

**ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE**

FAKULTA STROJNÍ



Diplomová práce

2018

Bc. Ondřej Simandl



ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Simandl** Jméno: **Ondřej** Osobní číslo: **419862**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávající katedra/ústav: **Ústav strojírenské technologie**
Studijní program: **Strojní inženýrství**
Studijní obor: **Výrobní a materiálové inženýrství**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Racionalizace technologie výroby odlitku Tabouret pomocí simulace

Název diplomové práce anglicky:

The rationalization of casting Tabouret production with simulation

Pokyny pro vypracování:

1. Úvod do problematiky
2. Vtokové soustavy a náliťkování litinových odlitků
3. Vady litinových odlitků
4. Analýza současného stavu technologie
5. Návrh nové vtokové soustavy na základě výsledků simulace
6. Optimalizace navržené technologie pomocí simulací s cílem minimalizace slévárenských vad
7. Návrh změny modelového zařízení pro ověření v praxi
8. Vyhodnocení a závěr

Seznam doporučené literatury:

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

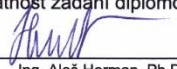
Ing. Aleš Herman, Ph.D., ústav strojírenské technologie FS


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

Datum zadání diplomové práce: **23.04.2018**

Termín odevzdání diplomové práce: **10.08.2018**

Platnost zadání diplomové práce: **10.08.2018**

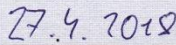

Ing. Aleš Herman, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce



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


prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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


27.4.2018
Datum převzetí zadání


Podpis studenta

Prohlášení o autorství:

Prohlašuji, že jsem svou diplomovou práci zpracoval samostatně pod vedením Doc. Ing. Aleše Hermana, Ph.D., a v seznamu uvedl veškerou použitou literaturu.

V Praze, dne:

Podpis:

Prohlášení o udělení souhlasu s užitím:

Nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu § 60 zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Praze, dne:

Podpis:

ANOTACE

Jméno autora:	Bc. Ondřej Simandl
Ústav:	Strojírenská technologie
Obor:	Výrobní a materiálové inženýrství
Název tématu:	Racionalizace technologie výroby odlitku Tabouret pomocí simulace
Vedoucí diplomové práce:	Doc. Ing. Aleš Herman, Ph.D.
Rozsah práce:	stran: 101 obrázků: 66 tabulek: 6 příloh: 35
Akademický rok:	2017/2018

Diplomová práce „Racionalizace technologie výroby odlitku Tabouret pomocí simulace“ je zaměřena na racionalizaci výroby odlitku Tabouret pomocí simulace pro firmu Saint Gobain v Královém Dvoře.

V teoretické části je popsána historie filtrace a historie závodu samotného. Dále pak specializace firmy a jejich výrobků.

V praktické části je popsána optimalizace navržené technologie pomocí simulací s cílem minimalizace slévárenských vad.

ABSTRACT

Name: Bc. Ondřej Simandl
Department: Engineering Technology
Field: Production and material engineering
Topic: The rationalization of casting Tabouret production with simulation

Thesis Supervisor: Doc. Ing. Aleš Herman, Ph.D.

Scope of work: pages: 101
images: 66
tables: 6
annexes: 35

Academic Year: 2017/2018

The thesis " The rationalization of casting Tabouret production with simulation " focuses on the rationalization of the production of the Tabouret casting using a simulation for the company Saint Gobain in Králové Dvůr.

The history of filtration and the history of the plant itself is described in the theoretical part. Next, specialization of the company and its products.

The practical part describes the optimization of the proposed technology by means of simulations designed to minimize foundry defects.

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval svému vedoucímu práce panu Doc. Ing. Aleši Hermanovi, Ph.D. za velmi cenné a přínosné informace, rady a podklady k mé diplomové práci. Dále pak panu Ing. Michalovi Vrbovi, Ph.D. za odborný výklad a pomoc při zpracování DP a panu Ing. Petrovi Jiráskovi za možnost spolupracovat a podívat se do závodu Saint Gobain PAM CZ s.r.o. Dále děkuji také firmě Saint Gobain PAM s.r.o. za možnost vypracovat tuto diplomovou práci a celému oddělení technologie slévárny za informace a ochotu při řešení problémů.

Závěrem bych rád poděkoval své rodině a mým nejbližším, kteří mě po celou dobu psaní podporovali a radili mi. Děkuji všem!

Obsah

1	Úvod do problematiky	9
1.1	Saint Gobain PAM CZ s.r.o.	10
1.1.1	Historie závodu	11
1.1.2	Druhy výrobků	12
1.2	Používaný materiál	12
1.2.1	Chemické složení a struktura	13
1.2.2	Vlastnosti materiálu	14
1.3	Vstupní suroviny a vsázka	15
1.4	Výroba a metody výroby tvárné litiny	17
1.4.1	Metoda plněných profilů	18
1.4.2	Otevřená pánev - polévací způsob	20
1.4.3	Sandwich metoda	21
1.4.4	Tundish cover zpracovací pánve	23
1.4.5	Konvertorový způsob	24
1.4.6	Ponorný způsob	25
1.5	Modifikace a očkování	27
1.6	Počítačové simulace ve slévárenství	29
2	Vtokové soustavy a nálitkování litinových odlitků	32
2.1	Vtoková soustavy a filtrace	33
2.2	Úvod do filtrace	35
2.2.1	Typy filtrů a jejich použití	35
2.3	Nálitkování	40
2.3.1	Heuversova podmínka (metoda vepsaných koulí)	42
2.3.2	Metoda Ivanova a Příbyla	43
2.3.3	Metoda Chvorinova a Wlodawera	43
3	Vady litinových odlitků	45
3.1	Povrchová připečenina	47
3.2	Staženiny	48
3.3	Trhliny	49
3.4	Zborcení a deformace	49
3.5	Nedolití	50
3.6	Zadrogenina	51

4	Analýza současného stavu technologie	53
5	Návrh nové vtokové soustavy na základě výsledků simulace	62
5.1	1. varianta simulace	63
5.2	2. varianta simulace	67
5.3	3. varianta simulace	68
5.4	4. varianta simulace	69
5.5	5. varianta simulace	70
5.6	6. varianta simulace	71
6	Optimalizace navržené technologie pomocí simulací s cílem minimalizace slévárenských vad	75
7	Návrh změny modelového zařízení pro ověření v praxi	76
8	Vyhodnocení a závěr	80
9	Seznam použité literatury	82
	Seznam obrázků a tabulek	84
	Přílohy	86

1 Úvod do problematiky

Práce se bude zabývat problematikou odlévání výrobku Tabouret, který měl velký podíl na zmetkovitosti, a firmě SG se nedařilo tento problém vyřešit. V první části této práce se zaměříme na popis problematiky, se kterou se v naší práci setkáme. Seznámíme se zde s technologií lití, popíšeme základní vlastnosti materiálu a materiál samotný, ze kterého jsou odlitky v Saint Gobain PAM CZ s.r.o. vyráběny. Popíšeme druhy výrobků, které se v Saint Gobain PAM CZ s.r.o. produkují, a v menší míře i odvětví firmy, ve kterém se pohybuje a na co se specializují.

Dále se uvedou základní popisy slévárny a modelárny a technologický postup výroby, kterým odlitek v daném závodu prochází. Zaměříme se i na vady, se kterými se Saint Gobain PAM CZ s.r.o. v daném odlitku potýkají. V této části se ovšem zaměříme i na filtraci, která bude i okrajově zmíněna v samostatné kapitole o vtokových soustavách a nálitkování, jelikož v Saint Gobain PAM CZ s.r.o. se používají do vtokových soustav filtry, a je nutné, aby to bylo před touto kapitolou náležitě vysvětleno. A nakonec se zaměříme na počítačovou simulaci ve slévárenství, která bude pro tuto práci nezbytně nutná.

Ve druhé části se budeme zabývat konkrétním řešením technologického postupu ve slévárně Saint Gobain PAM CZ s.r.o. ve Královém Dvoře. Konkrétně se budeme věnovat našemu jednomu odlitku, který jsme od firmy obdrželi a který jsme monitorovali. Jedná se o výrobek Tabouret. V tomto případě se už budeme snažit pomocí simulací docílit optimální vtokové soustavy a vyhnout se problémům, které z tohoto dříve pramenily. Budeme tedy analyzovat současnou technologii výroby a následně se pokoušet o optimalizovanou variantu vtokové soustavy na základě výsledků ze simulačního softwaru. Cílem tohoto snažení by mělo být optimalizovat navrženou technologii výroby pomocí simulace s cílem minimalizace slévárenských vad. Následně by pak měl padnout návrh na nové modelové zařízení, aby se naše nové řešení mohlo ověřit v praxi... Poté se budeme věnovat diskuzi a závěru, kde zhodnotíme, co se povedlo a co ne.

Cíle práce:

- V těchto bodech si představíme tuto diplomovou práci a ukážeme, jak to ve slévárně funguje.
- V úvodu se popíší základní technologie, kterými se dané odlitky vyrábějí a z jakého jsou materiálu a jaké vlastnosti musí daný výrobek splňovat.
- Poté si představíme samotný závod a jeho výrobky a v neposlední řadě si vysvětlíme problematiku filtrace.
- Po představení dané technologie a materiálu se budeme věnovat vtokovým soustavám a jejich nálitkovaní. Bude se jednat převážně o litinové vtokové soustavy.
- Po vtokových soustavách se rozebere problematika vad litinových odlitků.
- Ve druhé části už se bude analyzovat současná technologie výroby.
- Optimalizace navržené technologie pomocí simulací s cílem minimalizace slévárenských vad - omezení zmetkovitosti
- Po optimalizaci se navrhne změna modelového zařízení pro ověření v praxi
- Výsledkem této práce bude zhodnocení simulačních variant. Jestli výsledná varianta byla pro provoz ve slévárně přínosem nebo naopak.
- Závěrem bychom rádi konstatovali splnění těchto cílů, které jsme si zde stanovili.

1.1 Saint Gobain PAM CZ s.r.o.

Společnost SAINT-GOBAIN PAM CZ s.r.o. je obchodní zastoupení předního světového výrobce trubních systémů z tvárné litiny SAINT-GOBAIN PAM. Firma SAINT-GOBAIN PAM, vyrábějící litinové výrobky již déle než sto let, byla prvním podnikem na světě, který zavedl proces výroby tvárné litiny v průmyslovém měřítku. Společnost SAINT-GOBAIN PAM CZ s.r.o je součástí společnosti SAINT-GOBAIN PIPE DIVISION, která působí ve více než dvaceti zemích pěti světadílů prostřednictvím svých výrobních závodů a obchodních zastoupení.

Se svým týmem vysoce specializovaných odborně technických pracovníků má SAINT-GOBAIN PAM CZ s.r.o. ty nejlepší předpoklady pokračovat v započatém trendu zvyšování podílu tvárné litiny pro vodovody a kanalizace na českém trhu. [1]

1.1.1 Historie závodu

SAINT-GOBAIN PAM CZ s.r.o. reprezentuje v České republice obchodní značku PAM, světového lídra ve výrobě a dodávkách trubních systémů z tvárné litiny, začleněnou do Construction Products Sector. Společnost SAINT-GOBAIN PAM CZ s.r.o. vznikla v roce 2009 jako vyvrcholení aktivit francouzské mateřské společnosti SAINT-GOBAIN PAM na českém území.

Začátky těchto aktivit se datují rokem 1992, kdy vzniká společnost COMETA, výhradní distributor a obchodní zástupce SAINT-GOBAIN PAM na českém a slovenském trhu. S ním se na těchto trzích poprvé objevuje kompletní trubní systém z tvárné litiny pro tlakové rozvody pitné vody, kanalizační systémy a dokonce i pro další speciální použití. A to vše z tvárné litiny, plně recyklovatelného materiálu, který ještě zvyšuje a rozšiřuje vlastnosti a možnosti litinových potrubí známé několik stovek let.

Postupně COMETA svoje aktivity rozšiřuje a stává se významným dodavatelem. V roce 1998 je plně začleněna do SAINT-GOBAIN PAM a v roce 2000 se přejmenovává na TRUBNÍ SYSTÉMY s působností na českém trhu.

Dalším významným milníkem je rok 2002, kdy SAINT-GOBAIN kupuje slévárnu vodovodních tvarovek v Králově Dvoře a tím se vlastně stává součástí železářské historie výroby odlitků ve středních Čechách s počátky v 15. století. Vzniká společnost SAINT-GOBAIN Slévárna s.r.o. Výroba odlitků tvarovek pro trubní systémy tvoří 100% jejich aktivit.

V průběhu uplynulých let SLÉVÁRNA rozsáhle investovala do rozšiřování a zkvalitňování výroby včetně výstavby formovací linky pro tvarovky velkých průměrů a CNC obrábění. Významná část investic byla také vynaložena do oblasti ekologie a zlepšení bezpečnosti práce a pracovního prostředí. Díky tomu a díky týmu českých manažerů a pracovníků je slévárna v Králově Dvoře dnes špičkovým evropským výrobcem tvarovek pro trubní systémy v rozsahu rozměrů DN 40 až DN 1200, v mnoho směrech jedinečným nejen v rámci SAINT-GOBAIN.

A tím se dostáváme k již zmiňovanému roku 2009, kdy spojením dvou dosud nezávislých společností v rámci slévárenských aktivit SG, vzniká jediná obchodně – výrobní společnost

SAINT-GOBAIN PAM CZ s.r.o., navazující na dlouholeté úspěšné obchodní aktivity a zároveň podpořené špičkovou výrobní technologií.

SAINT-GOBAIN PAM CZ s.r.o. vychází z dlouholeté tradice a zkušeností francouzských a českých odborníků, doplněných o nejmodernější výsledky vědeckého vývoje a přetavených do moderního, technicky vyspělého výrobku, který nabízí českým zákazníkům. [2]

1.1.2 Druhy výrobků

Společnost Saint Gobain PAM CZ s.r.o. se specializuje hned na několik výrobků. U této společnosti můžeme nalézt široké odvětví výrobků - od armatur až po potrubí a poklopy. V krátkosti bych uvedl odvětví, se kterými má něco společného. Konkrétněji se pak dále budu věnovat výrobku zvaný Tabouret, který bude spadat spíše do armatur.

- 1) Vodovodní systémy
- 2) Vodovodní armatury
- 3) Kanalizační systémy
- 4) Kanalizační armatury
- 5) Spoje
- 6) Poklopy a mříže
- 7) Odvodnění budov

1.2 Používaný materiál

V našem případě se bude jednat o materiál litinu s kuličkovým grafitem - značením EN-GJS-500-70 (jedná se o tvárnou litinu značením též dle DIN GGG50 - dále jen LKG).

Tvárná litina nebo litina s kuličkovým grafitem je slitina železa s uhlíkem a dalšími prvky, v níž je uhlík přítomen především ve formě kuličkových částic grafitu. Oproti litině s lupínkovým grafitem má vyšší obsah uhlíku a křemíku.[3]

LKG se získává přísadou hořčíku do litiny šedé, materiál si přitom zachovává pevnost šedé litiny a získává pružnost. Tento materiál, který je ideálním kompromisem spojujícím pružnost

s pevností, se již dlouhou dobu vyhledáván jako vynikající trubní materiál, zvláště pro výstavbu tlakových potrubí. [4]

V LKG jsou částice grafitu ve tvaru kuliček, které zabraňují riziku šíření trhlin. Litina není již „křehká“, je tvárná a pevná. [4]

Jako každý materiál, ze kterého je vyroben nějaký výrobek, se musí řídit normami. V SG musí výrobky splňovat 2 normy. První norma je českou verzí evropské normy EN 545:2010 - ČSN EN 545 (13 2070), která popisuje trubky, tvarovky a příslušenství z tvárné litiny (dále pak také jejich vodovodní spoje, požadavky a zkušební metody) a druhá je světová norma, která platí také pro SG, a to je ISO 2531:2009.

1.2.1 Chemické složení a struktura

V našem konkrétním případě u výrobku Tabouret je chemické složení následovné -

Uhlík C	Křemík Si	Hořčík Mg	Síra S	Mangan Mn	Fosfor P	Chrom Cr
3,668	2,64	0,0548	0,0108	0,215	0,0555	0,0323

Tabulka 1 Chemické složení výrobku Tabouret

Pro výchozí taveninu jsou považovány za základní prvky (C,Si), průvodní (Mn, P, S), legující (Cu, Ni, Cr, Mo), antiglobalizační (Ti, Pb, Sn), plyny (H, N a O)....

Struktura je tvořena feritem, perlitem a zrnitým grafitem. Vzhled lomu je světle šedý. Litina je vhodná na odlitky s tloušťkou stěn 5 až 100 mm i více, jako např. na součásti mechanicky i dynamicky namáhané, na vodící a kluzné lišty, tělesa armatur, na válečky rovnaček a podávací válečky, na převodové skříně apod. [5]

Feriticko - perlitická struktura s různým poměrem feritu a perlitu je ta nejobvyklejší struktura tvárné litiny a vzniká obvykle při tomto chemickém složení: 2,8 až 4,0% C, 1,8 až 3,0% Si, 0,2 až 0,8% Mn, max. 0,2% P, 0,01 až 0,007% S, a 0,04 až 0,12%. Struktura feriticko - perlitická s převážným obsahem feritu obsahuje více křemíku (2,6 až 3,2%) a méně manganu (0,5 až 0,2%). Vyznačuje se větší tažností a menší pevností. Zvyšuje - li se obsah křemíku i manganu, roste při zachování původní struktury poněkud pevnost, ale zmenšuje se tažnost a rázová houževnatost. Se snižujícím se obsahem křemíku a manganu se naopak mírně snižuje

pevnost a zvyšuje tažnost a rázová houževnatost. Pro feriticko - perlitickou tvárnou litinu lze tedy doporučit obsah cca 2,8% křemíku a pod 0,3% manganu. Feriticko - perlitické tvárné litiny se mohou používat jak v litém stavu, tak i po feritizačním žhání. [6]

Vliv primárních prvků na mikrostrukturu a vlastnosti LKG mají převážně tyto 3 činitele -

- A. Chemické složení
- B. zpracování roztavené litiny
- C. rychlost tuhnutí a rychlost ochlazovací pevné fáze

Mezi primární prvky bychom zařadili - C, Si, Mn, P a S. Detailní rozvržení bylo zmíněno výše.

1.2.2 Vlastnosti materiálu

Pro litinu s kuličkovým grafitem , konkrétně pro GJS 500.7, jsou charakteristické tyto vlastnosti (viz tabulka níže).

EN 1563 Označení materiálu	Tvrdost HB 5/750	Pevnost v tahu R_m [N/mm ²] min.	0,2% - mez kluzu $R_{p0,2}$ [N/mm ²] min.	Tažnost A [%] min.	Struktura
EN-GJS-500-7	170-220	500	320	7	ferit-perlit

Tabulka 2 - Vlastnosti materiálu

EN-GJS-500-7 je střední stupeň tvárné litiny v evropské normě DIN EN 1563, její ekvivalentní jakost podle DIN 1693 je GGG50.

Jako litina s kuličkovým grafitem, nebo chcete-li tvárná litina, má následující vlastnosti -

- pružnost kovu
- dobré vlastnosti při ohybu
- pevnost v tahu
- extrémní tuhost
- dlouhá životnost (dle SG PAM až 100 let!)
- neomezeně 100% recyklovatelný materiál
- úspora energie při tavení (úspora kovu)
- menší měrná hmotnost

- dobré kluzké vlastnosti
- tlumící vlastnosti
- dobré slévárenské vlastnosti
- dobře obrobiteľná

1.3 Vstupní suroviny a vsázka

Základní suroviny a vsázku je velice důležité specifikovat už na začátku procesu, kdy se dělá objednávka potřebných materiálů a přísad. Je to základní předpoklad k tomu, abychom mohli dále specifikovat to, oč nám jde a co chceme vyrábět. Rozhodovat se pak můžeme dle jakosti odlitku, případnou jeho certifikací (jako je např. složení, kusovost, balení...). Veškerý materiál, který pak objednáme, je důležité zkontrolovat. Jakýkoliv špatně objednaný materiál nebo přísada může zcela zásadně ovlivnit chemické složení daného výrobku. Může se objevit spousta vad a problémů. Proto je nutné na začátku procesu specifikovat vstupní suroviny dle požadavků konkrétní slévárny. Je nutné provést kontrolu zboží, zda není znečištěné (např. od rzi, různých nátěrů, popř. pokovení, od zemin, olejů, organických látek apod.). Dále je důležité objednávat tam, kde nám jsou dodavatelé schopni zaručit požadované chemické složení materiálu - popřípadě zajistit kontrolu přejímky zboží. Všechny materiál, který se nakoupí a uskladní, je důležité držet zvlášť, nemíchat ho pospolu, i když se to následně tak či tak v kuplovně stane. Bavíme se teď konkrétně o vratném materiálu - jako jsou zmetky, zbytky vtokovek a nálitků atd. Každý kus materiálu musí být tedy uskladněn zvlášť. Po kompletním roztřídění se materiál následně váží a třídí tak, jak je to nezbytné pro kuplovnu. Každý materiál je v určitém poměru přidáván do vsázky tak, aby vsázka byla kompletní a mohla být přivedena do kuplovny.

Vstupní suroviny a vsázka v SG je tvořena:

- surovým železem
- vratným materiálem
- koksem (palivo)
- vápencem (struskotvorná přísada)
- litinovým odpadem
- modifikátory
- očkovačla

Surové železo jako slévárenský materiál se obvykle dodává s vyšším množstvím křemíku, takže už zde není nutné používat feroslitiny k dolegování materiálu na potřebný dosah Si (to samé platí i o obsahu manganu). Surové železo je určeno k dalšímu přepracování v tekutém stavu na litinu nebo na ocel.

Vratný materiál je většinou to, co se použije z předchozích výrobků. Používá se ten vratný materiál z taveb, který má zhruba stejné složení jako připravovaná slitina. V největší míře jsou to právě zbytky vtokovek, nálitků, popřípadě zmetky, které mohou tvořit až 50% podílu vsázky. Na druhou stranu podíl vratného materiálu nesmí být vysoký, protože se zde může objevit vysoký výskyt nežádoucích plynů (N) a jiných prvků z důvodu neustálého hromadění se prvků ve vsázce.

Koks se používá v kuplovnách při výrobě litiny, pro výrobu izolačních materiálů a pro speciální metalurgii. Slévárenský koks musí svými technologickými vlastnostmi zabezpečovat podmínky pro výrobu litiny a izolačních materiálů na bázi čediče nebo skelných vláken. Hlavní rozdíl mezi slévárenským a vysokopecním koksem je v kusovosti, hutnosti, pevnosti a reaktivitě. Koks z uhlí je stříbřitě šedý, tvrdý a pórovitý. Jeho výhřevnost se pohybuje podle typu od 25 do 30 MJ/kg. [7]

Vápenec se využívá v hutní výrobě jako struskotvorná přísada (vápenec s velmi malým obsahem hořčíku a fosforu) ale slouží i k odsiřování.

Litinový odpad může být produkován z vlastních výrobků nebo může být nakupovaný. Velmi často se jedná o netříděný a relativně levný materiál (s porovnáním se surovým železem). U litinového odpadu je největší problém nadmíra chemického prvku fosforu a síry. To se musí brát v potaz vzhledem ke konečnému produktu. Litinový odpad se nejčastěji používá pro odlití nesložitých a nenáročných odlitků, popřípadě ke zlevnění vsázky z kvalitnějších surovin. Tento druh materiálu se používá jen zřídka pro náš konkrétní případ - LKG.

Modifikátory a očkovačla - Pro snadnou a levnou výrobu LKG je vhodné mít k dispozici karbid křemíku (SiC) pro vsázku a zlevnění její ceny. SiC se v peci rozkládá ze 70% na volný Si a ze 30% na volný C. Tyto složky se následně rozpouštějí v litině. Z tohoto poměru vyplývá, že 90 % karbid křemíku nahrazuje v poměru 1:1,75% FeSi. Touto náhradou lze dosáhnout úspory vstupních surovin při zvýšení kvality litiny. Výhodou použití SiC oproti FeSi je ta, že při rostoucí teplotě roste odkysličovací schopnost uhlíku. SiC se netaví, ale ve slitině se rozpouští pomalu. Působí jako přeočkovací přísada. Naproti tomu odkysličovací schopnost ferosilicia se vzrůstající teplotou klesá. V případě použití ferosilicia se zvyšuje kvalita litiny a je možné využít více vratného materiálu a zlomkové litiny. Ferosilicium ve formě tzv. briket zajišťuje, že SiC vyhořívá jen pomalu, k rozpadu briket dochází nad 1000°C. Dodávají se i kombinované brikety SiC + C. Po modifikaci a grafitizačním očkovaní by tvárná litina měla obsahovat kolem 2,4 – 2,8 % Si. [6]

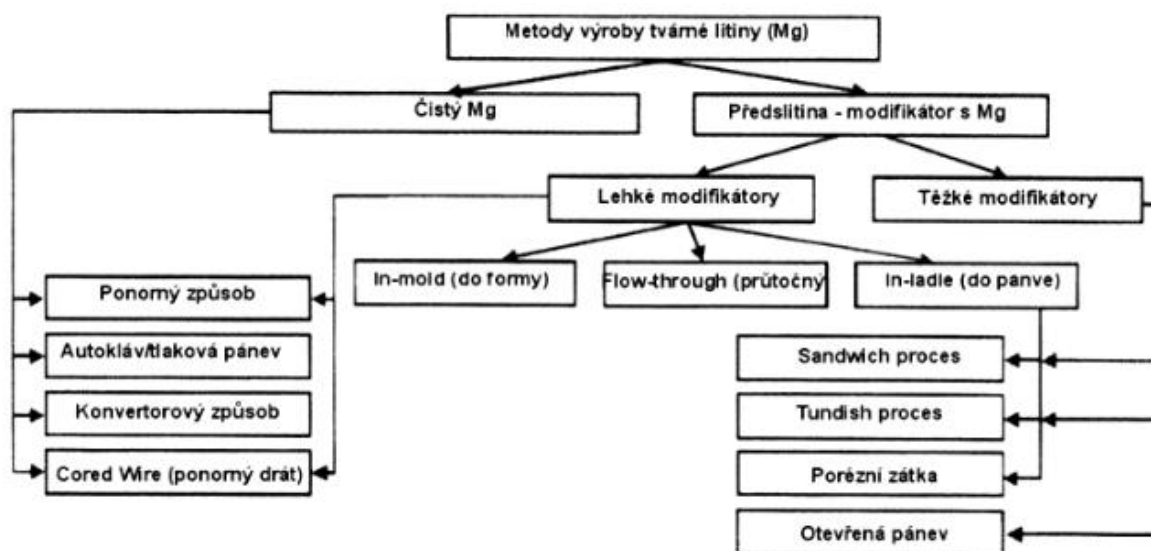
1.4 Výroba a metody výroby tvárné litiny

Jako výchozí polotovar pro výrobu tvárné litiny se používá šedá litina, u které je grafit vyloučen ve formě lupínků. Aby se z této litiny mohla stát litina tvárná (litina s kuličkovým grafitem), je zapotřebí přidat do taveniny modifikátor. A jako nejpoužívanějším modifikátorem je v dnešní době hořčík, který se zatím nejvíce osvědčil. Jelikož se hořčík velmi dobře slévá, ale velice prudce reaguje s taveninou, je zapotřebí prudkost reakce při použití hořčíku snížit. A toho jde docílit dvěma způsoby.

- 1) Použitím zvláštních zařízení (krytých pánví, kabin, přetlakových pánví a přetlakovými komorami nazývanými autoklávy).
- 2) Snížení prudkosti reakce hořčíku s taveninou spočívá ve snížení jeho obsahu v modifikační přísadě pomocí dalších prvků, např. Ni, Cu, Si. Hořčík je karbidotvorným prvkem, proto používáme grafitizačních očkovačel –nejpoužívanější jsou na bázi FeSi. Tedy prvky, které mají vysokou afinitu k síře a kyslíku. [6]

Čistý hořčík se rovnoměrně dávkuje do taveniny, dochází ke snížení úniku hořčíku ze zpracovací pánve. Samotný hořčík je umístěn na dně pánve v reakční komoře. Např. u metody MAP (Manufacturing Automation Protocol - Protokol pro automatizaci výroby) se pro modifikaci používají hořčíkové polotovary - hranoly, profily, nebo destičky obalené žáruvzdorným materiálem s jednou obnaženou stranou. Žáruvzdorný obal brání přímému

styku hořčíku s taveninou a tím tlumí bouřlivost reakce. Velice rozšířen je způsob modifikace pomocí drátu z hořčíku. Předslitiny obsahují mimo Mg i další prvky – např. Si, Ni, Fe, Al, Cu, Ca. [6]



Obrázek 1- Metody výroby tvárné litiny [8]

Na schématu výše je vidět, jak je možné vyrábět tvárnou litinu. A jelikož je na světě patentovaných cca 200 postupů výroby, uvedeme si zde jen pár možných variant. Ve světě se uznává cca 50 výrobních postupů, které jsou nejpoužívanější. Zmíníme ty, které se nejvíce používají.

1.4.1 Metoda plněných profilů

Tato metoda vychází z principu předchozí varianty, kdy se do pánve ponořovala ocelová trubka se zvonem na konci. V této metodě je ale použit drát nebo tyčinka, která je opláštěná (uhlíkovou ocelí) a uvnitř je vyplněna modifikátorem a dalšími přísadami. Tato metoda výroby se v poslední době velmi rozšiřuje, protože nabývá značných výhod.

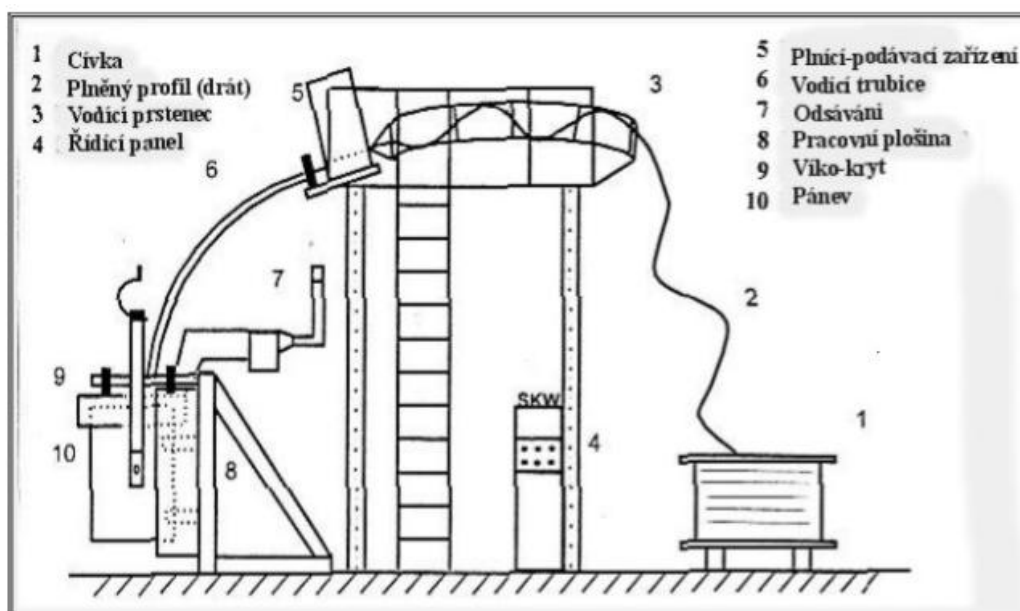
Výhody této metody -

1. jednoduchá a spolehlivá
2. dobrá kontrola množství PP
3. možnost vyrábění všech druhů LKG
4. variantní řešení náplně (modifikátoru)

Nevýhody této metody -

1. investiční náklady na pořízení pánve
2. investice do podavače
3. problém s grafitizačním očkovaním
4. cena plněného profilu

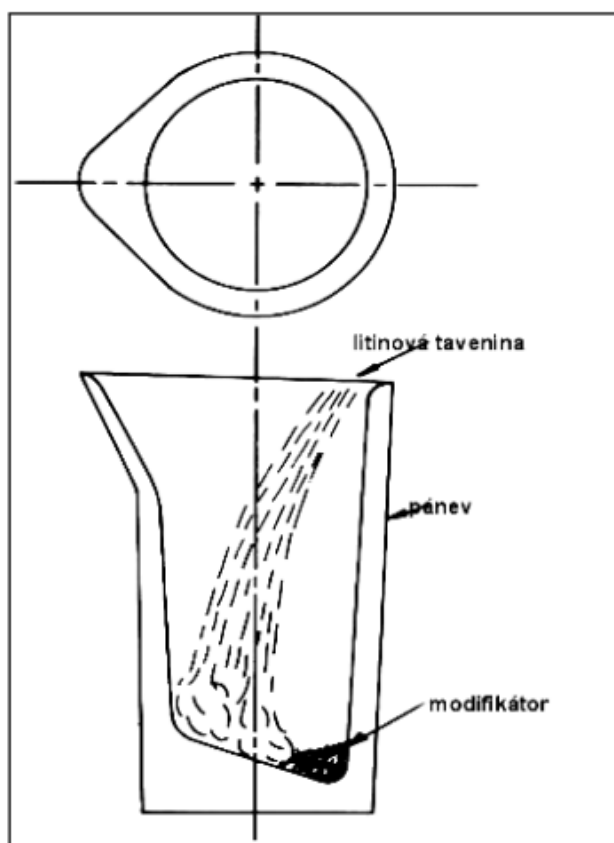
Podrobnější popis této metody si můžeme ukázat na následujícím obrázku. Na pravé straně je vidět navinutá cívka, což je vlastně náš plněný profil, ve kterém je modifikátor. Ten se navíjí na vodící prstenec, který ovládá řídicí centrum pod ním. Když projde plněný profil přes toto centrum, dostává se k podávacímu zařízení, které vede přes vodící trubici až do pánve. Samotná pánve je pak přiklopena víkem, přes které jde odsávání výparů a par. Pánve je pak usazena na pracovní plošině, aby se s ní pak dalo lépe manipulovat.



