

Problematika technologičnosti konstrukce a výroby velkých odlitků raznic

Petr Chupáč

1 Úvod do problematiky

Na FS ČVUT v Praze – Ústavu strojírenské technologie se provádí studie technologičnosti konstrukce velkých odlitků raznic vyráběných pro automobilový průmysl. Je důležité si uvědomit, že na jeden automobil je potřeba vyrobit několik desítek lisovacích nástrojů pro karosářské díly cca o celkové hmotnosti 1000 – 1500 tun – ve složitosti od hmotností cca 100 kg až po ty největší odlitky o hmotnostech 15 – 20 tun.

V zásadě se pro tyto nástroje v automobilovém průmyslu v EU používají 3 typy materiálů :

- Litina s kuličkovým grafitem (dále LKG) – v kvalitě dle DIN GGG 70 (dle ČSN EN GJS 700)
- Litina s lupínkovým grafitem (dále LLG) – v kvalitě dle DIN GG 25 (dle ČSN EN GJL 250)
- Ocel na odlitky (dále jen ocel) – v kvalitě dle DIN 1681 - GS 45 (v ČSN lze najít pouze ekvivalenty této normy - ČSN 42 2660 a ČSN 42 2643)
- Ocel pro malé namáhané odlitky dle DIN: 1.2320, 1.2333 a 1.2769

V minulosti byla situace v rozložení materiálů zhruba následující – cca 40 % LLG, 30% LKG a 30% ocel na odlitky. Nyní se situace dále mění ve prospěch litin - současný podíl jednotlivých druhů materiálů na lisovacích nástrojích je následující:

- ➔ LLG spotřeba cca 50%, používá se pro horní a spodní základní díly velkých nástrojů, důvodem je vysoká tlumící schopnost LLG
- ➔ LKG spotřeba cca 40 %, používá se na detaily s vyšším mechanickým namáháním.
- ➔ Ocel spotřeba cca 10 %, používá se na nejvíce namáhané detaily sestavy lisovacího nástroje jak s hlediska mechanického tak otěruvzdorného.

Základní mechanické vlastnosti výše uvedených materiálů, charakteristiky a jejich popis je uveden v tabulce

Kriteria volby materiálu odlitku	LLG EN GJL 250	LKG EN GJS 700-2	Ocel GS 62*
Mez kluzu $R_p 0,2$ [MPa]	---	420	350
Mez pevnosti R_m [MPa]	250	700	620
Tažnost A_5 [%]	---	2	15
Charakteristika	Struktura tvořena perlitem a feritem (u tenčích stěn převládá perlit) s lupínkovým grafitem.	Struktura je tvořena perlitem, feritem a zrnitým grafitem. Vzhled lomu je světle šedý	Perliticko-feritická uhlíková ocel na odlitky, určená k všeobecnému použití a pro vyšší tlaky a namáhání.

2 Problematika výroby velkých odlitků raznic

Dříve se odlitky odlévaly s omezenou velikostí a tvarovou složitostí s použitím jader a to převážně do forem vyrobených ze samotuhnoucích formovacích směsí, většinou na bázi pryskyřic. Zvláštní části výroby pak tvořily základní součásti lisů pro výrobu automobilových karoserií. Tyto odlitky, obecně nazývané raznice, vyráběly se formováním na dřevěné modely s pomocí komplikovaných jaderníků. Přibližně od 70. let 20. století se stávala být situace neudržitelná. Tímto způsobem už nebylo možné vyrábět stále komplikovanější odlitky. Začínají se zvětšovat požadavky na tvarovou složitost, jakost a hospodárnost. V této době vzniká výroba tzv. metodou spalitelného modelu, při které je model přesnou kopií požadovaného odlitku. Princip této metody spočívá v odpařování polystyrenového modelu, který zůstává zaformován ve formě. Během odlévání se polystyren vypařuje (případně rychle hoří) před postupujícím žhavým kovem, ten okamžitě zaplňuje vznikající dutinu. Aby se netvořilo velké množství neodpařených zbytků, volí se polystyren o malé hustotě. Uvolňované plyny vnikají do formovací směsi, která jejich podstatnou část zachytí. Zbývající část těchto plynů však uniká do ovzduší.

Hlavními smysly vývoje této technologie je:

- ➔ snížení nákladů na výrobu modelového zařízení při kusové výrobě,
- ➔ lití tvarově složitých dílů bez nutnosti vyjímání modelu,
- ➔ dosažení vyšší přesnosti,

- ➔ odstranění potřeby používání jaderníků, úkosů, úprav dělicí roviny, vnějších jader, komplikovaného skládání forem,
- ➔ zhotovování modelů bez dělicí roviny
- ➔ opětovné použití formovacích směsí

Ukázka takto vyrobených polystyrenových modelů



3 Obecný rozbor technologičnosti konstrukce velkých odlitků

Konstrukční návrh odlitku bez znalostí postupu výroby s sebou přináší problémy, které se řeší vhodnou úpravou konstrukce odlitku. V konstrukci odlitků musí být uváženy všechny požadavky vyplývající především z funkce konkrétní součásti, použité technologie výroby a hospodárnosti výroby.

Konstrukci odlitků u běžných odlitků vyráběných klasicky nejvíce ovlivňují tyto zásady:

- složitost tvarů
- dle způsobu lití se volí vhodná konstrukce odlitku
- model odlitku musí mít co nejmenší počet dělicích ploch, výstupků a volných částí
- dělicí plocha by měla být rovinná
- pro snadné vyjmutí modelu z formy je nutno volit dostatečné úkosy odlitku
- odlitek by neměl mít velké rozdíly v tloušťce stěn
- je nutné aby se tloušťka stěn směrem k nálitkům zvětšovala
- aby ve spojích stěn nedocházelo k vzniku trhlin, je nutno v těchto místech volit vhodná zaoblení nebo výztužná žebra

Na rozdíl od jiných technologií zpracování kovů, které pracují s polotovary známých vlastností, je jedinečností slévárenské technologie skutečnost, že struktura materiálu a tvar výrobku vznikají společně v relativně velmi krátkém časovém intervalu bez možnosti průběžných korekcí. Jakost odlitků tím ovlivňuje velké množství faktorů postihující konstrukci a stav modelového zařízení, vlastnosti formovací směsi a odlévané slitiny, technologii a podmínky výroby forem a lití, chladnutí a následující zpracování odlitků.

Volba nevhodné technologie nebo nedodržování technologických podmínek způsobuje kolísání kvality a vznik více či méně závažných vad odlitků. Jejich výskytu musejí výrobci předcházet pečlivou přípravou výroby a kontrolou všech rozhodujících fází technologického procesu. Tím se ve stále větší míře přesouvá zodpovědnost za nedostatky a selhání litých dílů na konstruktéry, kteří neodhadli správně provozní zatížení odlitků, zvolili nevhodný materiál, očekávali od odlitků dosažení nereálných vlastností nebo jejich kombinací, nerespektovali zásady konstrukce s ohledem na slévárenskou technologii nebo nespecifikovali dostatečně svoje požadavky. Vhodnou volbou materiálu a konstrukce i konzultacemi s výrobcí odlitků, je možno řadě obtíží a nedostatků předcházet.

K hlavním nevýhodám (či spíše skutečností, které je třeba vždy respektovat) slévárenské technologie patří:

- Rozdíly v tloušťce stěn odlitku vedou k nerovnoměrnému tuhnutí a chladnutí, která způsobují rozdíly ve struktuře a vlastnostech jednotlivých částí odlitku, vznik pnutí, deformací, až poruch souvislosti (trhlin, prasklin).
- Pomalé chladnutí silnostěnných odlitků vede ke vzniku hrubozrnné struktury, odmišenin, zhoršení mechanických vlastností a rozdílům vlastností na povrchu a uvnitř odlitku.
- Vlastnosti uváděné v normách a materiálových listech slévárenských slitin jsou vztahovány na vzorky standardních rozměrů lité určitou technologií. U masivních odlitků je obvykle nereálné vyžadovat jejich dosažení v plném rozsahu. U obdobných odlitků lité z určité slitiny odlišnými technologiemi nelze očekávat shodné vlastnosti.
- Pro odstranění nedostatků lité struktury a dosažení v normách uváděných hodnot mechanických vlastností, vyžaduje řada odlitků tepelné zpracování. To platí především pro ocelové odlitky. U některých jakostí LKG jsou normami stanovené vlastnosti dosažitelné i bez tepelného zpracování. O jeho případné potřebě se pak výrobce rozhoduje na základě výsledků zkoušek mechanických vlastností nebo struktury. Odlitky z LKG se tepelně zpracovávají jen výjimečně, neboť požadované vlastnosti tu bývají dosahovány převážně vhodnou volbou složení a metalurgie.
- Nebezpečí výskytu vnitřních vad (staženin, porezity, bublin apod.) může být výrazně eliminováno konstrukcí, která zajišťuje vhodný postup tuhnutí, pamatuje na přístupnost pro umístění nálitků (případně chladítek) i možnost odvodu plynů z formy a jader.
- Velké smršťování některých slitin při tuhnutí vyžaduje používání mohutných nálitků, které snižují využití tekutého kovu a zvyšují pracnost při úpravě odlitků. Přednost by proto měla být dávana takovým slitinám, které stahují méně (např. litiny) a takovým konstrukcím odlitků, které jsou co nejlehčí (potřebný objem nálitků je úměrný objemu odlitku).
- Omezená možnost odlévat odlitky s velmi malou tloušťkou stěn. Nejlepší zabíhavost mají eutektické slitiny, tedy např. ze slitin železa eutektické litiny, kterým je třeba dávat přednost při konstrukci tenkostěnných odlitků před litinami podeutektickými a ocelmi.

