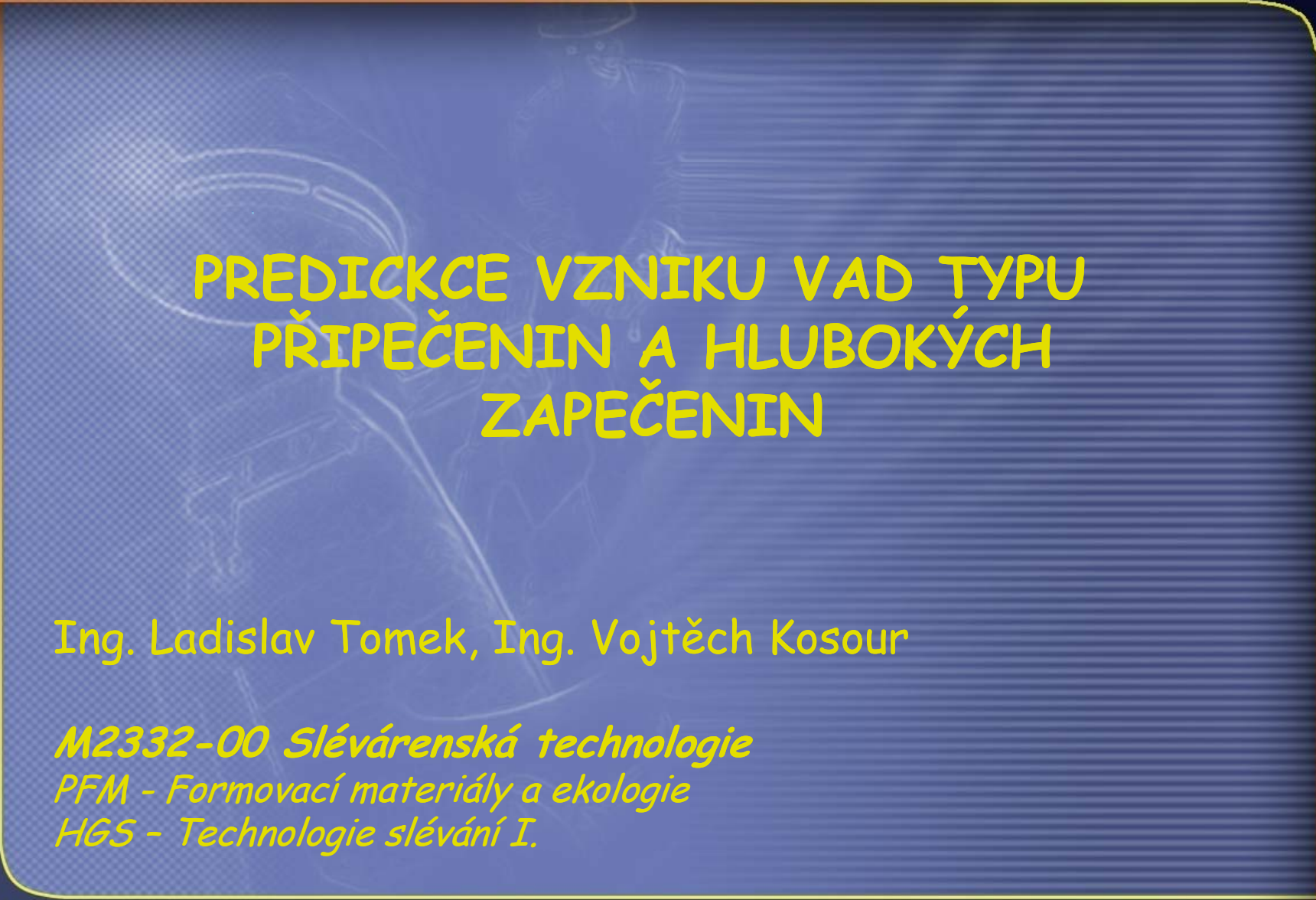




# PREDICKCE VZNIKU VAD TYPU PŘIPEČENIN A HLUBOKÝCH ZAPEČENIN

Ing. Ladislav Tomek, Ing. Vojtěch Kosour

*M2332-00 Slévárenská technologie*

*PFM - Formovací materiály a ekologie*

*HGS - Technologie slévání I.*

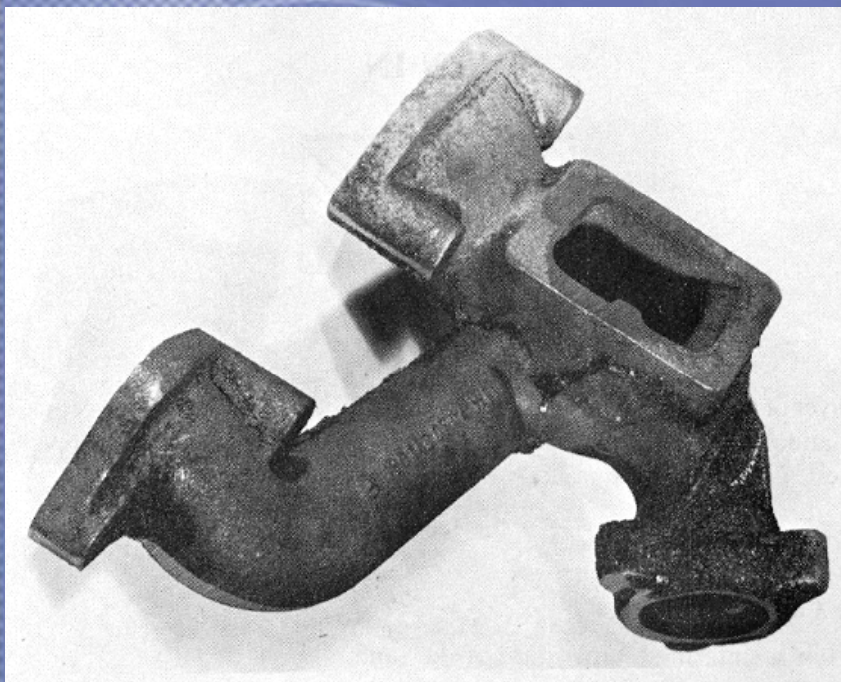
# ÚVOD

- Výroba jakostních ocelových a litinových odlitků vyžaduje, aby povrch odlitku byl hladký a bez povrchových vad
- Jedna z těchto vad je způsobena penetrací kovu do slévárenské pískové formy se vznikem nežádoucích produktů na tomto rozhraní
- Výsledkem reakcí na rozhraní formy a kovu, v závislosti na stupni proniknutí kovu, mohou tedy být **připečeniny** a hluboké **zapečeniny**. Tyto mohou mít významný vliv především na snížení mechanických vlastností odlitků, zvláště pak na únavovou životnost. Jejich vliv může vést i ke zhoršení obrobitelnosti odlitků
- Cena opravných prací těchto vad (připečeniny, zapečeniny) je nejen vysoká, ale zároveň tyto opravné práce mohou prodlužovat dodací termíny k zákazníkovi a současně se zhoršuje pracovní prostředí ve slévárně (silikátový prach-nemoc silikóza)



## Připečeniny

- Poměrně tenká a vysoce adhesní vrstva písku vyskytující se často na rovných plochách
- Kov penetruje do větší hloubky než je průměr zrna ostřiva
- Vada se vyskytuje na nejteplejších částech odlitku
- Odstranění připečenin je technicky náročné a obtížné. Lze ho dosáhnout opakovaným broušením a tryskáním
- Charakteristicky se vyskytuje tam kde kov, na rozhraní kov-forma, zůstane na vysoké teplotě po dostatečně dlouhou dobu aby byl schopný rozložit pojivový systém nátěru, a dostat se přes něj zatímco je stále tekutý (kov)



Obr. Příklady připečených odlitků

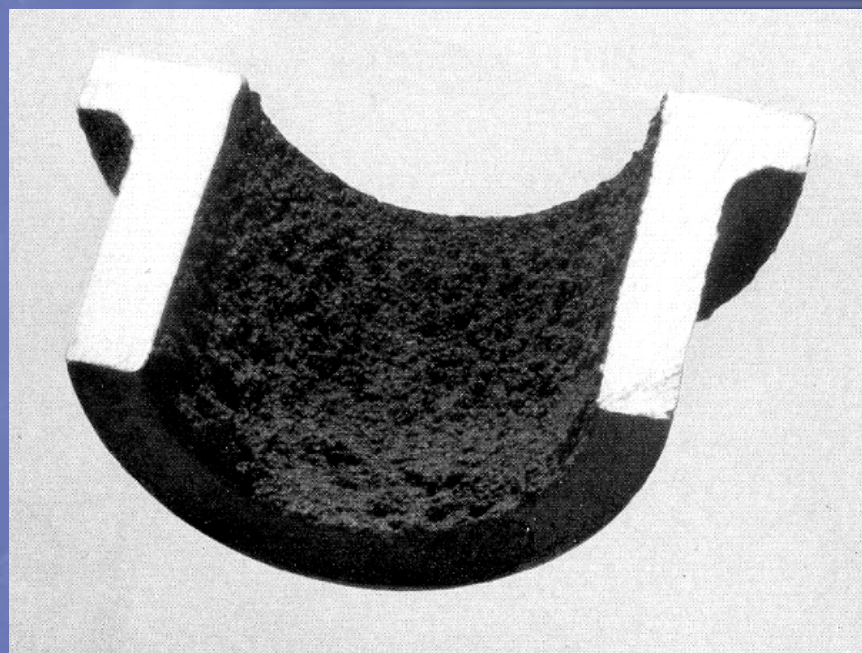


## Hluboké zapečeniny

- Jedná se o tenkou vrstvu nataveného písku, která pevně drží na povrchu odlitku. Tento povrch má sklovitý vzhled a může být poset d'olíčky.
- Kov může vnikat do značné hloubky, často i několik centimetrů
- Pórovitý konglomerát písku a kovu vzniká v silně tepelně exponovaných místech formy (jádra, dutiny) a většinou jej lze velmi obtížně oddělit od povrchu odlitku

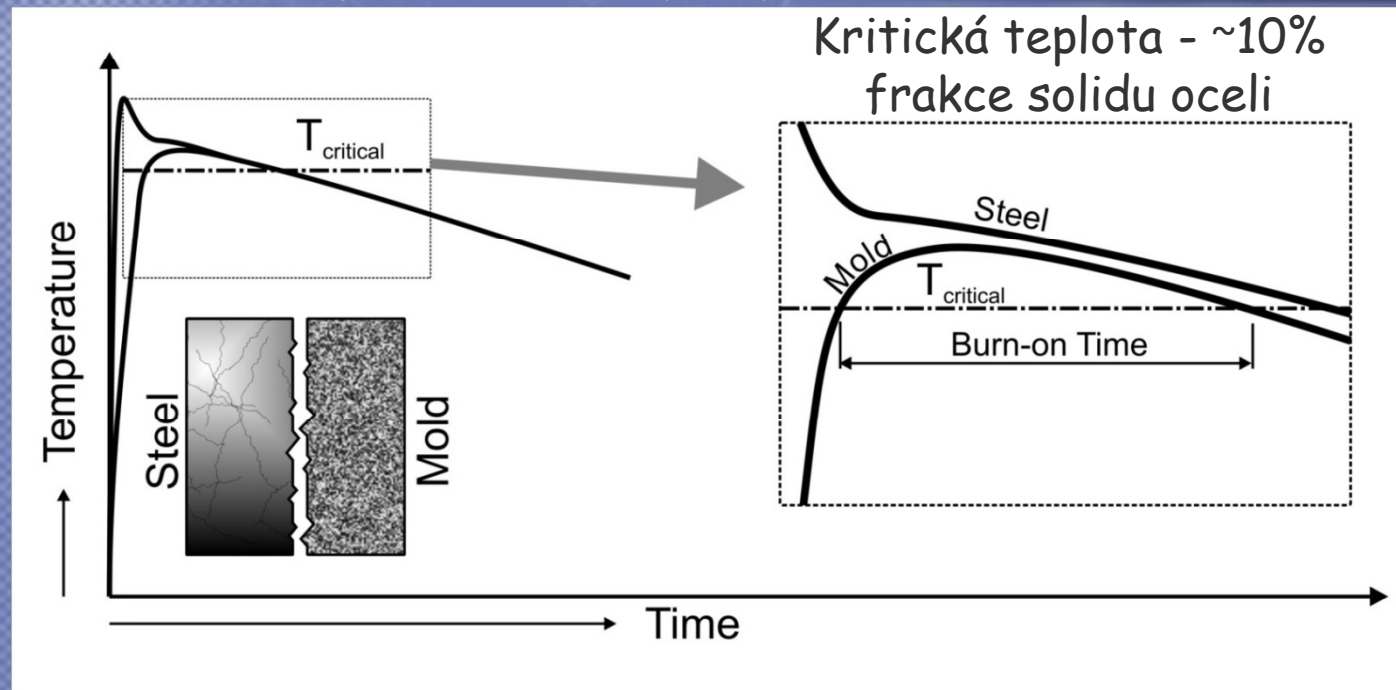
- V případě hlubokých zapečenin mohou podmínky vzniku silně podporovat parametry jako: nízké povrchové napětí kovu, zvýšený metalostatický či dynamický tlak, vysoká teplota kovu a pískové směsi, nízká tepelná vodivost formovací směsi, nízká prodyšnost formovací směsi, atd.

