



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

ÚSTAV MATERIÁLOVÝCH VĚD A INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

INSTITUTE OF MATERIALS SCIENCE AND ENGINEERING

VYUŽITÍ HOMOGENIZAČNÍHO ŽÍHÁNÍ K POTLAČENÍ SEGREGACE KŘEMÍKU A NIKLU V LKG

**APPLICATION OF HOMOGENIZATION ANNEALING TO SUPPRESS SILICON AND NICKEL SEGREGATION IN
DUCTILE IRON**

DOKTORSKÁ PRÁCE

DOCTORAL THESIS

AUTOR PRÁCE

Ing. ZINA PAVLOUŠKOVÁ

AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE

prof. Ing. JIŘÍ ŠVEJCAR, CSc.

SUPERVISOR

Abstrakt

Dizertační práce je zaměřena na porovnání různých metod měření koncentrace přísadových prvků, založených na principu energiově disperzní spektrální analýzy, a na posouzení vhodnosti použití jednotlivých metod kvantitativního hodnocení heterogenity matrice LKG včetně konstrukce segregčních křivek, vyjádření rozdělovacích koeficientů a indexu heterogenity. Nově zavádí pojem „normovaný rozdělovací koeficient“. Prostřednictvím vyhodnocení značně rozsáhlého souboru experimentálních prací si klade za cíl prověřit možnost využití homogenizačního žíhání u LKG k odstranění segregace křemíku a zejména niklu jako perlitizační přísady a karbidotvorného prvku na hranici eutektické buňky. Výsledkem je potom návrh optimalizovaného postupu homogenizačního žíhání LKG z hlediska maximálního snížení segregace křemíku a niklu a s přihlédnutím k minimalizaci finančních nákladů a nebezpečí zhrubnutí zrna.

Abstract

This doctoral thesis deals with the comparison of different methods of alloying elements' concentration measurement based on energy dispersive spectroscopy and also with the suitability of particular methods of quantitative assessment of heterogeneity of the spheroidal graphite cast iron matrix. The segregation curves construction, distribution coefficient and heterogeneity index formulation is also discussed. The notion "normalized distribution coefficient" is introduced newly. The goal of the thesis, which is to be achieved by means of evaluation of large experimental data sets, is the evaluation of applicability of homogenization annealing of spheroidal graphite cast iron with the aim to eliminate segregation of silicon, and mainly nickel, as pearlite- and carbide-forming agent at the border of an eutectic cell. The result is an optimized homogenization annealing schedule maximizing the suppression of silicon and nickel segregation while taking into account the minimization of financial expenses and risk of grain coarsening.

Klíčová slova

litina s kuličkovým grafitem; hodnocení heterogenity matrice; homogenizační žíhání; odstranění segregace křemíku a niklu; energiově disperzní analýza

Keywords

Spheroidal graphite cast iron; Matrix heterogeneity assessment; Homogenization annealing; Silicon and nickel segregation elimination; Energy dispersive analysis

Bibliografická citace

PAVLOUŠKOVÁ, Z. *Využití homogenizačního žíhání k potlačení segregace křemíku a niklu v LKG*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2010. 192 s. Vedoucí dizertační práce prof. Ing. Jiří Švejcar, CSc.

Prohlašuji, že předkládanou práci jsem zpracovala zcela samostatně na základě provedených experimentů a s použitím dostupných citovaných literárních pramenů.

Poděkování

Na tomto místě bych ráda poděkovala za cenné rady svému školiteli, prof. Ing. Jiřímu Švejcarovi, CSc., za podnětné připomínky prof. Ing. Karlovi Stránskému, DrSc. a dále doc. Ing. Bohumilu Pacalovi, CSc. za kolegiální pomoc v experimentální fázi i dalším kolegům, kteří přispěli mnohdy cennou radou.

Zejména pak patří můj dík mým blízkým, bez jejichž tolerance a morální podpory by tato práce nemohla vzniknout.

OBSAH

1. ÚVOD	5
1.1. DEFINICE LITIN	5
1.2. ROZDĚLENÍ A VÝZNAM LITIN	5
2. KRYSTALIZACE LITIN.....	7
2.1. ROVNOVÁŽNÁ KRYSTALIZACE	7
2.2. NEROVNOVÁŽNÁ KRYSTALIZACE	11
2.3. VZTAH MEZI STRUKTUROU A VLASTNOSTMI LITIN	13
3. LITINA S KULIČKOVÝM GRAFITEM	15
3.1. SOUVISLOST MEZI CHEMICKÝM SLOŽENÍM, STRUKTUROU A VLASTNOSTMI LKG	16
3.2. DRUHY LITIN S KULIČKOVÝM GRAFITEM	18
3.3. TEPELNÉ ZPRACOVÁNÍ	19
3.3.1. Žhání.....	19
3.3.2. Zušlechťování	20
3.3.3. ADI litina	21
3.3.4. Faktory ovlivňující strukturu.....	24
3.3.5. Souvislost mezi chemickým složením a mikroheterogenitou struktury.....	25
4. CHEMICKÁ HETEROGENITA SLITIN ŽELEZA	27
4.1. SEGREGAČNÍ POCHODY	27
4.2. ROZDĚLOVACÍ KOEFICIENTY	29
4.2.1. Rovnovážný rozdělovací koeficient.....	29
4.2.2. Mezifázový rozdělovací koeficient.....	29
4.2.3. Efektivní rozdělovací koeficient.....	30
4.2.4. Závislost rovnovážného rozdělovacího koeficientu na koncentraci příměsi.....	33
4.3. STANOVENÍ DISTRIBUČNÍCH KŘIVEK DENDRITICKÉ SEGREGACE PRVKŮ	35
4.4. STANOVENÍ INDEXU HETEROGENITY	38
4.5. STANOVENÍ KOEFICIENTU HETEROGENITY	38
4.6. STANOVENÍ INDEXU SEGREGACE	39

4.7.	VZÁJEMNÁ INTERAKCE PRVKŮ	39
4.8.	HOMOGENIZAČNÍ PROCESY	39
4.9.	VLIV RŮZNÝCH ŽÍHACÍCH PROCESŮ NA MECHANICKÉ VLASTNOSTI.....	42
5.	URČOVÁNÍ CHEMICKÉ HETEROGENITY V LKG.....	45
5.1.	KVALITATIVNÍ URČOVÁNÍ HETEROGENITY	45
5.2.	KVANTITATIVNÍ URČOVÁNÍ HETEROGENITY POMOCÍ MĚŘENÍ.....	45
5.3.	KVANTITATIVNÍ URČOVÁNÍ HETEROGENITY POMOCÍ VÝPOČTU	49
6.	CÍLE PRÁCE.....	51
7.	EXPERIMENT	53
7.1.	POUŽITÝ MATERIÁL	53
7.2.	POSTUP EXPERIMENTÁLNÍCH PRACÍ	53
7.2.1.	<i>Homogenizační žíhání.....</i>	<i>53</i>
7.2.2.	<i>Příprava metalografických výbrusů.....</i>	<i>54</i>
7.2.3.	<i>EDS mikroanalýza</i>	<i>54</i>
7.3.	NAMĚŘENÉ VÝSLEDKY A JEJICH ZPRACOVÁNÍ	57
7.3.1.	<i>Výsledky EDS analýz</i>	<i>57</i>
7.3.2.	<i>Statistické vyhodnocení naměřených dat</i>	<i>57</i>
7.3.3.	<i>Grafické zpracování naměřených dat.....</i>	<i>59</i>
7.3.4.	<i>Stanovení segregáčních křivek.....</i>	<i>71</i>
7.3.5.	<i>Průběh efektivních rozdělovacích koeficientů v objemovém elementu.....</i>	<i>73</i>
7.3.6.	<i>Zavedení pojmu normovaný rozdělovací koeficient, jeho stanovení a zpracování průběhů v objemovém elementu.....</i>	<i>75</i>
7.3.7.	<i>Závislosti efektivních rozdělovacích koeficientů na jmenovitých obsazích prvků</i>	<i>77</i>
7.3.8.	<i>Statistická analýza měření koncentrací po homogenizaci 10 hodin vs. 24 hodin</i>	<i>82</i>
7.3.9.	<i>Stanovení indexů heterogenity</i>	<i>85</i>
7.3.10.	<i>Závislost indexů heterogenity na jmenovitých obsazích prvků</i>	<i>87</i>
8.	DISKUSE VÝSLEDKŮ	91
8.1.	EDS MIKROANALÝZA	91
8.2.	STATISTICKÉ VYHODNOCENÍ NAMĚŘENÝCH DAT.....	92

8.3.	GRAFICKÉ ZPRACOVÁNÍ NAMĚŘENÝCH DAT	92
8.4.	VYHODNOCENÍ SEGREGAČNÍCH KŘIVEK.....	94
8.5.	EFEKTIVNÍ ROZDĚLOVACÍ KOEFICIENTY A JEJICH PRŮBĚH V OBJEMOVÉM ELEMENTU	95
8.6.	NORMOVANÉ ROZDĚLOVACÍ KOEFICIENTY, STANOVENÍ A PRŮBĚH V OBJEMOVÉM ELEMENTU	96
8.7.	ZÁVISLOSTI EFEKTIVNÍCH ROZDĚLOVACÍCH KOEFICIENTŮ NA JMENOVITÝCH OBSAZÍCH PRVKŮ	98
8.8.	STATISTICKÁ ANALÝZA MĚŘENÍ KONCENTRACÍ PO HOMOGENIZACI S VÝDRŽÍ 10 A 24 HODIN	100
8.9.	STANOVENÍ INDEXŮ HETEROGENITY	101
8.10.	ZÁVISLOST INDEXŮ HETEROGENITY NA JMENOVITÝCH OBSAZÍCH PRVKŮ	101
9.	ZÁVĚR.....	103
10.	LITERATURA	107
11.	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	111
12.	PŘÍLOHY	115
12.1.	TABULKOVÁ ČÁST	115
12.2.	OBRAZOVÁ ČÁST	165
12.3.	DATOVÁ ČÁST	171

1. ÚVOD

1.1. Definice litin

Litiny jsou slitiny železa s obsahem uhlíku vyšším, než je jeho mezní rozpustnost v austenitu za eutektické teploty. Vedle vyššího obsahu uhlíku mají obvykle i větší množství příměsí (Si, Mn, P, S) než ocel. [1]

1.2. Rozdělení a význam litin

Litiny se díky své nízké ceně a dobrým technologickým vlastnostem (především slévateľnosti) ve spojení s vyhovujícími mechanickými vlastnostmi používají většinou pro konstrukční účely. Přestože v posledních desetiletích výroba i význam slitin železa (tudíž i litin) klesá, stále jsou (a v reálně prognostikované perspektivě i zůstanou) velmi důležitou skupinou kovových materiálů. Jejich mechanické vlastnosti závisí na chemickém složení, úzce souvisejícím se strukturou materiálu.

Podle chemického složení a podmínek tuhnutí taveniny vzniká buď eutektikum cementitické - ledeburit (metastabilní rovnováha), nebo eutektikum grafitické (stabilní rovnováha). Za podmínek metastabilní rovnováhy pak hovoříme o litinách bílých (přítomnost cementitu zbarvuje lomové plochy bíle), při rovnováze stabilní o litinách grafitických (přítomnost grafitu zbarvuje lomové plochy šedě). Jak cementit, tak grafit jsou obecně křehké a netvárné fáze, které velmi ztěžují tváření litiny a všeobecně ovlivňují její vlastnosti.

Struktura bílých litin je tvořena směsí cementitu a perlitu. Přítomnost volného cementitu způsobuje jejich vysokou tvrdost a křehkost; jejich tvrdost je možno ještě dále zvýšit legováním. Odlitky z bílé litiny se používají jen v omezené míře, a to zejména v případech, kde může uplatnit jejich odolnost proti opotřebení a kde není na závadu jejich vysoká křehkost. Bílá litina je spíše využívána jako vstupní surovina pro výrobu temperované litiny.

Naproti tomu grafitické litiny jsou významným konstrukčním materiálem. Na jejich vlastnosti má vliv jak tvar, množství a rozložení grafitu, tak struktura základní kovové hmoty (matrice). Podle tvaru grafitu a způsobu jeho vzniku tyto litiny dělíme na litiny s lupínkovým, vermikulárním a kuličkovým grafitem (nelegované a legované) a temperované litiny (s vločkovým grafitem). Způsob označování litin je zpracován v normě ČSN EN 1560 Slévárenství – Systém označování litiny – Značky materiálů a číselné označování materiálů (42 0005).

Kromě těchto jednoznačně zařaditelných litin existují i litiny přechodové: mezi bílou litinou a litinou s lupínkovým grafitem je litina poloviční (maková), která vedle grafitických částic obsahuje i volný cementit, za zvláštních podmínek ochlazení

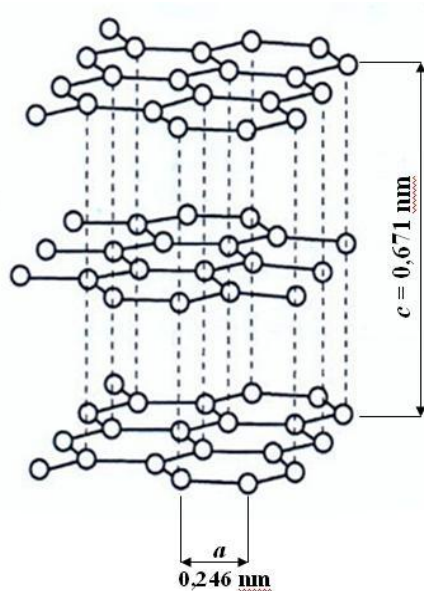
vzniká tvrzená litina, kdy povrch odlitku je tvořen bílou litinou, a ta postupně přechází přes litinu makovou do litiny s lupínkovým grafitem.

Legované litiny (jak bílé, tak grafitické) jsou charakterizovány jedním nebo více přísadovými prvky. Jedná se o litiny se zvláštními vlastnostmi, patří sem např. litiny žárovzdorné, korozivdorné, popř. litiny se zvláštními fyzikálními vlastnostmi (nemagnetické s vysokým měrným elektrickým odporem apod.).

2. KRYSTALIZACE LITIN

2.1. Rovnovážná krystalizace

Tekuté kovy se při výrobě odlitků zpracovávají při teplotách jen mírně vyšších, než je teplota tavení, při nichž se vnitřní uspořádání taveniny blíží krystalickým látkám. Základní rozdíl mezi tuhým krystalickým stavem a taveninou z hlediska uspořádání částic charakterizujeme uspořádáním na dlouhé vzdálenosti v tuhém stavu oproti uspořádání na krátké vzdálenosti v tavenině. Tavenina reálného kovu má svá specifika, daná chemickým složením vč. obsahu příměsí, které významně mění její vlastnosti (viskozita apod.). Tavenina grafitických litin obsahuje uspořádané oblasti obohacené uhlíkem, tzv. klustery. [2]

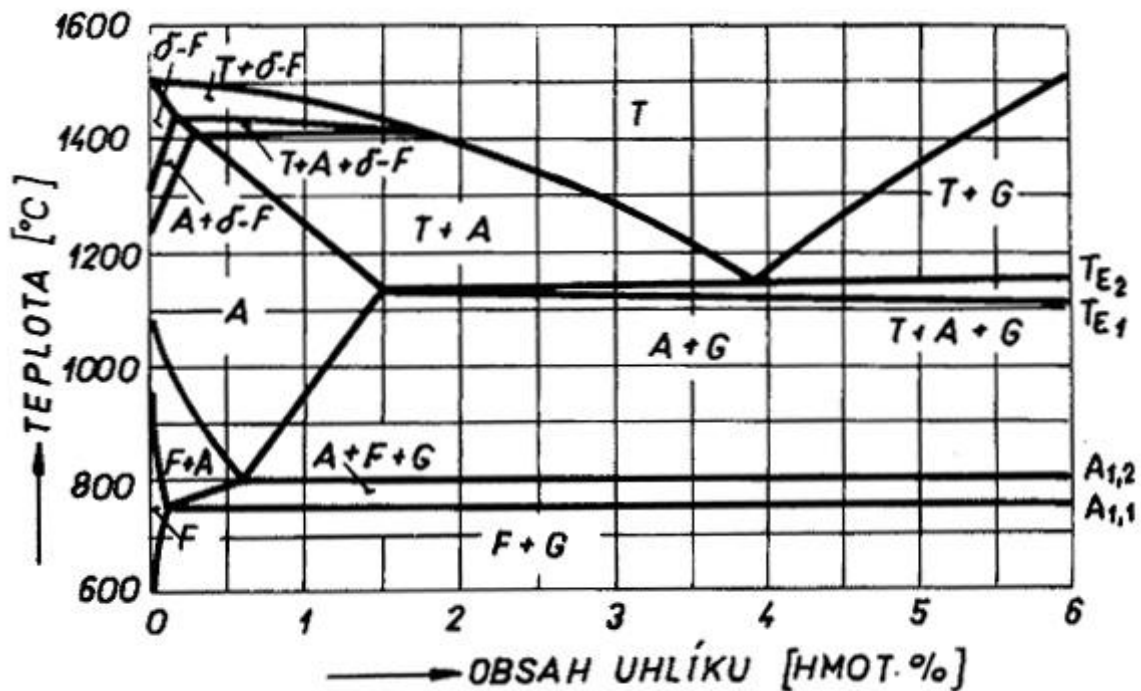


Obr. 1. Krystalická mřížka grafitu [1]; [28]

Grafit je elementární uhlík, krystalizující v hexagonální soustavě (obr. 1), a jeho růst je možný jak ve směru osy a , tak ve směru osy c , a na jeho výsledný tvar má rozhodující vliv poměr rychlostí růstu ve směru osy a (v_a) a ve směru osy c (v_c). Pro lupínkový grafit platí $v_a/v_c > 1$, takže převažuje růst ve směru $\langle 1120 \rangle$. Pro červíkovitý grafit, další přechodové tvary a zrnitý grafit platí $v_a/v_c < 1$, takže se uplatňuje i růst ve směru osy c , tj. $\langle 0001 \rangle$.

Grafitické litiny obsahují větší množství přísadových prvků, z nichž nejdůležitější je křemík (zpravidla zastoupen v množství od 3,0 do 4,0 hm.%). Rovnovážné diagramy jsou pak konstruovány v ternární podobě a v technické praxi je často používán řez ternárním diagramem pro dané konstantní množství křemíku (tzv. pseudobinární diagram). Nejčastěji používaný příklad pro 2% Si a stabilní rovnováhu je uveden na obr. 2.

Vlivem křemíku se v diagramu namísto konstantní teploty přeměny (jak eutektické, tak eutektoidní) objevují teplotní intervaly, navíc křemík snižuje teplotu tavení litiny, a tím zvyšuje její tekutost. Interval eutektoidních teplot se s rostoucím obsahem křemíku rozšiřuje a posunuje k vyšším teplotám, což je způsobeno tím, že křemík jako feritotvorný prvek zvyšuje stabilitu feritu proti austenitu.



Obr. 2. Pseudobinární rovnovážný diagram Fe-C-Si (pro 2% Si) [1]

Pro posouzení účinku křemíku a dalších prvků na polohu eutektického bodu, a tudíž i strukturu a klasifikaci litiny se používá výpočet uhlíkového ekvivalentu C_e nebo stupně eutektičnosti S_c . Je třeba podotknout, že tyto výpočty jsou určeny pouze pro případ litin s lupínkovým grafitem, i když, s jistým omezením, se s jejich použitím lze setkat i u litin s kuličkovým grafitem. Pro obě tyto veličiny v literatuře nacházíme více empirických vztahů, pro uhlíkový ekvivalent je asi nejčastěji používaný vztah

$$C_e = \%C + 0,312\%Si + 0,275\%P, \tag{1}$$

a pro stupeň eutektičnosti

$$S_c = \frac{\%C}{4,26 - 0,312 \cdot \%Si - 0,275 \cdot \%P}, \tag{2}$$

případně, se zohledněním dalších přísadových a příměsových prvků ve slitině,

$$S_c = \frac{\%C}{4,26 - 0,31 \cdot \%Si - 0,27 \cdot \%P - 0,4 \cdot \%S - 0,074 \cdot \%Cu + 0,063 \cdot \%Cr + 0,027 \cdot \%Mn}. \tag{3}$$

Obě tato kritéria umožňují určit, zda se jedná o litinu podeutektickou ($C_e < 4,3$, $S_c < 1$), eutektickou ($C_e = 4,3$, $S_c = 1$), nebo nadeutektickou ($C_e > 4,3$, $S_c > 1$).

Stupeň eutektičnosti se navíc využívá v empirických vztazích k určení základních mechanických vlastností litin. Pro výpočet pevnosti v tahu platí [21]

$$R_m = 1006 - 800 \cdot S_c, \quad (4)$$

a pro tvrdost

$$HB = 465 - 270 \cdot S_c. \quad (5)$$

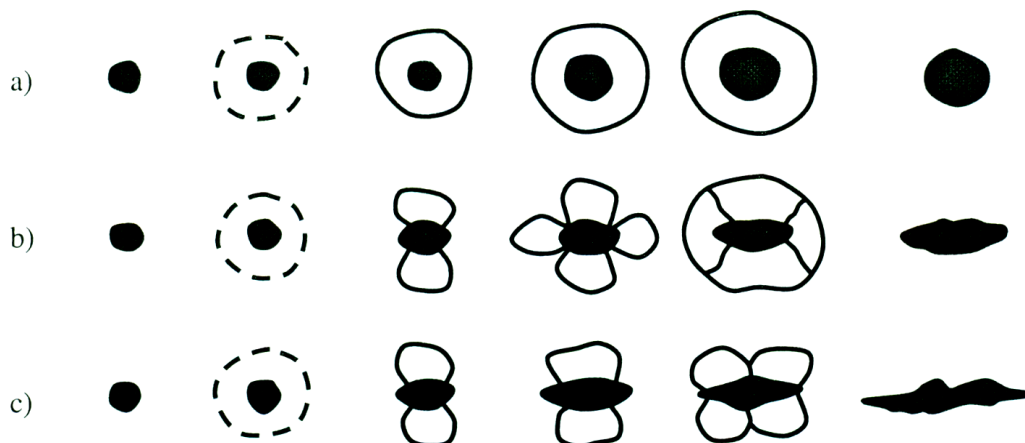
Mechanismus krystalizace litiny s lupínkovým grafitem (LLG) je zahájen tvorbou primárních dendritů austenitu (u litiny podeutektické) nebo primárního grafitu (u litiny nadeutektické). Při eutektické krystalizaci se vytváří eutektikum ve tvaru tzv. eutektických buněk, které poměrně rychle rostou. Lupínky grafitu v přímém styku s taveninou rostou přednostně do délky, jejich příčný růst je brzděn austenitem (difúze uhlíku z taveniny pro boční růst je tedy velmi ztížena). Konfigurace grafitových útvarů závisí na chemickém složení litiny a podmínkách ohřevu a ochlazování. Malé přehřátí taveniny a pomalé ochlazování vede k hrubým, málo rozvětveným lupínkům grafitu. Velké přehřátí taveniny a rychlé ochlazování vede k většímu přechlazení a vzniku drobnějších, značně zohýbaných lupínků grafitu. Očkováním, tj. přidáním grafitizačních přísad (např. ferosilicium, silikokalcium) do taveniny, které vedou ke vzniku heterogenních zárodků pro nukleaci, se značně zvýší počet eutektických buněk. Eutektickou buňkou nazýváme oblast litiny, příslušející jednomu útvaru grafitu. Se zvyšujícím se množstvím krystalizačních zárodků roste množství eutektických buněk, grafitické částice i eutektické buňky jsou jemnější, což vede ke zlepšení mechanických vlastností litiny. Většina očkovadel obsahuje 45 – 75% Si a určitý obsah Ca a Al, případně další prvky (C, Ba, Mg, Mn, Zr), které se používají ke zvýšení rozpustnosti nebo účinnosti očkovadla. [1]; [2]

Mechanismus eutektické krystalizace litiny s kuličkovým grafitem (LKG) je obdobný. Pro tvorbu grafitu v kuličkové podobě však musí dojít k tzv. modifikaci, která spočívá v přidání přísady hořčíku v podobě některé z jeho slitin. Téměř všechny moderní modifikátory obsahují doplňkové sferoidizačně působící prvky, z nichž nejběžnější je cér, případně lanthan. Za minimální obsah Mg potřebný ke sferoidizaci grafitu se zpravidla považuje 0,01%, pokud je současně přidáván cér nebo jiný prvek ze skupiny vzácných zemin. Pokud je hořčík použit samostatně, pak je jeho minimální obsah potřebný pro sferoidizaci dán hodnotou 0,02%. Tyto hodnoty musejí být navýšeny při větších průřezích a nižších rychlostech ochlazování. Hořčík však zvyšuje stabilitu karbidů, proto je nutné, aby po modifikaci následovalo grafitizační očkování. U LKG používáme buď jednostupňové očkování (očkování se provádí zároveň s modifikací), nebo dvoustupňové očkování (očkování se provádí po modifikaci).

Předpokládá se, že převážná většina částic kuličkového grafitu roste během eutektické prodlevy a každá částice grafitu tvoří vlastní eutektickou buňku. Nejpravděpodobnější poloha hranice (periferie) buněk se nachází přibližně uprostřed vzdálenosti mezi částicemi grafitu. Při eutektické krystalizaci pak vzniká stabilní eutektikum ve tvaru eutektických buněk, v jejichž středu roste zrno grafitu. To je od

okolní taveniny zcela odděleno obálkou austenitu, která zpomaluje difúzi uhlíku z taveniny. [2]; [35]

Novější poznatky hovoří o několika schématech růstu různých tvarů grafitu podle charakteru austenitické obálky (obr. 3), na kterých je možno demonstrovat vznik zrnitého, červíkovitého i lupínkového tvaru grafitu. [3]

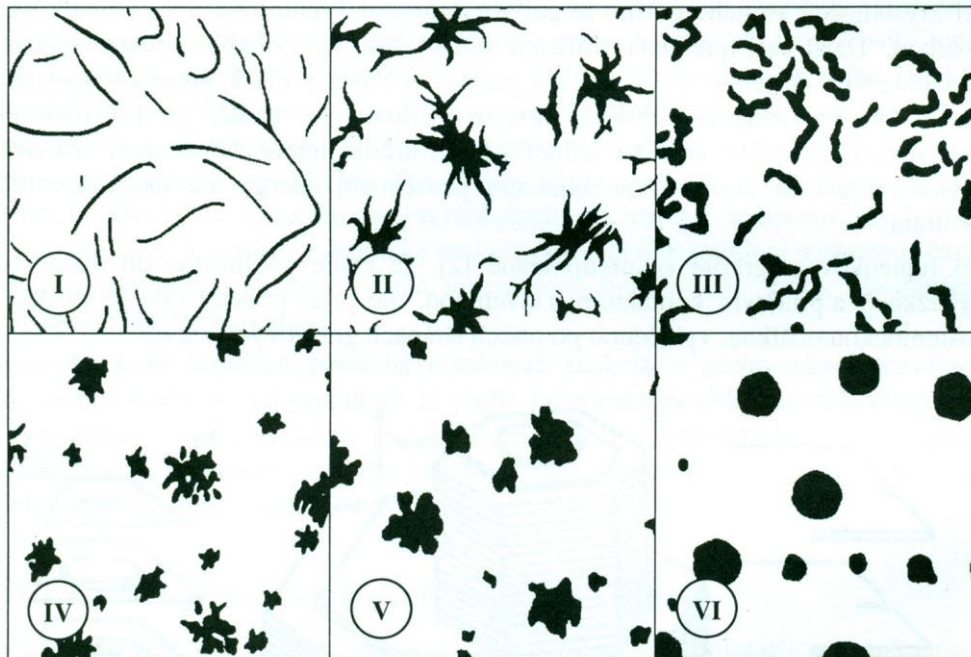


Obr. 3. Schémata růstu různých tvarů grafitu podle charakteru austenitické obálky [2]
a) rychle uzavřená, zrnitý grafit; b) pomalu uzavřená, červíkovitý grafit;
c) neuzavřená, lupínkový grafit

Tvar zárodku je při všech morfologických variantách kulový [4] a v počáteční fázi, tj. ve fázi vzniku austenitické obálky, je mechanismus růstu všech tvarů grafitu stejný. Zrnitý grafit se odlišuje rychlým vznikem uzavřené austenitické obálky, červíkovitý grafit pomalým uzavíráním se obálky austenitu a lupínkový grafit neuzavřenou austenitickou obálkou [3].

Uvedené poznatky však nevysvětlují příčiny odlišného charakteru krystalizace různých tvarů grafitu. Ty zjevně spočívají v účinku modifikátorů. Předpokládá se, že modifikátory zvyšují povrchové napětí na rozhraní grafit – tavenina a podporují tak krystalizaci do tvaru s nejmenším povrchem (koule).

Grafit se může v litinách vyloučit v podstatě v libovolném tvaru od lupínkového až po pravidelně zrnitý (kuličkový). Proto je vhodné vycházet z jednoduchého dělení v souladu s platným názvoslovím dle ČSN EN 1560 (obr. 4).

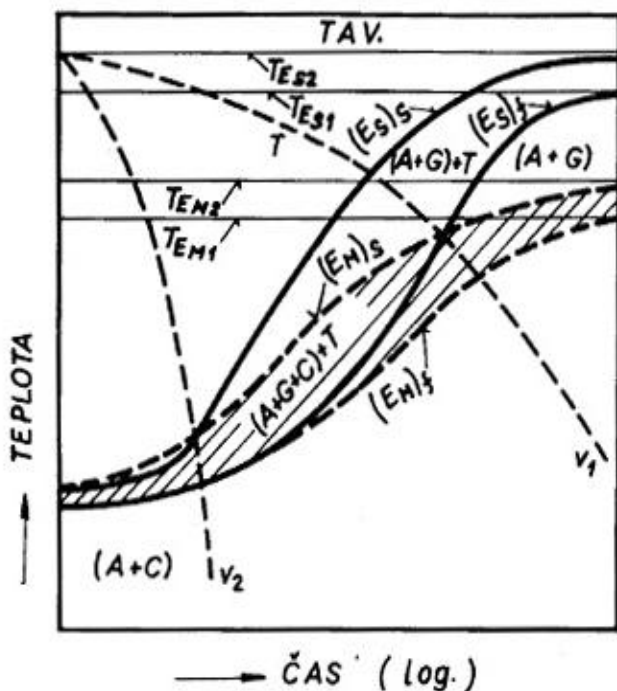


Obr. 4. Etalony tvarů grafitu dle ČSN EN 1560 [2]
 I – lupínkový, II – vločkový, III – červíkovitý (vermikulární), IV – pavoučkovitý,
 V – nekonale zrnitý, VI – dokonale zrnitý

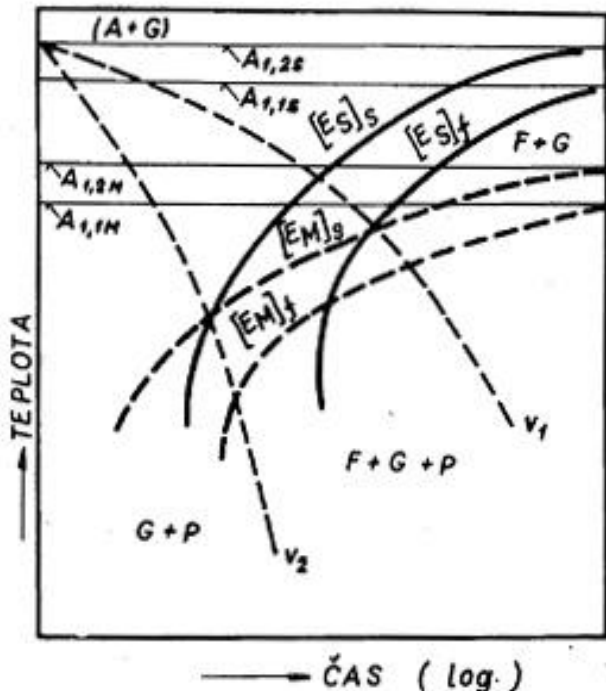
2.2. Nerovnovážná krystalizace

Jak již bylo řečeno, diagram na obr. 2 popisuje stabilní rovnováhu. Pokud slitina není za daných podmínek v rovnovážném stavu, lze předpokládat, že proběhne fázová přeměna. Informace o její energetické náročnosti ani rychlosti však z rovnovážného diagramu nezískáme, energetickou bilanci skýtají termodynamické úvahy. Průběh uvažované přeměny v závislosti na čase popisují kinetické diagramy, které jsou pro eutektickou a eutektoidní krystalizaci litin uvedeny na obr. 5 a obr. 6.

Křivky $(EM)_s$ a $(EM)_f$ v diagramu anizotermické krystalizace eutektické litiny představují počátek (start) a ukončení (finish) tvorby metastabilního eutektika, obdobně křivky $(ES)_s$ a $(ES)_f$ pro stabilní eutektikum. Z diagramu jsou patrné dvě mezní rychlosti přeměn v_1 a v_2 . Pokud bude přeměna probíhat rychlostí nižší než v_1 , bude výsledkem stabilní eutektikum, tvořené austenitem a grafitem. Pokud naopak bude přeměna probíhat rychlostí vyšší než v_2 , bude výsledné eutektikum tvořeno směsí austenitu a cementitu, a bude se tudíž jednat o eutektikum metastabilní. V případě, že se rychlost ochlazování bude pohybovat v intervalu těchto zmíněných mezních rychlostí, bude výsledné eutektikum směsné, tvořené austenitem, grafitem a cementitem (vznik makové litiny).



Obr. 5. Schéma diagramu anizotermické krystalizace eutektické litiny Fe-C-Si [1]



Obr. 6. Schéma diagramu eutektoidní přeměny austenitu při plynulém ochlazování eutektické litiny Fe-C-Si [1]

V podmínkách plynulého ochlazování dojde se zvyšujícím se podílem křemíku k nárůstu mezních rychlostí přeměn v_1 a v_2 . Tato skutečnost je v souladu s praktickými zkušenostmi, kdy při vyšším obsahu křemíku a pomalejším ochlazování vzniká grafitická litina (s lupínkovým tvarem grafitu), při nižším obsahu křemíku a vyšší rychlosti ochlazování vzniká litina bílá. U reálných litin bude tvar kinetických diagramů ovlivněn přítomností dalších prvků, a dále i obsahem plynů (kyslík, dusík, vodík) v tavenině. [1]

Eutektoidní přeměnu austenitu pro grafitickou litinu eutektického složení lze popsat podle následujícího schématu: v teplotním intervalu mezi eutektickou a eutektoidní teplotou dochází k poklesu rozpustnosti uhlíku v austenitu, přebytečný uhlík difunduje k již existujícím grafitickým částicím a nabaluje se na ně v podobě sekundárního grafitu.

V kinetickém diagramu, který eutektoidní přeměnu popisuje (obr. 6), opět nalzáme křivky počátků a ukončení přeměn: $[ES]_s$ a $[ES]_f$ pro tvorbu stabilního eutektoidu, tvořeného feritem a grafitem, a $[EM]_s$ a $[EM]_f$ pro tvorbu metastabilního eutektoidu, tvořeného směsí feritu a cementitu (perlitem). Opět, obdobně jako při popisu eutektické přeměny, i zde se

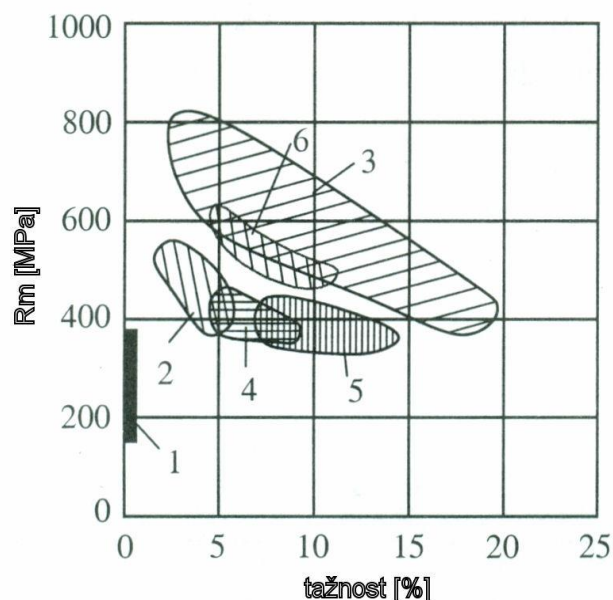
vyskytují dvě mezní rychlosti přeměn v_1 a v_2 . Z diagramu je patrné, že při rychlostech ochlazování nižších než v_1 je výsledkem grafitická litina s feritickou základní kovovou hmotou (matricí). Naopak při rychlostech ochlazování vyšších než v_2 dochází k eutektoidnímu rozpadu austenitu pouze na perlit; výsledkem je tedy opět grafitická litina, ovšem s čistě perlitickou matricí. Pokud chceme docílit matrice feriticko perlitické, je nutno volit rychlost přechodu přes eutektoidní interval teplot v rozmezí mezi v_1 a v_2 .

S rostoucím obsahem křemíku se, podobně jako u eutektické krystalizace, rozšiřuje teplotní oblast přeměny austenitu ve ferit a grafit, a zároveň se zvyšují mezní rychlosti přeměn v_1 a v_2 .

2.3. Vztah mezi strukturou a vlastnostmi litin

Vlastnosti grafitických litin jsou závislé na množství, tvaru a velikosti grafitických částic a na charakteru kovové matrice, v níž je grafit uložen. Částice grafitu zmenšují aktivní průřez a působí jako místní koncentrátoři napětí, napětíové špičky mohou při zatěžování dosáhnout v závislosti na poloměru zakřivení a délce grafitických částic 10-ti až 20-ti násobku běžných napětí. Z toho je patrné, že nejhorší vliv bude mít hrubý lupínkový grafit, naopak nejvýhodnější jsou částice dokonale zrnitého grafitu v litině s kuličkovým grafitem.

Charakteristické hodnoty základních mechanických vlastností jednotlivých druhů



Obr. 7. Oblasti hodnot mechanických vlastností grafitických litin [2]

grafitických litin jsou schematicky vyznačeny v obr. 7. Jednotlivé čísla označené oblasti hodnot mechanických vlastností příslušejí grafitickým litinám v následujícím pořadí:

1 – litina s lupínkovým grafitem,
2 – litina s červíkovitým grafitem,
3 – litina s kuličkovým grafitem,
4 – temperovaná litina s bílým lomem,
5 – temperovaná litina s černým lomem,
6 – temperovaná perlitická litina.

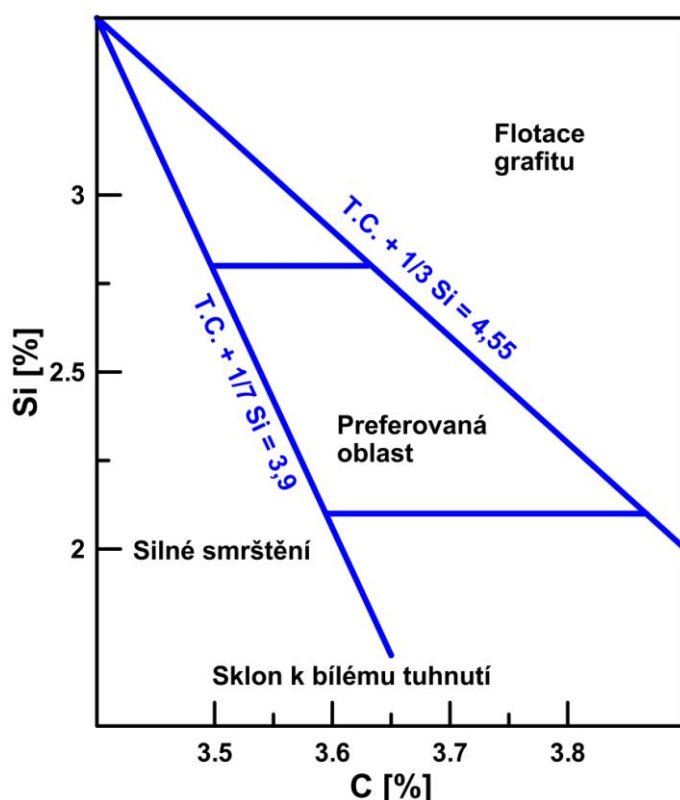
Matrice může být, jak ukazuje obr. 6, tvořena různým podílem feritu a perlitu. Čím vyšší je obsah perlitu (v lamelárním stavu) v matrici a zároveň čím je menší mezilamelární vzdálenost, tím vyšší jsou pevnostní charakteristiky (pevnost v tahu a tvrdost), roste odolnost proti

opotřebením, naopak tvárné vlastnosti (tažnost, kontrakce) i vrubová houževnatost

jsou nižší ve srovnání s analogickou litinou, v jejíž matici převažuje ferit. Je třeba mít na zřeteli, že ferit je v grafitických litinách díky vyššímu obsahu křemíku v podstatě tuhým roztokem křemíku v α -železe. Tento ferit s obsahem křemíku má ve srovnání s feritem v nízkouhlíkových ocelích vyšší tvrdost a pevnost za cenu nižší tažnosti. Např. čistý ferit má pevnost v tahu cca 280 MPa a tažnost 60%; ferit s 3,4% Si má pevnost v tahu 540 MPa a tažnost 28%. Ferit snižuje tvrdost litiny i tím, že v důsledku jeho výskytu klesá podíl vázaného uhlíku a roste podíl grafitu. [1]

3. LITINA S KULIČKOVÝM GRAFITEM

Litinu s kuličkovým grafitem (LKG) specifikuje ČSN EN 1563. Její složení se obvykle pohybuje v následujících hodnotách: 3,2 - 4,0% C, 1,8 - 3,0% Si, 0,2 - 0,8% Mn, max. 0,1% P, max. 0,05% S, 0,04 - 0,08% Mg. Ve srovnání s litinou s lupínkovým grafitem jsou obsahy uhlíku i křemíku vyšší. Nejpříznivější obsahy těchto prvků uvádí Hendersonův diagram na obr. 8. Obsah fosforu a síry přitom má být co nejnižší.



Obr. 8. Optimální obsahy uhlíku a křemíku v litinách s kuličkovým grafitem [58]

Pro strukturu matrice je určující chemické složení taveniny a rychlost ochlazování. Dále je struktura ovlivněna modifikací a očkovaním. Tyto procesy sice především ovlivňují krystalizaci grafitu, ale zároveň také přispívají k chemickému složení matrice ovlivněním množství uhlíku vyloučeného v podobě grafitu a také vnesením složek modifikátorů a očkovaadel do litiny. Strukturu matrice litin je možno dále upravit tepelným zpracováním.

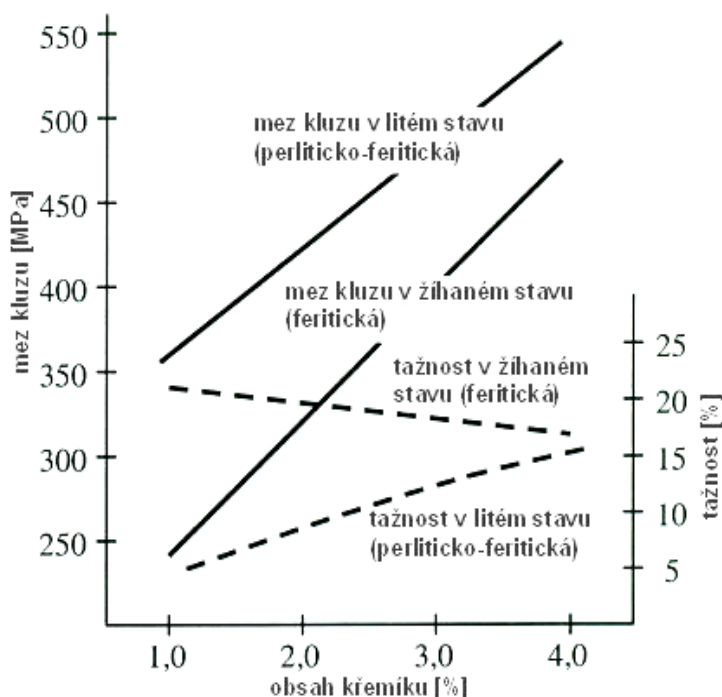
Díky tomu, že kuličkový grafit je z hlediska vlastností litiny tvarem optimálním, je pro výsledné vlastnosti litiny určující právě matrice. Zásadně nežádoucí složkou jsou karbidické fáze (sekundární cementit, ledeburit). Při výrobě LKG je tedy nutno volit takové

složení výchozí litiny s lupínkovým grafitem (která se dále modifikuje Mg), aby byla zajištěna vysoká grafitizační schopnost taveniny, což se provádí volbou vysokého obsahu grafitotvorných prvků – zejména uhlíku a křemíku. Za optimální je považováno dosažení stupně eutektičnosti S_c v rozmezí 0,98 – 1,05 (tj. zhruba eutektické složení) a uhlíkového ekvivalentu $C_e = 4,2$ až 4,4. [6]

Současné trendy v oblasti výroby LKG ukazují, že poptávka po odlitcích z tohoto materiálu neustále roste. Odlitky z LKG stále častěji nahrazují odlitky např. z bainitických, vysokopevnostních nebo vysokolegovaných manganových ocelí. Ve srovnání s ocelmi jsou ovšem náklady na výrobu dílců z LKG cca o 20% nižší. [44]; [45][44]; [46]

3.1. Souvislost mezi chemickým složením, strukturou a vlastnostmi LKG

Za předpokladu dosažení dokonale zrnitého kuličkového grafitu bude pro vlastnosti dále určující pouze struktura matrice, odvíjející se od chemického složení a způsobu ochlazování, jak bylo popsáno výše, případně dalšího tepelného zpracování.



Obr. 9. Vliv křemíku na mez kluzu a tažnost bezkarbidických LKG v litém a žíhaném stavu, 25mm silné odlitky [2]

Zejména křemík, ale i uhlík jsou významné grafitotvorné prvky, které zásadně podporují bezkarbidickou strukturu v litém stavu. Horní hranici jejich obsahu vymezuje zejména v případě uhlíku jeho rozpustnost v tekuté slitině; pro křemík je limitujícím faktorem zvýšená křehkost, snížená tepelná vodivost, snížení nárazové práce, zvýšení přechodové teploty a snížení tepelné vodivosti s jeho rostoucím obsahem. Křemík dále, kromě podpory růstu grafitu, významně zpevňuje ferit, neboť je v něm substitučně rozpuštěn, a navíc až do obsahu 4% zvyšuje i tažnost, a to zejména v litém stavu (obr. 9).

Mezi další grafitotvorné prvky, které jsou obecně charakterizovány tím, že zvyšují aktivitu uhlíku v austenitu, řadíme nikl, kobalt, hliník, měď a hořčík, který má navíc silné sferoidizační účinky.

Následující legurou, co do významu, je mangan, který zvětšuje tekutost litiny a homogenitu odlitku. Jeho přítomnost je důležitá pro odsíření litiny (váže se se sírou na MnS). Vzhledem k tomu, že se jedná o karbidotvorný prvek, nesmí obsah Mn přesáhnout určitou hranici danou obsahem křemíku a tloušťkou průřezu. U tenkostěnných odlitků je karbidotvorný efekt manganu možno korigovat zvýšením obsahu křemíku. To však neplatí, z důvodu přednostní segregace manganu do taveniny, která se zvyšuje s poklesem rychlosti ochlazování, u silnostěnných odlitků. U silnostěnných odlitků přidání křemíku nepomáhá, protože křemík navíc segreguje opačným směrem.

Další karbidotvorné prvky, které obecně snižují aktivitu uhlíku v austenitu a působí podobně, avšak silněji než mangan, jsou chrom, molybden, vanad, niob, titan bór a telur. Pro všechny jsou stanoveny maximální obsahy řádově v setinách, u teluru dokonce v tisícinách%. Pouze molybden má povolený rozsah 0,01 až 0,75%.

Dalším prvkem, se kterým je nutno vždy počítat, je fosfor, který je obsažen ve všech vsázkových surovinách. Vzhledem k tomu, že tvoří velmi křehký komplexní fosfid železa (Fe – Fe₃C – Fe₃P), který je vytlačován do taveniny, která tuhne jako poslední, způsobuje výrazné riziko v podobě možného snížení houževnatosti a pevnosti, zvýšené popouštěcí křehkosti, případně zvýšení pórovitosti. Z těchto důvodů je vhodné držet obsah fosforu pod 0,04%. [2]; [35]; [44]

Rovněž tak nežádoucím prvkem je síra, která, stejně jako kyslík, má vysokou afinitu k železu a uhlíku, a oslabuje tak vnitřní vazby mezi Fe – Fe a Fe – C. Navíc síra ruší účinek některých modifikátorů (vápníku, lithia, barya, stroncia, draslíku a sodíku). Nežádoucí efekt síry lze odstranit přísadou hořčíku, který síru (i téměř všechny kyslík) v litině vyváže. [58]

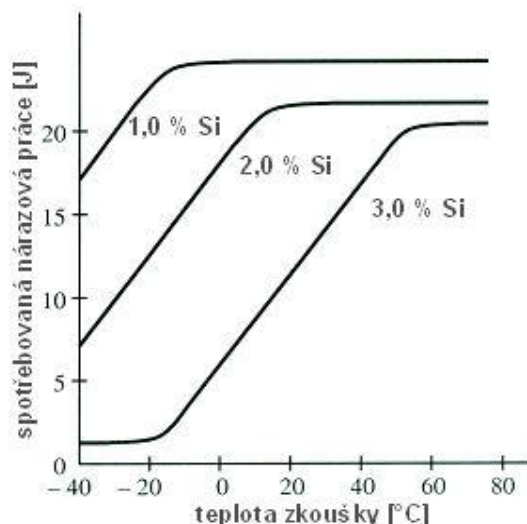
Stabilizace perlitu a zvýšení jeho podílu lze dosáhnout pomocí perlitizačně působících prvků, z nichž nejvýznamnější jsou: Sn, Mo, P, Cu, Ti, Mn, Ni, Cr. Tyto prvky snižují eutektoidní teplotu a rozšiřují pásmo teplot vzniku perlitu v obr. 6. Pokud vyloučíme prvky s nežádoucími účinky (P, Ti, Mn) a legury ekonomicky náročné (Ni, Mo), zbývají jako základní perlitizační přísady Cu, Sn, a také, i přes nepříznivý karbidotvorný efekt používaný, Mn. Účinek cínu je asi desetinásobný oproti mědi. Má ale tu nevýhodu, že podporuje vznik mezibuňkového lupínkového grafitu. Proto se ho doporučuje jen 0,05%. Na druhé straně přidávání mědi je bezpečné až do 2%. Zvýšení podílu perlitu má za následek zvýšení hodnot mechanických vlastností. [2]; [35]; [44]

Chemické složení LKG se volí tak, aby výsledná struktura byla eutektická, až mírně nadeutektická s C_e v rozmezí 4,2 až 4,7. Množství a velikost grafitu v matici závisí v nelegovaných litinách na obsahu uhlíku, křemíku, manganu a na rychlosti ochlazování. Mechanické vlastnosti jsou závislé především na struktuře základní kovové hmoty.

V nelegovaných litinách jakosti GJS 350-900 je pevnost v tahu odstupňovaná od 350 do 900 MPa. Pevnost v tlaku je až 2,5 násobně vyšší a pohybuje se v rozpětí 700 až 1150 MPa. Modul pružnosti v tahu je ve srovnání s litinou s lupínkovým grafitem až dvojnásobný a pohybuje se v rozmezí 1,69 – 1,85.10⁵ MPa. Tažnost litiny s kuličkovým grafitem je srovnatelná s tažností ocelí, závisí na struktuře matrice a např. ve feritické LKG dosahuje až 22%.

Také nárazová práce závisí především na struktuře matrice. Její hodnotu i při teplotách -40°C norma předepisuje pouze pro litiny s pevností 350 a 400 MPa. Jak je patrné z obr. 10, křemík zvyšuje tranzitní teplotu, proto je nutno v litinách pro práci za nízkých teplot ho držet na minimální úrovni.

Legování LKG většinou slouží k tomu, aby byla spolehlivě dosažena požadovaná struktura v litém stavu, resp. ve stavu po tepelném zpracování, a zvýšila se odolnost vůči oxidaci. Karbidotvorné prvky se používají pouze v případě požadavku zvýšené



Obr. 10. Nárázová práce při různých teplotách LKG s odstupňovaným křemíkem, Charpyho zkouška, V-vrub [2]

0,6% Mo, příp. Ni do 2,5%. Obrobitelnost grafitických litin je obecně dobrá, i když u LKG je vrubový účinek drobných kuliček grafitu (setiny až desetiny mm) a jejich schopnost vyvolávat lomy diskutabilní. Navíc se zde, ve srovnání s LLG, nevyskytuje křehké fosfidické eutektikum z důvodu nízkého obsahu fosforu. Lepší obrobitelnost LKG v porovnání s ocelí je možno přičíst křemíku rozpuštěnému ve feritu. Lze předpokládat, že deformace vyvolává v legovaném feritu větší zpevnění, a tudíž i větší ztrátu houževnatosti, která je základním předpokladem pro obrábění.

3.2. Druhy litin s kuličkovým grafitem

První skupinu tvoří litiny pro běžné použití i pro práci při nízkých teplotách, vhodné na dynamicky namáhané odlitky s tloušťkou stěny 5 až 100mm, s použitím i na odlitky s požadovanou zárukou mechanických vlastností, zejména vysokých plastických hodnot i při nízkých teplotách. Patří sem EN-GJS-350-22, EN-GJS-400-15 a EN-GJS-400-18. Jedná se o litiny feritické, pro vyšší tlaky a namáhání, pro nízké, resp. i vyšší teploty.

Do druhé skupiny je možno zařadit opět litiny pro běžné použití i pro práci při nízkých teplotách, vhodné na dynamicky namáhané odlitky s tloušťkou stěny 5 až 100mm, s vyšší pevností v tahu. Patří sem EN-GJS-500-7, EN-GJS-600-3. Tyto litiny jsou

nejčastěji používané v automobilovém průmyslu a strojírenství pro výrobu vačkových a klikových hřídelí, součástí převodových skříní, motorové vložky, ozubená kola atd. Jedná se o litiny feriticko-perlitické, pro vyšší tlaky a namáhání, druhá jmenovaná je navíc otěruvzdorná.

Třetí skupinu tvoří litiny s nejvyšší pevností, označované jako vysokopevnostní (jakostní) litiny. Lze sem zařadit EN-GJS-700-2, EN-GJS-800-2, EN-GJS-900-2. Jsou vhodné na odlitky s tloušťkou stěny 5 až 35, resp. 75mm. Struktura matrice těchto litin je tvořena perlitem a sorbitem. Litiny jsou určeny pro vyšší tlaky a namáhání, první dvě z uvedených jsou otěruvzdorné, nejčastěji se používají v automobilovém průmyslu a strojírenství. [2]

3.3. Tepelné zpracování

Hlavním důvodem tepelného zpracování litin je získání požadované struktury matrice vhodné pro použití odlitku k danému účelu. Výslednou podobu matrice lze do jisté míry ovlivňovat už v procesu výroby LKG přidáním vhodných legur. Tento výrobní postup se z ekonomických důvodů volí pouze ve zvláštních případech. Při běžné jakosti vsázkových materiálů odpovídá struktura odlitku v litém stavu ČSN EN-GJS-500 a 600, tedy v podstatě nejfrekventovanějším značkám LKG.

Způsoby tepelného zpracování litin se dělí do dvou základních skupin, a to žíhání a zušlechťování.

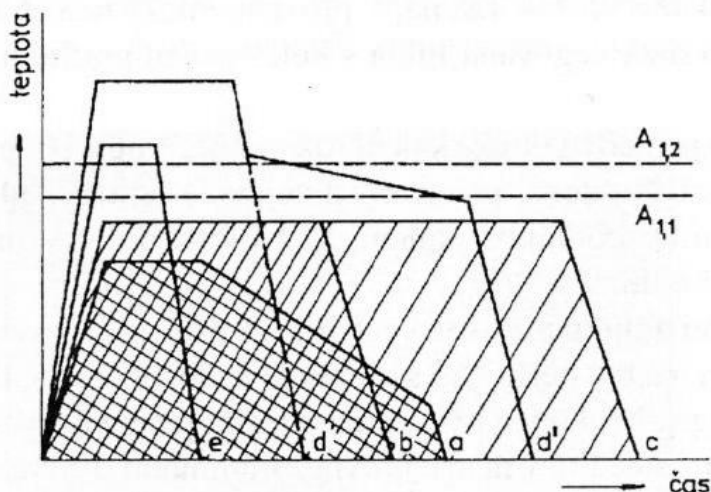
3.3.1. Žíhání

Přehled jednotlivých postupů žíhání, používaných u grafitických litin, je souhrnně graficky zpracován na obr. 11.

K nejčastěji používaným postupům žíhání grafitických litin patří žíhání ke snížení vnitřních pnutí po odlévání nebo obrábění. Většinou se používá u tvarově složitých odlitků. Vnitřní pnutí je nutno odstranit před obráběním, protože při jeho uvolnění dochází k deformaci, a tím ke ztrátě tvarové přesnosti odlitku. Původně se předpokládalo, že je postačující uvolnění pnutí přirozeným stárnutím, avšak u dlouhodobě skladovaných odlitků dochází vlivem vnitřních pnutí k praskání. Žíhání ke snížení zbytkových pnutí se provádí v teplotním intervalu 400 až 550°C (nad touto teplotou už dochází k částečné sferoidizaci eutektoidního cementitu a poklesu pevnosti) s ohřevem rychlostí 100 až 200°C za hodinu a s následujícím pomalým ochlazováním (25 až 80°C za hodinu), z teplot 200 až 100°C je možno dochladiť na vzduchu.

Pouze výjimečně se provádí další postup tepelného zpracování, a to sferoidizační žíhání, kterým se snižuje tvrdost a zlepšuje obrobiteľnosť. Po něm však musí následovat normalizační žíhání s regulovanou rychlostí ochlazování, aby litina opět získala předepsané mechanické vlastnosti.

Pro získání čistě feritické matrice se používá feritizační žihání, které spočívá v pomalém ohřevu na austenitizační teplotu 850 až 920°Cs výdrží dle tloušťky odlitku a řízeném pomalém ochlazování (opět dle tloušťky stěny odlitku) s dochlazením na vzduchu z teploty 600 °C.



Obr. 11. Způsoby žihání grafitických litin [21]
a – žihání ke snížení vnitřních pnutí, b- žihání sferoidizační, c- feritizační, d – ke snížení tvrdosti, e- normalizační

odstranit pomocí žihání ke snížení tvrdosti (na odstranění ledeburitického cementitu), které se provádí při teplotách 900 až 980 °C, kdy dochází k rozpadu ledeburitického cementitu na grafit a austenit, který následně transformuje na ferit (tepelný cyklus d' na obr. 11) nebo perlit (obr. 11, cyklus tepelného zpracování označený d). Výdrž na austenitizační teplotě se opět řídí tloušťkou stěny odlitku, ochlazování se potom provádí rychlostí 500 až 100°Cza hodinu.

3.3.2. Zušlechťování

Postup, kterým docílíme u LKG nejvyšší pevnost při minimální tažnosti, je zušlechťování. Provádí se z austenitizační teploty 900 až 950 °C, ohřev je opět prováděn rychlostí 100 až 150°Cza hodinu, výdrž na austenitizační teplotě 1 až 3 hodiny, následuje kalení do oleje max 80°Ca vysokoteplotní popouštění při 420 až 600°C(doba opět řízena tloušťkou stěny odlitku) s ochlazením do vody. [2]; [21]

Dalším možným způsobem tepelného zpracování je povrchové kalení (indukční ohřev nebo ohřev plamenem) z teploty 850 až 920 °C, u nějž se doba výdrže na teplotě řídí požadovanou hloubkou zakalené vrstvy, s následujícím ochlazením do vody nebo oleje. Po povrchovém kalení rovněž může následovat obdobné vysokoteplotní popouštění, jako u postupu zušlechťování.

Obdobný postup se používá i pro perlitizační žihání, rozdíl je pouze v rychlosti ochlazování, které se v tomto případě provádí na klidném nebo proudícím vzduchu.

Pokud se v tavenině příliš zvýší obsah křemíku a v důsledku vyššího podílu feritu poklesne požadovaná pevnost odlitku, je vhodné použít postup normalizačního žihání. Austenitizační teplota je 850 až 920°Cs výdrží podle tloušťky stěny a ochlazováním na vzduchu.

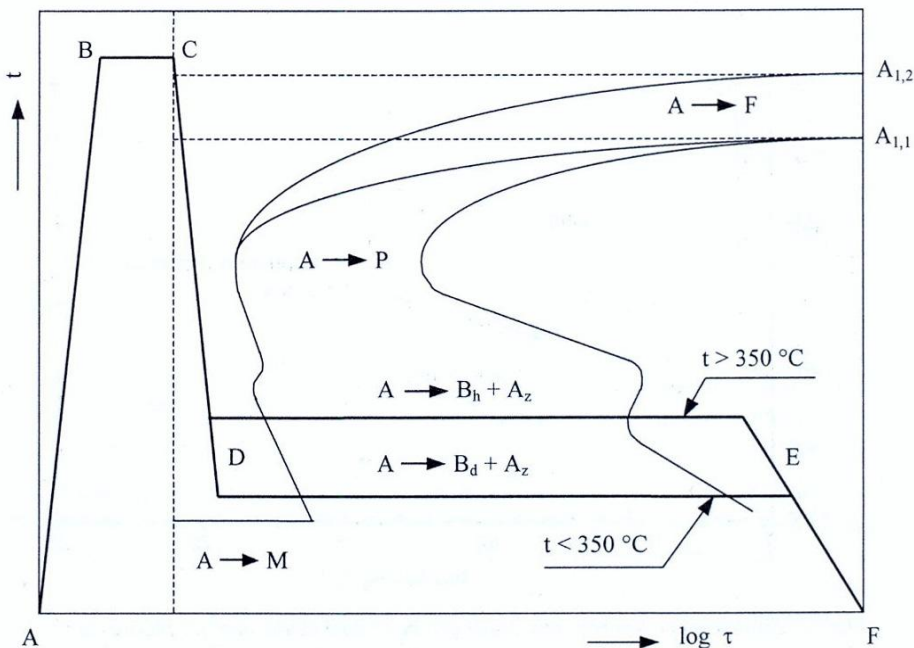
Pokud se ve struktuře objeví ostrůvky ledeburitu, lze je

Posledním, zdaleka však ne nejméně významným, postupem tepelného zpracování LKG je izotermické zušlechťování. Výsledným produktem tohoto typu tepelného zpracování je ADI litina.

3.3.3. ADI litina

Izotermicky zušlechťená litina s kuličkovým grafitem je podle normy ČSN EN 1564 slitinou železo – uhlík, v níž se uhlík vyskytuje v podobě kuličkového grafitu. V důsledku tepelného zpracování má tento materiál, ve světě označovaný jako ADI (Austempered Ductile Iron), vysokou pevnost a houževnatost a je považován za nový druh konstrukčního materiálu pro výrobu vysokopevných odlitků. Výhodná kombinace mechanických vlastností - vysoká houževnatost, dobrá tažnost, vysoká otěruvzdornost, tvrdost a vysoká pevnost v tahu - předurčuje ADI k použití na náročné komponenty ve strojírenském a automobilovém průmyslu. Typické ADI výrobky jsou ozubená kola, klikové hřídele pro těžké Diesellovy motory, kola lokomotiv, lisovací nástroje apod.

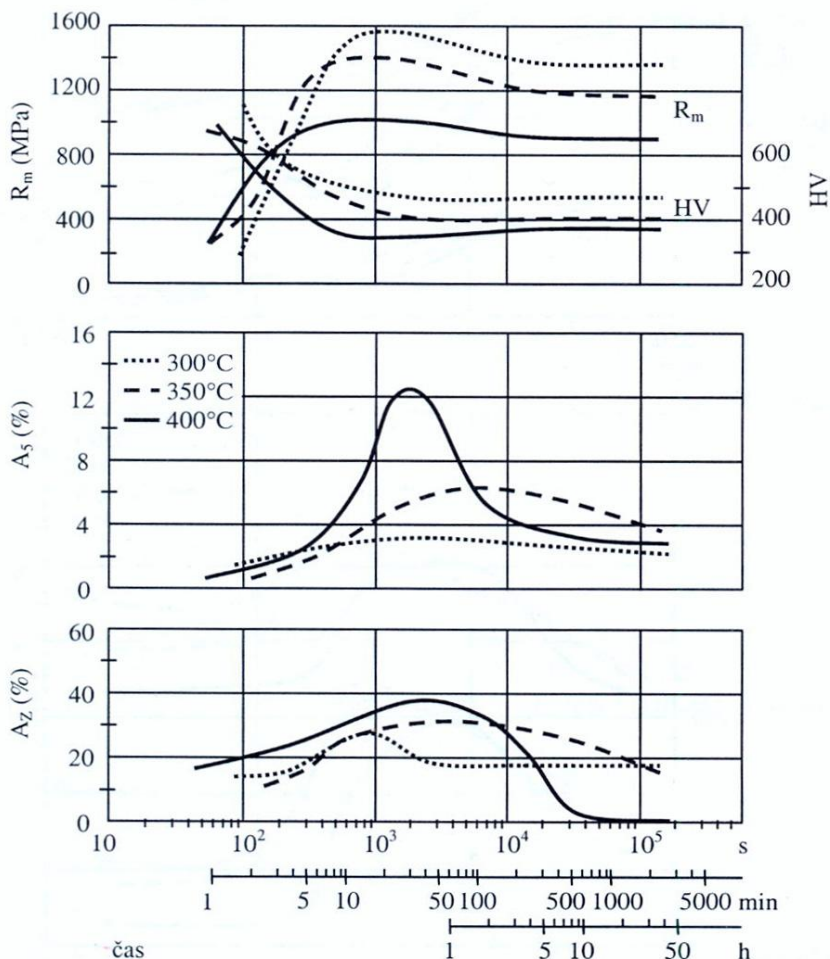
Izotermické zušlechťování spočívá v ohřevu na teplotu v intervalu 850 až 1000°C (nad $A_{1,2}$), s výdrží na austenitizační teplotě 1 až 3 hodiny (tak, aby byl splněn požadavek dosažení čistě austenitické matrice nasycené uhlíkem na rovnovážnou koncentraci). Po úplné austenitizaci jsou odlitky prudce ochlazené na požadovanou teplotu izotermického rozpadu austenitu. Jako ochlazovací a také udržovací médium je často používána solná lázeň. Teplota izotermického rozpadu austenitu určuje mechanické vlastnosti ADI a leží v intervalu mezi 250 až 450 °C. [2]; [21]



Obr. 12. Schéma průběhu izotermického zušlechťování tvárné litiny v diagramu IRA [22]

Rychlost ochlazování musí být dostatečně vysoká k potlačení vyloučení proeutektoidního feritu a perlitu. Aby byl tento požadavek splněn i u rozměrnějších odlitků, je potřeba použít nízkolegovanou LKG, kdy se přidávají legury pro zvýšení prokalitelnosti (Mo, Ni, Mn, Cu). V uvedené solné lázni zpravidla proběhne i vlastní izotermická transformace austenitu na bainit. Schematické znázornění průběhu izotermického zušlechťování je uvedeno na obr. 12.

Alternativním způsobem k použití legur je zvyšování intenzity ochlazování odlitků s větší tloušťkou stěny pomocí dvoustupňového ochlazování s mezichlazením. Odlitek je z austenitizační pece přenesen do solné lázně s teplotou většinou 180 až 250 °C, která zaručí větší intenzitu ochlazování. V této lázni dojde ke snížení teploty pod interval perlitické přeměny a vyrovnání teplot v celém průřezu odlitku. Vlastní izotermická transformace pak probíhá v další peci, a to při požadované teplotě bainitické přeměny (např. 400 °C).

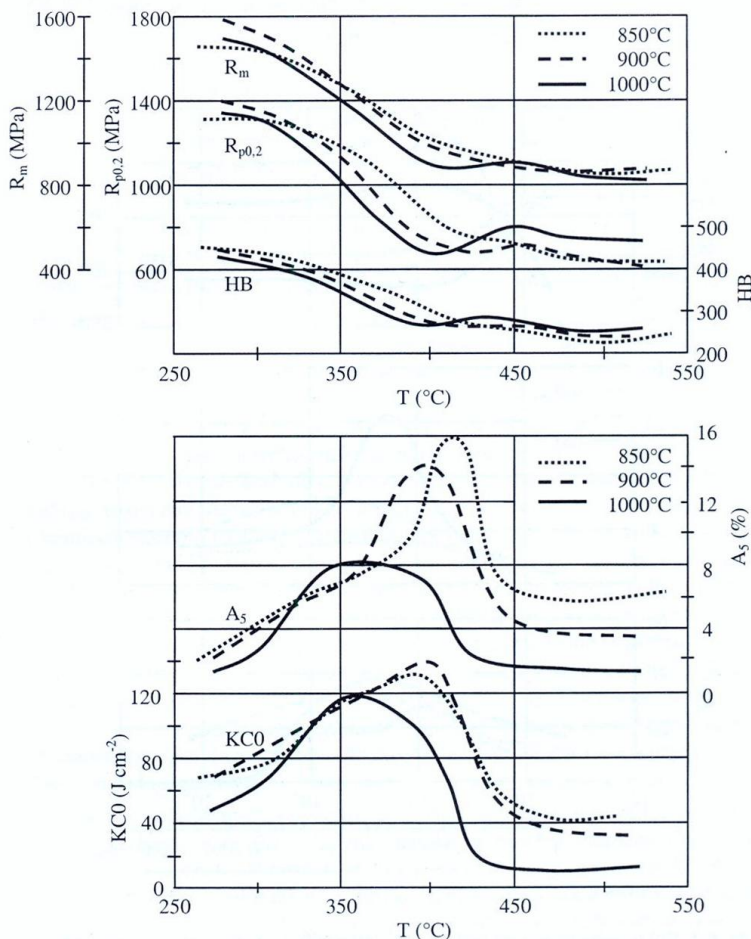


Obr. 13. Vliv doby výdrže na teplotě 300, 350 a 400°C na mechanické vlastnosti ADI (R_m , A_s , a HV60) a množství zbytkového austenitu A_z . Nelegovaná litina. [2]

Teplota přeměny a doba setrvání na této teplotě jsou určujícími parametry pro výslednou strukturu a vlastnosti ADI. Při vyšších teplotách (350 až 450 °C) je matrice tvořena horním bainitem, který má nižší pevnostní charakteristiky i tvrdost, vyšší plasticitu a houževnatost a lepší únavové charakteristiky (např. při zjišťování závislosti únavového poměru σ_c/R_m při zatěžování symetrickým cyklem tah-tlak na mezi pevnosti byla nalezena lineární klesající závislost). [2]; [22];[38]

Nižší teploty transformace (250 až 350°C) vedou ke struktuře matrice ADI dolního bainitu, který se využívá zejména při požadavku na vyšší pevnost, tvrdost a odolnost proti opotřebení odlihu s tím, že plasticita a houževnatost jsou nižší.

