

**Fakulta strojní ČVUT Ú, 12133 – Ústav strojírenské technologie**

## **Analýza lícího cyklu technologie lití pod tlakem**

Lukáš Kupec, Ing. Aleš Herman PhD.

### **Abstrakt**

Příspěvek popisuje analýzu odlitku z Al slitiny, použití počítačové simulace teplotních polí a plnicího cyklu následně pak použití termokamery k validaci simulace.

### **Klíčová slova**

Simulace odlitku, termografie, teplotní pole, tlakové lití, hliníkové slitiny

## 1. Úvod

Tlakové lití hliníkových slitin je jedna z nejproduktivnějších technologií pro výrobu tenkostěnných hliníkových dílů v hromadných sériích, proto se používá nejvíce v automobilovém průmyslu (bloky motoru, skříň převodovek, diferenciálů...). Spolu s vysokou produktivitou může oproti jiným technologiím nabídnout vysokou přesnost, velmi dobrou kvalitu povrchu, jemnozrnnou strukturu bez ředin s dobrými mech. vlastnostmi.

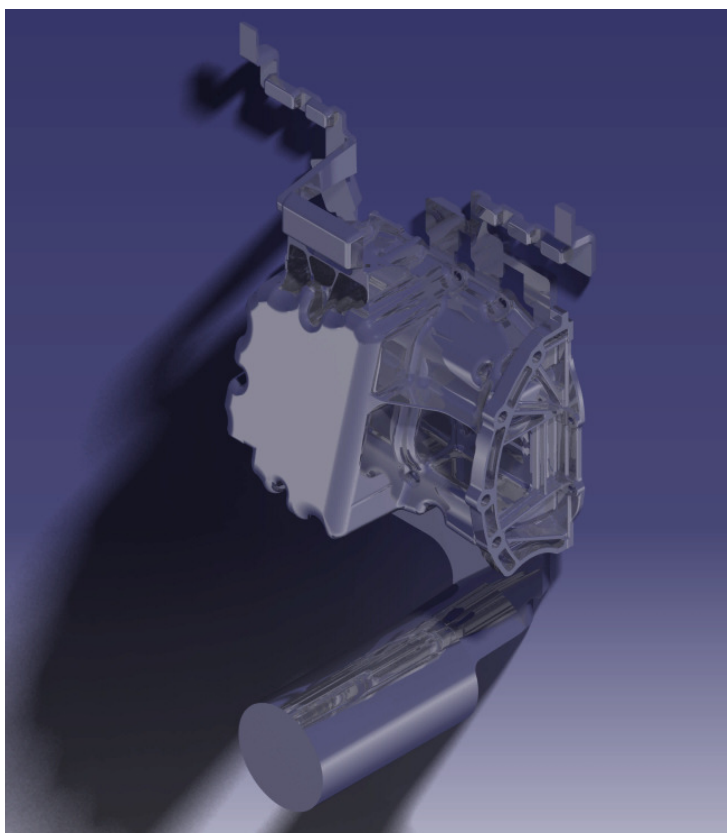
Je bezpodmínečně nutné, aby proces lití byl dokonale zvládnut, neboť u velkých objemů výroby se každá úspora a zlepšení parametrů velice promítne do celkové ekonomické bilance. Pro lepší zvládnutí licího procesu se používá moderní techniky – simulace pomocí specializovaného programu, která při dnešní míře zapojení výpočetní techniky je přímou a nedílnou součástí výrobního cyklu.

Stanovené cíle této práce byly jasné – provést analýzu plnění a tepleného namáhání jak formy, tak odlitku a doporučit kroky k optimalizaci celé technologie.

