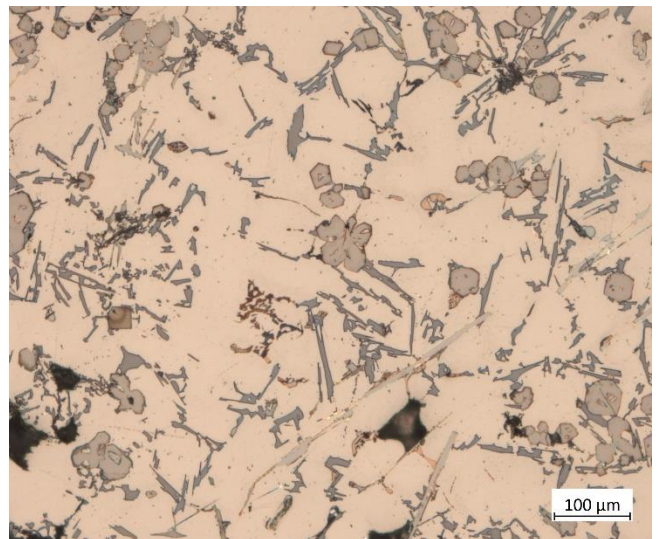
Vzor č.5, zväčšenie 25x



Vzor č.5, zväčšenie 100x



Vzor č.8, zväčšenie 25x



Vzor č.8, zväčšenie 100x-

- V miestach odberu vzoriek č.5 a č.8 sú viditeľné póry veľkosti do 50 μm
- Na snímkach metalografického výbrusu odliateho hliníka EN AC-46 000 sú viditeľné kryštalizačné fázy α hliníka, trojné a štvorné eutektiká, intermetalické fázy chrómu, ale aj zložky medi, ktorá zlepšuje teplovodivé vlastnosti
- Podľa snímkov metalografického výbrusu je v dvoch malých oblastiach na kraji chladiča výrazne väčší výskyt pórov ako v iných oblastiach odliatku, ale napriek tomu to neprekáža úžitku a funkcii chladiča
- Použitá zliatina hliníka EN AC-46 000 sa ukázala ako vhodná pre použitie chladiča vyrobeného gravitačným odlievaním do pieskovej formy

6.2 Návrh sériovej výroby

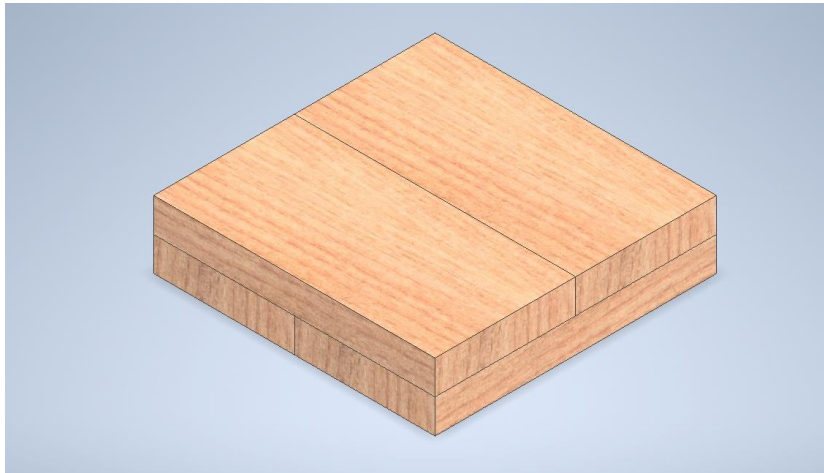
- Sériová výroba odliatkov chladiča je odvodená z kusovej výroby, v ktorej boli overené prototypy, ich konštrukcia a použitý materiál
- Konštrukcia chladiča malosériovej výroby ostáva totožná ako pri prototypoch
- Technológia malosériovej výroby v porovnaní s kusovou bola upravená podľa potrieb v nasledujúcich krokoch návrhu výroby:

6.2.5 Návrh typu modelového zariadenia (nedelený/delený model/modelové dosky)

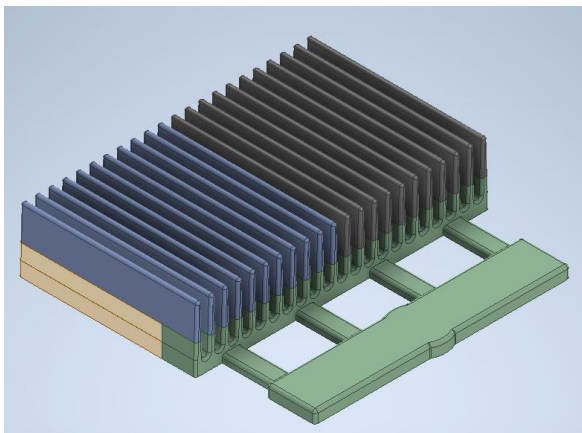
- Vzhľadom na pomerne malú sériu výroby odliatkov (1500 kusov) volím strojné formovanie pomocou modelových dosiek odvodených z voľného modelu použitého pri výrobe prototypov.
- Touto technológiou strojného formovania pomocou modelovej dosky dosiahneme požadovanú dávku výroby rovnomernejšej kvality a efektívnejšie ako pri ručnom formovaní a zároveň pri nižších nákladoch, ako napríklad v porovnaní s tlakovým odlievaním.
- Časti modelovej dosky sú vyrobené z tvrdého dreva - dubu na CNC fréze, alebo na sústruhu v prípade modelov nálitku a vtokového kanálu, následne sú skontrolované podľa výrobného výkresu a podľa potreby dodatočne opravené.
- Modelová doska je tvorená základnou doskou tvoriacu deliacu rovinu a modelom chladiča, resp. nálitku a vtokového kanálu, ktoré sa uložia do nej.
- Modelová základná doska
 - výroba polotovaru pre strojné obrábanie:
(2-vrstvá lepená doska 500x500x60 mm)
 - 2 kusy dubových dosiek rozmerov 2000x125x30 mm
 - delenie dosiek na dĺžku 500 mm pomocou pásovej píly
 - lepenie a lisovanie dosiek do dvoch vrstiev na rozmer 500x500x60 mm
 - dosky sú orientované proti-sebe v rámci jednej vrstvy a kolmo na seba v rámci dvoch vrstiev
 - použité lepidlo: jednozložkové kopolymerné disperzné lepidlo DUOCOLL 1012 D3, odolné proti vode, splňujúce požiadavky normy EN 204 pre lepidlá D3, vhodné pre lepenie mäkkého aj tvrdého dreva, vhodné na veľkoplošné lepenie v teplom alebo studenom lise
 - tuhnutie lepidla v studenom lise po dobu 20 minút
 - strojné obrobenie modelovej dosky z polotovaru podľa výrobného výkresu
 - kontrola rozmerov a drsnosti povrchu, prípadné opravy

- Model chladiča s pripojeným struskovák, obr.č.67 a č.68
- výroba polotovaru pre strojné obrábanie:
 - (2-vrstvá lepená doska 250x250x60 mm, obr.č.66)
 - 1 kus dubovej dosky rozmerov 2000x125x30 mm
 - delenie dosky na dĺžku 250 mm pomocou pásovej píly
 - lepenie a lisovanie dosiek do dvoch vrstiev na rozmer 250x250x60 mm
 - dosky sú orientované proti-sebe v rámci jednej vrstvy a kolmo na seba v rámci dvoch vrstiev
 - použité lepidlo: jednozložkové kopolymerné disperzné lepidlo DUOCOLL 1012 D3, odolné proti vode, splňujúce požiadavky normy EN 204 pre lepidlá D3, vhodné pre lepenie mäkkého aj tvrdého dreva, vhodné na veľkoplošné lepenie v teplom alebo studenom lise
 - tuhnutie lepidla v studenom lise po dobu 20 minút
- strojné obrobenie modelu chladiča z polotovaru podľa výrobného výkresu
- kontrola rozmerov a drsnosti povrchu, prípadné opravy