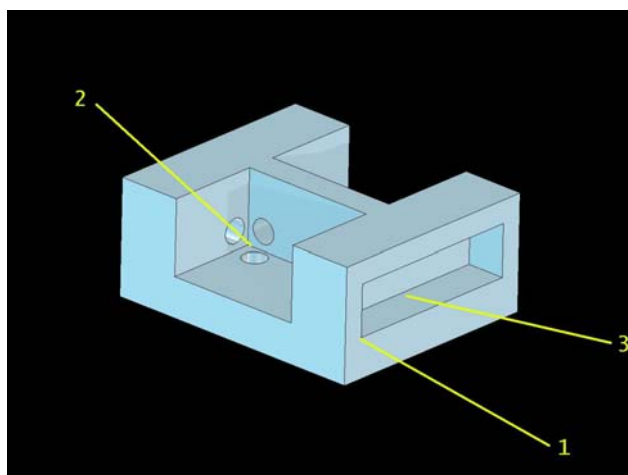
- Omezená možnost dosáhnout vysoké přesnosti a jakosti povrchu. S ohledem na ni je třeba usilovat o taková konstrukční řešení, která kladou nejmenší nároky na potřebu obrábění, a to tím více, čím pevnější a tvrdší je zvolený materiál.

4 Rozbor technologičnosti konstrukce velkých odlitků raznic

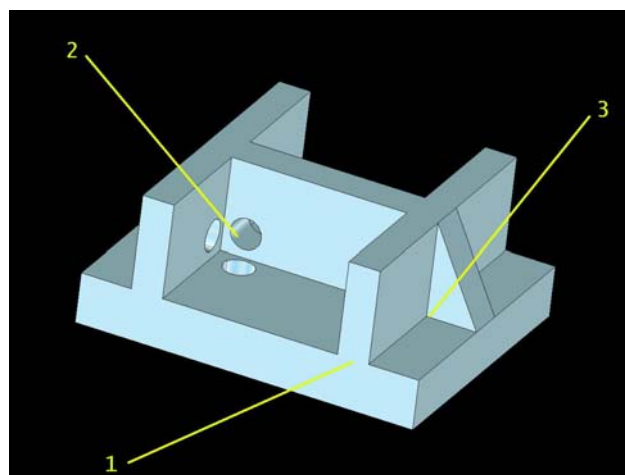
Bohužel lze konstatovat, že výše uvedené zásady konstrukce odlitků nejsou u většiny raznic dodrženy – je to zejména z důvodu, že konstruktéři raznic se spíše snaží dodržet činný tvar pro technologii lisování a tomu pak přizpůsobují dané odlitky.

Dalším požadavkem je poloha odlitku ve formě a tím pádem i určené nálitkování – kvalitnější materiál je vždy ve spodní polovině formy – tzn. že činná část nástroje musí být zaformována do spodní části formy a nálitkovat odlitek je možné pouze přes upínací plochu k lisu a přes žebrování.

Pokud se týká největších problémů v konstrukci, zejména se jedná o napojení různých tloušťek stěn, vytváření žebrování do tepelných uzlů typu X (velké riziko vzniku trhlin) a umístění technologických otvorů. Nejtypičtější vady v konstrukci raznic jsou modelově zobrazeny – na těchto obrázcích jsou typické výřezy z odlitků raznic pro automobilový průmysl a uvedena problémová místa.



Obr. 1



Obr. 2

Obr. 2 popisuje pod jednotlivými odkazy - 1 napojení rozdílných tloušťek stěn, 2 technologické otvory pro kontrolní čidla a 3 napojení odlišných tloušťek stěn do uzlu, který nelze nálitkovat – jde odstranit pouze použitím chladítek. Podobná situace je na výřezu raznice na obr. 1 – pod jednotlivými odkazy - 1 napojení rozdílných tloušťek stěn, 2 technologické otvory pro kontrolní čidla a 3 vytvoření nenálitkovatelných uzlů.

Největším problémem je z hlediska tuhnutí umístění otvorů pro čidla do základové desky nástroje a do žebrování – ve většině případů tak, že brání usměrněnému tuhnutí odlitků. Další problém je napojování rozdílných tloušťek stěn a vytváření násobných tepelných uzlů. Již při prvních pohledech na raznice lze pozorovat jejich složitosti, mnoho konstrukčních (tepelných) uzlů typu „T“, znatelné rozdíly v tloušťkách stěn, příčné i podélné stěny a žebra ležící od sebe v blízkých vzdálenostech. Charakter a počet těchto kritických míst vede k úvaze, že u takto komplikovaných odlitků nebude dodrženo pravidlo usměrněného tuhnutí

5 Analýza výrobních variant

Simulace tuhnutí raznice byla provedena pro výše uvedené materiály. Cílem je porovnání jejich vhodnosti k použití pro odlitky raznice velkých rozměrů a složitého tvaru vzhledem ke vzniku nebezpečných míst v odlitku a skrytých vad (staženin, ředin

Simulace byly provedeny v následujících variantách:

1. Varianta bez chladítek a nálitků – této varianty se hlavně u oceli, vzhledem k jejímu velkému smrštění při tuhnutí a chladnutí, jedná spíše o experimentální simulaci.
2. Varianta s nálitky – nálitky byly použity po celé vrchní části raznice, v této variantě jsou zvoleny nálitky z oceli i litiny stejných velikostí, která odpovídá max. možné velikosti nálitků – vzhledem k odstupu nálitků, aby se tepelně neovlivňovaly.
3. Varianta s chladítky, nálitky a izolací- nálitky a hladítky jsem nedosáhl odstranit staženiny po povrchu, které vznikly v masívu materiálu. Musel být použit izolační materiál.

Pro vyhodnocení byl použit simulační software NOVAFlow&Solid.