## 2. Popis výchozí situace

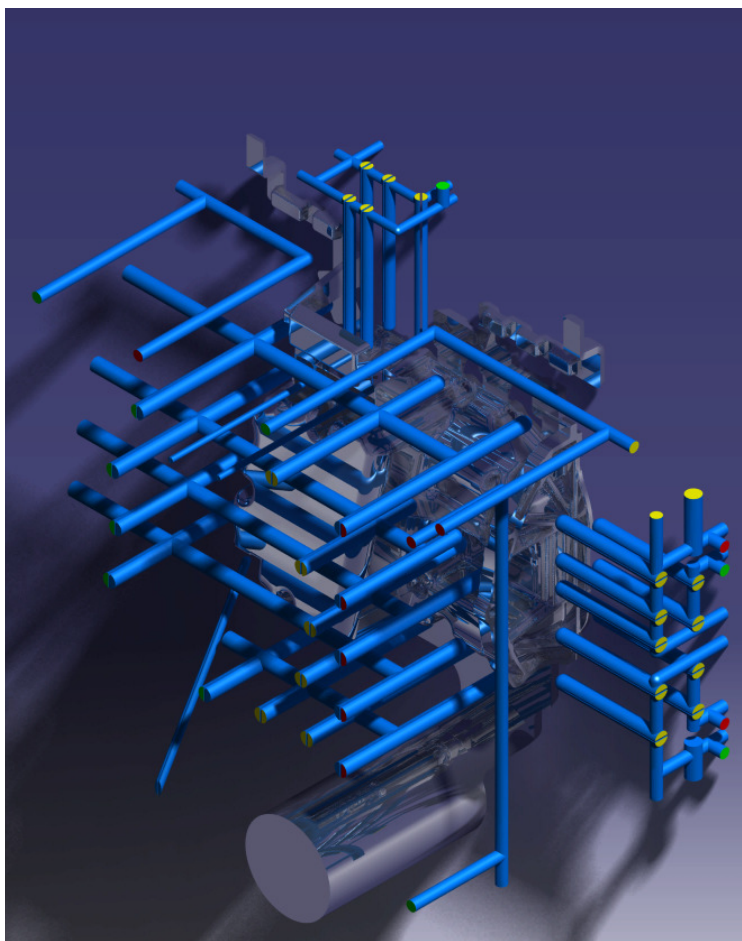
Objektem analýzy je v tomto případě olejová vana spalovacího motoru pro automobily třídy mini vyráběné v České republice. Materiál odlitku je hliníková slitina ČSN 424339.

Pro simulaci byla data poskytnuta jako 3D model v univerzálním formátu STEP, se kterým je možno pracovat v naprosté většině moderních parametrických modelářů. Před zahájením samotné simulace bylo nutno zajistit validitu dat, tak aby exportovaná data bylo možno načíst v samotném simulačním programu. K úpravě 3D modelu byl použit parametrický modelář CATIA v5 – Obr. 2.1.



*Obr. 2.1. Model odlitku (Catia V5)*

Podle výrobních výkresů formy byly posléze namodelovány i chladicí kanály a poté naimportovány do sestavy – Obr. 2.2.



*Obr. 2.2 – Model odlitku s chladicími kanály (Catia V5)*

V další fázi bylo nutno upravit modely chladících kanálů pro zvýšení efektivity práce v NovaCast&Flow, kdy kanály kruhového průřezu byly nahrazeny kanály čtvercového průřezu o hraně 1,5mm. Tento rozměr vyšel z limitů programu NovaCast&Flow(viz dále). 3D modely v této podobě byly pak exportovány ve formátu STL a načteny v simulačním programu.

Prvním krokem ke spuštění simulace je vytvoření výpočetní sítě – NovaCast&Flow používá FDM a zasítování provádí krychlemi. Jako rozumný kompromis mezi rychlostí simulace, přesností (nejhrubší možné nastavení sítě je takové, kdy nejtenčí místo odlitku je tvořeno dvěma buňkami - krychličkami) a HW možnostmi byla zvolena velikost hrany 1,4mm (při volbě hrany 1,5mm by nebyly načteny všechny elementy chladících kanálů, proto je nutné volit hranu kratší – tj. síť je jemnější a výsledek přesnější).

Dále je nutno nastavit parametry modelů – v případě lití pod tlakem se jedná o plochu a polohu patrony a plochu a polohu výfuků, materiál formy a materiál odlitku. Z procesních parametrů je nutno nastavit počáteční teplotu, průtok a typ chladícího média v jednotlivých kanálech, teplotu taveniny na vstupu do formy, počáteční teplotu formy, parametry ostřiku a ofuku formy a nakonec parametry vstřikování.