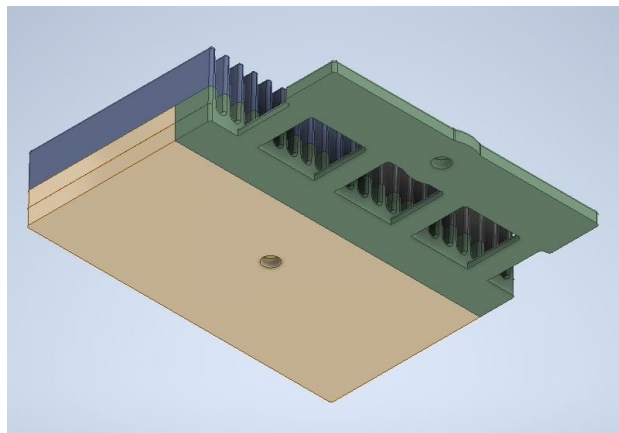
[6]



Obrázok 66



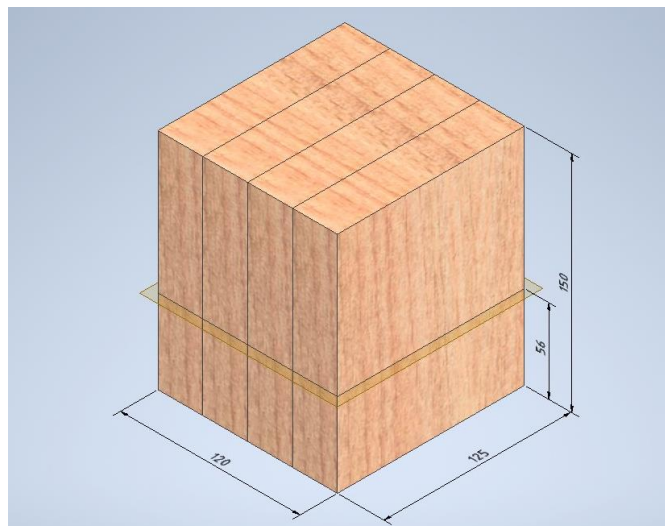
Obrázok 67



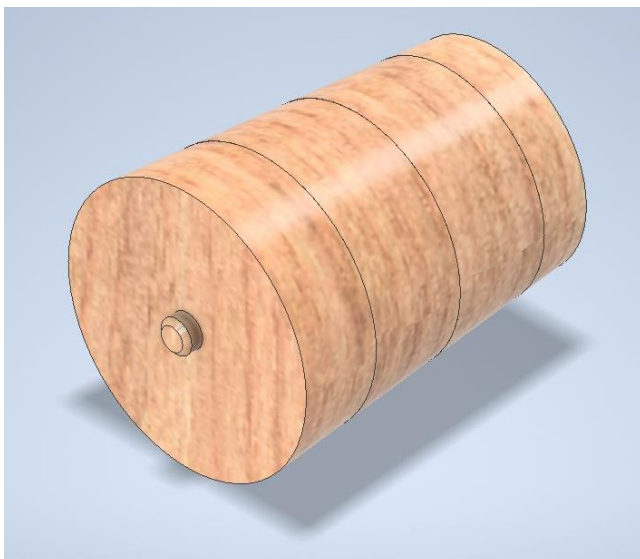
Obrázok 68

- Model nálitku (obr.č.70) a vtokového kanálu (obr.č.71)
- výroba polotovaru pre strojné obrábanie:
 - (4-vrstvá lepená doska 150x125x120 mm, obr.č.69)
 - 1 kus dubovej dosky rozmerov 2000x125x30 mm
 - delenie dosky na dĺžku 150 mm pomocou pásovej píly
 - lepenie a lisovanie dosiek do štyroch vrstiev na rozmer 150x125x120 mm
 - dosky sú orientované proti-sebe v rámci vrstiev
 - použité lepidlo: jednozložkové kopolymerné disperzné lepidlo DUOCOLL 1012 D3, odolné proti vode, splňujúce požiadavky normy EN 204 pre lepidlá D3, vhodné pre lepenie mäkkého aj tvrdého dreva, vhodné na veľkoplošné lepenie v teplom alebo studenom lise
 - tuhnutie lepidla v studenom lise po dobu 20 minút
 - delenie hranola po strane dlhej 150 mm na 2 diely:
 - 56x125x120 mm pre výrobu modelu vtokového kanálu
 - 94x125x120 mm pre výrobu modelu nálitku
- strojné obrobenie modelov z polotovaru podľa výrobného výkresu
- kontrola rozmerov a drsnosti povrchu, prípadné opravy

