



Výroba skla a termické metódy

PETER VRÁBEL

RONA, a.s., Lednické Rovne, SK-02061, Slovensko

vrabel@rona.sk,



RONA, a.s.

- Automatické tvarovanie „ťahanej nohy“ v technológii dvojnásobného fúkania (simulácia ručnej výroby)
- Automatické tvarovanie a opracovanie „veľkých kusov“ s hrúbkou ústneho okraja do 4 mm (simulácia ručnej výroby)
- Laserové odtavenie ústneho okraja pred vychladením výrobku



glass & inspiration
glass & inspiration **glass** & inspiration

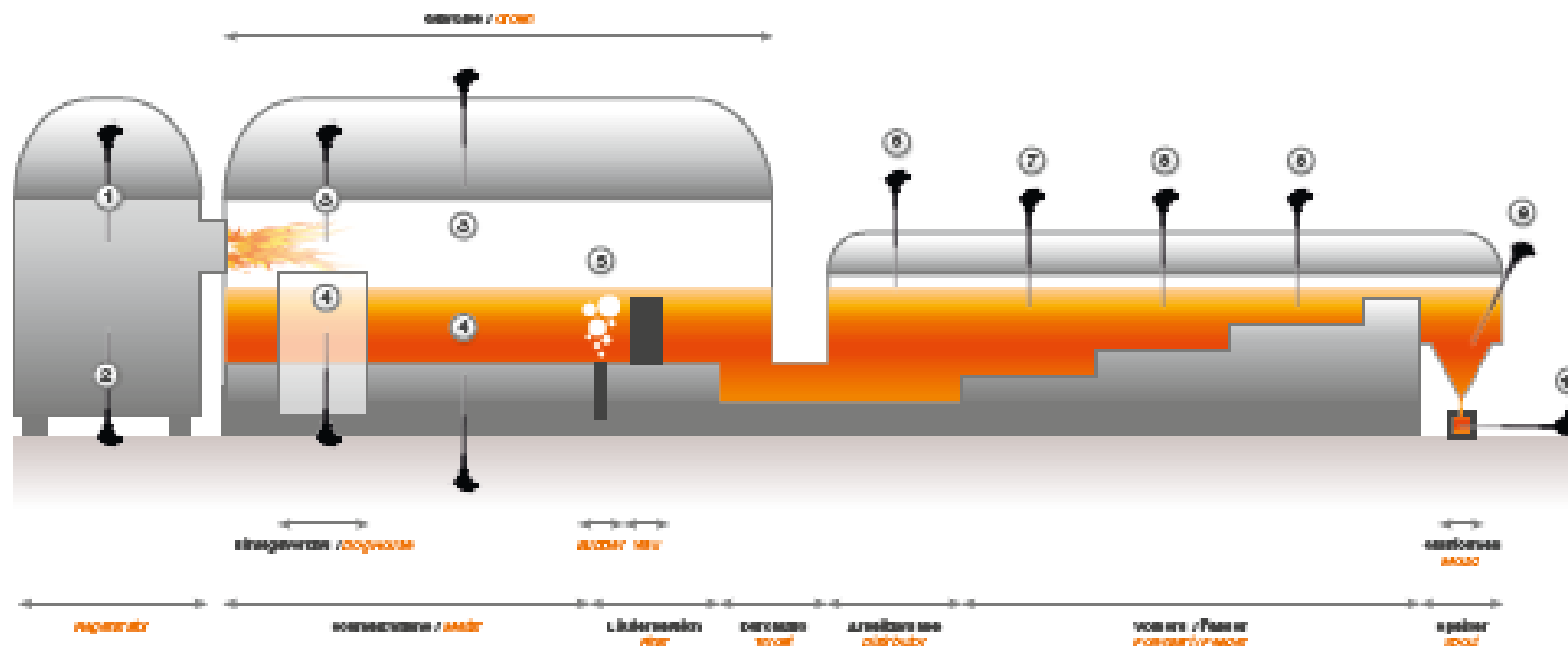


Podnadpis:

**APLIKÁCIE TERMICKÝCH METÓD PRI
VÝROBE ÚŽITKOVÉHO SKLA**

Meranie teploty a jej využitie

Termočlánky





Meranie teploty a jej využitie

Termočlánky



**Pre rekupeátor
/Ni-Cr/**



**Pre vrchná
stavba
(atmosféra)**



**Pre dno v
žiaromateriáli
(Pt)**



**Pre výtokovú
misu (Pt)**



Meranie teploty a jej využitie

Termočlánky

Technické údaje

Hlavica

typ A DIN 43 729, hliníkový tlakový odliatok, Pg 16, IP 54, teplota okolia -20...+100°C
Upozornenie: redukovaná teplota okolia pri nasadení prevodníkov (viď typový list 95.6045/95.6540)

Procesné pripojenie

závit G1
príruba Ø 22mm, DIN 43 734
príruba Ø 32mm, DIN 43 734

Ochranná trubka

oceľ 1.4762, Ø 22mm, merací rozsah do +1150°C (po dĺžke zváraná)
oceľ 1.4841, Ø 22mm, merací rozsah do +1150°C (bezošvová ťahaná)
keramika KER 610, Ø 15mm, Ø 24mm, merací rozsah do +1300°C
keramika KER 710, Ø 15mm, Ø 24mm, merací rozsah do +1600°C

Teplomerová vložka

Termopár izolovaný:
1 x Fe-CuNi "J", DIN EN 60 584, tr. 2, merací rozsah -200...+600°C
1 x Fe-CuNi "L", DIN 43 710, tr. 2, merací rozsah -200...+600°C
1 x NiCr-Ni "K", DIN EN 60 584, tr. 2, merací rozsah -200...+1200°C
1 x Pt10Rh-Pt "S", DIN EN 60 584, tr. 2, merací rozsah 0...1300°C
1 x Pt30Rh-Pt6Rh "B", DIN EN 60 584, tr. 2, merací rozsah 600...1600°C
2 x Fe-CuNi "J", DIN EN 60 584, tr. 2, merací rozsah -200...+600°C
2 x Fe-CuNi "L", DIN 43 710, tr. 2, merací rozsah -200...+600°C
2 x NiCr-Ni "K", DIN EN 60 584, tr. 2, merací rozsah -200...+1200°C
2 x Pt10Rh-Pt "S", DIN EN 60 584, tr. 2, merací rozsah 0...1300°C
2 x Pt30Rh-Pt6Rh "B", DIN EN 60 584, tr. 2, merací rozsah 600...1600°C

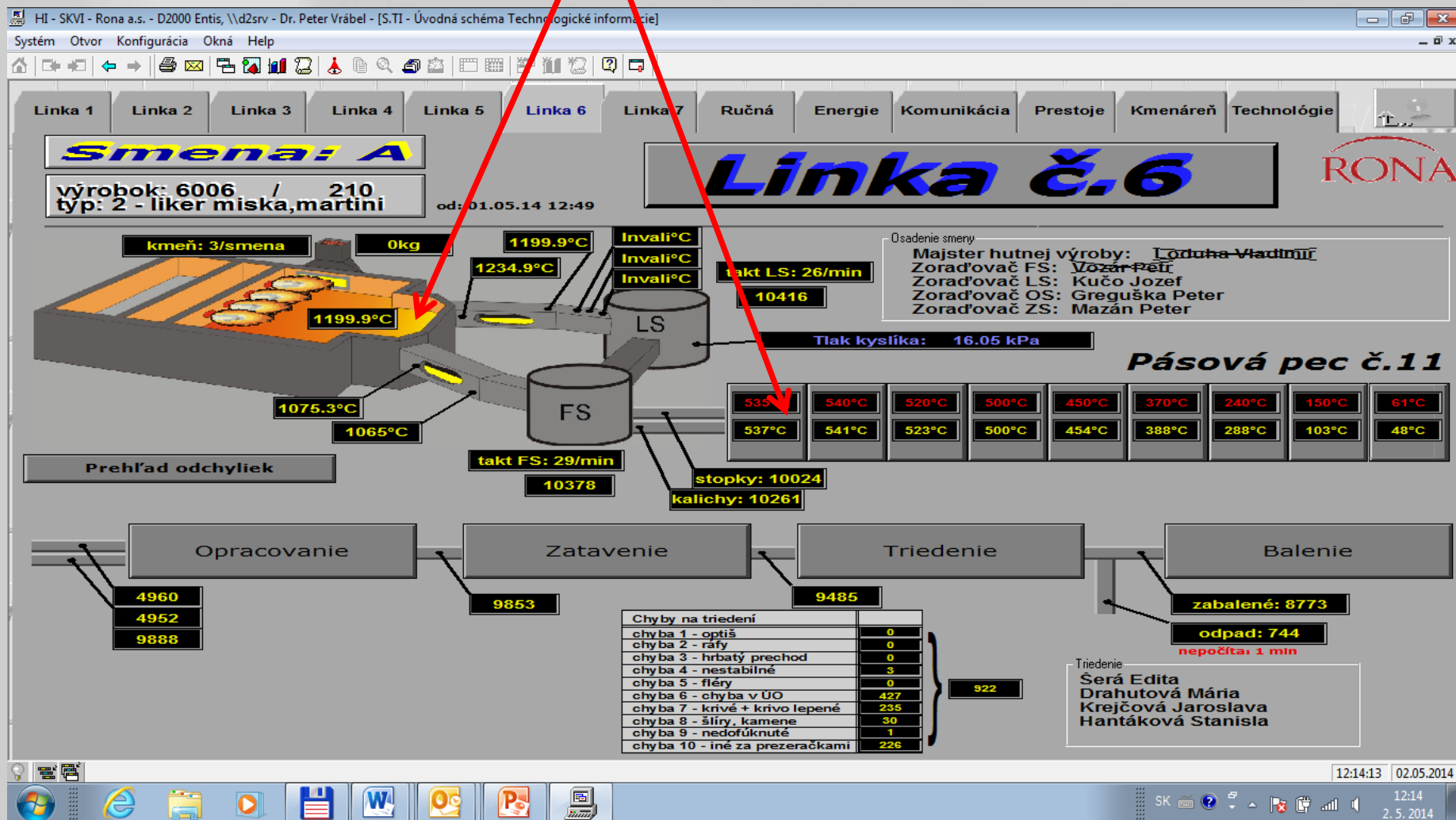
TAVIACA PEC - ATMOSFÉRA

TAVIACA PEC - DNO

PáSOVÉ CHLADIACE PECE

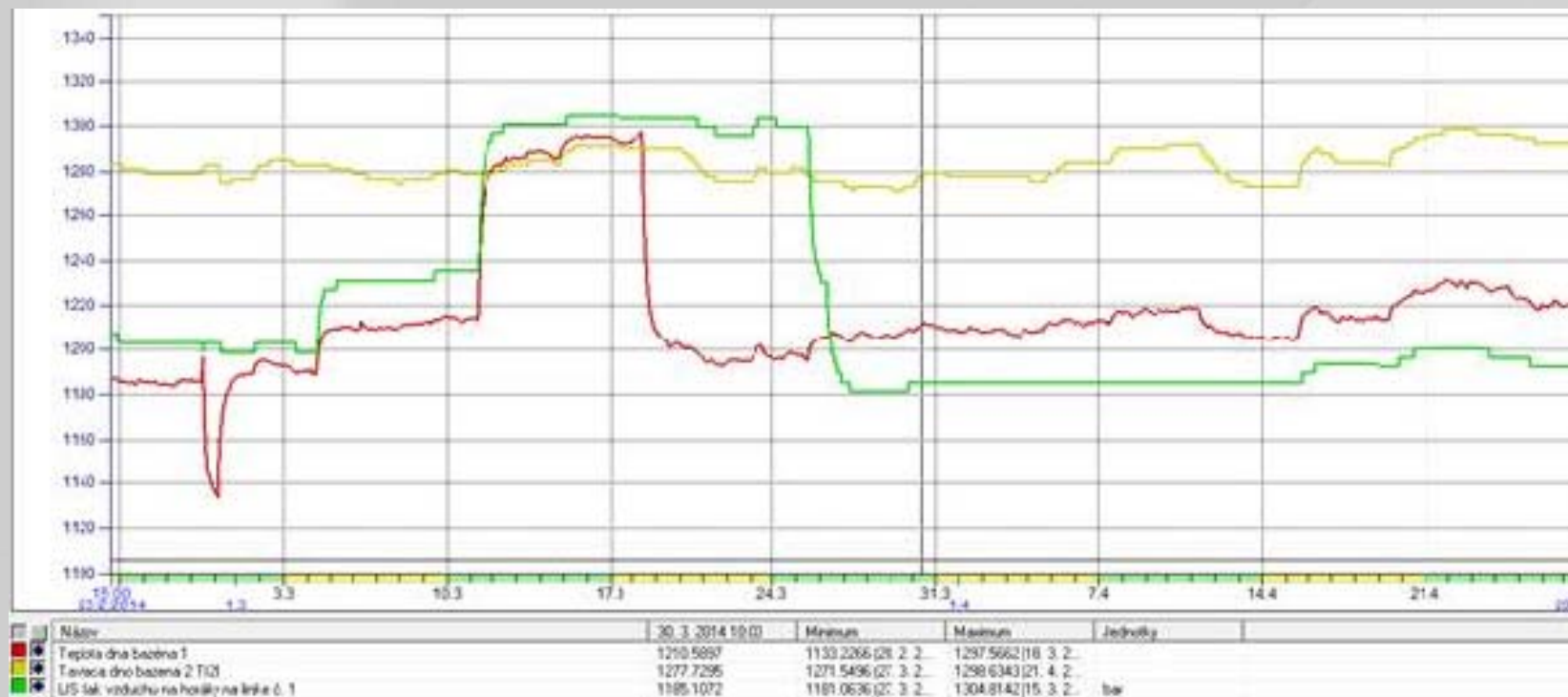
Meranie teploty a jej využitie

Termočlánky



Meranie teploty a jej využitie

Termočlánky – evidencia teploty dna pri tavení

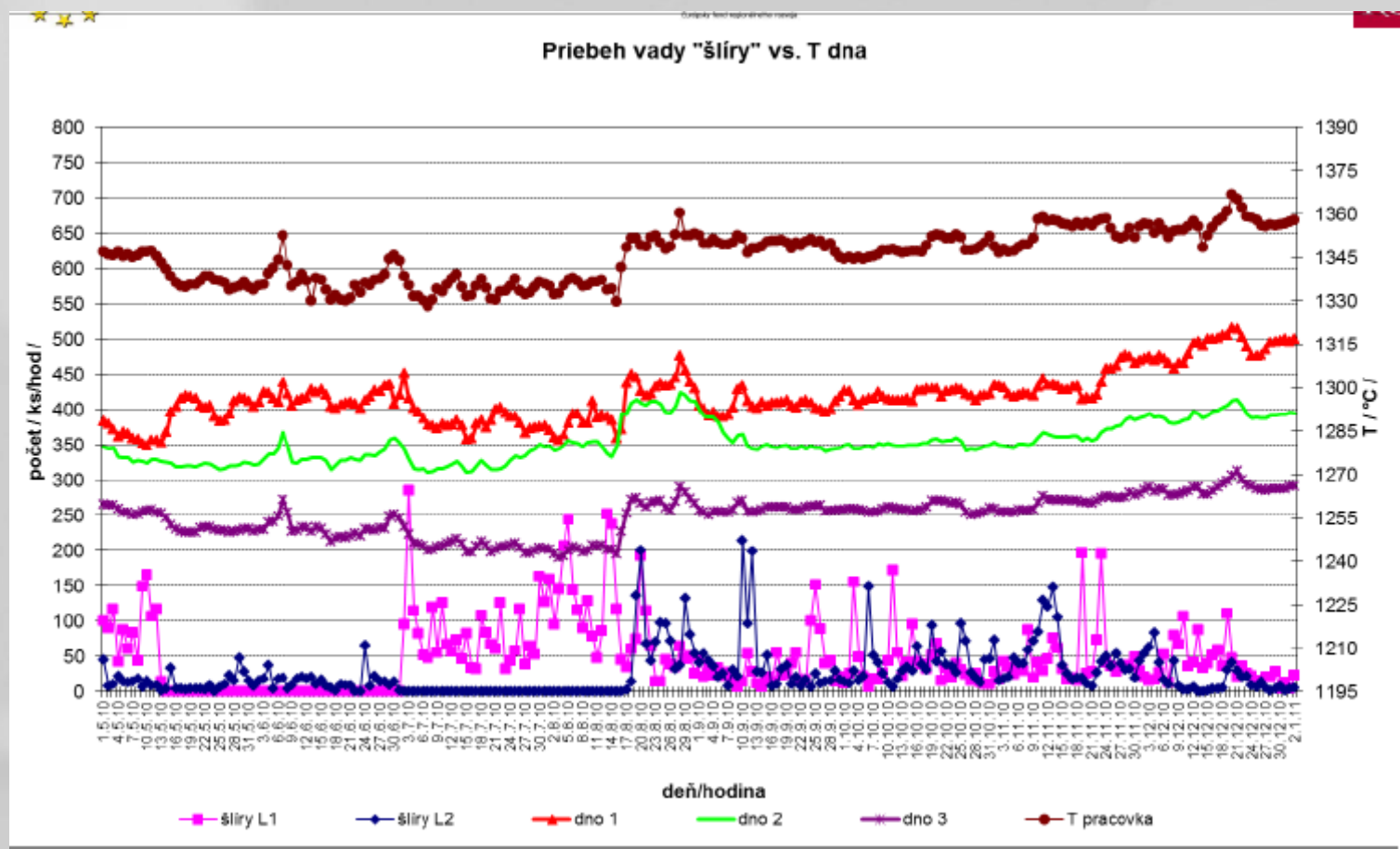


Zelená farba: časový priebeh teploty meraného zatečeným termočlánkom (sklo) v súčinnosti so zmenou intenzity tavenia