Po nastavení všech těchto parametrů je možno nastavit typ simulace, zda je požadován výpočet teplotního pole nebo výpočet plnění formy. Pro nejpřesnější analýzu se jeví nejlepší

nechat předem daný počet cyklů provádět výpočet teplotního pole až do doby jeho ustálení a pak provést výpočet plnění. V takovém případě se bude jednat o výpočet nejbližší reality, neboť i ve skutečném případě tlakového lití se několik prvních odlitků automaticky považuje za zmetky z důvodu neustáleného teplotního pole ve formě, které vede k nestejnému plnění formy a tedy i k nestejným výsledkům.

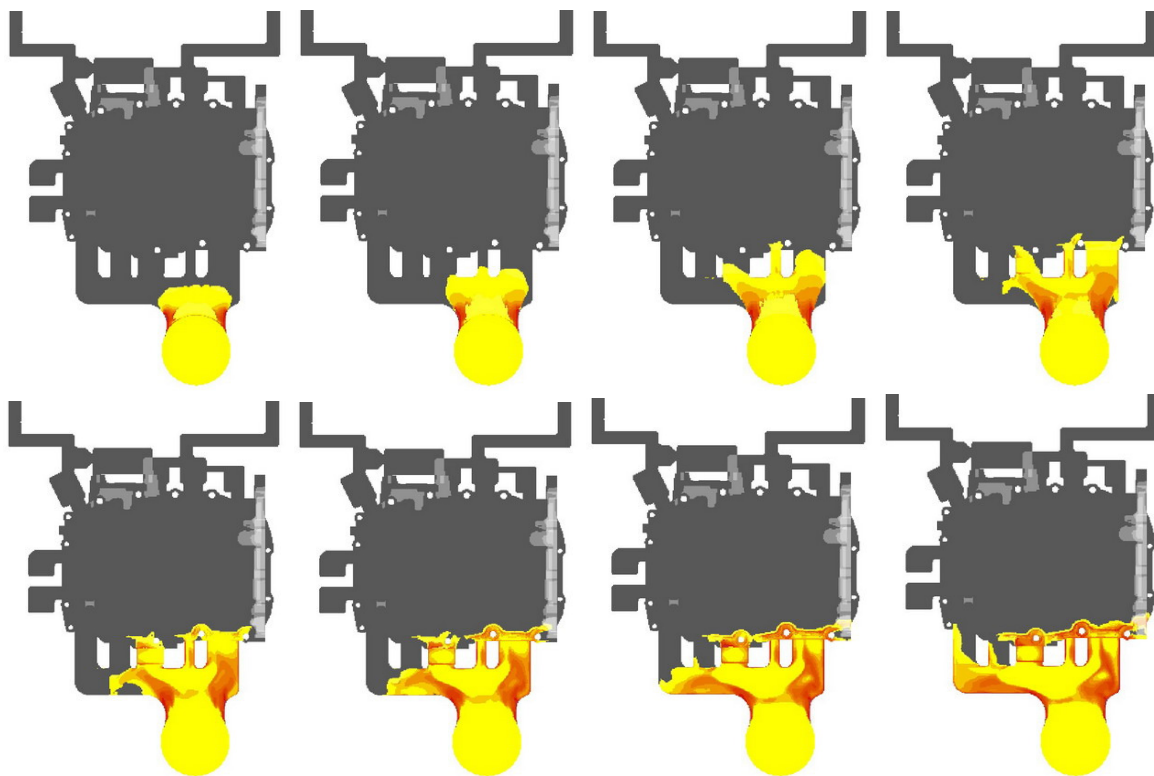
Proto simulace olejové vany byla spuštěna jako devět cyklů pro výpočet teplotního pole a poté pro jeden cyklus plnění. I přes relativní jednoduchost odlitku a chladicího systému trval výpočet 5dní, což je dáno celkem malou velikostí buňky sítě a z toho vyplývající náročností na výpočet.

Ověření správnosti simulace proběhlo přímo ve slévárně pomocí termokamery Goratec TVS700, kdy byla porovnána data ze simulace s reálně naměřenými údaji termokamerou.

### 3. Analýza plnění formy

Důvodem analýzy plnění je snaha odstranit problémy vznikající z nedokonalé vtokové soustavy a tím pádem i z nedokonalého proudění taveniny ve formě, což může vést k vadám jako jsou studené spoje, pórovitost atd.