Obr. Příklad odlitku s hlubokou zapečeninou



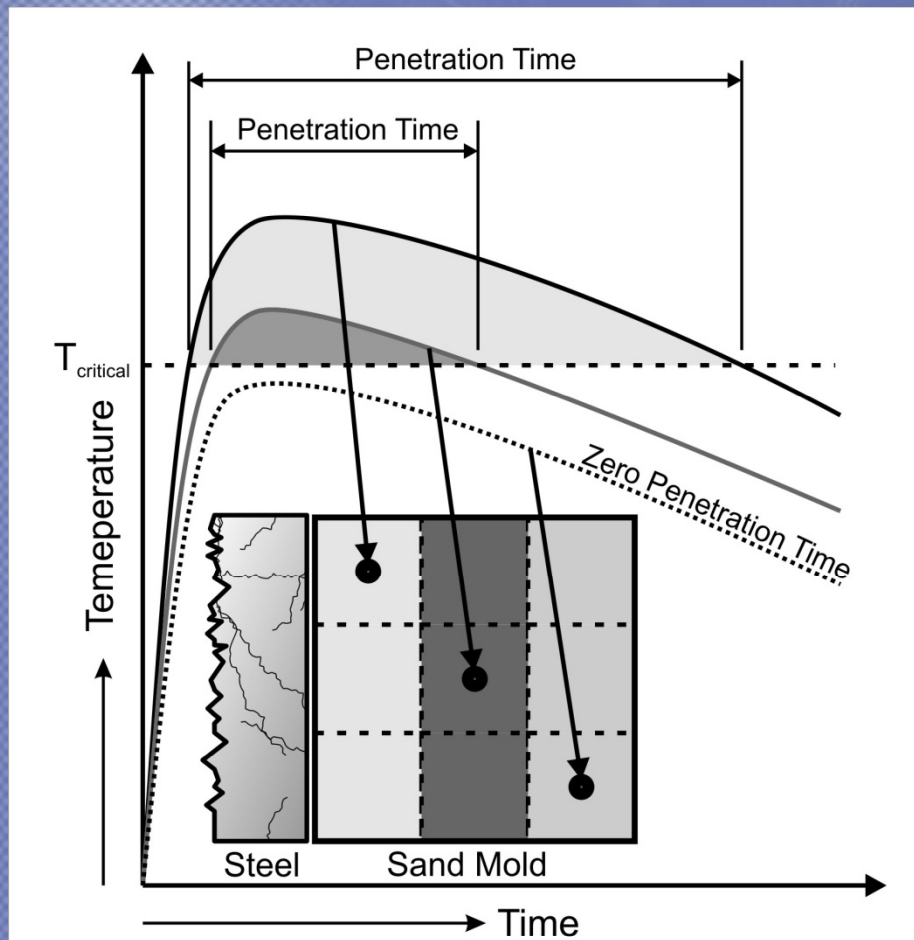


## Metodika predikce připečenin



Obr. Metodika predikce vzniku zapečenin založená na kalkulaci času, kdy teplota formy (na povrchu) v daném místě překročí kritickou teplotu -metodika použitá autory C. Beckermann, B.E. Brooks, V. L. Richards

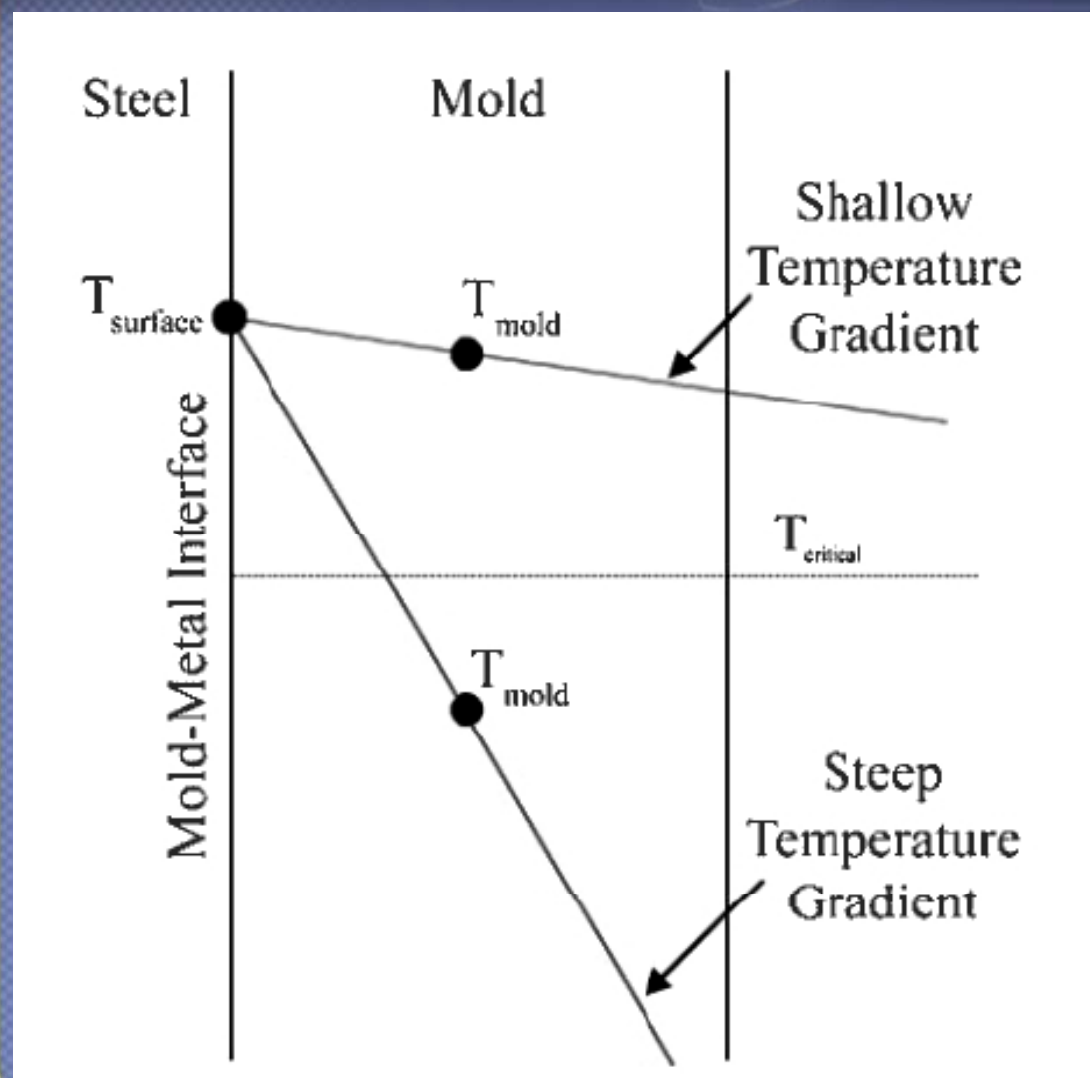
# Metodika predikce hlubokých zapečenin



Kritická teplota - ~40%  
frakce solidu oceli

Obr. Metodika predikce  
vzniku hlubokých zapečenin  
založená na kalkulaci času,  
kdy teplota formy (nejen na  
povrchu) v daném místě  
překročí kritickou teplotu -  
metodika použitá autory C.  
Beckermann, B.E. Brooks, V.  
L. Richards





Obr. Schematické znázornění rozdílu v predikci vzniku připečenin a hlubokých zapečenin na rozhraní forma-kov (rozdíly způsobené odlišným teplotním gradientem formy) - C. Beckermann, B.E. Brooks, V. L. Richards