Obrázek 2 - Schéma zařízení na zavádění plněných profilů (drátů) do taveniny pro velké výkony s odsáváním zplodin reakce - horizontální uspořádání [8]

1.4.2 Otevřená pánev - polévací způsob

První technika výroby tvárné litiny, kterou bych rád zmínil, je polévací způsob. Jedná se o nejjednodušší výrobní techniku vůbec, tudíž byla v minulosti hojně využívána, jedná se však o velice nevhodnou techniku z hlediska využívání modifikátoru. Na druhou stranu tato metoda nevyžaduje velké investiční náklady, a proto je tak jednoduchá. Jak je vidět na obrázku níže, modifikátor se dává dolů do rohu pánve (i když dříve byly pánve na dně rovné). Pánev má tedy mírně nakloněné dno, protože je to výhodnější pro samotné lití. Modifikátor by se měl ještě zaházet ocelovými třískami nebo plechy, aby se modifikátor držel u dna. Následně probíhá lití do otevřené pánve, která by měla být předem predehřátá do určité výšky přesně odměřeným množstvím taveniny.



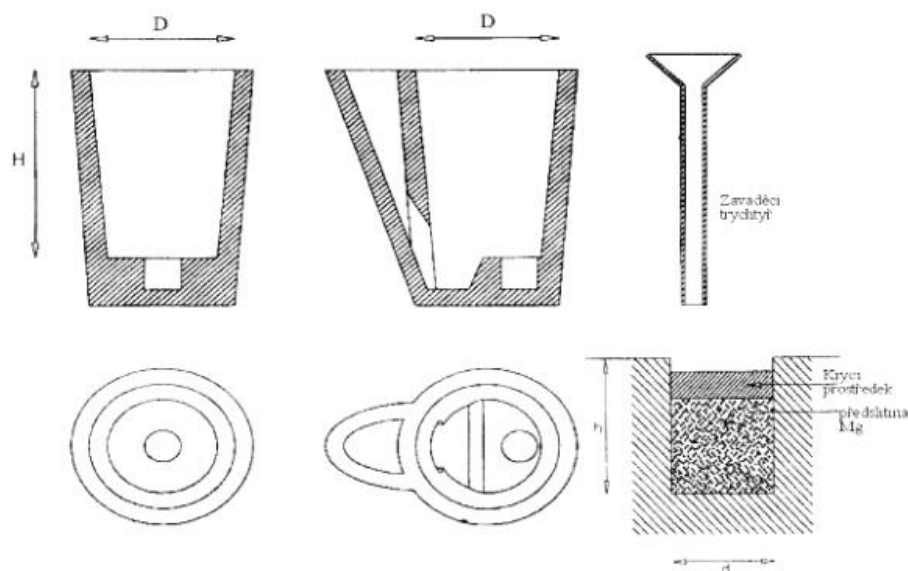
Obrázek 3 - Polévací metoda v otevřené pánvi [8]

Skloněné dno uvnitř pánve vytváří jakýsi důlek, kde se shromažďuje modifikátor, a proto je tak správně využít. Co se týče samotné pánve, tak pánev by měla být štíhlá. Uvádí se, že výška pánve by měla být 1,5 násobek jeho průměru jako minimální štíhlost. Ve skutečnosti se používá 2,5 - 3 násobek průměru, aby byl styk hořčkových par s taveninou co nejdelší.

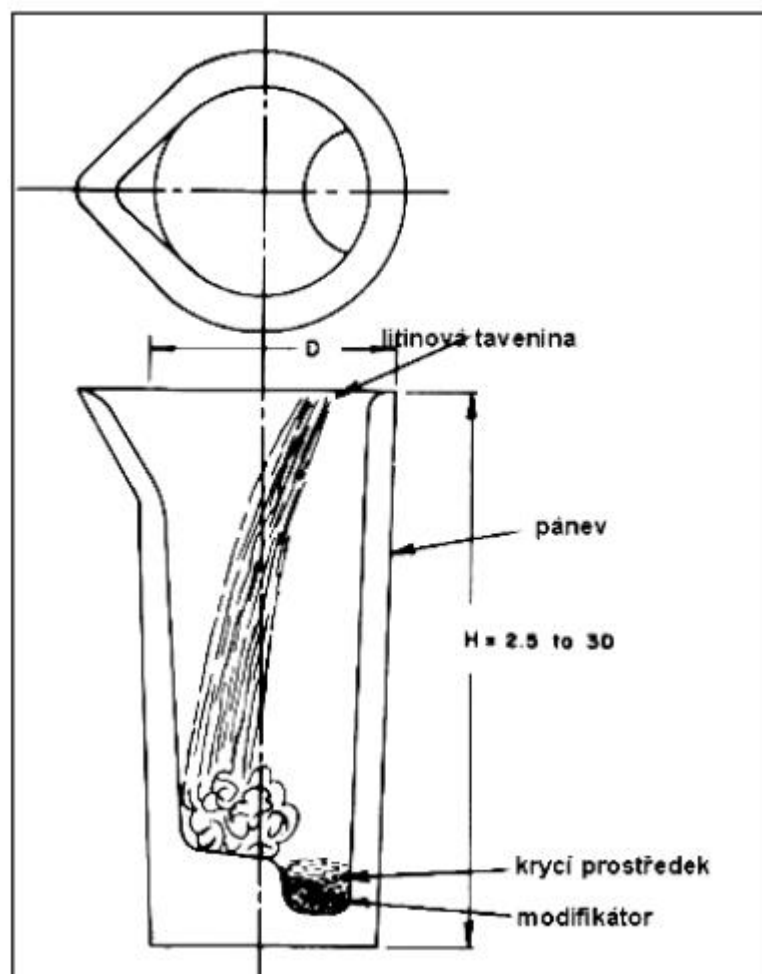
Naopak u rychlosti plnění pánve by doba měla být co nejkratší (minimálně 1 tuna taveniny za 15 vteřin). V této metodě se spojuje modifikace s očkovaním tím, že se modifikátor přímo směšuje s očkovadlem (FeSi). U polévacího způsobu výroby tvárné litiny je využití hořčíku v otevřené pánvi 10-30% (v uzavřené to může být až 35-55%)

1.4.3 Sandwich metoda

Další dvě metody jsou si velice podobné. Obě dvě jsou zhospodárnění varianty předchozí. Metoda Sandwich je přímým nástupcem metody polévací (otevřená pánve). Uspořádání pánve je téměř totožné s polévacím způsobem až na to, že v dolním rohu na opačné straně, kde dopadá prvně tavenina, je ve dně pánve prohlubeň. Tato prohlubeň slouží jako zásobník pro modifikátor. Na tom pak leží krycí materiál, který brzdí počáteční styk taveniny s modifikátorem. Můžeme se avšak setkat i s důlčkem uprostřed. Ten má válcový tvar. U této varianty je mnohem větší využití Mg - udává se až 40 - 50%. A to je způsobeno postupnou a pozvolnější reakcí, v důsledku omezeného přístupu taveniny, přes rozpouštěcí se krycí materiál. V důsledku tohoto jevu je tato reakce klidnější, a proto zajišťuje delší styk hořčíkových par s taveninou, větší ochlazení taveniny u dna pánve.



Obrázek 4 - a) zásobník uprostřed pánve b) čajníková pánve c) zaváděcí - plnicí trychtýř a detail zásobníku [8]



Obrázek 5 - Sandwich metoda v otevřené pánvi [8]

Jako možné krycí materiály u této metody se používají -

- např. rozstřík z tvárné litiny
- čisté ocelové třísky
- kalcium karbid
- písek pojený pryskyřicí
- čistý křemenný písek

Neměly však takový účinek, jaký by se očekával, tudíž nedosáhly většího rozšíření. Např. při použití písku, kde se po vylití taveniny do pánve na modifikátoru vytvořila sklovitá vrstvička, se musela tato vrstvička prorážet tyčí. A až tehdy nastávala reakce. Při ocelových plechách se musí očekávat pokles teploty v rozmezí 25 - 30°C a pokles uhlíku...

Výhody této metody -

- 1) celkové tepelné ztráty (při dostatečném přehřátí pánve) cca 40 - 60°C
- 2) použitelná metoda pro různou velikost pánví

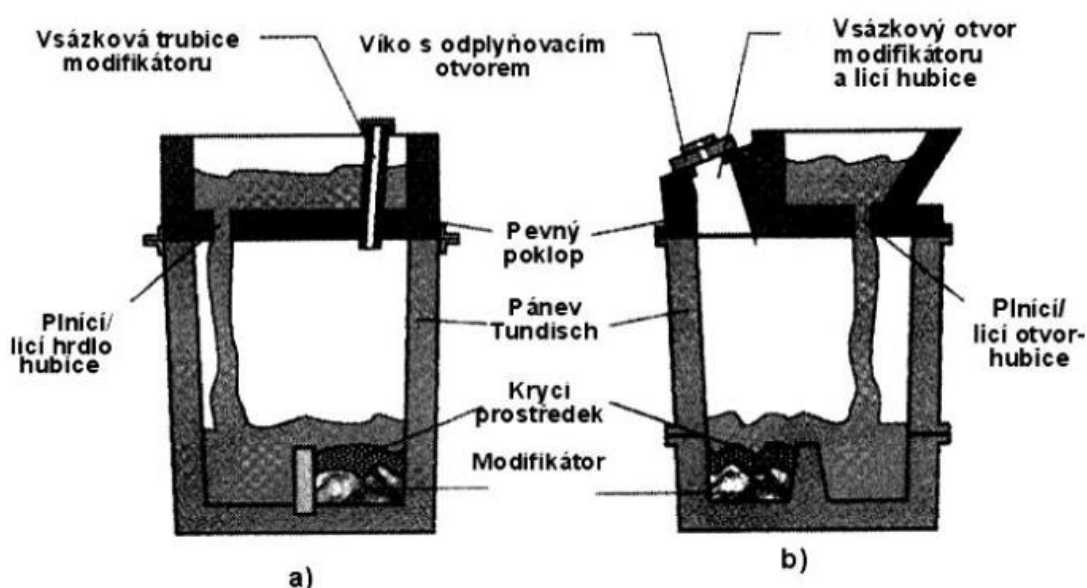
Nevýhody této metody -

- 1) výchozí tavenina se musí používat s malým obsahem síry
- 2) nestabilní výtěžnost Mg
- 3) velké pyroefekty (pro polévací metody běžné)

1.4.4 Tundish cover zpracovací pánve

Tato metoda funguje na základě toho, že se pokouší omezit přístup kyslíku během reakce taveniny s hořčíkem v modifikátoru. Předpokládá se dvojitý účinek:

1. Při sníženém přístupu kyslíku vzniká mnohem menší množství hořčíkových výparů - dýmu. Vytvořené množství těchto zplodin zůstává uzavřeno nad hladinou taveniny a nemůže unikat do okolí.
2. Vzhledem k tomu, že jsou ztráty oxidací hořčíku podstatně menší, zvyšuje se využití hořčíku pro vlastní modifikaci. [6]



Obrázek 6 - Tundish pánve s pevným víkem - a) původní konstrukce b) nová konstrukce [8]

Tato metoda se liší od metody Sandwich tím, že pánev má ze shora víko, které brání úniku kyslíku a par. Je to speciální víko, díky kterému se tomuto účinku dá lehce docílit. Toto víko je umístěné na zpracovací pánvi, jejíž tvar je v podstatě totožný s předcházejícími. S modifikátorem a krycím materiálem je to podobné jak u předchozího způsobu (podrobnější popis je u metody výše). Na obrázku výše pod písmenem a) si můžeme všimnout, že na dně pánve je modifikátor a krycí materiál oddělen rozdělovací přepážkou, kdežto u b) je výčnělek na dně pánve. Proud taveniny dopadá mimo zásobník s modifikátorem a krycím materiálem, tudíž je zabráněno přímému styku čerstvé taveniny s modifikátorem. Velká nevýhoda této metody je manipulace s víkem, a proto se tato metoda rozšiřovala velmi sporadicky. I když tento nedostatek byl později částečně odstraněn, kdy se víko pánve upevňovalo šrouby, klínovými svorkami, zástrčkami, a v nejhorším případě maltou (mezery a spáry, které nešly jinak utěsnit) apod. Další nevýhodou byla nadměrná tvorba strusky v místech plnicího/odlévacího otvoru. Na obrázku na pravé straně b) je už vidět, jak je řešena nová konstrukce této metody.

1. nový otvor pro modifikaci a zároveň i odlévání (je uzavíratelný víkem)
2. ve víku je pojistný ventil
3. otvor pro odlévací hubici pomáhá k odstraňování strusky

1.4.5 Konvertorový způsob

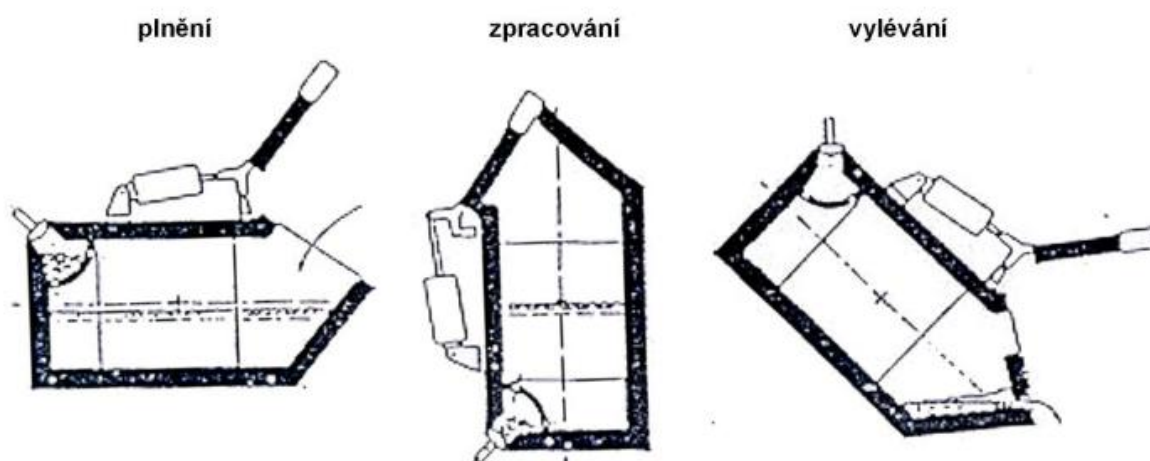
Konvertorovým způsobem se myslí plnění tekutým kovem ve vodorovné poloze. Pro modifikátor je stanovený speciální prostor, kde je zajištěno, že nebude vyplouvat na hladinu kovu. Tento jev je potom podmínkou toho, že metalostatický tlak působí na výšku sloupce roztavené litiny. Samotná modifikace pak probíhá tak, že se otočí pánev do svislé polohy, pánev se uzavře víkem (mezitím dojde k omezení oxidace Mg) a vše je pak následně řízeno na dálku obsluhujícím personálem. Obsluhující personál tak není při samotné modifikaci ohrožován případným rozstříkáním tekutého kovu, což je častý jev pro otevřené pánve např. u polévacího způsobu. K tomuto způsobu se doporučuje grafitizační očkování, nikoliv však společně s modifikací (modifikace cca do 5t). Ke zkrácení manipulačních časů pro modifikaci můžeme docílit tím, že se konvertorové pánve zavěsí na jeřáb nebo přesunou na pojízdný vozík. LKG lze pak přímo vytvářet na licím poli, takže dochází ke zkrácení manipulačního času, a tak se snižuje riziko nedostatečné modifikace.

Výhody této metody -

1. spolehlivá metoda
2. dle dispozic sléváren zjednodušená manipulace a zlepšení manipulačních časů

Nevýhody této metody -

1. vysoké pořizovací náklady
2. speciální úprava pracoviště v prostoru slévárny
3. doba po odlití nesmí překročit 20min (nedochází pak ke změně na LKG!)



Obrázek 7 - Modifikace v konvertoru čistým Mg [9]

1.4.6 Ponorný způsob

Tento způsob můžeme hned na úvod rozdělit na 2 možné způsoby ponoru -

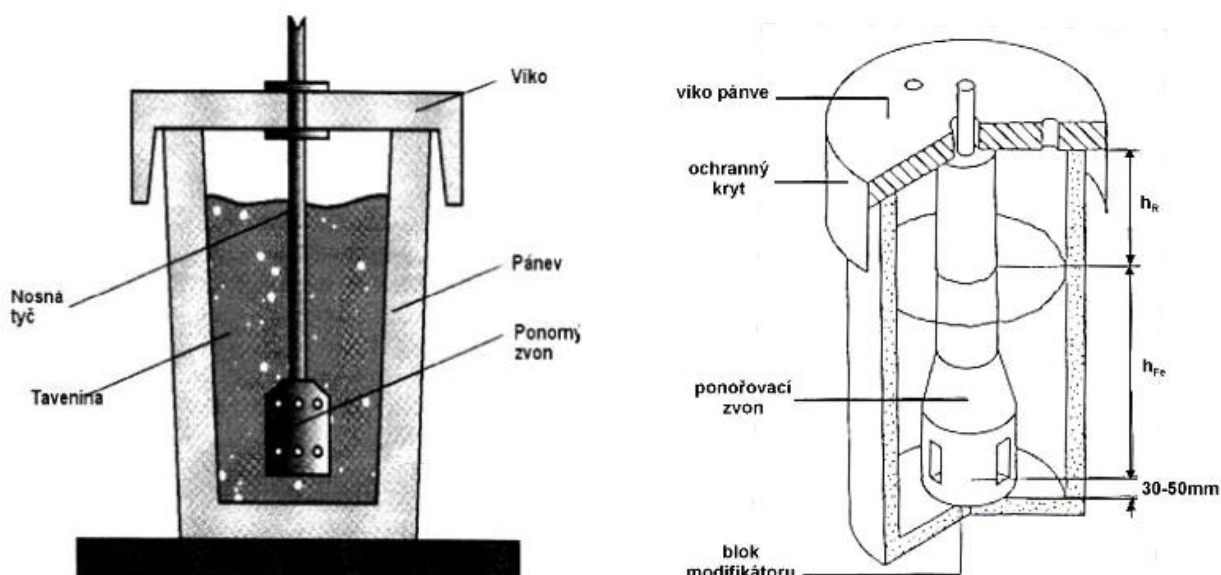
1. Atmosférické
2. Přetlakové

Prvně zmíněná metoda ponoru je metoda atmosférická, což je vlastně výroba LKG tím způsobem, že se přidává modifikátor do roztavené litiny umístěné ve zvonu (koši) a následné ponoření ke dnu modifikační pánve. Tím je zabráněno možnému vyplouvání modifikátoru na hladinu taveniny. Tento ponorný zvon je vyroben z ocelové trubky opatřené žáruvzdorným

povlakem, z grafitu, nebo přímo z keramického žáruvzdorného materiálu. Než dojde ke spuštění zvonu do taveniny, zvon je nejprve naplněn potřebným množstvím modifikátoru. Zvon se spouští cca ke dnu pánve (cca 40 - 50 mm ode dna) a minimálně 600 mm po hladinu. Zde pak záleží na velikosti pánve. Samotný zvon (jak je vidět na obrázku níže) je pak přichycen k víku, se kterým tvoří soustavu, se kterou pak manipuluje např. jeřáb.

Výhody této metody -

1. Nevyžaduje úplné vyprázdnění pánve (jako je např. u polévacích metod)
2. možnost využití předslitin až 30 - 35%



Obrázek 8 a 9 - Ponorný způsob výroby tvárné litiny a základní parametry nutné pro ponořovací způsob [8][9]

Ponorný způsob přetlakem spočívá v tom, že tato metoda umožňuje modifikovat za uměle vyvozeného přetlaku - autokláv, či autoklávová pánve. Používá se zde jako modifikátor čistý hořčík. Podrobnější postup je znázorněn na obrázku níže (obr. 9). Tato metoda má výhodu v tom, že se nemusí klást důraz na extrémně nízký obsah síry ve výchozí litině (jsou tudíž nižší nároky na složení vsázky). V této metodě platí, že čím větší teplota kovu v pánvi, tím větší musí být přetlak (rozdíl kuploven a indukčních pecí : 6 - 8 atm)

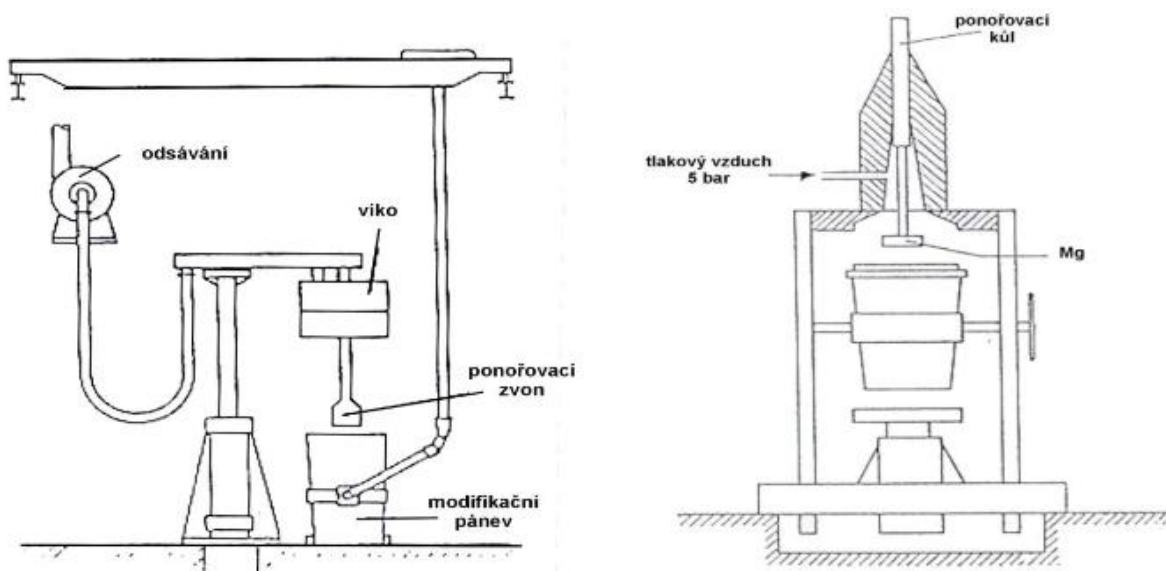
Hned na dalším obrázku (obr. 10) je znázorněn způsob modifikace v tlakové pánvi.

Výhody této metody -

1. z teoretického hlediska ideální způsob výroby (regulace tlaku a teploty)
2. nízká spotřeba Mg
3. místo autoklávové pánve možnost využít autoklávu bez víka (patent ČR!)
4. vysoké využití hořčíku - modifikace až 5 tun v pánvi

Nevýhody této metody -

1. vyžaduje periodickou kontrolu pánve (neboť jde o tlakovou pánev)
2. přísná pravidla pro tlakové pánve
3. problematická kontrola při modifikaci
4. nebezpečí úrazu při poruše pánve a při otevření pánve



Obrázek 10 a 11 - Metoda výroby tvárné litiny ponořovacím způsobem a v autoklávu [9]

1.5 Modifikace a očkování

Modifikace je nedílnou součástí výroby tvárné litiny, která se nám snaží zbavit přebytečné síry a rafinovat tekutý kov. Nejzákladnější prvek, který slouží k modifikaci a který byl již několikrát zmíněn výše, je hořčík. Jedná se o nejpoužívanější prvek ve slévárnách, který se přidává do taveniny a který působí právě onu změnu z lupínkovitého grafitu na grafit kuličkový.

Modifikaci jako takovou můžeme rozlišit na:

- A. Jednostupňovou
- B. Dvoustupňovou

U jednostupňové metody dochází k modifikaci a grafitizační očkování v jedné pánvi. U dvoustupňové metody je tomu jinak. Na modifikaci je připravena jedna pánev a na očkování druhá. Po modifikaci se přelije kov do druhé pánve, kde dochází ke grafitizačnímu očkování.

Nevýhody dvoustupňové metody -

1. nutné vyšší odpichové teploty a zpracovací (modifikační) teploty
2. vyšší riziko zpracování

Hořčík jako modifikátor se snažíme v pánvích rozpustit. S tím souvisí i vysoké teploty zpracování, jelikož má Mg teplotu tavení 651°C a bod varu dokonce 1107°C . Při této reakci se hořčík prudce odpařuje, zplyňuje a vytváří tlak v tavenině, kdy může dojít až k vystříknutí taveniny, popř. k výbuchu. Hořčík se pak vyplavuje na povrch, kde reaguje se vzduchem a hoří jasným bílým plamenem. Tuto reakci pak doprovází hustý dým.

Hořčík není jediným modifikátorem, který se používá. Používají se různé předslitiny apod. To vše je více znázorněno v obrázku 1, který byl uveden výše.

Očkováním litiny rozumíme to, že se pokoušíme zajistit dostatečný počet grafitizačních zárodků, aby nedocházelo ke karbidickému tuhnutí, a tedy ke sklonu k volnému vylučování cementitu. Grafitizační očkování se snaží podnítit co největší počet zrn grafitu, což dává ty nejlepší mechanické vlastnosti tvárné litině.

Litinová tavenina po primárním očkování modifikátory, především na bázi hořčíku, má vysoký sklon k vylučování karbidů - volného cementitu a všechn grafit nemusí být vyloučen v dokonale zrnité formě; z toho důvodu musí být vždy sekundárně, tj. grafitizačně očkována.[8]

Způsoby vnášení očkovaadel:

1. očkování granulovaným očkovaadlem (nejčastější způsob), rozměr zrn se pohybuje v širokém rozmezí od 0,2 mm až po 8-10 mm
2. očkování kompaktními tělísky, vkládanými buď do licí jamky, nebo do reakční komůrky ve vtokové soustavě
3. očkování plněnými profily [9]

1.6 Počítačové simulace ve slévárenství

V dnešní době se můžeme setkávat s větším využitím simulačních softwarů, než tomu bylo kdysi. Je tomu tak proto, protože v dnešní době se snaží každá slévárna podat co nejlepší výsledek ohledně svého výrobku. Avšak ne každá slévárna si může dovolit simulační software. Tyto programy by měly sloužit k tomu, aby ve slévárnách technologové měli co nejlepší přehled o tom, co se s daným odlitkem během lití děje. Aby mohli zjistit, proč se v dané části vyskytují vady atd. V dnešní době je na trhu opravdu hodně simulačních softwarů, za zmínku jistě stojí např. - ProCAST, MAGMASoft a NovaFlow & Solid. V našem případě se jednalo o simulace v programu NovaFlow & Solid.

Každý tento software se snaží monitorovat slévárenské procesy, zejména plnění forem, ztuhnutí, předpovědi závad sléváren, mechanických vlastností a namáhání, které jsou v odlitcích během a po ztuhnutí. Samozřejmě je možné zjistit daleko více informací, ale záleží na tom, co technology zajímá nejvíce. Tyto softwary značně šetří čas a finanční úspory v předvýrobní fázi. Na druhou stranu nejsou tyto softwary úplně levné a v dnešní době je problém sehnat lidi, kteří by tomuto rozuměli. A největší problém mají slévárny v tom, že se od těchto nových a inovačních technologií straní, jelikož si myslí, že sami zvládnou vše nejlépe a rází si takový ten old school styl, který tu byl před 50 lety. Pak se ovšem výroba stává neefektivní, výroba se může prodražit, naroste zmetkovitost, prodlouží se časy dodání apod...

Konkrétně NovaFlow & Solid software pracuje tak, že se do něj načte 3D CAD výkres (nejčastěji ve formátu STP. nebo STL.), který by měl obsahovat jádra, výfuky, chladítka, vtokovou soustavu, licí kanál, popřípadě filtr...Dále se pak nastaví další potřebné vstupní parametry pro materiál, kde se musí uvést jeho přesný název (databáze má veliký výběr materiálu, takže se tu dá přesně najít, co potřebujeme) a parametry. Což je například jeho

teplota lití (v našem případě se používala teplota 1390°C jako maximální možná teplota a pak 1350°C jako nejnižší možná teplota - teplota během lití více odlitků najednou z jedné pánve ztrácí teplotu, což dále negativně ovlivňuje daný výrobek). Tato čísla jsou vlastně považována za termofyzikální data, podle kterých se bude materiál chovat. Tyto informace jsou pro technologa, který s těmito softwary pracuje, velice důležité, neboť právě díky nim může dále zjišťovat, jak se daný roztavený materiálem chová a co od něj může čekat při samotném lití, ale také při jeho tuhnutí. Další údaje se vyplní podobně jako pro vstupní materiál, což jsou právě chladítka, vtoková soustava, výfuky, licí kůl, filtr, jádra atd. Nesmí se pak samozřejmě zapomenout na materiál formy, který daná slévárna používá. To je další důležitý údaj.

Až jsou všechny vstupní informace zadány dle potřeby technologa, soubor se uloží a připraví k vstupním podmínkám samotného lití. Řeší se třeba, jaké zařízení se při odlévání používá, jaká je tam teplota, jakou rychlostí roztavený materiál do formy teče, kde budou výfuky a kde bude licí kanál apod. Sám technolog si pak v programu nastaví, co ho nejvíce zajímá a co od daného softwaru očekává za výpočty. Předpokládá se, že výkres dostane technolog od konstruktéra už s rádiusy, úkosy apod. Tudíž zaběhnutí by mělo být v pořádku. Může se ale stát, že daná konstrukce technologovi nebude vyhovovat, a proto se to bude muset celé předělat. V tom jsou výhody a úspora simulačních softwarů. Vše se dá zjistit na začátku procesu, kdy ještě může dojít k menším problémům a případným vadám odlitků.

Po nastavení všech parametrů, které jsou nezbytné, se spustí simulace a kontroluje se, jak materiál tuhne a jestli nevznikají na některých místech vady. Tato část trvá nejdéle a čím je odlitek větší a složitější, tím déle trvá simulace. V dnešní době to je ale to nejmenší, takže za pár hodin může být hotovo a technolog může kontrolovat výsledky. NovaFlow & Solid nabízí velice mnoho výsledků a kdyby projížděl technolog vše, co tento program vyhodnotí, k výsledku by se pravděpodobně nikdy nedostal. Proto je nutné vybírat jen to podstatné.