**Pomocné
radiace teploty**

Meranie teploty a jej využitie

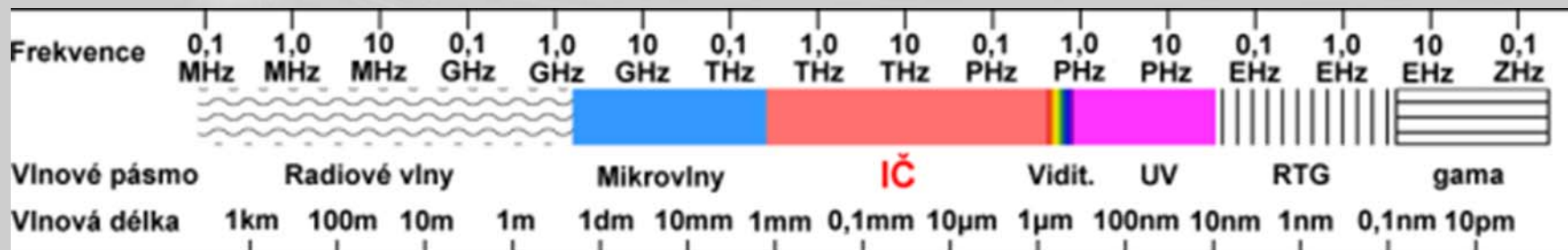
Termočlánky – evidencia teploty dna pri tavení (analýza)



Meranie teploty a jej využitie

Bezdotykové meranie teploty

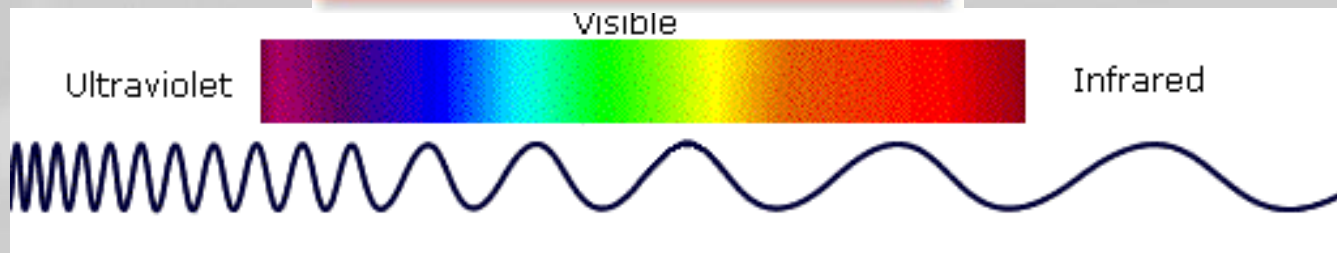
- V rozsahu od -40°C vyššie vyžaruje každý predmet infračervené žiarenie o vlnovej dĺžke od $0,8$ do $30\text{ }\mu\text{m}$.
- Princíp činnosti bezdotykového merania teploty – využíva sa snímanie vyžarovania tepelného žiarenia v infračervenej oblasti meraného telesa.



Meranie teploty a jej využitie

Bezdotykové prístroje a systémy merania teploty

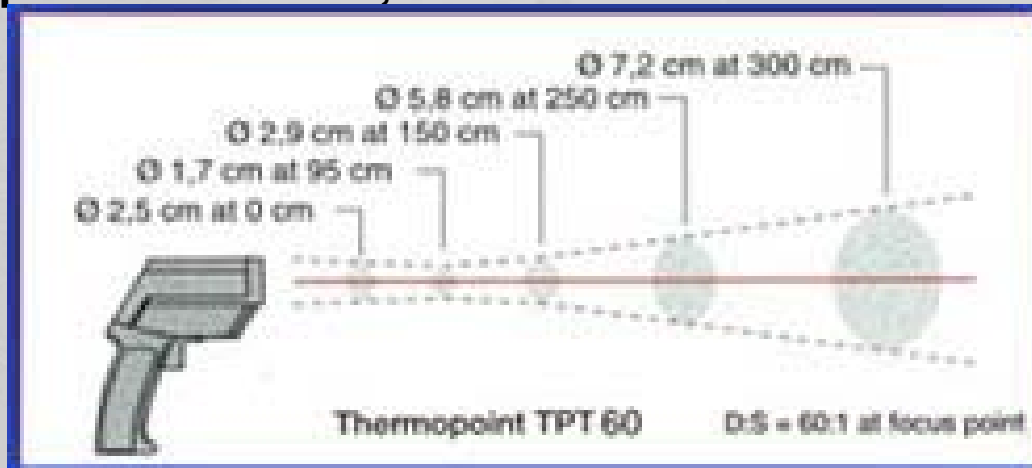
- Pyrometre – ručné alebo stacionárne
- Termovízne systémy – prenosné alebo stacionárne



Meranie teploty a jej využitie

Pyrometre

- prístroje, ktoré určujú teplotu snímaním len jedného optického bodu,
- veľkosť tohto bodu je závislá na optických vlastnostiach daného pyrometra
- rôzne typy pyrometrov merajú teploty v rozsahu od -20 do $3000\text{ }^{\circ}\text{C}$ s presnosťou do $1,5\%$.



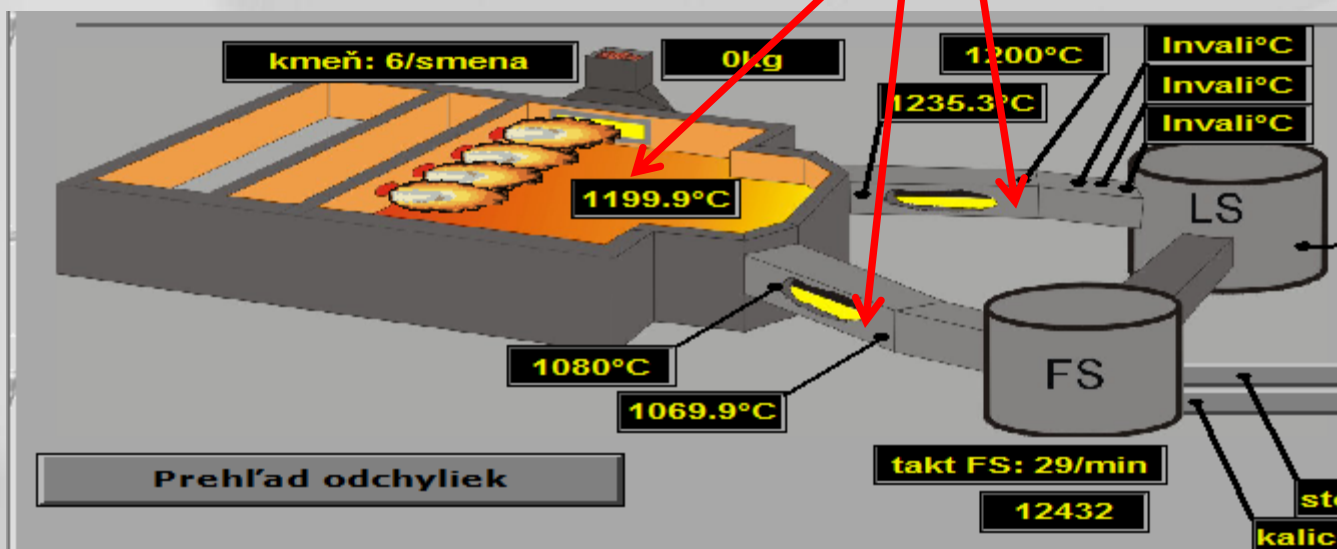
Radiačné pyrometre využívajú celého spektra. Základ tvoria tepelné snímače.

Spektrálne pyrometre využívajú žiarenie úzkej časti spektra alebo jednej vlnovej dĺžky. Ku svojej činnosti využívajú kvantové snímače.

Farbové pyrometre vyhodnocujú zmenu farby meraného telesa s teplotou. Pracujú s kvantovými snímačmi rôznych typov.

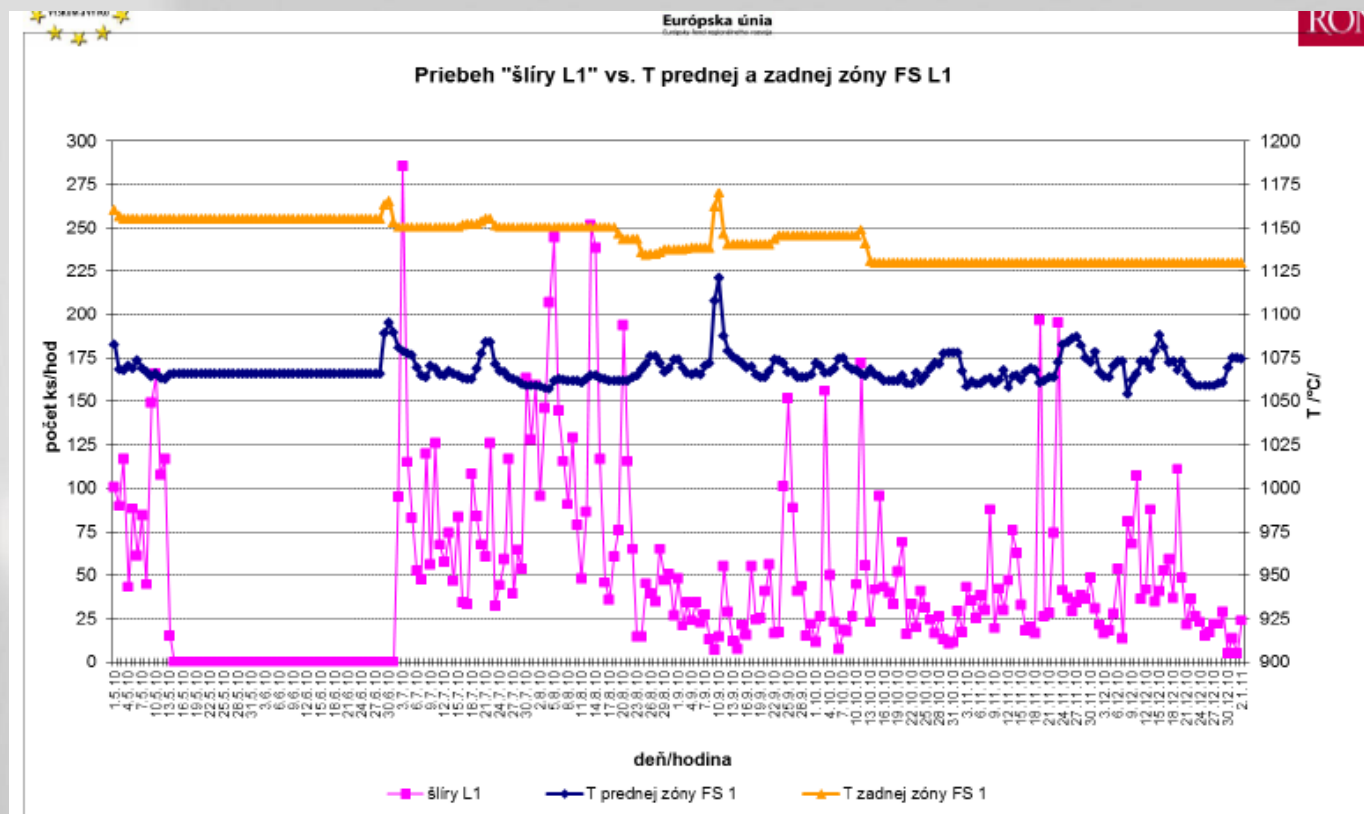
Meranie teploty a jej využitie

Pyrometre – meranie teploty v žlaboch taviacej pece (riadenie)