Závislost mechanických vlastností ADI na austenitizační a transformační teplotě a vliv doby výdrže na transformační teplotě ukazují obr. 13 a obr. 14

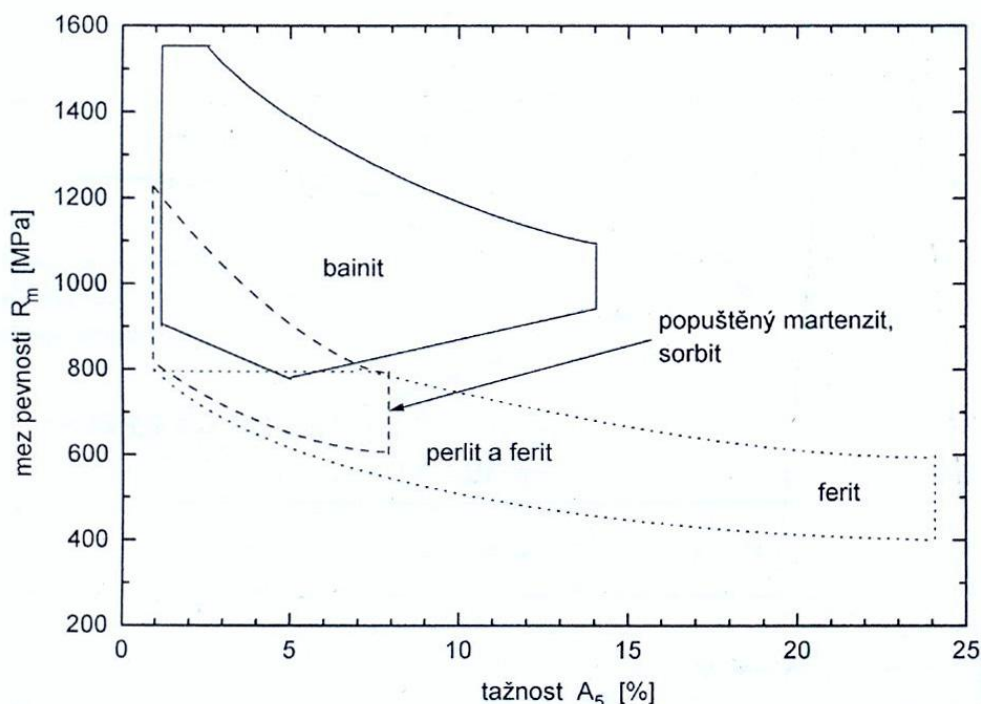


Obr. 14. Závislost mechanických vlastností ADI (R_m , $R_{p0,2}$, HB, A_5 , KCO) na austenitizační a transformační teplotě [2]

Závěrečné dochlazení odlitku po izotermickém kalení (na vzduchu, příp. ve vodě) strukturu ani vlastnosti ADI nijak výrazně neovlivní. Rychlost ochlazování však může mít vliv na úroveň vnitřních prutů v odlitku.

Pokud je pro zvýšení prokalitelnosti potřebné použít legovanou LKG, ovlivní výslednou strukturu a vlastnosti ADI také chemické složení odlitku, a to jak volbou legur, tak i úrovní legování.

Podle chemického složení LKG, metalurgie výroby odlitku a podmínek jeho tepelného zpracování se může výsledná struktura rozdílných druhů a jakostí ADI více nebo méně lišit. Proto také lze statické, rázové, únavové i jiné vlastnosti měnit v poměrně širokém rozmezí. Pro daný případ technického použití je možné volbou podmínek izotermického zušlechťování získat konstrukční materiál s takovou kombinací vlastností, jako při použití jiného druhu grafitické litiny, popř. lité oceli [27]. Možné kombinace pevnostních a plastických vlastností v závislosti na struktuře matrice LKG jsou uvedeny na obr. 15.



Obr. 15. Vztah mezi pevností v tahu a tažností pro různé druhy matrice LKG [22]

3.3.4. Faktory ovlivňující strukturu

Výsledné vlastnosti ADI jsou díky bainitické matici ve velmi širokém spektru. Důvod lze spatřovat v samotné bainitické přeměně, která leží na rozhraní mezi difúzní a bezdifúzní přeměnou. V litině s kuličkovým grafitem k těmto všeobecným rysům typickým pro bainitickou přeměnu ještě přispívají další faktory, které ovlivňují jak kinetiku přeměny, tak i výslednou strukturu a vlastnosti. Nejvýznamnější z těchto

faktorů je chemické složení (vysoký obsah Si), segregace legur, a s tím spojená vyšší či nižší chemická heterogenita matrice, a dále také austenitizační a transformační podmínky.

3.3.5. Souvislost mezi chemickým složením a mikroheterogenitou struktury

V litině existují oblasti s rozdílným chemickým složením a strukturou. Díky mikrosegregaci v průběhu krystalizace dochází v hraničních oblastech eutektických buněk ke zvýšení koncentrace Mn a Mo a obecně karbidotvorných prvků, a naopak ke snížení obsahů Si, Ni a Cu. Při současném legování grafitotvornými a karbidotvornými prvky dosahuje obsah karbidotvorného prvku v segregované oblasti až několikanásobku jeho jmenovitého obsahu v litině [1]. V některých případech byly dokonce na hranici eutektické buňky zjištěny obsahy karbidotvorného prvku až o dva řády vyšší ve srovnání s jeho jmenovitým obsahem [9]. Chemická mikroheterogenita se v průběhu bainitické přeměny v podstatě nemění. V odmíšených hraničních oblastech eutektických buněk se po izotermickém zušlechtní vyskytují oblasti tvořené martenziticko-austenitickou strukturou, u taveb s vyšším podílem karbidotvorných prvků se v těchto oblastech rovněž vyskytují eutektické karbidy [12]; [13]. Heterogenní oblasti jsou rozměrově nejvýraznější v litinách s kuličkovým grafitem s vyšším obsahem Mn (resp. Mn + Cu). V litině legované Mo (příp. Mo + Cu + Ni) jsou heterogenní oblasti podstatně užší. V případě kombinace grafitotvorných a karbidotvorných prvků, které segregují vzájemně opačným směrem, navíc dochází k tzv. drive efektu, kdy grafitotvorné prvky (např. Ni a Cu) doslova vytlačí karbidotvornou přísadu (Mo) na hranice eutektické buňky a její koncentrační průběh je pak nesrovnatelně strmější [9]. Nejmenší podíl heterogenních oblastí byl zjištěn v matici litin s nízkým obsahem Mn (do 0,3%) legovaných jen Ni nebo Cu. Prodlužováním doby výdrže na transformační teplotě 300°C až na 1000 hodin se struktura segregovaných oblastí výrazně nemění. Při 400°C je při prodlužování výdrže postupně martenziticko-austenitická struktura těchto oblastí nahrazována feriticko-karbidickou směsí nejhlicovité morfologie. U většiny nízkolegovaných litin je dostačující výdrž do 60 hodin, avšak u litin s obsahem Mn už kolem 1% zůstává určitý podíl martenzitu zachován i po 100 hodinách výdrže. [1]; [12]; [13]

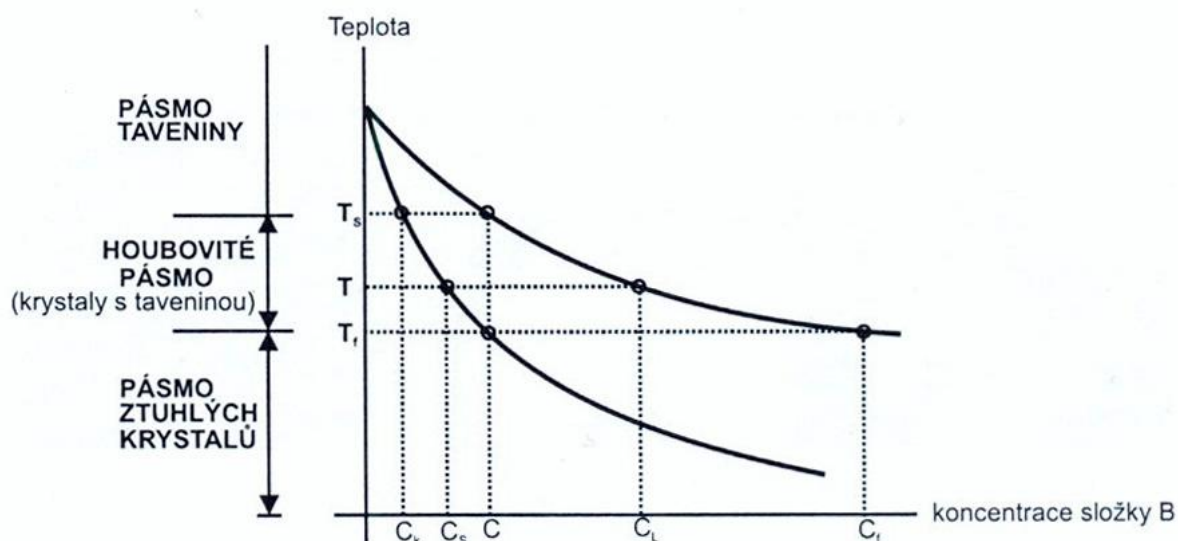
Heterogenní oblasti na hranicích eutektických buněk se strukturou tvořenou martenziticko-austenitickou směsí, ve které se mohou vyskytovat i eutektické karbidy, příp. mikrostaženiny, jsou hlavní příčinou horších mechanických vlastností nízkolegované izotermicky zušlechtně litiny v porovnání s litinou nelegovanou. [2]

4. CHEMICKÁ HETEROGENITA SLITIN ŽELEZA

Jak již bylo popsáno v předcházejících kapitolách, vlastnosti kovových slitin jsou v přímé příčinné souvislosti s jejich strukturou, která vzniká krystalizací. Při krystalizaci způsobuje dendritická segregace koncentrační heterogenitu. V oblastech význačnějšího vylučování příměsí dochází k oslabování vazeb a mechanické vlastnosti se snižují. Chemická heterogenita závisí na rozpustnosti jednotlivých složek v tuhé a kapalné fázi. Rozpustnost s přechodem do tuhé fáze prudce klesá, a příměsí se tudíž vylučují na povrch tuhnoucí fáze. Limitujícím dějem tohoto procesu je difúze přísadového prvku v tuhé fázi. Významný vliv dendritické segregace na konečné vlastnosti slitin je příčinou toho, že v posledním období je ve světě věnována značná pozornost její predikci pomocí matematických modelů. Zatímco existuje značné množství studií modelování mikrostruktury binárních slitin (např. [16] až [20]), práce, zabývající se matematickým modelováním krystalizace multikomponentních slitin, jsou, z pochopitelných důvodů, velmi vzácné.

4.1. Segregační pochody

Prvky, a to jak základní (přísady), tak příměsové, mají v závislosti na teplotě různou rozpustnost v železe. Nově vzniklé krystaly mají tudíž odlišnou koncentraci přísady (příp. příměsí) než původní tavenina, z níž vznikly. V důsledku rozdílné rozpustnosti přísady (B) v tuhé a tekuté fázi dochází při krystalizaci slitin k segregaci (obr. 16). Za rovnovážných podmínek začíná krystalizace při teplotě T_s vylučováním krystalů o složení (koncentraci komponenty B) c_K a končí při teplotě T_f krystalizací taveniny o složení c_f . Průměrné složení taveniny se během krystalizace mění od c do c_f a složení krystalů se mění od c_K do c . Po skončení krystalizace by se veškeré koncentrační rozdíly měly vyrovnat. Zejména při rychlém tuhnutí k tomu však nedojde a v důsledku nedokonalé difúze příměsí zůstane v odlitku segregace (heterogenita, nestejnorodost) více nebo méně zachována. Rozlišujeme segregaci dendritickou, označovanou termínem mikrosegregace, která se týká jednotlivých krystalů (uvnitř krystalů je nižší koncentrace přísady než na jejich povrchu), a segregaci pásmovou (zonální), označovanou jako makrosegregace, která postihuje větší oblasti (pásma, zóny); např. u stěn formy bývá snižena koncentrace příměsí, a naopak v místech, která ztuhla naposled, bývá koncentrace příměsí vyšší. Velikost segregace je výrazně závislá na chemickém složení taveniny a kinetice krystalizace. Při vyšší rychlosti krystalizace je dendritická struktura jemnější, ale segregace prvků je větší, ačkoliv difúzní vzdálenost se zmenšila. Tento jev lze vysvětlit zkrácením doby difúze příměsí při vyšších rychlostech krystalizace. [15];[28]



Obr. 16. Schematické znázornění části binárního diagramu slitiny eutektického typu ($k_0 < 1$) [28]

Důsledkem segregačních pochodů při krystalizaci je tedy chemická heterogenita jednotlivých prvků s tím, že rozlišujeme mikrosegregaci a makrosegregaci podle toho, zda se jedná o jev v mikroobjemu, či makroobjemu. Kromě uvedených pojmů se lze ještě setkat s pojmem mikrosegregace ve smyslu přerozdělování prvků v tuhém stavu; tento proces bývá rovněž označován pojmem nanosegregace.

Studium chemické heterogenity (mikrosegregace) prvků, která vychází z dendritické segregace, je zároveň jedním z výchozích bodů pro vysvětlení rozdílů v chemickém složení slitin v makroskopických objemech [15]. Pokud vzniká při krystalizaci před mezifázovým rozhraním vrstva přechlazené taveniny, je splněna základní podmínka dendritického růstu krystalů. Tato vrstva vzniká hned na počátku krystalizace následkem segregace přísad, hlavně uhlíku a křemíku, případně příměsí (zejména fosforu a síry), které způsobí snížení teploty tavení litiny obohacené přísadami. Tak vznikne v tavenině negativní teplotní gradient. Snaha o vyrovnání teplotního gradientu vede ke vzniku dendritické struktury. U skutečných odlitků nastává krystalizace v poměrně širokém pásmu, v němž se tuhá fáze vylučuje v podobě os či větví, které tvoří kostry dendritů. Mřížkové kostry dendritů nepřerušují spojitost tekuté fáze, takže v ní může probíhat difúze, která je však ve srovnání s difúzí v tavenině podstatně menší, poněvadž větve dendritů zabraňují proudění. V daném případě lze považovat difúzní výměnu přísad a příměsí mezi vzdálenějšími oblastmi krystalizačního pásma za omezenou a případně zanedbatelnou.

Mikrosegregace je základní proces vzniku nestejnorodosti slitin železa, který lze do jisté míry ovlivnit metalurgicky vhodnou skladbou základních surovin, technologií výroby a odléváním, avšak dokonale homogenní matrice u litin dosáhnout nemůžeme.

4.2. Rozdělovací koeficienty

Rozdělovací koeficienty definují termodynamická omezení pro rozdělení příměsí, a proto hrají důležitou roli ve všech mikrosegregačních teoriích. Z literatury je zřejmé, že neexistuje dostatek přesných hodnot rovnovážných rozdělovacích koeficientů pro slitiny železa, zvláště pro systémy multikomponentní. Data dostupná pro binární systémy jsou většinou tabelována s předpokladem, že rozdělovací koeficienty jsou nezávislé jak na teplotě, tak na koncentraci, a tudíž konstantní. To však může platit pouze v koncentrovaných roztocích. Dále se obecně vychází z předpokladu, že hodnota rozdělovacího koeficientu binární slitiny se s přítomností dalších složek téměř nemění. [15]

4.2.1. Rovnovážený rozdělovací koeficient

Pro dvě fáze, tuhou (**S**) a kapalnou (**L**), je rovnovážný rozdělovací koeficient k_0 prvku **j** definován jako

$$k_0 = \frac{C_S(j)}{C_L(j)}, \quad (6)$$

kde $C_S(j)$ a $C_L(j)$ jsou koncentrace prvku v okamžiku, kdy jsou tyto dvě fáze za dané teploty v rovnováze. Efekt rozdělení je tím menší, čím více se k_0 blíží jedné.

Rovnovážený rozdělovací koeficient lze vyjádřit na základě znalosti vzájemné rozpustnosti prvků v tuhé a tekuté fázi, která je graficky znázorněna v rovnovážných diagramech slitin. Část rovnovážného diagramu slitiny, v němž příměs snižuje bod tání základní látky, je schematicky znázorněna na obr. 16. Z tohoto typu diagramu je pak rovnovážný rozdělovací koeficient dán izotermním poměrem koncentrace příměsí na křivce solidu C_S ke koncentraci příměsí na křivce likvidu C_L .

Podle polohy křivek v rovnovážném diagramu může rovnovážný rozdělovací koeficient nabývat hodnot větších nebo menších než jedna. Vzhledem k tomu, že příměsí slitin železa jsou převážně eutektického typu, jsou rozdělovací koeficienty u těchto slitin menší než jedna. Polohy křivek solidu a likvidu jsou pro každou příměs charakteristické, rozdělovací koeficient bude tudíž pro každou látku charakteristikou jejich segregačních schopností při primární krystalizaci.

4.2.2. Mezifázový rozdělovací koeficient

Jak vyplývá z výše uvedených skutečností, rovnovážný rozdělovací koeficient platí jen při rovnovážných podmínkách, které však při dendritické krystalizaci nejsou splněny. V tomto případě je nutno vzít v úvahu vliv omezené difúze v tavenině a tuhé fázi, druh dendritické struktury a velikost konvekčních proudů. [23] Proto byl zaveden pojem mezifázového rozdělovacího koeficientu k^* a efektivního rozdělovacího koeficientu k_{ef} , které závisí na rychlosti tuhnutí a koncentraci příměsí v tavenině. Další práce související se studiem usměrněné krystalizace [24] umožnily nalézt vztah mezi mezifázovým rozdělovacím koeficientem k^* , množstvím ztuhlé taveniny g od chlazeného povrchu a koncentrací příměsí:

$$C_S = k \cdot C_0 (1 - g)^{(k^* - 1)}, \quad (7)$$

kde C_S je koncentrace příměsi v tuhé fázi,
 C_0 – koncentrace původní příměsi v tavenině,
 g – poměrná část ztuhlého kovu k celkovému množství taveniny na počátku tuhnutí,
 k^* – mezifázový rozdělovací koeficient, lze ho definovat jako C_S/C_m ,

kde C_m je koncentrace příměsi na mezifázovém rozhraní; k^* charakterizuje kinetiku krystalizace na mezifázovém rozhraní a zahrnuje vliv koncentrace příměsi na změnu teploty tuhnutí vznikajícího krystalu. Hodnotu k^* nemůžeme kvantitativně stanovit, a pokud není rychlost krystalizace příliš vysoká, považujeme $k^* = k_0$. Rovnice (7) platí pouze za předpokladu, že v tavenině dochází k dokonalému promíchávání příměsi a difúze v již ztuhlé části se zanedbává.

4.2.3. Efektivní rozdělovací koeficient

Nedochází-li k úplnému vyrovnávání koncentrace příměsi v tavenině, pak rovnice (7) neplatí. Z toho důvodu byla na základě dalšího studia [23] odvozena závislost efektivního rozdělovacího koeficientu na rychlosti tuhnutí. Tato závislost v širším pojetí platí i pro tuhnutí odlitků a ingotů.

Před rovinou krystalizace vzniká difúzní vrstva o tloušťce δ , která má jinou koncentraci příměsi než tavenina. Z rychlosti tuhnutí v a hodnoty koeficientu difúze D byl odvozen [25] vztah mezi rovnovážným a efektivním rozdělovacím koeficientem, daný rovnicí:

$$k_{ef} = \frac{k_0}{k_0 + (1 - k_0) \cdot e^{-v\delta/D}}, \quad (8)$$

kde v je rychlost tuhnutí [$\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$]
 δ – tloušťka difúzní vrstvy před mezifázovým rozhraním [cm],
 D – difúzní koeficient příměsi v tavenině [$\text{cm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$].

Efektivní rozdělovací koeficient k_{ef} definujeme poměrem

$$k_{ef} = \frac{C_S}{C_L}, \quad (9)$$

a po dosazení za $C_S = k^* \cdot C_m$ platí

$$k_{ef} = \frac{k^* \cdot C_m}{C_L}, \quad (10)$$

kde koncentrace C_S , C_L a C_m jsou nerovnovážné a nejsou totožné s koncentracemi v rovnici (5).

Vzájemné vztahy mezi koncentrací příměsi v tavenině a tuhé fázi jsou přehledně znázorněny na obr. 17. Pro rozdělení příměsi v tuhé fázi a tavenině před mezifázovým rozhraním je určující poměr rychlosti difúze a rychlosti tuhnutí [23]. Závislost na obr. 17a znázorňuje situaci při dokonalém míchání taveniny. Koncentrace C_L je v tavenině vyšší než původní koncentrace C_0 před začátkem krystalizace. Naopak koncentrace C_S je nižší než C_0 a na začátku krystalizace bude dána součinem $k_{ef} C_0$. Během tuhnutí se bude vzhledem k velkému koncentračnímu gradientu zvyšovat i hodnota C_S [15].

Pokud se atomy příměsi budou v tavenině pohybovat jen vlivem difúze (obr. 17b), vytvoří se před mezifázovým rozhraním difúzní vrstva o tloušťce δ s velkým koncentračním gradientem; mimo tuto vrstvu koncentrace příměsi zůstane na původní hodnotě C_0 . Je zde definována veličina δ_0 , což je „charakteristická vzdálenost“ daná poměrem D/v . Rozdělovací koeficient můžeme považovat za mezifázový rozdělovací koeficient $k^* = C_S/C_m$. Na mezifázovém rozhraní vznikne špička, daná poměrem C_0/k_{ef} .

V případě, že v tavenině dojde během tuhnutí i ke konvekci (obr. 17c), poklesne koncentrace příměsi v difúzní vrstvě a současně se zvýší koncentrace C_L v tavenině. Obsah příměsi v tuhé fázi je nižší než hodnota C_0 . Rozdělovací koeficient můžeme v tomto případě nazvat efektivním rozdělovacím koeficientem a je dán vztahem (10). V důsledku konvekce je tloušťka difúzní vrstvy menší než v předchozím případě; mění se podle intenzity míchání taveniny. Při dokonalém míchání bude $\delta = 0$ a efektivní rozdělovací koeficient k_{ef} se bude rovnat rovnovážnému k_0 .

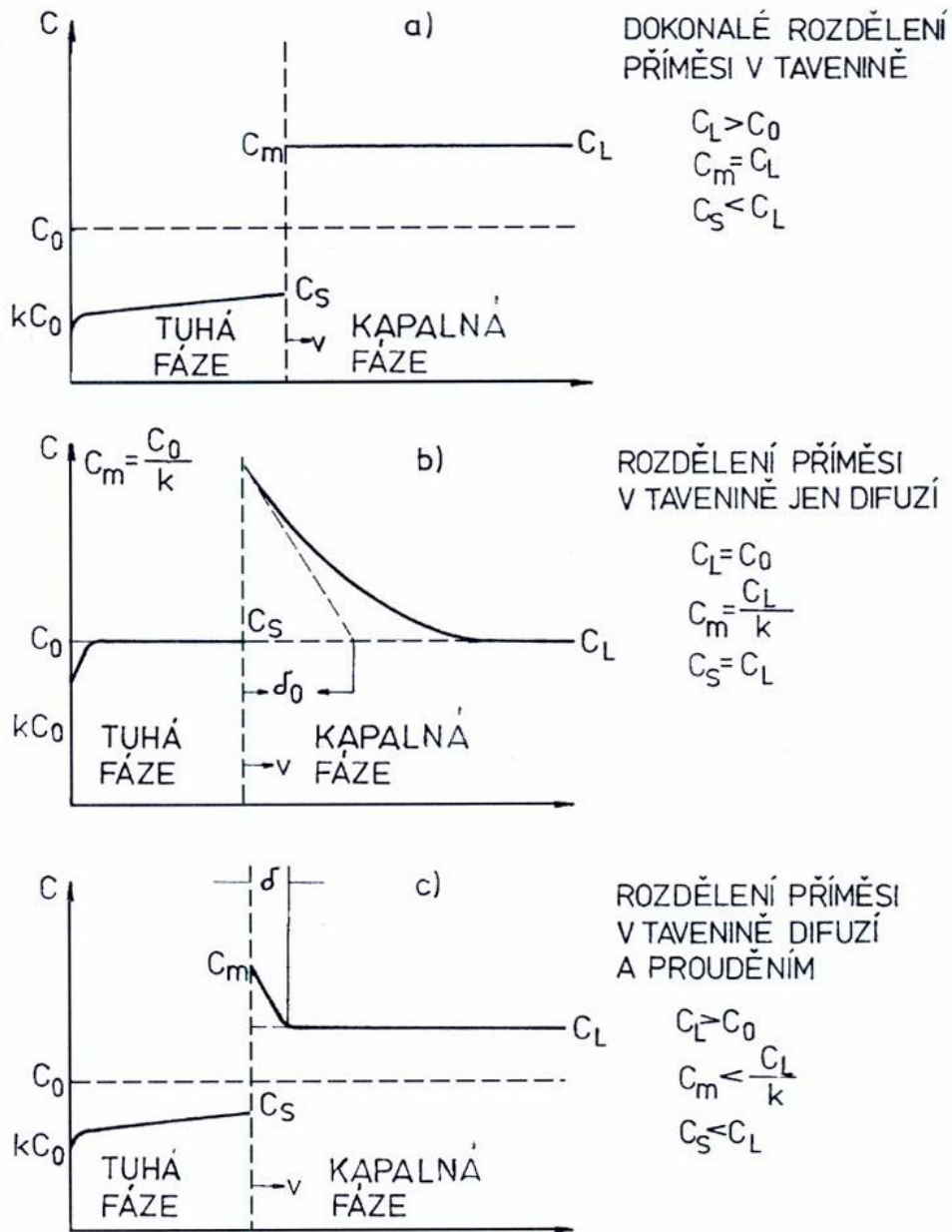
V literatuře [25] je uváděn vztah mezi tloušťkou difúzní vrstvy δ , rychlostí tuhnutí a koncentrací příměsi

$$\delta = \frac{D}{v} \cdot \frac{(1 - k_{ef}) \cdot (C_L / C_S)}{1 - k_{ef}}. \quad (11)$$

V případě rovnosti koncentrací příměsi v tuhé a tekuté fázi bude mít δ maximální hodnotu δ_{max}

$$\delta_{max} = \frac{D}{v}. \quad (12)$$

Z uvedených rovnic vyplývá, že tloušťka difúzní vrstvy je nepřímo úměrná rychlosti tuhnutí.



Obr. 17. Rozdělení příměsi v tavenině a ztuhlé části [23]
a) bude-li dokonalé rozdělení příměsi v tavenině; b) bude-li se koncentrace v tavenině vyrovnávat jen difúzí; c) dojde-li k vyrovnání koncentrace v tavenině difúzí a prouděním.

4.2.4. Závislost rovnovážného rozdělovacího koeficientu na koncentraci příměsi

Při termodynamické rovnováze tuhé (S) a kapalné (L) fáze se chemické potenciály složky j vyskytující se v obou fázích vzájemně rovnají, takže platí

$$\mu_j^{(S)} = \mu_j^{(L)}, \quad (13)$$

přičemž

$$\mu_j^{(S)} = \mu_j^{0(S)} + RT \ln a_j^{(S)} = \mu_j^{0(S)} + RT \ln(\gamma_j^{(S)} \cdot X_j^{(S)}), \quad (14)$$

$$\mu_j^{(L)} = \mu_j^{0(L)} + RT \ln a_j^{(L)} = \mu_j^{0(L)} + RT \ln(\gamma_j^{(L)} \cdot X_j^{(L)}), \quad (15)$$

kde význam použitých symbolů je následující:

- $\mu_j^{(S)}, \mu_j^{(L)}$ - chemický potenciál složky j v odpovídající fázi
- $\mu_j^{0(S)}, \mu_j^{0(L)}$ - chemický potenciál složky j ve standardním stavu v odpovídající fázi
- $a_j^{(S)}, a_j^{(L)}$ - aktivita složky j v odpovídající fázi
- $X_j^{(S)}, X_j^{(L)}$ - molární zlomek složky j v odpovídající fázi
- $\gamma_j^{(S)}, \gamma_j^{(L)}$ - aktivitní koeficient složky j v odpovídající fázi
- R - molární plynová konstanta
- T - absolutní teplota [K].

Za předpokladu, že rovnovážný rozdělovací koeficient je definován jako izotermický poměr koncentrace příměsi v solidu $X_j^{(S)}$ ke koncentraci v likvidu $X_j^{(L)}$, je možno tento koeficient postupně vyjádřit z rovnic (12) až (14) následujícím způsobem:

$$\ln(X_j^{(S)} / X_j^{(L)}) = (\mu_j^{0(L)} - \mu_j^{0(S)}) / RT + \ln(\gamma_j^{(L)} / \gamma_j^{(S)}), \quad (16)$$

$$k_j = (\gamma_j^{(L)} / \gamma_j^{(S)}) \exp \left[\frac{\mu_j^{0(L)} - \mu_j^{0(S)}}{RT} \right] \quad (17)$$

Rovnice (17) vyjadřuje závislost rovnovážného rozdělovacího koeficientu na aktivitních koeficientech složky j v obou fázích a na rozdílu chemického potenciálu mezi standardními stavy čisté složky v těchto dvou fázích. Tato rovnice obsahuje dvě neznámé: rozdělovací koeficient a také aktivitní koeficienty prvku jako funkci jeho koncentrace. Z tohoto důvodu může být řešena přímo pouze pro případ nekonečně zředěných roztoků. Pro roztoky s vyšší koncentrací je nutno použít další rovnici, vyjadřující vztah mezi teplotou likvidu a koncentrací. Metoda aktivitních koeficientů může být docela přesná za předpokladu, že rovnice jsou založeny na úplné termodynamické analýze konkrétního systému a všechna vybraná data jsou termodynamicky konzistentní.

Má-li být multikomponentní systém **Fe-j-k-l-m...** v termodynamické rovnováze, musí pro jednotlivé složky platit obdoba rovnice (12), tedy

$$\mu_j^{(S)} = \mu_j^{(L)}, \mu_k^{(S)} = \mu_k^{(L)}, \mu_l^{(S)} = \mu_l^{(L)}, \mu_m^{(S)} = \mu_m^{(L)}, \dots \quad (18)$$

a pro jednotlivé složky pak platí analogické vztahy s rovnicemi (14) až (17). Substitucí

$$\ln k_j^0 = \left(\mu_j^{0(L)} - \mu_j^{0(S)} \right) / RT \quad (19)$$

získáme z rovnice (16) vztah pro závislost rozdělovacího koeficientu složky **j** v multikomponentním systému ve tvaru

$$\begin{aligned} \ln(X_j^{(S)} / X_j^{(L)}) = \ln k_j^0 + \varepsilon_j^{j(L)} \cdot X_j^{(L)} - \varepsilon_j^{j(S)} \cdot X_j^{(S)} + \varepsilon_j^{k(L)} \cdot X_k^{(L)} - \varepsilon_j^{k(S)} \cdot X_k^{(S)} + \\ + \varepsilon_j^{l(L)} \cdot X_l^{(L)} - \varepsilon_j^{l(S)} \cdot X_l^{(S)} + \varepsilon_j^{m(L)} \cdot X_m^{(L)} - \varepsilon_j^{m(S)} \cdot X_m^{(S)} + \dots \quad , \end{aligned} \quad (20)$$

kde X_j jsou koncentrace složek v tuhém roztoku, popřípadě v tavenině, (**j = j, k, l, m...**) v molárních zlomcích, ε je interakční koeficient složky **j** v binárním systému **Fe-j** a ε (**k = k, l, m, ...**) jsou interakční koeficienty složky **j** v ternárním systému **Fe-j-k** (**k = k, l, m, ...**).

Za předpokladu, že pro interakční koeficienty všech prvků a všechny kombinace **j/k** platí $\varepsilon_j^{k(S)} \cong \varepsilon_j^{k(L)}$, lze rovnici (20) zjednodušit a psát ve tvaru

$$\begin{aligned} \ln(X_j^{(S)} / X_j^{(L)}) = \ln k_j^0 + \varepsilon_j^j \cdot (X_j^{(L)} - X_j^{(S)}) + \varepsilon_j^k \cdot (X_k^{(L)} - X_k^{(S)}) + \\ + \varepsilon_j^l \cdot (X_l^{(L)} - X_l^{(S)}) + \varepsilon_j^m \cdot (X_m^{(L)} - X_m^{(S)}) + \dots \quad , \end{aligned} \quad (21)$$

a pro hodnoty koncentrací v hmotnostních procentech je možno rovnici (21) přepsat do tvaru

$$\begin{aligned} \log(C_j^{(S)} / C_j^{(L)}) = \log k_j^0 + e_j^j \cdot (C_j^{(L)} - C_j^{(S)}) + e_j^k \cdot (C_k^{(L)} - C_k^{(S)}) + \\ + e_j^l \cdot (C_l^{(L)} - C_l^{(S)}) + e_j^m \cdot (C_m^{(L)} - C_m^{(S)}) + \dots \quad , \end{aligned} \quad (22)$$

kde C_j jsou koncentrace v hmotnostních procentech a e_j^k (**k = j, k, l, m, ...**) jsou interakční koeficienty analogické s interakčními koeficienty uvedenými v rovnici (20).

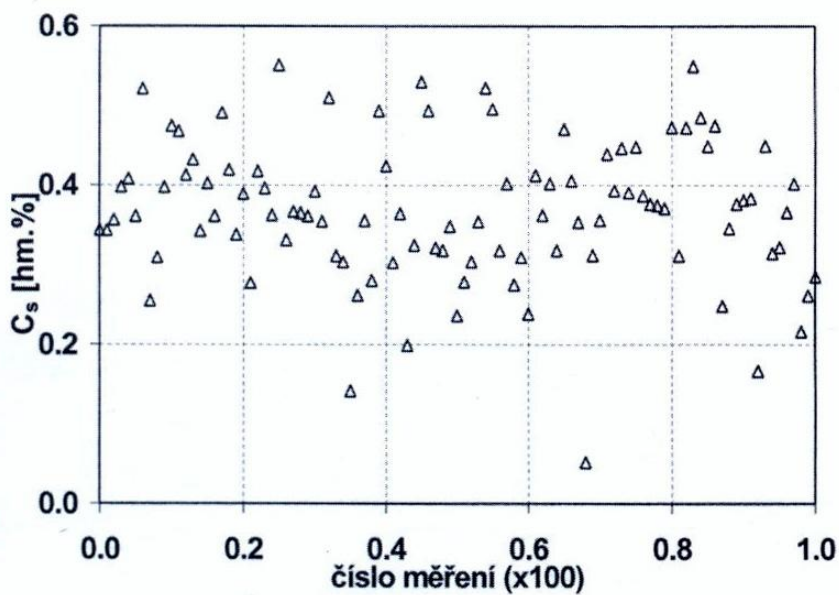
4.3. Stanovení distribučních křivek dendritické segregace prvků

V dostupné literatuře je velmi komplikované nalézt studii, která by se detailně a přehledně věnovala segregaci v rámci eutektické buňky. S ohledem na výraznou podobnost zákonitostí platných pro buněčnou strukturu, která je charakteristická pro krystalizaci LKG, a dendritickou strukturu ocelí, a s uvažováním faktu, že se předkládaná práce zabývá řešením problematiky z hlediska studia struktury matrice LKG v mikroobjemu (tj. mikrosegregaci), byla pro zpracování této kapitoly použita jako základní literární pramen monografie [15], zabývající se především otázkou segregace v jednotlivých skupinách ocelí. Pak, v určitém přiblížení, je možno, na základě výše uvedených obecně uznávaných předpokladů, prohlásit pojmy dendritická segregace a segregace v rámci eutektické buňky, případně vzdálenost dendritických os a velikost eutektické buňky, pro daný případ za identické.

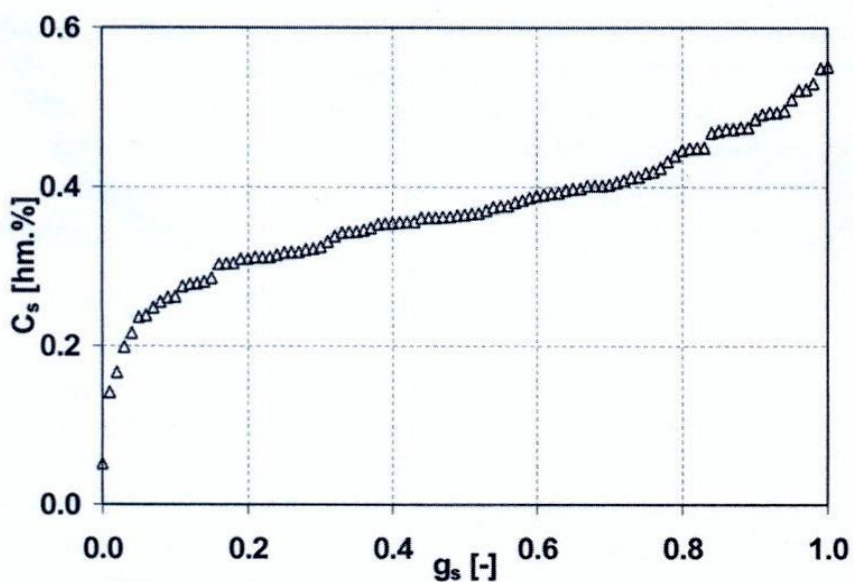
Rozložení koncentrace prvků v rámci jednoho, tzv. ideálního dendritu popisují distribuční křivky dendritické segregace prvků. Jejich průběh lze matematicky modelovat a popis provést nejlépe statistickým logaritnicko-normálním rozdělením, popř. rozdělením Weibullovým, pouze ojediněle vyhovuje rozdělení normální (Gaussovo). Vhodnost použití toho kterého rozdělení je závislá na reálném chování soustavy a je zapotřebí ji posuzovat v konfrontaci s distribučními křivkami dendritické segregace prvků, stanovenými na podkladě experimentálních dat a měření. Ukazuje se tedy, že stanovení efektivního rozdělovacího koeficientu k_{ef} z koncentračních křivek prvků změřených v určitém úseku, a z nich stanovených distribučních křivek dendritické segregace, má zcela zásadní význam. Metoda vychází z práce [26], v níž Gungor při popisu dendritické segregace prvku v rámci jednoho dendritu seřadil změřené koncentrace (obr. 18) odměšujícího prvku ve směru od osy dendritu k jeho hranici podle rostoucí (neklesající) hodnoty koncentrací (obr. 19).

Pro predikci velikosti dendritické segregace reálných odlitků, a to jak na buněčných, tak i kolumnárních dendritických strukturách, zavedli Brody, Flemings a Bower (cit. v [59]) metodu objemového elementu. Objemový element je definován jako taková část struktury, která je dostatečně malá, aby ji bylo možné sledovat, ale zároveň dostatečně velká, aby poskytovala přehled o charakteristických vlastnostech studované oblasti tuhé fáze. Objemový element je pro kolumnární dendritickou strukturu orientován kolmo k dendritické ose, jeho počátek je zvolen v ose dendritu a délka je rovna polovině mezidendritické vzdálenosti. Obdobně pro buněčnou strukturu, vztaženo na litinu s kuličkovým grafitem, je za objemový element považován úsek od grafitu po hranici eutektické buňky.

Praktická aplikace spočívá ve změření hmotnostních koncentrací prvků na vybraném, dostatečně dlouhém úseku mikrostruktury na metalografickém výbrusu. U ocelí závisí délka stopy na vzdálenosti dendritických, zpravidla sekundárních, os s tím, že měřená úsečka by měla protínat větší množství těchto os. U grafitických litin závisí délka stopy na vzdálenosti částic grafitu, tj. na velikosti eutektické buňky. Výsledky měření podél stopy pak lze podrobit základní matematicko-statistické analýze, tj. stanovit charakter statistického rozdělení a jeho parametry.

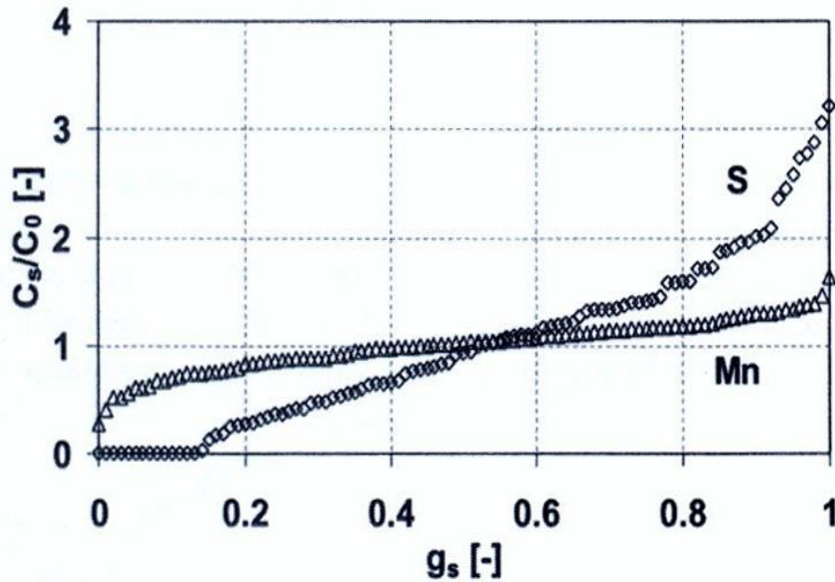


Obr. 18. Původní neuspořádaná data získaná mikroanalytickým měřením koncentrace prvku podél měřené stopy na feritické nízkouhlíkové nelegované oceli, distribuce křemíku [15]

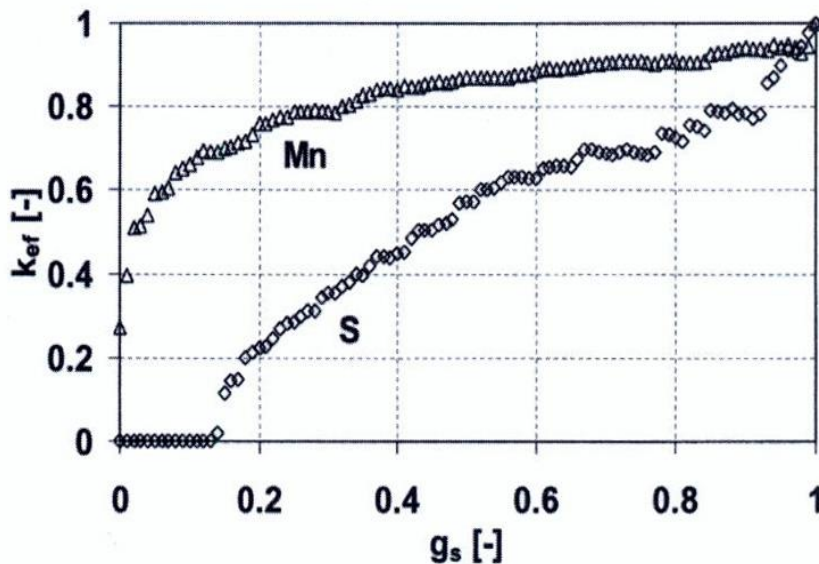


Obr. 19. Naměřená data z obr. 18, uspořádaná metodou podle Gungora [15]

Grafické znázornění segregační křivky získáme nejlépe vynesemím rostoucích (neklesajících) hodnot příslušného měřeného prvku, a to v závislosti na počtu měřených bodů. Další možností je místo hodnot naměřených koncentrací použít koncentrace normované vzhledem k jejich střední hodnotě v daném úseku (obr. 20).



Obr. 20. Změřené distribuční křivky dendritické segregace manganu a síry [15]
Nízkouhlíková nelegovaná ocel, rychlost ochlazování 3°C/min



Obr. 21. Stanovené průběhy efektivních rozdělovacích koeficientů manganu a síry korespondující se změřenými segregačními křivkami na obr. 20 [15]

Za předpokladu, že se motiv struktury více méně pravidelně opakuje, změřená (příp. vypočtená) koncentrační křivka daného prvku vyjadřuje jeho pravděpodobné rozdělení v rámci jednoho průměrného (typického či ideálního) strukturního prvku (dendritu, případně jiného, jako je např. eutektická buňka). Stanovíme-li takto experimentálně z distribučních křivek statistické rozdělení, můžeme z něj stanovit a posoudit rozdělovací koeficient, popřípadě i mechanismus tuhnutí. Průběhy rozdělovacích koeficientů v rámci daného objemového elementu (obr. 21) pak korelují se změřenými distribučními křivkami dendritické segregace.

4.4. Stanovení indexu heterogenity

Ze změřených hodnot koncentrací lze nejen stanovit distribuční křivky dendritické segregace jednotlivých prvků nebo průběhy efektivních rozdělovacích koeficientů, ale také, za pomoci stanovení střední hodnoty naměřených koncentrací $C_{stř}$ a směrodatné odchylky S_{n-1} , lze stanovit další charakteristickou veličinu, index heterogenity I_{het} , podle vztahu [15]

$$I_{het} = \frac{S_{n-1}}{C_{stř}} \quad (23)$$

Index heterogenity, vyjadřující jak chemickou heterogenitu prvku vytvářející se během tuhnutí, tak i částečné snížení této heterogenity během tuhnutí a zvláště v průběhu chladnutí, a efektivní rozdělovací koeficient, by spolu měly korelovat. Přitom s rostoucím obsahem jednotlivých legujících prvků jeví index heterogenity klesající tendenci [35]. Zároveň větší hodnota indexu heterogenity odpovídá menší hodnotě efektivního rozdělovacího koeficientu téhož prvku a naopak, jak bylo experimentálně prokázáno v práci [15], kdy byl vzájemný vztah těchto veličin vyčíslen jako

$$I_{het} = 0,06139 - 1,1521 \ln(k_X), \quad (24)$$

kde k_X je rozdělovací koeficient prvku X a je definován vztahem

$$k_X(i) = C_i / C_Z(i), \quad (25)$$

kde C_i je koncentrace v i -tém bodě měřené posloupnosti a $C_Z(i)$ je průměrná koncentrace prvku ve zbylé části distribuční křivky dendritické segregace.

4.5. Stanovení koeficientu heterogenity

Obdobným způsobem, a ze stejných výchozích naměřených hodnot, jako index heterogenity, lze stanovit poměrně zřídka používaný koeficient heterogenity [49]. K jeho výpočtu je, kromě již uvedeného aritmetického průměru $C_{stř}$, potřeba určit minimální C_{min} a maximální C_{max} hodnotu změřených koncentrací pro daný soubor měření. Koeficient heterogenity je dán vztahem

$$k_{het} = \frac{C_{max} - C_{min}}{C_{stř}} \quad (26)$$

Z porovnání vztahů (23) a (26) je zřejmé, že index heterogenity a koeficient heterogenity budou mít ve vztahu k efektivnímu rozdělovacímu koeficientu obdobnou tendenci.

4.6. Stanovení indexu segregace

Dalším možným kritériem pro hodnocení segregáčních pochodů je stanovení indexu segregace I_S , který je definován jako

$$I_S = \frac{C_{max}}{C_{stř}} \quad (27)$$

kde použité symboly byly již popsány u předcházejících vztahů. Jedná se tedy o poměr maximální koncentrace prvku k jeho aritmetickému průměru, vždy v daném měřeném úseku mezi částicemi grafitu. Z definičního vztahu (27) je možno soudit, že s rostoucím obsahem legury bude index segregace klesat [35], a bude mít tudíž opačnou tendenci než index heterogenity.

4.7. Vzájemná interakce prvků

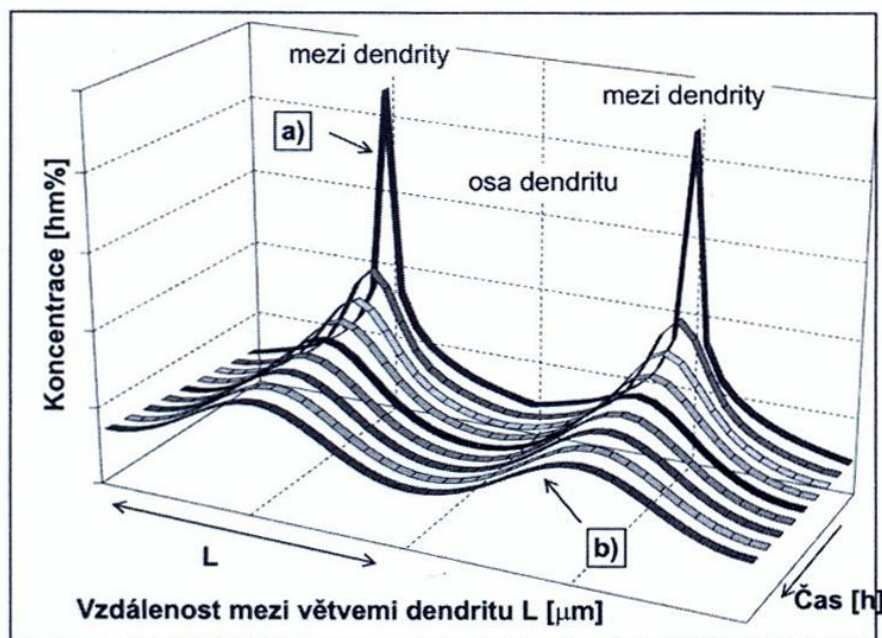
Rozdělení prvků v eutektické buňce LKG je řízeno jejich vztahem k termodynamické aktivitě uhlíku. Prvky i , které zvyšují termodynamickou aktivitu uhlíku v tavenině železa i v austenitu a jejichž termodynamický interakční koeficient ε_i^C má kladnou hodnotu, mají tendenci se soustřeďovat v buňce u grafitické nodule, naproti tomu prvky, které snižují termodynamickou aktivitu uhlíku a jejichž termodynamický interakční koeficient ε_i^C má zápornou hodnotu, mají tendenci se soustřeďovat na periferii buňky. Kladný interakční koeficient vykazují všechny grafitotvorné prvky, např. Si, Ni, Mg a Cu, a ty tedy přerozdělují směrem ke grafitu. Naproti tomu záporný interakční koeficient vykazují a směrem k hranici eutektické buňky přerozdělují např. Mn, Cr, P, S.

V práci [35] dále bylo prokázáno, že s rostoucí přísadou legujících prvků tvárné litiny se téměř přímo úměrně zvětšuje jejich lokální maximální koncentrace v eutektické buňce.

4.8. Homogenizační procesy

Předpokládáme-li ideální rozložení koncentrace prvku v rámci jednoho dendritu a její symetrické rozložení v dendritech v rámci celého uvažovaného systému, získáme periodické zrcadlově převrácené rozložení koncentrace prvku znázorněné na obr. 22.

Pokud lineární vzdálenost mezi dendrity je L , jednotlivé větve dendritů se setkávají v maximech a minimech dendritické segregace. Pro prvky s rozdělovacím koeficientem mezi likvidem a solidem $k < 1$ tvoří maximální koncentrace hranici mezi dendrity a minimální osu dendritu. Tato představa předpokládá symetrický růst dendritu.



Obr. 22. Periodické rozdělení koncentrace prvků v rámci distribuční křivky dendritické segregace a průběh vyrovnání této křivky během homogenizačního žihání [15]

a) po odlití; b) po žihání. Pro prvek s rozdělovacím koeficientem $k < 1$.

Pro vyrovnání dendritické segregace lze využít procesu homogenizačního žihání, které řadíme do způsobů žihání s překrytím. Při homogenizačním žihání se lokální rozdíly v chemickém složení vyrovnávají difúzí, jejíž účinnost závisí na parametru p , který je dán vztahem

$$p = D_i \cdot t \cdot L^{-2}, \quad (28)$$

kde D_i je difúzní koeficient prvku i , jehož hodnota je výrazně závislá na době žihání, t – doba žihání, $2L$ – zpravidla vzdálenost dvou dendritických větví. Teploty homogenizačního žihání se volí co nejvyšší, tak, aby na jedné straně byly vytvořeny co nejlepší podmínky pro difúzi, na druhé straně je omezujícím faktorem nebezpečí zhrubnutí zrna; obvykle v rozmezí 1100 – 1250 °C. Výdrž na teplotě je určena hrubostí struktury a obvykle postačí 5 – 15 hodin. Homogenizačním žiháním lze účinně snížit dendritickou segregaci, avšak úroveň pásmového odmišení se, z důvodu příliš dlouhých difúzních drah, zpravidla výrazně nezmění. [21]

Uvažujeme-li uspořádání dendritů podle obr. 22, lze vyrovnání dendritické segregace prvků, probíhající během homogenizačního žíhání, řešit jako jednorozměrný problém. V maximech a minimech koncentrace prvku platí podmínka izolace, tzn. gradient koncentrace je nulový. Vyrovnání koncentrace prvků difúzí pak probíhá pouze v rámci poloviční větve dendritu ($L/2$), a tedy v rámci jedné distribuční křivky dendritické segregace uvažovaného prvku.

Kinetiku procesu změny tvaru původní distribuční křivky dendritické segregace prvku lze pomocí 2. Fickova zákona popsat v závislosti na parametrech homogenizačního žíhání, a to difúzního koeficientu daného prvku v solidu D_s (který je funkcí teploty), poloviční vzdálenosti dendritických os ($L/2$) a času t :

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D_s \frac{\partial^2 C}{\partial x^2}, \quad (29)$$

kde C je koncentrace uvažovaného prvku, t je doba homogenizace a x je vzdálenost od osy dendritu, s počáteční podmínkou (vyjadřující počáteční rozložení koncentrace, které je pro daný prvek určeno distribuční křivkou)

$$C(x, 0) = f(x) \quad \text{pro} \quad 0 < x < L/2 \quad (30)$$

a homogenními okrajovými podmínkami

$$\frac{\partial C}{\partial x}(0, t) = \frac{\partial C}{\partial x}(L/2, t) = 0 \quad \text{pro} \quad t > 0. \quad (31)$$

Okrajové podmínky (31) vyjadřují předpoklad symetrie v ose dendritu a podmínku izolace na hranicích mezi dendrity.

Pro modelování difúzních procesů lze v zásadě použít jak analytické, tak numerické řešení okrajové úlohy (29) až (31). Při praktickém použití metody modelování difúzních procesů se pomocí bodové energiově disperzní spektrální analýzy na pokud možno nelepťaném metalografickém výbrusu změří v dané oblasti odlitku rozložení základních prvků i příměsí a nečistot. Z naměřených dat se nejprve matematicko-statistickým zpracováním stanoví distribuční křivky dendritické segregace jednotlivých prvků. Poté lze analytickým nebo numerickým řešením s použitím 2. Fickova zákona vypočítat průběh homogenizace distribuční křivky dendritické segregace každého z měřených prvků.

Po provedeném homogenizačním žíhání se provede stejný postup. Následně lze z naměřených hodnot a matematicko-statisticky zpracovaných koncentrací před a po žíhání a z vypočteného průběhu homogenizace stanovit kritériální závislost homogenizace pro každý příslušný prvek. Výsledné řešení vyjadřuje příčinné souvislosti mezi heterogenitou prvku, dobou rozpouštěcího žíhání, koeficientem difúze příslušného prvku a vzdálenostmi dendritických os (resp. velikostí eutektické

buňky). Praktický smysl uvedeného přístupu spočívá v možnosti stanovit pro požadovaný stupeň heterogenity prvků parametry homogenizačního žíhání odlitků, tj. dobu, popřípadě teplotu žíhání.

4.9. Vliv různých žíhacích procesů na mechanické vlastnosti

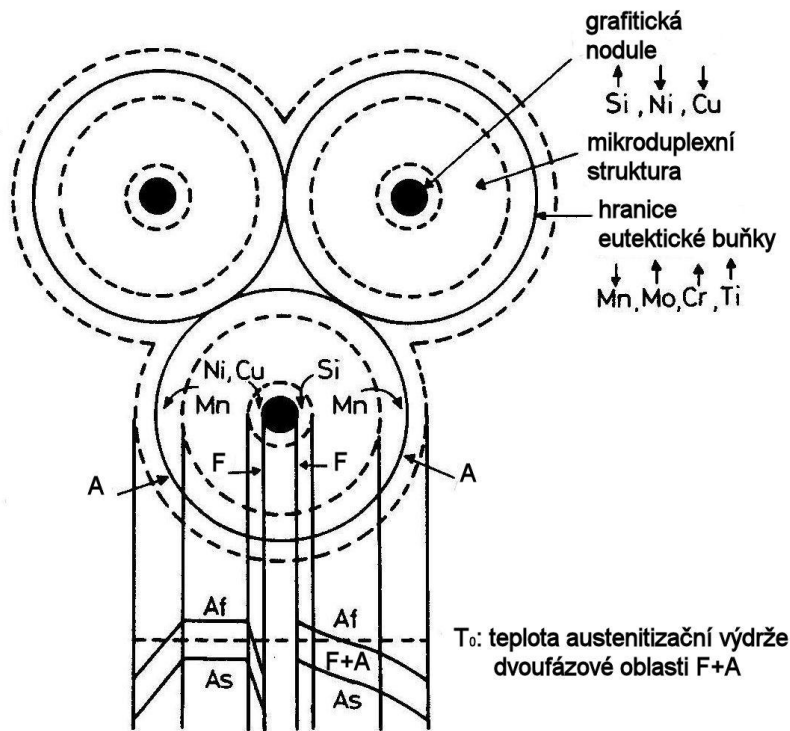
Je dobře známo, že ADI vykazuje dobrou houževnatost a vysokou pevnost zejména tehdy, pokud nedochází k precipitaci cementitu, který výrazně negativně působí na houževnatost; v těchto materiálech naopak bývá zjištěn značný podíl zbytkového austenitu. Uvedené vlastnosti jsou pak příčinou faktu, že roste množství aplikací využívající ADI. [34]; [39]; [40]

V pracích [41] a [42] zaměřených na lomovou mechaniku tvárné litiny bylo zjištěno, že lom bude iniciovat nejen z rozhraní mezi grafitem a matricí, ale také na hranicích eutektických buněk. Je tedy nezbytné zaměřit se na zpevnování tohoto místa ve smyslu vyšší houževnatosti a pevnosti. K dosažení zmíněného cíle je obecně doporučováno např. snižovat obsah prvků, jako je třeba Mn, který segreguje na hranici eutektických buněk a díky tomu, že se jedná o karbidotvorný prvek, podstatně snižuje houževnatost.

V literatuře je možno najít speciální postupy tepelného zpracování, vedoucí ke zvýšení houževnatosti sledovaného materiálu. Jedním z nich je nízkoteplotní kalení (tj. kalení z dvoufázové oblasti ferit – austenit, v literatuře označované jako QLT), které je zařazeno mezi konvenční kalení a žíhání. Původně byl tento postup navržen pro feritické oceli s obsahem 6 až 9% Ni [43], avšak následně bylo prokázáno [34], že je možno, obdobně jako mnohé jiné postupy a zákonitosti, jej aplikovat stejně úspěšně i u grafitických litin, v tomto případě u litiny s kuličkovým grafitem. Jinými slovy: nízkolegovaná LKG je držena v dvoufázové feriticko-austenitické oblasti (F+A), austenitotvorné prvky difundují a koncentrují se v austenitu, tím jej stabilizují, a takto vzniklá duplexní mikrostruktura zvýší pevnost a houževnatost odlitku.

Mikrosegregace ve výsledné struktuře je schématicky znázorněna na obr. 23. V popisu obrázku jsou šipkou směřující nahoru označeny prvky, které zvyšují teplotu A_1 , šipka dolů značí prvky, které teplotu A_1 snižují. Je známo, že křemík segreguje ke grafitu, jeho maximální hodnoty tedy naměříme v blízkosti grafitické nodule, mangan naopak segreguje směrem k hranici eutektické buňky (EB). Výsledkem uvedených skutečností je, že austenitizační teploty budou růst blízko grafitu, zatímco v blízkosti hranic EB budou klesat, jak je ukázáno v pravé dolní části schématického obr. 23. Symboly A_s , A_f značí počátky a konce pásma austenitizačních teplot.

Mimo jiné také přidání legujících prvků (Ni, Cu apod.), které snižují austenitizační teplotu a mají tendenci segregovat v okolí grafitických nodulí, může modifikovat mikrostrukturu v austenitické fázi blízko grafitického rozhraní a na hranici EB, a to v případě, kdy je slitina tepelně zpracována z oblasti F+A – viz levá dolní část obr. 23.



Obr. 23. Schématické zobrazení mikrosegregace legujících prvků a distribuce fází vyvolané izotermickým žháním z oblasti F+A [34]

Z uvedených poznatků vyplývá, že místo iniciace lomu na těchto dvou kritických rozhraních může být změněno na austenitickou fázi, která bude stabilní, nebo bude vykazovat transformačně indukované zpevnění pod účinkem vnějších napětí. V tomto speciálním případě tedy mikrosegregace Ni a Mn může mít pozitivní efekt ke zlepšení mechanických vlastností litiny.

Litina legovaná niklem a manganem vykazuje nejlepší lomovou houževnatost, jestliže je tepelně zpracována dvoustupňovým tepelným zpracováním, spočívajícím v kalení z austenitu do oleje následovaným ohřevem a izotermickým žháním v oblasti ferit+austenit, případně jednostupňovým izotermickým žháním z oblasti F+A. [34]

5. URČOVÁNÍ CHEMICKÉ HETEROGENITY V LKG

Chemickou heterogenitu lze, jak již bylo řečeno výše, posuzovat jak v makroobjemu, tak mikroobjemu. Tato práce je zaměřena především na posuzování dějů v rámci eutektické buňky, jedná se tedy o mikroobjem, a pod pojmem heterogenita tudíž budeme vnímat chemickou mikroheterogenitu.

Chemickou heterogenitu lze stanovovat principiálně třemi různými způsoby, a to kvalitativně, nebo kvantitativně, buďto pomocí měření, nebo pomocí výpočtu. Je třeba mít na paměti, že ke kvantitativnímu posouzení heterogenity rozložení prvků v LKG jsou nezbytné dostatečně velké koncentrační soubory sledovaných prvků, změřené optimálním způsobem a ve vhodných oblastech dodaných vzorků. [47]

5.1. Kvalitativní určování heterogenity

Kvalitativní určování se provádí pomocí poměrně rychlé a názorné metody leptání chemickými činidly. Tato metoda však neumožňuje posouzení heterogenity jednotlivých legujících prvků, jedná se pouze o zviditelnění nehomogenity způsobené společným účinkem všech prvků v matrici LKG. Místa o stejném chemickém složení se projeví stejnou intenzitou naleptání, a na výsledném metalografickém snímku je pak můžeme pozorovat jako místa se stejným barevným odstínem. Tuto metodu lze použít ke kvalitativnímu posouzení vlivu některých legovacích prvků na heterogenitu matrice, k posouzení rozdílů v matrici LKG v litém a tepelně zpracovaném stavu, případně k posouzení vlivu rozdílných typů tepelného zpracování na heterogenitu matrice.

5.2. Kvantitativní určování heterogenity pomocí měření

Měření koncentrací jednotlivých prvků se provádí prostřednictvím rentgenové spektrální mikroanalýzy za použití mikroanalyzátorů ve spojení s rastrovacím elektronovým mikroskopem. Tyto techniky umožňují provést jak kvalitativní, tak i kvantitativní bodovou mikroanalýzu jednotlivých prvků.

Analyzované místo se ve struktuře vzorků volí tak, aby se základní mikrostrukturní parametry, tj. poloměr globulárních částic grafitu r_g , vzdálenosti mezi grafitickými nodulemi L_g a poloměr eutektických buněk R_b , v analyzované oblasti co nejvíce přibližovaly průměrným parametrům grafitu ve vzorku, které lze změřit kvantitativní metalografickou analýzou, nebo ji případně nahradit dostatečně velkým statistickým souborem měření.

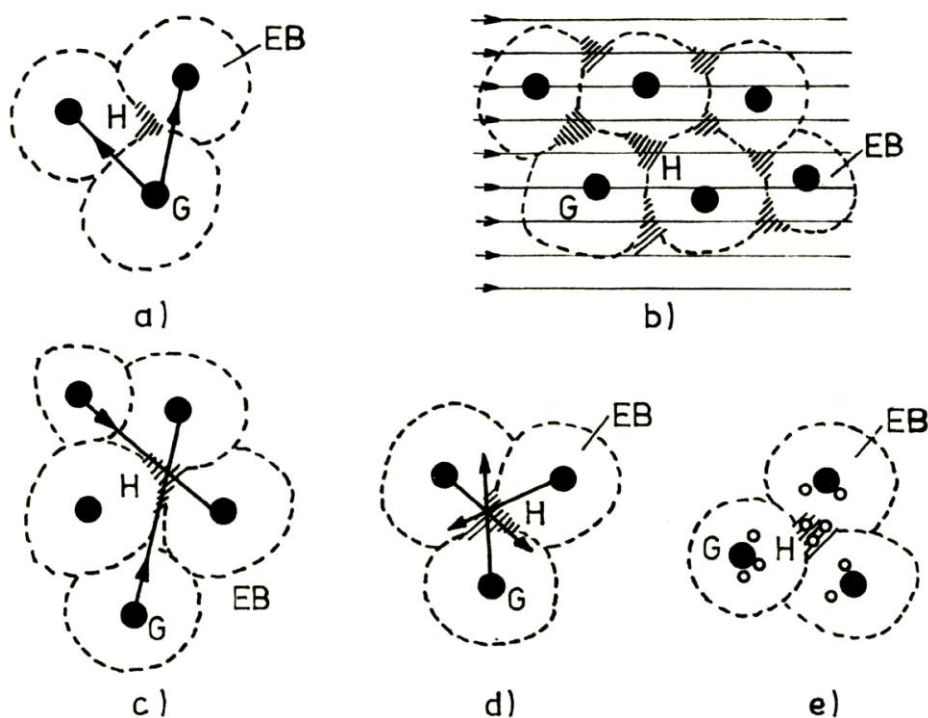
V zásadě je možno použít dvě odlišné metody rtg. mikroanalýzy, a to metodu vlnové disperze, nebo energiové disperze.

Vlnově disperzní mikroanalýza (VDS) poskytuje o řád přesnější výsledky, umožňuje kvantitativní vyhodnocení obsahů prvků reálně v setinách procenta. Tato přesnost

metody je však vykoupena značnou časovou náročností a pracností takového měření. Navíc, a to je podstatné, je současně možno analyzovat pouze takové množství prvků, kolika rtg. spektrometry je použita mikrosonda vybavena (podle konstrukce obvykle jeden až čtyři).

Energiově disperzní mikroanalýza (EDS) poskytuje sice méně přesné výsledky, reálná detekční schopnost se pohybuje v desetinách procenta, je však metodou podstatně rychlejší a i z ekonomického hlediska dostupnější. Navíc umožňuje současně analyzovat a následně vyhodnotit, a to jak kvalitativně, tak i kvantitativně, celé spektrum přítomných prvků (od atomového čísla 11 výše). Pro detekci lehkých prvků tak zůstává jedinou volbou VDS.

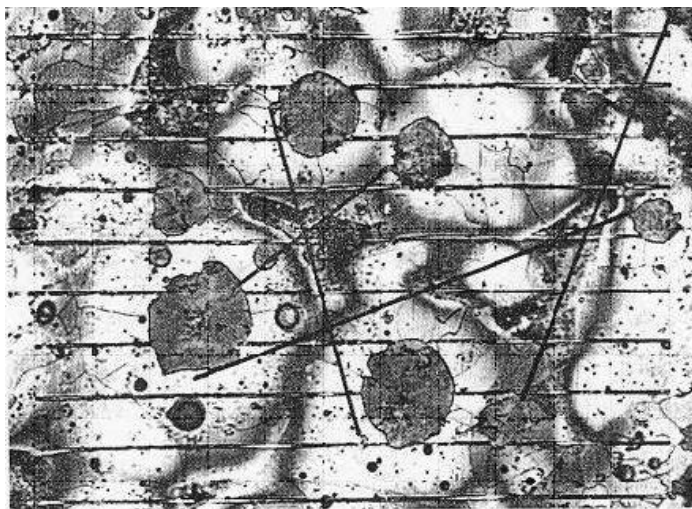
Základní metodou uspořádání měření je lineární mikroanalýza na spojnici mezi dvěma náhodně zvolenými zrny grafitu (obr. 24a). Metoda ale nezaručuje, že měřící stopy zachytí místo extrémní koncentrace prvku. Variantou je provedení kontinuální přímkové analýzy.



Obr. 24. Schématické znázornění metody bodové liniové analýzy. [1]

Při aplikaci metody lineární sít'ové analýzy (obr. 24b) jsou měřící stopy vedeny rovnoběžně ve tvaru pravidelné sítě. Nevýhodou této metody je značná pracnost vlastního měření a zpracování záznamů analýzy. Značnou předností této metody je získání názorné představy o chemické heterogenitě matrice v měřeném místě. Nedostatečná spolehlivost metody lineární analýzy vedené na spojnici mezi dvěma sousedními zrny grafitu a její značná pracnost vedly k návrhu a ověření lineární křížové analýzy (obr. 24c), kdy se zvolené místo proměří dvěma lineárními stopami

vedenými mezi dvěma zrny grafitu a protínající se v místě očekávané extrémní koncentrace sledovaného prvku. Provádění měření touto metodou je ovšem komplikováno obtížným vyhledáváním vhodně rozložených buněk. Nepoměrně snazší je nalézt vhodnou konfiguraci pro modifikovaný postup - lineární paprskovou analýzu (obr. 24d). Měřicí stopy vychází od zrn grafitu a směřují do oblasti styku několika eutektických buněk. Z tohoto postupu pak vychází metoda bodových analýz (obr. 24e), kdy jsou porovnávány koncentrace prvků naměřených u grafitu a na rozhraní trojice eutektických buněk.



Obr. 25. Lineární a křížová analýza. [1]

V práci [1] bylo provedeno srovnání metody lineární sítové analýzy a metody lineární křížové analýzy, přičemž křížovou metodou bylo proměřeno čtyřmi stopami stejné místo, které bylo měřeno lineární sítovou analýzou, jak dokumentuje snímek na obr. 25. Z porovnání výsledků vyplynulo, že obě metody dávají srovnatelné hodnoty *K_{ef}*.

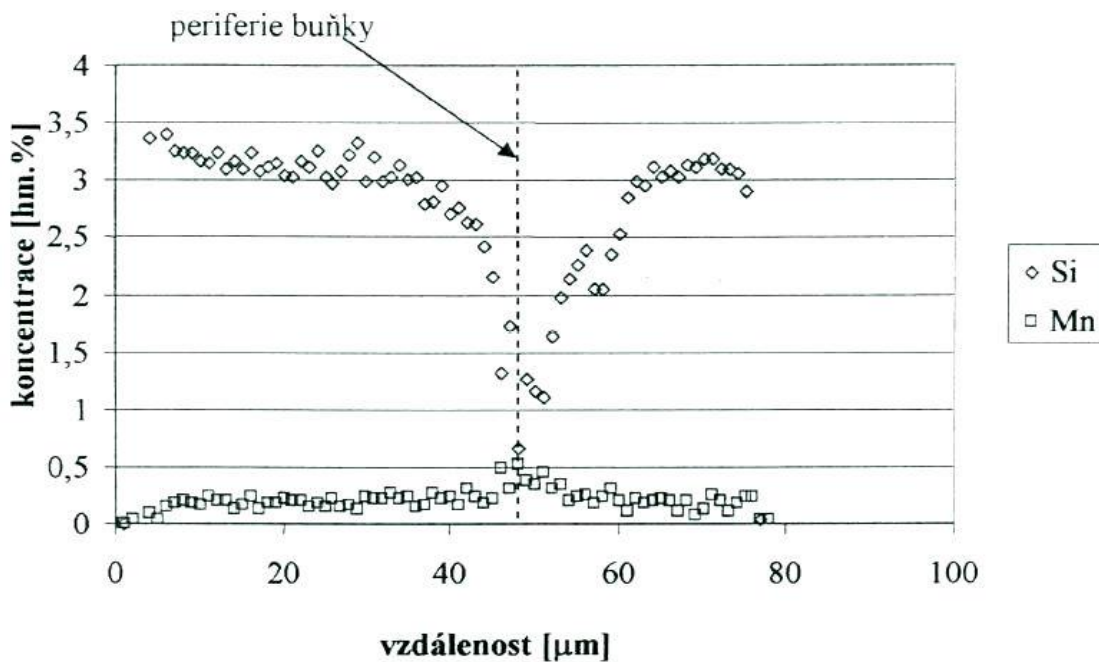
Kompletní přehled současných možností a zároveň porovnání jednotlivých dostupných metod používaných pro stanovení

chemické mikroheterogenity LKG a jejich aplikací byl publikován v práci [57].