[6]



Obrázok 69

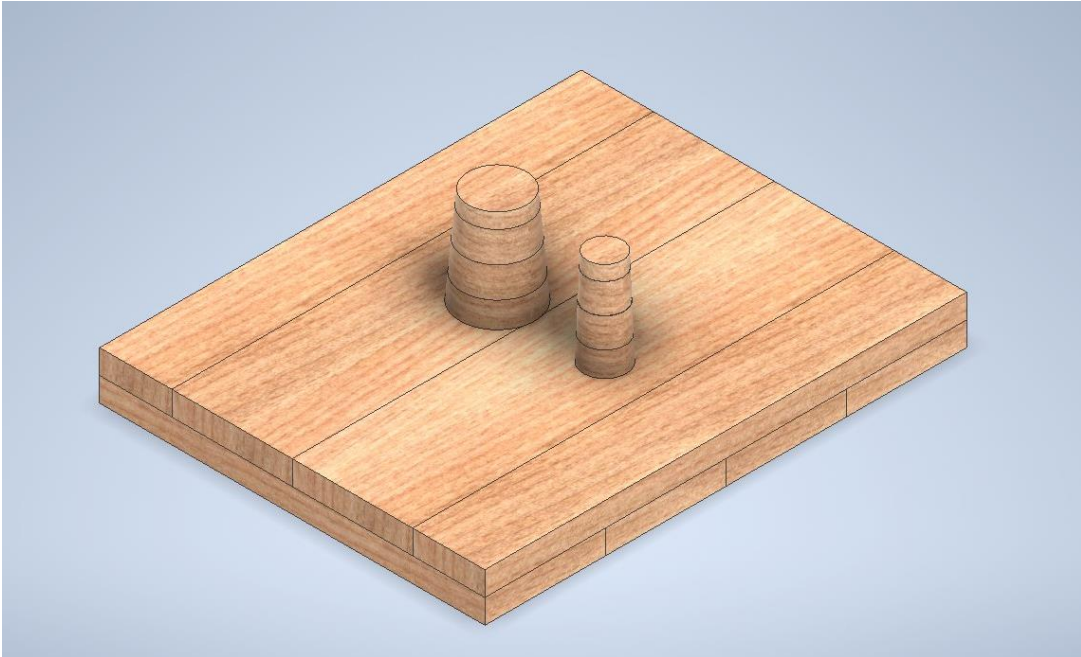


Obrázok 70



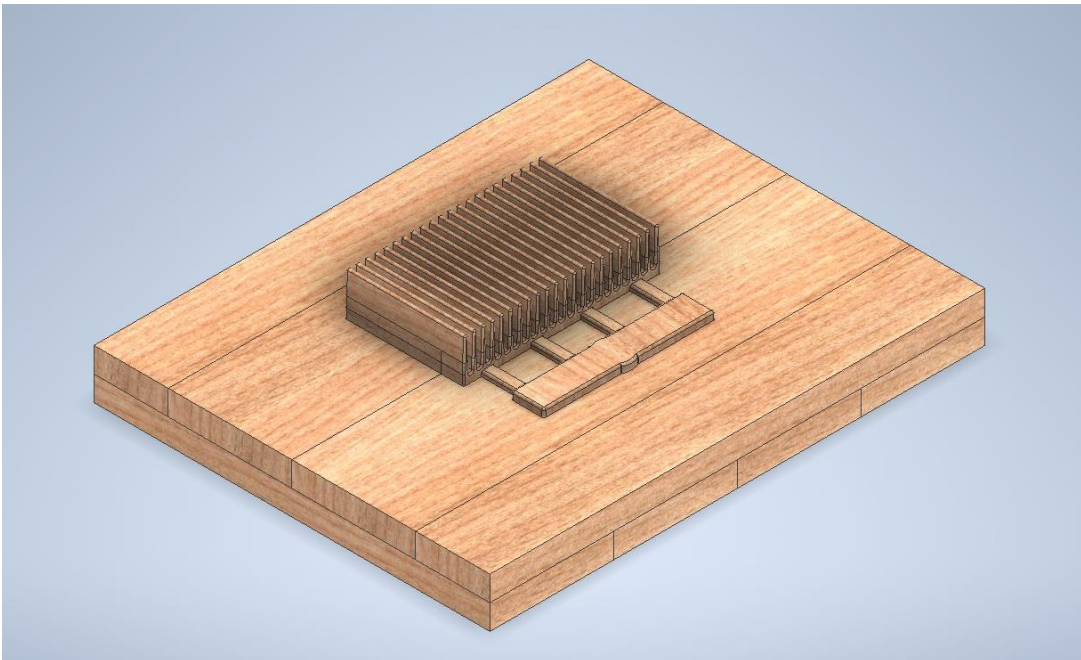
Obrázok 71

- Vrchná modelová doska, obr.č.72
 - uloženie modelov nálitku a vtokového kanálu do pozičných dier $\varnothing 10$ mm na modelovej doske.



Obrázok 72

- Spodná modelová doska, obr.č.73
 - uloženie modelu chladiča s pripojeným struskovákcom do pozičných dier $\varnothing 10$ mm na modelovej doske pomocou dvoch drevených kolíkov $\varnothing 10$ mm a výšky 15 mm.