Umíte si představit, jak je pro technologa důležité, když tímto způsobem odhalí všechny vady, které by mohly v odlitku vzniknout? Kromě neúplného „zaběhnutí“ materiálu do všech zákoutí formy to mohou být také místa, kde by zůstal uzavřený vzduch. Během plnění formy dochází také k oxidaci, a ta se musí hlídat. Pokud materiál teče do formy příliš rychle nebo příliš pomalu, má to vliv na spoustu věcí, může získat nevhodnou vnitřní strukturu a výsledný díl nebude mít dobré vlastnosti. Při tuhnutí materiálu je zase pro technologa důležité vědět, jak moc se odlitek smršťuje, jestli jeho výsledný rozměr nebude špatný nebo jestli se v něm

během tuhnutí nevytvoří trhliny. V odlitku může také zůstat pnutí, které by pak mohlo způsobit selhání součástky v provozu.[12]

Každopádně všechny výsledky simulace pomohou technologovi, pokud to je potřeba, upravit proces odlévání. Může změnit teplotu, rychlost plnění formy a řadu dalších parametrů na základě svých předchozích zkušeností. Pokud se ukáže, že je potřeba součástku navrhnout jinak a změnit její konstrukci, může se tak učinit a jede se celý proces na novo.[12]

2 Vtokové soustavy a nálitkování litinových odlitků

Aby mohl být odlitek bez vážných vad, musí se správně nadimenzovat vtoková soustava, která slouží jako rozvodna tekutého kovu ve formě. Je to jistý soubor kanálků, kudy teče ve formě kov. Samotná vtoková soustava se pak skládá z:

- **Vtokové jamky** - tudy se lije tekutý kov, zachycuje jako první kov, který dále směřuje, 1. fáze čištění taveniny, viz obr. 18
- **Licí kůl** - spojuje licí jamku se struskovým kanálem
- **Struskováků** - rozvod kovu, čištění a vede z nich kov dále do zářezů, umístění filtrů
- **Zářezů** - jimi proudí kov do formy
- **Výfuků** - tudy unikají plyny

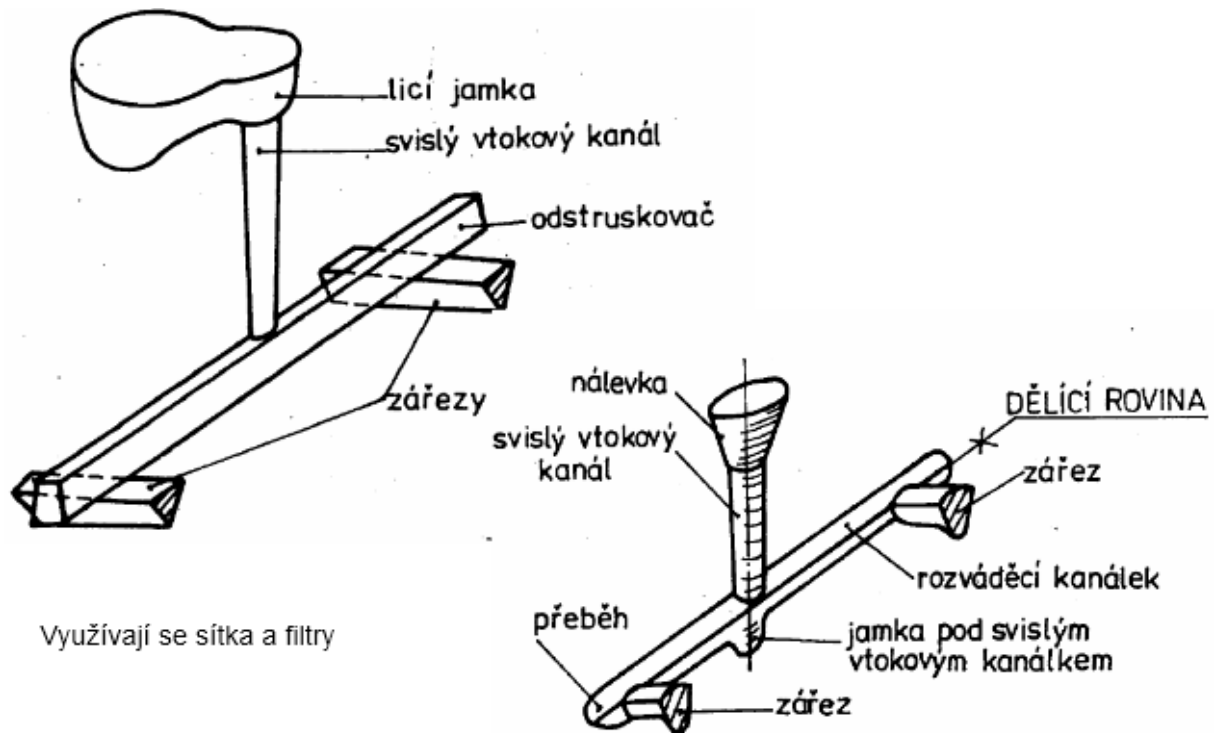
Vtoková soustava pak může mít více míst, kudy se nalévá tekutý kov do formy, aby byly zaručeny nejlepší vlastnosti kovu, jako jsou:

- Dobré zaběhnutí
- Dokonalé zachycení strusky a nečistot
- Stejněměrné a homogenní teplotní pole odlitku
- Zabráněno erozi formy
- Zabráněno nasávání plynů
- Maximální využití roztaveného kovu

Aby byla zaručena správná funkce vtokové soustavy, je zapotřebí, aby byla správně vypočtena doba lití, průřez jednotlivých vtoků atd. Musí se opět znát vlastnosti odlévaného kovu!

Vtoková soustava zabezpečuje:

- rovnoměrné, stálé a klidné plnění dutiny formy optimální rychlostí
- aby došlo k plnému zaběhnutí ve všech částech odlitku
- aby nedošlo k poškození stěn formy a jader
- odstranění nečistot a strusky v poslední fázi odlévání
- usměrněné tuhnutí (v některých případech plní funkci nálitku) [9]



Obrázek 18 - Ukázka možných vtokových soustav [18]

2.1 Vtoková soustavy a filtrace

Jak už byla filtrace popsána podrobněji v kapitole 1.6, i ve vtokových soustavách hraje důležitou roli. Filtr se nejčastěji umísťuje právě do vtokové soustavy, kde má za úkol:

1. Snížit výrobní náklady

- Hospodárnější využití tekutého kovu (zjednodušení vtokové soustavy)
- Vyšší využití formovacího rámu (zvýšení produktivity, zkrácení dodacích termínů)
- Snížení zmetkovitosti a nekvalitní výroby.

2. Omezit výskyt kvalitativních vad v odlitku

- Jaké vady se vyskytují? (vnitřní, povrchové, špatné mechanické vlastnosti, ...)
- Čím jsou způsobeny? (struskou, formovacím materiálem, naplyněním, ...)
- Jak se projevují (vyšší náklady na opravování, reklamace zákazníka, prodloužení dodacích termínů, vyšší mzdové náklady, nutnost ošetření kovu, ...)

3. Dále je potřeba zjistit konkrétní podmínky, které jsou specifické pro daný odlitek, např.:

- Jaká je technologie a způsob lití, o jakou slitinu se jedná (chemické složení, licí teplota) a jakým způsobem byl kov ošetřen před litím?
- Jaký je počet a hmotnost odlitků ve formě?

- Existuje ve formě místo pro uložení filtrů? [17]

Po stanovení si těchto úkolů je důležité vybrat:

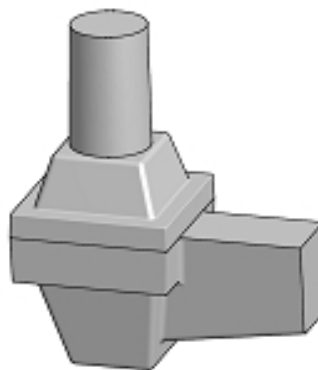
- Materiál filtru
- Tvar a rozměr filtru
- Porezitu filtru
- Umístění ve vtokové soustavě
- Poloha filtru ve vtokové soustavě

Pro umístění filtru ve vtokové soustavě je dobré se držet těchto 3 obecných zásad -

1. umístit filtr ve vtokové soustavě co nejbližší odlitku
2. volit co nejkratší, nejlépe přímou, vtokovou soustavu
3. plnění dutiny formy kovem musí probíhat klidně bez prudkých nárazů a pádů [17]

Naopak poloha filtru ve vtokové soustavě se volí podle způsobu formování a zakládání filtrů do vtokové soustavy formy. Existuje řada způsobů uložení filtrů, každý z nich má svoje specifika. [17]

V našem případě je uložen filtr pro výrobek Tabouret následujícím způsobem - viz obr. 19.



*Pod vtokovým kulem
(maximální licí výška 300mm)*

Obrázek 19 - Vodorovná poloha filtru [17]

2.2 Úvod do filtrace

Snaha o zvyšování kvality odlitků a efektivitu jejich výroby je stará jako slévárství samo. Po celá staletí se slévači snažili vyrábět odlitky s vyšší čistotou, kvalitnějším povrchem a lepšími vlastnostmi, a to znamenalo snižovat množství nečistot v kovu. Jedním z důležitých hledisek konstrukce vtokových soustav byla účinnost zachycování vměstků. Separace vměstků se dosahovalo zejména tvorbou masivních licích jamek (se zátkou nebo s přepážkou, později), a také jejich zachycováním ve speciálních sekcích vtokové soustavy – **tzv. struskovácích**. Většinou byla tato řešení na principu rozdílných hustot vměstků a kovu.

Využívá se například skutečnosti, že se vměstky ve vtokové soustavě nalepují na stěnu formy. Ploché kanály vtokové soustavy proto docela dobře zachycují vměstky, a to zejména typu oxidických blan. Účinnost těchto způsobů separace je však pouze omezená.

Přibližně od poloviny 60. let se ve slévárnách začala používat keramická „cedítka“. Umísťovala se nejčastěji do vtokové jamky v místě přechodu do kůlu a jejich účelem bylo především zachycení hrubých částic strusky. Společná nevýhoda všech těchto metod je především masivní vtoková soustava, což snižuje využití tekutého kovu a prodražuje výrobu. Až na konci 70. let se začínají používat prostředky pro zachycení vměstků ve vtokové soustavě – sítko a filtry. Filtrace slitin železa je komplikována podstatně vyššími teplotami kovu a vyššími nároky na chování filtrů za vysokých teplot. K masovému nasazení filtrů dochází především s rozvojem výroby litiny s kuličkovým grafitem v průběhu 80. let a zejména v letech devadesátých. [10]

2.2.1 Typy filtrů a jejich použití

V oblasti filtrace můžeme najít spoustu filtrů, které mají spoustu využití. Každý filtr má ale svou podstatu. Liší se od ostatních konstrukcí, oblastí kde se používá, ale i filtrační účinností. Filtry jako takové můžeme tudíž rozdělit na 2 základní typy, které se liší mechanismem filtrace.

1. Ploché filtry
2. Objemové filtry

Ploché filtry zachycují pouze nečistoty na přítokové straně filtru tzn. mechanismem cezení a tvorbou filtračního koláče. Nedá se u nich uplatnit tzn. hloubková filtrace. Mezi ploché filtry můžeme zařadit:

- Kovová sítká
- Tkaninové filtry

Kovová sítká se dají používat pouze pro slitiny, které mají nižší teplotu (např. slitiny hliníku). Tato sítká jsou poměrně dobrá a levná, jelikož slitiny hliníku mají převážně charakter blan, takže se dobře zachycují na filtru. Nevýhodou tohoto sítká je to, že ocelový filtr po ztuhnutí zůstává ve vtokové soustavě. Bohužel se pak s vtokovkou vrací jako vratný materiál do tavicí pece, což může následně ovlivnit chemické složení. Může to také vést ke zvýšenému obsahu železa v tavenině. Můžeme se podívat na ukázkou na obrázku 12 níže.

Tkaninové filtry jsou si velice podobné s filtry kovovými až na to, že tkaninové filtry jsou utkány ze žáruvzdorných tkanin. Navíc mají tkaninové filtry větší velikost ok, profilů a tloušťku vláken spletených do jednotlivých pramenů. Pro lepší filtrační vlastnosti se může tkaninové vlákno napustit speciální pryskyřicí. Tkaninové filtry mají i výhodu v tom, že se jich dá rozmístit v jedné formě víc na různých místech, jelikož mají nízkou tepelnou kapacitu. Jejich funkce se pak dle umístění liší. Například na prvním místě bude filtr chytat nečistoty, které vstupují do formy s tekutým kovem a na dalších místech bude odstraňovat drobné vměstky. Tyto filtry se mohou používat i jako prostředek pro snadné urážení nálitků od vlastního tělesa odlitku. Můžeme se podívat na ukázkou na obrázku 12 níže.



Obrázek 12 - Ukázka tkaninových filtrů a kovových sítok [11]

U objemových filtrů se využívá jednak filtračního účinku na přítokové straně filtru, jednak schopnosti hloubkové filtrace. Podle velikosti otvorů, jejich průřezu, geometrického uspořádání a rovněž v závislosti na materiálu filtru je schopnost hloubkové filtrace rozdílná.[11]

Mezi objemové filtry můžeme zařadit:

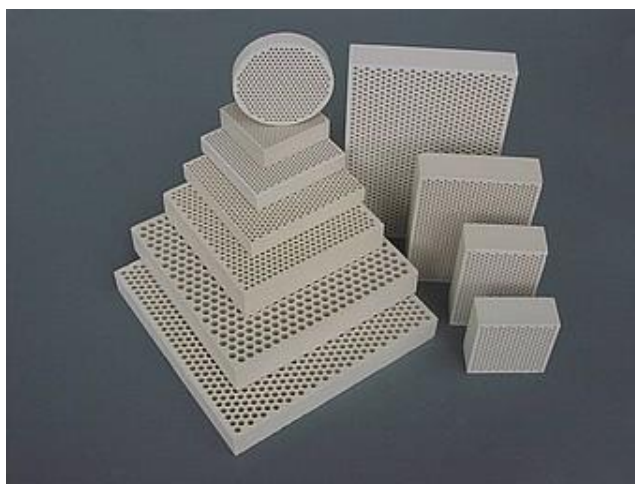
1. Licí sítko (cedítka)
2. Lisované filtry
3. Extrudované filtry
4. Pěnové keramické filtry

Licí sítko (cedítka) jsou keramická tělíska s přímými kruhovými otvory o velikosti obvykle v rozmezí \varnothing 4-10 mm, s tloušťkou 6-20 mm. Bývají umístěna většinou v osazení na dně vtokové jamky v přechodu do vtokového kůlu a jejich účelem je v první řadě zachycení primární strusky na počátku lití, kdy je jamka nezaplňená. Vměstky se zachycují pouze mechanismem cezení, účinky hloubkové filtrace jsou zanedbatelné. Vedle zachycování hrubých nečistot mají i další příznivé účinky. Urychlují zaplnění vtokové jamky, zamezují vzniku vírů nad vtokovým kulem a omezují turbulenci kovu. Cedítka mohou sloužit také jako pomocný element pro aplikaci očkovačla přímo do formy. [11]



Obrázek 13 - Ukázka licích sítok [11]

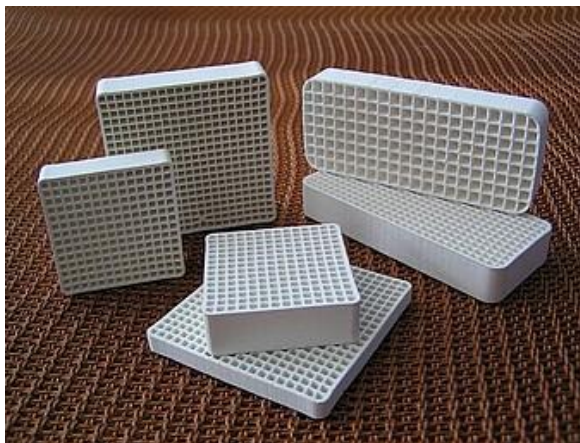
Lisované filtry jsou vyráběny lisováním na stejném principu jako cedítka, ale vyznačují se větší šířkou (většinou 10-22 mm) a menším průměrem kruhových otvorů ($\varnothing 1-3$ mm). Vedle mechanismu účinnějšího cedění menších částic a principu tvorby filtračního koláče, lze zaznamenat i existenci hloubkové filtrace, která je přímo závislá na vnitřním povrchu otvorů, který přichází do styku s taveninou. Výhodou tohoto typu filtrů je jejich nízká cena, vysoká přesnost a mechanická pevnost. Nevýhodou je jejich nižší filtrační účinnost, vysoká tepelná kapacita, vysoká objemová hmotnost a nízká variabilita výroby, omezená existencí lisovacího nástroje. [11]



Obrázek 12 - Ukázka lisovaných filtrů [11]

Extrudované filtry jsou vyráběny technologií tažením z plastické keramické hmoty. Díky této technologii lze vyrábět filtry s nízkou tloušťkou stěny a s vhodnějším tvarem otvorů (čtverec, trojúhelník), které mají svým charakterem větší a účinnější činnou plochu pro zachycení vměstků „hloubkovou filtrací“. Oproti lisovaným filtrům mají také nižší tepelnou

kapacitu, vyšší licí kapacitu, ale ztrácí svoji přesnost a mechanickou pevnost. Tvarový sortiment filtrů je omezen na existenci protlačovacího nástroje, proto i variabilita výroby je na nízké úrovni. Stejně jako u licích sítok, tak i u filtrů je důležitou charakteristikou poměr průtočné plochy k ploše celkové. Část plochy, tvořená keramikou omezuje průtočný průřez. Jestliže nemá být proud kovu filtrem seškrcen, je nutné, aby průřez filtru byl oproti průřezu vtokového kanálu přiměřeně zvětšen, a to nejméně tak, aby celkový průtočný průřez otvorů se rovnal řídicímu průřezu vtokové soustavy. [11]



Obrázek 15 - Ukázka extrudovaných filtrů [11]

Pěnové keramické filtry jsou tvořeny otevřeným systémem vzájemně propojených buněk. Prouděním kovu v pěnovém filtru dochází ke vzniku místních vírů a k častým změnám směru, v důsledku nichž vměstky přichází do častého kontaktu se stěnami filtru, na kterých ulpívají. Tento systém je výhodný zejména pro hloubkovou filtraci, kde lze účinně odstranit i velmi drobné vměstky až do velikosti 1-5 μm . [11]

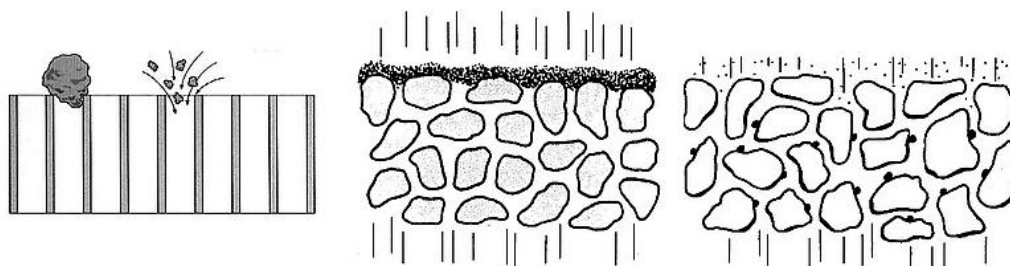


Obrázek 16 - Ukázka pěnových keramických filtrů [11]

Filtrace cezením spočívá v zachycování vměstků větších, než je velikost otvorů filtru na jeho přítokové straně. Tímto způsobem lze zachytit pouze velké částice a zejména vměstky, které tvoří blány nebo shluky. [11]

Tvorba filtračního koláče navazuje na zachycení prvních vměstků na čele filtru. Na těchto větších částicích se postupně zachycují další, menší částice. Tato vrstva vměstků postupně narůstá, zpomaluje průtok kovu až posléze filtr zcela ucpe. Filtrací mechanismem filtračního koláče se zachycují i velmi drobné vměstky s rozměry až 1-5 μm . [11]

Hloubková filtrace probíhá v celém objemu filtru. Její princip spočívá v adhesi (nalepování) vměstků na stěnách keramiky filtru a ve spojování jednotlivých vměstků navzájem. Při hloubkové filtraci vměstky obalují keramiku filtru, jednotlivé částice vměstků se rovněž shlukují a tvoří „mosty“, jejichž okraje jsou zakotvené na kanálech filtru. Na účinnost hloubkové filtrace má vliv teplota kovu, chemické složení materiálu filtru a vměstků (vzájemná smáčivost) a rovněž tvar kanálů filtru. Pravděpodobnost zachycení vměstku hloubkovou filtrací se zvětšuje, čím menší je průřez kanálů a čím více kov víří a mění směr. [11]



Obrázek 17 - Zachycuje filtraci cezením, tvorbu filtračního koláče a hloubkovou filtrací [11]

2.3 Nálitkování

Nálitkování se používá proto, aby mohly být potlačeny staženiny v odlitku. Nálitky slouží tedy jako zásobárny tekutého kovu k úhradě objemového úbytku vznikajícího při tuhnutí. Podle způsobu připojení odlitku můžeme nálitky rozdělit na:

- Čelní nálitky - umístěné nad odlitkem
- Boční - umístěné vedle odlitku
- Otevřené - ztrácejí rychle teplo, opatřují se zásypy nebo obklady
- Uzavřené - lepší izolační vlastnosti,
- Přilehlé - umístěné před odlitkem na konci vtokové soustavy
- Odlehlé - umístěné na opačné straně, než je ústí vtokové soustavy, málo účinné

Aby mohly být takovéto nálitky použity, je třeba dodržovat určité zásady.

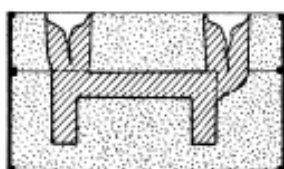
1. Doba tuhnutí nálitku musí být delší, než doba stahování slitiny v odlitku
2. Nálitek musí během stahování neustále mít tekutý kov
3. Zajištěné usměrněné tuhnutí a zajištěná hnací síla (gravitace, odstředivá síla, tlak vzduchů nebo plynů...)
4. Užití nálitků nesmí zvyšovat výskyt dalších vad (trhliny, deformace, odmišenin apod.)
5. Co nejmenší celkové náklady na potlačení staženin v odlitku (typ odlévané slitiny, objem a tvar odlitku, velikost, tvar a místo připojení nálitku atd.)



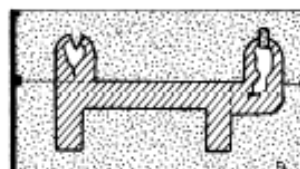
čelní nálitky



boční nálitky



otevřené nálitky



uzavřené nálitky



přilehlý nálitek



odlehlý nálitek

Obrázek 20 - Typy nálitků [19]

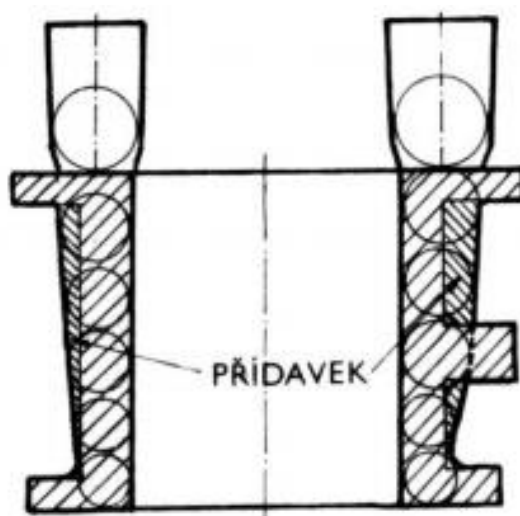
ZNAK	SCHEMATICKÝ OBRÁZEK	ZNAK	SCHEMATICKÝ OBRÁZEK
Tvor	 koule válec hranol ostatní	Poloha	 odlehlý přilehlý kombinace
Umístění	 čelní boční spodní	Uspořádání	 samostatný společný
Tepelný režim	 normální izolovaný exotermický	Způsob oddělení	 řezání urážení
Tlak	 podtlakový atmosferický přetlakový	Provedení	 otevřený uzavřený

Obrázek 21 - Schematický přehled typů nálitků [21]

Základní 3 kritéria pro stanovení velikosti nálitků jsou tato:

2.3.1 Heuversova podmínka (metoda vepsaných koulí)

Princip říká, že každou kouli, kterou vepíšeme do tepleného uzlu odlitku, musí být možno vytáhnout do nálitku. [21]



Obrázek 22 Schéma metody vepsaných koulí [21]

2.3.2 Metoda Ivanova a Příbyla

Podmínka objemové dostatečnosti. Což znamená, že objem nálitku musí být dostatečně velký na to, aby dokázal do odlitku doplnit tekutý kov, který chybí v důsledku smršťování kovu při tuhnutí. Podmínka se dá také vyjádřit kvantitativně jako, objem nálitku musí být větší než objem staženiny vzniklé v odlitku: [21]

$$V_{st} = \beta \cdot (V_o + V_n)$$

kde: β - poměrné smrštění slitiny při tuhnutí [-]

V_o - objem odlitku nebo jeho nálitkové části [cm³]

V_n - objem nálitku [cm³]

V_{st} - objem staženiny vzniklé v odlitku [cm³]

$$x = \frac{V_n}{V_{st}}$$

kde: x - koeficient nehospodárnosti odlitku

Na základě těchto vztahů byl pak odvozen výsledný vztah:

$$V_n = V_o \cdot \frac{\beta \cdot x}{1 - \beta \cdot x}$$

2.3.3 Metoda Chvorinova a Włodawera

Podmínka poměrů dob tuhnutí nálitku a odlitku. Tato podmínka říká, že náletek musí tuhnout jako poslední: [21]

$$\tau_n > \tau_o$$

Kde: τ_n - čas tuhnutí nálitku [s]

τ_o - čas tuhnutí odlitku [s]

Při užití Chvorinova vztahu, který určuje tuhnutí odlitku nebo nálitku:

$$\tau = \left(\frac{M}{k}\right)^2 [\text{s}]$$

$$M = \frac{V}{S} [\text{cm}]$$

kde: τ - čas tuhnutí odlitku / nálitku [s]

k - materiálová konstanta tuhnutí [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$]

M - modul odlitku / nálitku [cm]

V - objem tělesa [cm^3]

S - povrch ochlazeného tělesa [cm^2]

lze podmínkou přepsat ve tvaru:

$$M_n > M_o$$

kde: M_n - modul nálitku [cm]

M_o - modul odlitku [cm]

3 Vady litinových odlitků

Tato kapitola bude pojednávat o vadách odlitků, což jsou defekty, které znevažují povrch materiálu, cenu výrobku, zpomalují procesy ve slévárnách apod. Jsou to defekty, které jsou absolutně nežádoucím projevem výrobního procesu. Může to značit různé nedostatky ve výrobním procesu - jako např. nedostatek kovu v pánvi, a tudíž i ve formě, špatně utěsněná forma, drolicí se jádro atd. Každá vada ale v podstatě vychází z chyby lidského faktoru. Za každý výrobek je zodpovědný člověk - od technologa, konstruktéra až po brusiče, který se stará o apretaci výrobku. Každý odpovídá za svoji část práce, která je ovšem ovlivněna už na začátku procesu. Takže pokud bude již na začátku navržena špatně vtoková soustava, brusič s tím už nic neudělá. Je tedy vidět, že na pracovníky je kladen veliký důraz a jsou na ně kladeny poměrně vysoké požadavky. Každý pracovník by tedy měl být správně proškolen a vyučen ve svém oboru, jinak mohou nastat problémy ve výrobě.

Hodnocení vad odlitků se v poslední době velice rozšiřuje, takže je důležité, aby každá vada byla správně označena a klasifikována. Podle toho se pak s danou vadou zachází a podle toho se pak upravují jednotlivé kroky ve výrobním procesu. Dneska už se považuje za vadu téměř cokoliv, co neodpovídá vstupním požadavkům zákazníka. Mohou to být vady z odchylky rozměrů, hmotnosti, vzhledu struktury apod. Na vliv výrobku mají vliv samozřejmě také chemické, mechanické a fyzikální vlastnosti, které nemůžeme pominout. Odlitek by se neměl odchýlovat od zadaných norem, standardů a výkresů, jinak by se opět zvyšovalo riziko neúspěchu nebo vady, popř. zmetku. Vady se dají zjišťovat mnoha způsoby. Za zmínku stojí např.:

- vizuálně
- měřením
- vážením
- laboratorními zkouškami
- destruktivními / nedestruktivními zkouškami

Vady jako takové můžeme rozdělit na několik odvětví, které zmíníme níže.

- **Zjevná vada** – vada, kterou lze odhalit při prohlídce neobrobeného odlitku prostým okem nebo jednoduchými pomocnými měřidly. Jedná se především o vnější povrchové vady. [13]

- **Skrytá vada** – vada, kterou lze odhalit až po obrobení odlitku nebo speciálními měřidly či prostředky, například prorýsováním, nebo za pomoci vhodných přístrojů či laboratorních zkoušek. Většina těchto vad se nachází uvnitř odlitku. [14], [15]

Podle odchylky od předem sjednané jakosti mezi výrobcem a odběratelem se vady dělí na:

- **Přípustná vada** – vada, která je takovou odchylkou od sjednaných podmínek nebo příslušných norem, kterou tyto dokumenty připouštějí nebo ji výslovně nezakazují. [15], [16]
- **Nepřípustná vada** – vada, která je takovou odchylkou od sjednaných podmínek nebo příslušných norem, která nelze odstranit opravením, nebo jejíž oprava je podle sjednaných podmínek nebo příslušných norem nepřípustná. Odlitek, který obsahuje nepřípustnou vadu se označuje termínem neshodný výrobek. [14],[15]
- **Opravitelná vada** – vada, která je takovou odchylkou od sjednaných podmínek nebo příslušných norem, jejíž oprava vhodným způsobem (zavařením, vyrovnáním, vyžiháním) je dle sjednaných podmínek nebo příslušných norem povolena nebo není výslovně zakázána. [14]
- **Odstranitelná vada** – vada, která je takovou odchylkou od sjednaných podmínek nebo příslušných norem, kterou je možné po dohodě s odběratelem odstranit jen speciálními úpravami a nepředpokládanými výrobními postupy. [14],[15]

Pro bližší určování vad odlitků existuje tak zvaný systém klasifikace vad, na který se podíváme níže. Podrobnější popis je pak k nahlédnutí v příloze.

Tabulka 3 Zjednodušená tabulka vad - seznam tříd, skupin a vad odlitků

Třída vad		Skupina vad	Druh vad
Pořadové číslo vady	Název vad		
100	Vady rozměrů, tvaru a hmotnosti	4 hlavní skupiny: 110 - 140	Nezaběhnutí, nedolití...
200	Vady povrchu	8 hlavních skupin: 210 - 280	Drsný povrch, eroze...
300	Porušení souvislosti	4 hlavní skupiny: 310 - 340	Lom za tepla, za studena...
400	Dutiny	4 hlavní skupiny: 410 - 440	Bublíny, staženiny...
500	Makroskopické vměstky a vady makrostruktury	6 hlavních skupin: 510 - 560	Zadrogeniny, broky...
600	Vady mikrostruktury	8 hlavních skupin: 610 - 680	Vměstky, zákalka...
700	Vady chemického složení a vlastnosti odlitků	4 hlavní skupiny: 710 - 740	Nesprávné chem. slož.

3.1 Povrchová připečenina

Na obrázku níže (obr.23) je vidět povrchová připečenina, která je nejspíše způsobena tím, že zakladači jader udeřili jádrem o formu, která se mírně rozdrolila a následný tekutý kov kopíroval dutiny formy, kde poté došlo k připečení materiálu formy k odlitku. Tato vada se vyskytuje v horní polovině formy. Tyto vady vznikají tedy tehdy, pokud dojde k chemicko - fyzikálním reakcím na rozhraní formy a kovu. Tyto vady se těžce odstraňují, ale nejsou to neodstranitelné vady. Dají se opravit opakovaným broušením nebo tryskáním.



Obrázek 23 - Povrchová připečenina

3.2 Staženiny

Staženina, která je vidět na obrázku níže, je vlastně povrchová dutina, která vzniká vlivem zmenšení objemu kovu při jeho tuhnutí.

Staženiny jako takové můžeme dělit dle místa vzniku na:

- A. Uzavřené vnitřní staženiny
- B. Otevřené vnější staženiny

Staženiny lze řadit do dutin, ale musí se dávat pozor, aby nebyly spleteny se skupinou vad, které jsou způsobovány plyny. Staženiny jsou klasifikovány pořadovým číslem 440 a konkrétně povrchové staženiny 441. Už samotný název „staženiny“ značí to, že jsou spojovány s výsledkem fyzikálního pochodu zmenšování objemu kovu (stahování) při tuhnutí. Samotná vada vzniká už při metalurgických pochodech. Nejčastější příčiny na těchto vadách mají jádra, nálitky a přípravy forem ve slévárnách. Co se týče nálitkování, tak je důležité, aby byl náliček správně umístěn, protože to pak ovlivňuje staženiny v odlitku. Technolog se snaží docílit toho, aby nálitky byly správně umístěny, protože pak vznikají staženiny ve vtokovkách mimo zdravý odlitek. Obecně se tvrdí, že za staženiny v odlitku mohou špatně umístěné nálitky.



Obrázek 24 - Staženina na povrchu odlitku

3.3 Trhliny

Jedná se o závažnou vadu, která může vést až k úplné degradaci odlitku. Trhliny se velice špatně opravují a ve většině případech se tato vada v odlitcích považuje za vadu neopravitelnou, tudíž výrobek je zmetek. Málokdy si slévárna může dovolit odlitek, který má trhlinu, opravit, protože daný odlitek pak ztrácí vlastnosti, které by měl mít. Jedna trhlinka už značí nekvalitní provedení odlitku a stává se tak náchylnější na spoustu vnitřních i vnějších vlivů. Nikdo pak nemůže zaručit kvalitu odlitku. Trhliny jsou totiž způsobovány vnitřním pnutím v odlitku. Trhliny za tepla mají pak za příčinu nestejnou tloušťku stěn. Trhliny mohou vznikat ale i za studena.



