

# Využitím termické analýzy AccuVo® k snižování nákladovosti výroby v slévárnách litin



Dr.-Ing. Marko Grzinčič

4.6.2019

# System řízení metalurgie zapojením termické analýzy



## Klíčový benefit

- System propojuje data
- TA je přesnější
- TA je rychlejší
- TA je komplexní
- Know-how



## Konkurence- schopnost

Slévárna díky stabilizovaným procesům, hospodárném u dávkování a nižší pracnosti generuje vyšší přidanou hodnotu.



## Kam cílíme

Ucelený digitalizovaný sběr relevantních dat/ informace obsluze tavní, řízení zařízení pro automatické dávkování modifikátoru a očkovačla, příp. určuje dávky obsluze.



## Kde se zlepšujeme

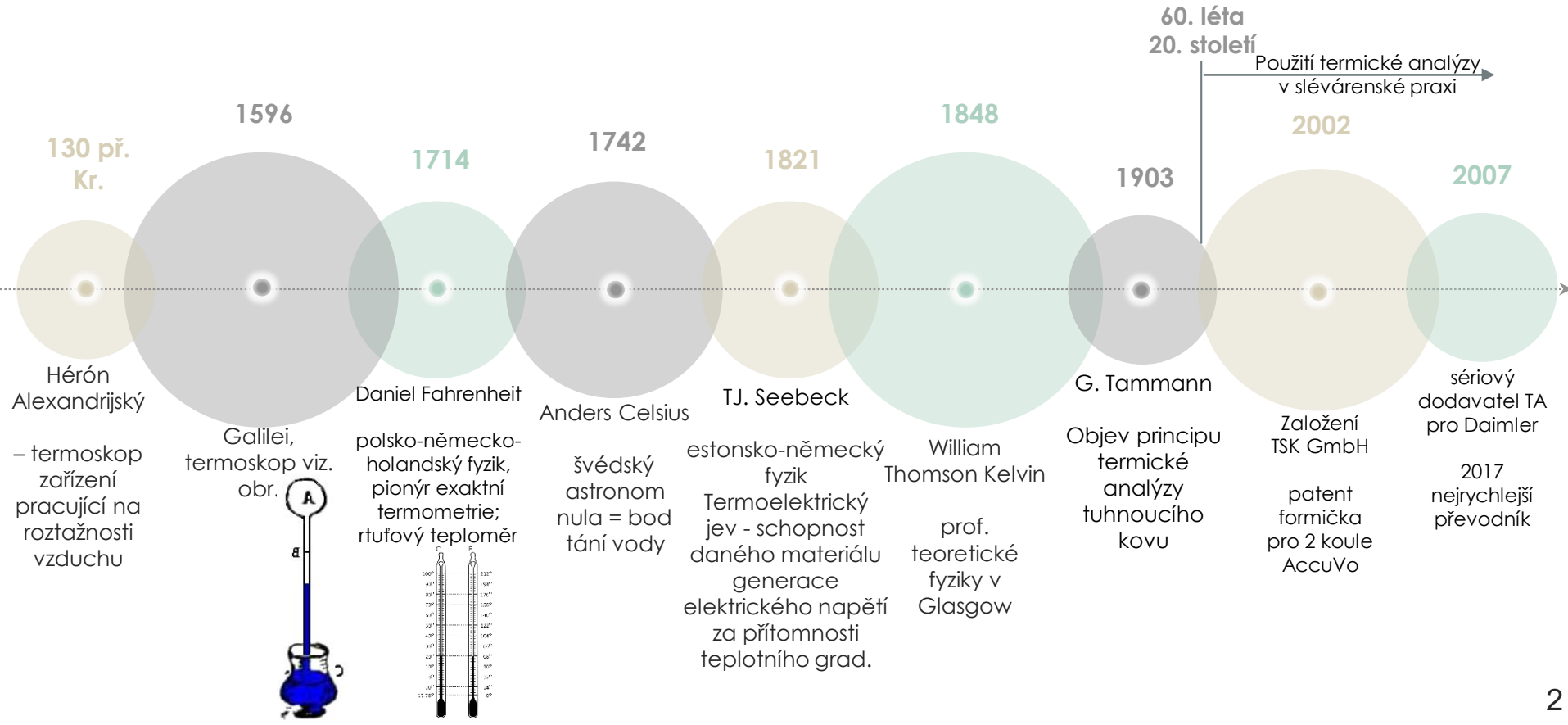
Termickou analýzou čteme vlastnosti taveniny již očkované – vliv obsahu kyslíku v tavenině, ověříme modifikační účinek.



## Zapojení klienta

Termická analýza je jen součástí systému. Stejně tak jsou důležité existující zdroje: spektrometr, metalografie, trhačka, kvalita. Slévárna pečlivě sbírá dat a až následně se hledají v databázovém systému korelace.

# Historie (termické analýzy)



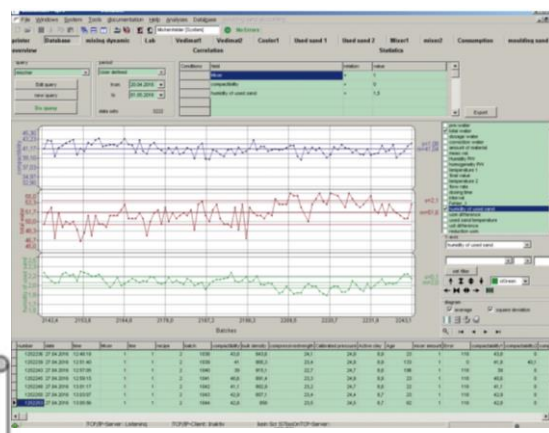
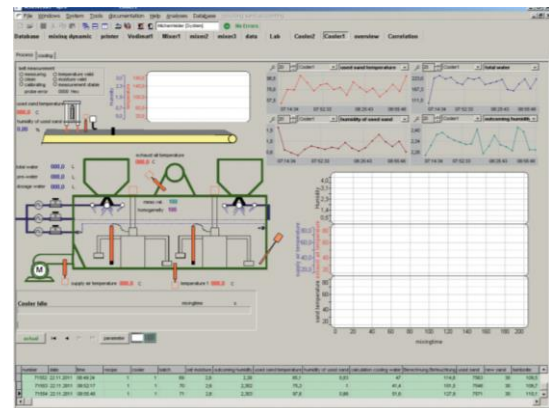
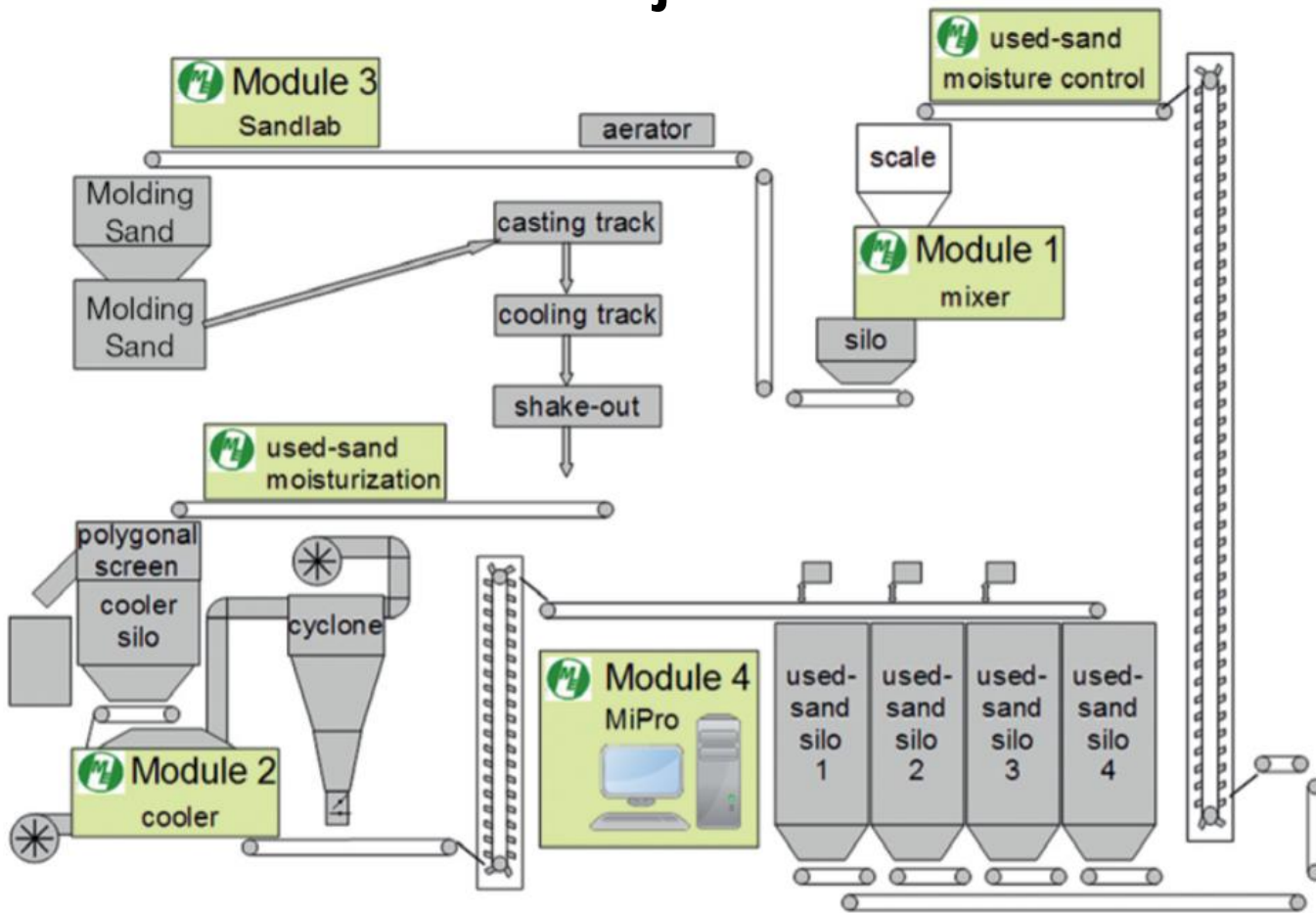
Můžeme si na  
tavírnách  
dovolit  
pracovat jako  
v minulém  
století?