## Zkušební odlitek

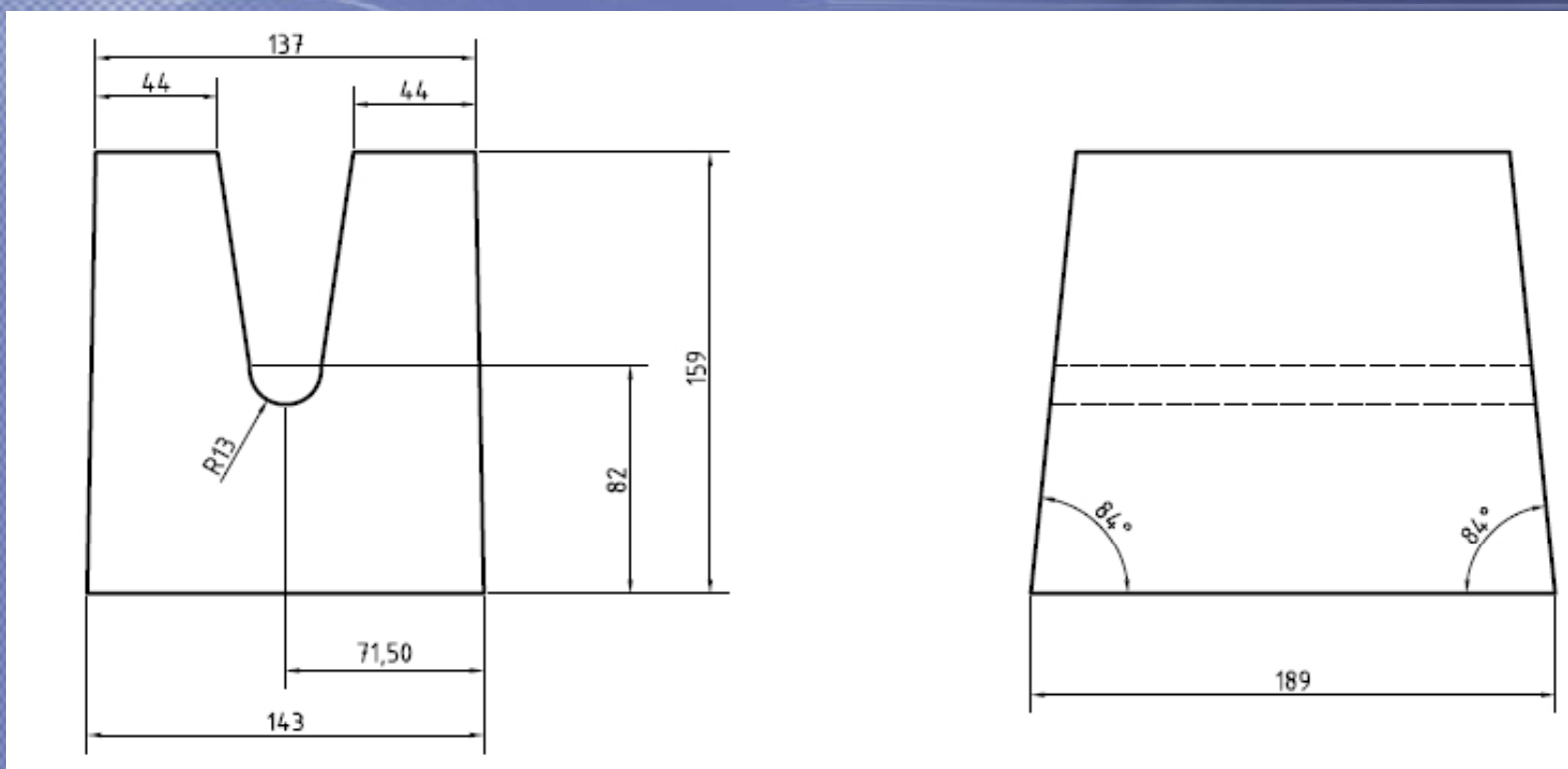
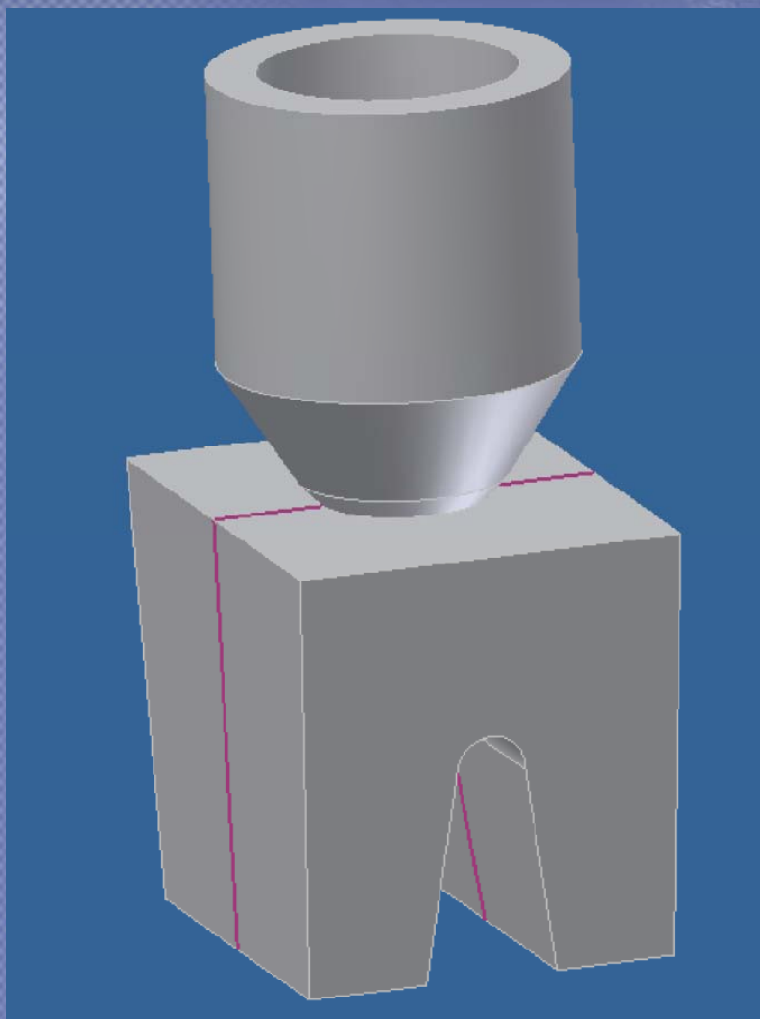


Fig. Modifikovaný zkušební odlitek použitý  
autory C. Beckermann, B.E. Brooks, V. L.  
Richards



