

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ**

**Fakulta strojní**

**Ústav strojírenské technologie**

**Návrh a virtuální verifikace odlitků prototypové převodové skříně  
pro vrtulník**

**Design and Virtual Verification of Castings for Prototype of  
Helicopter Gearbox**

Diplomová práce

Studijní program: Strojní inženýrství

Obor: Výrobní a materiálové inženýrství

Vedoucí práce: Ing. Barbora Bryksí Stunová, Ph.D.

**Petr Mareček**

**Praha 2015**

## **Prohlášení:**

Prohlašuji, že jsem svou diplomovou práci s názvem Návrh a virtuální verifikace odlitků prototypové převodové skříně pro vrtulník vypracoval samostatně pod vedením Ing. Barbory Bryksí Stunové, Ph.D. s použitím literatury uvedené na konci diplomové práce v seznamu použité literatury.

V Praze dne .....

.....

podpis

## **Poděkování:**

Na tomto místě bych chtěl poděkovat vedoucí mé diplomové práce, Ing. Barboře Bryksí Stunové, Ph.D., za cenné rady, a za ochotu a vstřícnost.

**Anotace:**

Teoretická část práce je zaměřena na rozdělení a popis nejznámějších typů vrtulníkových převodových skříní. Dále popisuje požadavky, které jsou kladeny na převodové skříně v letectví. Popisuje tyto druhy převodovek a uvádí jejich příklady použití. Část teorie je věnována zvažovaným materiálům připadajícím v úvahu pro odlití převodové skříně. Zvažované materiály byly slitiny hliníku a slitina hořčíku.

Praktická část práce je zaměřena na popis variant převodové skříně. V těchto variantách jsou popisovány konstrukční varianty jednotlivých dílců obalů převodové skříně s ohledem na provozní podmínky sestavy a na technologičnost konstrukce pro gravitační lití do pískové formy.

Dále je zde uveden návrh technologie výroby odlitků převodové skříně. Ten obsahuje popis polohy odlitků ve formě, rozměry jednotlivých dílců a popis přídavek na obrábění. Další část je zaměřena na popis návrhů náliček a vtokových soustav pro každý odlitek. Tato část obsahuje vždy několik variant návrhu pro naznačení postupu, jakým bylo dosaženo konečných variant. Těmito finálními variantami se zabývá předposlední část praktické části práce. Ta je zaměřena na virtuální verifikaci odlitků. Zde jsou uvedeny výsledky simulací plnění a tuhnutí odlitku. Poslední část práce obsahuje závěry z praktické části diplomové práce.

**Annotation:**

Theoretical part is focused on the distribution and description of the most common types of helicopter gearboxes. It also describes the requirements placed on gearboxes in aviation. It describes these kinds of gearboxes and provides examples of their use. Part of the theory focuses on materials taken into consideration for casting the gearbox. Materials considered for casting were aluminum alloy and magnesium alloy.

The practical part is focused on describing variants of the gearbox. Here are described constructional variants of the individual packaging parts of gearbox with a regard to the operating conditions of the assembly and construction technology for gravity casting into sand mold.

It also shows the design of technology casting production gearbox. It contains a description of the position in the form of castings, proportions and description of the individual parts and machining allowances. Another part is focused on describing the proposals of feeders and filling systems for each casting. This part has several design variations to indicate the process by which final variants were achieved. These final versions are concerned with penultimate section of practical part. It is focused on the virtual verification of castings. Here are the results of

simulation of casting flow and solid. The last part contains the conclusions from the practical part.

**Klíčová slova:**

Helikoptéra, převodová skříň, gravitační lití, vtoková soustava, nálietek, simulace plnění a tuhnutí

**Key words:**

Helicopter, gearbox, gravity casting, filling system, feeder, simulation of flow and solid

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

pro **Bc. Petra MAREČKA**

Program: Strojní inženýrství

Obor: Výrobní a materiálové inženýrství

Název: Návrh a virtuální verifikace odlitků prototypové převodové skříně pro vrtulník

Název anglicky: Design and Virtual Verification of Castings for Prototype of Helicopter Gearbox

### Zásady pro vypracování:

1. Úvod do problematiky
2. Převodová skřín vrtulníku - popis, druhy, požadavky
3. Odlitky pro převodovou skřín a jejich úpravy z hlediska nároků na sestavu a technologičnost konstrukce
4. Návrh technologie výroby odlitků převodové skříně
5. Virtuální verifikace
6. Závěry

# Obsah

1. Úvod do problematiky	9
2. Převodová skříň vrtulníku – popis, druhy, požadavky	10
2. 1. Druhy vrtulníkových převodových skříní	10
2. 2. Převody	14
2. 3. Kladené požadavky na převodové skříně v letectví	17
3. Odlitky pro převodovou skříň a jejich úpravy z hlediska nároků na sestavu a technologičnost konstrukce	20
3. 1. Požadavky kladené na odlitky organizací EASA	20
3. 2. Uvažované materiály odlitků	22
3. 2. 1. Zvažované slitiny hliníku	25
3. 2. 2. Zvažovaná slitina hořčíku	37
3. 3. Odlitky pro převodovou skříň a jejich úpravy	38
3. 3. 1. Převodová skříň – varianta 1	39
3. 3. 2. Převodová skříň – varianta 2	49
3. 3. 3. Převodová skříň – finální varianta	59
4. Návrh technologie výroby odlitků převodové skříně	63
4. 1. Poloha ve formě, rozměry a přídavky na obránění jednotlivých odlitků	63
4. 1. 1. Přední díl převodové skříně	63
4. 1. 2. Zadní díl převodové skříně	65
4. 1. 3. Víko převodové skříně	67
4. 2. Návrh nálitků a vtokové soustavy jednotlivých dílců	68
4. 2. 1. Návrh nálitků a vtokové soustavy Předního dílu	70
4. 2. 2. Návrh nálitků a vtokové soustavy Zadního dílu	83
4. 2. 2. Návrh nálitků a vtokové soustavy Víka	99
5. Virtuální verifikace	106

5. 1. Virtuální verifikace předního dílu	106
5. 1. 1. Přední díl – plnění dutiny formy odlitku, plnicí čas a čas tuhnutí	107
5. 1. 2. Přední díl – termální moduly	109
5. 1. 3. Přední díl – teplota odlitku po naplnění dutiny formy	111
5. 1. 4. Přední díl – Staženiny	114
5. 2. Virtuální verifikace zadního dílu	117
5. 2. 1. Zadní díl – plnění dutiny formy odlitku, plnicí čas a čas tuhnutí	117
5. 2. 2. Zadní díl – termální moduly	118
5. 2. 3. Zadní díl – Teplota odlitku po naplnění dutiny formy	121
5. 2. 4. Zadní díl – Staženiny	124
5. 3. Virtuální verifikace víka	127
5. 3. 1. Víko – plnění dutiny formy odlitku, plnicí čas a čas tuhnutí	127
5. 3. 2. Víko – termální moduly	130
5. 3. 3. Víko – Teplota odlitku po naplnění dutiny formy	131
5. 3. 4. Víko – Staženiny	133
5. 4. Závěry výsledků simulací plnění a tuhnutí	134
5. 4. 1. Přední díl	135
5. 4. 2. Zadní díl	136
5. 4. 3. Víko	136
6. Závěry	136
6. 1. Úvod do problematiky	136
6. 2. Úpravy odlitků pro převodovou skříň z hlediska nároků na sestavu a technologičnost konstrukce	136
6. 3. Návrh technologie výroby odlitků převodové skříně	137
6. 4. Virtuální verifikace odlitků	137
6. 5. Další postup ve vývoji součástí a technologie	137
Použitá literatura	138



Seznam obrázků	141
Seznam Tabulek	146

# 1. Úvod do problematiky

Pod označením vrtulník si představujeme motorové letadlo vhodné k široké škále použití, jak v civilním, tak ve vojenském provedení, jehož schopnost pohybovat se ve vzduchu zajišťuje nosná rotorová soustava. Vrtulníky jsou využívány v různých odvětvích lidské činnosti hlavně díky své široké škále použití, ať se jedná o přepravu osob, nákladů, hašení požáru nebo například nejrůznější vojenské účely.

Tato práce se zabývá návrhem dílů pro sestupnou převodovou skříň pro prototyp vrtulníku Rumas R10I skupiny RUMAS group. Úkolem sestupné převodové skříň je propojení pohonné jednotky s hlavním reduktorem, který přenáší výkon z motoru na nosné rotory a také přenos výkonu na tlačnou vrtuli stroje. Vrtulník je vyobrazen na obrázku 1. Jedná se o vrtulník s koaxiálním schématem nosných rotorů v kombinaci s tlačnou vrtulí.



Obr. 1 Helikoptéra Rumas 10F 1

Koaxiální uspořádání nosných rotorů nad sebou propůjčuje stroji stabilitu při visení a tlačná vrtule napomáhá k dosahování vysokých přepravních rychlostí stroje. Diplomová práce je zaměřena na popis vývoje odlitků sestupné převodové skříně, návrhu vtokové soustavy a virtuální verifikaci jednotlivých dílů. Protože se jedná o převodovku do prototypu, je volen způsob odlévání do pískových forem a k zaformování bude využito dřevěných modelů.

Cíle práce jsou:

- Úvod do problematiky
- Úpravy odlitků pro převodovou skřín z hlediska nároků na sestavu a technologičnost konstrukce
- Návrh technologie výroby odlitků převodové skříně
- Virtuální verifikace odlitků

## **2. Převodová skřín vrtulníku – popis, druhy, požadavky**

Úkolem převodové neboli transmisní soustavy vrtulníku je přenášet výkon z pohonné jednotky - motoru, který může být například pístový nebo turbohřídelový - na nosné, kompenzační či tlačné rotory stroje. Na celou transmisní soustavu, ať už se jedná například o ozubená kola nebo o obaly, jsou kladeny ty nejvyšší bezpečnostní požadavky, neboť sebemenší porucha dílů této soustavy může mít obrovský vliv na bezpečnost letu. Současně je při návrhu a konstrukci převodových skříní nutné snažit se navrhnout takové uspořádání, aby se docílilo co nejnižší hmotnosti transmisí. Poškození výše zmiňovaných součástí může mnohdy vést k havárii stroje a ztrátám na životech posádky dané helikoptéry. Na vrtulníkové převodovky se při jejich konstrukci i provozu kladou nejrůznější požadavky na revize a servis, které vycházejí z leteckých předpisů. V evropských zemích se konstrukce helikoptér, které spadají do sekce motorových letadel, řídí předpisy Evropské agentury pro bezpečnost letectví EASA (*European Aviation Safety Agency*). [1]

### **2. 1. Druhy vrtulníkových převodových skříní**

Vrtulníkové převodové skříně lze dělit dle různých kritérií, které jsou shodné s dělením konvenčních převodovek užívaných kdekoliv jinde. Proto bude tato část práce zaměřena na dělení převodovek pro helikoptéry z hlediska druhu vrtulníku či počtu pohonných jednotek. [2]

Vrtulníky lze rozdělit do několika základních typů, které jsou odvozeny převážně od schématu uspořádání rotorové soustavy a vyrovnávacího ocasního rotoru na: [3]

- Klasické schéma
- Koaxiální schéma
- Tandemové schéma
- Schéma synchrocopter

[3]

Klasickým schématem vrtulníku je myšleno uspořádání rotorové soustavy vrtulníku s hlavním nosným rotorem nad kabinou stroje a vyrovnávacím rotorem na ocase helikoptéry. Vyrovnávací rotor má za úkol kompenzovat reakční moment hlavního rotoru. Při poruše nebo nefunkčnosti ocasního rotoru by se vrtulník stal neovladatelný s tím, že by se stroj točil kolem osy hlavního rotoru. S jistotou nastává havárie letounu. Jako příklad helikoptéry s tímto uspořádáním rotorového systému uvádím stroj kanadské společnosti Bell, konkrétně Bell 407. Jedná se o sedmi místný vrtulník se čtyřlístým nosným rotorem s pružně uloženými listy. Tohoto uložení listů je dosaženo pomocí kompozitních planžet. Stroj je poháněn jedním turbohřídelovým motorem Allison 250 – C47B. Vrtulník je zachycen na obrázku 2. [1]



Obr. 2 Vrtulník Bell 407 [4]

Vrtulník s koaxiálním schématem rotorového systému je i prototyp helikoptéry Rumas 10F, jehož obal převodové skříně je předmětem praktické části této diplomové práce, přičemž, jak

bylo již zmíněno v úvodu práce, tento vrtulník má navíc ještě tlačnou vrtuli. Pokud se vrátíme k popisu stroje s koaxiálním uspořádáním rotorového systému, tak u klasického koaxiálního stroje nenalezneme vyrovnávací rotor v ocasní části stroje, protože převodová skříň koaxiálu musí být navržena tak, aby se oba rotory točily stejně vysokými otáčkami, ale v opačném směru. V důsledku toho se reakce od rotorů navzájem vyruší. Nyní bude jen stručně popsán princip koaxiálního vrtulníku. U tohoto uspořádání rotorové soustavy jsou tedy nad sebou umístěny dva hlavní rotory mající společnou osu rotace, které se otáčejí stejnými otáčkami v opačném směru vůči sobě navzájem. Jelikož jsou rotory umístěny nad sebou v poměrně blízkosti vůči sobě a horní rotor vykazuje vyšší tah než spodní, došlo by k tomu, že by stroj nebyl vyvážený. Jinými slovy by helikoptéra rotovala kolem osy těchto rotorů. Tento nežádoucí jev je zpravidla kompenzován tím, že je na listech spodního rotoru nastaven vyšší úhel nastavení listu a tudíž tyto listy za letu disponují vyšším úhlem náběhu proudu vzduchu než horní. Tento typ vrtulníku má oproti helikoptérám klasického schématu vyšší stabilitou ve visu a při dopředném letu. Naopak mezi nevýhody oproti výše zmíněnému typu letounu se řadí nižší obratnost stroje na malém prostoru, poměrně složitější konstrukce převodových skříní, které logicky vykazují vyšší hmotnost, a také složitější a těžší rotorový systém. Hlavními výrobci helikoptér s takto umístěnými rotory jsou ruská společnost Kamov a americká společnost Sikorsky. Na následujícím obrázku je jako zástupce tohoto typu vrtulníku zobrazen Kamov Ka-52 Alligator. [1], [3], [5]



Obr. 3 Kamov Ka-52 Alligator [6]

Předposledním typem schématu vrtulníku je typ helikoptéry s tandemovým uspořádáním rotorů. Zpravidla se jedná o velké stroje, které jsou schopny přepravit velké množství osob nebo objemné náklady s poměrně vysokou hmotností. Tyto stroje se vyznačují dvěma nosnými rotory, které jsou umístěny v ose stroje za sebou. Jejich smysl otáčení je opačný. Otáčení helikoptéry je způsobeno rozdílem nastavení kolektivu na předním a zadním nosném rotoru. Na následujícím obrázku je jako zástupce této kategorie vrtulníků uveden stroj Boeing CH – 47 Chinook. [3], [5]



Obr. 4 Boeing CH – 47 Chinook [7]

Posledním typem schématu vrtulníku je schéma synchrocopter. Tento druh vrtulníku se poprvé objevil v období druhé světové války. Jednalo se o stroj vyvinutý německými leteckými inženýry. V současnosti stroje této konstrukce vyrábí pouze společnost Kaman. Schéma uspořádání rotorů helikoptéry je následující: vrtulník disponuje dvěma protiběžnými rotory, které jsou položeny na ose kolmé k ose letu symetricky vůči ní při pohledu na stroj ve směru letu. Na obrázku 5 je vyobrazen vrtulník firmy Kaman. [3], [5]



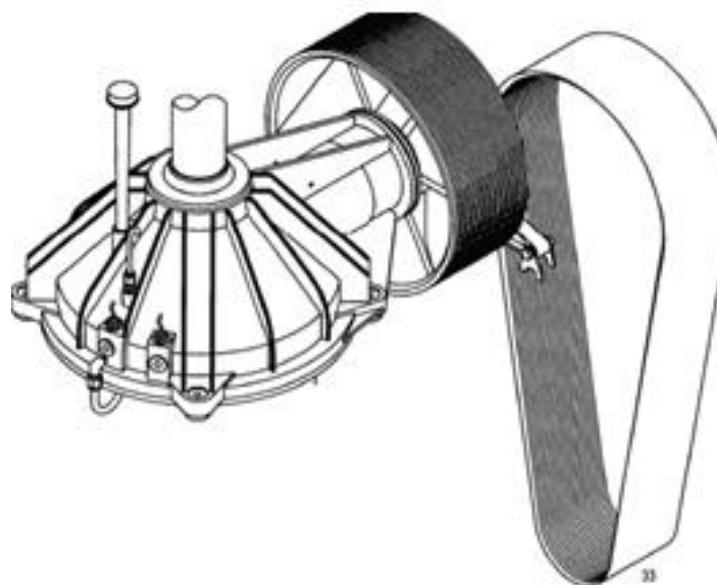
Obr. 5 Kaman k - max [8]

## 2. 2. Převody

Na tomto místě jsou uvedeny a popsány jednotlivé převody náležící helikoptérám spadajících do skupin, které jsou definovány výše.

Jako první byla zmíněna skupina vrtulníků s klasickým schématem, které je zároveň nejjednodušší z hlediska převodových skříní. V nejjednodušším provedení převodové skříně pro tento typ strojů postačuje pouze převod kuželovými koly, která přenášejí výkon z motoru na hlavní rotor vrtulníku. Redukce vstupních otáček dodávaných motorem může být realizována například pomocí řemenového převodu. Přenos výkonu tímto způsobem je možno vidět například na helikoptéře Enstrom 480 společnosti Enstrom Helicopter Corporation. Schéma převodů tohoto stroje je zachyceno na obrázku 6. [9]





Obr. 6 Enstrom 480 převodovka a způsob přenášení výkonu motoru na rotorovou hlavu [10]

Nicméně toto je jeden z nejjednodušších způsobů přenosu výkonu a je používán převážně u helikoptér s pístovými motory. U strojů vybavených turbohřídelovými pohonnými jednotkami je tento způsob uspořádání jen ojedinělý, jako zástupce tohoto systému u turbohřídelových vrtulníků lze uvést například výše zmíněný Enstrom 480, zobrazený na obr. 7.

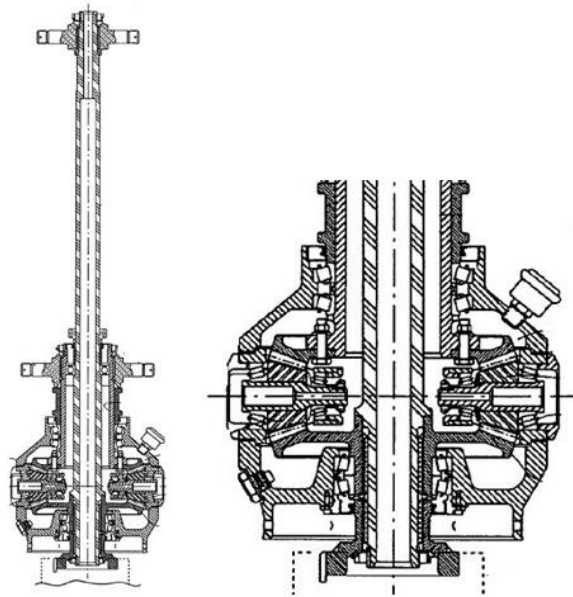


Obr. 7 Enstrom 480 [11]

U většiny strojů vybavených turbohřídelovými motory je motor spojen přímo s převodovou skříní a potřebný převod je realizován kombinací převodu kuželového soukolí společně s dalšími převody, zpravidla planetovými.



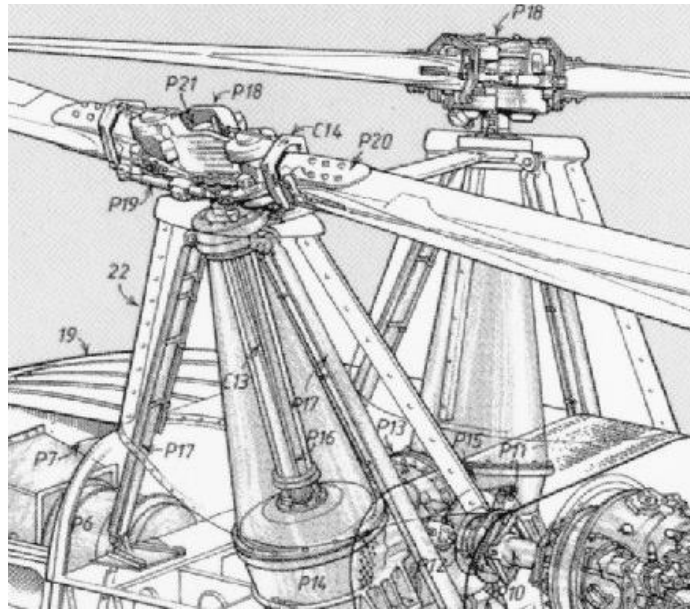
K seznámení s uspořádáním převodové skříně pro koaxiální helikoptéry poslouží následující obrázek 8.



Obr. 8 Schéma převodovky koaxiálního vrtulníku [12]

Z obrázku je patrné, že tento tato hlavní převodová skříň je s největší pravděpodobností konstruována pro dvoumotorový stoj, protože na obrázku 8 můžeme vidět dva vstupní pastorky do převodovky. Převodovka hlavních rotorů pro koaxiální typ vrtulníku se liší od převodovky helikoptér s klasickým schématem tím, že tato převodovka musí zajistit opačný smysl otáčení druhého rotoru, který je souosý s prvním. Jinak řečeno – v převodové skříni musí být přítomna spolu s hlavní hřídelí, na které je umístěn jeden rotor, ještě jedna hřídel souosá s první, mající opačný smysl otáčení. Tohoto je zpravidla docíleno využitím talířového trojkolí, či čtyřkolí, to záleží na počtu vstupů do převodovky. Toto je základní rozdíl mezi převodovkami koaxiálních helikoptér a klasických jednorotorových strojů. Kromě toho mají koaxiální vrtulníky ještě další specifika, která činí celé konstrukční řešení složitějším. Jedná se například o řešení ovládní rotorových hlav a spojení ovládacích prvků horní a spodní rotorové hlavy, přičemž tyto rotorové hlavy mají opačný smysl otáčení. Dalším složitějším prvkem je mazání převodů a vůbec celé olejové hospodářství. Všechny tyto překážky jsou v jistých případech akceptovatelné z důvodů určitých jedinečných vlastností těchto strojů, které jsou zmíněny v předešlém textu. Jako demonstrativní obrázek, na kterém je zachycen koaxiální vrtulník, poslouží obrázek 3, kde je zachycen stroj Kamov Ka – 52 Alligator.

Převodovky helikoptér s tandemovým uspořádáním nosných rotorů se v zásadě neliší od převodových skříní klasického schématu vrtulníků. V podobném gardu na tom je i transmisní soustava helikoptér s uspořádáním synchropoter, jak je zřejmé z obrázku 9. Jedná se prakticky také o dvě převodové skříně klasické koncepce, které jsou vůči sobě nakloněny o určitý úhel. Jak bylo uvedeno na začátku této kapitoly, touto koncepcí helikoptér se v dnešní době zabývá pouze společnost Kaman Corporation.



Obr. 9 Převodová soustava vrtulníku Kaman K – MAX [13]

### 2. 3. Kladené požadavky na převodové skříně v letectví

V leteckém průmyslu jsou na převodové skříně kladené zvláštní požadavky jak z hlediska konstrukčního, tak z hlediska nároků na bezpečnost. Tyto požadavky jsou obsaženy v různých druzích leteckých předpisů, které vydávají k tomu určené instituce. Pro příklad uvedu Evropskou agenturu pro bezpečnost letectví EASA, pod kterou spadají provozované a vyráběné stroje na území Evropy, nebo americkou FAA (*Federal Aviation Administration*).

Dle publikace Evropské agentury pro bezpečnost letectví Certifikační specifikace pro malá rotorová letadla CS – 27, dále jen CS – 27 a AC – 17 – 1B, pro vysvětlenou předpis AC – 27 – 1B, celým názvem *CERTIFICATION OF NORMAL CATEGORY ROTORCRAFT: AC No 27 - 1B*, je rozšiřujícím předpisem pro CS – 27, spadají součásti leteckých převodových skříní do kategorie kritických součástí. Za kritickou součást se považuje taková součást, u které by její porucha mohla znamenat fatální dopad na provoz letounu. Nicméně v požadavcích, které vydává EASA, obsahují celou řadu konstrukčních omezení vztahující se na:

- Vyráběné součásti
- Nakupované součásti
- Použitý materiál
- Spojovací materiál
- Součinitelé bezpečnosti

Základním konstrukčním omezením je to, že na letounu nesmí být použity žádné konstrukční prvky, u kterých se projevil sklon k nespolehlivosti či nebezpečnosti takovýchto konstrukčních, nebo technologických řešení. Dále je třeba ověřit vhodnost použití všech podezřelých konstrukčních prvků provedením potřebných zkoušek. Použití nakupovaných součástí je omezeno tím, že nakupované díly nebo celky musí být certifikovány, což znamená, že tyto součásti musí být schváleny příslušným leteckým úřadem, pod který konstrukce spadá. Použité materiály u kritických částí musí splňovat a zohledňovat:

- Specifikace zaručující pevnost součásti a její další vlastnosti, které se očekávají za jejího provozu
- Vliv podmínek prostředí, kterými jsou například teplota nebo vlhkost očekávané za provozu stroje

Co se týče spojovacího materiálu, je nutné dodržovat tyto základní podmínky:

- Veškerý spojovací materiál, u kterého hrozí, že jeho uvolnění nebo ztráta by způsobila ohrožení bezpečnosti provozu létajícího stroje, musí být zajištěn dvojnásobem. Tímto spojovacím materiálem jsou myšleny například svorníky, šrouby, matice atd. Způsob zajištění tohoto spojovacího materiálu nesmí být nepříznivě ovlivněn podmínkami prostředí, kterými mohou být například povětrnostní podmínky.
- Pokud se jedná o zajištění spojovacího materiálu, který podléhá rotaci například přišroubovaná řemenice ke hřídeli, nesmí být použito samosvorných matic bez toho, aby byly zajištěny jiným zajišťovacím zařízením, které nefunguje na principu tření.

Posledním kritériem, které je zmíněno v tomto odstavci, jsou součinitelé bezpečnosti. CS – 27 stanoví hlavní součinitel bezpečnosti 1,5, pokud není uvedeno jinak. Aplikace koeficientu bezpečnosti je standardní jako v klasickém strojírenství. To znamená, že zjištěné maximální zatížení za provozu, které je označováno jako provozní zatížení, je nutné vynásobit tímto součinitelem bezpečnosti. Takto získané zatížení se nazývá v CS – 27 zatížením

provozním. Konstrukce musí být schopna přenést provozní zatížení bez její poruchy, což je nutné doložit statickým testem konstrukce po dobu minimálně 3 sekund, nebo provedením dynamické zkoušky, která simuluje skutečné zatížení dané konstrukce. Jak je uvedeno výše hodnota hlavního koeficientu bezpečnosti je 1,5. EASA předepisuje užití i dalších tzv. zvláštních koeficientů bezpečnosti, mezi které patří:

- Součinitelé bezpečnosti pro odlitky
- Součinitelé únosnosti
- Součinitele pro spoje

Zvláštní součinitelé bezpečnosti jsou směrodatné pro součásti, jejichž pevnost a spolehlivost je nejistá nebo se může zhoršit během svého provozu před výměnou takovéto součásti. Proměnností vlastností součásti jsou myšleny nejistoty v procesech výroby nebo v postupech kontroly těchto dílů. U každé součásti spadající do skupiny součástí, na kterou se vztahuje některý ze zvláštních součinitelů bezpečnosti, musí být základní součinitel bezpečnosti vynásoben tímto zvláštním koeficientem nebo musí být použit jiný dostatečně vysoký součinitel bezpečnosti, který zaručuje velice nízkou pravděpodobnost pevnostního poddimenzování dílu. [14], [15]

Součinitelům bezpečnosti pro odlitky je věnován prostor v kapitole 3. a proto se zde práce soustředí na součinitele únosnosti. Každý díl, který je konstrukčně uložen s vůlí a je vystaven vibračním či nárazům, musí mít dostatečně vysoký součinitel únosnosti. Ten nemusí být aplikován na součást, která již vykazuje jiný vyšší koeficient. [14], [15]

Co se týče součinitelů pro spoje, tak ty se vztahují na každý spoj, tedy na součást, která je použita ke spojení dvou a více částí konstrukce. Součinitelé pro spoje jsou v CS 27 a AC 27 – 1B rozděleny do čtyř základních kategorií, kterými jsou: [14], [15]

- 1) Spoje, jejichž pevnost není prokázána zkouškami početního a provozního zatížení, při nichž nejsou simulovány skutečné podmínky napětí daného spoje. U těchto spojů je předepsáno zahrnout do výpočtů součinitelů pro spoje o hodnotě 1,15.
- 2) Spoje, pro které nemusí být použit žádný součinitel, jsou ty spoje, které jsou provedeny dle schválených postupů na základě výsledků rozsáhlých testů. Do této skupiny se řadí například:
  - Spoje plátováním
  - Svařované spoje

- Úkosové spoje pro dřevěné dílce

Dále také u nosných povrchů, kde je použit jakýkoliv vyšší součinitel.

- 3) Integrované spoje – s nimi musí být nakládáno jako se spoji v bodě 1) do doby, než jsou u těchto spojů prokázány vlastnosti jako u celistvé součásti.

Pro spoje, které slouží k upevnění sedadel, nosítek, lehátek nebo bezpečnostních pásů i vícebodových musí být prokázána schopnost odolat setrvačným silám vynásobeným koeficientem 1,33. Tuto schopnost je nutné prokázat doloženým výpočtem či zkouškami nebo kombinací obojího. [14], [15]

### **3. Odlitky pro převodovou skříň a jejich úpravy z hlediska nároků na sestavu a technologičnost konstrukce**

Tato část diplomové práce je věnována odlitkům pro převodovou skříň vrtulníku Rumas 10F - konkrétně kladeným požadavkům na odlitky, které vyžaduje EASA. Tyto požadavky jsou specifikovány již ve výše zmíněných předpisech CS – 27 a AC – 27 – 1B. Dále jejich úpravám z hlediska nároků na sestavu a technologičnost konstrukce.

#### **3. 1. Požadavky kladené na odlitky organizací EASA**

EASA vyžaduje dodržení předpisů CS – 27 a AC – 17 – 1B, při čemž je v těchto předpisech kladený důraz na dodržování součinitelů pro odlitky, kterým musí být podřízen konstrukční návrh těchto součástí a způsob kontroly těchto odlitků. V následujícím textu bude práce zaměřena právě na tyto součinitele, požadované ve výše zmíněných předpisech a v nich předepsané způsoby kontroly.

Při návrhu dílu, který je uvažován jako odlitek, je třeba zahrnout speciální součinitele. Dále je nutné, aby byly dodrženy stanovené podmínky kontroly odlitků. Tato kritéria jsou zanesena ve výše uvedených předpisech pro civilní letectví.

Tyto předpisy zahrnují několik druhů součinitelů pro odlévané součásti a to:

- Napětí v tlaku a nosné plochy

- Kritické odlitky
- Nekritické odlitky

Na tomto místě je podrobněji popsán první bod a to Napětí v tlaku a nosné plochy. U kritických odlitků a odlitků nekritických (tyto dva typy odlévaných součástí jsou popsány níže) nemusí součinitel pro odlitky, dále jen SO, překročit hodnotu 1,25 vzhledem k napětí v tlaku a to bez ohledu na použitou metodu prohlídek součástí. Také nemusí být použit pro nosné plochy a díly, které vykazují součinitel únosnosti větší než příslušný SO. [14], [15]

Nyní se zaměříme na kritické odlitky. Předpisy CS – 27 a AC – 27 – 1B uvádějí, že odlitek je považován za kritický v případě, když jeho porucha zamezuje pokračování bezpečného letu motorového letadla a jeho následného bezpečného přistání, nebo by jeho porucha vedla k vážnému poranění osob na palubě stroje. Pro tyto odlitky tedy platí, že nesmějí vykazovat nižší SO než 1,25 a musí procházet 100% vizuální prohlídkou nebo prohlídkou radiografickou, u dílců z feromagnetických materiálů metodou magnetických částic či penetrační metodou u součástí vyrobených z neferomagnetických materiálů. Prohlídka může být také realizována jinou dostačující metodou, která je schválena leteckým úřadem, pod který spadá dané rotorové letadlo. [14], [15]

U všech kritických odlitků, jejichž součinitel nedosahuje hodnoty 1,5, je předepsáno provést podrobné statické zkoušky na třech vzorcích. Tyto vzorky musí splňovat:

- Pevnostní požadavky za působení početního zatížení, které odpovídá součiniteli pro odlitky 1,25.
- Deformační požadavky při zatížení odpovídajícímu 1,15 násobku provozního zatížení.

[14], [15]

Poslední částí SO jsou nekritické odlitky. Až na typy odlitků, které byly uvedeny doposud, platí pro ostatní součásti, že SO a prohlídky odlitků musí splňovat následující požadavky, které jsou uvedeny v tabulce 1.

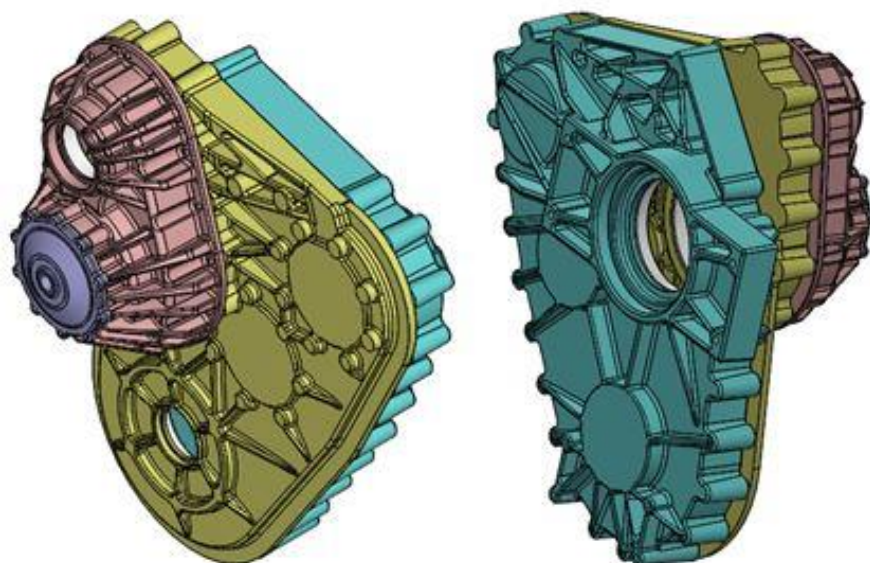
Tab. 1 Kontroly odlévaných součástí podle SO [2]

Součinitel pro odlitek	Způsob kontroly
2 a vyšší	100 % vizuální kontrola
1,5 až 2	100 % vizuální kontrola a kontrola metodou magnetických částic pro feromagnetické materiály, penetrantem pro neferomagnetické materiály, nebo schválenou ekvivalentní metodou zkoušky
1,25 až 1,5	100 % vizuální kontrola a kontrola metodou magnetických částic pro feromagnetické materiály, penetrantem pro neferomagnetické materiály a radiografickou kontrolou, nebo schválenou ekvivalentní metodou zkoušky

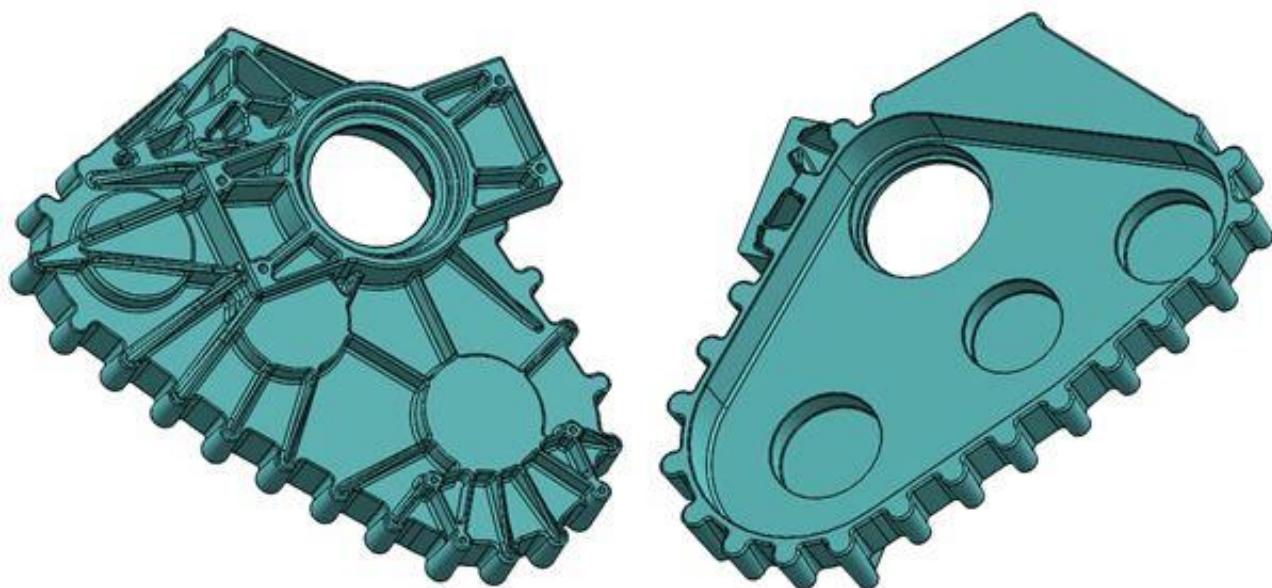
Při zavedení schváleného procesu řízení jakosti ve slévárně je možné snížit procento kontrolovaných odlitků vizuální kontrolou. Dále u odlitků majících specifikaci, která garantuje mechanické vlastnosti materiálu v odlitku. Tyto vlastnosti se dále prokazují zkouškami na odřezcích z odlitku na vzorkovací bázi, v tomto případě je možné použít SO rovno 1. Tento typ odlitků musí splňovat podmínky kontroly z tabulky 1 pro SO 1,25 až 1,5 a také musí být zkoušen stejným způsobem jako odlitky kritických odlitků, jejichž součinitel nedosahuje hodnoty 1,5. [14], [15]

### 3. 2. Uvažované materiály odlitků

Jako uvažované materiály pro odlitky obalu převodové skříně pro prototypový vrtulník Rumas 10F se rozhodovalo mezi slitinou hliníku a hořčíku. O slitině hořčíku se uvažovalo z důvodů co největší redukce hmotnosti celé sestavy, nicméně tyto materiály vykazují určité vlastnosti, které nebylo možné respektovat při zvážení všech aspektů a získaných zkušeností s úpravami prototypových výrobků ve společnosti RUMAS group. V tabulce 2 jsou uvedeny rozdíly hmotností jednotlivých odlitků převodovky, které jsou zobrazeny na obrázcích 10, 11, 12 a 13.

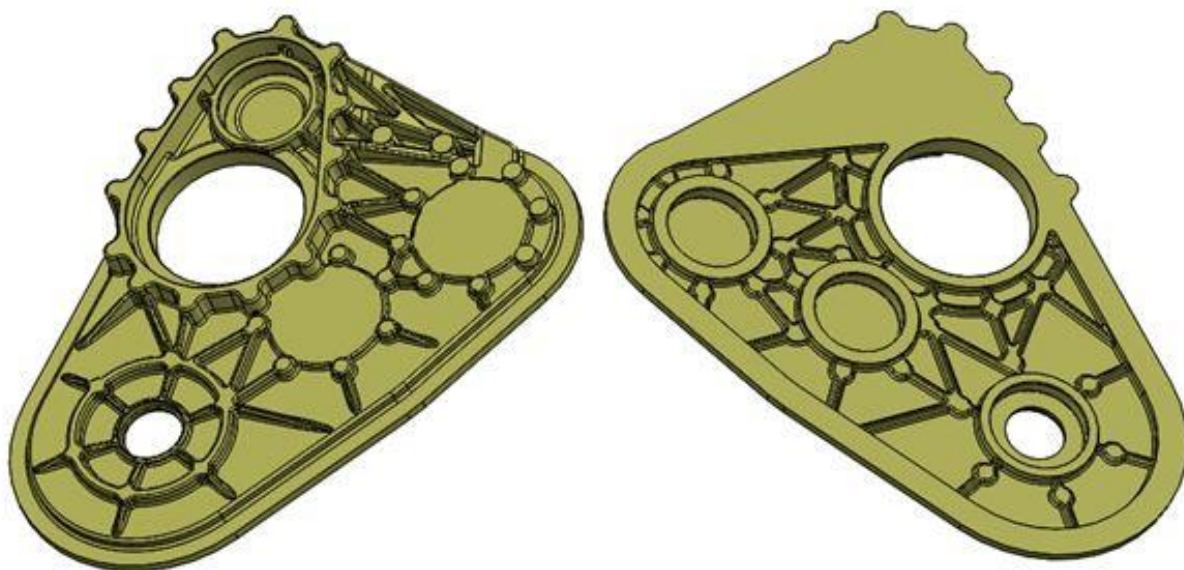


Obr. 10 Kompletní obaly sestupné převodové skříně pro vrtulník RUMAS 10F

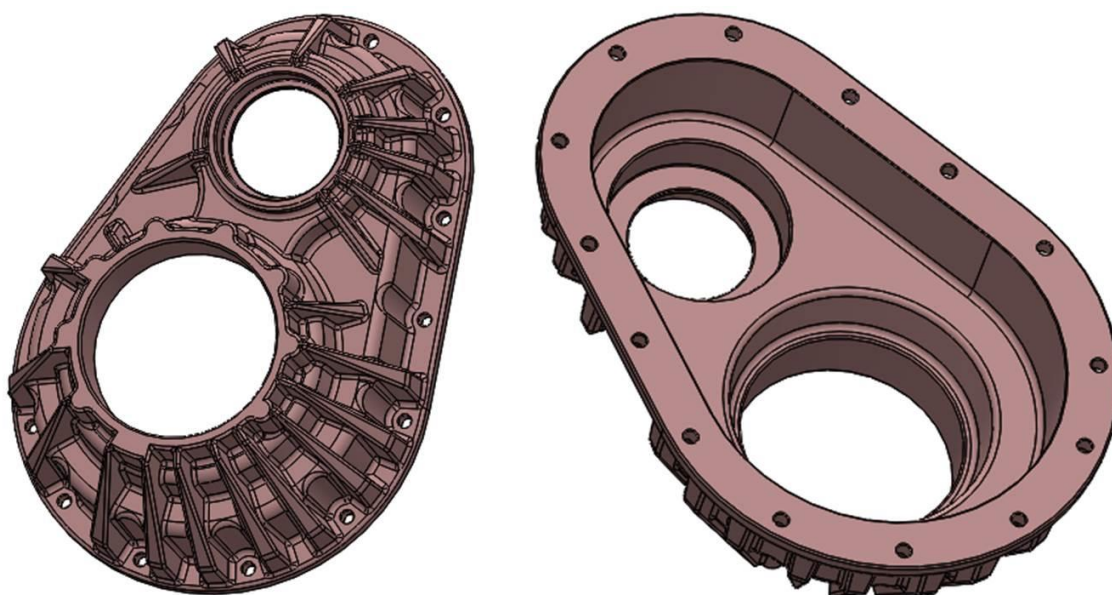


Obr. 11 Přední nosný díl převodové skříně





Obr. 12 Zadní nosný díl převodové skříně



Obr. 13 Víko redukčního převodu

Konkrétně byly zvažovány tyto slitiny hliníku:

- AlSi7Mg 0,3                      označení dle normy ČSN EN 1706 je EN AC-42100
- AlSi10MgMn                      označení dle normy ČSN EN 1706 je EN AC-43300

Dále byla uvažována hořčíková slitina AZ 91. Po dohodě se slévárnou, se kterou společnost RUMAS group plánuje spolupracovat při odlévání těchto dílců, byl vybrán materiál AlSi7Mg 0,3. Jak je uvedeno výše, zvažovalo se i použití hořčíkové slitiny, a to z důvodu redukce hmotnosti obalů, nicméně se od této varianty upustilo z důvodu, které zde jsou také

vedeny. Bylo rozhodnuto o použití hliníkové slitiny s tím, že při případné sériové výrobě skříně by bylo znovu možno otevřít téma slitiny Mg. Tabulka 2 zachycuje rozdíl v hmotnosti jednotlivých dílů za použití vybrané slitiny hliníku AlSi7Mg 0,3 a slitiny Mg A91. Pro zjednodušení tabulky budou jednotlivé odlitky značeny arabskými číslicemi 1 až 3 následovně:

- Přední nosný díl převodové skříně (obr. 11) 1
- Zadní díl převodové skříně (obr 12) 2
- Víko redukčního převodu (obr 13) 3

Tab. 2 Porovnání hmotností odlitků za použití slitiny hliníku a slitiny mědi

<b>Materiál</b>	<b>AZ 91</b>	<b>AlSi7Mg</b>
<b>Odlitek</b>	<b>Hmotnost [kg]</b>	<b>Hmotnost [kg]</b>
<b>1</b>	5,2	8,11
<b>2</b>	3,63	5,65
<b>3</b>	1,37	2,13

Z tabulky je patrné, že při využití hořčíkové slitiny na úkor Al slitiny, by bylo možné na obalech převodové skříně uspořit přibližně 36 % hmotnosti. Samozřejmě při zachování stejné geometrie a rozměrů součástí, což by s největší pravděpodobností nebylo zcela možné a to z důvodů namáhání těchto dílců. Nicméně je jasné, že za použití hořčíkové slitiny na těchto dílech, by bylo možné redukovat hmotnost převodovky poměrně slušnou měrou.

### **3. 2. 1. Zvažované slitiny hliníku**

Vzhledem ke skutečnosti, že jako materiál prototypové převodové skříně byla zvolena slitina hliníku, je zde těmto slitinám věnována větší pozornost. Jak je uvedeno výše, pro odlitky převodové skříně byla zvolena slitina AlSi7Mg 0,3, v úvahu přicházela i slitina AlSi10MgMn.

#### **Slévárenské slitiny Al**

Čistý Al se jako konstrukční materiál prakticky nevyužívá. Z důvodů, které jsou také uvedeny výše, se jako konstrukčních materiálů využívá jeho slitin. V těchto slitinách zvyšují mechanické vlastnosti materiálu přísadové prvky. Konečné vlastnosti slitiny jsou dány kombinací přísadových prvků a jejich množstvím ve slitině. Základní rozdělení slitin Al lze provést podle chemického složení slitiny, konkrétně podle druhu hlavního přísadového prvku.

Hlavní přísadový prvek je zásadním prvkem slitiny, který určuje její vlastnosti. Jinými slovy, hlavní přísadový prvek spolu se základním prvkem určují typ slitiny. Jeho množství v konkrétní slitině bývá zpravidla druhé nejvyšší po základním prvku, kterým je u slitin hliníku logicky Al. Pokud postoupíme ke stručné charakteristice dalších prvků, které se v Al slitinách vyskytují, tak se dostaneme ke skupině prvků nazývajících se vedlejšími přísadovými prvky. Tyto legury se do slitin přidávají z důvodů zlepšení některých vlastností slitin, kterými jsou například:

- Zvýšení mechanických vlastností slitiny
- Obrobitelnosti materiálu
- Tepelné zpracování

Dále některé z těchto prvků kompenzují nepříznivé účinky, které vyvolávají některé doprovodné prvky. Vedlejších doprovodných prvků se může ve slitině objevovat větší množství, nicméně prvek, který nejvíce ovlivňuje danou slitinu, se stává prvkem rozdělující slitiny v určité skupině. Například vedlejší doprovodné prvky ve skupině slitin siluminů, kterými jsou např. Mg nebo Cu dělí tuto skupinu na tyto podskupiny:

- Al – Si – Mg
- Al – Si – Cu

Podle počtu přísadových prvků, kromě prvků doprovodných, které jsou zmíněny níže, se skupiny slitin hliníku dělí dále na tyto:

- Binární – obsahují pouze základní a přísadový prvek
- Ternární – oproti binárním obsahují ještě vedlejší doprovodný prvek
- Vícesložkové – obsahují více přísadových prvků

Poslední skupinou prvků, které se vyskytují ve slitinách hliníku, jsou takzvané doprovodné prvky. Ty nejsou do slitiny přidávány úmyslně. Důvodem jejich přítomnosti ve slitině jsou tyto jejich zdroje:

- Vsázkové suroviny
- Vyzdívka pece
- Vratný materiál

Tyto prvky je obtížné ze slitin odstranit a mnohdy je jediným způsobem, jak jejich množství ve slitině redukovat na přípustnou mez, přidáním čistých surovin. Prvky zahrnuté v této skupině

ovlivňují nepříznivě vlastnosti kovu. Některé také tvoří vlastní fáze, které nepříznivě ovlivňují vlastnosti výsledné slitiny. Nicméně se do některých slitin hliníku záměrně přidávají prvky, které jsou považovány v jiných jeho slitinách za škodlivé. Například přidáním Fe se docílí u slitin Al – Si, které jsou odlévány do kovových forem, snížení sklonu odlitků nalepovat se na stěny formy. Jinak je železo ve slitinách Al – Si považováno za škodlivý prvek, protože má negativní účinky na mechanické vlastnosti slitiny. [17]

### **Vlastnosti slitin Al**

Pro technickou aplikaci slitiny je důležité nalézt vhodný způsob výroby součásti a také vhodné vlastnosti výsledného materiálu dílu. Mezi tyto charakteristiky patří tyto vlastnosti:

- Technologické
- Mechanické
- Tepelné zpracování

Do skupiny technologických vlastností se řadí ty, které nějak souvisí se způsobem výroby součásti. Patří sem tedy například slévárenské vlastnosti, obrobitelnost, odolnost proti korozi aj.

### **Slévárenské vlastnosti Al slitin**

Slévárenské vlastnosti hliníkových slitin úzce souvisí s šířkou intervalu tuhnutí, z čehož vyplývá jasná závislost na chemickém složení slitiny. Slitiny s úzkým intervalem tuhnutí, tedy slitiny blíží se k čistému kovu, nebo eutektickému složení, mají velice dobré slévárenské vlastnosti, oproti tomu slitiny se širokým pásem tuhnutí vykazují tyto vlastnosti zhoršené. Vyznačují se horší zabíhavostí, ale hlavně mají sklon ke vzniku rozptýlených staženin a mikrostaženin. Nálitkování těchto slitin je málo účinné a nálitky mají krátkou dosazovací vzdálenost. Výsledkem předešlého je netěsnost odlitků. Mezi nejdůležitější slévárenské vlastnosti patří zejména: [17]

- **Zabíhavost** – to je vlastnost tekutého kovu plnit dutiny formy, tato vlastnost slitiny je směrodatná pro určování složitosti odlitků a tloušťky jeho stěn. Je závislá na šířce pásma tuhnutí konkrétní slitiny. Eutektické slitiny, které se vyznačují úzkým pásmem tuhnutí, mají dobrou zabíhavost, oproti tomu slitiny s širokým pásmem tuhnutí se vyznačují špatnou zabíhavostí. Dále má na zabíhavost vliv smáčivost formy, modifikace taveniny atd.

- **Sklon ke vzniku ředin**
- **Sklon ke vzniku soustředěných staženin**

Sklon ke vzniku ředin a soustředěných staženin mají stejný původ. Vznik staženin a ředin je charakterizován úbytkem objemu kovu při tuhnutí kovu. Při tomto procesu vznikají spolu se staženinami i řediny. Řediny, které vznikají soustředěně, se dají dobře nálitkovat a odlitky vykazují dobrou těsnost. Slitiny, které mají sklon ke tvorbě tohoto typu staženin, jsou slitiny se složením blízkým eutektickému. Slitiny tuhnoucí dvoufázově v širokém intervalu vykazují sklon ke vzniku rozptýlených staženin, které se obtížně nálitkují.