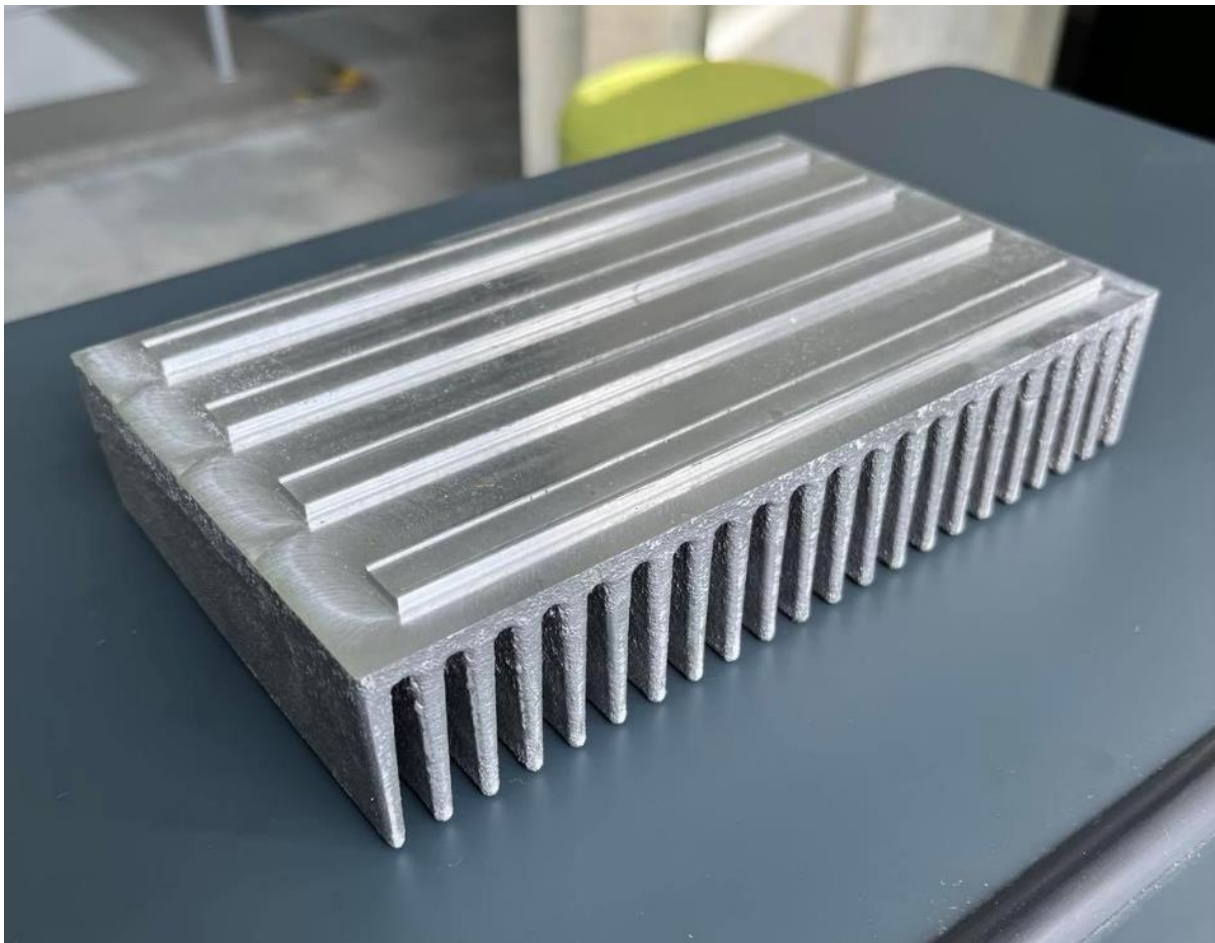
Obrázok 73

7 Záver

V prípade kusovej výroby chladičov bola použitá technológia gravitačného odlievania do piesku, ktorá naplnila kvalitatívne požiadavky odliatku. Odliatok je celistvý, homogénny a bez výrazných väd, ktoré by znemožnili jeho použitie. Forma bola v prípade kusovej výroby zvolená technológiou výroby formovania ručne pomocou voľného modelu vyrobeného na 3D tlačiarňi. Použitý materiál hliníkovej zliatiny AlSi9Cu3 (EN AC-46 000) sa ukázal ako vhodný pre túto výrobu a použitie, napriek tomu, že sa na metalografickom výbruse ukázali drobné vady, a to póry vo vnútri materiálu, ktoré ale neprekážajú funkcii chladiča a bezpečnosti jeho aplikácie. Hrubý odliatok bol očistený a strojne obrobeneý, viď obr.č.62, kedy boli vyrobené funkčné drážky pre uloženie ďalších komponentov chladiacej sústavy.

Experimentálna skúška prevádzky prototypu na zariadení avšak nebola vykonaná, pretože v priebehu návrhu a výroby prototypov sa zmenil dizajn zariadenia, na ktorý bol chladič určený a navrhnutý.

Napriek tomu, je možné hodnotiť návrh a výrobu skúšobných prototypov chladiča úspešne. V prípade, ak by bola overená jeho skutočná funkčnosť a chladič by sa ukázal ako vyhovujúci, bola navrhnutá malosériová výroba odvodená z kusovej, líšiaca sa len v technologických krokoch ovplyvnenými navýšenou kapacitou výroby.



Obrázok 62, hotový strojné opracovaný hliníkový odliatok chladiča

8 Prílohy

Tabuľka 12

Číslo prílohy	Názov	Počet strán
1	výrobný výkres hashboard_20210805	1
2	výrobný výkres voľný model pre 3D tlač	2
3	výrobný výkres prototyp chladiča	1
4	postupový výkres prototyp chladiča	2
5	výrobný postup prototypu	1
6	výrobný výkres - spodná/vrchná modelová doska 400x500x50mm	1
7	výrobný výkres – spodná modelová doska – model chladič	1
8	výrobný výkres – vrchná modelová doska – model nálitku a vtok. kanálu	1
9	výrobný postup malosériovej výroby	1