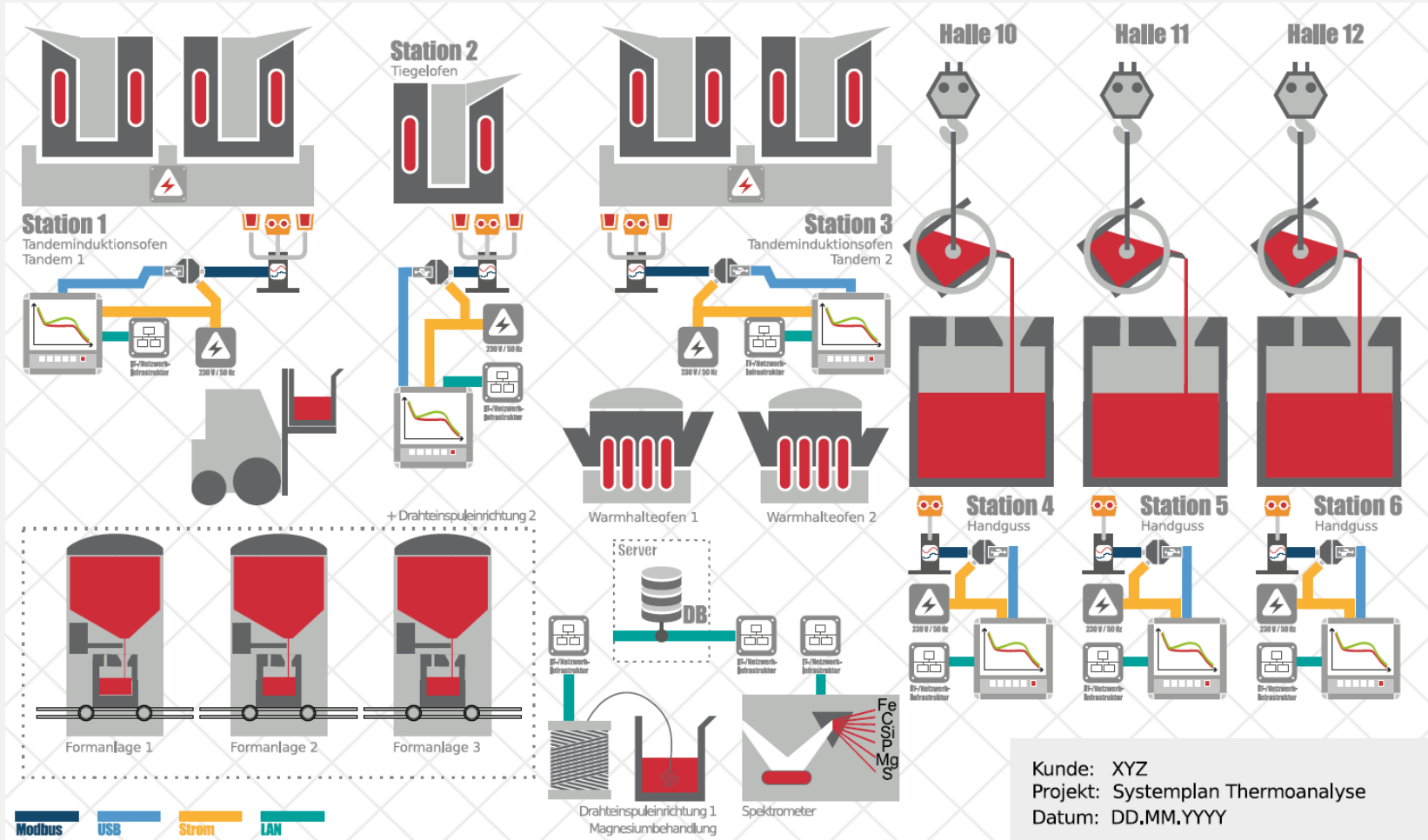
2 videa s  
výměnou  
pneumatik  
v boxech

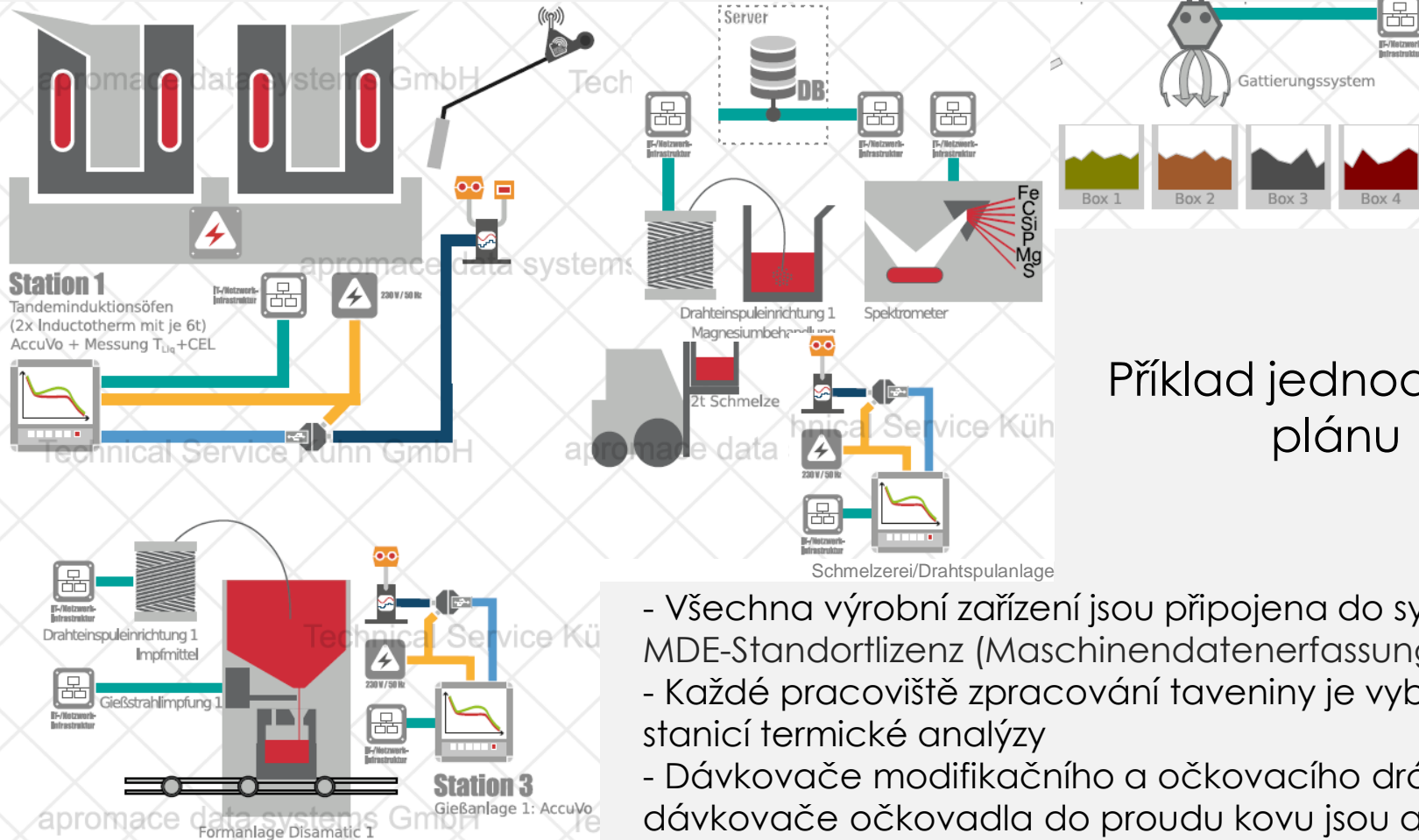
Je Vám tento  
příměr cizí?