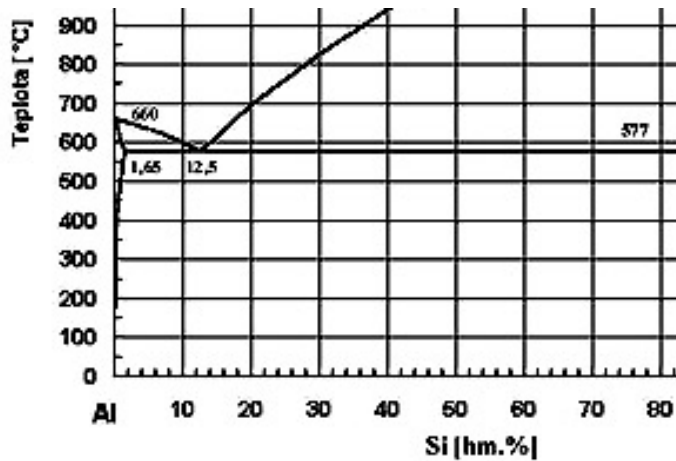
- **Sklon ke vzniku trhlin** je způsoben působením napětí, které vzniká při tuhnutí odlitku, když se součást smršťuje. Odolnost proti vzniku trhlin a prasklin je vlastnost, která je velice důležitá hlavně u tenkostěnných a tvarově složitých odlitků a u odlitků s proměnlivou tloušťkou stěn.
- **Sklon ke vzniku plynových dutin v odlitcích** závislý na rozpustnosti plynů v tavenině.

[17]

Protože obě zvažované slitiny Al, které jsou uvažovány jako materiály převodové skříně, jsou slitinami Al – Si, tak zde bude těmto slitinám věnována zvýšená pozornost.

### **Krystalizace eutektika slitin Al – Si**

Si vykazuje ve slitinách Al jen malou rozpustnost. Na úrovni eutektické teploty je jeho rozpustnost 1,65 %. Při snižování teploty rozpustnost křemíku klesá. Pro příklad při 300 °C vykazuje si rozpustnost pouze okolo 0,22 [%]. Ve slitinách Al – Si je vždy obsah křemíku vyšší než je jeho maximální rozpustnost v tuhém roztoku  $\alpha$ . Z těchto důvodů tyto slitiny vždy obsahují eutektikum  $\alpha$  (Al) – Si. Eutektická teplota je 577 °C a eutektická koncentrace Si činí 12,5 %. Na obrázku 14 je uveden rovnovážný diagram Al – Si. [17], [18]



Obr. 14 Rovnovážný diagram Al –Si [18]

Slitiny Al –Si se dále dělí na:

- Podeutektické (obsah Si do 12,5 %)
- Eutektické (obsah Si je roven 12,5 %)
- Nadeutektické (obsah Si nad 12,5 %)

**Podeutektické** slitiny obsahují více než 5 % Si. Nejběžnější slitiny obsahují 7 – 11 %. Jejich struktura je tvořena sítí dendritů Al a eutektika, to se vylučuje v mezidendritických prostorech. **Eutektické** slitiny se vyznačují obsahem okolo 11,5 – 13 % Si a jejich struktura je tvořena jen eutektikem.

**Nadeutektické** slitiny obsahují přibližně 14 – 17 % Si. [17], [18]

### Mechanické vlastnosti slitin Al – Si

Obecně jsou mechanické vlastnosti slitin závislé na vlastnostech základní hmoty a na přítomnosti a tvaru intermetalických fází, v neposlední řadě také na tepelném zpracování slitiny. Hliníkové slitiny jsou poměrně vysoce závislé na rychlosti tuhnutí, a proto se při odlévání součástí ze slitin Al volí metody, které zajišťují vysokou rychlost chladnutí. Když porovnáme hodnoty pevnosti a tvrdosti odlitku litých do pískových forem a do forem kovových, tak odlitky, které byly odlity do kovových forem, vykazují lepší hodnoty zmiňovaných vlastností až o 20 %. V tabulce 3 jsou uvedeny rozmezí hodnot některých mechanických vlastností slitin Al – Si.

Tab. 3 Hodnoty vybraných mechanických vlastností slitin Al – Si [17]

<b>Mez pevnosti [MPa]</b>	150 – 250
<b>Tažnost [%]</b>	1 – 4
<b>Tvrдость [HB]</b>	50

Uvedená hodnota v tabulce pro mez pevnosti je pro slitiny v litém stavu. Vytvrzením slitin lze dosáhnout pevnosti až 300 HB. Tažnost je uváděna u běžných Al slitin. U slitin Al – Si lze dosáhnout hodnot až přibližně 12 % modifikací eutektika. Mechanické vlastnosti Al – Si slitin se relativně prudce snižují za zvýšených teplot a to již při teplotě prostředí kolem 200 °C. Za působícího napětí může často docházet k tečení materiálu. U Al – Si slitin se dosahuje lepších mechanických vlastností za zvýšených teplot přidáním některých prvků jako je Cu, Ni nebo například Co. Za nízkých teplot se mechanické vlastnosti těchto slitin prakticky nemění. Toto platí obecně pro všechny slitiny hliníku a to díky jeho kubické plošně středěné mřížce. S poklesem teplot se dokonce mírně zvyšuje hodnota pevnosti. Díky těmto vlastnostem jsou slitiny Al vhodným materiálem pro použití za nízkých teplot. [17],[19]

#### **Přísadové prvky ve slitinách Al – Si**

V textu níže jsou uvedeny přísadové prvky a nečistoty vyskytující se ve slitinách Al – Si a je zde také uvedeno, jaký mají tyto prvky vliv na slitinu.

**Křemík** je hlavním přísadovým prvkem těchto slitin. Přítomnost křemíku zužuje interval tuhnutí slitiny a také zlepšuje prakticky všechny její slévárenské vlastnosti. Slitiny s menším obsahem Si je vhodné očkovat. Slitiny s vyšším obsahem Si je zase vhodné modifikovat, přičemž obě metody je možné navzájem kombinovat. Dále budou uvedeny vlastnosti slitin, které se mění s rostoucím obsahem Si ve slitině.

- Zlepšuje se zabíhavost
- Snižuje se riziko vzniku mikrostaženin
- Klesá riziko vzniku trhlin a prasklin v odlitku
- Zlepšují se kluzné vlastnosti a odolnost proti otěru
- Klesá tepelná roztažnost
- Zvyšuje se koroziodolnost

**Měď** je nejběžnějším přísadovým prvkem slitin Al – Si. Rozšiřuje interval tuhnutí slitiny, což může být důvodem vzniku ředin a trhlin za tepla. V tuhém roztoku má měď omezenou rozpustnost, to má za následek tvorbu potrojného eutektika Al – Si – CuAl<sub>2</sub>. Teplota tuhnutí tohoto eutektika činí 524 [°C].

**Hořčík** je prvek, který zajišťuje možnost vytvrzování slitin za tepla. Je přidáván do slitin v množství 0,3 -0,7 [%]. Tvoří intermetalickou fázi Mg<sub>2</sub>Si, ta tvoří eutektikum Al-Si-Mg<sub>2</sub>-Si, které vykazuje teplotu tuhnutí přibližně 555 [°C]. Při homogenizačním žhání se tyto fáze ve slitinách hliníku zcela rozpouští a to díky vysoké rozpustnosti Mg v Al.

**Železo** bývá obvykle považováno za nečistotu, která má negativní účinky na mechanické vlastnosti. Jeho obsah ve slitině má zdroj ve vsázkových surovinách, nebo například z nenařteného slévárenského nářadí, kovových forem nebo síték. V hliníku má železo prakticky nulovou rozpustnost, což má za následek tvorbu různých intermetalických sloučenin ve slitinách Al. Za nejdůležitější jsou považovány fáze Al<sub>5</sub>FeSi<sub>2</sub>, které tvoří jehlice.

**Mangan** ve slitinách hliníku zmírňuje nežádoucí vlastnosti Fe. Netvoří vlastní fáze díky malé segregaci. Zasahuje do fází železa a tím mění jejich morfologii. Obsah manganu ve slitině by měl dosahovat přibližně jedné poloviny obsahu Fe.

**Nikl** obsažený ve slitině, v množství 1 – 2 [%], způsobuje zachování dobrých mechanických vlastností slitiny za zvýšených teplot. Tvoří žárupevné fáze například Al<sub>3</sub>Cu<sub>2</sub>Ni. Slitiny, ve kterých se vyskytuje nikl, vykazují také nižší hodnoty teplotní roztažnosti. Tato vlastnost předurčuje takovéto slitiny pro použití na výrobu pístů a hlav spalovacích motorů.

**Zinek** není klasickou legurou Al – Si slitin, ale v množství přibližně 1 – 3 [%] ve slitině, zpravidla ve slitinách Al – Si – Cu, zvyšuje její tekutost, zabíhavost a zlepšuje obrobitelnost. Dále snižuje lepení odlitků v kovových formách.

**Titan** má u slitin Al – Si největší uplatnění jako očkovač, kde způsobuje zjemnění zrna. Jeho účinek se zvyšuje přítomností bóru, se kterým tvoří TiB<sub>2</sub>.

[17], [19]

Závěrem části Prísadové prvky ve slitinách Al – Si jsou uvedeny méně využívané přísadové prvky a nečistoty, které mohou být také obsaženy v těchto Al slitinách.



**Vápník** se do slitin Al –Si dostává zpravidla s křemíkem. Jeho obsah v nich bývá v množství tisícín procenta. Díky schopnosti snadné reakce s kyslíkem a vlhkostí přispívá k tvorbě mikrostaženin a podporuje sklon k naplynění. Z těchto důvodů je považován za nepříznivý prvek.

**Berylium** se jako přísadový prvek v Al – Si slitinách používá zcela výjimečně. Na hladině taveniny tvoří ochranou protioxidickou vrstvu.

**Vanad, chrom, bór a zirkonium** se občas využívají ke zjemnění primárního zrna.

**Olovo a kadmium** mají velice nepříznivý vliv na houževnatost odlitků.

**Lithium** díky jeho velice nízké hustotě se využívá u slitin v leteckém průmyslu a kosmonautice z důvodu redukce hmotnosti odlitků. Nicméně jeho přítomnost ve slitinách, pro takovéto odlitky, způsobují značné metalurgické komplikace, a proto je použití tohoto prvku ve slitinách velice ojedinělé.

**Stříbro** se vyznačuje velice příznivými účinky na vytvrzování slitin. Slitiny, které obsahují 0,5 – 1 [%] stříbra jsou schopny dosáhnout pevnosti v tahu až 500 MPa.

**Kobalt** disponuje podobnými vlastnostmi jako Ni, tudíž kompenzuje vlivy Fe ve slitině.

[17]

### **Slitiny Al – Si – Mg**

Slitiny Al – Si Mg jsou slitinami, které je možné vytvrzovat za tepla, což je dáno přítomností hořčíku, ten se při běžném chladnutí slitiny vylučuje ve formě  $Mg_2Si$ . Mg je ve slitinách obsažen v množství 0,25 – 0,45 %, u některých slitin 0,7 %. Tyto slitiny se vyznačují v litém stavu průměrnými vlastnostmi, ale po vytvrzení dosahují vysokých mechanických vlastností, oproti růstu těchto vlastností se slitiny projevují poklesem tažnosti. Jedná se o podeutektické slitiny, které se dělí do dvou skupin a to podle obsahu Mg. První skupinou jsou Al slitiny AlSi7Mg a druhou AlSi10Mg. Slitiny obsahující větší množství Si vykazují lepší slévárenské vlastnosti a také lepší svařitelnost. Slitiny AlSiMg se odlévají jak do pískových forem, tak do kovových, gravitačně i tlakově. Tyto slitiny jsou předurčeny k použití u odlitků, které jsou vysoce mechanicky namáhané - v leteckém a automobilovém průmyslu. [17]

## AlSi7Mg 0,3 EN AC-42100

Slitina se nejčastěji využívá pro tenkostěnné odlitky, které jsou namáhané střídavým zatížením, kterými mohou být například

- Šroubová kola
- Převodové skříně v leteckém a automobilovém průmyslu
- Odlitky v potravinářském průmyslu

Chemické složení této slitiny je shrnuto v tabulce 4. V tabulce 5 jsou uvedeny její fyzikální vlastnosti.

Tab. 4 Chemické složení slitiny AlSi7Mg 0,3 [20]

Chemické složení [hm %]								
Si	Mg	Mn *	Fe **	Ti	Zn	Cu	příměsy	Al
9-10,5	0,25-0,45	0,1-0,4	max 0,5	max 0,1	max 0,1	max 0,05	max 0,7	zakl

\*Pokud je obsah Fe ve slitině vyšší než 0,4 [%] musí být obsah Mn větší než 0,5 Fe [%]

\*\* U housek, které jsou určeny pro tlakové lití je dovolený obsah Fe ve slitině 0,6 [%]

Tab. 5 Fyzikální vlastnosti AlSi7Mg 0,3 [20]

Hustota [ $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ]	2650
Měrná tepelná kapacita [ $\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ ]	965
Teplotní součinitel roztažnosti [ $\text{K}^{-1}$ ]	$22,8 \times 10^{-6}$ (30 – 100 [°C])
Tepelná vodivost [ $\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ ]	88 (100°C)
Konduktivita [ $\text{MS}\cdot\text{m}^{-1}$ ]	25

V dalších třech tabulkách, tedy v tabulce 6 až 9 jsou uvedeny mechanické vlastnosti slitiny v následujících podobách polotovarů:

- Odlitky lité do pískových forem
- Odlitky lité do kovových forem
- Odlitky lité technologií tlakového lití

Tab. 6 Mechanické vlastnosti AlSi7Mg 0,3 pro odlitky lité do pískových forem [20]

Stav	Bez tepelného zpracování		Vytvrzený za tepla	
	Mez kluzu $R_{p0,2}$ [MPa]	90	70	170
Mez pevnosti $R_m$ [MPa]	min 160	min 140	min 230	min 200
Tažnost [%]	2	1,5	1	0,5
Tvrdość [HB]	min 50	min 45	min 75	min 70
Modul pružnosti E [GPa]	70 – 71		72 – 75	
Zkušební tyče	Odděleně lité	Z odlitku	Odděleně lité	Z odlitku

Tab. 7 Mechanické vlastnosti AlSi7Mg 0,3 pro odlitky lité do kovových forem [20]

Stav	Bez tepelného zpracování		Vytvrzený za tepla	
	Mez kluzu $R_{p0,2}$ [MPa]	100	90	180
Mez pevnosti $R_m$ [MPa]	min 180	min 160	min 240	min 220
Tažnost [%]	2	1	2	1
Tvrdość [HB]	min 60	min 55	min 85	min 75
Modul pružnosti E [GPa]	70 – 71		72 – 75	
Zkušební tyče	Odděleně lité	Z odlitku	Odděleně lité	Z odlitku

Tab. 8 Mechanické vlastnosti AlSi7Mg 0,3 pro odlitky lité do kovových forem [20]

Stav	Bez tepelného zpracování
Mez kluzu $R_{p0,2}$ [MPa]	xx
Mez pevnosti $R_m$ [MPa]	min 240
Tažnost [%]	3
Tvrdość [HB]	65
Modul pružnosti E [GPa]	70 - 71
Zkušební tyče	Odděleně lité

Slitina se vyznačuje velmi dobrou slévateľností, vykazuje vysokou odolnosť proti tvorbě trhlin za horka, vysokou těsnost. Dále se AlSi7Mg 0,3 vyznačuje dobrou zabíhavitostí a malým smrštěním. Její teplota tuhnutí je 600 – 565 °C. Hodnota lineárního smrštěním činí 1,1 – 1,2 %. Hodnoty obrobiteľnosti jsou uvedené v tabulce 11.

Tab. 9 Obrobitelnost AlSi7Mg 0,3 [20]

<b>Tvrdot [HB]</b>	85
<b>Třída obrobitelnosti</b>	10d
<b>Koeficient obrobitelnosti <math>k_v</math></b>	1

Tepelné zpracování slitiny je následující:

- Rozpouštěcí žíhání 530 °C po dobu 6 hodin, následuje ochlazení do vody 50 °C
- Umělé stárnutí 180 °C po dobu 8 hodin, následuje ochlazení na vzduchu

[17], [20]

### **AlSi10MgMn EN AC-43300**

Nejčastěji nachází tato slitina uplatnění u polotovarů, které jsou vystaveny namáhání na únavu, což jsou například součásti letadel a motorů speciálních vozidel. Chemické složení této slitiny bude uvedeno v tabulce 10 a v tabulce 11 budou uvedeny, stejně jako u popisu slitiny AlSi7Mg 0,3, fyzikální vlastnosti AlSi10Mg.

Tab. 10 Chemické složení slitiny AlSi10Mg [20]

<b>Chemické složení [hm %]</b>								
<b>Si</b>	<b>Mg</b>	<b>Fe</b>	<b>Mn</b>	<b>Zn*</b>	<b>Ti</b>	<b>Cu*</b>	<b>příměsy</b>	<b>Al</b>
6-8	0,25-0,45	max 0,5	max 0,3	max 0,25	max 0,2	max 0,15	max 0,9	zakl

\*U odlitků provozovaných ve ztížených klimatických podmínkách je doporučeno snížit obsah Zn na max 0,1 [%] a Cu na max 0,05 [%]

Tab. 11 Fyzikální vlastnosti AlSi10Mg [20]

<b>Hustota [<math>\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}</math>]</b>	2680
<b>Měrná tepelná kapacita [<math>\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}</math>]</b>	963
<b>Teplotní součinitel roztažnosti [<math>\text{K}^{-1}</math>]</b>	$22,7 \times 10^{-6}$
<b>Tepelná vodivost [<math>\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}</math>]</b>	92 (100°C) 113 (25°C)
<b>Konduktivita [<math>\text{MS}\cdot\text{m}^{-1}</math>]</b>	20

V následujících dvou tabulkách budou uvedeny mechanické vlastnosti slitiny v těchto podobách polotovarů:

- Odlitky lité do pískových forem

- Odlitky lité do kovových forem

Tab. 12 Mechanické vlastnosti AlSi10Mg pro odlitky lité do pískových forem [20]

Stav	Bez tepelného zpracování	Vytvrzený za tepla
Mez kluzu $R_p 0,2$ [MPa]	90	120
Mez pevnosti $R_m$ [MPa]	min 160	min 200
Tažnost [%]	2	2
Tvrdość [HB]	min 50	min 60
Modul pružnosti E [GPa]	70 – 71	72 – 75

Tab. 13 Mechanické vlastnosti AlSi10Mg pro odlitky lité do kovových forem [20]

Stav	Bez tepelného zpracování	Vytvrzený za tepla
Mez kluzu $R_p 0,2$ [MPa]	90	130
Mez pevnosti $R_m$ [MPa]	min 160	min 210
Tažnost [%]	2	2
Tvrdość [HB]	min 50	min 60
Modul pružnosti E [GPa]	70 – 71	72 – 75

Slitina se vyznačuje velmi dobrou slévateľností, vykazuje vysokou odolnosť proti tvorbě trhlin za horka, vysokou tlakovou těsnost. Její teplota tuhnutí je 615 – 570 °C. Hodnota lineárního smrštění při tuhnutí činí 1,4 %. Hodnoty obrobiteľnosti jsou uvedené v tabulce 14.

Tab. 14 Obrobiteľnosť AlSi10Mg [20]

Tvrdość [HB]	75
Třída obrobiteľnosti	10d
Koeficient obrobiteľnosti $k_v$	1

Tepelné zpracování slitiny je následující.

- Rozpouštěcí žíhání 535 °C po dobu 6 hodin, následuje ochlazení do vody 50 °C
- Umělé stárnutí 180 °C po dobu 8 hodin, následuje ochlazení na vzduchu

[17], [20]

### 3. 2. 2. Zvažovaná slitina hořčíku

Co se týče konkrétní slitiny Mg, která byla zvažována jako jeden z možných materiálů pro obaly převodové skříně, tedy slitinu AZ91E-T6, tak její chemické složení je uvedeno v následující tabulce 15, v tabulce 16 jsou uvedeny mechanické vlastnosti slitiny za pokojové teploty.

Tab. 15 Chemické složení slitiny AZ91E-T6 [23]

Označení	Složení [%]		
	Al	Mn	Zr
AZ91E – T6	8,7	0,13 min	0,7

Tab. 16 Vybrané mechanické vlastnosti za pokojové teploty slitiny AZ91E-T6 [23]

Označení	Mez pevnost v tahu [MPa]	Mez kluzu [MPa]		Poměrné prodloužení [%]	Mez pevnosti ve střihu [MPa]	Tvrdost [HR]
		v tahu	v tlaku			
AZ91E – T6	275	145	145	6	145	66

Jedná se o slitinu hořčíku, která je vhodná pro gravitační lití do pískových forem, Chemické složení a mechanické vlastnosti jsou uvedeny v předešlých dvou tabulkách. Co se týče symbolu T6, tak označení T6 značí tepelné zpracování a umělé stárnutí slitiny. [23]

Tepelné zpracování slitiny je následující.

- Dvoustupňové rozpouštěcí žíhání 370 °C po dobu 3 hodin, pak zvýšit teplotu na 450 °C po dobu 20 hodin následuje ochlazení na vzduchu
- Umělé stárnutí 200 °C po dobu 8 hodin, následuje ochlazení na vzduchu

Jelikož slitina AZ91 obsahuje procentuální množství hliníku větší než je hodnota 1,5 %, tak u ní může nastat jev, který je označován jako vznik trhlin při korozi za působení zatížení. Při tomto jevu vznikají v oblastech odlitku, které jsou v kontaktu s korozivní atmosférou a vyskytuje se v nich napětí přibližně okolo 30 % meze pevnosti slitiny, Takovéto napětí odpovídá zhruba 48 [MPa]. K tomuto jevu může také docházet v místech, kde se vyskytuje pórezita nebo v oblastech, kde se nacházejí vložky. Například ocelové vložky pro svorníky, svorníky samotné nebo závitové vložky. Tyto vložky mohou být do odlitku přímo zalité a nebo narážené do součásti po odlití. Při použití takovýchto elementů se dá zabránit vzniku trhlin několika způsoby - například

vhodně zvolenou tloušťkou stěn insertů. Dle zkušeností se za dostačující považuje tloušťka stěny okolo 1,25 [mm] a nižší. Insert s takovouto tloušťkou stěny se při chladnutí odlitku smršťuje a tím dochází k eliminaci zbytkového napětí v těchto místech odlitku. [21], [22]

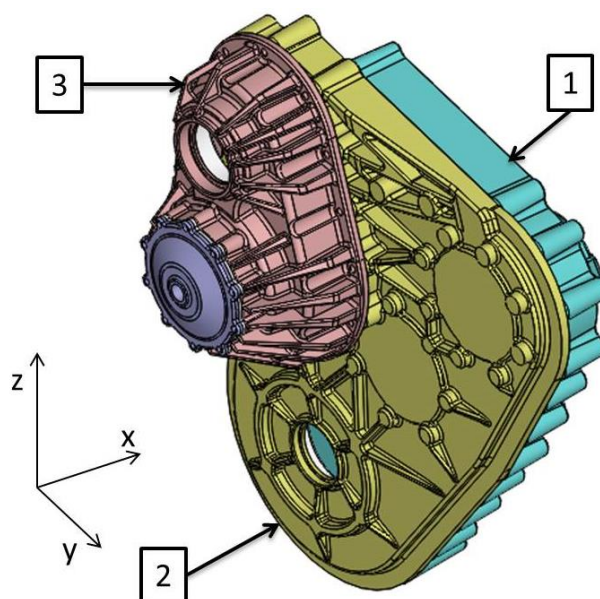
### **3. 3. Odlitky pro převodovou skříň a jejich úpravy**

Sestupná převodová skříň vrtulníku Rumas 10F je členem převodového ústrojí stroje, který je spojen s pohonnou jednotkou. Tou je turbohřídelový motor. Jelikož je sestupná skříň pevně spojená s pohonnou jednotkou, musí být dimenzována na plný výkon, který je schopen motor dodat do transmisní soustavy stroje. Tato převodovka je dále spojena s hlavní převodovou skříní, ta přenáší výkon na hlavní rotorové hlavy. Dále je z této sestupné převodovky odebírán výkon tlačnou vrtulí umístěnou v ocasní části stroje. Umístění tlačné vrtule je možno vidět na obrázku 1 v úvodu práce.

Prvotní návrh všech dílců probíhal tak, že nejdříve byly navrženy rotační díly sestavy, čili ozubená kola atd. Následně byl vytvořen prvotní návrh obalů skříně. Ten měl několik okrajových podmínek. Těmi nejdůležitějšími byly poloha převodovky ve vrtulníku, připojovací body na hlavním reduktoru a poloha pohonné jednotky. Měnit polohu a geometrii těchto částí již bylo nemožné, protože tato sestupná převodová skříň byla navržena z důvodu vzniku nového prototypu stroje s motorem od jiného výrobce. Jednalo se tedy o nový prototyp vrtulníku vycházející z původního. Jinými slovy při sestavování nového prototypu byly použity některé již navržené a sestavené celky v kombinaci s novými prvky a sestavami.

Tato část práce je zaměřena na popis jednotlivých dílů obalů sestupné převodové skříně. Postupně zde budou zmíněny všechny modely obalů této převodovky, které budou podrobně popsány a rozebrány z hlediska technologičnosti konstrukce. Konkrétně budou v této kapitole uvedeny varianty sestavy převodové skříně, které vznikaly v průběhu návrhu a její finální podoba, které bylo dosaženo pomocí pevnostních výpočtů celé sestavy převodové skříně. Tyto výpočty vznikaly vždy po návrhu dané varianty a na základě výsledků pevnostní analýzy byly díly přemodelovány do finální podoby a ta byla ještě upravena po konzultaci s pracovníky slévárny, která bude tyto součásti odlévat.

Jednotlivé díly obalů byly již v práci zobrazeny na obrázcích 10 až 13 v podkapitole 3. 2.. Pro přehlednost budou tyto dílce ještě označeny na obrázku 15 a jejich názvy budou uvedeny v tabulce 17. V tabulce 18 budou uvedeny rozměry převodové skříně dle souřadného systému, který je znázorněn v obrázku 15.



Obr. 15 Díly obalů převodové skříně

Tab. 17 Názvy odlítků převodové skříně

1	Přední díl
2	Zadní díl
3	Víko

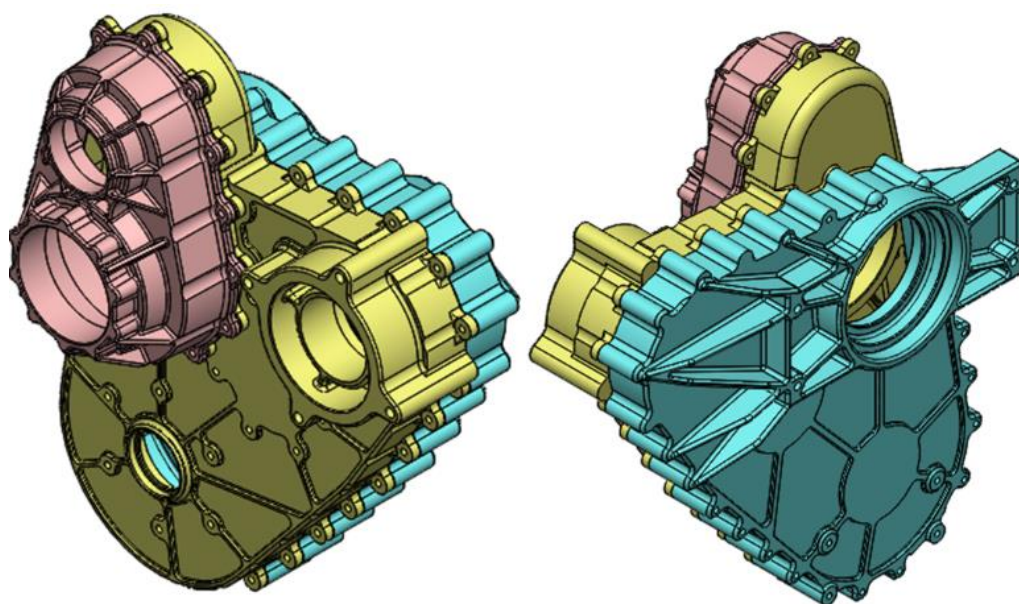
Tab. 18 Rozměry převodové skříně

Souřadnice	Rozměr [mm]
x	241
y	435
z	510

### 3. 3. 1. Převodová skříň – varianta 1

První varianta obalů převodové skříně byla navržena tak, že byla vytvořena objemová těla kopírující geometrii rotačních dílů převodovky, tedy ozubených kol a podobně. Dutina byla tedy vytvořena spojením hlavových kružnic přímkami tečně po obvodu. Takto vzniklé obvodové entity dutiny byly dále ekvidistantně odsazeny o příslušnou hodnotu tak, aby mezi hlavovými průměry ozubených kol a obalů převodovky vznikla potřebná vůle. U jednotlivých dílů byla dále vytvořena výztužná žebra spojující uložení ložisek ozubených kol. Na obrázku 16 je zachycena první varianta převodové skříně.

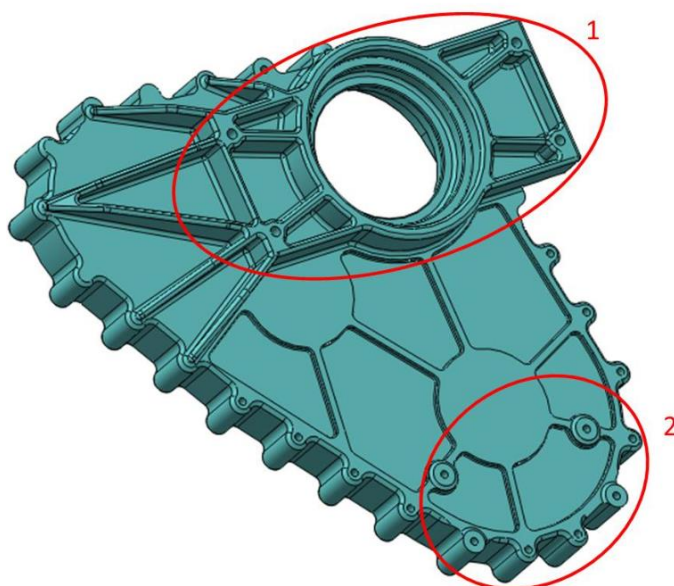




Obr. 16 Převodová skříň – var. 1

### Díl č. 1. Přední díl

Přední díl této převodovky je zároveň jejím nosným dílem, který je připojen pomocí příruby a rozpěry k hlavní převodové skříni vrtulníku. Tyto dva připojovací body jsou znázorněny na obrázku 17.



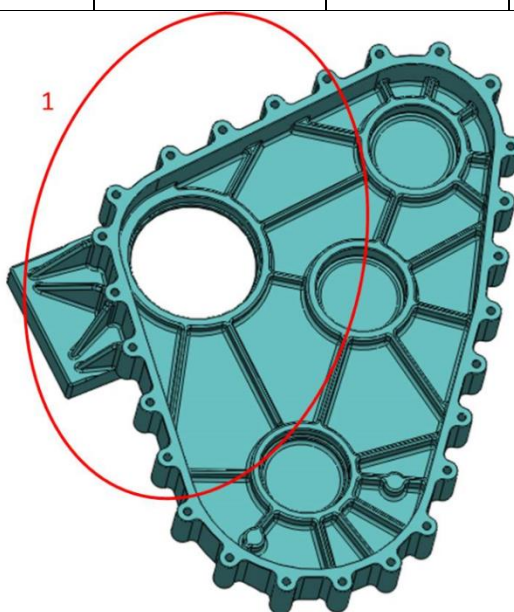
Obr. 17 Připojovací body převodové skříně

Zvýrazněná část označená číslem 1 je příruba, která slouží ke spojení sestupné převodové skříně s hlavní. V oblasti označené číslem 2 se nachází přípojné místo pro rozpěru spojující také hlavní a sestupnou převodovku. Z obrázku je také patrná přítomnost výztužných žebér v přírubě

nacházející se v oblasti 1 a také přítomnost další sady žebér, která zpevňují obal v uložení nejodlehlejšího ozubeného kola. Tloušťky a úkosy stěn a žebér znázorněných na obrázku 17 budou uvedeny v tabulce 19. Na obrázku je také skupina nízkých žebér. Ta mezi sebou spojují ložisková uložení ozubených kol. V tomto případě jde spíše o vylehčující kapsy než o výztužná žebra. Toto odlehčení bylo plánováno vyrobít technologií třískového obrábění při procesu dokončovacího obrábění uložení ložisek, kanálů a otvorů pro chlazení a mazání převodů, děr pro závitové vložky, dosedacích ploch a podobně. Na z vnitřní strany obalu jsou přítomna výztužná žebra také a jsou ve stejné poloze jako tato nízká žebra zvenčí, nicméně vnitřek obalu je vyžebrován masivněji. Vnitřní část tohoto obalu je možné podrobněji sledovat na dalším obrázku 18.

Tab. 19 Parametry výztužných elementů v obr. 17

	Tloušťka $t$ [mm]	Výška [mm]	Úkos [°]
<b>Obdélníkové stěny příruby v oblasti 1</b>	6	28,8	3
<b>Žebra uvnitř příruby v oblasti 1</b>	8	28,8	3
<b>Mezikruží v centru příruby v oblasti 1</b>	10	28,8	3
<b>Okolní výztužná žebra</b>	6	-	3
<b>Žebra vzniklá obráběním odlehčení</b>	4	4	0



Obr. 18 Obr. 18 Přední díl var. 1 – vnitřek

Obrázek 18 jasně vypovídá o způsobu prvotního návrhu umístění výztužných žebér. Jejich geometrické vlastnosti budou spolu s parametry stěn uvedeny v následující tabulce 20 po vzoru předešlého popisu z tabulky 19. V tomto návrhu byla snaha o stejnou výšku žebér spolu s ulehčeními pro ložiska, při čemž byla žebra vedena vždy od středu jednoho ložiskového uložení

ke středu druhého místa pro ložisko dalšího ozubeného kola, nebo od středů těchto míst k závitovým díram pro šrouby či svorníky. V oblasti 1 na obrázku 20 byla navržena vnitřní i vnější žebra o stejné tloušťce. Ostatní výztužné elementy mají společně také stejnou tloušťku, ale liší se od skupiny v oblasti 1, viz následující tabulka.

Tab. 20 Parametry výztužných elementů v obr. 18

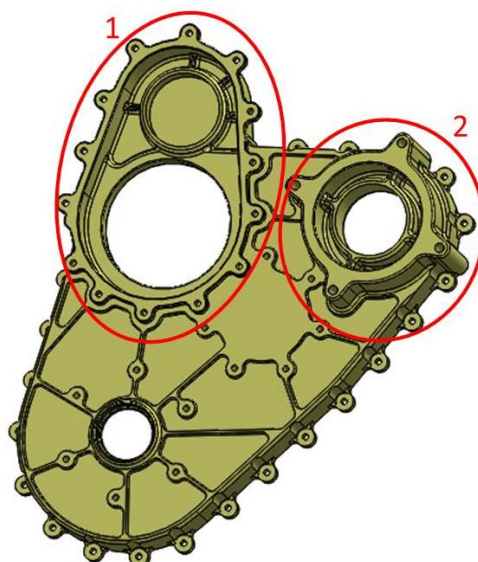
	Tloušťka t [mm]	Výška [mm]	Úkos [°]
<b>Žebra v oblasti 1</b>	4	10,25	3
<b>Žebra mimo oblast 1</b>	5	13	3
<b>Stěna uložení ložiska v oblasti 1</b>	8,5	10,25	3
<b>Stěna uložení ložisek mimo oblast 1</b>	8,5	13	3
<b>Stěna obalu</b>	8	-	3
<b>Dno obalu s odlehčovacími kapsami</b>	4	-	-

U této varianty dílu Přední díl nebude podrobněji rozebrána otázka technologičnosti konstrukce, ale spíše zde bude poukázáno na hlavní nedostatky tohoto konstrukčního řešení. Za hlavní nedostatky lze považovat:

- Přítomnost poměrně vysokých vnitřních žeber a to z důvodu rozstříku mazacího a chladicího média uvnitř převodovky, dále také zmenšení chladicí plochy dílu.
- Záměr obrábět odlehčovací kapsy na přední straně dílce. Tento záměr není zcela vhodný z hlediska zvýšení rizika netěsnosti odlitku.

## Díl č. 2 – Zadní díl

Zadní díl je rozměrově náročnější než přední díl převodovky. Tato část obalů převodové skříně má za úkol zajistit uložení spojení mezi pohonnou jednotkou vrtulníku a hlavní převodovou skříní, mimo to také sestupnému převodu pro tlačnou vrtuli. Tuto funkci má společnou s dílem, který byl popisován výše, ale na rozdíl od něj slouží zadní díl převodovky také jako uložení přídavného převodu právě od motoru stroje na spojovací hřídel mezi sestupnou a hlavní převodovkou. Také je na této součásti umístěno další příslušenství poháněné z této převodovky. K popisu návrhu zadního dílu převodovky bude využit obrázek 19, pomocí kterého budou popsány geometrické parametry výztužných prvků, obdobně jako tomu bylo u předešlého dílce.



Obr. 19 Zadní díl var. 1

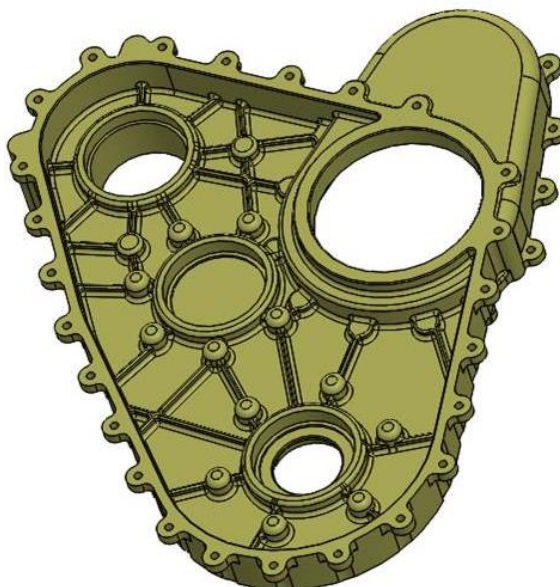
Při pohledu na obrázek 19 je zřejmé, že tento díl byl modelován stejnou filozofií jako přední díl. Na obrázku můžeme opět pozorovat přítomnost obrobených odlehčovacích kapes, které byly v předešlém případě později shledány nevhodnými. Důvody jsou uvedeny v předchozím odstavci práce. Nicméně na obr. 19 jsou zvýrazněny dvě oblasti označené číslicemi 1 a 2. Geometrie v oblasti 1 slouží jako uložení převodu mezi motorem a hlavní převodovkou. V oblasti 2 se nachází příruba na konkrétní příslušenství, spojené s převodovým ustrojím stroje. Geometrie této oblasti 2 z obrázku č 19 zde nebude popsána, protože v dalších krocích návrhu převodovky bylo upuštěno od návrhu přírub pro konkrétní příslušenství a bylo rozhodnuto vytvořit všechny příruby co nejvíce universálně, aby bylo možné otestovat více variant nakupovaného příslušenství za cenu, že bude nutné vytvářet redukce mezi přírubou tohoto příslušenství a převodovky.

Dále je možné na obrázku pozorovat přítomnost patek po obvodě dílu. Ty slouží jako dosedací plochy pod šrouby spojující tento díl s dílem Přední díl. Tabulka 21 zaznamenává geometrické parametry výztužných elementů zobrazených na obrázku 19.

Tab. 21 Parametry výztužných elementů v obr. 19

	Tloušťka t [mm]	Výška [mm]	Úkos [°]
<b>Žebra v oblasti 1</b>	3	9	3
<b>Stěny odlitku v oblasti 1</b>	8	38,5	3
<b>Stěna uložení ložiska v oblasti 1</b>	7,5	17	3
<b>Dno obalu kapsy v oblasti 1</b>	8	-	-
<b>Žebra vzniklá obráběním odlehčení</b>	4	4	0

Obrázek 20 zachycuje podobu vnitřní strany dílu Zadní díl. Tento obrázek bude sloužit k dalšímu popisu této části.



Obr. 20 Zadní díl var. 1 – vnitřek

Ve vnitřní části dílu je zobrazena série tvarových zesílení pro závitové díry přírub pro přípojně příslušenství převodové skříně. Rozměry těchto elementů byly voleny záměrně tak, aby vzniklé závitové díry byly dírami slepými a to z důvodu těsnosti celé převodové skříně. Podobně jako u předchozího dílu, který je s tímto dílcem spojen, byla volena výztužná žebra spojující uložení ložisek spolu s dírami pro šrouby přírub a s okolními šrouby spojujícími oba obaly dohromady. Geometrie žebíř a ložiskových uložení bude opět uvedena v tabulce, konkrétně v tabulce 22.

Tab. 22 Parametry výztužných elementů v obr. 20

	Tloušťka t [mm]	Výška [mm]	Úkos [°]
<b>Žebra</b>	3	7	3
<b>Stěny uložení ložisek</b>	7,5	12,5	3
<b>Stěna obalu</b>	8	-	3
<b>Dno obalu s odlehčovými kapsami</b>	4	-	-

Mezi hlavní nedostatky této varianty zadního dílu patří:

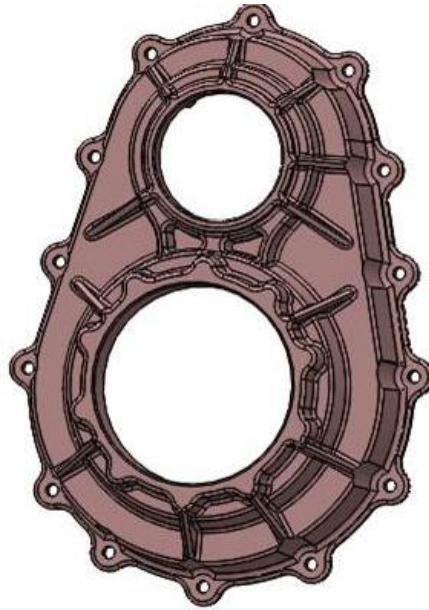
- Přítomnost poměrně vysokých vnitřních žebíř
- Záměr obrábět odlehčovací kapsy na přední straně dílce.



- Obtížná zaformovatelnost této geometrie

### Díl č. 3 – Víko

Jedná se o poslední díl návrhu převodové skříně, která je předmětem této diplomové práce. Tato součást slouží jako uložení převodu mezi pohonnou jednotkou, hlavní převodovou skříní a sestupného převodu. Díl je zobrazen na následujícím obrázku 21.



Obr. 21 Víko var. 1

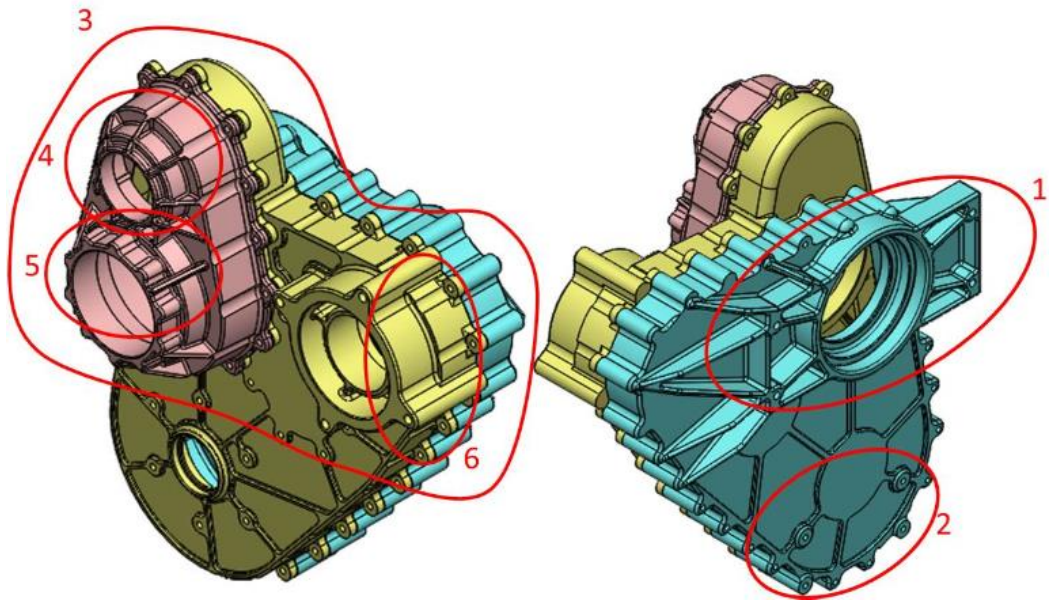
Ve výše zobrazené součásti se nevyskytují vnitřní žebra, proto k jejímu popisu postačí pouze jeden obrázek. Z něj je možné vysledovat, že v součásti jsou přítomna dvě uložení ložisek a to pro vstupní hřídel a spojovací hřídel mezi sestupnou a hlavní převodovkou – větší uložení pro ložisko ve spodní části obrázku. Geometrické parametry této součásti jsou uvedeny v tabulce 23.

Tab. 23 Parametry výztužných elementů v obr. 21

	Tloušťka $t$ [mm]	Výška [mm]	Úkos [°]
<b>Žebra</b>	4	-	3
<b>Stěny obalu</b>	8	-	3

Po návrhu a vytvoření modelů dílů, které jsou uvedeny výše v této podkapitole, bylo přistoupeno k tvorbě pevnostních výpočtů. Ty byly vyhotoveny pomocí metody konečných prvků. Při těchto pomocných výpočtech byla zaměřena pozornost na sledování deformací dílů při početním zatížení a také na hodnotu součinitelů bezpečnosti jednotlivých dílců sestavy.

Na obrázku 22 je zobrazena varianta 1 převodové skříně. V tomto obrázku jsou označeny oblasti návrhu, které budou popsány v tabulce níže. Tato tabulka bude podávat informaci o deformaci celé sestavy obalů. Dále budou uvedeny nejnižší hodnoty součinitelů bezpečnosti pro jednotlivé dílce sestavy převodové skříně.



Obr. 22 Deformace převodovky – var. 1

V oblasti označené jako 1 a 2 na obrázku 22 jsou přípojná místa převodové skříně. Největší deformace byla zjištěna v oblasti 3. Tato část byla pro vyhodnocení dále rozdělena na další tři podoblasti a to na část 4, 5 a 6. V tabulce 24 jsou uvedeny hodnoty deformací právě těchto třech oblastí.

Tab. 24 Deformace v sestavě obalů převodovky – varianta 1

Oblast	Deformace [mm]
4	0,162
5	0,149
6	0,135

Co se týče hodnot součinitele bezpečnosti sestavy, tak tato verze převodovky vykazuje tuto nejnižší hodnotu součinitele bezpečnosti.

Nejnižší hodnota součinitele bezpečnosti

1,29 [-]

Z části diplomové práce 3.1. *Požadavky kladené na odlitky organizací EASA* vyplývá, že požadovaná hodnota součinitele bezpečnosti pro obaly převodovek, které jsou považovány za kritické odlitky je následující:

- Požadovaná hodnota součinitele bezpečnosti pro kritické odlitky 2,25 [-]

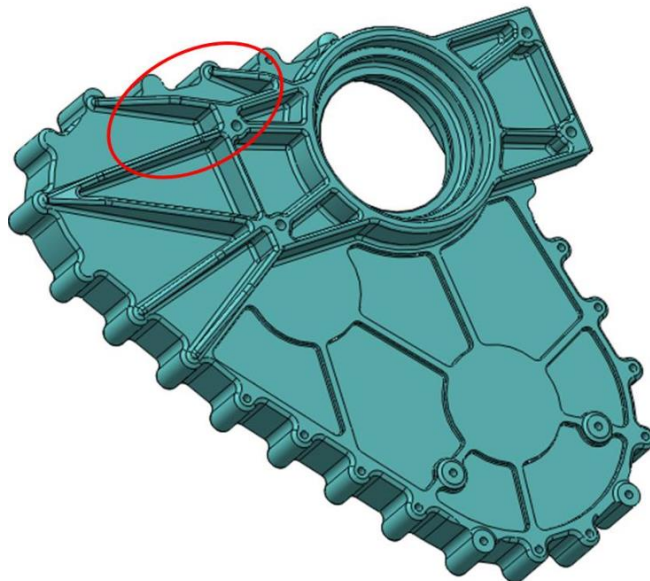
Pro tento součinitel bezpečnosti je třeba dodržet následující:

- Odlitky musí být podrobeny 100% vizuální prohlídce, nebo prohlídkou radiografickou. Prohlídka může být také realizována jinou dostačující metodou, která je schválena leteckým úřadem, pod který spadá dané rotorové letadlo.

Dále je třeba u těchto odlitků provést podrobné statické zkoušky na třech vzorcích. Tyto vzorky musí splňovat:

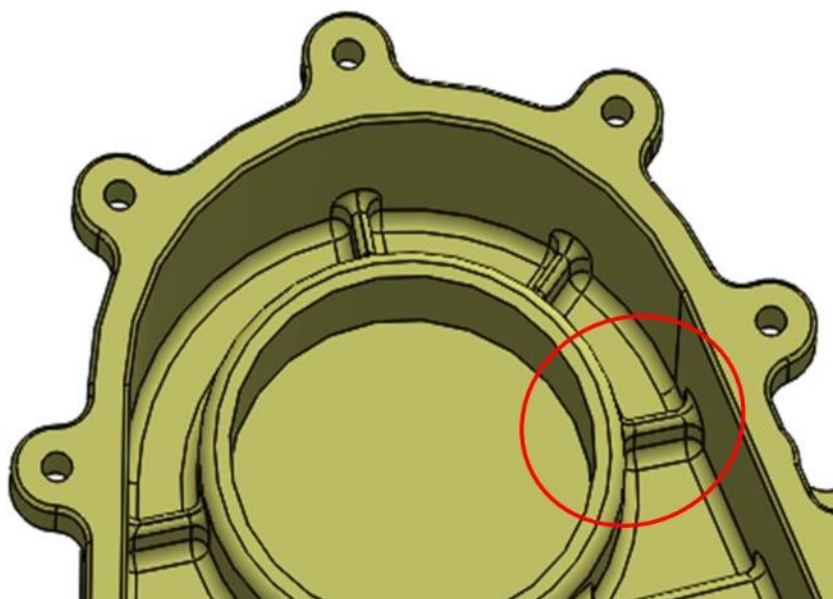
- Pevnostní požadavky za působení početního zatížení, které odpovídá součiniteli pro odlitky 1,25.
- Deformační požadavky při zatížení odpovídajícímu 1,15 násobku provozního zatížení.

V následujících třech obrázcích budou znázorněny jednotlivé dílce převodové skříně a na nich budou označeny oblasti, ve kterých se nachází nejnižší hodnota součinitele bezpečnosti. V tabulce 25 nacházející se pod těmito obrázky budou shrnuty hodnoty těchto součinitelů bezpečnosti.

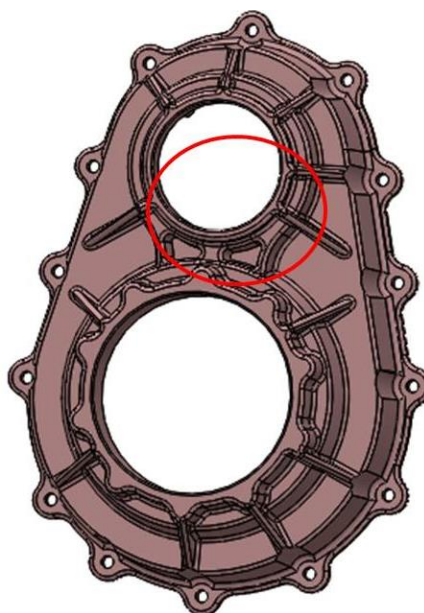


Obr. 23 Díl č. 1 – Přední díl – var. 1 – součinitel bezpečnosti





Obr. 24 Díl č. 2 – Zadní díl – var. 1 – součinitel bezpečnosti



Obr. 25 Díl č. 3 – Víko – var. 1 – součinitel bezpečnosti

Tab. 25 Nejnižší hodnota součinitele bezpečnosti – varianta 1

Díl	Součinitel bezpečnosti
Díl č. 1	2
Díl č. 2	1,3
Díl č. 3	1,35

Z výše uvedených výsledků je patrné, že bylo nutné přistoupit k modifikaci návrhu převodové skříně. Tato skutečnost nebyla překvapením, protože jak bylo uvedeno při popisu návrhu první

varianty, tak se jednalo pouze o návrh řešení, který měl sloužit jako podklad pro pevnostní výpočet a z tohoto návrhu bylo dále plánováno vycházet. Následná varianta obalů převodovky vycházela právě ze závěrů vytvořených k této simulaci. V předešlých dvou tabulkách se nacházejí hodnoty, které nevyhovují požadavkům kladeným na návrh obalů. Z těchto důvodů bylo přistoupeno k tvorbě dalších variant návrhu. V této práci bude uvedena varianta, která bude označena jako varianta 2, nicméně návrhu této varianty předcházelo několik dalších, které není nutné zde uvádět.