9 Zdroje

9.1 Zoznam použitej literatúry

- [1] Hardware a software > Pasivní a aktivní chladiče . Hardware a software > Úvod [online]. Dostupné z: <http://www.has.wbs.cz/Pasivni-a-aktivni-chladice-.html>
- [2] Chladiče | Elektronické súčiastky. Distribútor a e-shop - Transfer Multisort Elektronik. Redirecting to /cz/ [online]. Dostupné z: https://www.tme.eu/sk/katalog/chladice_100095/
- [3] Součinitel tepelné vodivosti λ . Přírodní stavba, EKO a BIO materiály [online]. Dostupné z: <https://www.prirodnistavba.cz/popup/soucinitel-tepelne-vodivosti-33e.html>
- [4] <https://www.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/37-hodnoty-fyzikalnich-velicin-vybranych-kovu>
- [5] Slitina hořčíku Ingot AZ63HP Dobrá tepelná vodivost a vysoká elasticita Nejlepší kvalita s ASTM Standard Mg Master AZ63HP slitina Ingot Výrobci a dodavatelé - velkoobchodní cena - Winfred Inter. Website occurrence problem [online]. Copyright © Winfred International Metal limited Všechna práva vyhrazena. [cit. 09.09.2022]. Dostupné z: <http://cz.wfcalcium.com/magnesium-metal/magnesium-alloy-ingot/magnesium-alloy-ingot-az63a-good-thermal.html>
- [6] MajorShop [online]. Dostupné z: http://www.lepidlaeshop.cz/static/_dokumenty/3/2/4/Duocoll_1012_D3_cz-plosne-lepeni-mekkeho-a-tvrdeho-dreva.pdf
- [7] Energeticky úsporná elektrická tavicí pec. [online]. Copyright © 2000 [cit. 09.09.2022]. Dostupné z: <https://www.lac.cz/cs/pece-a-susarny/tavici-elektricka-stacionarni-pec-pt-mk-ii>
- [8] EN 1706 Grade AC-46000 F - 3xx.x - Matmatch. Find Materials and Suppliers - Matmatch [online]. Copyright © [cit. 09.09.2022]. Dostupné z: <https://matmatch.com/materials/minfm17125-en-1706-grade-ac-46000-f>
- [9] FS ČVUT, Ústav strojírenské technologie, Podklady k části slévání, Výroba odlitku, dostupné z: <https://moodle-vyuka.cvut.cz/mod/folder/view.php?id=75713>

9.2 Zoznam obrázkov

- Vlastné obrázky:
 - č. 1,2, 21 - 46, 48 – 73
 - Vlastné metalografické snímky vzorov č. 1, 2, 3, 5, 6, 8
 - Ostatné:
- [3] Cooling systems – made easy!. New Electronics - Home [online]. Copyright © Copyright 2022 Mark Allen Group [cit. 09.09.2022]. Dostupné z: <https://www.newelectronics.co.uk/content/features/cooling-systems-made-easy>
- [4] Cooling systems – made easy!. New Electronics - Home [online]. Copyright © Copyright 2022 Mark Allen Group [cit. 09.09.2022]. Dostupné z: <https://www.newelectronics.co.uk/content/features/cooling-systems-made-easy>