6 Charakteristika zadané raznice

délka- 2290 mm

šířka- 1740 mm

výška- 425 mm

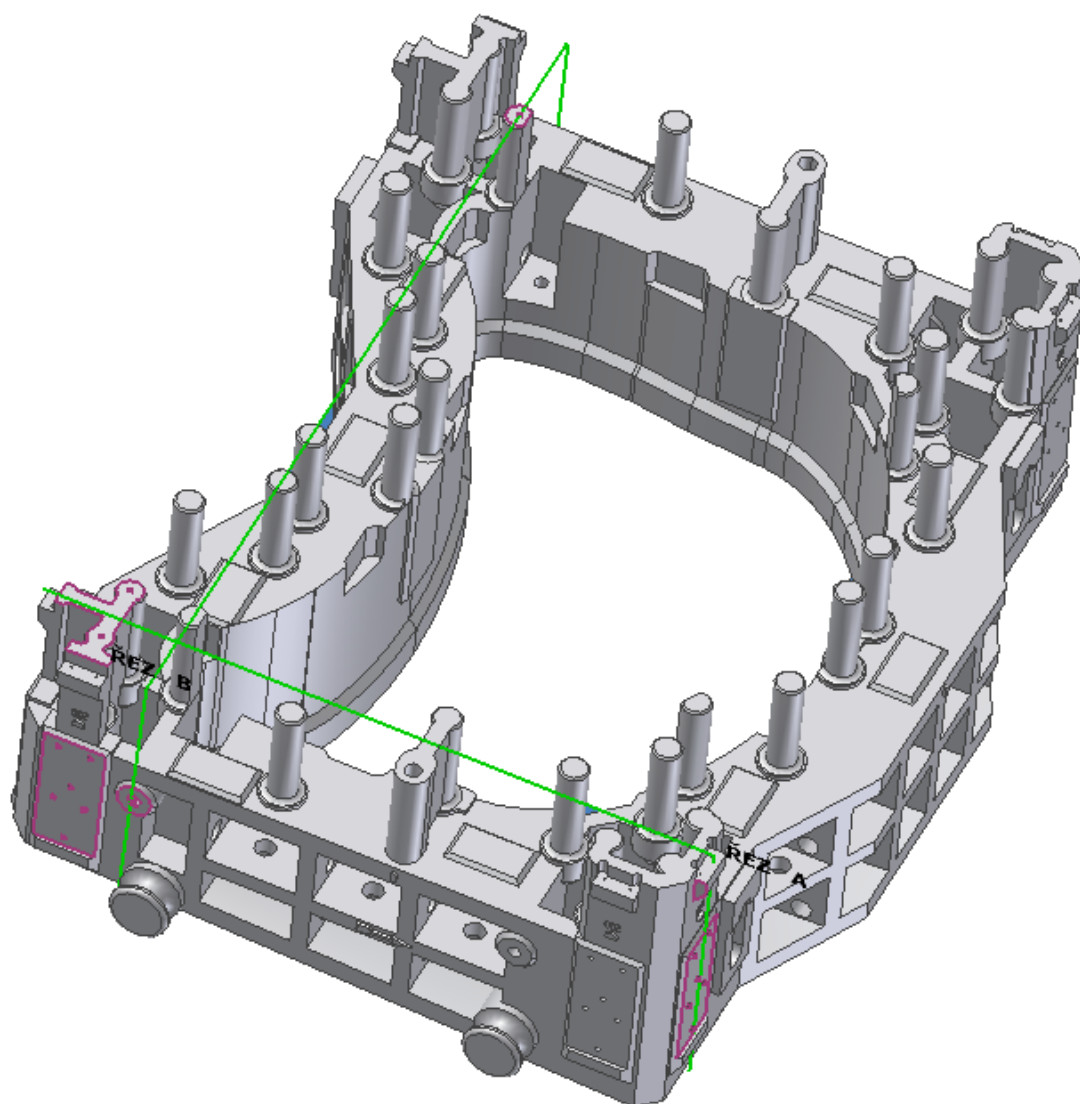
hmotnost raznice z LKG- cca 3880 kg

použité materiály odlitku-

LKG- litina s kuličkovým grafitem	EN-JS 2070 —> 100 – 70 – 03(H)
ocel na odlitky	GS45 —> A27 U – 70 – 63

Tuhnutí odlitku bude simulováno pomocí programu NovaFlow&solid u LKG i oceli v několika variantách, které by měly potvrdit či vyvrátit určení kritických míst v odlitku a najít tak vhodnou variantu umístění chladítek a nálitků pro odlití. V programu IronCad nejprve budou v trojrozměrném prostoru vymodelována chladítka, nálitky a podložky. Jejich modely se umístí na model raznice a až poté se vyexportují soubory potřebné pro zavedení do simulačního programu, kde se dále nastaví podmínky lití (materiál odlitku, chladítek, nálitků, formovací směs).