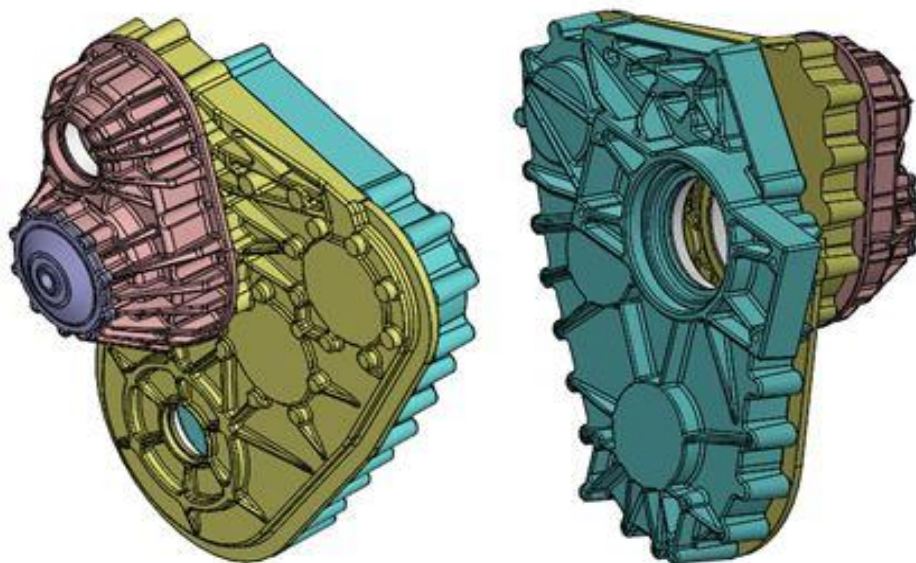
Právě varianta 2 převodové skříně je stupněm návrhu, který byl konzultován se slévárnou, která by měla provádět odlévání těchto dílců. Po konzultaci s pracovníky této společnosti bylo přistoupeno na kompromisní řešení geometrie jednotlivých dílců.

### **3. 3. 2. Převodová skříně – varianta 2**

Během procesu návrhu od varianty 1 převodové skříně po variantu označenou v této práci jako varianta 2 byly provedeny změny, které budou popsány v této části práce. Prováděné změny směřovaly k těmto třem cílům:

- Dosáhnout minimálních deformací
- Dosáhnout optimální hodnoty součinitele bezpečnosti
- Zaměřit se na technologičnost konstrukce

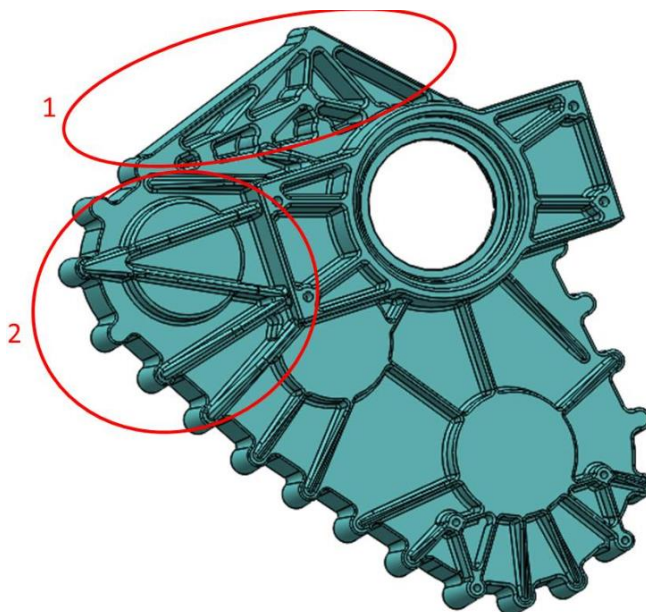
Na obrázku 26 je zobrazena varianta převodovky označovaná jako varianta 2. Dále bude následovat popis varianty převodové skříně a podrobnější popis jednotlivých dílů stejným systémem jako v předešlé podkapitole s názvem 3. 3. 1.



Obr. 26 Převodová skříň – var. 2

### Díl č. 1. Přední díl

Nyní bude přistoupeno k popsání dílu z geometrického hlediska a technologičnosti výroby.



Obr. 27 Přední díl var. 2

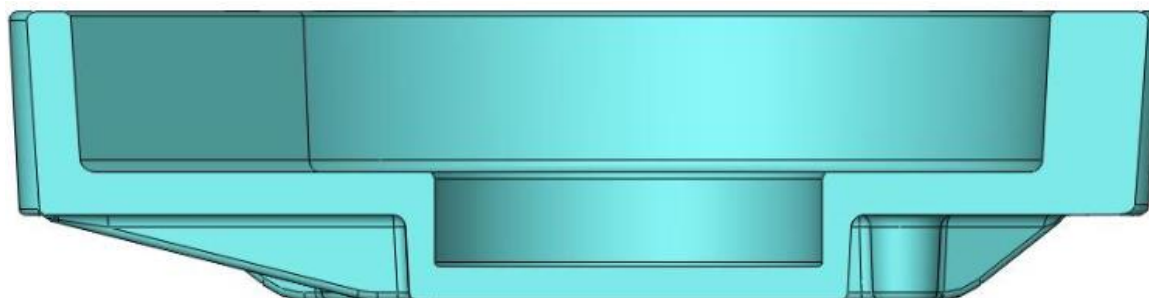
Z obrázku 27 je patrné, že na dílci přibyla výztužná žebra, která se nachází v oblasti 1. Tato geometrie vznikla z důvodů nutnosti zpevnění dílu spojeného s tímto, konkrétně dílu č. 2 Zadní díl převodové skříně, popis tohoto dílce bude uveden později. Z obrázku je dále možno vysledovat masivnější vyztužení dílce z jeho venkovní strany, což umožnilo odstranit vnitřní žebrování. Díky absenci vnitřních žebrování byly odstraněny problémy, které tato žebra mohla

vyvolávat. Tyto obtíže byly popsány u první varianty převodové skříně. Vzhledem k faktu, že bylo možno odstranit vnitřní žebra tohoto dílu, bylo také možno posunout celou hlavní stěnu dílu blíže k rovině ložisek. Toto uspořádání mělo příznivý vliv na deformaci dílu, silového namáhání a samozřejmě na hodnotu součinitele bezpečnosti. Ještě je nutné uvést, že ohledně připojovacích rozměrů a geometrie příruby, která slouží ke spojení s hlavní převodovou skříní, nezaznamenal návrh žádné změny. V tabulce 26 budou postupně uvedeny geometrické charakteristiky výztužných elementů v oblastech 1, 2 a zbylých žeber v obrázku 27.

Tab. 26 Parametry výztužných elementů v obr. 27

	Tloušťka t [mm]	Výška [mm]	Úkos [°]
<b>Žebra v oblasti 1</b>	6	44	3
<b>Dno výztužné geometrie v oblasti 1</b>	6	-	-
<b>Žebra v oblasti 2</b>	6	28,8	3
<b>Okolní výztužná žebra</b>	4	20	3

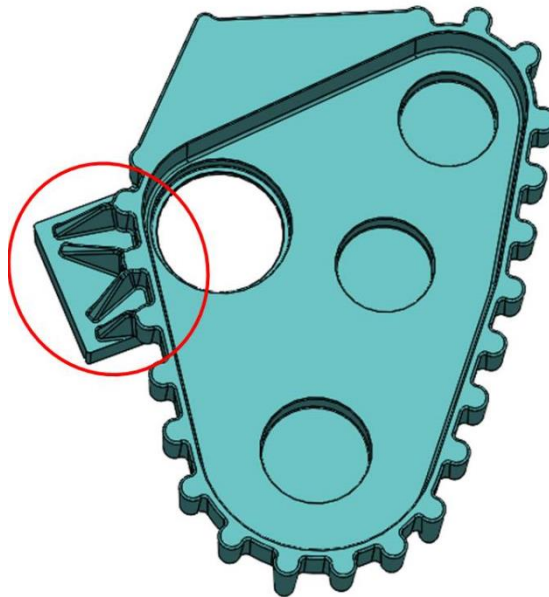
Na obrázku 28 se nachází řez uložením ložiska a hlavní stěnou odlitku. Tato stěna disponuje tloušťkou 10 mm. Okolní stěny dílu mají tloušťku stěny 8 mm. Stěny ložiskových uložení disponují stejnou tloušťkou jako okolní stěny odlitku a její výška činí 37,5 mm.



Obr. 28 Přední díl var. 2 – řez ložiskem

Na obrázku je také možné si povšimnout, že některá výztužná žebra se svažují směrem k hlavní stěně a na jejich konci s touto stěnou splynou. Toto platí pro všechna žebra směřující od ložiskových uložení směrem do prostoru, tedy pro žebra nespojující jednotlivá ložisková uložení navzájem. Pro vizuální představu lze použít obrázek 27. K obrázku 28 je ještě nutné dodat, že v zobrazení modelu, ze kterého byl vygenerován tento obrázek, bylo vymodelováno uložení ložiska již v obrobeném stavu. Z tohoto důvodu nemá uložení pro ložisko vnitřní úkos a také zde chybí zaoblení hrany. Na posledním obrázku 29 vztahujícím se k této součásti se ve zvýrazněné

oblasti nachází skupina výztužných žeber. Jejich geometrická charakteristika je zanesena v tabulce nacházející se pod tímto obrázkem a to tabulce 27.



Obr. 29 Přední díl var. 2 – vnitřek

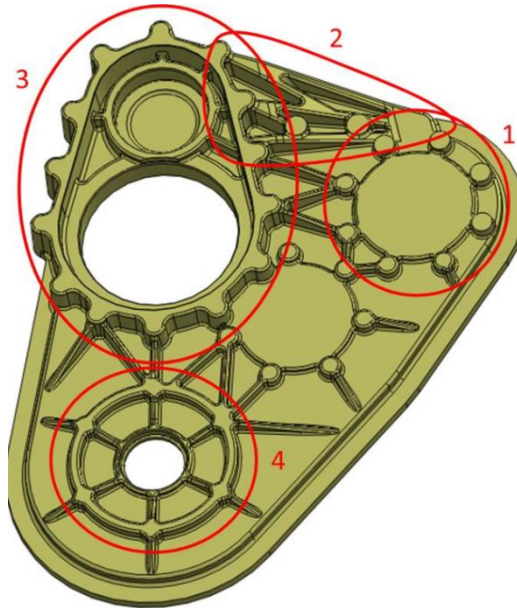
Tab. 27 Parametry výztužných elementů v obr. 29

	Tloušťka $t$ [mm]	Výška [mm]	Úkos [°]
<b>Žebra v oblasti</b>	5	46	3

S ohledem na technologičnost konstrukce byla vyvíjena snaha o sjednocení tlouštěk stěn odlitku s tím, že tloušťka hlavní stěny byla záměrně volena větší a to z důvodů co nejvíce bezproblémové distribuce tekutého kovu v dutině formy.

## Díl č. 2 – Zadní díl

Během procesu návrhu prošel zadní díl převodovky řadou konstrukčních změn, jejichž cílem bylo, stejně jako u ostatních součástí, dosáhnout co nejlepších parametrů dílů a vlastností sestavy, které jsou uvedeny v úvodu části práce zabývající se rozbořem druhé varianty této skříně. Na obrázku 30 je zobrazena tato součást. V něm jsou vyznačeny důležité oblasti tohoto návrhu.



Obr. 30 Zadní díl var. 2

Nejvýraznější změna, kterou díl zaznamenal, se nachází v oblasti 1 na obrázku 30. V této oblasti byla odstraněna příruba, které měla sloužit k upevnění příslušenství převodové skříně, které bylo vybráno k použití na vrtulníku. Nicméně po dalších návrzích a jednáních o změnách bylo rozhodnuto o tom, že na tomto místě bude vytvořena univerzální příruba z důvodu větší volnosti ve výběru nakupovaných zařízení, která budou na převodovku montována. V ohraničené části označené jako 2 se nachází vyztužení uložení převodu mezi pohonnou jednotkou a spojovací hřídelí mezi převodovkami. Stejně jako u předešlé součásti převodovky i zde byla posunuta hlavní stěna dílu do roviny uložení ložisek. Prostor uložení sestupného převodu zmíněného o několik řádků výše, byl také zmenšen. Konkrétně byly sníženy stěny této části dílu, které jsou ohraničeny oblastí 3. V následující tabulce 28 budou uvedeny geometrické parametry vyztužných prvků zobrazených na obrázku 30. Všechna žebra zobrazená v tomto obrázku mají stejnou tloušťku i úkosy s tím, že se mění pouze jejich výška.

Tab. 28 Parametry vyztužných elementů v obr. 30

	Tloušťka $t$ [mm]	Výška [mm]	Úkos [°]
<b>Žebra v oblasti 1</b>	6	10	3
<b>Žebra v oblasti 2</b>	6	18	3
<b>Žebra v oblasti 3</b>	6	18	3
<b>Žebra v oblasti 4</b>	6	10	3



Stejně jako u dílu Přední díl – varianta 2 jsou žebra, která nespojují mezi sebou příruby nacházející se kolem uložení ložisek, zkosena až k hlavní stěně převodové skříně. Tato výztužná žebra směřují do míst, kde budou umístěny šrouby spojující tento díl s předním dílem převodovky. Na obrázku 31 je znázorněn řez odlitkem.



Obr. 31 Zadní díl var. 2 – řez ložiskem

Na obrázku je znázorněn řez hlavní stěnou Zadního dílu převodovky, jejíž tloušťka činí stejně jako u předchozího dílu v této variantě převodové skříně 10 mm. Tloušťka příruby, která prakticky navazuje na hlavní stěnu, je 8 mm. Tento řez prochází uložením ložiska, které se nachází v oblasti 4 na obrázku 30 a na obrázku 31 je tedy možno pozorovat tloušťku prstence spojující přírubu kolem tohoto ložiska a tato hodnota činí 8 mm. Stejně jako při popisu řezu součásti Přední díl na obrázku 28 je zde zobrazeno uložení ložiska v obrobeném stavu dílu, a to ze stejných důvodů jako v předešlém případě. V řezu této součásti je také možno pozorovat přítomnost vnitřních žebér. Nicméně k popisu celé vnitřní části dílu poslouží obrázek 32.



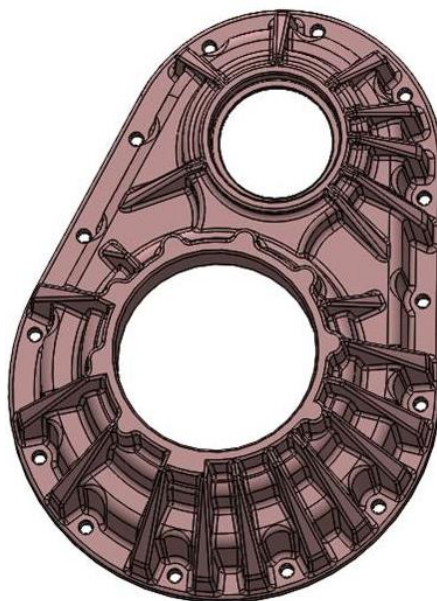
Obr. 32 Zadní díl var. 2 – vnitřek

Na něm je možné sledovat přítomnost vnitřních žebér o výšce 4 mm, která odpovídají poloze žebér na vnější straně dílu. Při zachování této geometrie nebylo možno tato žebra odstranit, a

proto byla snížena na přijatelnou hodnotu z hlediska funkce převodovky s přihlédnutím na bezproblémovost funkce olejového hospodářství transmisní soustavy vrtulníku.

### Díl č. 3 – Víko

Na základě informací, kterých bylo dosaženo vyhodnocením výsledků analýz předešlých návrhů, byla navržena podoba součásti, které je zachycena v obrázku 33. Pokud se podíváme zpět do tabulky 24 zaznamenávající deformace vybraných oblastí převodové skříně, tak z ní můžeme vysledovat, že oblast tohoto dílu podléhala největší tvarové deformaci návrhu.



Obr. 33 Víko var. 2

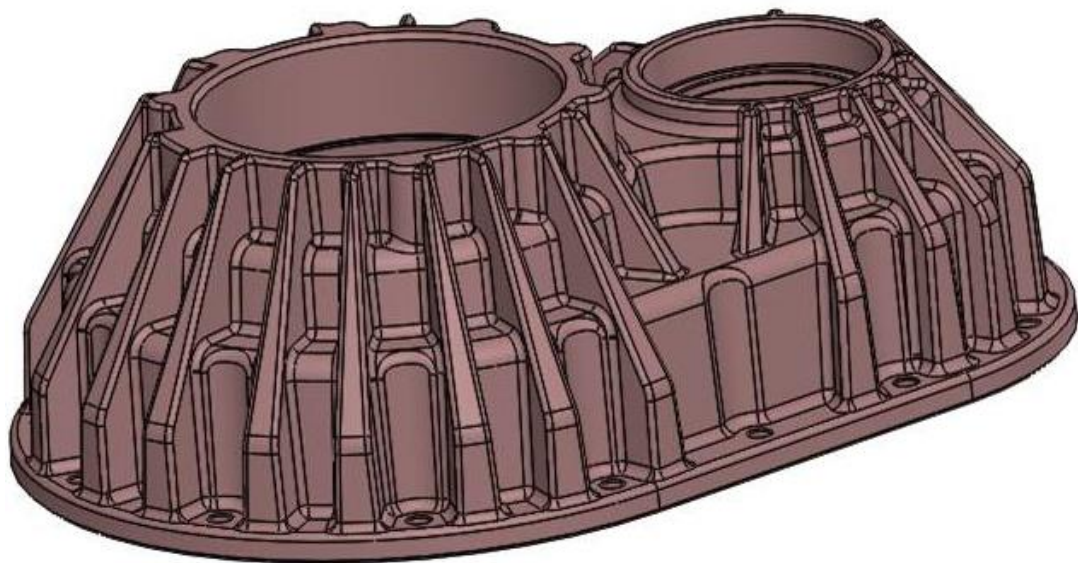
Z obrázku je patrné, že od varianty 1 prošla součást několika konstrikčními změnami. Z obrázku je také na první pohled zřejmá snaha o co největší zpevnění dílce v oblasti uložení ozubených kol. Toho bylo dosaženo použitím výztužných žebér, která byla vytvořena v celé výšce odlitku. Žebra byla skosená směrem k připojovací přírubě dílce sloužící ke spojení se Zadním dílem převodovky. V tabulce 29 jsou uvedeny parametry těchto elementů.

Tab. 29 Parametry výztužných elementů v obr. 33

	Tloušťka $t$ [mm]	Výška [mm]	Úkos [°]
<b>Žebra</b>	3	-	3

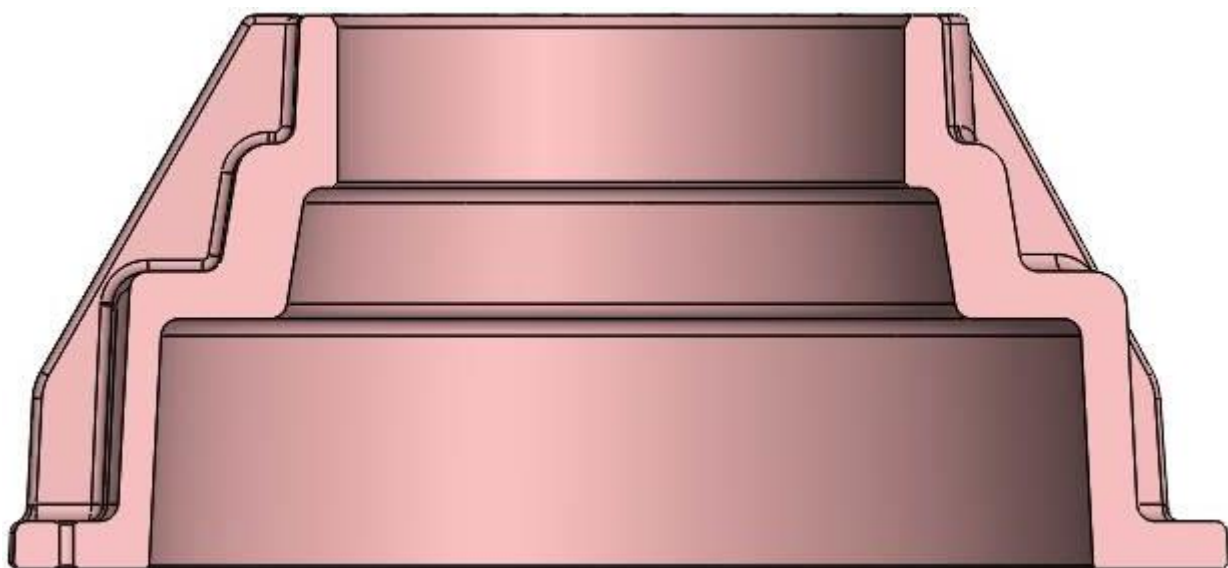
Pro lepší představu vnějšího tvaru žebér poslouží obrázek 34.





Obr. 34 Viko var. 2 – vnější tvar výztužných žebíř

K popisu geometrie stěn v odlitku bude využito následujícího obrázku 35. Na něm je zachycen řez vedoucí uložením ložiska spojovací hřídele mezi sestupnou a hlavní převodovkou.



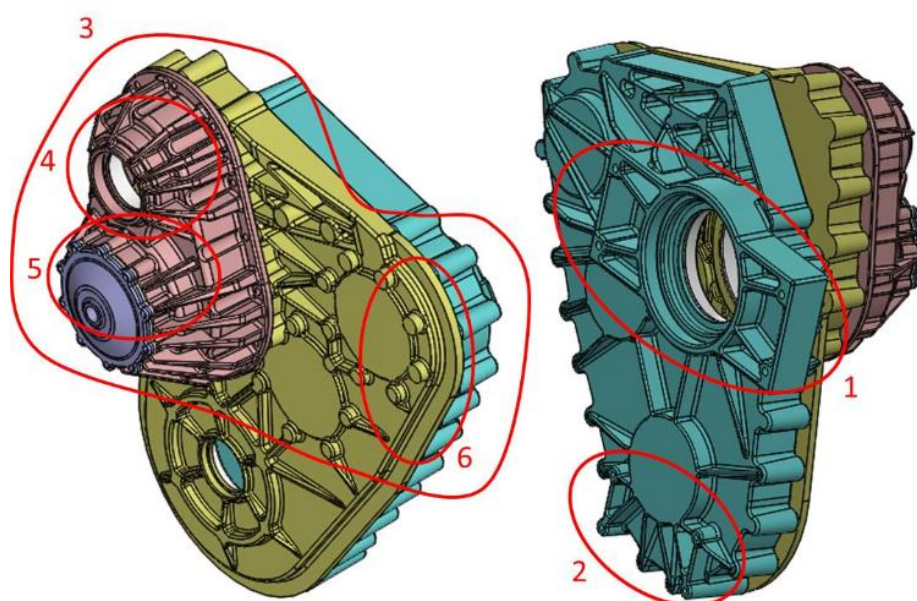
Obr. 35 Viko var. 2 – řez uložením ložiska

Tloušťka stěn v odlitku byla zvolena 8 mm s výjimkou tloušťky stěny ve střední části odlitku - ta činí 11 mm. Tento rozdíl v tloušťkách stěn je způsoben tím, že do této širší stěny jsou zapuštěny nálitky pro šrouby příruby víčka, které je umístěno na dosedací plochy v horní části obrázku. Jinak řečeno tato stěna je širší z důvodů snížení tvarové složitosti odlitku.

Jako u každé předešlé varianty byla i u této vytvořena pevnostní analýza. Zkoumané charakteristiky byly stejné jako u předešlých návrhů.

- Deformace sestavy
- Součinitel bezpečnosti součástí převodovky

Oblast, na kterou byla zaměřena pozornost, zůstala stejná, jako u první varianty převodovky. Pro přehlednost zde bude uveden obrázek 36 sestavy převodovky, které se týká tato analýza-varianty 2.



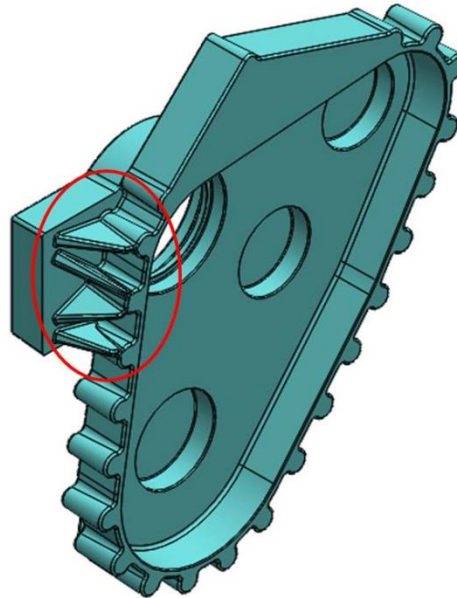
Obr. 36 Deformace převodovky – var. 2

Na obrázku 36 jsou vyznačeny stejné oblasti jako na obrázku 22 s názvem Deformace převodovky – varianta 1. Oblastmi 1 a 2 jsou zvýrazněna připojovací místa převodové skříně, která se prakticky nezměnila od varianty 1 uvedené v této práci. Co se týče kritické oblasti z hlediska deformací převodové skříně, tedy části obalů ohraničených oblastí 3, tak zde byl zaznamenán výrazný posun, když bylo dosaženo přijatelných hodnot deformací skříně. Konkrétní hodnoty uvádí tabulka 30. V tabulce jsou uvedeny hodnoty deformací podoblastí oblasti 3 a to 4, 5, 6.

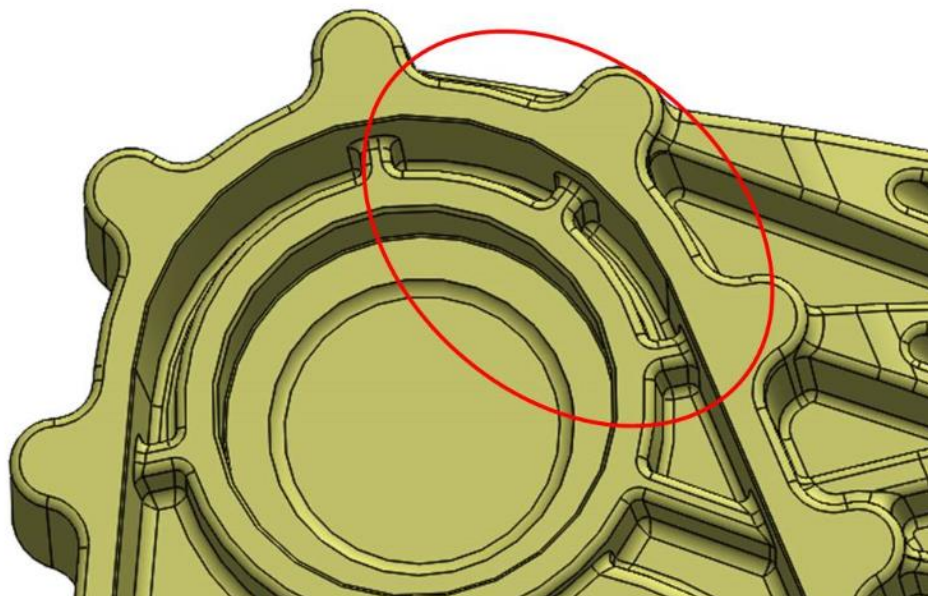
Tab. 30 Deformace v sestavě obalů převodovky – varianta 2

Oblast	Deformace [mm]
4	0,047
5	0,046
6	0,025

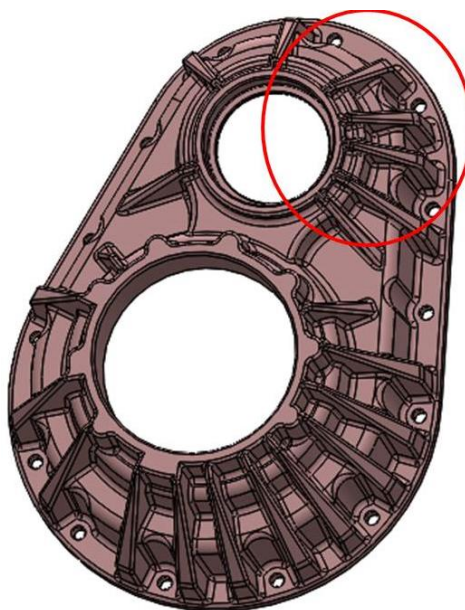
Součinitelé bezpečnosti jednotlivých dílů sestavy jsou uvedeny v tabulce 31. Před touto tabulkou budou uvedeny obrázky 37, 38, 39 s vyznačením oblastí, kde díl vykazuje nejnižší hodnotu součinitele bezpečnosti.



Obr. 37 Díl č. 1 – Přední díl – var. 2 – součinitel bezpečnosti



Obr. 38 Díl č. 2 – Zadní díl – var. 2 – součinitel bezpečnosti



Obr. 39 Díl č. 3 – Víko– var. 2 – součinitel bezpečnosti

Tab. 31 Nejnižší hodnota součinitele bezpečnosti – varianta 1

Díl	Součinitel bezpečnosti
Díl č. 1	3,4
Díl č. 2	3,3
Díl č. 3	3,25

Vzhledem k výsledkům deformací a koeficientům bezpečnosti bylo rozhodnuto o použití této varianty pro výrobu. Jednotlivé díly této varianty byly konzultovány s pracovníky slévárny. Na základě této konzultace bylo přistoupeno k níže popsané úpravě těchto dílů.

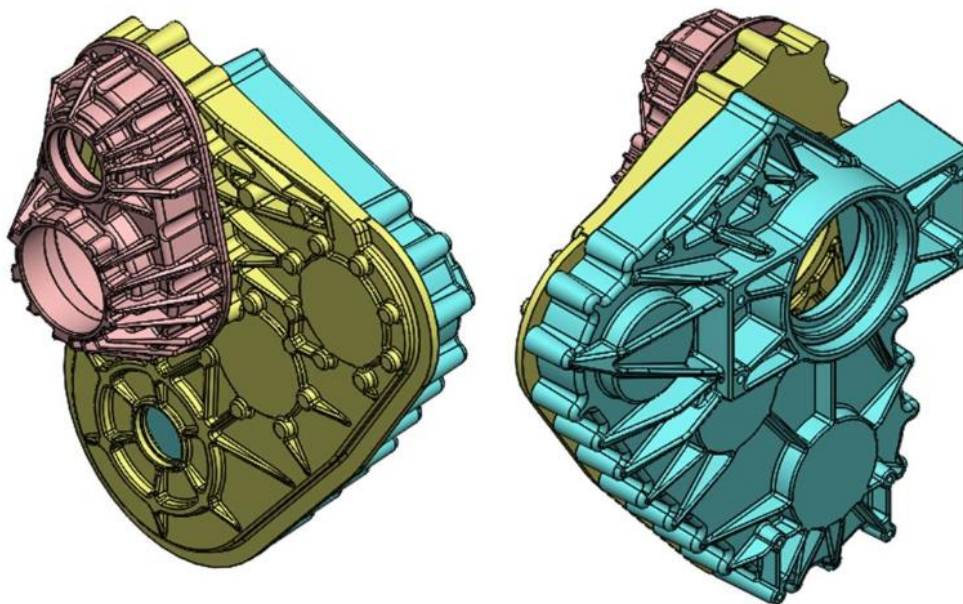
### 3. 3. 3 Převodová skříň – finální varianta

V této části budou popsány úpravy jednotlivých dílů převodovky, které byly provedeny po konzultaci se zaměstnanci slévárny, kde bylo naplánováno odlévat tyto díly. Nyní budou uvedeny připomínky k technologičnosti konstrukce ze strany slévárny. Tyto návrhy byly dále zapracovány do modelů dílců.

- Dodělat úkosal na všech stěnách odlitků 3[°]
- Úkosal na nízkých žebrech 6 [°]
- Vytvořit na žebrech odlitků zaoblení R 2 – 3 [mm]
- Pokusit se na nízkých žebrech o přechod rádius – rádius

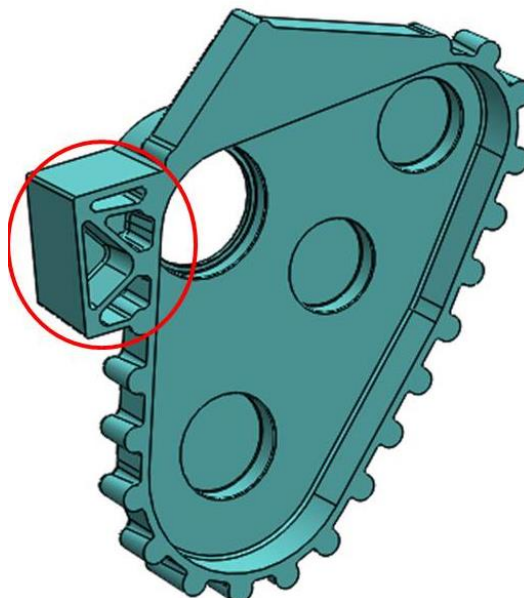


Na následujícím obrázku 40 je zachycena finální sestava obalů převodovky. Do jednotlivých dílů sestavy byly zapracovány výše uvedené poznámky technologa ze slévárny. Dále zde budou prezentovány obrázky jednotlivých dílců sestavy finální varianty.



Obr. 40 Převodová skříň – finální varianta

Na následujících obrázcích budou uvedeny jednotlivé součásti převodovky této varianty a na nich budou popsány změny, které byly provedeny z hlediska technologičnosti konstrukce.



Obr. 41 Přední díl – finální varianta

Z obrázku 41 je patrné, že bylo přistoupeno k přemodelování znázorněné části dílce. Tato úprava byla provedena z důvodu snazšího zaformování součásti. Při tvorbě této úpravy byl

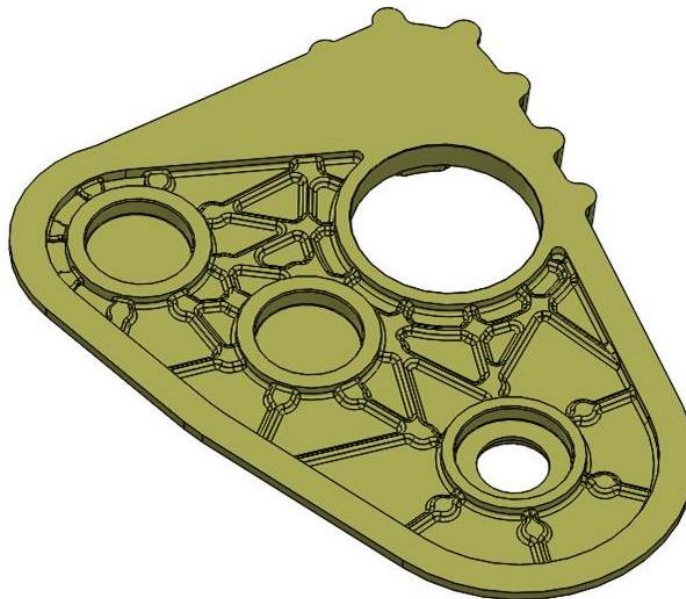
kladen důraz na to, aby upravená oblast součásti vykazovala stejné mechanické vlastnosti jako předešlá varianta. Geometrické charakteristiky této vyznačené oblasti budou shrnuty v tabulce 32.

Tab. 32 Parametry výztužných elementů v obr. 41

	Tloušťka $t$ [mm]	Výška [mm]	Úkos [°]
<b>Horní stěna</b>	8	37,5	3
<b>Ostatní stěny</b>	6	37,5	3
<b>Výztužná žebra</b>	6	37,5	3

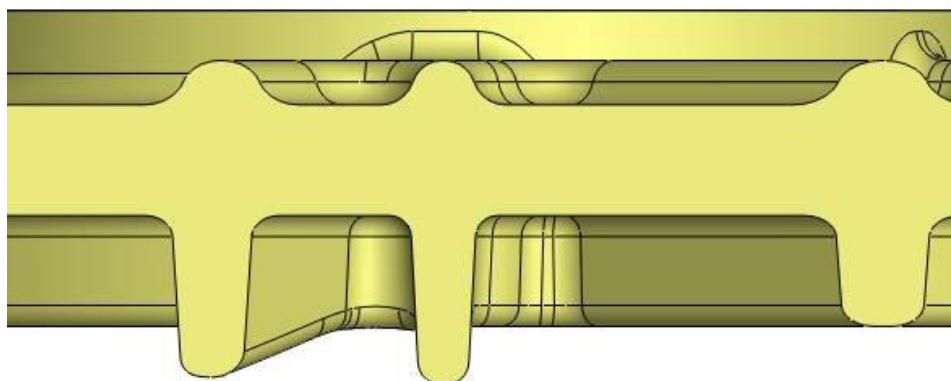
Dále byl model součásti upraven dle poznámek ze strany slévárny, které jsou uvedeny na počátku popisu této varianty.

- Dodělat úkosy na všech stěnách odlitků 3[°]
- Vytvořit na žebrech odlitků zaoblení R 2 – 3 [mm]



Obr. 42 Zadní díl – finální varianta

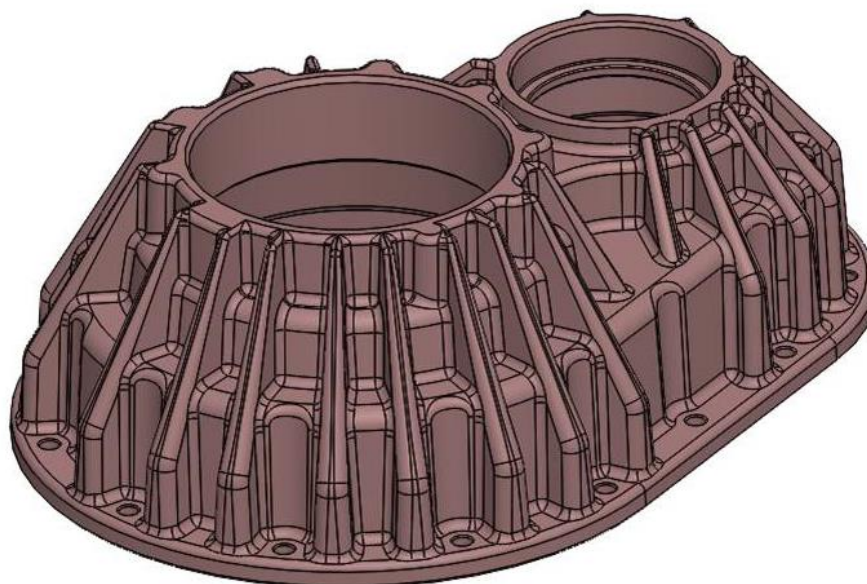
Obrázek 42 bude sloužit k popisu změn provedených na součásti Zadní díl v této finální variantě. Veškeré zde provedené úpravy je možné sledovat v tomto obrázku. Jednalo se změnu geometrie vnitřních výztužných žebíř do tvaru přechodu spodního a horního rádiusu. Tato žebra byla konstruována s úkosem 6 [°]. Pro přesnější představu je tento řez žebry zachycen na dalším obrázku 43.



Obr. 43 Řez vnitřním výztužným žebrem

V následujících bodech budou uvedeny změny, které byly zapracovány při tvorbě této varianty dílu.

- Úkosal na všech stěnah odlitků 3°
- Úkosal na nízkých žebrech 6°
- Přechod rádius – rádius na nízkých vnitřních žebrech



Obr. 44 Víko – finální varianta

Nyní se dostáváme k popisu změn, které prodělal poslední díl sestavy převodové skříně. Jedná se o díl Víko. Tento dílec je zobrazen na obrázku 44 a v něm můžeme sledovat změnu velikosti rádiusů na vnějších výztužných žebrech. Při úpravách byl kladen důraz na modifikaci

velikosti těchto zaoblení, protože v předešlých návrzích disponovaly velikostí R 1,5. Byla tedy vyvíjena snaha tyto rádiusy zvětšit, aby spadaly do výše uvedeného intervalu od R2 do R3. Jelikož jsou tato žebra poměrně vysoká a konstruována se zkosením 3 °, bylo poměrně obtížné tuto podmínku dodržet. Zaoblení bylo proto konstruováno jako progresivní rádius, který vycházel z R3 a který byl vytvořen na hlavě žebra. Z tohoto rádiusu vycházely dva rádiusy s progresivní hodnotou do R4. Na výztužných žebrech umístěných ve vzdálenější části obrázku byl aplikován stejný postup s tím rozdílem, že konečná hodnota rádiusů byla R3,5 vycházející z rádiusu na hlavě žebra, jehož hodnota činila R2.

## **4. Návrh technologie výroby odlitků převodové skříně**

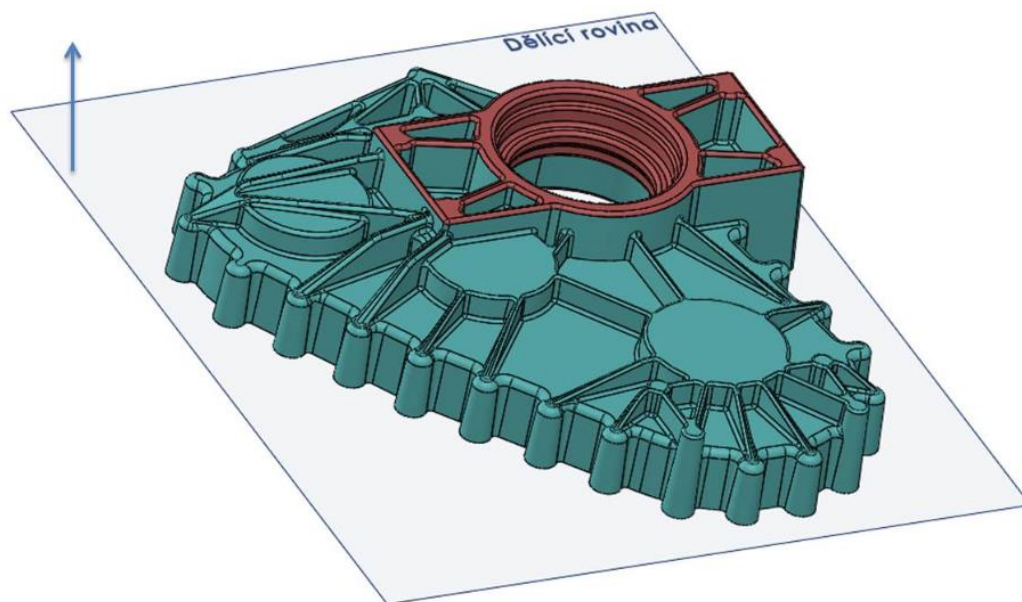
Jelikož se jedná o výrobu prototypové převodové skříně v počtu 3 kusů, při čemž muselo být vyrobeno ještě několik dílců pro provádění nutných testů k prokázání splnění kritérií kladených na tyto součásti v předpisech CS – 27 a AC – 27 – 1B, byl konečný počet odlévaných součástí zvolen 10 od každé. S přihlédnutím k velikosti série od každého kusu bylo zvoleno lití do pískových forem za použití dřevěných modelů. Jak již bylo v práci zmíněno, bude se jednat o odlitky ze slitiny hliníku, konkrétně ze slitiny AlSi7Mg0,3. V následujících podkapitolách budou uvedeny základní rozměry součástí s přídávky na obrábění. Na všech třech odlitcích byly voleny přídávky na obrábění RMA ( Recommended machining allowance) dle ISO 8062.

### **4. 1. Poloha ve formě, rozměry a přídávky na obrábění jednotlivých odlitků**

#### **4. 1. 1. Přední díl převodové skříně**

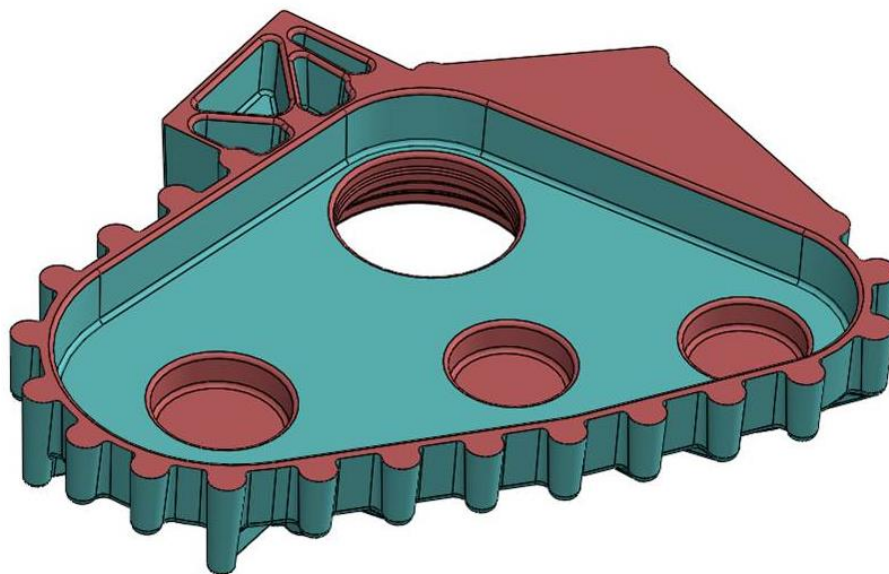
Poloha odlitku ve formě je znázorněna na obrázku 45, kde je naznačena i dělící rovina formy a šipka naznačuje směr otevření formy. Dále jsou na tomto obrázku zvýrazněné plochy s přídávky na obrábění. Tyto plochy jsou zobrazeny červenou barvou. Toto schéma zobrazení bude respektováno při popisu všech třech součástí převodové skříně. Jedinou výjimkou bude použití zelené barvy namísto červené u odlitku dílce Víko a to z důvodu, protože by bylo obtížné poznat plochy s přídávky na obrábění vzhledem k základní barvě modelu dílce.





Obr. 45 Přední díl – dělicí rovina formy a přídavky na obrábění

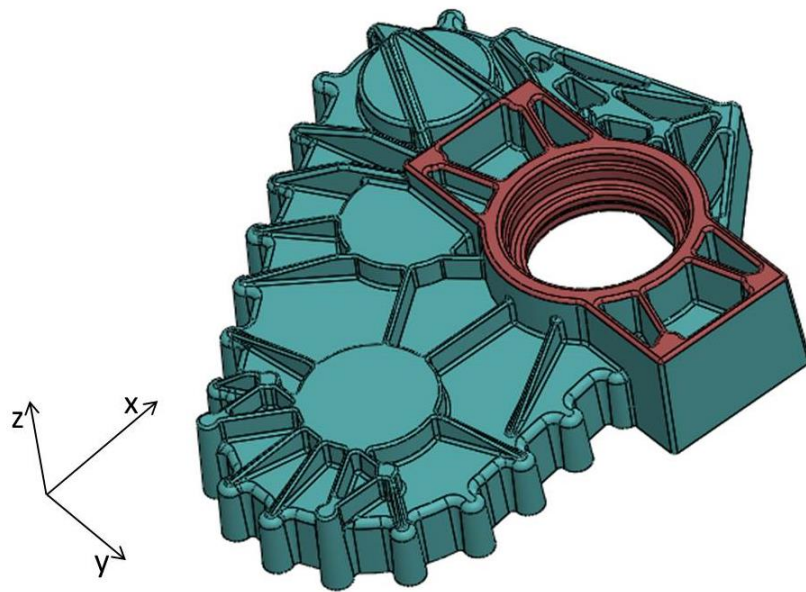
Na následujícím obrázku 46 jsou zvýrazněny plochy s přídavky na obrábění v pohledu na vnitřek dílce.



Obr. 46 Přední díl – vnitřek s přídavky na obrábění

U všech třech součástí byly voleny přídavky na obrábění na dosedacích plochách a na plochách uložení ložisek.

Na obrázku 47 budou uvedeny orientační rozměry odlitku s přídavky na obrábění. Podobný obrázek bude uveden i u následujících dvou odlitků.



Obr. 47 Přední díl – orientační rozměry součásti

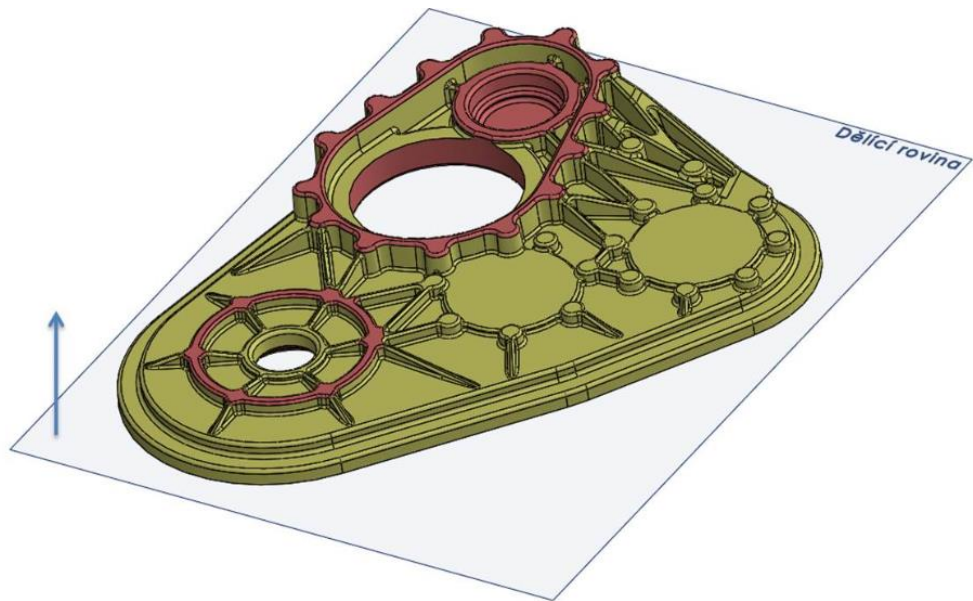
Pro lepší orientaci je zde ještě uvedena tabulka s rozměry, konkrétně tabulka 33.

Tab. 33 Přední díl – orientační rozměry hrubého odlitku

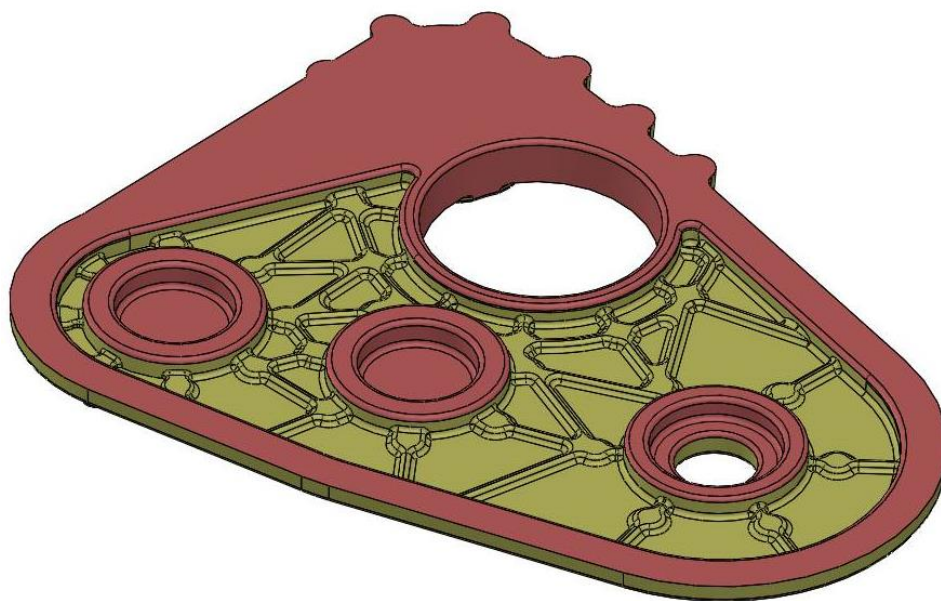
Směr dle souřadného systému v obrázku 48	Rozměr [mm]
<b>x</b>	479
<b>y</b>	202
<b>z</b>	87

#### 4. 1. 2. Zadní díl převodové skříně

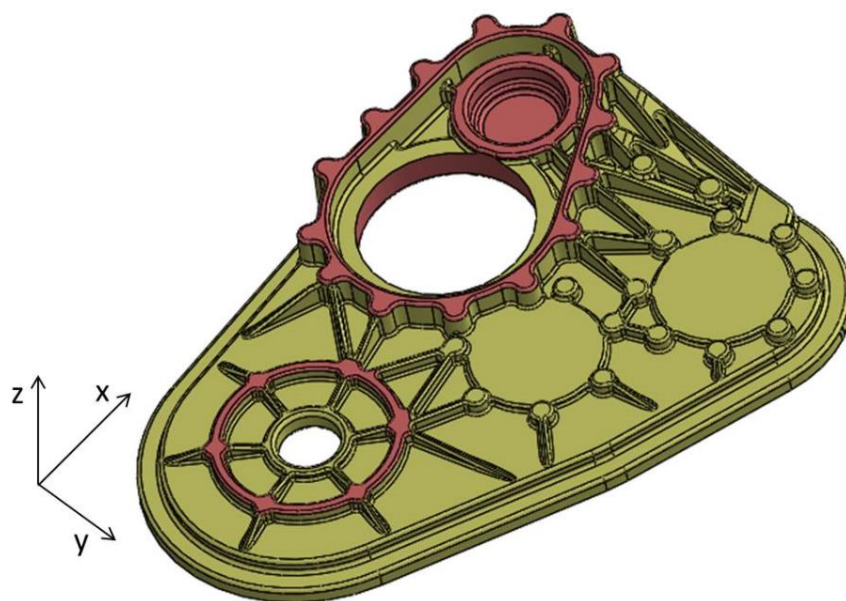
U této i následující součásti budou uvedeny také tři obrázky, na kterých budou naznačeny plochy s přídávky na obrábění a dělicí rovina.