# Práce s formovací směsí/kyberneticky fyzikální systém – realita již 15 let v CZ slévárnách



# Příklad systémového plánu

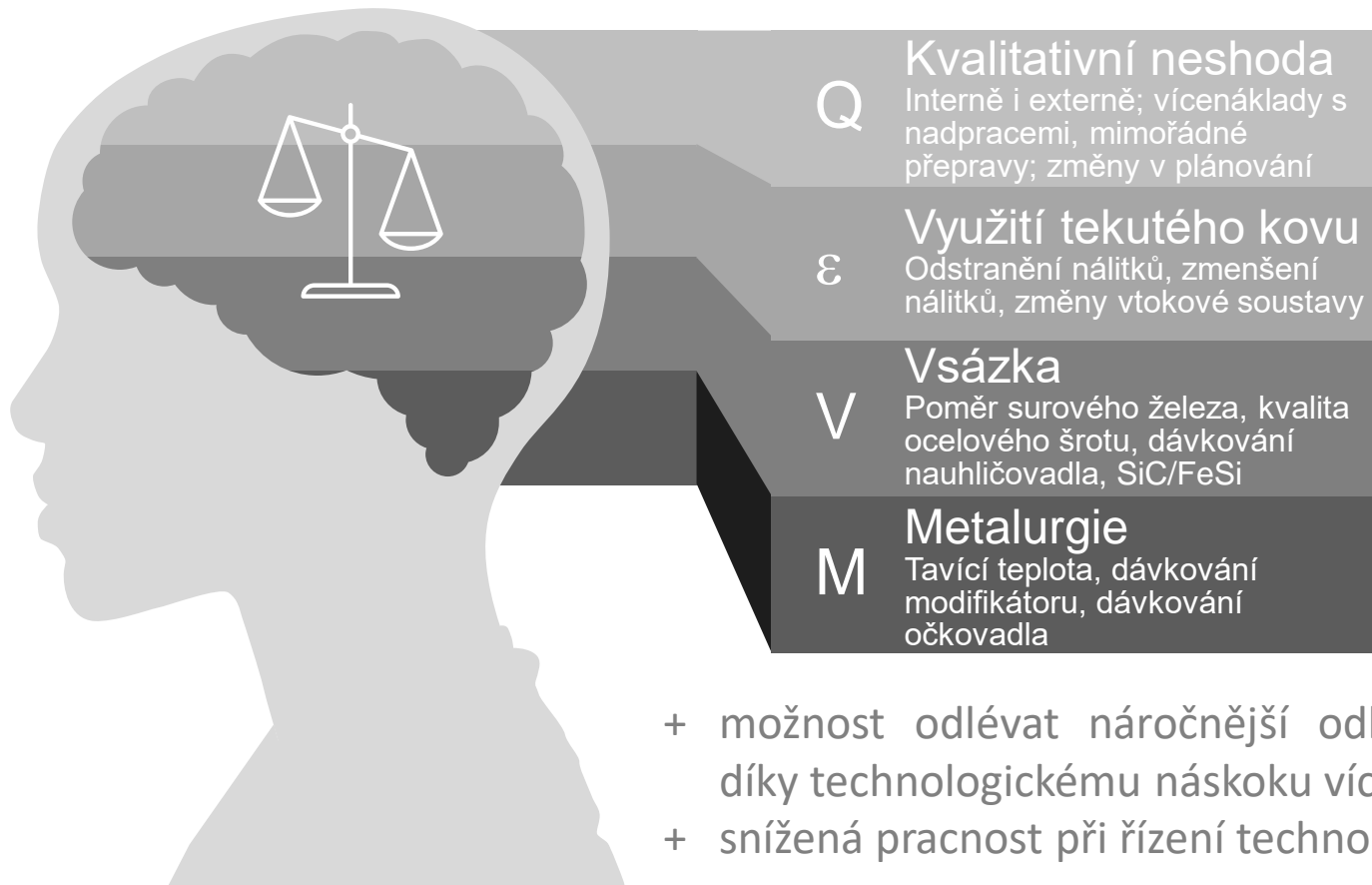




## Příklad jednoduššího plánu

- Všechna výrobní zařízení jsou připojena do systému MDE-Standortlizenz (Maschinendatenerfassung)
- Každé pracoviště zpracování taveniny je vybavené stanicí termické analýzy
- Dávkovače modifikačního a očkovacího drátu a dávkovače očkovadla do proudu kovu jsou automaticky řízené systémem MDE
- Modulární systém

# Potenciál úspor



- + možnost odlévat náročnější odlitky nebo získat díky technologickému náskoku více zakázek
- + snížená pracnost při řízení technologie a provozu



# Skladba vsázky

## Surové železo

volba kvality, kolísavá cena

## Ocelový šrot

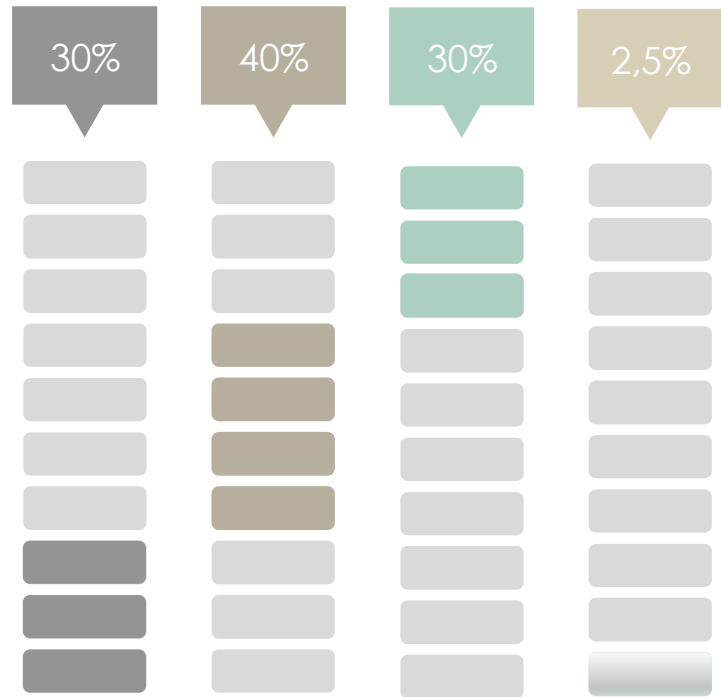
nedostatek tříděného s nízkým obsahem Mn, kolísavá cena

## Vratný kov

rozdílné podle typu výroby (65-20 %)

## Příklady

nauhličovadlo; SiC; FeSi



Chceme odlévat kvalitu ale za konkurenceschopné náklady

*Doporučuji studium:* Reisert T., Döpp, R.: Roheisen contra Stahlschrott? Giesserei č. 6, 1997, s. 14-18. „Reine Roheisenschmelzen gegenüber synthetischen Schmelzen mit verschiedenen Roheisen- und Stahlschrottanteilen keine Vorteilen zeigten“.