- [5] China cold plate heat sink Design Manufacturer [online]. Dostupné z: [http://China cold plate heat sink Design Manufacturer - Pioneer Thermal Heat Sinks \(heatsinksmfg.com\)](http://China cold plate heat sink Design Manufacturer - Pioneer Thermal Heat Sinks (heatsinksmfg.com))
- [6] Oem Custom Heatsink Manufacturer, Passive Heat Sink | Lori (lorithermal.com) [online]. Dostupné z: [http://Oem Custom Heatsink Manufacturer, Passive Heat Sink | Lori \(lorithermal.com\)](http://Oem Custom Heatsink Manufacturer, Passive Heat Sink | Lori (lorithermal.com))
- [7] Technologie současného a budoucího chlazení - Výroba chladiče | Svět hardware (svethardware.cz) [online]. Dostupné z: [http://Technologie současného a budoucího chlazení - Výroba chladiče | Svět hardware \(svethardware.cz\)](http://Technologie současného a budoucího chlazení - Výroba chladiče | Svět hardware (svethardware.cz))
- [8] UKS12-TO126 - Chladič: lisovaný | U; SOT32,TO126; černá; L: 25mm; W: 12mm; H: 15mm | TME Czech Republic s.r.o. - Elektronické součástky. Redirecting to /en/ [online]. Dostupné z: <https://www.tme.eu/cz/details/uks12-to126/chladice/>
- [9] Chladič odlévaný typ W50, 190x300x50mm, žebrovaný [online]. Dostupné z: [http://Chladič odlévaný typ W50, 190x300x50mm, žebrovaný \(elektro-hofman.cz\)](http://Chladič odlévaný typ W50, 190x300x50mm, žebrovaný (elektro-hofman.cz))
- [10] 120231 Wakefield Thermal - Chladič: tepelná trubica | plochý; přírodní; L: 100mm; meď; surový | TME Slovakia s.r.o. - Elektronické súčiastky
- [11] GE K 80 42 100 SA FISCHER ELEKTRONIK - Chladič: s krytom | čierna; hliník; eloxovaný; Y: 47mm; X: 75,2mm; GE/K/80/42/100/SA | TME Slovakia s.r.o. - Elektronické súčiastky
- [12] Chladič doskový PL10-14 E obj.č. ILWPL10014EK. [online]. Dostupné z: <http://81.89.50.210:8081/p/chladice/doskove-vymenniky-tepla/chladic-doskovy-pl10-14-e-objc-ilwpl10014ek/?presetVariant=0>
- [13] Chladič lisovaný žebrovaný černá L 150mm W 200mm H 40mm | GMcentrum s.r.o.. GMcentrum s.r.o. [online]. Copyright © 2008 [cit. 09.09.2022]. Dostupné z: <https://www.gsmcentrum.cz/chladic-lisovany-zebrovany-cerna-l-150mm-w-200mm-h-40mm>
- [14] Chladič: extrudovaný [online]. Dostupné z: <http://ATS-PCBT1086 Advanced Thermal Solutions - Chladič: extrudovaný | plochý; TO220; čierna; L: 31,8mm; W: 22,2mm | TME Slovakia s.r.o. - Elektronické súčiastky>
- [15] Okrúhly led chladič Výrobcovia a dodávateľia - Čína Továreň - ZP hliník. Website occurrence problem [online]. Copyright © Cofoshan ZP Aluminium Ltd. [cit. 09.09.2022]. Dostupné z: <http://m.sk.zp-aluminio.com/2-aluminum-heat-sink/round-led-heatsink.html>