Meranie teploty a jej využitie

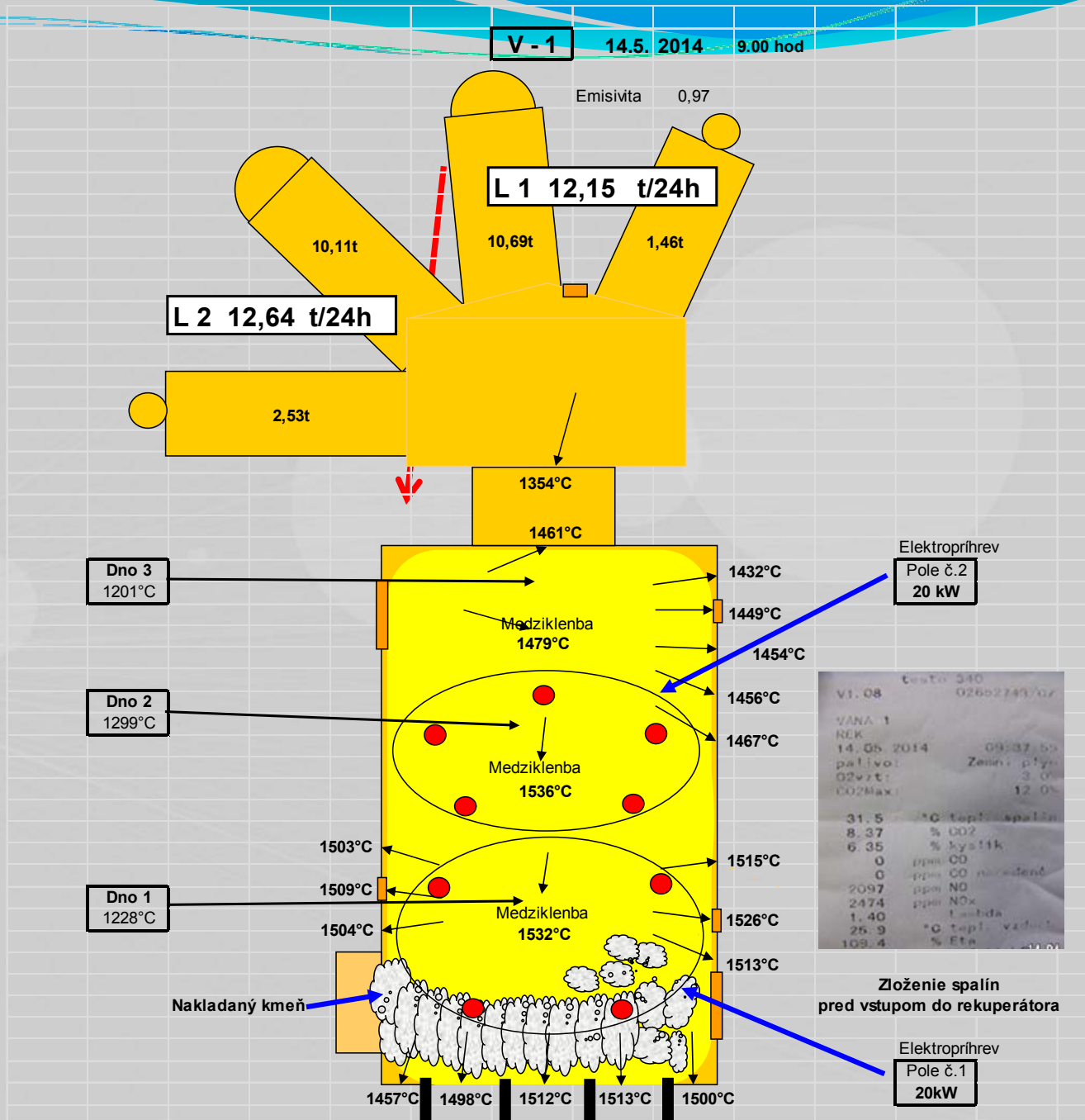
Pyrometre – meranie teploty v žlaboch taviacej pece (analýza)





Meranie teploty a jej využitie

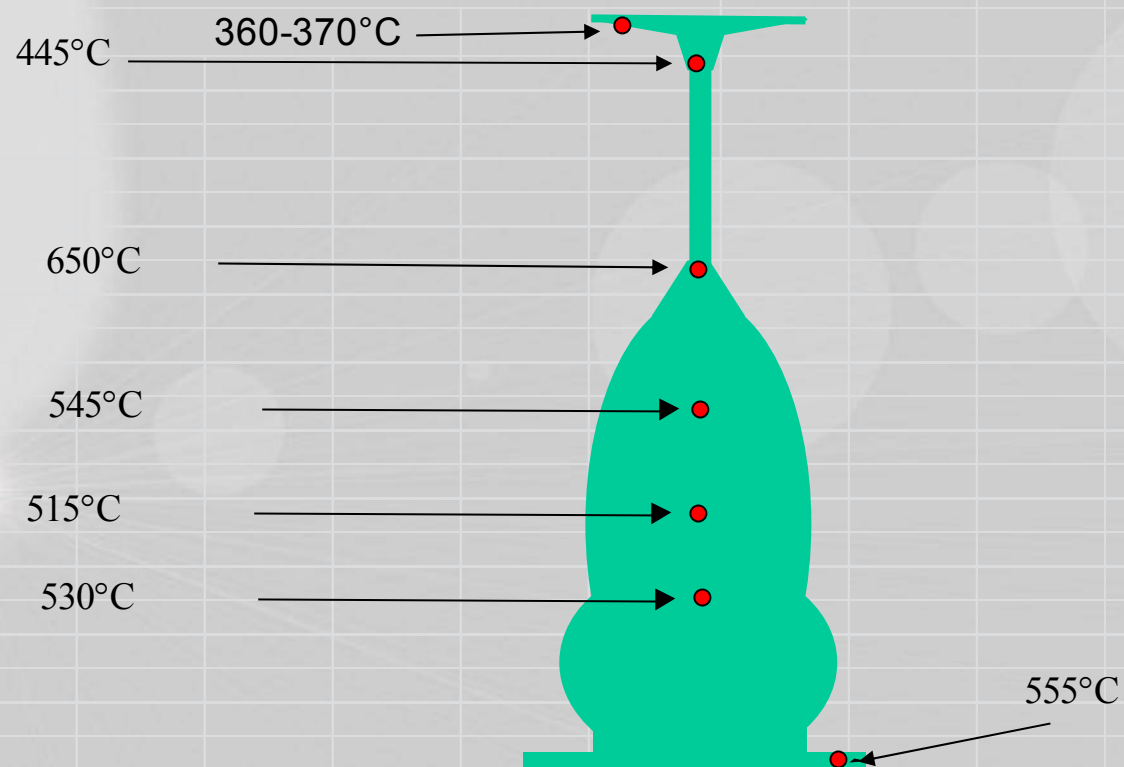
Pyrometre –
meranie teploty v
pri tavení
(analýza)





Meranie teploty a jej využitie

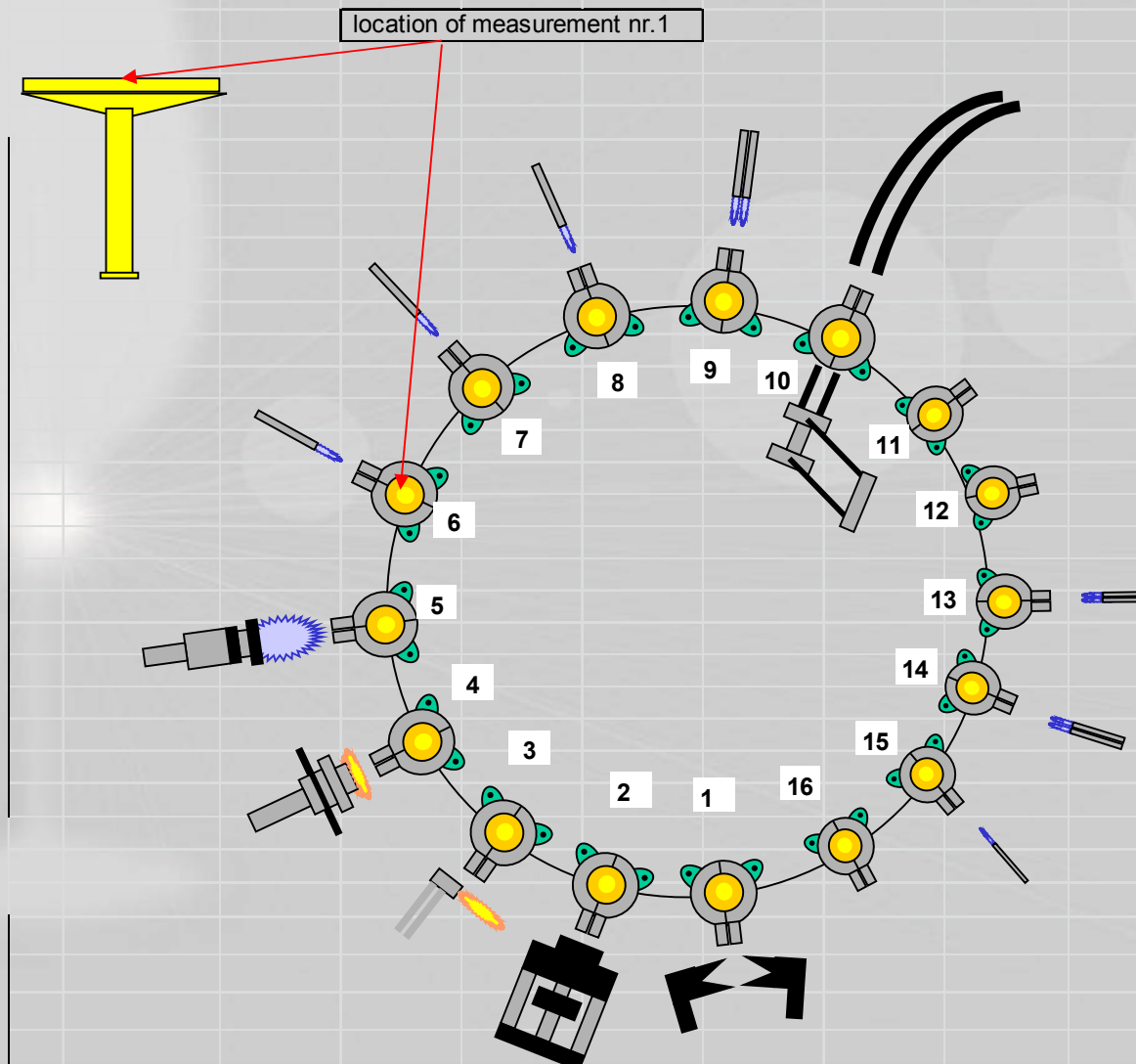
Pyrometre – meranie lokálnych teplôt pri tvarovaní



Teploty merané tesne pred vstupom do chladiacej pece !
vyznačené teploty sú priemerné hodnoty z 10-ich meraní na a.l.č.4

Meranie teploty a jej využitie

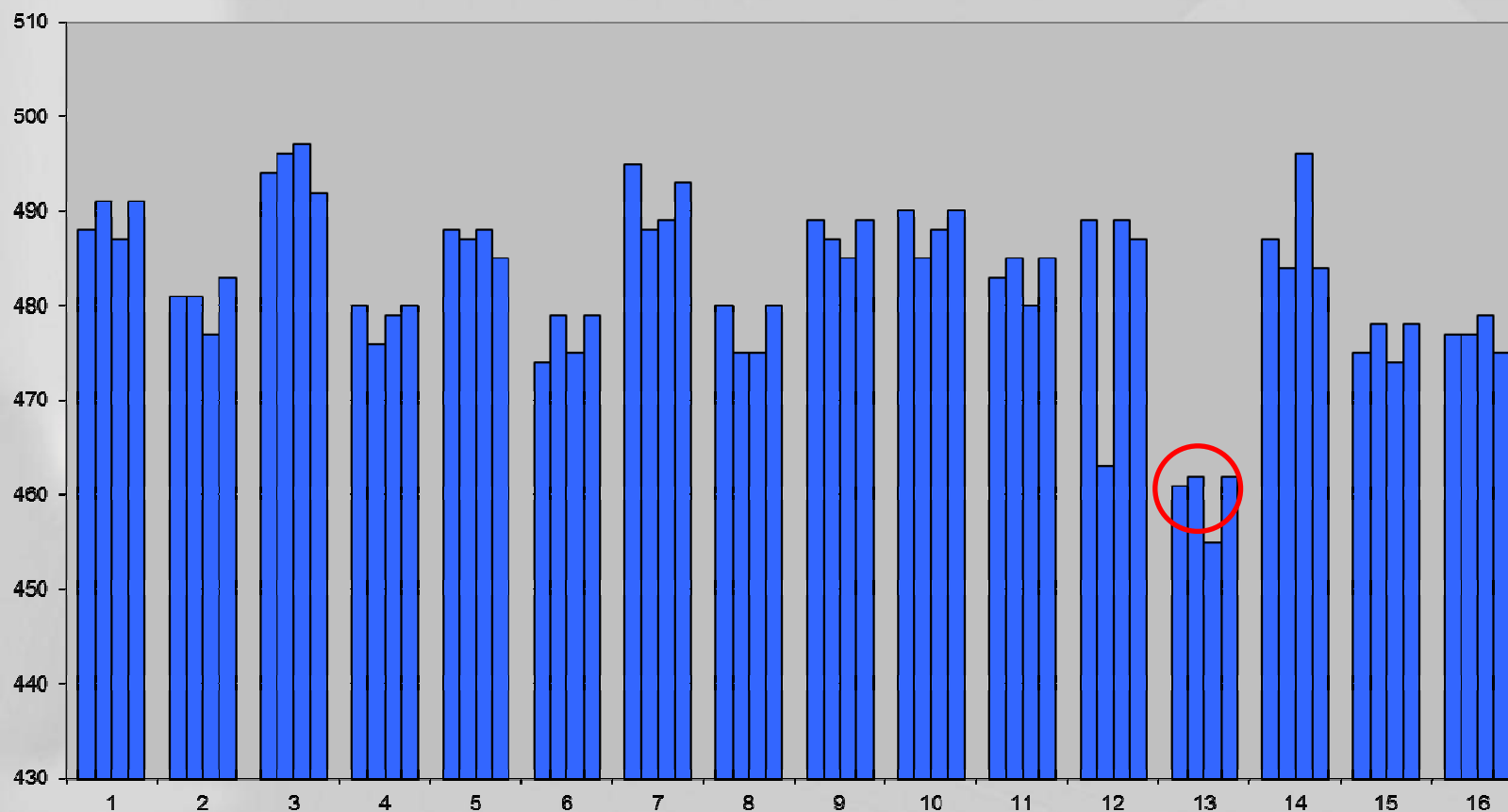
Pyrometre – meranie lokálnych teplôt pri tvarovaní



Meranie teploty a jej využitie

Pyrometre – meranie lokálnych teplôt pri tvarovaní

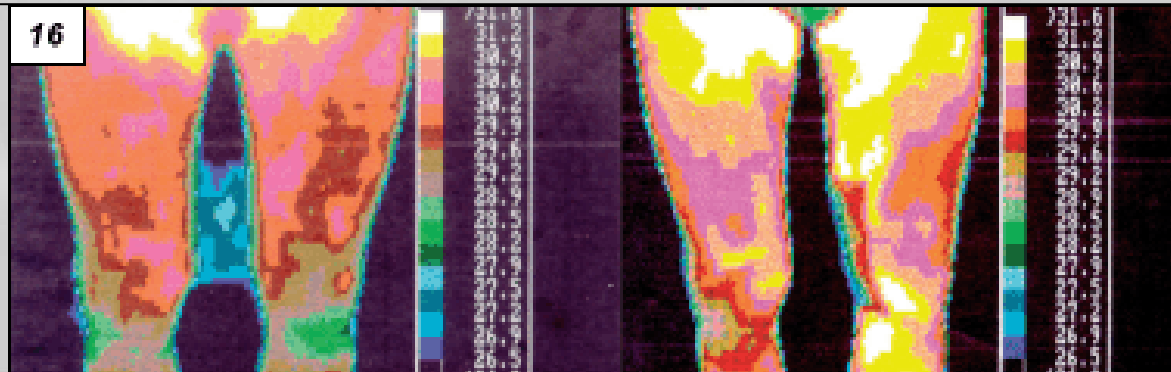
teploty dýnok podľa pozícií



Meranie teploty a jej využitie

Termovízne systémy (pre snímanie teplotného poľa)