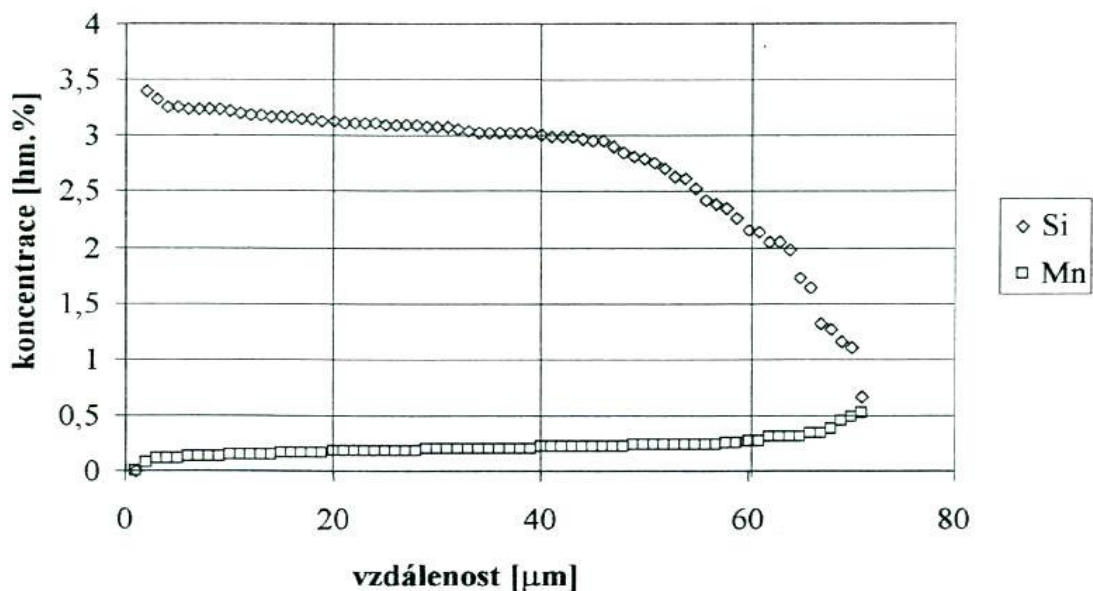
Důležitým faktorem přesnosti celého měření je rovněž volba kroku měření v případě bodových analýz v linii. Optimalizace tohoto parametru je na jedné straně dána snahou o co nejvyšší počet měření na daném úseku, omezujícím faktorem je velikost interakčního objemu elektronového svazku se zkoumaným materiálem, případně velikost kontaminační stopy na povrchu výbrusu po měření. V literatuře, např. [47] se většinou vyskytuje měření s krokem 3 μm .

V posledních letech byla vypracována a ověřena aplikace nového přístupu k měření chemické heterogenity prvků v LKG. Vycházelo se z výše uvedených poznatků a zkušeností s měřením chemické heterogenity prvků v litině s kuličkovým grafitem na úsecích spojující jednotlivá zrna grafitu. Měřené úseky v této aplikaci byly přitom vybrány tak, aby spojovaly zrna grafitu ležící v centrech tří navzájem sousedících charakteristických buněk LKG. Nový přístup k měření chemické heterogenity prvků v LKG poskytuje možnosti rozsáhlého matematicko-statistického zpracování změřených koncentračních dat prvků a také možnosti jejich strukturní interpretace. [57]

Na kvantitativní experimentální určování heterogenity zpravidla navazuje matematicko-statistická analýza naměřených dat. Cílem této metody je stanovení distribučních křivek dendritické segregace prvků (viz obr. 26 a obr. 27), indexů jejich chemické heterogenity a dalších parametrů, jak bylo popsáno v kap. 1.



Obr. 26. Skutečný průběh koncentrací Si a Mn v grafitické buňce (mezi dvěma grafitovými zrny) – hodnoty z nesetříděného souboru [47]



Obr. 27. Skutečný průběh koncentrací Si a Mn v grafitické buňce (mezi dvěma grafitovými zrny) – hodnoty ze setříděného souboru [47]

5.3. Kvantitativní určování heterogenity pomocí výpočtu

Ke kvantitativnímu popisu kinetiky růstu částice grafitu kulového tvaru a modelování přerozdělení prvků v buňce na základě termodynamických, difúzních a fázových dat, bylo již jak ve světě, tak i u nás, publikováno značné množství prací. Za jednu ze zásadních lze považovat např. publikaci Model růstu grafitu kulového tvaru v tavenině Fe-C-M a jeho tři varianty.[47] Popis uvedených fází modelu, výpočtový software jednotlivých fází modelu a možnosti jejich praktického využití byly uvedeny a již také ověřeny v [49] až [53].

6. CÍLE PRÁCE

Pro zpracování dizertační práce byly stanoveny následující cíle:

- ❖ porovnat různé metody měření koncentrace přísadových prvků založené na principu energiově disperzní spektrální analýzy
- ❖ posoudit vhodnost použití jednotlivých metod kvantitativního hodnocení heterogenity matrice LKG, včetně konstrukce segregáčních křivek
- ❖ experimentálně prověřit možnost využití homogenizačního žíhání u LKG k odstranění segregace křemíku a zejména niklu jako perlitizační přísady a karbidotvorného prvku na hranici eutektické buňky
- ❖ posoudit, jaké nastávají tendence v kvantitativních změnách matrice po homogenizaci ve srovnání s litým stavem
- ❖ experimentálně prověřit vliv nominálních obsahů křemíku a niklu na segregáční pochody, a tudíž na změnu stupně heterogenity jednotlivých přísadových prvků po homogenizačním žíhání
- ❖ navrhnout optimalizovaný postup homogenizačního žíhání LKG – z hlediska
 - maximálního snížení segregace křemíku a niklu
 - minimalizace finančních nákladů a nebezpečí zhrubnutí zrna

7. EXPERIMENT

7.1. Použitý materiál

Pro experimenty byla zvolena řada pěti taveb litiny s kuličkovým grafitem s odstupňovaným obsahem niklu. Rozsah legování základními přísadovými prvky byl následující: křemík v rozpětí od 1,96 do 2,47 hm.%, Mn od 0,11 do 0,23 hm.% a Ni od 0,56 do 3,12 hm.%. Označení jednotlivých taveb a jejich chemické složení je uvedeno v tab. 1.

Tab. 1. Chemické složení experimentálního materiálu

ozn. tavby	obsah prvků v hm.%									
	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu	Mg	Mo
K1	3,61	0,15	1,96	0,03	0,021	0,01	0,56	0,03	0,083	
K2	3,54	0,15	2,4	0,04	0,02	0,01	0,94	0,03	0,044	
K25	3,54	0,23	2,04	0,03	0,011	0,05	1,99	0,04	0,043	0,1
K3	3,52	0,14	2,47	0,04	0,017	0,01	2,71	0,03	0,049	
K4	3,51	0,11	2,4	0,04	0,021	0,01	3,12	0,03	0,043	

Materiál byl odlit ve 150 kg středofrekvenční kelímkové peci Inductoterm, modifikace tekutého kovu byla provedena předslitinou BIOMET (Fe-Si-Mg) s následným očkováním FeSi75, k legování bylo použito předslitiny Fe-Ni. Teplota tavení se pohybovala kolem 1580°C, T_L nabývala hodnot kolem 1450°C. Z jednotlivých taveb byly odlity do pískových forem bloky Y2 o rozměru 30 x 50 x 300mm. Vzorky pro metalografické výbrusy a tepelné zpracování byly odebrány z místa cca 15mm od spodního okraje bloku.

7.2. Postup experimentálních prací

Za základ experimentu byly použity vzorky odebrané z jednotlivých taveb v litém stavu, jak je uvedeno výše. Byl navržen následující postup tepelného zpracování: homogenizační žíhání na 1100°C s výdrží 24, resp. 10, příp. 5 hodin s následným ochlazením do vody (pro zabránění difúzním procesům a zafixování stavu po homogenizačním žíhání).

7.2.1. Homogenizační žíhání

Homogenizační žíhání bylo provedeno v žíhací peci HERAEUS ROS 4/50 S REGULÁTOREM Eurotherm (fotodokumentace viz obr. 28 a obr. 29). Před žíháním byly vzorky zabaleny do ochranné austenitické fólie, aby bylo zabráněno oduhličení povrchu.



Obr. 28. Žíhací pec HERAEUS



Obr. 29. Žíhání na 1100°C

7.2.2. Příprava metalografických výbrusů

Vzorky v litém stavu i jednotlivých stavech po provedeném homogenizačním žíhání byly děleny pomocí rozbrušovací pily s intenzivním chlazením Discotom-2 firmy Struers za použití rozbrušovacího kotouče s označením 10S25. Poté byly zalisovány do termosetové pryskyřice IsoFast v kombinaci s ClaroFast pomocí lisovacího zařízení LaboPress-3 fy Struers (použité parametry: přítláčná síla 20kN, ohřev na 180°C po dobu 9 minut, chlazení 3 minuty). Na takto připravených polotovarech byly běžným metalografickým postupem připraveny výbrusy za použití poloautomatických brusných zařízení Pedemin-2/DAP-7 fy Struers. Těsně před vlastním pozorováním a měřením pak byl postup přípravy vzorků zakončen leptáním (Nital 2%).

7.2.3. EDS mikroanalýza

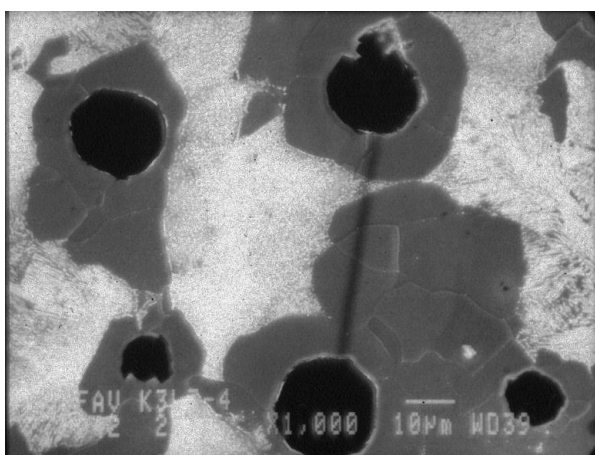
Chemické mikroanalýzy byly prováděny s využitím analytického komplexu tvořeného rastrovacím elektronovým mikroskopem JEOL JXA 840A ve spojení s energiově disperzním mikroanalyzátozem. Nejdříve to byl analyzátor AN10000 firmy LINK, který byl v průběhu experimentů nahrazen novým analyzátozem AVALON firmy PGT (Princeton Gamma-Tech, Inc.) vybaveným softwarem SPIRIT. Pomocí téhož mikroskopu pak byla pořízena ilustrační fotodokumentace. Poslední sada kontrolních měření liniových analýz byla z technických důvodů (porucha původně používaného systému) provedena na analytickém komplexu Philips XL 30 s energiově disperzním analyzátozem EDAX.

Analýzy EDS byly prováděny na metalografických výbrusech připravených výše uvedeným postupem. Jednalo se o bodové analýzy v zásadě ve dvojí konfiguraci:

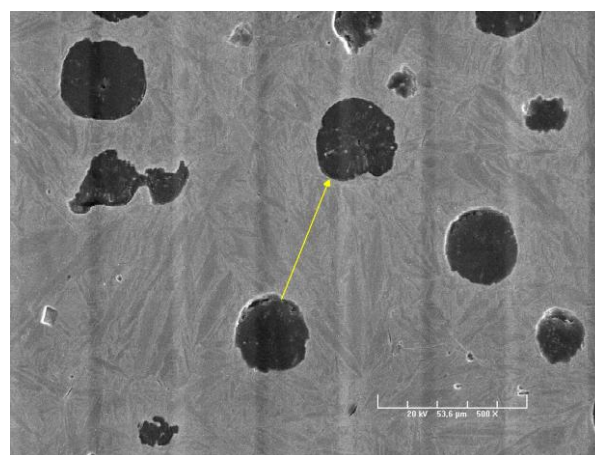
jako výchozí byla použita lineární mikroanalýza na spojnici mezi dvěma zvolenými zrny grafitu (obr. 24a), označená dále jako metoda A; tato metoda pak byla konfrontována s metodou bodových analýz (obr. 24e), označenou dále jako metoda B, kdy byly porovnávány koncentrace prvků naměřených u grafitu a na rozhraní trojice eutektických buněk.

U lineární mikroanalýzy na spojnici mezi dvěma zrny grafitu však, na rozdíl od základního postupu popsaného v [1], nešlo o náhodně zvolená zrna grafitu; naopak, zde se jednalo o zrna velmi pečlivě volená tak, aby grafitické nodule ležely pokud možno ve vrcholech rovnostranného trojúhelníka, byly v rovině výbrusu pokud možno shodné velikosti (aby byl splněn předpoklad, že řez jde středem kulového tvaru), a navíc tak, aby jejich vzdálenosti byly co největší, tj. aby na linii mezi dvěma grafitickými nodulemi, resp. v rámci jedné eutektické buňky, bylo možno naměřit co možná nejvyšší počet bodů (minimálně však cca 30). Z každého takového rovnostranného trojúhelníka byla pro měření zvolena pouze jediná stopa, další dvě stopy byly stejným způsobem naměřeny vždy v jiné oblasti výbrusu, tak, aby byl postižen statistický rozptyl hodnot a naopak vyloučena možnost dokumentace anomálního místa. Krok měření byl zvolen, s ohledem na velikost excitačního objemu ve slitinách železa a velikost kontaminační stopy po jednotlivých bodových analýzách, v hodnotě 1,5 μm (pouze v ojedinělých případech jemnější struktury, tj. kratší stopy mezi dvěma grafitickými nodulemi, bylo nutno volit pro získání dostatečného počtu měřených bodů krok 1,0 μm).

Způsob výběru měřeného úseku a měření koncentrace prvků mezi dvěma zrny grafitu na analytickém komplexu JEOL 840A/LINK, resp. AVALON, demonstrují obr. 30 a obr. 31.



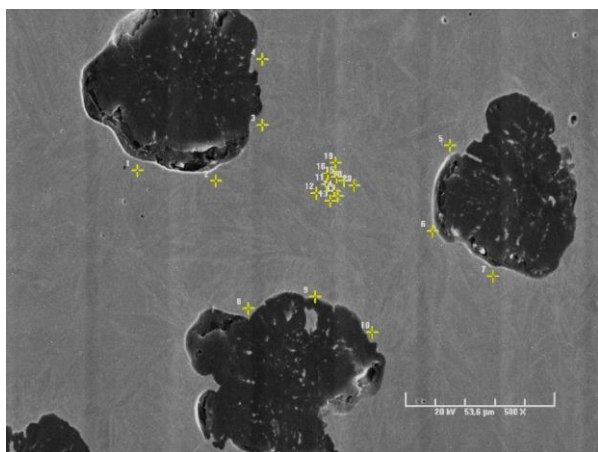
Obr. 30. Příklad analyzovaného místa. Liniová analýza, vzorek K3 v litém stavu. Zv. 1000 \times . Analyzátor LINK AN 10000.



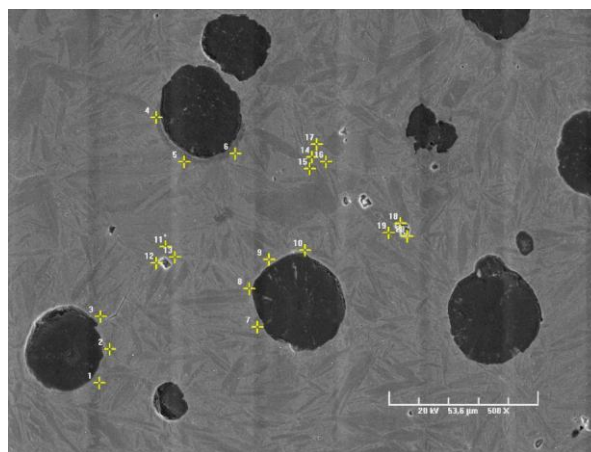
Obr. 31. Příklad analyzovaného místa. Liniová analýza, vzorek K3, homogenizováno 5 hodin. Zv. 500 \times . Analyzátor AVALON.

Pro zjištění lokálního chemického složení byly provedeny bezstandardové analýzy se ZAF korekcí a normalizací (dopočetem do 100% obsahu jednotlivých analyzovaných prvků).

V případě diskrétních bodových analýz v okolí grafitické nodule a na styku tří eutektických buněk bylo voleno místo, které se svým uspořádáním grafitických nodulí co nejvíce blížilo vrcholům rovnostranného trojúhelníka. Příklady rozložení takto uspořádaných analyzovaných bodů jsou patrné z obr. 32. a obr. 33.



Obr. 32. Příklad analyzovaného místa. Bodová analýza, vzorek K25_{III}, homogenizováno 5 hodin. Zv. 500 \times . Analyzátor AVALON.



Obr. 33. Příklad analyzovaného místa. Bodová analýza, vzorek K3_{III}, homogenizováno 5 hodin. Zv. 500 \times . Analyzátor AVALON.

Orientační fotodokumentace byla pořízena v zobrazení pomocí sekundárních elektronů (SEI), které poskytuje zejména informaci o morfologii sledovaného povrchu. Signál je tedy závislý na kombinaci topografie povrchu a chemickém složení materiálu (jas zobrazení roste současně s rostoucím průměrným atomovým číslem).

V obrazové příloze jsou uvedeny pouze příklady vzhledu mikrostruktury v litém stavu a v jednotlivých homogenizovaných stavech pro celou sérii taveb s odstupňovaným obsahem niklu. Litý stav je dokumentován na příkladech obr. P1 a obr. P2; stav po homogenizačním žíhání s výdrží 5 hodin je dokumentován obr. P3 až obr. P7 a dále včetně záznamu kontaminační stopy po provedené liniové analýze na obr. P8 až obr. P10 a se softwarově vyznačenou linií provedení bodové analýzy na obr. P11 až obr. P15. Obr. P16 až Obr. P18br. P18 dokumentují stav po 10 hodinách homogenizačního žíhání. V tomto případě se jedná, stejně jako u dokumentace mikrostruktury litého stavu, pouze o velmi úzký výběr snímků z důvodu jejich nízké kvality, poněvadž se jedná pouze o skenované kopie (u litého stavu kopie fotografických pozitivů, u stavu po homogenizaci 10 hod. pouze o zpracované kopie archivovaných negativů). Stav mikrostruktury po homogenizaci s výdrží 24 hodin je dokumentován na obr. P19 až obr. P24. Zde se jedná, stejně jako v případě

homogenizace s délkou výdrže na teplotě 5 hodin, o fotodokumentaci pořízenou přímou cestou digitálním záznamem (a tudíž v lepší kvalitě ve srovnání s výstupy starších experimentů).

7.3. Naměřené výsledky a jejich zpracování

7.3.1. Výsledky EDS analýz

V jednotlivých měřených bodech (ať už se jednalo o uspořádání bodových analýz v linii, či o separátně měřené bodové analýzy u grafitu a na hranici eutektických buněk) byly metodou EDS kvantitativně analyzovány tyto prvky: mangan, křemík, hořčík, chrom, nikl, měď a, u tavby K25, navíc ještě molybden.

Hodnoty koncentrací analyzovaných prvků, naměřené metodou liniových bodových analýz (lineární mikroanalýzy) – metoda A, jsou uvedeny v tabulkové části přílohy, pod označením tab. P1 až tab. P45. Tato metoda měření byla uplatněna na celé sérii vzorků s odstupňovaným obsahem niklu, a to v litém stavu a ve stavech po provedené homogenizaci s výdrží 5 a 10 hodin.

Stejně tak i hodnoty koncentrací naměřených jako diskrétní bodové analýzy – metoda B, jsou uvedeny v tabulkové části přílohy pod označením tab. P46 až tab. P48. Touto metodou byly proměřeny opět vzorky všech sledovaných taveb, a to v litém stavu a ve stavech po homogenizaci s výdrží 10 a 24 hodin.

7.3.2. Statistické vyhodnocení naměřených dat

Z koncentrací sledovaných prvků, tj. křemíku a niklu, naměřených metodou liniových analýz mezi dvěma grafitickými nodulemi přes hranici eutektické buňky, byly stanoveny v první fázi vyhodnocování jejich střední hodnoty a směrodatné odchylky. Souhrn výsledků těchto výpočtů je uveden v tab. 2.

Tab. 2. Vyhodnocení naměřených dat. Metoda A. Souhrn liniových bodových analýz pro sledované prvky a tavby.

tavba		K1		K2		K25		K3		K4	
stav	sledovaný prvek / hodnota	Si	Ni	Si	Ni	Si	Ni	Si	Ni	Si	Ni
		[hm. %]									
litý	$c_{stř}$	1,81	0,39	2,19	0,94	1,85	1,96	2,38	2,77	2,45	4,11
	s_{n-1}	0,43	0,15	0,36	0,26	0,37	0,46	0,38	0,47	0,28	0,50
homog. 5 hod.	$c_{stř}$	2,01	0,44	2,20	0,89	1,90	2,01	2,37	2,80	2,63	4,07
	s_{n-1}	0,14	0,15	0,23	0,16	0,27	0,13	0,21	0,16	0,21	0,28
homog. 10 hod.	$c_{stř}$	2,21	0,49	2,22	0,85	1,95	2,06	2,37	2,83	2,55	3,60
	s_{n-1}	0,20	0,15	0,23	0,15	0,12	0,19	0,26	0,22	0,21	0,28

Obdobně byly zpracovány i hodnoty koncentrací, naměřených jako diskrétní bodové analýzy v oblasti v blízkosti grafitických nodulí a na rozhraní tří eutektických buněk. V tomto případě byly však z pochopitelných důvodů (např. i pro další výpočty, jako je stanovení efektivního rozdělovacího koeficientu, viz kap. 7.3.5) stanovovány samostatně střední hodnoty pro hodnoty u grafitu a na styku tří eutektických buněk. Pro větší přehlednost jsou výsledky zpracování pro jednotlivé sledované stavy uvedeny v samostatných tabulkách, a to v tab. 3 pro litý stav, v tab. 4 pro stav po homogenizačním žihání s výdrží 10 hodin a v tab. 5 pro stav po homogenizaci s výdrží 24 hodin.

Tab. 3. Vyhodnocení naměřených dat. Metoda B. Souhrn diskrétních bodových analýz pro sledované prvky a tavby. Litý stav.

tavba	K1		K2		K25		K3		K4	
prvek	Si	Ni	Si	Ni	Si	Ni	Si	Ni	Si	Ni
	[hm. %]									
$C_{stř}^G$	2,05	0,41	2,69	0,98	2,20	2,19	2,66	3,15	2,76	4,02
S_{n-1}	0,46	0,15	0,23	0,14	0,09	0,14	0,30	0,24	0,10	0,37
$C_{stř}^{EB}$	1,68	0,36	2,02	0,81	1,51	1,36	2,02	2,17	2,39	3,31
S_{n-1}	0,29	0,18	0,56	0,26	0,24	0,24	0,26	0,27	0,28	0,46

Tab. 4. Vyhodnocení naměřených dat. Metoda B. Souhrn diskrétních bodových analýz pro sledované prvky a tavby. Homogenizováno 1100°C/10 hodin/voda.

tavba	K1		K2		K25		K3		K4	
prvek	Si	Ni	Si	Ni	Si	Ni	Si	Ni	Si	Ni
	[hm. %]									
$C_{stř}^G$	2,13	0,49	2,06	1,02	1,90	1,93	2,53	3,13	2,44	3,59
S_{n-1}	0,54	0,22	0,63	0,44	0,23	0,27	1,15	0,61	0,52	0,42
$C_{stř}^{EB}$	2,22	0,54	2,27	0,97	1,99	2,04	2,38	2,76	2,58	3,62
S_{n-1}	0,11	0,12	0,11	0,12	0,08	0,17	0,06	0,20	0,05	0,21

Tab. 5. Vyhodnocení naměřených dat. Metoda B. Souhrn diskrétních bodových analýz pro sledované prvky a tavby. Homogenizováno 1100°C/24 hodin/voda.

tavba	K1		K2		K25		K3		K4	
prvek	Si	Ni	Si	Ni	Si	Ni	Si	Ni	Si	Ni
	[hm. %]									
$C_{stř}^G$	2,61	0,51	2,89	0,98	2,43	2,25	2,97	2,96	2,99	3,77
S_{n-1}	0,52	0,30	0,25	0,13	0,14	0,23	0,20	0,24	0,18	0,25
$C_{stř}^{EB}$	2,80	0,70	2,61	0,93	2,35	2,04	2,88	3,03	2,99	3,60
S_{n-1}	0,28	0,23	0,35	0,13	0,24	0,19	0,17	0,41	0,10	0,24

7.3.3. Grafické zpracování naměřených dat

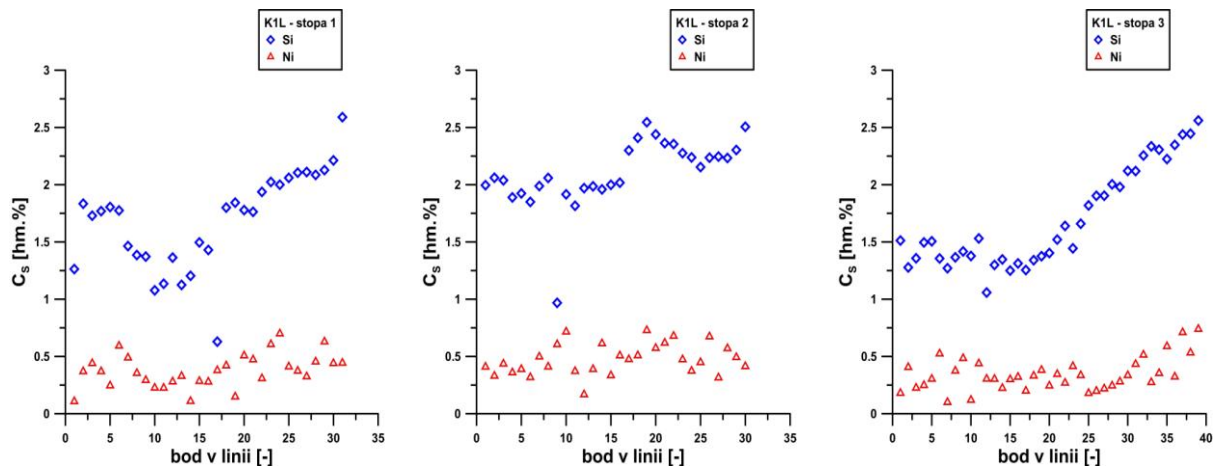
Tato kapitola, stejně jako kapitoly následující, tj. 7.3.4, 7.3.5, 7.3.6, je věnována zpracování grafických závislostí naměřených koncentračních průběhů na jednotlivých vzorcích, zjištěných výhradně pomocí metody liniových analýz. Jsou v ní tedy zpracovány hodnoty naměřené na vzorcích všech taveb ve stavech litém, homogenizovaném s výdrží 5 hodin a homogenizovaném s výdrží 10 hodin, vždy 1100°C, s následným ochlazením do vody.

První část uvedených grafických závislostí zobrazuje naměřené průběhy koncentrací obou sledovaných prvků, tj. křemíku a niklu, tedy závislost

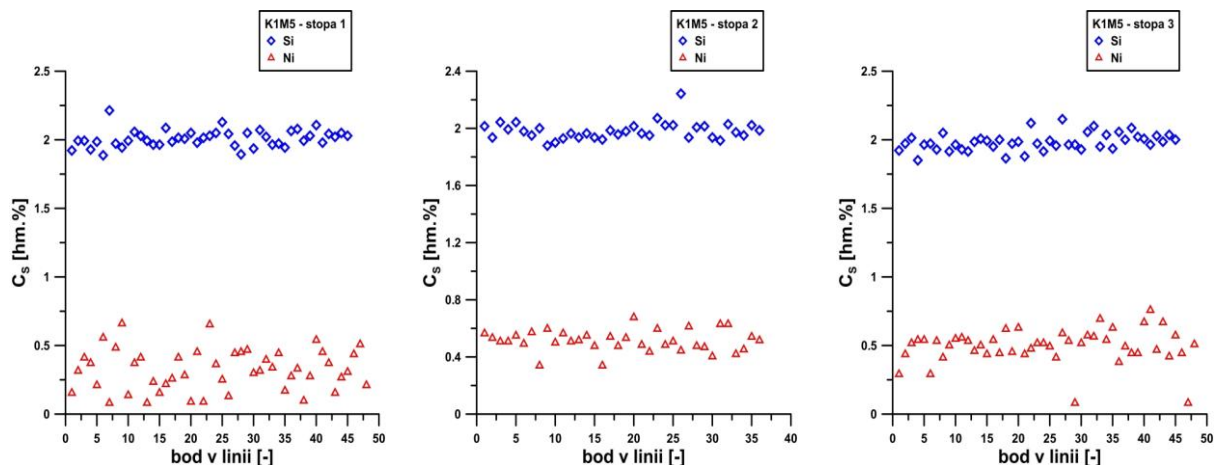
$$C_s = f(\bar{r}) \quad (32)$$

kde C_s je koncentrace příměsi v hm.% v tuhé fázi v \bar{r} -tém bodě vzdálenosti mezi dvěma grafickými nodulemi. Připomeňme, že reálná vzdálenost mezi jednotlivými body měření byla zpravidla 1,5 μm a na každém vzorku byly naměřeny vždy tři linie zvolené podle zásad uvedených v kap. 7.2.3. Tyto závislosti jsou uvedeny na následujících obr. 34 až obr. 48.

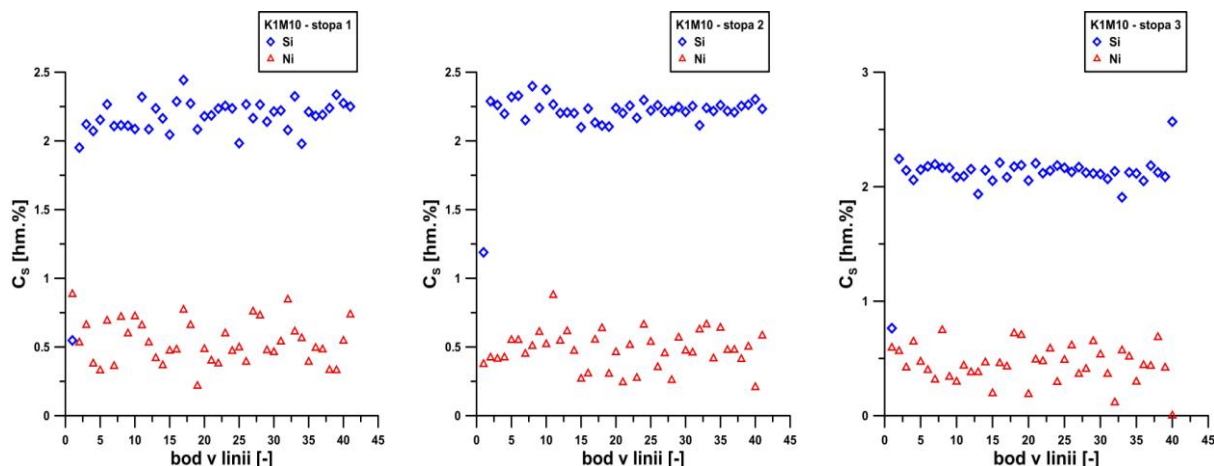
Závislosti jsou řazeny po jednotlivých tavných v pořadí podle odstupňovaného obsahu niklu, tj. K1, K2, K25, K3 a K4, vždy po třech (tři měřené linie na vzorku). Pro zobrazení průběhů závislosti křemíku je použita modrá barva, pro nikl barva červená, a to shodně v celé následující části grafického zpracování výsledků liniových analýz.



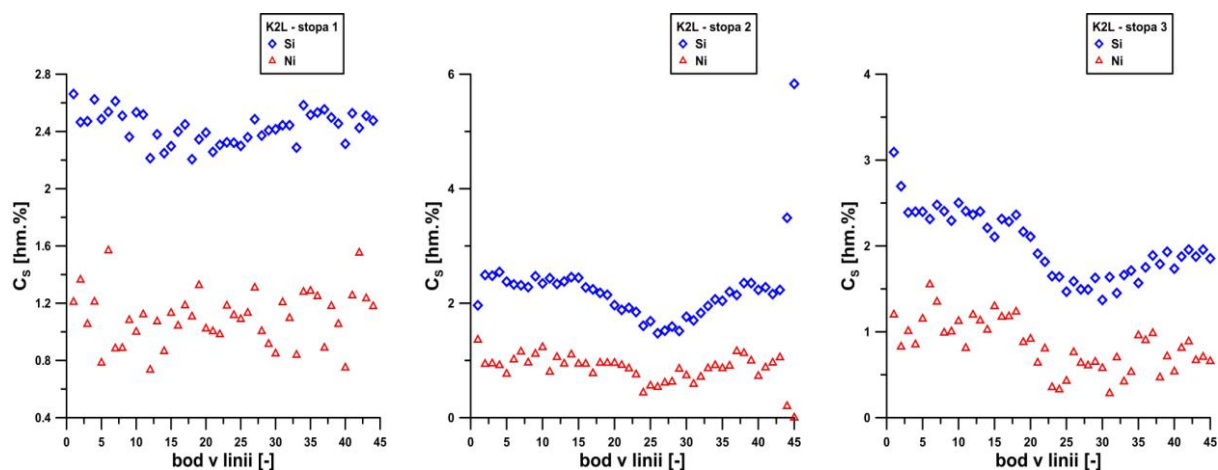
Obr. 34. Naměřené průběhy koncentrací křemíku a niklu. Tavba K1. Litý stav.



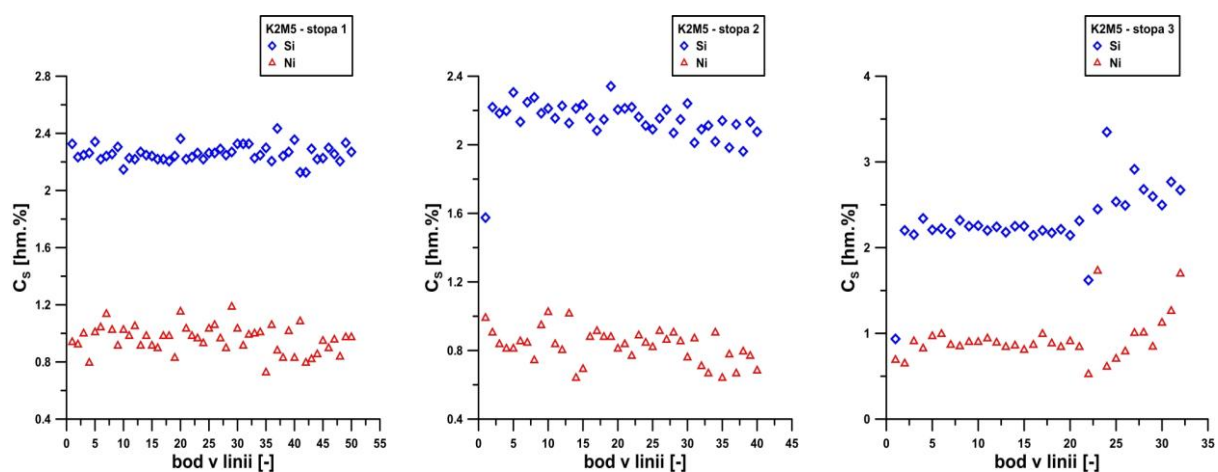
Obr. 35. Naměřené průběhy koncentrací křemíku a niklu. Tavba K1. Homogenizováno 5 hodin.



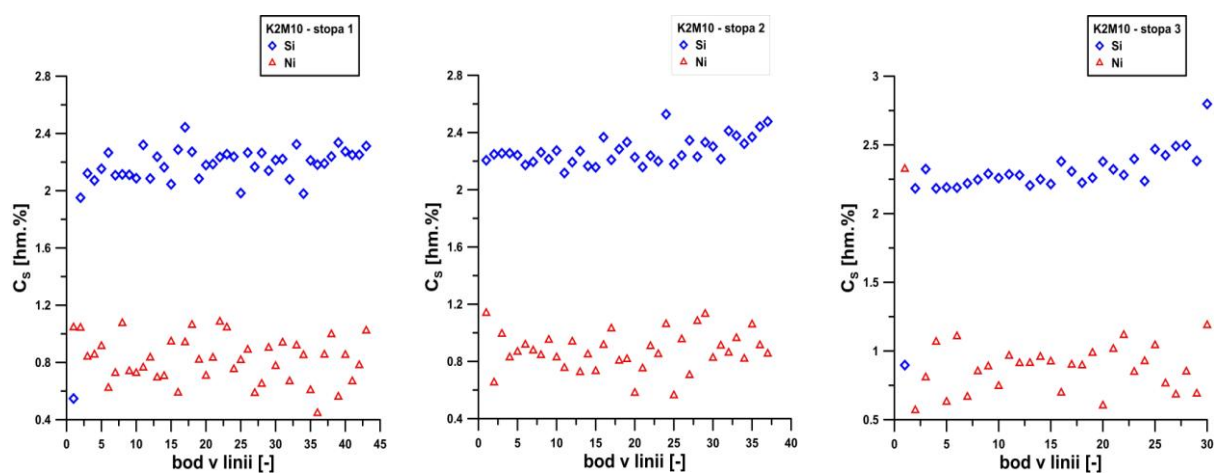
Obr. 36. Naměřené průběhy koncentrací křemíku a niklu. Tavba K1. Homogenizováno 10 hodin.



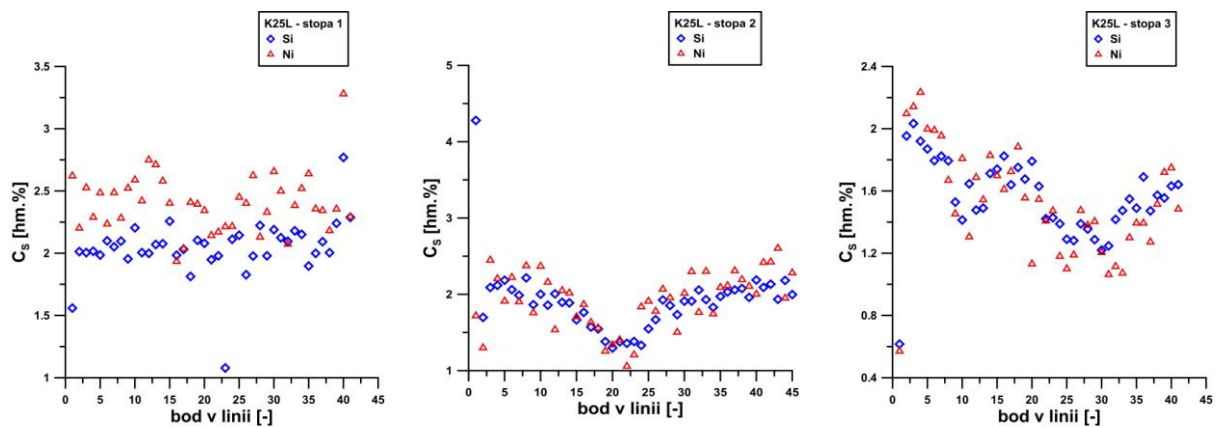
Obr. 37. Naměřené průběhy koncentrací křemíku a niklu. Tavba K2. Lítý stav.



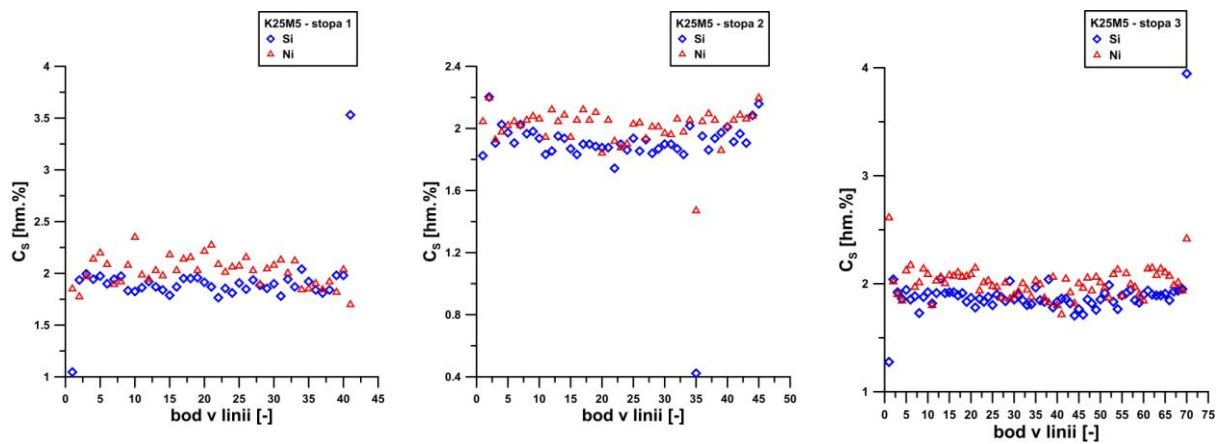
Obr. 38. Naměřené průběhy koncentrací křemíku a niklu. Tavba K2. Homogenizováno 5 hodin.



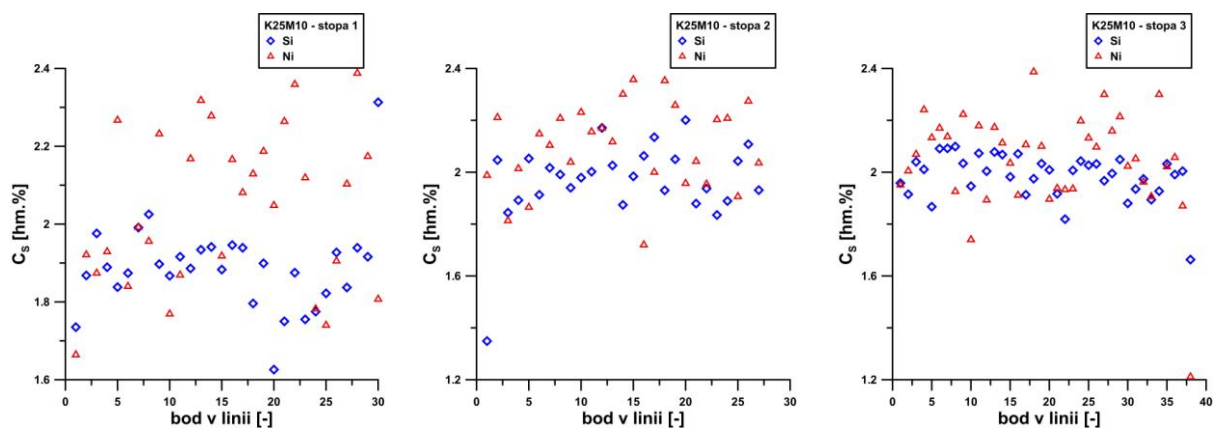
Obr. 39. Naměřené průběhy koncentrací křemíku a niklu. Tavba K2. Homogenizováno 10 hodin.



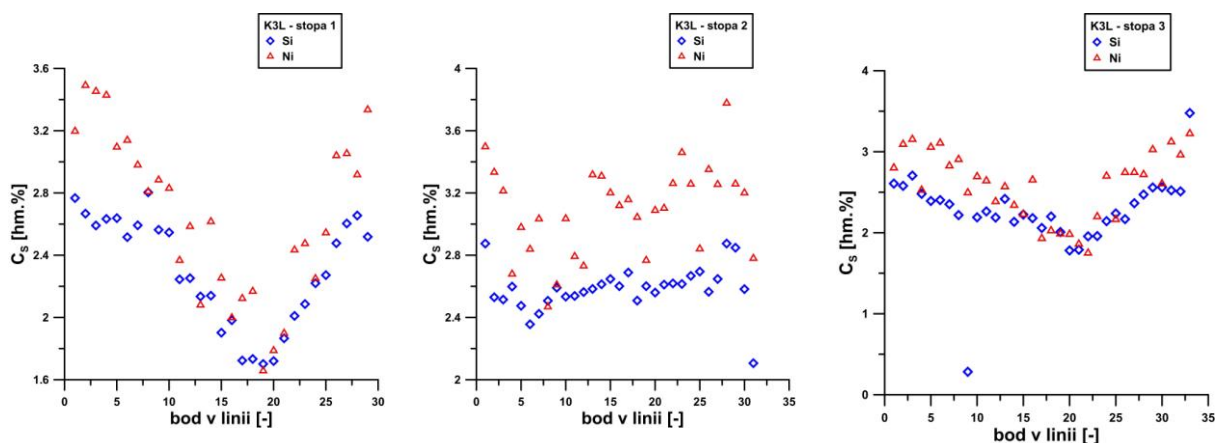
Obr. 40. Naměřené průběhy koncentrací křemíku a niklu. Tavba K25. Litý stav.



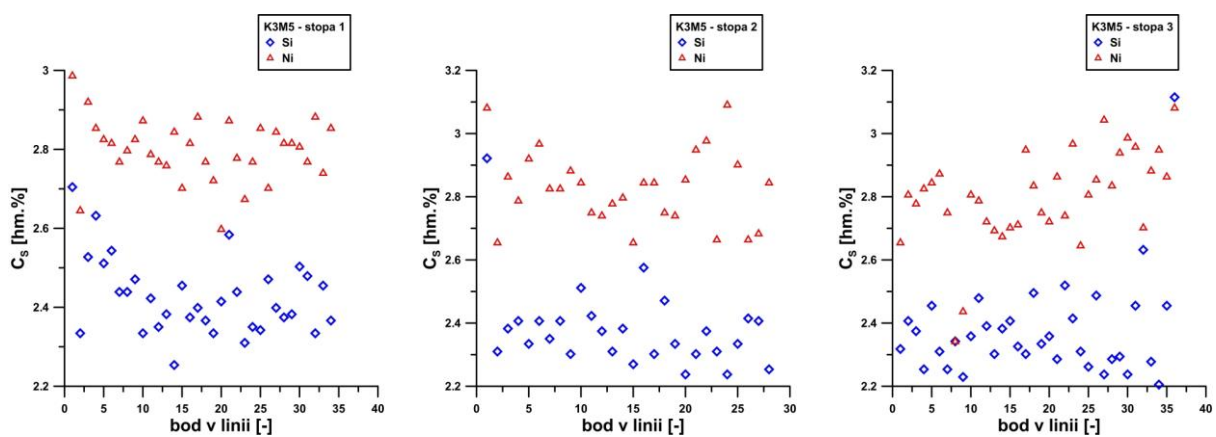
Obr. 41. Naměřené průběhy koncentrací křemíku a niklu. Tavba K25. Homogenizováno 5 hodin.



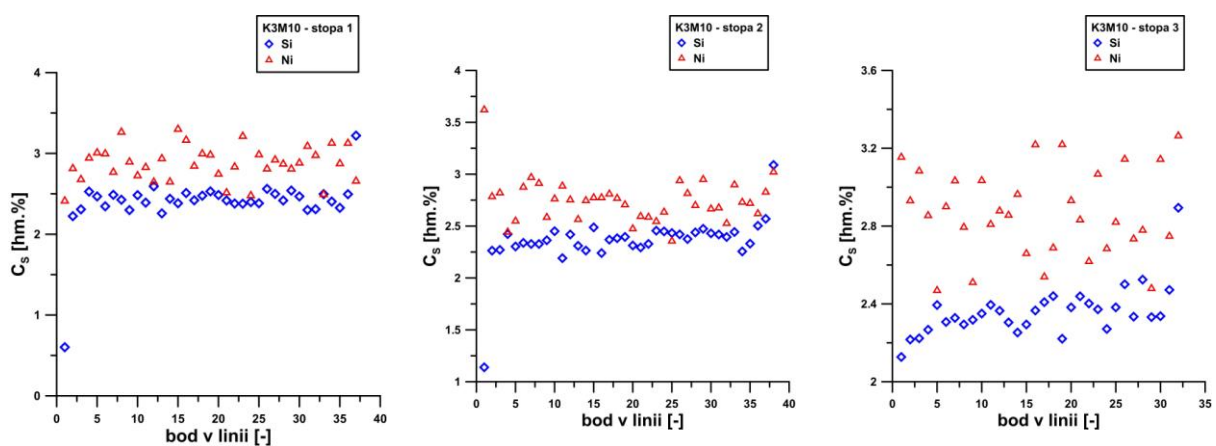
Obr. 42. Naměřené průběhy koncentrací křemíku a niklu. Tavba K25. Homogenizováno 10 hodin.



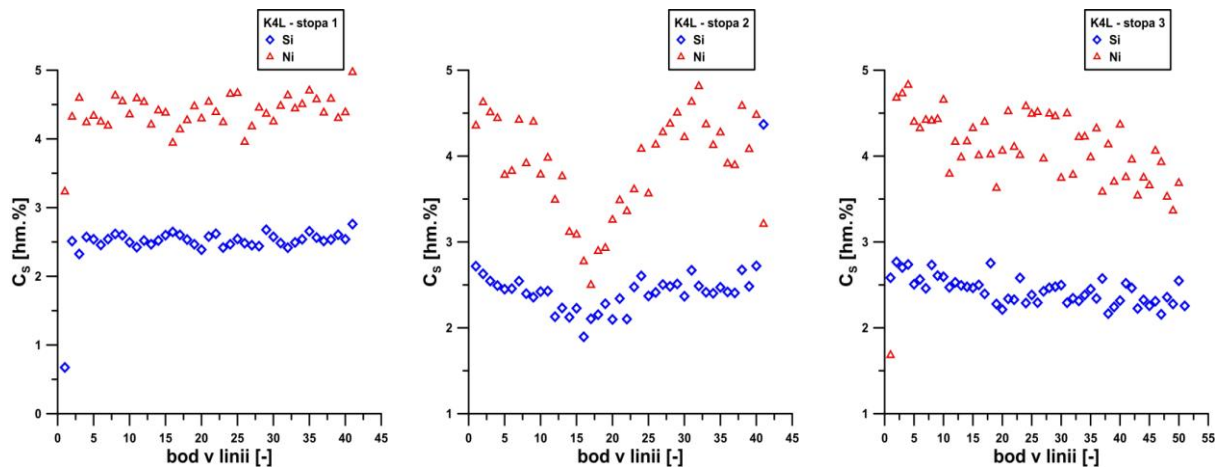
Obr. 43. Naměřené průběhy koncentrací křemíku a niklu. Tavba K3. Litéj stav.



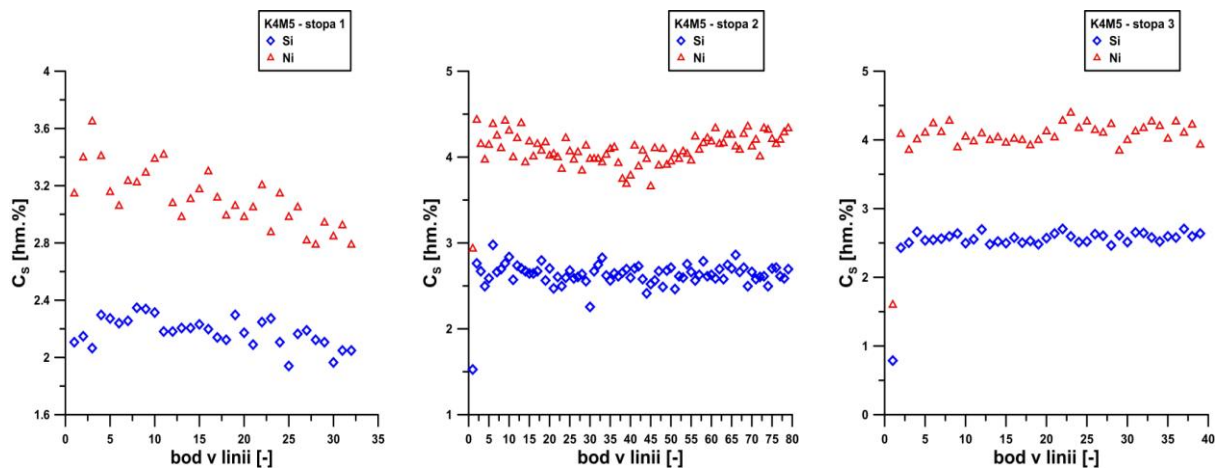
Obr. 44. Naměřené průběhy koncentrací křemíku a niklu. Tavba K3. Homogenizováno 5 hodin.



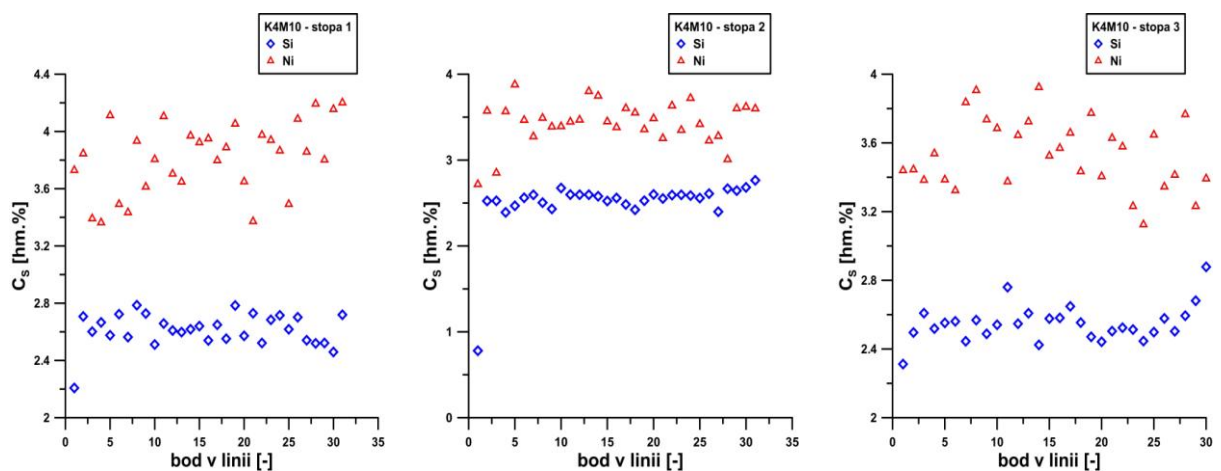
Obr. 45. Naměřené průběhy koncentrací křemíku a niklu. Tavba K3. Homogenizováno 10 hodin.



Obr. 46. Naměřené průběhy koncentrací křemíku a niklu. Tavba K4. Litý stav.



Obr. 47. Naměřené průběhy koncentrací křemíku a niklu. Tavba K4. Homogenizováno 5 hodin.



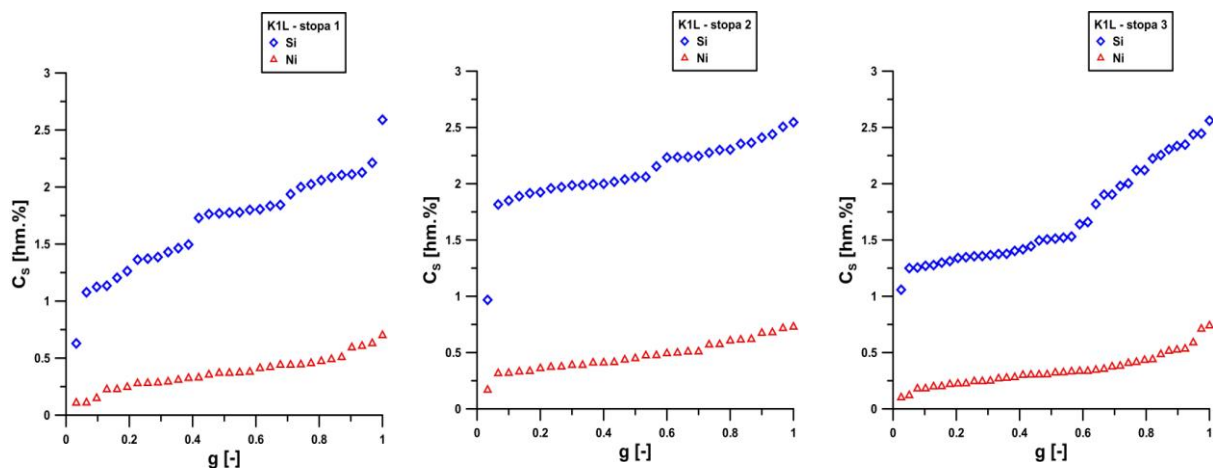
Obr. 48. Naměřené průběhy koncentrací křemíku a niklu. Tavba K4. Homogenizováno 10 hodin.

Druhá část grafických závislostí uvedených v této kapitole popisuje setříděné koncentrace křemíku a niklu v objemovém elementu a je charakterizována vztahem

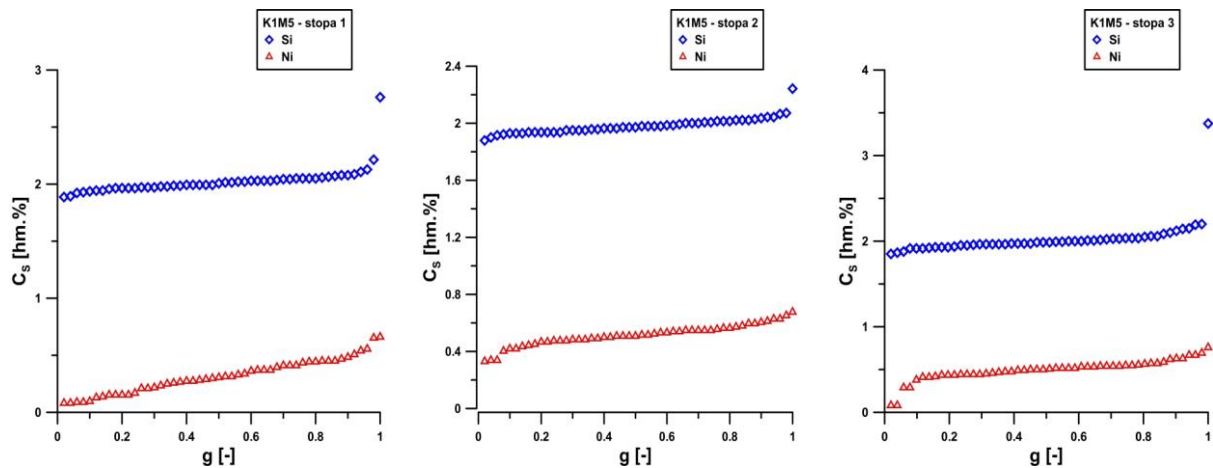
$$C_S = f(g) \quad (33)$$

kde g je objemový element, který je definován jako bezrozměrné číslo ležící v intervalu (0;1). Objemový element je dán vzdáleností od grafitické nodule po hranici eutektické buňky, resp. v tomto případě, za předpokladu respektování směru segregace obou sledovaných prvků směrem ke grafitu, se jedná o směr opačný, tj. za počátek takto pojatého objemového elementu je považována hranice eutektické buňky a vzdálenost roste (společně s koncentrací prvků, tj. i se zvyšující se hodnotou efektivního rozdělovacího koeficientu) směrem ke grafitické noduli.

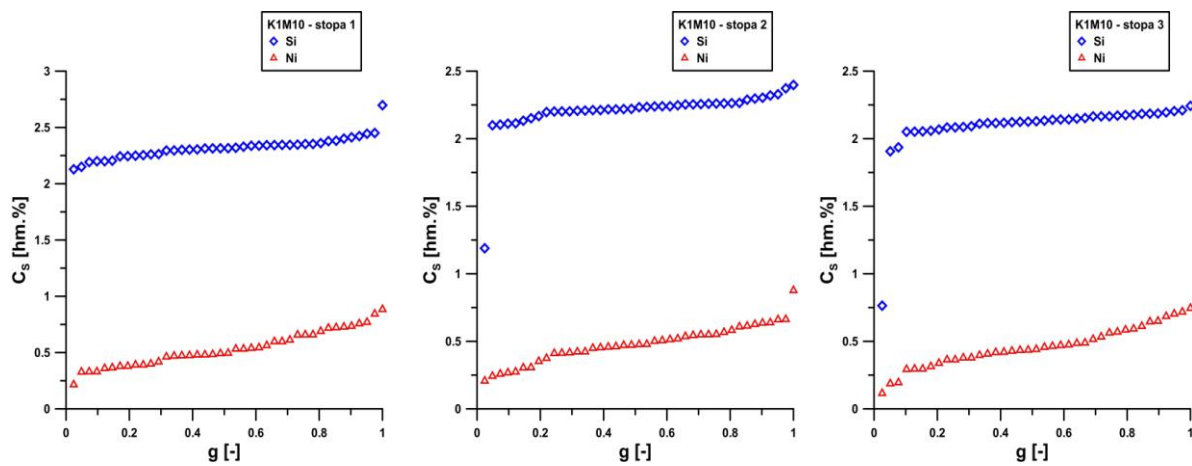
V práci bylo použito setřídění koncentrací podle Gungora [26], které v měřené linii mezi dvěma grafitickými nodulemi reálně představuje zrcadlové převrácení poloviny měřených bodů, kdy osou zrcadlení je hranice eutektické buňky. Hodnoty koncentrace jsou seřazeny v tomto případě (u obou sledovaných prvků se jedná o segregaci směrem ke grafitu) od nejmenší po největší. Předmětné závislosti jsou uvedeny na obr. 49 až obr. 63.



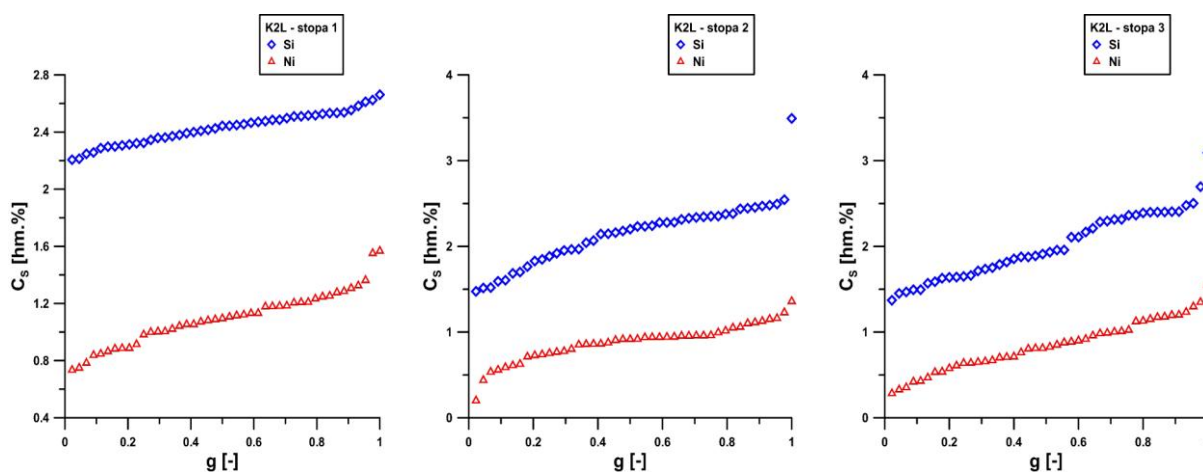
Obr. 49. Setříděné koncentrace křemíku a niklu v objemovém elementu. Tavba K1. Lítý stav.



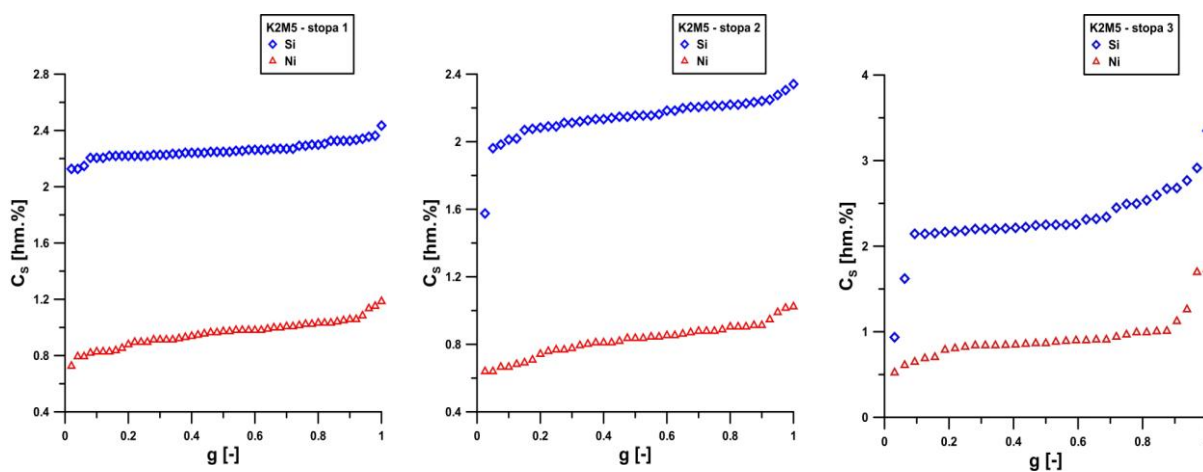
Obr. 50. Setříděné koncentrace křemíku a niklu v objemovém elementu. Tavba K1. Hom. 5 hod.



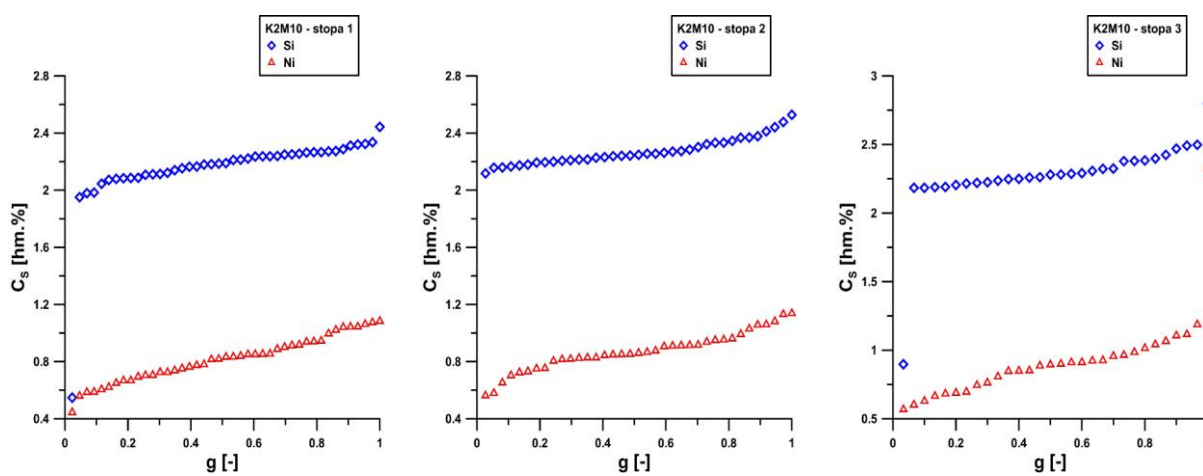
Obr. 51. Setříděné koncentrace křemíku a niklu v objemovém elementu. Tavba K1. Hom. 10 hod.



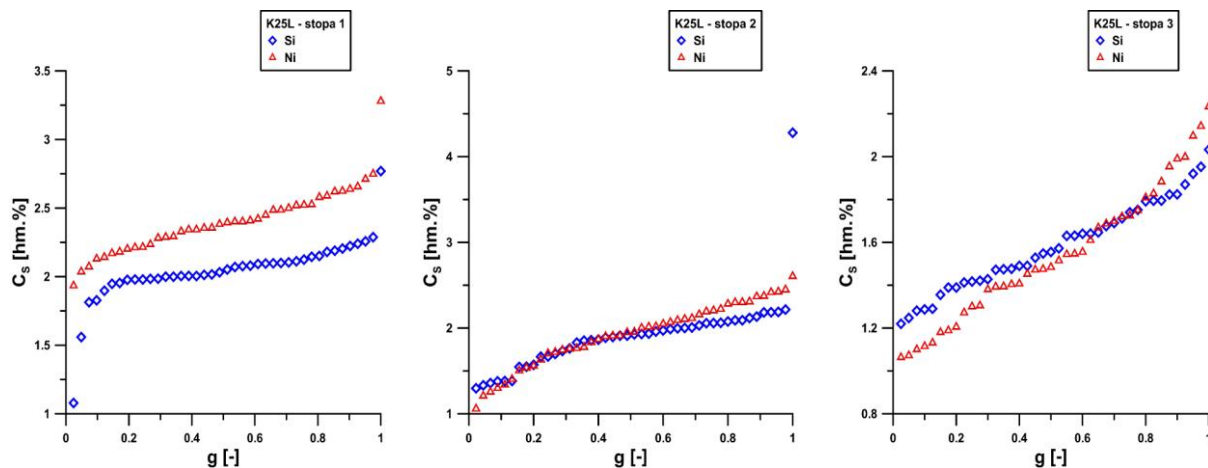
Obr. 52. Setříděné koncentrace křemíku a niklu v objemovém elementu. Tavba K2. Lítý stav.



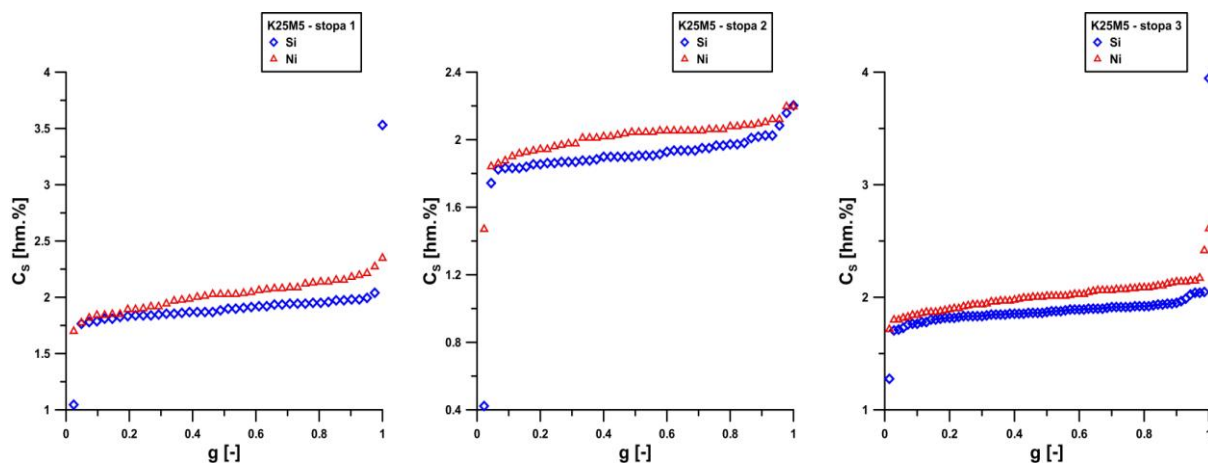
Obr. 53. Setříděné koncentrace křemíku a niklu v objemovém elementu. Tavba K2. Hom. 5 hod.



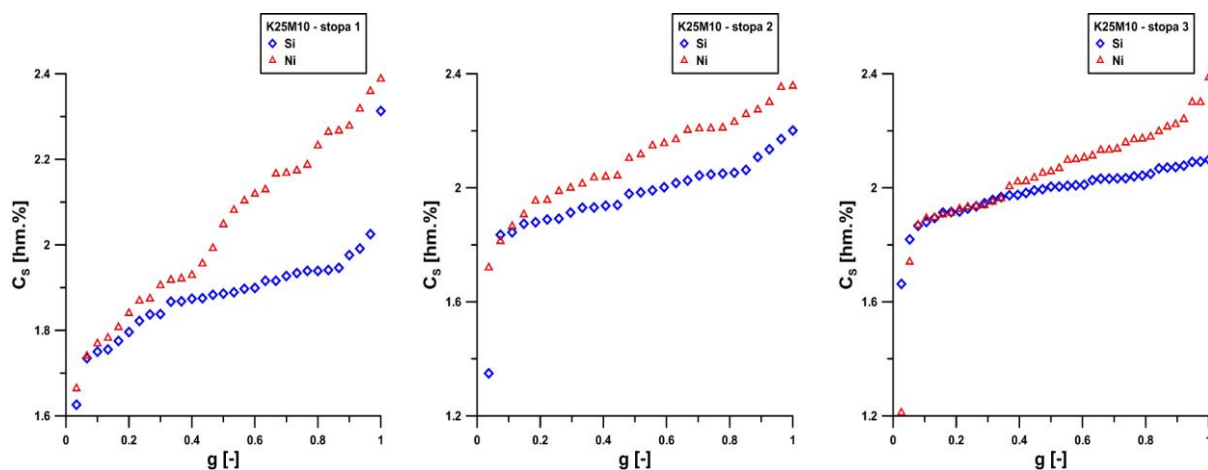
Obr. 54. Setříděné koncentrace křemíku a niklu v objemovém elementu. Tavba K2. Hom. 10 hod.