Označení řezů vedených raznicí



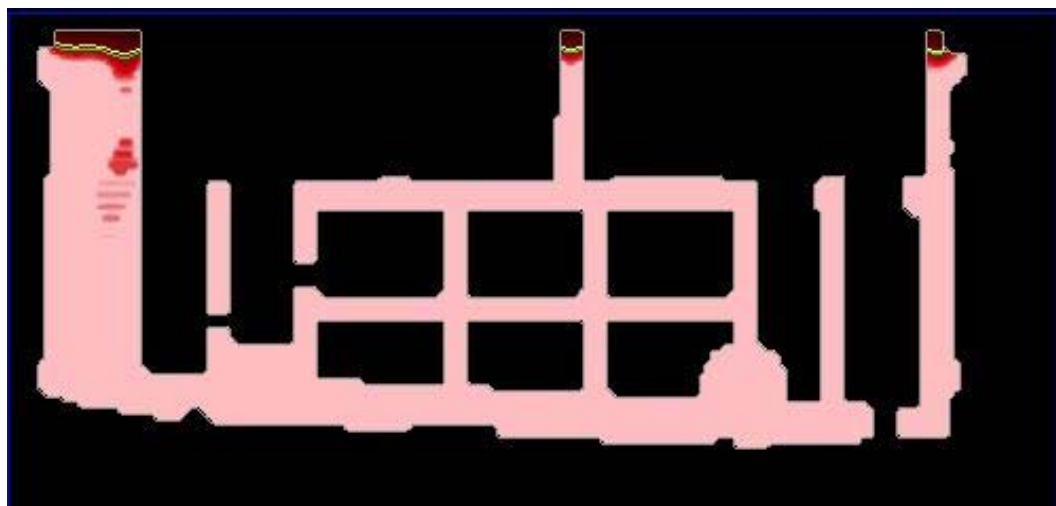
7 Simulace raznice

Simulace raznice pro materiál EN-JS 2070

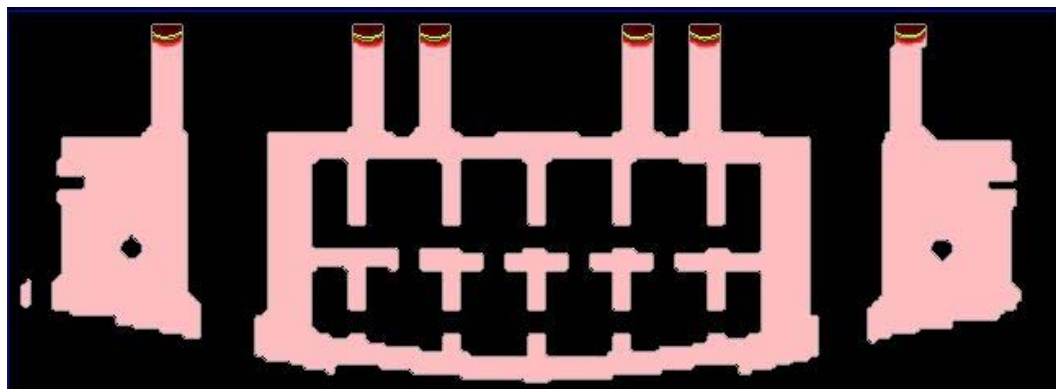
Varianta č. 1

Staženiny

řez A

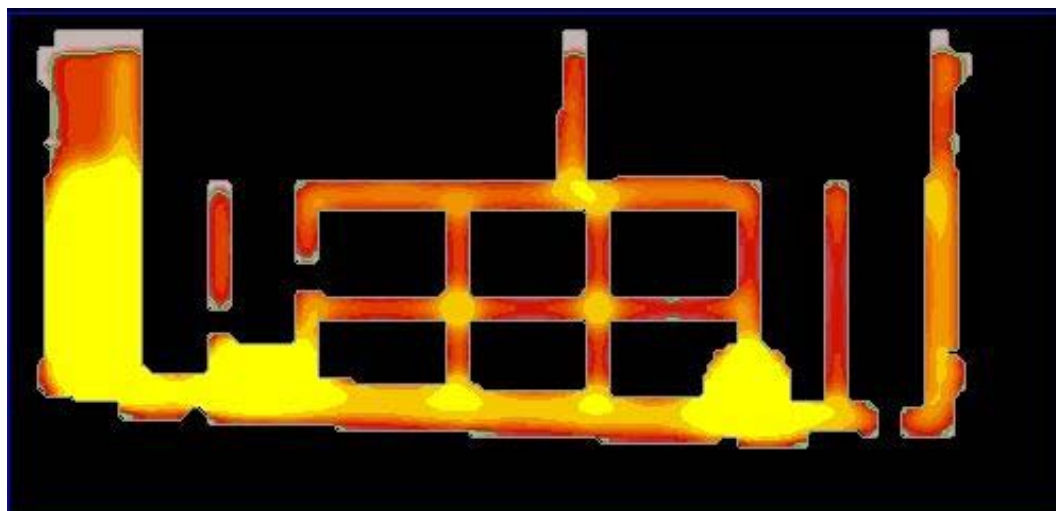


řez B