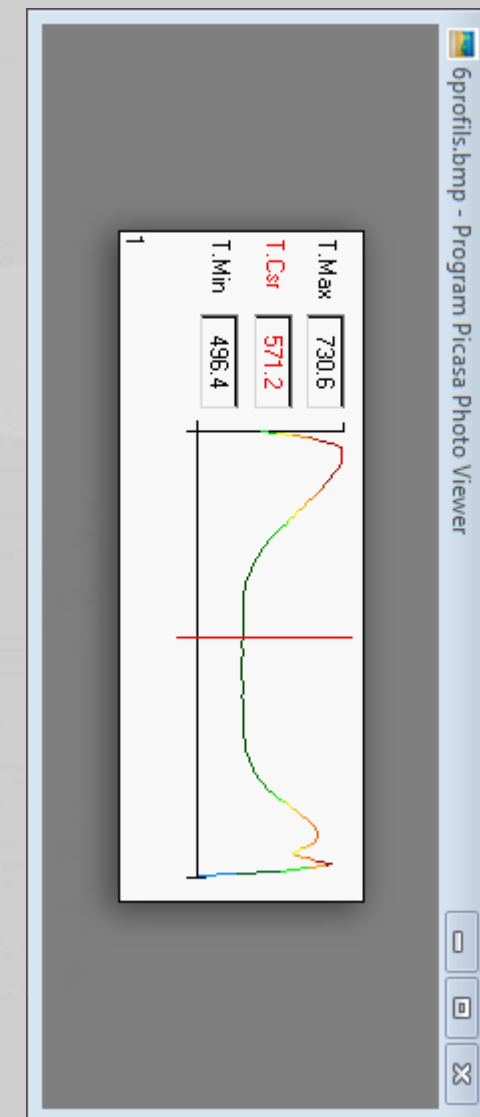
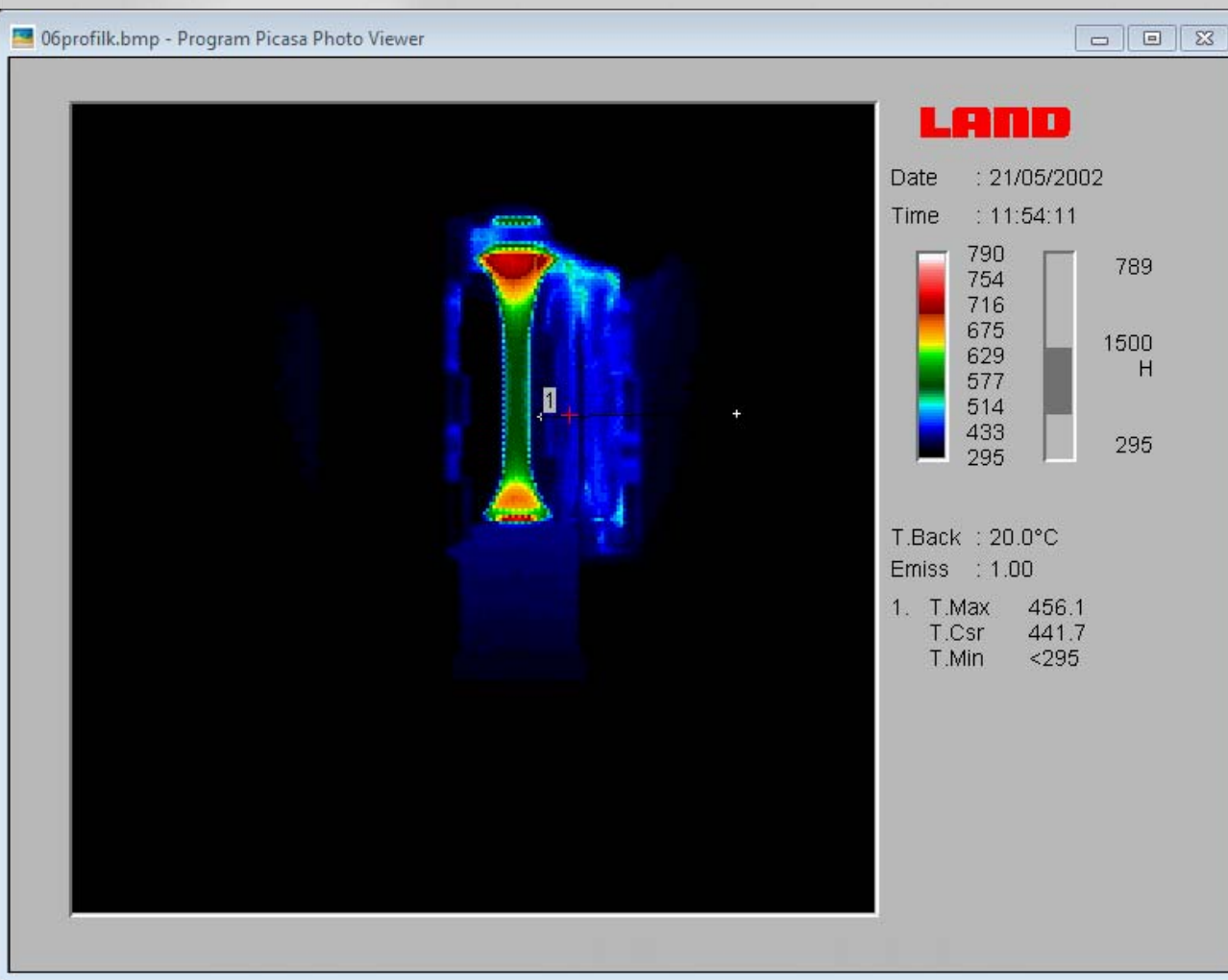
- Termovízia prevádza dopadajúce infračervené žiarenie na obrazový signál.
- Ten sa zobrazuje na obrazovke v niekoľkých farbách, z nich každá vykresľuje zvolený teplotný rozsah.
- Použitie rôznych farieb tak umožňuje selektívne rozlíšenie teplotných polí.
- Termovízne kamery umožňujú merať v širokom teplotnom rozsahu a s pomerne veľkou rozlišovacou schopnosťou.





Meranie teploty a jej využitie

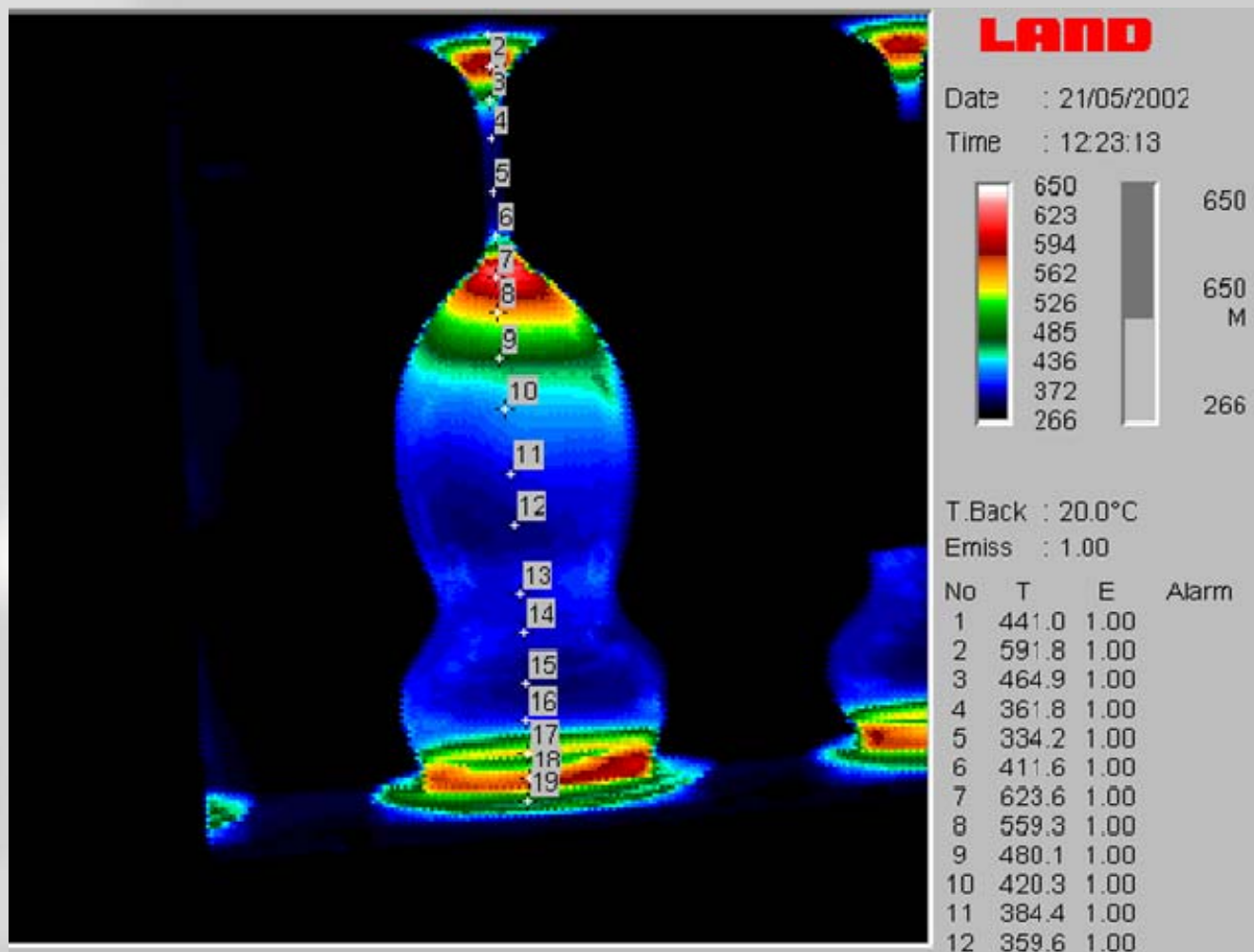
Termovízia pri tvarovaní stopky





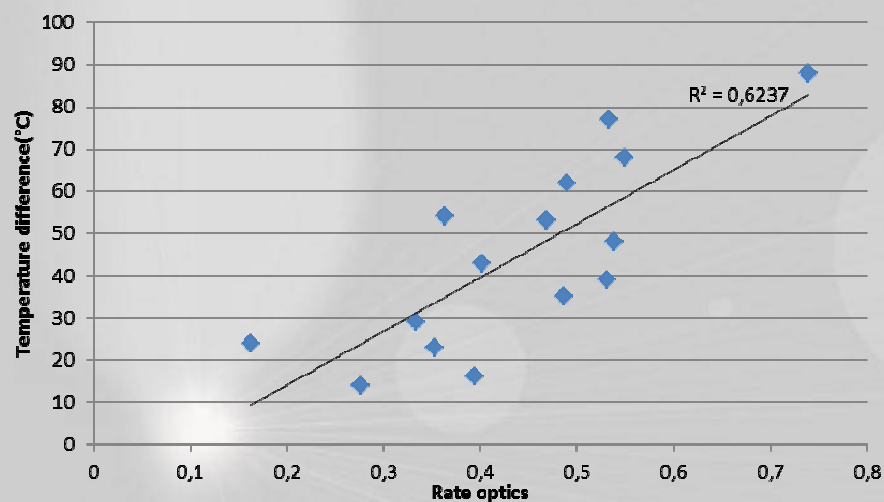
Meranie teploty a jej využitie

Termovízia výrobku pred odstraňovaním napätia

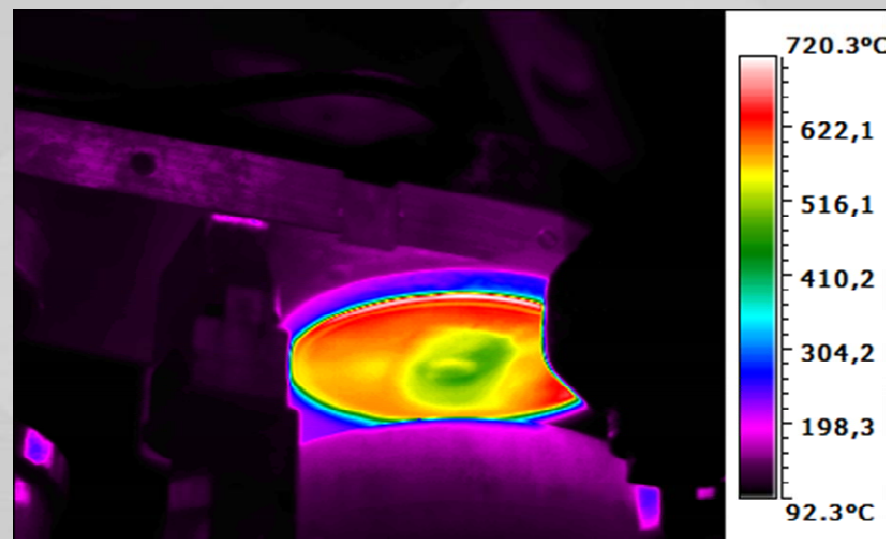


Meranie teploty a jej využitie

Termovízia výrobku pri zlepšovaní optickej nekľudnosti procesu fúkania – I.

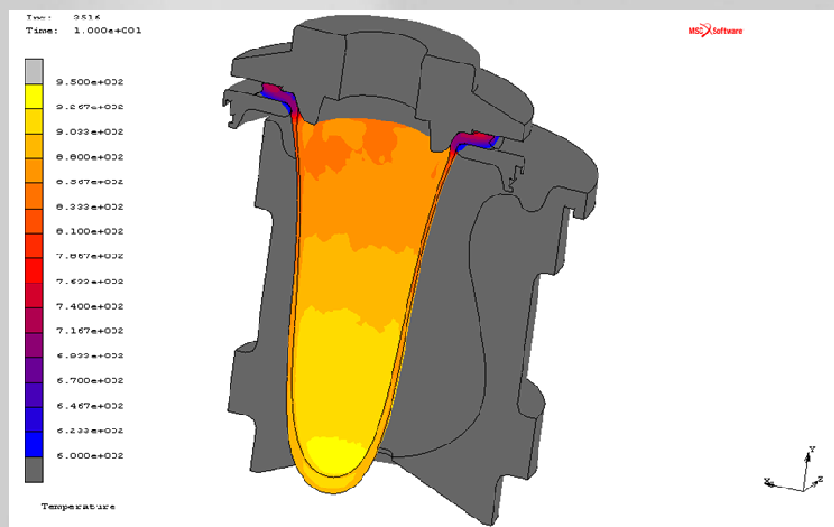


Pic. 2.: Dependence of the temperature difference in the drop in the final measure optics

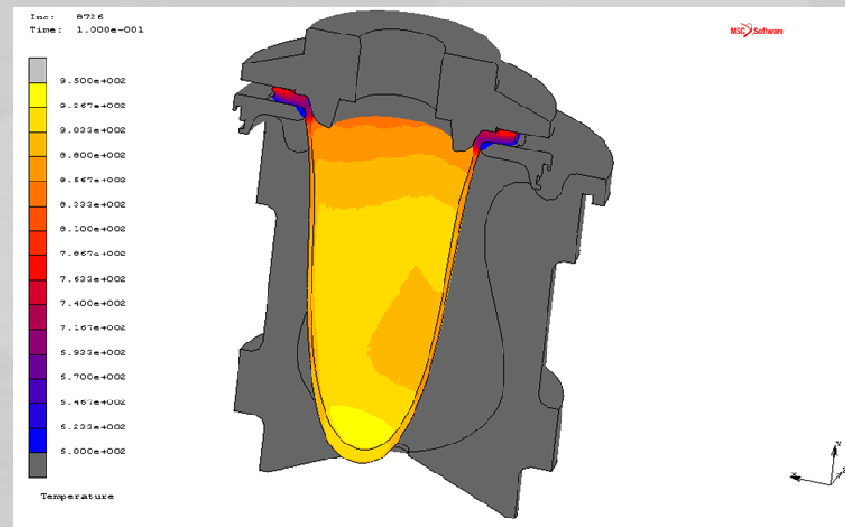


Pic. 3.: Thermalimage of created Inhomogeneity temperature of the drop after contact with the punch

Termovízia výrobku pri zlepšovaní optickej nekľudnosti procesu fúkania – II.