Obrázek 25 - Trhlinka

3.4 Zborcení a deformace

Tato vada spadá do vad s rozměry, vahou a tvarem. Příčina této vady spočívá v příliš brzkém vyjmutí odlitku z formy, nevhodnou konstrukcí odlitku, deformaci modelu atd. To, co vidíme na obrázku níže, je vytvořená prohlubeň v odlitku. Je to jistá deformace, která se řadí mezi neopravitelné vady. Tepelné borcení a deformování je hlavním znakem litin, protože ne vždy se dále tepelně zpracovávají. Tyto vady mohou mít příčin hned několik.

1. Může dojít k deformaci modelu už při skladování, popřípadě při jeho transportu, manipulaci nebo během formování
2. Může dojít k deformaci při ukládání jádra (nebo formy) na nerovnou podložku

3. Může dojít ke vzniku smršťovacího a zbytkového vnitřního pnutí v odlitku při jeho chlazení po ztuhnutí
4. Může dojít k deformaci, když dochází uvolňování vnitřního pnutí v odlitku, popř. při jeho hrubování a tepelnému zpracování
5. Může dojít k deformaci, pokud expanduje formovací směs během tuhnutí, kdy jsou pak vyvolané trvalé objemové změny



Obrázek 26 - Zborcení stěny odlitku - prohlubeň

3.5 Nedolítí

Nedolítí je nedokonalé vyplnění formy tekutým kovem a značí se pořadovým číslem 112. Značí to tedy, že odlitek není z nějakého důvodu celý. Příčin může být opět několik. Buď chybí dostatek kovu v pánvi nebo kov někudy vytekl, což je další vada - vytečený kov. V tomto ohledu hraje velkou roli základní vlastnost kovu při slévání - což je zabíhavost. Technolog musí přesně vědět, jaká je zabíhavost dané slitiny nebo litiny. Musí vědět, jak složitý je odlitek, jak tudy poteče kov apod. Musí brát v úvahu její vlastnosti, musí brát v úvahu druh formovací směsi, podmínky lití, průřezu vtokové soustavy atd. Tato vada je zjištělná téměř ihned po vyjmutí odlitku z formy.



Obrázek 27 - Nedolitý odlitek

3.6 Zadrogenina

Jak už samotný název této vady napovídá, jedná se o vadu, která je způsobena zadrobením formy nebo jádra. Zadrogeniny vznikají nejčastěji v těch slévárnách, kde se pracuje s pískovými formami. V tomto případě je zadrogenina nejčastější vada, která se ve slévárnách zaznamenává, jelikož jako zadrogeninu můžeme brát všechny dutiny, rozplavený písek, erozi, struskovitost, odření, sesutí atd. Tato vada se nejčastěji vyskytuje na spodní straně formy na velmi rozlehlých místech a hodně špatně odstraňuje. Pokud jde ale opravit, dělá se to buď tmelením nebo zavařením (je-li to technologicky dovoleno). Eliminace této vady je třeba spojena s opatrným zakládáním jader, lepšími formovacími směsi atd.

Mezi příčiny zardobenin můžeme považovat:

1. Konstrukce odlitku
2. Modelové zařízení a využití formovacích rámců
3. Vtoková soustava
4. Formování
5. Výroba jader
6. Pískové hospodářství
7. Odlévání
8. Tuhnutí kovu

Z každé této příčiny může pramenit vznik zardobenin.

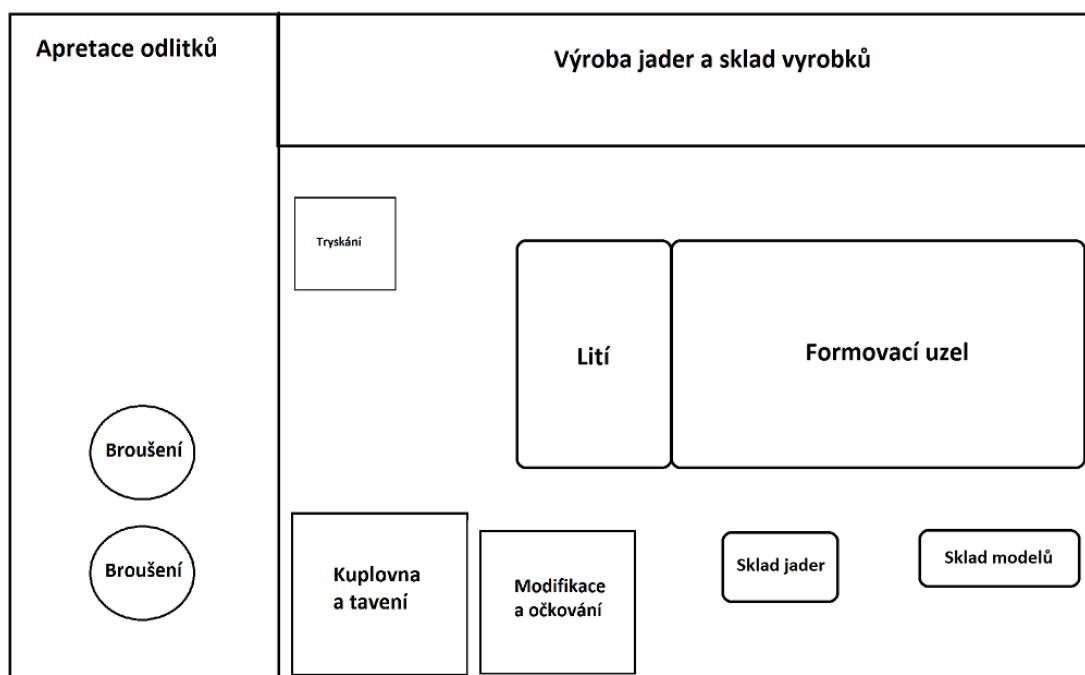


Obrázek 28 - Zardobenina

4 Analýza současného stavu technologie

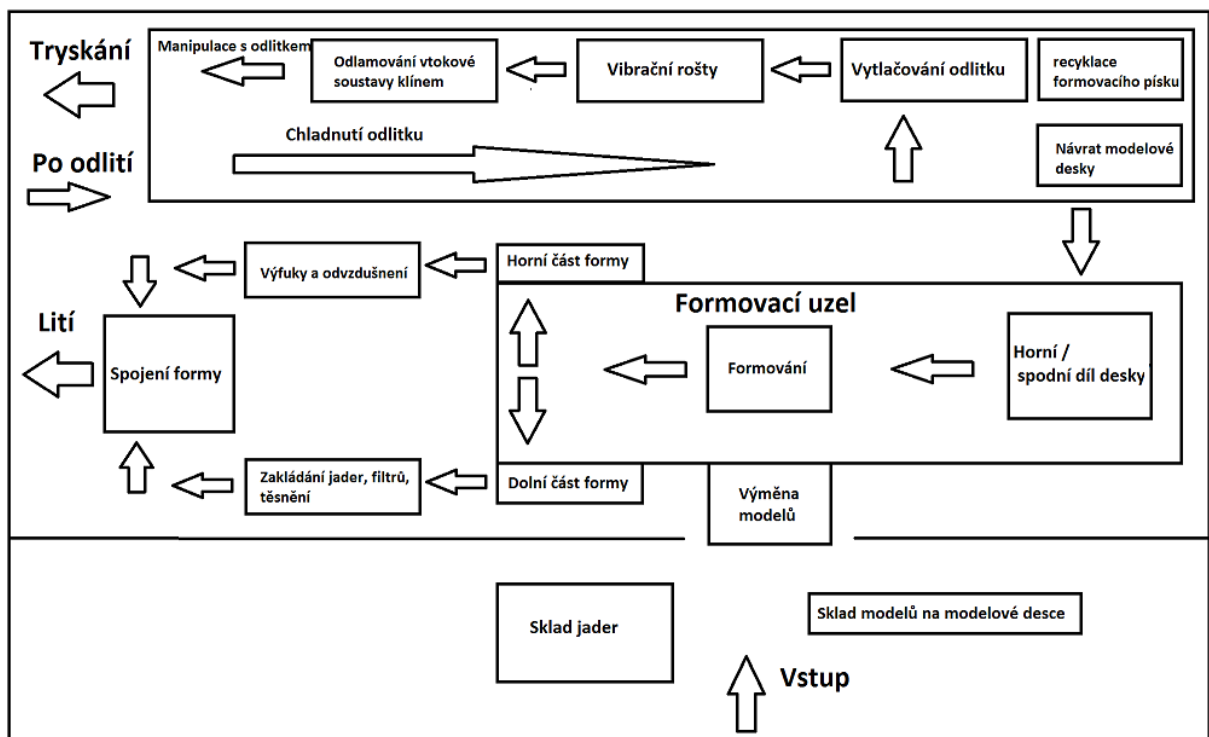
V současné době firma SG používá technologii **gravitačního lití**, což je vlastně plnění formy vlivem tíhy roztaveného kovu. Gravitačně se pak odlévá do pískových forem. Jakmile vstoupí materiál do slévárny, je ve skladu rozdělen na potřebná místa. Jak už bylo zmíněno v kapitole 1.3., **vstupní materiál** se musí správně roztřídit. Koks, vápenec, odpad atd., musí být přiřazen do svých přihrádek, odkud si následně obsluha odebírá do vsázky určité množství surovin. Obsluha nabírá v určitém poměru vsázku tak, aby došla ke správnému promíšení a postupně vhazuje suroviny do komínu **kuplovný**. Vše je tedy do kuplovný přivedeno přes vsázecí otvor. **Vsázka** se následně v kuplovně rozpouští a tekutý kov klesá dolů, až klesne téměř na dno, odkud odtéká přes odtokový sifon. Tudy pak proudí tekutý kov do pánve a odkud je pak pánev převezena k modifikaci.

K **modifikaci** dochází hned vedle kuplovný po pravé straně. Modifikace je v SG řešena pomocí plněného profilu, jak už bylo zmíněno v kapitole 1.4.1. Podrobnější popis naleznete tam. Po modifikaci následuje očkování. V SG se očkuje Zirciniokem 0,4%. Po tomto procesu se pak z pánve stáhne struska může se odlévat. Jedna pánev vystačí cca na 9-10 forem výrobku Tabouret. Teplota lití na začátku je 1390°C a na konci cca 1350°C. Je to způsobeno tím, že je tam poměrně velká časová prodleva a během lití tak dochází ke ztrátě teploty. Pro představu je dole zjednodušené schéma, které ukazuje tento postup.



Obrázek 29 - Zjednodušené schéma slévárny

Při příchodu do slévárny je vidět po pravé straně velký **formovací uzel**, před kterým se rozkládá menší sklad modelových desek a hned vedle jsou uskladněna jádra. Formovací uzel je větvený na 2 části - na horní část formy a dolní část formy. Horní část se větví doprava a dolní část se větví doleva. Tam se následně zakládají jádra, filtry, těsnění apod. Naopak u horní formy se udělají výfuky a následně se čeká na spojení. Jakmile jsou obě formy připravené, dojde v uzlu opět ke spojení obou dílů forem a forma jede na úsek, kde dochází k samotnému odlévání. Celý tento proces řídí počítač, na kterém je podrobně vidět, co se kde na lince objevuje, jestli tam nedochází k prodlevě, jaké výrobky se budou zrovna odlévat atd. Každý výrobek má pak svou charakteristickou barvu (na displeji monitoru) a podle té se technolog řídí. Ví, co se na páse vyskytuje. Samotný proces ukazuje i čas, kdy se kam co posune, jaké jsou rezervy, popřípadě ztráty (časové).



Obrázek 30 - Schéma a detail formovacího uzlu

Jakmile je odlito, odlitek dále putuje formovacím uzlem relativně dlouho, aby stihl vychladnout. Záleží na tom, o jak velký odlitek se jedná, protože tím se pak doba chladnutí prodlužuje. Čím větší, složitější a tlustostěnný odlitek, tím delší doba chladnutí. Po zchladnutí se odlitek dostává na rošt, odkud ho vytlačí z formy píst a nepotřebný písek se vysype dolů do sběrný, odkud je následně recyklován a odváděn na začátek procesu - na přechování. Po protlačení se posouvá odlitek na vibrační rošt. Tady se poslední zbytky písku otřepou a hrubý odlitek se vtokovou soustavou pokračuje dále na páse. Až dojede do zóny, kde pracovník oddělí vtokovou soustavu a nálitky od odlitku pomocí vrážecího klínu. Proto musí být dobře dimenzovaná vtoková soustava, aby to šlo pak dobře urazit. Poté je na páse oddělen odlitek a vtoková soustava s nálitky. Pracovník, který ovládá jeřáb, roztřídí zbylé komponenty tak, aby odlitky šly na jednu stranu, zmetky (nálitky, zbytky z vtokovek) na druhou. Po roztřídění jsou dobré odlitky pověšeny na stromeček. Stromeček už čeká před otryskávací komorou. **Tryskání** probíhá v uzavřené komoře, kde se tryská malými kuličkami - broky. Po otryskání jsou odlitky vyvezeny ven z komory a čekají, kam do skladu budou zařazeny.

Pokud nastanou nějaké menší problémy, co se týče malých a přípustných vad, je možné ještě nějaký ten odlitek opravit broušením. Po broušení, pokud proběhne, je většina odlitků připravena na lakování. V SG se používají speciální **povrchové úpravy**, které si SG sám vyvíjí a používá je na většinu armatur a potrubí. Povlak má charakteristickou modrou barvu a je to povlak na bázi zinku.

Analýza vad

Po názorném výčtu **vad** je nyní jasně vysvětleno, jak se která vada klasifikuje a kam spadá. V následujících dvou tabulkách je jasně vidět, jaké vady se vyskytují v odlitku jménem Tabouret. Můžeme zde vyčíst každoroční souhrn vad a následně vidíme klesající tendenci zmetkovitosti v nadcházejících letech. Stejně i počet vad má klesající tendenci. Je zde ale spousta vad, kterým se lze snadno vyvarovat - jako např. přesazení, nedolití, prasklé formy apod. Postupem času se ale některých vad SG zbavuje, jako např. nesprávné struktury, odpadnutého nátěru, špatného jádra apod. V roce 2017 byly nejčastějšími vadami - prasklé formy, odvařeniny, zadobeniny, přesazení...

Tabulka 4 Vady odlitku Tabouret

Součet z Rej. pc.	Popisky sloupců																										
Popisky řádků	exit nedolitě	exit prasklá forma	exit rozbité	exit studený spoj	exit vyteklý kov	nedokonalý svár	nedolitě	nesprávná struktura	nesprávně obroušeno	odpadnutý nátěr	odvěrařiny	poškozené jádro.	prasklá forma	prasklé jádro	přesazení	přípečení	stažení	struskovitost	špatné jádro	špatné natře.jádro	ulomená část za stud	vyteklý kov	zadrobenniny	ztracené kusy finích (prázdňe)	Celkový součet zmetků		
2010		2	2	1		1			3		11		34					11	2	4		54	2	0	127		
2011		3	2	2	1	2	51		4		5	1	20		2		1		11		30		5	0	140		
2012							47	1				3	11			1	4		1		5	1	2	0	76		
2013							55	4	13			4	1	19	2		3		7		9	2	4	0	123		
2014							6			1		1	1	24			1	13	5	1	6	3	8	7	0	77	
2015							24	1	2			7	1	8	30		34	1	1	1	7		18	0	135		
2016					1		41	3				12	25			1	1				7	5	10	8	0	114	
2017							5	1				12	13				1				3		6	0	60		
Celkový součet zmetků		5	4	2	2	3	230	10	19	4	5	51	3	154	32	21	3	68	8	25	1	121	11	55	15	0	852

Z následující tabulky vyplývá, kolik kusů zmetků vyprodukovala firma SG ohledně výrobku Tabouretu. Na začátku bylo jasně vidět, že zmetkovitost dosahovala vysokých hodnot, konkrétně 1735 ks výrobků a z toho bylo 127 ks zmetků, což odpovídalo 7,32% zmetkovitosti. Což je pro slévárnu relativně hodně. Jako průměrná zmetkovitost pro slévárny se udává kolem 5%, ale v roce 2014 byla zmetkovitost téměř 10%, což je alarmující. Postupem času se slévárna začala zlepšovat a procentuální zmetkovitost se začala snižovat, což jasně dokazuje tabulka níže (tab.5). Na druhé tabulce vpravo vidíme, jaké typy vad se nejčastěji vyskytovaly a v jakém počtu. Typ vady lze dohledat v tabulce číslo 1 nebo v tabulce číslo 2.

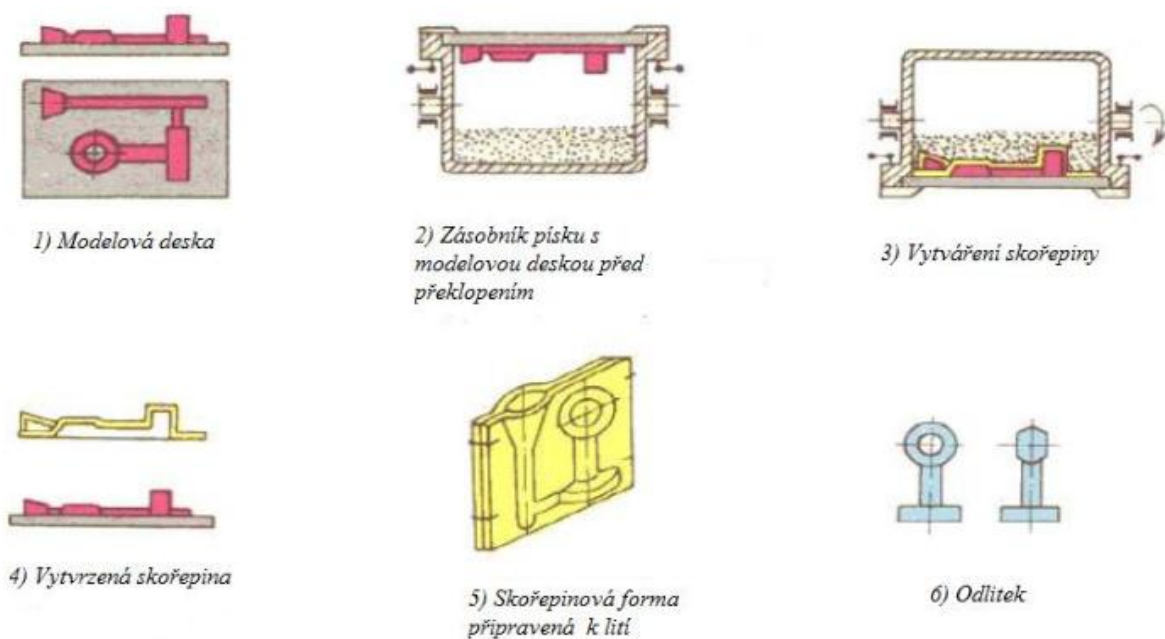
Tabulka 5 Zmetkovitost

	Výroba (ks)	Zmetky (ks)	(%)	Typ vady	Zmetky (ks)
2010	1735	127	7,32%	112,113,342,311,320	261
2011	1945	140	7,20%	263,33	158
2012	1383	76	5,50%	122,34	123
2013	1613	123	7,63%	261,262,274,523	63
2014	783	77	9,83%	430	51
2015	1747	135	7,73%	440	68
2016	1461	114	7,80%		
2017	1002	60	5,99%		
	11669	852	7,30%		
Teplota liatia	1360 - 1390 °C				
Doba liatia	7 - 10 sek.				

Jaderna

Jádra jsou v SG vyráběny metodou Croning, někdy též nazývanou jako metodou C. Zachovává se také ale metoda Cold box. Metoda Croning je pojmenována po svém předchůdci a slouží nám k výrobě jader. Jako první využívala při výrobě chemii a je vhodná pro všechny slévárenské slitiny. Tato metoda se nejvíce používá pro tenkostěnné odlitky a pro jejich výrobu dutých jader. Popis metody dle obrázku 31 níže.

Používá se sypká směs, která se skládá z křemenného ostříva a tvrditelné pryskyřice, která je teplem tavitelná. Principem je obalení sypké směsi v natavené pryskyřici.[20]



Obrázek 31 - Princip metody Croning [20]

Výhody této metody spočívají v:

- + dobrá přesnost odlitků
- + minimální přídavky na obrábění
- + nízká povrchová drsnost odlitků

Nevýhody této metody:

- prašnost, plyny
- vysoké náklady na pojiva, model. zařízení
- omezení hmotnosti



Obrázek 32 a 33 - Vlevo je výztuž jádra a vpravo je samotné jádro

Takto vypadalo jádro, které se používalo pro výrobek Tabouret. Na vrchu jádra byla vsazena 2 chladítka, která měla zaručit chlazení pod žebrem, které na Tabouret v tom místě je. Jelikož se jedná o relativně velké jádro, které je navíc těžké, je nutné ho vyztužit klínem, který bude držet správnou podobu jádra. Vše můžete vidět na obrázku 32 a 33 nahoře. Na chladítka je poukázáno prstem.

Modelárna

V SG je i malá modelárna, kde se dělají modely na modelové desky. Navrhují se zde vtokové soustavy, které tu jsou následně i montovány. Vše vyhodnotí mistr, popřípadě vedoucí technolog, a modeláři pak pracují na dřevěných modelech, které jsou velmi často přidělovány na modelovou desku. Na modelárně byla tato podoba vtokové soustavy (obrázek 35).

U vtokové soustavy se také rozhoduje, jaká šíře vtokového kůlu se použije. Zde byl použit kůl o průměru 50 mm a filtr, který je na obrázku číslo 34. Filtr se pak vkládá do vtokové soustavy a měl by plnit svou funkci.



Obrázek 34 a 35 - Model a vtoková soustava - původní, filtr znázorněn vlevo

Kontrola

Po proběhnutí celého výrobního procesu se před expedicí provádí výstupní kontrola. Ta není ovšem jediná, která se provádí. Už po samotném lití se odlévají z každé pánve vzorky, jak je vidět na obrázku číslo 36.



Obrázek 36 - Vzorky k testování

Tyto vzorky se pak zkoumají v laboratoři a provádějí se na nich různé testy. Každý vzorek je označen datem, kdy byl odebrán, a z pánve, kdy byl odléván, aby se dalo zjistit, jaké výrobky jsou pak případně ovlivněny. V laboratořích se pak mohou dělat různé kontroly, jako např.:

- Teploty
- Chemického složení
- Metalografie
- Mechanické vlastnosti:
- Rozměry a vzhled

Po těchto kontrolách dojde buď k opravám, pokud je to opravitelné, nebo ke zmetkování a následnému hledání příčin, proč se tomu tak stalo. Pokud je vše v pořádku, přechází výrobek k předposlední fázi, což jsou povrchové úpravy a nátěry.

Nátěry

Jak už bylo zmíněno, v SG probíhá vývoj vlastních povrchových úprav a nátěrů. Všechny jsou na bázi zinku a jejich charakteristický vzhled je díky modré barvě. Povlak je pak konkrétněji složen ze Zn, Cu a Al a jmenuje se BioZinalium (před tímto názvem stojí vždy ještě minimálně jedna úprava, např. BLUTOP). Tento povlak má pak svoji speciální funkci, že se může „sám léčit“. Tuto ochranu můžeme už i dle výrobků rozdělit na 4 základní typy ochrany:

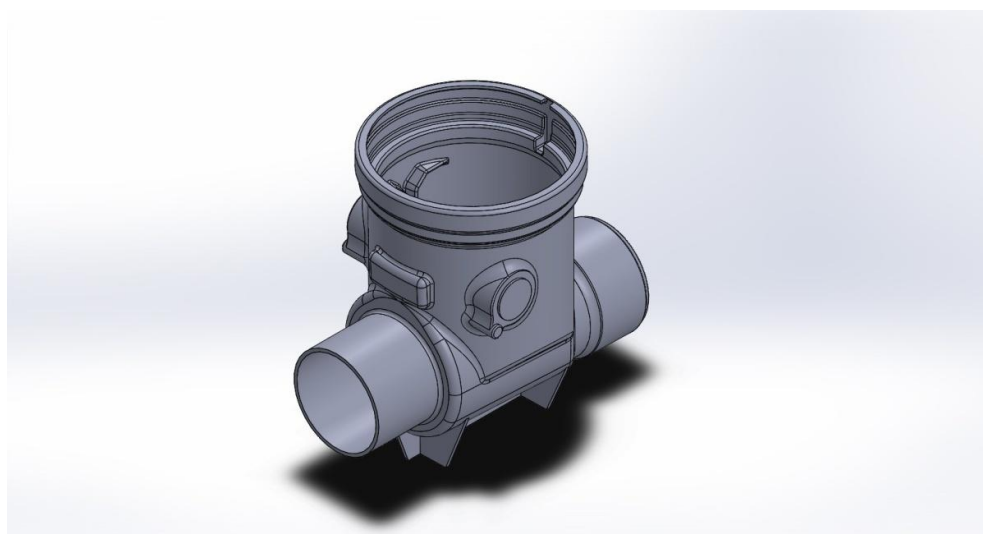
- Základní ochrana
- Speciální vnější ochrana
- Speciální vnitřní ochrana
- Tepelně izolované

Pak samozřejmě záleží na tom, v jakém prostředí se daný výrobek ocitne, protože pak se samozřejmě řeší také prostředí (koroze atd.). Zda je agresivní či nikoliv atd. Pokud je ale vše v pořádku a výrobek má vše, co má mít, putuje pak výrobek do skladu, kde čeká na transport.

Po zanalyzování současného stavu technologie se dostáváme k samotným vstupním parametrům, které jsou důležité pro následné simulace. V tabulce níže je uvedeno vše, co nám bylo poskytnuto ze strany SG. S těmito informacemi jsme pracovali.

Vstupní data				
Použitá technologie	Gravitační lití do pískových forem			
Použitý materiál	Materiál EN-GJS-500-70			
Očkování	Zirciniok 0,4%			
Modifikace	Plněný profil			
Rozmezí licích teplot	1350 - 1390°C			
Předepsaná dobu odlévání	doba lití 7-10s			
Výška pánve nad licí jamkou	výška 30 cm			
Typ použitého filtru	Keramický filtr 82x82x12,7 (Láník Boskovice)			
Tavení kovu	V kuplovně			
Opracování povrchu	Tryskání			
Materiál formy	Základní parametry	Velikost zrna	Tvrдость formy	Vlhkost formy
	Bentonitová směs, rám 1000x1300x350 mm, KeribentCF25	zrno 0,27 (Provodín PR33)	18kraj – 28zbytek formy G.F.	vlhkost 2,8 % – 3,6%
Materiál jádra	Základní parametry		Velikost zrna	
	Cold box technologie (0,8% aktivátor, 0,8% pryskyřice		zrno 0,27 (Provodín PR33)	

Tabulka 6 - Vstupních parametrů

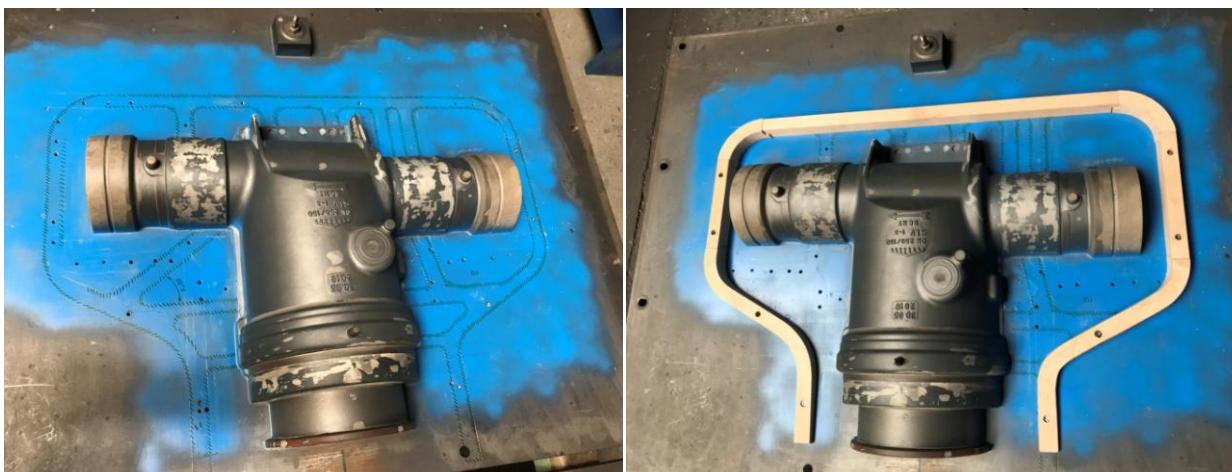


Obrázek 37 - 3D model odlitku Tabouret

5 Návrh nové vtokové soustavy na základě výsledků simulace

Nejprve byla testována vtoková soustava, která byla navržena v SG. Tato varianta byla znázorněna a odsimulována hned jako první, abychom zjistili, co se kde tvoří za vady a problémy. Ukázalo se, že dle vad (tabulka 2) se nejvíce vyskytují zadrobeniny, odvařeniny nedolití, přesazení atd. Po tomto zjištění se tedy zapracovalo na vtokové soustavě, kde došlo k větším rádiusům a zúžením. Navíc byl přidán jeden zářez, který měl docílit rychlejšímu plnění v daném místě. Později se ukázalo, že zářez v tomto místě byl nezbytný. Postupně se zkoušelo, kolik výfuku bude potřeba, a došlo se k závěru, že 2 - 3 by mohly stačit. Ve třetí variantě se už předělávala celá vtoková soustava, jelikož nám nevyhovoval celkový průběh plnění. Ani větší rádiusy nestačily. Vtoková soustava tedy nyní více obíhala odlitek, takže proud kovu dobře plynul ve vtokové soustavě. To následně zaručilo mnohem méně vad a ustálila se teplota. Bohužel se na koncích vtokové soustavy objevily záhyby, které překážely známkám, takže se musely později odstranit a opět srovnat do roviny tak, jak tomu bylo u původní varianty. Pátá varianta byla ještě více upravená a ta se později ukázala, že by mohla být pro náš výsledek optimální. Jen se musely dořešit menší detaily pro urážení vtokové soustavy klínem. Takže tato varianta byla upravena na variantu 6, kde se poslední 2 zářezy srovnávaly na 90° , aby to bylo lépe urazitelné.

Na základě výsledné simulace (6. simulace) byla upravena vtoková soustava. Jak je vidět na obrázku níže (obr. 32), nejprve byla vtoková soustava na desku nakreslena tužkou a poté byla nařezána na dřevěné úseky a složena. Na prvním obrázku vlevo je vidět, jak to bylo nakreslené. Jednalo se ještě o variantu 5, protože se ještě v té době nevědělo, že to nepůjde oddělit. Pozdější varianta pouze srovnala dané zářezy na 90° , jinak se další úpravy nedělaly. Každopádně pro ilustraci nám tento obrázek postačí. Na pravé straně je vidět už samotná konstrukce vtokové soustavy. Je vytvořena z tenkých překližkových kusů. Ty se dělí na určité kousky a díly, které se postupně spojují. Dřevěné kousky je nutné také pořádně obrousit, aby byla vtoková soustava hladká. K samotné desce se pak přichytávají dřevěné části pomocí šroubů. Na obrázku vlevo je vidět, že na desce jsou díry, do kterých se pak dané šroubky zašroubovávají. Tímto způsobem byla tedy vytvořena nová modelová deska s vtokovou soustavou.