# Věnujte, prosím, pozornost nákladovým simulacím

## Příklad č. 1

### Kalkulace nákladů na vsázkú GJS 50

sériový provoz						alternativní provoz						
	jedn. cena [CZK/t]	podíl [%]	náklady na 6t pec [CZK]	náklady na 3t pec [CZK]	kg náklad		jednotková cena [CZK/t]	procentuální podíl [%]	náklady na 6t pec [CZK]	kg náklad	náklady na 3t pec [CZK]	kg náklad
surové železo	10100	20	12120	6060	2,02	surové železo	10100	8	4848,00	0,81	2424,00	0,81
ocelový šrot tříděný	7000		0	0	0,00	ocelový šrot tříděný	7000		0,00	0,00	0,00	0,00
ocelový šrot netříděný	6300	55	20790	10395	3,47	ocelový šrot netříděný	6300	67	25326,00	4,22	12663,00	4,22
litinový šrot	6400		0	0	0,00	litinový šrot	6400	0	0,00	0,00	0,00	0,00
vratný kov	6000	25	9000	4500	1,50	vratný kov	6000	25	9000,00	1,50	4500,00	1,50
nauhličovadlo	20720	1,5	1864,8	932,4	0,31	nauhličovadlo	20720	1,8	2237,76	0,37	1118,88	0,37
legura A			0	0	0,00	legura A			0,00	0,00	0,00	0,00
legura B			0	0	0,00	legura B			0,00	0,00	0,00	0,00
legura C			0	0	0,00	legura C			0,00	0,00	0,00	0,00
SiC	26877	1	1612,62	806,31	0,27	SiC	26877	1,2	1935,14	0,32	967,57	0,32
modifikátor (profil)	33670	0,5	1010,1	505,05	0,17	modifikátor	33670	0,33	666,67	0,11	333,33	0,11
očkovadlo 1	47915	0,25	718,725	359,3625	0,12	očkovadlo 1	47915	0	0,00	0,00	0,00	0,00
očkovadlo 2	49210	0,15	442,89	221,445	0,07	očkovadlo 2	49210	0,04	118,10	0,02	59,05	0,02
open cup termická an.	25,39 (ks)	(2 ks)	50,78	50,78		open cup termická an.	25,39 (ks)	(1 ks)	25,39		25,39	
						formička AccuVo®	133,38 (ks)	(2 ks)	266,80		266,80	
<b>CELKEM</b>			<b>47609,92</b>	<b>23830,35</b>	<b>7,93</b>	<b>CELKEM</b>			<b>44423,86</b>	<b>7,40</b>	<b>22358,03</b>	<b>7,45</b>
								DELTA [CZK]	3186,05	0,53	1472,32	0,49
								DELTA [%]		7,2%		6,6%

Pozn.: ceny vsázkových surovin a metalurgických přísad a jejich dávkování jsou převzaty z reálné slévárny „A“

Slévárna s 6t pecemi	Slévárna s 3t pecemi
roční úspora ve slévárně s objemem 5 tis tun: <b>2 655 043 Kč</b>	roční úspora při 5 tis tun: <b>2 453 868 Kč</b>
roční úspora ve slévárně s objemem 10 tis tun: <b>5 310 085 Kč</b>	roční úspora při 10 tis tun: <b>4 907 735 Kč</b>
roční úspora ve slévárně s objemem 15 tis tun: <b>7 965 128 Kč</b>	roční úspora při 15 tis tun: <b>7 361 603 Kč</b>

Pozn.: Kalkulace nezohledňuje zvýšené energetické náklady na tavení vsázky s větším podílem šrotu.

# Věnujte, prosím, pozornost nákladovým simulacím

## Příklad č. 2

Kalkulace nákladů na vsázku GJS 50						alternativní provoz						
sériový provoz						alternativní provoz						
	jedn. cena [CZK/t]	podíl [%]	náklady na 6t pec [CZK]	náklady na 3t pec [CZK]	kg náklad		jedn. cena [CZK/t]	podíl [%]	náklady na 6t pec [CZK]	kg náklad	náklady na 3t pec [CZK]	kg náklad
surové železo	10 083	16,6	10 042,7	5 021,3	1,67	surové železo	10100	8	4848	0,81	2424	0,81
ocelový šrot tříděný	8 755	12,5	6 566,3	3 283,1	1,09	ocelový šrot tříděný	7000	20,6	8652	1,44	4326	1,44
ocelový šrot netříděný	7 790	9,8	4 557,2	2 278,6	0,76	ocelový šrot netříděný	6300	10	3780	0,63	1890	0,63
litinový šrot	7 250	5,6	2 436,0	1 218,0	0,41	litinový šrot	6400	5,6	2150,4	0,36	1075,2	0,36
vratný kov	6 000	54,0	19 440,0	9 720,0	3,24	vratný kov	6000	54,3	19548	3,26	9774	3,26
nauhličovadlo	14 000	1,2	1 008,0	504,0	0,17	nauhličovadlo	20720	1,5	1864,8	0,31	932,4	0,31
legura A (cín)	540 000	0,001	16,2	8,1	0,00	legura A	540 000	0,001	16,2	0,00	8,1	0,00
legura B			0	0	0,00	legura B			0	0,00	0	0,00
legura C			0	0	0,00	legura C			0	0,00	0	0,00
FeSi	34 720	0,34	708,288	354,144	0,12	FeSi	34 720	0,5	1041,6	0,17	520,8	0,17
modifikátor (Tundish 10%Mg)	43 460	1,00	2 607,6	1 303,8	0,43	modifikátor	43 460	0,85	2216,46	0,37	1108,23	0,37
zásyp modifikátoru						zásyp modifikátoru						
očkovoadlo 1	48 600	0,08	233,3	116,6	0,04	očkovoadlo 1	48 600	0	0	0,00	0	0,00
očkovoadlo 2	59 660	0,04	125,3	62,6	0,02	očkovoadlo 2	59 660	0,04	143,18	0,02	71,592	0,02
open cup termická an.	25,39 (ks)	(2 ks)	50,78	50,78		open cup termická an.	25,39 (ks)	(1 ks)	25,39		25,39	0,01
						formička AccuVo®	133,38 (ks)	(2 ks)	266,80		266,80	
<b>CELKEM</b>			<b>47 791,5</b>	<b>23 921,1</b>	<b>7,97</b>	<b>CELKEM</b>			<b>44552,834</b>	<b>7,43</b>	<b>22422,512</b>	<b>7,47</b>
							DELTA		3238,67	0,54	1498,63	0,50
										7,3%		6,7%
							Slévárna s 6t pecemi			Slévárna s 3t pecemi		
							roční úspora ve slévárně s objemem 5 tis tun:	<b>2 698 890 Kč</b>		roční úspora při 5 tis tun:	<b>2 497 715 Kč</b>	
							roční úspora ve slévárně s objemem 10 tis tun:	<b>5 397 780 Kč</b>		roční úspora při 10 tis tun:	<b>4 995 430 Kč</b>	
							roční úspora ve slévárně s objemem 15 tis tun:	<b>8 096 670 Kč</b>		roční úspora při 15 tis tun:	<b>7 493 145 Kč</b>	

Pozn.: ceny vsázkových surovin a metalurgických přísad a jejich dávkování jsou převzaty z reálné slévárny „A“

Pozn.: Kalkulace nezohledňuje zvýšené energetické náklady na tavení vsázky s větším podílem šrotu.