Obr. 48 Zadní díl – dělicí rovina formy a přídavky na obrábění



Obr. 49 Zadní díl – vnitřek s přídavky na obrábění



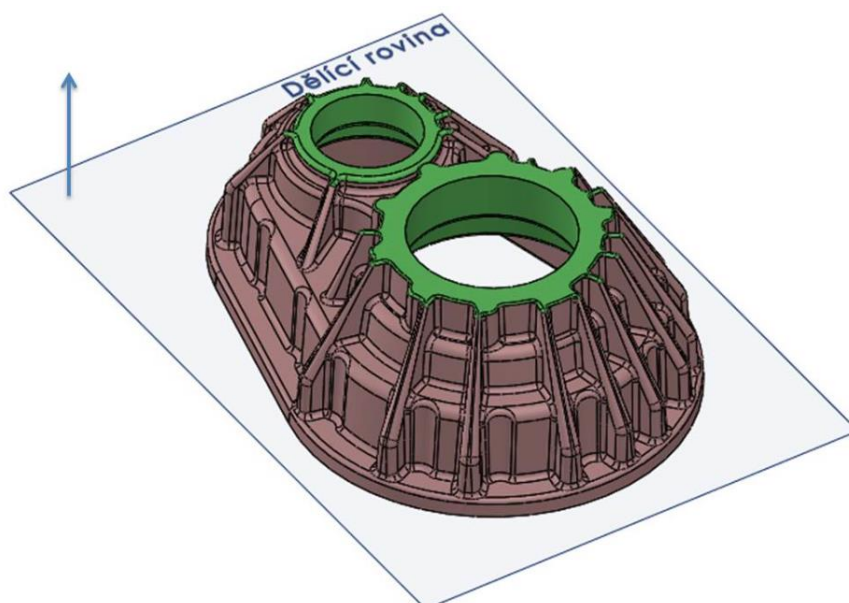
Obr. 50 Zadní díl – orientační rozměry součásti

V tabulce 34 jsou uvedeny rozměry součásti Zadní díl z obrázku 50.

Tab. 34 Zadní díl – orientační rozměry hrubého odlitku

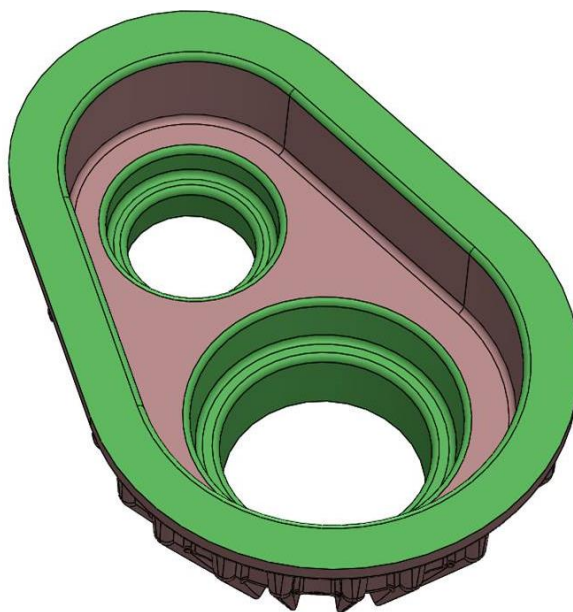
Směr dle souřadného systému v obrázku 51	Rozměr [mm]
<b>x</b>	404
<b>y</b>	515
<b>z</b>	46

### 4. 1. 3. Víko převodové skříně

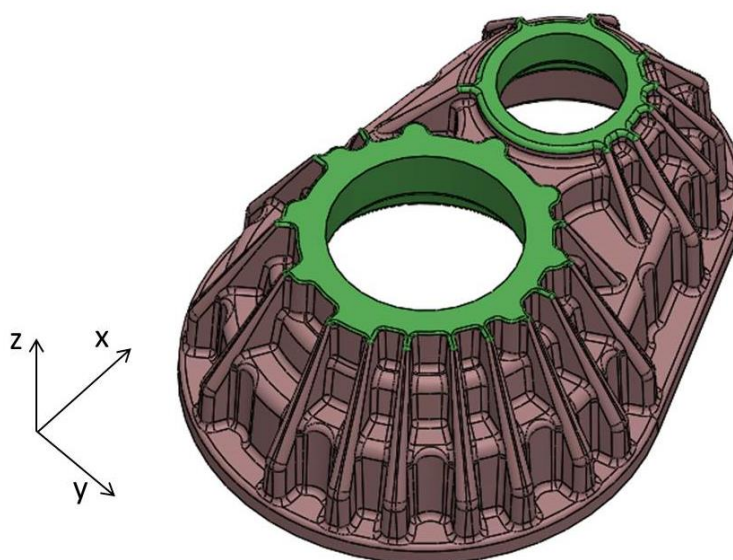


Obr. 51 Víko – dělicí rovina formy a přídavky na obrábění





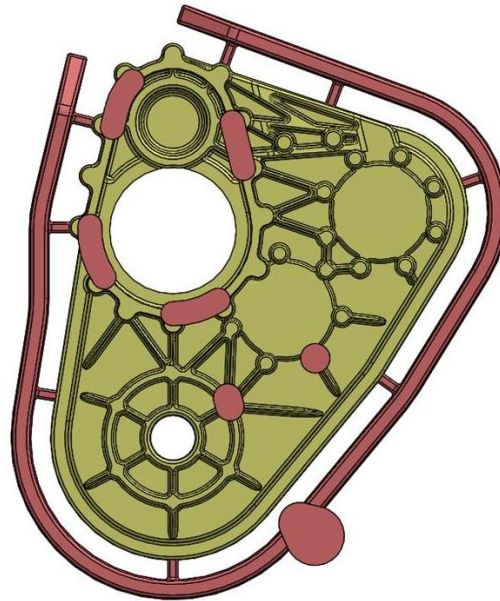
Obr. 52 Víko – vnitřek s přídávky na obrábění



Obr. 53 Víko – orientační rozměry součásti

## 4. 2. Návrh nálitků a vtokové soustavy jednotlivých dílců

Návrh nálitků a vtokových soustav dílců byl založen na konzultaci se zaměstnanci slévárny. S tím, že výsledná geometrie těchto prvků byla upravena na základě předběžných simulací tuhnutí odlitků. V této části práce budou popsány vybrané varianty návrhů tvarů a polohy nálitků a vtokových soustav u jednotlivých dílů převodové skříně. Při konzultaci technologie ve slévárně byl za vzorový dílec vybrán Zadní díl. Pro upřesnění zde bude, na obrázku 54, uveden tento díl s nálitky a vtokovou soustavou.



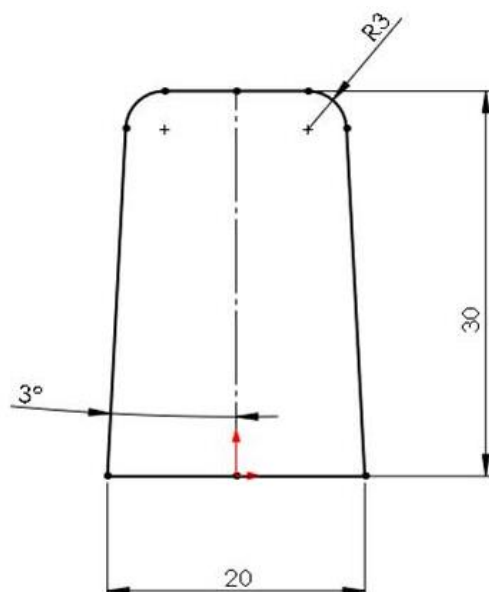
Obr. 54 Zadní díl – První návrh vtoku a nálitků

Na obrázku 54 je zobrazen první návrh geometrie vtokové soustavy a rozmístěním nálitků. Nyní budou uvedeny základní poznámky ze strany slévárny, které byly zapracovány do návrhů vtokových soustav a nálitků pro jednotlivé dílce.

- Rozměrový návrh vtokové soustavy
- Přetlaková vtoková soustava
- Poloha odlitků ve formě
- Otevřené nálitky

Co se týče prvního bodu tedy geometrie vtokové soustavy, tak byly slévárnou doporučeny tyto rozměry:

- průměr vtokového kůlu 26 mm
- Rozměry hlavního kanálu jsou uvedeny v obrázku 55

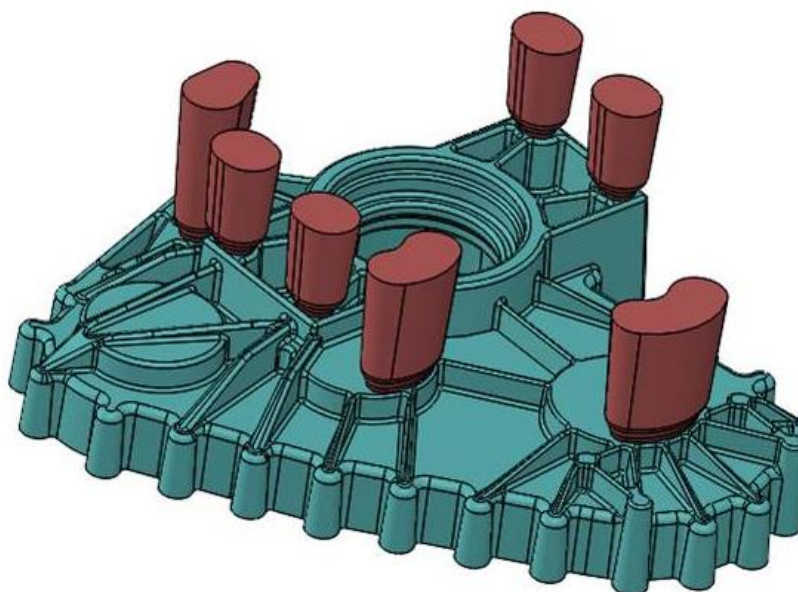


Obr. 55 Navrhnuté rozměry hlavního kanálu

#### 4. 2. 1. Návrh nálitků a vtokové soustavy Předního dílu

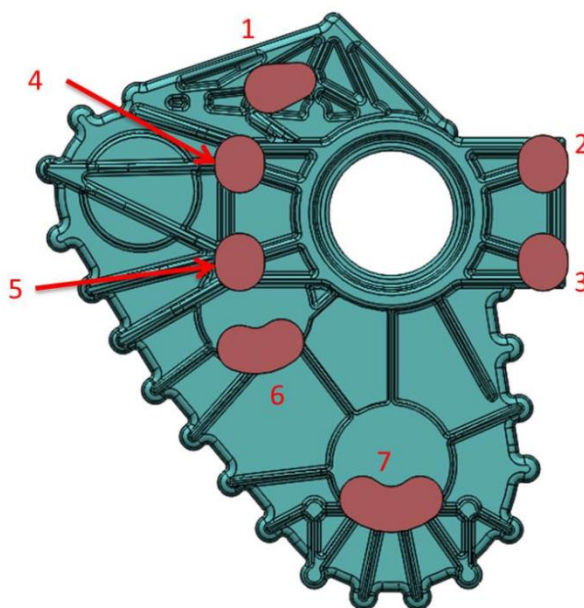
U všech odlitků, na které je tato práce zaměřena, byl volen stejný postup návrhu nálitků a vtokové soustavy. Nejdříve byla zvolena místa pro nálitky, dále byla vytvořena vtoková soustava, která vycházela ze schématu vzniklého při konzultaci s pracovníky slévárny. Pro připomenutí uvádím, že tato vtoková soustava byla doporučena pro Zadní díl převodové skříně. Proto byla velikost vtokové soustavy pro zbylé dva dílce upravena. Výška nálitků je závislá na výšce formovacího rámu a na výšce odlitku. Výšky odlitků jsou uvedeny v tabulkách 32, 33 a 34.

Pro Přední díl převodové skříně byl vzhledem k jeho výšce zvolen formovací rám o výšce 160 mm. První návrh polohy nálitku v odlitku je možné sledovat na obrázku 56.



Obr. 56 Přední díl – poloha nálitků V1

Z obrázku 56 je patrné, že v této variantě bylo vytvořeno 7 nálitků. Tyto nálitky budou popsány níže. Na obrázku 57 je možno sledovat rozložení nálitků v půdoryse, kde jsou jednotlivé nálitky označeny arabskými číslicemi.



Obr. 57 Přední díl – poloha nálitků V1 půdorys

V této variantě se nachází 4 stejné nálitky, které jsou umístěny na přípojovací přírubě převodové skříně. Jedná se o nálitky označeny čísly 2 až 5. Nálitku číslo 1 je umístěn ve střední části výztužných žebër. Kvůli umístění nálitku do této části odlitku bylo nutné upravit model součásti.

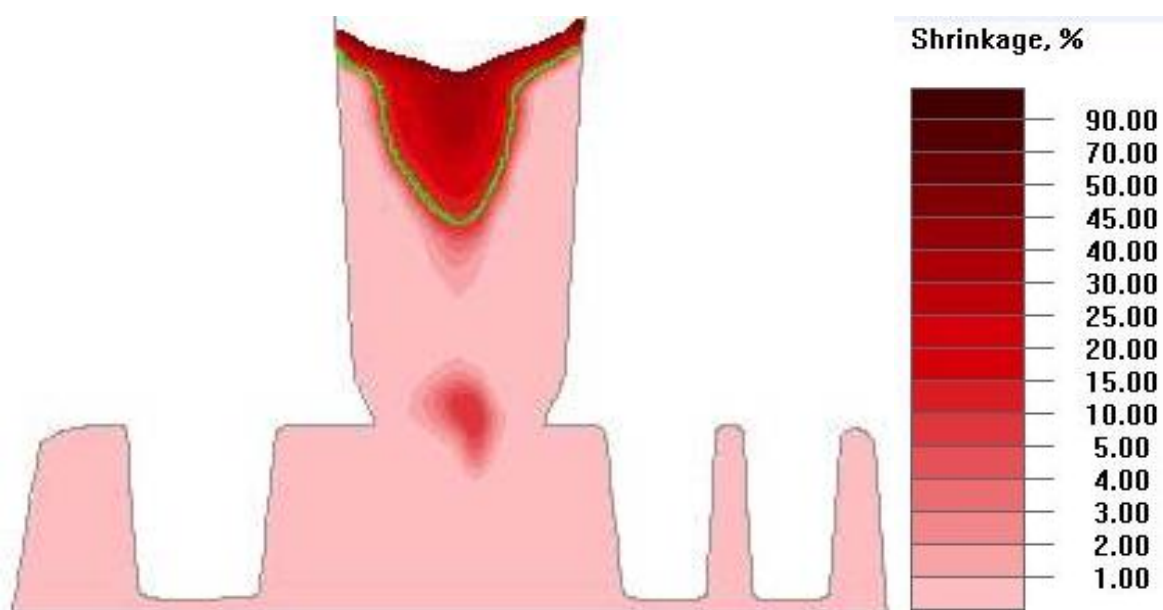


Zbylé dva nálitky označené číslicemi 6 a 7 se nacházejí nad uložením ložisek. V následující tabulce budou uvedeny výšky a objemy jednotlivých nálitků použitých v této variantě návrhu.

Tab. 35 Přední díl – parametry nálitků V1

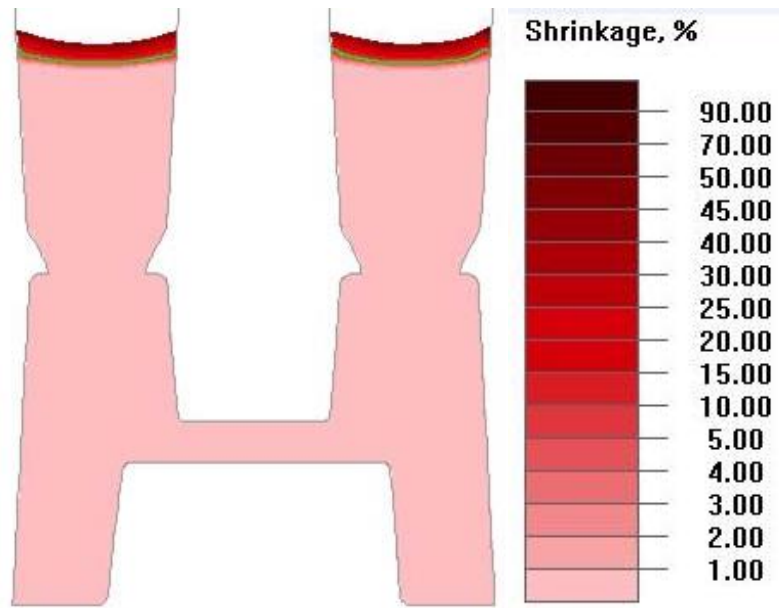
Nálitek	Výška [mm]	Objem [cm <sup>3</sup> ]
1	112,5	167
2	73,5	97
3	73,5	97
4	73,5	97
5	73,5	97
6	92,5	191
7	92,5	204,5

Tato varianta rozmístění nálitků byla podrobena simulaci tuhnutí, která sloužila jako podklad pro modifikaci nálitků a jejich umístění na odlitku. Veškeré simulace byly provedeny v softwaru NovaFlow & Solid® verze 4.60 od společnosti NovaCast systems. Na následujících obrázcích jsou zaznamenány detekce staženin pro tuto variantu součásti.

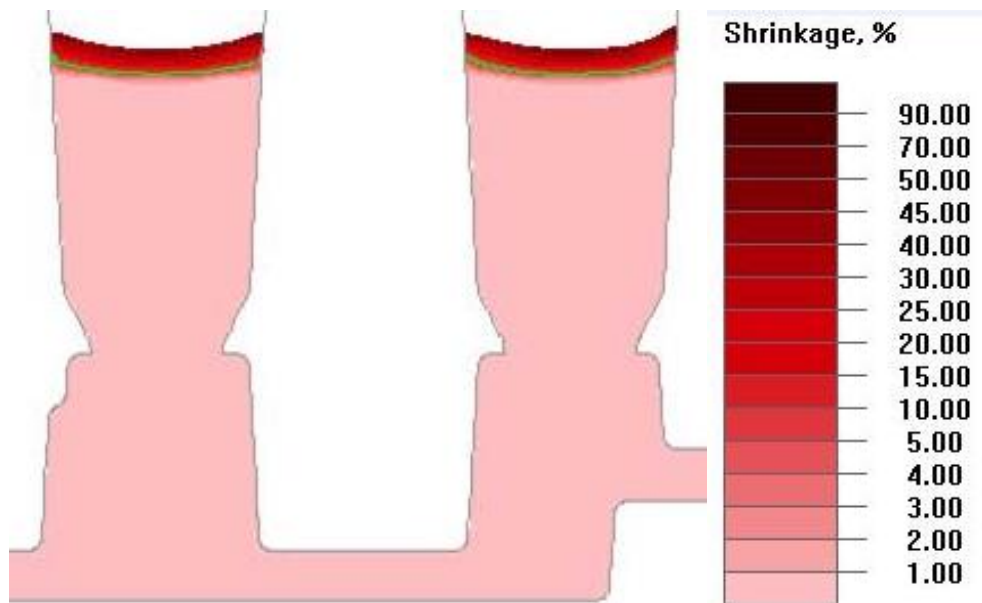


Obr. 58 Řez nálitkem 1 předního dílu – staženina\_V1

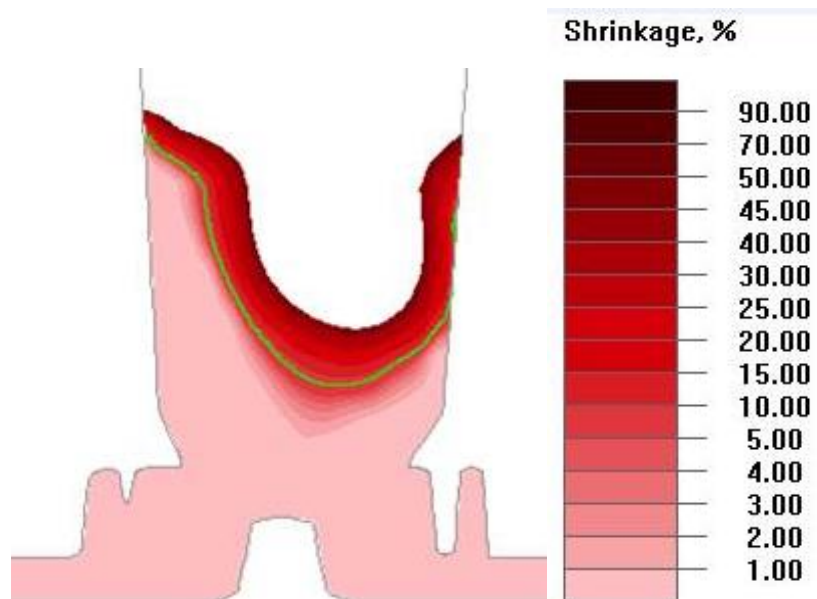
Z obrázku 58 je patrné, že staženina z nálitku označeného číslem 1 zasahuje do odlitku. Z tohoto důvodu bylo nutné dále tuto variantu odlitku modifikovat. Dále budou následovat obrázky s řezy ostatními nálitky se zobrazením staženin.



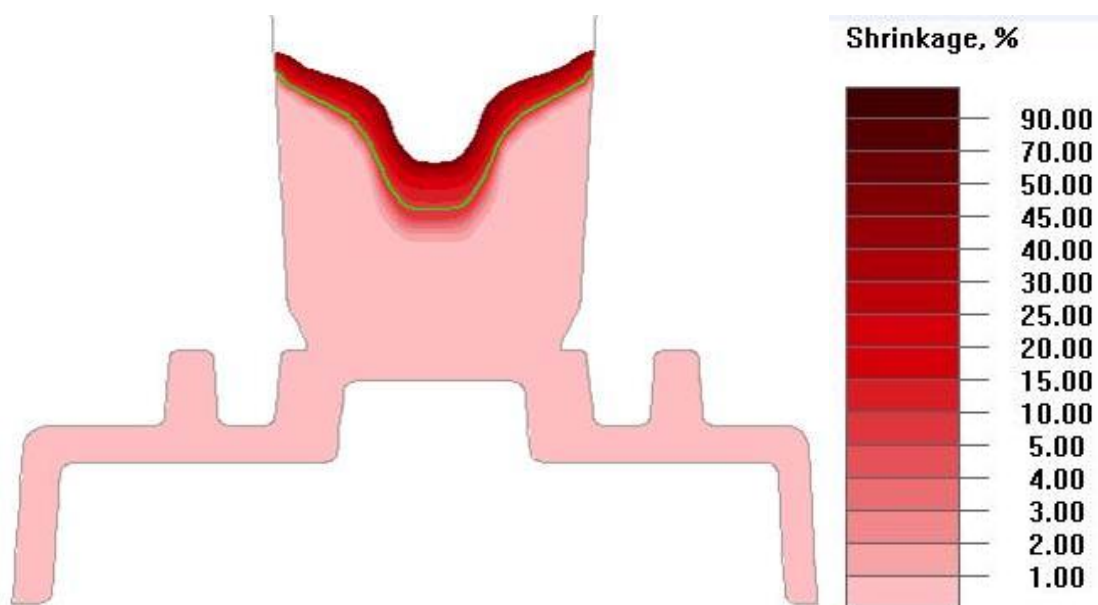
Obr. 59 Řez nálitkem 2 a 3 předního dílu – staženina\_V1



Obr. 60 Řez nálitkem 4 a 5 předního dílu – staženina\_V1



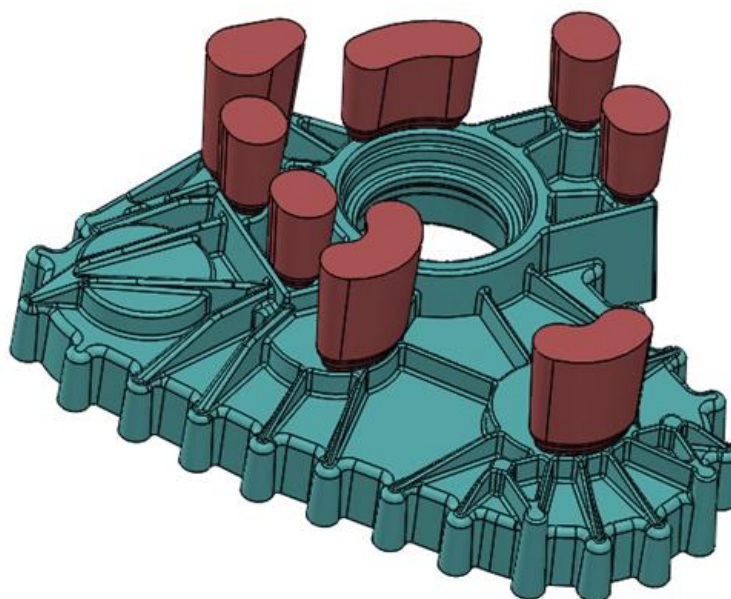
Obr. 61 Řez nálitkem 6 předního dílu – staženina\_V1



Obr. 62 Řez nálitkem 7 předního dílu – staženina\_V1

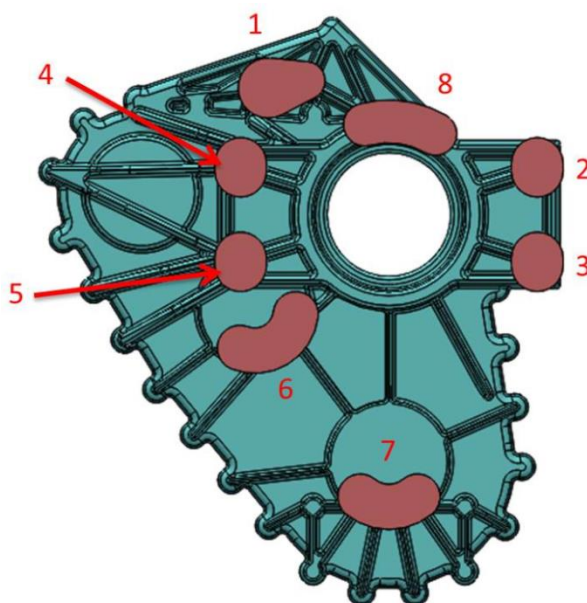
Na základě obrázků 59 až 62 lze usuzovat, že nálitky 3 až 7 plní svojí funkci dosazování tekutého kovu do odlitku dobře. Nálitky 3 až 5 se mohou jevit jako předdimenzované, ale jejich velikost vychází z požadavků slévárny, které jsou uvedeny na začátku podkapitoly 4.2. Konkrétně jde o požadavek otevřených nálitků.

Nyní přejdeme k popisu druhé varianty rozmístění a velikosti nálitků. Tato varianta je znázorněna na obrázku 63. Na dalším obrázku se nachází opět pohled na tyto nálitky v půdoryse.



Obr. 63 Přední díl – poloha nálitků V2

Při tvorbě druhé varianty velikosti a rozmístění nálitků bylo přistoupeno k optimalizaci stávajících nálitků a k přidání nálitku do přírubové části. Důvodem vytvoření toho nálitku byla obava z tvorby poretů a ředin v této části odlitku. Na následujícím obrázku jsou jednotlivé nálitky opět označeny arabskými číslicemi a v tabulce níže jsou uvedeny jejich výšky a objemy.



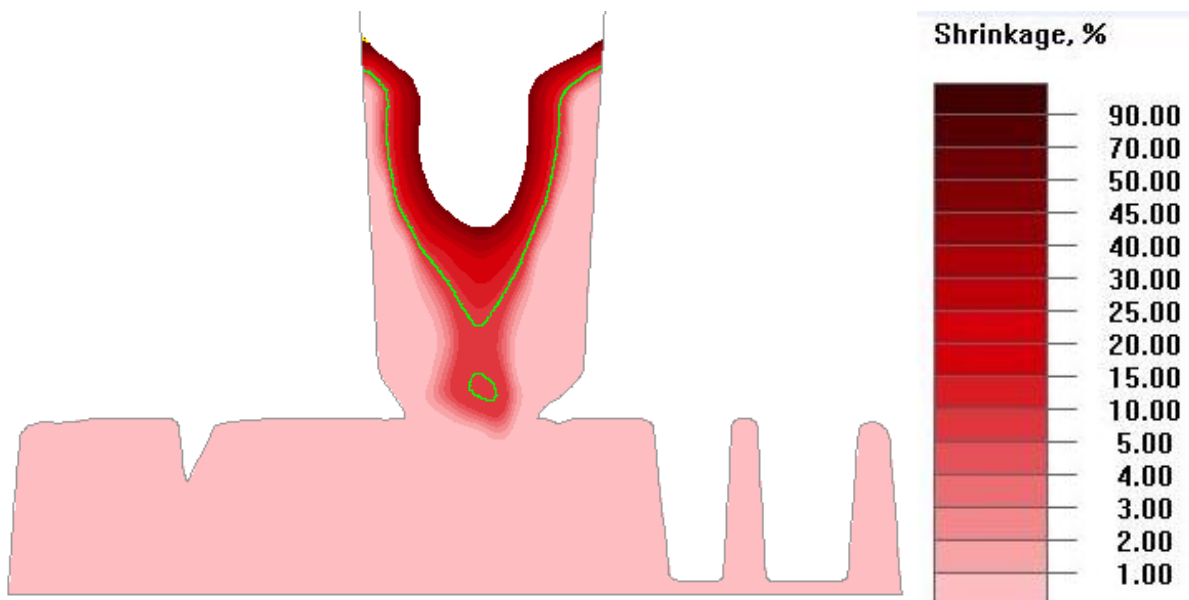
Obr. 64 Přední díl – poloha nálitků V2 půdorys

Tab. 36 Přední díl – parametry nálitků V2

Nálitěk	Výška [mm]	Objem [cm <sup>3</sup> ]
1	112,5	253,5
2	73,5	17,7
3	73,5	17,7
4	73,5	17,7
5	73,5	17,7
6	92,5	275
7	92,5	240,5
8	73,5	204

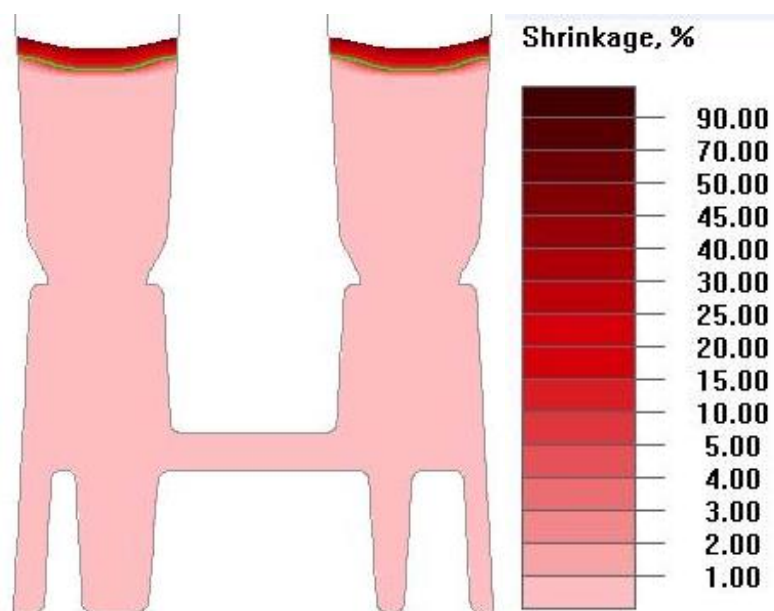
Z tabulky je patrné, že byla vyvíjena snaha o zvětšení nálitků v přírubové oblasti, tedy nálitků 2 až 5 a přidání nálitku označeného jako 8. Dále byl zvětšen nálitěk číslo 1 a to z důvodu eliminace tvorby staženiny právě pod tímto nálitkem. Tomuto mělo také částečně pomoci masivnější zanálitkování přírubové oblasti. Tabulka dále vypovídá o zvětšení ostatních nálitků. Důvodem této optimalizace bylo taktéž zmenšit riziko porezity v celé oblasti odlitku.

Stejně jako předešlá varianta byla i tato ověřena pomocí simulace tuhnutí. Na následujících obrázcích jsou opět uvedeny řezy jednotlivými nálitky se zobrazením staženin.

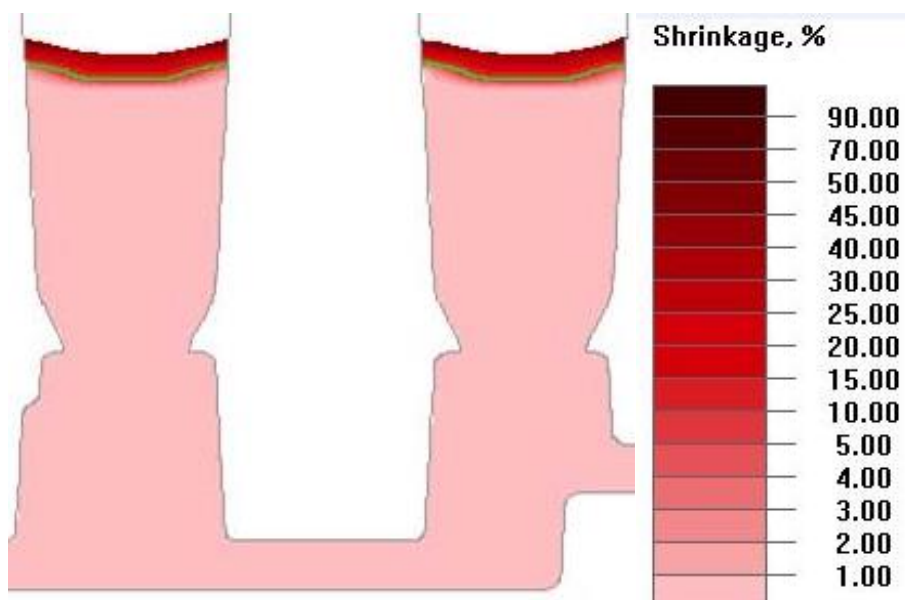


Obr. 65 Řez nálitkem 1 předního dílu – staženina\_V2

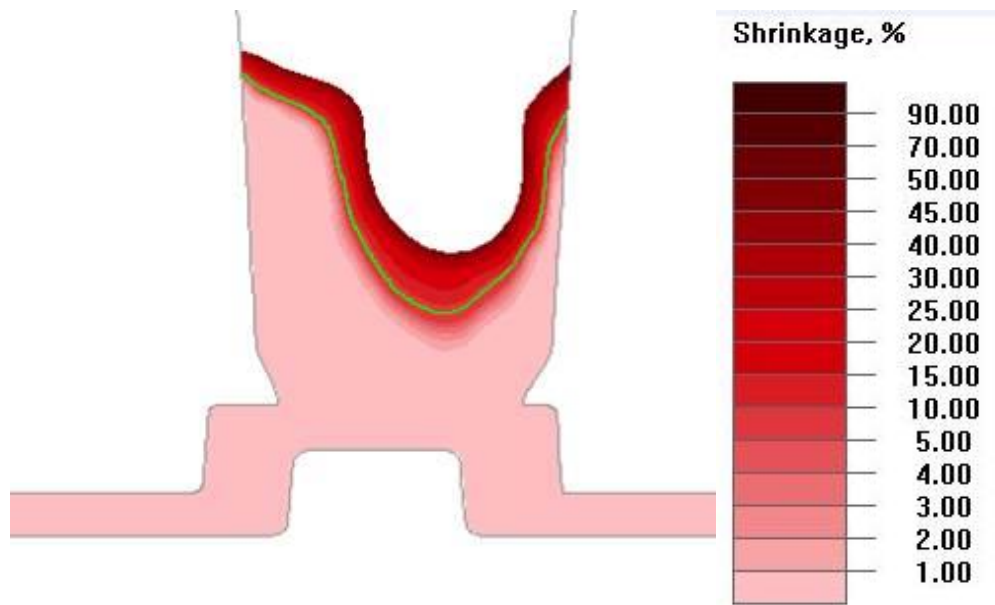
Obrázek 65 se zobrazenou staženinou napovídá, že tato úprava prvního nálitku by také nesplňovala jeho účel, protože jak je z obrázku vidět staženina v nálitku stále zasahuje do odlitku.



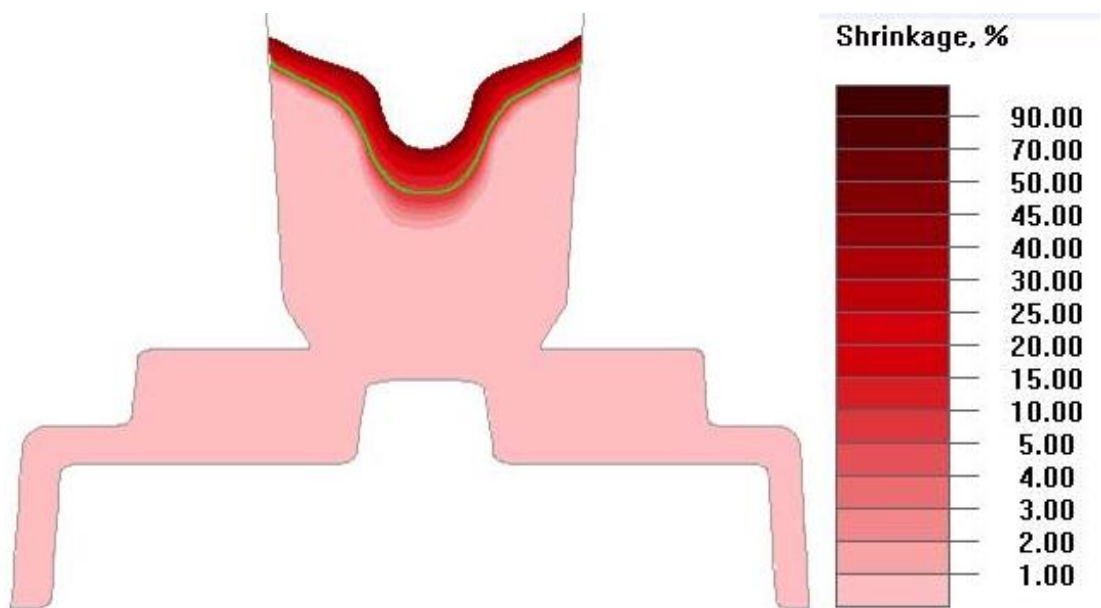
Obr. 66 Řez nálitkem 2 a 3 předního dílu – staženina\_V2



Obr. 67 Řez nálitkem 4 a 5 předního dílu – staženina\_V2

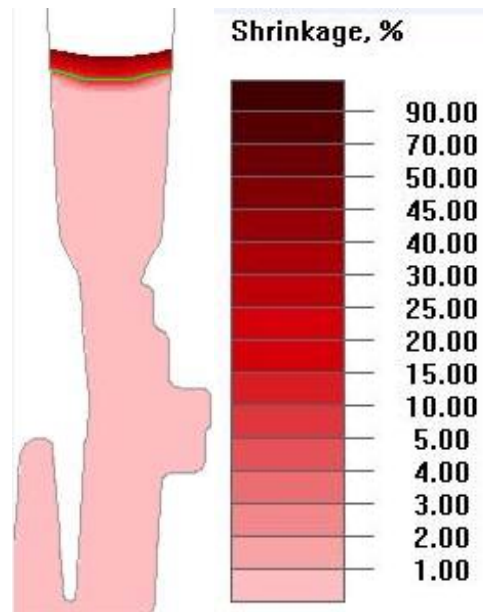


Obr. 68 Řez nálitkem 6 předního dílu – staženina\_V2



Obr. 69 Řez nálitkem 7 předního dílu – staženina\_V2

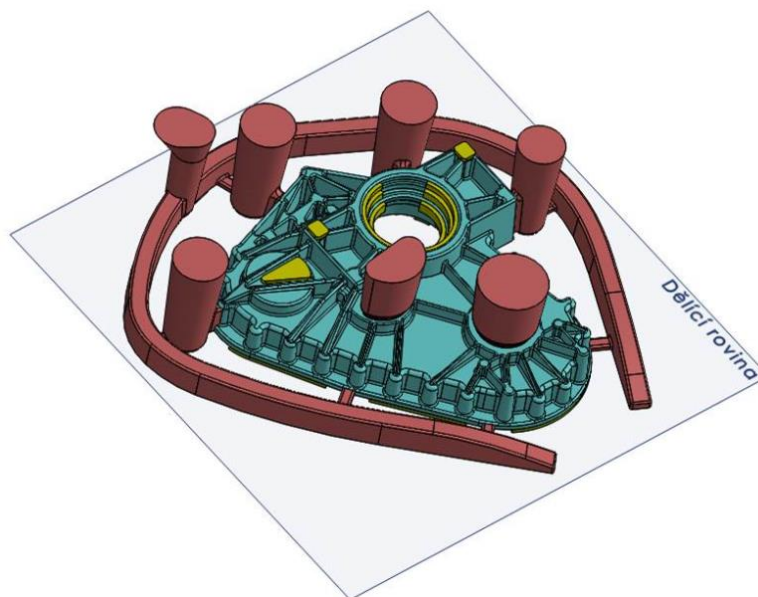




Obr. 70 Řez nálitkem 7 předního dílu – staženina\_V2

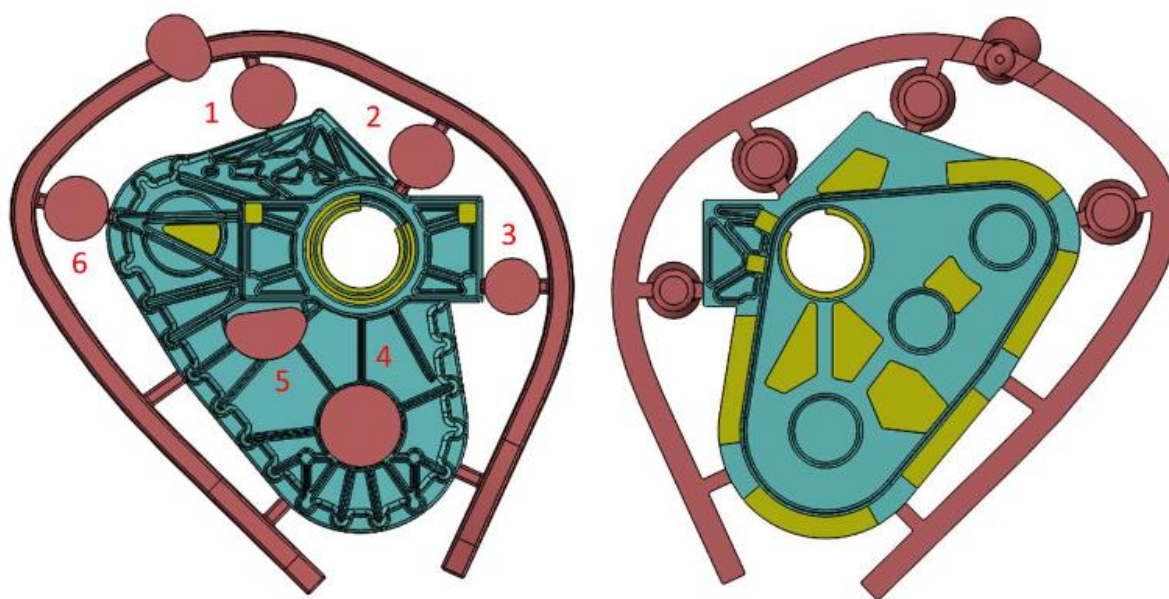
Na obrázcích 66 až 70 jsou zobrazeny staženiny v ostatních nálitcích. Z obrázků vyplývá, že ani z jednoho nálitku nezasahuje staženina od odlitku součásti. Důvody předimenzování nálitků z hlediska procent objemu nálitku kam zasahuje jeho staženina, byly popsány výše. Obrázek 65 dokazuje, že i v této variantě velikosti a rozmístění nálitků přetrvává problém se zanáltkováním části odlitku s výztužným systémem žeber v horní části. Potřebná plocha na odlitku pro náletek jedna si vyžádala přepracování modelu součásti a její vzniknutí mělo za následek zvýšení hmotnosti celé součásti. Dále byly zvětšeny plochy pro nálitky 2 až 5, což mělo podobně neblahý vliv na odlitek z hlediska hmotnosti součásti, potažmo celé sestavy převodové skříně. S přihlédnutím k těmto skutečnostem byl zvolen jiný přístup k umístění nálitků v součásti. Ten bude popsán v následující variantě.

Varianta, která je zde popsána jako varianta číslo 3, byla zároveň finální variantou optimalizace Nálitků. U této varianty byla vytvořena vtoková soustava, která zde bude také popsána. Na této variantě byla provedena kompletní simulace plnění a tuhnutí. Výsledky této simulace budou popsány v následující kapitole 5. Virtuální verifikace. Na následujícím obrázku je tato varianta zobrazena, pro přehlednost je na obrázku zobrazena dělicí rovina formy. Dalším obrázkem je pohled kolmý na odlitek s popisem nálitků společně s kolmým pohledem na vnitřek odlitku.



Obr. 71 Přední díl – poloha nálitků V3

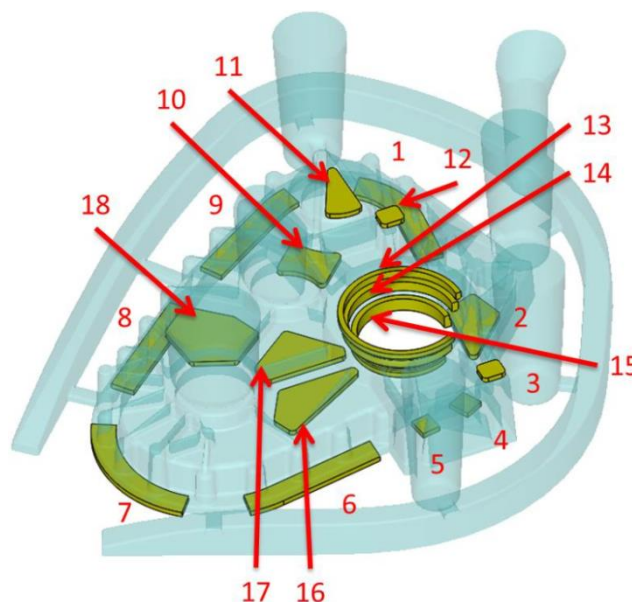
V obrázku 71 jsou zobrazeny čtyři boční přilehlé nálitky kolem problematické části odlitku a dva čelní, které jsou umístěny v prostoru uložení ložisek. Na tomto obrázku je také možné všimnout si 6 chladítek. Ty jsou zvýrazněny žlutou barvou.



Obr. 72 Přední díl – poloha nálitků V3 v pohledech kolmých na odlitek

Jednotlivé nálitky, označené v obrázku 72, jsou popsány v tabulce 37. Na tomto je také zobrazeno rozmístění chladítek v na odlitku. Chladítka použita ve všech odlitcích mají stejnou tloušťku 6 mm a jsou ze stejného materiálu, kterým je litina s lupínkovým grafitem. U všech odlitků v této diplomové práci je geometrie těchto chlaítek zjednodušená. Tímto je myšleno, že

chladítka nedisponují úkosity a rádiusy. K tomuto zjednodušení bylo přistoupeno z hlediska nároku na tvorbu sítě při simulacích. Lepší představu o poloze chladítek v tomto odlitku podává obrázek 73, ve kterém jsou jednotlivá chladítka očíslována. Při návrhu technologie tohoto odlitku bylo použito celkem 18 chladítek.



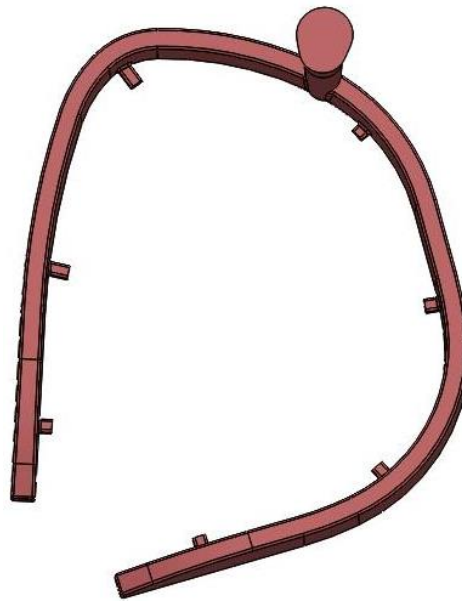
Obr. 73 Přední díl – poloha chladítek V3

Tab. 37 Přední díl – parametry nálitků V3

Nálitěk	Výška [mm]	Objem [cm <sup>3</sup> ]
1	168	618
2	168	618
3	168	455
4	92,5	628
5	92,5	367
6	168	618

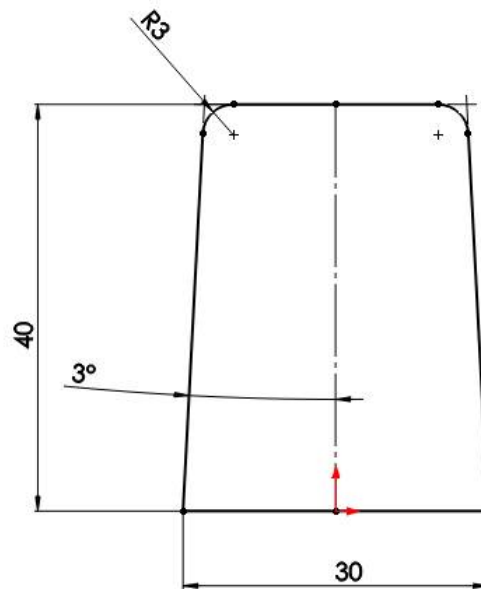
Nyní přistoupíme k popisu vtokové soustavy tohoto odlitku. Vtok pro tento odlitek geometricky vycházel z návrhu, který vznikl po konzultaci s pracovníky slévárny Zadní díl. Velikost vtokové soustavy pro Přední díl byla modifikována s přihlédnutím k diferencí objemů těchto dvou odlitků společně s nálitky. Na následujícím obrázku 74 zobrazen model vtokové soustavy a na obrázku 75 je schematicky znázorněn průřez hlavního rozvodného kanálu a na 76. je schematicky zobrazen průřez zářezu. Z konzultace ve slévárně také vyplynulo, že vtoková

soustava bude přetlaková. Proto je zde uvedena tabulka 39, která obsahuje údaje o ploše průřezu lícího kůlu a součtu průřezů zářezů.