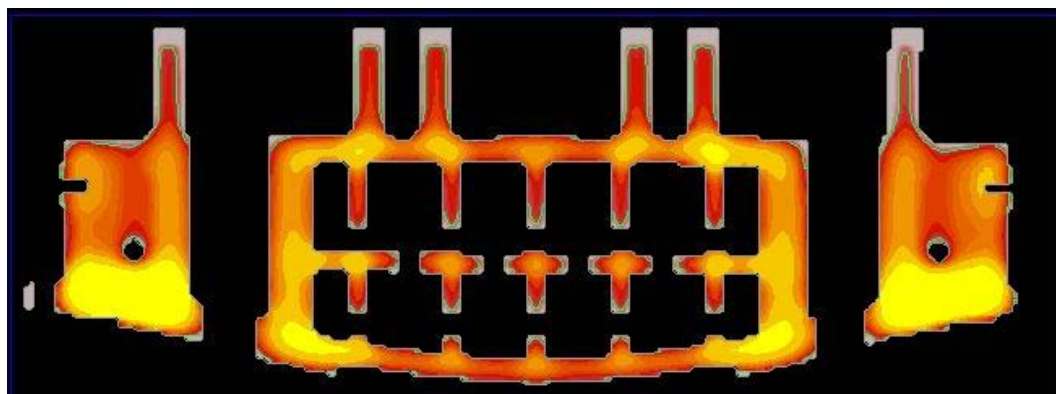


Podíl tekuté fáze- 75%

řez A

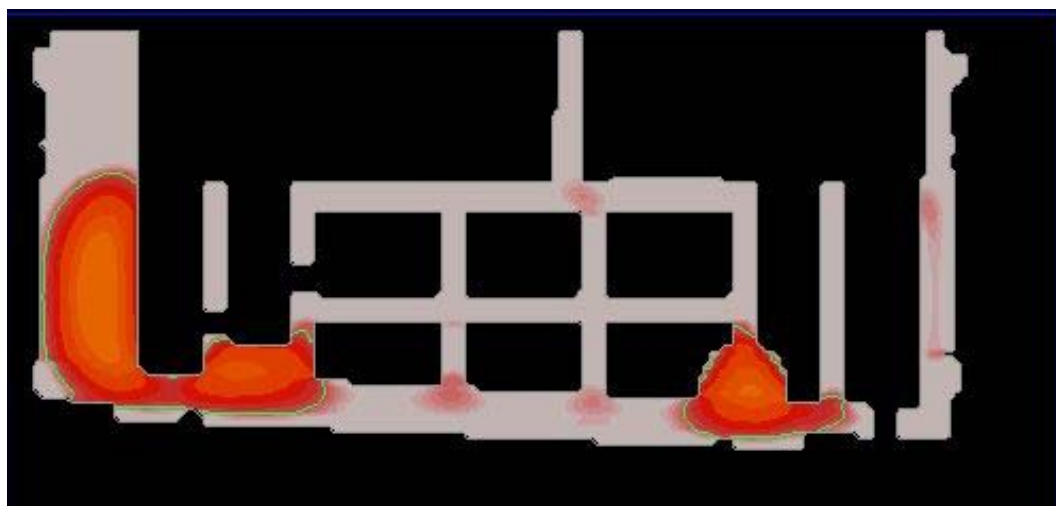


řez B

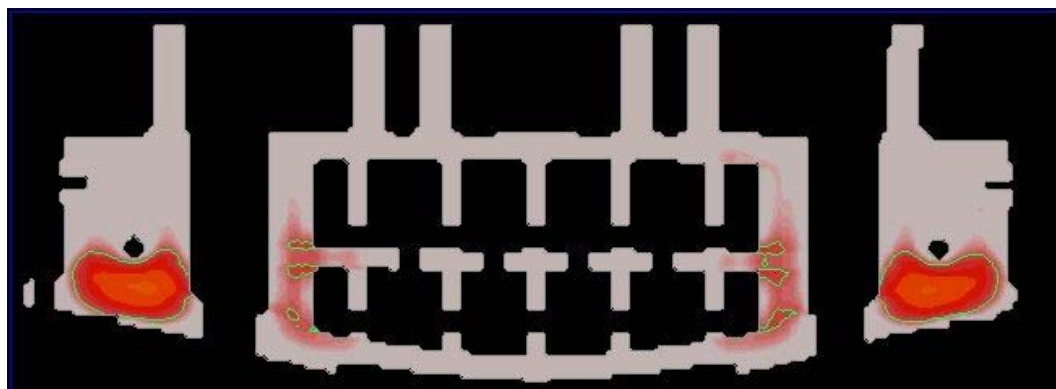


Podíl tekuté fáze- 12%

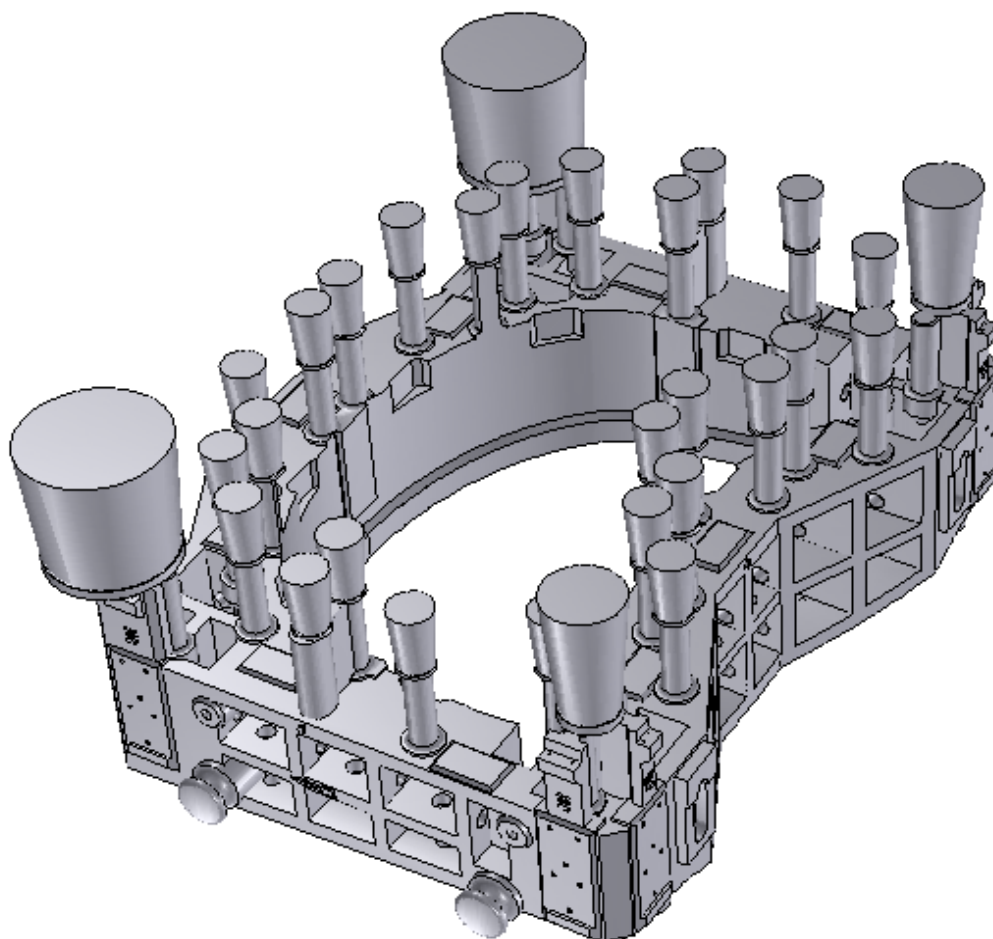
řez A



řez B

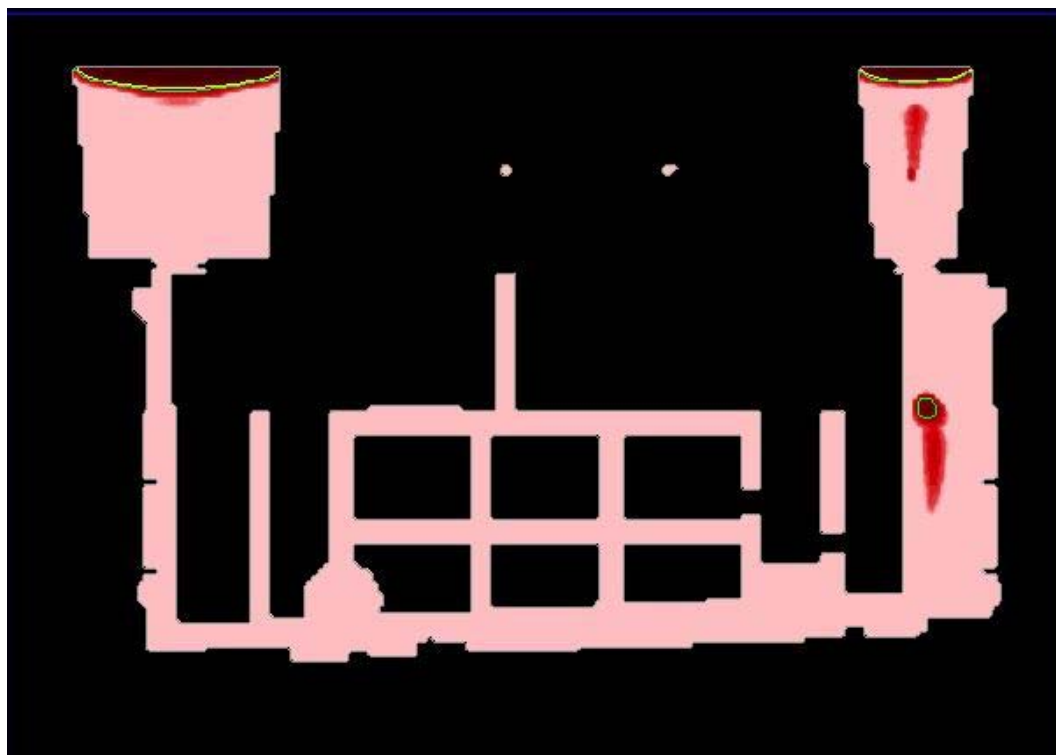