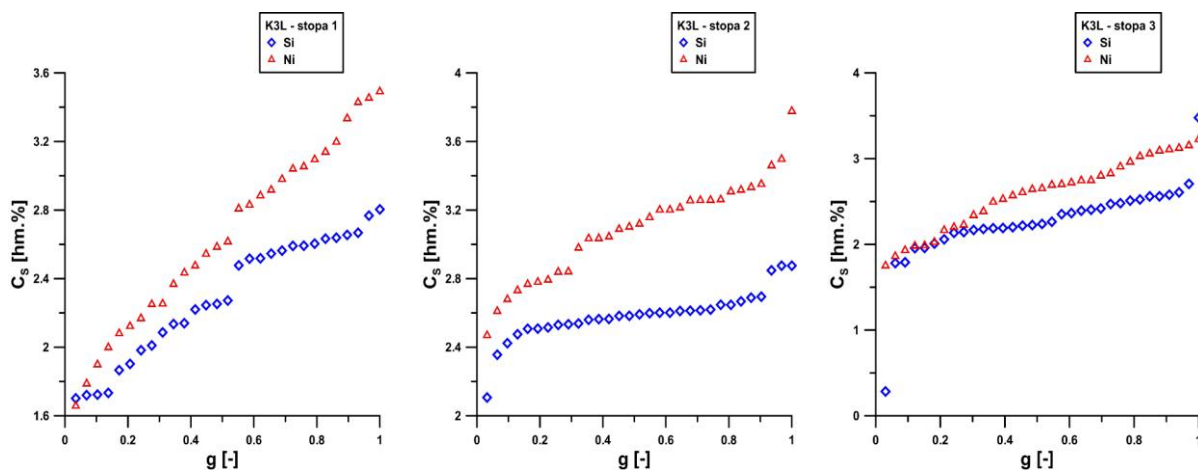
Obr. 55. Setříděné koncentrace křemíku a niklu v objemovém elementu. Tavba K25. Lítý stav.



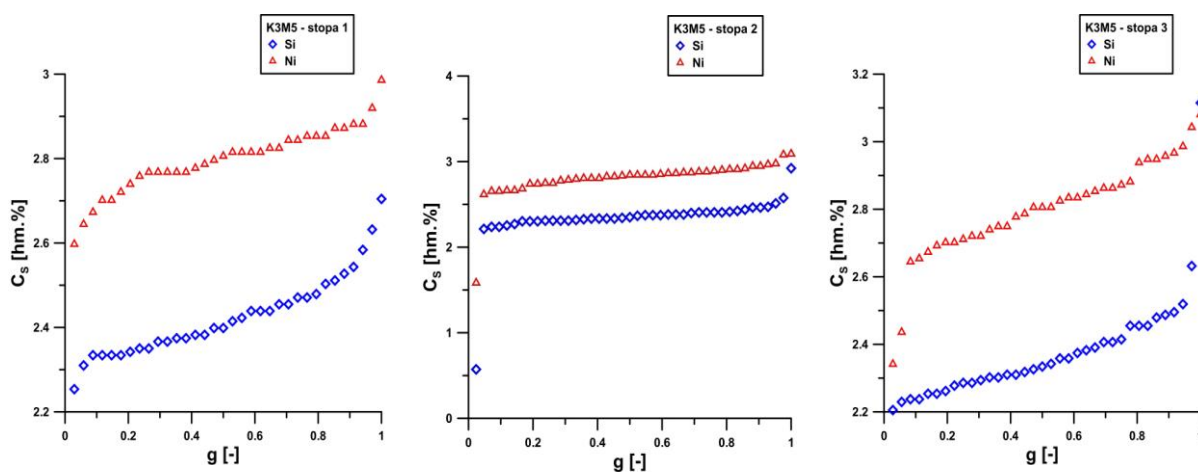
Obr. 56. Setříděné koncentrace křemíku a niklu v objemovém elementu. Tavba K25. Hom. 5 hod.



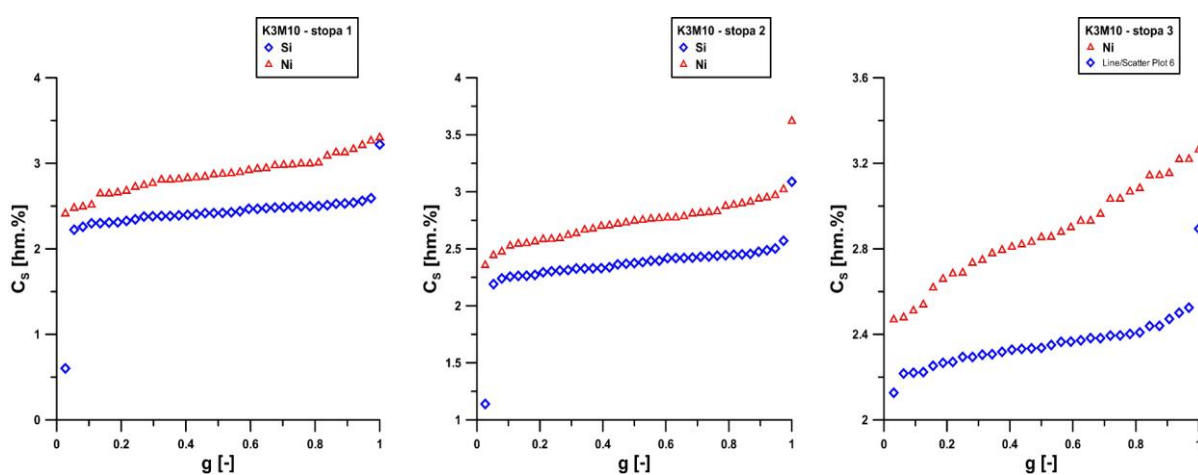
Obr. 57. Setříděné koncentrace křemíku a niklu v objemovém elementu. Tavba K25. Hom. 10 hod.



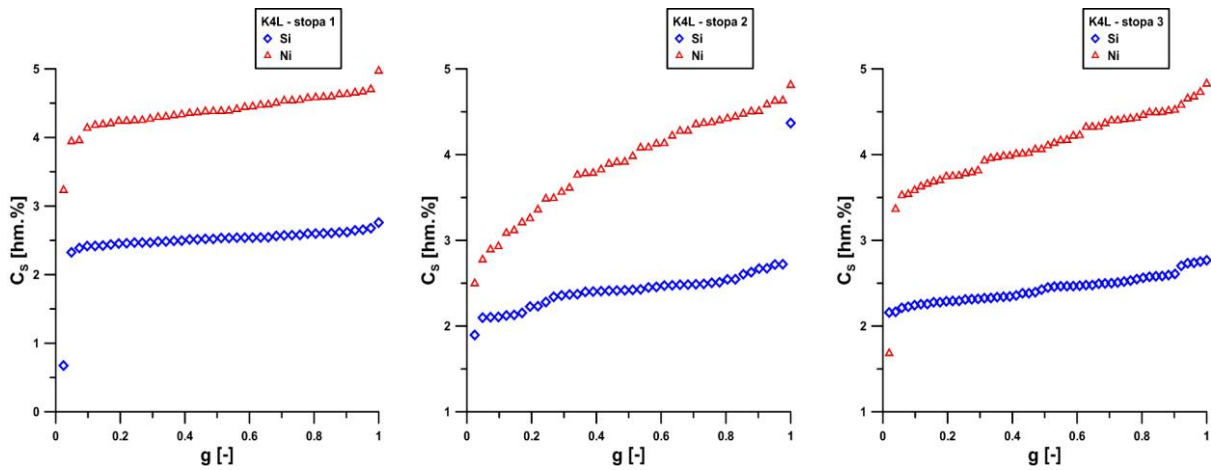
Obr. 58. Setříděné koncentrace křemíku a niklu v objemovém elementu. Tavba K3. Lítý stav.



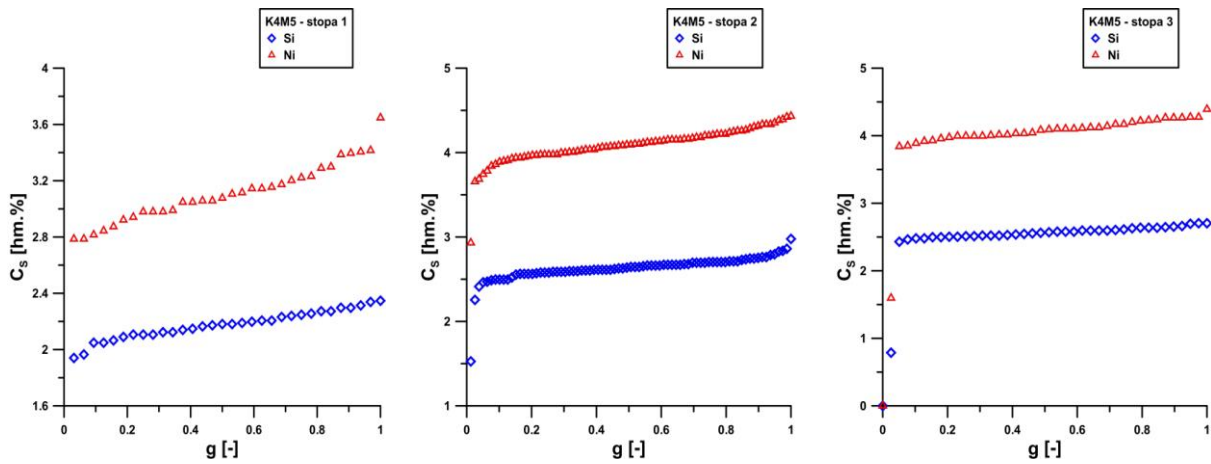
Obr. 59. Setříděné koncentrace křemíku a niklu v objemovém elementu. Tavba K3. Hom. 5 hod.



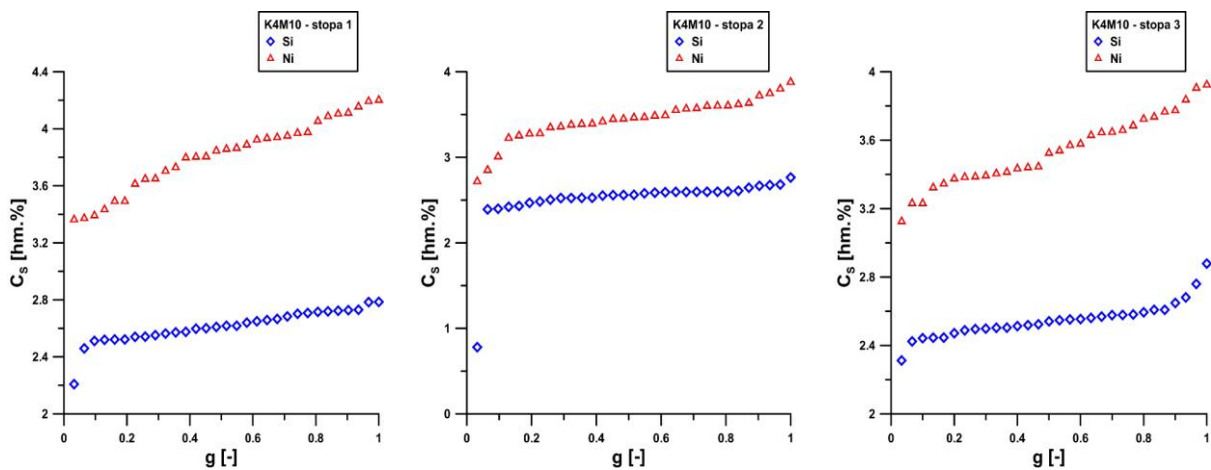
Obr. 60. Setříděné koncentrace křemíku a niklu v objemovém elementu. Tavba K3. Hom. 10 hod.



Obr. 61. Setříděné koncentrace křemíku a niklu v objemovém elementu. Tavba K4. Litý stav.



Obr. 62. Setříděné koncentrace křemíku a niklu v objemovém elementu. Tavba K4. Hom. 5 hod.



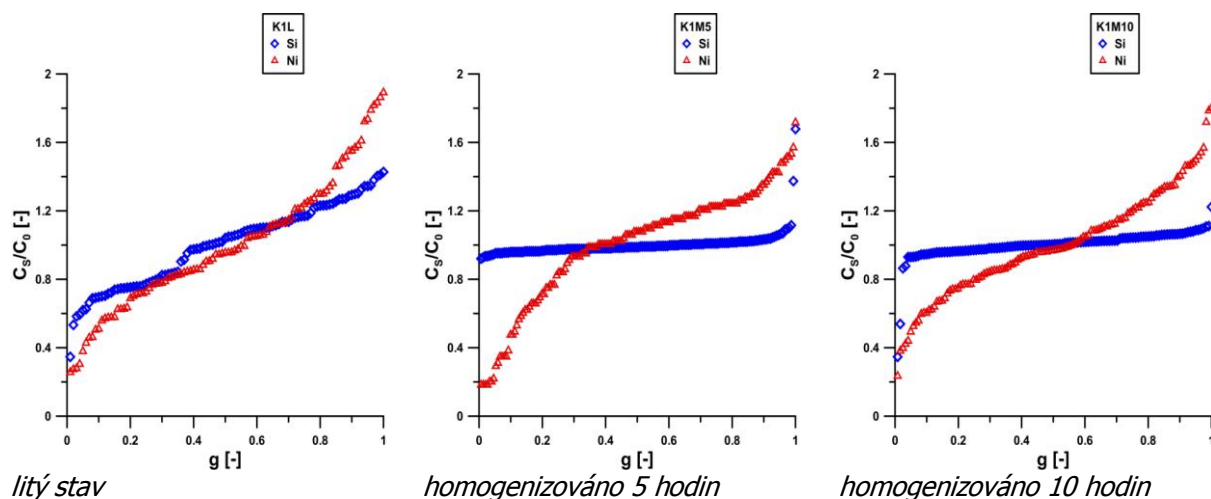
Obr. 63. Setříděné koncentrace křemíku a niklu v objemovém elementu. Tavba K4. Hom. 10 hod.

7.3.4. Stanovení segregačních křivek

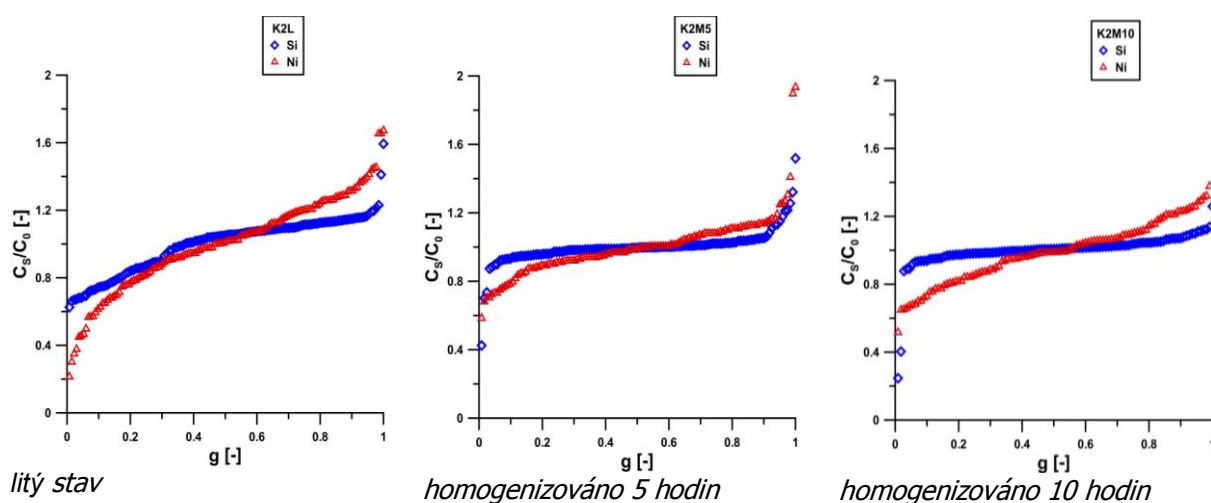
V této kapitole jsou graficky shrnuty průběhy segregačních křivek přes objemový element, tj. závislost

$$\frac{C_S}{C_0} = f(g), \quad (34)$$

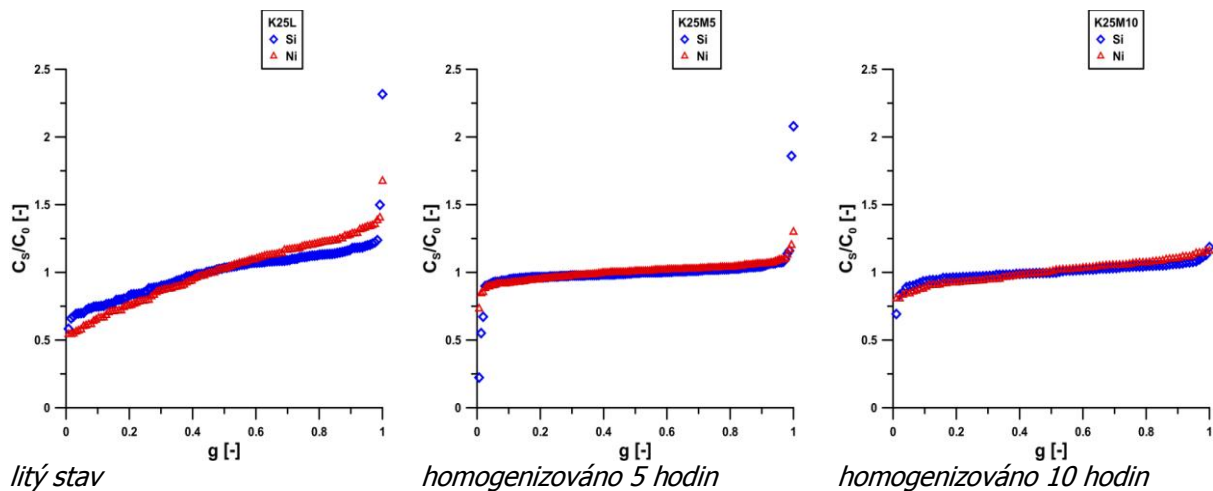
kde C_S je koncentrace příměsi v hm.% v tuhé fázi v i -tém bodě měření přes objemový element g a C_0 je rovno střední hodnotě koncentrace sledovaného prvku na dané stopě (tj. v tomto případě ze všech tří měřených linií). Grafické závislosti jsou, obdobně jako v předchozí kapitole, členěny po jednotlivých tavebách, tak aby poskytly přehledné srovnání sledované závislosti pro litý stav a sledované homogenizované stavy. Segregační křivky jsou znázorněny na následujících obr. 64 až obr. 68, v pořadí jednotlivých taveb K1, K2, K25, K3 a K4.



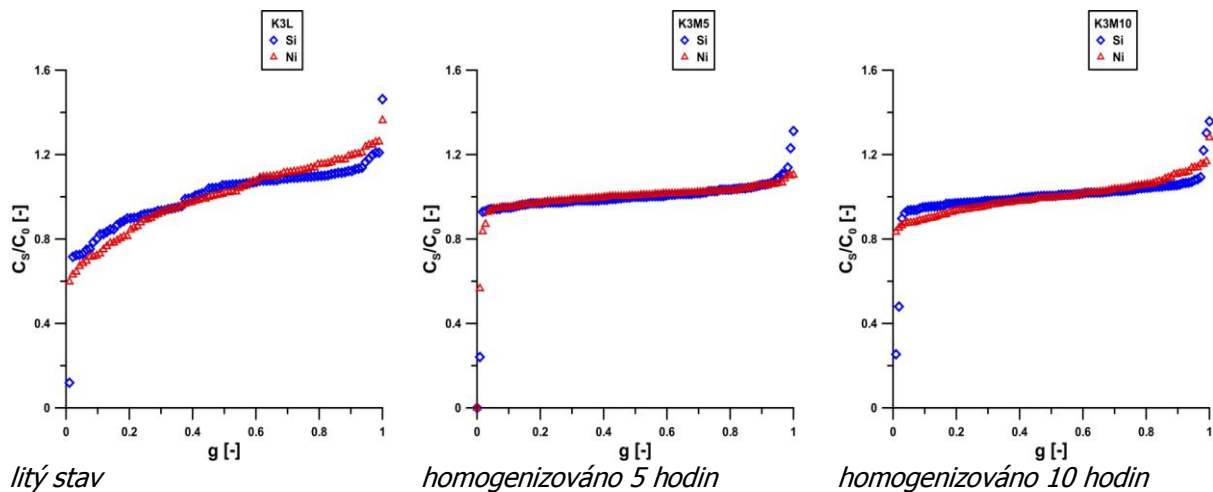
Obr. 64. Segregační křivky. Porovnání litého a homogenizovaného stavu. Tavba K1.



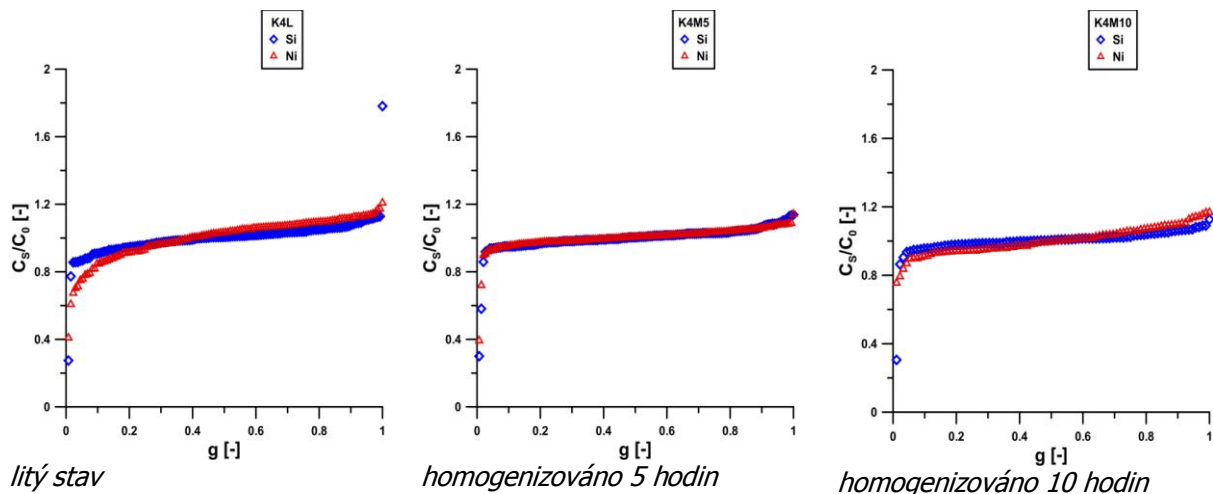
Obr. 65. Segregační křivky. Porovnání litého a homogenizovaného stavu. Tavba K2.



Obr. 66. Segregační křivky. Porovnání litého a homogenizovaného stavu. Tavba K25.



Obr. 67. Segregační křivky. Porovnání litého a homogenizovaného stavu. Tavba K3.



Obr. 68. Segregační křivky. Porovnání litého a homogenizovaného stavu. Tavba K4.

7.3.5. Průběh efektivních rozdělovacích koeficientů v objemovém elementu

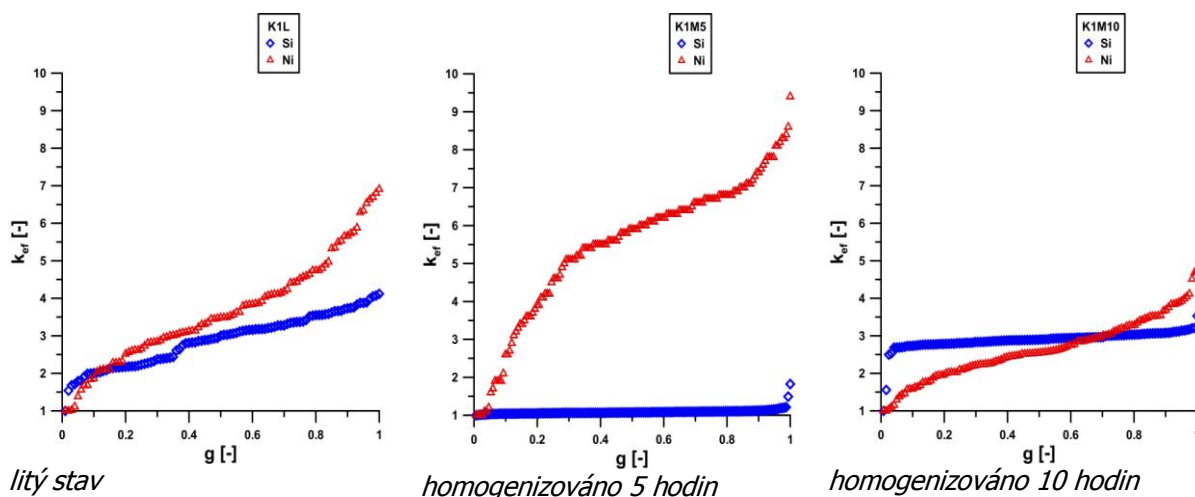
Tato část práce se zabývá stanovením efektivních rozdělovacích koeficientů a jejich průběhů v objemovém elementu, který reálně představuje vzdálenost od hranice eutektické buňky ke grafitické noduli.

Za výchozí pro výpočet efektivního rozdělovacího koeficientu v jednotlivých měřených bodech byl použit základní definiční vztah (9), který byl modifikován pro hodnoty koncentrací získané měřením v linii mezi dvěma grafitickými nudulemi do tvaru

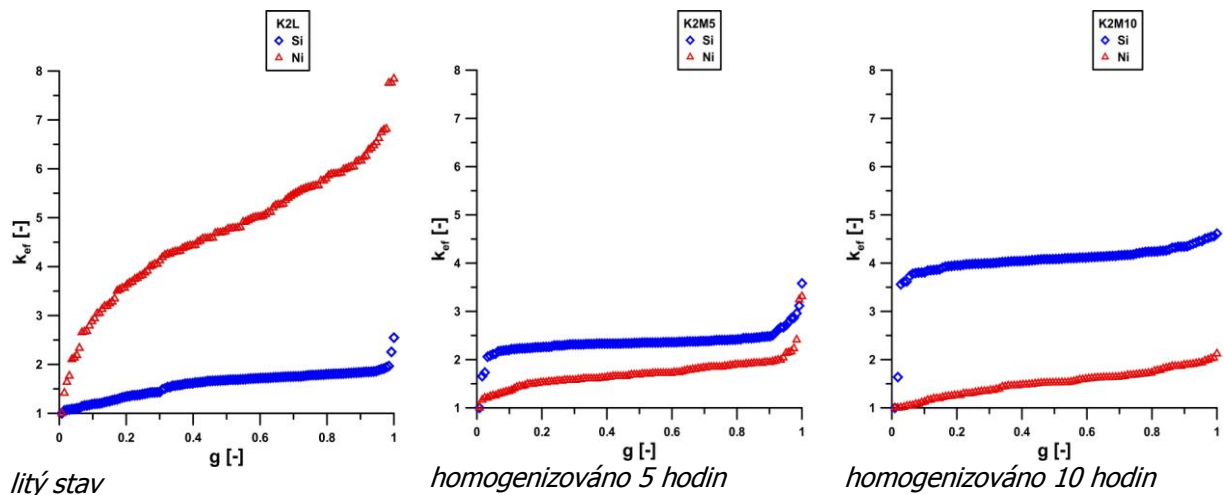
$$k_{ef}^i = \frac{C_i}{C_{min}}, \quad (35)$$

kde k_{ef}^i je efektivní rozdělovací koeficient v i -tém bodě měření v dané linii (stopě) přes objemový element, vyčíslený z koncentrace C_i v tomto bodě vztažené na minimální koncentraci prvku měřené stopy C_{min} .

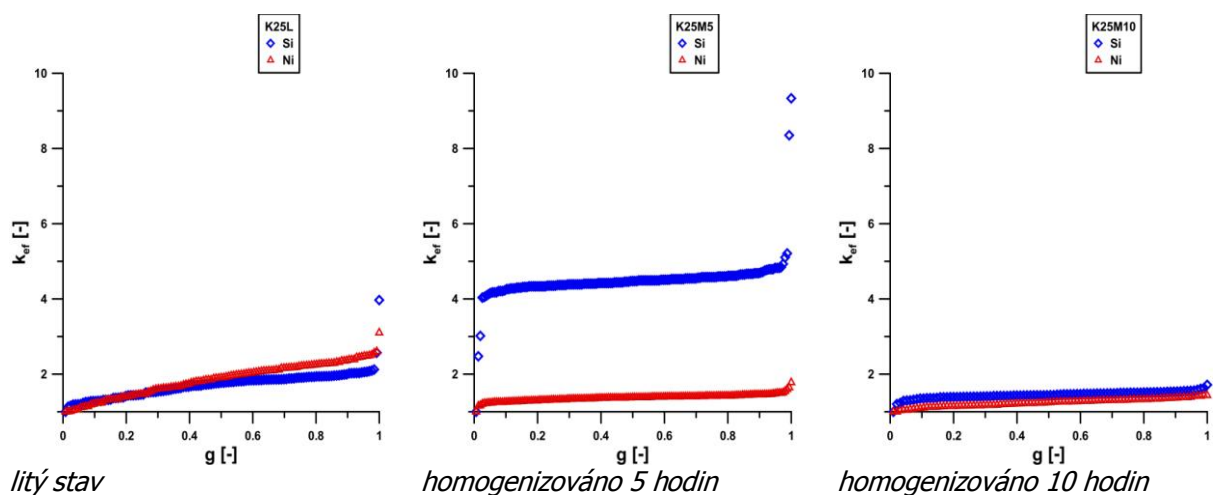
Srovnání průběhů efektivních rozdělovacích koeficientů pro jednotlivé sledované stavy jsou v pořadí pro tavby K1, K2, K25, K3 a K4 uvedena na obr. 69 až obr. 73.



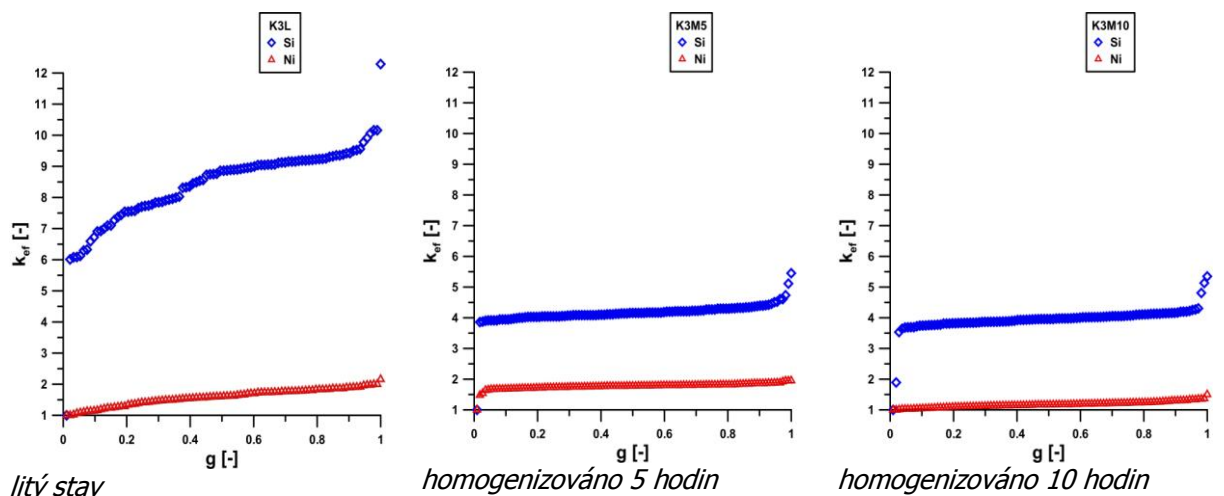
Obr. 69. Průběhy efektivních rozdělovacích koeficientů v objemovém elementu. Porovnání litého a homogenizovaného stavu. Tavba K1.



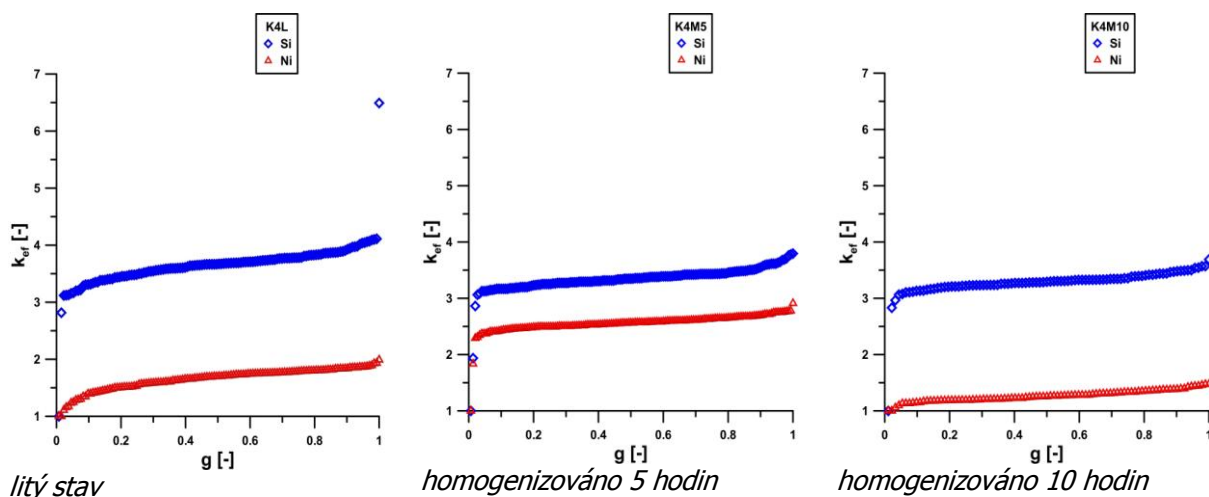
Obr. 70. Průběhy efektivních rozdělovacích koeficientů v objemovém elementu. Porovnání litého a homogenizovaného stavu. Tavba K2.



Obr. 71. Průběhy efektivních rozdělovacích koeficientů v objemovém elementu. Porovnání litého a homogenizovaného stavu. Tavba K25.



Obr. 72. Průběhy efektivních rozdělovacích koeficientů v objemovém elementu. Porovnání litého a homogenizovaného stavu. Tavba K3.



Obr. 73. Průběhy efektivních rozdělovacích koeficientů v objemovém elementu. Porovnání litého a homogenizovaného stavu. Tavba K4.

7.3.6. Zavedení pojmu normovaný rozdělovací koeficient, jeho stanovení a zpracování průběhů v objemovém elementu

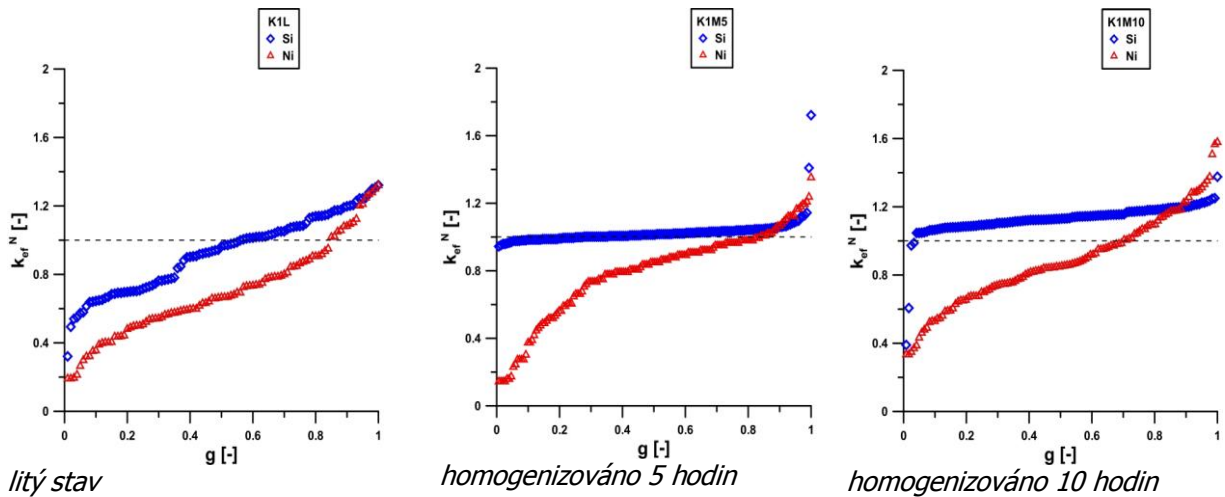
S ohledem na nízkou vypovídací schopnost vzájemného porovnání závislostí uvedených v předcházející kapitole 7.3.5 pro jednotlivé sledované stavy se ukázalo žádoucí hledat jinou možnost vyjádření rozdělovacího koeficientu, a to právě tak, aby bylo možno tyto sledované stavy vzájemně porovnat. Na základě těchto úvah byl nově zaveden a v této kapitole použit pojem normovaný rozdělovací koeficient, který byl definován jako

$$k_{ef}^N = \frac{C_i}{C_{sm}}, \quad (36)$$

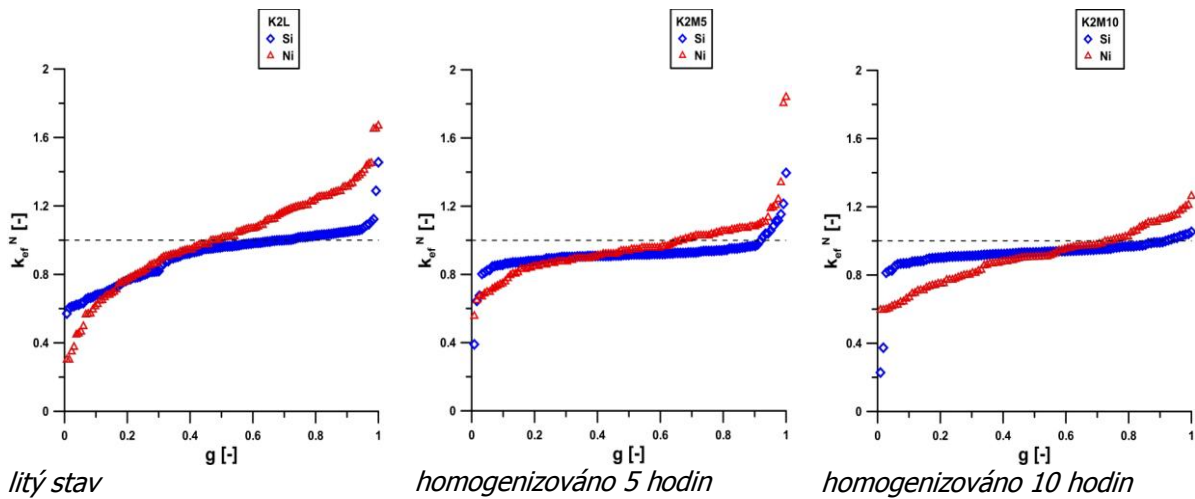
kde k_{ef}^N je normovaný rozdělovací koeficient v i -tém bodě měření v dané linii (stopě) přes objemový element, vyčíslený z koncentrace C_i v tomto bodě vztažený na jmenovitou koncentraci prvku (směrné složení z tavební analýzy) daného prvku C_{sm} .

Hodnota takto definovaného normovaného rozdělovacího koeficientu je, na rozdíl od hodnoty efektivního rozdělovacího koeficientu, nezávislá na minimální hodnotě koncentrace sledovaného prvku na dané stopě (v tomto konkrétním případě třech měřených liniích), což umožňuje provést objektivní vzájemné porovnání hodnot rozdělovacího koeficientu na jednotlivých sledovaných vzorcích, tj. v jednotlivých stavech pro sledované tavby.

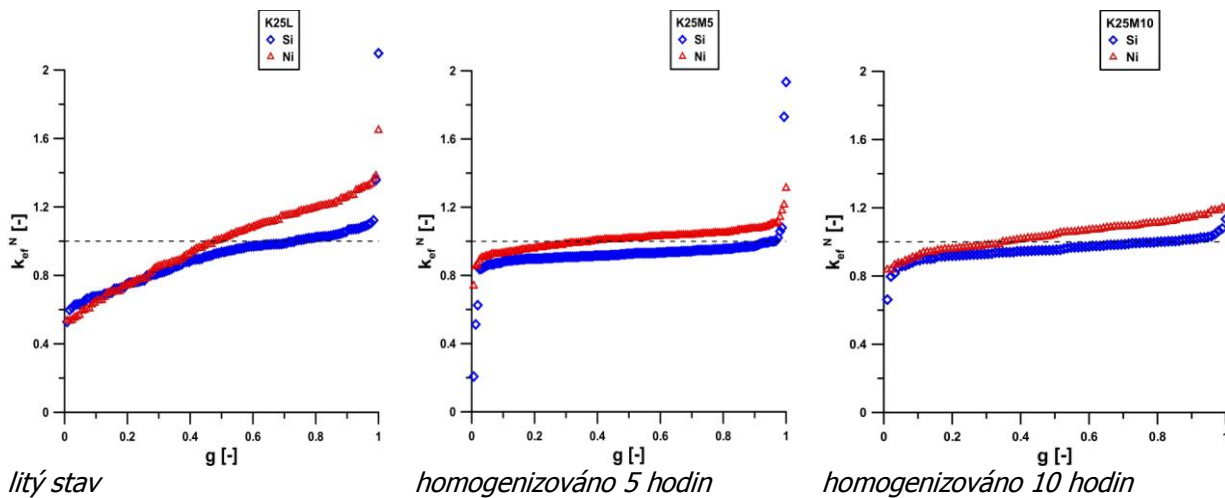
Porovnání průběhů normovaných rozdělovacích elementů pro jednotlivé sledované stavy jsou v pořadí pro tavby K1, K2, K25, K3 a K4 uvedena na obr. 74 až obr. 78.



Obr. 74. Průběhy normovaných rozdělovacích koeficientů v objemovém elementu. Porovnání litého a homogenizovaného stavu. Tavba K1.

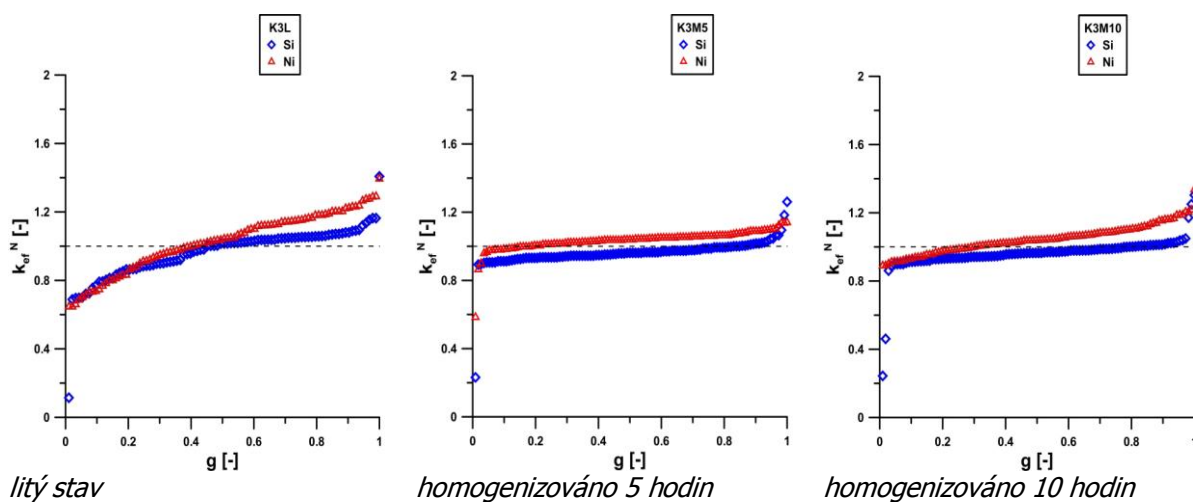


Obr. 75. Průběhy normovaných rozdělovacích koeficientů v objemovém elementu. Porovnání litého a homogenizovaného stavu. Tavba K2.

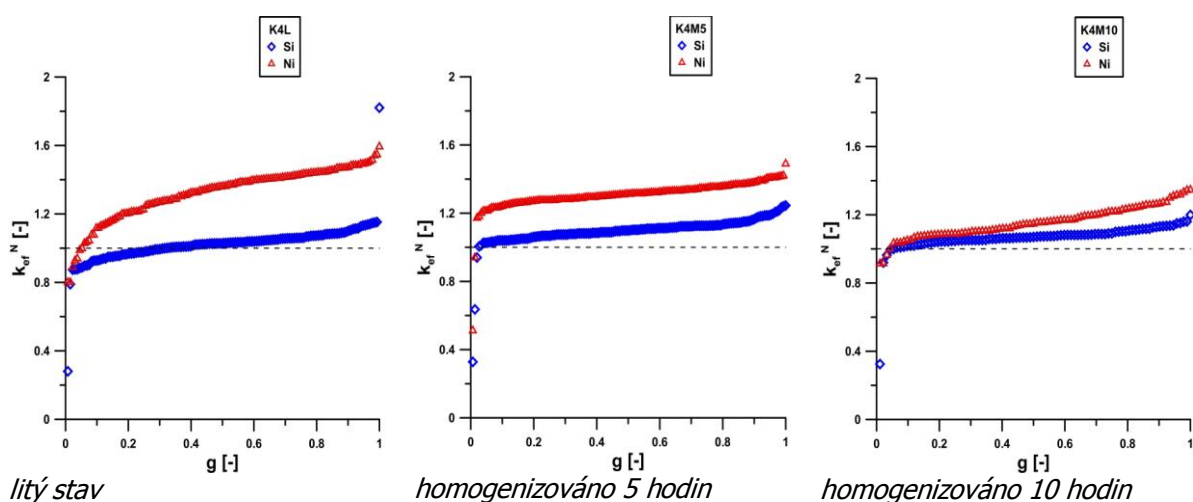


Obr. 76. Průběhy normovaných rozdělovacích koeficientů v objemovém elementu.

Porovnání litého a homogenizovaného stavu. Tavba K25.



Obr. 77. Průběhy normovaných rozdělovacích koeficientů v objemovém elementu. Porovnání litého a homogenizovaného stavu. Tavba K3.

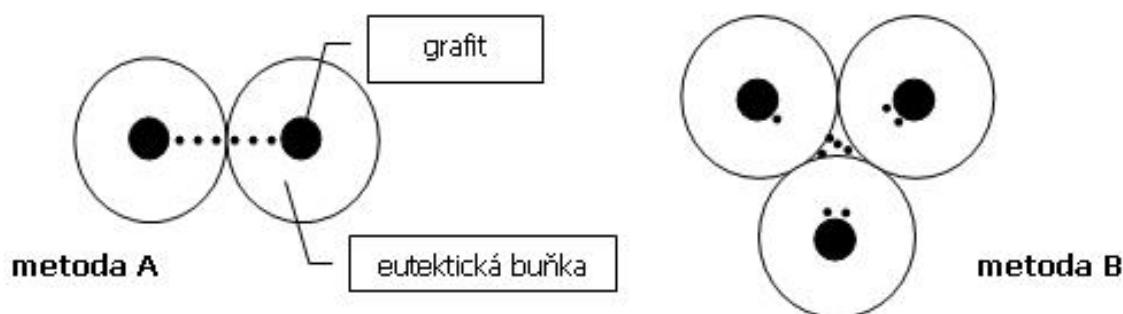


Obr. 78. Průběhy normovaných rozdělovacích koeficientů v objemovém elementu. Porovnání litého a homogenizovaného stavu. Tavba K4

7.3.7. Závislosti efektivních rozdělovacích koeficientů na jmenovitých obsazích prvků

Pro stanovení závislosti efektivních rozdělovacích koeficientů na jmenovitých obsazích sledovaných prvků bylo použito stanovení středních hodnot efektivních rozdělovacích koeficientů křemíku a niklu získaných dvěma odlišnými metodami měření. Obě metody vycházejí při stanovení efektivního rozdělovacího koeficientu ze základního definičního vztahu (9), který však popisuje eutektickou krystalizaci. V pojetí přerozdělování prvků při tepelném zracování chápeme efektivní rozdělovací koeficient jako poměr změřené koncentrace prvku M u grafitu k jeho koncentraci na periferii

eutektické buňky. Princip měření koncentrací sledovaných prvků u obou použitých metod měření pomocí EDS znázorňuje obr. 79.



Obr. 79. Uspořádání měření koncentrací sledovaných prvků.

První metoda, označená jako metoda A, používá pro stanovení efektivního rozdělovacího koeficientu upravený vztah (9) ve tvaru

$$k_{ef}^A = \frac{C_{max}}{C_{min}}, \quad (37)$$

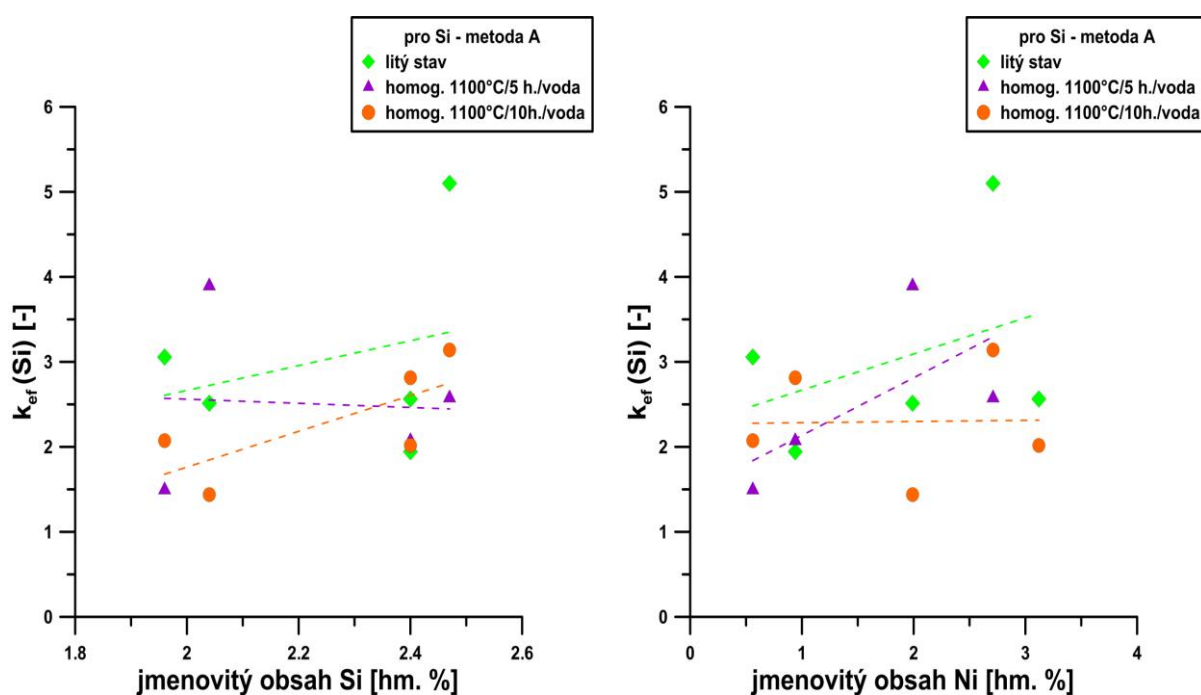
kde C_{max} je maximální koncentrace uvažovaného prvku na měřené stopě, C_{min} jeho koncentrace minimální. Vzhledem k tomu, že na každém vzorku (a v každém stavu) byly proměřeny tři stopy, byl na každé ze stop stanoven efektivní rozdělovací koeficient samostatně, z takto zjištěných hodnot efektivního rozdělovacího koeficientu vypočtena střední hodnota, a teprve ta byla dále použita pro stanovení hledané závislosti na jmenovitém obsahu sledovaných prvků. Hodnoty koncentrací jednotlivých prvků naměřené metodou liniových analýz, které byly použity pro stanovení k_{ef}^A , jsou uvedeny v tabulkové části přílohy – viz tab. P1 až tab. P45.

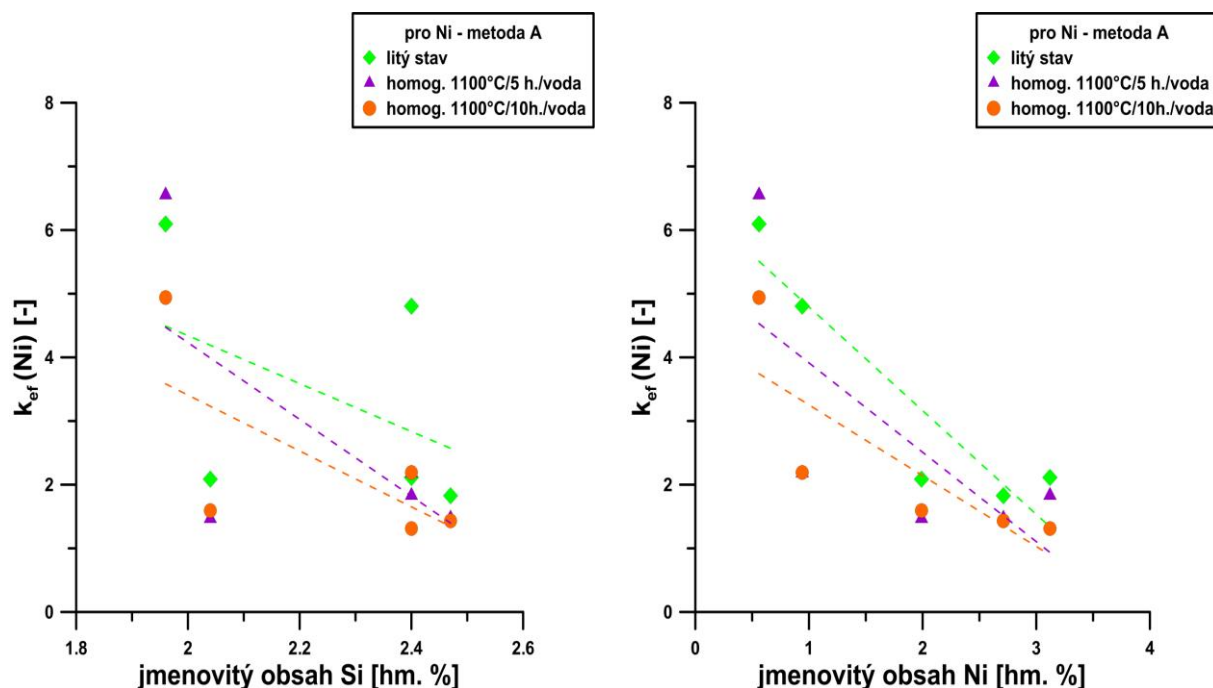
Hodnoty průměrných efektivních rozdělovacích koeficientů získaných výše popsaným postupem jsou, spolu se směrodatnými odchylkami, uvedeny v tab. 6.

Na následujících obr. 80 a obr. 81 jsou pak uvedeny hledané závislosti efektivních rozdělovacích koeficientů obou sledovaných prvků v litém a dvou homogenizovaných stavech na jmenovitém obsahu obou prvků v jednotlivých studovaných tavebách. Vypočtené hodnoty průměrných efektivních rozdělovacích koeficientů sledovaných prvků u jednotlivých taveb byly pro znázornění tendence růstu/poklesu ve všech případech proloženy pro jednoduchost přímkami, které navíc mají ve srovnání s ostatními základními funkcemi poněkud vyšší koeficient determinace.

Tab. 6. Hodnoty efektivních rozdělovacích koeficientů stanovených metodou A.

tavba	$k_{\text{ef}}^A(\text{Si})$			$k_{\text{ef}}^A(\text{Ni})$		
	směrodatná odchylka			směrodatná odchylka		
	stav			stav		
	litý	homog. 5 h.	homog. 10 h.	litý	homog. 5 h.	homog. 10 h.
K1	3,06	1,49	2,07	6,09	6,55	4,94
	0,76	0,26	0,68	1,28	3,22	1,10
K2	1,94	2,07	2,81	4,80	2,18	2,19
	0,52	1,08	1,33	1,96	0,80	0,18
K25	2,51	3,89	1,44	2,09	1,47	1,59
	0,67	0,94	0,15	0,31	0,06	0,27
K3	5,10	2,58	3,14	1,83	1,47	1,43
	5,08	1,80	1,66	0,24	0,35	0,08
K4	2,56	2,20	2,02	2,11	1,83	1,31
	1,16	0,92	1,08	0,56	0,66	0,08

**Obr. 80.** Závislosti efektivních rozdělovacích koeficientů pro křemík ve sledovaných stavech na jmenovitém obsahu obou sledovaných prvků. Metoda A.



Obr. 81. Závislosti efektivních rozdělovacích koeficientů pro nikl ve sledovaných stavech na jmenovitém obsahu obou sledovaných prvků. Metoda A.

Druhá metoda, označená jako metoda B, vychází ve stanovení efektivního rozdělovacího koeficientu opět ze základního definičního vztahu (9), avšak, vzhledem k uspořádání měřených bodů, kdy se jednalo o diskrétní bodové analýzy v okolí grafitické nodule a na rozhraní tří eutektických buněk, je vztah upraven do tvaru

$$k_{ef}^B = \frac{C_{stř}^G}{C_{stř}^{EB}}, \quad (38)$$

kde $C_{stř}^G$ je střední obsah sledovaného prvku v oblasti u grafitu, $C_{stř}^{EB}$ je jeho střední obsah na styku tří eutektických buněk. Obdobně jako u předcházející metody, i zde byla na každém ze vzorků (tj. u každé tavby a každého sledovaného stavu) zvolena tři na sobě nezávislá místa měření koncentrací (soubor bodů u grafitických nodulí vs. soubor bodů na styku tří eutektických buněk), pro ně stanoven efektivní rozdělovací koeficient a z něj vyčíslena střední hodnota a směrodatná odchylka.

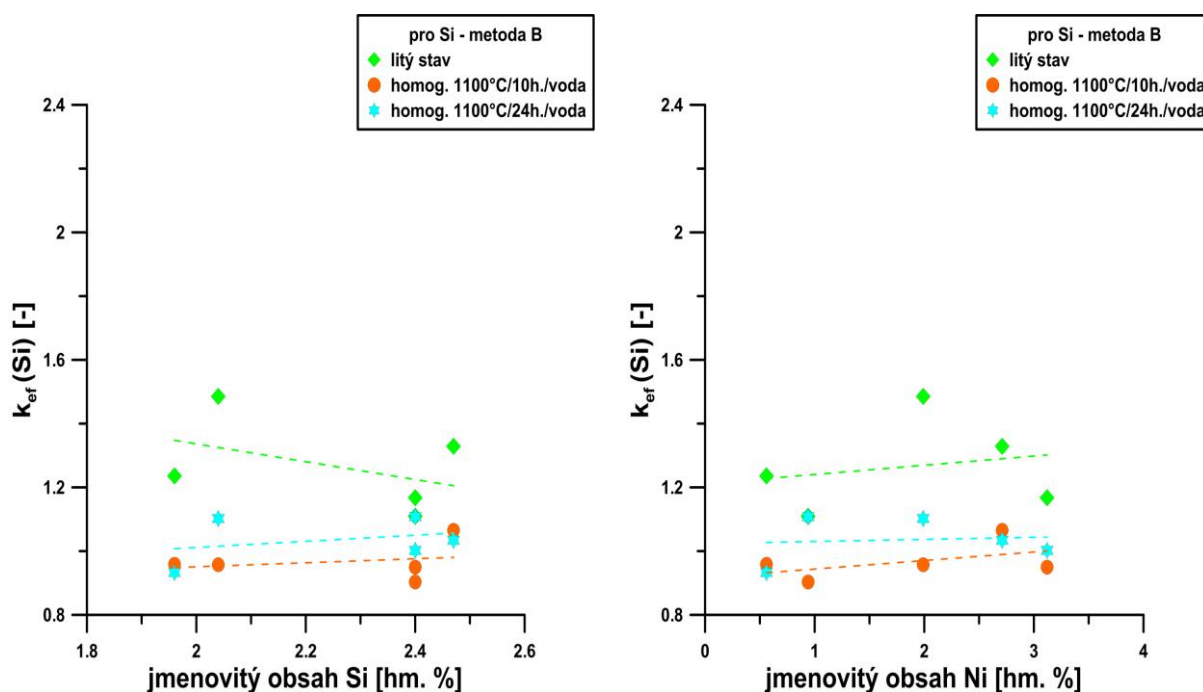
Hodnoty koncentrací jednotlivých prvků naměřené metodou liniových analýz, které byly použity pro stanovení k_{ef}^B , jsou souhrnně uvedeny v tabulkové části přílohy v tab. P46 pro litý stav, tab. P47 pro stav po homogenizačním žihání s výdrží 10 hodin a tab. P48 pro stav po homogenizačním žihání s výdrží 24 hodin.

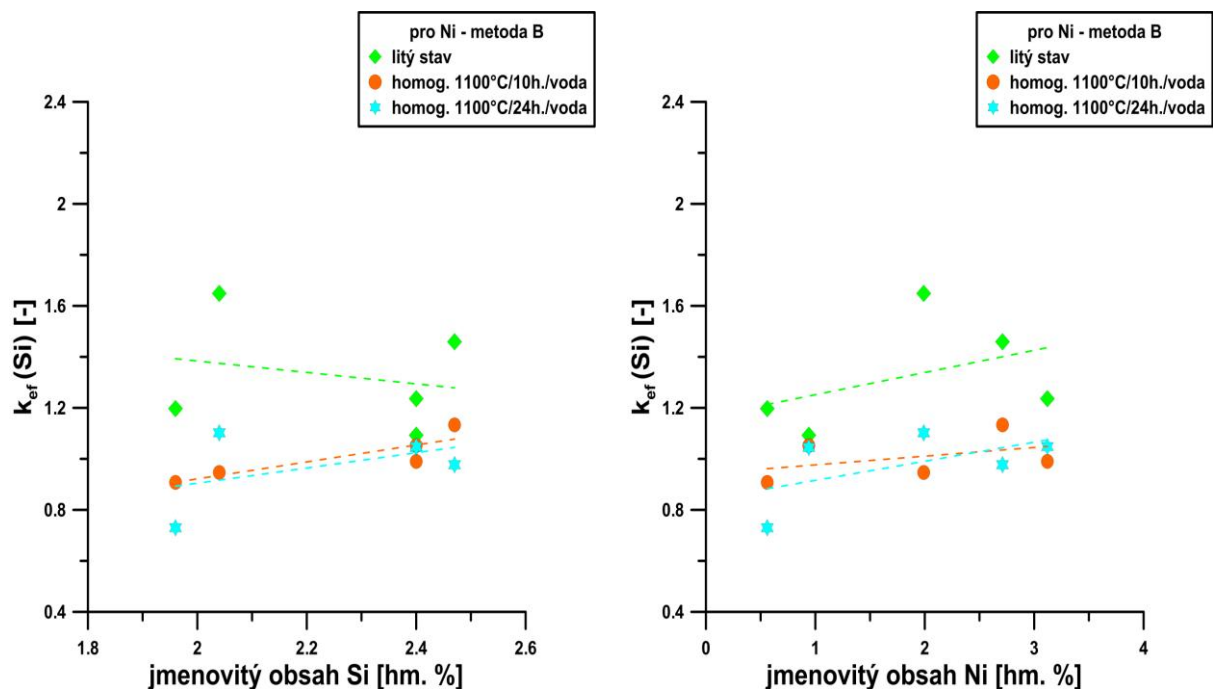
Hodnoty průměrných efektivních rozdělovacích koeficientů získaných výše popsáním postupem jsou, spolu se směrodatnými odchylkami, uvedeny v tab. 7.

Tab. 7. Hodnoty efektivních rozdělovacích koeficientů stanovených metodou B.

tavba	$k_{ef}^B (Si)$			$k_{ef}^B (Ni)$		
	směrodatná odchyłka			směrodatná odchyłka		
	stav			stav		
	litý	homog. 10 h.	homog. 24 h.	litý	homog. 10 h.	homog. 24 h.
K1	1,24	0,96	0,93	1,20	0,91	0,73
	0,15	0,09	0,15	0,32	0,25	0,07
K2	1,11	0,90	1,11	1,09	1,05	1,05
	0,20	0,07	0,09	0,20	0,09	0,02
K25	1,49	0,96	1,10	1,65	0,95	1,10
	0,19	0,05	0,03	0,23	0,09	0,04
K3	1,33	1,07	1,03	1,46	1,13	0,98
	0,18	0,20	0,03	0,20	0,11	0,10
K4	1,17	0,95	1,00	1,24	0,99	1,05
	0,15	0,08	0,02	0,18	0,07	0,06

Právě tyto střední hodnoty byly pak použity pro určení závislosti efektivních rozdělovacích koeficientů pro každý ze sledovaných prvků v jednotlivých studovaných stavech na jmenovitém obsahu obou sledovaných prvků, a to pro každý prvek samostatně. Závislosti efektivních rozdělovacích koeficientů pro křemík na jmenovitém obsahu obou sledovaných prvků jsou uvedeny na obr. 82 a pro nikl na obr. 83. Vypočtené hodnoty průměrných efektivních rozdělovacích koeficientů sledovaných prvků u jednotlivých taveb byly opět pro znázornění tendence růstu/poklesu ve všech případech proloženy přímkovými závislostmi.

**Obr. 82.** Závislosti efektivních rozdělovacích koeficientů pro křemík ve sledovaných stavech na jmenovitém obsahu obou sledovaných prvků. Metoda B.



Obr. 83. Závislosti efektivních rozdělovacích koeficientů pro nikl ve sledovaných stavech na jmenovitém obsahu obou sledovaných prvků. Metoda B.

7.3.8. Statistická analýza měření koncentrací po homogenizaci 10 hodin vs. 24 hodin

Nejdelší testovanou výdrží homogenizačního žihání na teplotě 1100°C byla doba 24 hodin, opět s následným ochlazením do vody pro zafixování rozložení přísadových prvků. Tato série vzorků ze všech sledovaných taveb byla hodnocena jako ověřovací, a to pouze metodou B, tj. metodou měření diskretních bodových analýz v okolí grafitických nodulí a na styku tří eutektických buněk. Vzhledem k tomu, že porovnání výsledných hodnot efektivních rozdělovacích koeficientů (tab. 7), ani grafické zpracování závislostí efektivních rozdělovacích koeficientů (obr. 82 a obr. 83) neposkytlo dostatečně průkazné výsledky pro rozhodnutí o optimální délce výdrže na homogenizační teplotě, byla naměřená data (hodnoty koncentrací sledovaných prvků zjištěné na jednotlivých vzorcích) podrobena statistické analýze pro posouzení existence statisticky významných rozdílů u těchto dvou stavů.

Pro testování byly použity tři na sobě nezávislé neparametrické statistické metody, a to t-test, Wilcoxonův test a Kolmogorovův-Smirnovův test ve vzájemné kombinaci. Testovací hladina významnosti byla u všech tří metod zvolena shodně 0,05.

T-test se často používá k porovnání, zda se výsledky měření na jedné skupině významně liší od výsledků měření na druhé skupině. Umožňuje ověřit některou z

následujících hypotéz: zda normální rozdělení, z něhož pochází testovaný náhodný výběr, má určitou konkrétní střední hodnotu, přičemž rozptyl je neznámý; nebo zda dvě normální rozdělení mající stejný (byť neznámý) rozptyl, z nichž pocházejí dva nezávislé náhodné výběry, mají stejné střední hodnoty (resp. rozdíl těchto středních hodnot je roven určitému danému číslu).

V prvním případě může být náhodný výběr tvořen buď jednotlivými hodnotami (pak se jedná o jednovýběrový t-test), anebo dvojicemi hodnot, u nichž se zkoumají jejich rozdíly (pak se jedná o párový t-test).

Ve druhém případě jde o dvouvýběrový t-test. Pro posouzení dvou skupin naměřených souborů dat byl použit dvouvýběrový t-test, a to tak, že byly vždy vzájemně porovnávány hodnoty naměřené v obou stavech u grafitu, a pak hodnoty naměřené v obou stavech na styku tří eutektických buněk. Test je založen na skutečnosti, že výběrový průměr z normálního rozdělení, od něhož se odečte střední hodnota tohoto rozdělení a rozdíl se vydělí výběrovou směrodatnou odchylkou, má T rozdělení. [60]

T-testem byla ověřována nulová hypotéza, kdy se rozdíl mezi dvěma průměry rovnal nule, naproti alternativní hypotéze, kdy se rozdíl nule nerovnal. Podle vypočítané P-hodnoty jsme buď zamítli, nebo přijali hypotézu. Byla-li P-hodnota menší než 0,05, pak platila nulová hypotéza, která říkala, že nebyly zjištěny žádné statisticky významné rozdíly mezi hodnotami, tj. koncentracemi prvků v tavbě při 10-ti a 24 hodinové homogenizaci.

Wilcoxonův test slouží k ověření, zda lze dva výběry považovat za výběry z jednoho základního souboru. Je založen na principu porovnání mediánů dvou souborů dat. Po vyčíslení diferencí mezi pozorováními jsou data seřazena podle velikosti jejich absolutní hodnoty od nejmenšího po největší. Poté je spočten součet pořadí kladných a součet pořadí záporných rozdílů. Test tedy odráží jak počet, tak velikost kladných i záporných rozdílů. [61]

Při vyhodnocení provedeného Wilcoxonova testu opět platilo, že byla-li P-hodnota větší nebo rovna nule, pak nenastal statisticky významný rozdíl mezi středními hodnotami s 95% spolehlivostí.

Kolmogorovův–Smirnovův test umožňuje testovat, zda dvě jednorozměrné náhodné proměnné pocházejí ze stejného rozdělení pravděpodobnosti, případně zda jedna jednorozměrná náhodná proměnná má předpokládané (teoretické) rozdělení. Opět, stejně jako v případě t-testu, existují dvě verze tohoto testu: jednovýběrový a dvouvýběrový.

Jednovýběrový test ověřuje, zda se rozdělení náhodné veličiny liší od určitého teoretického rozdělení. Využívá se například pro ověření, zda má proměnná normální rozdělení.