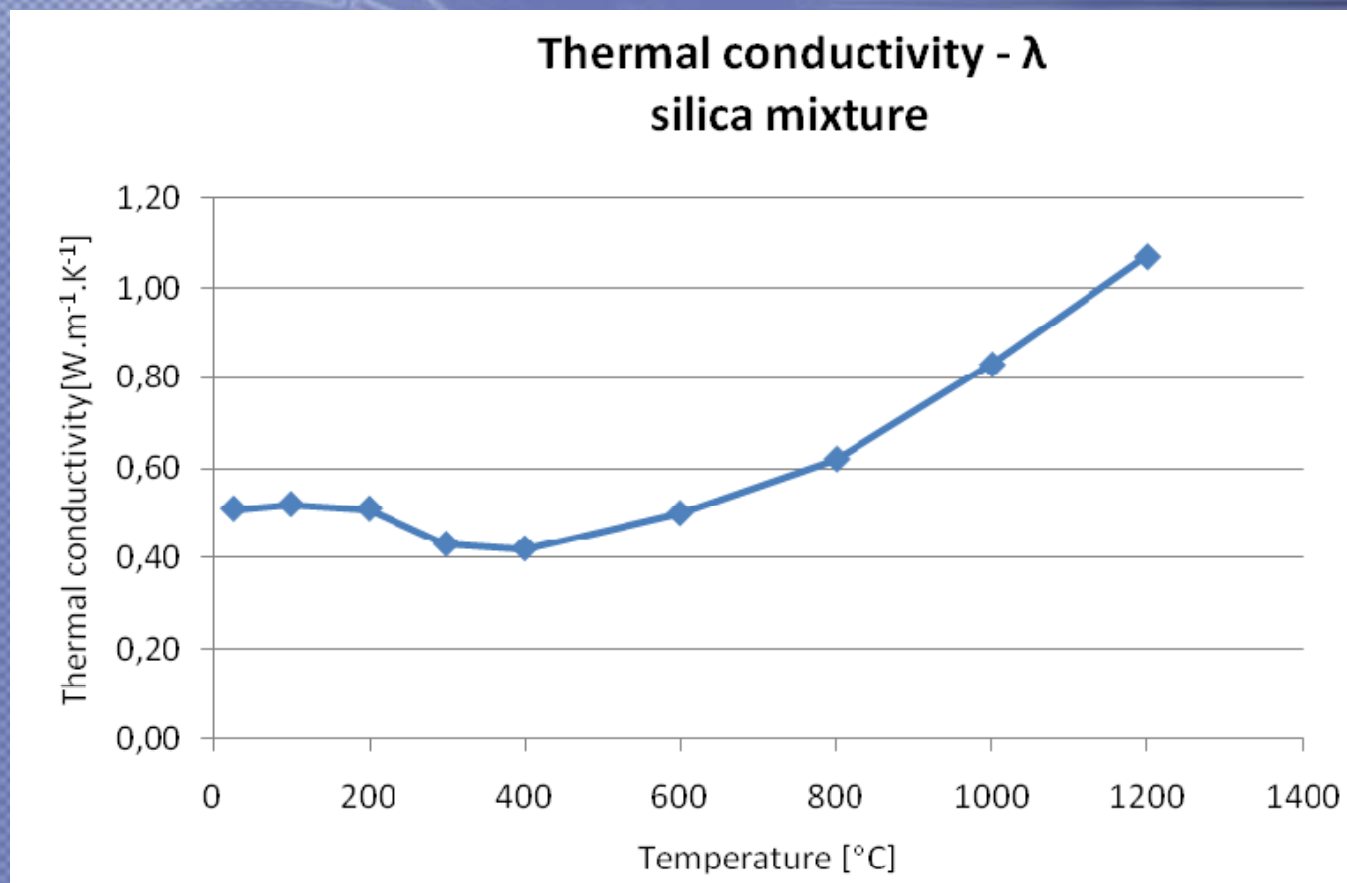


Obr. Model V-Bloku z  
programu SolidWorks  
software

## Použité formovací směsi

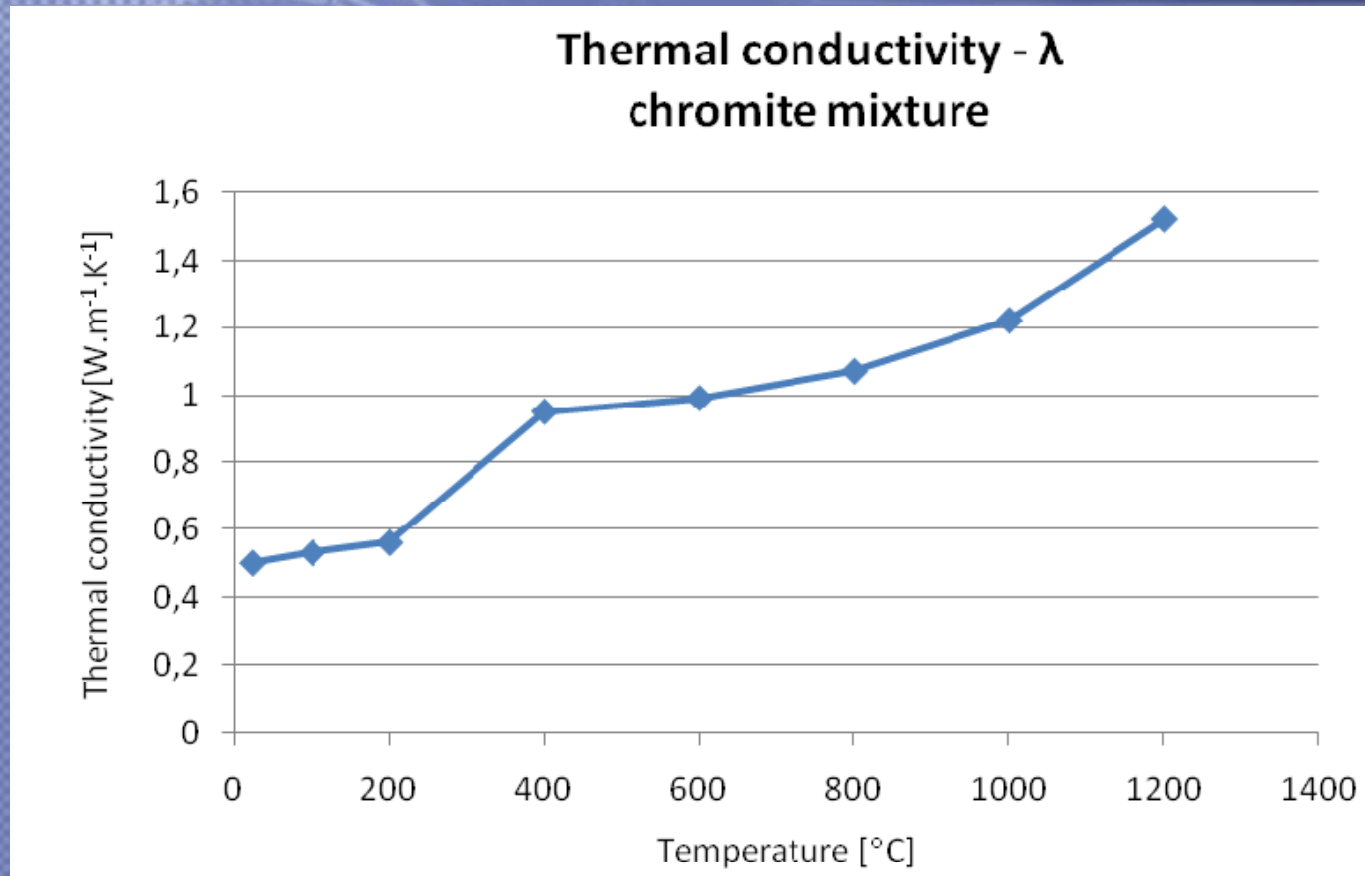
Křemenná formovací směs

Objemová hmotnost 1400 kg/m<sup>3</sup>



## Chromitová formovací směs

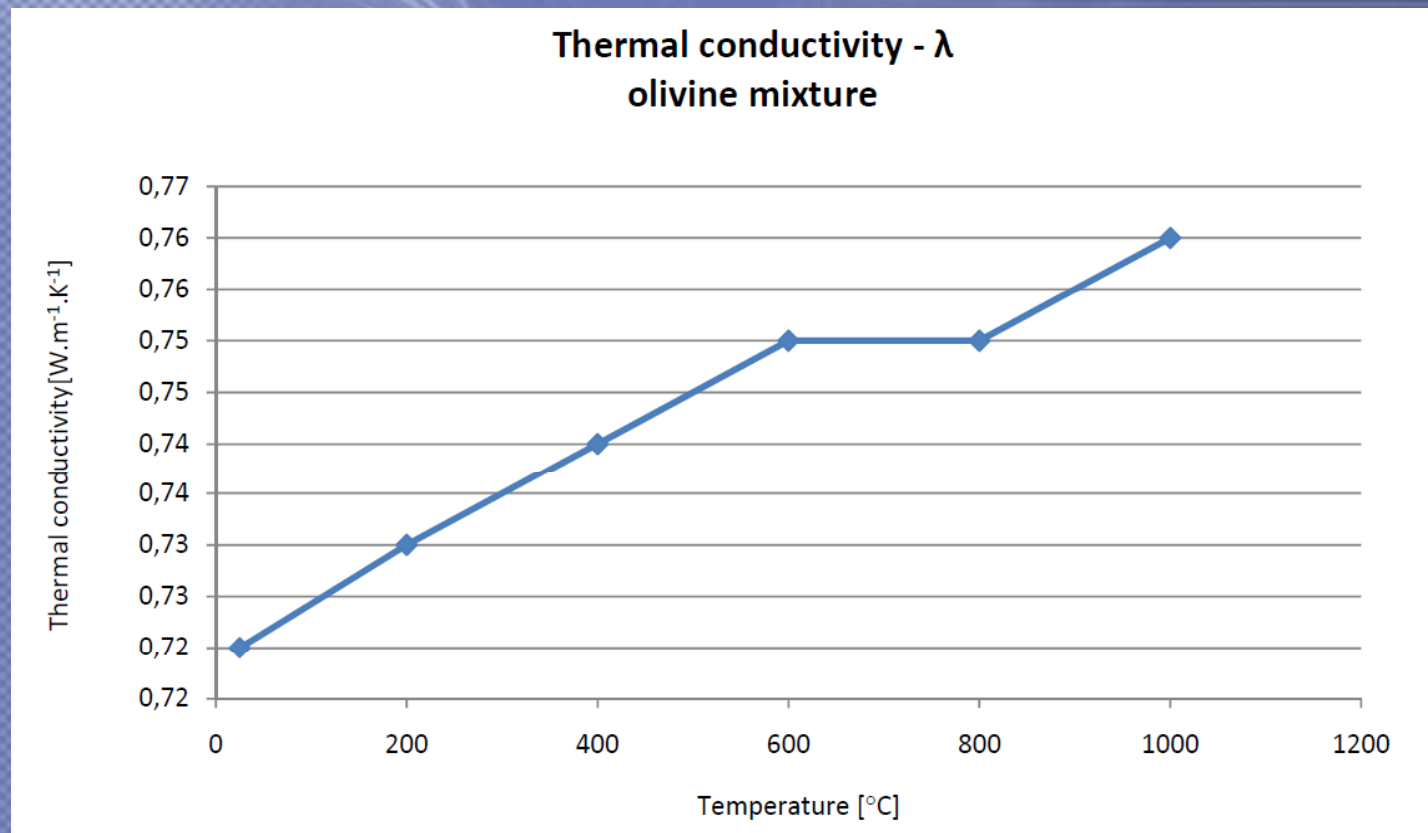
Objemová hmotnost 2800 kg/m<sup>3</sup>





## Olivínové ostřivo

Objemová hmotnost 1830 kg/m<sup>3</sup>



| Forma                                | Teplota<br>[°C] | Tepelná vodivost<br>[W/m.K] | Objemová<br>hmotnost[kg/m <sup>3</sup> ] | Měrné teplo<br>[J/Kg.K] | b <sub>f</sub> formy |
|--------------------------------------|-----------------|-----------------------------|------------------------------------------|-------------------------|----------------------|
| <i>Křemenná<br/>formovací směs</i>   | 100             | 0,520                       | 1400                                     | 953                     | 833                  |
|                                      | 500             | 0,452                       | 1400                                     | 1117                    | 841                  |
|                                      | 1000            | 0,830                       | 1400                                     | 1321                    | 1239                 |
| <i>Chromitová<br/>formovací směs</i> | 23              | 0,500                       | 2800                                     | 540                     | 869                  |
|                                      | 200             | 0,560                       | 2800                                     | 700                     | 1048                 |
|                                      | 600             | 0,990                       | 2800                                     | 870                     | 1553                 |