První a evidentní problém je nedokonalá vtoková soustava - po naplnění patrony dojde k postupnému a nerovnoměrnému plnění dutiny formy – viz Obr. 3.1

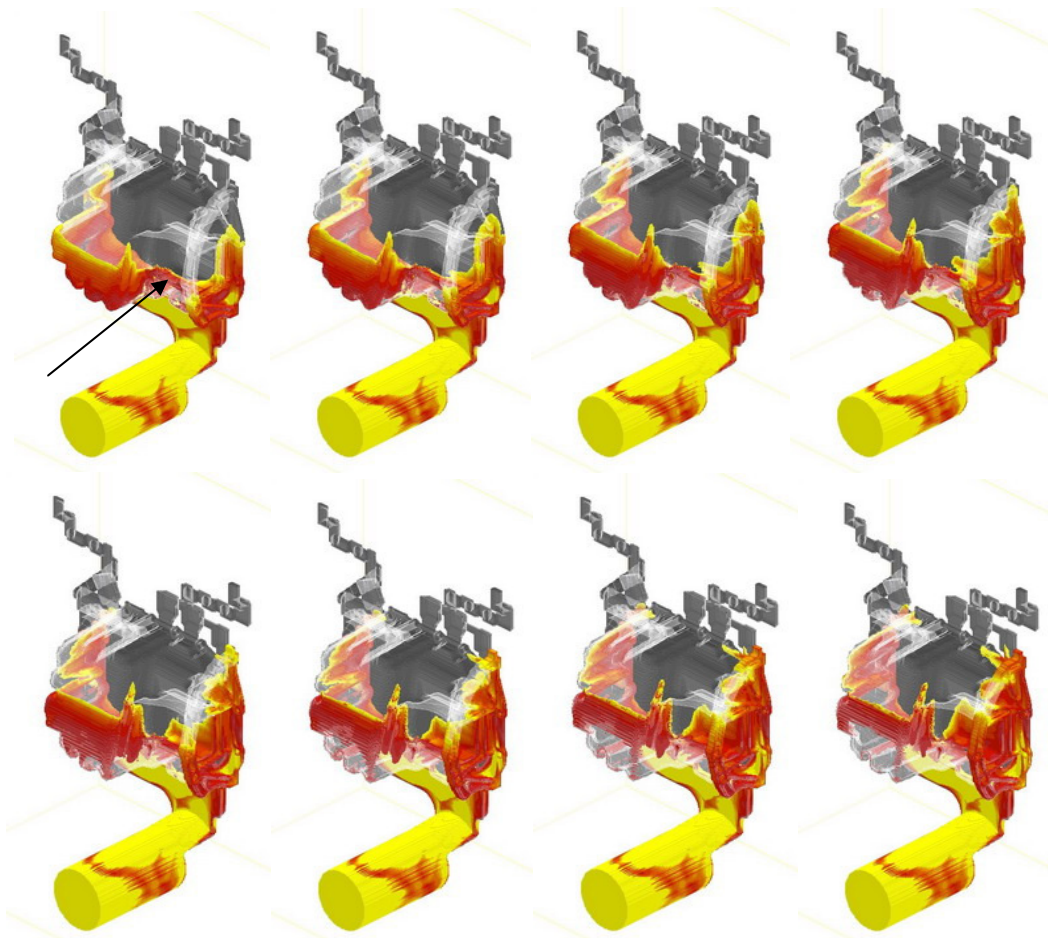


*Obr. 3.1. – Plnění formy (NovaFlow&Solid)*

Takovýto způsob plnění může zvyšovat výskyt celé řady vad odlitku (pórovitost ale i studené spoje), proto je nevhodný a je nutné ho odstranit. Po konzultaci se zadavatelem bylo rozhodnuto neměnit polohu patrony, ale pokusit se upravit tvar vtokové soustavy tak, aby bylo dosaženo rovnoměrnějšího a lepšího plnění (viz dále)