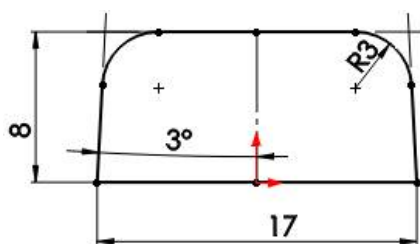


Obr. 74 Přední díl – vtoková soustava

Vtoková soustava má 7 zářezů, což je patrné z obrázku 74.



Obr. 75 Přední díl – průřez hlavního kanálu vtokové soustavy



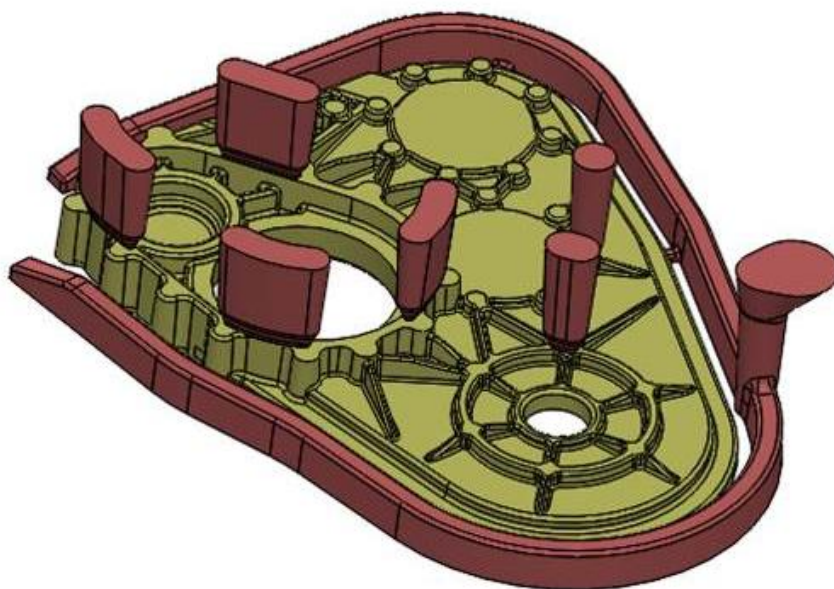
Obr. 76 Přední díl – průřez zářezu

Tab. 38 Přední díl – přehled ploch průřezů vtokové soustavy

Parametry	[cm <sup>3</sup> ]
Plocha lícího kúlu	12,6
Součet průřezů zářezů	9
Rozdíl průřezů	3,6

#### 4. 2. 2. Návrh náliček a vtokové soustavy Zadního dílu

Tento díl byl zvolen za referenční při konzultaci ve slévárně. Toto bylo uvedeno na začátku této kapitoly. Tam byl také uveden obrázek první varianty velikosti a polohy náliček v dílci. Ta zde bude znovu uvedena na obrázcích 77 a 78. Popis varianty bude shodný s popisem variant Předního dílu. Výška formovacího rámu pro odlitek zadního dílu činí 120 [mm].

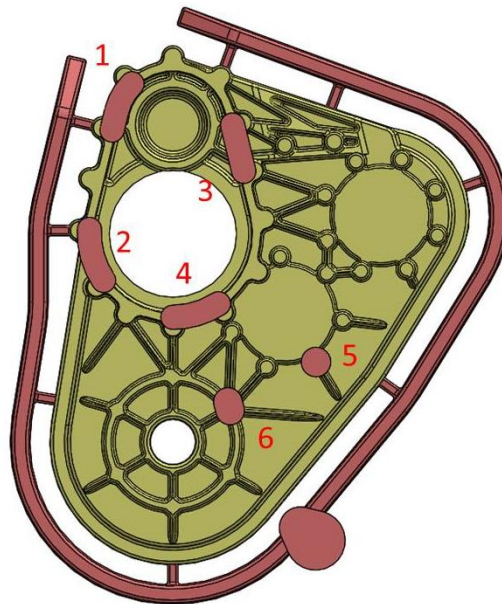


Obr. 77 Zadní díl – poloha náliček V1

Na obrázku 78 je vidět 6 čelních náliček, čtyři z nich jsou umístěny na připojovací ploše dílu Víko se zadním dílem. Další dva jsou umístěny na náličkách pro příruby externích přístrojů. Při tvorbě variant polohy a velikosti náliček byla vytvořena i vtoková soustava. Ta bude podrobněji popsána ve třetí variantě, která je současně variantou finální, která byla použita pro simulace



plnění a tuhnutí. Na obrázku 79 je pohled na nálitky v půdoryse. Jednotlivé nálitky jsou opět označeny pomocí arabských číslic.



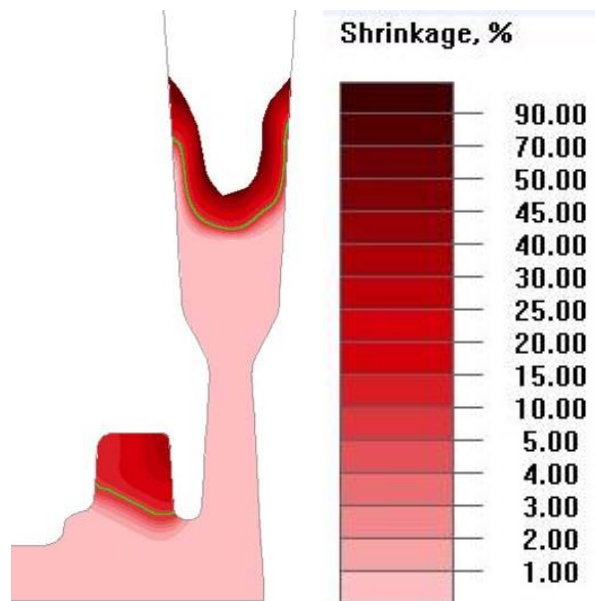
Obr. 78 Zadní díl – poloha nálitků V1 půdorys

Parametry jednotlivých nálitků jsou uvedeny v tabulce 40.

Tab. 39 Zadní díl – parametry nálitků V1

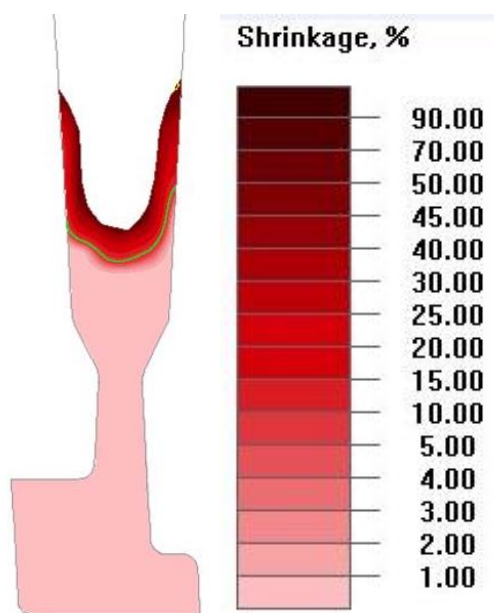
Nálitka	Výška [mm]	Objem [cm <sup>3</sup> ]
1	74,5	100
2	74,5	104
3	74,5	95
4	74,5	96
5	87,5	43
6	87,5	60

Nyní již tradičním způsobem přestoupíme k vyhodnocení staženin ze simulace tuhnutí. Na následujících obrázcích budou zobrazeny řezy nálitky se staženinami a z tohoto pohledu kritická místa v odlitku.



Obr. 79 Řez nálitkem 1 zadního dílu – staženina\_V1

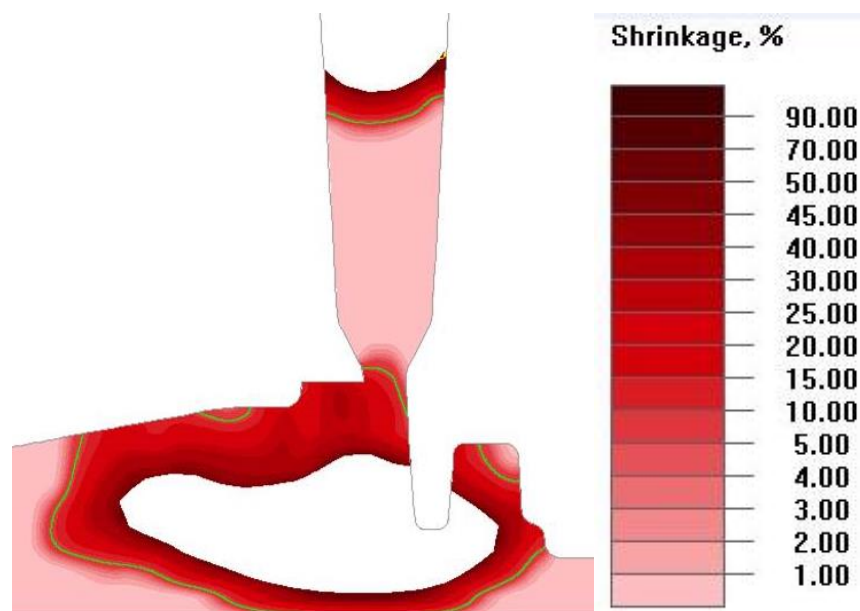
Na obrázku 79 je patrná poměrně výrazná staženina v odlitku součásti. Konkrétně se jedná o část dílu, který slouží jako uložení ložiska hlavního sestupného převodu od pohonné jednotky stroje. V obrázku lze pozorovat nedostatečné dosazovací schopnost nálitku 1.



Obr. 80 Řez nálitkem 2 zadního dílu – staženina\_V1

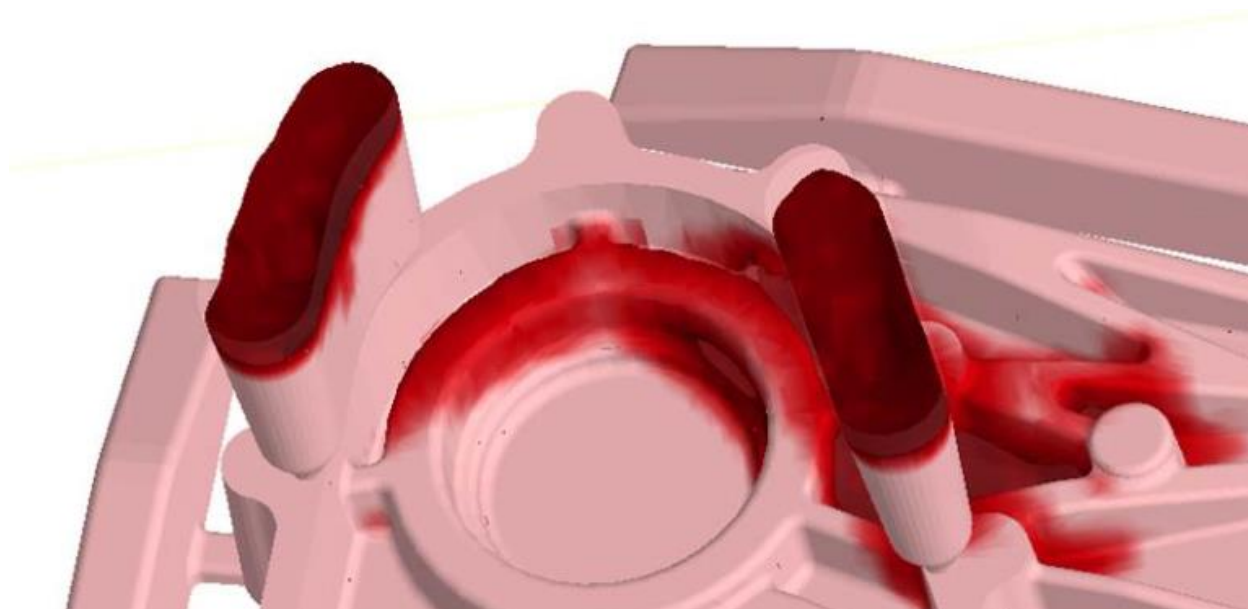
Obrázek 80 zachycuje zobrazení staženiny v nálitku označeného číslem 2. Můžeme zde pozorovat poměrně dobré využití nálitku.





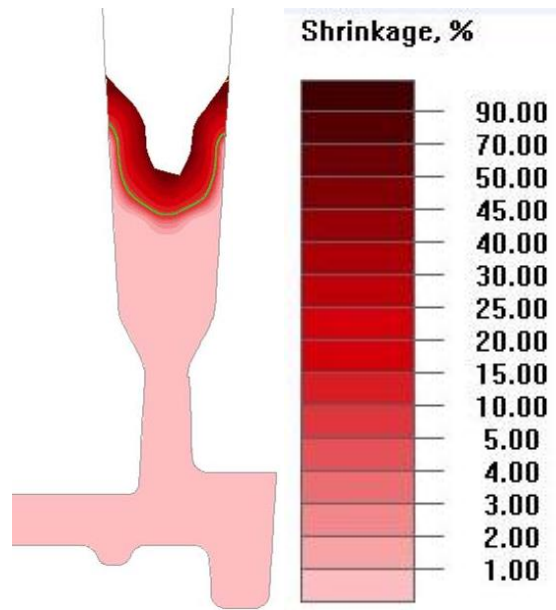
Obr. 81 Řez nálitkem 3 zadního dílu – staženina\_V1

Na tomto obrázku je znázorněné značné poddimenzování nálitky číslo 3. Je zde zobrazena staženina značné velikosti v oblasti odlitku. Z obrázku je dále dobře vidět, že tento nálietek má velice špatnou dosazovací schopnost. Pro lepší představu o staženinách v této oblasti zde bude uveden ještě obrázek 81, který zachycuje oblast odlitku, ve které se vyskytují nálitky 1 a 3.

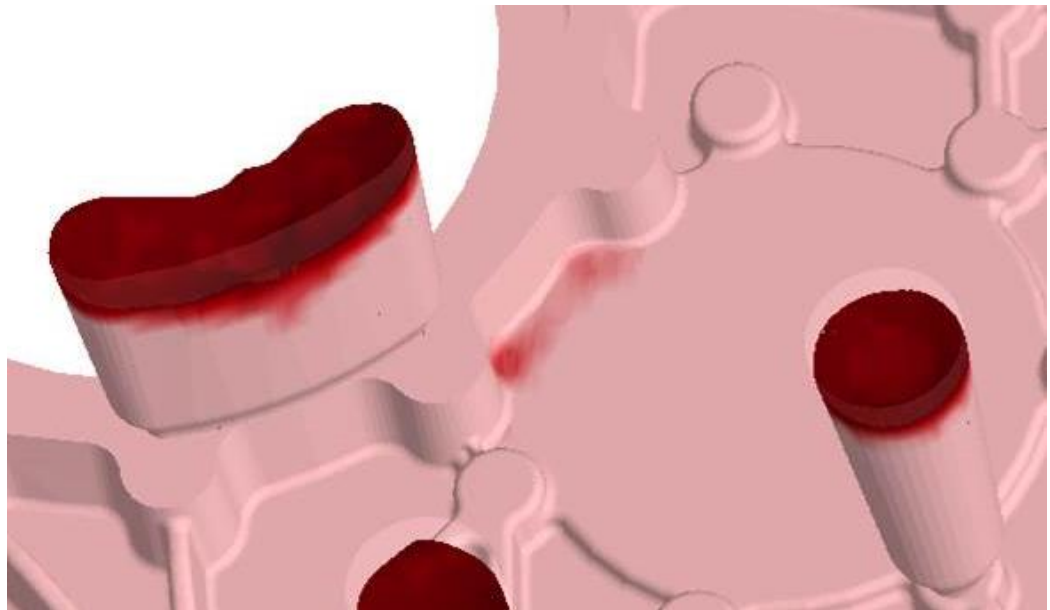


Obr. 82 Oblast mezi nálitky 1 a 3 v zadním dílu – staženina\_V1

Z tohoto obrázku je patrné značné poddimenzování nálitků v této oblasti odlitku.

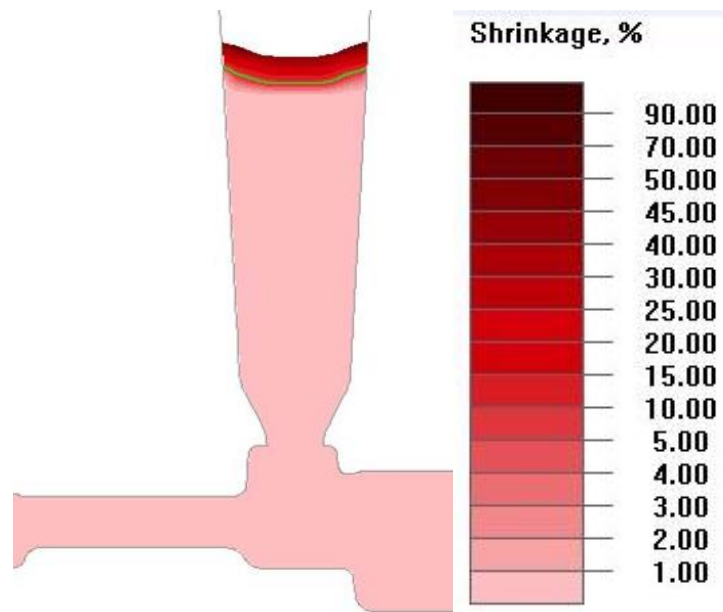


Obr. 83 Řez nálitkem 4 zadního dílu – staženina\_V1

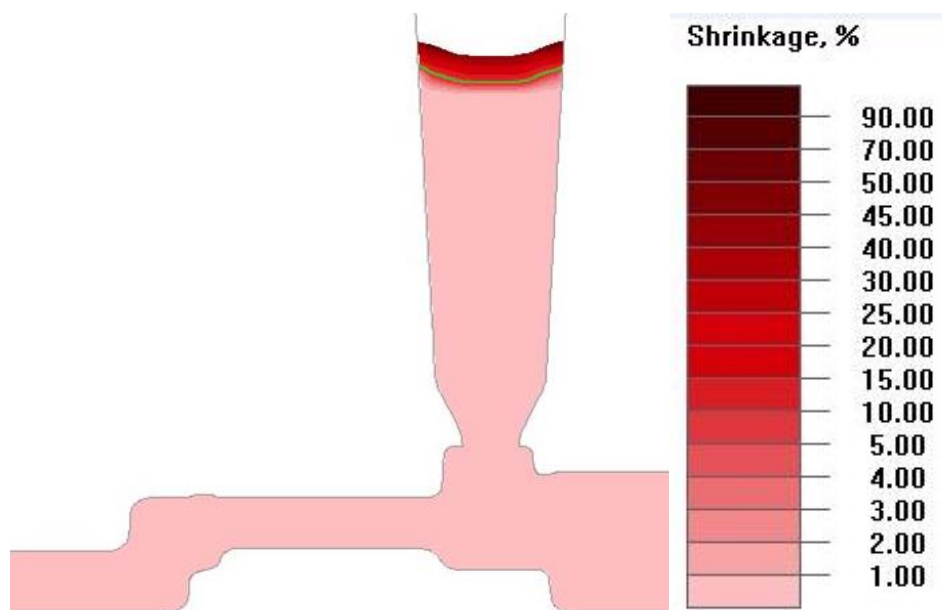


Obr. 84 Oblast nálitku 4 zadního dílu – staženina\_V1

Obrázek 84 zobrazuje další nebezpečné místo tvorby staženiny v odlitku a to v oblasti nálitku 4. Tato oblast je další z oblastí, na kterou bylo nutné se zaměřit při optimalizaci rozmístění a velikosti nálitků. Z předešlých obrázků staženin spolu s tímto je zřejmé, že kritickou částí z tohoto pohledu je oblast uložení sestupného převodu od motoru stroje.

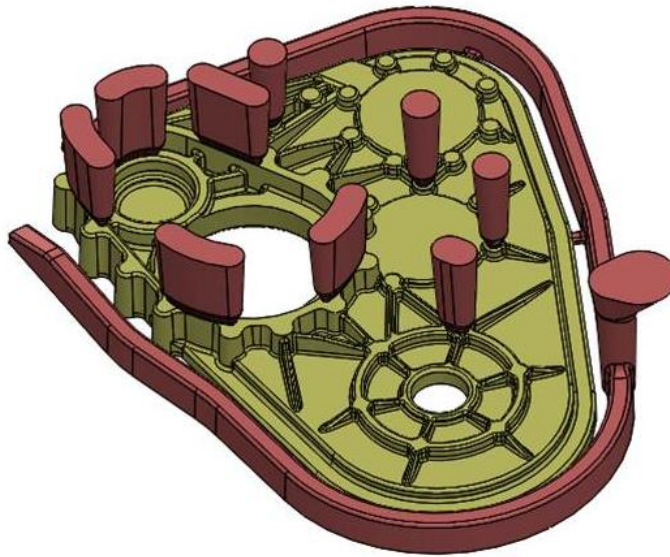


Obr. 85 Řez nálitkem 5 zadního dílu – staženina\_V1



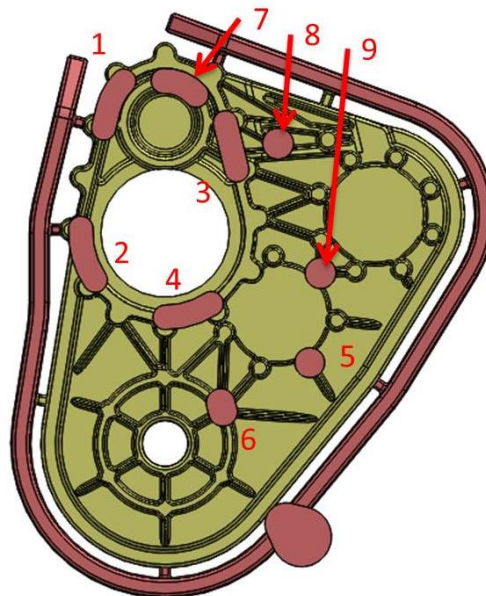
Obr. 86 Řez nálitkem 6 zadního dílu – staženina\_V1

Nyní bude popsána varianta 2 rozmístění a velikosti nálitků v na tomto díle. Jedná se o jednu z řady variant, které byly pro tento díl navrženy. Cílem této varianty byl eliminovat tvorbu staženin, které jsou zobrazeny ve variantě 1. Na obrázcích 87 a 88 se nachází zobrazení této varianty v 3D pohledu a také v půdorysném pohledu, kde jsou jednotlivé nálitky označeny.



Obr. 87 Zadní díl – poloha nálitků V2

Na obrázku 87 je patrná snaha o podpoření eliminace staženiny v horní oblasti odlitku, která byla popsána ve variantě, vytvořením dalších dvou nálitků. Vzhledem ke geometrii součásti byly tyto nálitky vytvořené co možná nejobjemnější. Tato varianta nebyla ideální jak z hlediska polohy nálitků, tak z hlediska odstraňování nálitku, který je na obrázku 88 pod tímto textem označen číslicí 7. Odstranění tohoto nálitku by bylo možné například tak, že by byl odfrézován. Při optimalizaci polohy a velikosti nálitků byly přidány celkem 3 nálitky.



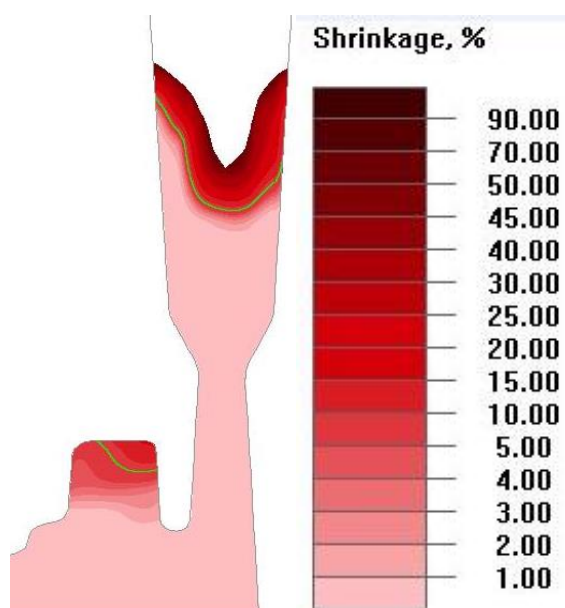
Obr. 88 Zadní díl – poloha nálitků V1 půdorys

Parametry jednotlivých nálitků jsou uvedeny v tabulce 40.

Tab. 40 Zadní díl – parametry nálitků V2

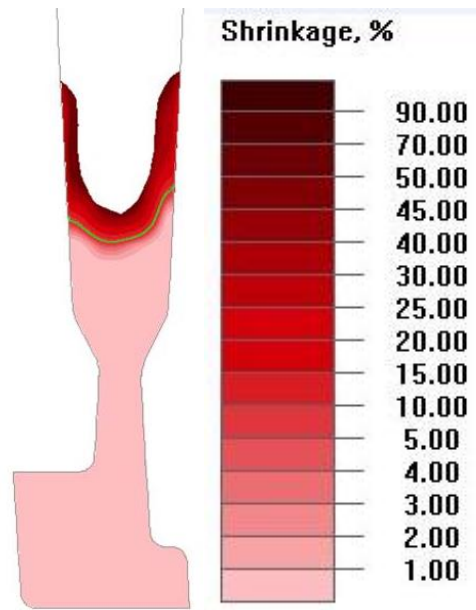
Nálitek	Výška [mm]	Objem [cm <sup>3</sup> ]
1	74,5	100
2	74,5	104
3	74,5	95
4	74,5	96
5	87,5	43
6	87,5	60
7	86,5	91
8	78,3	43
9	87,5	46

Z tabulky 40 lze vysledovat, že velikosti nálitků, které byly popsány v první variantě jejich velikosti a polohy, se nezměnily. Příčinou toho, že nebyly modifikovány je to, že vzhledem ke geometrii součásti by jejich zvětšení bylo obtížně zaformovatelné, anebo zcela nezaformovatelné. Na dalších obrázcích, které jsou zde uvedeny, jsou zobrazeny staženiny v řezech nálitky a v kritických místech odlitku.

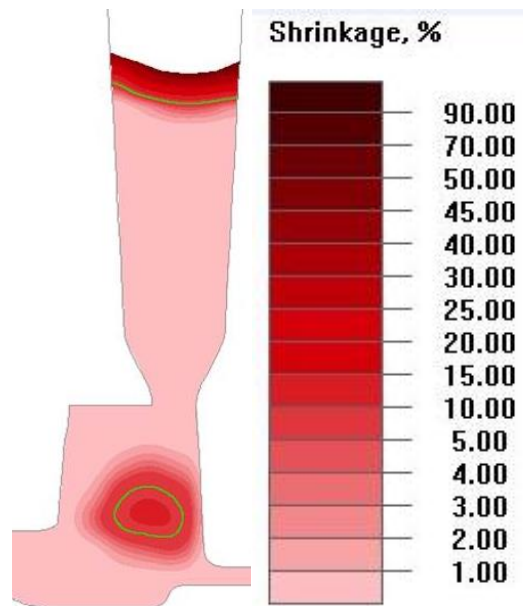


Obr. 89 Řez nálitkem 1 zadního dílu – staženina\_V2

Na obrázku 89 lze vidět určitý progres oproti předešlé variantě, ale staženina stále zůstává v oblasti odlitku. Tento jev je dán nedostačujícím zanálitkováním této oblasti, což je možné také sledovat na obrázcích týkajících se nálitků 2, 3, 7 a 8, ty jsou umístěny dále v popisu této varianty.



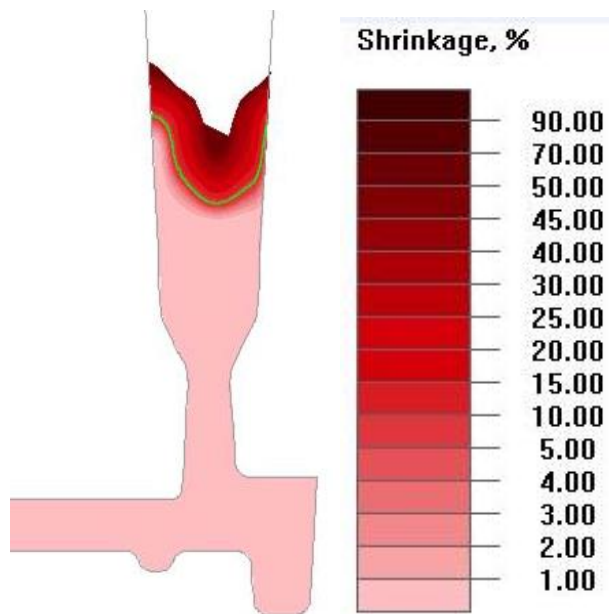
Obr. 90 Řez nálitkem 2 zadního dílu – staženina\_V2



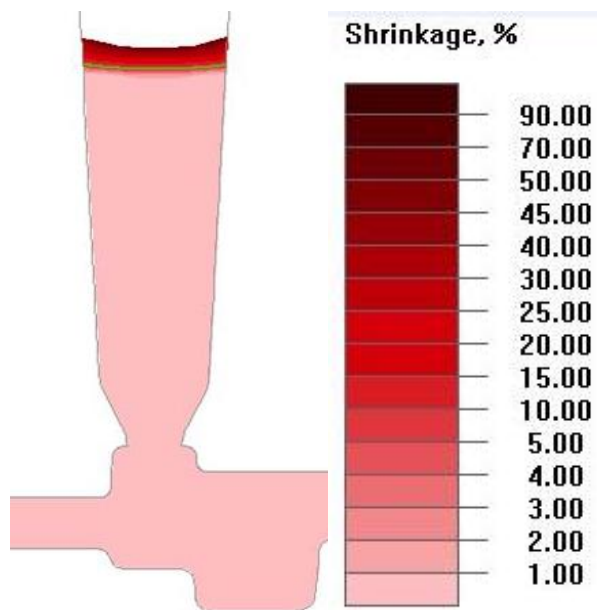
Obr. 91 Řez nálitkem 3 zadního dílu – staženina\_V2

Pokud se zaměříme na řez nálitkem číslo 3 a porovnáme ho s předešlou variantou, tak zde můžeme pozorovat určité zlepšení, co se týče staženiny v odlitku. Nicméně z obrázku je jasné, že vliv na toto zlepšení měly nálitky 7 a 8. Návrh tohoto nálitku se opět potýká s problémy funkčnosti. Toto by bylo změnit jeho geometrii, což se týká všech nefunkčních nálitků v této variantě. Tato změna by znamenala razantní úpravy konstrukce celého dílu převodové skříně.





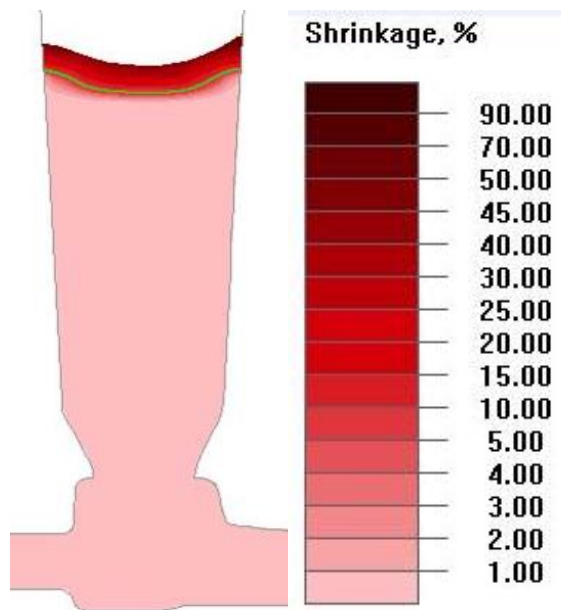
Obr. 92 Řez nálitkem 4 zadního dílu – staženina\_V2



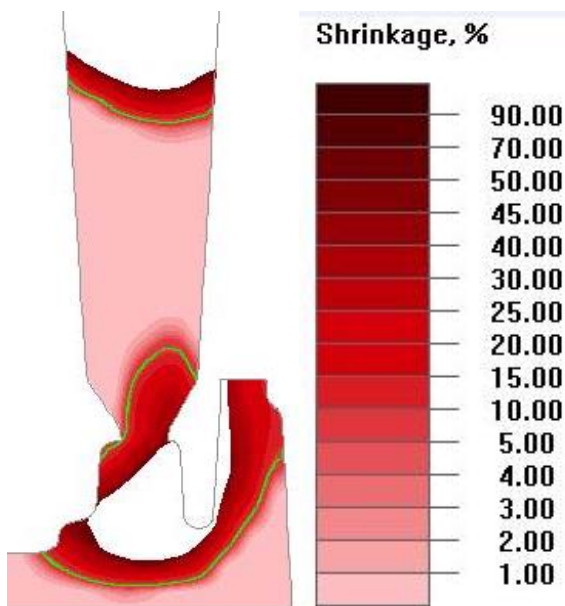
Obr. 93 Řez nálitkem 5 zadního dílu – staženina\_V2

Řez nálitkem číslo 5, který je zobrazen na obrázku 93 ukazuje nefunkčnost těchto štíhlých a vysokých nálitků. Toto je ještě lépe patrné z obrázku 97, který se týká nálitku v kritické oblasti tohoto odlitku. Stejný jev je vidět také v nálitkách 5, 6 a 9. Řezy těmito nálitky jsou zobrazeny na dalších obrázcích.



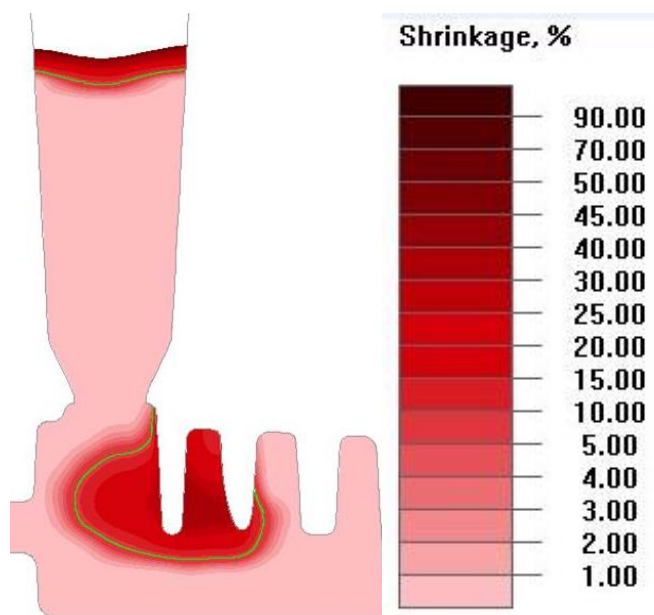


Obr. 94 Řez nálitkem 6 zadního dílu – staženina\_V2



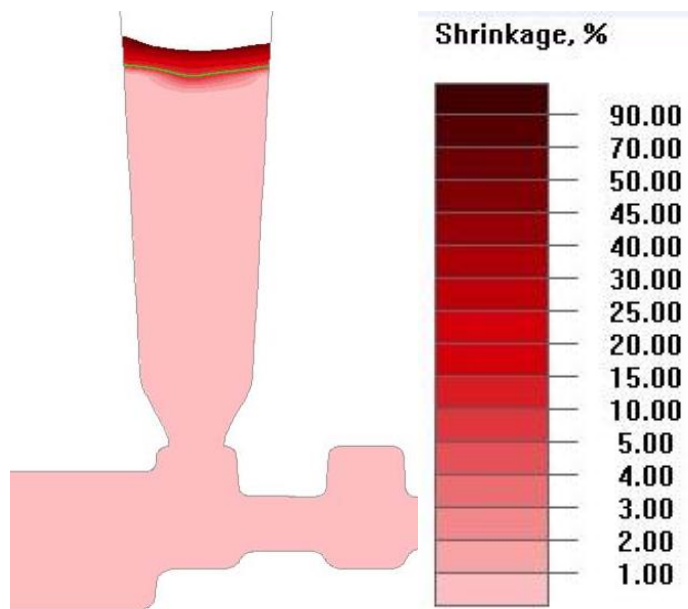
Obr. 95 Řez nálitkem 7 zadního dílu – staženina\_V2

Nálitok 7, jehož řez je možno vidět na obrázku 95, byl umístěn do uložení ložiska, nicméně vzhledem ke geometrii tohoto místa nemohl být nálitok robustnější. Opět se zde projevuje, že kov v ústí nálitku ztuhl dříve než nálitok samotný a proto nemohl dále dosazovat do odlitku. Dále je z tohoto řezu patrné, jak je nálitok nevhodně umístěn z hlediska formování odlitku a také z pohledu následného odstraňování nálitků. Detailnější pohled na tuto kritickou oblast v odlitku je možno sledovat na obrázku 98.

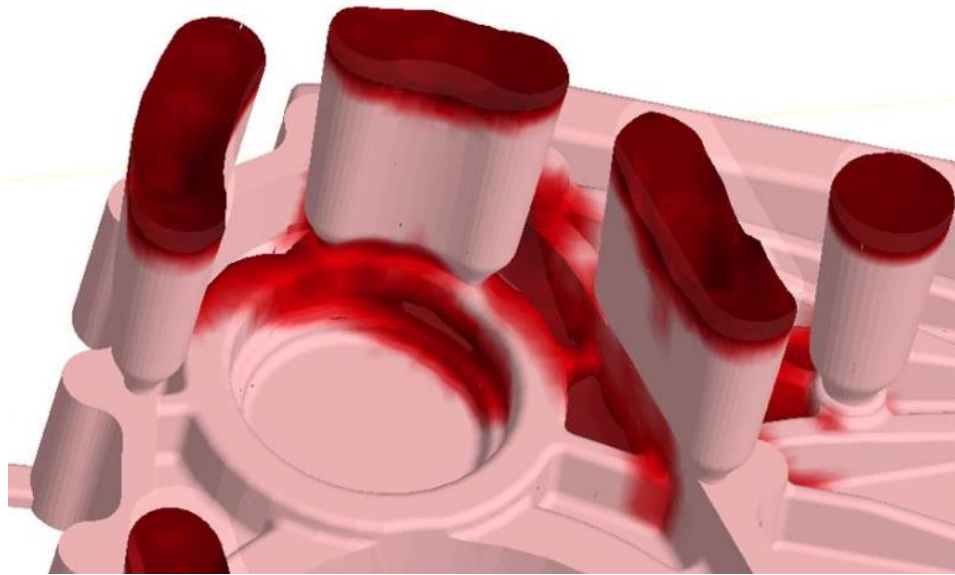


Obr. 96 Řez nálitkem 8 zadního dílu – staženina\_V2

Pokud se zaměříme na vyhodnocení staženiny v řezu součástí, který prochází nálitkem 8, tak zde musíme konstatovat stejnou skutečnost jako u předešlých nálitků tohoto typu. Tou je jen malá účinnost těchto nálitků, vzhledem ke staženině nacházející se v oblasti odlitku v blízkosti tohoto nálitku.



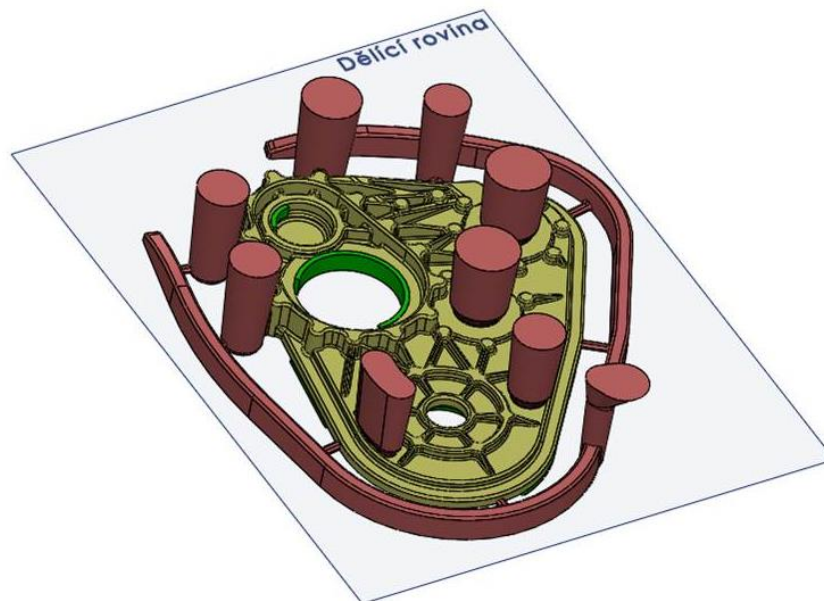
Obr. 97 Řez nálitkem 9 zadního dílu – staženina\_V2



Obr. 98 Zadní díl – staženina v kritické oblasti\_V2

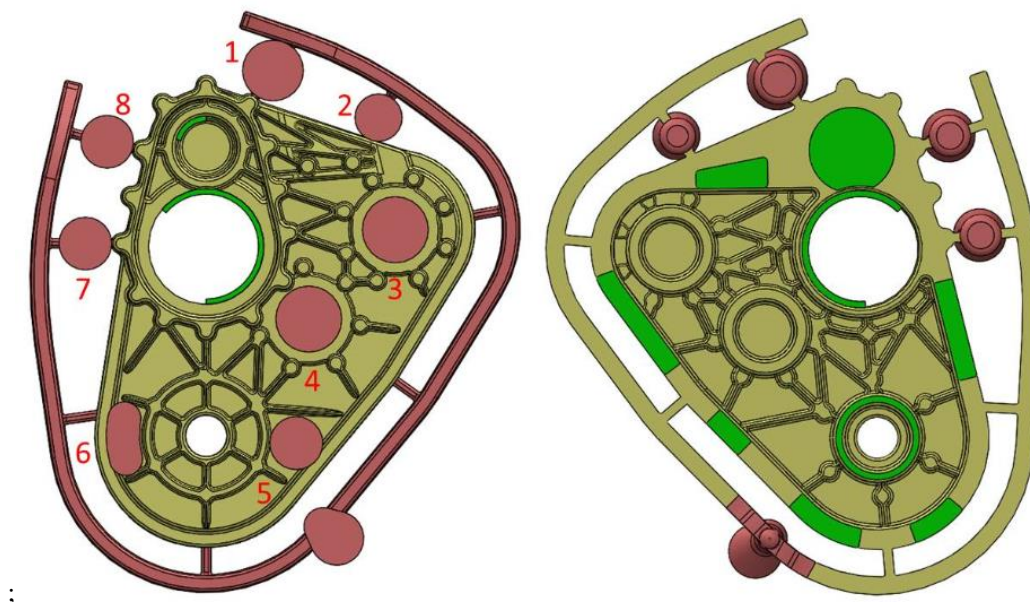
Při porovnání obrázku 95 s obrázkem z předešlé varianty týkající se této oblasti můžeme konstatovat, že přidáním nálitků 7 a 8 se staženina uvnitř odlitku zmenšila nedostatečně a už vůbec se jí nepodařilo eliminovat. Oblast je poměrně masivně zanálitkována, ale bohužel nefunkčními nálitky. Důvod nefunkčnosti těchto nálitků byl uveden v předešlých odstavcích.

Nyní přejdeme k popisu finální varianty, tedy varianty, na které byla provedena simulace plnění a tuhnutí. Tato varianta bude v tomto textu označena stejně jako v popisu předešlého dílce a to variantou 3. Na následujících dvou obrázcích 99 a 100 se nacházejí pohledy na 3D model této varianty s označením jednotlivých nálitků. V této variantě bude, stejným způsobem jako u dílu Přední díl, popsána i vtoková soustava odlitku.



Obr. 99 Zadní díl – poloha nálitků V3

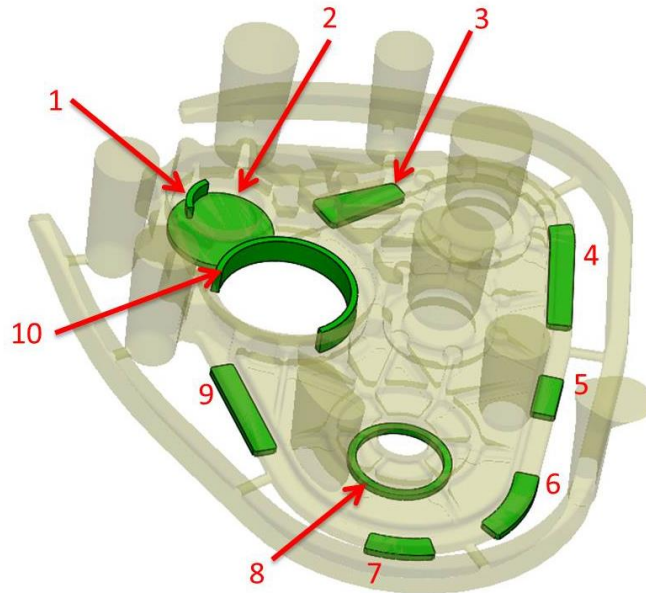
Na obrázku 99 jsou vidět změny, které prodělali nálitky. Namísto čelních nálitků, které byly z geometrických důvodů součástí neúčinné, jsou okolo části odlitku, kterou se nepodařilo vyřešit v předešlých verzích, použity 4 boční nálitky. Na zbytku odlitku jsou vytvořeny čelní nálitky s větším modulem než měly nálitky v předešlých variantách. K usměrnění tuhnutí odlitku byla použita chladítka.



Obr. 100 Zadní díl – poloha nálitků V3 v pohledech kolmých na odlitek

Chladítka samotná a jejich rozmístění je možné sledovat na obrázku 100. Na tomto obrázku se nacházejí i označené nálitky. Tyto nálitky budou popsány v tabulce 41. Pro lepší představu o

poloze a tvaru chladítek slouží obrázek 101. V něm jsou chladítka označena zelenou barvou a jsou očíslována. Z obrázku je také patrné, že při této variantě rozmístění a velikosti nálitků bylo použito 10 chladítek. Materiál, ze kterého jsou vyrobená, je, jak bylo napsáno v popise dílu Přední díl, litina s lupínkovým grafitem.

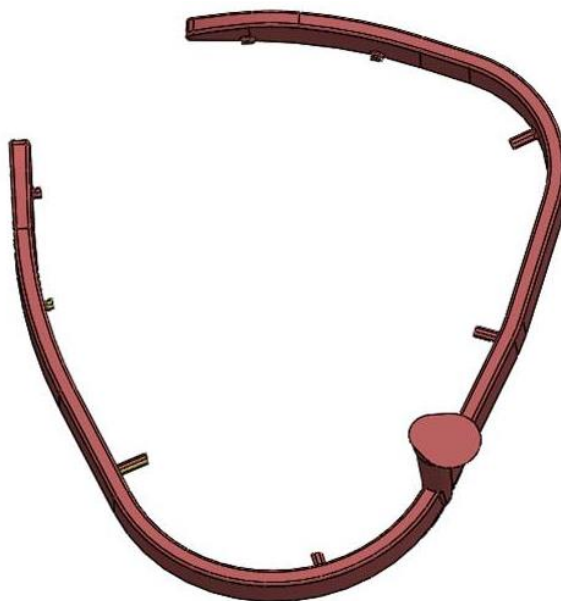


Obr. 101 Zadní díl – poloha chladítek V3

Tab. 41 Zadní díl – parametry nálitků V3

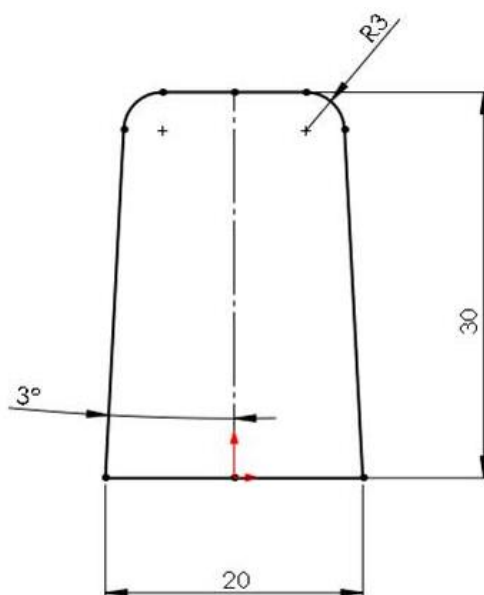
Nálitěk	Výška [mm]	Objem [cm <sup>3</sup> ]
1	128	212,5
2	128	374
3	92,5	336
4	92,5	336
5	97,5	218
6	97,5	214
7	128	272
8	128	272

Nyní přistoupíme k popisu vtokové soustavy tohoto odlitku. Jak je uvedeno na začátku kapitoly, tento díl sloužil jako podklad při konzultaci ve slévárně, proto byla jeho vtoková soustava zvolena za referenční pro ostatní odlitky. Na obrázku 101 je 3D model této vtokové soustavy.



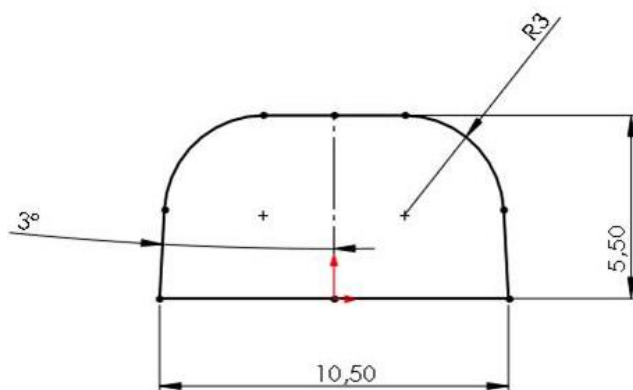
Obr. 102 Zadní díl – vtoková soustava

Na obrázku 101 je možno sledovat, že vtoková soustava má 8 zářezů. Samozřejmě i tato vtoková soustava byla konstruována jako přetlaková, což je patrné z tabulky 42. Na následujících obrázcích je schematicky zobrazen průřez hlavním kanálem a průřez zářezu.



Obr. 103 Zadní díl – průřez hlavního kanálu vtokové soustavy





Obr. 104 Obr. 103 Přední díl – průřez zářezu

Tab. 42 Zadní díl – přehled ploch průřezů vtokové soustavy

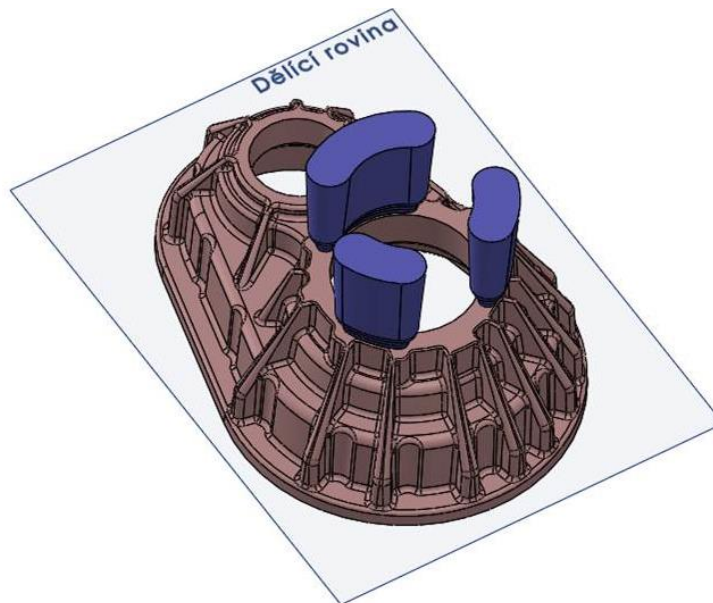
Parametry	[cm <sup>3</sup> ]
Plocha liciho kúlu	5,35
Součet průřezů zářezů	4,16
Rozdíl průřezů	1,19

#### 4. 2. 2. Návrh nálitků a vtokové soustavy Víka

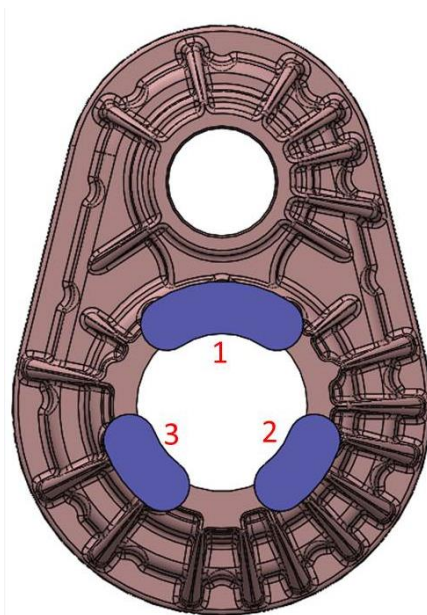
Víko je posledním dílem, na kterém byla provedena optimalizace umístění a velikosti nálitků. Oproti předešlým dvou odlitkům jsou zde uvedeny 2 varianty. Z toho u prvního je návrh podpořen provedením simulace tuhnutí a u varianty označené jako 2 je v následující kapitole popsána vytvořená simulace plnění a tuhnutí tekutého kovu v dutině formy.