|                                      | 1000            | 1,220                       | 2800                                     | 950                     | 1801                 |
| <i>Olivínová forma*</i>              | 25              | 0,720                       | 1830                                     | 660                     | 933                  |
|                                      | 200             | 0,730                       | 1830                                     | 850                     | 1066                 |
|                                      | 400             | 0,740                       | 1830                                     | 990                     | 1158                 |
|                                      | 600             | 0,750                       | 1830                                     | 1070                    | 1212                 |
|                                      | 800             | 0,750                       | 1830                                     | 1130                    | 1245                 |
|                                      | 1000            | 0,760                       | 1830                                     | 1180                    | 1281                 |

### Termo-fyzikální data použitá v průběhu simulací

\* v případě olivínové formy byl v průběhu simulací použit rozdílný koeficient přestupu tepla (než v případě křemenné a chromitové směsi)

# Použité materiály odlitku

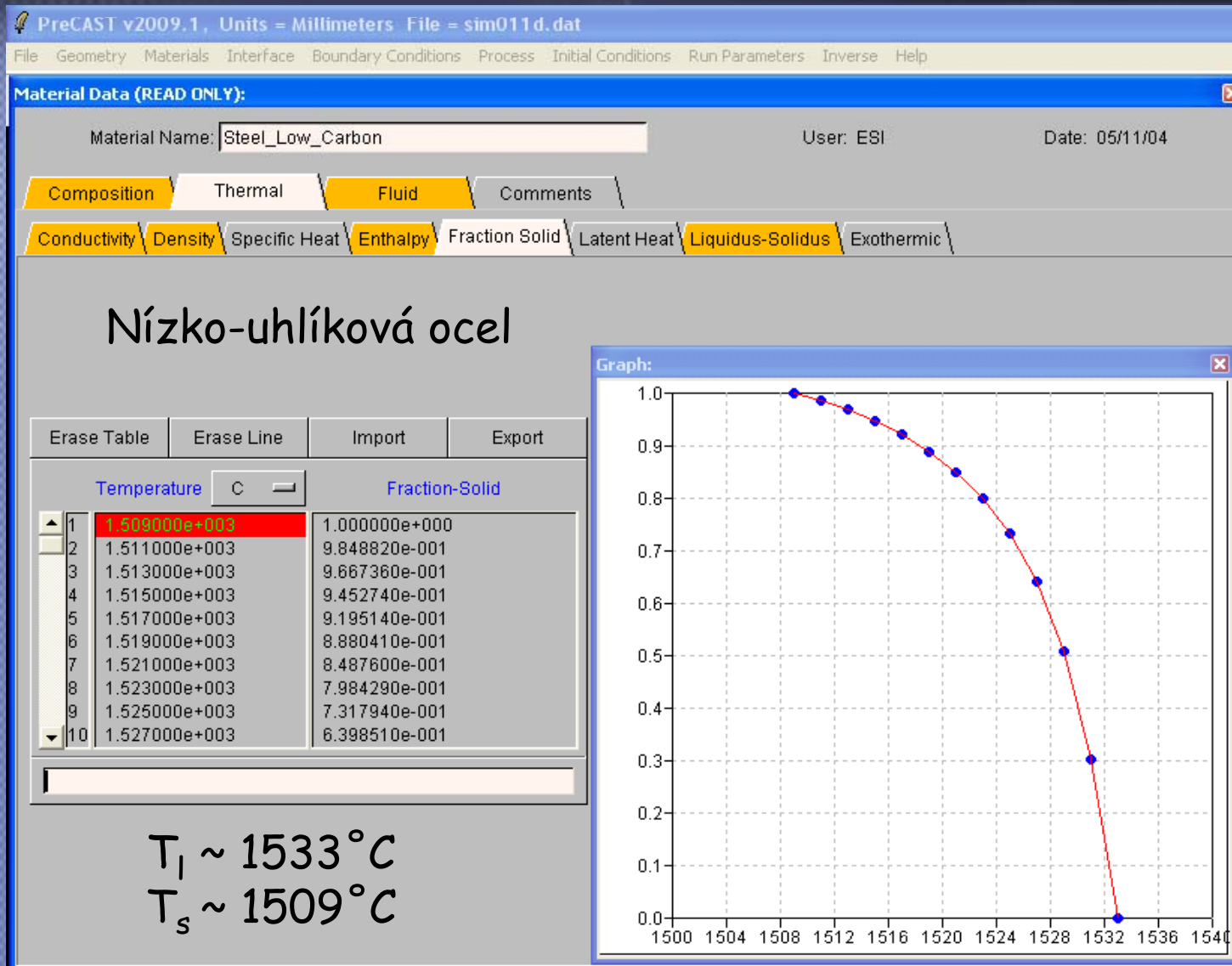
## Nízko-uhlíková ocel

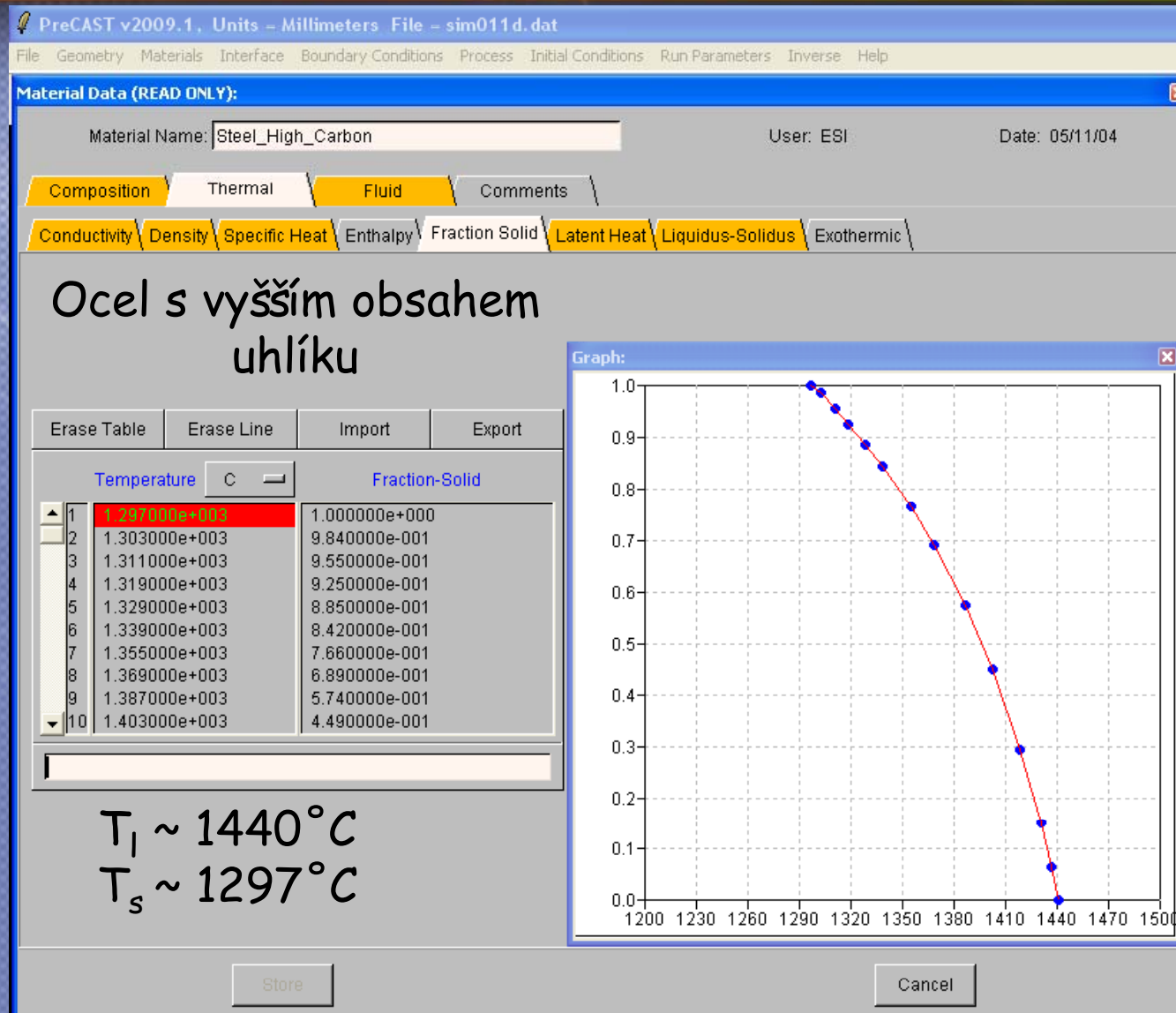
| Prvek [hmot.%] |      |      |       |       |      |       |      |      |       |
|----------------|------|------|-------|-------|------|-------|------|------|-------|
| C              | Si   | Mn   | S     | P     | Cr   | Ni    | Mo   | Cu   | Al    |
| 0,06           | 0,01 | 0,38 | 0,035 | 0,017 | 0,02 | 0,055 | 0,03 | 0,08 | 0,001 |