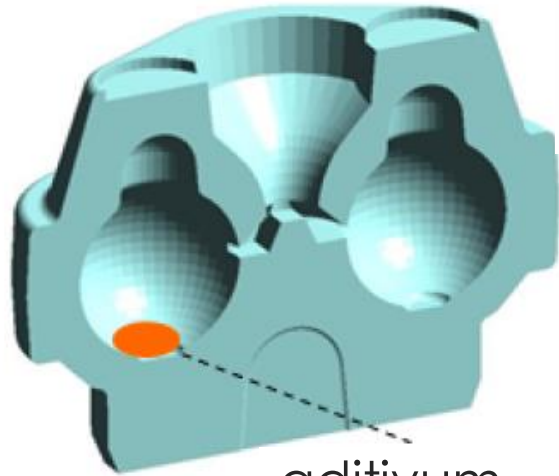
# Věnujte, prosím, pozornost nákladovým simulacím

## Příklad č. 3

Kalkulace nákladů na vsázku GJS 40						Kalkulace nákladů na vsázku GJS 40						
sériový provoz						alternativní provoz						
	jedn. cena [CZK/t]	podíl [%]	náklady na 6t pec [CZK]	náklady na 3t pec [CZK]	kg náklad		jedn. cena [CZK/t]	podíl [%]	náklady na 6t pec [CZK]	kg náklad	náklady na 3t pec [CZK]	kg náklad
surové železo	11000	20	13200	6600	2,20	surové železo	11000	8	5280	0,88	2640	0,88
ocelový šrot tříděný	8600	16,5	8514	4257	1,42	ocelový šrot tříděný	8600	28	14448	2,41	7224	2,41
ocelový šrot netříděný	4800	2	576	288	0,10	ocelový šrot netříděný	4800	2	576	0,10	288	0,10
litinový šrot			0	0	0,00	litinový šrot			0	0,00	0	0,00
vratný kov	6000	60	21600	10800	3,60	vratný kov	6000	60	21600	3,60	10800	3,60
nauhličovadlo	12020	0,5	360,6	180,3	0,06	nauhličovadlo	12020	0,7	504,84	0,08	252,42	0,08
legura A			0	0	0,00	legura A			0	0,00	0	0,00
legura B			0	0	0,00	legura B			0	0,00	0	0,00
legura C			0	0	0,00	legura C			0	0,00	0	0,00
SiC	21900	1	1314	657	0,22	SiC	21900	1,2	1576,8	0,26	788,4	0,26
modifikátor/polévací m	52400	1,2	3772,8	1886,4	0,63	modifikátor	52400	1,1	3458,4	0,58	1729,2	0,58
očkovadlo 1	90000	0,25	1350	675	0,23	očkovadlo 1	90000	0,1	540	0,09	270	0,09
očkovadlo 2			0	0	0,00	očkovadlo 2			0	0,00	0	0,00
zásyp	8600	0,7	361,2	180,6	0,06	zásyp	8600	0,7	361,2		180,6	0,06
open cup termická an.	25,39 (ks)	(2 ks)	50,78	50,78		open cup termická an.	25,39 (ks)	(1 ks)	25,39		25,39	
						formička AccuVo®	133,38 (ks)	(2 ks)	266,80		266,80	
<b>CELKEM</b>			<b>51099,38</b>	<b>25575,08</b>	<b>8,52</b>	<b>CELKEM</b>			<b>48637,43</b>	<b>8,11</b>	<b>24464,81</b>	<b>8,15</b>
								DELTA	2461,95	0,41	1110,27	0,37
										5,1%		4,5%
						<i>Slévárna s 6t pecemi</i>					<i>Slévárna s 3t pecemi</i>	
						roční úspora ve slévárně s objemem 5 tis tun:	<b>2 051 625 Kč</b>				roční úspora při 5 tis tun:	<b>1 850 450 Kč</b>
						roční úspora ve slévárně s objemem 10 tis tun:	<b>4 103 250 Kč</b>				roční úspora při 10 tis tun:	<b>3 700 900 Kč</b>
						roční úspora ve slévárně s objemem 15 tis tun:	<b>6 154 875 Kč</b>				roční úspora při 15 tis tun:	<b>5 551 350 Kč</b>

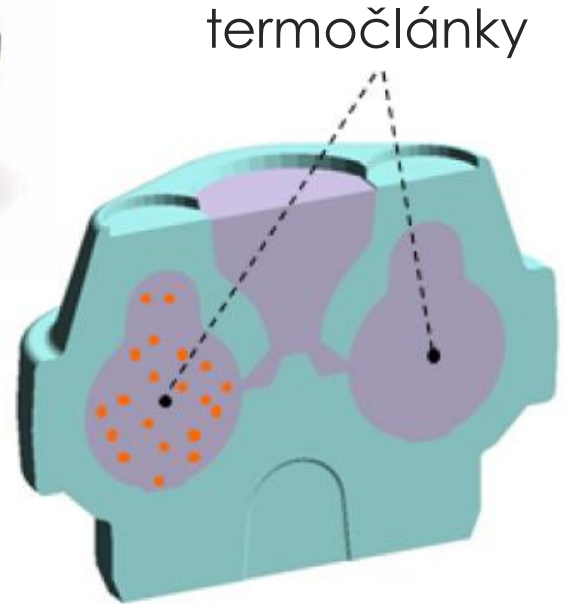
Pozn.: ceny vsázkových surovin a metalurgických přísad a jejich dávkování jsou převzaty z reálné slévárny „C“

Pozn.: Kalkulace nezohledňuje zvýšené energetické náklady na tavení vsázky s větším podílem šrotu.



aditivum  
(očkovadlo sériově  
používané ve slévárně)

a) prázdná formička



Po nalití kovu,  
aditivum se  
rozpuští v tavenině,  
aniž aby opustilo  
komůrku

b) formička po naplnění



# Popis inovací – 11 oblastí

Stupeň naplnění  
reprodukovatelný

Jednotný  
vtok pro  
2 komůrky

Anorganické  
pojivo



Komůrka A

Průměr drátu  
0,5 mm

Kvalita drátu  
Chyba  $\pm 0,50$  °C  
>800 °C/s

Komůrka B

Očkovadlo 0,04 nebo 0,1%  
Množství 48 mg  
Přesnost  $\pm 2$  mg  
S nebo bez síry