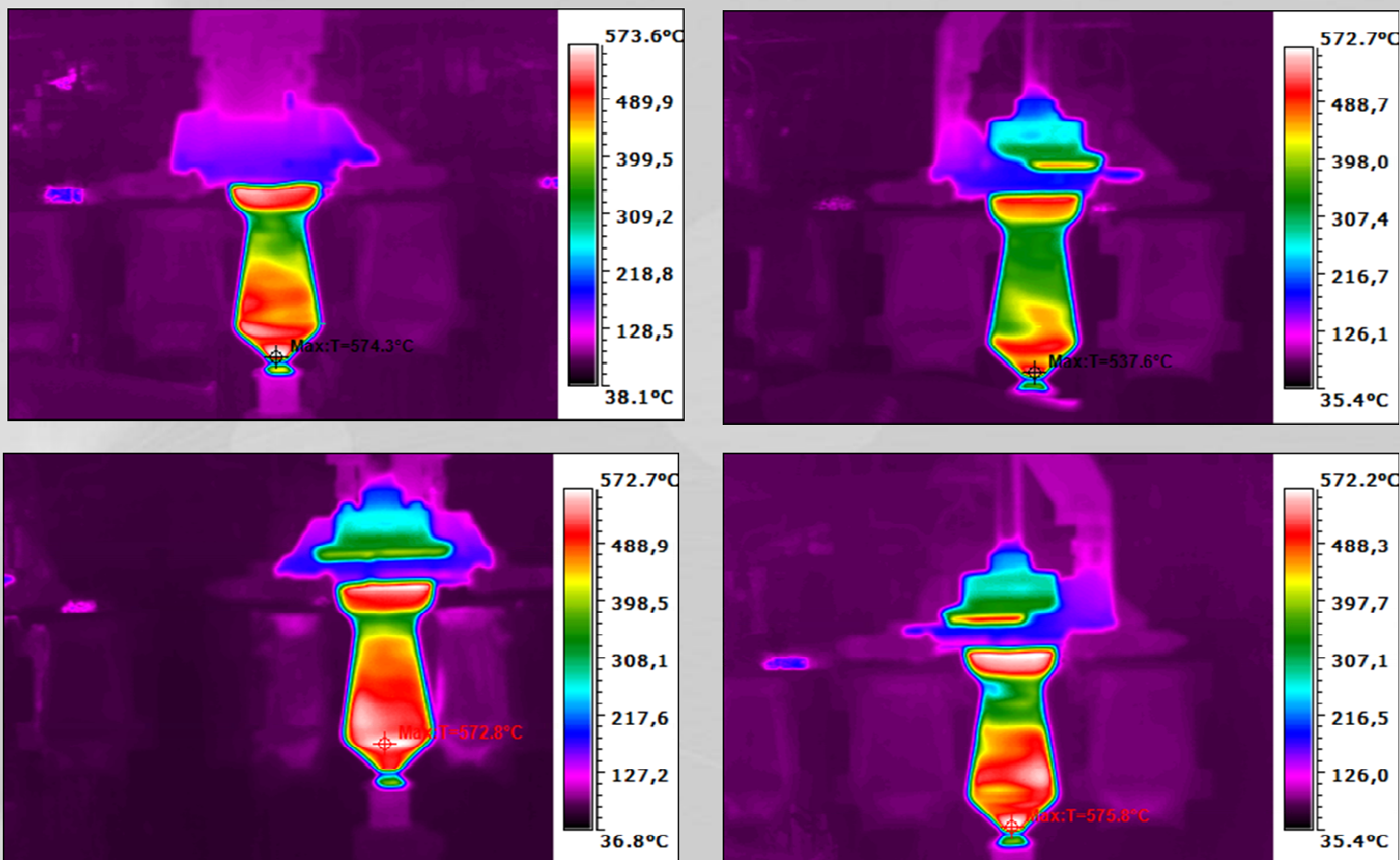
Pic. 5.: Temperature field at imprinted drop without the inhomogeneity



Pic. 6.: Temperature field at imprinted drop with the initial inhomogeneity

Meranie teploty a jej využitie

Termovízia výrobku pri zlepšovaní optickej nekľudnosti procesu fúkania – II.

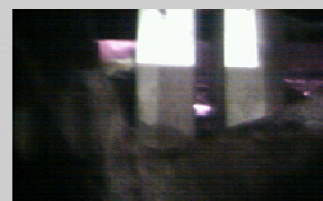
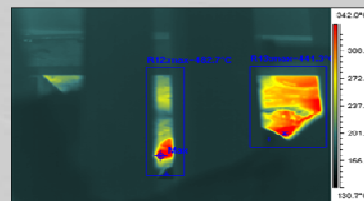
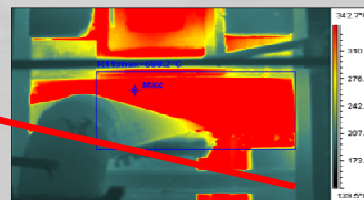
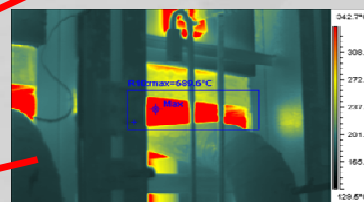
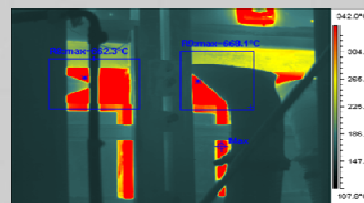
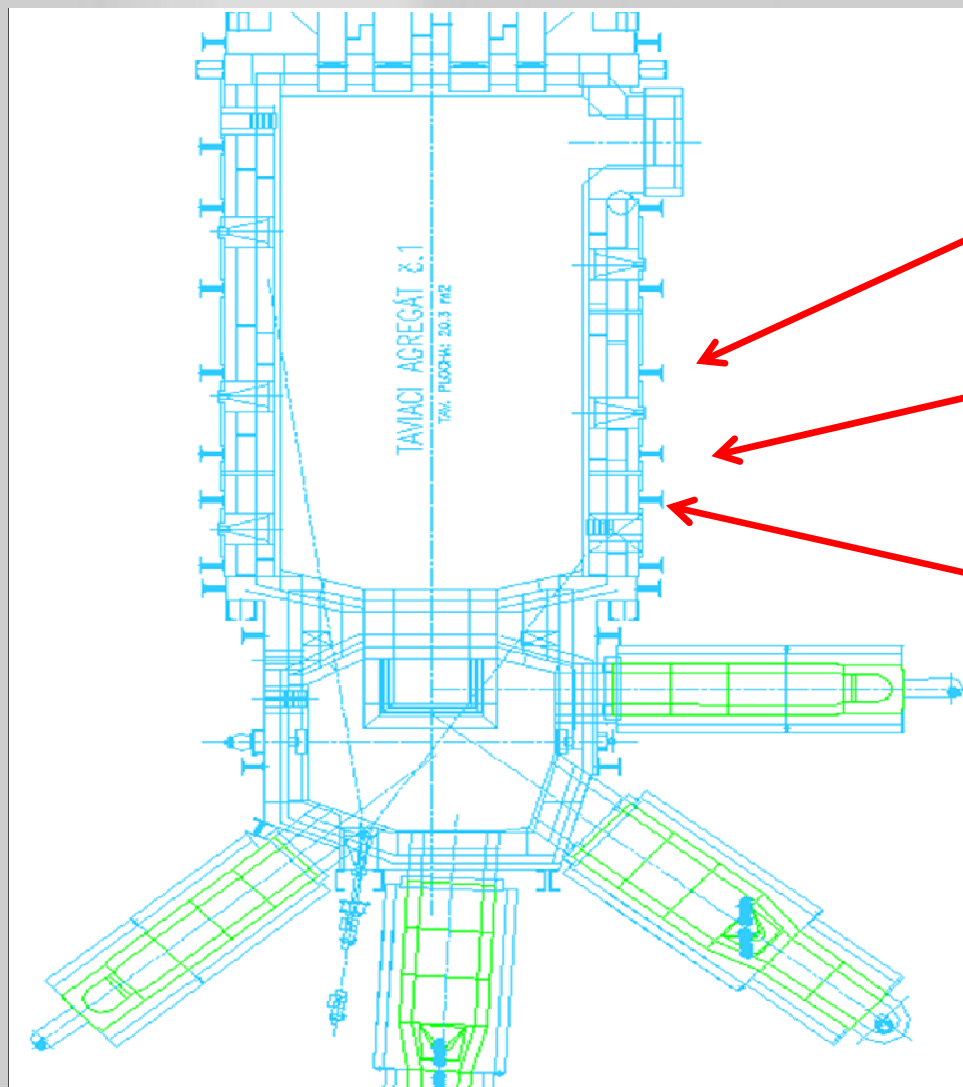


Pic. 7.: Example of Creating the temperature field in a real production in the final product in four rotating operative table



Meranie teploty a jej využitie

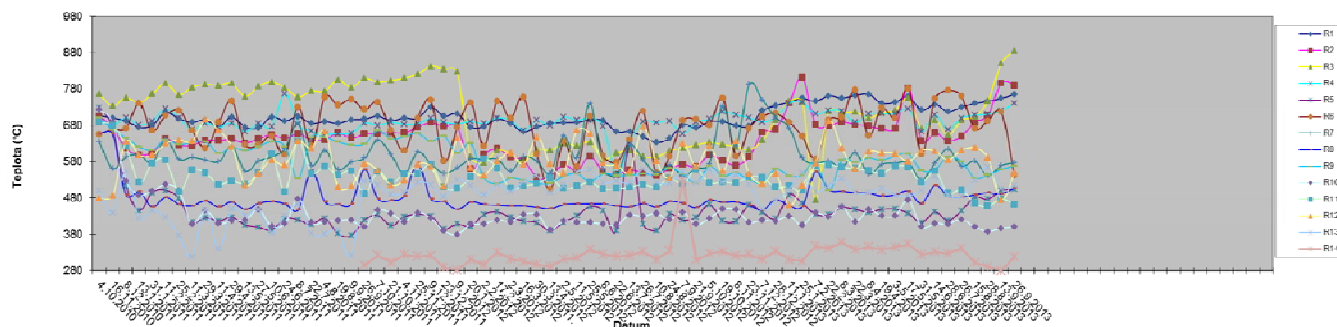
Pyrometre – meranie teploty žiaromateriálu pri riziku vytečenia vane



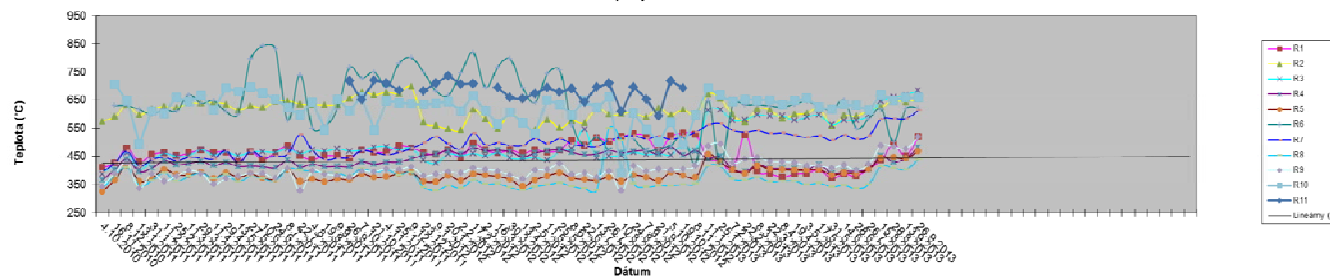
Meranie teploty a jej využitie

Pyrometre – meranie teploty žiaromateriálu pri riziku vytečenia vane

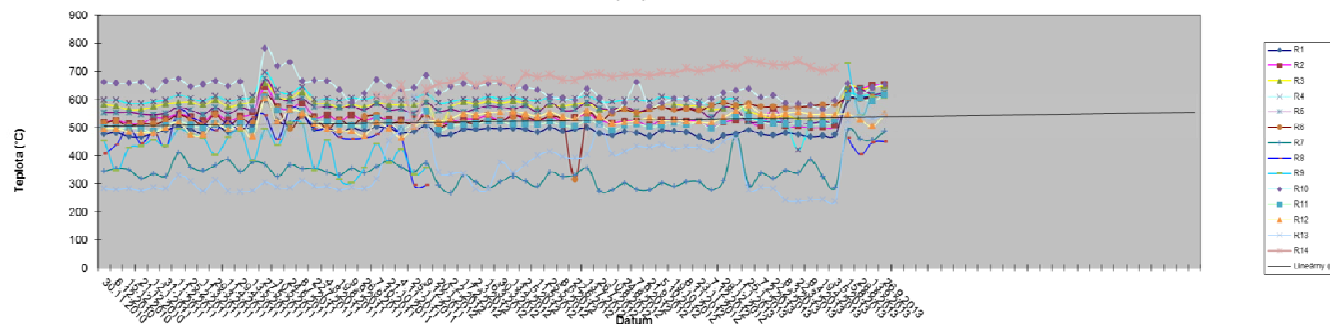
Priebeh teploty na TA1



Priebeh teploty na TA3

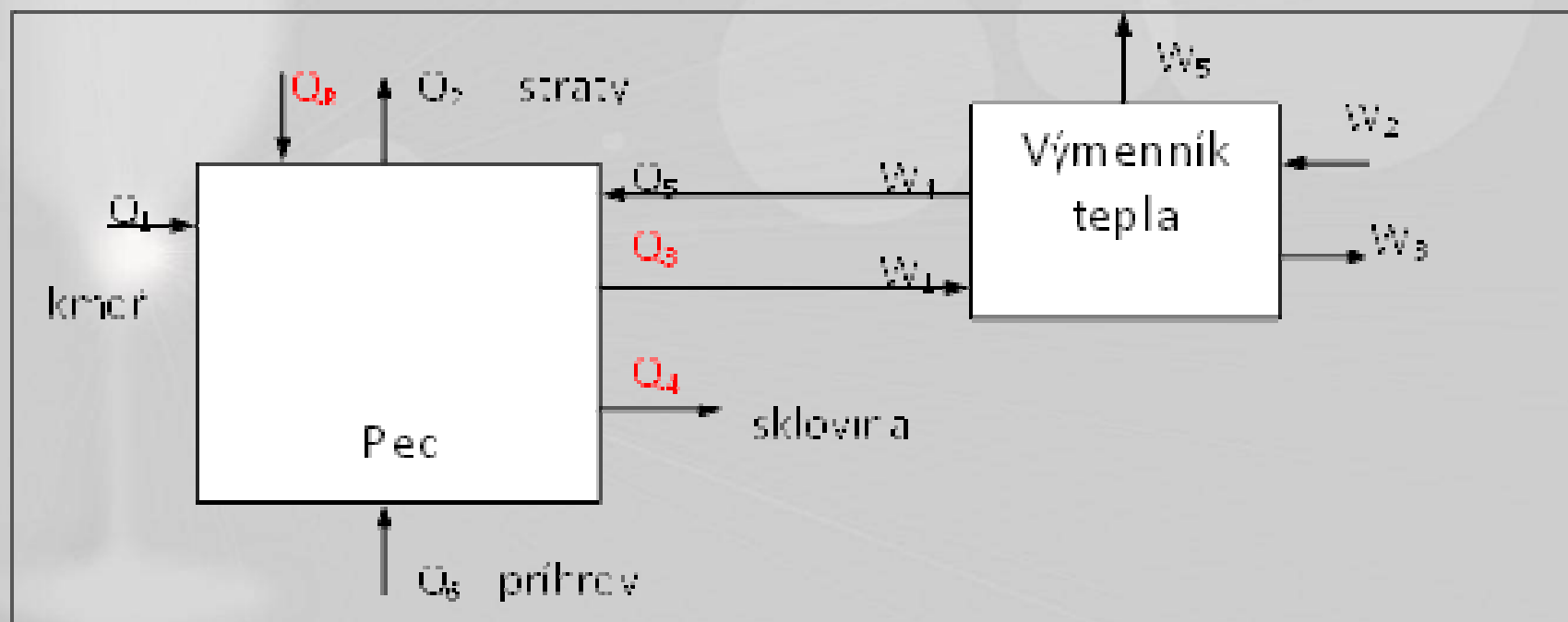


Priebeh teploty na TA4



Kalorimetria v tavení

Energetická bilancia taviaceho agregátu



Teoretická spotreba tepla pri tavení kmeňa

Zjavné teplo taveniny (Q_4)

- odchádza s taveninou z pece
- **1550-1750kJ** (20-1400°C)

Zjavné teplo prchavých reakčných produktov (Q_3)

- (CO_2 , H_2O , SO_2 , a možných výparov produktov ako Na_2SO_4 , HBO_2 , PbO ...)
- odchádza spolu so spalínami.
- závisí na obsahu vody a uhličitanov v kmeni
- **100-600kJ/kg**

Reakčné teplo (Q_R)

- **400-600 kJ/kg** (pre kmeň bez črepov)

Kalorimetria v tavení

Prehľad energií požadovaných na tavenia skla, bežný kmeň bez črepov. Presné hodnoty závisia na zložení kmeňa a teplote pece.