## Ocel s vyšším obsahem uhlíku

| Prvek [hmot.%] |      |      |       |       |      |      |
|----------------|------|------|-------|-------|------|------|
| C              | Si   | Mn   | S     | P     | Cr   | Ni   |
| 1,22           | 0,16 | 0,35 | 0,015 | 0,009 | 0,11 | 0,13 |

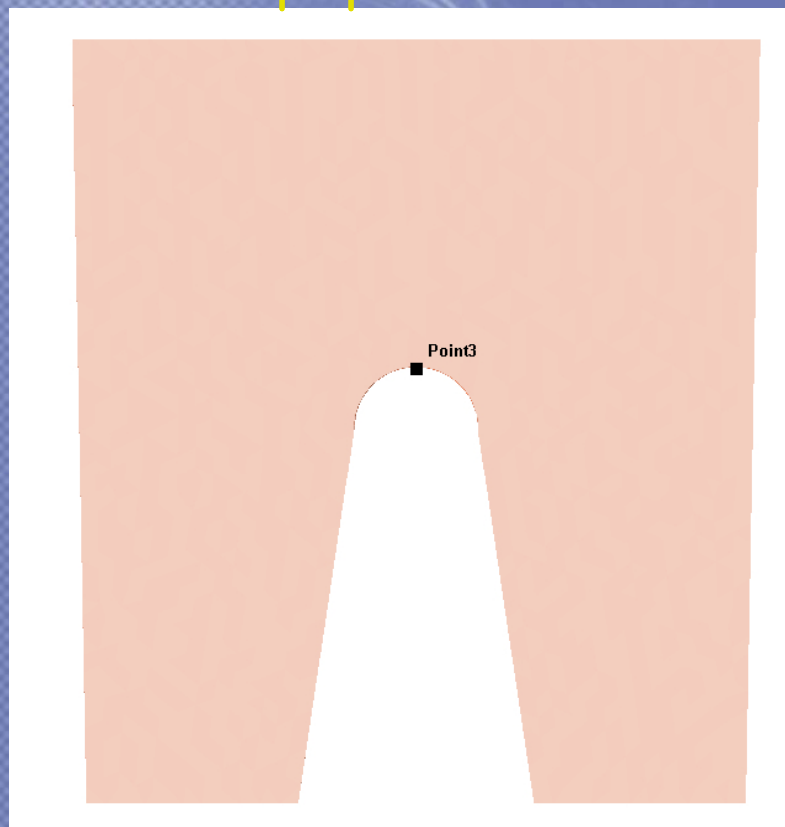




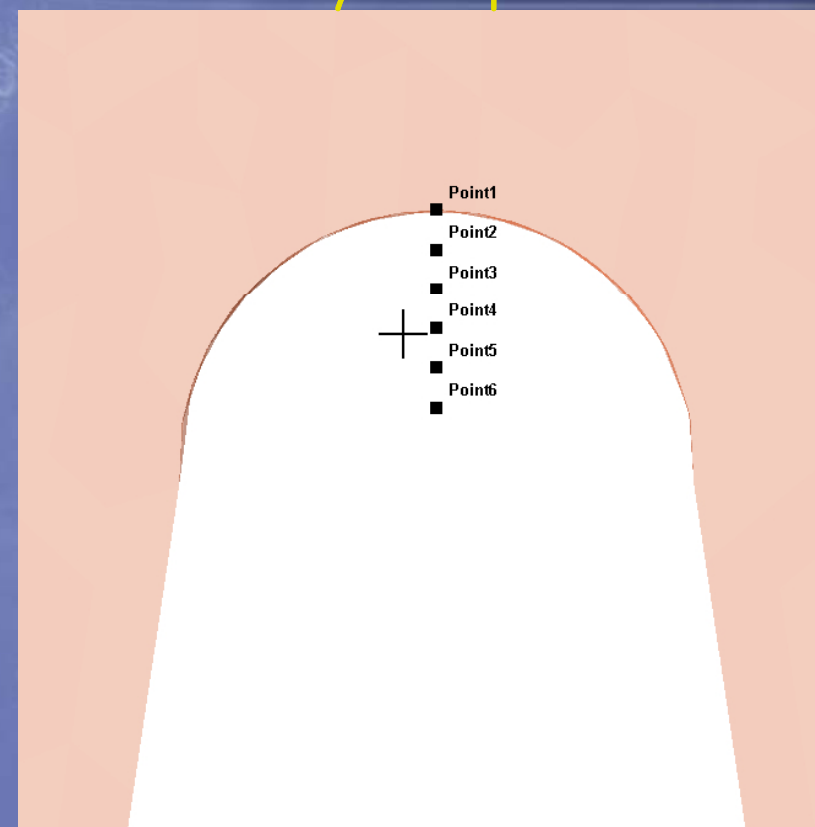


# Výsledky simulací

Křivky z predikce vzniku  
přípečenin

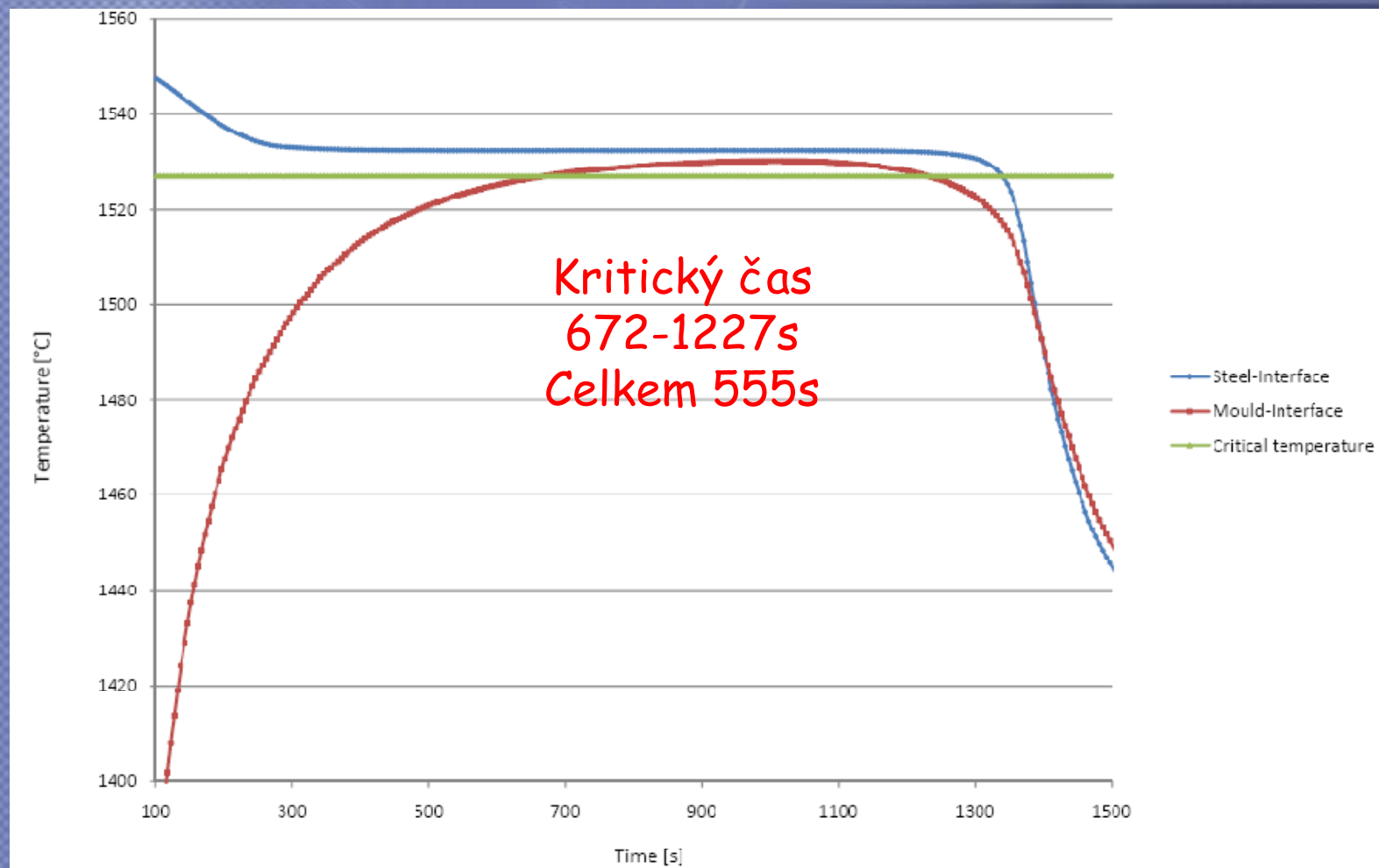


Křivky z predikce vzniku  
hlubokých zapečenin

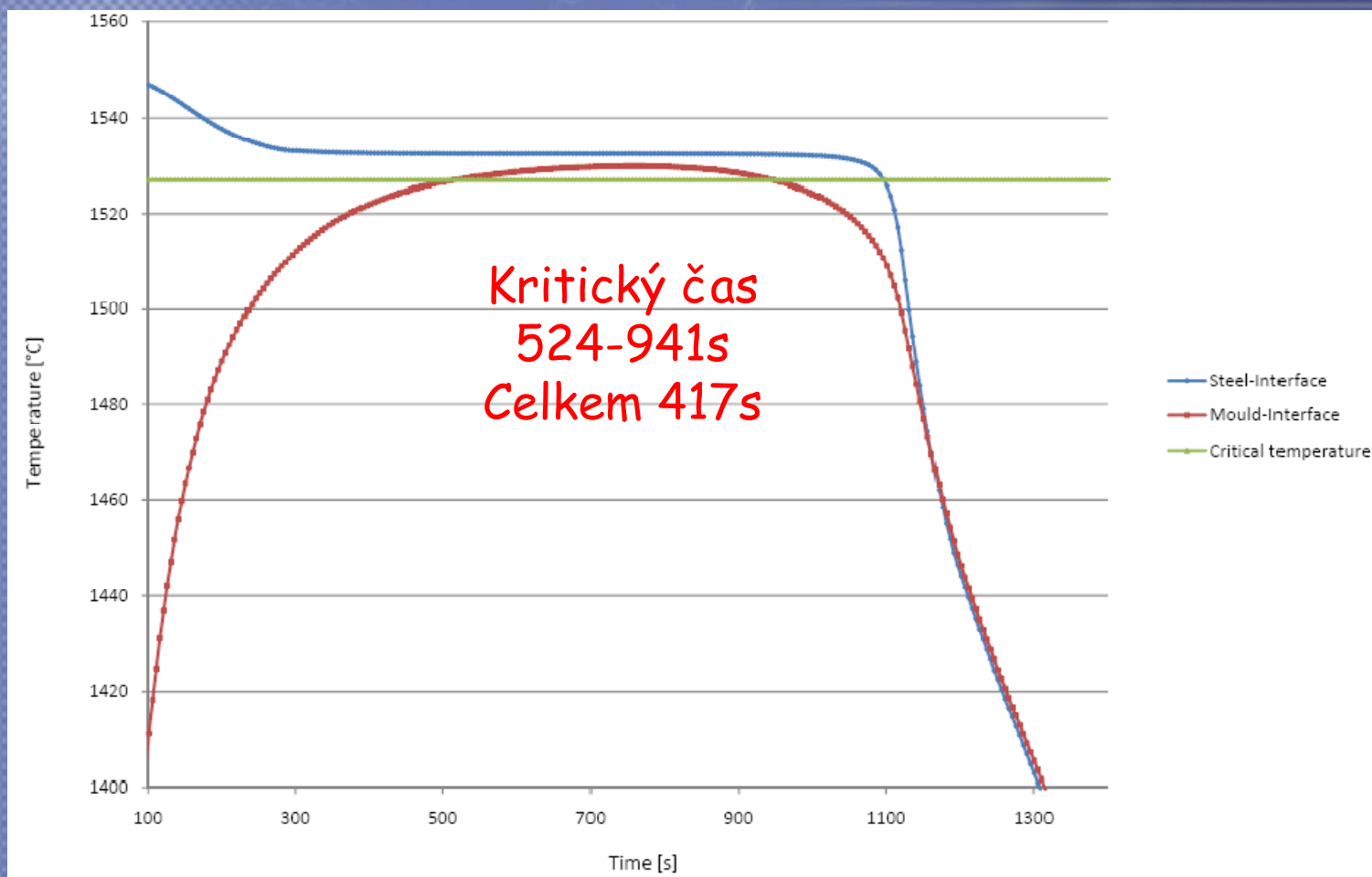




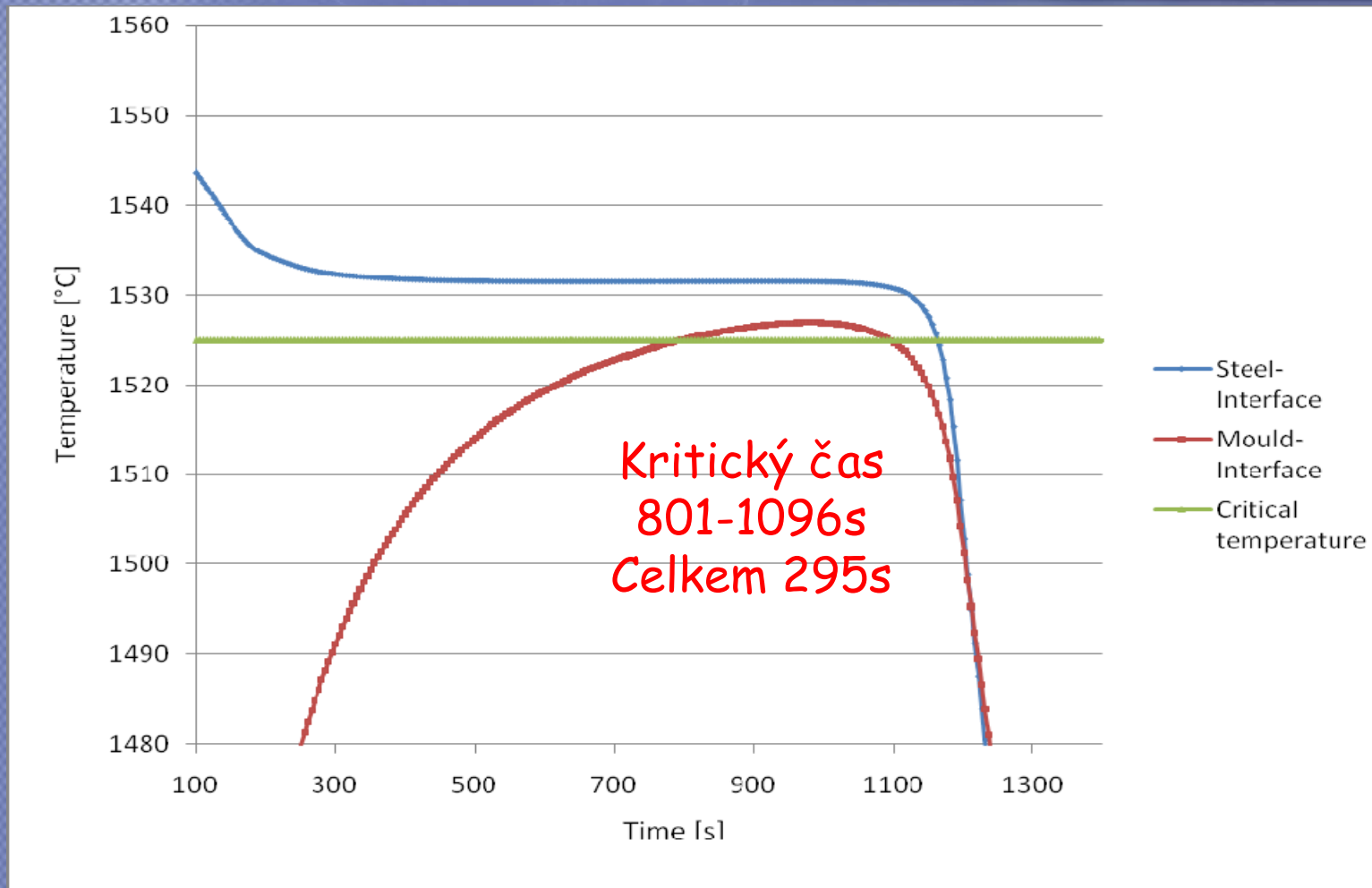
## Křemenná formovací směs- nízkouhlíková ocel