Nyní přistoupíme k popisu první varianty umístění a velikosti nálitků v této součásti. 3D model součásti s nálitky a s dělicí rovinou je zobrazen na obrázku 104. Na dalším obrázku je zobrazen odlitek v půdorysu. Pro odlití tohoto dílu byl zvolen formovací rám výšky 160 [mm]





Obr. 105 Víko – poloha nálitků V1



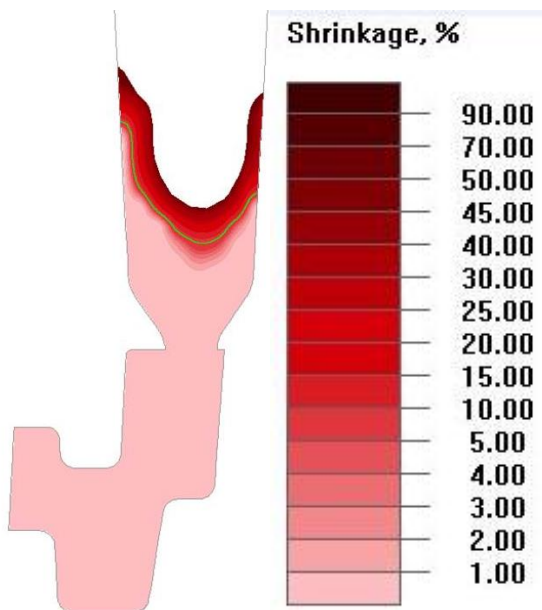
Obr. 106 Víko – poloha nálitků V1 půdorys

V této variantě byly vytvořeny 3 čelní nálitky, které byly umístěny na nevyšší položené plochy odlitku. Jednotlivé nálitky jsou označeny číslicemi v obrázku 105. Tyto nálitky jsou podrobněji popsány v tabulce 43.

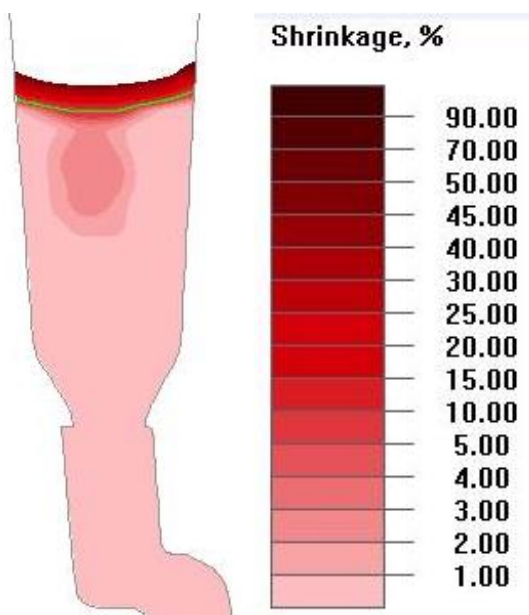
Tab. 43 Víko – parametry nálitků V1

Nálitek	Výška [mm]	Objem [cm <sup>3</sup> ]
1	67	106,9
2	67	64,7
3	67	64,7

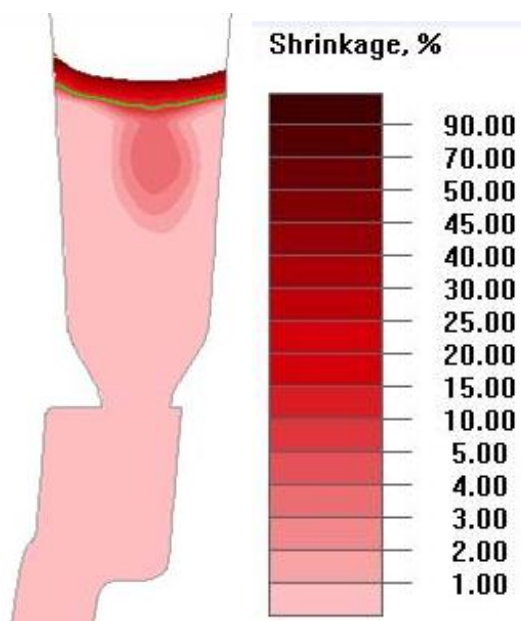
Na následujících obrázcích budou zobrazeny řezy nálitky a oblastmi odlitku v jejich okolí.



Obr. 107 Řez nálitkem 1 víka – staženina\_V1



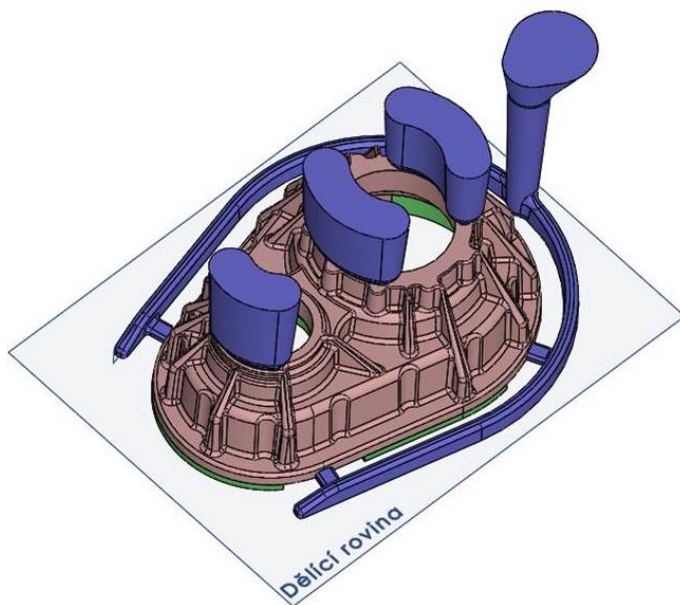
Obr. 108 Řez nálitkem 2 víka – staženina\_V1



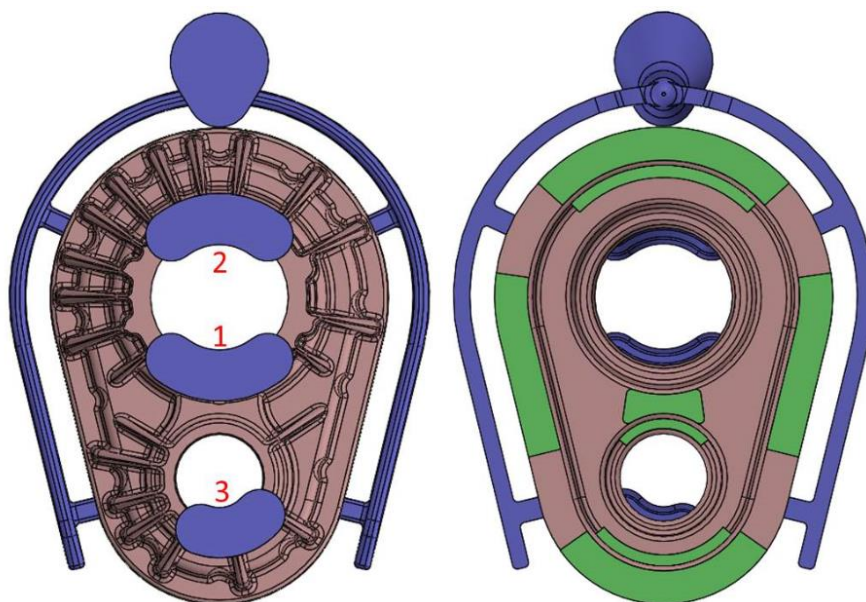
Obr. 109 Řez nálitkem 3 víka – staženina\_V1

Z obrázků 106 až 108 je patrné, že se staženina tvoří uvnitř nálitků. Po detailnějším prozkoumání návrhu hrozilo nebezpečí vzniku porezity a menších staženin v místě otvoru pro hřídel, které nebylo v této variantě opatřeno nálitkem. Po rozvaze nad touto hrozbou bylo přistoupeno k tvorbě další varianty polohy a velikosti nálitků, s tím, že v této druhé variantě jsou přepracovány i stávající nálitky.

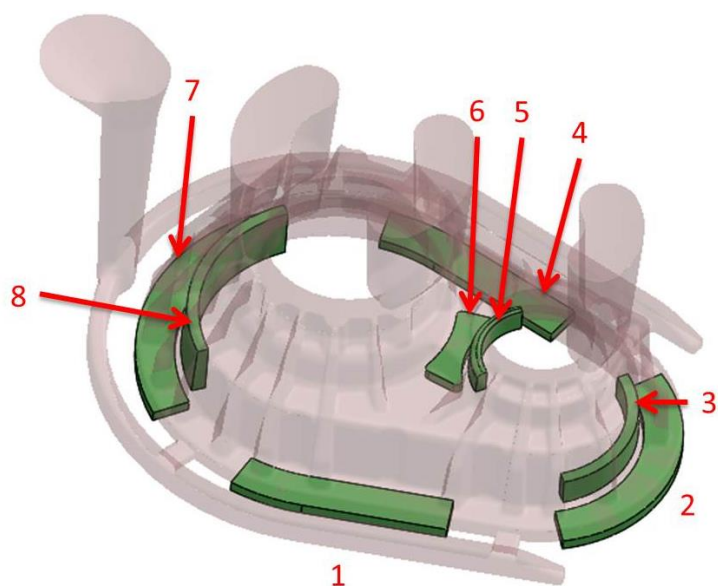
Nyní přejdeme k popisu druhé varianty návrhu polohy a velikosti nálitků. Také zde bude popsána vtoková soustava a rozmístění chladítek. Na obrázku 109 je znázorněn tento odlitek ve 3D pohledu. V tomto obrázku je také znázorněna dělicí rovina formy. Dále si lze povšimnout přítomnosti nálitku umístěného nad druhým uložením ložiska vstupní hřídele. Také je z obrázku patrné, že dva menší nálitky, které byly zobrazeny v obrázcích předešlé varianty, byly nahrazeny jedním větším označeným číslicí 2 v obrázku 110. Bližší informace o nálitcích jsou obsaženy v tabulce 44. V této variantě bylo také, jako u předešlých odlitků, použito chladítek z litiny s lupínkovým grafitem. Jejich počet je osm a jsou zobrazeny na obrázku 111.



Obr. 110 Víko – poloha nálitků V2



Obr. 111 Víko – poloha nálitků V2 v pohledech kolmých na odlitek

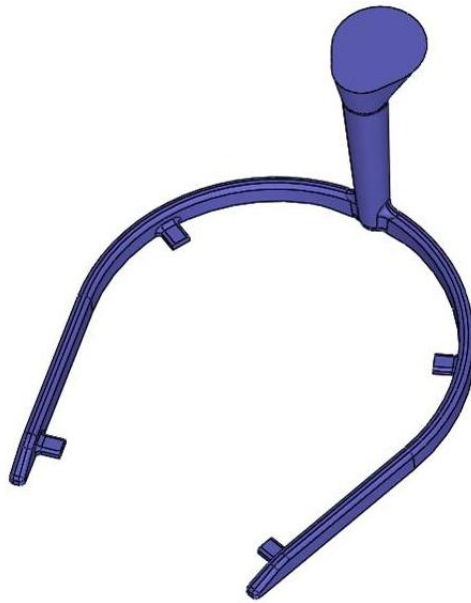


Obr. 112 Víko – poloha chladítek V2

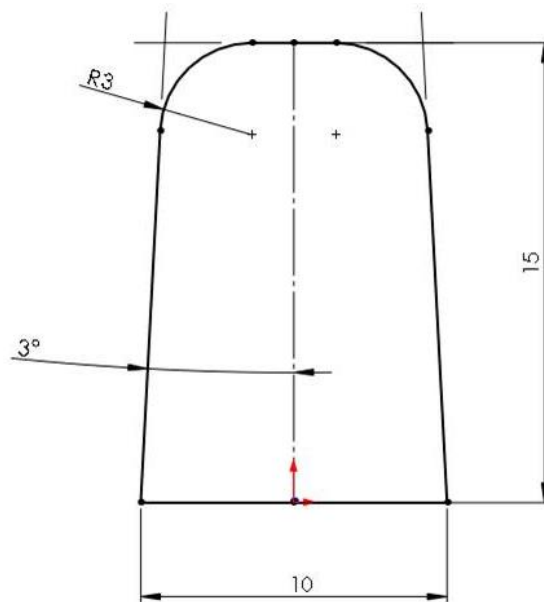
Tab. 44 Víko – parametry nálitků V1

Nálitek	Výška [mm]	Objem [cm <sup>3</sup> ]
1	67	149,5
2	67	149,5
3	82	125,5

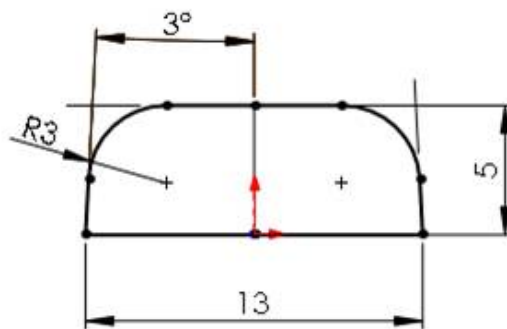
Vtoková soustava odlitku Víko je stejně jako vtoková soustava pro Přední díl modifikovanou vtokovou soustavou dílu Zadní díl. Popis této vtokové soustavy proběhne stejným způsobem jako u předešlých dvou dílů. Jen pro úplnost zde bude uvedeno, že u všech třech odlitků byla vtoková soustava konstruována jako vtoková soustava přetlaková. Na následujícím obrázku 113 je zobrazen vtok pro tento odlitek a na dalších dvou je zobrazen průřez hlavního kanálu vtokové soustavy a také průřez zářezu. V tomto případě odlitku byly vytvořeny čtyři zářezy. Po těchto obrázcích následuje tabulka 45, ve které jsou uvedeny průřezy licího kúlu a zářezů.



Obr. 113 Víko – vtoková soustava



Obr. 114 Víko – průřez hlavního kanálu vtokové soustavy



Obr. 115 Zadní díl – průřez zářezu

Tab. 45 Zadní díl – přehled ploch průřezů vtokové soustavy

Parametry	[cm <sup>3</sup> ]
Plocha licího kúlu	3,15
Součet průřezů zářezů	1,8
Rozdíl průřezů	1,35

## 5. Virtuální verifikace

Tato část diplomové práce se zaměřuje na vyhodnocení výsledků analýz plnění a tuhnutí odlitků, které byly popsány v předešlé kapitole. Konkrétně se jedná vždy o poslední popisovanou variantu polohy a velikosti nálitků. U odlitků Přední díl a Zadní díl jde o variantu číslo 3 a u posledního dílu nazvaného Víko půjde o variantu číslo 2.

Nyní přistoupíme k popisu zadání vstupních dat do simulace. Tabulka 46 obsahuje vstupní data týkající se materiálu odlitku, chladítek a formovací směsi.

Tab. 46 Použitá slitina hliníku při simulaci

	Materiál	Teplota [°C]
<b>Materiál odlitku</b>	EN AC-42100	720
<b>Materiál formy</b>	Bentonit (Green sand)	20
<b>Materiál chladítek</b>	Litina s lipínkovým grafitem (Gray iron)	20
<b>Vzduch v dutině formy</b>	Vzduch v dutině formy (Air in mold)	20

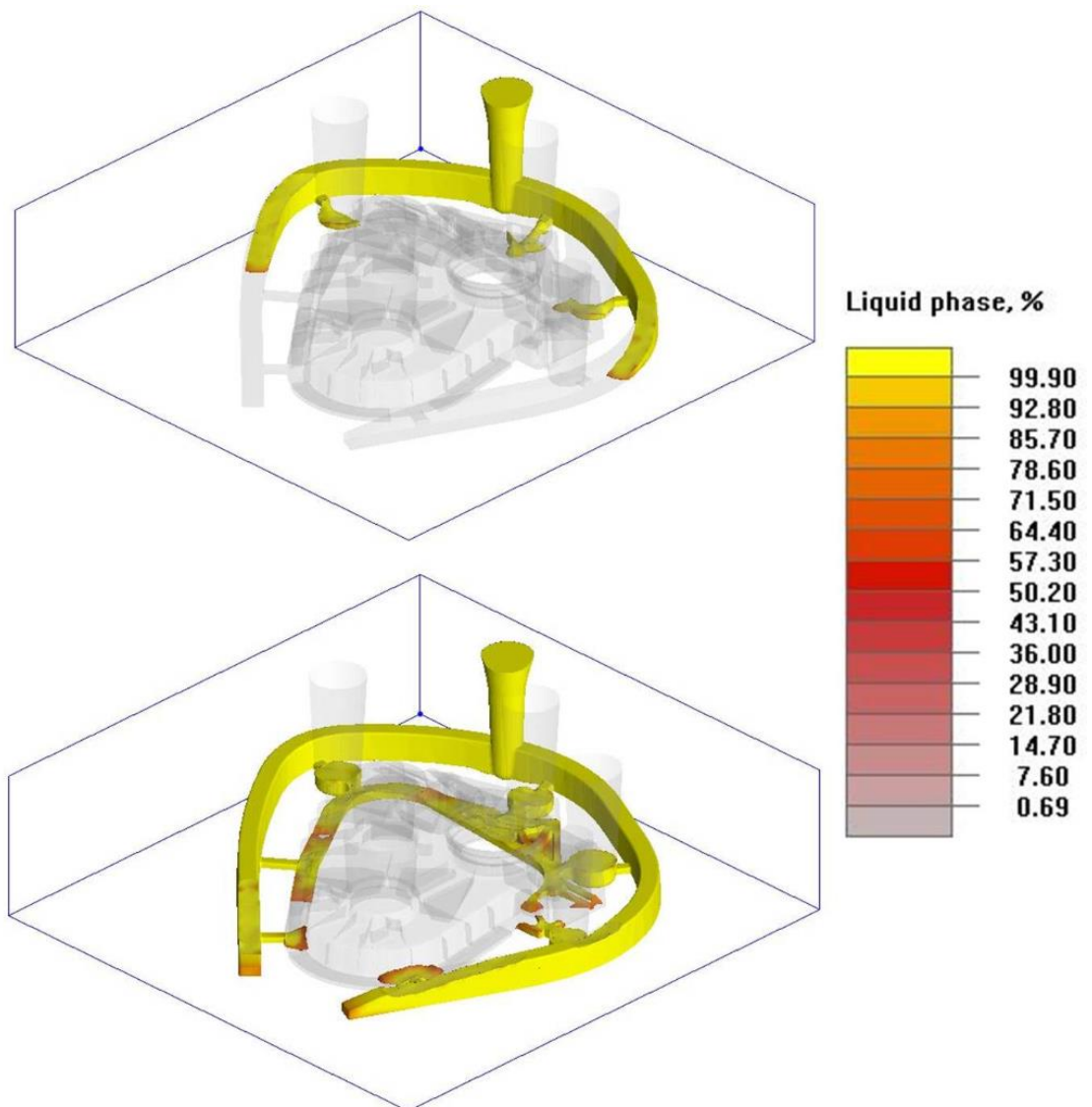
Tato vstupní data simulace jsou stejná pro všechny simulace, které jsou zde uvedeny. Poslední důležitou informací, kterou je třeba uvést je simulační software. Použitý software pro simulaci byl NovaFlow & Solid® verze 4.60 od společnosti NovaCast systems.

### 5. 1. Virtuální verifikace předního dílu

Varianta 3 optimalizace polohy a velikosti nálitků, jejíž výsledky simulace plnění a tuhnutí zde budou uvedeny, byla popsána v předešlé kapitole. Z těchto důvodů zde nejsou uvedeny parametry a informace o vtokové soustavě, nálitcích a rozmístění chladítek. Všechny potřebné informace se nacházejí v kapitole 4.

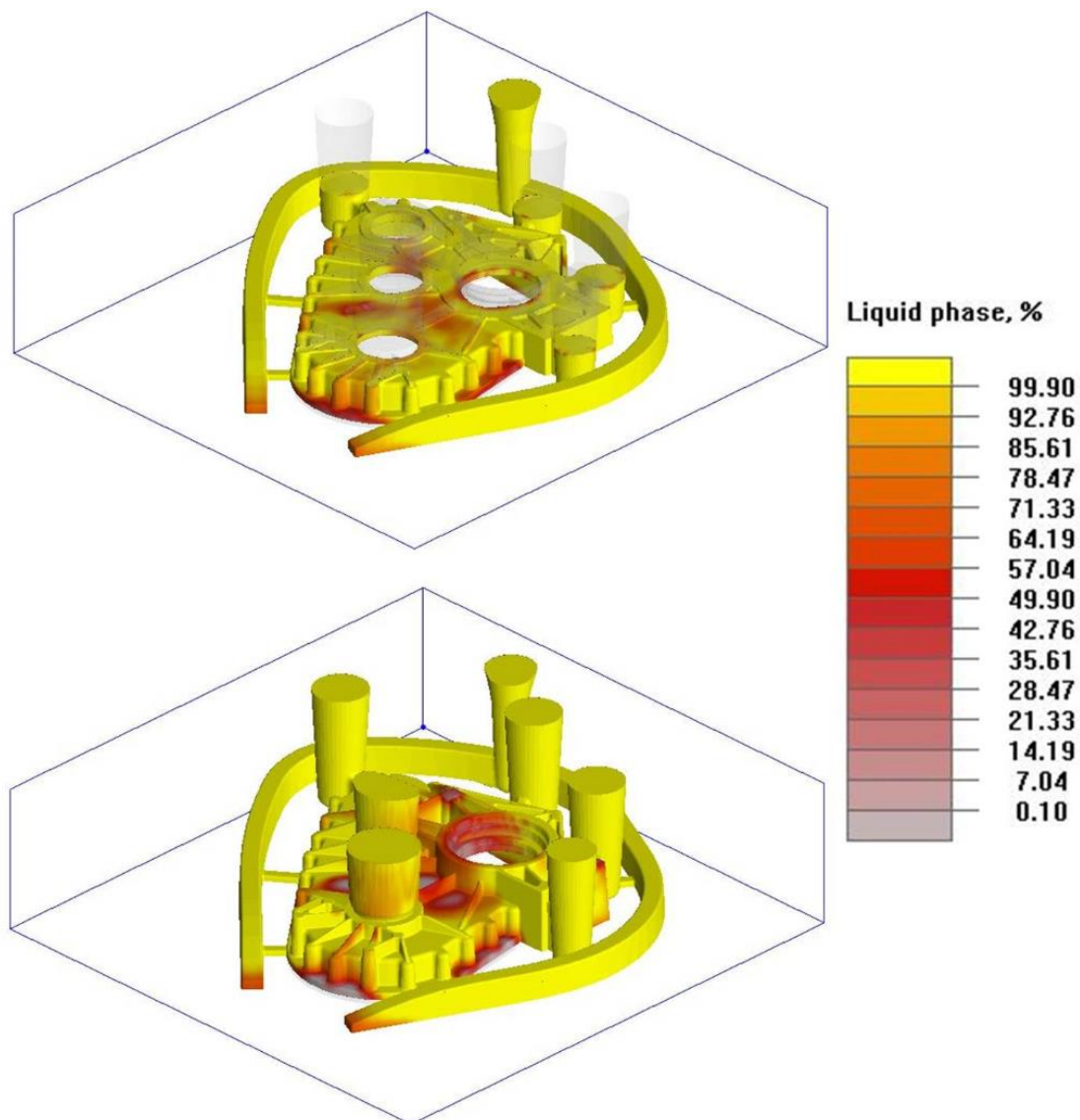


### 5. 1. 1. Přední díl – plnění dutiny formy odlitku, plnicí čas a čas tuhnutí



Obr. 116 Přední díl – počátek plnění dutiny formy

Plnění dutiny formy je zobrazeno na obrázcích 116 a 117 pomocí zobrazení tekuté fáze. Na obrázku 116 je možné sledovat počátek plnění formy. Dále je možné povšimnout si, že plnění dutiny formy probíhá rovnoměrně všemi zářezy vtokové soustavy. Doba zaplnění formy do této úrovně činí přibližně 2,4 s.



Obr. 117 Přední díl – průběh plnění dutiny formy

Obrázek 117 dokumentuje průběh plnění zhruba od poloviny zaplnění dutiny až po zaplnění celého objemu. Obrázek dále vypovídá o tom, že během simulace se tekutá fáze taveniny nachází v oblastech náliček. Místa, která jsou zobrazeny odstíny s nižším procentem tekuté fáze, se nacházejí v blízkosti chladítek. V tabulce 47 budou uvedeny časy plnění objemu dutiny formy společně s časem tuhnutí.

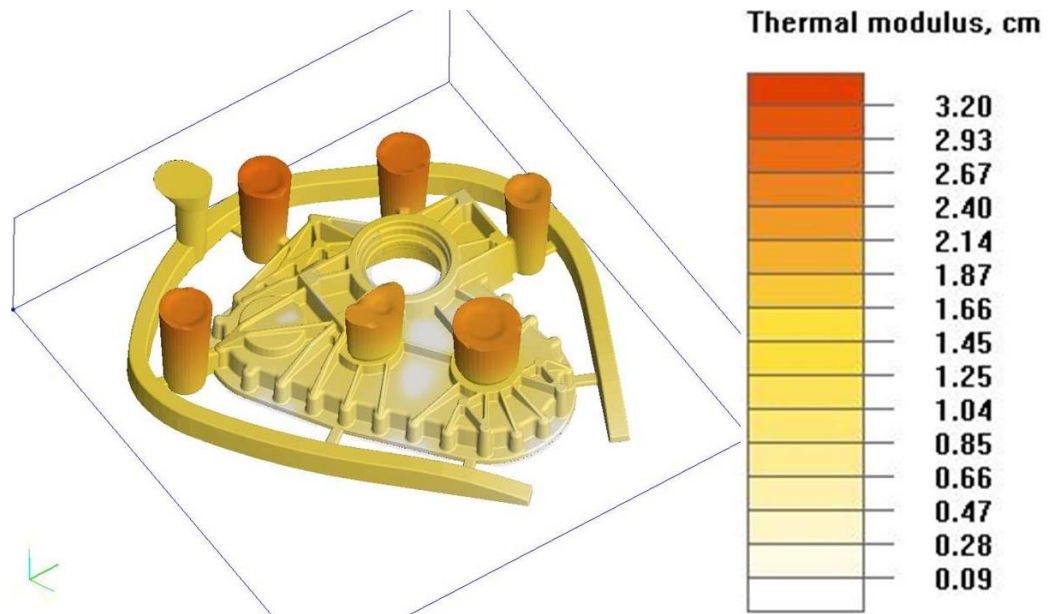
Tab. 47 Přední díl – čas plnění a čas tuhnutí

Čas plnění dutiny odlitku [s]	9,225
Čas tuhnutí odlitku [h: m: s]	2: 28: 43,609

Nejvyšší teplota odlitku v čase tuhnutí činí 586 °C.

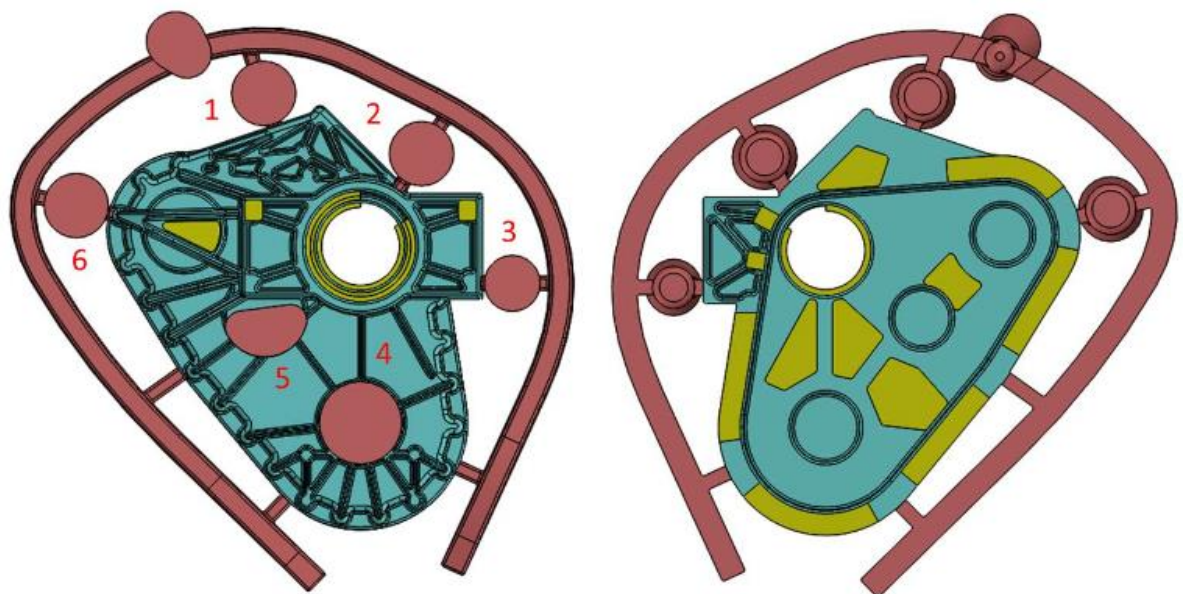
### 5. 1. 2. Přední díl – termální moduly

Na obrázku 118 je znázorněn 3D pohled na zobrazení termálních modulů v odlitku. Z tohoto zobrazení je možné vysledovat, že nejnižšími hodnotami termálních modulů disponují oblasti odlitku, které se nacházejí v blízkosti chladítek.

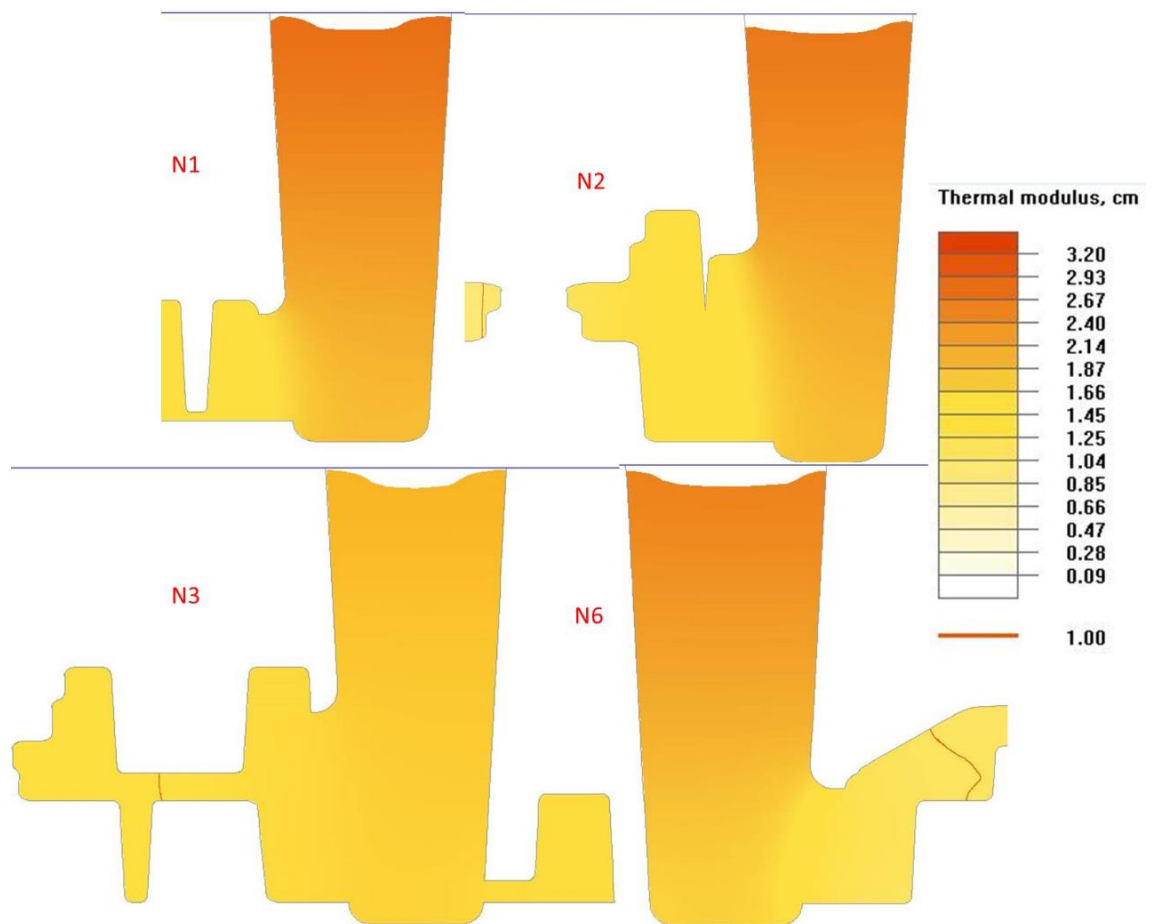


Obr. 118 Přední díl – Termální moduly 3D pohled

Nyní přejdeme k vyhodnocení termálních modulů v řezech jednotlivými nálitky. Pro snazší orientaci zde bude ještě jednou uveden obrázek z kapitoly 4, na kterém jsou jednotlivé nálitky označeny.



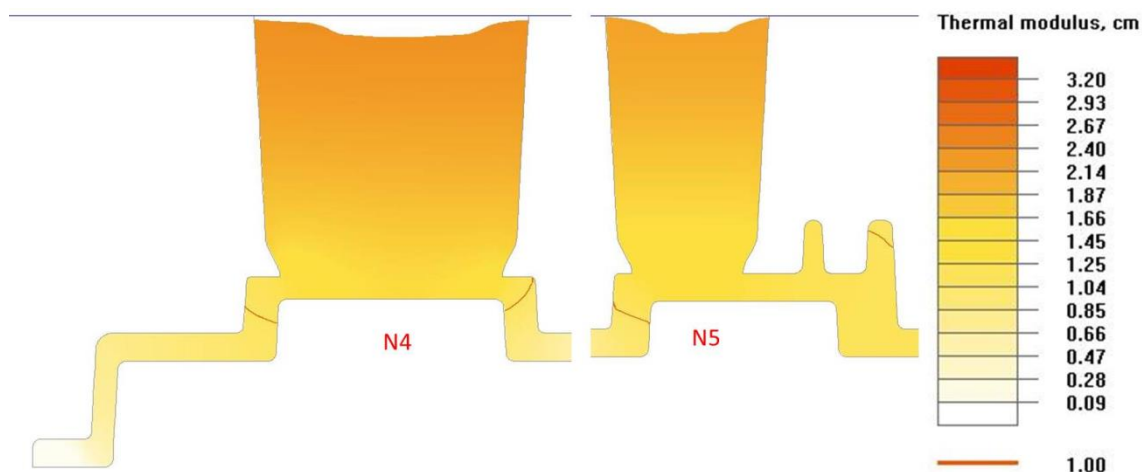
Obr. 119 Přední díl – poloha nálitků V3 v pohledech kolmých na odlitek



Obr. 120 Přední díl – Termální moduly v řezech nálitky 1, 2, 3 a 6

Z obrázku 120 je zřejmé, že nálitky 1, 2, 3 a 6 mají větší tepelné moduly než odlitek v jejich okolí. Tato skutečnost dokazuje funkčnost těchto bočních přilehlých nálitků. Tyto čtyři nálitky jsou zobrazeny na stejném obrázku právě z důvodu, že se jedná o nálitky stejného typu.

Obrázek 121 zobrazuje řezy nálitky 4 a 5. Tyto dva nálitky jsou oba čelními otevřenými nálitky, stejně jako na předešlém obrázku i zde můžeme sledovat, že termální moduly těchto nálitků jsou vyšší než termální moduly odlitku.



Obr. 121 Přední díl – Termální moduly v řezech nálitky 4 a 5

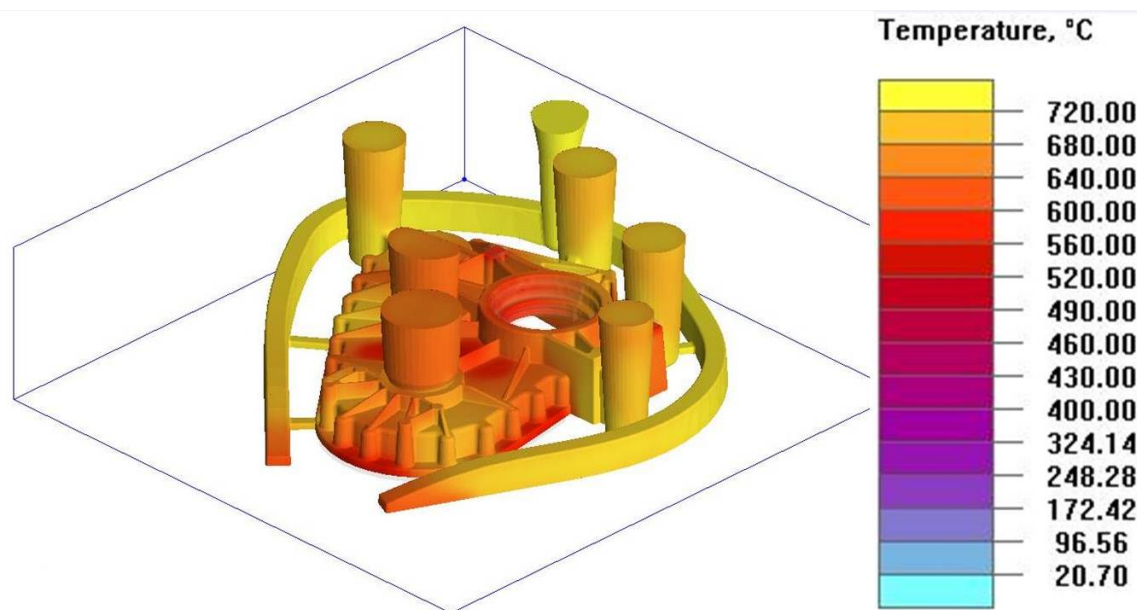
### 5. 1. 3. Přední díl – teplota odlitku po naplnění dutiny formy

V této podkapitole je uvedeno teplotní pole odlitku bezprostředně po naplnění dutiny formy tekutým kovem, což znamená, že se jedná o vyhodnocení výsledků teploty v čase 9,225 s od počátku lití. Na základě obrázku 122 lze tvrdit, že oblasti odlitku disponující nejvyšší teplotou jsou oblasti bočních přilehlých nálitků. Naopak nejchladnější oblasti se nacházejí v kontaktu a blízkosti chladítek. Přibližné teploty nejteplejších a nejchladnějších oblastí odlitku, které jsou zde popsány, se nacházejí v tabulce 48.

Tab. 48 Přibližné teploty ve vybraných oblastech odlitku

Oblast	Teplota [°C]
Boční přilehlé nálitky	700
Oblasti v blízkém okolí chladítek	530



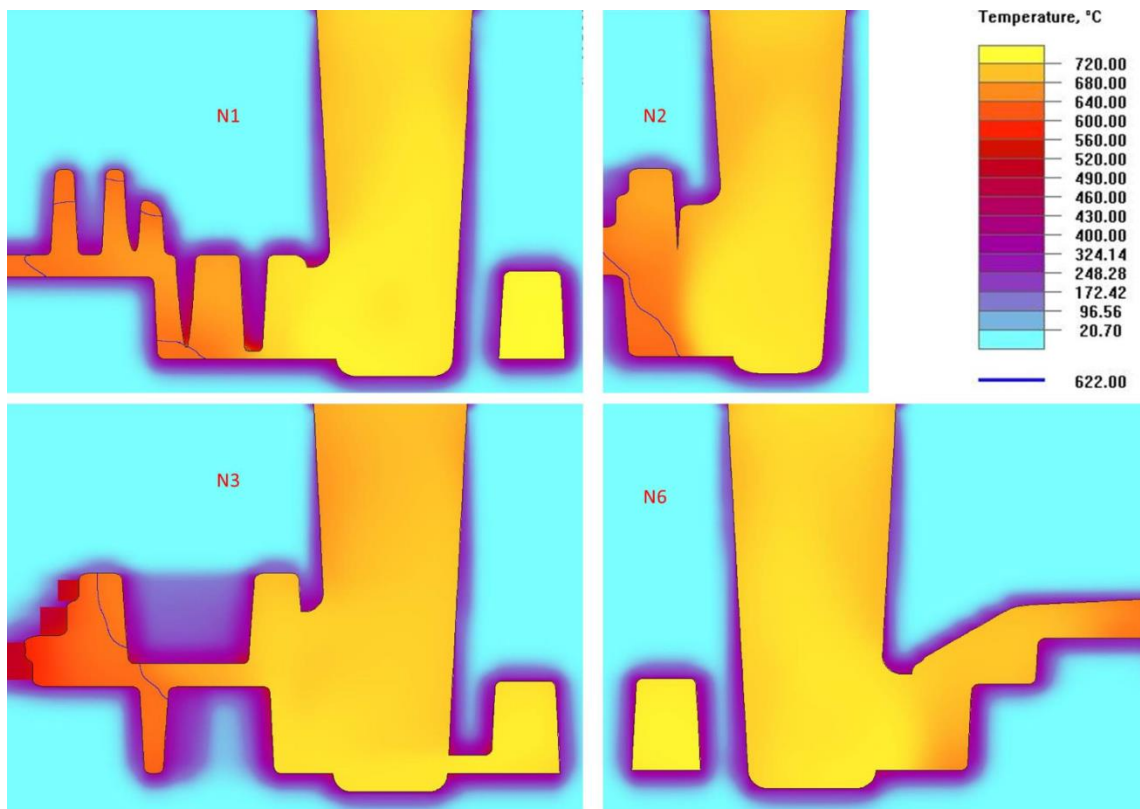


Obr. 122 Přední díl – Teplota po naplnění dutiny formy 3D pohled

Na obrázku 123 je zobrazeno teplotní pole v řezech bočními nálitky. Lze si zde povšimnout, že v prostoru nálitků se nachází kov o nejvyšší teplotě, která je přibližně 700 °C, jak je uvedeno výše v tabulce 48. Bohužel řez nálitkem číslo 2 bylo v softwaru možné provést jen v jediném místě a na obrázku se oblast jeho spojení s odlitkem jeví chladnější než ve střední části v tomto časovém kroku. Nicméně v místě středu této oblasti je situace obdobná jako u ostatních třech bočních nálitků. V tabulce 49 budou uvedeny nejvyšší teploty v oblasti spojů nálitků a odlitku a také nejvyšší teploty uvnitř těchto nálitků.

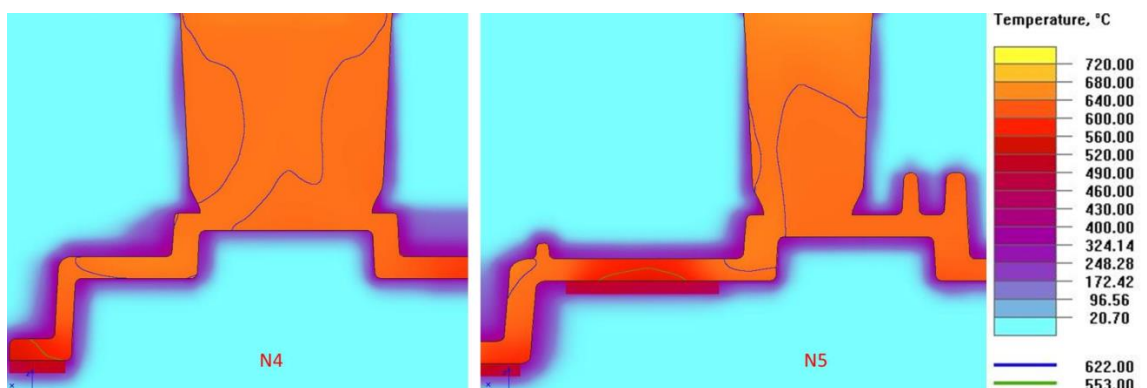
Tab. 49 Přední díl – teplota nálitků 1, 2, 3 a 4

Náliek	Teplota v propojení nálitku a odlitku [°C]	Teplota uvnitř nálitku [°C]
1	710	714
2	704	700
3	700	698
6	707	705



Obr. 123 Přední díl – Teplota po naplnění dutiny formy – řez nálitky 1, 2, 3 a 6

Obrázek 124 podává informaci o teplotě uvnitř čelních nálitků 4 a 5. Na první pohled si lze povšimnout, že kov v těchto nálitcích je chladnější než v předešlých čtyřech. To je způsobeno polohou těchto nálitků. Oproti předešlým nejsou nálitky 4 a 5 zásobovány kovem přímo z vtokové soustavy, ale jejich obsah musí protéct celou dutinou formy. I přes tuto skutečnost spolu s faktem že v oblasti řezů těmito nálitky se objevují isokřivky, které značí hranici teploty 622 °C, mají tyto nálitky dostatečnou dosazovací schopnost. Toto je dokázáno v další podkapitole týkající se staženin v odlitku. V tabulce 50 jsou uvedeny nejvyšší teploty v těchto nálitcích v oblasti jejich krčku.



Obr. 124 Přední díl – Teplota po naplnění dutiny formy – řez nálitky 4 a 5

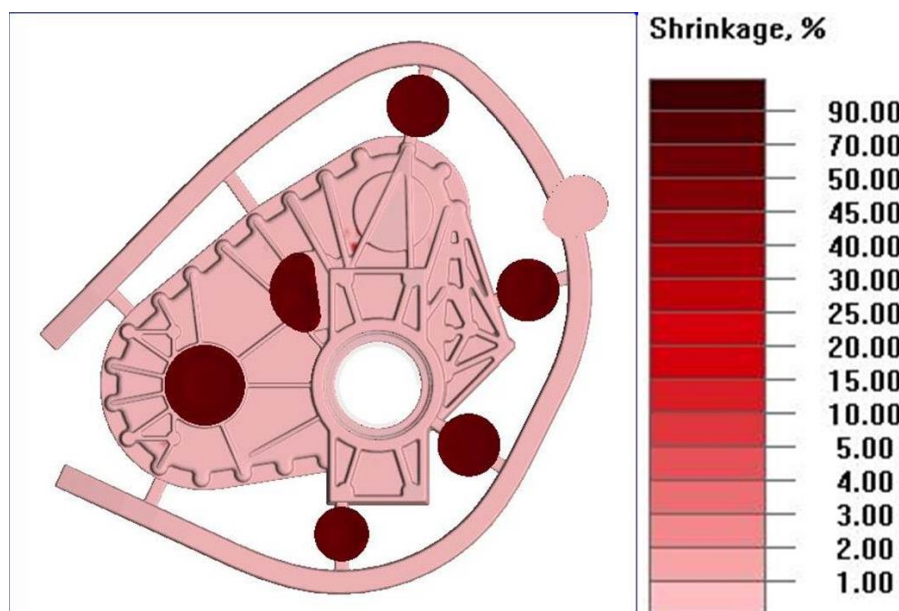


Tab. 50 Přední díl – teplota nálitků 4 a 5

Nálitek	Teplota uvnitř nálitku [°C]
4	659
5	670

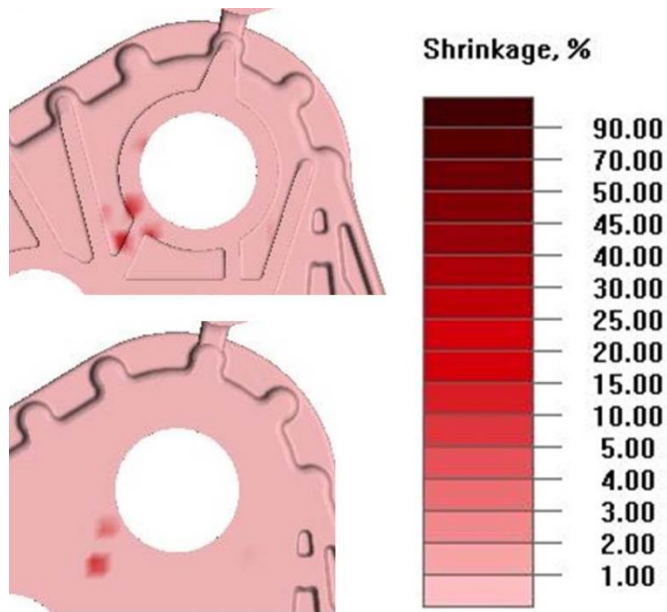
#### 5. 1. 4. Přední díl – Staženiny

V této podkapitole přejdeme k popisu staženin ve výsledcích simulace plnění a tuhnutí odlitku předního dílu. Tyto obrázky odpovídají času 2 hodin 28 minut a 43 sekund po začátku lití. Na obrázku 125 je patrná staženina v oblasti, kterou zde označím jako oblast 1. Ta se nachází mezi nálitkem 5 a 6.



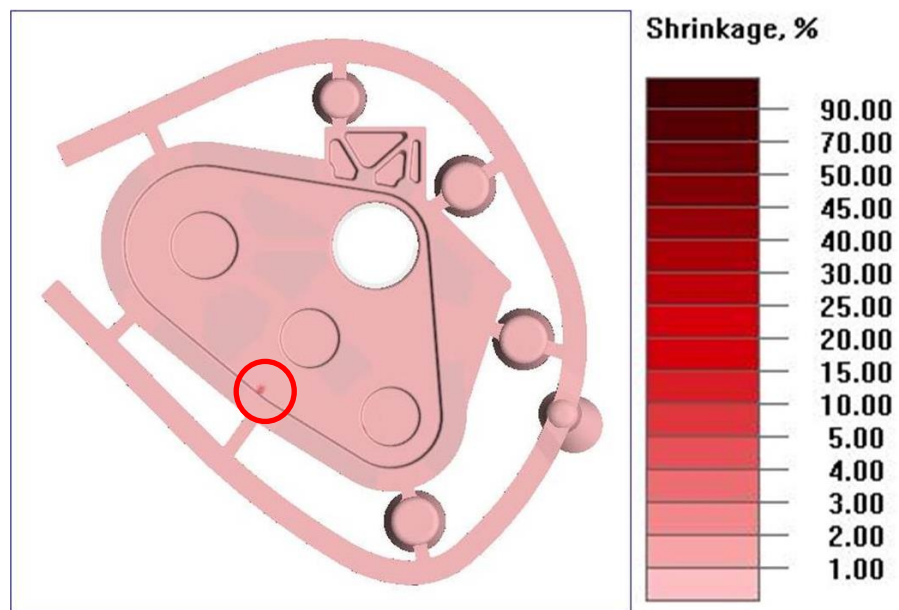
Obr. 125 Přední díl – Staženina – půdorys

Staženiny v oblasti 1 jsou dále patrné z obrázku 126, který je dokumentuje ve dvou řezech. V této oblasti je velikost staženin přibližně 8 %. Tyto vady nejsou z hlediska funkce součásti přijatelné.