Optimalizovaná  
dělicí rovina

Koule  $\varnothing$  30 mm  
120 g

Termočlánkový  
spoj/čelní spojení  
drátů v délce 0,5mm

Průměr trubičky  
1,6 mm

Tangenciální zavtokování komůrky



Konvenční  
přes 30 let  
staré řešení  
pro určení  
 $T_{liq}$



# Popis inovací – pokračování *dalších 8 oblastí*



signalbus

Kabelový nebo  
rádiový přenos dat



1, 2, 3 ramena

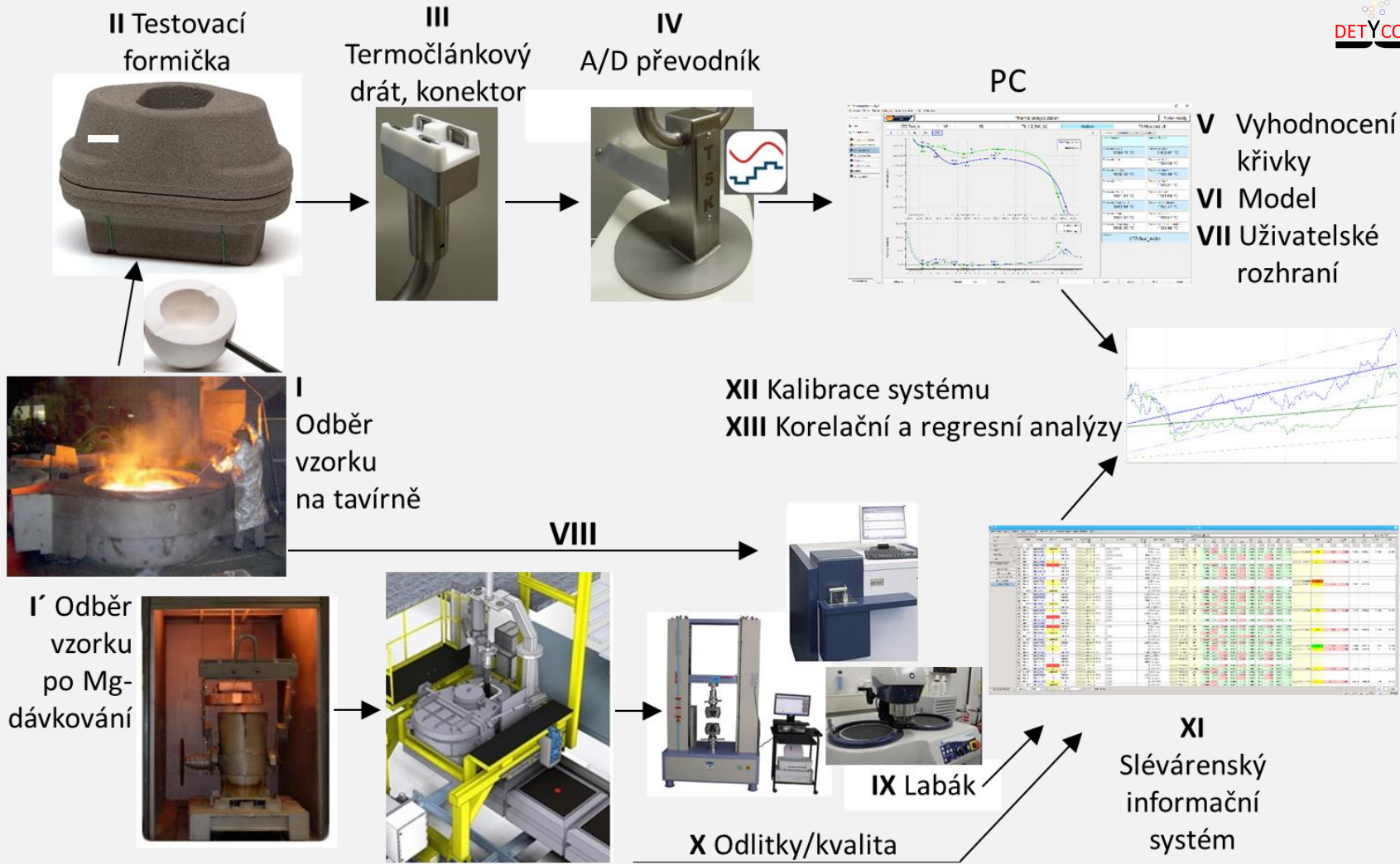
Délka vedení minimální

Bez kompenzačního vedení

A/D-převodník 40 Hz rychlost čtení odezvy

Kontinuální měření teploty studených spojů

A/D-převodník odcloněný a tepelně izolovaný ve stativu





# Případová studie

řídit metalurgii podle chemie je NEDOSTATEČNÉ

## Chemické složení

Číslo pánve	C* [%]	Si [%]	Mn [%]	P [%]	S [%]	Cr [%]	Al [%]	Cu [%]	Mg [%]	CE
DC_1	3,60	2,63	0,42	0,012	0,005	0,032	0,014	0,025	0,040	4,47
DC_2	3,56	2,7	0,42	0,012	0,005	0,032	0,014	0,024	0,043	4,46
DC_3	3,63	2,67	0,42	0,015	0,004	0,033	0,013	0,025	0,047	4,52
DC_4	3,54	2,68	0,42	0,013	0,005	0,032	0,015	0,025	0,046	4,43
DC_5	3,68	2,59	0,41	0,015	0,005	0,037	0,013	0,023	0,047	4,54
DC_6	3,70	2,54	0,42	0,015	0,005	0,038	0,014	0,024	0,043	4,54
DC_7	3,65	2,88	0,43	0,011	0,005	0,032	0,013	0,036	0,048	4,61
DC_8	3,56	2,89	0,42	0,010	0,004	0,032	0,011	0,036	0,053	4,52
DC_9	3,6	2,87	0,43	0,011	0,005	0,033	0,011	0,035	0,050	4,56

podeutektické

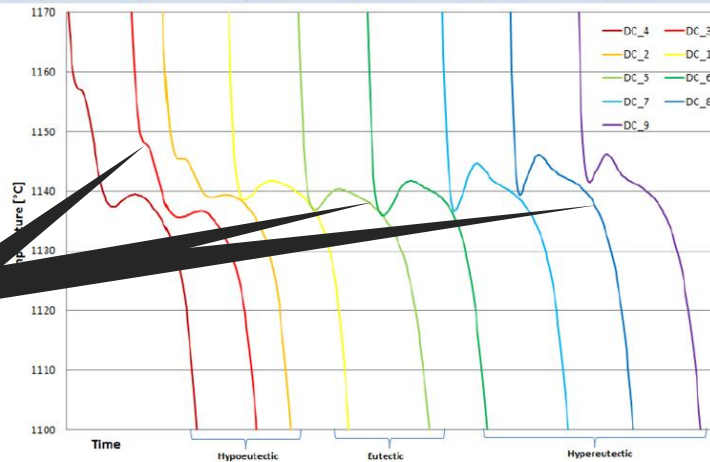
nadeutektické

tuhnutí

Minimální rozdíly

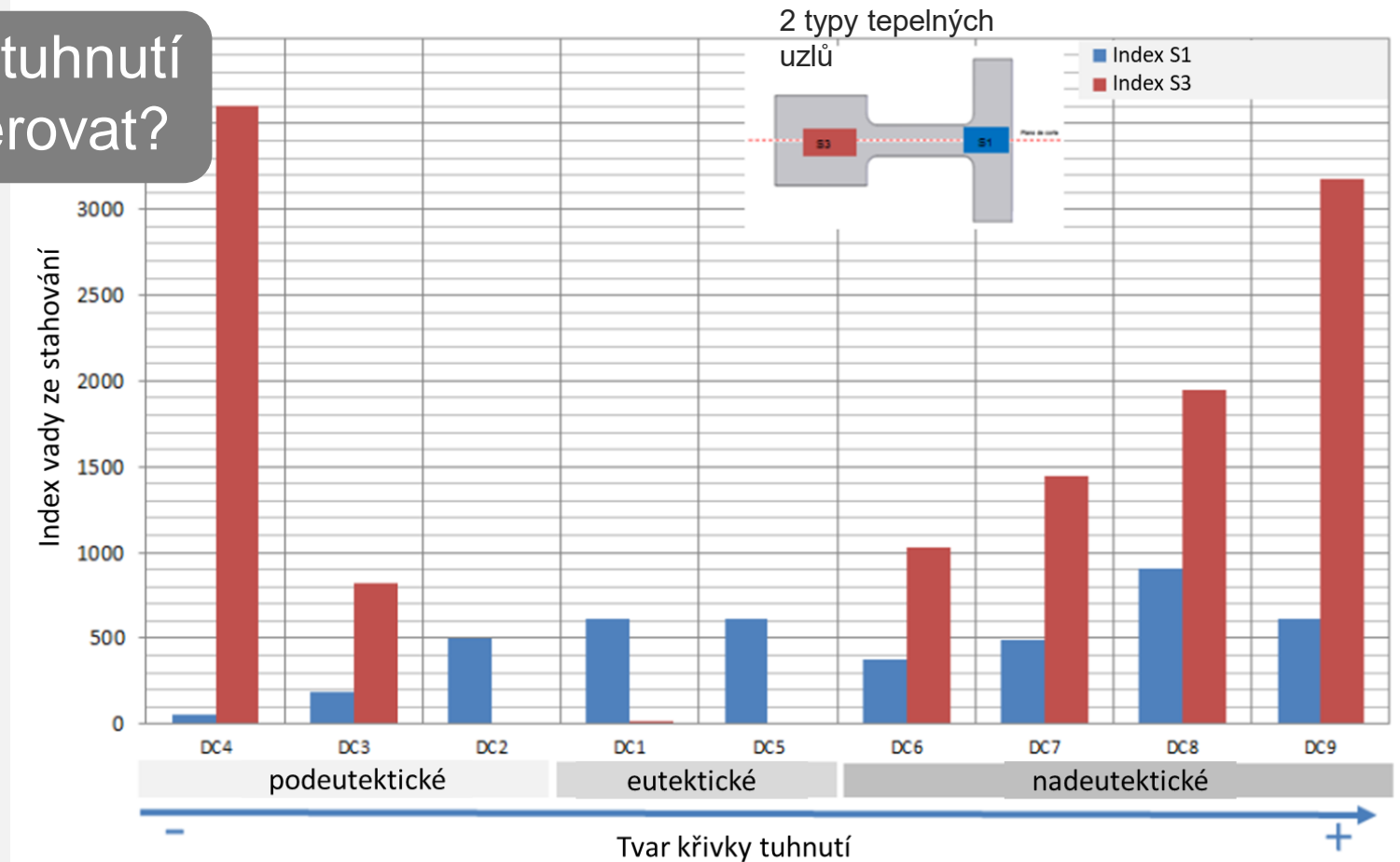
$$CE = C[\%] + \frac{1}{3}Si[\%]$$

Totožná hodnota CE!



Vliv různého metalurgického zpracování!