Dvouvýběrový test srovnává rozdělení dvou náhodných veličin. Je to jedna z nejpoužívanějších a nejvšeobecnějších neparametrických metod porovnávání dvou

výběrů. Nulová hypotéza říká, že dva výběry odpovídají stejnému rozdělení. V této variantě testu se srovnává rozdíl kumulativních četností ($n \leq 40$) nebo relativních kumulativních četností ($n > 40$) dvou výběrů (kde n_1, n_2 jsou celkové počty prvků výběru). Relativní kumulativní četnosti se spočítají ze vztahu

$$F_{1i} = \frac{1}{n} N_{1i} \quad \text{resp.} \quad F_{2i} = \frac{1}{n} N_{2i}, \quad (39)$$

kde N_{1i} je prvek výběru 1, N_{2i} prvek výběru 2. Hodnoceným kritériem je

$$D_2 = \max_i |N_{1i} - N_{2i}| \quad \text{resp.} \quad D_2 = \max_i |F_{1i} - F_{2i}|. \quad (40)$$

Hodnota kritéria D_2 se porovná s kritickou hodnotou D_{2max} pro danou hladinu významnosti α . Pro hladinu významnosti 0,05 je kritická hodnota

$$D_{2max} = 1,36 \sqrt{\frac{n_1 + n_2}{n_1 n_2}}. \quad (41)$$

Pak platí, že nulová hypotéza se zamítá, jestliže je hodnota kritéria D_2 větší než kritická D_{2max} . V opačném případě se přijímá. [62]

Pro popis hypotetického rozdělení veličiny X byla použita tzv. hypotetická distribuční funkce ve tvaru

$$F_0 \left(\leftarrow \right) = F_0 \left(\leftarrow \right). \quad (42)$$

Jednalo se tedy o test nulové hypotézy, která předpokládala, že rozdělení veličiny X je dáno distribuční funkcí $F_0(x)$ proti alternativě, že rozdělení veličiny X je dáno jinou distribuční funkcí než $F_0(x)$. Pokud P-hodnota je menší než 0,05, pak platí alternativní hypotéza, v opačném případě platí nulová hypotéza, kdy nenastanou žádné statisticky významné rozdíly.

Výsledky jednotlivých provedených statistických výpočtů jsou kompletně uvedeny v datové části přílohy (kapitola 12.3), a to pod označením Data. P1 až Data. P20, vždy v pořadí: analýza výsledků měření koncentrací niklu na styku tří eutektických buněk, analýza výsledků měření koncentrací niklu v blízkosti grafitických nodulí, analýza výsledků měření koncentrací křemíku na styku tří eutektických buněk a analýza výsledků měření koncentrací křemíku v blízkosti grafitických nodulí, a to pro každou tavbu samostatně v pořadí K1, K2, K25, K3 a K4.

Zároveň se souhrnným tabelárním zpracováním výsledků statistické analýzy bylo provedeno také vzájemné porovnání výsledků statistických výpočtů; výstup je uveden v následující tab. 8. Pro jednoznačnou identifikaci jednotlivých datových souborů je

nutno uvést, že v tomto souhrnu, stejně jako v datové části přílohy (Data. P1 až Data. P20), jsou jednotlivé soubory dat označeny podle následujícího jednotného schématu:

$$K_i M t Y, \quad (43)$$

kde K_i je označení taveniny (K1 až K4), M značí sledovaný prvek (tj. Si nebo Ni), t je délka homogenizační výdrže (10 nebo 24 hodin) a Y označuje místo provedení bodových analýz (G – v okolí grafitických nodulí, S – na styku tří eutektických buněk).

Tab. 8. Testování shody statisticky významných rozdílů u stavů po homogenizaci 10 hodin vs. 24 hodin

Porovnávané soubory měření		Testovací pravděpodobnostní kritérium									Shoda statisticky význ. rozdílů u jednotliv. testů
		T - test				Wilcoxon		Kolmogorov - Smirnov			
		P-hodnota	Hypotéza	Interval spolehlivost pro rozdíl mezi středními hodnotami	Statisticky významný rozdíl	P-hodnota	Statisticky významný rozdíl	P-hodnota	Statisticky významný rozdíl		
K1Ni10 S	K1Ni24 S	0,001198	nulová	-0,260666	-0,067734	NE	0,000046	ANO	0,000394	ANO	0
K1Ni10 G	K1Ni24 G	0,697098	alternativní	-0,101007	0,150074	ANO	0,801429	NE	0,585970	NE	0
K1Si10 S	K1Si24 S	0,000000	nulová	-0,668821	-0,451112	NE	0,000000	ANO	0,000000	ANO	0
K1Si10 G	K1Si24 G	0,001033	nulová	-0,671652	-0,178948	NE	0,000000	ANO	0,000000	ANO	0
K2Ni10 S	K2Ni24 S	0,379970	alternativní	-0,036784	0,095050	ANO	0,307459	NE	0,071350	NE	0
K2Ni10 G	K2Ni24 G	0,000499	nulová	-0,201212	-0,059655	NE	0,002880	ANO	0,007153	ANO	0
K2Si10 S	K2Si24 S	0,000003	nulová	-0,485568	-0,215698	NE	0,003490	ANO	0,000131	ANO	0
K2Si10 G	K2Si24 S	0,000000	nulová	-0,710978	-0,495955	NE	0,000000	ANO	0,000000	ANO	0
K25Ni10 S	K25Ni24 S	0,947241	alternativní	-0,097508	0,091242	ANO	0,630750	NE	0,585970	NE	0
K25Ni10 G	K25Ni24 G	0,000280	nulová	-0,319431	-0,101569	NE	0,000282	ANO	0,000131	ANO	0
K25Si10 S	K25Si24 S	0,000000	nulová	-0,454334	-0,263066	NE	0,000000	ANO	0,000000	ANO	0
K25Si10 G	K25Si24 G	0,000000	nulová	-0,521870	-0,407063	NE	0,000000	ANO	0,000000	ANO	0
K3Ni10 S	K3Ni24 S	0,001943	nulová	-0,444987	-0,105546	NE	0,000810	ANO	0,007153	ANO	0
K3Ni10 G	K3Ni24 G	0,112328	alternativní	-0,204354	0,022020	ANO	0,024553	ANO	0,007153	ANO	0
K3Si10 S	K3Si24 S	0,000000	nulová	-0,568077	-0,431857	NE	0,000000	ANO	0,000000	ANO	0
K3Si10 G	K3Si24 S	0,000000	nulová	0,490090	0,694843	NE	0,000000	ANO	0,000000	ANO	0
K4Ni10 S	K4Ni24 S	0,655493	alternativní	-0,091207	0,143874	ANO	0,818679	NE	0,392009	NE	0
K4Ni10 G	K4Ni24 G	0,002295	nulová	0,093007	0,406326	NE	0,002250	ANO	0,007153	ANO	0
K4Si10 S	K4Si24 S	0,000000	nulová	-0,455026	-0,367574	NE	0,000000	ANO	0,000000	ANO	0
K4Si10 G	K4Si24 G	0,000000	nulová	-0,481776	-0,338424	NE	0,000000	ANO	0,000000	ANO	0

7.3.9. Stanovení indexů heterogenity

Index heterogenity je dle vztahu (23) definován jako poměr směrodatné odchylky ke střední hodnotě naměřených koncentrací sledovaného prvku. Pro stanovení indexu heterogenity u jednotlivých prvků, taveb a stavů byly použity naměřené hodnoty

koncentrací sumárně vždy ze tří stop, tj. vždy všechny koncentrace naměřené na daném vzorku, takže vztah (23) lze pro metodu liniových analýz zapsat ve tvaru

$$I_{het}^{1-3} = \frac{s_{n-1}^{1-3}}{C_{stř}^{1-3}}, \quad (44)$$

kde I_{het}^{1-3} je index heterogenity vyjádřený sumárně ze tří měřených stop a $C_{stř}^{1-3}$ a s_{n-1}^{1-3} tomu odpovídající střední hodnota naměřených koncentrací a její směrodatná odchylka.

Výsledné hodnoty indexů heterogenity pro oba sledované prvky v jednotlivých stavech jsou uvedeny v tab. 9.

Tab. 9. Stanovení indexů heterogenity pro sledované prvky v jednotlivých stavech. Metoda A.

tavba	K1	K2	K25	K3	K4	K1	K2	K25	K3	K4
stav	$I_{het}(\text{Si}) [-]$					$I_{het}(\text{Ni}) [-]$				
litý	0,24	0,16	0,20	0,16	0,11	0,39	0,28	0,24	0,17	0,12
homogenizováno 5 hodin	0,07	0,10	0,14	0,09	0,08	0,34	0,18	0,06	0,06	0,07
homogenizováno 10 hod.	0,09	0,10	0,06	0,11	0,08	0,30	0,18	0,09	0,08	0,08

Obdobně lze stanovit také indexy heterogenity pro hodnoty zjištěné pomocí metody B, avšak v tomto případě je žádoucí, na rozdíl od postupu při stanovení efektivního rozdělovacího koeficientu, od sebe neoddělovat hodnoty koncentrací zjištěných u grafitu a na styku tří eutektických buněk, ale naopak, střední hodnotu a směrodatnou odchylku pro výpočet indexu heterogenity stanovit sumárně ze všech naměřených hodnot. V následujících tabulkách jsou uvedeny postupy a stanovení hodnot indexů heterogenity metodou B, a to tab. 10 pro litý stav, tab. 11 pro stav po homogenizaci s výdrží 10 hodin a tab. 12 pro stav po homogenizaci s výdrží 24 hodin. Index heterogenity je pro metodu B možno definovat vztahem

$$I_{het}^{G/EB} = \frac{s_{n-1}^{G/EB}}{C_{stř}^{G/EB}}, \quad (45)$$

kde $C_{n-1}^{G/EB}$ je sumární střední hodnota koncentrací naměřených v okolí grafitických nodulí a na styku tří eutektických buněk a $s_{n-1}^{G/EB}$ odpovídající směrodatná odchylka.

Tab. 10. Stanovení středních hodnot, směrodatných odchylek a indexů heterogenity pro sledované prvky v litém stavu. Metoda B.

tavba	K1		K2		K25		K3		K4	
prvek	Si	Ni	Si	Ni	Si	Ni	Si	Ni	Si	Ni
$C_{stř}^{G/EB}$	1,84	0,38	2,35	0,89	1,85	1,78	2,30	2,60	2,58	3,66
$s_{n-1}^{G/EB}$	0,42	0,17	0,55	0,23	0,39	0,46	0,42	0,55	0,28	0,55
$I_{het}^{G/EB}$	0,23	0,46	0,23	0,26	0,21	0,26	0,18	0,21	0,11	0,15

Tab. 11. Stanovení středních hodnot, směrodatných odchylek a indexů heterogenity pro sledované prvky po homogenizaci s výdrží 10 hod. Metoda B.

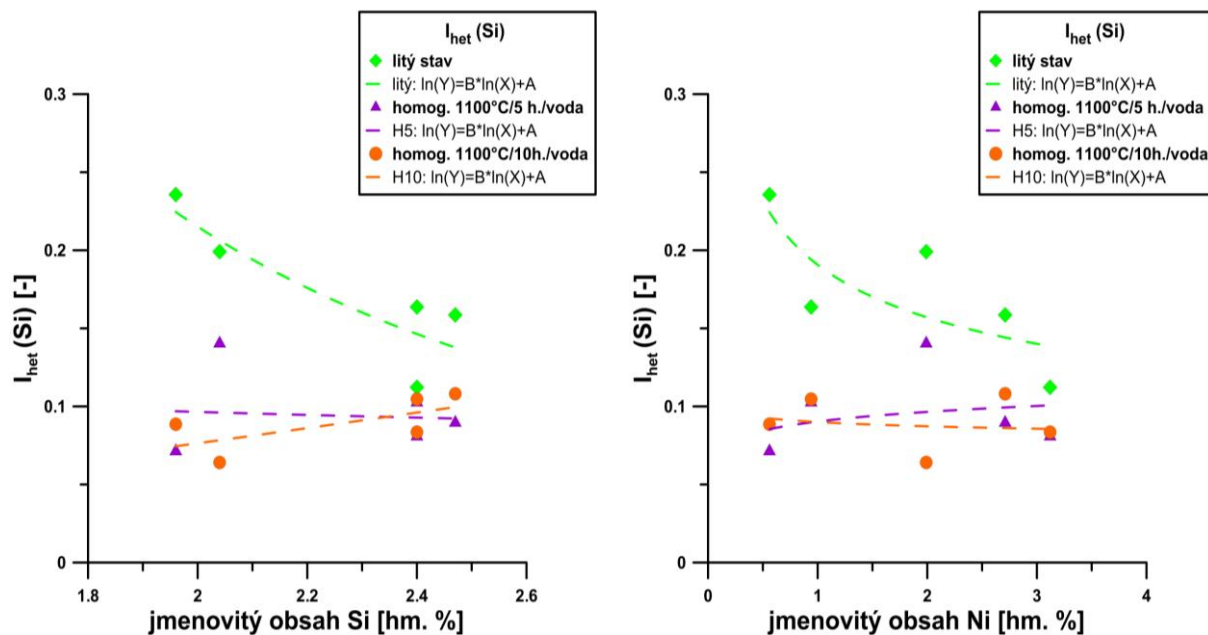
tavba	K1		K2		K25		K3		K4	
prvek	Si	Ni	Si	Ni	Si	Ni	Si	Ni	Si	Ni
$C_{stř}^{G/EB}$	2,18	0,52	2,17	0,99	1,95	1,99	2,44	2,92	2,52	3,61
$s_{n-1}^{G/EB}$	0,37	0,17	0,45	0,31	0,17	0,23	0,77	0,47	0,36	0,32
$I_{het}^{G/EB}$	0,17	0,34	0,21	0,31	0,09	0,11	0,32	0,16	0,14	0,09

Tab. 12. Stanovení středních hodnot, směrodatných odchylek a indexů heterogenity pro sledované prvky po homogenizaci s výdrží 24 hod. Metoda B.

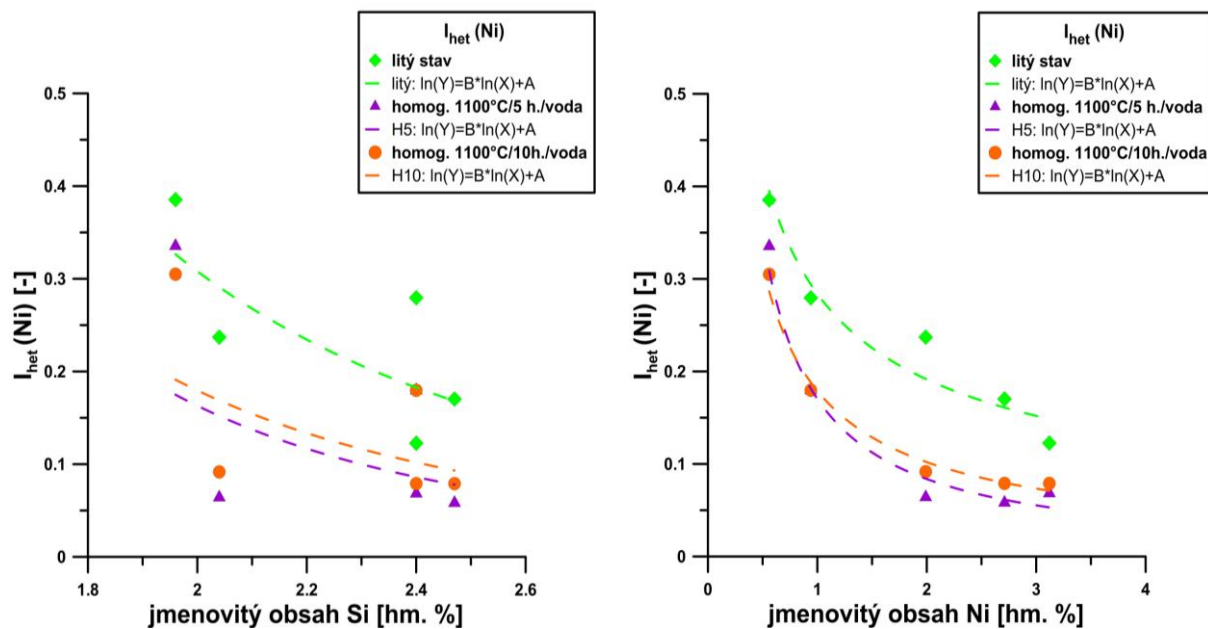
tavba	K1		K2		K25		K3		K4	
prvek	Si	Ni	Si	Ni	Si	Ni	Si	Ni	Si	Ni
$C_{stř}^{G/EB}$	2,71	0,61	2,75	0,96	2,39	2,15	2,92	3,00	2,99	3,68
$s_{n-1}^{G/EB}$	0,43	0,28	0,33	0,13	0,20	0,24	0,19	0,34	0,15	0,26
$I_{het}^{G/EB}$	0,16	0,46	0,12	0,14	0,08	0,11	0,07	0,11	0,05	0,07

7.3.10. Závislost indexů heterogenity na jmenovitých obsazích prvků

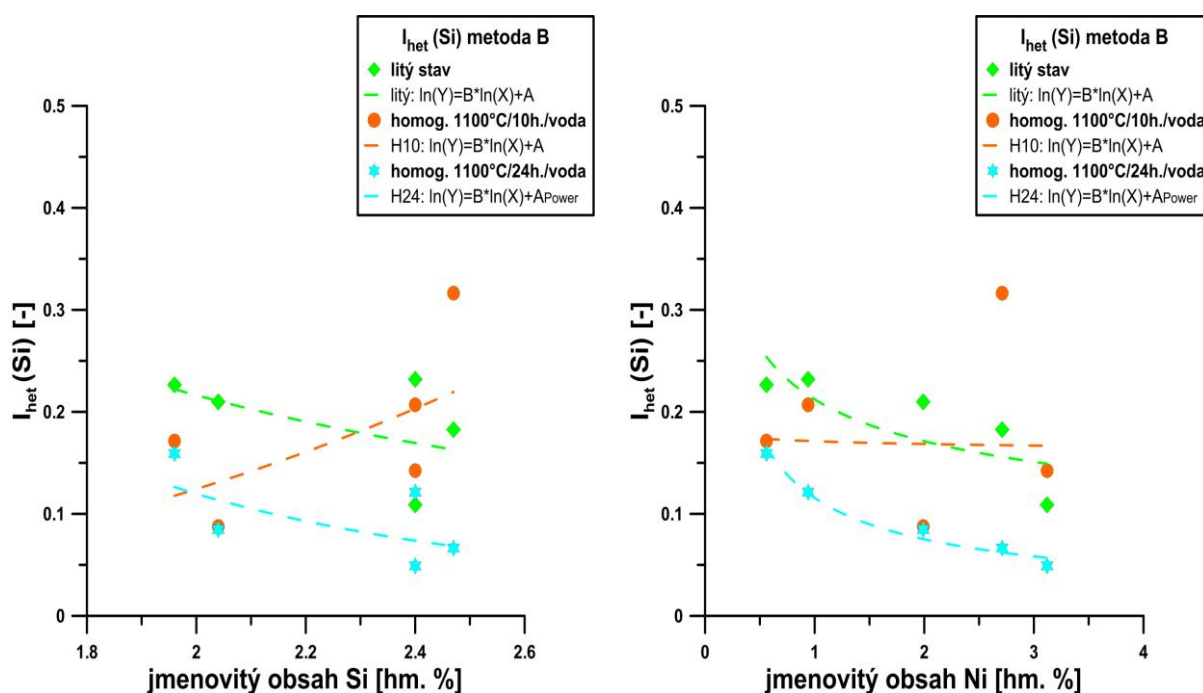
Obdobně jako v případě efektivních rozdělovacích koeficientů, i u indexů heterogenity vyvstala otázka volby nejvhodnějšího způsobu vzájemného porovnání těchto hodnot, zjištěných u sledovaných prvků pro jednotlivé tavby a stavy. I zde se ukázalo, že zřejmě nejvyšší vypovídací schopnost bude mít porovnání v závislosti na hodnotách jmenovitých obsahů jednotlivých prvků ve studovaných tavbách. Na základě těchto úvah byly zkonstruovány závislosti indexů heterogenity na jmenovitých obsazích prvků, které jsou pro metodu A pro křemík uvedeny na obr. 84 a pro nikl na obr. 85, pro metodu B pro křemík uvedeny na obr. 86 a pro nikl na obr. 87.



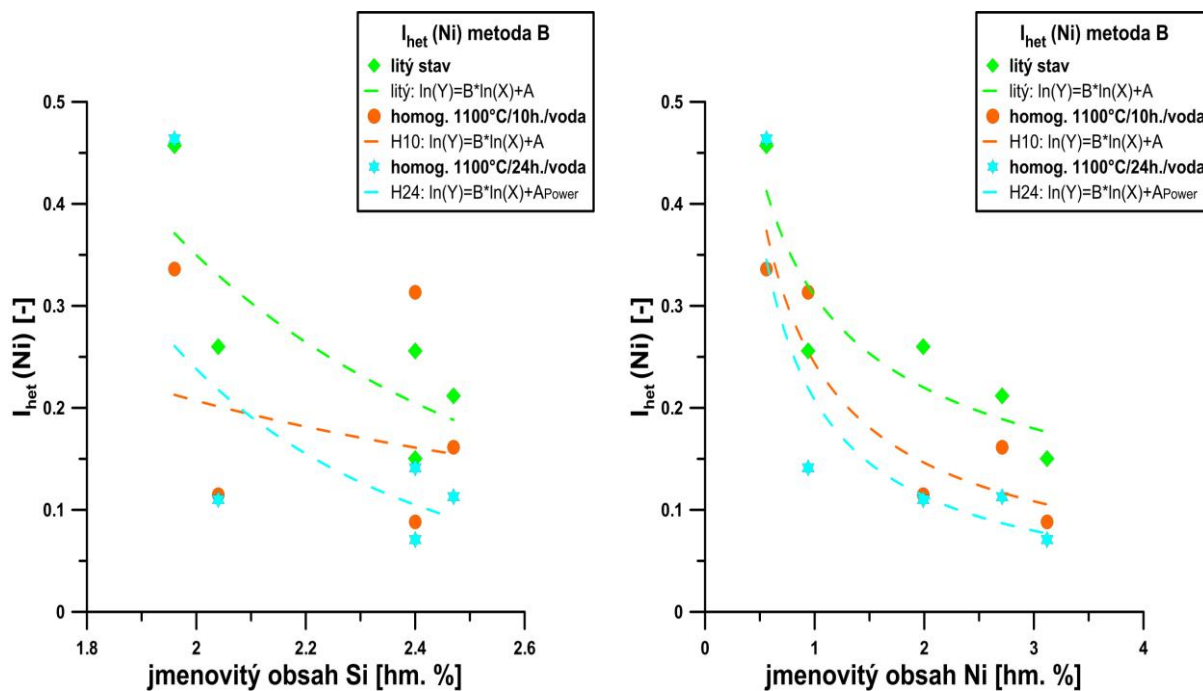
Obr. 84. Závislosti indexů heterogenity křemíku ve sledovaných stavech na jmenovitém obsahu obou sledovaných prvků. Metoda A.



Obr. 85. Závislosti indexů heterogenity niklu ve sledovaných stavech na jmenovitém obsahu obou sledovaných prvků. Metoda A.



Obr. 86. Závislosti indexů heterogenity křemíku ve sledovaných stavech na jmenovitém obsahu obou sledovaných prvků. Metoda B.



Obr. 87. Závislosti indexů heterogenity niklu ve sledovaných stavech na jmenovitém obsahu obou sledovaných prvků. Metoda B.

Graficky vynesené hodnoty závislostí indexů heterogenity sledovaných prvků u jednotlivých taveb byly pro znázornění tendence růstu/poklesu ve všech případech proloženy mocninnými funkcemi, které mají v tomto případě ve srovnání s ostatními základními funkcemi nejvyšší koeficient determinace.

8. DISKUSE VÝSLEDKŮ

Experiment byl zaměřen na porovnání různých metod měření koncentrace základních přísadových prvků, a to zejména dvou metod využívajících bodovou EDS mikroanalýzu – bodové analýzy v linii (lineární mikroanalýza) mezi dvěma zvolenými zrny grafitu a metody bodových analýz, vycházející z lineární paprskové mikroanalýzy, která spočívá v provedení bodových analýz v okolí grafitu v kombinaci s bodovými analýzami na styku tří eutektických buněk.

Cílem obou těchto postupů bylo naměřit experimentální data potřebná pro porovnání heterogenity matrice v litém stavu a stavu po homogenizačním žíhání. K tomuto účelu bylo zvoleno sestavení segregačních křivek a na základě statistického zpracování naměřených dat stanovení efektivního rozdělovacího koeficientu a indexu heterogenity v dosažených stavech u jednotlivých sledovaných taveb.

Dalším výstupem těchto experimentů je možnost prověřit vliv nominálních obsahů základních legujících prvků, tj. křemíku a niklu na segregační pochody, a tudíž na změnu stupně heterogenity jednotlivých přísadových prvků po homogenizačním žíhání.

8.1. EDS mikroanalýza

U vzorků ze všech pěti dostupných taveb s odstuňovaným obsahem niklu, jejichž chemické složení je uvedeno v tab. 1, bylo provedeno tepelné zpracování, spočívající v homogenizačním žíhání na teplotě 1100°C s odstupňovanou výdrží na této teplotě, a to po dobu 5, 10 a 24 hodin. Ve všech případech bylo po homogenizaci provedeno ochlazení do vody, aby byla minimalizována difúze a zafixován stav po provedeném homogenizačním žíhání. Tímto postupem vznikly, včetně vzorků v litém stavu, čtyři kompletní sady vzorků, na kterých byly prováděny experimenty. Základ experimentu spočíval v měření koncentrací jednotlivých legujících prvků, a to metodou energiové disperze s využitím analytického komplexu rastrovacího elektronového mikroskopu ve spojení s mikroanalýzátorem EDS.

U všech taveb byly analyzovány prvky: mangan, křemík, hořčík, chrom, nikl, měď a u tavby K25 navíc ještě molybden. Výsledky EDS analýz jsou uvedeny v kapitole 7.3.1. Pro další zpracování pak byly, s ohledem na limitní rozlišení použité metody, použity pouze prvky se spolehlivě detekovatelným obsahem ve všech tavných, tj. křemík a nikl.

Jak již bylo uvedeno výše, pro měření hodnot koncentrací byly použity dvě odlišné metody, a to liniová analýza (metoda A) a diskrétní bodové analýzy u grafitu a na styku tří eutektických buněk (metoda B). Z důvodu značné časové náročnosti prováděných měření na takto rozsáhlém souboru vzorků, kdy navíc u obou metod na každém vzorku byla proměřována, s cílem vyloučení případných anomálií, vždy tři na sobě nezávislá místa, nebyly obě metody aplikovány v plném rozsahu vzorkového

materiálu. Byl zvolen následující optimalizovaný postup, který umožnil popsat dostatečně spolehlivě hledané závislosti, aniž by bylo nutno nadměrně vytěžovat analytický komplex: Vzorky litého stavu byly proměřeny z pochopitelných důvodů oběma metodami, stejně tak i vzorky se střední dobou výdrže (10 hod.). Vzorky s nejdelší výdrží (24 hod.) byly proměřeny pouze časově relativně nejméně náročnou metodou B, vzorky s nejkratší výdrží (5 hod.) byly proměřeny časově náročnější metodou A.

Zjištěné hodnoty koncentrací, naměřené metodou A, jsou uvedeny v tabulkové části přílohy, pod označením tab. P1 až tab. P45 pro metodu A a pod označením tab. P46 až tab. P48 pro metodu B.

8.2. Statistické vyhodnocení naměřených dat

Pro vyhodnocení výsledků zjištěných oběma metodami na sadách vzorků s příslušným tepelným zpracováním bylo použito stanovení středních hodnot a směrodatných odchylek pro všechny sledované tavby a stavy.

Na základě hodnot uvedených v kapitole 7.3.2 je možno konstatovat několik následujících zjištění:

- z porovnáním litého a obou homogenizovaných stavů je naprosto jednoznačně patrná tendence ke snížení rozdílů v koncentracích obou sledovaných prvků po provedené homogenizaci;
- u křemíku se tato tendence nejvýrazněji projevila u tavby K1, která je charakterizována jeho nejnižším obsahem (směrné složení 1,96 hm.% Si);
- naopak u niklu je nejvýraznější tendence k vyrovnání segregace po homogenizaci patrná u tavby K4, tj. tavby s nejvyšším obsahem niklu (směrné složení 3,12 hm.% Ni);

8.3. Grafické zpracování naměřených dat

V kapitole 7.3.3 jsou pro oba sledované prvky graficky zpracovány závislosti $C_s = f(r)$, kde C_s je koncentrace příměsi v hm.% v tuhé fázi v i -tém bodě vzdálenosti mezi dvěma grafickými nodulemi. Jedná se tedy o zpracování výsledků, naměřených metodou A, a relevantní stavy jsou: litý, po homogenizaci 5 hodin a po homogenizaci 10 hodin.

Z uvedených grafických závislostí jsou zřetelně patrné rozdíly v segregaci sledovaných prvků na jednotlivých měřených stopách u stejného vzorku. Nicméně na většině průběhů v litém stavu lze zaznamenat zhruba ve středové oblasti stopy výrazný pokles koncentrací obou sledovaných prvků. Obzvláště výrazně můžeme tuto skutečnost pozorovat např. pro tavbu K1 na měření stopy 1 (závislost „K1L – stopa 1“ na obr. 34) u křemíku, pro tavbu K2 na měření stopy 2 a 3 u křemíku i niklu

(obr. 37), pro tavbu K25 na měření stopy 2 a 3 opět u obou sledovaných prvků (obr. 40), pro tavbu K3 na stopě 1 a 3 (obr. 43) a pro tavbu K4 na stopě 2 (obr. 46) shodně u křemíku i niklu. Tato minima nám umožňují vizuálně sledovat polohu rozhraní eutektických buněk, což je v plně v souladu s všeobecně uznávanou, např. [1], [2], [5], [21], [23], [31], a mnohokrát experimentálně prověřenou teorií segregace křemíku i niklu ve směru ke grafitu.

Vzhledem k tomu, že přímo z těchto grafických závislostí byl očekáván pouze semikvantitativní závěr, nebyl důvod maxima měřítek na koncentrační ose převádět na shodné hodnoty. Tento krok by naopak vedl k nižší čitelnosti jednotlivých souborů dat. Pro kvantitativní porovnání těchto dat pak slouží až následující zpracování, uvedené v kapitolách 7.3.4, 7.3.5 a zejména 7.3.6.

Ve srovnání se stavem litým můžeme pozorovat na koncentračních průbězích naměřených po obou sledovaných homogenizacích výrazně nižší rozptyl hodnot, což je opět v souladu s očekáváním. V některých případech můžeme ještě po homogenizaci s výdrží 5 hodin na stopách zaznamenat nepříliš výrazná minima koncentračních průběhů zhruba kolem střední části (v místě předpokládané polohy hranice eutektických buněk), což je patrné např. na stopě 3 u vzorku K2M5 (obr. 38), na stopě 2 u vzorku K25M5 (obr. 41), na stopě 2 a příp. i 3 u vzorku K3M5 (obr. 44), opět na stopě 2 u vzorku K4M5 (obr. 47). Na stopách měřených na vzorku tavby K1 tato tendence zachycena nebyla.

Ve druhé části kapitoly 7.3.3 byl definován objemový element jako bezrozměrné číslo z intervalu (0;1), dané relativní vzdáleností od hranice eutektické buňky po grafitickou noduli. Poté byly naměřené koncentrace na každé jednotlivé stopě seříděny podle Gungora [26] od nejmenší po největší a graficky zpracovány závislosti takto seříděných hodnot v objemovém elementu, tedy závislosti určené rovnicí $C_s = f(g)$, kde g je objemový element definovaný výše popsaným způsobem. Seřídění koncentrací podle Gungora znamená kromě přeskládání hodnot podle velikosti zároveň zrcadlové převrácení hodnot naměřených v první části stopy (tj. od grafitické nodule po hranici eutektické buňky) do druhé části stopy, což má mimo jiné za následek dvojnásobnou hustotu bodů přispívající např. přesnosti vykreslování segregáčních křivek (kap. 7.3.4 a 8.4).

Takto vynesené závislosti navíc již nejsou závislé na reálné délce měřené koncentrační stopy (vzdálenosti dvou grafitických nodulí, mezi nimiž byla bodová liniová analýza uskutečněna), ani na reálné poloze hranice eutektické buňky, a skýtají tak lepší možnosti vzájemného porovnání více měřených míst.

Z průběhů seříděných koncentrací přes objemový element je opět, a to ještě ve větší míře než z vynesených naměřených hodnot, patrný vliv homogenizačního žíhání na vyrovnání hladin segregace obou sledovaných prvků ve všech tavbách. Ani zde však nebylo záměrem výsledky kvantifikovat, a proto nebyly hodnoty na koncentračních osách upravovány na společné měřítko, stejně jako v případě vynesených závislostí naměřených hodnot.

Z těchto závislostí lze jen těžko vyjádřit nějaký soud o vzájemném porovnání stavu po 5 a 10 hodinovém homogenizačním žihání. Přesto však z průběhů setříděných koncentrací přes objemový element, kromě poznatku o výrazném snížení hladiny segregace už po žihání s výdrží 5 hodin, jeden zásadní poznatek vyplývá:

- homogenizační žihání na zvolené teplotě 1100°C má naprosto prokazatelně vyšší vliv na vyrovnání hladiny koncentrací u křemíku ve srovnání s vyrovnáním koncentrací u niklu, a to dokonce i v případech, kdy byla segregace křemíku v litém stavu výraznější než u niklu; tento poznatek je velmi dobře demonstrován u tavby K1 (obr. 49, kde je patrný strmější průběh koncentrační křivky pro křemík, vs. obr. 50, kde naopak strmější průběh vykazují koncentrační křivky pro nikl);
- uvedený efekt se projevuje naprosto jednoznačně už po homogenizaci s výdrží 5 hodin.

8.4. Vyhodnocení segregáčnických křivek

V kapitole 7.3.4 jsou uvedeny průběhy segregáčnických křivek, tj. závislostí $C_s/C_0 = f(\bar{C}_s)$, kde koncentrace příměsi v tuhé fázi je vztažena na střední hodnotu koncentrace sledovaného prvku na dané stopě, a to sumárně ze všech tří měřených linií. Takto definované segregáčnické křivky pak slouží k přímému porovnání sledovaného litého a obou homogenizovaných stavů, a v tomto případě bylo tedy nutno ujednotit měřítka na ose závislé proměnné (separátně pro každou sledovanou tavbu).

Až dosud se vyhodnocení rozdílů v jednotlivých stavech opíralo do značné míry o zkušenost v porovnávání grafických záznamů, a tudíž se jednalo o vyhodnocení s nepříliš vysokou mírou průkaznosti. Se vztažením okamžité koncentrace sledovaného prvku na její střední hodnotu (i když se jedná pouze o střední hodnotu měřených hodnot na stopě pro daný stav) došlo ve vyhodnocení ke značnému posunu a hodnoty je možno, vždy alespoň pro daný stav, považovat za normalizovány. Výsledné grafické průběhy takto normalizovaných koncentrací přes jednotkový element mají tudíž podstatně vyšší vypovídací schopnost. Zde je však nutno upozornit, že metoda umožňuje pouze vzájemné porovnání vzorků jedné tavby v jednotlivých sledovaných stavech, navíc s omezením (s ohledem na to, že střední hodnota koncentrace C_0 je pro každý ze sledovaných stavů poněkud odlišná), separátně pro každý sledovaný prvek.

Průběh vyrovnání segregace křemíku a niklu na vzorcích tavby K1 popisuje obr. 64, který vypovídá o výrazném vyrovnání segregace u křemíku už po výdrží 5 hodin a naopak o nepříliš velkém vlivu homogenizačního žihání na segregaci niklu, kde se výraznější změna neprojevila ani po 10-tihodinové výdrži na homogenizační teplotě.

Vyrovnání segregace sledovaných prvků na vzorcích tavby K2 je zobrazeno na obr. 65. Opět je zde možno pozorovat výraznější srovnání hladiny koncentrací u křemíku, a to už po 5-tihodinové výdrži na homogenizační teplotě, kde po 10

hodinách žíhání opět nedošlo k viditelnější změně. Naproti tomu u niklu je možno konstatovat mírnější vyrovnání hladiny koncentrací s tím, že po 10 hodinách homogenizace se opět žádné výraznější snížení segregace neprojevovalo, spíše by se dala, ovšem velmi opatrně, vyslovit domněnka o opačné tendenci, tj. o zdánlivém nárůstu heterogenity.

U vzorků tavby K25, jejichž chování v průběhu homogenizace popisuje pomocí segregáčnických křivek obr. 66, je možno konstatovat pro křemík stejné poznatky, jako u tavby K2, tj. výrazný vliv homogenizace už po 5 hodinách výdrže (bez další patrné změny po 10 hodinách výdrže). Jinak je tomu (ve srovnání s předchozími konstatováními) pro nikl. U tavby K25 došlo, poprvé ze sledovaných dějů, k výrazné homogenizaci (naprosto srovnatelné s tendencí u křemíku) už po 5 hodinách výdrže na homogenizační teplotě. Průběh segregáčnické křivky niklu pro vzorek K25M5 se velmi výrazně přiblížil hodnotě $C_s/C_0 = 1$, která představuje ideální stav, tj. nulovou segregaci. U výdrže 10 hodin opět nebyla pozorována prokazatelná změna.

Průběh vyrovnání segregace jednotlivých prvků u vzorků tavby K3 popisuje obr. 67. S rostoucím jmenovitým obsahem prvků logicky roste i střední hodnota koncentrace na jednotlivých stopách C_0 , a segregáčnické křivky se v důsledku toho stávají i v litém stavu plošší. Nicméně i zde je již po 5 hodinách výdrže na homogenizační teplotě jednoznačně patrné velmi výrazné vyrovnání segregace, a to jak u křemíku, tak i niklu. U vzorků této tavby je však navíc detekována nová skutečnost: zatímco segregace niklu se po 10 hodinách homogenizace nijak prokazatelně nemění, stejná doba výdrže u křemíku způsobuje další vyrovnání heterogenity ve srovnání se stavem po homogenizaci s 5-tihodinovou výdrží.

U vzorků tavby K4, jejichž chování v průběhu homogenizace popisuje pomocí segregáčnických křivek obou sledovaných prvků obr. 68, je možno vyslovit obdobná zjištění, jako tomu je u vzorků tavby K3. Tedy: výrazná homogenizace jak křemíku, tak i niklu, a to již po 5 hodinách výdrže na homogenizační teplotě s tím, že k dalším prokazatelným změnám u niklu už nedochází ani po 10 hodinách výdrže; oproti tomu u křemíku je, s prodloužením výdrže na 10 hodin, pozorovatelné další vyrovnání koncentračního profilu (vyjádřeného zde pomocí segregáčnické křivky).

8.5. Efektivní rozdělovací koeficienty a jejich průběh v objemovém elementu

Kapitola 7.3.5 se zabývá stanovením průběhů efektivních rozdělovacích koeficientů, které jsou definovány vztahem (35), v závislosti na poloze v definovaném jednotkovém objemovém elementu g , zkoumá tedy závislosti $k_{ef}^i = f(\xi)$. Vzhledem k tomu, že takto definovaný efektivní rozdělovací koeficient (je vztažen na minimální koncentraci relevantního prvku na dané stopě, tj. vždy celkovou minimální hodnotu pro tři měřené linie v daném stavu) má pouze semikvantitativní vypovídací schopnost, byly opět osy závislých proměnných upraveny na společné měřítko vždy pouze v rámci dané tavby.

Výsledky předkládané práce jsou v částečném souladu s [15], kde průběhy efektivních rozdělovacích koeficientů korespondují se změřenými segregačními křivkami. Průběhy efektivních rozdělovacích koeficientů v objemovém elementu neposkytují, stejně jako průběhy segregačních křivek, kompletní informaci o vyrovnávání chemické heterogenity v průběhu homogenizace matrice.

Opět zde, s odkazem na závislosti uvedené na obr. 69 až obr. 73, můžeme vyslovit pouze obdobná zjištění jako v předcházející kapitole. V případě průběhů takto definovaného efektivního rozdělovacího koeficientu však navíc ještě dalším omezením, které vylývá z faktu, že je zde koncentrace v i -tém bodě měření vztažena vždy k minimální hodnotě dané stopy (která zdaleka nedosahuje „objektivitu“ střední hodnoty na stopě). Průběhy v litém a jednotlivých homogenizovaných stavech tudíž nejsou mezi sebou vzájemně porovnatelné ani na té úrovni, na které byly porovnatelné v případě segregačních křivek.

Ve prospěch tohoto tvrzení hovoří hned zkraje např. porovnání závislosti k_{ef} pro nikl u tavby K1 v litém stavu a stavu po homogenizaci s 5-tihodinovou výdrží, kdy by se z pouhého grafického vyjádření bez znalosti širších souvislostí dalo dojít k naprosto mylnému závěru, že heterogenita po homogenizaci vzrostla. Přitom tento fakt je velmi jednoduše zdůvodnitelný velkým rozsahem hodnot naměřených koncentrací niklu pro daný vzorek (0,1 až 0,82 hm.%), což je při poměrně nízkém jmenovitém obsahu niklu v tavbě (0,56 hm.%) snadno pochopitelný fakt.

Ukazuje se tedy, že stanovování průběhů efektivních rozdělovacích koeficientů, definovaných vztahem (35), není v případě posuzování kinetiky homogenizačního procesu tím nejvhodnějším řešením.

8.6. Normované rozdělovací koeficienty, stanovení a průběh v objemovém elementu

Úvahy, uvedené v předcházející kapitole, evokovaly nutnost najít alternativní řešení, tj. jinou možnost vyjádření rozdělovacího koeficientu, tak aby bylo možno jeho pomocí popsat kinetiku homogenizačního procesu. Tento postup vedl posléze v kapitole 7.3.6 k zavedení nového pojmu tzv. normovaného rozdělovacího koeficientu k_{ef}^N , definovaného vztahem (36), který porovnává koncentraci v i -tém bodě měření posloupnosti se jmenovitým obsahem sledovaného prvku. Tento postup byl autorkou předkládané práce zvolen jako zřejmě neobjektivnější možnost pro vzájemné porovnání hodnot rozdělovacího koeficientu relevantních prvků na jednotlivých vzorcích, tedy stavů sledovaných materiálů. Zavedení pojmu normovaný rozdělovací koeficient tedy ve svém důsledku umožnilo provést posouzení kinetiky homogenizačního procesu.

Takto definovaný rozdělovací koeficient zároveň, jako jediný z dosud uvedených parametrů, umožňuje i vzájemné porovnání zjištěných hodnot mezi jednotlivými tavbami, protože se díky tomu, že je vztažen na jmenovitý obsah prvku, stává nezávislým na absolutní hodnotě koncentrace.

Z tohoto důvodu byly při grafickém zpracování závislostí pro větší přehlednost dodrženy shodné rozsahy na ose závislé proměnné. Porovnání průběhů normovaných rozdělovacích koeficientů v objemovém elementu pro litý stav a stavy po provedeném homogenizačním žíhání s výdrží 5 a 10 hodin na teplotě 1100°C, jsou patrná z obr. 74 až obr. 78. Pro diskusi těchto závislostí je třeba si uvědomit, že dokonale zhomogenizovaný stav je charakterizován hodnotou $k_{ef}^N = 1$.

Pro lepší možnost vzájemného porovnání rozpětí hodnot normovaného rozdělovacího koeficientu pro jednotlivé tavby a stavy u obou sledovaných prvků, je přehled těchto hodnot uveden v následující tab. 13

Tab. 13. Intervaly hodnot normovaných rozdělovacích koeficientů

Tavba	Stav	jmenovitý obsah prvku		k_{ef}^N (Si)		k_{ef}^N (Ni)	
		%Si	%Ni	min	max	min	max
K1	L	1,96	0,56	0,32	1,32	0,19	1,32
K2	L	2,40	0,94	0,57	1,46	0,30	1,67
K25	L	2,04	1,99	0,53	2,10	0,53	1,65
K3	L	2,47	2,71	0,11	1,41	0,65	1,39
K4	L	2,40	3,12	0,28	1,82	0,80	1,59
Tavba	Stav	jmenovitý obsah prvku		k_{ef}^N (Si)		k_{ef}^N (Ni)	
		%Si	%Ni	min	max	min	max
K1	M5	1,96	0,56	0,94	1,72	0,14	1,35
K2	M5	2,40	0,94	0,39	1,40	0,56	1,84
K25	M5	2,04	1,99	0,21	1,93	0,74	1,31
K3	M5	2,47	2,71	0,23	1,26	0,58	1,14
K4	M5	2,40	3,12	0,33	1,25	0,51	1,49
Tavba	Stav	jmenovitý obsah prvku		k_{ef}^N (Si)		k_{ef}^N (Ni)	
		%Si	%Ni	min	max	min	max
K1	M10	1,96	0,56	0,39	1,38	0,33	1,58
K2	M10	2,40	0,94	0,23	1,05	0,59	1,26
K25	M10	2,04	1,99	0,66	1,13	0,84	1,20
K3	M10	2,47	2,71	0,24	1,30	0,89	1,34
K4	M10	2,40	3,12	0,33	1,20	0,91	1,35

Největší rozpětí hodnot normovaných rozdělovacích koeficientů bylo ve všech stavech zjištěno u tavby K1, tedy tavby s nejnižšími jmenovitými obsahy prvků. S rostoucími jmenovitými obsahy prvků se tato rozpětí snižují. Uvedená skutečnost bezesporu souvisí s relativně vyšší přesností měření při vyšších hodnotách koncentrací sledovaných prvků.

Následující část diskuse výsledků je zaměřena na posouzení kinetiky homogenizačního procesu u jednotlivých sledovaných taveb.

U tavby K1 došlo u křemíku k jeho téměř dokonalé homogenizaci již po 5 hodinách výdrže, oproti tomu homogenizace niklu (směrné složení 0,56 hm.%) probíhala ve velmi malém měřítku i po 10 hodinách výdrže.

U tavby K2 došlo opět k velmi dobré homogenizaci křemíku již po 5 hodinách výdrže, po 10 hodinách bylo, ve srovnání s výsledky 5-ti hodinové homogenizace, pozorováno pouze nepatrné snížení mikrosegregace křemíku. U niklu (směrné složení 0,94 hm.%) byla homogenizace v obou případech úspěšná pouze částečně s tím, že po 10 hodinách výdrže bylo možno pozorovat mírnou tendenci ke zlepšení. Na tomto místě lze však konstatovat, že ve srovnání s homogenizací niklu u tavby K1 bylo u tavby K2 dosaženo podstatně výraznějšího vyrovnání chemické mikroheterogenity.

U tavby K25 s nižším jmenovitým obsahem křemíku než u tavby K2 se tato skutečnost promítla i do výsledků homogenizačního procesu. Zdánlivě nejlepšího výsledku bylo dosaženo po 5 hodinách homogenizace, po 10 hodinách nebylo pozorováno žádné výrazné zlepšení stavu. U niklu (zhruba dvojnásobný jmenovitý obsah ve srovnání s K2) bylo tentokrát dosaženo relativně dobrých výsledků už po 5 hodinách homogenizace, a po 10 hodinách došlo k dalšímu vyrovnání jeho chemické mikroheterogenity, což dokazují mimo grafické závislosti průkazněji hodnoty uvedené v tab. 13.

U tavby K3 bylo u křemíku (srovnatelný obsah s K2) dosaženo téměř dokonalé homogenizace už po 5 hodinách výdrže na homogenizační teplotě, bez dalšího patrného zlepšení po 10 hodinách výdrže. U niklu (směrné složení 2,71 hm.% ve srovnání s 1,99 hm.% u tavby K25) bylo opět dosaženo velmi dobrých výsledků ve vyrovnání chemické mikroheterogenity už po 5 hodinách homogenizace, a po 10 hodinách došlo k dalšímu vyrovnání, viz tab. 13, což ale bohužel bylo provázáno mírným posunem závislosti směrem k vyšším hodnotám. Tenot fakt poněkud komplikuje interpretaci výsledků a činí je pro vyjádření závěru o celkové tendenci mírně diskutabilními.

U tavby K4 bylo u křemíku (shodný obsah s K2 a srovnatelný s K3) dosaženo velmi kvalitní homogenizace po 5 hodinách výdrže s tím, že po 10 hodinách došlo ještě k dalšímu mírnému pozorovatelnému vyrovnání chemické mikroheterogenity. U niklu (směrné složení 3,12 hm.%) bylo po 5 hodinách výdrže dosaženo pouze částečné homogenizace, po 10 hodinách došlo sice k velmi výraznému zlepšení, avšak ani po takto dlouhé výdrži nebylo dosaženo u niklu stejně kvalitního vyrovnání chemické mikroheterogenity jako u křemíku.

8.7. Závislosti efektivních rozdělovacích koeficientů na jmenovitých obsazích prvků

V návaznosti na práce Fleminga a Treshe, kteří posuzovali rozsah chemické heterogenity tzv. stupněm odmišení, definovaným jako poměr maximální a minimální koncentrace přísadového prvku, Dorazil [1] s odvoláním na Drápala a Turkdogana uvádí tzv. efektivní koeficient odmišení jako poměr koncentrace přísady ve středu a na okraji eutektické buňky jako nejhodnější parametr pro posouzení segregace v matici litiny. Takto definovaný koeficient určuje nejen velikost, ale i směr segregace. Grafitotvorné prvky se soustřeďují ve středových oblastech eutektických buněk (u grafitu) a mají hodnotu $k_{ef} > 1$. Oproti tomu karbidotvorné prvky, soustřeďující se na okraji eutektické buňky, se vyznačují $k_{ef} < 1$.

V předkládané práci byl tento princip využit ze dvou různých úhlů pohledu, a to v kapitole 7.3.7.

První varianta vychází z dosud diskutovaných výsledků, kdy do uvedeného principu bylo navíc zapracováno setřídění naměřených hodnot podle Gungora [26], tato varianta je v práci označena jako metoda A. Pak výsledky takto získaných efektivních rozdělovacích koeficientů, definovaných vztahem (37), je možno prezentovat nejen v tabelární podobě, porovnávající hodnoty efektivních rozdělovacích koeficientů, vyjádřených jako podíl maxim a minim na daných stopách, a jejich směrodatných odchylek (tab. 6), ale stejně tak i v podobě závislostí takto stanovených hodnot k_{ef}^A na jmenovitém obsahu obou sledovaných prvků, uvedených na obr. 80 a obr. 81.

Druhá varianta používá výsledků měření koncentrací v diskretních bodech v okolí grafitických nodulí, které porovnává s koncentracemi naměřenými na styku tří eutektických buněk (metoda B). Efektivní rozdělovací koeficient k_{ef}^B je dán definičním vztahem (38). Rovněž v tomto případě byla na základě provedených výpočtů sestavena porovnávací tab. 7, obsahující střední hodnoty a směrodatné odchylky takto stanovených efektivních rozdělovacích koeficientů, a zkonstruovány závislosti hodnot k_{ef}^B na jmenovitém obsahu obou sledovaných prvků, které jsou uvedeny na obr. 82 a obr. 83.

Dorazil v [1] zdůvodňuje přesnější výsledky měření metodou B skutečností, že koncentrace přísady v sousedství grafitu, zjišťovaná ve větším počtu eutektických buněk, není pro dané jmenovité složení litiny výrazně odlišná, ve srovnání s faktem, že koncentrace přísady podél hranice eutektické buňky se může velmi podstatně měnit. Dále uvádí, že na hranici dvou sousedních buněk nebyla nalezena ve srovnání s oblastí grafitu koncentrace výrazně rozdílná, v místě styku tří nebo více buněk se vyskytuje extrémní hodnota koncentrace. Na základě měření provedených v rámci předkládané práce takto jednoznačné výsledky ve prospěch metody B zjištěny nebyly. Naopak lze konstatovat, že hodnoty k_{ef}^B byly pro všechny srovnatelné kombinace nižší než hodnoty k_{ef}^A . Zmíněná skutečnost může být zapříčiněna subjektivním přístupem v určení místa měření na styku tří eutektických buněk. Tato chyba nemůže být vnesena do měření metodou A, ponevadž linie mezi dvěma zrny grafitu je jednoznačně definována.

Na tomto místě je nutno podotknout, že pro zpracování metodou B byla v práci [1], na rozdíl od této předkládané práce, použita značně časově náročná metoda lineární sít'ové a křížové analýzy, která umožnila metodou vykreslení vrstevnicových koncentračních diagramů naprosto přesné stanovení místa styku tří nebo více eutektických buněk.

Ze zpracovaných grafických závislostí hodnot efektivních rozdělovacích koeficientů na jmenovitém obsahu obou sledovaných prvků bylo získáno několik následujících poznatků:

- hodnoty k_{ef}^A (Si) v litém stavu jsou mírně (přímo úměrně) determinovány jmenovitým obsahem křemíku a niklu v tavbě, ve stavech po homogenizaci jsou na jmenovitém obsahu křemíku a niklu v zásadě nezávislé;

- hodnoty k_{ef}^A (Ni) jak v litém stavu, tak i ve stavech po homogenizaci jsou determinovány jmenovitým obsahem křemíku a niklu v matici nepřímo úměrnou závislostí;
- obdobně hodnoty k_{ef}^B (Si) na jmenovitém obsahu křemíku a niklu v matici prakticky nezávisí;
- hodnoty k_{ef}^B (Ni) vykazují ve srovnání s výsledky zjištěnými metodou A nepřímou závislost pouze na jmenovitém obsahu křemíku, a to pouze v litém stavu, ve všech ostatních případech mají průběhy jak závislosti na jmenovitém obsahu křemíku, tak i niklu mírně stoupající (přímo úměrnou) tendenci;

Další poznatky, které lze na tomto místě vyslovit, jsou poněkud obecnějšího charakteru:

- rozdíl mezi hodnotami $k_{ef}(M)$ litého a homogenizovaného stavu představuje stupeň heterogenity a ukazuje na přerozdělování sledovaných prvků při tepelném zpracování;
- stupeň heterogenity je u taveb s nižšími obsahy křemíku a niklu vyšší;

Ke vzájemnému porovnání obou použitých metod lze na základě provedených experimentů konstatovat:

- výsledky zjištěné dle metody A ukazují na nedokonalou homogenizaci, zatímco dle metody B na téměř dokonalou homogenizaci ($k_{ef}^B \rightarrow 1$), což znamená, že metody skutečně nejsou rovnocenné;
- metoda A sice neumožňuje přesně určit polohu hranice eutektické buňky, takže stanovení $k_{ef}^A(M)$ by mělo, pouze zdánlivě, být zatíženo větší chybou, avšak použijeme-li pro analýzu koncentrace setříděné podle Gungora, tento negativní efekt je zcela eliminován;
- z uvedeného plyne, že z těchto dvou použitých metod je za objektivnější, a ve svém důsledku tudíž i přesnější, metodu možno považovat metodu A, tedy metodu liniových analýz mezi dvěma grafitickými nodulemi.

8.8. Statistická analýza měření koncentrací po homogenizaci s výdrží 10 a 24 hodin

S ohledem na skutečnost, že ve většině sledovaných případů nedošlo u niklu k uspokojivému vyrovnání chemické mikroheterogenity ani po 10-tihodinové výdrži na homogenizační teplotě, bylo provedeno na další sérii vzorků homogenizační žíhání s extrémní dobou výdrže na homogenizační teplotě, a to 24 hodin. Hodnoty koncentrací obou sledovaných prvků na této sérii vzorků byly stanovovány časově méně náročnou metodou B.

S ohledem na skutečnost, že porovnání výsledných hodnot efektivních rozdělovacích koeficientů (tab. 7), ani následné grafické zpracování závislostí efektivních rozdělovacích koeficientů (obr. 82 a obr. 83), uvedené v kapitole 7.3.8, neumožnilo vyslovit jednoznačný závěr o optimální délce výdrže na homogenizační teplotě, byla

naměřená data podrobena statistické analýze. Souhrn testování shody statisticky významných rozdílů na hladině významnosti 0,05 je uveden v tab. 8. Vyplývá z něj, že žádná shoda statisticky významných rozdílů nebyla zjištěna, a že tudíž prodlužování výdrže na homogenizační teplotě nemá reálný dopad na výsledné vyrovnání chemické mikroheterogenity jak u křemíku, tak ani u niklu.

8.9. Stanovení indexů heterogenity

Další možností porovnání výsledků homogenizačního žíhání je stanovení indexů heterogenity, které vychází ze základního definičního vztahu (23). Stanovení indexů heterogenity lze použít jak pro hodnoty koncentrací naměřené metodou A, kdy je základní definiční vztah modifikován do tvaru uvedeného v rovnici (44), i pro hodnoty naměřené metodou B, pro kterou je definiční vztah modifikován v rovnici (45). Přesný použitý postup určení I_{het} , stejně jako dosažené výsledky v tabelární podobě uvádí kapitola 7.3.9.

Numericky lze výsledky výpočtů indexů heterogenity oběma použitými metodami vzájemně porovnat pro litý stav a stav po homogenizaci s výdrží 10 hodin.

V litém stavu bylo pro křemík dosaženo oběma metodami téměř shodných výsledků s tím, že hodnoty získané metodou B byly o poznání vyšší, stejně tak i pro nikl (s výjimkou K2, kdy byla metodou B zjištěna hodnota nepatrně nižší).

Ve stavu po homogenizaci s výdrží 10 hodin už stejný poznatek vyslovit nelze. Výsledky dosažené metodou B byly ve srovnání s metodou A pro křemík výrazně vyšší (násobek se pohyboval od zhruba 0,5 u tavby K25 až po extrémní hodnotu téměř trojnásobku u tavby K3). Pro nikl byly hodnoty zjištěné metodou B opět vyšší, ovšem zdaleka ne tak výrazně jako u křemíku, extrémnější hodnoty, blíží se dvojnásobku, byly zaznamenány u taveb K2 a K3.

I tyto výsledky tedy hovoří ve prospěch již vyslovené teorie o různých výstupech dosažených metodou A a metodou B, jak bylo uvedeno výše.

8.10. Závislost indexů heterogenity na jmenovitých obsazích prvků

V další kapitole 7.3.10 byly opět zpracovány závislosti stanovených hodnot na jmenovitém obsahu obou sledovaných prvků pro všechny relevantní případy. obr. 84 a obr. 85 popisují uvedenou závislost indexů heterogenity křemíku a niklu pro metodu měření A. Z těchto závislostí vyplývá několik následujících poznatků:

- index heterogenity křemíku v litém stavu se zvyšujícím se jmenovitým obsahem obou sledovaných prvků klesá;
- v homogenizovaném stavu (pro obě doby výdrže) je závislost indexu heterogenity křemíku na jmenovitých obsazích sledovaných prvků nevýrazná, a tudíž neprokazatelná;

- index heterogenity niklu jak v litém stavu, tak i v obou sledovaných homogenizovaných stavech, se zvyšujícím se jmenovitým obsahem obou sledovaných prvků klesá, přičemž tendence je výraznější v závislosti na odstupňovaném obsahu niklu, což lze jednoduše zdůvodnit větším koncentračním intervalem, v němž se jmenovité obsahy niklu pohybují (ve srovnání s intervalem výskytu jmenovitých obsahů křemíku);

Závislost indexů heterogenity křemíku a niklu pro metodu měření B popisují obr. 86 a obr. 87. Rovněž porovnáním těchto závislostí lze dospět k několika následujícím zjištěním:

- závislosti indexů heterogenity křemíku u niklu v litém stavu na obou sledovaných prvcích s rostoucí hodnotou jmenovité koncentrace příměsí klesají, stejně jako bylo zjištěno u výsledků získaných metodou A;
- závislosti indexů heterogenity křemíku u niklu ve stavu po homogenizaci s výdrží 24 hodin mají obdobnou tendenci jako závislosti pro litý stav (pouze číselné hodnoty indexů heterogenity jsou pochopitelně ve srovnání s litým stavem nižší);
- do uvedeného schématu naprosto nezapadají hodnoty zjištěné metodou B ve stavu po homogenizaci s výdrží 10 hodin, kdy se u závislosti $I_{het}(Si) = f(\%Si)$ objevuje s nárůstem jmenovitého obsahu Si dokonce nárůst hodnot I_{het} . Naopak u obou závislostí $I_{het}(Ni) = f(\%Si, Ni)$ je patrný s růstem jmenovitého obsahu příměsí pokles hodnot I_{het} , obdobně, jako tomu bylo u závislostí zjištěných metodou A. U závislosti $I_{het}(Si) = f(\%Ni)$ nelze trend stanovit vůbec.

Obecně lze říci, že vyšší indexy heterogenity byly oběma metodami prokázány u niklu, a to nejen v litém, ale i homogenizovaných stavech, a že jednoznačně popsitelné trendy lze sledovat na výsledcích měření stanovených metodou A, tj. liniovou analýzou mezi dvěma grafitickými nodulemi s následným setříděním naměřených dat podle Gungora.

9. ZÁVĚR

V předkládané práci bylo na pěti tavných s odstupňovaným obsahem niklu studováno z pohledu postupného vyrovnávání chemické mikroheterogenity chování litiny s kuličkovým grafitem v průběhu homogenizačního žhání.

Četná měření rozdělovacích koeficientů, jako nejběžněji používaných indikátorů mikrosegregace, u grafitických litin ukazují, že prvky, které zvyšují termodynamickou aktivitu uhlíku, se soustřeďují u grafitu, a po ukončení krystalizace je jeho hodnota $k_{ef}(M) > 1$. Jedná se o Si, Ni, Cu, Mg, P, S, Al i Co. Naopak karbidotvorné prvky jako Mn, Cr, V a Mo s veličinou zpravidla $k_{ef}(M) < 1$ se soustřeďují na hranici eutektické buňky.

Dosavadní zkušenosti ukazují, že spolehlivě reprodukovatelné výsledky stanovení $k_{ef}(M)$ je možno očekávat pouze při obsazích přísadových prvků řádově v jednotkách hmotnostních procent. Při menších obsazích (v rámci desetin procent) vzniká vzhledem k heterogenitě matrice LKG značná směrodatná odchylka. Z uvedeného důvodu byla předkládaná práce zaměřena pouze na křemík a nikl, a nikoliv na další doprovodné prvky.

Pro měření koncentrací sledovaných prvků byla použita metoda EDS analýzy s tím, že analýzy byly prováděny ve dvou různých uspořádáních: první metoda, označená A, vycházela z měření koncentrací v linii mezi dvěma grafitickými nodulemi s následným uspořádáním naměřených hodnot podle Gungora, druhá metoda, označená B, vycházela z měření diskrétních bodových analýz v oblasti předpokládaných extrémů, tj. v okolí grafitu a na styku tří eutektických buněk.

Data naměřená metodou A byla statisticky vyhodnocena, graficky zpracována do závislostí na reálné vzdálenosti i jednotkovém objemovém elementu, byly na nich sestrojeny a vyhodnoceny segregační křivky, byly stanoveny efektivní rozdělovací koeficienty a zkonstruován jejich průběh v objemovém elementu. Dále byl zaveden pojem normovaného rozdělovacího koeficientu, stanoveny jeho hodnoty a graficky zpracovány jeho průběhy v objemovém elementu.

Pro data naměřená oběma metodami byly zkonstruovány a porovnány závislosti efektivních rozdělovacích koeficientů na jmenovitých obsazích obou sledovaných prvků v jednotlivých tavných, stejně tak byly stanoveny indexy heterogenity a zpracovány jejich obdobné závislosti.

Pro optimalizaci doby výdrže na homogenizační teplotě byla použita metoda zjišťování shody výskytu statisticky významných rozdílů pro tři nezávislé metody statistické analýzy, a to t-test, Wilcoxonův test a Kolmogorovův-Smirnovův test.

Na základě provedených experimentálních prací a jejich vyhodnocení lze vyslovit následující závěry:

- ❖ z porovnáním litého a obou homogenizovaných stavů je naprosto jednoznačně patrná tendence ke snížení rozdílů v koncentracích obou sledovaných prvků po provedené homogenizaci;
- ❖ u křemíku se tato tendence nejvýrazněji projevila u tavby K1, která je charakterizována jeho nejnižším obsahem (směrné složení 1,96 hm.% Si);
- ❖ naopak u niklu je nejvýraznější tendence k vyrovnání segregace po homogenizaci patrná u tavby K4, tj. tavby s nejvyšším obsahem niklu (směrné složení 3,12 hm.% Ni);
- ❖ homogenizační žíhání na zvolené teplotě 1100°C má naprosto prokazatelně vyšší vliv na vyrovnání hladiny koncentrací u křemíku ve srovnání s vyrovnáním koncentrací u niklu, a to dokonce i v případech, kdy byla segregace křemíku v litém stavu výraznější než u niklu. Uvedený efekt se projevuje naprosto jednoznačně už po homogenizaci s výdrží 5 hodin;
- ❖ stanovování segregáčnických křivek a průběhů efektivních rozdělovacích koeficientů, definovaných jako poměr koncentrace v průběhu měřené stopy k minimální hodnotě koncentrace na této stopě, není v případě posuzování kinetiky homogenizačního procesu dostatečně vhodným řešením;
- ❖ zavedený normovaný rozdělovací koeficient, který porovnává koncentraci v průběhu měřené stopy se jmenovitým obsahem sledovaného prvku, lze považovat za neobjektivnější možnost porovnání hodnot relevantních prvků pro posouzení kinetiky homogenizačního procesu;
- ❖ největší rozpětí hodnot normovaných rozdělovacích koeficientů byla ve všech stavech zjištěna u tavby K1, tedy tavby s nejnižšími jmenovitými obsahy prvků. S rostoucími jmenovitými obsahy prvků se tato rozpětí snižují. Uvedená skutečnost bezesporu souvisí s relativně vyšší přesností měření při vyšších hodnotách koncentrací sledovaných prvků;
- ❖ jako další vhodná metoda pro porovnání jednotlivých stavů v průběhu homogenizace bylo potvrzeno stanovení indexu heterogenity, definovaného jako poměr směrodatné odchylky ke střední hodnotě analyzovaného souboru dat;
- ❖ ze dvou použitých metod zjišťování koncentrací je za objektivnější, a ve svém důsledku tudíž i přesnější, metodu možno považovat metodu A, tedy metodu liniových analýz mezi dvěma grafitickými nodulemi s následným setříděním hodnot podle Gungora;

- ❖ pro křemík došlo k téměř dokonalé homogenizaci již po 5 hodinách výdrže, oproti tomu homogenizace niklu neproběhla zcela dokonale ani po 10 hodinách výdrže;
- ❖ ze statistické analýzy vyplynula skutečnost, že další prodlužování výdrže na homogenizační teplotě nemá reálný dopad na výsledné vyrovnání chemické mikroheterogenity jak u křemíku, tak i u niklu, a je tudíž bezpředmětné;
- ❖ za optimalizovaný postup homogenizačního žíhání na teplotě 1100°C lze z hlediska vyrovnání mikrosegregace křemíku prohlásit jednoznačně dobu výdrže 5 hodin; pro vyrovnání mikrosegregace niklu je potřebná delší výdrž na homogenizační teplotě, a to alespoň 10 hodin. Z pohledu minimalizace finančních nákladů a nebezpečí příliš výrazného zhrubnutí zrna s nepříznivým dopadem na mechanické vlastnosti není v žádném případě žádoucí tuto dobu prodlužovat.

10. LITERATURA

- [1] DORAZIL, E. *High Strength Austempered Ductile Cast Iron*. Praha: ACADEMIA, 1985. 172 s.
- [2] SKOČOVSKÝ, P., PODRÁBSKÝ, T. *Grafitické liatiny*. Žilina: EDIS – vydavateľstvo ŽU, 2005. 168 s.
- [3] ZHOU, J., SCHNITZ, W., ENGLER, S. *Giesserei-Forschung*, 1987. 2, 55 s.
- [4] ZHENHUA, Z., WEITE, CH. In *53. světový slévárenský kongres*. Praha. 1986. 67s.
- [5] SKOČOVSKÝ, P., ŠIMAN, I. *Štruktúrna analýza liatin*. Bratislava: ALFA, 1989.
- [6] GEDEONOVÁ, Z., JELČ, I. *Metalurgia liatin*. HF TU Košice, 2000.
- [7] KARSAY, S.I. *Tvárna liatina I – výroba*. Žilina: FOMPEX/ES VŠDS, 1995.
- [8] PLÁNIČKA, F., BOSMAN, O. *Progresivní nástroje pro nové konstrukční materiály*. MM Průmyslové spektrum 2008 / 4. Praha: MM publishing, 2008, s. 22
- [9] DORAZIL, E.; PODRÁBSKÝ, T.; ŠVEJCAR, J.: Microinhomogeneity of low-alloy austempered ductile cast iron matrix. *AFS Transactions*, 90-13, 1990, s. 765-774.
- [10] ČSN EN 1563. *Slévárství – Litiny s kuličkovým grafitem*. Praha: Český normalizační institut, 1999.
- [11] ČSN EN 1564. *Slévárství - Izotermicky kalené litiny s kuličkovým grafitem*. Praha: Český normalizační institut, 1999.
- [12] DORAZIL, E., PODRÁBSKÝ, T., ŠVEJCAR, J. *Giesserei-Praxis*, 3/4, 1987, s. 23
- [13] DORAZIL, E., PODRÁBSKÝ, T., ŠVEJCAR, J. *AFS Transactions*, 1990, 13, 765 s.
- [14] DORAZIL, E., PODRÁBSKÝ, T., ŠVEJCAR, J. *Strojírství*, 40, 1990, 6, 342 s.
- [15] DOBROVSKÁ, J. *Chemická heterogenita kovových slitin*. 2005. 124 s.
- [16] KRAFT, T., CHANG, Y. A. *JOM*, December 1997, s. 20-28.
- [17] RAPPAZ, M. *Int. Mater. Rev.* 1989, No. 34, s. 93-132.
- [18] STEFANESCU, D. M. *ISIJ Int.* 1995, No. 35, s. 637-650.
- [19] BATTLE. T. P. *Int. Mater. Rev.* 1992, No. 37, s. 249-270.

- [20] KRAFT, T., EXNER, H. E. *Metallkd.* 1996, No. 87, s. 598-611.
- [21] PTÁČEK, L., et al. *Nauka o materiálu II.* 2002. 392 s.
- [22] VĚCHET, S., KOHOUT, J., BOKŮVKA, O. *Únavové vlastnosti tvárné litiny.* 2001. 157 s.
- [23] ŠMRHA, L. *Tuhnutí a krystalizace ocelových ingotů.* Praha: SNTL, 1983. 308 s.
- [24] PFANN, G. *Zone Melting,* New York, 1957.
- [25] WAGNER, C. J. *Journal of Metals.* 1954, č. 2, s. 154-160.
- [26] GUNGOR, M. N. *Metall. Trans A.* 1989, vol. 20A, s. 2529-2538.
- [27] DORAZIL, E., VĚCHET, S., KOHOUT, J. *Litina s kuličkovým grafitem a její vysokopevná varianta – ADI.* Slévárenství, 1999, č. 11-12, s. 440-446.
- [28] FIALA, J., MENTL, V., ŠUTTA, P. *Struktura a vlastnosti materiálů.* Praha: Academia, 2003. 572 s.
- [29] DRÁPAL, S. *Teorie tepelného zpracování.* Praha: SNTL, 1980. 146 s.
- [30] ASKELAND, D. R., PHULÉ, P. P. *The Science and Engineering of Materials. 5th edition.* Toronto: Nelson, a division of Thomson Canada Ltd., 2006. 863 s.
- [31] SMALLMAN, R. E. *Modern Physical Metallurgy.* London: Butterworths, 1962. 320 s.
- [32] COTTRELL, A. H. *Základy fyziky kovov.* Bratislava: SNTL, 1962. 224 s.
- [33] PLUHAŘ, J., et al. *Fyzikální metalurgie a mezní stavy materiálu.* 1. vyd. Praha: SNTL, 1987. 420 s.
- [34] KOBAYASHI, T., YAMAMOTO, H. Development of High Toughness in Austempered Type Ductile Cast Iron and Evaluation of Its Properties. *Metallurgical Transactions A.* 1998, no. 19A, s. 319-327.
- [35] STRÁNSKÝ, K., et al. Vliv mědi a manganu na rozložení koncentrace prvků v buňce grafitu tvárné litiny - LKG. In *METAL.* Hradec nad Moravicí, 2006. 8 s.
- [36] BAYATI, H., ELLIOT, R. Effect of Microstructural Features on the Austempering Heat Treatment Processing Window. *Materials Science Forum.* 2000, vol. 329-330, s. 73-78
- [37] GUO, X. L., et al. Characterization of Microstructural Morphology of Austempered Ductile Iron by Electron Microscopy. *Microscopy Research and Technique.* 1998, No. 40, s. 336-340.