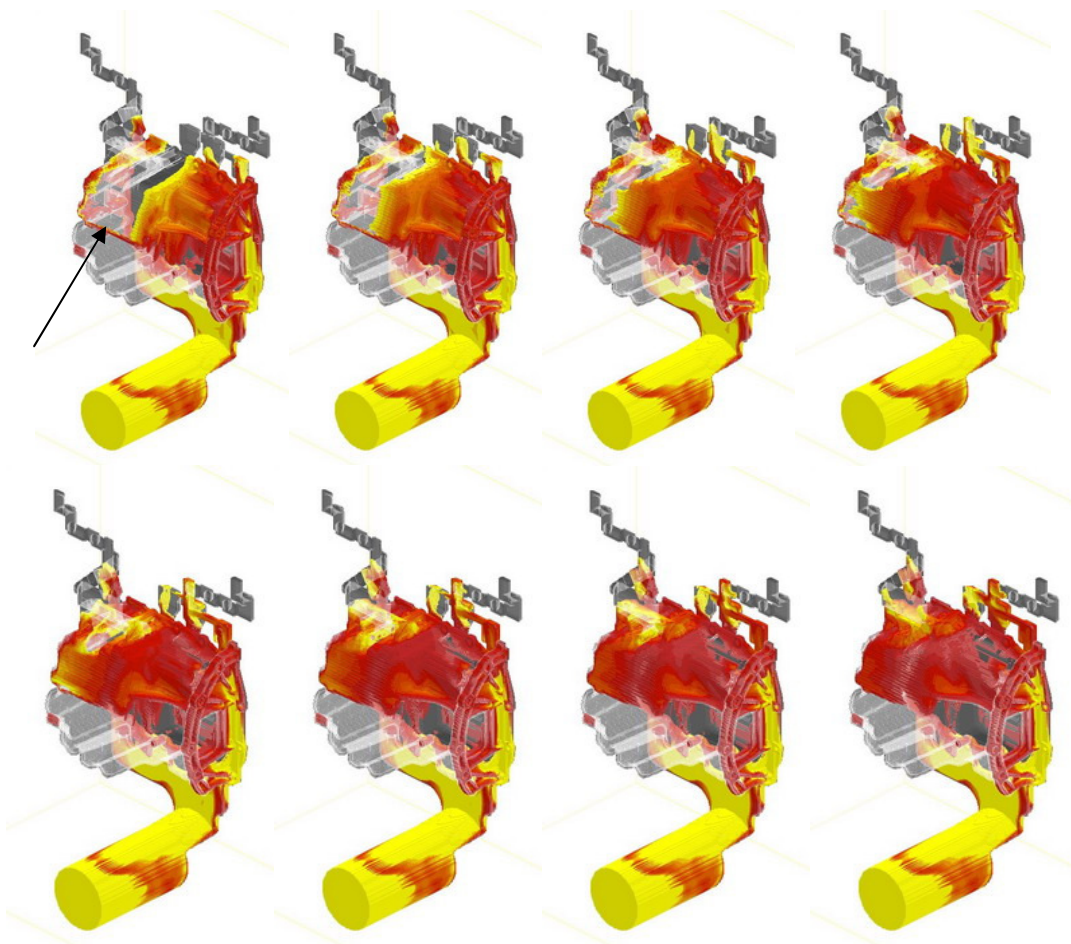
Výpočet nové vtokové soustavy je velice komplexní záležitost, proto bude proveden podle manuálu NADCA, zabývajícím se výhradně vtokovými soustavami tlakově litých odlitků. Výsledek bude ověřen opět pomocí simulace v programu NovaFlow&Solid

Dalším kritický místem je průběh plnění dna vany – Obr. 3.2. – nedochází k postupnému plnění, ale k stoku taveniny na několika místech, což samo o sobě může vést k vadám odlitku (studené spoje). Zadavatel si je tohoto problému vědom (výstupní kontrola ověřuje odlitky na (ne)přítomnost studených spojů), byl upozorněn na další kritická místa na odlitku.



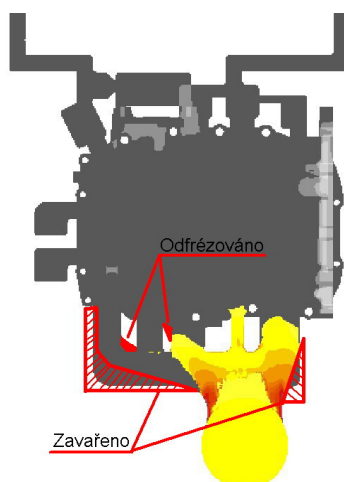
*Obr. 3.2. – Kritické místo na spodní hraně vybrání (NovaFlow&Solid)*

V další fázi plnění se objeví podobný případ studených spojů, ale větších rozměrů– viz Obr. 3.3.