Varianta č. 2

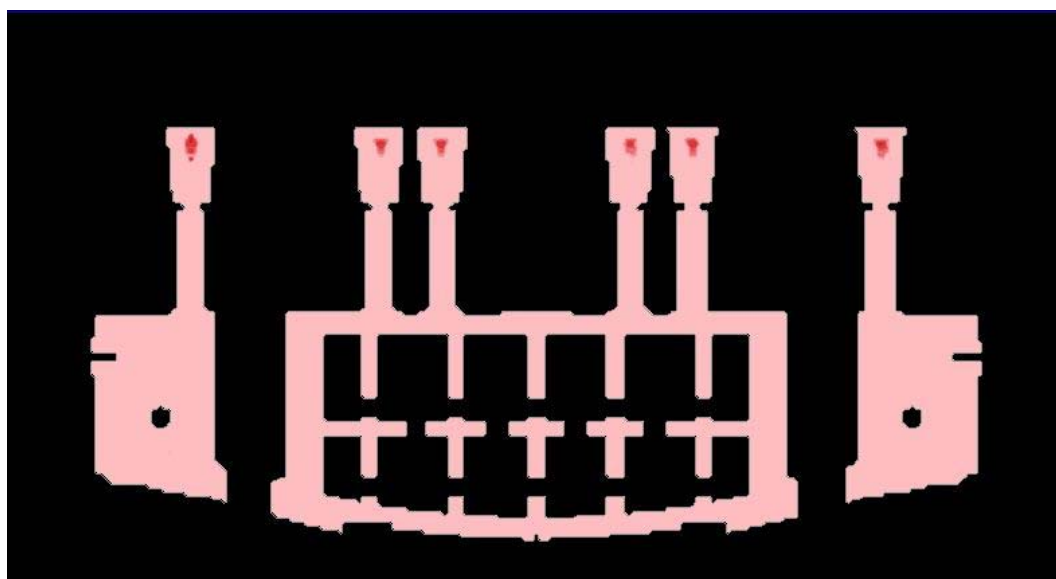


Stařeniny

řez A

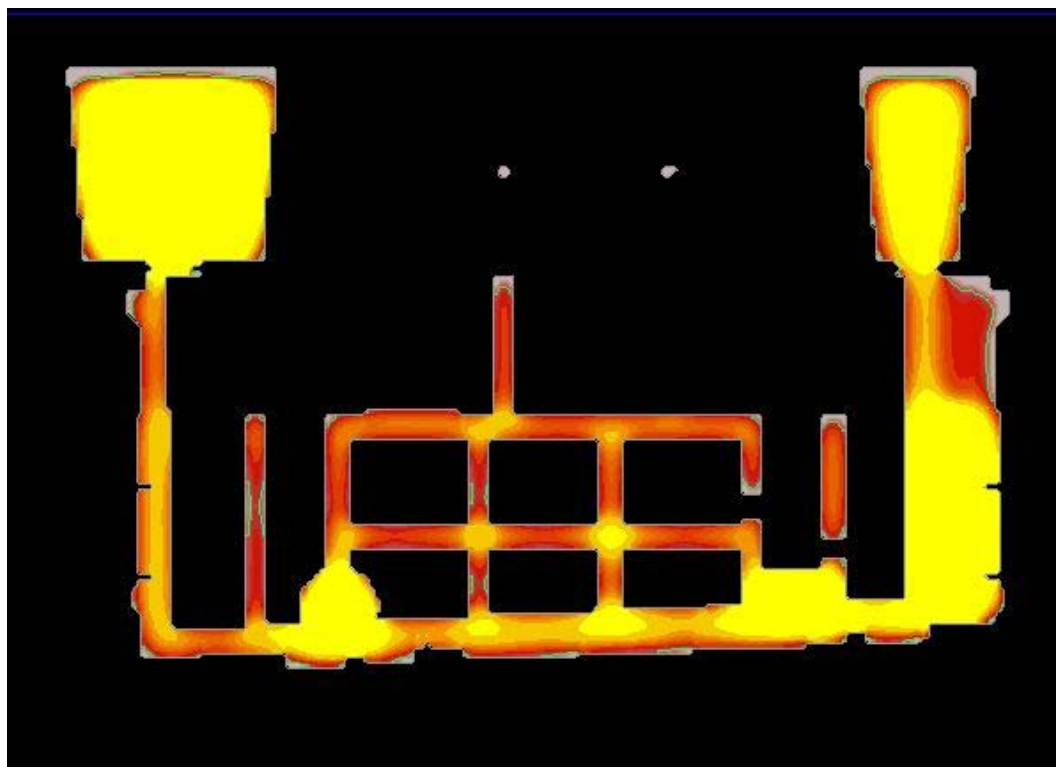


řez B

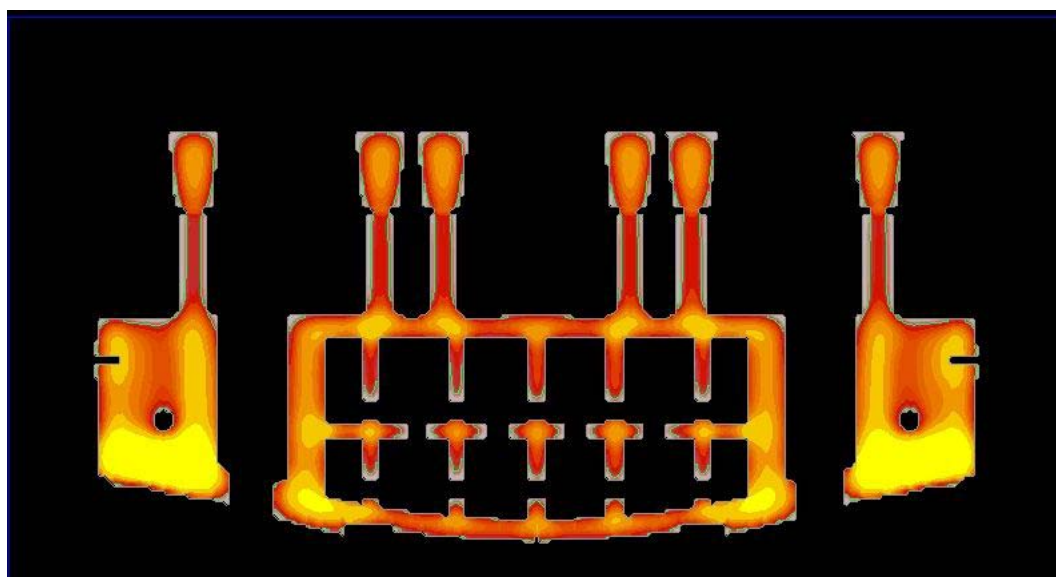


Podíl tekuté fáze- 75%

řez A

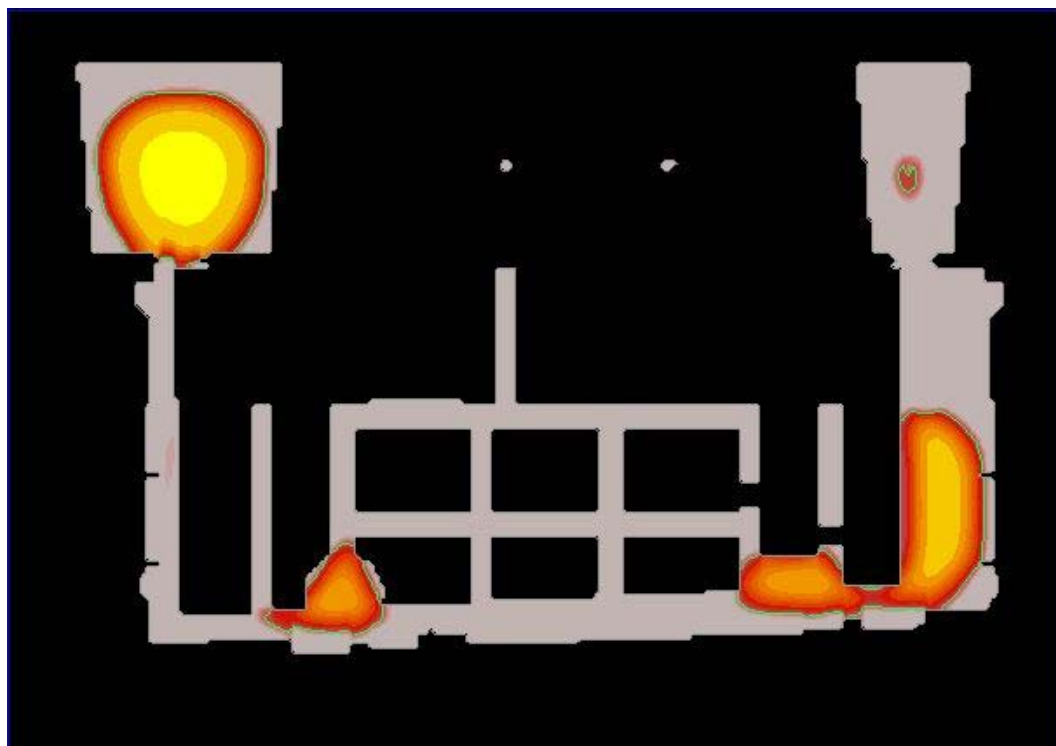


řez B