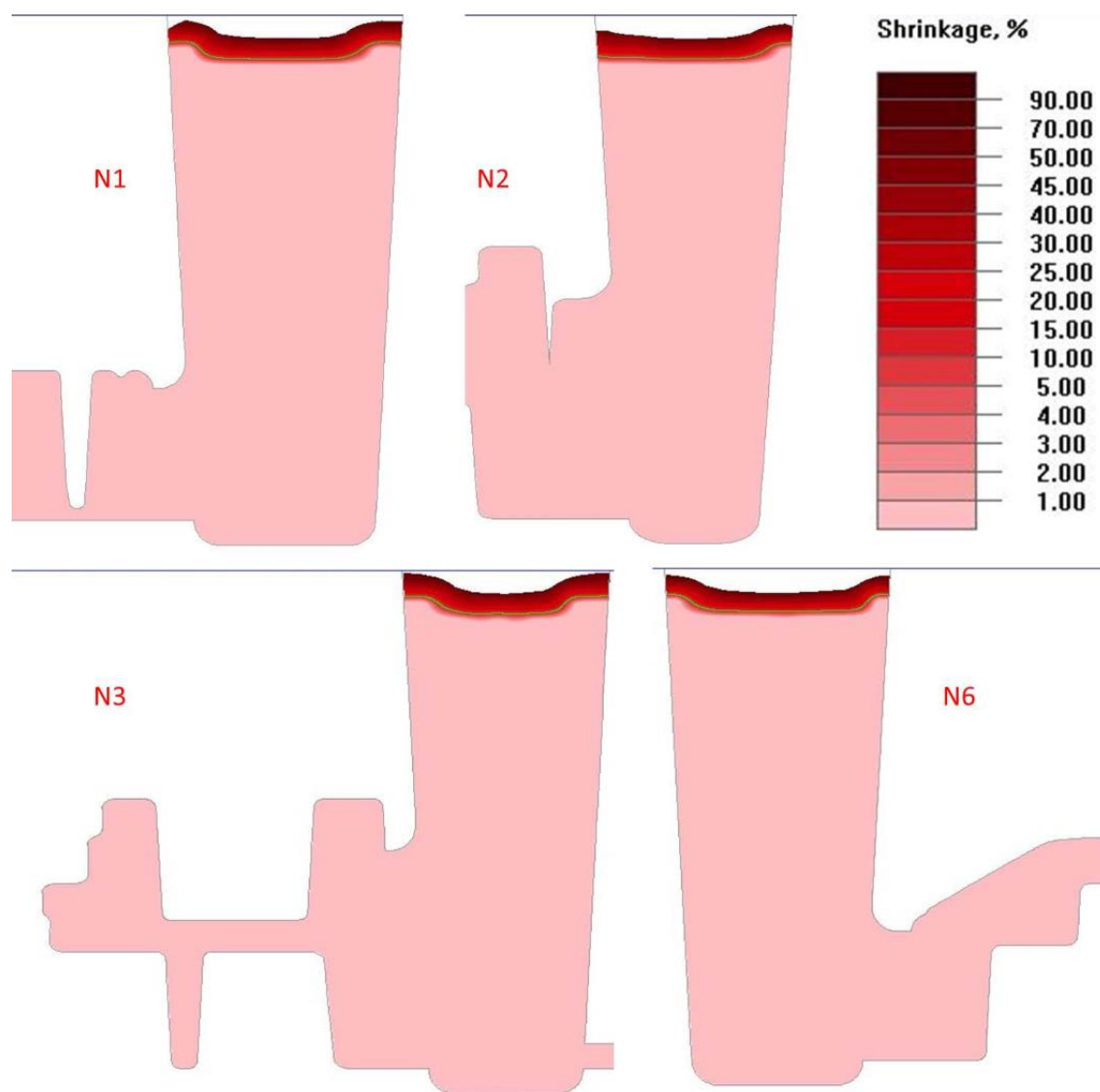
Obr. 126 Přední díl – Staženina – řezy oblastí 1

Obrázek 127, podávající informaci o výskytu staženin na vnitřní straně odlitku, zobrazuje staženinu, která je zvýrazněna na obrázku. Velikost této staženiny je okolo 4 %. Nicméně vada je z hlediska funkce součásti možná považovat za akceptovatelnou.



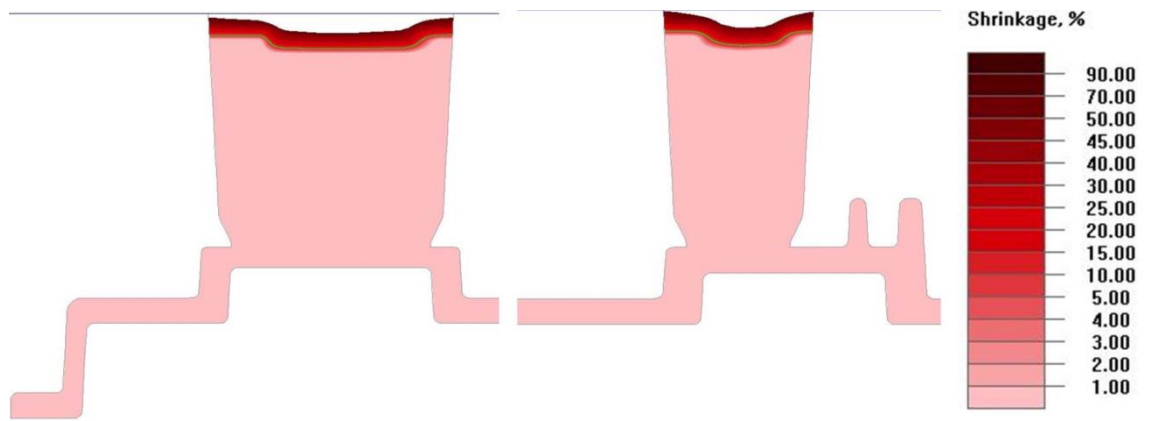
Obr. 127 Přední díl – Staženina – vnitřek odlitku

Řezy vedoucí bočními nálitky, které je možné vidět na obrázku 128, potvrzují správnou funkci těchto nálitků. V nálitcích ani v jejich okolí se dle výsledků simulace nevyskytují žádné staženiny.



Obr. 128 Přední díl – Staženina – řezy nálitky 1, 2, 3 a 6

Při pohledu na obrázek 129 je patrné, že ani v oblasti čelních nálitků 4 a 5 se žádné staženiny nenacházejí.

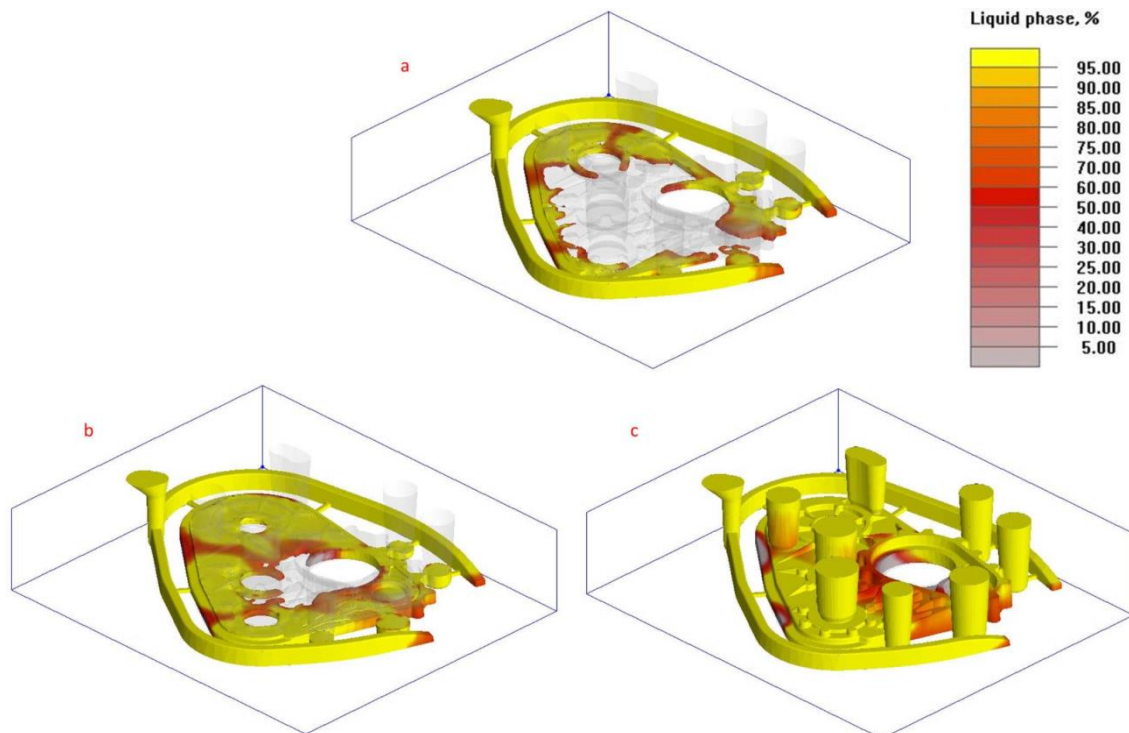


Obr. 129 Přední díl – Staženina – řezy nálitky 4 a 5

## 5. 2. Virtuální verifikace zadního dílu

Při popisu výsledků simulace plnění a tuhnutí tohoto odlitku zde nebudou uvedeny žádné bližší informace o poloze a velikosti nálitků, o vtokové soustavě a ani o poloze chladítek a to z důvodů že se jedná o variantu Zadního dílu číslo 3, která je detailně popsána v kapitole 4.

### 5. 2. 1. Zadní díl – plnění dutiny formy odlitku, plnicí čas a čas tuhnutí



Obr. 130 Zadní díl – průběh plnění dutiny

Na obrázku 130 je zobrazeno plnění dutiny formy odlitku Zadní díl. Tento obrázek zobrazuje 3 časové kroky plnění označené v obrázku písmeny a až c. Z obrázku lze vyzorovat rovnoměrné plnění dutiny. Rovněž je možné si povšimnout, že ve všech osmi nálitcích se

vyskytuje nejvyšší procento tekutého kovu. Následující tabulka 51 v sobě zahrnuje čas plnění dutiny společně s informací o času tuhnutí odlitku.

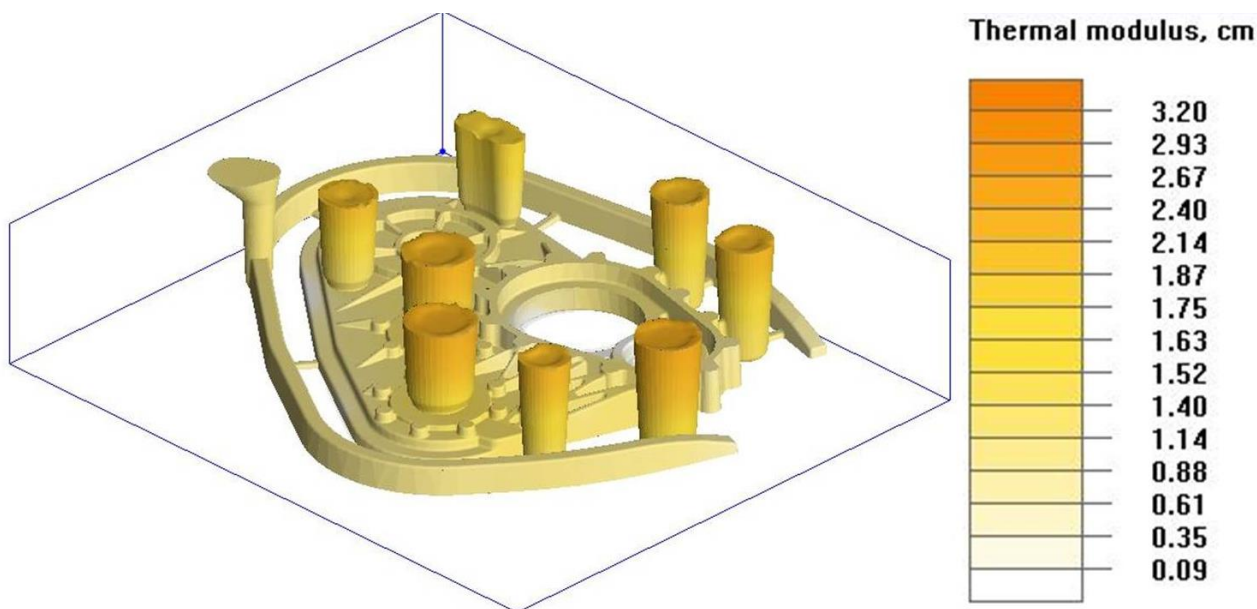
Tab. 51 Zadní díl – čas plnění a čas tuhnutí

Čas plnění dutiny odlitku [s]	15,4
Čas tuhnutí odlitku [h: m: s]	2: 6: 3,35

Nejvyšší teplota odlitku v čase tuhnutí činí 553 °C.

### 5. 2. 2. Zadní díl – termální moduly

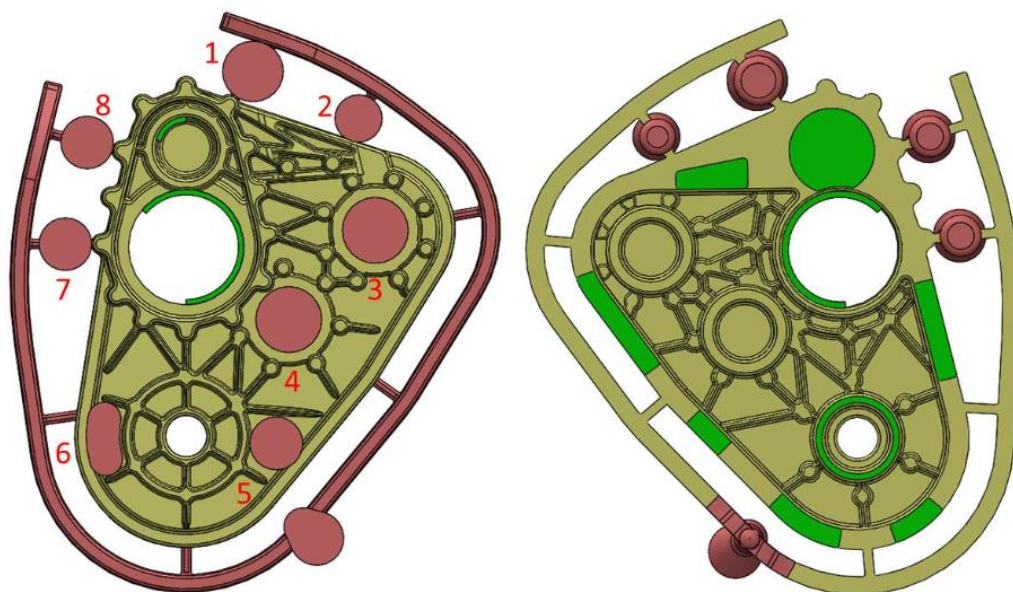
Pohled na 3D zobrazení výsledků simulace termálních modulů je zachycen na obrázku 131. Z něj je patrné, že největšími termálními moduly disponují nálitky. Oproti tomu nejnižší termální moduly najdeme v oblasti chladítek.



Obr. 131 Zadní díl – Termální moduly 3D pohled

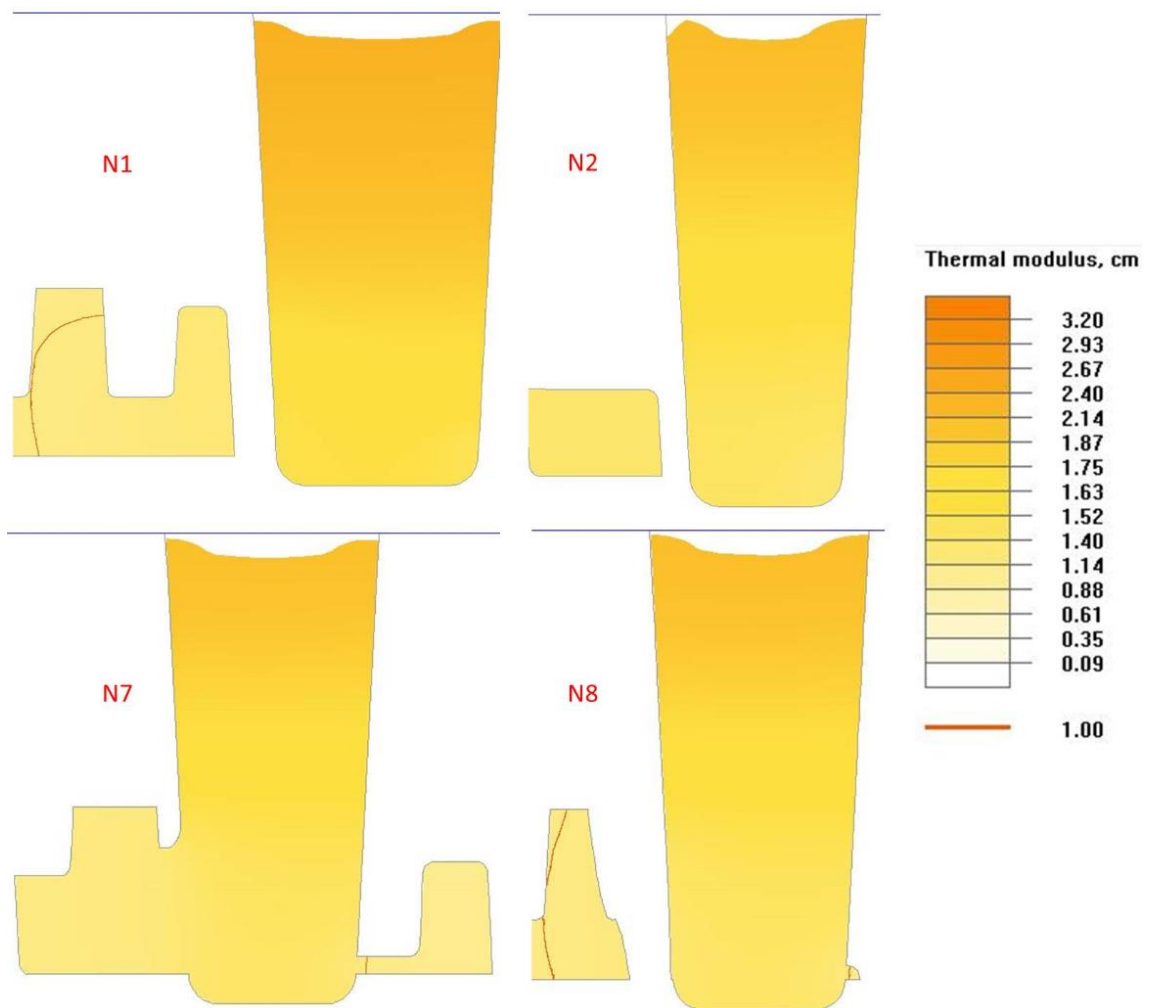
Následující obrázky podávají informace o termálních modulech v nálitkách a jejich okolí. Pro lepší orientaci a označení nálitků zde bude opět uveden obrázek z kapitoly 4, na kterém jsou nálitky označeny arabskými číslicemi. Obrázky termálních modulů v nálitkách jsou koncipovány stejným způsobem jako při popisu předešlého odlitku. Je zde nutné uvést poznámku, že v softwaru nebylo možné vest řezy středy některých bočních nálitků společně s jejich spojením s odlitkem a proto zde budou uvedeny pouze řezy nálitky. Nicméně spojení bočních nálitků je obdobné jako u odlitku předního dílu.





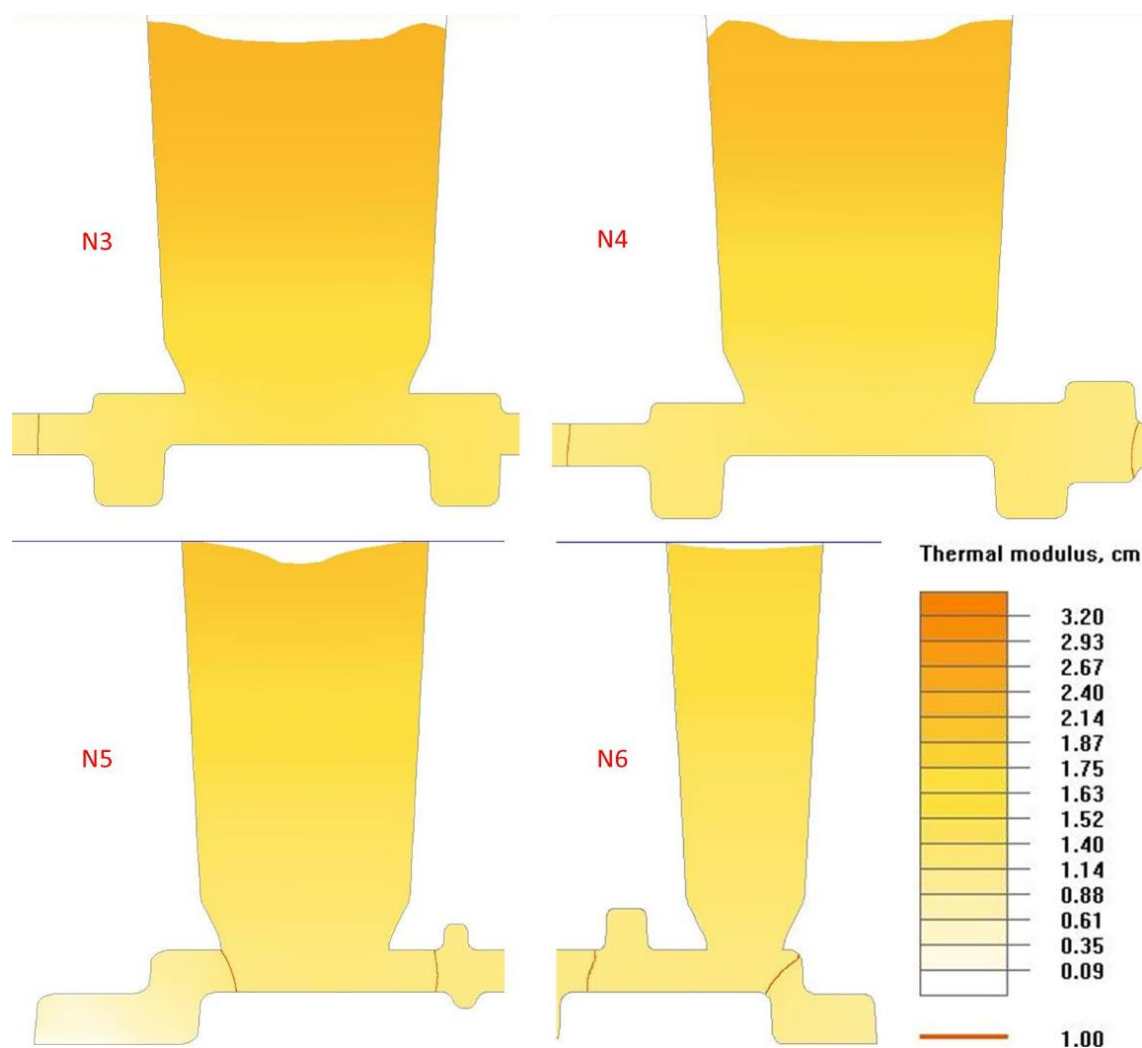
Obr. 132 Zadní díl – poloha nálitků V3 v pohledech kolmých na odlitek

Řezy všemi osmi nálitky jsou zobrazeny na obrázcích 133 a 134. Na prvním obrázku se nacházejí řezy bočními nálitky. Obrázek 133 dokazuje, že tyto čtyři nálitky disponují většími termálními moduly než odlitek a i jeho části, které jsou v blízkosti těchto nálitků. V obrázku 134 jsou zachyceny řezy všemi čtyřmi čelními otevřenými nálitky, které se vyskytují v odlitku. Stejně jako na obrázku předešlém, je zde možné sledovat, že tyto nálitky mají větší hodnoty termálních modulů než odlitek. To, že všech 8 nálitků disponuje vyšší hodnotou termálních modulů, naznačuje funkčnost nálitku v odlitku.



Obr. 133 Zadní díl – Termální moduly v řezech nálitky 1, 2, 7 a 8





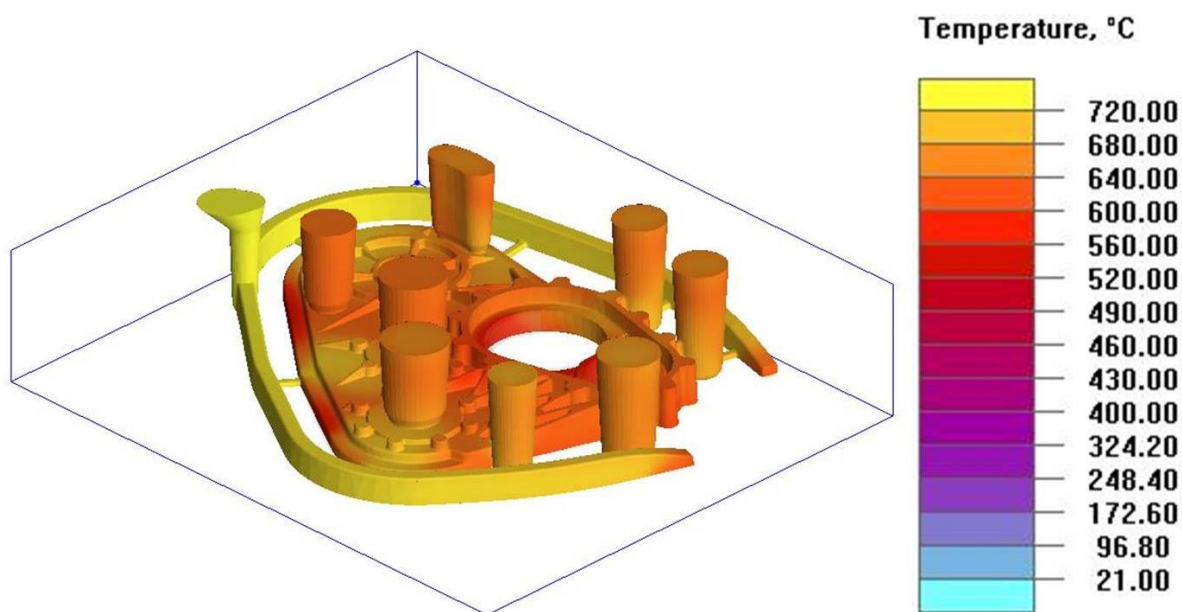
Obr. 134 Zadní díl – Termální moduly v řezech nálitky 3, 4, 5 a 6

### 5. 2. 3. Zadní díl – Teplota odlitku po naplnění dutiny formy

Na obrázku 135 je znázorněn pohled na teplotní pole odlitku bezprostředně po naplnění dutiny, tedy v čase naplnění dutiny, který je 15,4 s. Z obrázku je patrné, že nejteplejšími místy odlitku jsou ty oblasti, které se nacházejí naproti zářezům, které nejsou spojeny s přilehlými bočními nálitky. Kov nacházející se právě v těchto bočních nálitkách disponuje nižší teplotou než kov v oblastech popsaných výše, ale stále vyšší teplotou kovu než v jím blízkých oblastech. Nejchladnějšími místy jsou opět oblasti spojené s chladítky. V tabulce 52 je uvedena nejvyšší a nejnižší teplota odlitku. Samozřejmě do tabulky není zahrnuta teplota v oblasti vtokové soustavy.

Tab. 52 Přibližné teploty ve vybraných oblastech odlitku

Oblast	Teplota [°C]
Boční přilehlé nálitky	705
Oblasti v blízkém okolí chladítek	534



Obr. 135 Zadní díl – Teplota po naplnění dutiny formy 3D pohled

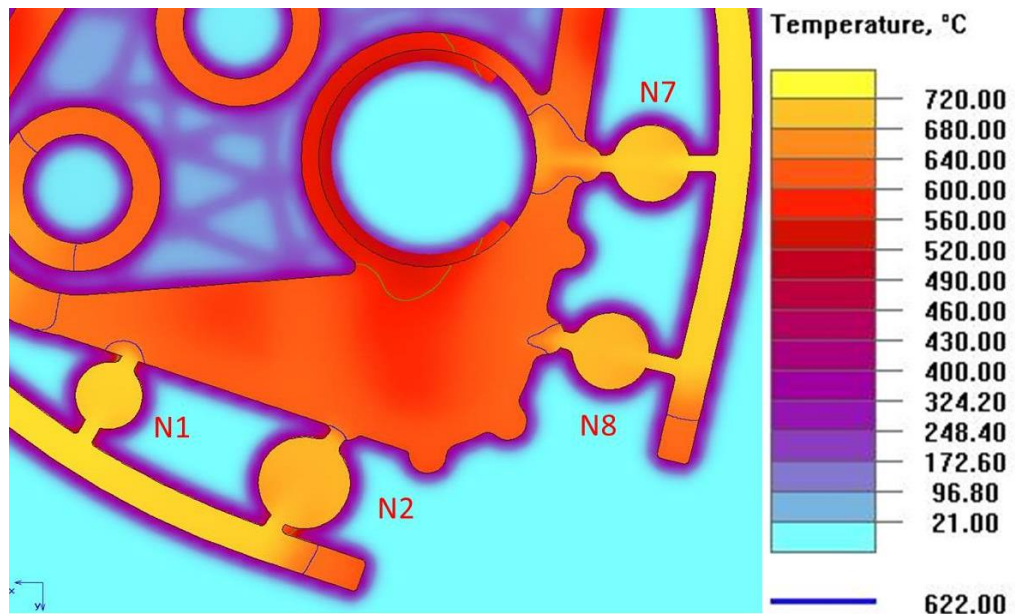
Vzhledem k faktu, že nebylo možné vytvořit obrázky optimálních řezů nálitky 1, 2, 7 a 8 je zde uveden obrázek řezu odlitkem a bočními nálitky rovinou kolmou na tradiční rovinu řezu, která je v této práci použita. Z obrázku je patrné, že teplota kovu uvnitř nálitků 1, 2, 7 a 8 je vyšší než v oblasti odlitku, která je v blízkosti těchto nálitků. V tabulce 53 jsou zaznamenány teploty v oblasti nálitků a v oblasti propojení nálitků a odlitku.

Tab. 53 Zadní díl – teplota nálitků 1, 2, 3 a 4

Nálitka	Teplota v propojení nálitku a odlitku [°C]	Teplota uvnitř nálitku [°C]
1	683	690
2	658	671
7	669	674
8	682	691

V tabulce 53 je možný pozorovat rozdíl přibližně 20 °C mezi teplotami kovu v nálitku a jejich propojení s odlitkem nálitků 1 a 7 oproti teplotám ve stejných oblastech u nálitků 2 a 8. Ostatně i v porovnání teplot bočních nálitků u předešlého odlitku s tímto je dán polohou těchto nálitku

z pohledu vtokové soustavy. U odlitku předního dílu jsou tyto průtočné nálitky umístěny u naříznutí bezprostředně v blízkosti vtokového kůlu. U tohoto odlitku jsou tyto nálitky umístěny na konci vtokové soustavy a i na relativně malé vzdálenosti mezi nimi je možné sledovat poměrně výrazný pokles teploty.

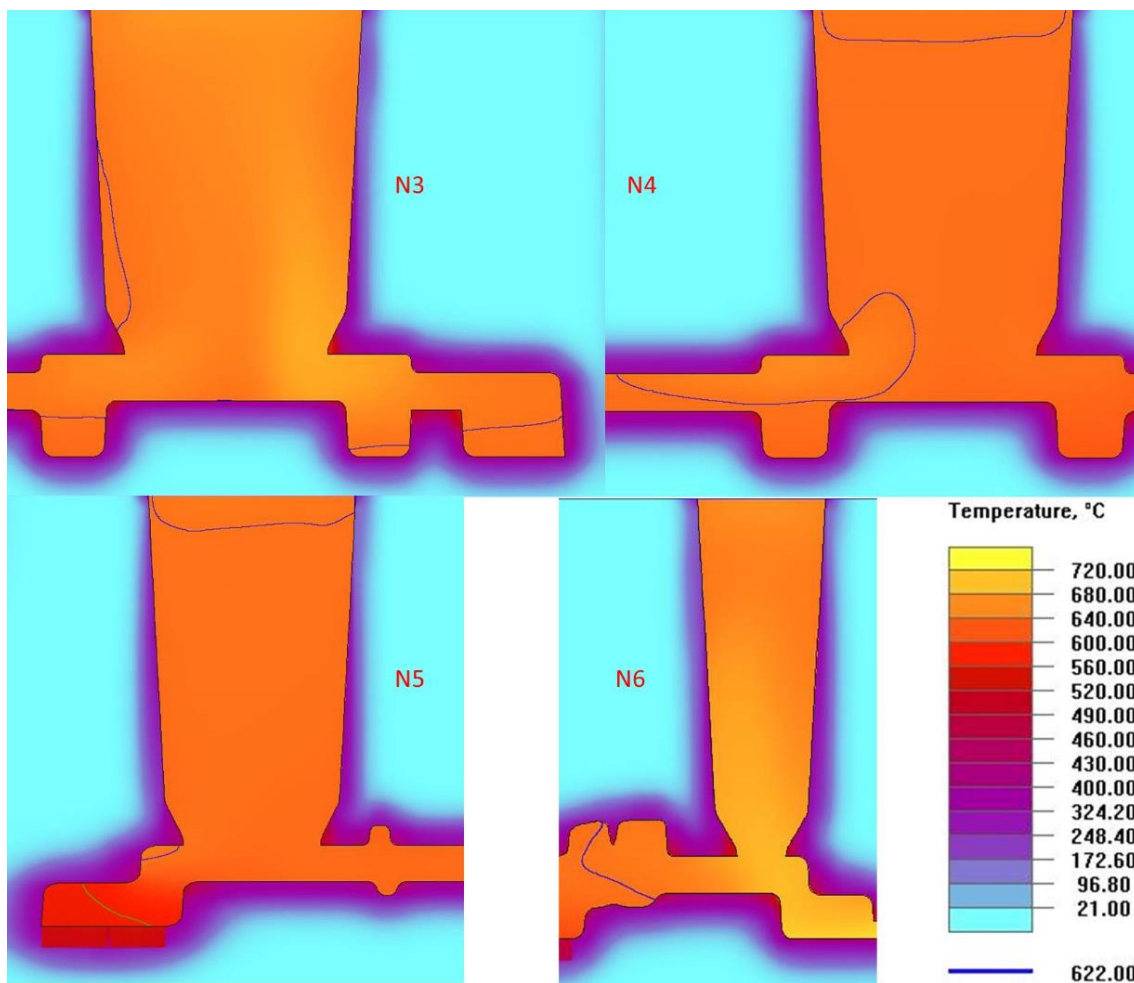


Obr. 136 Zadní díl – Teplota po naplnění dutiny – řez nálitky 1, 2, 3 a 6

Řezy čelními nálitky odlitku, tedy nálitky označenými jako 3, 4, 5 a 6 jsou zachyceny obrázkem 137. Teploty v nálitcích a v oblasti krčků těchto nálitků jsou opět zaznamenány do tabulky, konkrétně do tabulky 54. Pokud se vrátíme zpět k obrázku a to k zobrazení řezu nálitkem 4 (v obrázku označen N4), tak zde můžeme sledovat, že teplota kovu v převážné části nálitku, v časovém kroku 15,4 s se pohybuje pod teplotou 622 °C, jejíž hranici znázorňuje zobrazená isokřivka.

Tab. 54 Zadní díl – teplota nálitků 3, 4, 5 a 6

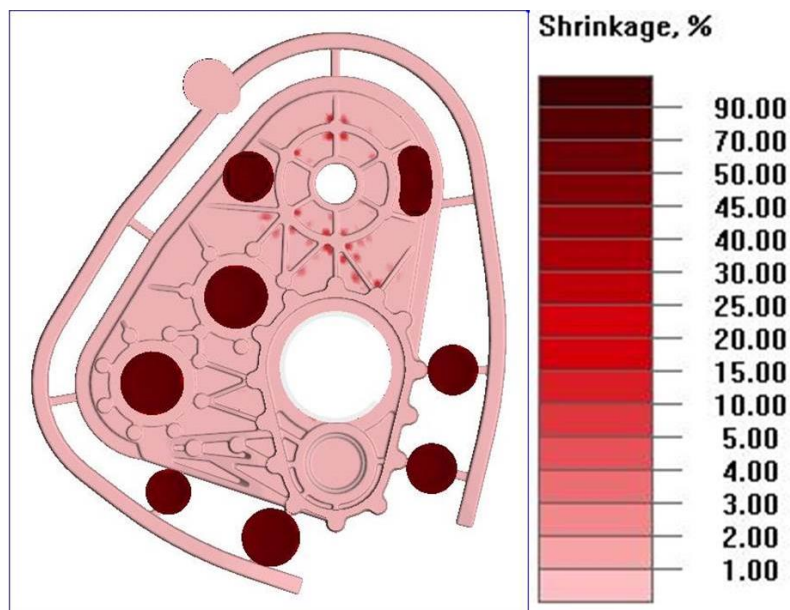
Nálitek	Teplota v propojení nálitku a odlitku [°C]	Teplota uvnitř nálitku [°C]
3	661	669
4	618	617
5	619	618
6	665	669



Obr. 137 Zadní díl – Teplota po naplnění dutiny – řez nálitky 1, 2, 3 a 6

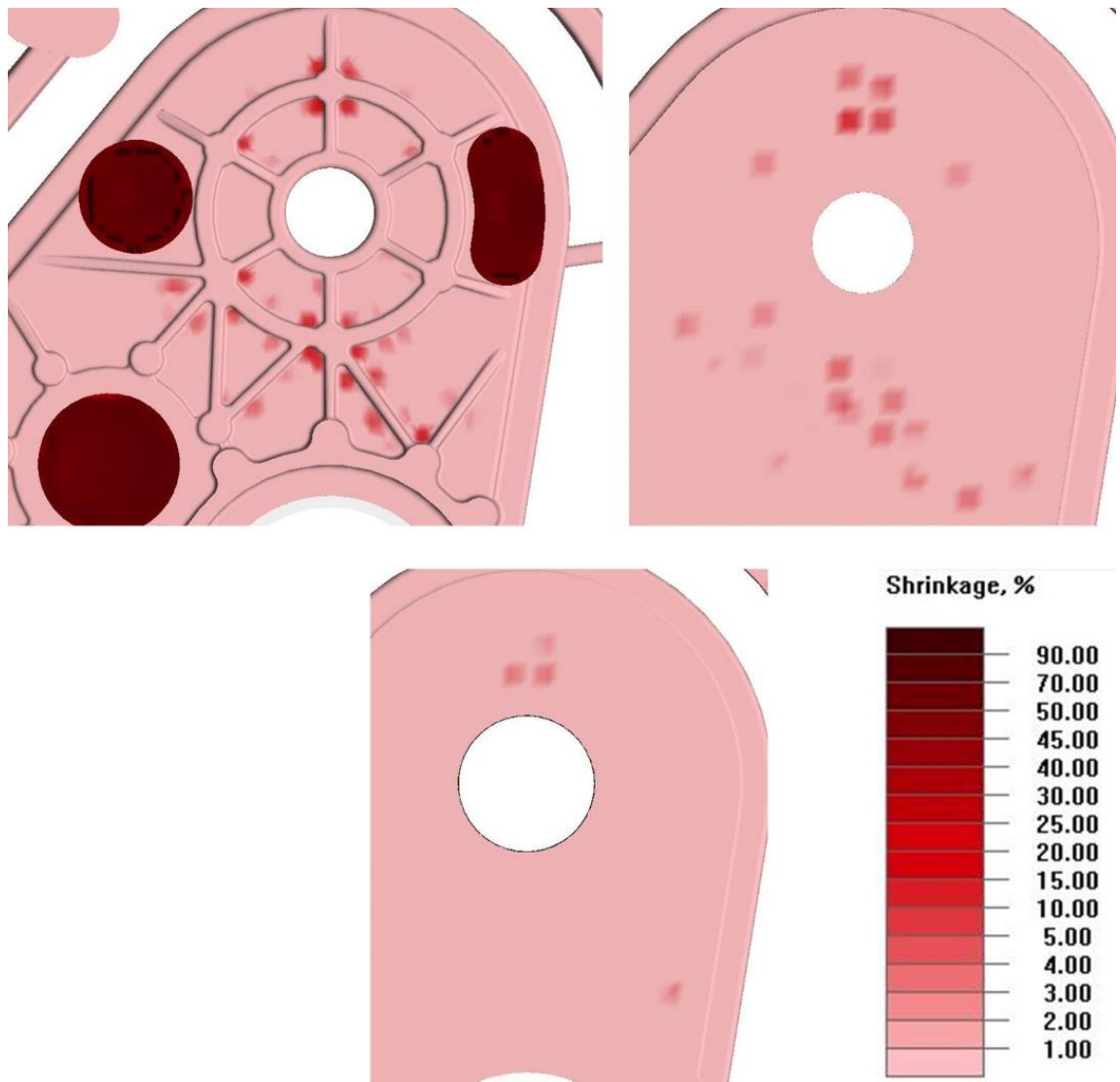
#### 5. 2. 4. Zadní díl – Staženiny

Nyní přejdeme k popisu staženiny, které jsou jedním ze zde vyhodnocovaných výsledků simulace plnění a tuhnutí odlitku. Staženiny jsou pro tento případ odlitku vyhodnocovány v čase 2 hodin 6 minut a 3,358 sekundy od počátku simulace lícího procesu. Pokud přejdeme k popisu obrázku 138, na kterém je zachycen výsledků staženin v půdoryse odlitku, tak si můžeme povšimnout oblasti mezi nálitky 4, 5 a 6. Staženiny v těchto místech vznikly z důvodu, že výše zmíněné nálitky nebyly schopny dosadit tekutý kov do této oblasti vzhledem ke své teplotě, která je popsána v této kapitole výše.



Obr. 138 Zadní díl – Staženina – půdorys

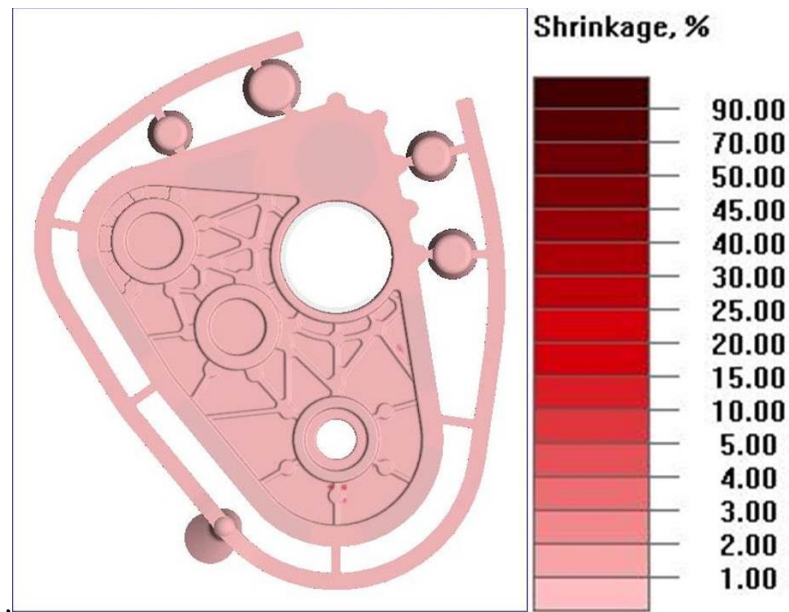
Bližší pohled na oblast výskytu staženin ve výše popsané oblasti, která je popsána z obrázku 138, poskytuje následující obrázek 139, který mimo zvětšený pohled na toto místo také obsahuje dva řezy touto oblastí sloužící pro utvoření lepší představy o těchto staženinách. Takovéto množství staženin v tomto místě není z hlediska funkce součásti přípustné, proto je nutné upravit technologii odlévání této součásti. Nicméně bližší řešení této situace bude popsáno v následující kapitole 6. Velikost staženin v popisované oblasti se pohybuje v rozmezí od 1,7 do 9,3 %.



Obr. 139 Zadní díl – Staženina – pohled na oblast staženin a řezy touto oblastí

Při pohledu na obrázek 140 je možné povšimnout si několika malých staženin mimo dříve popisovanou oblast. V dříve popisované oblasti, k čemuž posloužil předešlý obrázek, se nacházejí staženiny, které byly součástí předešlého popisu. Pokud se vrátíme k popisu staženin, které nejsou obsaženy v této oblasti, tak se jedná o staženiny velikosti okolo 1,2 %. Tyto vady jsou z hlediska funkce součásti považovány za přijatelné.





Obr. 140 Zadní díl – Staženina – pohled na vnitřní část odlitku

Obrázky řezů jednotlivými nálitky a jejich okolí odlitku zde nejsou uvedeny, protože pohled na ně z hlediska staženin je obdobný jako u součásti Přední díl.

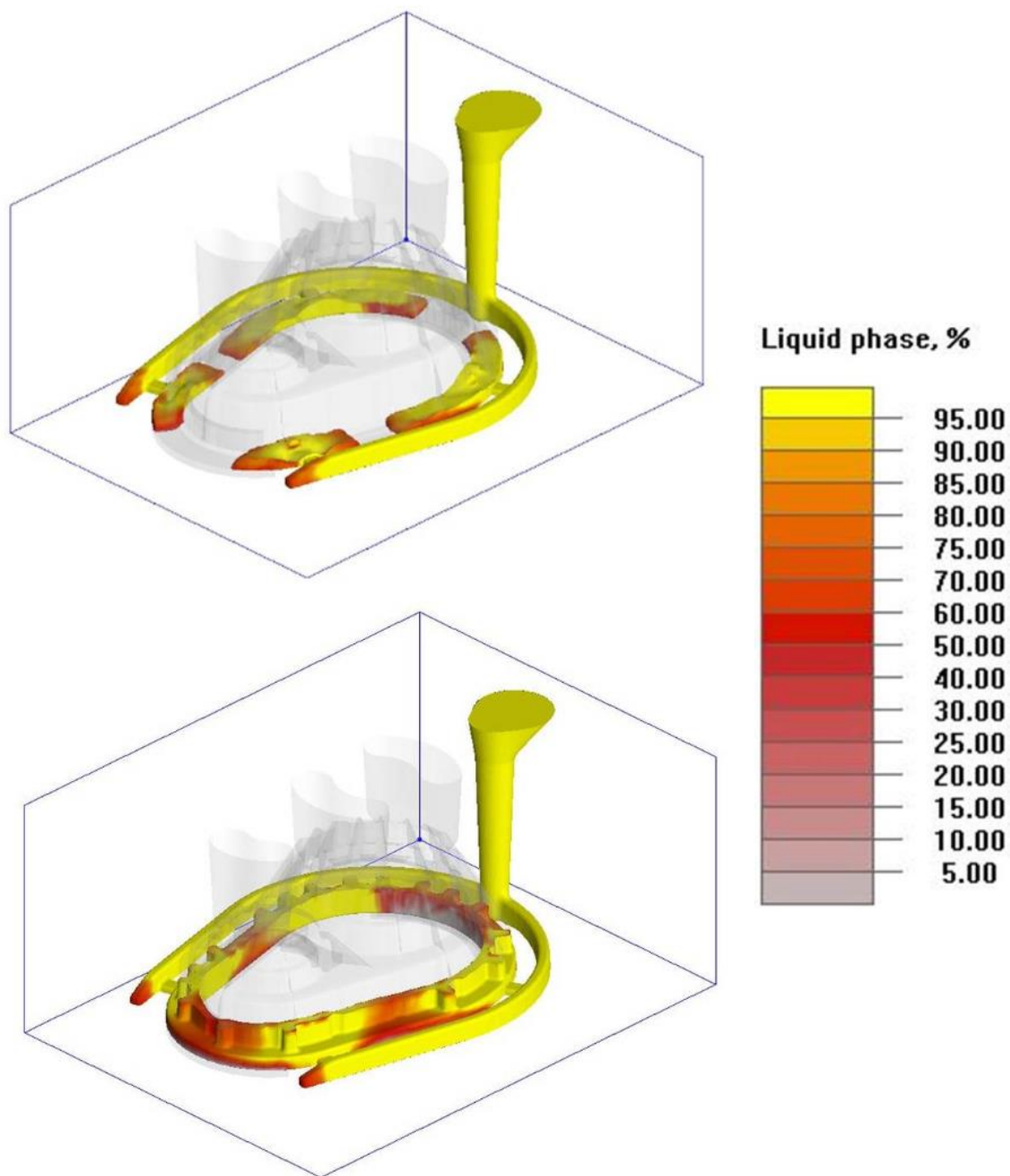
### 5. 3. Virtuální verifikace víka

Stejně jako u popisu výsledků simulací plnění a tuhnutí u předešlých odlitků zde nejsou uvedeny žádné bližší informace o geometrických parametrech nálitků a vtokové soustavy, ani žádné technologické informace. Vše potřebné již bylo uvedeno v kapitole 4.

#### 5. 3. 1. Víko – plnění dutiny formy odlitku, plnicí čas a čas tuhnutí

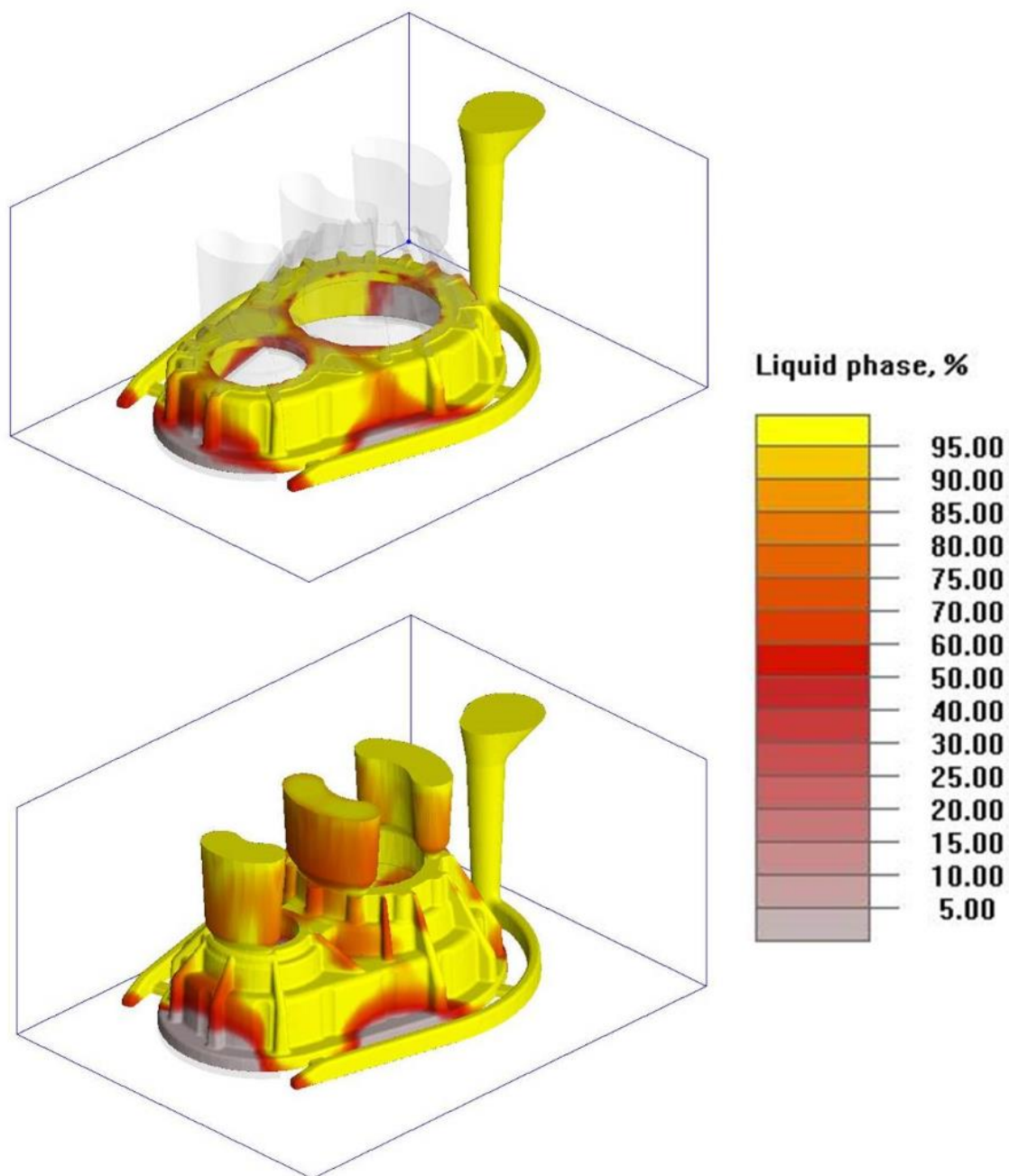
Funkčnost návrhu z hlediska plnění dutiny formy, který byl, jak již bylo zmíněno, popsán v kapitole 4 je možno sledovat na obrázku 141. Ten zaznamenává počátek plnění zhruba v časovém úseku 1,06 – 2,253 s. Obrázek ukazuje rovnoměrné vyplňování dutiny formy.





Obr. 141 Víko – počátek plnění dutiny formy

O stavu plnění dutiny formy v pozdějším stavu procesu podává informaci obrázek 142. Na něm lze opět sledovat průběh rovnoměrného plnění dutiny, který se odehrává v časovém rozmezí od 4,234 s do konce plnění dutiny. Časový údaj o konci plnění bude spolu s údajem o čase tuhnutí uveden v následující tabulce 55.