	Sodno vápenaté Sklo [kJ/kg]	Olovnaté sklo (19% PbO) [kJ/kg]	Sodno boro-Silikátové sklo (8%B ₂ O ₃) [kJ/kg]	E-sklo [kJ/kg]
Zjavné teplo taveniny (20-1400°C)	1760	1579	1586	1565
Reakčné teplo	487	403	412	400
Zjavné teplo odparených reakčných produktov (20-1500°C)	289	164	138	570
Spolu	2536	2146	2136	2535

Kalorimetria v tavení - využitie

Celková **tepelná účinnosť pece** η_0 je daná:

$$\eta_0 = \frac{Q_4}{Q_1 + Q_2}$$

Výkon regenerátora alebo rekuperátora je daný **energetickou účinnosťou výmenníka** η_w :

$$\eta_w = \frac{\Pi_4 - \Pi_2}{\Pi_1}$$

Pre regenerátory je hodnota η_w medzi 55-70% a pre objemné rekuperátory je táto hodnota obvyčajne 25-40%.

Kalorimetria v tavení

Energetická bilancia taviaceho agregátu

UKAZATELE

Tepelná účinnost	=	18 %
Vnitřní účinnost	=	59 %
Merna spotřeba tepla	=	2438 kcal.kg-1
	=	10208 kJ.kg-1
Merný tavicí výkon	=	717 kg.m-2.d-1
Vyhřevnost paliva	=	8604 kcal.Nm-3
	=	36026 kJ.Nm-3
Přikoj paliva	=	283 Nm3.h-1
predehr. spal. vzduch	=	1000 °C
predehr. paliva	=	15 °C
odchaz.spaliny (hor.vlet)	=	1513 °C
spaliny za rege (reku)	=	364 °C
Tavicí výkon	=	24 t.d-1
Tavicí plocha	=	33.48 m2
Součinitel regenerace	=	52 %
Součin. využití paliva	=	58 %

Bez
rekuperácie

S rekuperáciou

Tepelná účinnost ... (teplo do skloviny + teplo na ohřev plyných produktů vsázky) / primárně přivedené teplo, uvedeno v %, charakterizuje teplo potřebné na utavení skloviny.

Vnitřní účinnost ... (teplo do skloviny + teplo na ohřev plyných produktů vsázky + tepelné ztráty) / primárně přivedené teplo, uvedeno v %, charakterizuje všechno teplo spotřebované ve vaně vzhledem k primárnímu teplu (prakticky teplo v palivu).

Součinitel rekuperace ... teplo přivedené v předehřátém vzduchu / (teplo odvedené spaliny + teplo na ohřev plyných produktů vsázky), uvedeno v %, oceňuje teplo přivedené předehřátým vzduchem vzhledem k teplu v odcházejících spalinách a teplu na ohřev plyných produktů vsázky.

Součinitel využití paliva ... (teplo přivedené palivem + teplo přivedené vzduchem – teplo odvedené spaliny) / teplo přivedené palivem, uvedeno v %, oceňuje prakticky veškeré teplo, které zůstane v peci (na tavení, ztráty ...) vzhledem k teplu v palivu.

Vplyv črepov na energiu tavenia

- nižšia energia pre tavenie (**mínus** reakčná energia)
- rýchlejšie ohriatie kmeňa, spôsobené lepším prestupom tepla
- Množstvo ušetreného teoretického tepla je okolo 800kJ/kg ak použijeme 100 % črepov
- Navýšenie 10% črepov znižuje v RONA, a.s. energetickú spotrebu o 3%

Predohrev vsádzky

- využitie tepla spalín po výstupe z rekuperátora/ regenerátora

Batch preheater commissioned

Wiegand-Glas has brought on stream a second SORG batch preheater at Steinbach. With this installation, all three components of SORG's BATCH3 system have been utilised on furnace number five. This includes the EME-NEND charger to reduce dust outside the furnace and the company's IRD doghouse to minimise dust in the furnace and regenerators, together with SORG's batch preheating system to reduce energy and increase throughput.

One week was scheduled to commission the batch preheater. After 12 hours, Wiegand achieved a batch preheat temperature of 260°C. After only 24 hours, commissioning was completed, with a constant batch preheat temperature of 270°C and without any upset to production. In addition to 14% energy savings, the furnace is now producing at 270 tons/day, compared to 250 tons/day before starting the preheating unit. ■



A second SORG batch preheater has been installed at Wiegand-Glas Steinbach.



Kalorimetria v tavení – využitie

Predohrev vsádzky



PLANTS • CULLET SYSTEMS • BATCH CHARGERS • GLASS LEVEL CONTROLLERS
ATING • PROCESS AUTOMATION • MODERNISATION • ENGINEERING



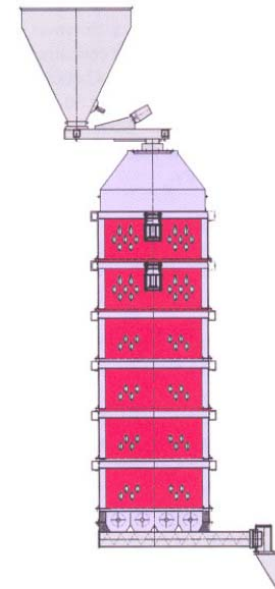
PPE Batch Preheating Technology

sted
oven
ficient – since 1984

ut more about the amazing results of
test installations at: www.zippe.de



The next piece of the
puzzle is in place (again)



Latest: The **second** SORG Batch Preheater
(part of the **BATCH3** Integrated Concept)
is going into operation soon.

Tepelná rozťažnosť skla a vznik napätia

ZMENY V TEPELNEJ ROZŤAŽNOSTI SPÔSOBUJÚ V SKLE NAPÄTIA

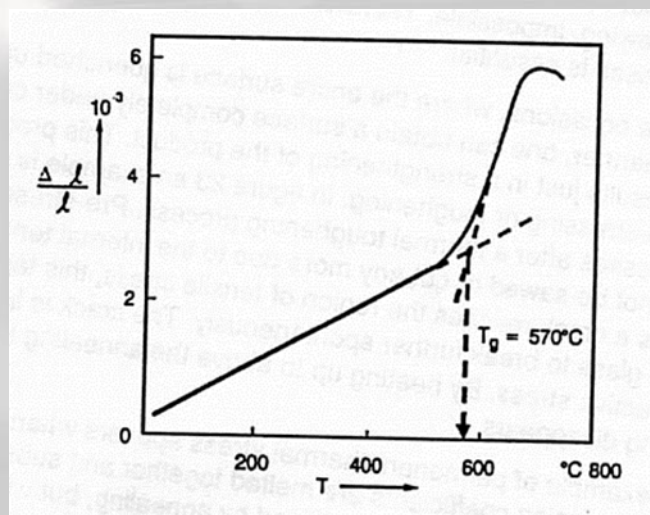
Koeficient lineárnej rozťažnosti sa označuje α_{ex} a je definovaný ako:

$$\alpha_{ex} = \frac{1}{L} \cdot \frac{\Delta L}{\Delta T} [K^{-1}]$$

kde:

L = dĺžka
 ΔL = prírastok dĺžky
 ΔT = prírastok teploty

VPLYV TEPLoty



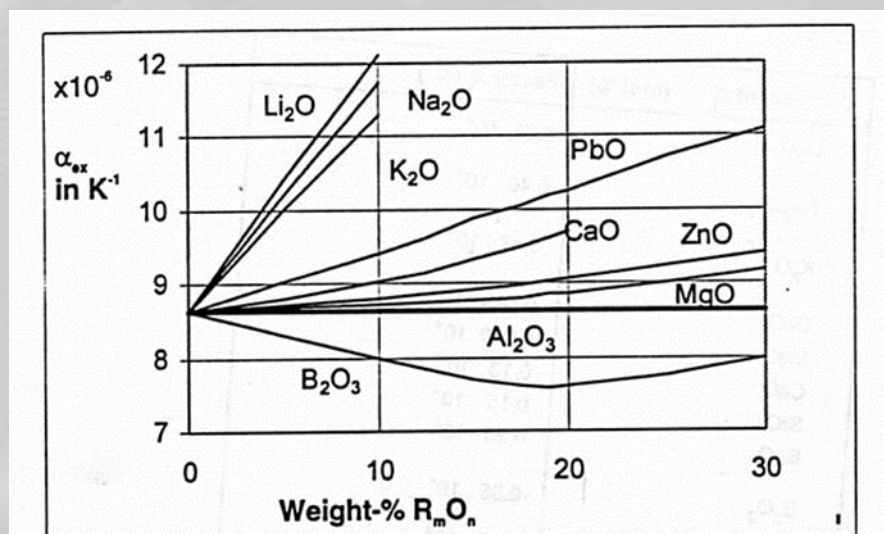
- Okolo T_g sa mení štruktúra skla, ktorá vedie k oveľa väčšej teplotnej závislosti
- Pretože koeficient rozťažnosti závisí od štruktúry skla, závisí aj od histórie skla

Tepelná rozťažnosť skla a vznik napätia

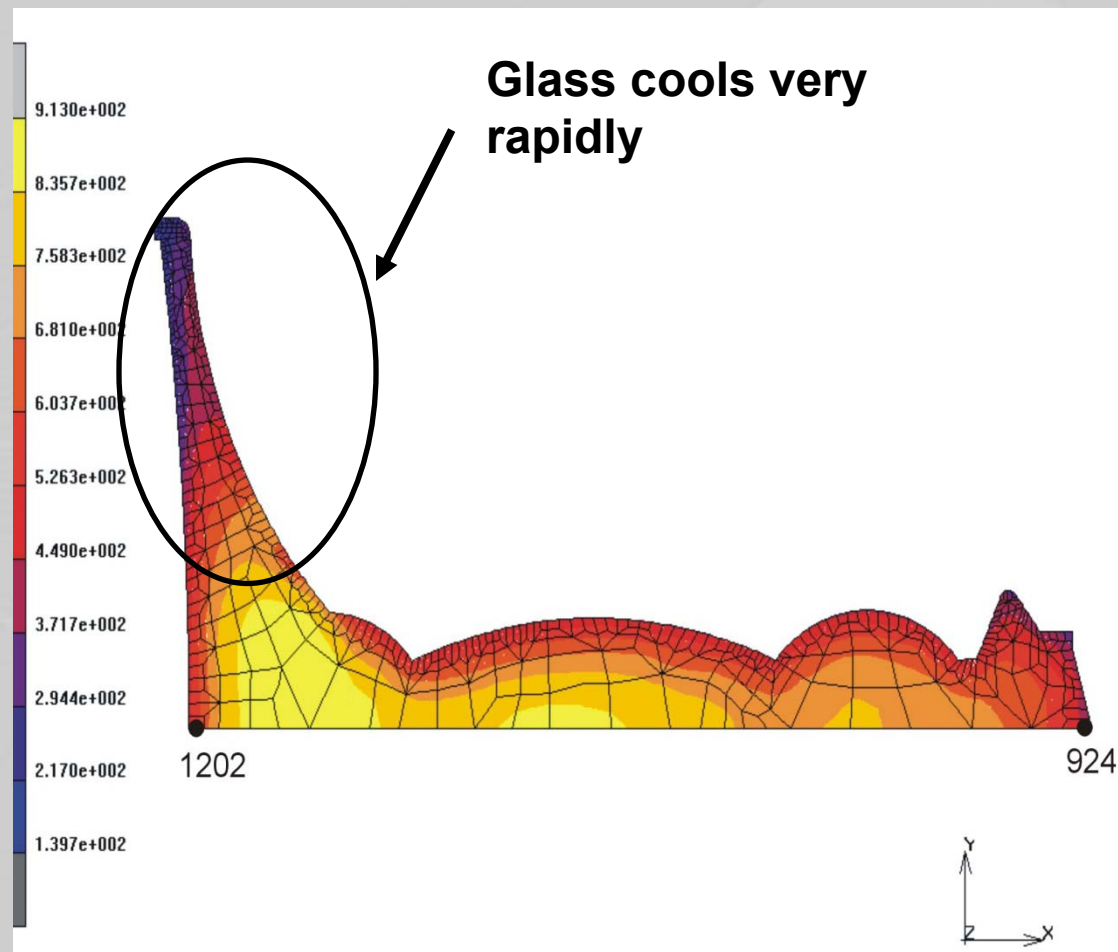
Vplyv chemického zloženia

	$\alpha_{ex\ 0-300^{\circ}C}$ [K ⁻¹]	T _g [°C]
Sodno-vápenaté sklo	92×10^{-7}	520
Pyrex boro-kremičité	33×10^{-7}	565
E-sklo	60×10^{-7}	670
Vycor (97 SiO ₂ , 3 B ₂ O ₃)	8×10^{-7}	910
Kremičité sklo	5×10^{-7}	1100