# Jaké tuhnutí preferovat?



Minimální požadavky na dosazování taveniny litiny s kuličkovým grafitem jsou dosažitelné při tuhnutí mírně podeutektickém

# Strategie



## Co nám dnes dělá starosti

- Pozice na trhu
- Pohyblivé ceny vstupů
- Náročnost výroby
- Kvalifikace pracovníků, fluktuace

## Důvod změn v řízení metalurgie

- Digitalizace sběru dat
- Databázové zpracování dat
- Automatizace
- Rychlost rozhodování



## S kým spolupracovat

- Reference
- Důvěra
- Vytvoření týmu
- Podpora týmu

## Jak se taková změna realizuje

- Zmapování stavu
- ROI
- Technické zadání
- Projektové řízení
- Kontrolní dny

# Jak na to?

1

Kritická  
sebereflexe

- ~~To stačí~~
- ~~To nám nedají~~
- Oblasti zlepšení
- Parametrizovat
- Ocenit

2

Měření

- Data
- Fakta
- Čísla
- Analyzovat

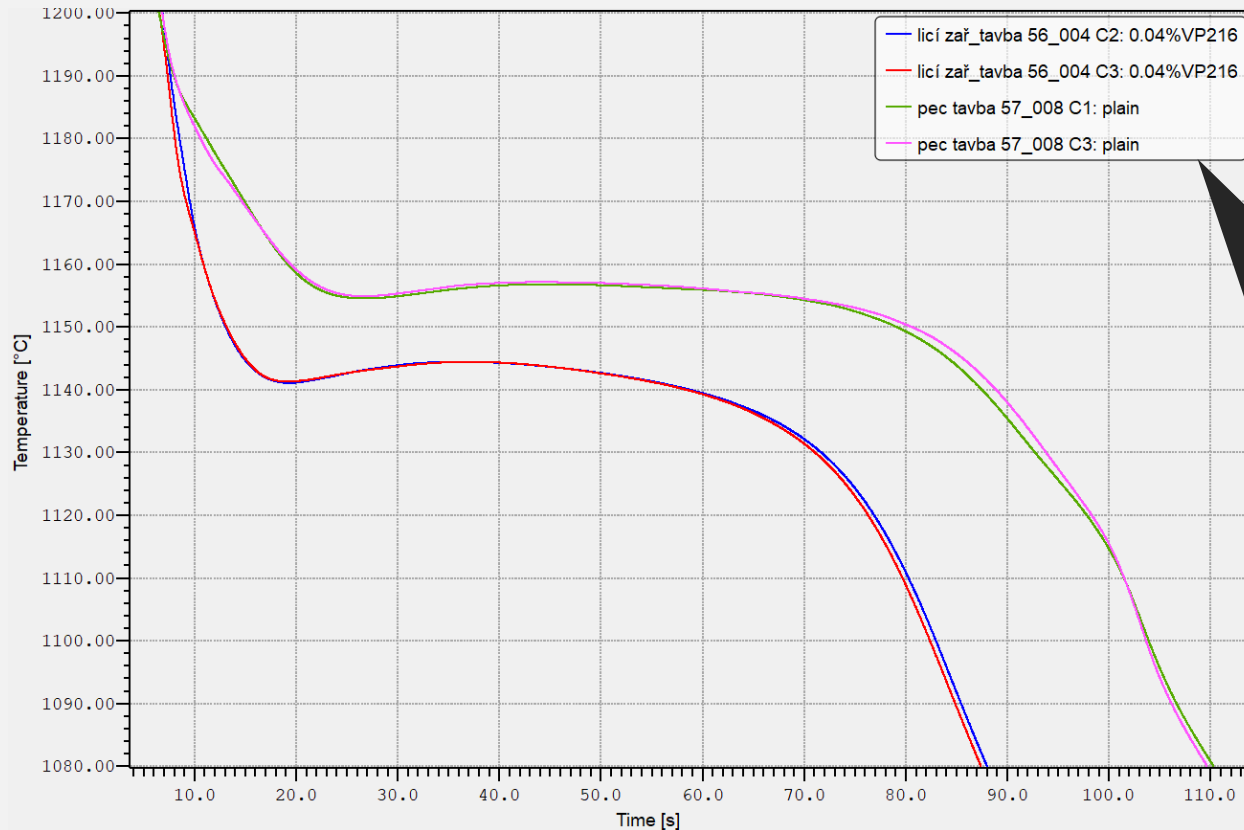
3

Nabídkové  
jednání

- Technické zadání je objednávková položka

# Věnujte, prosím, pozornost reálným analýzám AccuVo®

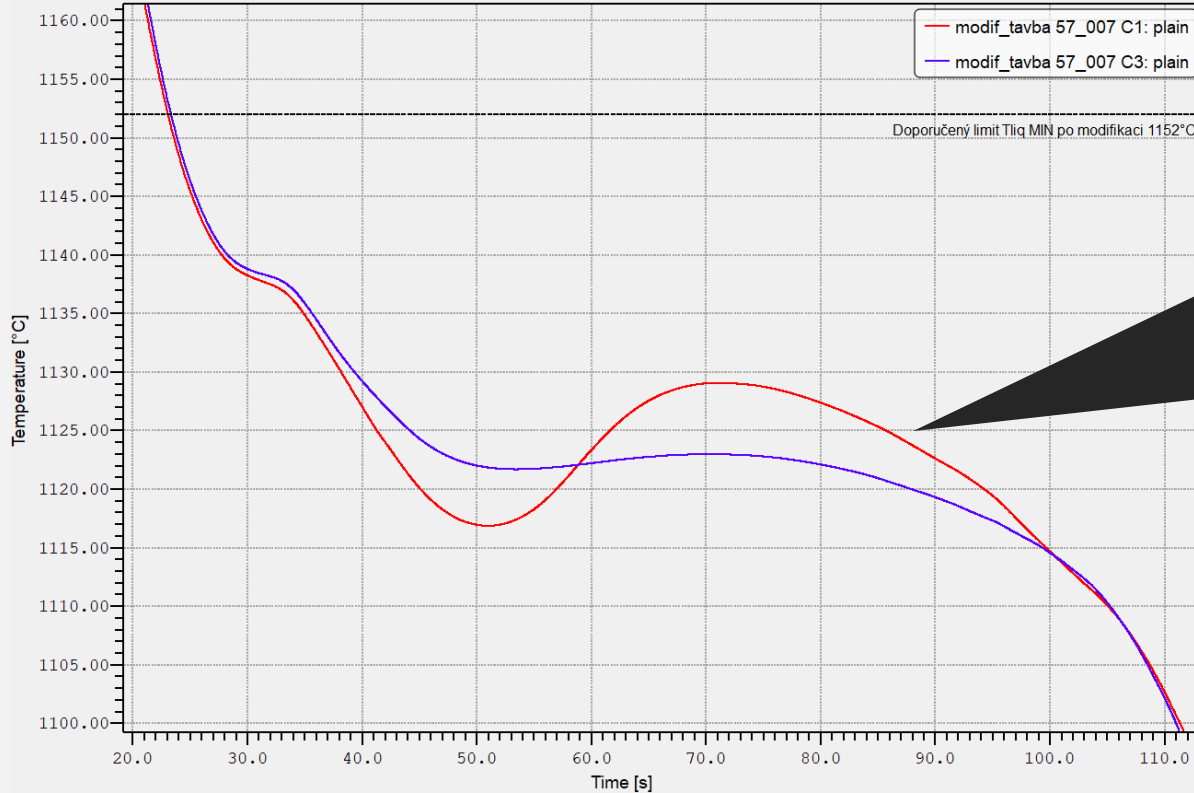
Zařízení musí být v prvé řadě přesné a metoda zajišťující reprodukovatelnost výsledků



Nejenom že AccuVo bez očkovačla (plain) změří 2 formičky odlité po sobě **identické křivky**, ale i dávkování a rozpustnost očkovačla v komůrce AccuVo zajišťuje mimořádně vysokou **reprodukovatelnost výsledků**

# Věnujte, prosím, pozornost reálným analýzám AccuVo®

Eutektická tavenina není při tuhnutí předvídatelná, tavenina nereaguje predikovatelně na metalurgické přísady → **NEDOPORUČUJEME** nastavit metalurgii na čistě eutektické tuhnutí