- [38] BAYDOGAN, M., CIMENOGLU, H. The Effect of Austempering Time on Mechanical Properties of a Ductile Iron. *Scandinavian Journal of Metallurgy*. 2001, s. 391-395.
- [39] DORAZIL, E., et al. *Giesserei-Praxis*. 1982, vol 19, s. 303.
- [40] JOHANSSON, J. *AFS Transactions*. 1977, vol. 85, s. 117.
- [41] KOBAYASHI, T., *Kinzoku-Gakkai-ho*. 1983, vol 45, s. 155.
- [42] KOBAYASHI, T., NISHI, S. *Imono (in English)*. 1980, vol. 52, s. 76.
- [43] NAGASHIMA, S., et al. *Trans ISIJ*. 1971, vol. 58, s. 402.
- [44] MUSILOVÁ, I., et al. Vliv legujících prvků a grafitizačního očkovaní na strukturní charakteristiky litiny s kuličkovým grafitem. In *METAL*. Hradec nad Moravicí, 2006, 8 s.
- [45] ŠENBERGER, J. Izotermicky kalená tvárná litina (ADI) – perspektivní materiál pro české slévárství. *Slévárství*. 2003, roč. 51, č. 11-12, s. 451-455.
- [46] ŠENBERGER, J., BŮŽEK, Z., ZÁDĚRA, A. Perspektivy výroby odlitků z tvárné litiny a z oceli v České republice. In *Výroba a vlastnosti oceli na odlitky a litiny s kuličkovým grafitem: XVII. celostátní konference*. 2006. s. 19-24.
- [47] MUSILOVÁ, I., et al. Heterogenita prvků při krystalizaci litiny s kuličkovým grafitem. In *Výroba a vlastnosti oceli na odlitky a litiny s kuličkovým grafitem: 16. celostátní konference*. 2004. s. 76-84.
- [48] STRÁNSKÝ, K., et al. Kinetika tuhnutí, velikost kuličkového grafitu a buněk v masivním odlitku z tvárné litiny. In *Výroba a vlastnosti oceli na odlitky a litiny s kuličkovým grafitem: 16. celostátní konference*. 2004. s. 60-66.
- [49] STRÁNSKÝ, K., et al. Heterogenita prvků při krystalizaci tvárné litiny LKG. In *Výroba a vlastnosti oceli na odlitky a litiny s kuličkovým grafitem: 15. celostátní konference*. 2001. s. 35-45.
- [50] MÜNSTEROVÁ, E., et al. Heterogenita doprovodných a přísadových prvků při krystalizaci tvárné litiny (LKG) a možnosti její predikce. In *METAL 97*. Ostrava: Tanger, 1997. s. 211-216.
- [51] MÜNSTEROVÁ, E., et al. Heterogenita prvků při krystalizaci tvárné litiny (LKG): Aplikace modelu růst kulového tvaru grafitu v tavenině Fe-C-Si. In *Mechanika: Metody oceny struktury oraz własności materiałó w i wyrobó w*. Nr. 227/1997, z. 53, Glucholazy, 1996. s. 101-104.
- [52] ŠENBERGER, J., et al. Changes in carbon, manganese and copper concentration fields in eutectic cell of ductile iron. In *66th World Foundry Congress of World Foundrymen Organization*. Istanbul. 2004.

- [53] MÜNSTEROVÁ, E., et al. Heterogenita prvků při krystalizaci litiny s kuličkovým grafitem. *Slévárství*. 1997, roč. 45, č. 11-12. s. 418-421.
- [54] PACAL, B., VOJTKULÁKOVÁ, Z. Hodnocení chemické nehomogenity u niklových LKG. In *9. konference Přínos metalografie pro řešení výrobních problémů*. Lázně Libverda, 2002. s. 194-198.
- [55] PODRÁBSKÝ, T., et al. Studium chemické a strukturní mikronehomogenity matrice nízkolegované bainitické tvárné litiny. *Slévárství*. 1987, roč. 35, č. 1. s. 27-37.
- [56] DORAZIL, E., PODRÁBSKÝ, T., ŠVEJCAR, J. Vliv chemické mikronehomogenity na strukturu a vlastnosti nízkolegované izotermicky zušlechtěné tvárné litiny. *Strojírství*. 1990, sv. 40, č. 6. s. 342-353.
- [57] DOLEŽAL, P., VOJTKULÁKOVÁ, Z., PACAL, B. Hodnocení strukturní a chemické heterogenity na vzorcích z LKG. In *9. konference Přínos metalografie pro řešení výrobních problémů*. Lázně Libverda, 2002. s. 343-346.
- [58] OTÁHAL, V. *Tvárná litina: Litina s kuličkovým grafitem*. Brno: OtahalConsult, 2006. 562 s.
- [59] FORET, R. *Homogenizační žíhání a jeho vliv na strukturně mechanické vlastnosti Si-Mn-Cr-Ni-Mo oceli*. 1981. 90 s. Disertační práce.
- [60] ANDĚL, J. *Matematická statistika*. Praha : SNTL, 1985. 346 s.
- [61] LEPS, J. *Botanika.bf.jcu.cz* [online]. 2007 [cit. 2010-04-24]. Neparametrické testy. Dostupné z WWW: <botanika.bf.jcu.cz/suspa/vyuka/materialy/Statistika7.ppt>.
- [62] BAŠTINEC, J. *Statistika, operační výzkum, stochastické procesy. Skripta FEKT VUT v Brně*. Brno, 2009. 254 s.

11. SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

SYMBOL/ZKRATKA	VÝZNAM
a	krystalografická osa v podstavě hcp mřížky
$\alpha_j^{(S)}, \alpha_j^{(L)}$	aktivita složky j v odpovídající fázi
A	austenit
A_{Sf}, A_f	počátky a konce pásma austenitizačních teplot
A_Z	austenit zbytkový [%]
$A_{1,1r}, A_{1,2}$	eutektoidní teplota (spodní a horní) v soustavě Fe-C-Si [°C]
$A_{1,1M}, A_{1,2M}$	eutektoidní teplota (spodní a horní) metastabilní [°C]
$A_{1,1S}, A_{1,2S}$	eutektoidní teplota (spodní a horní) stabilní [°C]
A_5	tažnost [%]
ADI	izotermicky zušlechťená litina s kuličkovým grafitem
B_d	bainit dolní
B_h	bainit horní
c	krystalografická osa kolmá na podstavu hcp mřížky
C	cementit
C	výchozí koncentrace příměsi v tavenině [hm.%]
C_e	uhlíkový ekvivalent [-]
C_f	finální koncentrace příměsi v tavenině [hm.%]
C_i	koncentrace v t -tém bodě měřené posloupnosti [hm.%]
C_j	koncentrace příměsi j [hm.%]
C_K	počáteční koncentrace příměsi v krystalizačním zárodku [hm.%]
C_L	koncentrace příměsi v tavenině [hm.%]
C_m	koncentrace příměsi na mezifázovém rozhraní [hm.%]
C_{max}	maximální koncentrace prvku v měřené linii [hm.%]
C_{min}	minimální koncentrace prvku v měřené linii [hm.%]
C_S	koncentrace příměsi v tuhé fázi [hm.%]

$C_S(j), C_L(j)$	koncentrace prvku j v okamžiku rovnováhy [hm. %]
$C_{stř}$	průměrná hodnota koncentrace [hm. %]
$C_Z(i)$	průměrná koncentrace prvku ve zbylé části distribuční křivky [hm. %]
C_0	koncentrace původní příměsi v tavenině [hm. %]
D	difúzní koeficient příměsi v tavenině [$\text{cm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$]
D_S	difúzní koeficient příměsi v pevné fázi [$\text{cm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$]
e_j^k	interakční koeficient [-]
EB	eutektická buňka
EDS	energie disperzní analýza
$(EM)_{sr} (EM)_f$	křivky počátku a konce tvorby metastabilního eutektika
$(ES)_{sr} (ES)_f$	křivky počátku a konce tvorby stabilního eutektika
$[EM]_{sr} [EM]_f$	křivky počátku a konce tvorby metastabilního eutektoidu
$[ES]_{sr} [ES]_f$	křivky počátku a konce tvorby stabilního eutektoidu
F	ferit
g	objemový element [-]
G	grafit; grafitická nodule
HB	tvrdost podle Brinella [-]
HV	tvrdost podle Vickerse [-]
I_{het}	index heterogenity [-]
I_S	index segregace [-]
k_{ef}	efektivní rozdělovací koeficient [-]
k_{ef}^A	efektivní rozdělovací koeficient stanovený z maxima a minima koncentrací v linii [-]
k_{ef}^B	efektivní rozdělovací koeficient stanovený z koncentrací u grafitu a na styku tří eutektických buněk [-]
k_{ef}^i	efektivní rozdělovací koeficient v i -tém bodě měření v dané linii (stopě) [-]
k_{het}	koeficient heterogenity [-]
k_X	rozdělovací koeficient prvku X [-]
k_0	rovnovážný rozdělovací koeficient [-]

k^*	mezifázový rozdělovací koeficient [-]
KCO	nárazová práce při zkoušce rázem v ohybu na tělese bez vrubu [$J \cdot cm^{-2}$]
L	likvidus – kapalná fáze
L	lineární vzdálenost mezi dendrity [μm]
L_g	vzdálenost mezi grafitickými nodulemi [μm]
LKG	litina s kuličkovým grafitem
LLG	litina s lupínkovým grafitem
M	martenzit
P	perlit
r_g	poloměr globulárních částic grafitu [μm]
$rtg.$	rentgenový
R	molární plynová konstanta
R_b	poloměr eutektických buněk [μm]
R_m	pevnost v tahu [MPa]
$R_{p0,2}$	smluvní mez kluzu [MPa]
S_{n-1}	směrodatná odchylka
S	solidus – tuhá fáze
S_c	stupeň eutektičnosti [-]
SEI	zobrazení v sekundárních elektronech
t	doba žíhání [hod.]
T	tavenina
T	absolutní teplota [K]
T_{E1}, T_{E2}	eutektická teplota (spodní a horní) v soustavě Fe-C-Si [K]
T_{EM1}, T_{EM2}	eutektická teplota (spodní a horní) metastabilní [K]
T_{ES1}, T_{ES2}	eutektická teplota (spodní a horní) stabilní [K]
T_{sf}, T_f	teplota počátku a ukončení krystalizace [K]
v	rychlost tuhnutí [$cm \cdot s^{-1}$]
v_a, v_c	rychlosti růstu ve směru jednotlivých krystalografických os
v_1, v_2	mezní rychlosti přeměn anizotermické krystalizace eutektické litiny

VDS	vlnově disperzní analýza
x	vzdálenost od osy dendritu [μm]
$X_j^{(S)}, X_j^{(L)}$	molární zlomek složky j v odpovídající fázi [-]
$\gamma_j^{(S)}, \gamma_j^{(L)}$	aktivitní koeficient složky j v odpovídající fázi [-]
δ	tloušťka difúzní vrstvy před mezifázovým rozhraním [cm]
δ_{max}	maximální hodnota tloušťky difúzní vrstvy [cm]
δ_0	charakteristická vzdálenost [cm]
$\delta\text{-F}$	vysokoteplotní ferit
ϵ_j	termodynamický interakční koeficient složky j v binárním systému $Fe\text{-}j$ [-]
$\mu_j^{(S)}, \mu_j^{(L)}$	chemický potenciál složky j v odpovídající fázi [-]
$\mu_j^{0(S)}, \mu_j^{0(L)}$	chemický potenciál složky j ve standardním stavu v odpovídající fázi [-]
σ_c	mez únavy [MPa]

12. PŘÍLOHY

12.1. *Tabulková část*

Tab. P1. Bodová liniová analýza. Naměřené hodnoty. Tavba K1. Litý stav. Stopa č. 1.

č. BA	naměřený obsah prvků [hm. %]					
	Mn	Si	Mg	Cr	Ni	Cu
1	0,14	1,26	0,15	0,07	0,11	0,22
2	0,13	1,83	0,06	0,03	0,37	0,00
3	0,26	1,73	0,01	0,02	0,44	0,03
4	0,32	1,77	0,06	0,03	0,37	0,00
5	0,26	1,81	0,00	0,00	0,25	0,00
6	0,08	1,78	0,08	0,00	0,59	0,19
7	0,19	1,46	0,10	0,01	0,49	0,08
8	0,57	1,39	0,09	0,13	0,35	0,31
9	0,57	1,37	0,12	0,06	0,29	0,00
10	0,58	1,08	0,00	0,08	0,23	0,06
11	0,61	1,14	0,07	0,10	0,23	0,28
12	0,30	1,36	0,00	0,14	0,28	0,17
13	0,41	1,13	0,13	0,06	0,33	0,00
14	0,33	1,20	0,00	0,08	0,11	0,00
15	0,38	1,50	0,00	0,01	0,28	0,17
16	0,12	1,43	0,00	0,14	0,28	0,00
17	0,30	0,63	0,05	0,04	0,38	0,00
18	0,29	1,80	0,00	0,00	0,42	0,30
19	0,25	1,84	0,02	0,07	0,15	0,17
20	0,15	1,78	0,00	0,07	0,51	0,22
21	0,00	1,76	0,00	0,07	0,47	0,30
22	0,20	1,94	0,00	0,00	0,31	0,06
23	0,03	2,02	0,00	0,05	0,61	0,03
24	0,00	2,00	0,00	0,02	0,70	0,00
25	0,18	2,06	0,00	0,00	0,41	0,00
26	0,02	2,11	0,00	0,08	0,37	0,01
27	0,25	2,11	0,00	0,00	0,32	0,07
28	0,25	2,09	0,08	0,00	0,45	0,00
29	0,00	2,13	0,01	0,00	0,63	0,25
30	0,08	2,21	0,00	0,02	0,44	0,13
31	0,20	2,59	0,10	0,03	0,44	0,29

Tab. P2. Bodová liniová analýza. Naměřené hodnoty. Tavba K1. Lité stav. Stopa č. 2.

č. BA	naměřený obsah prvků [hm. %]					
	Mn	Si	Mg	Cr	Ni	Cu
1	0,08	2,00	0,02	0,16	0,41	0,00
2	0,11	2,06	0,00	0,08	0,33	0,18
3	0,11	2,04	0,00	0,05	0,44	0,00
4	0,32	1,89	0,17	0,00	0,36	0,09
5	0,10	1,92	0,13	0,01	0,39	0,38
6	0,23	1,85	0,03	0,01	0,32	0,00
7	0,08	1,99	0,08	0,02	0,50	0,12
8	0,03	2,06	0,07	0,04	0,41	0,05
9	0,12	0,97	0,12	0,05	0,61	0,28
10	0,32	1,92	0,15	0,00	0,72	0,04
11	0,11	1,82	0,10	0,04	0,37	0,00
12	0,13	1,97	0,07	0,08	0,17	0,11
13	0,21	1,99	0,05	0,02	0,39	0,13
14	0,23	1,96	0,00	0,02	0,61	0,00
15	0,09	2,00	0,05	0,02	0,33	0,00
16	0,08	2,02	0,10	0,10	0,51	0,17
17	0,15	2,30	0,03	0,02	0,48	0,00
18	0,00	2,41	0,06	0,02	0,51	0,06
19	0,00	2,55	0,00	0,00	0,73	0,27
20	0,16	2,44	0,09	0,00	0,57	0,12
21	0,09	2,36	0,01	0,00	0,62	0,00
22	0,11	2,36	0,12	0,13	0,68	0,00
23	0,06	2,28	0,01	0,05	0,47	0,00
24	0,12	2,24	0,04	0,00	0,37	0,23
25	0,11	2,15	0,05	0,00	0,45	0,00
26	0,00	2,24	0,00	0,02	0,67	0,13
27	0,12	2,25	0,00	0,05	0,32	0,05
28	0,22	2,23	0,02	0,14	0,57	0,10
29	0,07	2,30	0,05	0,11	0,49	0,07
30	0,24	2,51	0,18	0,00	0,41	0,00

Tab. P3. Bodová liniová analýza. Naměřené hodnoty. Tavba K1. Litý stav. Stopa č. 3.

č. BA	naměřený obsah prvků [hm. %]					
	Mn	Si	Mg	Cr	Ni	Cu
1	0,58	1,51	0,28	0,09	0,18	0,00
2	0,46	1,28	0,04	0,00	0,41	0,00
3	0,37	1,36	0,01	0,09	0,23	0,04
4	0,43	1,50	0,06	0,09	0,25	0,02
5	0,27	1,51	0,00	0,12	0,30	0,12
6	0,37	1,36	0,03	0,12	0,52	0,30
7	0,46	1,27	0,05	0,08	0,10	0,25
8	0,25	1,37	0,07	0,10	0,37	0,05
9	0,24	1,42	0,11	0,14	0,48	0,02
10	0,46	1,38	0,00	0,13	0,12	0,11
11	0,25	1,53	0,06	0,02	0,44	0,00
12	0,47	1,06	0,04	0,05	0,30	0,00
13	0,34	1,30	0,07	0,08	0,30	0,04
14	0,55	1,35	0,02	0,02	0,22	0,04
15	0,47	1,25	0,11	0,01	0,30	0,00
16	0,30	1,31	0,00	0,10	0,32	0,00
17	0,50	1,26	0,00	0,17	0,20	0,00
18	0,47	1,34	0,04	0,25	0,33	0,05
19	0,41	1,38	0,06	0,10	0,38	0,00
20	0,39	1,40	0,04	0,00	0,24	0,00
21	0,31	1,52	0,15	0,08	0,35	0,00
22	0,22	1,64	0,00	0,13	0,27	0,07
23	0,33	1,44	0,00	0,02	0,41	0,02
24	0,22	1,66	0,16	0,01	0,34	0,01
25	0,16	1,82	0,03	0,08	0,18	0,07
26	0,13	1,90	0,00	0,05	0,20	0,07
27	0,12	1,90	0,00	0,00	0,22	0,00
28	0,10	2,00	0,03	0,05	0,24	0,21
29	0,13	1,98	0,07	0,03	0,28	0,12
30	0,03	2,12	0,00	0,07	0,34	0,04
31	0,06	2,12	0,16	0,00	0,43	0,25
32	0,19	2,26	0,00	0,09	0,51	0,12
33	0,02	2,34	0,00	0,05	0,27	0,00
34	0,00	2,31	0,00	0,03	0,35	0,00
35	0,01	2,22	0,08	0,02	0,59	0,07
36	0,00	2,35	0,08	0,00	0,32	0,25
37	0,08	2,44	0,00	0,00	0,71	0,18
38	0,01	2,45	0,03	0,03	0,53	0,15
39	0,08	2,56	0,00	0,08	0,74	0,26

Tab. P4. Bodová liniová analýza. Naměřené hodnoty. Tavba K2. Litý stav. Stopa č. 1.

č. BA	naměřený obsah prvků [hm. %]					
	Mn	Si	Mg	Cr	Ni	Cu
1	0,00	2,66	0,19	0,02	1,21	0,00
2	0,28	2,47	0,00	0,00	1,36	0,24
3	0,22	2,47	0,00	0,05	1,05	0,00
4	0,06	2,62	0,10	0,01	1,21	0,01
5	0,00	2,49	0,00	0,05	0,78	0,05
6	0,10	2,54	0,00	0,00	1,57	0,08
7	0,08	2,61	0,05	0,00	0,88	0,06
8	0,00	2,51	0,03	0,00	0,89	0,25
9	0,00	2,36	0,00	0,02	1,08	0,00
10	0,13	2,53	0,00	0,00	1,00	0,16
11	0,03	2,52	0,00	0,04	1,12	0,16
12	0,00	2,21	0,08	0,08	0,73	0,16
13	0,23	2,38	0,10	0,06	1,07	0,00
14	0,04	2,25	0,28	0,03	0,86	0,39
15	0,00	2,30	0,11	0,06	1,13	0,58
16	0,00	2,40	0,27	0,07	1,04	0,04
17	0,11	2,45	0,00	0,03	1,18	0,00
18	0,05	2,21	0,15	0,00	1,11	0,25
19	0,00	2,35	0,05	0,07	1,33	0,23
20	0,09	2,39	0,00	0,06	1,02	0,13
21	0,09	2,26	0,03	0,17	1,00	0,09
22	0,00	2,31	0,09	0,06	0,98	0,00
23	0,00	2,32	0,03	0,00	1,18	0,09
24	0,18	2,32	0,00	0,00	1,12	0,26
25	0,13	2,30	0,00	0,00	1,09	0,03
26	0,04	2,36	0,13	0,00	1,13	0,53
27	0,05	2,49	0,00	0,00	1,31	0,41
28	0,00	2,37	0,19	0,19	1,00	0,00
29	0,16	2,41	0,09	0,00	0,91	0,01
30	0,15	2,42	0,00	0,02	0,85	0,00
31	0,00	2,44	0,00	0,02	1,21	0,36
32	0,00	2,44	0,00	0,06	1,10	0,00
33	0,22	2,29	0,00	0,00	0,84	0,00
34	0,00	2,58	0,00	0,04	1,28	0,14
35	0,12	2,52	0,16	0,00	1,29	0,01
36	0,12	2,53	0,02	0,06	1,25	0,11
37	0,00	2,55	0,00	0,05	0,89	0,00
38	0,07	2,50	0,00	0,07	1,18	0,31
39	0,05	2,46	0,00	0,16	1,05	0,12
40	0,13	2,31	0,00	0,03	0,75	0,18
41	0,11	2,53	0,00	0,00	1,25	0,21
42	0,00	2,43	0,00	0,05	1,55	0,13
43	0,00	2,51	0,17	0,00	1,23	0,03
44	0,00	2,48	0,00	0,03	1,18	0,34

Tab. P5. Bodová liniová analýza. Naměřené hodnoty. Tavba K2. Litý stav. Stopa č. 2.

č. BA	naměřený obsah prvků [hm. %]					
	Mn	Si	Mg	Cr	Ni	Cu
1	0,28	1,96	0,03	0,02	1,36	0,21
2	0,00	2,49	0,00	0,17	0,94	0,03
3	0,03	2,48	0,00	0,08	0,94	0,00
4	0,00	2,54	0,00	0,00	0,92	0,24
5	0,05	2,38	0,07	0,00	0,77	0,09
6	0,09	2,33	0,00	0,07	1,01	0,44
7	0,00	2,31	0,15	0,00	1,15	0,01
8	0,06	2,28	0,00	0,07	0,96	0,00
9	0,01	2,47	0,00	0,06	1,11	0,05
10	0,00	2,34	0,00	0,01	1,23	0,09
11	0,07	2,44	0,00	0,00	0,80	0,40
12	0,04	2,34	0,03	0,08	1,06	0,07
13	0,00	2,38	0,00	0,06	0,94	0,09
14	0,04	2,46	0,13	0,00	1,10	0,00
15	0,18	2,44	0,09	0,00	0,94	0,00
16	0,09	2,28	0,04	0,00	0,94	0,07
17	0,00	2,24	0,00	0,00	0,78	0,03
18	0,24	2,18	0,02	0,03	0,96	0,01
19	0,20	2,15	0,00	0,00	0,95	0,00
20	0,08	1,97	0,01	0,14	0,96	0,20
21	0,39	1,88	0,00	0,03	0,92	0,00
22	0,13	1,92	0,00	0,14	0,86	0,35
23	0,27	1,85	0,11	0,11	0,75	0,00
24	0,26	1,60	0,00	0,08	0,44	0,00
25	0,39	1,68	0,00	0,10	0,56	0,00
26	0,25	1,47	0,16	0,01	0,53	0,10
27	0,10	1,52	0,15	0,12	0,61	0,00
28	0,26	1,59	0,00	0,08	0,63	0,00
29	0,25	1,51	0,00	0,05	0,85	0,26
30	0,16	1,76	0,00	0,22	0,74	0,06
31	0,30	1,70	0,03	0,06	0,59	0,00
32	0,32	1,83	0,21	0,15	0,71	0,10
33	0,02	1,95	0,00	0,13	0,86	0,00
34	0,16	2,07	0,12	0,11	0,92	0,22
35	0,26	2,04	0,00	0,00	0,86	0,15
36	0,16	2,20	0,21	0,01	0,91	0,11
37	0,07	2,14	0,11	0,06	1,16	0,26
38	0,25	2,35	0,00	0,00	1,13	0,00
39	0,07	2,35	0,00	0,01	0,99	0,13
40	0,00	2,23	0,07	0,02	0,73	0,10
41	0,06	2,28	0,14	0,03	0,88	0,11
42	0,02	2,16	0,04	0,10	0,96	0,06
43	0,11	2,23	0,00	0,11	1,05	0,04
44	0,96	3,49	0,00	0,15	0,20	2,40

Tab. P6. Bodová liniová analýza. Naměřené hodnoty. Tavba K2. Litý stav. Stopa č. 3.

č. BA	naměřený obsah prvků [hm. %]					
	Mn	Si	Mg	Cr	Ni	Cu
1	0,02	3,09	0,00	0,02	1,20	0,13
2	0,00	2,70	0,00	0,00	0,83	0,15
3	0,13	2,39	0,13	0,00	1,01	0,20
4	0,00	2,40	0,00	0,06	0,85	0,29
5	0,00	2,40	0,04	0,00	1,15	0,30
6	0,00	2,31	0,24	0,16	1,55	0,18
7	0,00	2,48	0,20	0,06	1,35	0,33
8	0,05	2,40	0,00	0,01	0,99	0,00
9	0,12	2,29	0,13	0,00	1,00	0,32
10	0,00	2,50	0,06	0,00	1,12	0,00
11	0,07	2,41	0,01	0,08	0,81	0,00
12	0,17	2,36	0,00	0,01	1,20	0,17
13	0,00	2,40	0,29	0,07	1,13	0,23
14	0,12	2,21	0,00	0,01	1,02	0,10
15	0,14	2,11	0,16	0,01	1,30	0,44
16	0,06	2,31	0,10	0,00	1,17	0,15
17	0,28	2,28	0,14	0,07	1,18	0,33
18	0,02	2,36	0,00	0,00	1,23	0,14
19	0,03	2,17	0,16	0,00	0,88	0,30
20	0,00	2,11	0,00	0,03	0,92	0,13
21	0,09	1,91	0,11	0,03	0,64	0,20
22	0,10	1,82	0,09	0,00	0,80	0,00
23	0,52	1,65	0,09	0,00	0,35	0,00
24	0,47	1,64	0,00	0,00	0,33	0,12
25	0,18	1,47	0,07	0,02	0,43	0,00
26	0,00	1,59	0,06	0,31	0,76	0,29
27	0,12	1,49	0,05	0,12	0,64	0,00
28	0,28	1,49	0,03	0,07	0,61	0,40
29	0,15	1,63	0,20	0,22	0,65	0,00
30	0,11	1,37	0,28	0,18	0,58	0,00
31	0,24	1,64	0,01	0,03	0,28	0,49
32	0,25	1,45	0,00	0,08	0,70	0,05
33	0,12	1,66	0,00	0,15	0,42	0,06
34	0,10	1,71	0,00	0,07	0,53	0,00
35	0,23	1,57	0,00	0,02	0,96	0,10
36	0,37	1,75	0,05	0,00	0,90	0,11
37	0,10	1,89	0,00	0,16	0,98	0,09
38	0,03	1,79	0,00	0,25	0,47	0,05
39	0,24	1,93	0,06	0,04	0,71	0,18
40	0,30	1,74	0,01	0,00	0,54	0,00
41	0,39	1,88	0,01	0,07	0,81	0,12
42	0,06	1,96	0,16	0,10	0,89	0,04
43	0,15	1,88	0,15	0,06	0,67	0,22
44	0,37	1,96	0,00	0,04	0,71	0,26
45	0,49	1,85	0,00	0,00	0,66	0,00

Tab. P7. Bodová liniová analýza. Naměřené hodnoty. Tavba K25. Litý stav. Stopa č. 1.

č. BA	naměřený obsah prvků [hm. %]						
	Mn	Si	Mg	Cr	Ni	Cu	Mo
1	0,23	1,56	0,00	0,00	2,62	0,00	0,00
2	0,19	2,01	0,00	0,26	2,20	0,32	0,82
3	0,14	2,01	0,13	0,10	2,53	0,00	0,00
4	0,22	2,02	0,00	0,03	2,29	0,15	0,44
5	0,12	1,99	0,04	0,00	2,49	0,06	0,00
6	0,26	2,10	0,11	0,00	2,24	0,00	0,40
7	0,07	2,05	0,16	0,00	2,49	0,35	0,20
8	0,20	2,10	0,01	0,00	2,28	0,00	0,00
9	0,09	1,95	0,00	0,13	2,52	0,00	0,00
10	0,14	2,20	0,08	0,01	2,59	0,00	0,00
11	0,17	2,01	0,03	0,04	2,42	0,00	0,59
12	0,08	2,00	0,00	0,00	2,75	0,00	0,58
13	0,20	2,07	0,00	0,10	2,71	0,00	0,00
14	0,20	2,08	0,00	0,20	2,58	0,11	0,00
15	0,38	2,26	0,00	0,00	2,40	0,29	0,52
16	0,49	1,98	0,13	0,04	1,93	0,00	0,13
17	0,31	2,03	0,00	0,06	2,04	0,00	0,00
18	0,21	1,81	0,01	0,13	2,41	0,00	0,23
19	0,12	2,10	0,00	0,01	2,39	0,36	0,00
20	0,06	2,08	0,00	0,07	2,34	0,00	0,80
21	0,34	1,95	0,13	0,03	2,14	0,33	0,79
22	0,00	1,98	0,00	0,03	2,17	0,12	0,00
23	0,11	1,08	0,00	0,03	2,21	0,00	0,22
24	0,00	2,11	0,07	0,00	2,22	0,09	0,00
25	0,00	2,14	0,00	0,00	2,45	0,00	0,45
26	0,20	1,83	0,00	0,03	2,40	0,00	0,49
27	0,10	1,98	0,26	0,07	2,62	0,34	0,00
28	0,15	2,22	0,00	0,08	2,13	0,00	0,16
29	0,43	1,98	0,00	0,07	2,33	0,00	0,52
30	0,25	2,19	0,04	0,00	2,66	0,18	0,37
31	0,04	2,12	0,06	0,01	2,50	0,27	0,05
32	0,40	2,10	0,03	0,03	2,07	0,08	0,15
33	0,33	2,18	0,00	0,00	2,38	0,00	0,04
34	0,22	2,15	0,08	0,06	2,52	0,20	0,09
35	0,32	1,90	0,02	0,00	2,64	0,37	1,10
36	0,15	2,00	0,22	0,23	2,36	0,17	0,63
37	0,21	2,09	0,14	0,00	2,34	0,00	0,31
38	0,27	2,00	0,00	0,17	2,18	0,37	0,72
39	0,15	2,24	0,03	0,15	2,36	0,26	0,00
40	0,06	2,77	0,00	0,31	3,28	0,00	1,14
41	0,28	2,29	0,00	0,20	2,29	0,62	0,00

Tab. P8. Bodová liniová analýza. Naměřené hodnoty. Tavba K25. Litý stav. Stopa č. 2.

č. BA	naměřený obsah prvků [hm. %]						
	Mn	Si	Mg	Cr	Ni	Cu	Mo
1	0,00	4,28	0,00	0,00	1,72	0,00	0,00
2	0,00	1,70	0,52	0,24	1,30	0,00	0,00
3	0,17	2,09	0,16	0,08	2,45	0,00	0,00
4	0,23	2,12	0,00	0,00	2,21	0,05	0,53
5	0,03	2,18	0,00	0,07	1,91	0,23	0,00
6	0,04	2,06	0,09	0,03	2,22	0,00	0,77
7	0,10	1,99	0,15	0,10	1,90	0,00	0,00
8	0,02	2,22	0,00	0,00	2,37	0,09	0,00
9	0,16	1,86	0,18	0,14	1,76	0,00	0,65
10	0,30	2,00	0,02	0,08	2,37	0,20	0,07
11	0,17	1,86	0,00	0,00	2,16	0,00	0,00
12	0,06	2,01	0,15	0,06	1,54	0,00	0,00
13	0,16	1,90	0,14	0,11	2,05	0,00	0,21
14	0,31	1,89	0,21	0,23	2,02	0,12	0,68
15	0,27	1,67	0,00	0,11	1,71	0,02	0,36
16	0,32	1,76	0,00	0,24	1,87	0,00	0,00
17	0,35	1,57	0,44	0,06	1,63	0,00	0,72
18	0,55	1,55	0,07	0,13	1,56	0,01	0,00
19	0,24	1,38	0,14	0,03	1,25	0,13	0,73
20	0,26	1,30	0,07	0,16	1,34	0,16	0,00
21	0,31	1,38	0,04	0,11	1,40	0,15	0,66
22	0,41	1,36	0,02	0,10	1,06	0,46	0,00
23	0,44	1,38	0,02	0,08	1,21	0,00	0,36
24	0,14	1,33	0,09	0,18	1,84	0,00	0,00
25	0,49	1,55	0,00	0,00	1,91	0,11	0,21
26	0,48	1,67	0,00	0,00	1,78	0,16	0,44
27	0,20	1,93	0,13	0,05	2,07	0,00	0,01
28	0,17	1,85	0,14	0,09	1,95	0,17	0,00
29	0,07	1,73	0,06	0,05	1,50	0,00	0,47
30	0,16	1,91	0,03	0,05	2,01	0,00	0,44
31	0,34	1,91	0,09	0,19	2,30	0,00	0,00
32	0,23	2,06	0,00	0,12	1,76	0,00	0,42
33	0,31	1,93	0,00	0,06	2,30	0,03	2,29
34	0,19	1,83	0,13	0,00	1,74	0,00	0,92
35	0,04	1,97	0,03	0,08	2,09	0,08	0,00
36	0,36	2,03	0,15	0,00	2,11	0,21	0,00
37	0,19	2,06	0,20	0,15	2,31	0,21	0,00
38	0,07	2,08	0,12	0,13	2,19	0,34	0,53
39	0,12	1,96	0,00	0,02	2,11	0,00	0,02
40	0,38	2,19	0,00	0,06	2,00	0,00	0,43
41	0,00	2,09	0,00	0,08	2,42	0,00	0,64
42	0,05	2,13	0,00	0,00	2,42	0,00	0,14
43	0,13	1,93	0,01	0,14	2,60	0,18	0,68
44	0,14	2,18	0,15	0,10	1,95	0,00	0,05
45	0,18	2,00	0,07	0,01	2,28	0,24	0,00

Tab. P9. Bodová liniová analýza. Naměřené hodnoty. Tavba K25. Litý stav. Stopa č. 3.

č. BA	naměřený obsah prvků [hm. %]						
	Mn	Si	Mg	Cr	Ni	Cu	Mo
1	0,00	0,62	0,20	0,32	0,57	0,60	0,90
2	0,19	1,95	0,14	0,08	2,10	0,11	1,10
3	0,20	2,03	0,00	0,08	2,14	0,27	0,13
4	0,24	1,92	0,00	0,02	2,23	0,00	0,84
5	0,28	1,87	0,00	0,00	2,00	0,21	0,00
6	0,28	1,80	0,01	0,02	1,99	0,11	1,10
7	0,23	1,82	0,00	0,22	1,95	0,00	1,28
8	0,20	1,79	0,08	0,00	1,67	0,00	0,62
9	0,29	1,53	0,00	0,10	1,45	0,09	0,00
10	0,46	1,41	0,17	0,15	1,81	0,00	0,12
11	0,39	1,65	0,09	0,07	1,31	0,00	0,00
12	0,38	1,48	0,10	0,00	1,69	0,04	0,30
13	0,24	1,49	0,00	0,09	1,54	0,00	0,00
14	0,31	1,71	0,06	0,18	1,83	0,04	0,00
15	0,25	1,74	0,05	0,10	1,70	0,00	0,00
16	0,28	1,82	0,00	0,15	1,61	0,00	0,92
17	0,00	1,64	0,00	0,14	1,73	0,00	1,20
18	0,34	1,75	0,00	0,05	1,88	0,00	0,00
19	0,23	1,68	0,17	0,09	1,56	0,28	0,00
20	0,23	1,79	0,00	0,11	1,13	0,00	0,48
21	0,25	1,63	0,24	0,11	1,55	0,12	0,85
22	0,42	1,42	0,00	0,07	1,41	0,00	0,00
23	0,19	1,43	0,19	0,28	1,47	0,31	1,20
24	0,24	1,39	0,21	0,11	1,18	0,01	0,89
25	0,38	1,29	0,01	0,22	1,10	0,07	0,18
26	0,41	1,28	0,04	0,23	1,19	0,00	0,28
27	0,32	1,39	0,22	0,31	1,48	0,16	0,85
28	0,72	1,36	0,00	0,24	1,38	0,27	0,00
29	0,60	1,29	0,00	0,12	1,40	0,05	0,95
30	0,56	1,22	0,00	0,19	1,21	0,30	0,00
31	0,37	1,25	0,00	0,13	1,06	0,28	0,00
32	0,55	1,42	0,00	0,17	1,12	0,08	0,80
33	0,24	1,47	0,18	0,12	1,07	0,00	0,00
34	0,30	1,55	0,25	0,19	1,30	0,09	0,92
35	0,40	1,49	0,05	0,12	1,39	0,09	0,00
36	0,25	1,69	0,08	0,04	1,39	0,00	0,22
37	0,27	1,47	0,00	0,12	1,27	0,13	0,07
38	0,35	1,57	0,00	0,03	1,52	0,00	0,00
39	0,26	1,56	0,26	0,10	1,72	0,12	0,00
40	0,34	1,63	0,00	0,21	1,75	0,00	0,11
41	0,37	1,64	0,04	0,08	1,48	0,34	0,00

Tab. P10. Bodová liniová analýza. Naměřené hodnoty. Tavba K3. Lité stav. Stopa č. 1.

č. BA	naměřený obsah prvků [hm. %]					
	Mn	Si	Mg	Cr	Ni	Cu
1	0,06	2,77	0,13	0,00	3,20	0,00
2	0,03	2,67	0,18	0,04	3,49	0,14
3	0,06	2,59	0,02	0,09	3,45	0,00
4	0,00	2,63	0,02	0,00	3,43	0,00
5	0,02	2,64	0,05	0,00	3,10	0,08
6	0,00	2,52	0,08	0,18	3,14	0,38
7	0,18	2,59	0,06	0,06	2,98	0,10
8	0,08	2,80	0,00	0,00	2,81	0,25
9	0,03	2,56	0,00	0,10	2,88	0,00
10	0,00	2,55	0,07	0,00	2,83	0,25
11	0,15	2,25	0,13	0,00	2,37	0,07
12	0,00	2,25	0,17	0,00	2,59	0,09
13	0,00	2,14	0,07	0,04	2,08	0,27
14	0,11	2,14	0,17	0,04	2,62	0,18
15	0,13	1,90	0,12	0,09	2,25	0,23
16	0,00	1,98	0,00	0,02	2,00	0,08
17	0,36	1,72	0,00	0,01	2,12	0,00
18	0,32	1,73	0,04	0,01	2,17	0,25
19	0,28	1,70	0,00	0,01	1,66	0,00
20	0,14	1,72	0,14	0,04	1,79	0,00
21	0,27	1,87	0,05	0,00	1,90	0,00
22	0,28	2,01	0,14	0,00	2,43	0,00
23	0,25	2,09	0,00	0,00	2,48	0,00
24	0,00	2,22	0,00	0,10	2,25	0,23
25	0,14	2,27	0,08	0,00	2,54	0,11
26	0,00	2,48	0,00	0,01	3,04	0,30
27	0,07	2,60	0,22	0,00	3,05	0,04
28	0,00	2,66	0,05	0,05	2,92	0,11
29	0,00	2,52	0,00	0,00	3,34	0,21

Tab. P11. Bodová liniová analýza. Naměřené hodnoty. Tavba K3. Litý stav. Stopa č. 2.

č. BA	naměřený obsah prvků [hm. %]					
	Mn	Si	Mg	Cr	Ni	Cu
1	0,11	2,88	0,00	0,02	3,50	0,12
2	0,07	2,53	0,00	0,05	3,33	0,29
3	0,02	2,52	0,02	0,00	3,21	0,00
4	0,02	2,60	0,00	0,00	2,68	0,00
5	0,16	2,48	0,00	0,01	2,98	0,00
6	0,00	2,36	0,05	0,07	2,84	0,00
7	0,08	2,42	0,06	0,03	3,03	0,20
8	0,16	2,51	0,00	0,00	2,47	0,27
9	0,06	2,59	0,00	0,03	2,61	0,01
10	0,02	2,53	0,00	0,11	3,04	0,03
11	0,06	2,54	0,01	0,10	2,79	0,06
12	0,24	2,56	0,02	0,00	2,73	0,01
13	0,14	2,58	0,00	0,00	3,32	0,00
14	0,06	2,61	0,00	0,00	3,31	0,09
15	0,13	2,65	0,00	0,03	3,20	0,02
16	0,20	2,60	0,00	0,00	3,12	0,40
17	0,10	2,69	0,01	0,00	3,16	0,00
18	0,20	2,51	0,02	0,12	3,04	0,11
19	0,11	2,60	0,08	0,05	2,77	0,41
20	0,28	2,56	0,01	0,00	3,09	0,11
21	0,02	2,61	0,00	0,01	3,10	0,08
22	0,12	2,62	0,00	0,06	3,26	0,33
23	0,00	2,62	0,07	0,00	3,46	0,30
24	0,02	2,67	0,11	0,07	3,26	0,07
25	0,00	2,70	0,03	0,05	2,84	0,07
26	0,00	2,57	0,00	0,00	3,35	0,19
27	0,03	2,65	0,00	0,01	3,26	0,01
28	0,14	2,88	0,36	0,00	3,78	0,26
29	0,04	2,85	0,00	0,00	3,26	0,15
30	0,00	2,58	0,04	0,08	3,20	0,35
31	0,10	2,11	0,01	0,07	2,78	0,25

Tab. P12. Bodová liniová analýza. Naměřené hodnoty. Tavba K3. Litý stav. Stopa č. 3.

č. BA	naměřený obsah prvků [hm. %]					
	Mn	Si	Mg	Cr	Ni	Cu
1	0,09	2,61	0,00	0,12	2,80	0,00
2	0,05	2,58	0,01	0,06	3,09	0,25
3	0,04	2,71	0,08	0,00	3,15	0,00
4	0,15	2,48	0,02	0,02	2,53	0,20
5	0,15	2,39	0,11	0,00	3,06	0,21
6	0,08	2,40	0,00	0,00	3,11	0,50
7	0,14	2,35	0,00	0,00	2,83	0,07
8	0,05	2,22	0,06	0,00	2,91	0,22
9	0,00	0,28	0,14	0,01	2,49	0,00
10	0,13	2,19	0,15	0,05	2,69	0,05
11	0,03	2,26	0,05	0,00	2,64	0,00
12	0,10	2,19	0,03	0,01	2,39	0,00
13	0,02	2,42	0,02	0,00	2,57	0,00
14	0,09	2,13	0,15	0,02	2,34	0,00
15	0,11	2,22	0,00	0,02	2,23	0,10
16	0,17	2,18	0,10	0,01	2,65	0,00
17	0,27	2,06	0,00	0,01	1,93	0,00
18	0,20	2,20	0,00	0,10	2,03	0,00
19	0,06	2,01	0,14	0,00	1,99	0,00
20	0,19	1,78	0,11	0,03	1,98	0,41
21	0,06	1,79	0,03	0,09	1,86	0,08
22	0,13	1,96	0,02	0,06	1,75	0,00
23	0,31	1,96	0,09	0,00	2,20	0,00
24	0,02	2,14	0,00	0,05	2,70	0,14
25	0,21	2,24	0,00	0,07	2,16	0,00
26	0,12	2,17	0,09	0,01	2,74	0,20
27	0,07	2,36	0,00	0,08	2,75	0,10
28	0,13	2,47	0,04	0,03	2,72	0,00
29	0,22	2,56	0,00	0,00	3,03	0,13
30	0,06	2,56	0,03	0,00	2,61	0,14
31	0,14	2,52	0,00	0,00	3,12	0,27
32	0,26	2,51	0,00	0,00	2,96	0,00
33	0,21	3,48	0,05	0,02	3,22	0,00

Tab. P13. Bodová liniová analýza. Naměřené hodnoty. Tavba K4. Litý stav. Stopa č. 1.

č. BA	naměřený obsah prvků [hm. %]					
	Mn	Si	Mg	Cr	Ni	Cu
1	0,08	0,67	0,00	0,16	3,23	0,17
2	0,00	2,51	0,00	0,00	4,32	0,19
3	0,02	2,33	0,15	0,06	4,60	0,12
4	0,05	2,57	0,00	0,01	4,24	0,17
5	0,10	2,54	0,13	0,00	4,34	0,00
6	0,00	2,46	0,02	0,04	4,25	0,13
7	0,09	2,54	0,32	0,07	4,19	0,46
8	0,00	2,62	0,00	0,00	4,63	0,00
9	0,00	2,60	0,09	0,06	4,55	0,10
10	0,00	2,50	0,04	0,02	4,35	0,16
11	0,10	2,42	0,23	0,00	4,59	0,07
12	0,00	2,52	0,02	0,00	4,54	0,18
13	0,13	2,47	0,18	0,02	4,21	0,02
14	0,00	2,52	0,00	0,03	4,41	0,00
15	0,00	2,60	0,00	0,00	4,38	0,13
16	0,03	2,65	0,00	0,00	3,94	0,23
17	0,25	2,60	0,03	0,00	4,14	0,00
18	0,13	2,54	0,03	0,00	4,27	0,00
19	0,13	2,47	0,14	0,01	4,47	0,08
20	0,00	2,39	0,00	0,13	4,30	0,41
21	0,05	2,58	0,11	0,06	4,54	0,16
22	0,00	2,62	0,17	0,10	4,39	0,12
23	0,00	2,42	0,22	0,02	4,24	0,16
24	0,00	2,47	0,11	0,14	4,65	0,39
25	0,00	2,54	0,20	0,03	4,67	0,01
26	0,00	2,48	0,00	0,05	3,96	0,06
27	0,00	2,45	0,15	0,00	4,18	0,11
28	0,15	2,44	0,05	0,05	4,45	0,32
29	0,00	2,68	0,02	0,03	4,36	0,32
30	0,11	2,58	0,07	0,00	4,25	0,32
31	0,00	2,48	0,18	0,10	4,48	0,04
32	0,01	2,42	0,11	0,00	4,63	0,25
33	0,00	2,49	0,14	0,07	4,44	0,00
34	0,15	2,54	0,00	0,00	4,50	0,04
35	0,00	2,66	0,09	0,00	4,70	0,05
36	0,00	2,56	0,19	0,00	4,58	0,22
37	0,09	2,51	0,15	0,05	4,38	0,01
38	0,00	2,54	0,00	0,02	4,58	0,00
39	0,06	2,61	0,00	0,04	4,30	0,06
40	0,00	2,54	0,10	0,09	4,39	0,13
41	0,00	2,76	0,00	0,00	4,97	0,00

Tab. P14. Bodová liniová analýza. Naměřené hodnoty. Tavba K4. Litý stav. Stopa č. 2.

č. BA	naměřený obsah prvků [hm. %]					
	Mn	Si	Mg	Cr	Ni	Cu
1	0,00	2,72	0,18	0,00	4,35	0,39
2	0,08	2,63	0,04	0,09	4,63	0,40
3	0,12	2,55	0,09	0,06	4,51	0,25
4	0,00	2,49	0,07	0,11	4,44	0,09
5	0,07	2,45	0,12	0,24	3,78	0,00
6	0,00	2,46	0,07	0,01	3,83	0,00
7	0,00	2,54	0,00	0,03	4,42	0,00
8	0,00	2,40	0,12	0,06	3,92	0,21
9	0,00	2,36	0,00	0,00	4,40	0,13
10	0,06	2,42	0,00	0,01	3,78	0,06
11	0,08	2,43	0,14	0,07	3,98	0,21
12	0,08	2,13	0,18	0,14	3,49	0,34
13	0,00	2,23	0,05	0,19	3,76	0,14
14	0,13	2,12	0,00	0,05	3,12	0,00
15	0,08	2,23	0,00	0,04	3,08	0,00
16	0,02	1,90	0,00	0,08	2,77	0,00
17	0,02	2,11	0,00	0,00	2,50	0,00
18	0,08	2,15	0,09	0,02	2,89	0,00
19	0,00	2,28	0,06	0,00	2,93	0,14
20	0,00	2,10	0,40	0,01	3,26	0,00
21	0,09	2,34	0,16	0,02	3,48	0,00
22	0,02	2,10	0,07	0,01	3,36	0,00
23	0,19	2,48	0,08	0,00	3,61	0,00
24	0,09	2,60	0,12	0,02	4,08	0,38
25	0,12	2,37	0,00	0,03	3,56	0,00
26	0,08	2,41	0,08	0,07	4,13	0,25
27	0,25	2,50	0,17	0,01	4,28	0,00
28	0,00	2,48	0,12	0,00	4,38	0,29
29	0,00	2,51	0,28	0,00	4,50	0,00
30	0,00	2,37	0,09	0,11	4,22	0,36
31	0,14	2,67	0,00	0,03	4,63	0,23
32	0,08	2,49	0,13	0,07	4,81	0,30
33	0,09	2,41	0,00	0,05	4,37	0,36
34	0,00	2,40	0,00	0,00	4,13	0,23
35	0,04	2,47	0,09	0,12	4,27	0,00
36	0,00	2,42	0,00	0,08	3,91	0,00
37	0,13	2,41	0,04	0,08	3,89	0,37
38	0,04	2,67	0,00	0,00	4,58	0,00
39	0,00	2,48	0,07	0,00	4,08	0,00
40	0,00	2,72	0,01	0,06	4,48	0,33
41	1,52	4,37	0,00	0,00	3,21	0,00

Tab. P15. Bodová liniová analýza. Naměřené hodnoty. Tavba K4. Litý stav. Stopa č. 3.

č. BA	naměřený obsah prvků [hm. %]					
	Mn	Si	Mg	Cr	Ni	Cu
1	0,00	2,58	0,00	0,00	1,68	3,16
2	0,03	2,77	0,00	0,00	4,68	0,20
3	0,00	2,70	0,02	0,00	4,73	0,20
4	0,07	2,74	0,04	0,05	4,83	0,20
5	0,09	2,51	0,11	0,00	4,40	0,00
6	0,11	2,56	0,04	0,06	4,32	0,00
7	0,16	2,46	0,21	0,03	4,42	0,00
8	0,08	2,73	0,00	0,03	4,41	0,00
9	0,08	2,61	0,08	0,10	4,43	0,06
10	0,12	2,59	0,00	0,09	4,65	0,12
11	0,10	2,47	0,08	0,02	3,79	0,00
12	0,08	2,53	0,00	0,00	4,16	0,03
13	0,04	2,49	0,00	0,00	3,98	0,02
14	0,00	2,48	0,05	0,04	4,17	0,09
15	0,00	2,47	0,00	0,00	4,32	0,10
16	0,04	2,50	0,00	0,00	4,01	0,08
17	0,02	2,40	0,04	0,11	4,40	0,02
18	0,11	2,75	0,00	0,03	4,02	0,10
19	0,19	2,28	0,00	0,00	3,63	0,27
20	0,11	2,21	0,00	0,00	4,06	0,00
21	0,05	2,34	0,06	0,05	4,52	0,00
22	0,03	2,33	0,09	0,09	4,11	0,00
23	0,00	2,58	0,14	0,18	4,01	0,03
24	0,15	2,29	0,00	0,00	4,58	0,00
25	0,05	2,38	0,00	0,06	4,49	0,22
26	0,00	2,29	0,00	0,02	4,51	0,00
27	0,05	2,43	0,01	0,00	3,97	0,00
28	0,03	2,47	0,00	0,00	4,49	0,02
29	0,00	2,48	0,00	0,00	4,46	0,00
30	0,10	2,50	0,00	0,00	3,74	0,04
31	0,08	2,29	0,13	0,04	4,50	0,24
32	0,00	2,34	0,26	0,00	3,78	0,00
33	0,00	2,31	0,19	0,00	4,22	0,13
34	0,17	2,38	0,17	0,00	4,23	0,16
35	0,00	2,45	0,28	0,00	3,98	0,03
36	0,01	2,34	0,02	0,00	4,32	0,00
37	0,00	2,57	0,00	0,00	3,58	0,01
38	0,02	2,17	0,00	0,00	4,13	0,00
39	0,00	2,24	0,16	0,04	3,70	0,16
40	0,00	2,32	0,00	0,09	4,37	0,00
41	0,00	2,52	0,00	0,14	3,75	0,00
42	0,07	2,46	0,01	0,16	3,96	0,07
43	0,12	2,23	0,08	0,00	3,54	0,19
44	0,06	2,33	0,00	0,03	3,75	0,28
45	0,02	2,26	0,00	0,00	3,66	0,07
46	0,00	2,31	0,00	0,00	4,06	0,05
47	0,03	2,16	0,00	0,02	3,93	0,16
48	0,00	2,36	0,00	0,00	3,53	0,00
49	0,05	2,28	0,00	0,06	3,36	0,04
50	0,05	2,55	0,24	0,00	3,69	0,31
51	0,22	2,26	0,00	0,08	3,81	0,18

Tab. P16. Bodová liniová analýza. Naměř. hodn. Tavba K1. Homogenizováno 5 hod. Stopa č. 1.

č. BA	naměřený obsah prvků [hm. %]					
	Mn	Si	Mg	Cr	Ni	Cu
1	0,00	1,92	0,16	0,00	0,15	0,00
2	0,00	1,99	0,20	0,00	0,31	0,00
3	0,36	1,99	0,24	0,13	0,41	0,09
4	0,13	1,93	0,13	0,00	0,37	0,13
5	0,10	1,99	0,16	0,00	0,21	0,00
6	0,00	1,89	0,00	0,00	0,56	0,00
7	0,11	2,21	0,17	0,00	0,08	0,00
8	0,19	1,97	0,18	0,03	0,48	0,07
9	0,16	1,94	0,18	0,09	0,66	0,41
10	0,00	1,99	0,24	0,00	0,14	0,00
11	0,00	2,06	0,19	0,00	0,37	0,00
12	0,09	2,03	0,28	0,03	0,41	0,00
13	0,00	1,99	0,14	0,00	0,08	0,00
14	0,00	1,96	0,14	0,00	0,23	0,00
15	0,07	1,96	0,26	0,00	0,15	0,00
16	0,05	2,09	0,22	0,00	0,22	0,00
17	0,00	1,99	0,26	0,00	0,26	0,00
18	0,00	2,01	0,14	0,00	0,41	0,21
19	0,17	2,01	0,33	0,05	0,28	0,00
20	0,00	2,05	0,23	0,00	0,09	0,00
21	0,00	1,98	0,05	0,00	0,45	0,00
22	0,00	2,01	0,08	0,00	0,09	0,00
23	0,04	2,03	0,31	0,03	0,65	0,15
24	0,00	2,05	0,21	0,00	0,36	0,13
25	0,24	2,13	0,25	0,00	0,25	0,00
26	0,13	2,04	0,21	0,10	0,13	0,00
27	0,17	1,96	0,19	0,00	0,44	0,22
28	0,12	1,89	0,28	0,00	0,45	0,00
29	0,08	2,05	0,19	0,00	0,47	0,00
30	0,12	1,94	0,17	0,00	0,30	0,00
31	0,00	2,07	0,25	0,00	0,31	0,00
32	0,16	2,02	0,15	0,00	0,39	0,00
33	0,00	1,96	0,20	0,00	0,34	0,08
34	0,00	1,97	0,00	0,00	0,44	0,11
35	0,11	1,94	0,16	0,00	0,17	0,00
36	0,24	2,06	0,24	0,05	0,27	0,00
37	0,00	2,08	0,22	0,00	0,33	0,00
38	0,00	1,99	0,17	0,06	0,10	0,00
39	0,19	2,03	0,27	0,00	0,27	0,00
40	0,13	2,11	0,12	0,11	0,54	0,17
41	0,00	1,98	0,10	0,00	0,45	0,07
42	0,09	2,04	0,12	0,00	0,37	0,19
43	0,15	2,02	0,13	0,00	0,15	0,00
44	0,00	2,05	0,25	0,00	0,27	0,15
45	0,00	2,03	0,12	0,00	0,31	0,00
46	0,17	2,04	0,15	0,05	0,43	0,10
47	0,00	1,96	0,09	0,00	0,51	0,00
48	0,16	1,97	0,18	0,00	0,21	0,00
49	0,13	2,08	0,17	0,00	0,29	0,00
50	0,00	2,76	0,46	0,00	0,15	0,00

Tab. P17. Bodová liniová analýza. Naměř. hodn. Tavba K1. Homogenizováno 5 hod. Stopa č. 2.

č. BA	naměřený obsah prvků [hm. %]					
	Mn	Si	Mg	Cr	Ni	Cu
1	0,23	2,01	0,25	0,10	0,56	0,29
2	0,20	1,94	0,19	0,13	0,53	0,25
3	0,31	2,04	0,30	0,11	0,51	0,14
4	0,29	1,99	0,30	0,10	0,51	0,40
5	0,20	2,04	0,29	0,08	0,55	0,32
6	0,33	1,98	0,29	0,13	0,49	0,11
7	0,32	1,95	0,16	0,15	0,57	0,30
8	0,34	2,00	0,17	0,18	0,34	0,23
9	0,26	1,88	0,22	0,12	0,60	0,34
10	0,31	1,90	0,17	0,14	0,50	0,10
11	0,26	1,93	0,36	0,07	0,56	0,19
12	0,38	1,96	0,30	0,09	0,51	0,20
13	0,37	1,94	0,26	0,22	0,52	0,09
14	0,28	1,96	0,32	0,14	0,55	0,20
15	0,34	1,94	0,33	0,14	0,48	0,15
16	0,31	1,92	0,24	0,12	0,34	0,00
17	0,27	1,99	0,18	0,13	0,54	0,25
18	0,00	1,96	0,27	0,00	0,48	0,39
19	0,41	1,98	0,26	0,12	0,53	0,31
20	0,26	2,01	0,00	0,10	0,68	0,38
21	0,09	1,96	0,31	0,06	0,48	0,31
22	0,32	1,95	0,29	0,09	0,43	0,15
23	0,46	2,07	0,47	0,21	0,60	0,17
24	0,27	2,02	0,29	0,17	0,48	0,22
25	0,32	2,02	0,37	0,16	0,51	0,23
26	0,35	2,24	0,41	0,18	0,44	0,18
27	0,25	1,94	0,30	0,12	0,61	0,38
28	0,27	2,01	0,37	0,07	0,48	0,25
29	0,28	2,01	0,31	0,05	0,47	0,36
30	0,40	1,94	0,21	0,09	0,40	0,00
31	0,30	1,91	0,17	0,09	0,63	0,34
32	0,36	2,03	0,36	0,15	0,63	0,32
33	0,31	1,97	0,23	0,10	0,42	0,30
34	0,24	1,95	0,20	0,05	0,45	0,00
35	0,29	2,02	0,30	0,07	0,54	0,18
36	0,29	1,99	0,36	0,11	0,52	0,32
37	0,34	2,00	0,18	0,17	0,42	0,11
38	0,29	2,01	0,30	0,12	0,48	0,38
39	0,26	1,98	0,18	0,15	0,55	0,27
40	0,35	2,04	0,39	0,07	0,65	0,19
41	0,26	1,97	0,20	0,06	0,56	0,33
42	0,34	1,93	0,22	0,12	0,55	0,19
43	0,25	1,98	0,32	0,13	0,50	0,09
44	0,41	1,95	0,31	0,15	0,58	0,22
45	0,35	1,93	0,26	0,14	0,55	0,26
46	0,21	1,97	0,36	0,04	0,33	0,20
47	0,18	2,06	0,35	0,06	0,47	0,26
48	0,16	1,96	0,32	0,07	0,52	0,20
49	0,27	1,94	0,28	0,13	0,49	0,00
50	0,36	2,00	0,25	0,14	0,60	0,20

Tab. P18. Bodová liniová analýza. Naměř. hodn. Tavba K1. Homogenizováno 5 hod. Stopa č. 3.

č. BA	naměřený obsah prvků [hm. %]					
	Mn	Si	Mg	Cr	Ni	Cu
1	0,30	1,92	0,20	0,10	0,29	0,09
2	0,40	1,97	0,33	0,16	0,43	0,14
3	0,20	2,01	0,47	0,04	0,52	0,31
4	0,35	1,85	0,26	0,13	0,54	0,27
5	0,29	1,96	0,19	0,00	0,54	0,00
6	0,31	1,97	0,27	0,16	0,29	0,09
7	0,36	1,93	0,33	0,16	0,53	0,18
8	0,15	2,05	0,30	0,08	0,41	0,00
9	0,37	1,91	0,36	0,14	0,50	0,28
10	0,28	1,96	0,26	0,10	0,55	0,13
11	0,42	1,93	0,23	0,16	0,56	0,00
12	0,34	1,91	0,21	0,10	0,53	0,17
13	0,20	1,99	0,31	0,14	0,46	0,17
14	0,29	2,01	0,35	0,16	0,50	0,13
15	0,24	1,99	0,31	0,12	0,43	0,13
16	0,12	1,95	0,29	0,10	0,54	0,27
17	0,13	2,00	0,48	0,07	0,44	0,42
18	0,36	1,86	0,33	0,11	0,62	0,32
19	0,29	1,97	0,00	0,12	0,45	0,28
20	0,43	1,99	0,34	0,12	0,63	0,34
21	0,11	1,88	0,29	0,05	0,43	0,24
22	0,00	2,12	0,37	0,00	0,48	0,31
23	0,35	1,97	0,31	0,20	0,52	0,43
24	0,33	1,91	0,31	0,22	0,52	0,31
25	0,35	1,99	0,29	0,19	0,49	0,20
26	0,24	1,96	0,30	0,09	0,41	0,15
27	0,12	2,15	0,50	0,05	0,59	0,30
28	0,33	1,96	0,12	0,11	0,53	0,21
29	0,20	1,96	0,19	0,04	0,08	0,00
30	0,13	1,93	0,30	0,00	0,52	0,27
31	0,38	2,06	0,20	0,18	0,57	0,25
32	0,38	2,10	0,32	0,21	0,56	0,32
33	0,31	1,95	0,37	0,15	0,69	0,30
34	0,44	2,04	0,24	0,14	0,54	0,17
35	0,19	1,94	0,18	0,05	0,63	0,37
36	0,15	2,06	0,51	0,00	0,38	0,09
37	0,42	2,00	0,14	0,12	0,49	0,25
38	0,30	2,09	0,33	0,11	0,44	0,31
39	0,37	2,02	0,29	0,17	0,44	0,23
40	0,32	2,01	0,27	0,11	0,67	0,14
41	0,14	1,96	0,24	0,00	0,76	0,26
42	0,13	2,03	0,31	0,08	0,47	0,31
43	0,22	1,99	0,33	0,00	0,67	0,30
44	0,11	2,04	0,29	0,09	0,42	0,17
45	0,29	2,00	0,27	0,10	0,57	0,29
46	0,26	2,03	0,25	0,10	0,44	0,31
47	0,18	2,04	0,25	0,10	0,08	0,00
48	0,30	2,20	0,54	0,12	0,51	0,30
49	0,37	2,14	0,39	0,09	0,55	0,37
50	0,22	2,19	0,26	0,15	0,48	0,16
51	0,31	3,37	0,00	0,10	0,50	0,19

Tab. P19. Bodová liniová analýza. Naměř. hodn. Tavba K2. Homogenizováno 5 hod. Stopa č. 1.

č. BA	naměřený obsah prvků [hm. %]					
	Mn	Si	Mg	Cr	Ni	Cu
1	0,14	2,32	0,25	0,11	0,93	0,42
2	0,17	2,23	0,29	0,14	0,92	0,27
3	0,26	2,25	0,19	0,05	0,99	0,41
4	0,29	2,26	0,00	0,13	0,79	0,18
5	0,30	2,34	0,32	0,11	1,00	0,30
6	0,33	2,22	0,22	0,09	1,03	0,27
7	0,30	2,24	0,25	0,13	1,13	0,42
8	0,23	2,25	0,24	0,05	1,02	0,23
9	0,25	2,30	0,37	0,11	0,91	0,22
10	0,17	2,15	0,23	0,08	1,02	0,37
11	0,34	2,22	0,27	0,16	0,98	0,28
12	0,35	2,22	0,15	0,13	1,04	0,37
13	0,25	2,27	0,40	0,12	0,91	0,33
14	0,29	2,25	0,28	0,12	0,98	0,20
15	0,32	2,24	0,29	0,12	0,91	0,21
16	0,34	2,22	0,34	0,08	0,89	0,17
17	0,34	2,22	0,31	0,14	0,98	0,30
18	0,29	2,20	0,34	0,06	0,98	0,30
19	0,16	2,24	0,22	0,15	0,82	0,00
20	0,36	2,36	0,39	0,14	1,15	0,30
21	0,21	2,22	0,29	0,08	1,03	0,40
22	0,33	2,23	0,08	0,08	0,98	0,37
23	0,32	2,26	0,29	0,14	0,96	0,25
24	0,28	2,22	0,23	0,12	0,92	0,24
25	0,34	2,26	0,23	0,20	1,03	0,29
26	0,30	2,26	0,28	0,16	1,05	0,31
27	0,33	2,29	0,35	0,19	0,96	0,34
28	0,18	2,25	0,00	0,06	0,89	0,20
29	0,27	2,27	0,35	0,09	1,18	0,39
30	0,22	2,32	0,34	0,12	1,03	0,33
31	0,11	2,32	0,34	0,08	0,91	0,25
32	0,26	2,32	0,35	0,09	0,98	0,35
33	0,22	2,22	0,29	0,10	0,99	0,29
34	0,28	2,25	0,39	0,06	1,00	0,30
35	0,17	2,30	0,34	0,14	0,72	0,44
36	0,14	2,20	0,25	0,13	1,05	0,41
37	0,30	2,43	0,46	0,11	0,87	0,40
38	0,43	2,24	0,27	0,14	0,82	0,31
39	0,15	2,27	0,41	0,08	1,01	0,48
40	0,27	2,35	0,27	0,12	0,82	0,15
41	0,27	2,12	0,00	0,15	1,08	0,35
42	0,21	2,12	0,29	0,07	0,79	0,36
43	0,12	2,29	0,30	0,04	0,81	0,24
44	0,17	2,22	0,29	0,14	0,85	0,16
45	0,23	2,22	0,26	0,08	0,94	0,22
46	0,29	2,30	0,23	0,13	0,89	0,27
47	0,21	2,25	0,29	0,09	0,95	0,35
48	0,23	2,20	0,25	0,10	0,83	0,17
49	0,31	2,33	0,20	0,05	0,97	0,22
50	0,30	2,27	0,21	0,10	0,97	0,27

Tab. P20. Bodová liniová analýza. Naměř. hodn. Tavba K2. Homogenizováno 5 hod. Stopa č. 2.

č. BA	naměřený obsah prvků [hm. %]					
	Mn	Si	Mg	Cr	Ni	Cu
1	1,19	1,57	0,29	0,48	0,98	0,44
2	0,27	2,22	0,35	0,08	0,90	0,24
3	0,26	2,18	0,27	0,11	0,83	0,16
4	0,34	2,20	0,28	0,16	0,81	0,22
5	0,26	2,30	0,34	0,06	0,81	0,06
6	0,29	2,13	0,27	0,07	0,85	0,34
7	0,00	2,25	0,27	0,00	0,84	0,26
8	0,22	2,27	0,13	0,14	0,74	0,24
9	0,00	2,18	0,20	0,00	0,94	0,29
10	0,21	2,21	0,18	0,05	1,02	0,10
11	0,29	2,15	0,10	0,12	0,83	0,09
12	0,30	2,22	0,25	0,11	0,80	0,23
13	0,34	2,12	0,25	0,12	1,01	0,34
14	0,23	2,21	0,25	0,06	0,64	0,21
15	0,26	2,23	0,28	0,07	0,69	0,39
16	0,39	2,15	0,24	0,17	0,87	0,25
17	0,36	2,08	0,24	0,18	0,91	0,21
18	0,22	2,15	0,05	0,13	0,87	0,20
19	0,31	2,34	0,45	0,11	0,87	0,15
20	0,13	2,20	0,25	0,07	0,81	0,17
21	0,26	2,21	0,26	0,07	0,83	0,19
22	0,27	2,22	0,28	0,04	0,76	0,23
23	0,00	2,16	0,23	0,15	0,88	0,24
24	0,33	2,11	0,26	0,13	0,84	0,07
25	0,30	2,09	0,10	0,07	0,81	0,27
26	0,29	2,15	0,19	0,11	0,91	0,24
27	0,33	2,20	0,44	0,11	0,86	0,35
28	0,34	2,07	0,36	0,13	0,90	0,33
29	0,29	2,15	0,25	0,10	0,85	0,28
30	0,28	2,24	0,25	0,11	0,75	0,00
31	0,28	2,01	0,28	0,11	0,87	0,30
32	0,33	2,09	0,29	0,10	0,70	0,07
33	0,23	2,11	0,29	0,06	0,66	0,31
34	0,38	2,02	0,11	0,12	0,90	0,33
35	0,23	2,14	0,00	0,13	0,64	0,00
35	0,39	1,98	0,29	0,15	0,77	0,26
36	0,39	2,12	0,29	0,13	0,66	0,00
36	0,30	1,96	0,30	0,09	0,79	0,17
37	0,39	2,13	0,17	0,14	0,76	0,11
37	0,33	2,07	0,30	0,19	0,68	0,00

Tab. P21. Bodová liniová analýza. Naměřené hodnoty. Tavba K2. Homog. 5 hod. Stopa č. 3.

č. BA	naměřený obsah prvků [hm. %]					
	Mn	Si	Mg	Cr	Ni	Cu
1	0,30	0,94	0,13	0,09	0,69	0,36
2	0,10	2,20	0,13	0,00	0,65	0,11
3	0,34	2,15	0,19	0,10	0,91	0,34
4	0,38	2,34	0,33	0,12	0,82	0,34
5	0,32	2,21	0,25	0,11	0,97	0,27
6	0,39	2,22	0,29	0,05	0,99	0,34
7	0,09	2,17	0,28	0,04	0,86	0,24
8	0,09	2,32	0,31	0,04	0,85	0,28
9	0,22	2,25	0,22	0,07	0,90	0,13
10	0,25	2,26	0,29	0,06	0,90	0,22
11	0,25	2,20	0,26	0,12	0,94	0,23
12	0,29	2,24	0,29	0,09	0,89	0,34
13	0,10	2,18	0,30	0,05	0,84	0,27
14	0,30	2,25	0,33	0,13	0,86	0,12
15	0,20	2,25	0,30	0,10	0,81	0,33
16	0,29	2,14	0,20	0,13	0,86	0,31
17	0,18	2,20	0,29	0,11	0,99	0,33
18	0,05	2,17	0,21	0,06	0,88	0,09
19	0,30	2,21	0,26	0,09	0,84	0,19
20	0,23	2,14	0,18	0,09	0,91	0,29
21	0,20	2,31	0,41	0,15	0,84	0,00
22	0,24	1,62	0,20	0,06	0,52	0,19
23	0,42	2,45	0,32	0,07	1,73	0,37
24	0,17	3,35	0,36	0,08	0,61	0,37
25	0,08	2,54	0,31	0,06	0,70	0,25
26	0,28	2,49	0,32	0,13	0,79	0,23
27	0,18	2,91	0,33	0,09	1,00	0,41
28	0,38	2,68	0,32	0,10	1,01	0,44
29	0,26	2,60	0,29	0,08	0,84	0,08
30	0,31	2,50	0,33	0,13	1,12	0,32
31	0,10	2,77	0,33	0,03	1,26	0,19
32	0,34	2,67	0,30	0,14	1,70	0,19

Tab. P22. Bodová liniová analýza. Naměřené hodnoty. Tavba K25. Homog. 5 hod. Stopa č. 1.