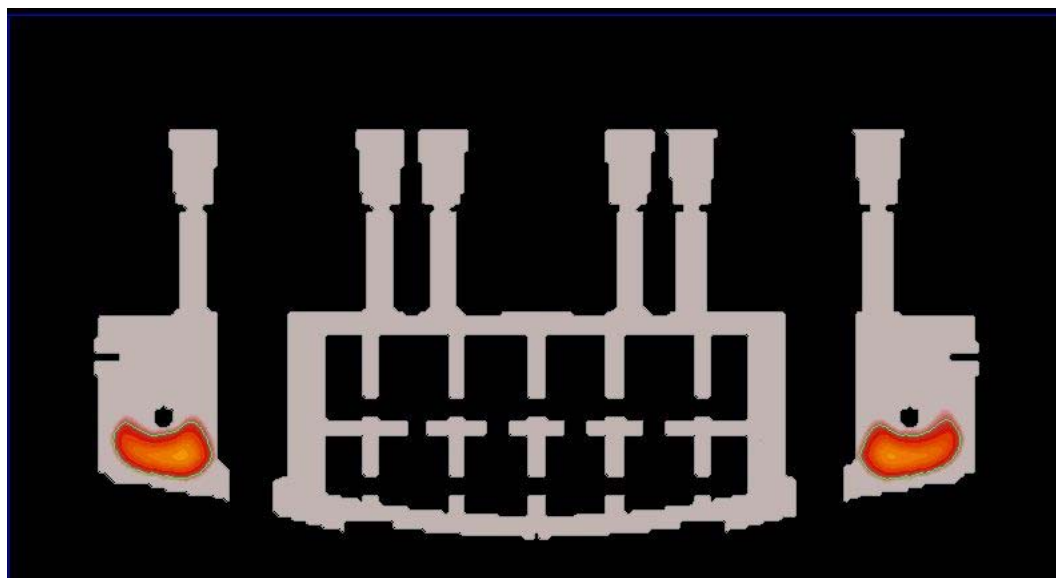


Podíl tekuté fáze- 12%

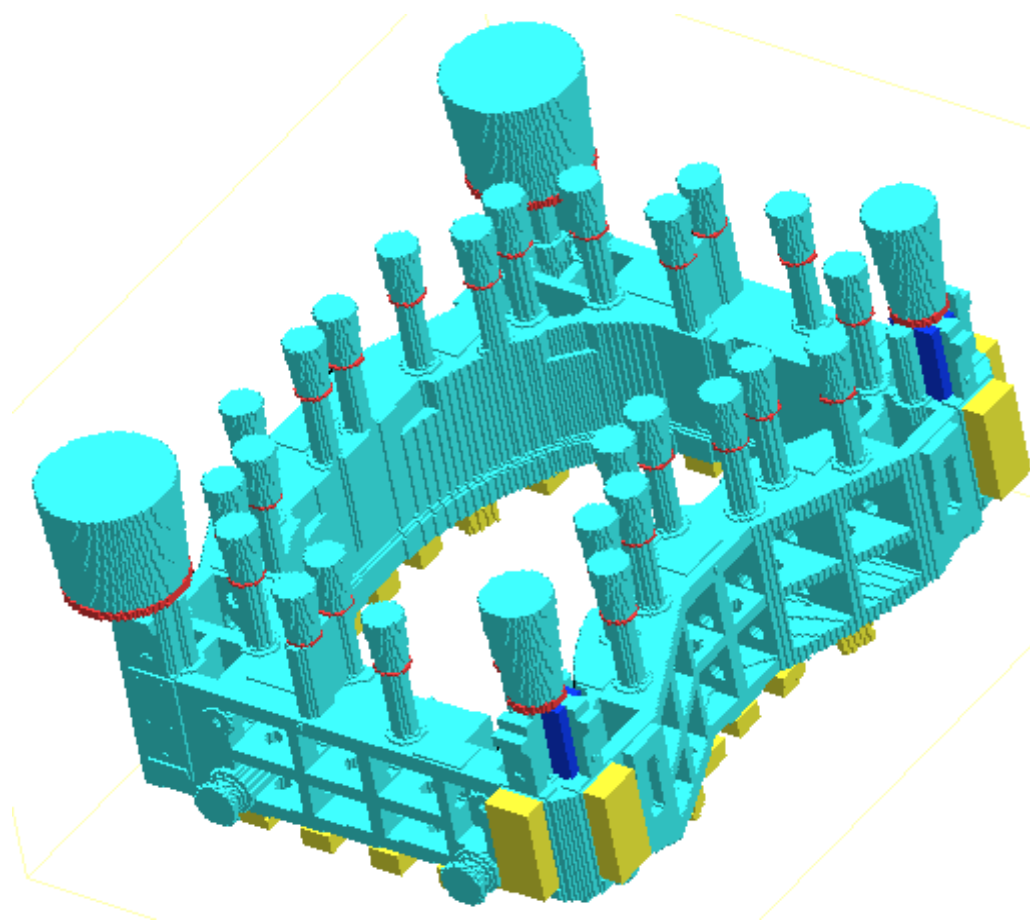
řez A



řez B



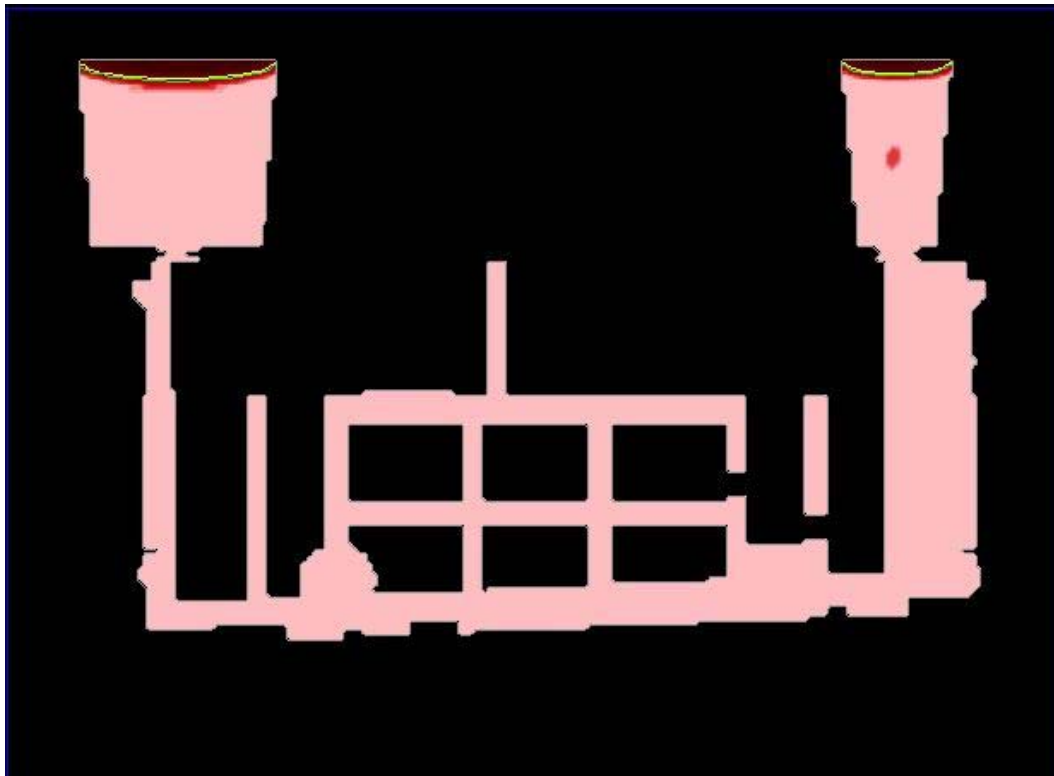
Varianta č. 3



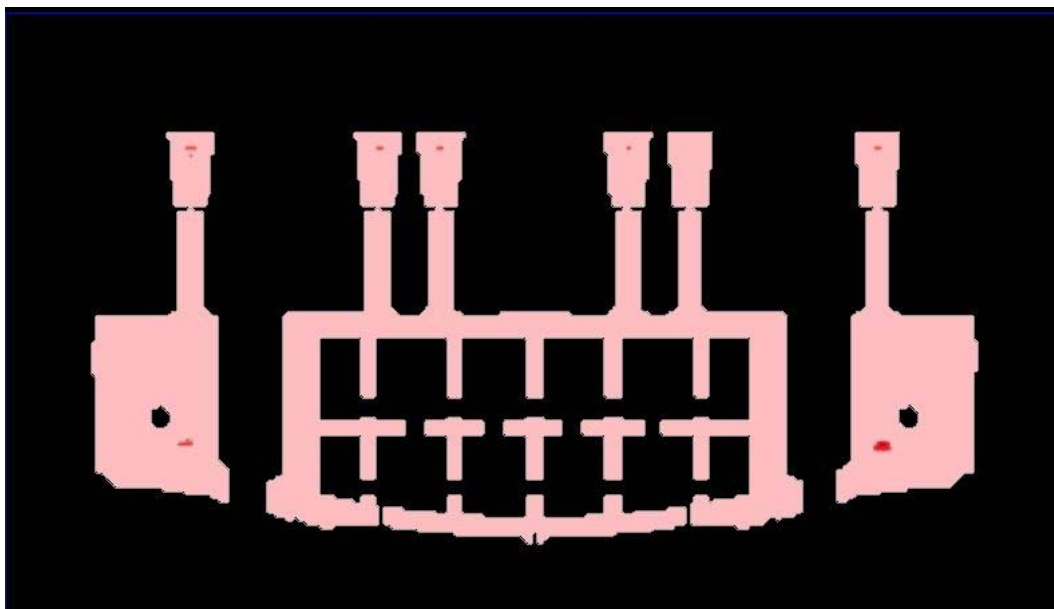
modrá-izolace
červená- podložky
žlutá- chladítka