*Obr. 3.3 – Kritické místo na dně olejové vany (NovaFlow&Solid)*

Řešení problémů s plněním tedy bude částečně nová vtoková soustava – schéma viz Obr. 3.4., jejíž funkčnost bude ověřena simulací a po skončení životnosti formy používané v současné době pak i na reálné součásti vyrobené na upravené formě, pokud by výsledky simulace byly optimální.

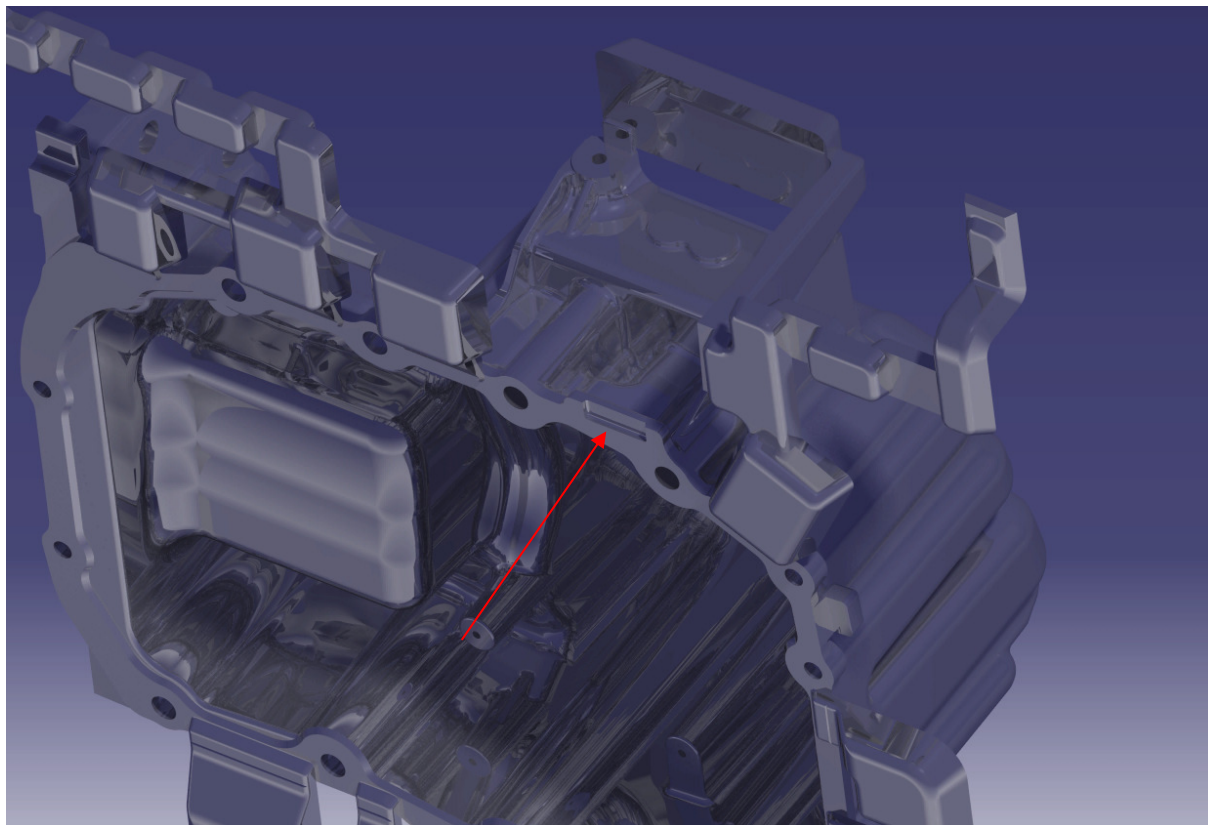


*Obr. 3.4 – Modifikace vtokové soustavy*

#### 4. Analýza teplotních polí

Analýzou teplotních polí je možno odhalit kritická místa nadměrného teplotního spádu, která výrazně ovlivňují životnost formy, ale i místa se zvýšeným mechanickým namáháním odlitku, kde může docházet k trhlinám a nebo prasklinám.