Tabuľka 18 Prehľad koeficientu rozťažnosti α_{ex} niektorých bežných typov skie

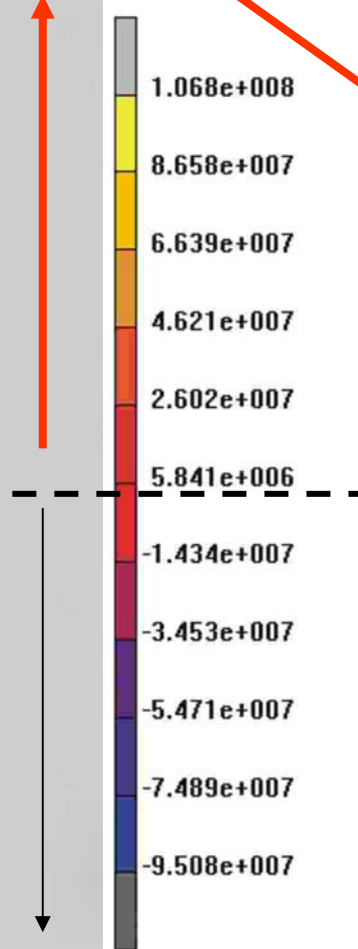


Vypočítané teplotné profily v lisovanej stopke

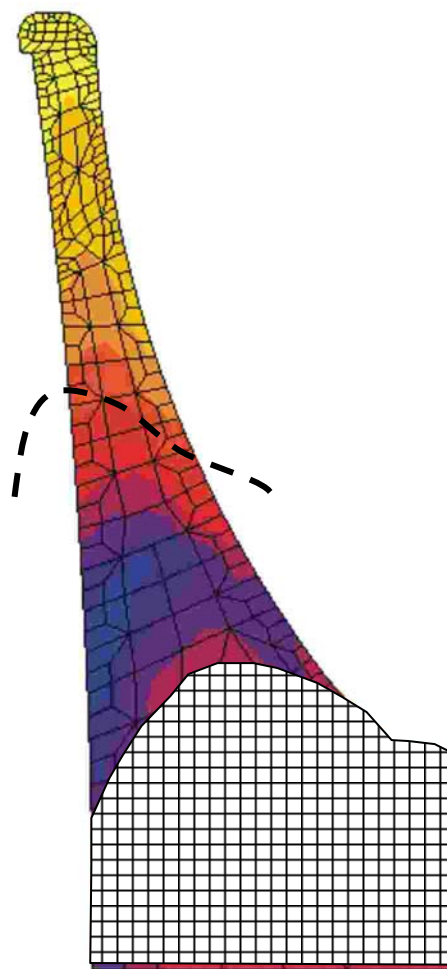


Vypočítané axiálne napätia počas odoberania stopky z lisu

Ťahové
napätie

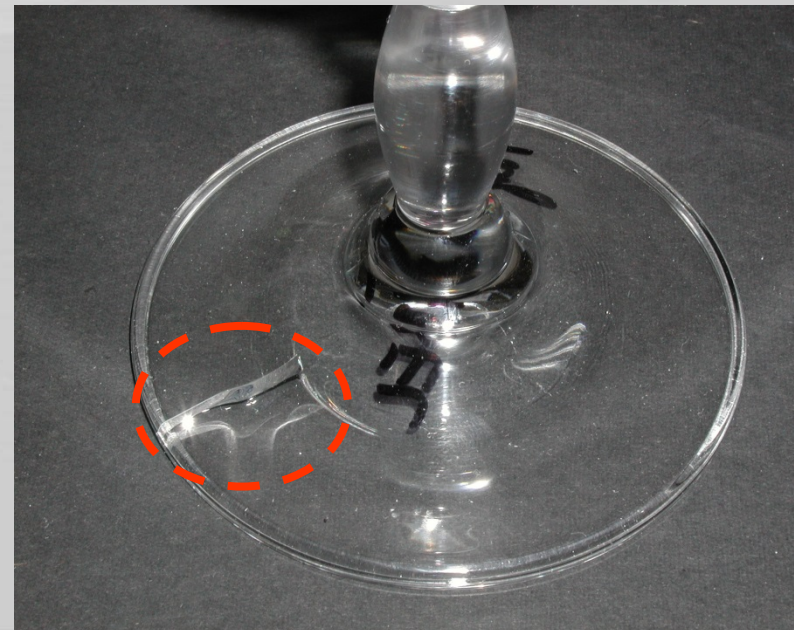
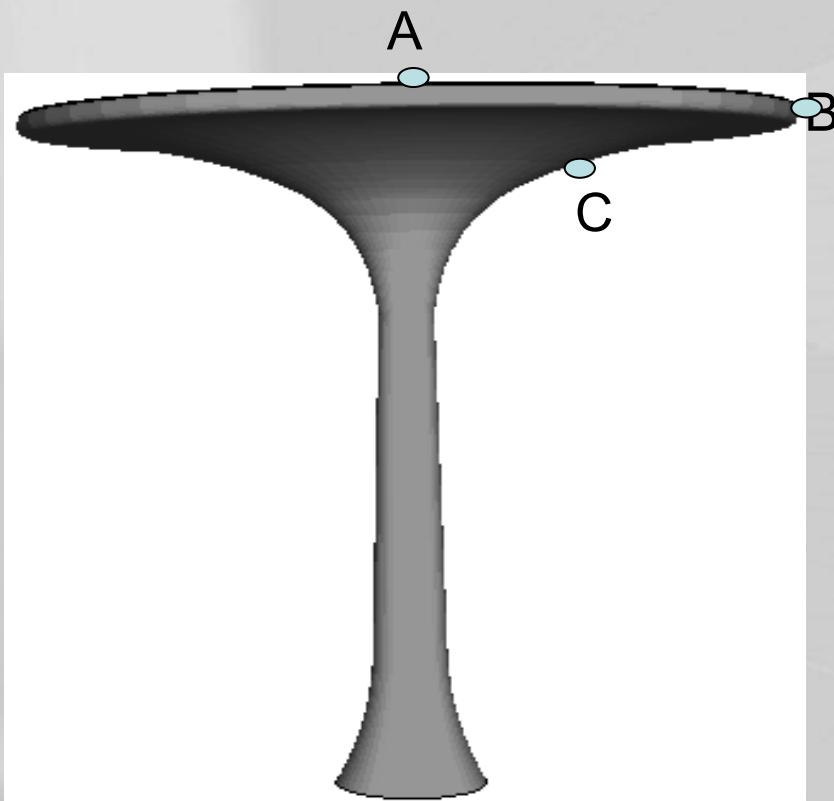


Tlakové napätie

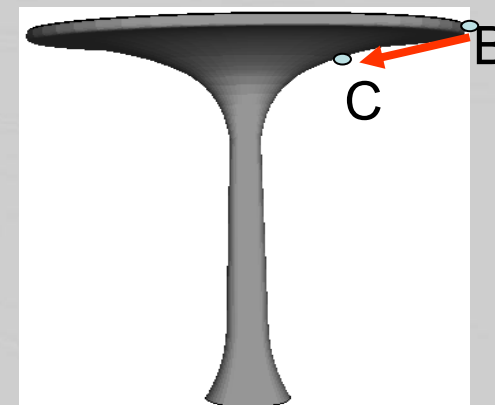
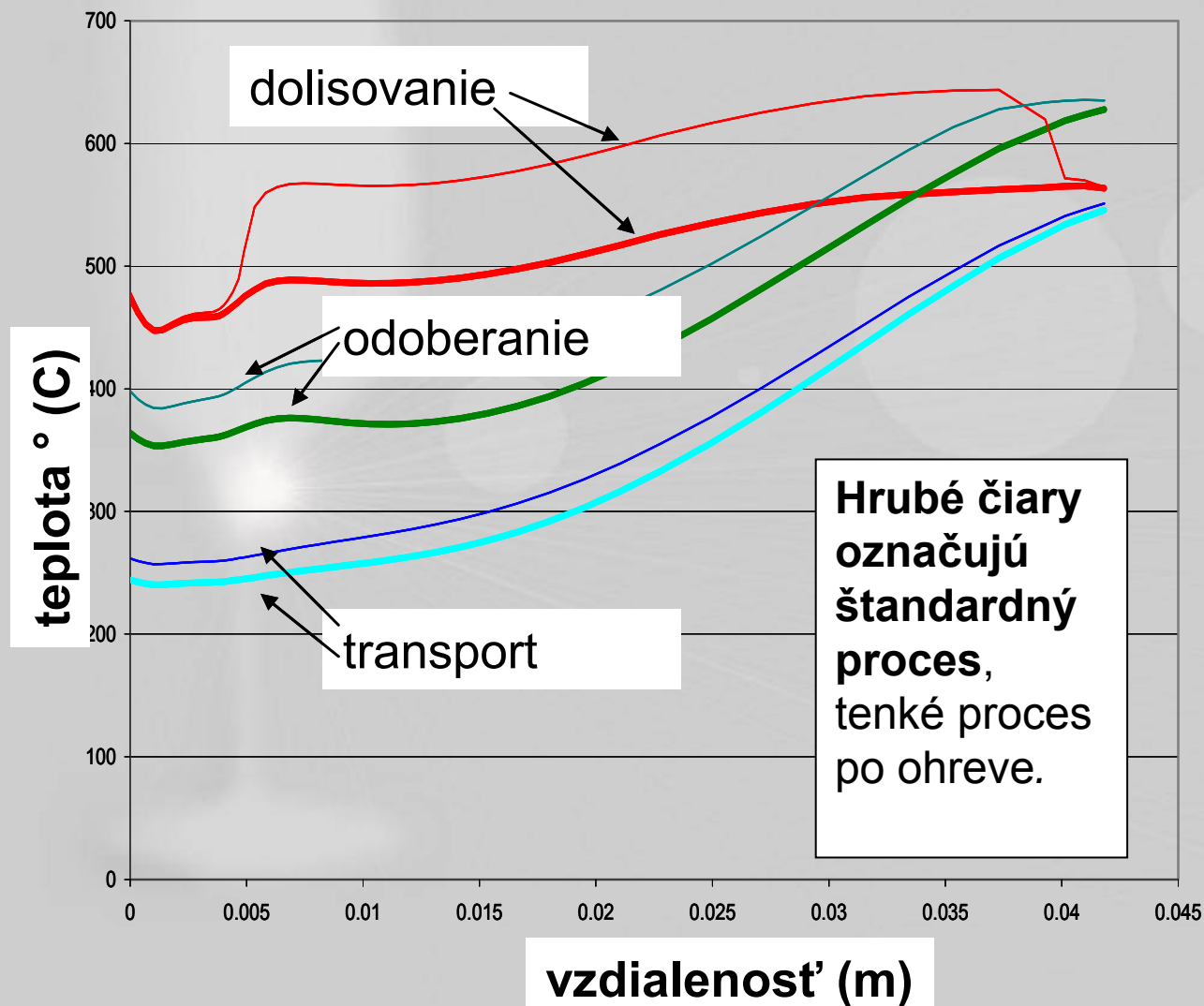


Identifikácia
kritických miest v
procese transportu
výrobkov

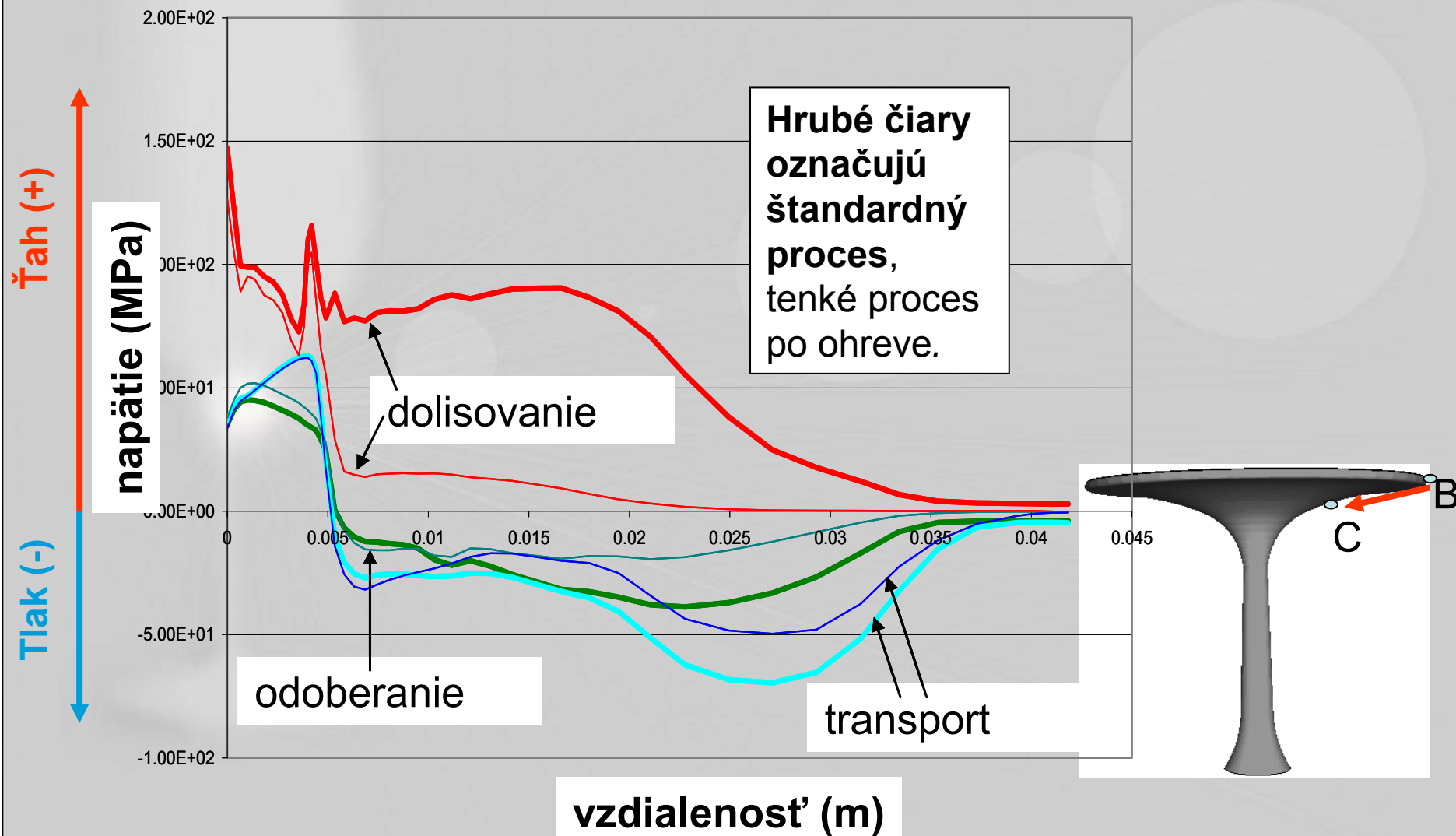
Referenčné miesta modelu lisovanej stopky