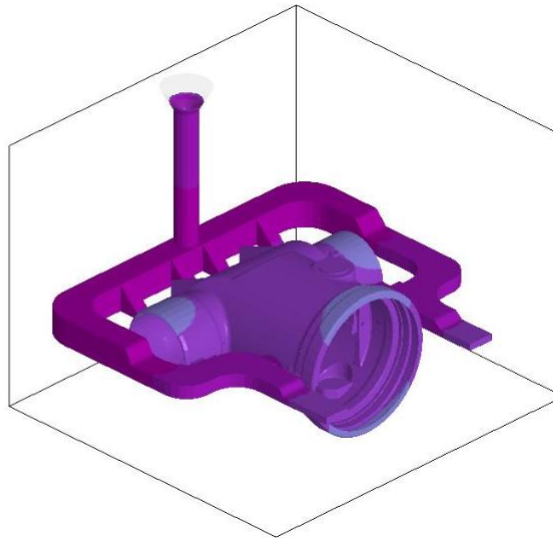
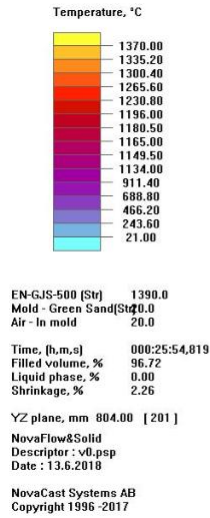
Obrázek 38 a 39 - Modelace nové vtokové soustavy

5.1 1. varianta simulace

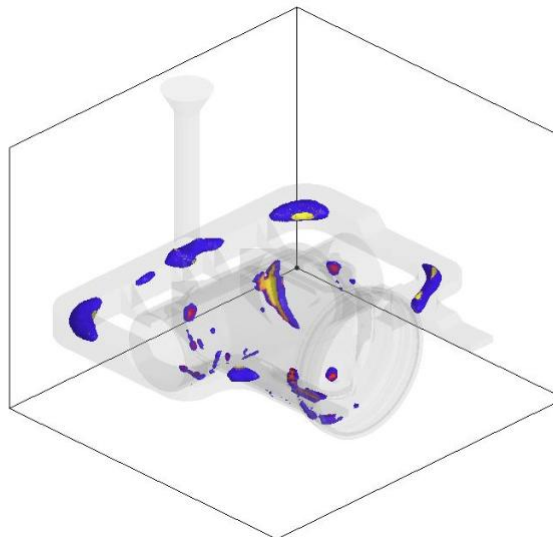
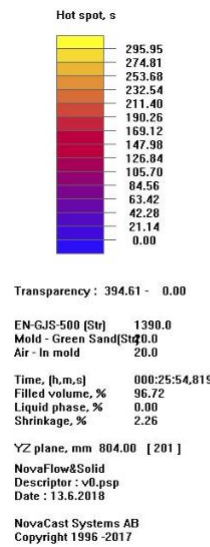
Na základě podkladů ze SG jsme vypracovali 3D model odlitku. Model vypadal tak, jak je zobrazeno na obrázku číslo 31. Pro první simulaci byla použita původní vtoková soustava, jak je na obr. 35. Simulace byla provedena v softwaru NovaFlow & Solid.

Vstupní údaje pro simulaci	
Použitý materiál	EN-GJS-500-70
Teplota lití	1390° C
Doba lití	cca 10 vteřin
Výška pánve nad licí jamkou	30 cm
Mold - Green Sand	20° C
Air - In mold	20° C
Vtokový kůl (průměr)	50 mm

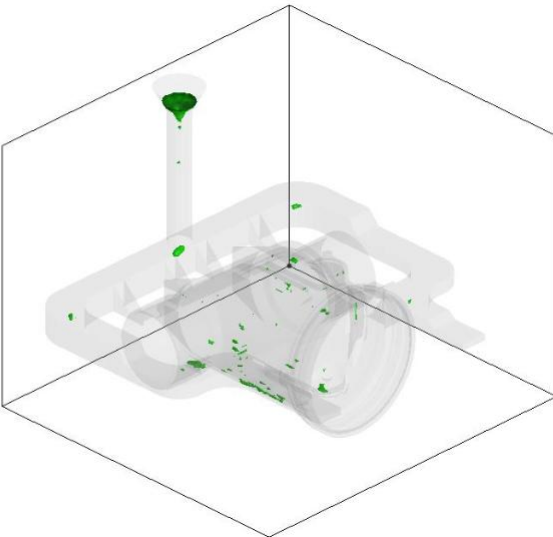
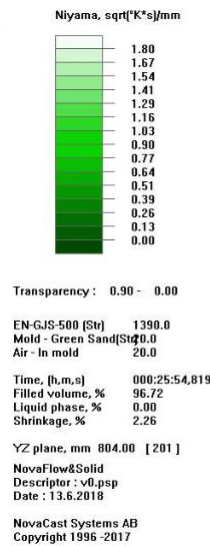
NOVAFLOW&SOLID



NOVAFLOW&SOLID

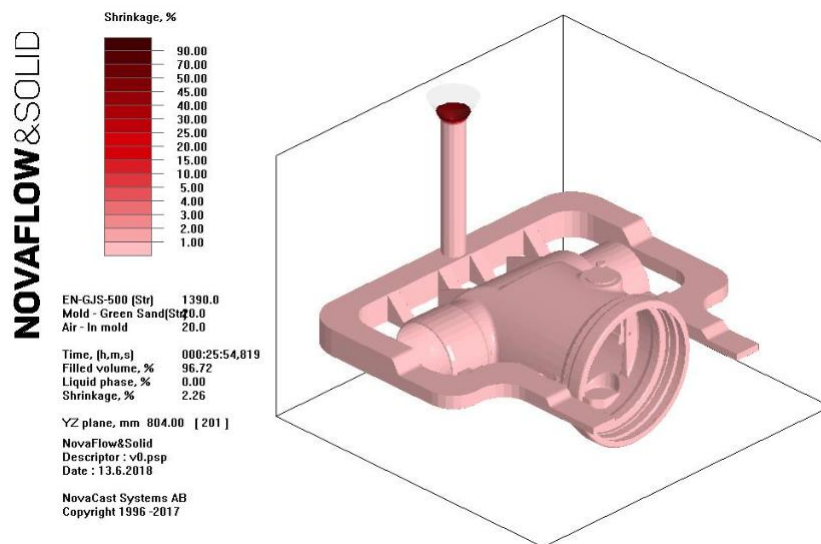


NOVAFLOW&SOLID



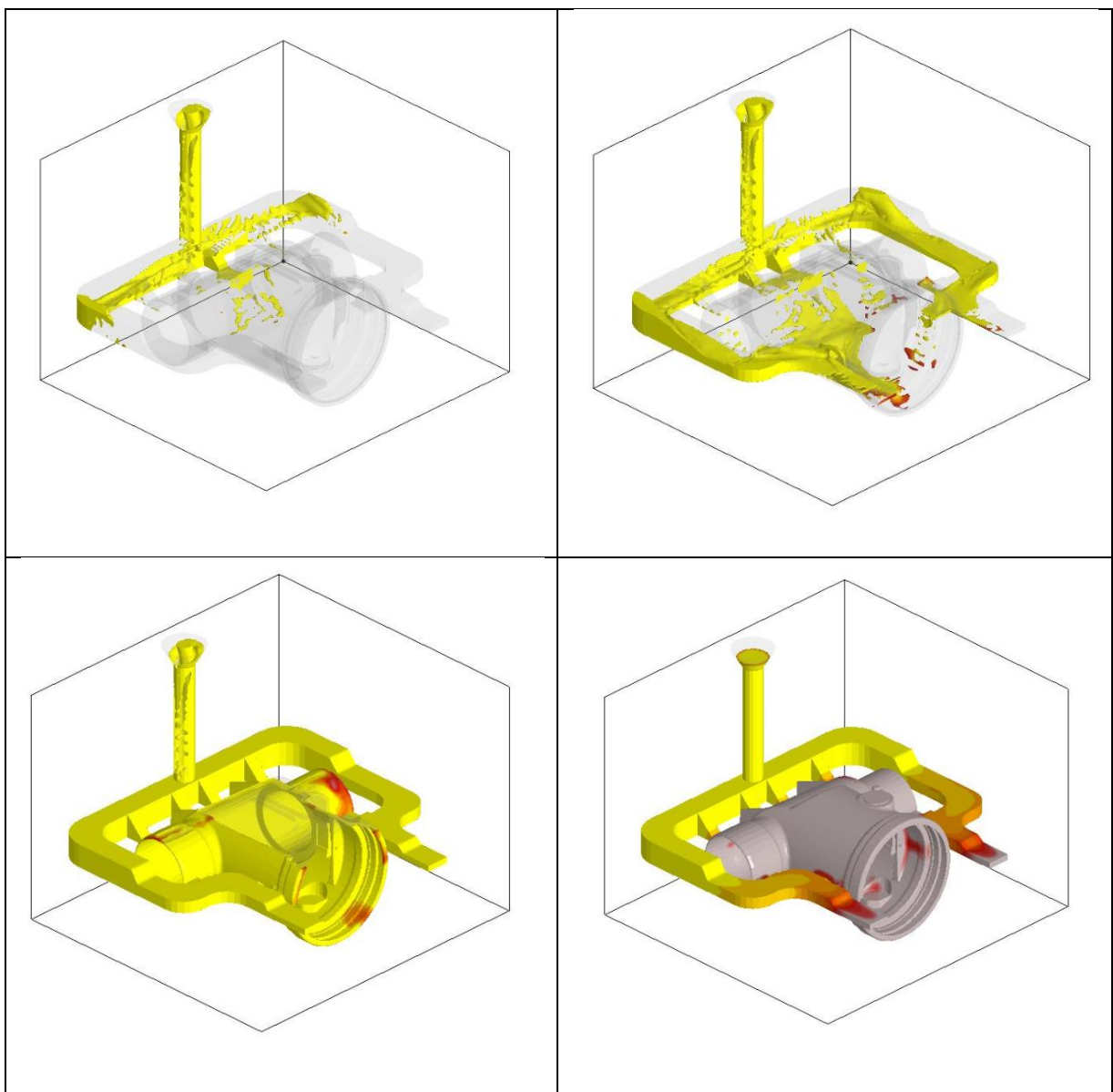
Obrázek 40, 41, 42 - a) Teplota b) Hot Spot c) Porezita

Tato simulace byla provedena jako první s tím, že se zkoušelo odsimulovat samotný odlitek ještě bez jader a chladítek, aby bylo zjištěno, kde se vyskytují vady. Zde bylo názorně ukázáno, že jádra a chladítka budou nezbytná, jelikož v odlitku vzniká poměrně hodně tepelných uzlů (Hot Spot). Nejvíce je vidět tepelný uzel u pravého žebra, kam se později umístí jedno z chladítek. Také je vidět, že na obrázku 33 a), je nezajištěné usměrněné tuhnutí. Odlitek tedy chladne na některých místech dřív, což může také zapříčinit různé vady. Odlitek by měl chladnout směrem k náličkům, ven z vtokovky směrem k licímu kůlu. Na tomto obrázku je vidět téměř 500°C rozdíl. Zatím na některých místech odlitku je teplota kolem 244°C, ve vtokovce je stále kolem 1135°C, což je hodně. Na následném obrázku 35 je pak vidět, proč tomu tak dochází. Odlitek tuhne na některých místech už v tu dobu, kdy do formy stále proudí kov. Může to být zapříčiněno špatným tvarem vtokovky, nedostatečným průřezem zářezů apod. Navíc tato vtokovka vypadá poněkud předimenzovaná. Je zbytečně vysoká a široká, navíc má málo rádiusů, takže proud tekutého kovu není ideální. To může způsobovat i vznik pomezity v odlitku, i když v této variantě to ještě není úplně špatné. Odlitek je mírně porézni, nemělo by to ale způsobovat závažné vady. Staženiny v odlitku nejsou žádné, jak je vidět na obrázku níže (obrázek 43).



Obrázek 43 - Staženiny

Na průběhu plnění je jasně vidět, kudy teče prvně kov. Na pravém zářezu teče kov rychleji, proto tam pak dochází k dřívějšímu tuhnutí. Navíc je hezky vidět, jak na konci šířky vtokovky kov naráží na stěnu a poté putuje dále. Kdyby tam byl větší rádius, kov by plynule putoval dále. To vše lze vyčíst z obrázku 35, první obrázek z tabulky vlevo. Na pravé části je pak vidět podobný problém jako na prvním obrázku, kde v druhé části opět naráží kov na stěnu vtokovky a teprve pak teče do odlitku. U třetího obrázku už je pak vidět, kde dochází k předčasnému tuhnutí. A přesně v těchto místech vznikaly vady! 4 obrázek už je jen důkaz toho, co vyplynulo z tohoto textu. Odlitek nestíhá tuhnout směrem k licímu křlu a tuhne už ve stejnou dobu, co na konci vtokovky tuhne poslední část.



Obrázek 44 - Průběhy plnění

5.2 2. varianta simulace

Vstupní údaje pro simulaci	
Použitý materiál	EN-GJS-500-70
Teplota lití	1390° C
Doba lití	cca 10 vteřin
Výška pánve nad licí jamkou	30 cm
Core - Cold-Box	20° C
Mold - Green Sand	20° C
Chill - Grey Iron	20° C
Air - In mold	20° C
Vtokový kůl (průměr)	50 mm

Ve druhé variantě už došlo k zásadním změnám. Do sestavy se přidala chladítka, výfuk a jádro. Až později se ukáže, že jeden výfuk nebude stačit. Vtoková soustava byla upravena tak, aby se minimalizovaly předchozí nedostatky z varianty 1. Vtoková soustava byla zúžena téměř na polovinu, vtokový kůl se odsadil kousek za vtokovou soustavu, aby pod něj bylo možné dát filtr. Jednotlivé zářezy byly posunuty a nacentrovány na středy stěn odlitku (v horní části odlitku). Díky těmto úpravám pak bylo docíleno usměrněnému tuhnutí, což pak dokazuje obrázek teploty odlitku. Odlitek i vtoková soustava mají shodnou teplotu a nejsou tam žádné teplotní rozdíly. Teplotní uzly zůstaly přibližně stejné, jelikož vtoková soustava zůstala co se týče celkového tvaru poměrně stejná. Tentokrát se projevila na odlitku větší porezita a to hlavně ve vrchní části odlitku. Je to pravděpodobně způsobené tím, že tam chybí jeden výfuk, proto se tam tvoří menší póry. Staženiny jsou opět v pořádku a v odlitku se žádné nenachází. Plnění se trošku zlepšilo. Tekutý kov už tolik nenaráží na stěny vtokové soustavy a poměrně plynule se dostává dále. Na pravé straně odlitku je také vidět, že byl přidán jeden zárez. Kov proudí všemi zářezy, ale opět se najdou cca 2 - 3 místa, kde kov tuhne rychleji, než by měl. Co se týče celkového tuhnutí, je to o něco lepší, jelikož dle posledního obrázku tuhne odlitek směrem k licímu kůlu.

Všechny tyto obrázky (pro variantu 2-5) jsou k nahlédnutí v příloze - seřazení obrázků je stejné, jako bylo ve variantě číslo 1. A to jest - **a) Teplota b) Hot Spot c) Porezita d) Staženiny e) Průběhy plnění.**

5.3 3. varianta simulace

Vstupní údaje pro simulaci	
Použitý materiál	EN-GJS-500-70
Teplota lití	1390° C
Doba lití	cca 10 vteřin
Výška pánve nad licí jamkou	30 cm
Core - Cold-Box	20° C
Mold - Green Sand	20° C
Chill - Grey Iron	20° C
Air - In mold	20° C
Vtokový kůl (průměr)	50 mm

Ve třetí variantě byla vtoková soustava kompletně změněna a předělána. Její průměr se zmenšil ještě tak o 1/2 oproti předchozí variantě. Největší změna je patrná u konce šířky vtokovky, kde došlo ke značným radiusům, aby mohl kov lépe proudit vtokovou soustavou. Tak od poloviny vtokové soustavy došlo ke snížení výšky a konce vtokové soustavy byly zaobleny směrem dovnitř odlitku. To se časem ukáže jako neefektivní, protože tyto konce budou překážet známkám, které tam jsou. Šlo by sice tyto konce prodloužit tak, aby to odlitku se známkami nevadilo, ale to by bylo zbytečné, neboť by bylo spotřebováno více kovu, který by nebyl správně využit, jelikož by se tyto zbytky později oddělovaly a byly by později použity jako odpad do vsázky. Jednotlivé zářezy byly také ztenčeny přibližně o 1/3. Samotná teplota odlitku a vtokové soustavy byla v pořádku, jelikož opět docházelo k usměrněnému tuhnutí, takže na celém povrchu odlitku i vtokové soustavy je stejná teplota. Teplotní uzle jsou téměř stejné, jako v předchozích variantách, jen se jich bohužel tvoří ve spodní části formy mnohem více. Naopak u této varianty vyšla téměř perfektní porezita, která je na obrázku dobře vidět. To je oproti předchozím variantám velká změna. Staženiny v této variantě také nejsou. Co se týče průběhu tuhnutí, opět tato varianta není dokonalá, neboť je vidět, že odlitek na některých místech tuhne rychleji. I když v celkovém důsledku to dopadne dobře a odlitek vytuhne tak, jak má.

5.4 4. varianta simulace

Vstupní údaje pro simulaci		
Použitý materiál	EN-GJS-500-70	EN-GJS-500-70
Teplota lití	1390° C	1350° C
Doba lití	cca 10 vteřin	cca 10 vteřin
Výška pánve nad licí jamkou	30 cm	30 cm
Core - Cold-Box	20° C	20° C
Mold - Green Sand	20° C	20° C
Chill - Grey Iron	20° C	20° C
Air - In mold	20° C	20° C
Vtokový kůl (průměr)	50 mm	50 mm

U této vtokové soustavy došlo už k menším změnám a to sice k přidání jednoho výfuku navíc a pár úpravám ohledně rádiusů. Jelikož se později ukázalo, že zmenšení a zúžení vtokové soustavy už bylo moc, docílilo se opět nedokonalého tuhnutí, takže odlitek neměl stejnou teplotu po celém svém objemu. Nejlépe to je vidět na koncích Tabouretu ve tvaru T. Porezita vyšla tedy o něco hůře, než v předchozí variantě. Největší porezita v této variantě byla spatřena v okolí pravého žebra u vrcholu Tabouretu. Staženiny byly v pořádku - žádné nebyly. V průběhu lití je pak hezky vidět, jak kov plynuje proudí ve vtokové soustavě. Vyskytla se však menší vada a tj. taková, že jeden ze zářezů naproti žebrování nebyl průtokový, takže se tu kov zastavil a neproudil dále do odlitku. To by později mohlo zapříčinit nějaké vady. Na druhou stranu další 2 zářezy (blíže k pravé straně odlitku) byly velice průtokové a kov zde proudil přesně tak, jak bylo zamýšleno, a tudíž tato část se velmi dobře plnila. Odlitek pak ztuhnul tak, jak měl, i když došlo k chybnému celkovému plnění. Bohužel díky této chybě tato varianta byla bez úspěchu a musela se navrhnout další.

5.5 5. varianta simulace

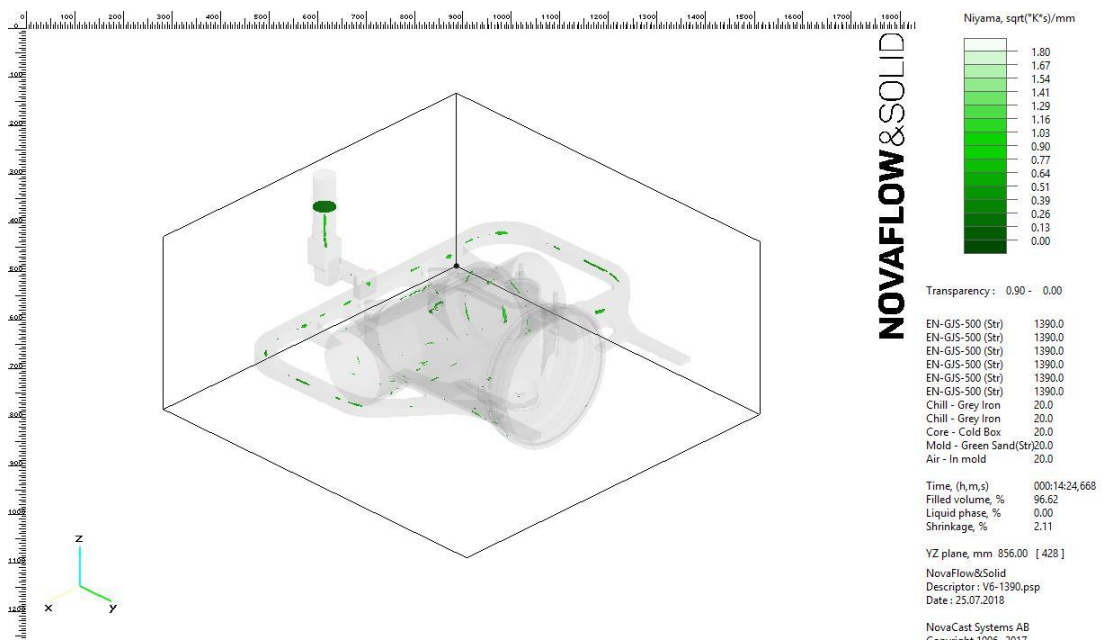
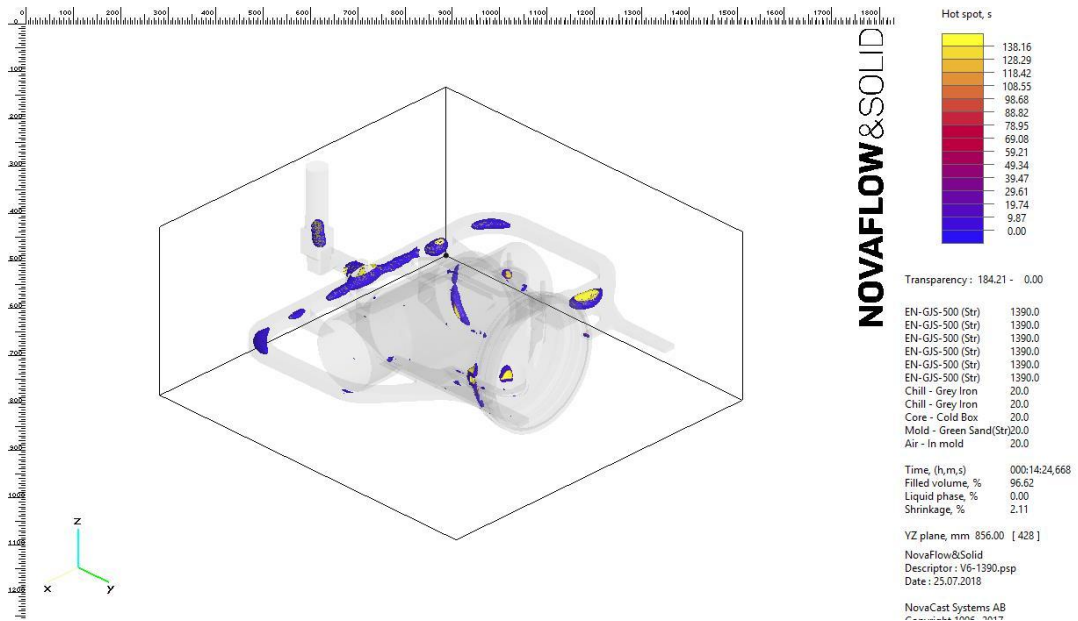
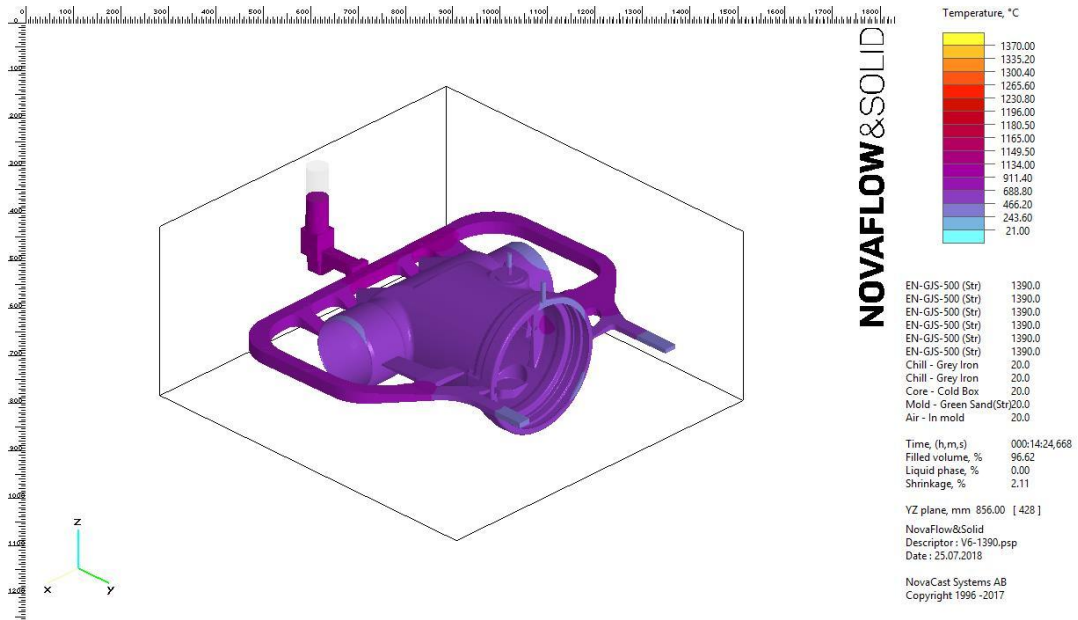
Vstupní údaje pro simulaci		
Použitý materiál	EN-GJS-500-70	EN-GJS-500-70
Teplota lítí	1390° C	1350° C
Doba lítí	cca 10 vteřin	cca 10 vteřin
Výška pánve nad licí jamkou	30 cm	30 cm
Core - Cold-Box	20° C	20° C
Mold - Green Sand	20° C	20° C
Chill - Grey Iron	20° C	20° C
Air - In mold	20° C	20° C
Vtokový kůl (průměr)	50 mm	50 mm

V páté variantě byla opět předělána vtoková soustava na ještě zaoblenější hrany, které měly výrazně menší tloušťku. Vtoková soustava byla celkově menší, co se týče tloušťky. Navíc byly lépe usměrněné prostřední 2 zářezy. Zářezy byly zbavené rozvodné plochy, které ještě navíc vedly kov o kousek dál. Zářezy byly teď nasměrované přímo do odlitku. Vtokovka byla na druhou stranu trochu více rozšířena do šířky, aby mohly dané rádiusy lépe vést tekutý kov. Největší změna je ale u posledních dvou zářezů na obou stranách. Zářezy jsou nasměrované na střed plochy, kam by měly vést kov. Jediná nevýhoda, která se vyskytla u této varianty, byla ta, že se zde v jedné části odlitku tvořila jedna jediná vada. Tato vada je znázorněna na obrázku číslo 24. Dále z provozního hlediska se vyskytl problém s urážením vtokové soustavy, jelikož úhel, který se nacházel u spodních 2 zářezů, byl tak velký, že vrážecí klín nebyl dostatečně velký na to, aby se do tohoto prostoru vešel a vtokovku urazil. Jinak téměř všechny hodnotící kritéria vycházela bez problémů. Teplota odlitku byla shodná s vtokovou soustavou, takže tuhnutí po celém objemu bylo zajištěno. Tepelné uzle už vycházely mnohem menší, než tomu tak bylo na začátku v prvních variantách. Teplota těchto uzlů už dosahovala kolem 10 - 20 °C, což není moc a dalo by se to považovat za zanedbatelné. Porezita a staženiny jsou v této variantě téměř nulové. Hned na druhém obrázku pro plnění je vidět, že proud kovu, který plyne ve vtokové soustavě, je ustálen a nejsou zde vidět klasické nárazy kovu do stěn, jak tomu bylo dříve. Tuhnutí je pak téměř bezchybné.

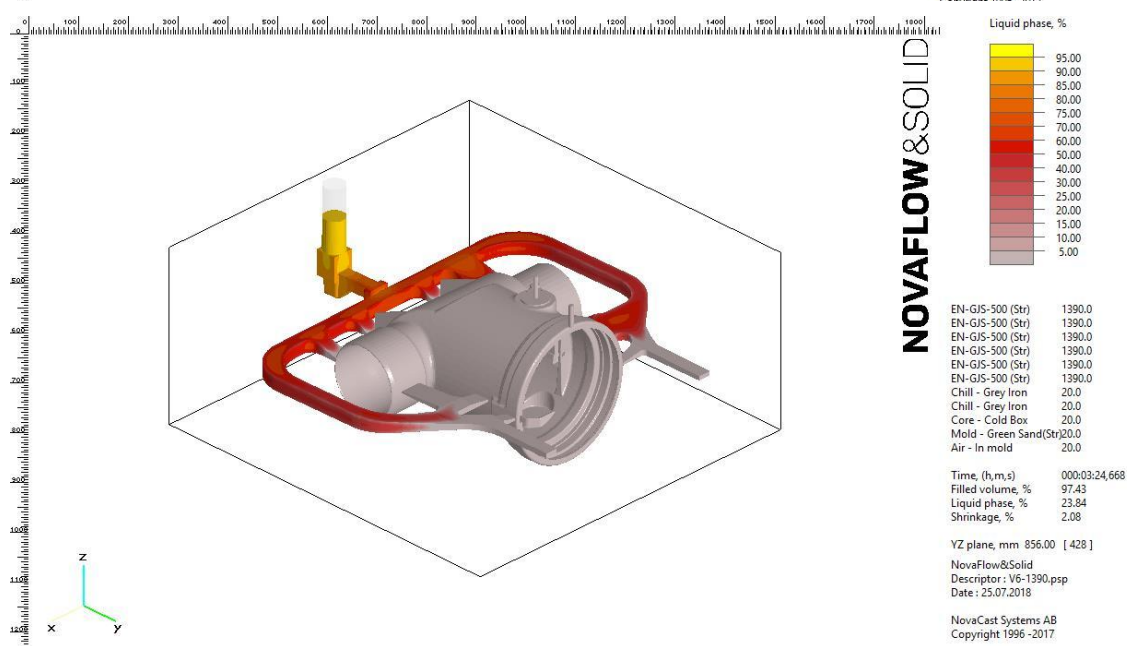
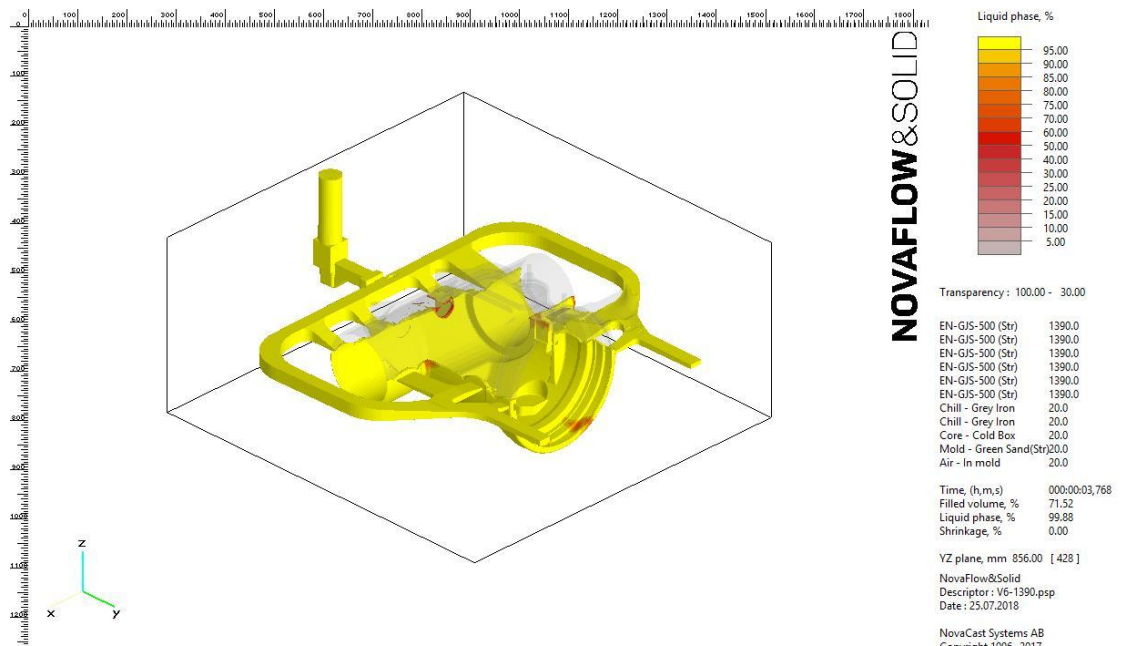
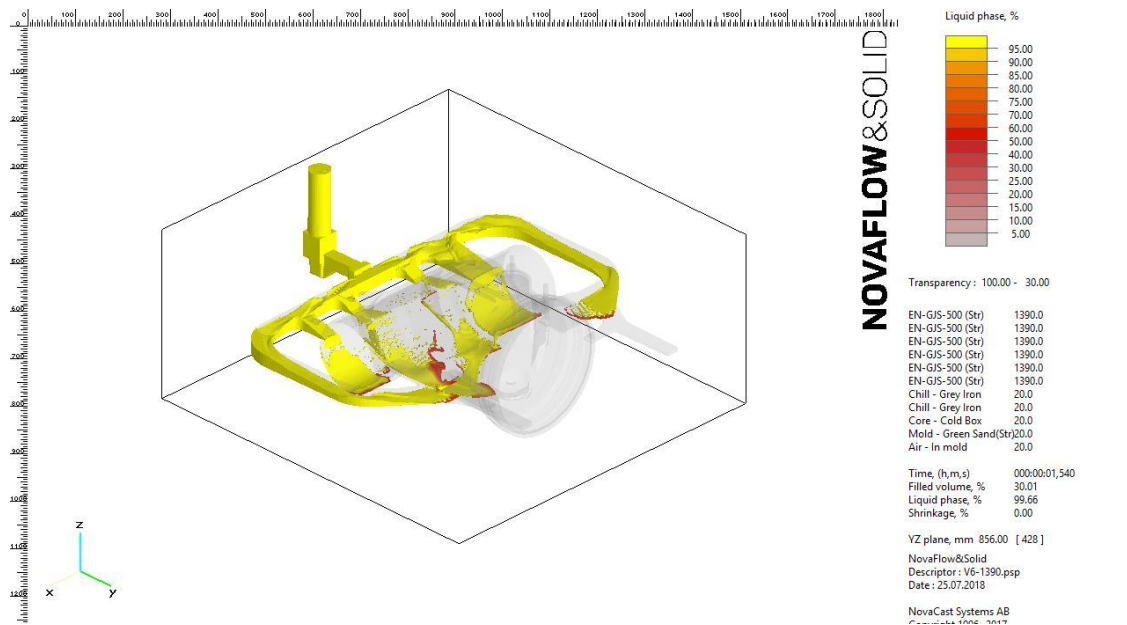
5.6 6. varianta simulace