č. BA	naměřený obsah prvků [hm. %]						
	Mn	Si	Mg	Cr	Ni	Cu	Mo
1	0,84	1,05	0,48	0,68	1,85	1,11	1,41
2	0,78	1,94	0,23	0,23	1,77	0,16	0,18
3	0,20	2,00	0,36	0,00	1,97	0,57	0,28
4	0,52	1,94	0,13	0,17	2,14	0,42	0,27
5	0,16	1,97	0,21	0,00	2,20	0,65	0,37
6	0,67	1,90	0,00	0,40	2,09	0,11	0,37
7	0,51	1,94	0,37	0,18	1,89	0,32	0,24
8	0,48	1,97	0,00	0,07	1,92	0,26	0,28
9	0,62	1,83	0,00	0,19	2,08	0,54	0,24
10	0,68	1,82	0,23	0,26	2,35	0,69	0,42
11	0,71	1,86	0,22	0,26	1,99	0,49	0,20
12	0,45	1,92	0,17	0,12	1,94	0,38	0,30
13	0,57	1,87	0,11	0,08	2,03	0,30	0,29
14	0,20	1,84	0,26	0,11	1,98	0,44	0,39
15	0,70	1,79	0,00	0,21	2,18	0,38	0,33
16	0,28	1,87	0,15	0,00	2,03	0,41	0,22
17	0,74	1,95	0,41	0,20	2,14	0,23	0,35
18	0,43	1,95	0,12	0,12	2,15	0,32	0,16
19	0,38	1,96	0,22	0,00	2,03	0,28	0,25
20	0,73	1,91	0,28	0,24	2,21	0,29	0,28
21	0,68	1,87	0,15	0,26	2,27	0,37	0,44
22	0,57	1,77	0,17	0,15	2,09	0,64	0,18
23	0,61	1,85	0,31	0,29	2,01	0,12	0,35
24	0,13	1,81	0,08	0,00	2,06	0,54	0,28
25	0,60	1,91	0,39	0,04	2,07	0,12	0,37
26	0,35	1,85	0,00	0,00	2,15	0,48	0,23
27	0,62	1,94	0,08	0,25	2,03	0,32	0,22
28	0,39	1,88	0,24	0,05	1,89	0,28	0,27
29	0,23	1,85	0,12	0,08	2,04	0,42	0,24
30	0,45	1,90	0,12	0,17	2,08	0,30	0,38
31	0,51	1,78	0,06	0,06	2,13	0,41	0,29
32	0,64	1,94	0,36	0,17	2,00	0,28	0,18
33	0,49	1,87	0,33	0,13	2,12	0,28	0,44
34	0,40	2,04	0,37	0,00	1,84	0,00	0,70
35	0,17	1,92	0,32	0,03	1,85	0,31	0,24
36	0,57	1,84	0,12	0,20	1,90	0,40	0,26
37	0,20	1,81	0,35	0,04	1,84	0,35	0,30
38	0,15	1,84	0,17	0,07	1,92	0,52	0,28
39	0,40	1,98	0,37	0,09	1,82	0,21	0,48
40	0,43	1,98	0,38	0,12	2,04	0,30	0,23
41	0,00	3,53	1,03	0,00	1,70	0,00	0,31

Tab. P23. Bodová liniová analýza. Naměřené hodnoty. Tavba K25. Homog. 5 hod. Stopa č. 2.

č. BA	naměřený obsah prvků [hm. %]						
	Mn	Si	Mg	Cr	Ni	Cu	Mo
1	0,34	1,82	0,07	0,15	2,04	0,64	0,18
2	0,14	2,20	0,42	0,06	2,20	0,49	0,91
3	0,35	1,91	0,16	0,12	1,93	0,12	0,16
4	0,35	2,02	0,24	0,14	1,98	0,44	0,23
5	0,31	1,97	0,16	0,12	2,02	0,21	0,24
6	0,38	1,91	0,28	0,11	2,04	0,36	0,52
7	0,13	2,02	0,21	0,00	2,02	0,24	0,50
8	0,42	1,97	0,35	0,17	2,05	0,26	0,33
9	0,42	1,98	0,23	0,16	2,08	0,32	0,33
10	0,49	1,94	0,28	0,18	2,06	0,40	0,40
11	0,27	1,83	0,24	0,11	1,94	0,28	0,51
12	0,41	1,85	0,23	0,23	2,12	0,40	0,34
13	0,46	1,95	0,25	0,19	2,04	0,36	0,43
14	0,39	1,94	0,24	0,20	2,09	0,39	0,35
15	0,43	1,87	0,27	0,08	1,94	0,09	0,33
16	0,38	1,83	0,11	0,18	2,05	0,28	0,37
17	0,36	1,90	0,23	0,12	2,12	0,31	0,40
18	0,53	1,90	0,32	0,23	2,05	0,33	0,43
19	0,24	1,88	0,19	0,04	2,10	0,28	0,08
20	0,39	1,88	0,32	0,09	1,84	0,24	0,59
21	0,33	1,88	0,29	0,08	2,05	0,32	0,21
22	0,29	1,74	0,26	0,09	1,92	0,18	0,36
23	0,32	1,90	0,26	0,19	1,88	0,14	0,34
24	0,41	1,86	0,27	0,18	1,90	0,22	0,37
25	0,41	1,94	0,21	0,12	2,03	0,43	0,40
26	0,12	1,85	0,24	0,10	2,04	0,29	0,54
27	0,39	1,93	0,16	0,06	1,93	0,17	0,44
28	0,25	1,84	0,13	0,15	2,01	0,34	0,29
29	0,18	1,87	0,37	0,07	2,01	0,31	0,45
30	0,11	1,90	0,27	0,07	1,97	0,43	0,44
31	0,00	1,90	0,12	0,12	1,96	0,44	0,16
32	0,30	1,87	0,14	0,13	2,06	0,28	0,45
33	0,44	1,83	0,26	0,18	1,98	0,36	0,24
34	0,42	2,02	0,33	0,09	2,05	0,29	0,39
35	0,25	0,42	0,00	0,08	1,47	0,33	0,00
36	0,30	1,95	0,39	0,13	2,04	0,21	0,00
37	0,51	1,86	0,33	0,22	2,10	0,42	0,46
38	0,00	1,94	0,32	0,06	2,05	0,27	0,42
39	0,18	1,97	0,36	0,08	1,86	0,24	0,41
40	0,10	2,01	0,39	0,03	2,01	0,28	0,74
41	0,39	1,91	0,19	0,15	2,05	0,09	0,56
42	0,39	1,97	0,19	0,15	2,09	0,41	0,39
43	0,16	1,91	0,35	0,10	2,06	0,37	0,37
44	0,38	2,08	0,53	0,21	2,08	0,47	0,70
45	0,36	2,16	0,27	0,12	2,20	0,31	0,39

Tab. P24. Bodová liniová analýza. Naměřené hodnoty. Tavba K25. Homog. 5 hod. Stopa č. 3.

č. BA	naměřený obsah prvků [hm. %]						
	Mn	Si	Mg	Cr	Ni	Cu	Mo
1	0,48	1,28	0,10	0,16	2,61	0,39	0,73
2	0,31	2,04	0,28	0,14	2,02	0,25	0,37
3	0,00	1,92	0,17	0,04	1,90	0,40	0,49
4	0,21	1,86	0,21	0,11	1,84	0,15	0,34
5	0,29	1,94	0,45	0,15	2,12	0,39	0,56
6	0,41	1,85	0,34	0,15	2,17	0,23	0,36
7	0,18	1,88	0,38	0,09	1,97	0,21	0,42
8	0,48	1,73	0,12	0,09	2,01	0,08	0,17
9	0,40	1,88	0,17	0,12	2,14	0,39	0,20
10	0,48	1,92	0,28	0,15	2,09	0,36	0,27
11	0,45	1,82	0,23	0,14	1,80	0,13	0,33
12	0,44	1,91	0,25	0,10	2,03	0,37	0,43
13	0,41	2,05	0,33	0,21	2,06	0,25	0,61
14	0,39	1,91	0,25	0,15	2,00	0,16	0,25
15	0,12	1,92	0,25	0,00	2,08	0,35	0,42
16	0,33	1,92	0,19	0,10	2,07	0,37	0,30
17	0,27	1,89	0,35	0,09	2,10	0,30	0,38
18	0,39	1,91	0,37	0,11	2,06	0,30	0,57
19	0,40	1,83	0,18	0,18	2,07	0,14	0,43
20	0,44	1,87	0,26	0,17	2,09	0,33	0,45
21	0,36	1,78	0,24	0,12	2,15	0,21	0,25
22	0,30	1,86	0,25	0,08	1,93	0,27	0,37
23	0,34	1,83	0,37	0,17	2,01	0,37	0,37
24	0,17	1,88	0,36	0,15	2,03	0,18	0,33
25	0,38	1,80	0,23	0,15	1,98	0,14	0,40
26	0,30	1,90	0,23	0,18	1,97	0,29	0,50
27	0,27	1,88	0,24	0,13	1,87	0,00	0,37
28	0,31	1,84	0,29	0,11	2,01	0,42	0,40
29	0,44	2,02	0,30	0,14	1,86	0,46	0,63
30	0,39	1,85	0,28	0,14	1,89	0,22	0,41
31	0,35	1,90	0,30	0,16	1,93	0,10	0,42
32	0,38	1,85	0,31	0,13	2,00	0,34	0,33
33	0,42	1,80	0,09	0,17	1,94	0,25	0,37
34	0,42	1,81	0,25	0,16	1,88	0,38	0,32
35	0,24	1,97	0,40	0,10	2,03	0,31	0,62
36	0,47	1,85	0,31	0,20	1,99	0,40	0,44
37	0,27	1,83	0,22	0,16	1,87	0,11	0,32
38	0,30	2,04	0,45	0,18	1,82	0,25	1,04
39	0,34	1,78	0,24	0,14	2,06	0,22	0,30
40	0,45	1,83	0,29	0,16	1,80	0,27	0,43
41	0,34	1,86	0,22	0,04	1,71	0,17	0,39
42	0,36	1,86	0,14	0,11	2,04	0,16	0,55
43	0,23	1,82	0,21	0,12	1,92	0,19	0,46
44	0,28	1,71	0,22	0,09	1,82	0,34	0,35
45	0,41	1,77	0,21	0,15	2,00	0,30	0,00
46	0,42	1,71	0,00	0,17	1,96	0,18	0,42
47	0,43	1,85	0,32	0,22	2,05	0,30	0,19
48	0,16	1,82	0,28	0,12	1,93	0,32	0,49
49	0,35	1,76	0,36	0,11	2,06	0,29	0,30
50	0,26	1,85	0,23	0,14	2,01	0,21	0,36
51	0,33	1,91	0,27	0,12	1,96	0,25	0,32
52	0,19	1,99	0,35	0,18	1,87	0,28	0,68
53	0,34	1,83	0,33	0,14	2,09	0,43	0,35
54	0,37	1,77	0,00	0,15	2,13	0,25	0,30
55	0,37	1,89	0,31	0,18	1,88	0,25	0,40
56	0,26	1,91	0,24	0,00	2,10	0,25	0,11
57	0,43	1,94	0,43	0,17	1,99	0,12	0,61
58	0,38	1,85	0,11	0,18	1,97	0,24	0,41
59	0,30	1,82	0,26	0,10	1,90	0,45	0,30
60	0,17	1,90	0,32	0,08	1,84	0,25	0,39
61	0,22	1,94	0,24	0,10	2,14	0,34	0,49
62	0,46	1,90	0,37	0,12	2,15	0,31	0,39
63	0,35	1,89	0,31	0,13	2,08	0,38	0,36
64	0,36	1,89	0,30	0,18	2,14	0,39	0,27
65	0,35	1,91	0,22	0,08	2,10	0,34	0,44
66	0,00	1,85	0,23	0,08	2,07	0,36	0,22
67	0,39	1,93	0,39	0,19	1,99	0,27	0,41
68	0,42	1,94	0,36	0,14	2,01	0,18	0,26
69	0,40	1,95	0,42	0,12	1,93	0,31	0,25
70	0,38	3,95	0,53	0,12	2,42	0,42	0,43

Tab. P25. Bodová liniová analýza. Naměřené hodnoty. Tavba K3. Homog. 5 hod. Stopa č. 1.

č. BA	naměřený obsah prvků [hm. %]					
	Mn	Si	Mg	Cr	Ni	Cu
1	0,32	2,70	0,53	0,10	2,99	0,44
2	0,23	2,33	0,35	0,09	2,64	0,25
3	0,29	2,53	0,26	0,13	2,92	0,26
4	0,30	2,63	0,39	0,12	2,85	0,33
5	0,20	2,51	0,07	0,12	2,82	0,29
6	0,32	2,54	0,26	0,15	2,82	0,36
7	0,31	2,44	0,27	0,12	2,77	0,32
8	0,24	2,44	0,40	0,12	2,80	0,45
9	0,37	2,47	0,26	0,19	2,82	0,51
10	0,19	2,33	0,30	0,04	2,87	0,27
11	0,24	2,42	0,22	0,09	2,79	0,27
12	0,35	2,35	0,30	0,12	2,77	0,42
13	0,28	2,38	0,25	0,11	2,76	0,35
14	0,34	2,25	0,16	0,13	2,84	0,49
15	0,19	2,45	0,33	0,12	2,70	0,39
16	0,28	2,37	0,26	0,14	2,82	0,48
17	0,31	2,40	0,31	0,12	2,88	0,59
18	0,24	2,37	0,31	0,08	2,77	0,39
19	0,23	2,33	0,30	0,09	2,72	0,28
20	0,25	2,41	0,34	0,10	2,60	0,35
21	0,26	2,58	0,38	0,10	2,87	0,38
22	0,38	2,44	0,31	0,16	2,78	0,47
23	0,29	2,31	0,31	0,14	2,67	0,29
24	0,20	2,35	0,11	0,12	2,77	0,38
25	0,33	2,34	0,25	0,04	2,85	0,38
26	0,33	2,47	0,27	0,11	2,70	0,36
27	0,30	2,40	0,29	0,10	2,84	0,56
28	0,20	2,37	0,25	0,11	2,82	0,48
29	0,20	2,38	0,31	0,08	2,82	0,22
30	0,32	2,50	0,24	0,10	2,81	0,20
31	0,36	2,48	0,37	0,17	2,77	0,44
32	0,32	2,33	0,13	0,14	2,88	0,36
33	0,36	2,45	0,38	0,17	2,74	0,45
34	0,27	2,37	0,11	0,14	2,85	0,34

Tab. P26. Bodová liniová analýza. Naměřené hodnoty. Tavba K3. Homog. 5 hod. Stopa č. 2.

č. BA	naměřený obsah prvků [hm. %]					
	Mn	Si	Mg	Cr	Ni	Cu
1	0,35	2,92	0,42	0,14	3,08	0,48
2	0,36	2,31	0,00	0,13	2,65	0,43
3	0,33	2,38	0,30	0,20	2,86	0,42
4	0,23	2,41	0,14	0,06	2,79	0,28
5	0,29	2,33	0,18	0,19	2,92	0,40
6	0,45	2,41	0,25	0,21	2,97	0,43
7	0,32	2,35	0,08	0,13	2,82	0,43
8	0,37	2,41	0,29	0,17	2,82	0,41
9	0,32	2,30	0,18	0,11	2,88	0,48
10	0,41	2,51	0,19	0,12	2,84	0,60
11	0,38	2,42	0,14	0,09	2,75	0,31
12	0,24	2,37	0,08	0,14	2,74	0,31
13	0,38	2,31	0,09	0,17	2,78	0,22
14	0,25	2,38	0,13	0,13	2,80	0,26
15	0,38	2,27	0,10	0,11	2,65	0,35
16	0,34	2,58	0,32	0,00	2,84	0,41
17	0,19	2,30	0,08	0,09	2,84	0,57
18	0,43	2,47	0,23	0,18	2,75	0,39
19	0,34	2,33	0,00	0,19	2,74	0,36
20	0,24	2,24	0,10	0,12	2,85	0,33
21	0,34	2,30	0,23	0,10	2,95	0,51
22	0,32	2,37	0,23	0,16	2,98	0,41
23	0,30	2,31	0,00	0,14	2,66	0,30
24	0,30	2,24	0,00	0,18	3,09	0,64
25	0,31	2,33	0,23	0,18	2,90	0,42
26	0,18	2,41	0,43	0,12	2,66	0,34
27	0,13	2,41	0,13	0,08	2,68	0,56
28	0,32	2,25	0,09	0,26	2,84	0,33
29	0,31	2,21	0,00	0,12	2,62	0,27
30	0,35	2,33	0,08	0,19	2,87	0,39
31	0,22	2,33	0,07	0,09	2,81	0,38
32	0,32	2,32	0,10	0,18	2,95	0,38
33	0,32	2,40	0,09	0,10	2,89	0,33
34	0,30	2,46	0,38	0,12	2,81	0,42
35	0,35	2,38	0,06	0,10	2,87	0,43
36	0,21	2,37	0,17	0,14	2,88	0,39
37	0,35	2,31	0,06	0,12	2,83	0,44
38	0,25	2,46	0,07	0,07	2,91	0,45
39	0,33	2,44	0,11	0,15	2,86	0,25
40	0,37	2,34	0,27	0,13	2,81	0,41
41	0,40	2,37	0,18	0,20	2,91	0,32
42	0,67	0,57	2,09	0,36	1,58	0,83

Tab. P27. Bodová liniová analýza. Naměřené hodnoty. Tavba K3. Homog. 5 hod. Stopa č. 3.

č. BA	naměřený obsah prvků [hm. %]					
	Mn	Si	Mg	Cr	Ni	Cu
1	0,37	2,32	0,26	0,11	2,65	0,39
2	0,40	2,41	0,25	0,15	2,81	0,31
3	0,12	2,37	0,43	0,09	2,78	0,27
4	0,30	2,25	0,34	0,11	2,82	0,41
5	0,33	2,45	0,37	0,09	2,84	0,53
6	0,17	2,31	0,23	0,10	2,87	0,44
7	0,22	2,25	0,27	0,03	2,75	0,39
8	0,32	2,34	0,21	0,12	2,34	0,50
9	0,31	2,23	0,29	0,09	2,44	0,26
10	0,12	2,36	0,26	0,06	2,81	0,42
11	0,33	2,48	0,40	0,13	2,79	0,35
12	0,04	2,39	0,41	0,08	2,72	0,45
13	0,25	2,30	0,35	0,13	2,69	0,40
14	0,18	2,38	0,40	0,09	2,67	0,29
15	0,36	2,41	0,27	0,13	2,70	0,56
16	0,32	2,33	0,06	0,17	2,71	0,41
17	0,42	2,30	0,10	0,17	2,95	0,49
18	0,43	2,50	0,13	0,19	2,83	0,22
19	0,32	2,33	0,21	0,06	2,75	0,39
20	0,35	2,36	0,22	0,15	2,72	0,36
21	0,15	2,29	0,29	0,00	2,86	0,52
22	0,15	2,52	0,40	0,14	2,74	0,32
23	0,25	2,41	0,07	0,13	2,97	0,47
24	0,25	2,31	0,19	0,08	2,64	0,48
25	0,33	2,26	0,13	0,10	2,81	0,30
26	0,34	2,49	0,30	0,14	2,85	0,47
27	0,21	2,24	0,09	0,06	3,04	0,39
28	0,35	2,29	0,17	0,13	2,83	0,51
29	0,33	2,29	0,15	0,12	2,94	0,42
30	0,32	2,24	0,00	0,07	2,99	0,42
31	0,26	2,45	0,14	0,16	2,96	0,28
32	0,34	2,63	0,22	0,07	2,70	0,24
33	0,35	2,28	0,38	0,19	2,88	0,40
34	0,34	2,21	0,00	0,24	2,95	0,27
35	0,30	2,45	0,18	0,09	2,86	0,33
36	0,23	3,11	0,78	0,23	3,08	0,80

Tab. P28. Bodová liniová analýza. Naměřené hodnoty. Tavba K4. Homog. 5 hod. Stopa č. 1.

č. BA	naměřený obsah prvků [hm. %]					
	Mn	Si	Mg	Cr	Ni	Cu
1	0,27	2,51	0,00	0,10	4,14	0,23
2	0,43	2,55	0,00	0,14	4,40	0,49
3	0,43	2,47	0,18	0,14	4,65	0,62
4	0,37	2,70	0,40	0,17	4,41	0,48
5	0,32	2,67	0,06	0,14	4,15	0,20
6	0,29	2,64	0,00	0,06	4,06	0,38
7	0,32	2,66	0,29	0,17	4,23	0,31
8	0,45	2,75	0,09	0,23	4,22	0,18
9	0,42	2,84	0,00	0,26	4,29	0,36
10	0,35	2,81	0,09	0,08	4,39	0,36
11	0,39	2,68	0,13	0,21	4,42	0,46
12	0,21	2,68	0,12	0,09	4,08	0,33
13	0,38	2,71	0,25	0,12	3,98	0,34
14	0,36	2,71	0,21	0,18	4,11	0,19
15	0,41	2,73	0,08	0,13	4,17	0,29
16	0,37	2,70	0,13	0,19	4,30	0,22
17	0,43	2,74	0,16	0,15	4,12	0,32
18	0,31	2,72	0,20	0,09	3,99	0,19
19	0,23	2,90	0,35	0,05	4,06	0,37
20	0,35	2,77	0,11	0,11	3,98	0,33
21	0,34	2,69	0,17	0,07	4,05	0,31
22	0,49	2,85	0,08	0,23	4,20	0,38
23	0,38	2,87	0,27	0,12	3,87	0,38
24	0,47	2,71	0,00	0,17	4,14	0,29
25	0,35	2,74	0,00	0,12	3,98	0,19
26	0,28	2,96	0,38	0,04	4,05	0,34
27	0,34	2,99	0,26	0,16	3,82	0,40
28	0,37	2,92	0,19	0,13	3,79	0,31
29	0,39	2,91	0,19	0,23	3,94	0,19
30	0,45	2,77	0,12	0,23	3,84	0,30
31	0,47	2,85	0,31	0,18	3,92	0,48
32	0,34	2,85	0,16	0,10	3,79	0,34

Tab. P29. Bodová liniová analýza. Naměřené hodnoty. Tavba K4. Homog. 5 hod. Stopa č. 2.

č. BA	naměřený obsah prvků [hm. %]					
	Mn	Si	Mg	Cr	Ni	Cu
1	0,34	1,53	0,13	0,14	2,93	0,43
2	0,39	2,76	0,21	0,04	4,43	0,58
3	0,32	2,67	0,10	0,16	4,15	0,37
4	0,31	2,50	0,05	0,17	3,97	0,26
5	0,34	2,59	0,27	0,11	4,14	0,38
6	0,35	2,98	0,33	0,18	4,38	0,40
7	0,24	2,66	0,12	0,09	4,25	0,50
8	0,23	2,70	0,24	0,15	4,10	0,35
9	0,30	2,76	0,13	0,19	4,42	0,41
10	0,27	2,84	0,26	0,12	4,31	0,41
11	0,20	2,57	0,00	0,00	4,00	0,38
12	0,35	2,74	0,22	0,14	4,22	0,49
13	0,30	2,70	0,00	0,16	4,39	0,28
14	0,26	2,67	0,18	0,06	3,94	0,29
15	0,30	2,65	0,13	0,05	4,18	0,29
16	0,20	2,65	0,22	0,17	4,01	0,49
17	0,26	2,67	0,00	0,11	4,15	0,26
18	0,21	2,79	0,15	0,08	4,07	0,25
19	0,30	2,56	0,10	0,16	4,17	0,36
20	0,17	2,70	0,13	0,12	4,02	0,23
21	0,28	2,47	0,00	0,14	4,03	0,39
22	0,29	2,60	0,43	0,12	4,00	0,22
23	0,27	2,50	0,20	0,20	3,86	0,27
24	0,13	2,60	0,08	0,06	4,22	0,26
25	0,30	2,68	0,20	0,19	4,06	0,48
26	0,26	2,59	0,21	0,10	3,97	0,22
27	0,27	2,60	0,00	0,12	4,05	0,26
28	0,31	2,64	0,15	0,12	3,84	0,35
29	0,18	2,55	0,24	0,13	4,13	0,33
30	0,40	2,26	0,00	0,17	3,98	0,37
31	0,37	2,67	0,07	0,11	3,98	0,40
32	0,28	2,75	0,00	0,19	3,98	0,22
33	0,25	2,83	0,25	0,06	3,94	0,33
34	0,32	2,62	0,32	0,08	4,03	0,50
35	0,29	2,56	0,23	0,16	4,09	0,20
36	0,23	2,65	0,00	0,08	4,11	0,25
37	0,34	2,61	0,07	0,11	3,93	0,44
38	0,31	2,65	0,15	0,13	3,74	0,28
39	0,23	2,70	0,00	0,00	3,69	0,25
40	0,27	2,60	0,16	0,08	3,78	0,11
41	0,30	2,70	0,24	0,12	4,13	0,23
42	0,34	2,73	0,08	0,13	3,89	0,37
43	0,34	2,58	0,09	0,16	4,07	0,44
44	0,26	2,41	0,00	0,13	3,98	0,35
45	0,38	2,52	0,09	0,15	3,66	0,14
46	0,31	2,56	0,13	0,12	4,10	0,27
47	0,20	2,67	0,00	0,07	3,90	0,46
48	0,27	2,49	0,14	0,10	4,09	0,54
49	0,22	2,68	0,00	0,10	3,91	0,44
50	0,31	2,71	0,26	0,15	3,95	0,38
51	0,30	2,46	0,00	0,17	4,03	0,28
52	0,47	2,61	0,15	0,23	3,98	0,47
53	0,22	2,60	0,07	0,09	4,06	0,25
54	0,25	2,75	0,36	0,13	4,03	0,35
55	0,30	2,66	0,35	0,10	3,96	0,39
56	0,22	2,56	0,28	0,07	4,24	0,40
57	0,37	2,63	0,00	0,21	4,08	0,21
58	0,28	2,79	0,42	0,06	4,16	0,35
59	0,32	2,61	0,00	0,14	4,22	0,44
60	0,09	2,63	0,00	0,07	4,18	0,29
61	0,19	2,59	0,34	0,09	4,33	0,27
62	0,33	2,70	0,26	0,17	4,15	0,34
63	0,29	2,58	0,22	0,22	4,16	0,39
64	0,25	2,75	0,11	0,16	4,26	0,45
65	0,28	2,70	0,11	0,11	4,26	0,34
66	0,22	2,86	0,20	0,05	4,12	0,29
67	0,22	2,66	0,10	0,14	4,08	0,39
68	0,32	2,71	0,35	0,19	4,27	0,40
69	0,37	2,50	0,00	0,15	4,35	0,22
70	0,24	2,66	0,33	0,15	4,12	0,42
71	0,22	2,58	0,06	0,11	4,20	0,29
72	0,11	2,60	0,08	0,08	4,01	0,36
73	0,26	2,61	0,00	0,10	4,33	0,31
74	0,33	2,50	0,31	0,25	4,32	0,36
75	0,13	2,70	0,38	0,12	4,21	0,20
76	0,30	2,71	0,07	0,12	4,15	0,33
77	0,20	2,61	0,12	0,13	4,20	0,35
78	0,30	2,59	0,37	0,22	4,29	0,47
79	0,33	2,70	0,22	0,17	4,33	0,27

Tab. P30. Bodová liniová analýza. Naměřené hodnoty. Tavba K4. Homog. 5 hod. Stopa č. 3.

č. BA	naměřený obsah prvků [hm. %]					
	Mn	Si	Mg	Cr	Ni	Cu
1	0,23	0,79	0,28	0,22	1,60	0,00
2	0,08	2,43	0,30	0,00	4,08	0,34
3	0,23	2,50	0,07	0,06	3,85	0,00
4	0,23	2,66	0,44	0,10	4,01	0,34
5	0,20	2,54	0,00	0,16	4,10	0,31
6	0,29	2,55	0,00	0,15	4,24	0,39
7	0,32	2,56	0,14	0,18	4,11	0,51
8	0,33	2,60	0,25	0,14	4,28	0,50
9	0,35	2,64	0,36	0,08	3,89	0,36
10	0,00	2,50	0,06	0,00	4,04	0,41
11	0,36	2,55	0,08	0,19	3,98	0,26
12	0,36	2,70	0,21	0,09	4,09	0,38
13	0,29	2,48	0,07	0,17	4,00	0,24
14	0,30	2,52	0,18	0,15	4,03	0,23
15	0,29	2,50	0,08	0,11	3,96	0,24
16	0,35	2,58	0,13	0,18	4,02	0,41
17	0,40	2,50	0,00	0,09	4,00	0,46
18	0,28	2,53	0,00	0,07	3,92	0,31
19	0,25	2,48	0,00	0,13	4,00	0,20
20	0,34	2,57	0,15	0,13	4,12	0,35
21	0,41	2,64	0,06	0,18	4,03	0,19
22	0,29	2,70	0,26	0,13	4,28	0,29
23	0,15	2,60	0,05	0,08	4,39	0,57
24	0,29	2,51	0,06	0,13	4,17	0,24
25	0,33	2,52	0,09	0,12	4,27	0,33
26	0,36	2,63	0,28	0,13	4,14	0,47
27	0,24	2,60	0,23	0,09	4,10	0,34
28	0,36	2,46	0,19	0,19	4,23	0,61
29	0,11	2,61	0,00	0,05	3,84	0,39
30	0,38	2,51	0,42	0,24	4,00	0,28
31	0,31	2,65	0,08	0,14	4,12	0,41
32	0,27	2,65	0,19	0,11	4,17	0,20
33	0,33	2,58	0,32	0,12	4,27	0,44
34	0,30	2,52	0,07	0,14	4,20	0,30
35	0,35	2,60	0,06	0,18	4,02	0,31
36	0,32	2,58	0,00	0,12	4,27	0,40
37	0,30	2,70	0,39	0,21	4,10	0,45
38	0,37	2,60	0,22	0,18	4,22	0,47
39	0,27	2,64	0,11	0,09	3,93	0,19

Tab. P31. Bodová liniová analýza. Naměř. hodn. Tavba K1. Homogenizováno 10 hod. Stopa č. 1.

č. BA	naměřený obsah prvků [hm. %]					
	Mn	Si	Mg	Cr	Ni	Cu
1	0,35	2,70	0,19	0,00	0,88	0,04
2	0,11	2,38	0,04	0,03	0,53	0,06
3	0,11	2,25	0,00	0,00	0,66	0,21
4	0,25	2,26	0,11	0,00	0,38	0,12
5	0,22	2,24	0,04	0,00	0,33	0,13
6	0,10	2,26	0,06	0,00	0,69	0,22
7	0,18	2,35	0,00	0,01	0,36	0,06
8	0,14	2,30	0,21	0,00	0,72	0,00
9	0,24	2,35	0,11	0,00	0,60	0,10
10	0,12	2,25	0,07	0,00	0,72	0,05
11	0,12	2,31	0,10	0,05	0,66	0,20
12	0,26	2,32	0,13	0,00	0,53	0,22
13	0,17	2,15	0,07	0,00	0,42	0,28
14	0,00	2,32	0,06	0,00	0,37	0,00
15	0,24	2,35	0,00	0,01	0,47	0,08
16	0,07	2,34	0,06	0,01	0,48	0,18
17	0,15	2,30	0,05	0,00	0,77	0,03
18	0,21	2,21	0,00	0,01	0,66	0,01
19	0,15	2,44	0,07	0,00	0,22	0,26
20	0,13	2,41	0,19	0,00	0,48	0,15
21	0,20	2,20	0,00	0,00	0,40	0,00
22	0,04	2,40	0,11	0,00	0,38	0,18
23	0,18	2,30	0,09	0,10	0,60	0,12
24	0,04	2,35	0,04	0,06	0,47	0,22
25	0,09	2,19	0,02	0,00	0,50	0,00
26	0,11	2,31	0,17	0,00	0,39	0,28
27	0,11	2,30	0,15	0,00	0,76	0,16
28	0,03	2,20	0,02	0,06	0,73	0,00
29	0,19	2,34	0,09	0,13	0,48	0,32
30	0,17	2,34	0,02	0,03	0,46	0,29
31	0,12	2,33	0,13	0,15	0,54	0,03
32	0,15	2,32	0,03	0,04	0,84	0,21
33	0,16	2,13	0,02	0,00	0,61	0,00
34	0,21	2,36	0,00	0,00	0,56	0,09
35	0,25	2,31	0,01	0,04	0,39	0,00
36	0,09	2,38	0,07	0,00	0,49	0,06
37	0,22	2,34	0,10	0,00	0,48	0,00
38	0,10	2,45	0,02	0,01	0,33	0,25
39	0,21	2,25	0,12	0,00	0,33	0,02
40	0,03	2,42	0,00	0,06	0,54	0,19
41	0,05	2,35	0,02	0,03	0,74	0,21

Tab. P32. Bodová liniová analýza. Naměř. hodn. Tavba K1. Homogenizováno 10 hod. Stopa č. 2.

č. BA	naměřený obsah prvků [hm. %]					
	Mn	Si	Mg	Cr	Ni	Cu
1	0,16	1,19	0,00	0,00	0,38	1,28
2	0,17	2,29	0,12	0,07	0,42	0,28
3	0,00	2,26	0,13	0,04	0,41	0,04
4	0,21	2,20	0,09	0,00	0,42	0,00
5	0,02	2,32	0,10	0,00	0,55	0,32
6	0,07	2,33	0,09	0,00	0,55	0,29
7	0,07	2,15	0,12	0,01	0,45	0,07
8	0,02	2,40	0,02	0,06	0,51	0,13
9	0,13	2,24	0,12	0,03	0,61	0,15
10	0,00	2,37	0,00	0,00	0,52	0,18
11	0,09	2,27	0,01	0,02	0,88	0,06
12	0,11	2,20	0,00	0,00	0,54	0,26
13	0,19	2,21	0,05	0,04	0,61	0,16
14	0,08	2,20	0,04	0,00	0,47	0,14
15	0,09	2,10	0,07	0,00	0,27	0,22
16	0,09	2,24	0,01	0,04	0,31	0,14
17	0,04	2,13	0,00	0,00	0,55	0,08
18	0,25	2,11	0,10	0,05	0,64	0,00
19	0,18	2,10	0,00	0,00	0,30	0,00
20	0,16	2,24	0,11	0,00	0,46	0,10
21	0,11	2,20	0,18	0,00	0,24	0,22
22	0,03	2,26	0,12	0,03	0,51	0,21
23	0,00	2,17	0,00	0,01	0,27	0,01
24	0,23	2,30	0,13	0,01	0,66	0,06
25	0,28	2,22	0,07	0,00	0,54	0,16
26	0,19	2,26	0,01	0,01	0,35	0,20
27	0,12	2,21	0,00	0,01	0,45	0,12
28	0,11	2,22	0,11	0,00	0,26	0,20
29	0,08	2,25	0,10	0,09	0,57	0,21
30	0,00	2,21	0,03	0,00	0,47	0,00
31	0,12	2,25	0,02	0,05	0,46	0,22
32	0,04	2,11	0,02	0,03	0,63	0,17
33	0,10	2,24	0,00	0,01	0,66	0,11
34	0,07	2,22	0,00	0,00	0,42	0,05
35	0,16	2,26	0,05	0,00	0,64	0,00
36	0,06	2,22	0,02	0,00	0,48	0,12
37	0,05	2,21	0,02	0,00	0,48	0,00
38	0,14	2,25	0,09	0,00	0,41	0,19
39	0,15	2,26	0,00	0,11	0,50	0,02
40	0,03	2,30	0,00	0,01	0,21	0,00
41	0,00	2,23	0,18	0,05	0,58	0,00

Tab. P33. Bodová liniová analýza. Naměř. hodn. Tavba K1. Homogenizováno 10 hod. Stopa č. 3.

č. BA	naměřený obsah prvků [hm. %]					
	Mn	Si	Mg	Cr	Ni	Cu
1	0,24	0,76	0,22	0,00	0,59	0,34
2	0,16	2,24	0,22	0,01	0,56	0,37
3	0,10	2,14	0,05	0,04	0,42	0,21
4	0,35	2,06	0,14	0,00	0,65	0,12
5	0,24	2,15	0,10	0,02	0,47	0,32
6	0,11	2,18	0,07	0,12	0,40	0,00
7	0,22	2,20	0,03	0,01	0,31	0,06
8	0,07	2,17	0,00	0,00	0,75	0,00
9	0,11	2,17	0,07	0,00	0,34	0,00
10	0,12	2,08	0,01	0,00	0,30	0,05
11	0,07	2,09	0,02	0,00	0,44	0,00
12	0,16	2,15	0,05	0,00	0,38	0,22
13	0,21	1,94	0,20	0,00	0,38	0,00
14	0,21	2,14	0,04	0,07	0,46	0,00
15	0,20	2,05	0,03	0,00	0,20	0,00
16	0,08	2,21	0,14	0,04	0,46	0,18
17	0,26	2,08	0,09	0,04	0,43	0,03
18	0,07	2,18	0,00	0,00	0,72	0,08
19	0,05	2,19	0,00	0,02	0,70	0,26
20	0,29	2,05	0,16	0,00	0,19	0,02
21	0,19	2,20	0,14	0,00	0,49	0,00
22	0,00	2,12	0,12	0,14	0,48	0,18
23	0,15	2,14	0,00	0,12	0,59	0,17
24	0,00	2,19	0,04	0,09	0,29	0,00
25	0,08	2,17	0,00	0,00	0,49	0,00
26	0,06	2,13	0,03	0,00	0,61	0,28
27	0,10	2,17	0,00	0,00	0,36	0,07
28	0,11	2,12	0,06	0,06	0,41	0,00
29	0,04	2,12	0,00	0,09	0,65	0,00
30	0,22	2,11	0,01	0,00	0,53	0,03
31	0,25	2,07	0,18	0,09	0,36	0,03
32	0,00	2,13	0,00	0,02	0,12	0,21
33	0,32	1,91	0,04	0,00	0,57	0,00
34	0,30	2,13	0,07	0,06	0,52	0,09
35	0,21	2,12	0,02	0,02	0,30	0,00
36	0,16	2,05	0,09	0,00	0,44	0,12
37	0,07	2,18	0,00	0,00	0,43	0,00
38	0,11	2,13	0,14	0,09	0,69	0,25
39	0,22	2,09	0,17	0,06	0,42	0,52
40	0,11	2,57	0,36	0,06	0,00	2,05

Tab. P34. Bodová liniová analýza. Naměř. hodn. Tavba K2. Homogenizováno 10 hod. Stopa č. 1.

č. BA	naměřený obsah prvků [hm. %]					
	Mn	Si	Mg	Cr	Ni	Cu
1	0,15	0,55	0,35	0,00	1,04	0,32
2	0,04	1,95	0,07	0,05	1,04	0,28
3	0,11	2,12	0,04	0,01	0,84	0,00
4	0,08	2,07	0,03	0,04	0,85	0,20
5	0,13	2,15	0,20	0,00	0,91	0,00
6	0,21	2,27	0,09	0,07	0,62	0,34
7	0,15	2,11	0,05	0,00	0,73	0,08
8	0,16	2,11	0,03	0,03	1,07	0,46
9	0,22	2,11	0,27	0,00	0,74	0,00
10	0,18	2,09	0,00	0,12	0,73	0,01
11	0,33	2,32	0,00	0,06	0,76	0,24
12	0,07	2,09	0,04	0,07	0,83	0,00
13	0,18	2,24	0,14	0,13	0,69	0,05
14	0,15	2,16	0,07	0,07	0,70	0,31
15	0,33	2,05	0,17	0,09	0,95	0,02
16	0,12	2,29	0,12	0,06	0,59	0,51
17	0,39	2,44	0,00	0,19	0,94	0,00
18	0,33	2,27	0,05	0,00	1,06	0,10
19	0,00	2,08	0,06	0,00	0,82	0,00
20	0,16	2,18	0,00	0,01	0,71	0,00
21	0,26	2,19	0,10	0,06	0,83	0,00
22	0,13	2,24	0,06	0,08	1,08	0,02
23	0,19	2,26	0,08	0,01	1,04	0,00
24	0,04	2,24	0,02	0,00	0,75	0,21
25	0,16	1,98	0,13	0,09	0,82	0,15
26	0,14	2,27	0,20	0,05	0,89	0,00
27	0,19	2,17	0,00	0,02	0,59	0,00
28	0,22	2,26	0,13	0,00	0,65	0,00
29	0,13	2,14	0,03	0,00	0,90	0,00
30	0,23	2,21	0,02	0,07	0,77	0,34
31	0,00	2,22	0,09	0,01	0,94	0,00
32	0,13	2,08	0,00	0,00	0,67	0,09
33	0,08	2,32	0,04	0,17	0,92	0,00
34	0,32	1,98	0,00	0,00	0,85	0,00
35	0,30	2,21	0,11	0,05	0,61	0,00
36	0,06	2,18	0,00	0,09	0,45	0,00
37	0,15	2,19	0,00	0,01	0,85	0,18
38	0,12	2,24	0,00	0,02	1,00	0,49
39	0,15	2,34	0,00	0,02	0,56	0,13
40	0,25	2,27	0,10	0,00	0,85	0,08
41	0,34	2,25	0,10	0,07	0,67	0,09
42	0,31	2,25	0,03	0,00	0,78	0,00
43	0,07	2,31	0,04	0,00	1,02	0,28

Tab. P35. Bodová liniová analýza. Naměř. hodn. Tavba K2. Homogenizováno 10 hod. Stopa č. 2.

č. BA	naměřený obsah prvků [hm. %]					
	Mn	Si	Mg	Cr	Ni	Cu
1	0,07	2,21	0,19	0,13	1,14	2,39
2	0,16	2,25	0,06	0,00	0,65	0,07
3	0,19	2,26	0,00	0,07	0,99	0,00
4	0,00	2,26	0,00	0,00	0,83	0,12
5	0,00	2,24	0,00	0,00	0,87	0,00
6	0,25	2,17	0,08	0,07	0,92	0,06
7	0,00	2,20	0,00	0,04	0,88	0,00
8	0,00	2,26	0,09	0,05	0,84	0,16
9	0,00	2,21	0,06	0,05	0,95	0,05
10	0,07	2,27	0,05	0,01	0,83	0,02
11	0,25	2,12	0,08	0,00	0,75	0,11
12	0,25	2,19	0,14	0,00	0,94	0,00
13	0,07	2,27	0,00	0,08	0,72	0,00
14	0,33	2,17	0,00	0,00	0,85	0,00
15	0,26	2,16	0,13	0,01	0,73	0,00
16	0,40	2,37	0,14	0,07	0,91	0,15
17	0,16	2,21	0,13	0,12	1,03	0,21
18	0,26	2,28	0,00	0,00	0,80	0,00
19	0,00	2,33	0,00	0,08	0,82	0,00
20	0,23	2,23	0,00	0,00	0,58	0,13
21	0,11	2,16	0,00	0,03	0,75	0,00
22	0,02	2,24	0,11	0,08	0,91	0,06
23	0,33	2,20	0,00	0,00	0,85	0,04
24	0,13	2,53	0,05	0,00	1,06	0,00
25	0,22	2,18	0,00	0,00	0,56	0,08
26	0,31	2,24	0,05	0,03	0,95	0,11
27	0,26	2,35	0,14	0,11	0,70	0,00
28	0,19	2,23	0,02	0,00	1,08	0,00
29	0,00	2,33	0,12	0,11	1,13	0,24
30	0,15	2,30	0,02	0,13	0,82	0,03
31	0,02	2,22	0,11	0,05	0,91	0,15
32	0,05	2,41	0,18	0,00	0,86	0,17
33	0,16	2,38	0,00	0,00	0,96	0,09
34	0,24	2,32	0,09	0,06	0,82	0,00
35	0,40	2,37	0,00	0,01	1,06	0,14
36	0,16	2,44	0,00	0,06	0,91	0,23
37	0,04	2,48	0,17	0,00	0,85	0,13

Tab. P36. Bodová liniová analýza. Naměřené hodnoty. Tavba K2. Homog. 10 hod. Stopa č. 3.

č. BA	naměřený obsah prvků [hm. %]					
	Mn	Si	Mg	Cr	Ni	Cu
1	0,00	0,90	0,07	0,48	2,32	3,76
2	0,08	2,18	0,05	0,07	0,57	0,01
3	0,32	2,32	0,01	0,05	0,81	0,19
4	0,00	2,18	0,14	0,04	1,07	0,13
5	0,11	2,19	0,19	0,06	0,63	0,00
6	0,21	2,19	0,00	0,00	1,11	0,24
7	0,29	2,22	0,01	0,00	0,67	0,00
8	0,06	2,25	0,18	0,15	0,85	0,17
9	0,05	2,29	0,16	0,14	0,89	0,00
10	0,25	2,26	0,05	0,01	0,74	0,00
11	0,01	2,29	0,05	0,08	0,96	0,00
12	0,02	2,28	0,12	0,12	0,91	0,00
13	0,14	2,21	0,09	0,00	0,91	0,14
14	0,00	2,25	0,16	0,11	0,96	0,32
15	0,12	2,22	0,02	0,17	0,92	0,00
16	0,08	2,38	0,13	0,04	0,70	0,00
17	0,13	2,31	0,04	0,06	0,90	0,00
18	0,31	2,23	0,08	0,00	0,89	0,28
19	0,13	2,26	0,07	0,06	0,99	0,00
20	0,12	2,38	0,05	0,00	0,60	0,25
21	0,00	2,32	0,00	0,10	1,01	0,00
22	0,05	2,28	0,09	0,19	1,12	0,17
23	0,15	2,40	0,13	0,00	0,85	0,00
24	0,23	2,24	0,17	0,00	0,93	0,51
25	0,12	2,47	0,00	0,00	1,04	0,50
26	0,17	2,42	0,00	0,00	0,76	0,00
27	0,15	2,49	0,06	0,00	0,68	0,00
28	0,02	2,50	0,05	0,06	0,85	0,00
29	0,31	2,38	0,13	0,00	0,69	0,13
30	0,25	2,80	0,40	0,19	1,19	2,04

Tab. P37. Bodová liniová analýza. Naměřené hodnoty. Tavba K25. Homog. 10 hod. Stopa č. 1.

č. BA	naměřený obsah prvků [hm. %]						
	Mn	Si	Mg	Cr	Ni	Cu	Mo
1	0,28	1,74	0,18	0,06	1,66	0,96	0,37
2	0,24	1,87	0,04	0,03	1,92	0,00	0,47
3	0,22	1,98	0,00	0,01	1,87	0,23	0,34
4	0,25	1,89	0,10	0,01	1,93	0,00	0,40
5	0,29	1,84	0,00	0,01	2,27	0,00	0,86
6	0,22	1,87	0,00	0,07	1,84	0,00	0,96
7	0,11	1,99	0,10	0,05	1,99	0,20	0,50
8	0,13	2,03	0,00	0,15	1,96	0,26	0,25
9	0,19	1,90	0,03	0,00	2,23	0,33	0,34
10	0,12	1,87	0,00	0,04	1,77	0,02	1,18
11	0,17	1,92	0,12	0,13	1,87	0,02	0,58
12	0,21	1,89	0,00	0,01	2,17	0,02	0,24
13	0,23	1,93	0,17	0,09	2,32	0,13	0,00
14	0,17	1,94	0,10	0,08	2,28	0,00	0,00
15	0,20	1,88	0,00	0,09	1,92	0,02	0,23
16	0,07	1,95	0,05	0,10	2,17	0,07	0,86
17	0,23	1,94	0,03	0,02	2,08	0,00	0,00
18	0,15	1,80	0,00	0,15	2,13	0,08	0,58
19	0,25	1,90	0,16	0,01	2,19	0,32	0,44
20	0,22	1,63	0,13	0,04	2,05	0,37	0,19
21	0,23	1,75	0,13	0,05	2,26	0,09	0,49
22	0,08	1,88	0,05	0,04	2,36	0,00	0,41
23	0,28	1,76	0,04	0,00	2,12	0,12	0,58
24	0,00	1,78	0,00	0,06	1,78	0,09	0,55
25	0,28	1,82	0,11	0,03	1,74	0,09	0,11
26	0,34	1,93	0,15	0,07	1,91	0,00	0,07
27	0,27	1,84	0,11	0,04	2,10	0,34	0,56
28	0,41	1,94	0,00	0,02	2,39	0,13	0,20
29	0,29	1,92	0,02	0,03	2,17	0,00	0,44
30	0,21	2,31	0,21	0,06	1,81	1,29	0,00

Tab. P38. Bodová liniová analýza. Naměřené hodnoty. Tavba K25. Homog. 10 hod. Stopa č. 2.

č. BA	naměřený obsah prvků [hm. %]						
	Mn	Si	Mg	Cr	Ni	Cu	Mo
1	0,15	1,35	0,85	0,00	1,99	19,77	0,00
2	0,13	2,05	0,00	0,00	2,21	0,00	0,00
3	0,29	1,84	0,13	0,00	1,81	0,00	0,26
4	0,20	1,89	0,01	0,03	2,01	0,17	0,03
5	0,20	2,05	0,07	0,01	1,87	0,06	0,21
6	0,16	1,91	0,01	0,01	2,15	0,39	0,56
7	0,24	2,02	0,00	0,01	2,10	0,05	0,18
8	0,32	1,99	0,15	0,00	2,21	0,00	0,16
9	0,29	1,94	0,06	0,00	2,04	0,00	0,00
10	0,29	1,98	0,00	0,00	2,23	0,07	0,16
11	0,22	2,00	0,00	0,04	2,16	0,35	0,00
12	0,19	2,17	0,07	0,00	2,17	0,14	0,00
13	0,17	2,03	0,01	0,00	2,12	0,14	0,52
14	0,33	1,87	0,00	0,04	2,30	0,01	0,22
15	0,19	1,98	0,10	0,00	2,36	0,09	0,44
16	0,23	2,06	0,00	0,11	1,72	0,31	0,02
17	0,25	2,14	0,00	0,06	2,00	0,49	0,51
18	0,19	1,93	0,05	0,00	2,35	0,00	0,25
19	0,28	2,05	0,00	0,05	2,26	0,13	0,33
20	0,06	2,20	0,00	0,11	1,96	0,10	0,00
21	0,39	1,88	0,05	0,05	2,04	0,00	0,03
22	0,32	1,94	0,04	0,08	1,95	0,00	0,22
23	0,22	1,84	0,00	0,12	2,20	0,00	0,36
24	0,28	1,89	0,12	0,07	2,21	0,16	0,00
25	0,17	2,04	0,00	0,09	1,91	0,29	0,32
26	0,15	2,11	0,14	0,00	2,27	0,00	0,34
27	0,14	1,93	0,15	0,08	2,04	0,33	0,40

Tab. P39. Bodová liniová analýza. Naměřené hodnoty. Tavba K25. Homog. 10 hod. Stopa č. 3.

č. BA	naměřený obsah prvků [hm. %]						
	Mn	Si	Mg	Cr	Ni	Cu	Mo
1	0,35	1,96	0,14	0,00	1,95	0,20	0,43
2	0,21	1,92	0,11	0,17	2,01	0,03	0,32
3	0,12	2,04	0,00	0,00	2,07	0,09	0,72
4	0,24	2,01	0,06	0,00	2,24	0,05	0,00
5	0,24	1,87	0,09	0,05	2,13	0,00	0,00
6	0,28	2,09	0,03	0,03	2,17	0,40	0,00
7	0,22	2,09	0,03	0,04	2,14	0,27	0,65
8	0,37	2,10	0,00	0,06	1,93	0,14	0,29
9	0,12	2,03	0,00	0,06	2,22	0,16	0,16
10	0,08	1,95	0,05	0,00	1,74	0,00	0,53
11	0,18	2,07	0,02	0,10	2,18	0,09	0,07
12	0,06	2,00	0,00	0,12	1,89	0,00	0,29
13	0,20	2,08	0,14	0,03	2,17	0,17	0,61
14	0,45	2,07	0,05	0,10	2,11	0,38	0,22
15	0,18	1,98	0,10	0,14	2,04	0,20	0,00
16	0,14	2,07	0,00	0,05	1,91	0,00	0,00
17	0,28	1,91	0,03	0,00	2,11	0,19	0,00
18	0,23	1,98	0,01	0,00	2,39	0,00	0,27
19	0,21	2,03	0,00	0,00	2,10	0,08	0,58
20	0,34	2,01	0,04	0,01	1,90	0,09	0,47
21	0,24	1,92	0,03	0,17	1,94	0,27	0,04
22	0,19	1,82	0,15	0,13	1,93	0,13	0,32
23	0,25	2,01	0,10	0,00	1,94	0,40	0,54
24	0,00	2,04	0,04	0,04	2,20	0,00	0,00
25	0,21	2,03	0,00	0,06	2,13	0,16	0,77
26	0,41	2,03	0,08	0,02	2,10	0,07	0,00
27	0,35	1,97	0,13	0,01	2,30	0,16	0,45
28	0,17	2,00	0,06	0,12	2,16	0,01	0,00
29	0,09	2,05	0,07	0,18	2,21	0,09	0,37
30	0,27	1,88	0,00	0,16	2,02	0,32	0,00
31	0,26	1,94	0,05	0,02	2,05	0,20	0,09
32	0,23	1,97	0,00	0,03	1,96	0,00	0,16
33	0,21	1,89	0,00	0,08	1,91	0,01	0,20
34	0,17	1,93	0,00	0,08	2,30	0,28	0,18
35	0,27	2,03	0,07	0,09	2,02	0,34	0,00
36	0,24	1,99	0,06	0,00	2,06	0,10	0,20
37	0,10	2,00	0,00	0,06	1,87	0,10	0,60
38	0,00	1,66	0,42	0,31	1,21	2,23	0,08

Tab. P40. Bodová liniová analýza. Naměřené hodnoty. Tavba K3. Homog. 10 hod. Stopa č. 1.

č. BA	naměřený obsah prvků [hm. %]					
	Mn	Si	Mg	Cr	Ni	Cu
1	0,13	0,60	0,22	0,00	2,41	0,82
2	0,05	2,22	0,11	0,00	2,81	0,31
3	0,08	2,31	0,09	0,03	2,68	0,00
4	0,15	2,53	0,05	0,02	2,94	0,03
5	0,27	2,47	0,00	0,00	3,01	0,00
6	0,10	2,35	0,05	0,05	3,00	0,00
7	0,00	2,49	0,02	0,00	2,77	0,02
8	0,07	2,43	0,02	0,05	3,26	0,00
9	0,00	2,30	0,10	0,00	2,89	0,15
10	0,13	2,48	0,00	0,04	2,72	0,18
11	0,04	2,39	0,00	0,05	2,83	0,13
12	0,14	2,59	0,09	0,02	2,65	0,16
13	0,23	2,26	0,04	0,09	2,94	0,13
14	0,11	2,44	0,06	0,07	2,65	0,16
15	0,11	2,38	0,00	0,04	3,30	0,31
16	0,08	2,51	0,04	0,00	3,16	0,00
17	0,04	2,42	0,15	0,00	2,84	0,00
18	0,10	2,48	0,05	0,12	3,00	0,29
19	0,08	2,53	0,19	0,00	2,98	0,00
20	0,23	2,49	0,01	0,00	2,74	0,31
21	0,14	2,42	0,03	0,00	2,51	0,27
22	0,15	2,38	0,07	0,03	2,83	0,06
23	0,05	2,38	0,15	0,02	3,21	0,00
24	0,00	2,40	0,21	0,03	2,48	0,00
25	0,28	2,38	0,02	0,00	2,98	0,00
26	0,49	2,56	0,08	0,00	2,81	0,00
27	0,15	2,50	0,02	0,22	2,92	0,08
28	0,06	2,42	0,10	0,04	2,87	0,00
29	0,12	2,54	0,09	0,13	2,81	0,18
30	0,00	2,47	0,12	0,12	2,88	0,29
31	0,19	2,30	0,00	0,04	3,09	0,00
32	0,00	2,31	0,01	0,15	2,98	0,00
33	0,01	2,50	0,03	0,00	2,49	0,00
34	0,04	2,40	0,08	0,08	3,13	0,15
35	0,12	2,33	0,06	0,00	2,87	0,00
36	0,00	2,50	0,12	0,15	3,13	0,00
37	0,00	3,22	0,20	0,15	2,66	0,66

Tab. P41. Bodová liniová analýza. Naměřené hodnoty. Tavba K3. Homog. 10 hod. Stopa č. 2.

č. BA	naměřený obsah prvků [hm. %]					
	Mn	Si	Mg	Cr	Ni	Cu
1	0,00	1,14	0,00	0,24	3,62	3,19
2	0,16	2,26	0,07	0,06	2,78	0,09
3	0,21	2,27	0,00	0,14	2,82	0,00
4	0,15	2,42	0,16	0,03	2,44	0,09
5	0,00	2,30	0,00	0,00	2,55	0,01
6	0,12	2,34	0,11	0,06	2,88	0,10
7	0,00	2,33	0,00	0,08	2,97	0,07
8	0,00	2,33	0,00	0,00	2,91	0,27
9	0,21	2,36	0,21	0,04	2,58	0,17
10	0,00	2,45	0,08	0,09	2,76	0,15
11	0,21	2,19	0,00	0,04	2,89	0,00
12	0,10	2,42	0,00	0,04	2,75	0,03
13	0,10	2,31	0,10	0,09	2,56	0,22
14	0,12	2,26	0,00	0,05	2,75	0,17
15	0,04	2,49	0,08	0,10	2,77	0,00
16	0,18	2,24	0,10	0,02	2,77	0,00
17	0,18	2,37	0,00	0,00	2,81	0,24
18	0,09	2,38	0,02	0,08	2,77	0,14
19	0,14	2,40	0,05	0,00	2,71	0,11
20	0,20	2,31	0,08	0,00	2,47	0,00
21	0,07	2,29	0,02	0,03	2,59	0,21
22	0,28	2,33	0,00	0,00	2,59	0,23
23	0,00	2,46	0,11	0,00	2,54	0,06
24	0,04	2,45	0,21	0,07	2,64	0,25
25	0,09	2,43	0,20	0,02	2,36	0,13
26	0,13	2,42	0,00	0,12	2,94	0,00
27	0,12	2,38	0,02	0,13	2,82	0,00
28	0,06	2,44	0,07	0,02	2,70	0,00
29	0,00	2,47	0,03	0,00	2,95	0,00
30	0,00	2,43	0,00	0,00	2,67	0,00
31	0,03	2,42	0,14	0,03	2,68	0,32
32	0,17	2,40	0,00	0,01	2,53	0,31
33	0,11	2,44	0,11	0,00	2,90	0,27
34	0,33	2,26	0,08	0,00	2,73	0,11
35	0,12	2,33	0,16	0,00	2,72	0,24
36	0,28	2,50	0,16	0,00	2,62	0,01
37	0,05	2,57	0,11	0,00	2,83	0,00
38	0,11	3,09	0,30	0,00	3,02	1,30

Tab. P42. Bodová liniová analýza. Naměřené hodnoty. Tavba K3. Homog. 10 hod. Stopa č. 3.

č. BA	naměřený obsah prvků [hm. %]					
	Mn	Si	Mg	Cr	Ni	Cu
1	0,00	2,13	0,00	0,06	3,15	0,06
2	0,08	2,22	0,16	0,06	2,93	0,29
3	0,00	2,22	0,00	0,05	3,08	0,00
4	0,15	2,27	0,09	0,00	2,85	0,23
5	0,29	2,39	0,09	0,00	2,47	0,00
6	0,13	2,31	0,04	0,01	2,90	0,21
7	0,00	2,33	0,07	0,17	3,03	0,22
8	0,09	2,29	0,00	0,00	2,79	0,00
9	0,07	2,32	0,12	0,09	2,51	0,15
10	0,00	2,35	0,04	0,08	3,03	0,11
11	0,13	2,40	0,14	0,03	2,81	0,00
12	0,19	2,37	0,10	0,00	2,88	0,18
13	0,17	2,31	0,12	0,08	2,86	0,05
14	0,19	2,25	0,00	0,03	2,96	0,16
15	0,03	2,29	0,14	0,00	2,66	0,23
16	0,01	2,37	0,00	0,00	3,22	0,24
17	0,11	2,41	0,10	0,00	2,54	0,00
18	0,26	2,44	0,00	0,00	2,69	0,23
19	0,09	2,22	0,05	0,12	3,22	0,00
20	0,00	2,38	0,00	0,00	2,93	0,00
21	0,07	2,44	0,05	0,04	2,83	0,12
22	0,00	2,40	0,09	0,00	2,62	0,17
23	0,00	2,37	0,00	0,00	3,07	0,40
24	0,07	2,27	0,15	0,00	2,68	0,11
25	0,20	2,38	0,05	0,00	2,82	0,18
26	0,00	2,50	0,00	0,09	3,14	0,00
27	0,07	2,33	0,09	0,00	2,73	0,00
28	0,17	2,53	0,06	0,06	2,78	0,00
29	0,00	2,33	0,14	0,03	2,48	0,52
30	0,06	2,34	0,17	0,06	3,14	0,02
31	0,11	2,47	0,00	0,00	2,75	0,00
32	0,00	2,89	0,04	0,00	3,26	0,02

Tab. P43. Bodová liniová analýza. Naměřené hodnoty. Tavba K4. Homog. 10 hod. Stopa č. 1.

č. BA	naměřený obsah prvků [hm. %]					
	Mn	Si	Mg	Cr	Ni	Cu
1	0,00	2,21	0,35	0,03	3,73	5,14
2	0,06	2,71	0,00	0,00	3,85	0,35
3	0,00	2,60	0,11	0,00	3,39	0,53
4	0,14	2,67	0,00	0,01	3,36	0,29
5	0,00	2,58	0,12	0,00	4,11	0,19
6	0,10	2,72	0,00	0,00	3,49	0,00
7	0,15	2,56	0,11	0,00	3,43	0,15
8	0,03	2,79	0,08	0,01	3,93	0,05
9	0,00	2,73	0,20	0,04	3,61	0,19
10	0,05	2,51	0,04	0,00	3,81	0,00
11	0,13	2,66	0,17	0,13	4,11	0,00
12	0,29	2,61	0,00	0,01	3,70	0,05
13	0,01	2,60	0,00	0,05	3,65	0,18
14	0,19	2,62	0,16	0,00	3,97	0,00
15	0,00	2,64	0,00	0,11	3,92	0,00
16	0,17	2,54	0,15	0,00	3,95	0,20
17	0,08	2,65	0,00	0,00	3,80	0,01
18	0,01	2,55	0,13	0,06	3,89	0,06
19	0,00	2,78	0,16	0,06	4,05	0,00
20	0,00	2,57	0,17	0,01	3,65	0,00
21	0,16	2,73	0,10	0,00	3,37	0,17
22	0,09	2,52	0,18	0,00	3,98	0,02
23	0,00	2,68	0,02	0,06	3,94	0,54
24	0,00	2,72	0,04	0,08	3,87	0,41
25	0,06	2,62	0,12	0,06	3,49	0,06
26	0,12	2,70	0,08	0,07	4,09	0,32
27	0,14	2,54	0,02	0,00	3,86	0,01
28	0,00	2,52	0,13	0,04	4,19	0,35
29	0,05	2,52	0,10	0,08	3,80	0,32
30	0,07	2,46	0,12	0,01	4,16	0,01
31	0,30	2,72	0,37	0,05	4,20	4,96

Tab. P44. Bodová liniová analýza. Naměřené hodnoty. Tavba K4. Homog. 10 hod. Stopa č. 2.

č. BA	naměřený obsah prvků [hm. %]					
	Mn	Si	Mg	Cr	Ni	Cu
1	0,13	0,78	0,67	0,00	2,72	17,64
2	0,13	2,52	0,12	0,09	3,57	0,43
3	0,00	2,53	0,00	0,05	2,85	0,20
4	0,00	2,39	0,00	0,00	3,57	0,00
5	0,00	2,47	0,06	0,00	3,88	0,26
6	0,00	2,56	0,07	0,10	3,47	0,16
7	0,00	2,60	0,04	0,04	3,27	0,12
8	0,13	2,50	0,10	0,00	3,49	0,01
9	0,00	2,43	0,03	0,00	3,39	0,28
10	0,09	2,67	0,06	0,00	3,39	0,15
11	0,04	2,60	0,08	0,00	3,45	0,17
12	0,03	2,60	0,00	0,00	3,47	0,14
13	0,14	2,60	0,01	0,03	3,80	0,09
14	0,12	2,58	0,05	0,07	3,75	0,00
15	0,07	2,52	0,11	0,02	3,45	0,23
16	0,04	2,56	0,12	0,00	3,38	0,08
17	0,01	2,48	0,11	0,04	3,60	0,36
18	0,02	2,42	0,13	0,02	3,55	0,03
19	0,06	2,53	0,02	0,00	3,36	0,17
20	0,03	2,60	0,28	0,00	3,49	0,28
21	0,12	2,55	0,00	0,06	3,25	0,47
22	0,02	2,59	0,11	0,06	3,63	0,06
23	0,30	2,60	0,09	0,00	3,35	0,08
24	0,00	2,59	0,00	0,00	3,72	0,00
25	0,10	2,56	0,09	0,02	3,42	0,11
26	0,00	2,61	0,00	0,06	3,23	0,26
27	0,03	2,40	0,11	0,08	3,28	0,56
28	0,00	2,67	0,00	0,10	3,01	0,20
29	0,00	2,64	0,08	0,02	3,60	0,23
30	0,08	2,68	0,07	0,00	3,62	0,11
31	0,00	2,76	0,14	0,00	3,60	1,20

Tab. P45. Bodová liniová analýza. Naměřené hodnoty. Tavba K4. Homog. 10 hod. Stopa č. 3.