Dle informací zadavatele se během poslední doby začaly objevovat praskliny/trhliny na vrchní hraně příruby v místě demontážního otvoru – viz Obr. 4.1.

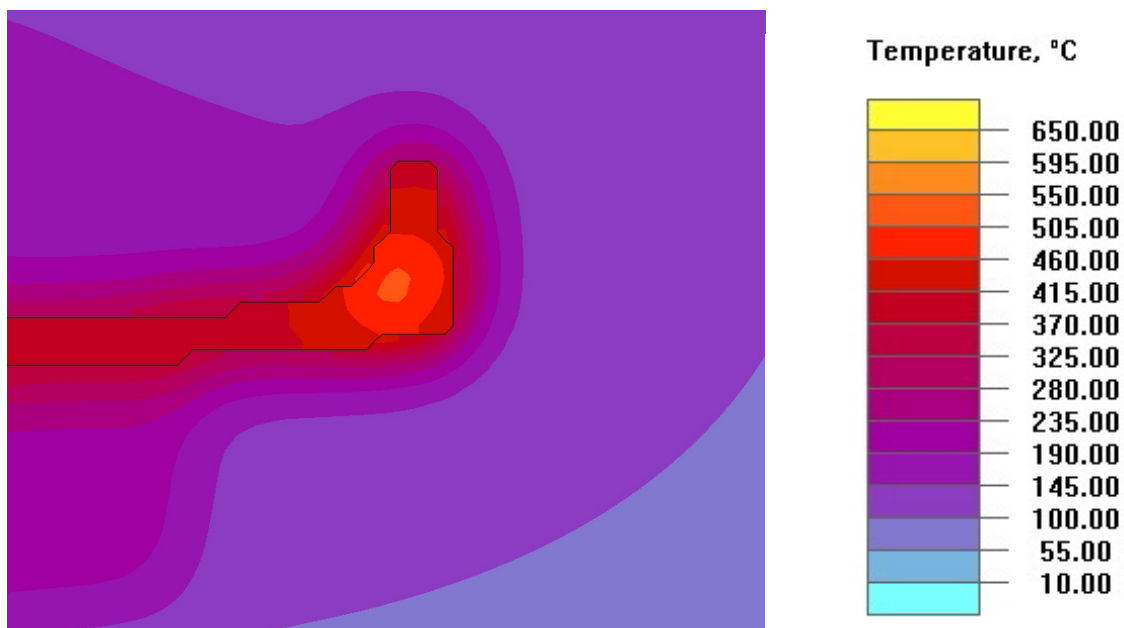


*Obr. 4.1 – Místo praskliny odlitku – demontážní otvor*

Při zobrazení teplotního pole tohoto kritického místa v čase po naplnění formy – Obr. 4.2., je vidět, že teplotní pokles je velmi prudký, dosahuje hodnot až  $150^{\circ}\text{C}/\text{cm}$ , což může vyvolávat obrovská pnutí mezi tuhnoucím odlitkem a formou.