Vstupní údaje pro simulaci		
Použitý materiál	EN-GJS-500-70	EN-GJS-500-70
Teplota lití	1390° C	1350° C
Doba lití	cca 10 vteřin	cca 10 vteřin
Výška pánve nad licí jamkou	30 cm	30 cm
Core - Cold-Box	20° C	20° C
Mold - Green Sand	20° C	20° C
Chill - Grey Iron	20° C	20° C
Air - In mold	20° C	20° C
Vtokový kůl (průměr)	50 mm	50 mm

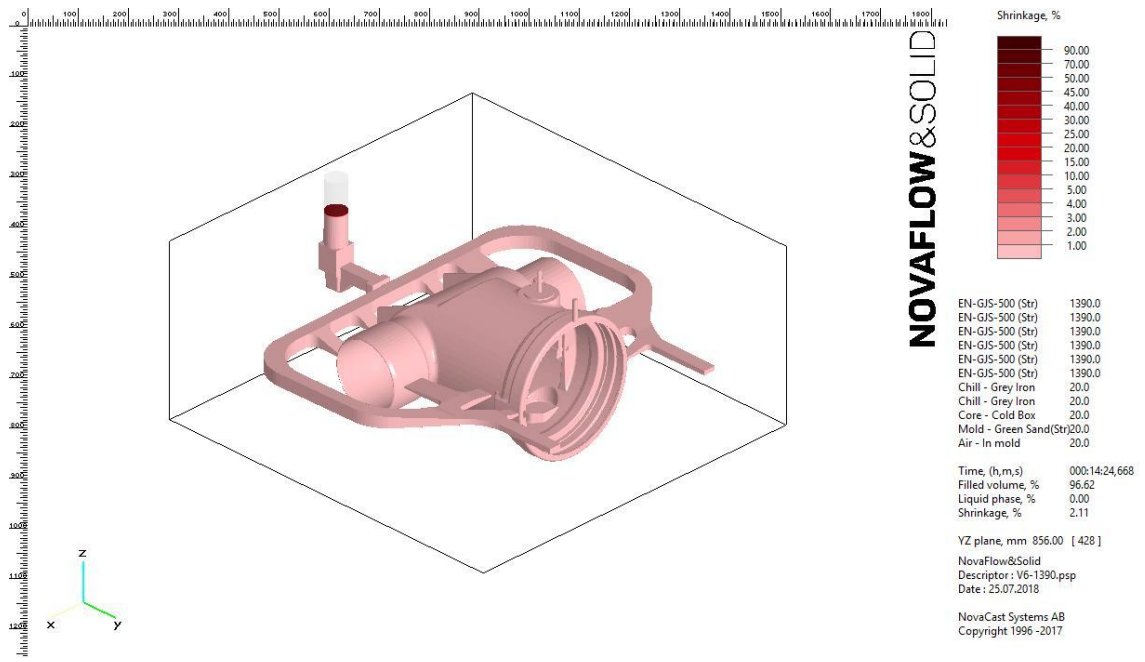
Tato varianta už je variantou konečnou. V této variantě neproběhly žádné větší úpravy ve vtokové soustavě. Jelikož je tato varianta vylepšením varianty předchozí, zkoušelo se odsimulovat tuto variantu i pro 1350°C, což je nejnižší hranice odlévání. Až k této teplotě může klesnout kov, který je odléván po 10 těchto odlitků do forem. Prodlevy způsobují ztrátu teploty, proto může docházet k více vadám, které simulace pro 1390°C nedokáže odhalit. Jediná změna, která byla provedena, byla ta, že spodní zářezy na obou stranách byly upraveny tak, aby šly pak následně dobře urazit klínem. Šlo tedy hlavně o odstranění problému s odštěpováním vtokové soustavy. Problém byl sice vyřešen, bohužel to trochu zkomplikovalo tuhnutí a teplotu odlitku. Jelikož byly zářezy upraveny do téměř 90° (úhlu - aby to šlo urážet), proud kovu nebyl ideální. To se podepsalo na odlitku, který měl místy 500 - 1000°C, což je poměrně velký teplotní rozsah. Teplotní uzle se stáhly do vtokové soustavy, takže ostatní uzle uvnitř odlitku jsou zanedbatelné. Porezita téměř vymizela a staženiny se zde také neobjevily. Samotný průběh lití je v podstatě totožný s předchozí variantou. Dle obrázků průběhů plnění je vidět, že odlitek ukázkově tuhne. Předělaná vtoková soustava ve formě výkresu je k nahlédnutí v příloze.



Obrázek 45, 46, 47 - a) Teplota b) Hot Spot c) Porezita



Obrázek 48, 49, 50 - Průběhy plnění



Obrázek 51 - Staženiny

6 Optimalizace navržené technologie pomocí simulací s cílem minimalizace slévárenských vad

V prvním případě by bylo dobré, aby zakládání jader bylo zautomatizováno. Nejčastější příčiny vzniku vady byly ty, kdy jádro bylo špatně usazeno do formy, takže se pak často vykytovala vada přesazení. Dále se pak ukázalo, že zakladači jader po čase ztráceli sílu (jádro váží 43kg!), takže občas udeřili jádrem o stěnu formy, takže se rozdrobila forma a hned se objevily další vady jako byly např. - připečeniny, zdrobeniny apod. Dalo by se to vyřešit tak, že nad linku by se koupil jeřáb, který by velká těžká jádra nabíral a zakládal sám. Potom by se tyto vady minimalizovaly. Následně by bylo dobré lépe utěsnit jádra a známky, protože téměř ve většině případů docházelo k zatékání kovu do známek, což je jednak plýtvání kovem a jednak zbytečná práce navíc pro brusiče. O estetickém dojmu nemluvě.

K zamyšlení stojí pořízení simulačního softwaru, protože jak už bylo zde v práci řečeno, simulační softwary minimalizují vznik vad už na začátku procesu. Značně by pomohly k lepší kvalitě odlitků, ušetřily by se určité náklady a technologové by měli lepší přehled o tom, co se s daným odlitkem děje. Největší nevýhodou jsou pouze vstupní náklady, které by se časem měly rychle vrátit.

Možná by stálo za úvahu pořídit indukční pec (v současné době probíhá přestavba v SG, kde se právě připravuje prostor pro novou indukční pec). Je zde lepší regulace výkonu, dá se lépe hlídat chemické složení, což dále ovlivňuje kvalitu odlitků. Navíc časová úspora se pak dá promítnout do celkového procesu výroby. Nespornou výhodou indukčních pecí je, že se dá ve velké míře využít vratný materiál, jelikož bychom znali jeho přesné složení z předchozích výrobků. Další optimalizace by asi nebyla třeba.

7 Návrh změny modelového zařízení pro ověření v praxi

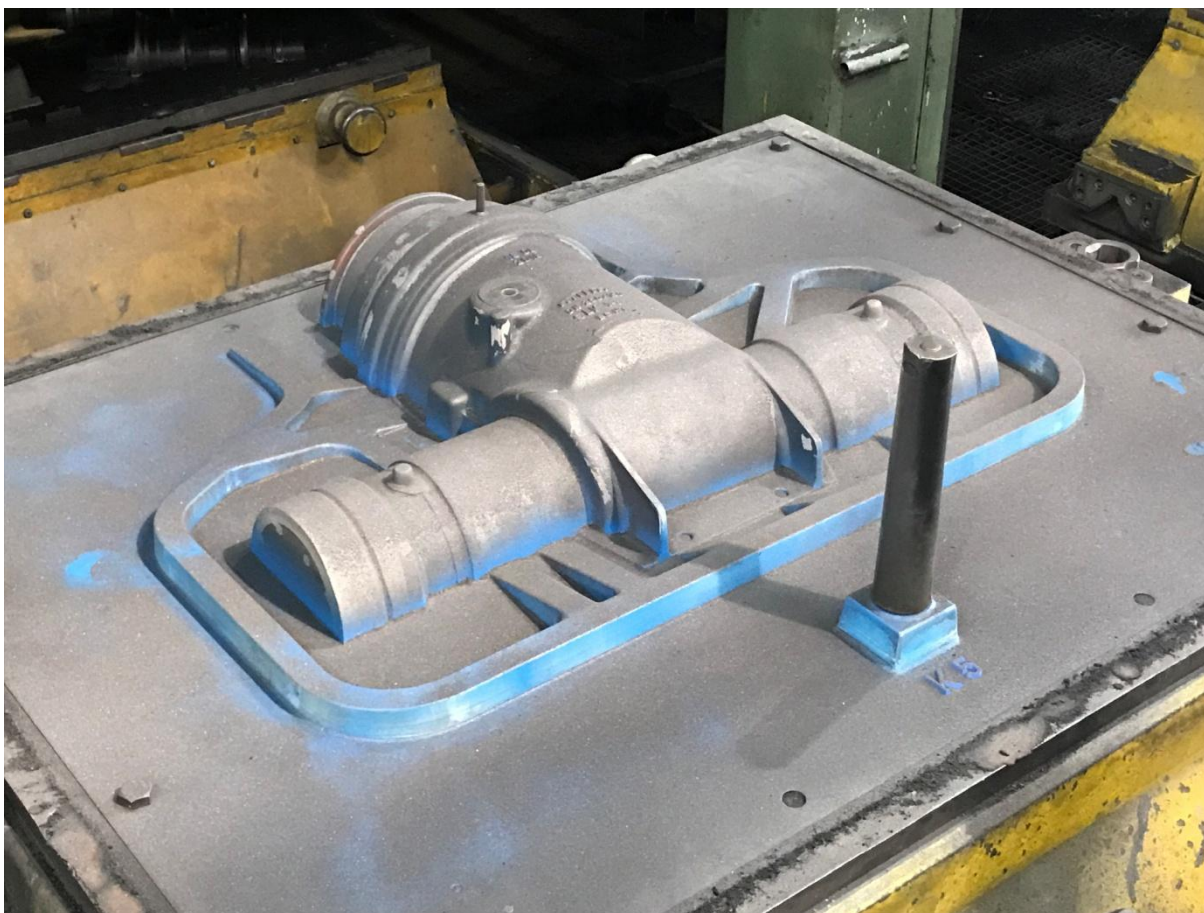
Po návrhu nové vtokové soustavy došlo ke změně modelového zařízení. Jak bylo vidět na obrázcích 38 a 39. Tak postupně docházelo ke změnám. Tato vtoková soustava se ve výrobě osvědčila a dokazuje to i následný pokus, kdy prvně bylo odlito pouze 5 odlitků pro případ, zda se nevytvoří nějaké dodatečné vady. Postupem času během procesu se ukázalo, že odlitky jsou bez vad, proto se pak odlila celá série, která byla bezchybná! O dodatečné informace během procesu odlévání se stará průvodní list, který je zobrazen na obrázku 52 níže.

SAINT-GOBAIN PAK CZ		PRŮVODNÍ LIST ZKOUŠKY NOVÝ VÝROBEK - TECHNOLOGICKÁ ZKOUŠKA - PŘEDSÉRIE				Císlo zkoušky: Z1800179
PRÍPRAVA VÝROBY	JADERNA	FORMOVNA	CÍDÍRNA/OBROBNA	TECHNOLOGIE		
Tel: 15 9 10 Datum: 15. 10. 11 Podpis: [podpis]	Tel: 25 0 11 Datum: 15. 10. 11 Podpis: [podpis]	Tel: 15 0 11 Datum: 15. 10. 11 Podpis: [podpis]	Tel: 15 0 11 Datum: 15. 10. 11 Podpis: [podpis]			
VÝROBEK: 7951	TABOURET DN 250 T 45 MLE 93					
NOVÝ VÝROBEK						
Δ oprava modelu Δ změna	Δ zlepšení Δ nový model	Δ ověření Δ zkušební odlitek				
PRACOVÍŠTĚ	SKUPINA	TAVÍRNA				
AFL		Doba lití: 9:30 (1:3) (1:3-5) Licí teplota: 1367 (1350) Komentář: [red text]				
CÍL	Nová vtoková soustava dle ČVUT Praha-diplomová práce					
CÍLE / POPIS ČINNOSTI A RIZIKA / BEZPEČNOST - KVALITA			POZNÁMKY / PODPIS			
MODELÁRNA	počet jader z jaderku: 1 počet modelů na desce: 1 číslo jaderku:					
JADERNA	stroj: H10	hmotnost jádra: 43 kg				
FORMOVNA	Hmotnost odlitku brutto:		O.K. [red text] [red text]			
CÍDÍRNA/OBROBNA	Hmotnost odlitku NETTO:		[red text]			
TLAKOVÁNÍ	počet: ks	znelky: ks				
KONTROLA	nový výrobek:					

Obrázek 52 - Průvodní list

Na průvodním listu se zobrazuje a zapisuje vše, co je potřeba. Samotný list putuje s výrobkem celým procesem. List se založí už při přípravě výroby a putuje postupně přes jadernu, formovnu, cídírnu, obrobnu až k samotné technologii. V každém oddělení se napíše, co je případně za problém, popřípadě se napíše důležité informace, které daný výrobek obsahuje. Tento průvodní list je přímo pro naši sérii, kde se průměrná licí doba pohybuje kolem 9 vteřin. Bohužel licí teplota už během transportu pánve a stahování strusky klesla na 1367°C. Jelikož máme ale výslednou variantu ověřenou i na 1350°C, tak je to v pořádku, i když vstupní parametry byly trochu jiné.

Upravná modelová deska se pak připravila na formovně k zaformování. Na obrázku 53 je vidět její podoba. Na desku byl ještě připevněn vtokový kůl o průměru 50 mm. Navíc byla modelová deska posypána grafitem, aby byla zařízena soudržnost formovacího materiálu. Modelová deska pak byla posunuta k samotnému formování.



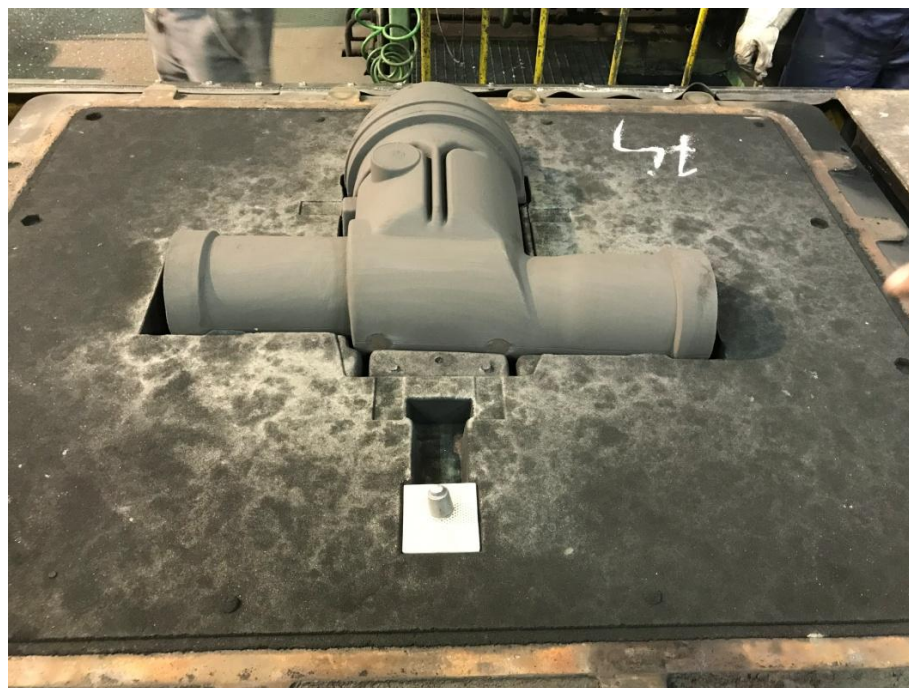
Obrázek 53 - Upravená modelová deska připravená k zaformování

Po zaformování to pak vypadalo jako na obrázku 54. Rám s formovací směsí byl připraven k založení jádra, filtrů a očkovačů.



Obrázek 54 - Zaformování

To je vidět na obrázku 55. Ve formě je už založené jádro a je připraven filtr s očkovačem. Toto je už sekundární očkování, jelikož první probíhá už plněným profilem před tím, než dojde k samotnému lití.



Obrázek 55 - Založené jádro, filtr a očkovač

Po těchto operacích dojde ke spojení horní a dolní části formy a z formovacího uzle se forma přesouvá k samotnému lití. Po odlití probíhají procesy, které jsou zmíněné v analýze současné technologie. Po zchladnutí a otryskání dochází ještě ke kontrole odlitku a poté se přesouvá odlitek do skladu.

8 Vyhodnocení a závěr

V této práci bylo jasně vysvětleno, jak to s konkrétním výrobkem ze SG Tabouretem chodí. Bylo vysvětleno, jaká technologie výroby se pro daný výrobek používá a byla přesně vysvětlena technologie výroby LKG. Byl popsán též materiál, který je charakteristický pro náš výrobek, jeho vlastnosti a účel. Na této práci byl ukázán samotný závod a schematicky znázorněna slévárna, která se pro tyto účely výroby používá. Bylo ukázáno, jak daný materiál teče slévárnou a v jakých odděleních se mění na požadovaný výrobek. Pro samotný výrobek pak bylo vysvětleno, jak předcházet vadám - a to buď navrhnutí nové technologie, novou vtokovou soustavou, používáním filtrů nebo simulačních softwarů. U každé z těchto variant bylo vysvětleno konkrétní řešení problému a byla zde vysvětlena jeho problematika. Obzvláště zajímavou kapitolou pak bylo filtrování a simulování. Na začátku procesu byly zdokumentovány vady, které se na odlitku nacházely. Později byly vady identifikovány a popsány. Vtoková soustava byla během procesu několikrát změněna, aby mohlo dojít k co nejlepšímu výsledku. 2x se používala současné vtoková soustava, která byla jen mírně pozměňována. To se ale ukázalo jako neefektivní, tak byla vtoková soustava kompletně předělána. Zbylé 4 varianty už byly jen otázkou času. 3. a 4. varianta byla už nově navržená vtoková soustava, avšak se moc neosvědčila, proto byly vyvinuty ještě varianty 5 a 6. Šestá varianta už byla ta varianta, kterou jsme hledali. Vady u této varianty byly téměř nulové a oproti původním vadám, které byly nalezeny, to je výrazný pokrok. Jediného problému, kterého jsme se nedokázali zbavit, je zatékání do známek. Optimalizace procesu byla navržena tak, že by se pořídil jeřáb na zakládání jader, pořídil by se simulační software a pořídila by se nová indukční pec pro lepší zpracování a hlídání kovu.



Soustava obrázků 56, 57, 58, 59 - Finální produkt bez jakýkoliv vad

Závěrem můžeme konstatovat, že simulace pro tento výrobek byly nezbytné a jen díky nim se nám podařilo dosáhnout 100% úspěšnosti u výrobku Tabouret. **Po odlití celé série 186ks výrobku Tabouret byla prokázána nulová zmetkovitost a neobjevila se zde žádná vada.** Podařilo se nám tedy minimalizovat zmetkovitost tohoto výrobku, která byla na začátku procesu poměrně vysoká. Můžeme tedy konstatovat, že naše cíle práce byly splněny.

9 Seznam použité literatury

1. SAINT-GOBAIN PAM CZ s.r.o.: Úvodní strana / O nás [online]. 2010 [cit. 2018-07-11]. Dostupné z: <http://www.saint-gobain-pam.cz/o-nas/>
2. SAINT-GOBAIN PAM CZ s.r.o.: Úvodní strana / Výrobní závod [online]. 2010 [cit. 2018-07-11]. Dostupné z: <http://www.saint-gobain-pam.cz/vyrobní-zavod/>
3. PTÁČEK, Luděk. *Nauka o materiálu II*. 2. vyd. Brno: CERM, 2002. 392 s. *ISBN 80-7204-248-3*. S. 165.
4. NATURAL: *Trubky a tvarovky z tvárné litiny*. Praha, 2018, 27 s.
5. ČSN 42 2305 (422305). *Tvárná litina 42 2305 feriticko-perlitická*. Praha, 1975.
6. FORMANOVÁ, Ludmila. *Výroba tvárné litiny v malé slévárně*. Plzeň, 2016. Bakalářská práce. Západočeská univerzita v Plzni. Vedoucí práce Ing. Miroslav Hála, CSc.
7. OKK Koksovny, a.s.: EVROPSKÁ ŠPIČKA VE VÝROBĚ KVALITNÍHO KOKSU [online]. Ostrava [cit. 2018-07-12]. Dostupné z: <http://www.koksovny.cz/cz/metalurgicky-koks>
8. OTÁHAL, Vlastislav. *Litina s kuličkovým grafitem: Monografie*. Metalcasting and Foundry Consult. Brno.
9. HAMPL, Jiří. *METALURGIE SLÉVÁRENSKÝCH SLITIN: učební text / scénáře / testy*. Ostrava, 2013. Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava. Vedoucí práce Doc. Ing. Rudolf Kořený, CSc.
10. LANIK: *FOAM CERAMICS* [online]. 2012 - 2018 [cit. 2018-07-25]. Dostupné z: <http://www.lanik.eu/historie-filtrace/>
11. LANIK: *FOAM CERAMICS* [online]. 2012 - 2018 [cit. 2018-07-25]. Dostupné z: <http://www.lanik.eu/typy-filtru-a-jejich-pouziti/>
12. PISKAČOVÁ, Vlasta. *Simulace ve slévárně. TECH EDU: Simulace ve slévárně*. Praha: ANTECOM, 2015, **1**, 14-15.
13. JAKUBEC, Petr. *Vady ocelových odlitků*. Brno, 2015. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Ing. . Vítězslav Pernica.
14. ŠENBERGER, J., a kol. *Metalurgie oceli na odlitky*. 1. vyd. Brno: VUT v Brně - Nakladatelství VUTIUM, 2008. 311 s. *ISBN 987-80-214-3632-9*.
15. ELBEL, T. a kol. *Vady odlitků ze slitin železa*. 1. vyd. Brno: MATECS, 1992, s. 339.
16. ELBEL, T. *Diagnostika a řízení kvality odlitků* [online]. 1. vyd. Ostrava: FMMI VŠB - TU Ostrava, 2013 [cit.2018-07-30]. Dostupné z:

- http://katedry.fmfi.vsb.cz/Modin_Animace/Opory/02_Metalurgicke_inzenyrstvi/08_Diagnostika_a_rizeni_kvality_odlitku/Elbel_Diagnostika_a_rizeni_kvality.pdf
17. LANIK: *FOAM CERAMICS* [online]. 2012 - 2018 [cit. 2018-07-25]. Dostupné z: <http://www.lanik.eu/navrh-vtokove-soustavy/>
 18. SIMANDL, Ondřej. *Tvorba výukového videa - Výroba rozměrných odlitků*. Praha, 2016. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Praze. Vedoucí práce Ing. Aleš Herman, Ph.D.
 19. BEDNÁŘ, Bohumír. *Nálitky*. Praha, 2013.
 20. DLOUHÁ, M. *Srovnání ekologických a technologických vlastností různých způsobů výroby slévárenských forem a jader*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2012. 46 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Petr Cupák, Ph.D.
 21. ZAJÍČEK, Roman. *Termofyzikální parametry exotermických materiálů pro obklady nálitků a jejich návaznost na simulační programy*. Brno, 2013. Bakalářská práce. České Vysoké učení v Brně. Vedoucí práce Doc. Ing. Jaromír Roučka, CSc.

Seznam obrázků a tabulek

Tabulka 7 - Chemické složení výrobku Tabouret

Tabulka 8 - Vlastnosti materiálu

Tabulka 9 - Zjednodušená tabulka vad - seznam tříd, skupin a vad odlitků

Tabulka 10 - Vady odlitku Tabouret

Tabulka 11 - Zmetkovitost

Tabulka 12 - Vstupních parametrů

Obrázek 1 - Metody výroby tvárné litiny [8]

Obrázek 2 - Schéma zařízení na zavádění plněných profilů (drátů) do taveniny pro velké výkony s odsáváním zplodin reakce - horizontální uspořádání [8]

Obrázek 3 - Polévací metoda v otevřené pánvi [8]

Obrázek 4 a) zásobník uprostřed pánve b) čajníková pánev c) zaváděcí - plnicí trychtýř a detail zásobníku [8]

Obrázek 5 Sandwich metoda v otevřené pánvi [8]

Obrázek 6 - Tundish pánev s pevným víkem - a) původní konstrukce b) nová konstrukce [8]

Obrázek 7 - Modifikace v konvertoru čistým Mg [9]

Obrázek 8 a 9 Ponorný způsob výroby tvárné litiny a základní parametry nutné pro ponořovací způsob [8][9]

Obrázek 10 a 11 - Metoda výroby tvárné litiny ponořovacím způsobem a v autoklávu [9]

Obrázek 12 - Ukázka tkaninových filtrů a kovových sítok [11]

Obrázek 13 - Ukázka licích sítok [11]

Obrázek 13 - Ukázka lisovaných filtrů [11]

Obrázek 15 - Ukázka extrudovaných filtrů [11]

Obrázek 16 - Ukázka pěnových keramických filtrů [11]

Obrázek 17 - Zachycuje filtraci cezením, tvorbu filtračního koláče a hloubkovou filtraci [11]

Obrázek 18 - Ukázka možných vtokových soustav [18]

Obrázek 19 - Vodorovná poloha filtru [17]

Obrázek 20 - Typy nálitků [19]

Obrázek 21 - Schematický přehled typů nálitků [21]

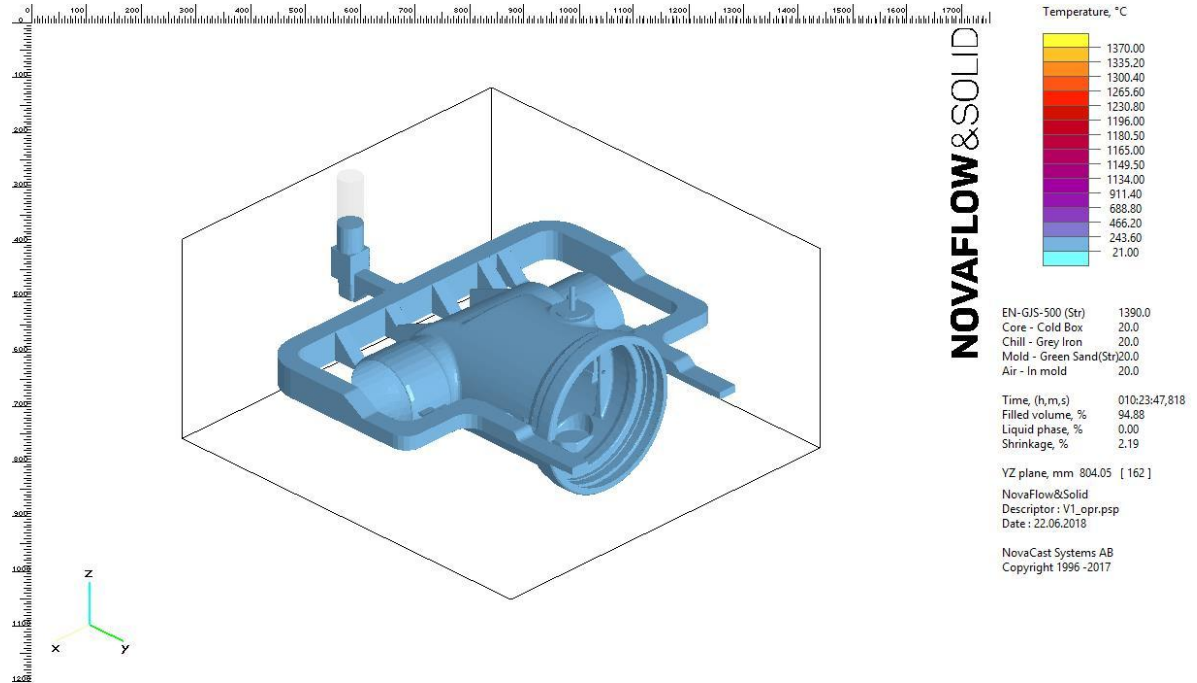
Obrázek 22 Schéma metody vepsaných koulí [21]

Obrázek 23 - Povrchová přípečenina

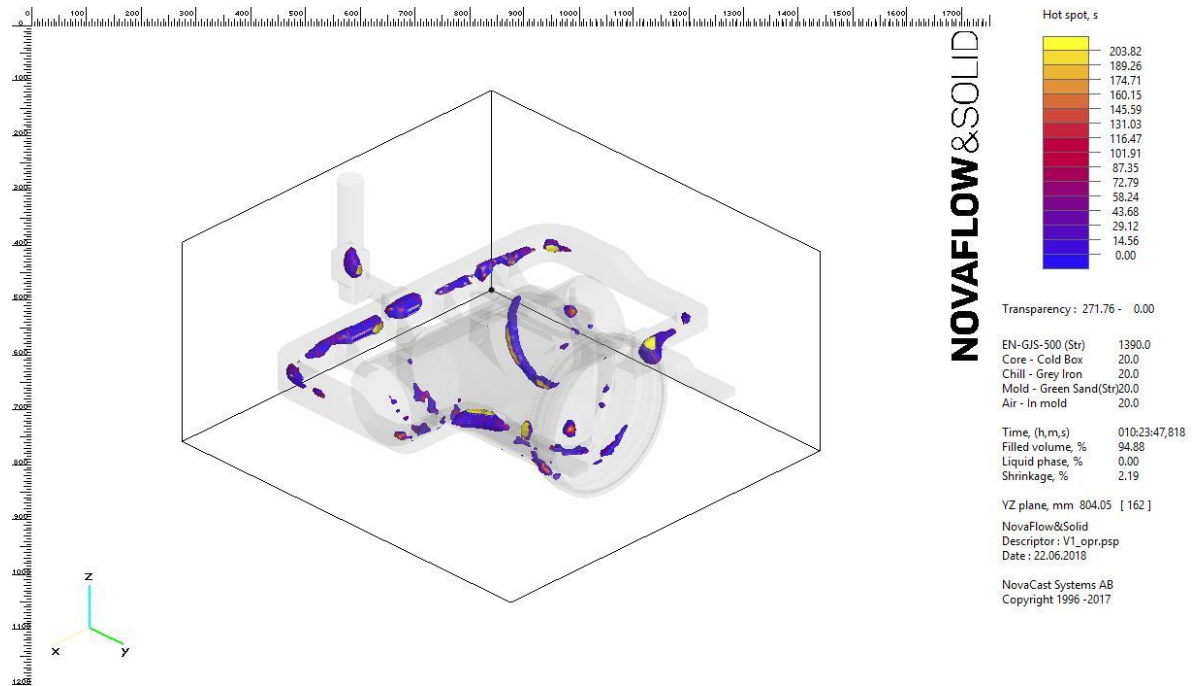
Obrázek 24 - Staženina na povrchu odlitku
Obrázek 25 - Trhlina
Obrázek 26 - Zborcení stěny odlitku - prohlubeň
Obrázek 27 - Nedolitý odlitek
Obrázek 28 - Zadrobenina
Obrázek 29 - Zjednodušené schéma slévárny
Obrázek 30 - Schéma a detail formovacího uzlu
Obrázek 31 - Princip metody Croning [20]
Obrázek 32 a 33 - Vlevo je výztuž jádra a vpravo je samotné jádro
Obrázek 34 a 35 - Model a vtoková soustava - původní, filtr znázorněn vlevo
Obrázek 36 - Vzorky k testování
Obrázek 37 - 3D model odlitku Tabouret
Obrázek 38 a 39 - Modelace nové vtokové soustavy
Obrázek 40, 41, 42 - a) Teplota b) Hot Spot c) Porezita
Obrázek 43 - Staženiny
Obrázek 44 - Průběhy plnění
Obrázek 45, 46, 47 - a) Teplota b) Hot Spot c) Porezita
Obrázek 48, 49, 50 - Průběhy plnění
Obrázek 51 - Staženiny
Obrázek 52 - Průvodní list
Obrázek 53 - Upravená modelová deska připravená k zaformování
Obrázek 54 - Zaformování
Obrázek 55 - Založené jádro, filtr a očkovadlo
Soustava obrázků 56, 57, 58, 59 - Finální produkt bez jakýkoliv vad
Obrázek 60 - Teplota (varianty 2-5)
Obrázek 62 - Hot Spot (varianty 2-5)
Obrázek 63 - Porezita (varianty 2-5)
Obrázek 64, 65, 66 - Průběhy plnění (varianty 2-5)