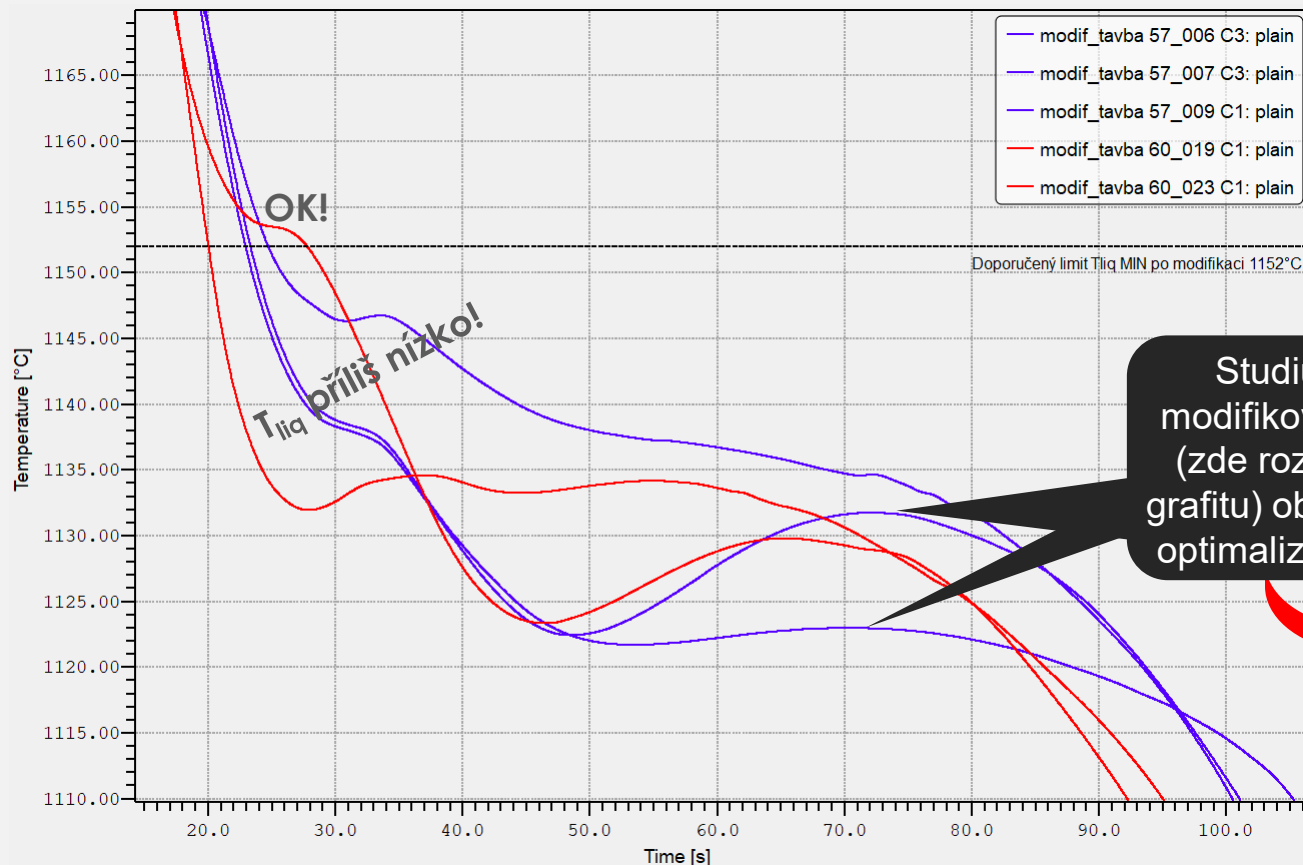


Jeden a ten samý kov:  
tavenina z jednoho  
odběru kovu  
keramickou naběračkou  
se chová při krystalizaci  
grafitu zcela odlišně.

V slévárenské praxi v  
Německu lze sledovat  
trend → zajistit mírně  
podeutektické tuhnutí.

# Věnujte, prosím, pozornost reálným analýzám AccuVo®

Tavírna musí vyrábět kov se stabilizovanou teplotou likvidu (nabízíme  $\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ).



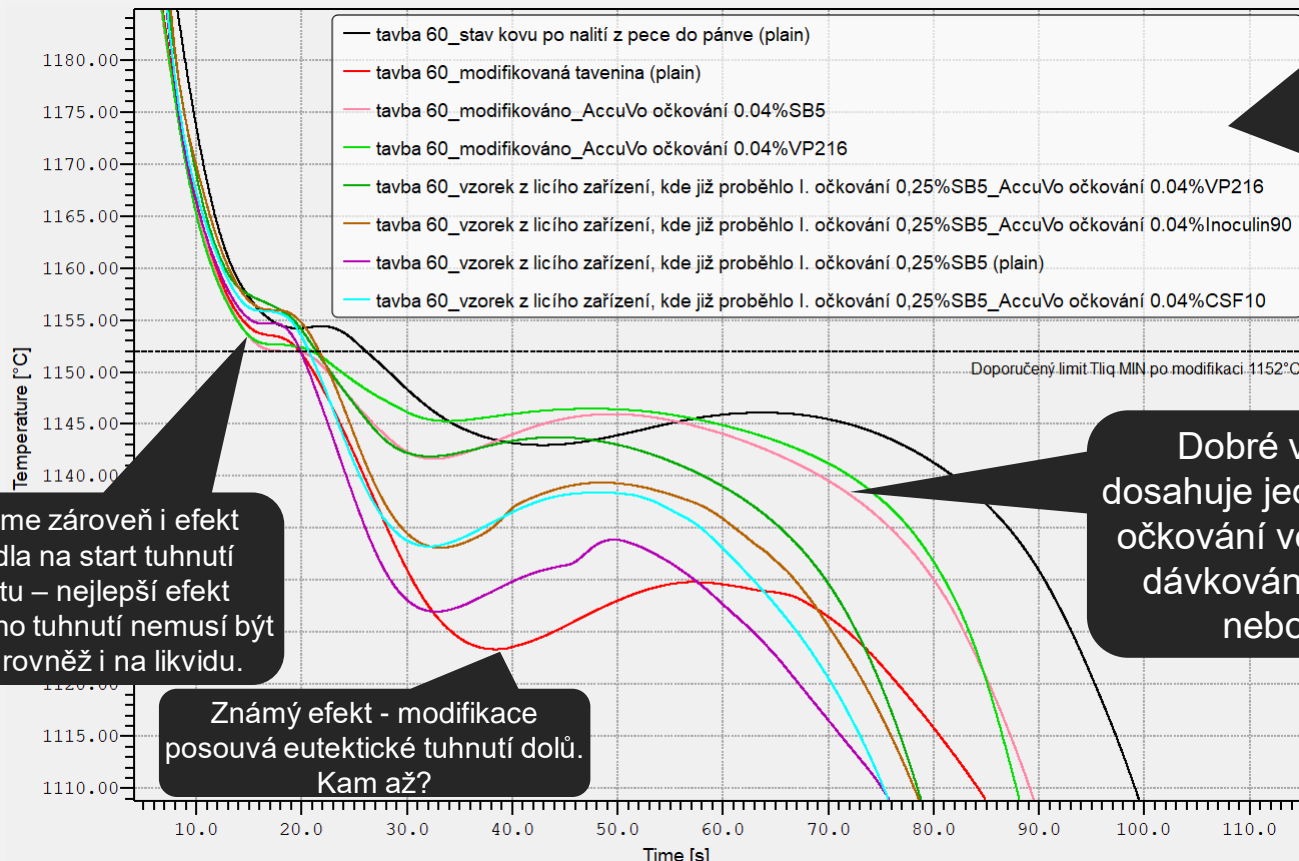
Přestože výroba jedné slitiny GJS50: na 2 tavbách naměřený rozptyl Tliq přes 20 °C a rozdílné charaktery tuhnutí.

Studium tuhnutí modifikované taveniny (zde rozdílné tuhnutí grafitu) obvykle pomáhá optimalizovat očkování

Eutektické tuhnutí nedoporučujeme nastavit – proces se nedá spolehlivě řídit

# Věnujte, prosím, pozornost reálným analýzám AccuVo®

AccuVo umožňuje predikovat tuhnutí taveniny ještě před provozním očkovaním:



Zcela názorný a neodiskutovatelný přehled, co se s taveninou děje směrem od pece do dutiny formy. Lze srovnat sériové podmínky s alternativními materiály, včetně dávkování.

Dobré výsledky dosahuje jednostupňové očkování velmi nízkým dávkováním VP216 nebo SB5

Posuzujeme zároveň i efekt očkovačla na start tuhnutí austenitu – nejlepší efekt eutektického tuhnutí nemusí být sledán rovněž i na likvidu.

Známý efekt - modifikace posouvá eutektické tuhnutí dolů. Kam až?



# Děkuji za pozornost



Kvalita leadershipu a leadership v kvalitě