- [16] Chladič červý ve tvaru H [online]. Dostupné z: [http://Chladič červý ve tvaru H 7,1K/W 25mm pro TO220 \(elektro-hofman.cz\)](http://Chladič červý ve tvaru H 7,1K/W 25mm pro TO220 (elektro-hofman.cz))
- [17] RAD-A6405A/150 STONECOLD - Chladič: extrudovaný | Y; L: 150mm; W: 126mm; H: 136mm; hliník; surový | TME Slovakia s.r.o. - Elektronické súčiastky
- [18] 274-3AB Wakefield Thermal - Chladič: extrudovaný | U; TO220; čierna; L: 19,1mm; W: 13mm; H: 6,4mm | TME Slovakia s.r.o. - Elektronické súčiastky
- [19] Hash board Antminer S17+ buy in Ukraine - Asic Club. ASIC Ремонт настройка и прошивка майнеров диагностика [online]. Dostupné z: <https://www.asicclub.com.ua/en/product/hash-board-antminer-s17plus/>
- [20] BITMAIN ANTMINER S17+ (73 TH/S) Crypto Miner (allianceminers.com) [online]. Dostupné z: <https://allianceminers.com/product/bitmain-antminer-s17-73-th-s/>
- [47] Energeticky úsporná elektrická tavicí pec. [online]. Copyright © 2000 [cit. 09.09.2022]. Dostupné z: <https://www.lac.cz/cs/pece-a-susarny/tavici-elektricka-stacionarni-pec-pt-mk-ii>

9.3 Zoznam tabuliek

Tabuľka 1- Prehľad tepelných vlastností a hustôt vybraných materiálov	[3, 4, 5]
Tabuľka 2 – Chemické zloženie Materiálu AlSi9Cu3	[8]
Tabuľka 3 – Technológie výroby foriem	[9]
Tabuľka 4 – porovnanie metód výroby foriem	[9]
Tabuľka 5 – Akostné triedy modelových zariadení	[9]
Tabuľka 6 – Stupne tolerancie CT	[9]
Tabuľka 7 – Stupne prídavkov na obrábanie	[9]
Tabuľka 8 – metalurgický predpis materiálu	
Tabuľka 9 – kalkulácia nákladov kusovej výroby	
Tabuľka 10 – metalurgický predpis materiálu	
Tabuľka 11 – kalkulácia nákladov malej série	
Tabuľka 12 – zoznam príloh	