Přílohy

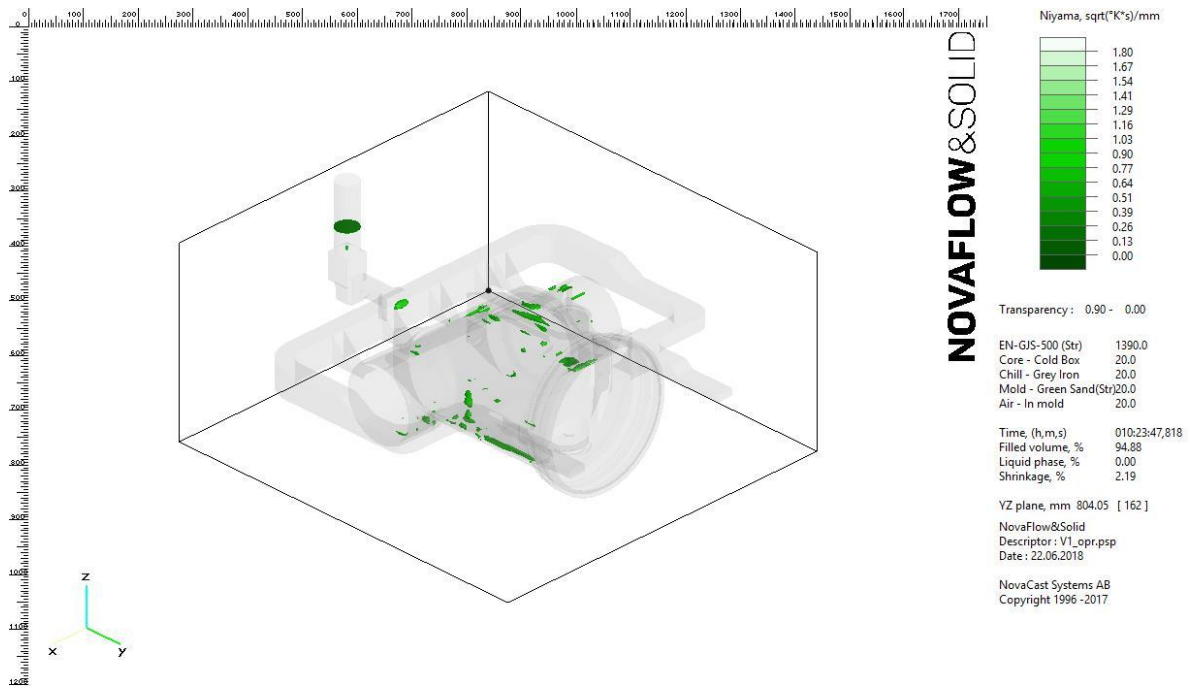
Varianta 2



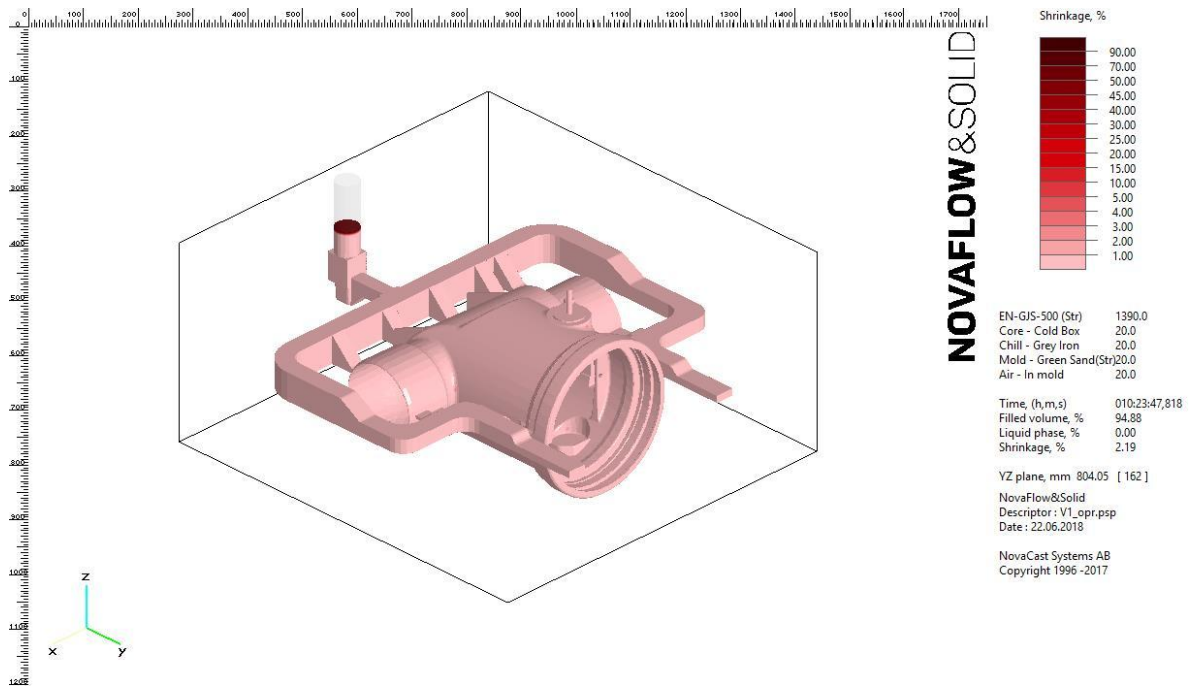
Obrázek 60 - Teplota



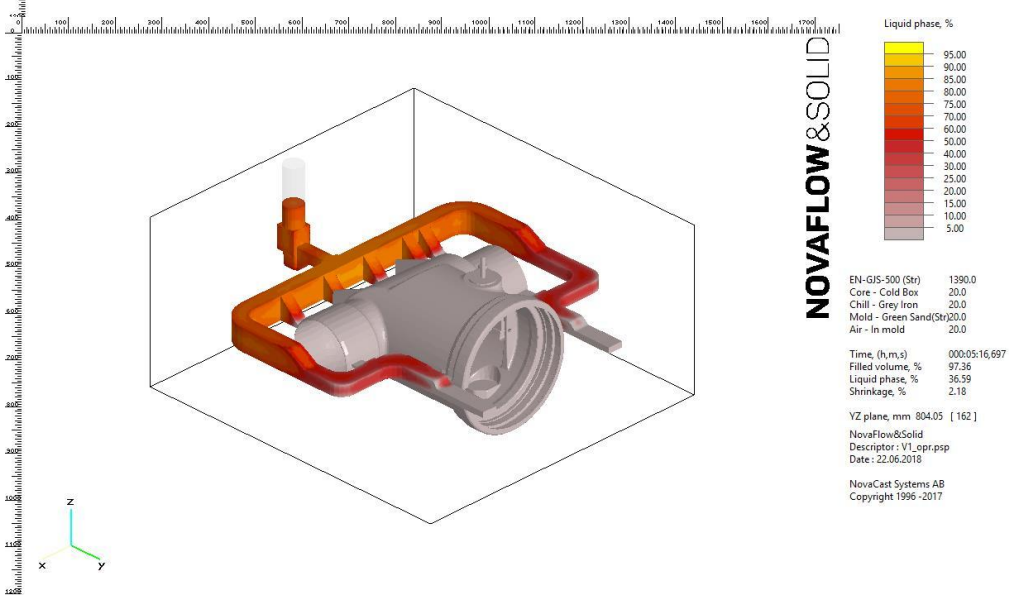
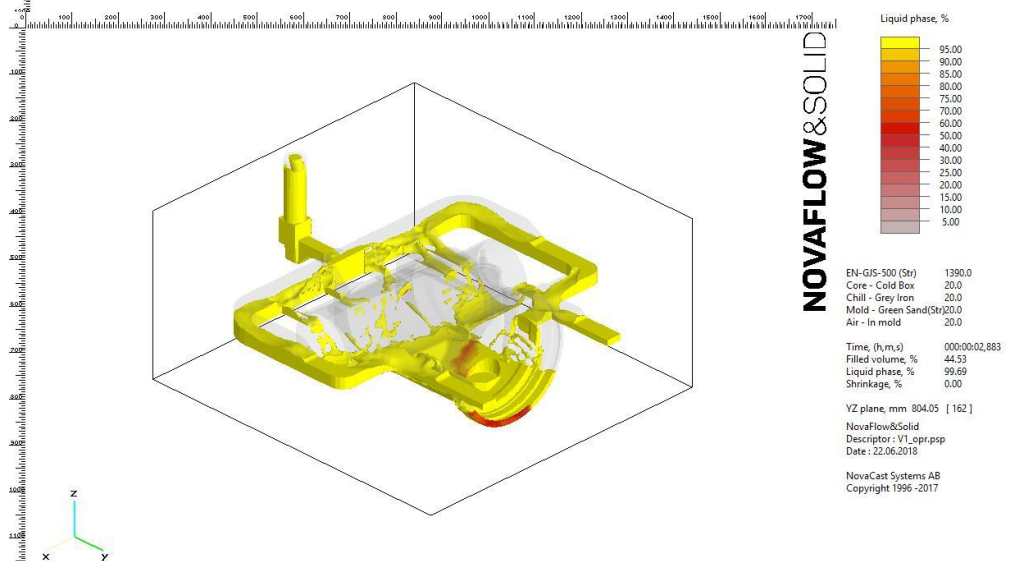
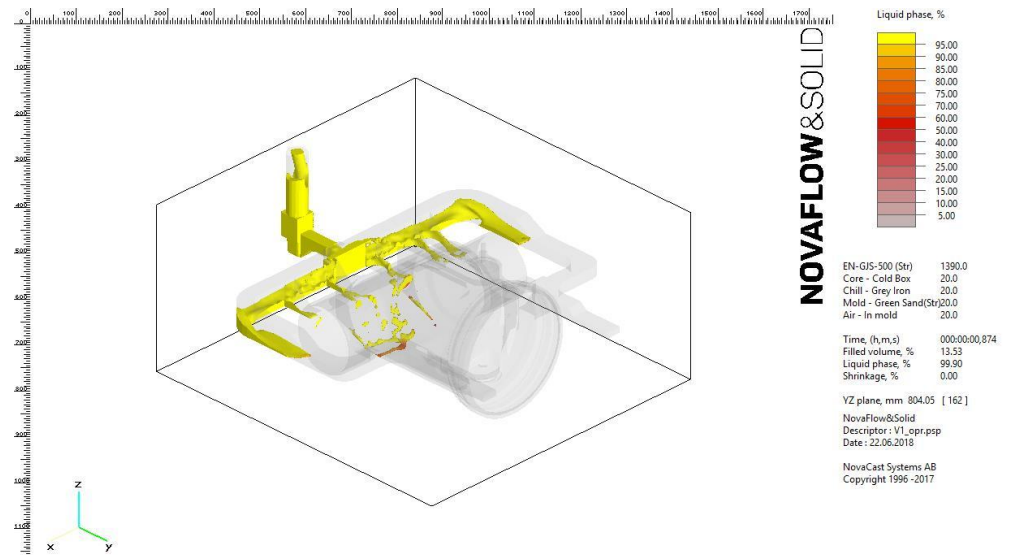
Obrázek 61 - Hot Spot



Obrázek 62 - Porezita

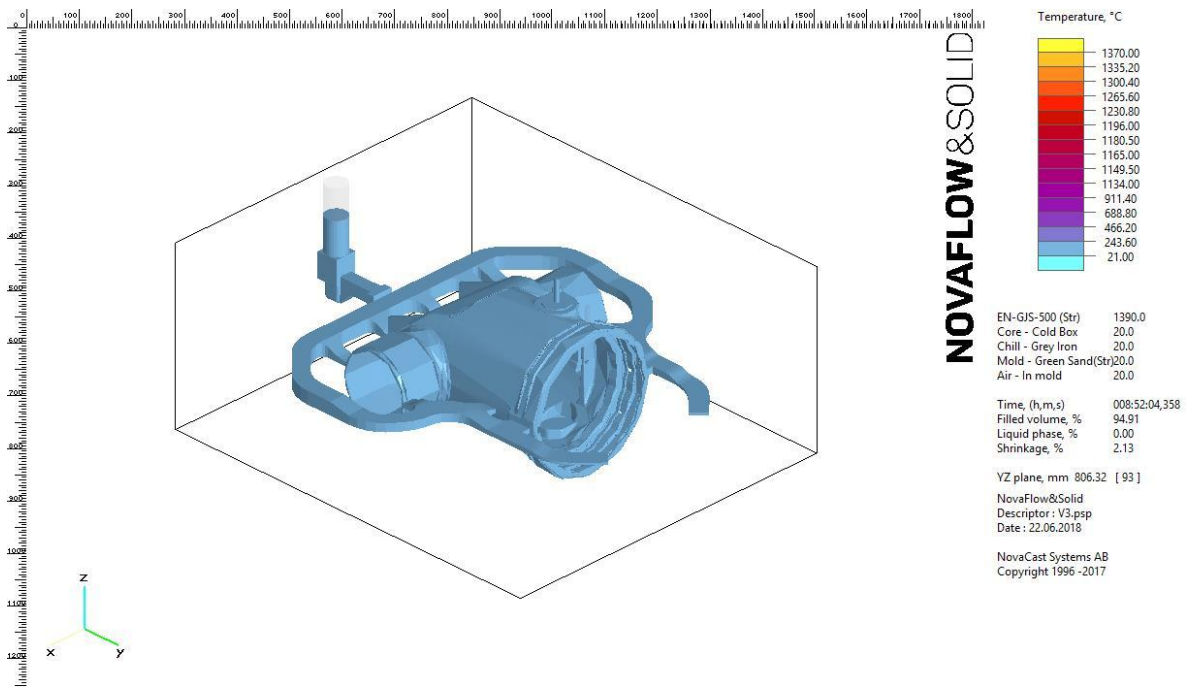


Obrázek 63 - Staženiny

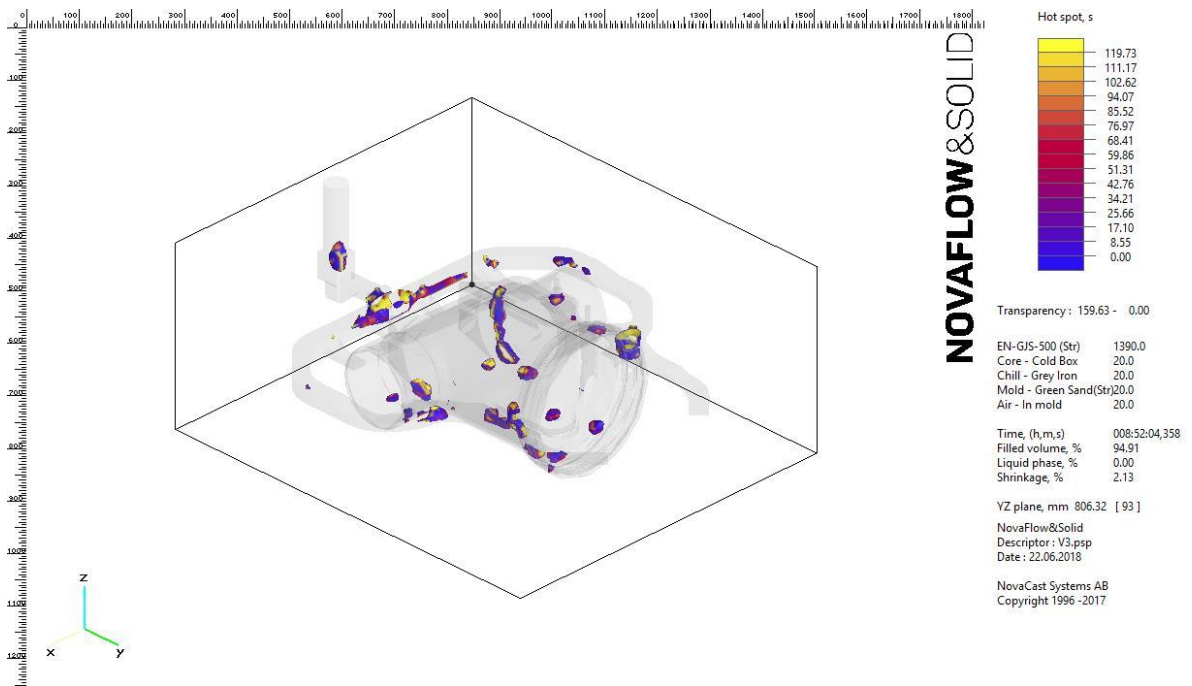


Obrázek 64, 65, 66 - Průběhy plnění

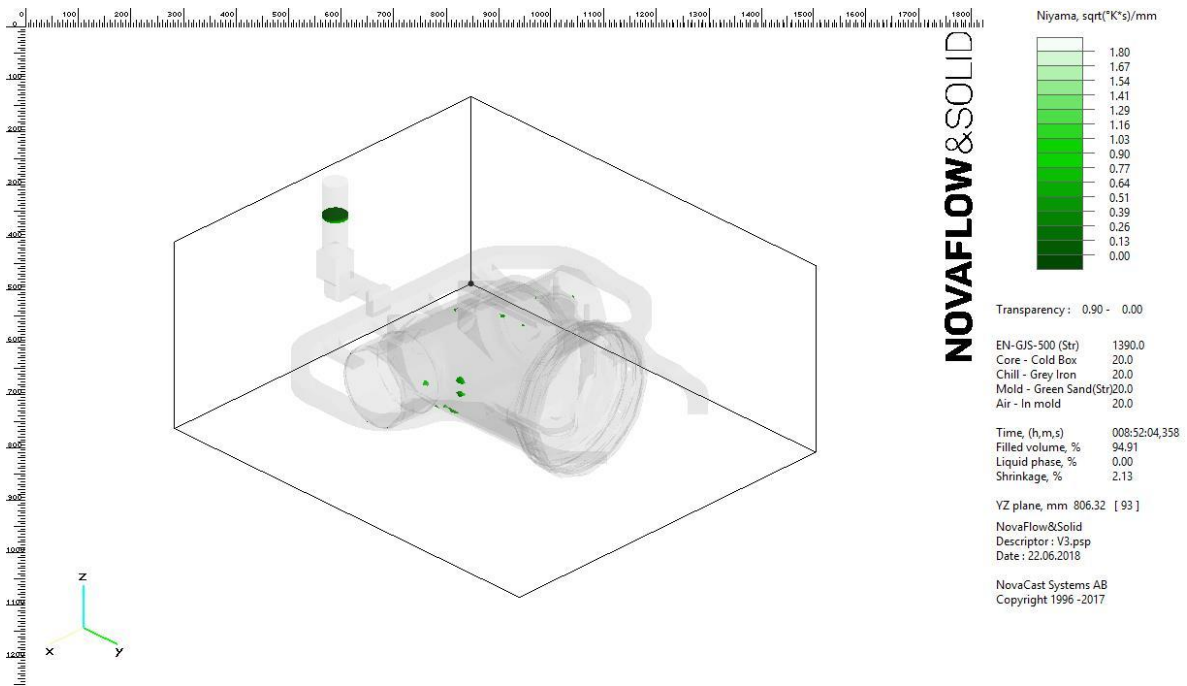
Varianta 3



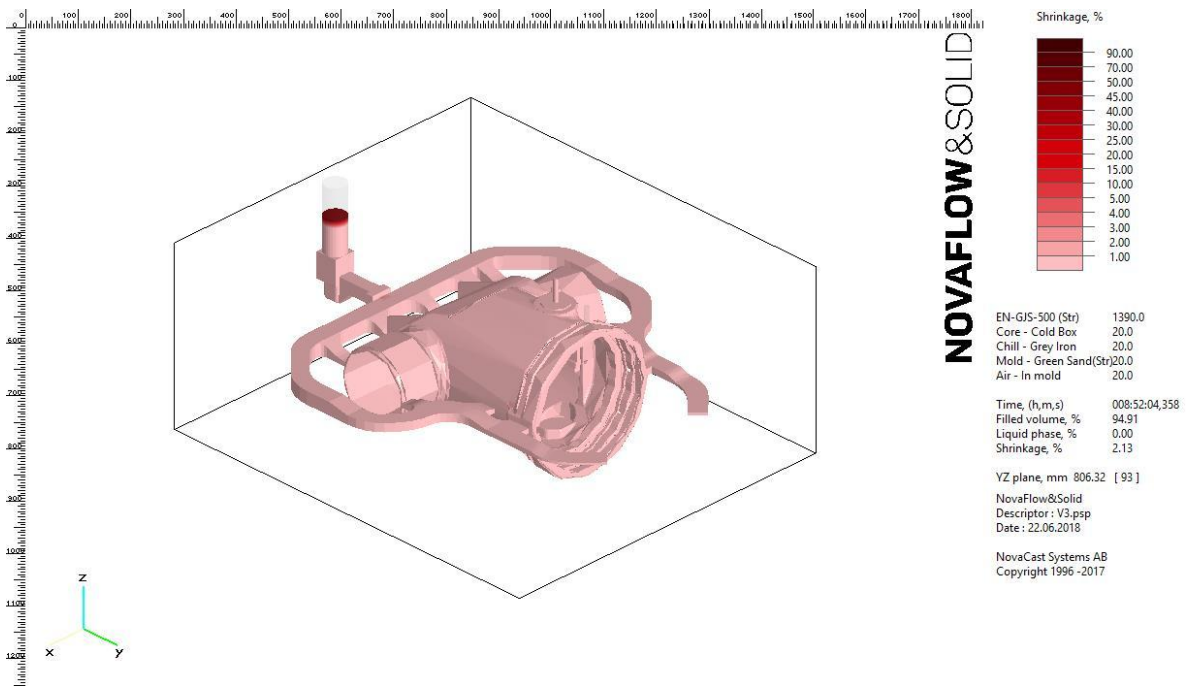
Obrázek 60 - Teplota



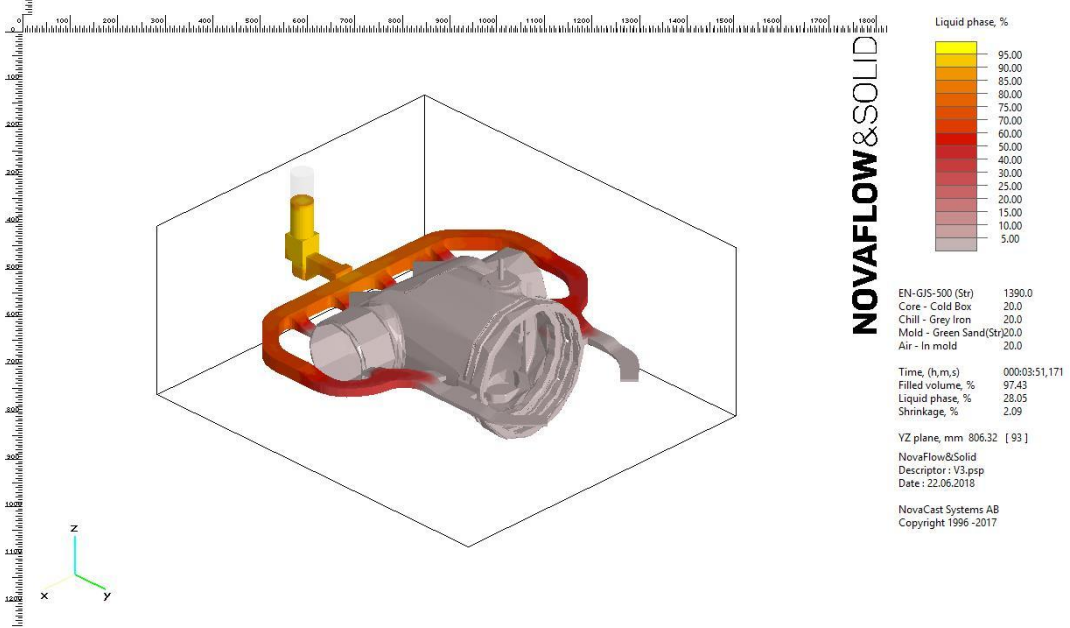
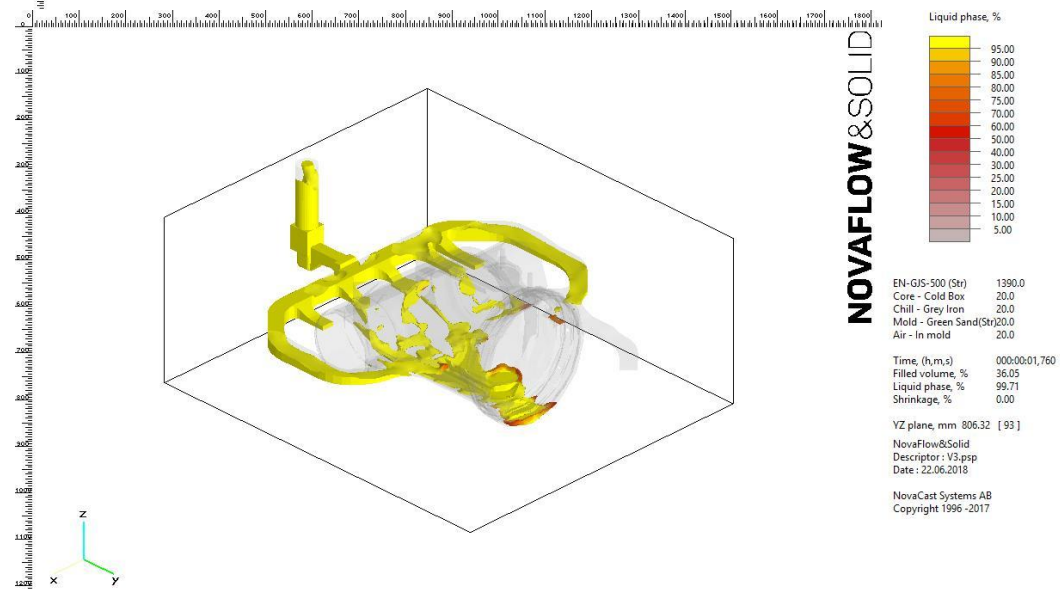
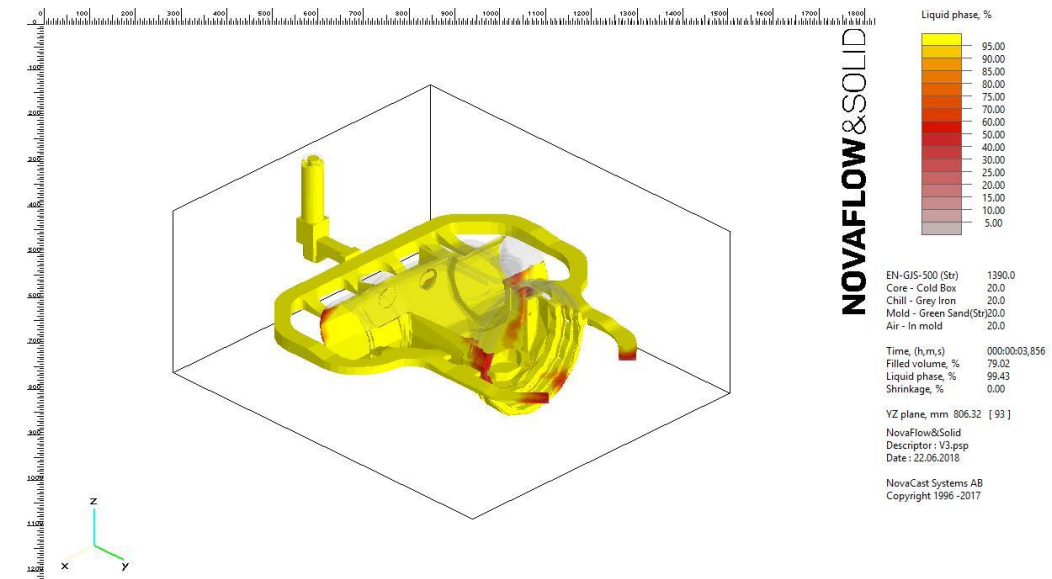
Obrázek 61 - Hot Spot