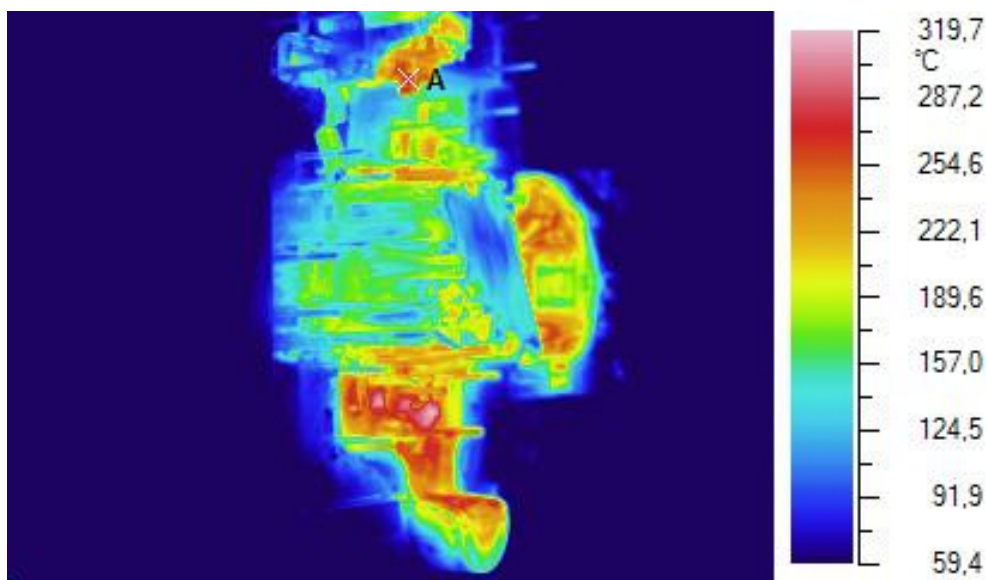
Pokud se zaměříme pouze na odlitek, je vidět, že teplotní spád dosahuje až  $120^{\circ}\text{C}/\text{cm}$ , středová část obruby je stále relativně horká ( $520^{\circ}\text{C}$ ), ale okraj demontážní plochy je již ochlazen na teplotu podstatně nižší ( $400^{\circ}\text{C}$ ). Teplé jádro si udržuje svou relativně vyšší teplotu v porovnání s okrajem až do dosažení  $300^{\circ}\text{C}$ , kdy se rozdíly teplot blíží  $40^{\circ}\text{C}$  a tedy již nepředstavují vážnější problém.

K odstranění tohoto problému, bylo přímo na místě u zadavatele doporučeno upravit nastavení chladicího systému tak, aby teplotní pole bylo vyrovnanější, což následně vedlo k menším rozdílům teplot a snížení pnutí. Podle informací od zadavatele bylo toto opatření realizováno ještě ten den a počet zmetků se snížil. V současné době probíhá výroba statisticky významnějšího vzorku a paralelně s tím simulace této modifikace chlazení, aby byla námi doporučená úprava ověřena i výpočetně.



*Obr. 4.2. – Teplotní pole po naplnění formy – řez kritickým místem*

Pro ověření tohoto místa jako kritického byly výsledky simulace porovnány s měřením termokamerou – viz Obr. 4.3, kde je jasně vidět teplotní uzel formy vzniklý v místě praskliny odlitku. Při porovnání teplot v daném místě získané simulací (288,6°C) a termokamerou (274,1°C) je konstatovat, že výsledky si odpovídají, teplotní rozdíl cca 15°C je v rámci chyby měření přijatelný (měření termokamerou bylo prováděno během normálního výrobního cyklu stroje, přístup k formě byl tedy velice omezen a měření mohlo být provedeno pouze skrz okénka)



*Obr. 4.3. – Snímek termokamerou – kritický bod A (teplota 274,1°C)*

## 5. Shrnutí analýzy a závěr

Z výsledku simulace plnění vyplývá že existují nedostatky ve vtokové soustavě a v chladicím systému. Jednoduchou úpravou chladicího systému však bylo dosaženo zvýšené

kvality a snížení zmetkovitosti; problém vtokové soustavy je však komplexnější a je tedy nutno modifikovat soustavu, tak jak bylo naznačeno v kap. 3.

Pokud budou výsledky simulace příznivé, bude přistoupeno k ověření na reálné formě, tak aby bylo možno poznatky získané touto prací reflektovat ve výrobě.

Simulace umožňují kompletně nový pohled na děje ve formě, během jejího plnění a chladnutí. Díky poznatkům získaných simulací bylo možno v relativně krátké době zvýšit kvalitu odlitků, což samozřejmě vedlo ke zvýšení rentability celého projektu. Proto je v moderních slévárnách při lití komplikovanějších dílů prakticky vždy nejprve provedena simulace, což snižuje náklady slévárny a umožňuje tak dosažení lepších ekonomických výsledků.

### **Seznam použité literatury**

- [1] PLACHÝ J. – NĚMEC M. - BEDNÁŘ B.: Teorie slévání, Praha: Vydavatelství ČVUT, 2002, ISBN 80-01\_02471
- [2] NOVOTNÝ J. et al.: Technologie I., Praha: Vydavatelství ČVUT, 2001, ISBN 80-01-02351-6
- [3] North American Die Casting Association: Gating Manual, Wheeling: NADCA, 2006