Obr. 142 Víko – průběh plnění dutiny formy

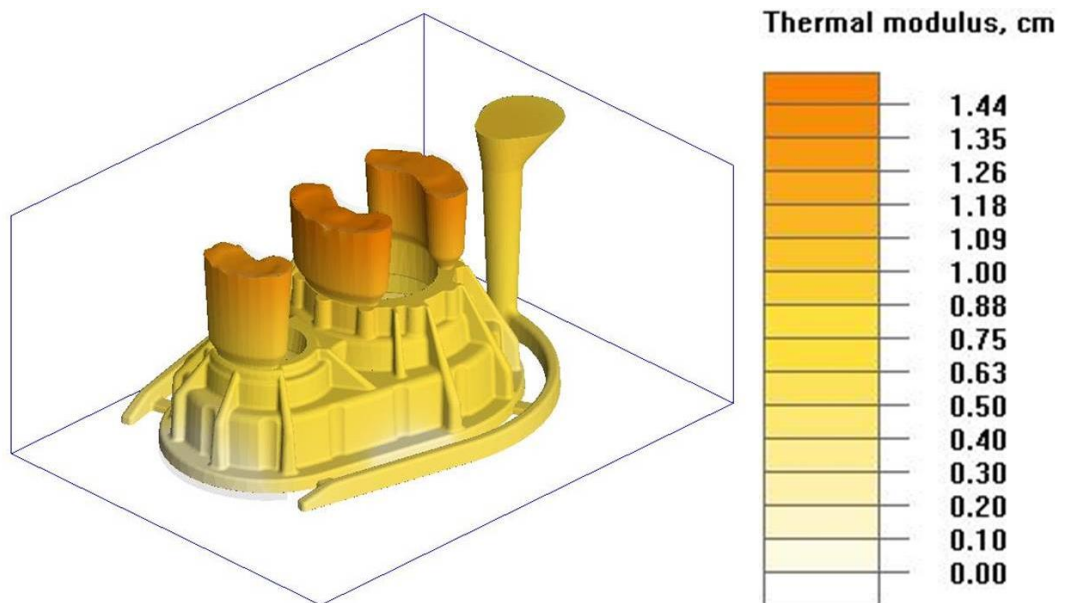
Tab. 55 Zadní díl – čas plnění a čas tuhnutí

Čas plnění dutiny odlitku [s]	11,667
Čas tuhnutí odlitku [h: m: s]	0: 15: 34

Nejvyšší teplota odlitku v čase tuhnutí činí 532 °C.

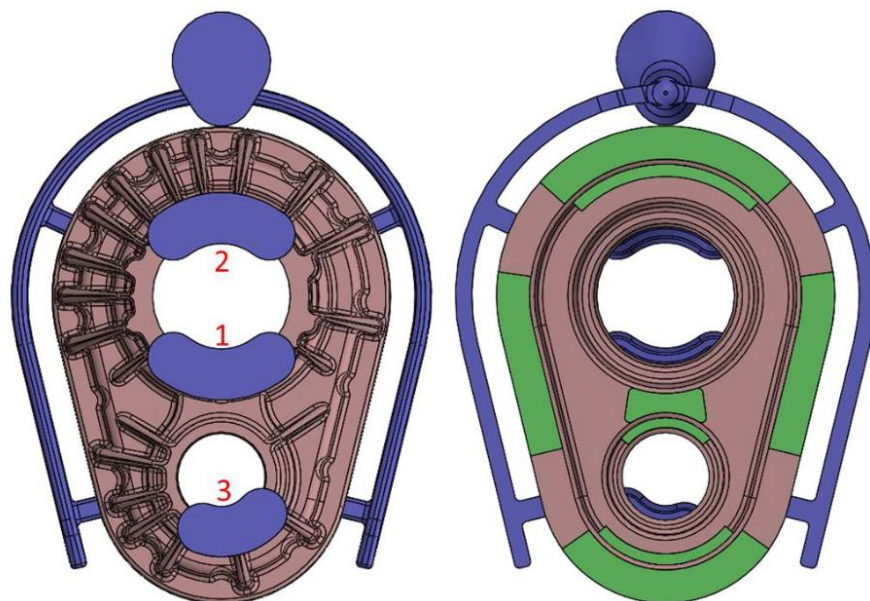
### 5. 3. 2. Víko – termální moduly

Na následujícím obrázku 143 jsou zobrazeny výsledky termálních modulů ze simulace tohoto odlitku. Z obrázku je patrné, že oblasti nejvyšších termálních modulů jsou v prostorech nálitků.



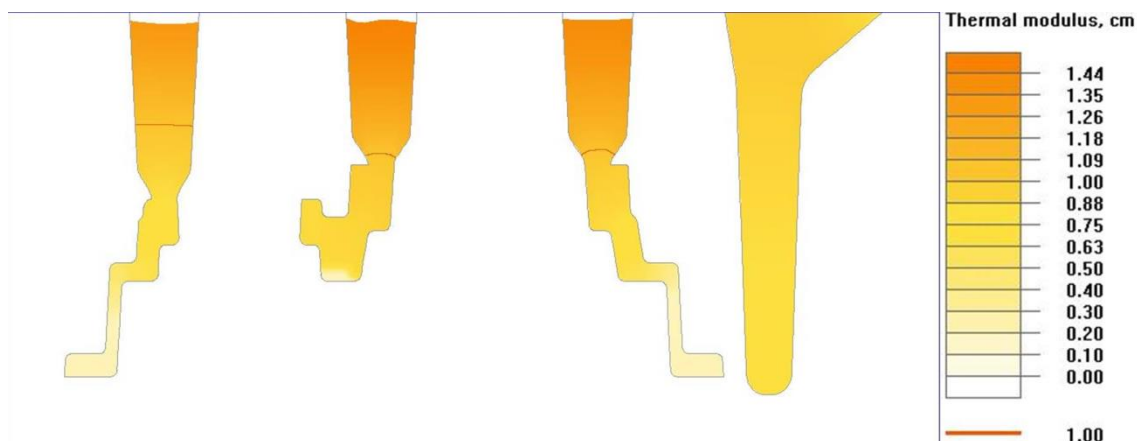
Obr. 143 Víko – Termální moduly 3D pohled

Opět bude v této podkapitole uveden obrázek z kapitoly 4, který obsahuje označení nálitků vytvořených pro tento odlitek.



Obr. 144 Víko – poloha nálitků V2 v pohledech kolmých na odlitek

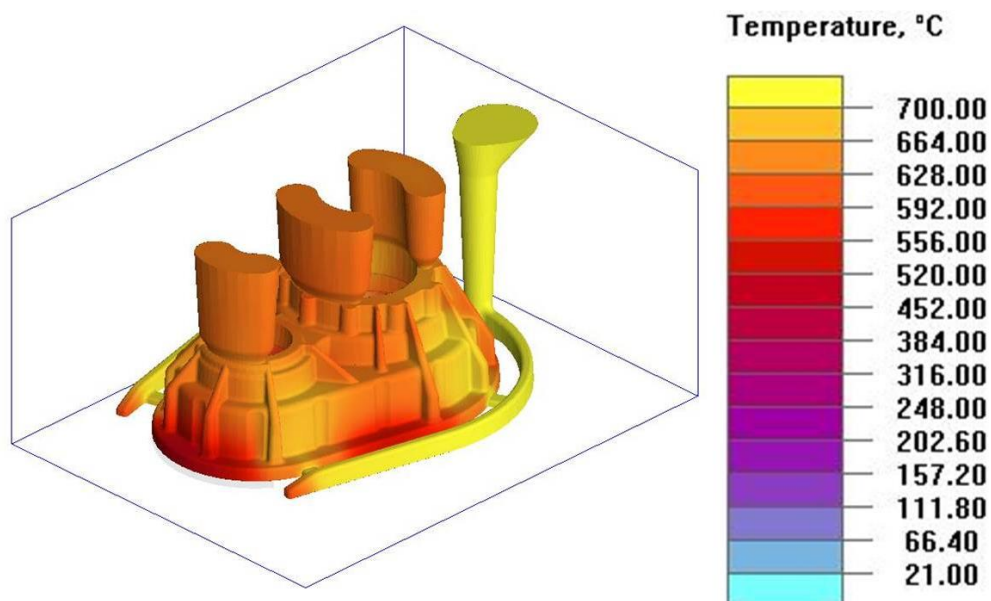
Pohled na výsledky termálních modulů v řezu uveden v obrázku 145. Zde si můžeme lépe povšimnout, že největšími termálními moduly disponují opravdu nálitky, jak již bylo zmíněno při popisu obrázku 143. Z těchto tří nálitků obsahuje nejvyšší hodnotu termálních modulů nálitka 2.



Obr. 145 Víko – Termální moduly v řezech nálitky

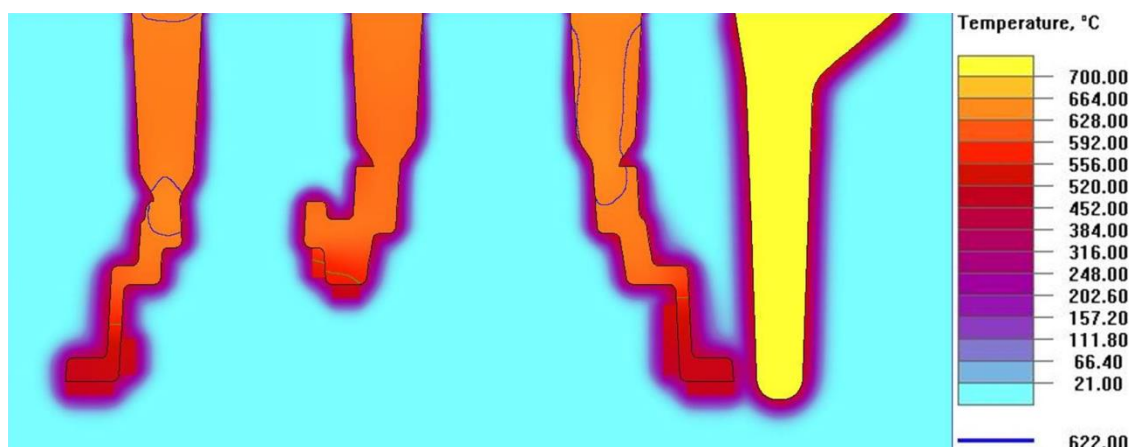
### 5. 3. 3. Víko – Teplota odlitku po naplnění dutiny formy

Jak již bylo uvedeno, čas naplnění dutiny formy tekutým kovem je 11, 667 s. Výsledky teploty jsou zde uvedeny právě v tomto časovém kroku. Na obrázku 146 je uveden 3D pohled na odlitek se zobrazením výsledků teploty. Obrázek vypovídá, že nejteplejší místa v odlitku jsou oblasti naproti zářezům vtokové soustavy. Na dalším obrázku 147 je zobrazen řez odlitkem, který obsahuje i řezy nálitky a oblastmi odlitku, které s nimi bezprostředně sousedí.



Obr. 146 Víko – Teplota po naplnění dutiny formy 3D pohled

Přistoupíme-li k popisu řezu odlitkem zobrazenému na obrázku 146, tak zde můžeme sledovat, že nejnižší teplotou v tomto časovém kroku disponuje nálietek 1, po něm následuje nálietek 3 a nejlépe na tom je z tohoto pohledu nálietek č. 2. Konkrétněji bude toto shrnuto v tabulce 56, která zaznamenává teplotu kovu v oblasti náliťku a jejich krčků. Náliťky obsahují kov o nižší teplotě z důvodu jejich polohy v odlitku, nicméně jak se ukazuje ve výsledcích zaměřených na staženiny, je jejich dosazovací schopnost postačující.



Obr. 147 Víko – Teplota po naplnění dutiny formy – řez náliťky

Tab. 56 Víko – teplota náliťků

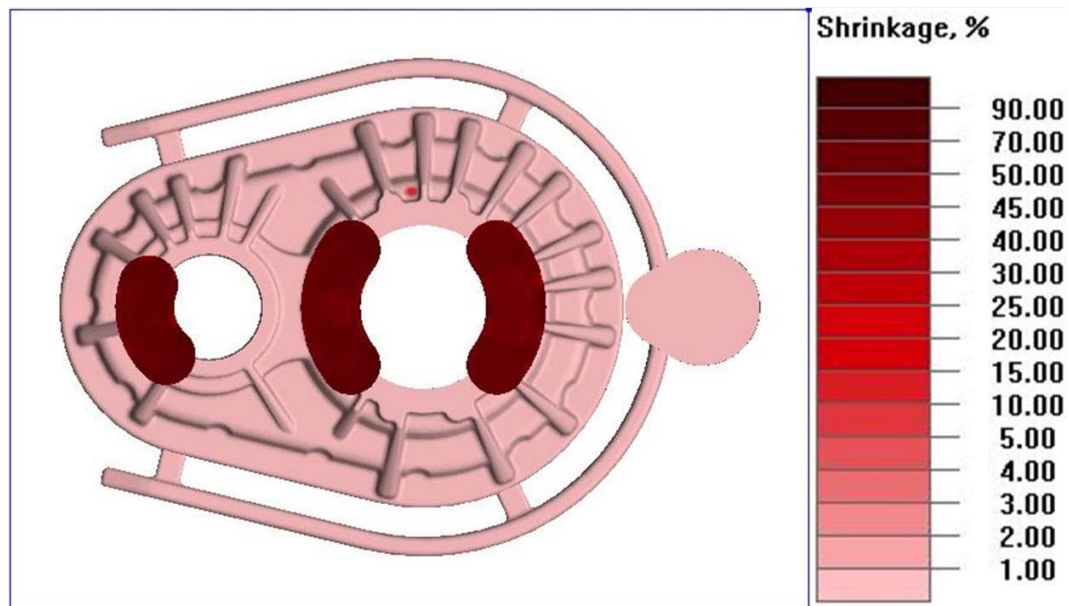
Náliček	Teplota v propojení náliťku a odlitku [°C]	Teplota uvnitř náliťku [°C]
1	609,8	611
2	630,2	630,8
3	626	618

Z tabulky v kombinaci s obrázkem je možné vysledovat, že teplota v náliťku 1 a jeho oblasti je v tento časový úsek již poměrně nízká a náliček již nedosazuje tekutý kov do odlitku. Pokud se zaměříme na 2. náliček tak zde je situace příznivější. Zobrazení isokřivky která značí rozložení hraniční teploty 622 °C, se jeví relativně příznivě. Náliček ještě dosazuje tekutý kov do odlitku a oblast chladne příznivým směrem, tedy směrem z odlitku do prostoru náliťku. U třetího náliťku je stav oproti předešlým dvěma rozdílný, můžeme si povšimnout ohraničené oblasti, ve které se nachází kov o teplotě okolo 626 °C ještě v tekutém stavu. Posledním místem tuhnutí kovu v tomto řezu je tedy oblast krčku náliťku.

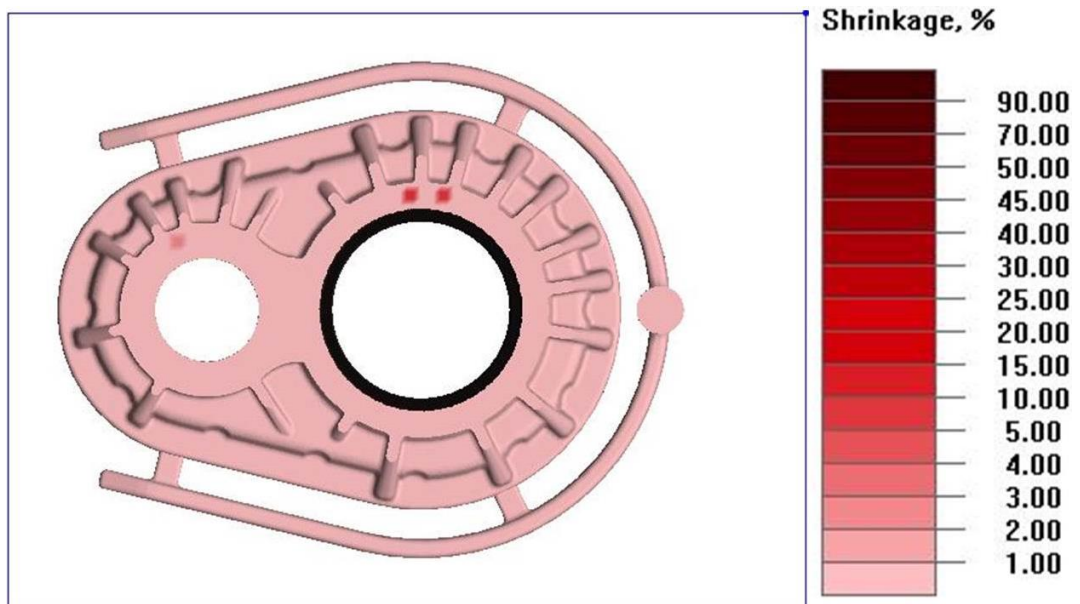


### 5. 3. 4. Víko – Staženiny

K popisu výsledků staženin ze simulace plnění a tuhnutí tohoto odlitku nám poslouží obrázky 148, 149 a 150. Obrázek 148 zobrazuje odlitek v půdorysu. V tomto pohledu je patrná relativně malá oblast s výskytem staženin a to mezi nálitky 1 a 2. Velikost staženiny v tomto místě činí 7 %. Jinak nejsou odhaleny žádné jiné oblasti, kde by se mohly staženiny vyskytovat. K tomu nám poslouží následující dva obrázky zachycující postupné řezy odlitkem směrem k dělicí rovině.

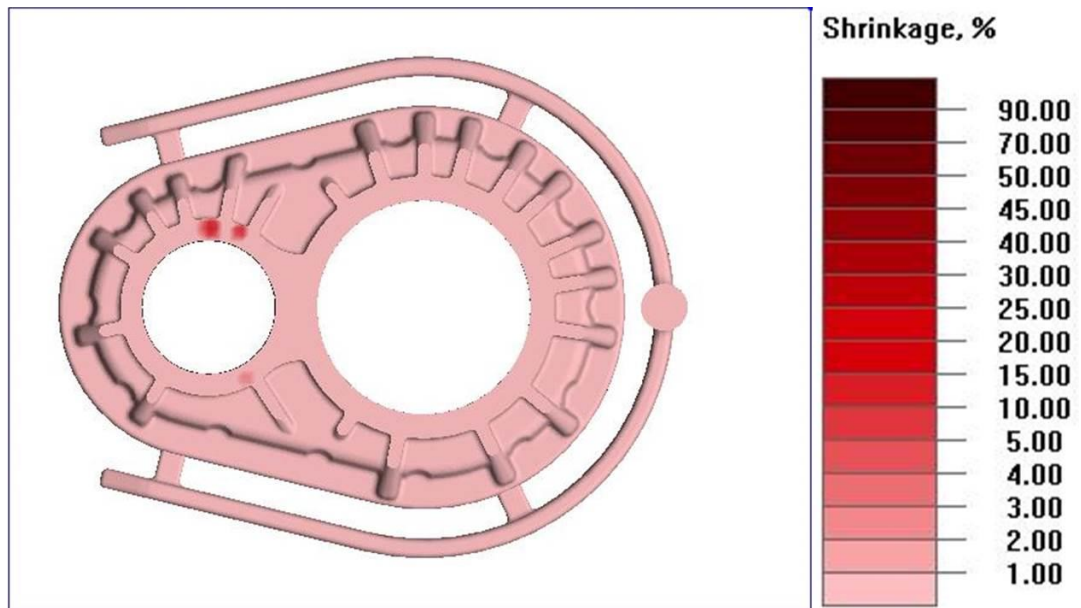


Obr. 148 Víko – Staženina – půdorys



Obr. 149 Víko – Staženina – řez 1

Zaměříme-li se na zobrazení prvního řezu odlitkem, který je možno sledovat na obrázku 149, tak si zde můžeme povšimnout, že ve výše popsané oblasti se nachází další místo se staženinami, jejich velikost je tentokrát okolo 10 %. Tento řez dále odhaluje další dvě oblasti výskytu staženin. Touto oblastí je okolí uložení ložiska vstupní hřídele do převodové skříně. Více vypovídajícím pohledem o tvaru a velikosti těchto nově objevených míst se staženinami je následující řez na obrázku 150.



Obr. 150 Víko – Staženina – řez 2

Na obrázku 150 jsou zobrazeny staženiny o velikosti 1,8 -11 %. Krom výše popsaných staženin nebyly v celém objemu výsledku nalezeny žádné jiné. Nicméně tyto zde popsané vady jsou z hlediska funkce odlitku vadami nepřipustnými.

V následující kapitole 6 jsou mimo jiné shrnuty výsledky simulací plnění a tuhnutí pro všechny 3 součásti.

#### 5. 4. Závěry výsledků simulací plnění a tuhnutí

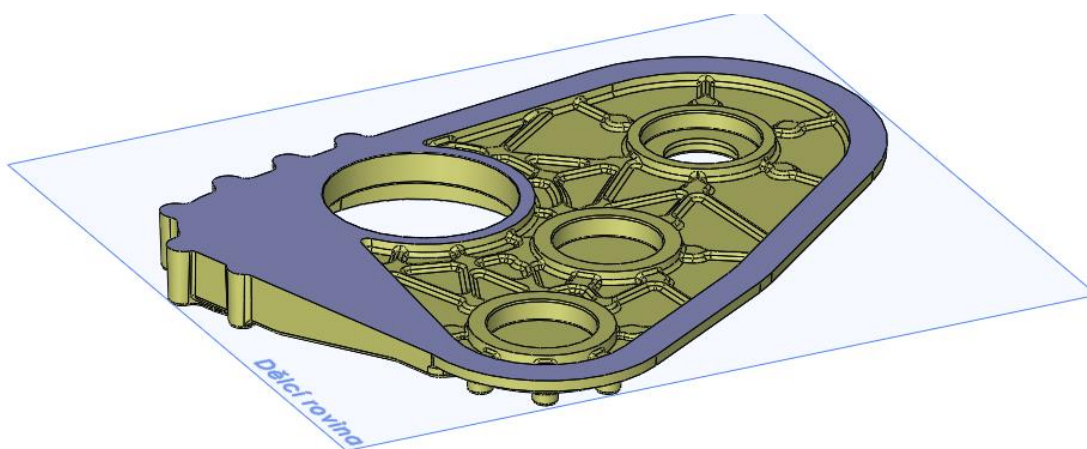
Úvodem této kapitoly je zde uvedena tabulka porovnávající odlitky z objemového hlediska. V tabulce je pro každý díl uveden objem surového a hrubého odlitku společně s objemem hotové součásti převodovky.



Tab. 57 Objemy odlitku a součástí

Součást	Objem surového odlitku [cm <sup>3</sup> ]	Objem hrubého odlitku [cm <sup>3</sup> ]	Objem součásti [cm <sup>3</sup> ]
Přední díl	8990	3300	3170
Zadní díl	5737,6	2510	2138
Víko	1536	896	803

Vzhledem k datům v tabulce týkajících se odlitků předního a zadního dílu se může zdát, že by bylo vhodné věnovat pozornost objemům surových odlitků. Jejich hodnoty se mohou zdát vysoké, nicméně vzhledem k zamýšlenému počtu odlitých kusů od každého dílu, který bude 10, není nutné se touto otázkou zabývat, protože se tento fakt nijak zásadně nepromítne do konečné ceny odlitku. Hlavním důvodem těchto poměrně velikých rozdílů v objemech je použití otevřených náliček zvláště bočních. Určitou úsporu by přineslo přepracování náliček v kombinaci se změnou polohy odlitku ve formě. Změnou polohy odlitku ve formě se rozumí jeho otočení o 180°, aby jeho poloha ve formě byla miskovitého charakteru. Následně by mohly být použity čelní náličky umístěné na přípojovacích přírubách jednotlivých dílců. Pro lepší představu zde bude uveden obrázek 151 s nově zapoložovaným zadním dílem.



Obr. 151 Návrh nové polohy odlitku ve formě

#### 5. 4. 1. Přední díl

Návrhu vtokové soustavy tohoto dílu se zdá být v pořádku jak z hlediska času plnění dutiny formy, který činí 9,225 s, tak z hlediska rovnovážného plnění odlitku. Návrh velikosti a polohy náličky v odlitku lze na základě výsledků provedené shledat použitelným jak z hlediska termálních modulů, tak z hlediska výsledků teploty zkoumaných v čase plnění odlitku. Pokud se zaměříme na výsledky staženin, tak staženiny na obrázku 126 v kapitole 5, které jsou označeny za neakceptovatelné, by bylo možné odstranit použitím vhodného chladítka v této oblasti odlitku.

### **5. 4. 2. Zadní díl**

S přihlédnutím k času plnění dutiny formy, která je 15,4 lze prohlásit, že by bylo vhodné modifikovat vtokovou soustavu odlitku, aby bylo docíleno času plnění okolo 10 s. Dále by stálo za úvahu přemístit licí kůl do oblasti mezi boční nálitky, toto řešení by zajistilo, že by se v těchto nálitcích nacházel při tuhnutí odlitku tekutý kov o vyšší teplotě, než když jsou tyto nálitky umístěny u konců hlavního kanálu. Pokud postoupíme k popisu řešení odstranění staženin v oblasti, která je zobrazena na obrázku 138 z kapitoly 4, tak k tomuto by pomohlo přidání chladítek na odlitek v této oblasti podobně jako je tomu u odlitku zadního dílu.

### **5. 4. 3. Víko**

U tohoto odlitku by stálo za úvahu zvýšit účinnost nálitků. Tohoto by se dalo docílit snížením času plnění dutiny formy, tedy modifikací vtokové soustavy. Dalším krokem, který by měl zvýšit funkčnost nálitků u tohoto odlitku, by mohla být modifikace nálitků samotných. Je nutné zde uvést, že modifikace nálitků by obnášela úpravu konstrukce dílu a to z důvodu, aby bylo možné vytvořit dostačující dosedací plochy pro tyto nálitky. K odstranění staženin, které jsou popisovány v kapitole 5 a jsou zobrazeny na obrázcích 149 a 150, bylo vhodné použít chladítka.

## **6. Závěry**

Na tomto místě budou uvedeny závěry ke každému z cílů této diplomové práce.

### **6. 1. Úvod do problematiky**

V tomto bodě byla uvedena definice vrtulníku a stručný popis vrtulníku Rumas 10I. Dále zde byly popsány vybrané druhy převodových skříní a u nich byly uvedeny stroje, ve kterých jsou použity. Spolu s popisem druhů převodových skříní byly v práci uvedeny také požadavky kladené na převodové skříně v letectví dle předpisů, které byly uvedeny v kapitole 2.

### **6. 2. Úpravy odlitků pro převodovou skříň z hlediska nároků na sestavu a technologičnost konstrukce**

V této části práce byla věnována pozornost popisu požadavků kladených na odlitky v letectví dle EASA spolu s popisem odlitků převodové skříně vrtulníku Rumas 10I. Byly zde uvedeny vybrané vývojové varianty těchto odlitků, u kterých byly popsány konstrukční prvky a

nedostatky. Finální varianty těchto dílů byly konzultovány ve slévárně. Tato konzultace byla základem pro následující bod Návrh technologie výroby odlitků převodové skříně.

### **6. 3. Návrh technologie výroby odlitků převodové skříně**

Jak bylo napsáno v předešlém bodě 6. 3., na základě konzultace s pracovníky slévárny byla navrhována technologie výroby těchto odlitků. Tématem této konzultace byla poloha odlitků ve formě a návrh vtokové soustavy. V této kapitole byly popsány jednotlivé kroky vývoje v dimenzování velikosti náliček a jejich polohy. Dále zde byla zaměřena pozornost na návrh vtokové soustavy. Tomuto procesu byly podrobeny všechny tři odlitky v několika krocích. Výsledné varianty návrhu technologie výroby od všech odlitků byly podrobeny simulacím plnění a tuhnutí.

### **6. 4. Virtuální verifikace odlitků**

Závěry virtuální verifikace jednotlivých odlitků jsou uvedeny v závěru kapitoly 5, kde jsou podrobně popsány výsledky plnění, termálních modulů, teploty po naplnění dutiny formy a stažení.

### **6. 5. Další postup ve vývoji součástí a technologie**

Dalším postupem ve vývoji součástí a technologií jsou následující:

- Konzultace takto navržené technologie ve slévárně
- Zvážení možnosti změny polohy odlitků ve formě
- Úprava konstrukce vybraných odlitků z hlediska technologičnosti konstrukce s přihlédnutím k výsledkům simulací plnění a tuhnutí odlitků

## Použitá literatura

- [1] POHL, Rudolf. *Vrtulníky a letadlové pohony*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2005. ISBN 80-01-03160-8.
- [2] FOJTÍK, Jakub. *Bitevní vrtulník Mi - 24*. První. Cheb: Svět křídel, 2007. ISBN 978-80-86808-39-0.
- [3] COYLE, Shawn. EAGLE EYE SOLUTION, LLC. *Cyclic and Collective: Further Art and Science of Flying*. First. Reston: American Institute of Aeronautics and Astronautics, 2006. ISBN 978-0-557-09066-2.
- [4] Bell 407 Góraszka 2: Bell 407 – Wikipedia: *Wikipedia: Die freie Enzyklopädie* [online]. 24. března 2015 [cit. 2015-03-24]. Dostupné z: [http://de.wikipedia.org/wiki/Bell\\_407#/media/File:Bell\\_407\\_G%C3%B3raszka\\_2.JPG](http://de.wikipedia.org/wiki/Bell_407#/media/File:Bell_407_G%C3%B3raszka_2.JPG)
- [5] WATKINSON, John. BUTTERWORTH-HEINEMANN. *Art of the Helicopter*. First. Burlington: Elsevier, 2004. ISBN 9780750657150.
- [6] Ka-52 at MAKS-2009: Kamov Ka-52. *Wikipedie, otevřená encyklopedie* [online]. 24. března 2015 [cit. 2015-03-24]. Dostupné z: [http://cs.wikipedia.org/wiki/Kamov\\_Ka-52#/media/File:Ka-52\\_at\\_MAKS-2009.jpg](http://cs.wikipedia.org/wiki/Kamov_Ka-52#/media/File:Ka-52_at_MAKS-2009.jpg)
- [7] 080301-F-2207D-394.jpg. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-, 26.3.2015 [cit. 2015-03-26]. Dostupné z: <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/2/28/080301-F-2207D-394.jpg>
- [8] *Vant Virtual: Hélice ou rotor de helicóptero?* [online]. 7.10.2014 [cit. 2015-03-26]. Dostupné z: <http://vantvirtual.blogspot.cz/2013/02/helice-ou-rotor-de-helicoptero.html>
- [9] RICHARDS, Burhman. Turbine 480B: Enstrom Helicopter Corporation. RICHARDS, Burhman. ENSTROM HELICOPTER CORPORATION. *Enstrom Helicopter Corporation* [online]. 29.3.2015 [cit. 2015-03-29]. Dostupné z: <http://www.enstromhelicopter.com/helicopters/turbine-480b/>
- [10] Microsoft Word - Section 00 Rev 8 - Enstrom-TH-28-480-Series-IPC-Rev-8-1.pdf. RICHARDS, Burhman. ENSTROM HELICOPTER CORPORATION. *Enstrom Helicopter Corporation* [online]. 29.3.2015 [cit. 2015-03-29]. Dostupné z:

<http://www.enstromhelicopter.com/wp-content/uploads/2012/03/Enstrom-TH-28-480-Series-IPC-Rev-8-1.pdf>

[11] 480B-G-Boswell-in-flight.jpg. RICHARDS, Burhman. ENSTROM HELICOPTER CORPORATION. *Enstrom Helicopter Corporation* [online]. 29.3.2015 [cit. 2015-03-29]. Dostupné z: <http://www.enstromhelicopter.com/wp-content/uploads/2014/10/480B-G-Boswell-in-flight.jpg>

[12] PHELPS III., Arthur E., Dwaine R. BARNES, Elwood G. NORRIS a Emmitt WALLACE. AIRSCOOTER CORPORATIONS. *ULTRALIGHT COAXIAL ROTOR AIRCRAFT* [patent]. USA. US 7,198,223 B2. Uděleno 3.4.2007. Dostupné z: <https://docs.google.com/viewer?url=patentimages.storage.googleapis.com/pdfs/US7198223.pdf>

[13] Servo Flap Controlled Rotor: <http://www.helis.com/howflies/servo.php>. *Helicopter history site* [online]. 2015, 8.4.2015 [cit. 2015-04-08].

[14] EASA. *Certifikační specifikace pro malá rotorová letadla: CS-27* [online]. Kolín nad Rýnem, 2003, 3.3.2015 [cit. 2015-03-03]. Dostupné z: <http://www.caa.cz/predpisy/cs-27?highlightWords=CS-27>

[15] FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION. *CERTIFICATION OF NORMAL CATEGORY ROTORCRAFT: AC No 27 - 1B* [online]. 4. vyd. 2014, 25.6.1014 [cit. 2015-03-20]. ISBN ASW-110. Dostupné z: [http://www.faa.gov/documentLibrary/media/Advisory\\_Circular/AC\\_27-1B\\_.pdf](http://www.faa.gov/documentLibrary/media/Advisory_Circular/AC_27-1B_.pdf)

[17] ROUČKA, Jaromír. *Metalurgie neželezných slitin*. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004. 148 s. ISBN 80-214-2790-6.

[18] Slévárenství - teorie. *Vysoká škola chemicko-technologická v Praze* [online]. 21.4.2015 [cit. 2015-04-21]. Dostupné z: [http://www.google.cz/url?sa=i&rct=j&q=&esrc=s&source=images&cd=&ved=0CAcQjRw&url=http%3A%2F%2Fold.vscht.cz%2Fmet%2Fstranky%2Fvyuka%2Fflabcv%2Flabor%2Ffm\\_slevarenstvi%2Fteorie.htm&ei=UZ82VevLJc73O8bsgOAO&bvm=bv.91071109,d.ZWU&psig=AFQjCNGCeNUU7OfqPNgjCw5KnX6-Durig&ust=1429729471972787](http://www.google.cz/url?sa=i&rct=j&q=&esrc=s&source=images&cd=&ved=0CAcQjRw&url=http%3A%2F%2Fold.vscht.cz%2Fmet%2Fstranky%2Fvyuka%2Fflabcv%2Flabor%2Ffm_slevarenstvi%2Fteorie.htm&ei=UZ82VevLJc73O8bsgOAO&bvm=bv.91071109,d.ZWU&psig=AFQjCNGCeNUU7OfqPNgjCw5KnX6-Durig&ust=1429729471972787)

[19] STUNOVÁ, Barbora. *Siluminy Stunova: Slitiny Al*.pdf. *Ústav strojírenské technologie* [online]. 19. dubna 2015 [cit. 2015-04-19]. Dostupné z:

<http://www.google.cz/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CCEQFjAA&url=http%3A%2F%2Fu12133.fs.cvut.cz%2Fpodklady%2FTSL%2FSlitiny%2520Al.pdf&ei=wgQ0VdSEOOjcywPY0YCABw&usg=AFQjCNHRQHeAwJzbokUptwt1Sx2AABlxgw&sig2=SjmtesBk5kG-9jy2apjBSA&bvm=bv.91071109,d.bGQ>

[20] NADCA. *Magnesium Die Casting Handbook*. 201. vyd. Wheeling, Illinois (North America): NADCA, 2006.

[21] NADCA. *Product Design For Die Casting: in Recyclable Aluminum, Magnesium, Zinc and ZA Alloys*. E-606. Wheeling, Illinois (North America): NADCA, 1998.

[22] Periodická tabulka prvků: *Hořčík, popis a vlastnosti prvku*. [online]. 11.4.2015 [cit. 2015-11-04]. Dostupné z: <http://www.prvky.com/12.html>

[23] AVEDESIAN, M a Hugh BAKER. *Magnesium and magnesium alloys*. Materials Park, OH: ASM International, 1999, ix, 314 p. ISBN 0871706571.

## Seznam obrázků

Obr. 1 Helikoptéra Rumas 10F 1 .....	9
Obr. 2 Vrtulník Bell 407 [4] .....	11
Obr. 3 Kamov Ka-52 Alligator [6] .....	12
Obr. 4 Boeing CH – 47 Chinook [7].....	13
Obr. 5 Kaman k - max [8].....	14
Obr. 6 Enstrom 480 převodovka a způsob přenášení výkonu motoru na rotorovou hlavu [10]..	15
Obr. 7 Enstrom 480 [11] .....	15
Obr. 8 Schéma převodovky koaxiálního vrtulníku [12] .....	16
Obr. 9 Převodová soustava vrtulníku Kaman K – MAX [13] .....	17
Obr. 10 Kompletní obaly sestupné převodové skříně pro vrtulník RUMAS 10F .....	23
Obr. 11 Přední nosný díl převodové skříně .....	23
Obr. 12 Zadní nosný díl převodové skříně .....	24
Obr. 13 Víko redukčního převodu .....	24
Obr. 14 Rovnovážný diagram Al –Si [18].....	29
Obr. 15 Díly obalů převodové skříně.....	39
Obr. 16 Převodová skříň – var. 1 .....	40
Obr. 17 Připojovací body převodové skříně .....	40
Obr. 18 Obr. 18 Přední díl var. 1 – vnitřek .....	41
Obr. 19 Zadní díl var. 1 .....	43
Obr. 20 Zadní díl var. 1 – vnitřek .....	44
Obr. 21 Víko var. 1 .....	45
Obr. 22 Deformace převodovky – var. 1 .....	46
Obr. 23 Díl č. 1 – Přední díl – var. 1 – součinitel bezpečnosti .....	47
Obr. 24 Díl č. 2 – Zadní díl – var. 1 – součinitel bezpečnosti .....	48
Obr. 25 Díl č. 3 – Víko – var. 1 – součinitel bezpečnosti.....	48
Obr. 26 Převodová skříň – var. 2 .....	50
Obr. 27 Přední díl var. 2 .....	50
Obr. 28 Přední díl var. 2 – řez ložiskem .....	51
Obr. 29 Přední díl var. 2 – vnitřek .....	52
Obr. 30 Zadní díl var. 2.....	53
Obr. 31 Zadní díl var. 2 – řez ložiskem .....	54
Obr. 32 Zadní díl var. 2 – vnitřek .....	54



Obr. 33 Víko var. 2 .....	55
Obr. 34 Víko var. 2 – vnější tvar výztužných žebor .....	56
Obr. 35 Víko var. 2 – řez uložením ložiska .....	56
Obr. 36 Deformace převodovky – var. 2 .....	57
Obr. 37 Díl č. 1 – Přední díl – var. 2 – součinitel bezpečnosti .....	58
Obr. 38 Díl č. 2 – Zadní díl – var. 2 – součinitel bezpečnosti .....	58
Obr. 39 Díl č. 3 – Víko– var. 2 – součinitel bezpečnosti.....	59
Obr. 40 Převodová skříň – finální varianta.....	60
Obr. 41 Přední díl – finální varianta .....	60
Obr. 42 Zadní díl – finální varianta .....	61
Obr. 43 Řez vnitřním výztužným žebrem.....	62
Obr. 44 Víko – finální varianta.....	62
Obr. 45 Přední díl – dělicí rovina formy a přídávky na obrábění.....	64
Obr. 46 Přední díl – vnitřek s přídávky na obrábění.....	64
Obr. 47 Přední díl – orientační rozměry součásti .....	65
Obr. 48 Zadní díl – dělicí rovina formy a přídávky na obrábění.....	66
Obr. 49 Zadní díl – vnitřek s přídávky na obrábění.....	66
Obr. 50 Zadní díl – orientační rozměry součásti .....	67
Obr. 51 Víko – dělicí rovina formy a přídávky na obrábění.....	67
Obr. 52 Víko – vnitřek s přídávky na obrábění .....	68
Obr. 53 Víko – orientační rozměry součásti .....	68
Obr. 54 Zadní díl – První návrh vtoku a nálitků.....	69
Obr. 55 Navrhnuté rozměry hlavního kanálu .....	70
Obr. 56 Přední díl – poloha nálitků V1.....	71
Obr. 57 Přední díl – poloha nálitků V1 půdorys.....	71
Obr. 58 Řez nálitkem 1 předního dílu – staženina_V1.....	72
Obr. 59 Řez nálitkem 2 a 3 předního dílu – staženina_V1 .....	73
Obr. 60 Řez nálitkem 4 a 5 předního dílu – staženina_V1 .....	73
Obr. 61 Řez nálitkem 6 předního dílu – staženina_V1.....	74
Obr. 62 Řez nálitkem 7 předního dílu – staženina_V1.....	74
Obr. 63 Přední díl – poloha nálitků V2.....	75
Obr. 64 Přední díl – poloha nálitků V2 půdorys.....	75
Obr. 65 Řez nálitkem 1 předního dílu – staženina_V2.....	76

Obr. 66	Řez nálitkem 2 a 3 předního dílu – staženina_V2 .....	77
Obr. 67	Řez nálitkem 4 a 5 předního dílu – staženina_V2 .....	77
Obr. 68	Řez nálitkem 6 předního dílu – staženina_V2 .....	78
Obr. 69	Řez nálitkem 7 předního dílu – staženina_V2 .....	78
Obr. 70	Řez nálitkem 7 předního dílu – staženina_V2 .....	79
Obr. 71	Přední díl – poloha nálitků V3 .....	80
Obr. 72	Přední díl – poloha nálitků V3 v pohledech kolmých na odlitek .....	80
Obr. 73	Přední díl – poloha chladítek V3 .....	81
Obr. 74	Přední díl – vtoková soustava .....	82
Obr. 75	Přední díl – průřez hlavního kanálu vtokové soustavy .....	82
Obr. 76	Přední díl – průřez zářezu .....	83
Obr. 77	Zadní díl – poloha nálitků V1 .....	83
Obr. 78	Zadní díl – poloha nálitků V1 půdorys .....	84
Obr. 79	Řez nálitkem 1 zadního dílu – staženina_V1 .....	85
Obr. 80	Řez nálitkem 2 zadního dílu – staženina_V1 .....	85
Obr. 81	Řez nálitkem 3 zadního dílu – staženina_V1 .....	86
Obr. 82	Oblast mezi nálitky 1 a 3 v zadním dílu – staženina_V1 .....	86
Obr. 83	Řez nálitkem 4 zadního dílu – staženina_V1 .....	87
Obr. 84	Oblast nálitku 4 zadního dílu – staženina_V1 .....	87
Obr. 85	Řez nálitkem 5 zadního dílu – staženina_V1 .....	88
Obr. 86	Řez nálitkem 6 zadního dílu – staženina_V1 .....	88
Obr. 87	Zadní díl – poloha nálitků V2 .....	89
Obr. 88	Zadní díl – poloha nálitků V1 půdorys .....	89
Obr. 89	Řez nálitkem 1 zadního dílu – staženina_V2 .....	90
Obr. 90	Řez nálitkem 2 zadního dílu – staženina_V2 .....	91
Obr. 91	Řez nálitkem 3 zadního dílu – staženina_V2 .....	91
Obr. 92	Řez nálitkem 4 zadního dílu – staženina_V2 .....	92
Obr. 93	Řez nálitkem 5 zadního dílu – staženina_V2 .....	92
Obr. 94	Řez nálitkem 6 zadního dílu – staženina_V2 .....	93
Obr. 95	Řez nálitkem 7 zadního dílu – staženina_V2 .....	93
Obr. 96	Řez nálitkem 8 zadního dílu – staženina_V2 .....	94
Obr. 97	Řez nálitkem 9 zadního dílu – staženina_V2 .....	94
Obr. 98	Zadní díl – staženina v kritické oblasti_V2 .....	95

Obr. 99 Zadní díl – poloha nálitků V3 .....	96
Obr. 100 Zadní díl – poloha nálitků V3 v pohledech kolmých na odlitek .....	96
Obr. 101 Zadní díl – poloha chladítek V3 .....	97
Obr. 102 Zadní díl – vtoková soustava .....	98
Obr. 103 Zadní díl – průřez hlavního kanálu vtokové soustavy .....	98
Obr. 104 Obr. 103 Přední díl – průřez zářezu.....	99
Obr. 105 Víko – poloha nálitků V1 .....	100
Obr. 106 Víko – poloha nálitků V1 půdorys .....	100
Obr. 107 Řez nálitkem 1 víka – staženina_V1 .....	101
Obr. 108 Řez nálitkem 2 víka – staženina_V1 .....	101
Obr. 109 Řez nálitkem 3 víka – staženina_V1 .....	102
Obr. 110 Víko – poloha nálitků V2 .....	103
Obr. 111 Víko – poloha nálitků V2 v pohledech kolmých na odlitek .....	103
Obr. 112 Víko – poloha chladítek V2.....	104
Obr. 113 Víko – vtoková soustava.....	105
Obr. 114 Víko – průřez hlavního kanálu vtokové soustavy .....	105
Obr. 115 Zadní díl – průřez zářezu .....	105
Obr. 116 Přední díl – počátek plnění dutiny formy .....	107
Obr. 117 Přední díl – průběh plnění dutiny formy .....	108
Obr. 118 Přední díl – Termální moduly 3D pohled.....	109
Obr. 119 Přední díl – poloha nálitků V3 v pohledech kolmých na odlitek .....	109
Obr. 120 Přední díl – Termální moduly v řezech nálitky 1, 2, 3 a 6 .....	110
Obr. 121 Přední díl – Termální moduly v řezech nálitky 4 a 5 .....	111
Obr. 122 Přední díl – Teplota po naplnění dutiny formy 3D pohled.....	112
Obr. 123 Přední díl – Teplota po naplnění dutiny formy – řez nálitky 1, 2, 3 a 6.....	113
Obr. 124 Přední díl – Teplota po naplnění dutiny formy – řez nálitky 4 a 5.....	113
Obr. 125 Přední díl – Staženina – půdorys .....	114
Obr. 126 Přední díl – Staženina – řezy oblastí 1 .....	115
Obr. 127 Přední díl – Staženina – vnitřek odlitku .....	115
Obr. 128 Přední díl – Staženina – řezy nálitky 1, 2, 3 a 6 .....	116
Obr. 129 Přední díl – Staženina – řezy nálitky 4 a 5 .....	117
Obr. 130 Zadní díl – průběh plnění dutiny .....	117
Obr. 131 Zadní díl – Termální moduly 3D pohled .....	118

Obr. 132 Zadní díl – poloha nálitků V3 v pohledech kolmých na odlitek .....	119
Obr. 133 Zadní díl – Termální moduly v řezech nálitky 1, 2, 7 a 8 .....	120
Obr. 134 Zadní díl – Termální moduly v řezech nálitky 3, 4, 5 a 6 .....	121
Obr. 135 Zadní díl – Teplota po naplnění dutiny formy 3D pohled.....	122
Obr. 136 Zadní díl – Teplota po naplnění dutiny – řez nálitky 1, 2, 3 a 6.....	123
Obr. 137 Zadní díl – Teplota po naplnění dutiny – řez nálitky 1, 2, 3 a 6.....	124
Obr. 138 Zadní díl – Staženina – půdorys .....	125
Obr. 139 Zadní díl – Staženina – pohled na oblast staženin a řezy touto oblastí .....	126
Obr. 140 Zadní díl – Staženina – pohled na vnitřní část odlitku .....	127
Obr. 141 Víko – počátek plnění dutiny formy.....	128
Obr. 142 Víko – průběh plnění dutiny formy .....	129
Obr. 143 Víko – Termální moduly 3D pohled.....	130
Obr. 144 Víko – poloha nálitků V2 v pohledech kolmých na odlitek.....	130
Obr. 145 Víko – Termální moduly v řezech nálitky .....	131
Obr. 146 Víko – Teplota po naplnění dutiny formy 3D pohled .....	131
Obr. 147 Víko – Teplota po naplnění dutiny formy – řez nálitky .....	132
Obr. 148 Víko – Staženina – půdorys.....	133
Obr. 149 Víko – Staženina – řez 1 .....	133
Obr. 150 Víko – Staženina – řez 2.....	134
Obr. 151 Návrh nové polohy odlitku ve formě.....	135

## Seznam Tabulek

Tab. 1	Kontroly odlévaných součástí podle SO [2].....	22
Tab. 2	Porovnání hmotností odlitků za použití slitiny hliníku a slitiny mědi.....	25
Tab. 3	Hodnoty vybraných mechanických vlastností slitin Al – Si [17].....	30
Tab. 4	Chemické složení slitiny AlSi7Mg 0,3 [20] .....	33
Tab. 5	Fyzikální vlastnosti AlSi7Mg 0,3 [20] .....	33
Tab. 6	Mechanické vlastnosti AlSi7Mg 0,3 pro odlitky lité do pískových forem [20].....	34
Tab. 7	Mechanické vlastnosti AlSi7Mg 0,3 pro odlitky lité do kovových forem [20].....	34
Tab. 8	Mechanické vlastnosti AlSi7Mg 0,3 pro odlitky lité do kovových forem [20].....	34
Tab. 9	Obrobitelnost AlSi7Mg 0,3 [20].....	35
Tab. 10	Chemické složení slitiny AlSi10Mg [20] .....	35
Tab. 11	Fyzikální vlastnosti AlSi10Mg [20] .....	35
Tab. 12	Mechanické vlastnosti AlSi10Mg pro odlitky lité do pískových forem [20].....	36
Tab. 13	Mechanické vlastnosti AlSi10Mg pro odlitky lité do kovových forem [20].....	36
Tab. 14	Obrobitelnost AlSi10Mg [20].....	36
Tab. 15	Chemické složení slitiny AZ91E-T6 [23] .....	37
Tab. 16	Vybrané mechanické vlastnosti za pokojové teploty slitiny AZ91E-T6 [23] .....	37
Tab. 17	Názvy odlitků převodové skříně.....	39
Tab. 18	Rozměry převodové skříně.....	39
Tab. 19	Parametry výztužných elementů v obr. 17 .....	41
Tab. 20	Parametry výztužných elementů v obr. 18 .....	42
Tab. 21	Parametry výztužných elementů v obr. 19 .....	43
Tab. 22	Parametry výztužných elementů v obr. 20 .....	44
Tab. 23	Parametry výztužných elementů v obr. 21 .....	45
Tab. 24	Deformace v sestavě obalů převodovky – varianta 1 .....	46
Tab. 25	Nejnižší hodnota součinitele bezpečnosti – varianta 1 .....	48
Tab. 26	Parametry výztužných elementů v obr. 27 .....	51
Tab. 27	27 Parametry výztužných elementů v obr. 29 .....	52
Tab. 28	Parametry výztužných elementů v obr. 30 .....	53
Tab. 29	Parametry výztužných elementů v obr. 33 .....	55
Tab. 30	Deformace v sestavě obalů převodovky – varianta 2.....	57
Tab. 31	Nejnižší hodnota součinitele bezpečnosti – varianta 1 .....	59
Tab. 32	Parametry výztužných elementů v obr. 41 .....	61

Tab. 33 Přední díl – orientační rozměry hrubého odlitku.....	65
Tab. 34 Zadní díl – orientační rozměry hrubého odlitku.....	67
Tab. 35 Přední díl – parametry nálitků V1 .....	72
Tab. 36 Přední díl – parametry nálitků V2 .....	76
Tab. 37 Přední díl – parametry nálitků V3 .....	81
Tab. 38 Přední díl – přehled ploch průřezů vtokové soustavy.....	83
Tab. 39 Zadní díl – parametry nálitků V1 .....	84
Tab. 40 Zadní díl – parametry nálitků V2 .....	90
Tab. 41 Zadní díl – parametry nálitků V3 .....	97
Tab. 42 Zadní díl – přehled ploch průřezů vtokové soustavy.....	99
Tab. 43 Víko – parametry nálitků V1 .....	101
Tab. 44 Víko – parametry nálitků V1 .....	104
Tab. 45 Zadní díl – přehled ploch průřezů vtokové soustavy.....	106
Tab. 46 Použitá slitina hliníku při simulaci .....	106
Tab. 47 Přední díl – čas plnění a čas tuhnutí .....	108
Tab. 48 Přibližné teploty ve vybraných oblastech odlitku.....	111
Tab. 49 Přední díl – teplota nálitků 1, 2, 3 a 4.....	112
Tab. 50 Přední díl – teplota nálitků 4 a 5.....	114
Tab. 51 Zadní díl – čas plnění a čas tuhnutí .....	118
Tab. 52 Přibližné teploty ve vybraných oblastech odlitku.....	122
Tab. 53 Zadní díl – teplota nálitků 1, 2, 3 a 4.....	122
Tab. 54 Zadní díl – teplota nálitků 3, 4, 5 a 6.....	123
Tab. 55 Zadní díl – čas plnění a čas tuhnutí .....	129
Tab. 56 Víko – teplota nálitků .....	132
Tab. 57 Objemy odlitku a součásti .....	135