Obrázek 62 - Porezita

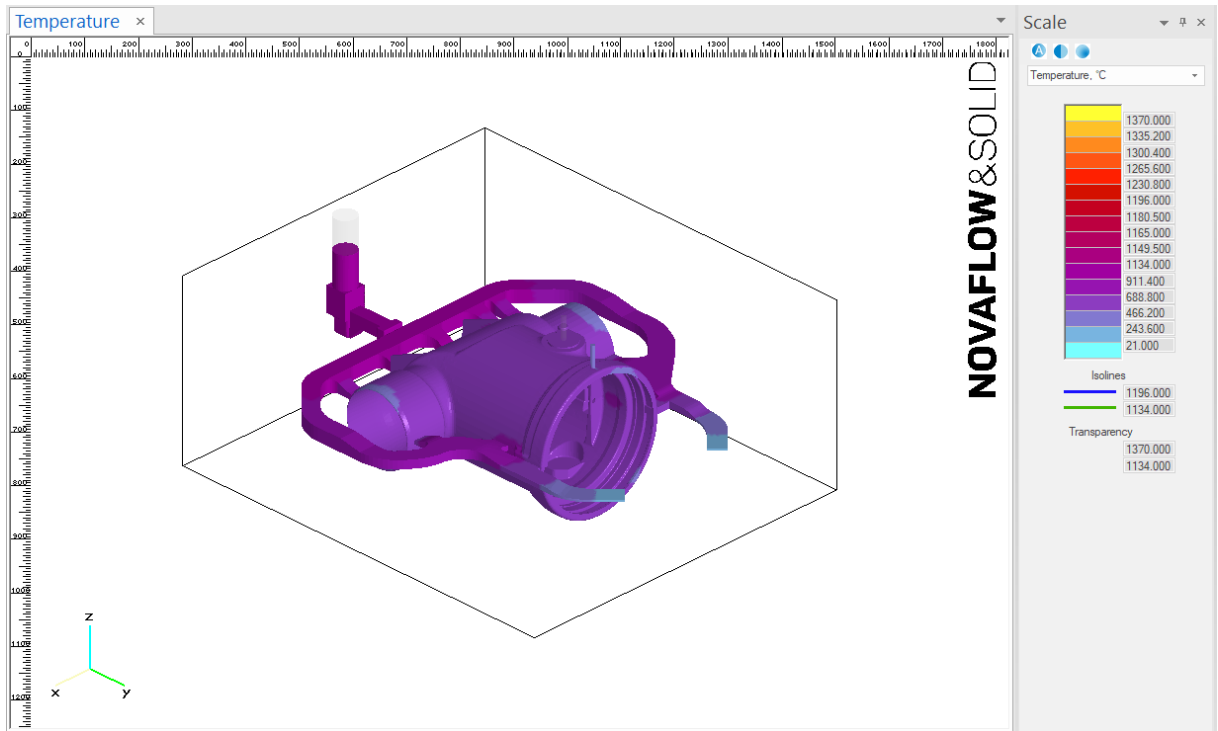


Obrázek 63 - Staženiny

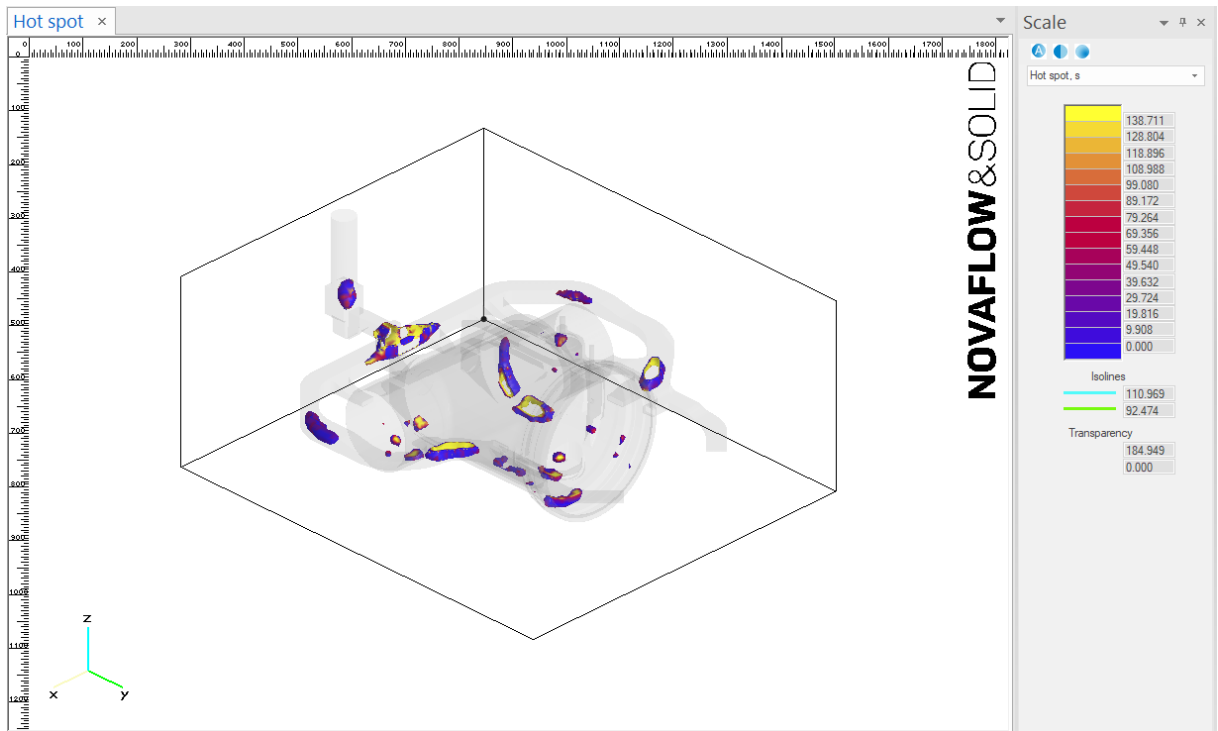


Obrázek 64, 65, 66 - Průběhy plnění

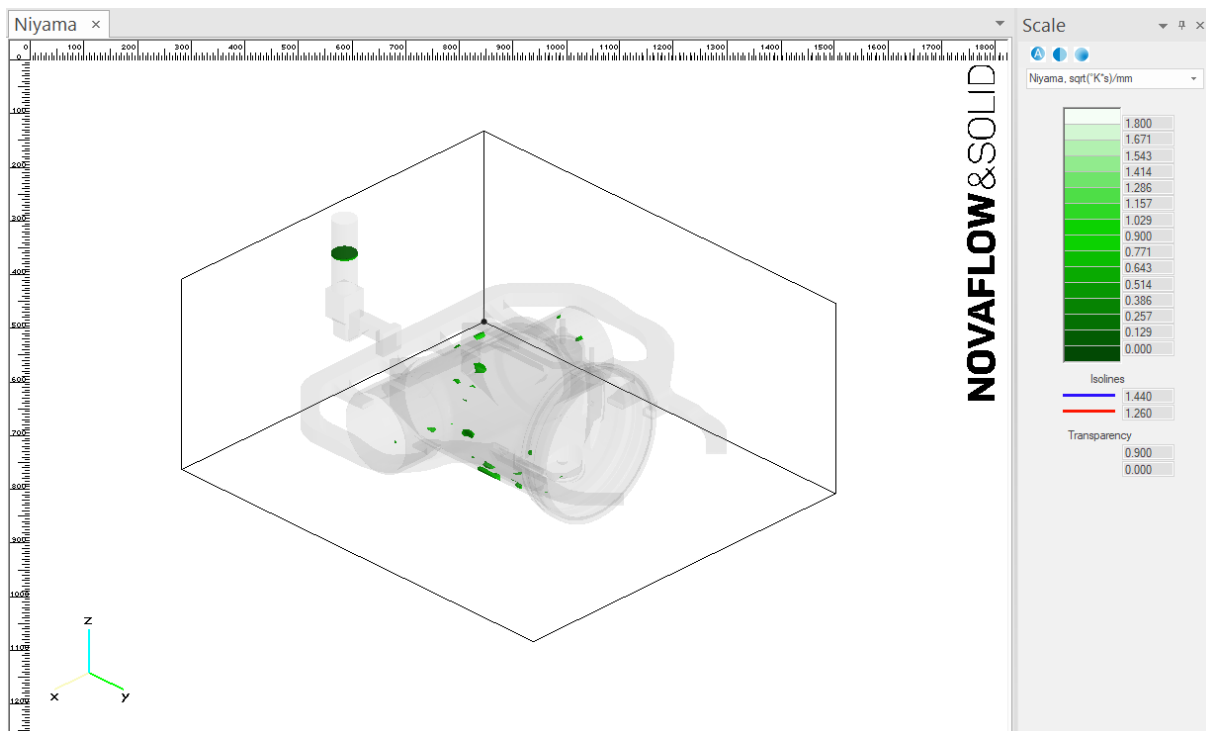
Varianta 4



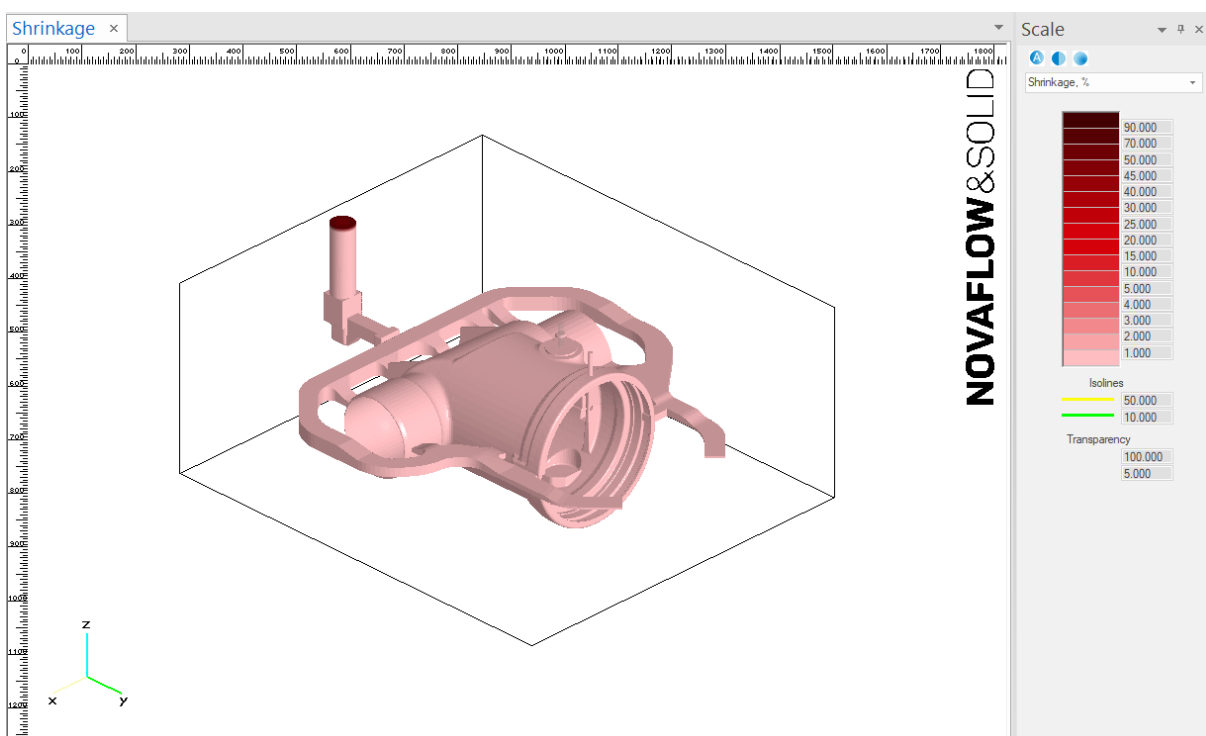
Obrázek 60 - Teplota



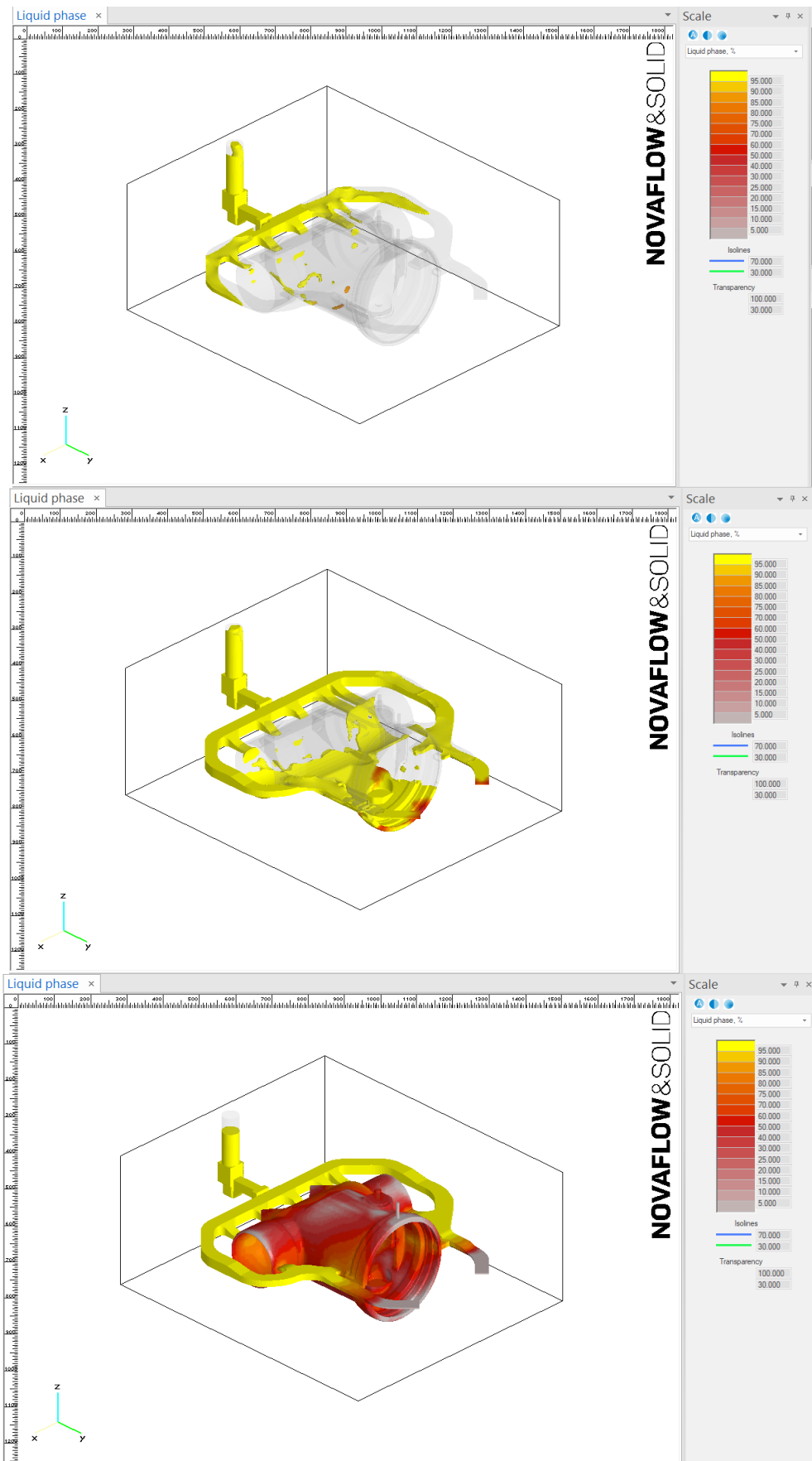
Obrázek 61 - Hot Spot



Obrázek 62 - Porezita

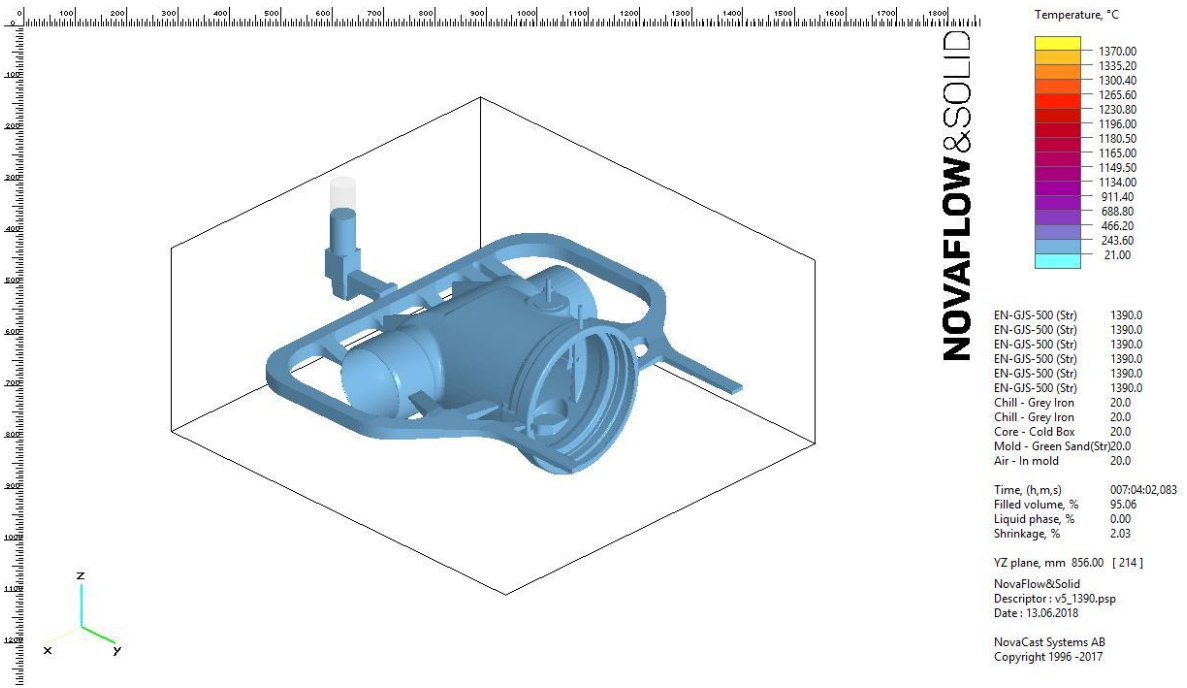


Obrázek 63 - Staženiny

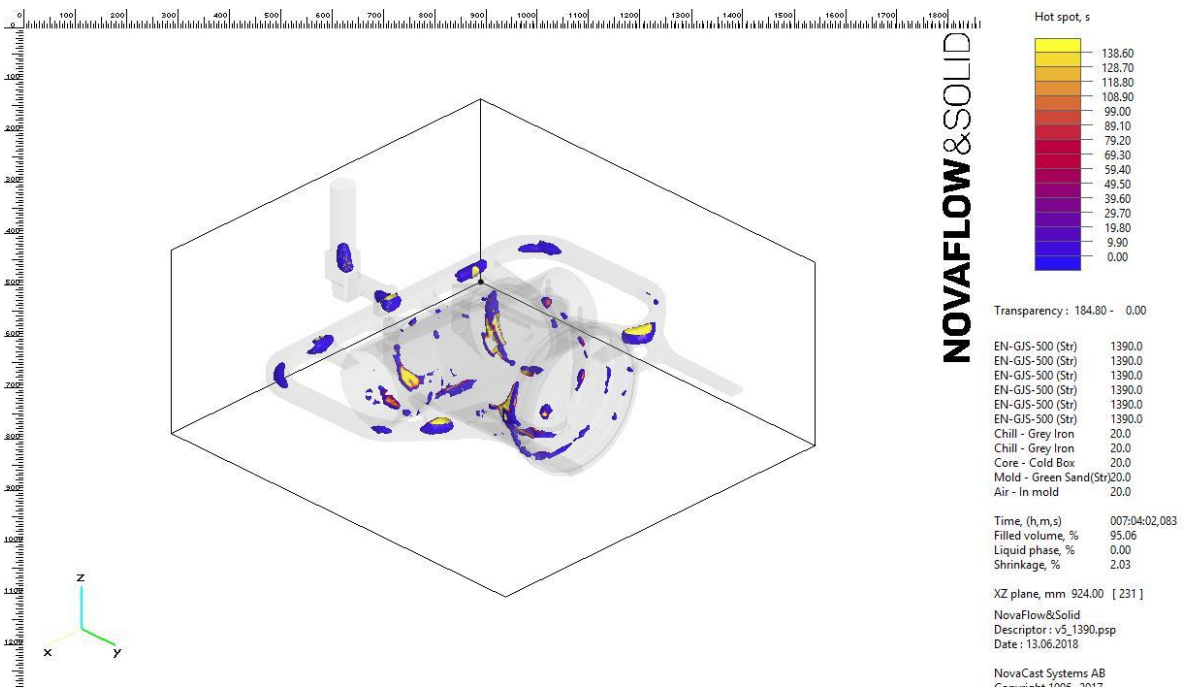


Obrázek 64, 65, 66 - Průběhy plnění

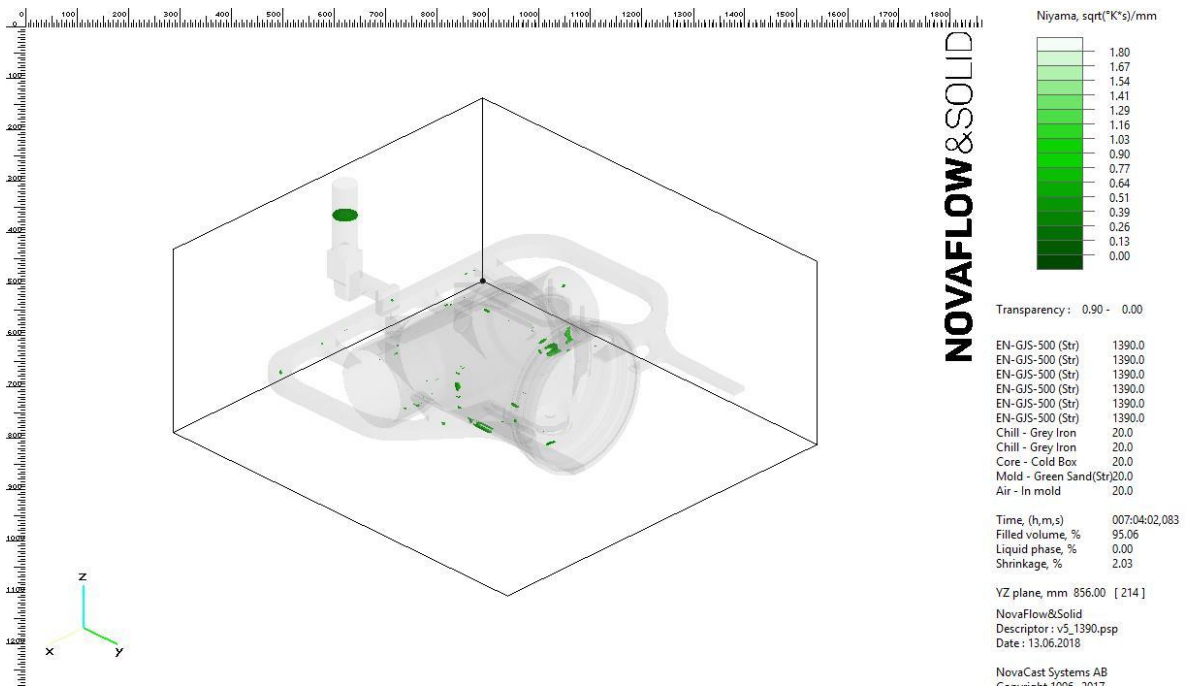
Varianta 5



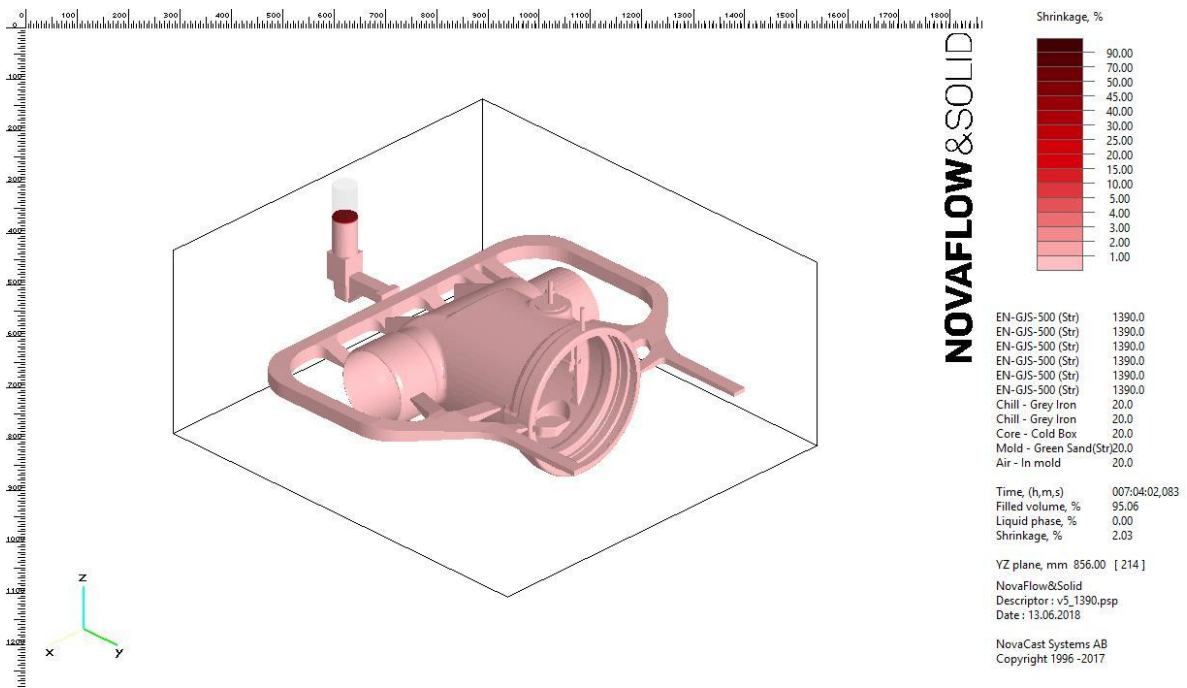
Obrázek 60 - Teplota



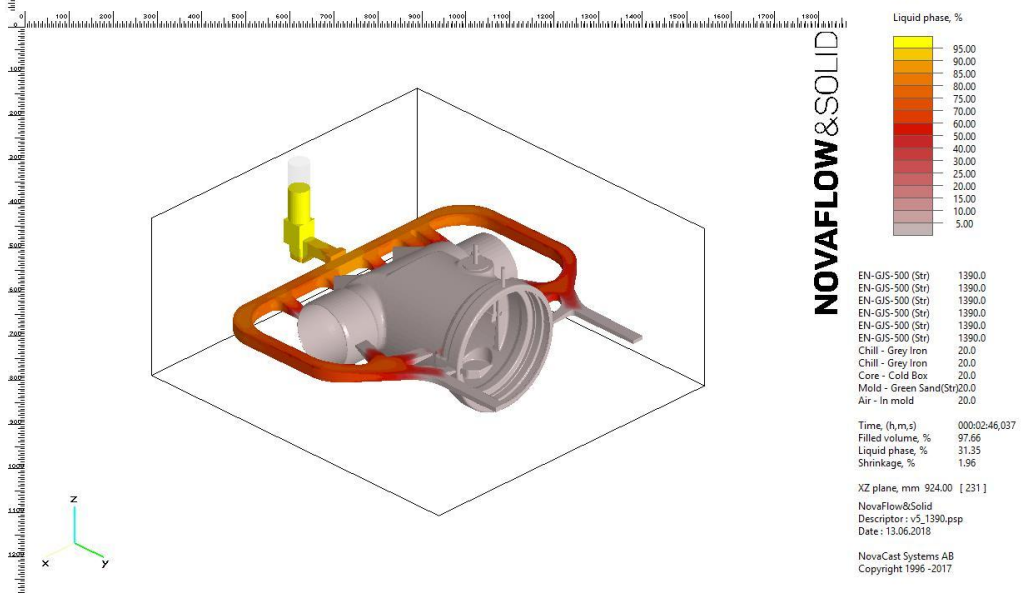
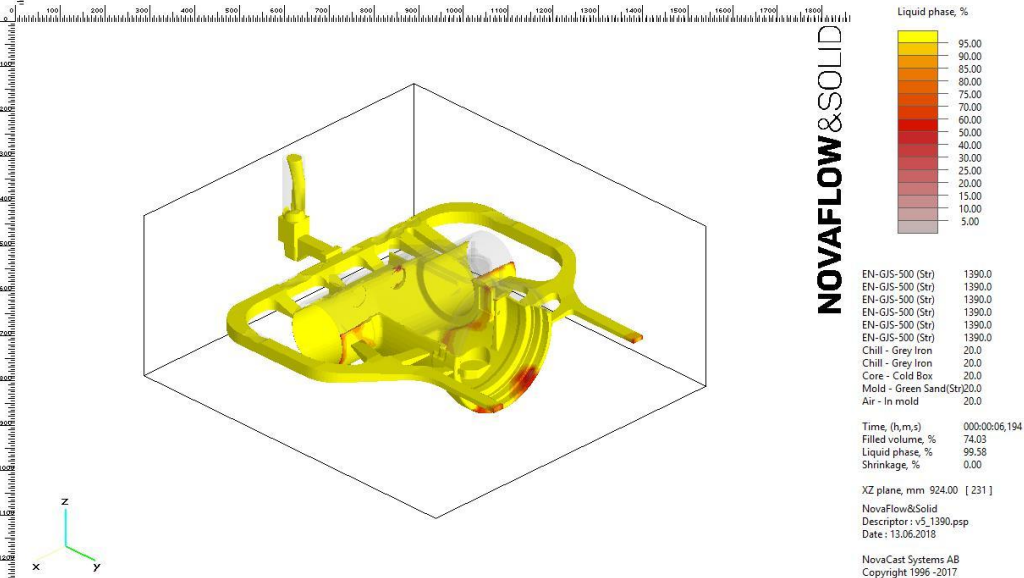
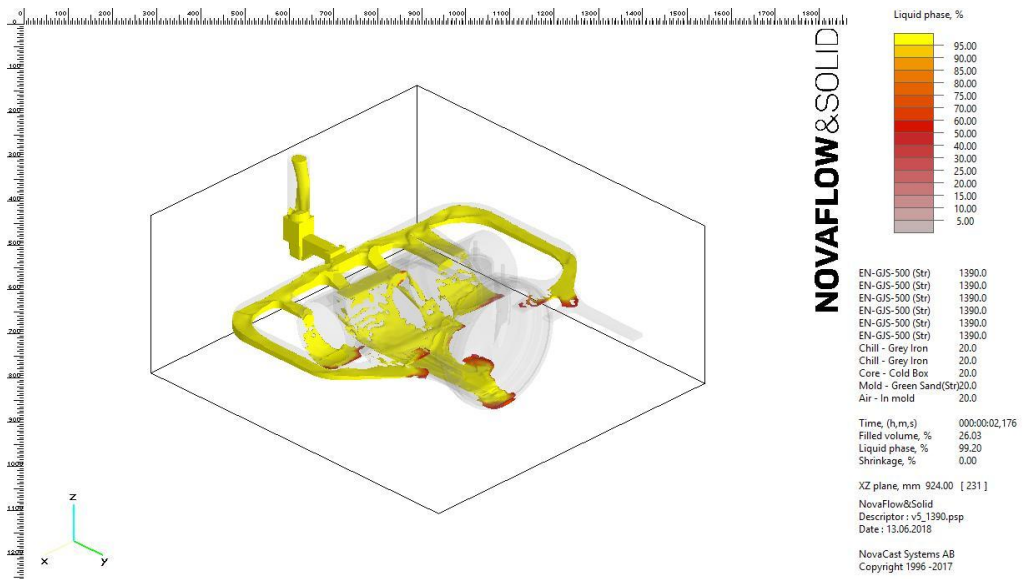
Obrázek 61 - Hot Spot



Obrázek 62 - Porezita



Obrázek 63 - Staženiny



Obrázek 64, 65, 66 - Průběhy plnění

Přehledný popis skupin, tříd a vad odlitků

Seznam vad odlitků třídy 100 a 200						
Třída vad		Skupina vad		Druh vad		
Poř. čisl.	Název	Poř. čisl.	Název	Poř. čisl.	Název	
100	Vady tvaru, rozměrů a hmotnosti	110	Chybějící část odlitku bez lomu	111	Nezaběhnutí	
				112	Nedolití	
				113	Vytečený kov	
				114	Špatná oprava formy	
				115	Přetryskaný odlitek	
				116	Omačkání, potlučení, pohmoždění	
				117	Nesprávně upálený, odřezaný a odbroušený odlitek	
		120	Chybějící část odlitku s lomem	121	Ulomená část odlitku za tepla	
				122	Ulomená část odlitku za studena	
				123	Vyštípnutí	
		130	Nedodržení rozměrů, nesprávný rozměr	131	Špatný model	
				132	Přesazení	
				133	Nevyhovující rozměry	
				134	Zborcení, deformace	
140	Nedodržení hmotnosti odlitku					
200	Vady povrchu	210	Přípečeniny	211	Drsný povrch	
				212	Povrchové přípečeniny	
				213	Hluboké přípečeniny, zapečeniny	
		220	Zálupy	221	Zálupy na horní ploše formy	
				222	Zálup na dně formy	
				223	Zálupové síťoví	
		230	Nárosty	231	Vyboulení	
				232	Odření, shrnutí	
				233	Utržení, sesunutí	
				234	Eroze	
		240	Výronky			
		250	Výpotky			
		260	Zatekliny	261	Zatekliny způsobené netěsností formy	
				262	Prasklé jádro	
				263	Prasklá forma	
		270	Nepravidelnosti povrchu odlitku	271	Pomerančová kůra	
				272	Zvrásnění povrchu	
				273	Neštovice místní a čárové	
				274	Okujení, opálení	
				275	Krupičky	
276		276	Dolíčková a kanálková koroze			
		277	Chemická koroze			
280	Vady povrchové ochrany odlitku					

Seznam vad odlitků třídy 300, 400 a 500					
Třída vad		Skupina vad		Druh vad	
Poř. čisl.	Název.	Poř. čisl.	Název	Poř. čisl.	Název
300	Porušení souvislosti	310	Trhliny	311	Povrchové trhliny
				312	Podpovrchové trhliny
				313	Vnitřní trhliny
		320	Praskliny		
		330	Porušení souvislosti z důvodu mechanického poškození odlitku	331	Lom za tepla
				332	Lom za studena
		340	Porušení souvislosti z důvodu nespojení kovů	341	Zavaleniny
342	Nedokonalý svar				
400	Dutiny	410	Bubliny	411	Bubliny způsobené kyslíkem
				412	Bubliny způsobené vodíkem
				413	Bubliny způsobené dusíkem
				414	Zahlcený plyn
				415	Sít'kovité bubliny
		420	Bodliny		
		430	Odvařeniny	431	Odvařeniny od formy, jádra
				432	Odvařeniny od chladítek a zalévaných předmětů
				433	Odvařeniny od vměstků
		440	Staženiny	441	Otevřené staženiny
				442	Vnitřní , uzavřené staženiny
				443	Řediny
				444	Staženiny od jader nebo ostrých hran formy
				445	Povrchové propadliny
		446	Plynové staženiny		
500	Makroskopické vměstky a vady makrostruktury	510	Struskovitost	511	Struskovitost exogenní
				512	Sekundární struskovitost
				520	Nekovové vměstky
		520	Nekovové vměstky	521	Zadrogeniny
				522	Rozplavený písek
				523	Odpadnutý nátěr
				524	Oxidické pleny
				525	Grafitové pleny
				526	Černé skvrny
		530	Makrosegregace a vycezeniny	531	Gravitační odmíšení
				532	Makroodmíšení
				533	Stvolové vycezeniny
				534	Mezerové vycezeniny
540	Broky				
550	Kovové vměstky				
560	Nevyhovující lom				

Seznam vad odlitků třídy 600 a 700					
Třída vad		Skupina vad		Druh vad	
Poř. čisl.	Název.	Poř. čisl.	Název	Poř. čisl.	Název
600	Vady mikrostruktury	610	Mikroskopické dutiny	611	Mikrostaženiny
				612	Mikrobubliny
				613	Mikrotrhlíny
		620	Vměstky		
		630	Nesprávná velikost zrna		
		640	Nesprávný obsah strukturních složek		
		650	Zatvrdlina, zákalka		
		660	Obrácená zákalka		
		670	Oduhličení povrchu		
680	Jiné odchylky od mikrostruktury				
700	Vady chemického složení a vlastností odlitků	710	Nesprávné chemické složení		
		720	Odchylky hodnot mechanických vlastností		
		730	Odchylky hodnot fyzikálních vlastností		
		740	Nevyhovující homogenita odlitku		