## Chromitová formovací směs- nízkouhlíková ocel

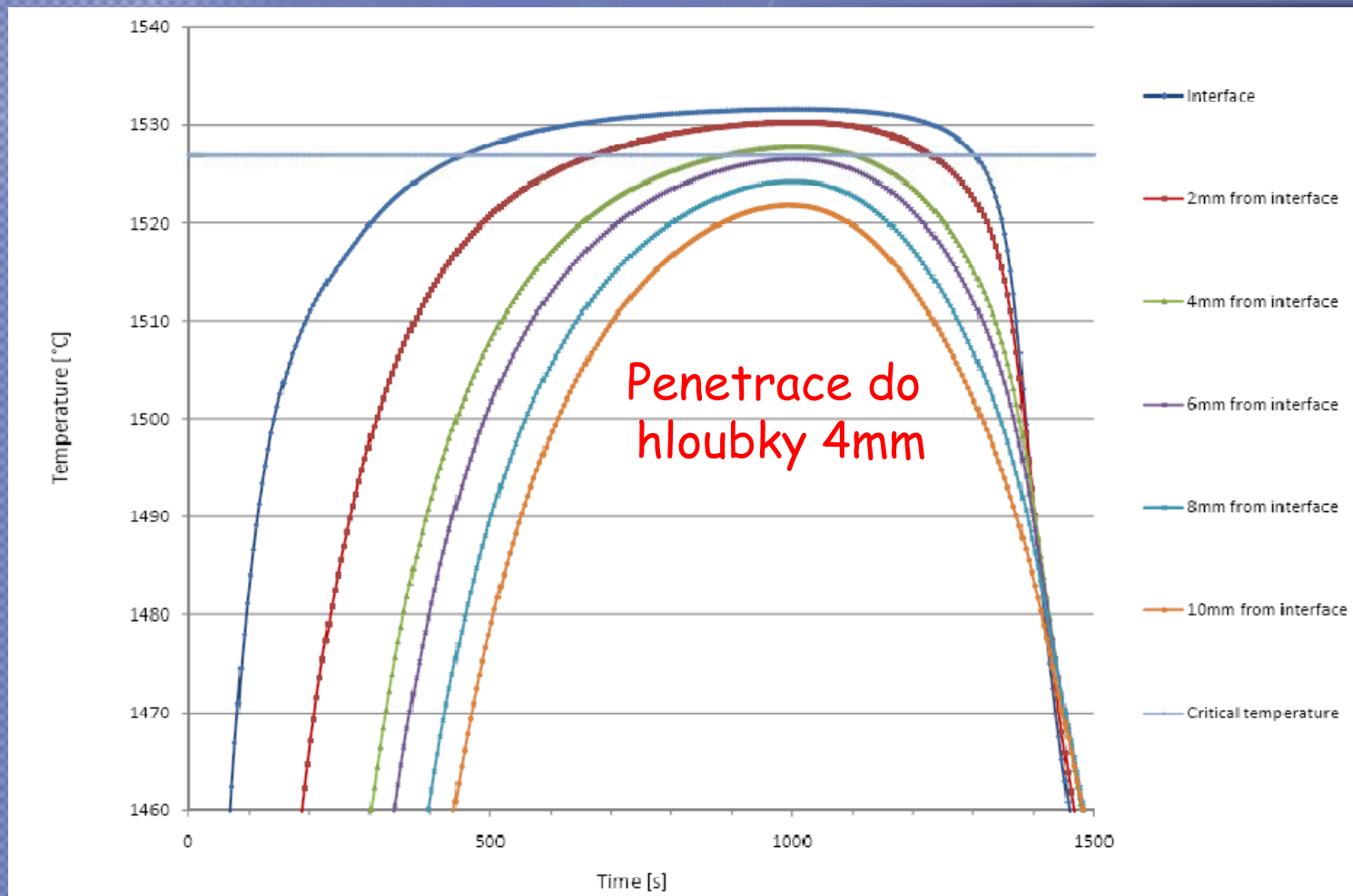


## Olivínová forma- nízkouhlíková ocel

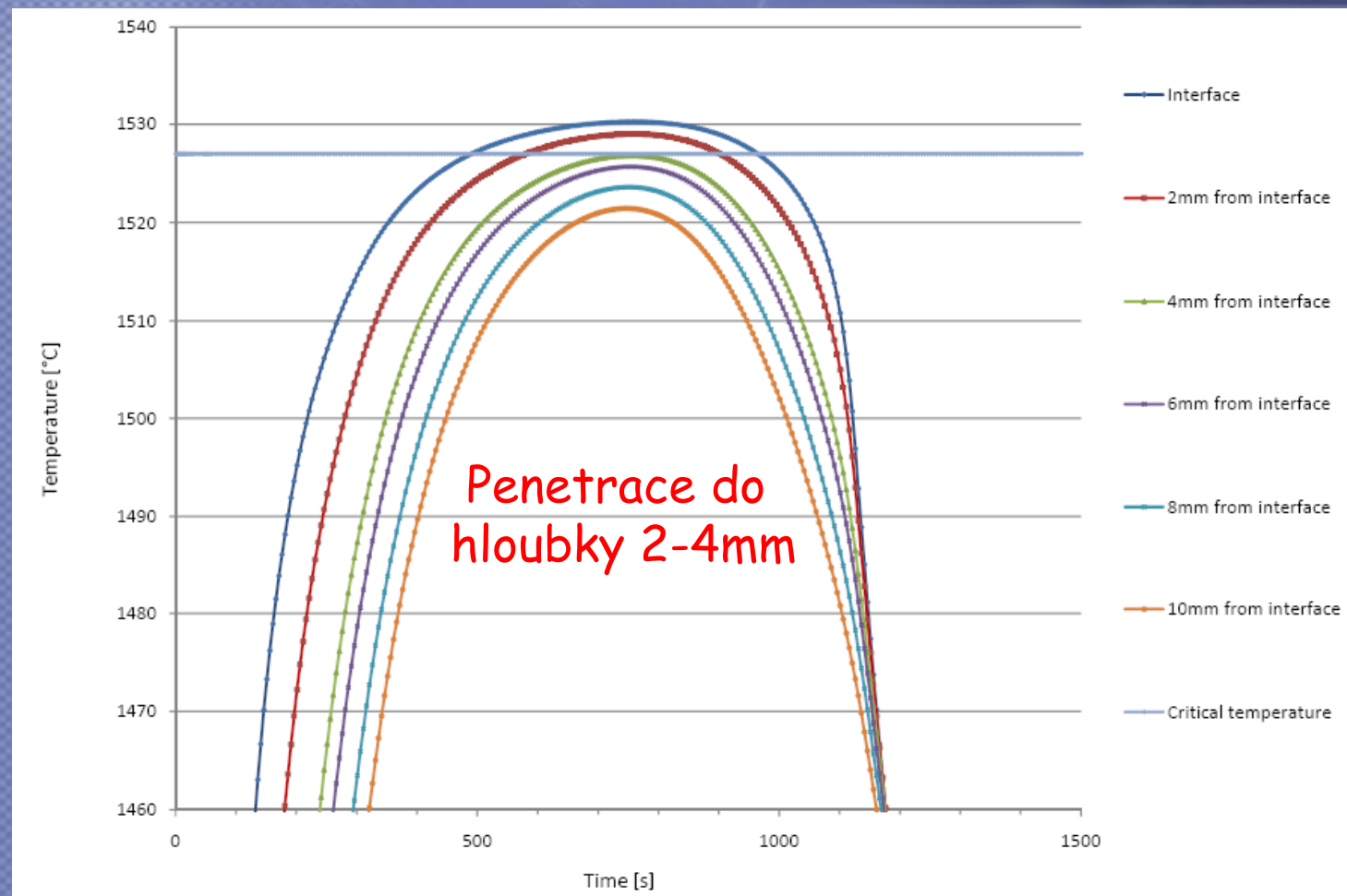




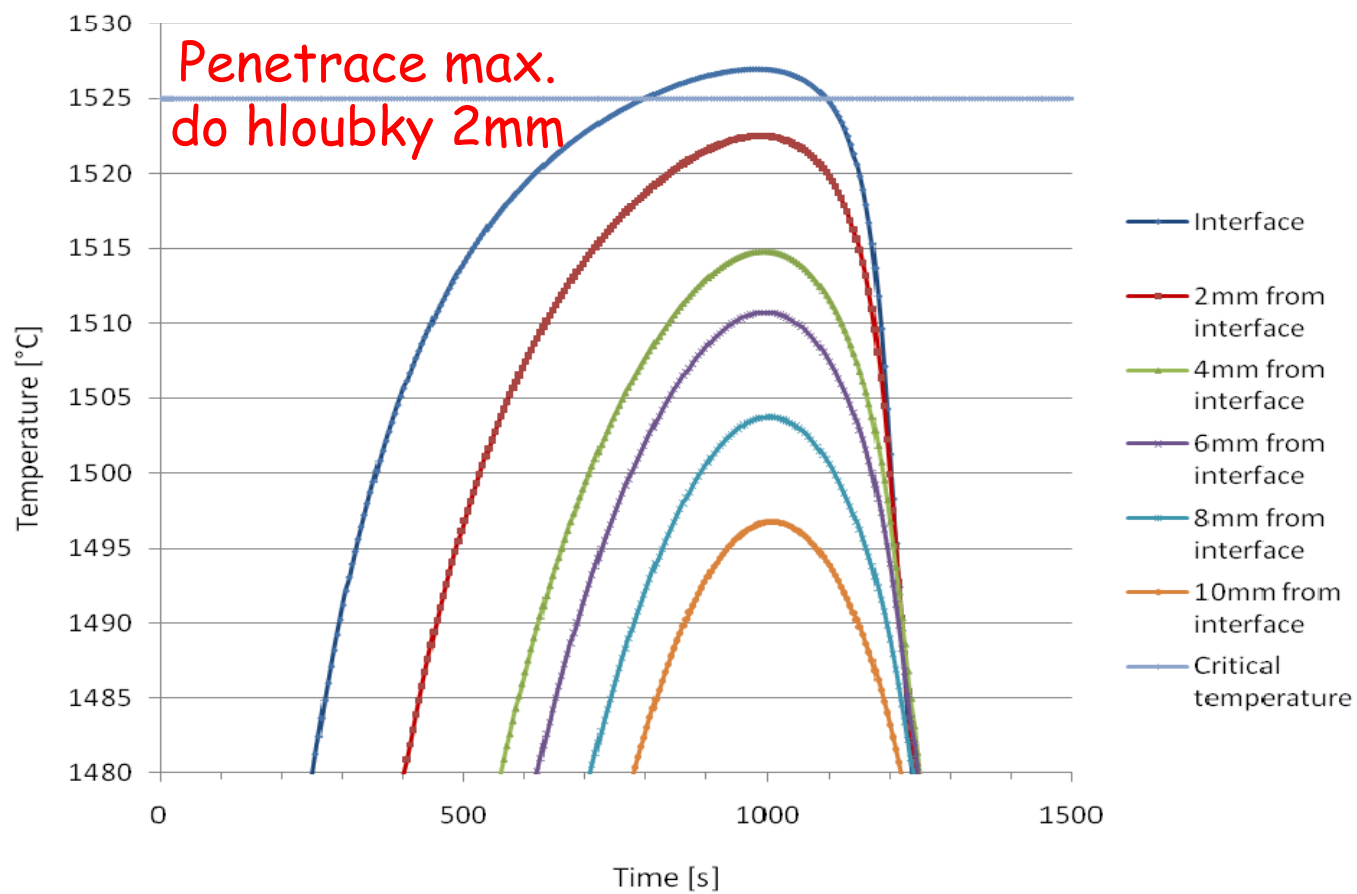
## Křemenná formovací směs- nízkouhlíková ocel



## Chromitová formovací směs- nízkouhlíková ocel



## Olivínová forma- nízkouhlíková ocel





## Teplotní kritérium- Ocel s vyšším obsahem uhlíku

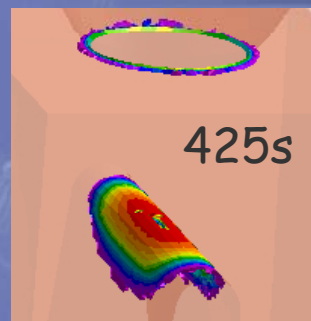
Licí teplota  
1490°C

Křemenná  
formovací směs

Start



Maximum



Konec



Kritický čas  
124-1025s  
Celkově 901s

Chromitová  
formovací směs

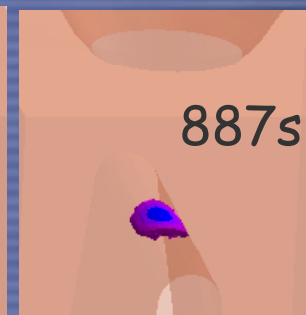
237s



512s



887s



Kritický čas  
237-887s  
Celkově 650s

Olivínová  
forma

339s



541s



889s



Kritický čas  
339-889s  
Celkově 550s

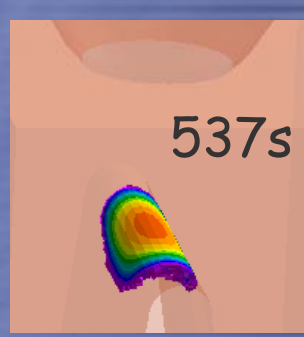
Teplotní kritérium- Ocel s vyšším obsahem uhlíku

Licí teplota  
1490°C

Křemenná  
formovací směs



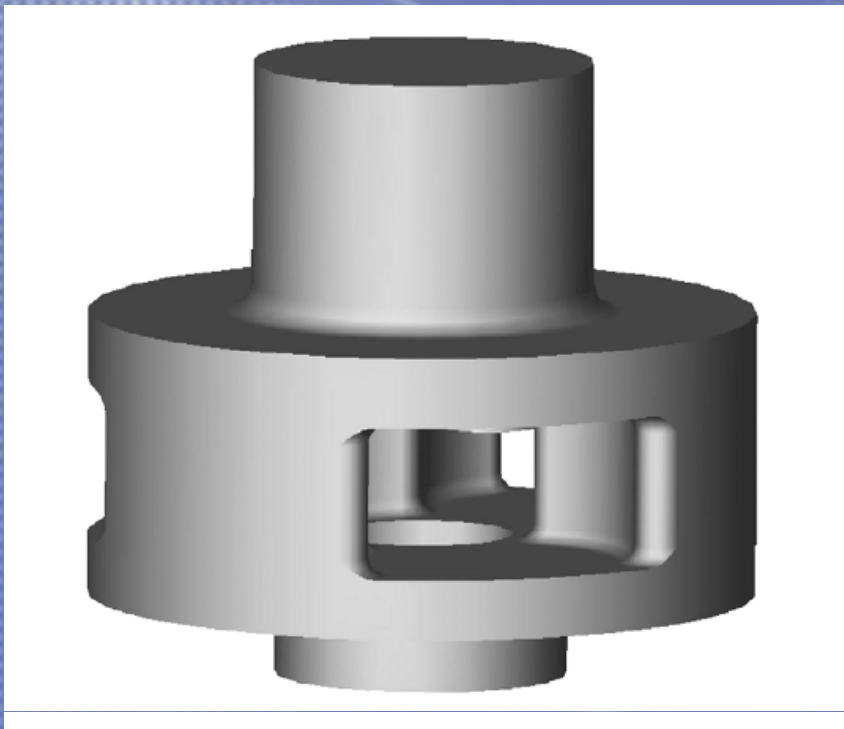
Chromitová  
formovací směs



Olivínová  
forma



## Případová studie

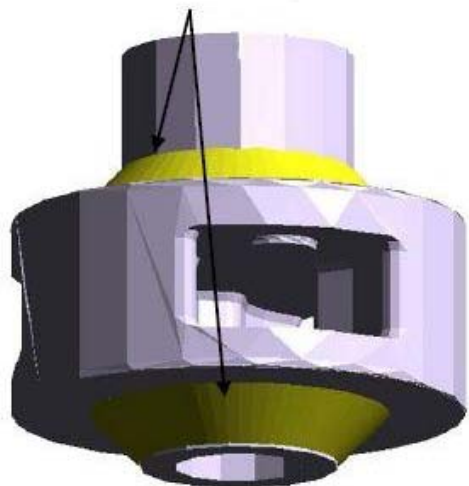


- Materiál odlitku: C19Mn5
- Forma: Křemen a Chromit
- Jádro: Křemen
- Licí teplota: 1580°C
- Likvidus: 1501°C
- Solidus: 1462°C
- Kritická teplota: 1465°C  
(koresponduje s 80%  
frakce solidus)
- Licí hmotnost: 2559 kg