Staženiny

řez A

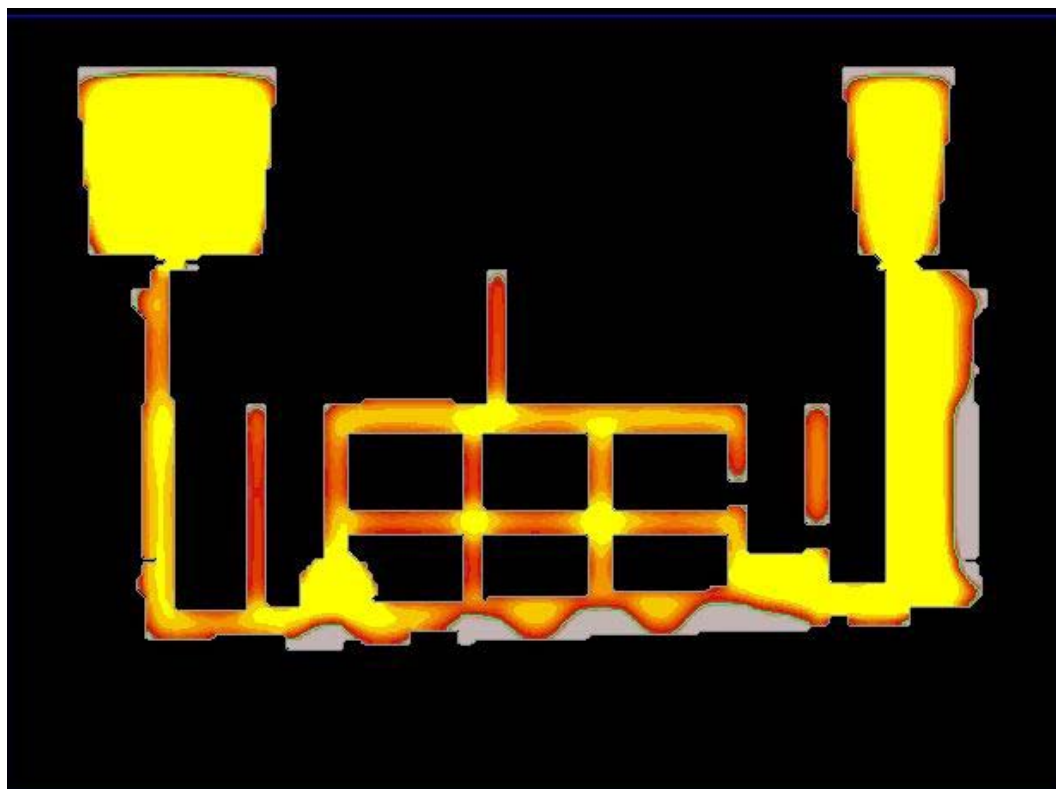


řez B

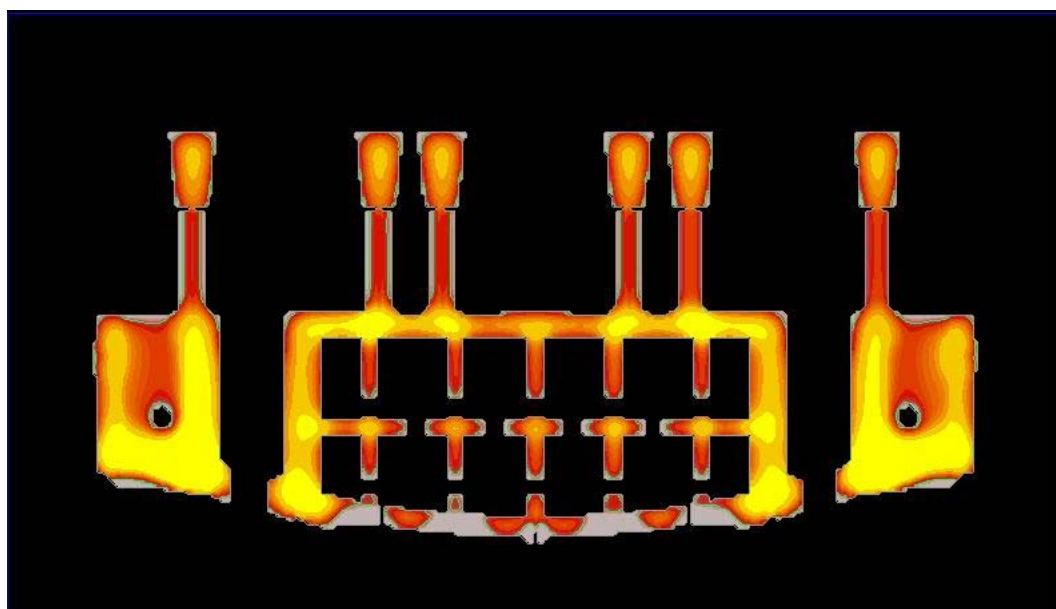


Podíl tekuté fáze- 75%

řez A



řez B

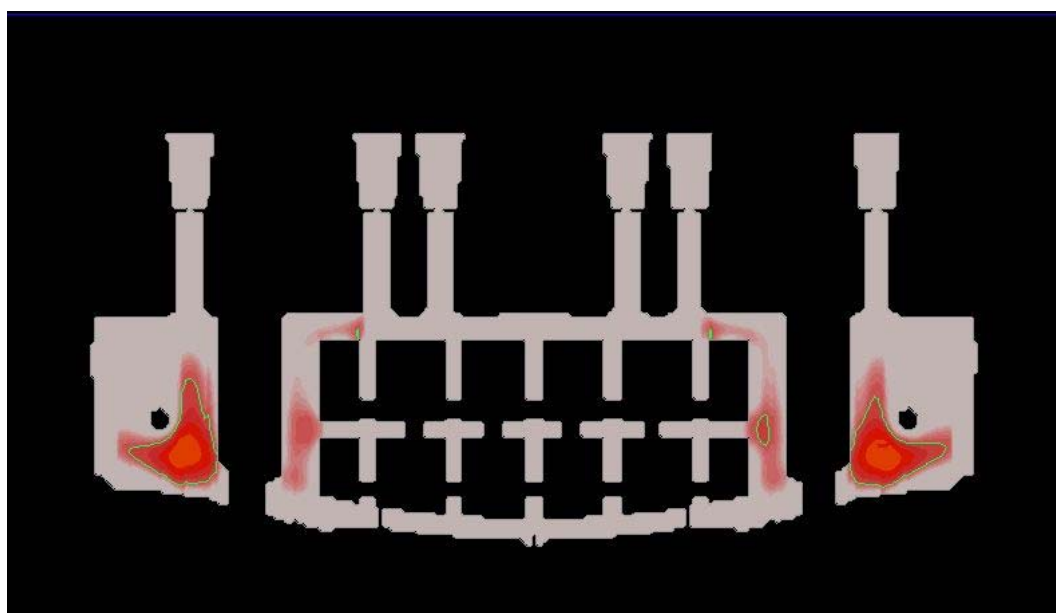


Podíl tekuté fáze- 12%

řez A



řez B



6 Závěrečné zhodnocení

Analýzou technologičnosti konstrukce raznic bylo zjištěno velké množství tepelných uzlů a napodstatné rozdíly v tloušťkách stěn. Raznice dále obsahuje žebra ležící od sebe v blízkých vzdálenostech, příčné a podélné desky. Tato všechna kritická místa činí odlitek raznice pro odlévání komplikovaným.

Nerovnoměrným tuhnutím a chladnutím odlitku dochází k:

- ➔ rozdílům ve struktuře a vlastnostech jednotlivých částí,
- ➔ vzniku hrubozrnné struktury,
- ➔ výskytu vnitřních vad,
- ➔ zhoršením mechanických vlastností na povrchu i uvnitř odlitku,
- ➔ vzniku pnutí a deformací – v některých případech ke vzniku trhlin a prasklin.

Na základě analýzy technologičnosti konstrukce raznice a vyhledání nebezpečných míst v odlitku ve kterých by při tuhnutí a chladnutí mohlo docházet k vnitřním vadám byly k simulacím tuhnutí vytipovány řezy v podélných i příčných řezech. V těchto řezech byly pro dosažení vhodné varianty umístění chladítek a nálitků sledovány podíly tekuté fáze, vady v odlitku – staženiny.

Raznice z litých ocelí vykazují vyšší množství ředin a staženin. Je proto správné, že v současné době dochází v automobilovém průmyslu ke snížení podílu materiálu lité oceli ve složitých odlitcích raznic. Přechází se zejména na materiál LKG, u zvláště namáhaných dílů pak dochází k nahrazení oceli za LKG s označením EN – GJS – 700-2. Dalším důvodem tohoto trendu je u ocelových odlitků odlévaných z vyšších licích teplot větší nebezpečí vzniku trhlin a prasklin které vedou ke zhoršení jakosti povrchu odlitků. Dále je nutné podotknout, že se ocelové odlitky musí žíhat normalizačními cykly. U odlitků z LKG se žíhání neprovádí.

I přes to, že raznice obsahuje mnoho kritických míst, tepelných uzlů a znatelných změn v tloušťkách stěn, nedochází u LKG vlivem grafické expanze k vyššímu množství ředin a staženin. Z výsledků simulací je znát, že se u LKG a LLG jedná spíše o řediny, u oceli je vhodné hovořit o staženinách.

Pro LKG i litou ocel byly pro vyhodnocení chladnutí a tuhnutí odlitku vybrány různé varianty. V řadě prvních variant byla simulace lití odlitku raznice provedena bez chladítek a nálitků, kdy je v důsledku smršťování kovu při tuhnutí a chladnutí u obou materiálů na povrchu pozorovatelná rovnoměrná povrchová staženina. Vlivem grafické expanze u LKG dochází v odlitku pouze k drobným ředinám a při započtení přídatku na obrábění povrchové staženiny by takto odlitý odlitek byl jakostním odlitkem. Na základě těchto výsledků simulací

doporučujeme, po dalším zvážení konstruktérů a technologů, tuto variantu k odlévání z LKG neboť ze všech provedených simulací jsou výsledky pro skutečné odlití raznice jedny z nejprůzračnějších.

V další řadě variant simulací, které byly spíše výzkumného charakteru.

Další varianta spočívala pouze v nálitkování po vrchní části raznice. Tímto však dochází k nárůstu hmotnosti odlitku, touto variantou se odstranily staženiny z kúlů z vrchní části raznice. Byla použita ještě varianta, v které jsem nálitkoval jen masivní části v rozích raznice a na kúly byly použity přídavky na obrábění které činily 40mm, ale tato varianta nebyla moc vhodná. Staženiny se přemístily ve zbytku odlitku do spodní části, lepší varianta je s nálitky.

Další varianta byla použití nálitků, chladítek a izolační hmoty, problém je ve velikosti dvou nálitků v rohu raznice kde by bylo lepší použít velký masivnější nálitek, který by vytáhl všechny staženiny z části raznice, ale při jeho zvětšení by ovlivnil ostatní nálitky a ty by pak nedosazovali. Po spodní části raznice byly použity chladítka, které ovlivňují tvorbu staženin v tepelných uzlech a kvalitní funkční plochu odlitku. Bez použití izolace v rohu raznice vznikla větší staženina, která zasahovala na povrch. Ta byla odstraněna použitím izolační hmoty po povrchu odlitku.

Simulace pro ocel na odlitky GS45 byla také použita v těchto variantách, ale stále ještě vzniká větší staženina ve dvou rohách raznice i za použití izolační hmoty



tak budou simulovány ještě varianty s izolačními nálitky a exotermickými nálitky, které budou zasypány zasypem.

Jako nejvhodnější varianta se ze stávající studie, jeví materiál LKG. V žádném případě na tyto velké raznice nedoporučuji k odlévání raznice volbu materiálu litou ocel.

Použitá literatura:

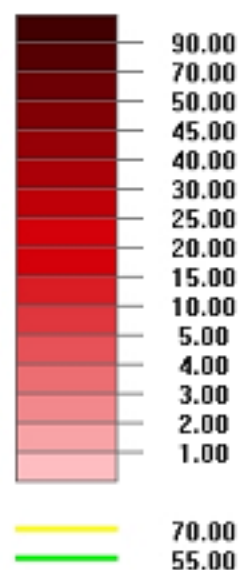
Bednář, B. : Technologičnost konstrukcí, Učební texty FS ČVUT v Praze, 2006

Dudek, R.: Problematika technologičnosti konstrukce odlitků velkých raznic, diplomová práce, 2006

Kopecký, P.: Problematika technologičnosti konstrukce odlitků velkých raznic, Diplomová práce, FS ČVUT v Praze, 2007

Vambera, M.: Problematika technologičnosti konstrukce odlitků velkých raznic, Diplomová práce, FS ČVUT v Praze, 2007

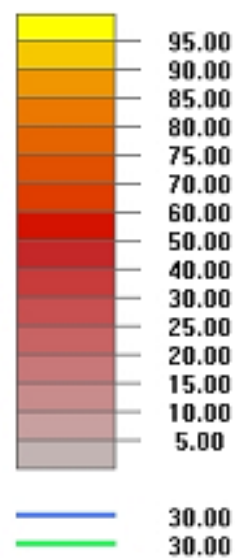
Shrinkage, %



Time, (h,m,s) 000:03:15,553
 Filled volume, % 99.18
 Liquid phase, % 94.74

NovaCast AB
 Copyright 1996 -2005

Liquid phase, %



Time, (h,m,s) 000:03:15,553
 Filled volume, % 99.18
 Liquid phase, % 94.74

NovaCast AB
 Copyright 1996 -2005