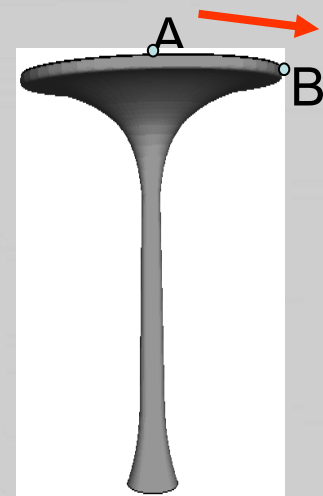
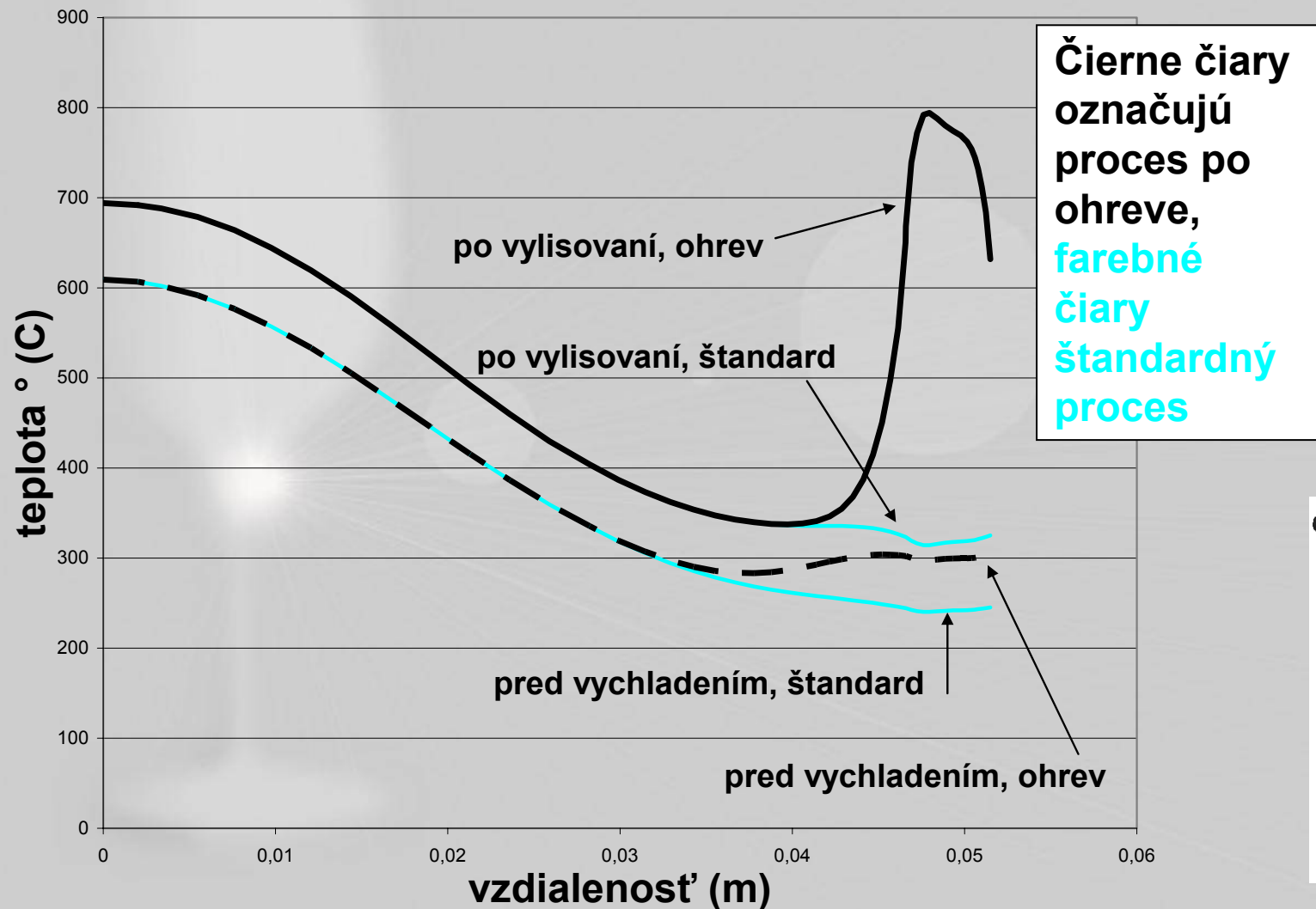
Vplyv ohrevu formy na napätie lisovaného výrobku pri lisovaní I.



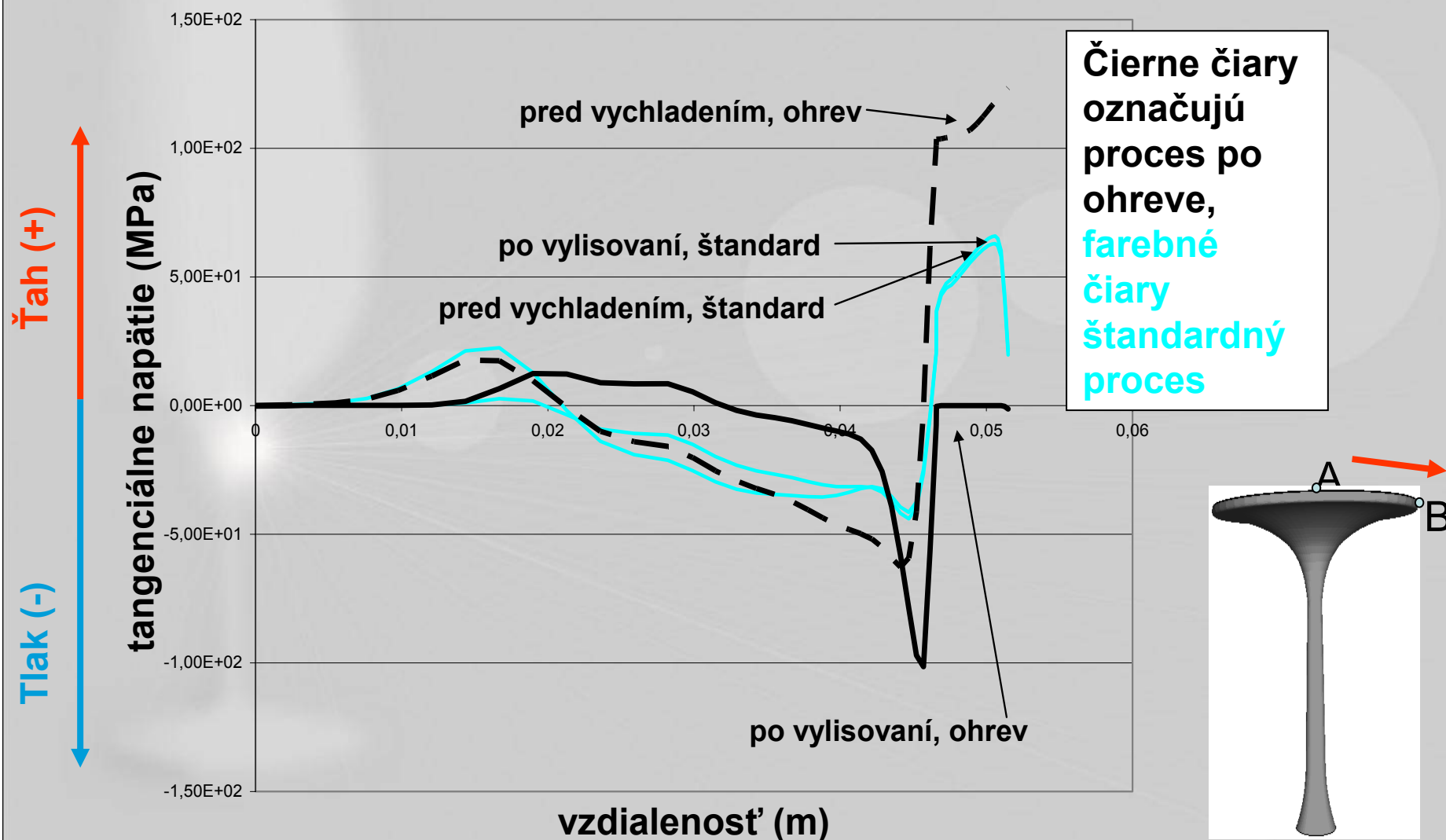
Vplyv ohrevu formy na napätie lisovaného výrobku pri lisovaní II.



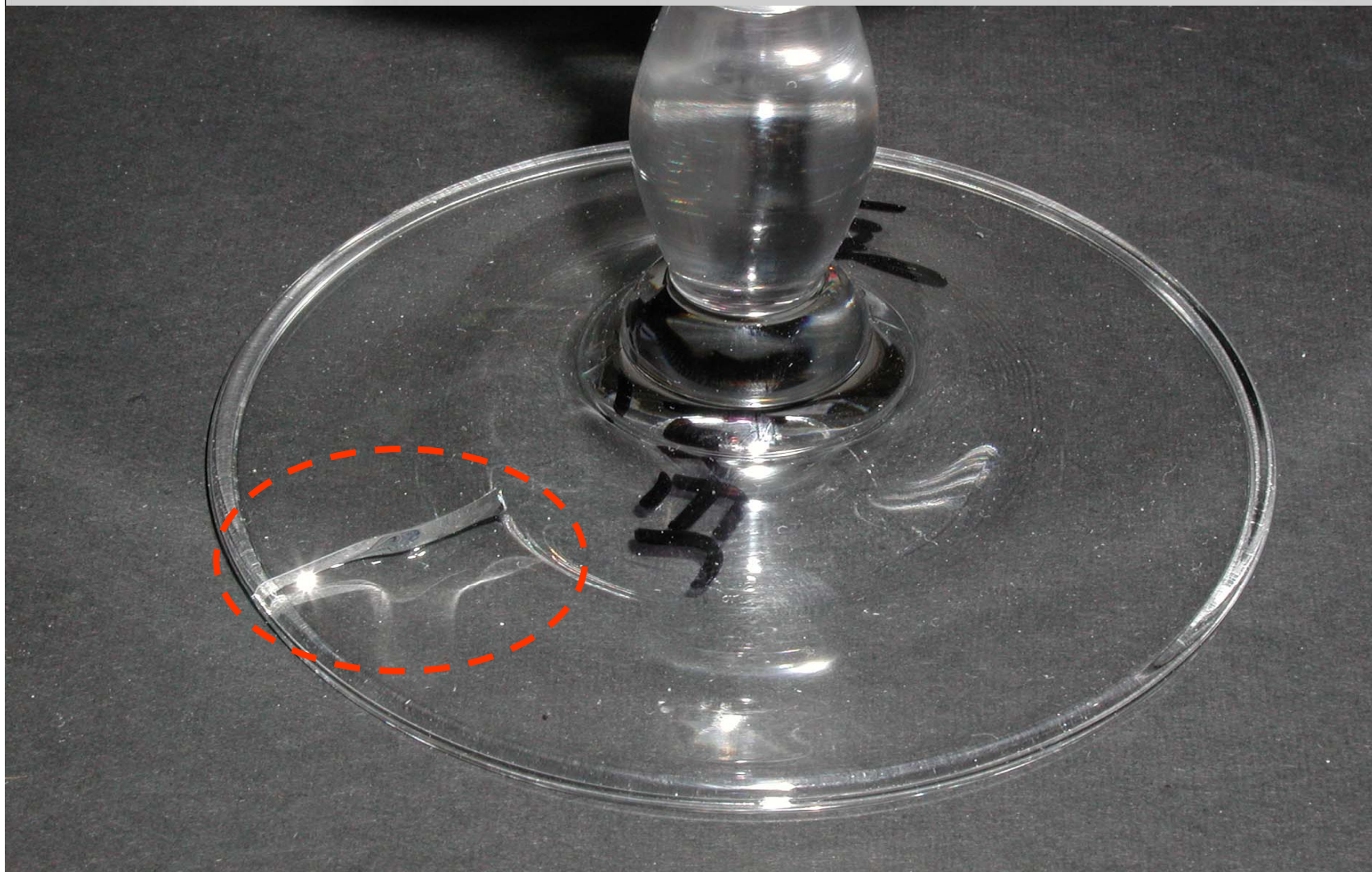
Vplyv lokálneho ohrevu stopky na napätie pri transporte I.



Vplyv lokálneho ohrevu stopky na napätie pri transporte II.



Defekty procesu lisovania





Tepelná rozt'ážnosť skla a vznik napätia

Vytvrdenie ústneho okraja RONA, a.s.

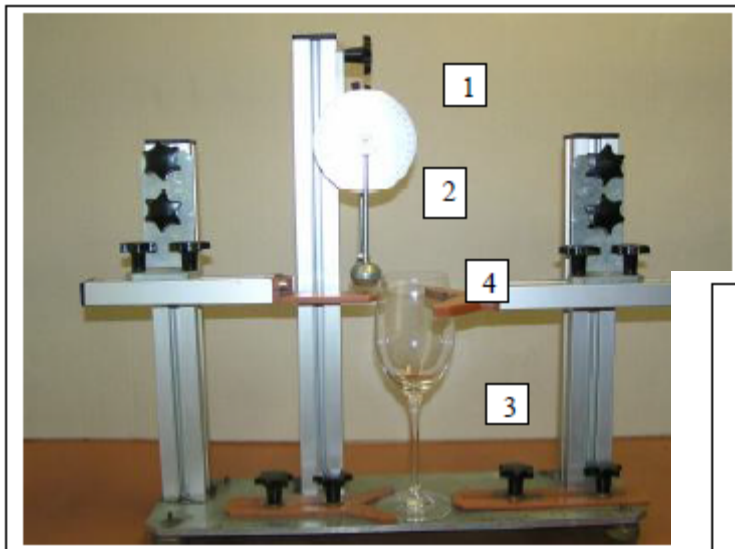


Fig. 1 Hammer test equipment

- 1 – Angle measurement
- 2 – Hammer
- 3 – Glass fitting
- 4 – Glass sample

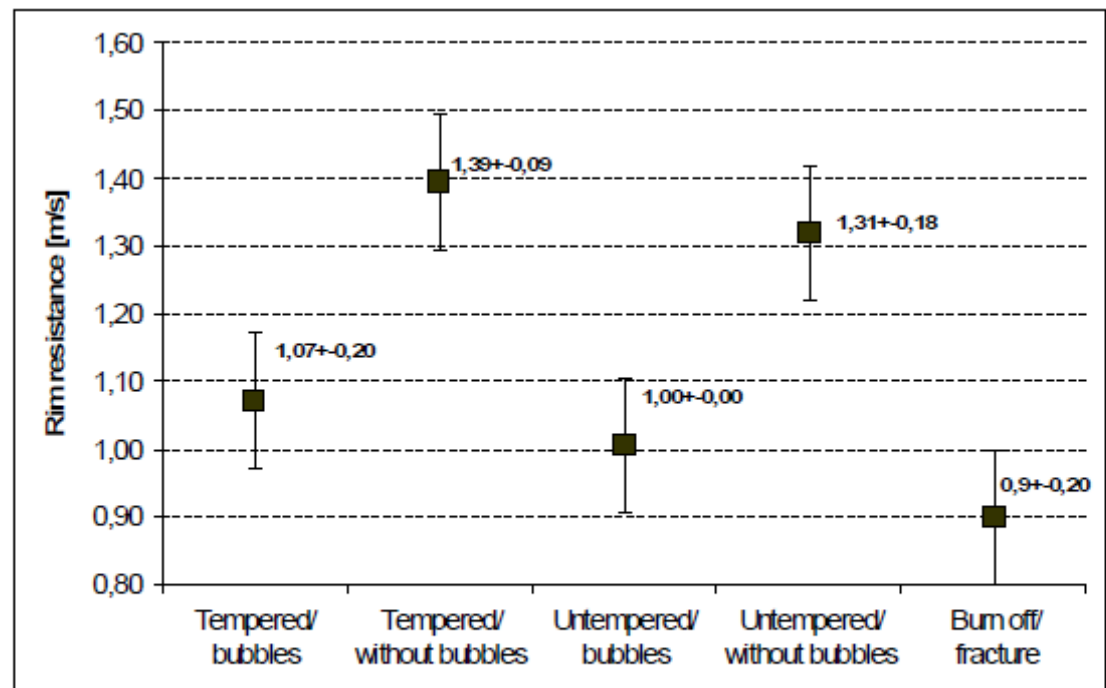


Fig. 5 Measured mouth rim resistance for different rim creating processes. Thin line depicts standard deviation.

Projekt: OPVaV-2009/2.2/03-SORO: Priemyselný výskum pre potreby zefektívnenia unikátnej technológie tavenia a tvarovania úžitkového skla

Nositeľ projektu: Rona, a.s.

Hlavný partner: UACH SAV Bratislava, pracovisko Trenčín

Cieľ: Vytvorenie spoločného pracoviska pre podporu a realizáciu
výskumných aktivít

Hlavné aktivity:

2.2 Priemyselný výskum nového spôsobu a technologických postupov
tavenia skla.

2.3 Priemyselný výskum nového spôsobu a technologických postupov
tvarovania skla

Rozpočet projektu: 1,84 mil. Eur (vrátane podielu partnera a finančnej
spoluúčasti Rona, a.s)





**Podporujeme výskumné aktivity na Slovensku/
Projekt je spolufinancovaný zo zdrojov ES.**

OPVaV-2009/2.2/03-SORO

Priemyselný výskum pre potreby zefektívnenia unikátnej technológie
tavenia a tvarovania úžitkového skla

RONA, a.s.

Ústav anorganickej chémie SAV

120 years of RONA glass
for modern living