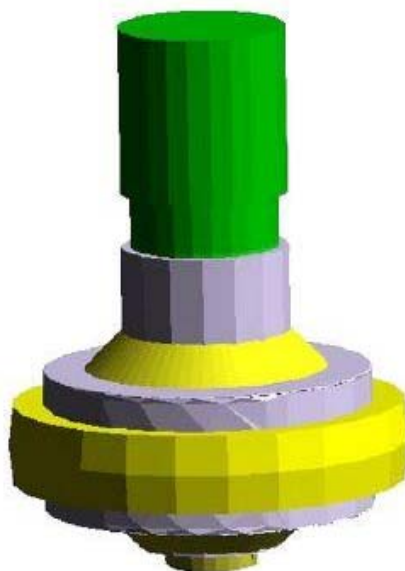


## Technologie

Chromitové prstence



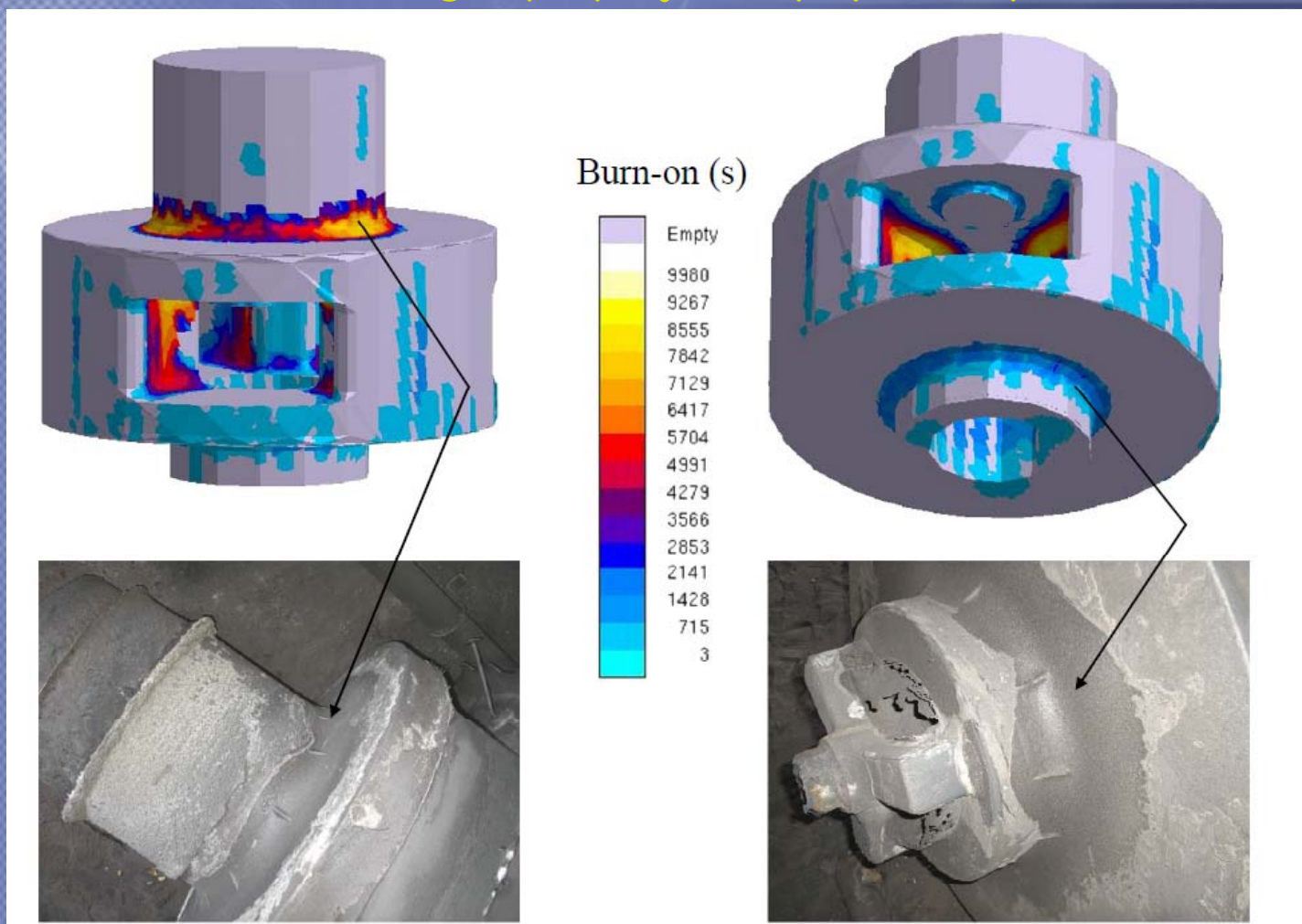
Jádra a nálitek



Izolace a vtokový systém

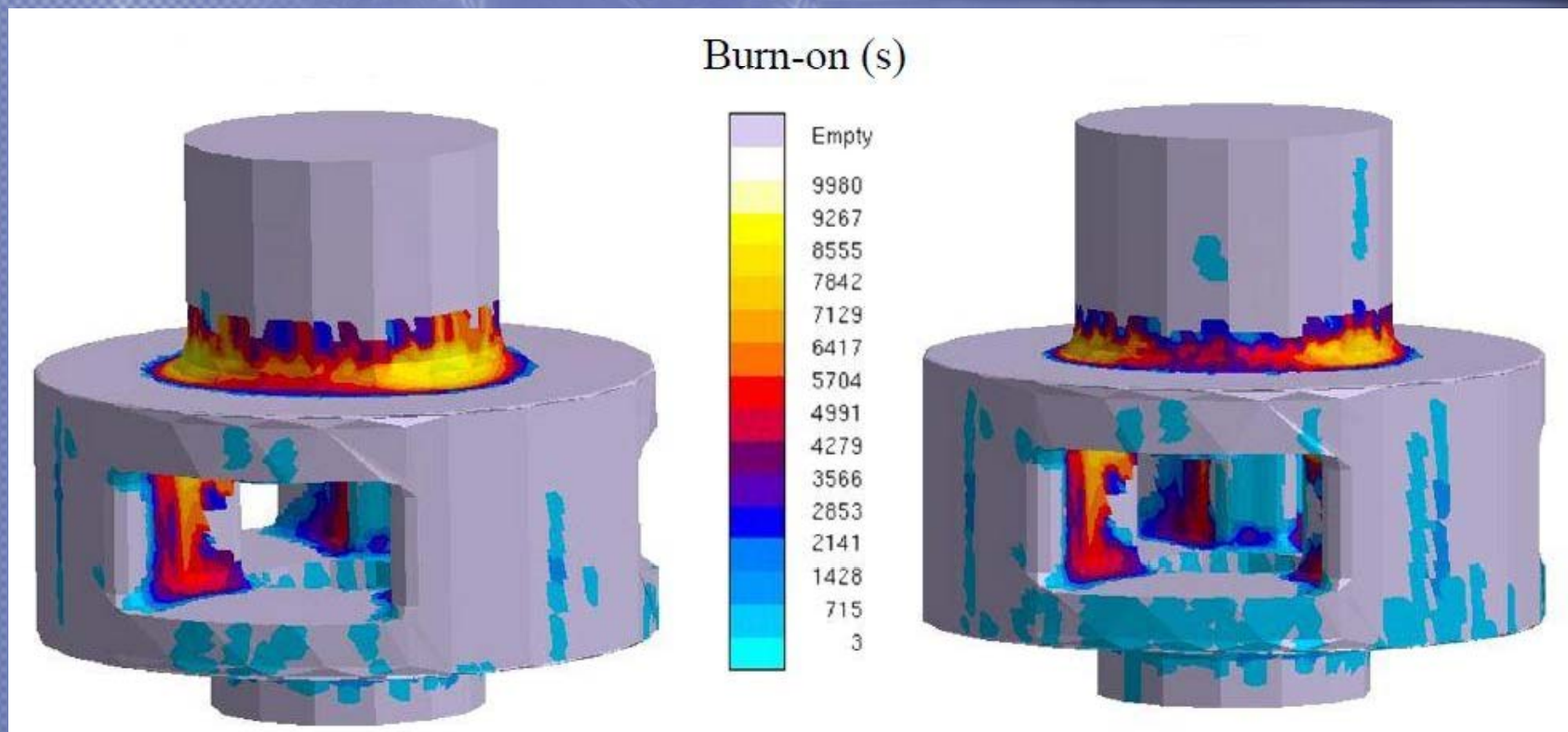


Přidání chromitových prstenců vyřešilo v původní technologii vyskytující se připečeniny

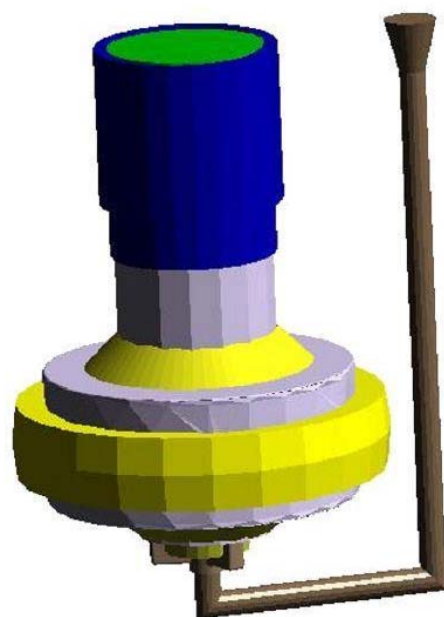




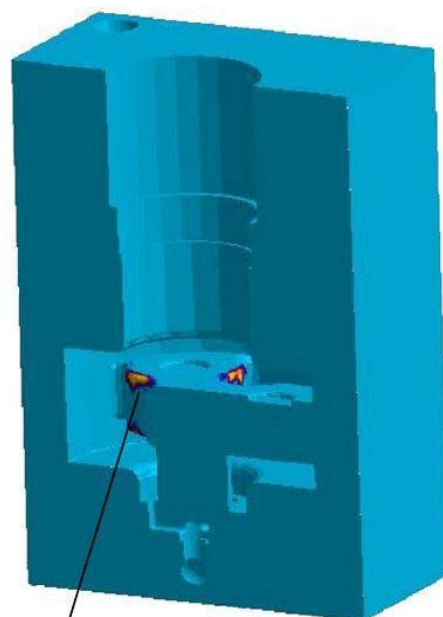
Vliv přidání lící vrstvy chromitového ostřiva na predikované  
kritické časy vzniku připečenin,  
maximální čas vzniku připečenin je snížen přibližně o 20%



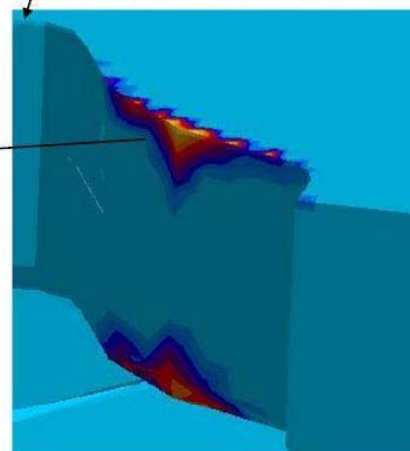




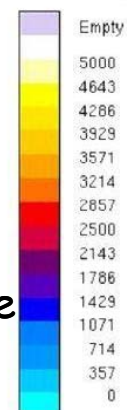
Reálná penetrace



Predikovaná penetrace



Penetrace (s)



Porovnání  
predikované  
a  
pozorované  
penetrace  
(hluboké zapečnění)

## Literatura

- [1] B.E. Brooks, C. Beckermann, V. L. Richards. Prediction of burn-on and mould penetration in steel casting using simulation, International Journal of Cast Metals Research, 2007, Vo.20, No.4, pp. 177-190.
- [2] International Committee of Foundry Technical Association. International Atlas of Casting Defects, Vol.2, 1993, ISBN 0-87433-053-X.
- [3] Elbel, T. a kol. Atlas vad odlitků ze slitin železa, 1.vydání 1992, MATECS Brno.
- [4] V. L. Richards and R. Monroe: Proc. Steel Founders' Soc. Am. 52nd Ann. Tech. Operat. Conf., Chicago, IL, USA, November, 1999, SFSA.