č. BA	naměřený obsah prvků [hm. %]					
	Mn	Si	Mg	Cr	Ni	Cu
1	0,09	2,31	0,45	0,00	3,44	9,47
2	0,02	2,50	0,13	0,06	3,45	0,21
3	0,00	2,61	0,11	0,00	3,38	0,12
4	0,00	2,52	0,08	0,08	3,54	0,00
5	0,04	2,55	0,00	0,00	3,39	0,38
6	0,10	2,56	0,09	0,09	3,32	0,01
7	0,02	2,45	0,09	0,00	3,84	0,28
8	0,00	2,57	0,02	0,05	3,91	0,50
9	0,10	2,49	0,15	0,06	3,74	0,17
10	0,04	2,54	0,02	0,05	3,69	0,17
11	0,12	2,76	0,11	0,07	3,38	0,06
12	0,02	2,55	0,00	0,02	3,65	0,24
13	0,02	2,61	0,07	0,02	3,72	0,17
14	0,14	2,42	0,06	0,05	3,92	0,26
15	0,04	2,58	0,00	0,00	3,53	0,02
16	0,00	2,58	0,06	0,07	3,57	0,19
17	0,00	2,65	0,08	0,00	3,66	0,28
18	0,13	2,55	0,11	0,00	3,43	0,28
19	0,16	2,47	0,12	0,03	3,77	0,06
20	0,06	2,44	0,02	0,07	3,41	0,01
21	0,24	2,50	0,04	0,00	3,63	0,30
22	0,20	2,52	0,09	0,01	3,58	0,32
23	0,03	2,51	0,00	0,08	3,23	0,24
24	0,08	2,45	0,12	0,00	3,13	0,13
25	0,00	2,50	0,12	0,02	3,65	0,38
26	0,22	2,58	0,14	0,05	3,35	0,00
27	0,04	2,50	0,11	0,03	3,41	0,36
28	0,00	2,59	0,05	0,00	3,77	0,20
29	0,03	2,68	0,10	0,00	3,23	0,12
30	0,06	2,88	0,18	0,00	3,39	1,05

Tab. P46. Naměřené koncentrace sledovaných prvků. Bodové analýzy v okolí grafitu a na styku tří eutektických buněk. Litý stav.

tavba	K1		K2		K25		K3		K4	
prvek	Si	Ni	Si	Ni	Si	Ni	Si	Ni	Si	Ni
	[hm. %]									
koncentrace v okolí grafitu C^G	1,26	0,11	2,64	1,15	2,23	2,11	2,77	3,20	2,76	4,16
	1,83	0,37	3,05	0,79	2,21	2,37	2,67	3,49	2,73	3,76
	2,21	0,44	2,62	0,99	2,18	2,07	2,66	2,92	2,48	2,94
	2,59	0,44	2,75	1,20	2,34	2,11	2,52	3,34	2,80	4,12
	2,00	0,41	2,78	0,97	2,20	2,10	2,88	3,50	2,94	4,00
	2,06	0,33	2,62	1,12	2,26	2,16	2,53	3,33	2,73	4,22
	2,30	0,49	2,80	1,00	2,16	2,14	2,58	3,20	2,76	4,19
	2,51	0,41	2,89	0,83	2,16	2,24	2,11	2,78	2,86	4,15
	1,51	0,18	2,85	1,15	1,98	1,97	2,61	2,80	2,72	4,17
	1,28	0,41	2,75	0,97	2,13	2,22	2,58	3,09	2,76	4,18
	2,45	0,53	2,11	0,83	2,28	2,39	2,51	2,96	2,84	4,49
	2,56	0,74	2,40	0,78	2,25	2,46	3,48	3,22	2,73	3,85
	koncentrace na styku eutektických buněk C^{EB}	1,37	0,45	2,82	1,30	1,86	1,61	2,25	2,25	2,47
1,27		0,45	2,71	0,91	1,98	1,59	1,87	2,01	2,48	3,34
1,29		0,14	2,56	1,18	1,69	1,45	2,26	2,50	2,72	3,29
1,52		0,44	2,70	0,96	1,72	1,86	2,42	2,38	2,43	3,43
1,39		0,12	1,96	0,97	1,34	1,15	2,26	2,32	2,07	2,58
2,42		0,35	2,06	0,41	1,41	1,43	1,99	2,24	1,79	2,57
1,77		0,37	2,21	0,73	1,24	1,38	2,06	2,74	2,13	3,12
1,82		0,68	1,75	0,74	1,25	1,00	2,28	2,29	2,23	2,86
1,82		0,53	1,45	0,62	1,39	1,22	2,04	2,06	2,80	3,89
1,74		0,38	1,42	0,51	1,38	1,15	2,06	1,93	2,38	3,50
1,73		0,33	1,38	0,52	1,53	1,35	2,08	1,82	2,57	4,08
1,71		0,09	1,18	0,82	1,31	1,12	1,96	1,98	2,66	3,82
1,70		0,51					1,78	2,27		
2,04		0,48					1,58	1,65		
1,65		0,00					1,45	2,06		

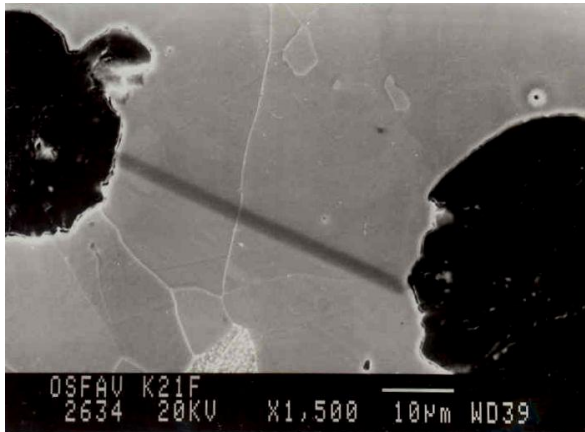
Tab. P47. Naměřené koncentrace sledovaných prvků. Bodové analýzy v okolí grafitu a na styku tří eutektických buněk. Homogenizováno 1100°C/10 hodin/voda.

tavba	K1		K2		K25		K3		K4
prvek	Si	Ni	Si	Ni	Si	Ni	Si	Ni	Si
	[hm. %]								
koncentrace v okolí grafitu C^G	2,70	0,88	0,55	1,04	1,74	1,66	0,60	2,41	2,21
	2,38	0,53	1,95	1,04	1,87	1,92	2,22	2,81	2,71
	2,42	0,54	2,25	0,78	1,92	2,17	2,50	3,13	2,46
	2,35	0,74	2,31	1,02	2,31	1,81	3,22	2,66	2,72
	1,19	0,38	2,21	1,14	1,35	1,99	1,14	3,62	0,78
	2,29	0,42	2,25	0,65	2,05	2,21	2,26	2,78	2,52
	2,30	0,21	2,44	0,91	2,11	2,27	2,57	2,83	2,68
	2,23	0,58	2,48	0,85	1,93	2,04	3,09	3,02	2,76
	0,76	0,59	0,90	2,32	1,96	1,95	2,13	3,15	2,52
	2,24	0,56	2,18	0,57	1,92	2,01	2,22	2,93	2,53
	2,09	0,42	2,38	0,69	2,00	1,87	2,89	3,26	2,68
	2,57	0,00	2,80	1,19	1,66	1,21	5,52	4,90	2,76
	koncentrace na styku eutektických buněk C^{EB}	2,19	0,65	2,16	0,84	1,88	1,94	2,37	2,54
2,28		0,48	2,16	0,98	1,94	1,87	2,34	2,59	2,57
2,34		0,42	2,10	0,99	1,92	1,89	2,41	2,92	2,52
2,29		0,70	2,24	0,99	1,83	2,08	2,38	2,69	2,56
2,21		0,44	2,05	0,98	1,92	1,90	2,32	3,20	2,53
2,18		0,73	2,33	0,99	2,01	1,87	2,35	2,73	2,47
2,35		0,57	2,41	0,93	1,98	2,13	2,31	2,58	2,58
2,31		0,59	2,32	1,08	2,02	1,98	2,53	2,50	2,61
2,33		0,71	2,30	0,68	1,97	1,98	2,39	2,66	2,57
2,31		0,39	2,27	1,20	2,00	2,25	2,38	2,80	2,73
2,10		0,50	2,37	1,06	2,14	2,22	2,32	2,94	2,62
2,03		0,62	2,25	0,94	2,05	1,78	2,43	3,05	2,60
2,04		0,38	2,35	1,04	2,07	2,40	2,48	2,59	2,53
2,20		0,52	2,44	0,84	2,09	2,21	2,34	2,64	2,58
2,12		0,42			2,02	2,09	2,28	2,93	2,58

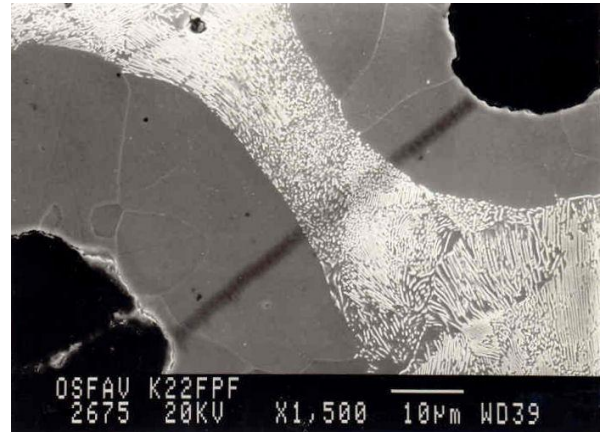
Tab. P48. Naměřené koncentrace sledovaných prvků. Bodové analýzy v okolí grafitu a na styku tří eutektických buněk. Homogenizováno 1100°C/24 hodin/voda.

tavba	K1		K2		K25		K3		K4
prvek	Si	Ni	Si	Ni	Si	Ni	Si	Ni	Si
	[hm. %]								
koncentrace v okolí grafitu C^G	2,66	0,00	2,58	0,78	2,48	2,27	3,00	2,91	2,83
	2,79	0,00	2,86	0,99	2,35	2,39	2,97	3,14	2,89
	2,92	0,00	3,06	1,04	2,39	2,35	3,03	3,05	2,96
	0,01	0,00	3,02	0,89	2,54	2,16	3,01	2,09	3,18
	2,85	0,65	2,99	0,93	2,37	2,22	2,78	2,99	3,04
	2,71	0,68	2,79	0,84	2,39	2,14	2,70	2,99	3,07
	3,04	0,95	2,97	1,08	2,38	2,02	2,98	3,19	2,90
	3,02	0,66	2,83	1,07	2,48	2,26	2,95	3,34	2,88
	2,86	0,61	2,80	1,17	2,38	2,04	2,99	3,02	3,02
	2,58	0,63	3,02	0,91	2,27	1,80	2,99	3,01	2,95
	2,48	0,88	2,81	1,01	2,49	2,16	2,96	2,96	3,08
	2,59	0,82	2,77	0,77	2,57	2,25	2,94	2,95	2,78
	2,56	0,00	2,87	1,27	2,20	2,03	3,04	3,18	2,96
	2,85	0,70	2,91	0,93	2,41	2,20	3,13	3,03	2,79
	2,84	0,00	2,78	1,13	2,36	2,17	2,95	2,81	3,29
	2,84	0,97	2,87	0,89	2,61	3,30	3,07	2,81	2,99
	2,73	0,76	3,10	0,84	2,52	2,27	3,12	2,91	3,03
	2,69	0,94	3,07	1,02	2,46	2,51	2,92	2,92	3,23
	2,85	0,50	2,85	1,11	2,35	2,23	3,26	3,12	3,19
	3,01	0,49	2,76	0,99	2,47	2,11	2,17	2,69	2,86
	2,31	0,55	3,13	1,21	2,56	2,17	2,57	2,91	3,16
	2,59	0,46	2,98	0,82	2,49	2,30	3,02	2,83	2,73
	2,31	0,48	2,68	0,96	2,23	2,25	3,15	3,24	2,60
	2,30	0,48	3,14	0,80	2,55	2,30	2,97	3,36	3,23
2,73	0,69	3,06	1,03	2,00	2,16	3,07	2,98	2,85	
2,55	0,52	2,90	0,76	2,59	2,38	2,96	2,81	2,94	
2,50	0,48	2,16	1,07	2,61	2,29	3,17	3,27	3,21	
2,93	0,61	2,43	0,87	2,60	2,28	3,17	3,00	2,71	
2,80	0,53	2,94	0,99	2,40	2,26	3,19	2,65	3,17	
2,45	0,40	3,68	1,13	2,26	2,30	3,01	2,68	3,27	
koncentrace na styku eutektických buněk C^{EB}	2,88	0,55	3,01	1,00	2,44	2,16	2,99	3,08	2,82
	2,88	0,68	3,06	1,11	2,47	2,33	2,81	3,03	2,94
	2,90	0,77	3,04	1,00	2,31	2,09	2,77	4,52	2,88
	2,80	0,60	2,88	1,09	2,44	2,22	3,02	3,12	2,89
	2,85	0,69	2,92	1,16	2,12	2,29	2,88	2,94	2,86
	3,08	0,87	2,77	1,11	2,36	1,95	2,95	3,21	3,01
	2,84	0,00	2,80	0,89	2,22	1,94	3,07	2,96	3,17
	2,81	0,67	2,96	0,91	2,25	1,95	3,02	2,81	2,86
	2,65	0,75	3,04	0,96	2,35	1,95	2,77	3,24	3,14
	2,71	0,80	2,82	0,93	2,73	1,57	2,98	3,15	2,99
	2,55	0,90	2,88	1,13	2,28	1,93	2,78	3,00	3,13
	2,79	0,00	2,82	0,75	2,26	1,71	2,89	2,91	2,95
	2,97	0,83	2,84	1,24	2,26	2,17	2,80	2,67	3,06
	2,91	1,00	2,95	1,04	2,21	2,21	2,79	2,70	3,21
	2,78	1,03	2,83	1,05	2,41	2,20	2,77	2,88	3,03
	2,68	0,69	2,95	1,04	2,40	1,80	2,71	2,80	3,01
	2,58	0,92	2,86	0,95	2,39	2,28	2,88	2,74	2,85
	2,73	0,93	2,26	0,86	2,22	1,94	2,87	2,82	2,95
	2,99	0,84	2,25	0,85	2,10	2,23	2,56	2,78	2,86
	3,20	0,79	2,24	0,85	2,15	2,31	2,95	3,12	3,03
	2,37	0,70	2,24	0,85	2,00	1,98	2,81	2,98	3,10
	2,22	0,69	2,24	0,84	2,01	2,21	3,12	3,97	3,00
	3,07	0,53	2,23	0,83	2,99	2,00	2,33	2,96	2,95
	2,64	0,70	2,23	0,83	2,96	2,12	3,00	3,02	3,12
2,96	0,50	2,22	0,82	2,05	1,91	3,00	3,65	2,99	
3,08	0,62	2,21	0,82	2,78	1,72	2,60	2,62	2,89	
2,74	0,84	2,21	0,82	2,26	1,97	3,03	2,61	2,91	
2,80	0,57	2,20	0,80	2,44	2,16	3,12	2,59	2,90	
2,02	0,73	2,20	0,75	2,43	2,00	2,98	2,64	3,00	
3,51	0,94	2,19	0,75	2,12	2,01	3,03	3,45	3,10	

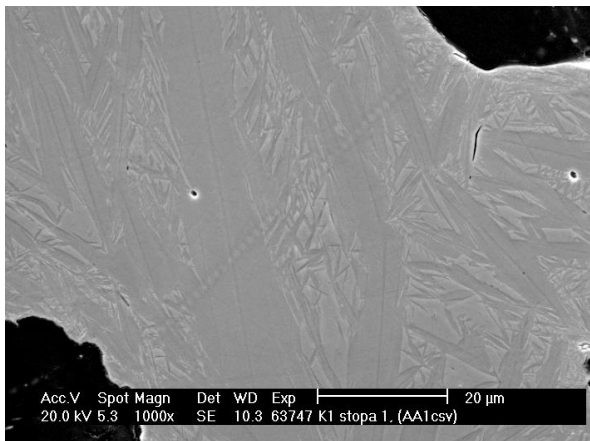
12.2. *Obrazová část*



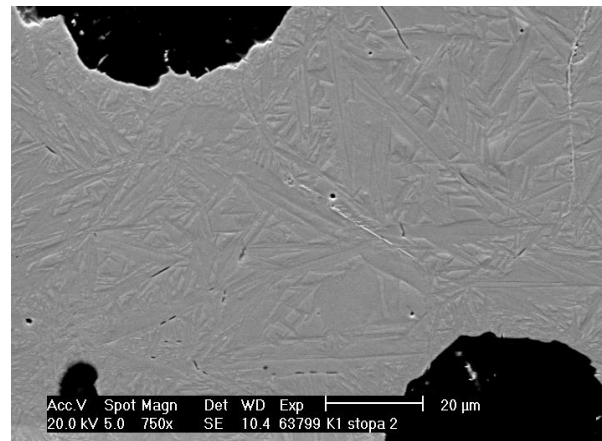
Obr. P1. Příklad struktury litého stavu s kontaminační stopou po liniové analýze, vzorek K2. Zv. 1500×. *JEOL JXA 840A.*



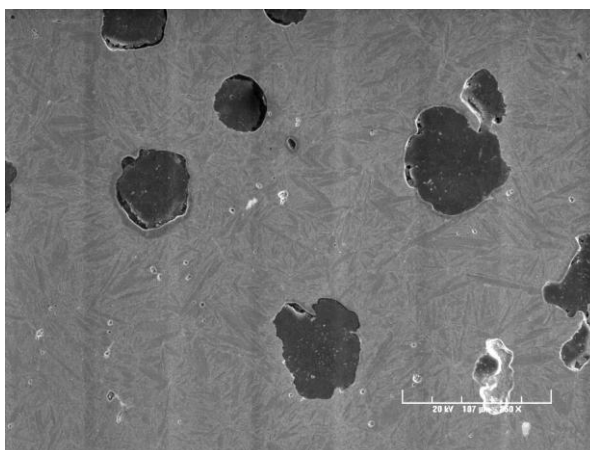
Obr. P2. Příklad struktury litého stavu s kontaminační stopou po liniové analýze, vzorek K2. Zv. 1500×. *JEOL JXA 840A.*



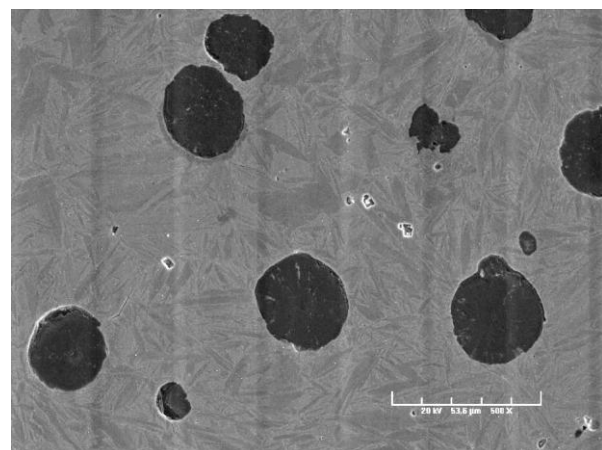
Obr. P3. Struktura homogenizovaného (5 hod.) stavu, vzorek K1. Zv. 1000×. *PHILIPS XL30.*



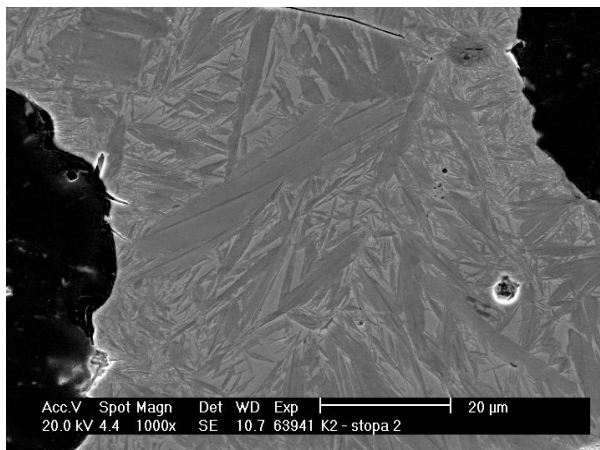
Obr. P4. Struktura homogenizovaného (5 hod.) stavu, vzorek K1. Zv. 1000×. *PHILIPS XL30.*



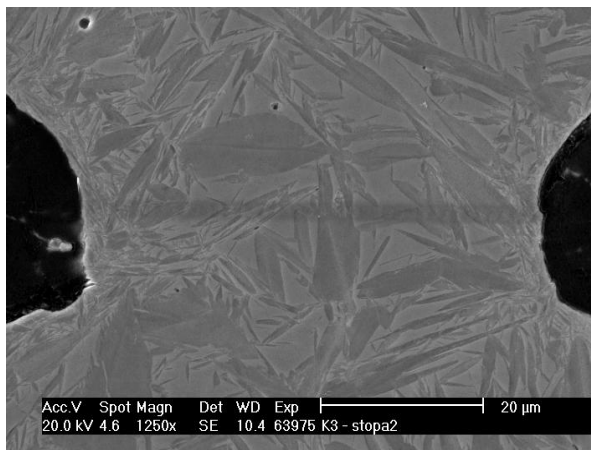
Obr. P5. Struktura homogenizovaného (5 hod.) stavu, vzorek K2. Zv. 500×. *JEOL JXA 840A/AVALON.*



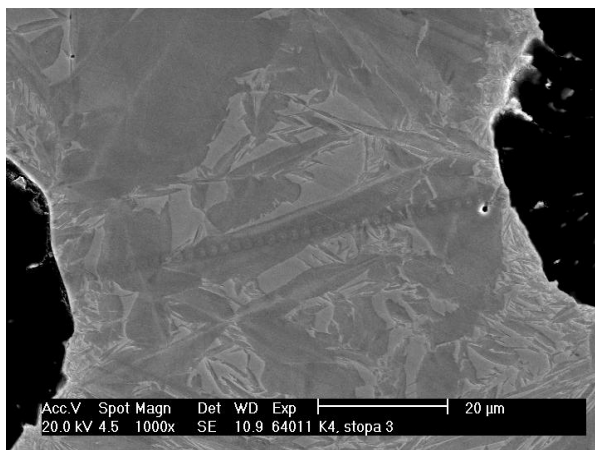
Obr. P6. Struktura homogenizovaného (5 hod.) stavu, vzorek K3. Zv. 500×. *JEOL JXA 840A/AVALON.*



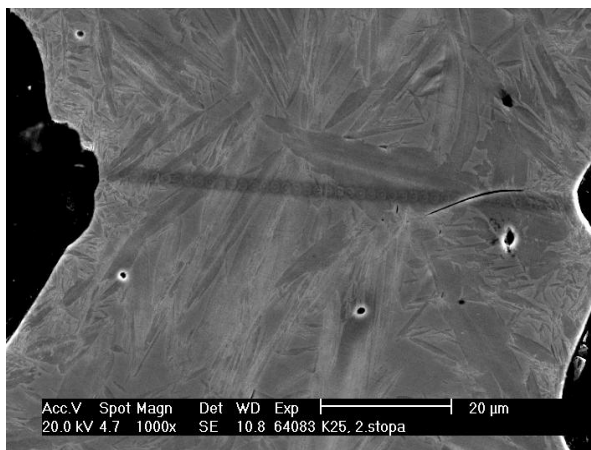
Obr. P7. Struktura homogenizovaného (5 hod.) stavu, vzorek K2. Zv. 1000×. *PHILIPS XL30.*



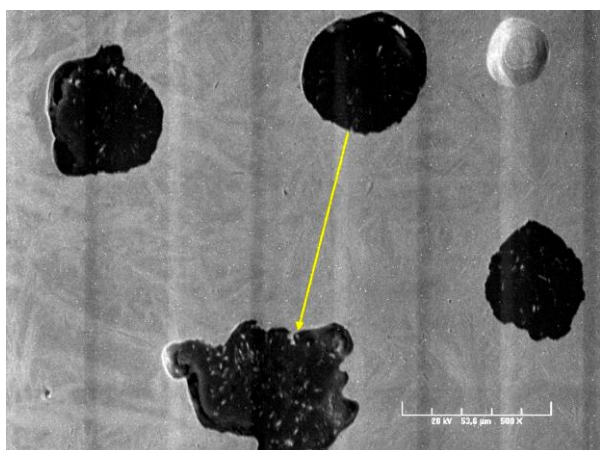
Obr. P8. Struktura hom. (5 hod.) stavu s kontaminační stopou po liniové analýze, vzorek K3. Zv. 1250×. *PHILIPS XL30.*



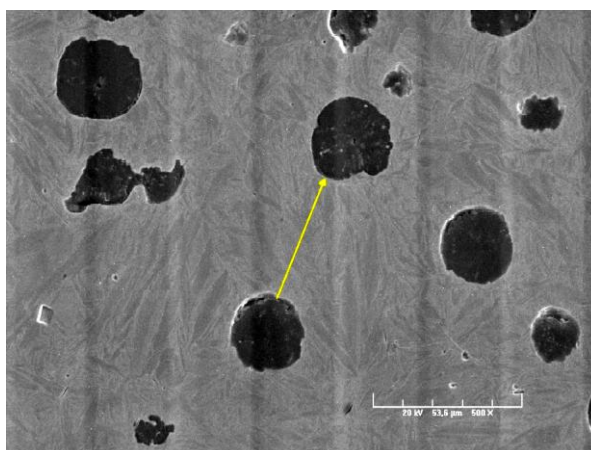
Obr. P9. Struktura hom. (5 hod.) stavu s kontaminační stopou po liniové analýze, vzorek K3. Zv. 1250×. *PHILIPS XL30.*



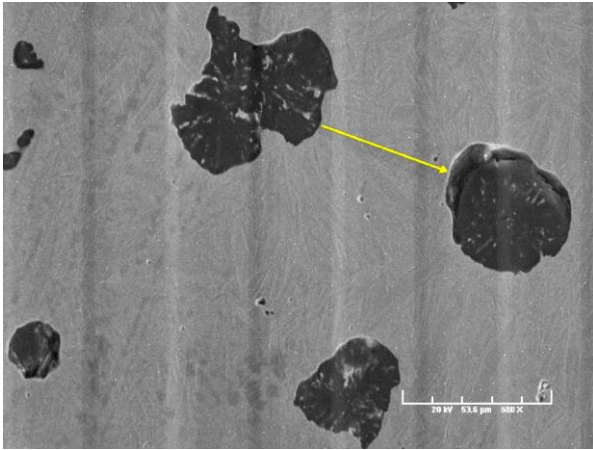
Obr. P10. Struktura hom. (5 hod.) stavu s kontaminační stopou po liniové analýze, vzorek K3. Zv. 1250×. *PHILIPS XL30.*



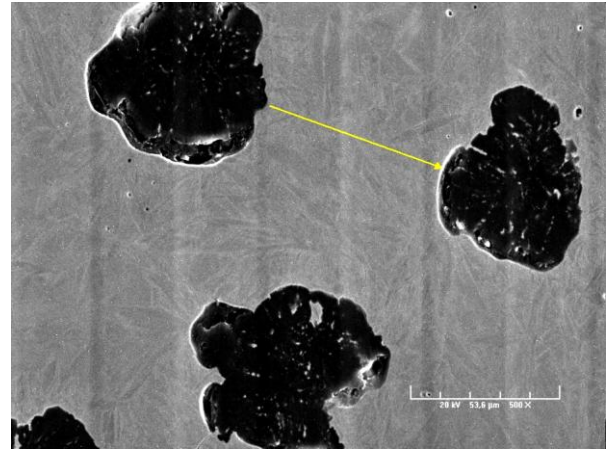
Obr. P11. Struktura homog. (5 hod.) stavu s vyzn. liniové analýzy, vzorek K1. Zv. 500×. *JEOL JXA 840A/AVALON.*



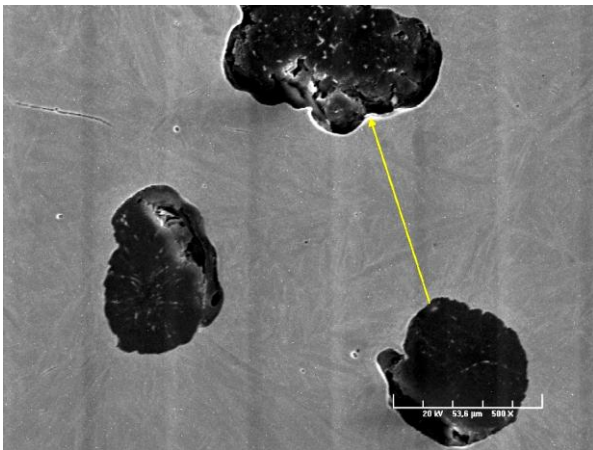
Obr. P12. Struktura homog. (5 hod.) stavu s vyzn. liniové analýzy, vzorek K3. Zv. 500×. *JEOL JXA 840A/AVALON.*



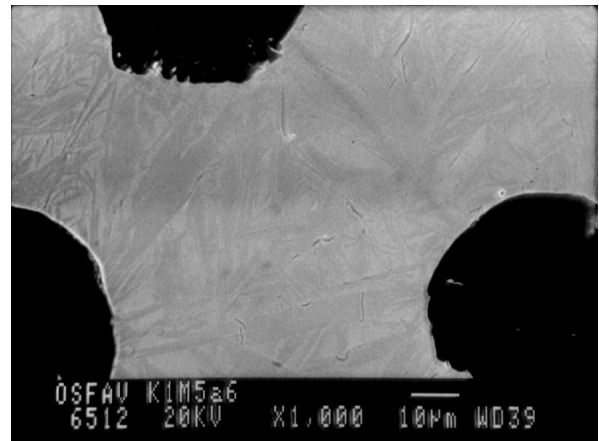
Obr. P13. — Struktura homog. (5 hod.) stavu s vyzn. liniové analýzy, vzorek K4. Zv. 500×. JEOL JXA 840A/AVALON.



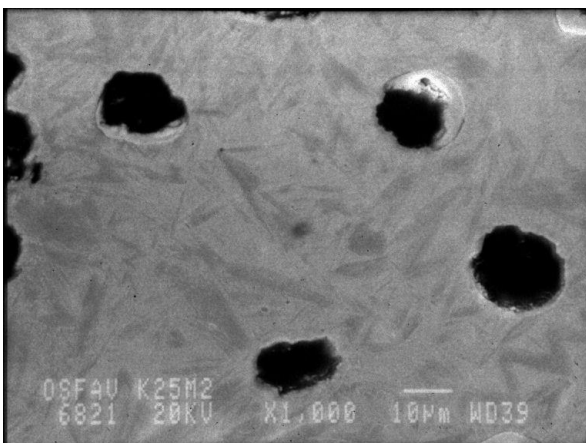
Obr. P14. Struktura homog. (5 hod.) stavu s vyzn. liniové analýzy, vzorek K25. Zv. 500×. JEOL JXA 840A/AVALON.



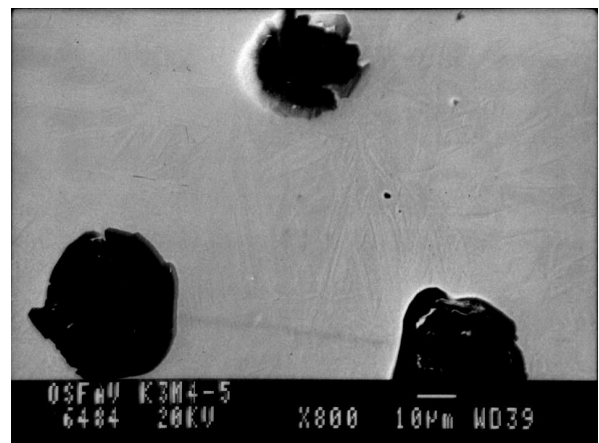
Obr. P15. Struktura homog. (5 hod.) stavu s vyzn. liniové analýzy, vzorek K25. Zv. 500×. JEOL JXA 840A/AVALON.



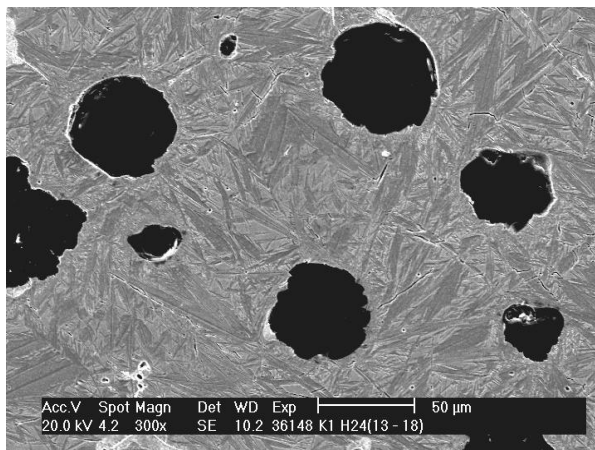
Obr. P16. Struktura homog. (10 hod.) stavu s kont. stopou po liniové analýze, vzorek K. Zv. 1000×. JEOL JXA 840A



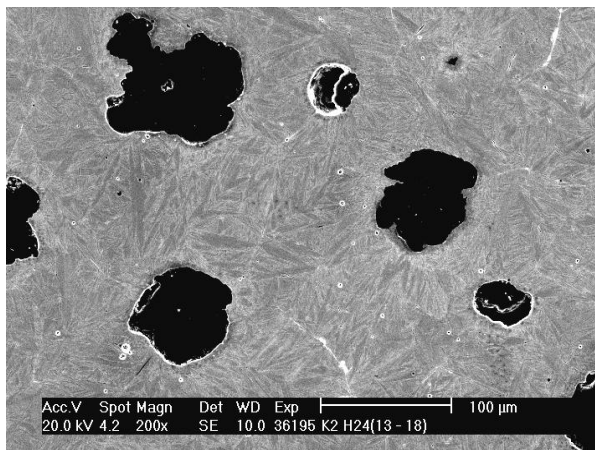
Obr. P17. Struktura homogenizovaného (10 hod.) stavu, vzorek K25. Zv. 1000×. JEOL JXA 840A.



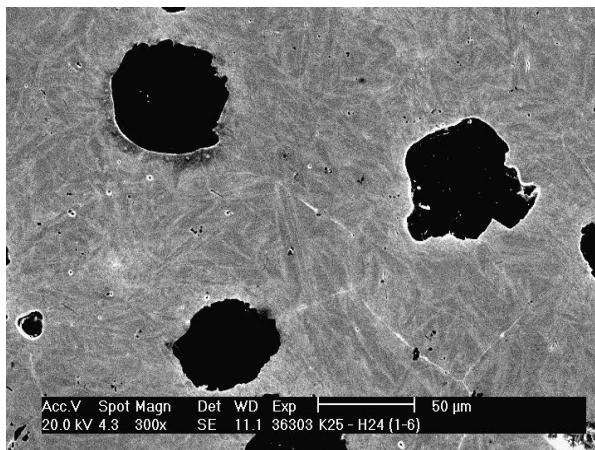
Obr. P18. Struktura homog. (10 hod.) stavu s kont. stopou po liniové analýze, vzorek K3. Zv. 8000×. JEOL JXA 840A.



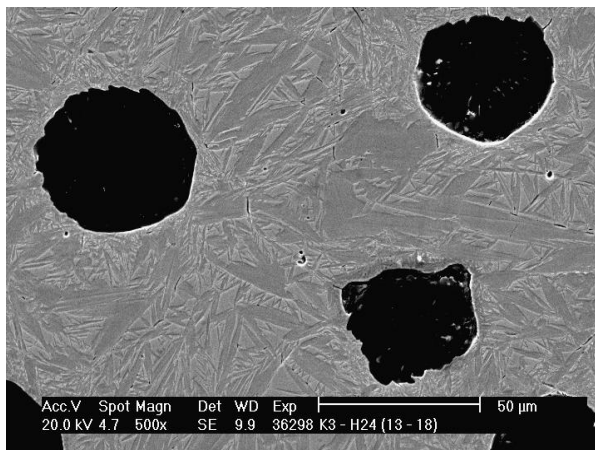
Obr. P19. Struktura homogenizovaného (24 hod.) stavu, vzorek K1. Zv. 300×. *PHILIPS XL30.*



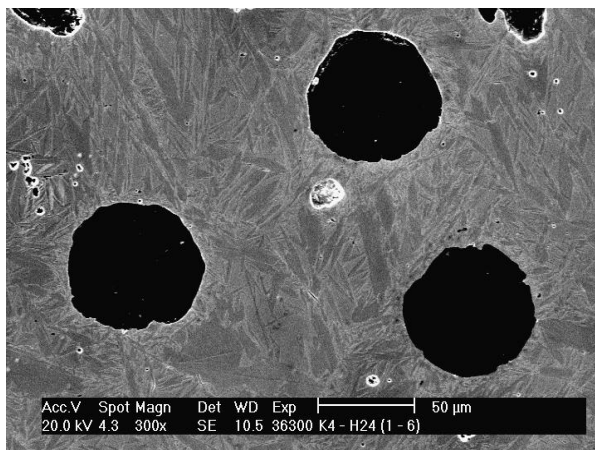
Obr. P20. Struktura homogenizovaného (24 hod.) stavu, vzorek K2. Zv. 200×. *PHILIPS XL30.*



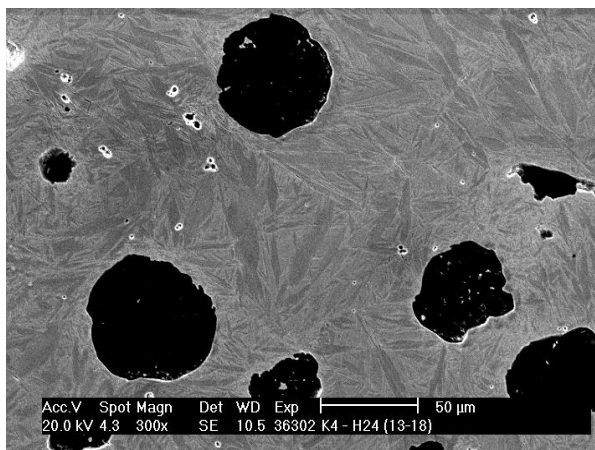
Obr. P21. Struktura homogenizovaného (24 hod.) stavu, vzorek K25. Zv. 300×. *PHILIPS XL30.*



Obr. P22. Struktura homogenizovaného (24 hod.) stavu, vzorek K3. Zv. 500×. *PHILIPS XL30.*



Obr. P23. Struktura homogenizovaného (24 hod.) stavu, vzorek K4. Zv. 300×. *PHILIPS XL30.*



Obr. P24. Struktura homogenizovaného (24 hod.) stavu, vzorek K4. Zv. 300×. *PHILIPS XL30.*

12.3. Datová část

Data. P1. Statistická analýza výsledků měření koncentrací niklu po homogenizaci 10 hodin vs. 24 hodin. Tavba K1. Měřeno na styku tří eutektických buněk.

Two-Sample Comparison - K1Ni10S & K1Ni24S

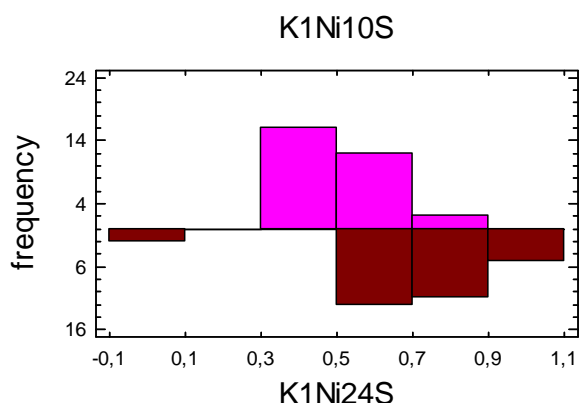
Analysis Summary

Sample 1: K1Ni10S

Sample 2: K1Ni24S

Sample 1: 30 values ranging from 0,379 to 0,732

Sample 2: 30 values ranging from 0,0 to 1,03



Summary Statistics

	K1Ni10S	K1Ni24S
Count	30	30
Average	0,5395	0,7037
Variance	0,0141214	0,0555518
Standard deviation	0,118834	0,235694
Minimum	0,379	0,0
Maximum	0,732	1,03
Range	0,353	1,03
Std. skewness	0,681336	-3,80206
Std. kurtosis	-1,75871	4,32372

Comparison of Means

95,0% confidence interval for mean of K1Ni10S:

0,5395 +/- 0,0443733 [0,495127,0,583873]

95,0% confidence interval for mean of K1Ni24S:

0,7037 +/- 0,0880099 [0,61569,0,79171]

95,0% confidence interval for the difference between the means

assuming equal variances: -0,1642 +/- 0,0964664 [-0,260666,-0,0677336]

t test to compare means

Null hypothesis: mean1 = mean2

Alt. hypothesis: mean1 NE mean2

assuming equal variances: t = -3,40722 P-value = 0,00119837

Comparison of Medians

Median of sample 1: 0,489

Median of sample 2: 0,7135

Mann-Whitney (Wilcoxon) W test to compare medians

Null hypothesis: median1 = median2

Alt. hypothesis: median1 NE median2

Average rank of sample 1: 21,3

Average rank of sample 2: 39,7

W = 726,0 P-value = 0,0000458301

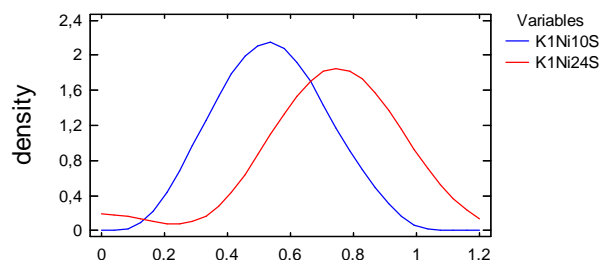
Kolmogorov-Smirnov Test

Estimated overall statistic DN = 0,533333

Two-sided large sample K-S statistic = 2,06559

Approximate P value = 0,000393596

Density Traces



Data. P2. Statistická analýza výsledků měření koncentrací niklu po homogenizaci 10 hodin vs. 24 hodin. Tavba K1. Měřeno u grafitu.

Two-Sample Comparison - K1Ni10G & K1Ni24G

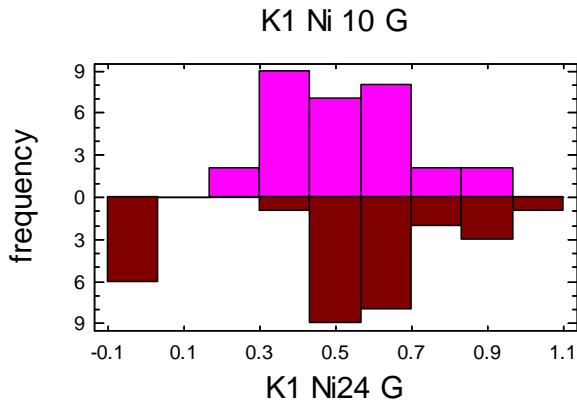
Analysis Summary

Sample 1: K1 Ni 10 G

Sample 2: K1 Ni24 G

Sample 1: 30 values ranging from 0.207 to 0.884

Sample 2: 30 values ranging from 0.0 to 0.97



Summary Statistics

	K1 Ni 10 G	K1 Ni24 G
Count	30	30
Average	0.538733	0.5142
Variance	0.0271678	0.0908324
Standard deviation	0.164827	0.301384
Minimum	0.207	0.0
Maximum	0.884	0.97
Range	0.677	0.97
Std. Skewness	0.231707	-1.33555
Std. Kurtosis	0.179447	-0.490223

Comparison of Means

95.0% confidence interval for mean of K1 Ni 10 G:

0.538733 +/- 0.0615474 [0.477186,0.600281]

95.0% confidence interval for mean of K1 Ni24 G:

0.5142 +/- 0.112539 [0.401661,0.626739]

95.0% confidence interval for the difference between the means

assuming equal variances: 0.0245333 +/- 0.125541 [-0.101007,0.150074]

t test to compare means

Null hypothesis: mean1 = mean2

Alt. hypothesis: mean1 NE mean2

assuming equal variances: t = 0.391179 P-value = 0.697098

Comparison of Medians

Median of sample 1: 0.544

Median of sample 2: 0.5425

Mann-Whitney (Wilcoxon) W test to compare medians

Null hypothesis: median1 = median2

Alt. hypothesis: median1 NE median2

Average rank of sample 1: 29.9167

Average rank of sample 2: 31.0833

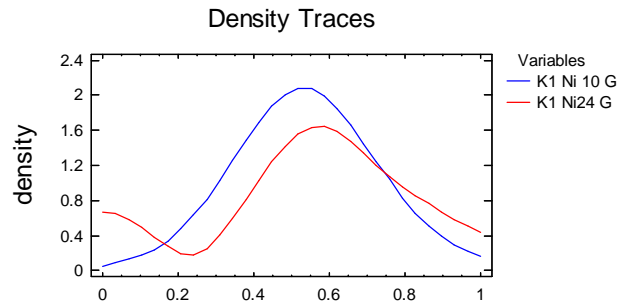
W = 467.5 P-value = 0.801429

Kolmogorov-Smirnov Test

Estimated overall statistic DN = 0.2

Two-sided large sample K-S statistic = 0.774597

Approximate P value = 0.58597



Data. P3. Statistická analýza výsledků měření koncentrací křemíku po homogenizaci 10 hodin vs. 24 hodin. Tavba K1. Měřeno na styku tří eutektických buněk.

Two-Sample Comparison - K1Si10S & K1Si24S

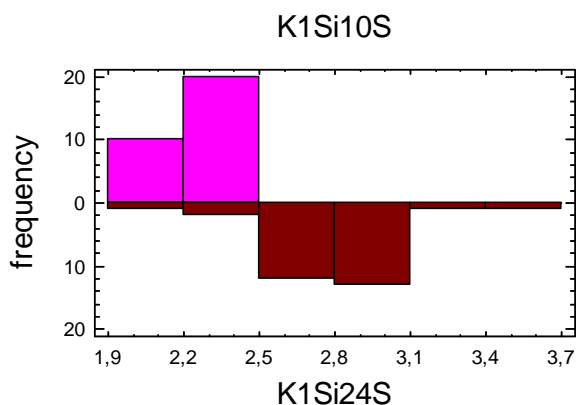
Analysis Summary

Sample 1: K1Si10S

Sample 2: K1Si24S

Sample 1: 30 values ranging from 2,031 to 2,351

Sample 2: 30 values ranging from 2,015 to 3,506



Summary Statistics

	K1Si10S	K1Si24S
Count	30	30
Average	2,2391	2,79907
Variance	0,00786989	0,0808471
Standard deviation	0,0887124	0,284336
Minimum	2,031	2,015
Maximum	2,351	3,506
Range	0,32	1,491
Std. skewness	-1,83179	-1,04263
Std. kurtosis	0,0244278	2,27702

Comparison of Means

95,0% confidence interval for mean of K1Si10S:
2,2391 +/- 0,0331258 [2,20597,2,27223]

95,0% confidence interval for mean of K1Si24S:
2,79907 +/- 0,106173 [2,69289,2,90524]

95,0% confidence interval for the difference between the means

assuming equal variances: -0,559967 +/- 0,108855 [-0,668821,-0,451112]

t test to compare means

Null hypothesis: mean1 = mean2

Alt. hypothesis: mean1 NE mean2

assuming equal variances: t = -10,2972 P-value = 0,0

Comparison of Medians

Median of sample 1: 2,284

Median of sample 2: 2,805

Mann-Whitney (Wilcoxon) W test to compare medians

Null hypothesis: median1 = median2

Alt. hypothesis: median1 NE median2

Average rank of sample 1: 17,0333

Average rank of sample 2: 43,9667

W = 854,0 P-value = 2,38334E-9

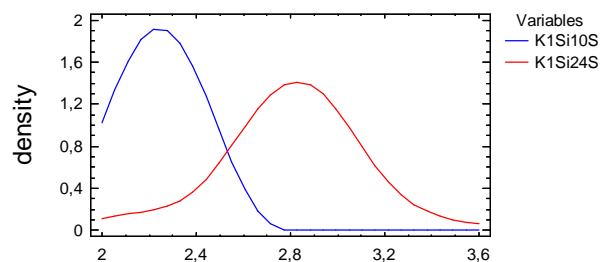
Kolmogorov-Smirnov Test

Estimated overall statistic DN = 0,933333

Two-sided large sample K-S statistic = 3,61478

Approximate P value = 0,0

Density Traces



Data. P4. Statistická analýza výsledků měření koncentrací křemíku po homogenizaci 10 hodin vs. 24 hodin. Tavba K1. Měřeno u grafitu.

Two-Sample Comparison - K1 Si10 G & K1 Si24 G

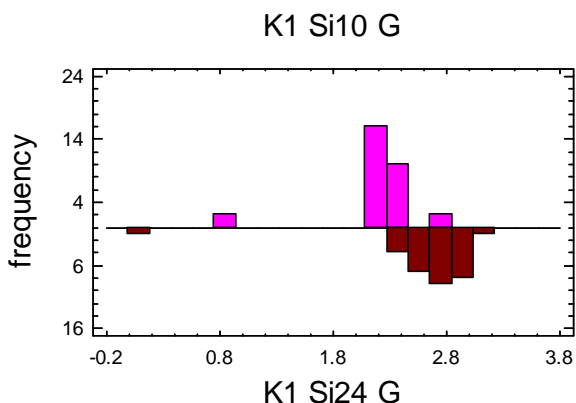
Analysis Summary

Sample 1: K1 Si10 G

Sample 2: K1 Si24 G

Sample 1: 30 values ranging from 0.764 to 2.697

Sample 2: 30 values ranging from 0.014 to 3.04



Summary Statistics

	K1 Si10 G	K1 Si24 G
Count	30	30
Average	2.18683	2.61213
Variance	0.170022	0.284365
Standard deviation	0.412338	0.533259
Minimum	0.764	0.014
Maximum	2.697	3.04
Range	1.933	3.026
Std. skewness	-6.41125	-9.40525
Std. kurtosis	9.95768	23.0839

Comparison of Means

95.0% confidence interval for mean of K1 Si10 G:
2.18683 +/- 0.15397 [2.03286,2.3408]

95.0% confidence interval for mean of K1 Si24 G:
2.61213 +/- 0.199123 [2.41301,2.81126]

95.0% confidence interval for the difference between the means
assuming equal variances: -0.4253 +/- 0.246352
[-0.671652,-0.178948]

t test to compare means

Null hypothesis: mean1 = mean2

Alt. hypothesis: mean1 NE mean2

assuming equal variances: t = -3.45575 P-value = 0.00103303

Comparison of Medians

Median of sample 1: 2.261

Median of sample 2: 2.72

Mann-Whitney (Wilcoxon) W test to compare medians

Null hypothesis: median1 = median2

Alt. hypothesis: median1 NE median2

Average rank of sample 1: 18.0

Average rank of sample 2: 43.0

W = 825.0 P-value = 3.05515E-8

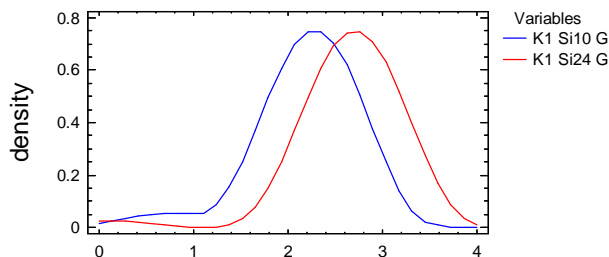
Kolmogorov-Smirnov Test

Estimated overall statistic DN = 0.8

Two-sided large sample K-S statistic = 3.09839

Approximate P value = 9.17436E-9

Density Traces



Data. P5. Statistická analýza výsledků měření koncentrací niklu po homogenizaci 10 hodin vs. 24 hodin. Tavba K2. Měřeno na styku tří eutektických buněk.

Two-Sample Comparison - K2Ni10S & K2Ni24S

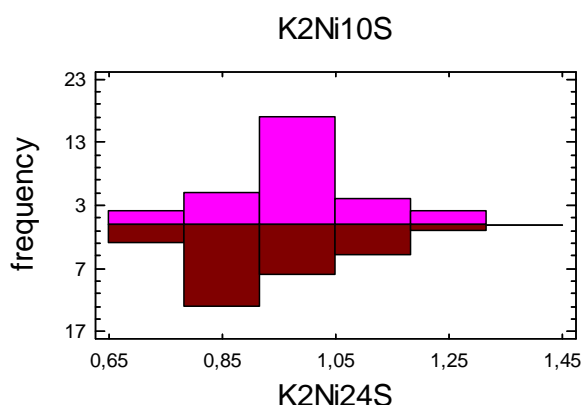
Analysis Summary

Sample 1: K2Ni10S

Sample 2: K2Ni24S

Sample 1: 30 values ranging from 0,68 to 1,2

Sample 2: 30 values ranging from 0,75 to 1,24



Summary Statistics

	K2Ni10S	K2Ni24S
Count	30	30
Average	0,963533	0,9344
Variance	0,0141776	0,0183541
Standard deviation	0,11907	0,135477
Minimum	0,68	0,75
Maximum	1,2	1,24
Range	0,52	0,49
Std. skewness	-1,1024	1,18593
Std. kurtosis	1,19007	-0,849434

Comparison of Means

95,0% confidence interval for mean of K2Ni10S:

0,963533 +/- 0,0444615 [0,919072,1,00799]

95,0% confidence interval for mean of K2Ni24S:

0,9344 +/- 0,0505882 [0,883812,0,984988]

95,0% confidence interval for the difference between the means

assuming equal variances: 0,0291333 +/- 0,0659169 [-0,0367836,0,0950502]

t test to compare means

Null hypothesis: mean1 = mean2

Alt. hypothesis: mean1 NE mean2

assuming equal variances: t = 0,884702 P-value = 0,37997

Comparison of Medians

Median of sample 1: 0,983

Median of sample 2: 0,9

Mann-Whitney (Wilcoxon) W test to compare medians

Null hypothesis: median1 = median2

Alt. hypothesis: median1 NE median2

Average rank of sample 1: 32,8167

Average rank of sample 2: 28,1833

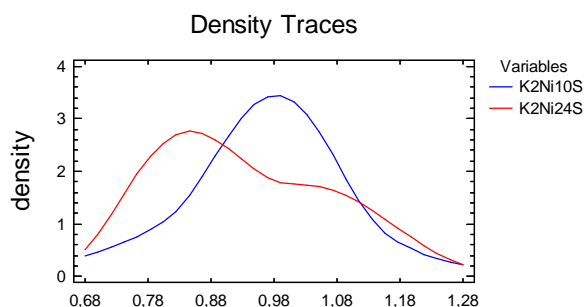
W = 380,5 P-value = 0,307459

Kolmogorov-Smirnov Test

Estimated overall statistic DN = 0,333333

Two-sided large sample K-S statistic = 1,29099

Approximate P value = 0,0713496



Data. P6. Statistická analýza výsledků měření koncentrací niklu po homogenizaci 10 hodin vs. 24 hodin. Tavba K2. Měřeno u grafitu.

Two-Sample Comparison - K2 Ni10 G & K2 Ni24 G

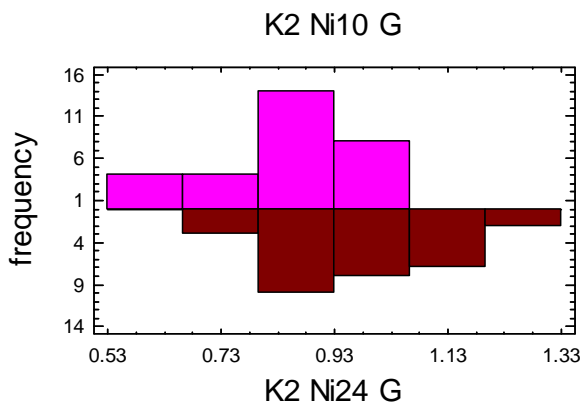
Analysis Summary

Sample 1: K2 Ni10 G

Sample 2: K2 Ni24 G

Sample 1: 30 values ranging from 0.568 to 1.057

Sample 2: 30 values ranging from 0.763 to 1.27



Summary Statistics

	K2 Ni10 G	K2 Ni24 G
Count	30	30
Average	0.8458	0.976233
Variance	0.0191226	0.018385
Standard deviation	0.138285	0.135591
Minimum	0.568	0.763
Maximum	1.057	1.27
Range	0.489	0.507
Std. skewness	-0.710568	0.444907
Std. kurtosis	-0.542011	-0.7618

Comparison of

Means

95.0% confidence interval for mean of K2 Ni10 G: 0.8458 +/- 0.0516364 [0.794164,0.897436]

95.0% confidence interval for mean of K2 Ni24 G: 0.976233 +/- 0.0506307 [0.925603,1.02686]

95.0% confidence interval for the difference between the means

assuming equal variances: -0.130433 +/- 0.0707788 [-0.201212,-0.0596546]

t test to compare means

Null hypothesis: mean1 = mean2

Alt. hypothesis: mean1 NE mean2

assuming equal variances: t = -3.68884 P-value = 0.000498618

Comparison of Medians

Median of sample 1: 0.8475

Median of sample 2: 0.988

Mann-Whitney (Wilcoxon) W test to compare medians

Null hypothesis: median1 = median2

Alt. hypothesis: median1 NE median2

Average rank of sample 1: 23.7667

Average rank of sample 2: 37.2333

W = 652.0 P-value = 0.00287975

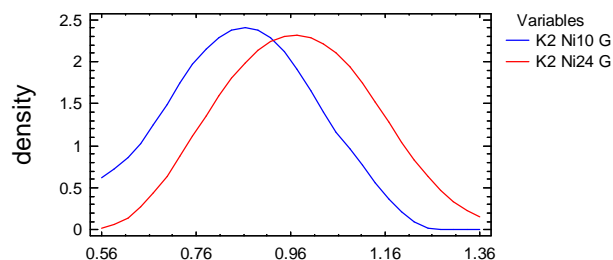
Kolmogorov-Smirnov Test

Estimated overall statistic DN = 0.433333

Two-sided large sample K-S statistic = 1.67829

Approximate P value = 0.00715327

Density Traces



Data. P7. Statistická analýza výsledků měření koncentrací křemíku po homogenizaci 10 hodin vs. 24 hodin. Tavba K2. Měřeno na styku tří eutektických buněk.

Two-Sample Comparison - K2Si10 S & K2Si24S

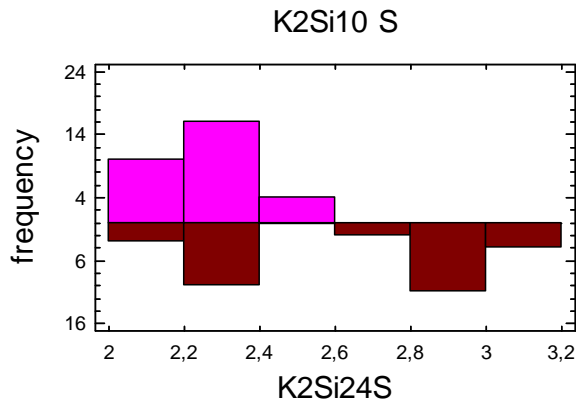
Analysis Summary

Sample 1: K2Si10 S

Sample 2: K2Si24S

Sample 1: 30 values ranging from 2,054 to 2,438

Sample 2: 30 values ranging from 2,193 to 3,06



Summary Statistics

	K2Si10 S	K2Si24S
Count	30	30
Average	2,26057	2,6112
Variance	0,0125852	0,123736
Standard deviation	0,112184	0,351761
Minimum	2,054	2,193
Maximum	2,438	3,06
Range	0,384	0,867
Std. skewness	-0,477547	-0,373176
Std. kurtosis	-1,03316	-2,16058

Comparison of Means

95,0% confidence interval for mean of K2Si10 S: 2,26057 +/- 0,0418901 [2,21868,2,30246]

95,0% confidence interval for mean of K2Si24S: 2,6112 +/- 0,13135 [2,47985,2,74255]

95,0% confidence interval for the difference between the means

assuming equal variances: -0,350633 +/- 0,134935 [-0,485568,-0,215698]

t test to compare means

Null hypothesis: mean1 = mean2

Alt. hypothesis: mean1 NE mean2

assuming equal variances: t = -5,20155 P-value = 0,00000269568

Comparison of Medians

Median of sample 1: 2,265

Median of sample 2: 2,81

Mann-Whitney (Wilcoxon) W test to compare medians

Null hypothesis: median1 = median2

Alt. hypothesis: median1 NE median2

Average rank of sample 1: 23,9

Average rank of sample 2: 37,1

W = 648,0 P-value = 0,00349037

Kolmogorov-Smirnov Test

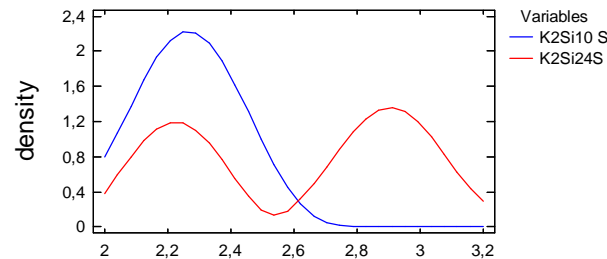
Estimated overall statistic DN = 0,566667

Two-sided large sample K-S statistic = 2,19469

Approximate P value = 0,000131017

Comparison

Density Traces



Data. P8. Statistická analýza výsledků měření koncentrací křemíku po homogenizaci 10 hodin vs. 24 hodin. Tavba K2. Měřeno u grafitu.

Two-Sample Comparison - K2 Si10 G & K2 Si24 G

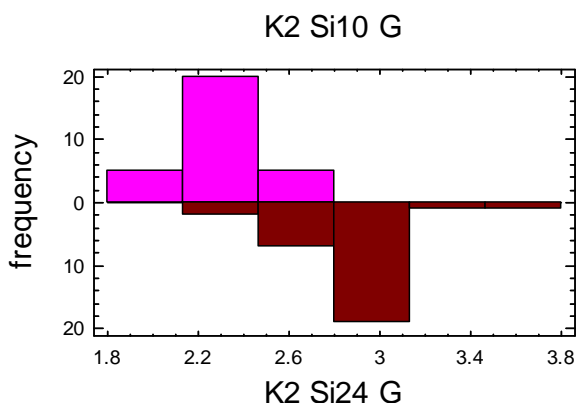
Analysis Summary

Sample 1: K2 Si10 G

Sample 2: K2 Si24 G

Sample 1: 30 values ranging from 1.951 to 2.498

Sample 2: 30 values ranging from 2.164 to 3.681



Summary Statistics

	K2 Si10 G	K2 Si24 G
Count	30	30
Average	2.29023	2.8937
Variance	0.0214878	0.065054
Standard deviation	0.146587	0.255057
Minimum	1.951	2.164
Maximum	2.498	3.681
Range	0.547	1.517
Std. skewness	-1.21887	0.0387294
Std. kurtosis	0.220037	4.53209

Comparison of Means

95.0% confidence interval for mean of K2 Si10 G: 2.29023 +/- 0.0547367 [2.2355,2.34497]

95.0% confidence interval for mean of K2 Si24 G: 2.8937 +/- 0.09524 [2.79846,2.98894]

95.0% confidence interval for the difference between the means

assuming equal variances: -0.603467 +/- 0.107512 [-0.710978,-0.495955]

t test to compare means

Null hypothesis: mean1 = mean2

Alt. hypothesis: mean1 NE mean2

assuming equal variances: t = -11.2357 P-value = 0.0

Comparison of Medians

Median of sample 1: 2.2835

Median of sample 2: 2.883

Mann-Whitney (Wilcoxon) W test to compare medians

Null hypothesis: median1 = median2

Alt. hypothesis: median1 NE median2

Average rank of sample 1: 16.5667

Average rank of sample 2: 44.4333

W = 868.0 P-value = 6.65441E-10

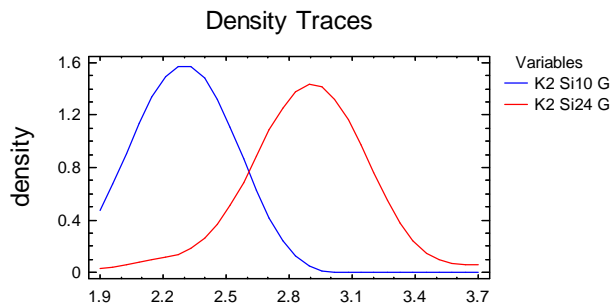
Kolmogorov-Smirnov Test

Estimated overall statistic DN = 0.933333

Two-sided large sample K-S statistic = 3.61478

Approximate P value = 0.0

Co



Data. P9. Statistická analýza výsledků měření koncentrací niklu po homogenizaci 10 hodin vs. 24 hodin. Tavba K25. Měřeno na styku tří eutektických buněk.

Two-Sample Comparison - K25Ni10S & K25Ni24S

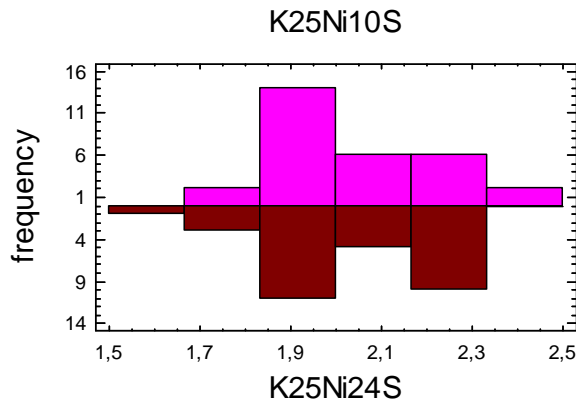
Analysis Summary

Sample 1: K25Ni10S

Sample 2: K25Ni24S

Sample 1: 30 values ranging from 1,777 to 2,401

Sample 2: 30 values ranging from 1,57 to 2,33



Summary Statistics

	K25Ni10S	K25Ni24S
Count	30	30
Average	2,04053	2,04367
Variance	0,0301713	0,0365137
Standard deviation	0,173699	0,191086
Minimum	1,777	1,57
Maximum	2,401	2,33
Range	0,624	0,76
Std. skewness	1,02481	-1,18412
Std. kurtosis	-0,762831	-0,111771

Comparison of Means

95,0% confidence interval for mean of K25Ni10S: 2,04053 +/- 0,0648604 [1,97567,2,10539]

95,0% confidence interval for mean of K25Ni24S: 2,04367 +/- 0,0713527 [1,97231,2,11502]

95,0% confidence interval for the difference between the means

assuming equal variances: -0,00313333 +/- 0,094375 [-0,0975083,0,0912417]

t test to compare means

Null hypothesis: mean1 = mean2

Alt. hypothesis: mean1 NE mean2

assuming equal variances: t = -0,0664589 P-value = 0,947241

Comparison of Medians

Median of sample 1: 1,984

Median of sample 2: 2,005

Mann-Whitney (Wilcoxon) W test to compare medians

Null hypothesis: median1 = median2

Alt. hypothesis: median1 NE median2

Average rank of sample 1: 29,4

Average rank of sample 2: 31,6

W = 483,0 P-value = 0,63075

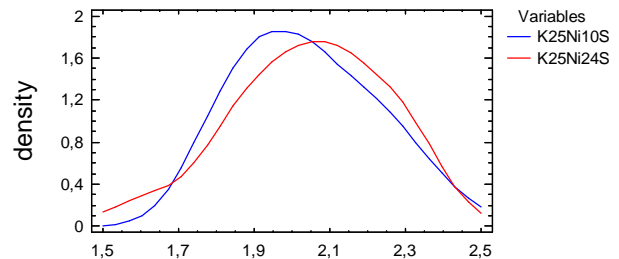
Kolmogorov-Smirnov Test

Estimated overall statistic DN = 0,2

Two-sided large sample K-S statistic = 0,774597

Approximate P value = 0,58597

Density Traces



Data. P10. Statistická analýza výsledků měření koncentrací niklu po homogenizaci 10 hodin vs. 24 hodin. Tavba K25. Měřeno u grafitu.

Two-Sample Comparison - K25Ni10 G & K25Ni24G

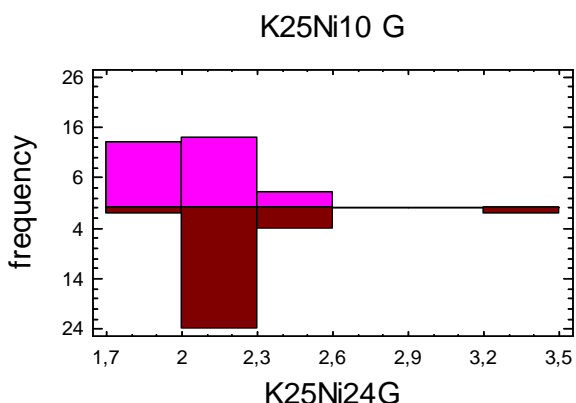
Analysis Summary

Sample 1: K25Ni10 G

Sample 2: K25Ni24G

Sample 1: 30 values ranging from 1,813 to 2,388

Sample 2: 30 values ranging from 1,8 to 3,3



Summary Statistics

	K25Ni10 G	K25Ni24G
Count	30	30
Average	2,04183	2,25233
Variance	0,0320166	0,0568254
Standard deviation	0,178932	0,238381
Minimum	1,813	1,8
Maximum	2,388	3,3
Range	0,575	1,5
Std. skewness	1,38282	6,33924
Std. kurtosis	0,751882	14,7747

Comparison of Means

95,0% confidence interval for mean of K25Ni10 G: 2,04183 +/- 0,0668144 [1,97502,2,10865]

95,0% confidence interval for mean of K25Ni24G: 2,25233 +/- 0,089013 [2,16332,2,34135]

95,0% confidence interval for the difference between the means

assuming equal variances: -0,2105 +/- 0,108931 [-0,319431,-0,101569]

t test to compare means

Null hypothesis: mean1 = mean2

Alt. hypothesis: mean1 NE mean2

assuming equal variances: t = -3,86815 P-value = 0,000280073

Comparison of Medians

Median of sample 1: 2,0205

Median of sample 2: 2,25

Mann-Whitney (Wilcoxon) W test to compare medians

Null hypothesis: median1 = median2

Alt. hypothesis: median1 NE median2

Average rank of sample 1: 22,3

Average rank of sample 2: 38,7

W = 696,0 P-value = 0,000281965

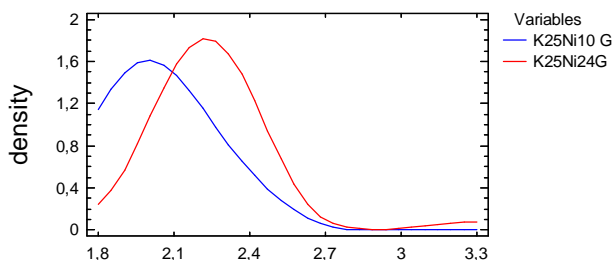
Kolmogorov-Smirnov Test

Estimated overall statistic DN = 0,566667

Two-sided large sample K-S statistic = 2,19469

Approximate P value = 0,000131017

Density Traces



Data. P11. Statistická analýza výsledků měření koncentrací křemíku po homogenizaci 10 hodin vs. 24 hodin. Tavba K25. Měřeno na styku tří eutektických buněk.

Two-Sample Comparison - K25Si10 S & K25Si24S

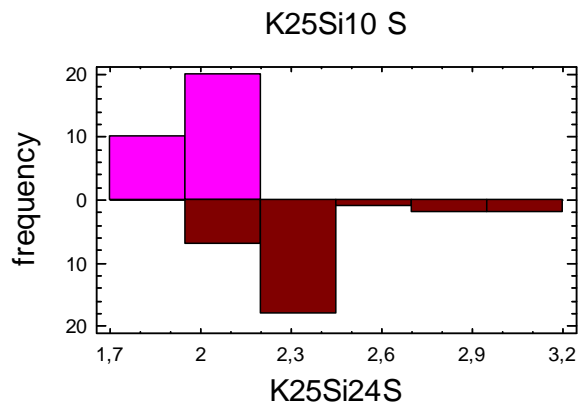
Analysis Summary

Sample 1: K25Si10 S

Sample 2: K25Si24S

Sample 1: 30 values ranging from 1,832 to 2,143

Sample 2: 30 values ranging from 2,0 to 2,99



Summary Statistics

	K25Si10 S	K25Si24S
Count	30	30
Average	1,9883	2,347
Variance	0,00660553	0,06187
Standard deviation	0,0812744	0,248737
Minimum	1,832	2,0
Maximum	2,143	2,99
Range	0,311	0,99
Std. skewness	-0,118541	2,55858
Std. kurtosis	-0,396029	1,42548

Comparison of Means

95,0% confidence interval for mean of K25Si10 S: 1,9883 +/- 0,0303484 [1,95795,2,01865]

95,0% confidence interval for mean of K25Si24S: 2,347 +/- 0,09288 [2,25412,2,43988]

95,0% confidence interval for the difference between the means

assuming equal variances: -0,3587 +/- 0,0956336 [-0,454334,-0,263066]

t test to compare means

Null hypothesis: mean1 = mean2

Alt. hypothesis: mean1 NE mean2

assuming equal variances: t = -7,508 P-value = 4,10374E-10

Comparison of Medians

Median of sample 1: 1,996

Median of sample 2: 2,295

Mann-Whitney (Wilcoxon) W test to compare medians

Null hypothesis: median1 = median2

Alt. hypothesis: median1 NE median2

Average rank of sample 1: 16,9

Average rank of sample 2: 44,1

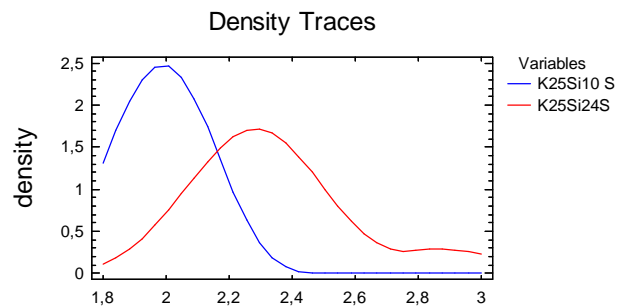
W = 858,0 P-value = 1,6799E-9

Kolmogorov-Smirnov Test

Estimated overall statistic DN = 0,833333

Two-sided large sample K-S statistic = 3,22749

Approximate P value = 0,0



Data. P12. Statistická analýza výsledků měření koncentrací křemíku po homogenizaci 10 hodin vs. 24 hodin. Tavba K25. Měřeno u grafitu.

Two-Sample Comparison - K25Si10 G & K25Si24 G

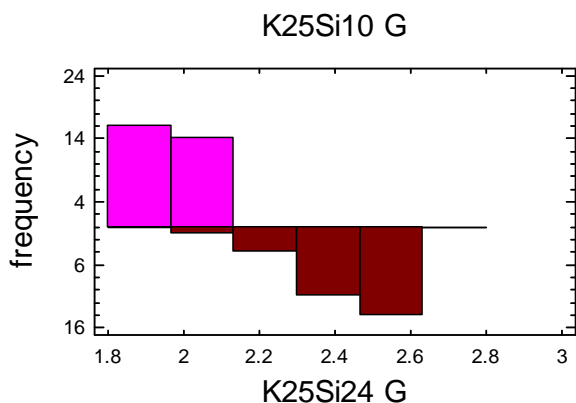
Analysis Summary

Sample 1: K25Si10 G

Sample 2: K25Si24 G

Sample 1: 30 values ranging from 1.844 to 2.108

Sample 2: 30 values ranging from 2.0 to 2.61



Summary Statistics

	K25Si10 G	K25Si24 G
Count	30	30
Average	1.9609	2.42537
Variance	0.00510223	0.0195689
Standard deviation	0.0714299	0.139889
Minimum	1.844	2.0
Maximum	2.108	2.61
Range	0.264	0.61
Std. skewness	0.473218	-2.19129
Std. kurtosis	-0.326362	1.6582

Comparison of Means

95.0% confidence interval for mean of K25Si10 G: 1.9609 +/- 0.0266724 [1.93423,1.98757]

95.0% confidence interval for mean of K25Si24 G: 2.42537 +/- 0.0522354 [2.37313,2.4776]

95.0% confidence interval for the difference between the means

assuming equal variances: -0.464467 +/- 0.0574033 [-0.52187,-0.407063]

t test to compare means

Null hypothesis: mean1 = mean2

Alt. hypothesis: mean1 NE mean2

assuming equal variances: t = -16.1965 P-value = 0.0

Comparison of Medians

Median of sample 1: 1.958

Median of sample 2: 2.435

Mann-Whitney (Wilcoxon) W test to compare medians

Null hypothesis: median1 = median2

Alt. hypothesis: median1 NE median2

Average rank of sample 1: 15.7667

Average rank of sample 2: 45.2333

W = 892.0 P-value = 6.60791E-11

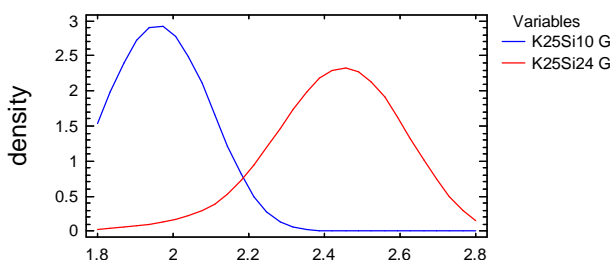
Kolmogorov-Smirnov Test

Estimated overall statistic DN = 0.966667

Two-sided large sample K-S statistic = 3.74388

Approximate P value = 0.0

Density Traces



Data. P13. Statistická analýza výsledků měření koncentrací niklu po homogenizaci 10 hodin vs. 24 hodin. Tavba K3. Měřeno na styku tří eutektických buněk.

Two-Sample Comparison - K3Ni10S & K3Ni24 S

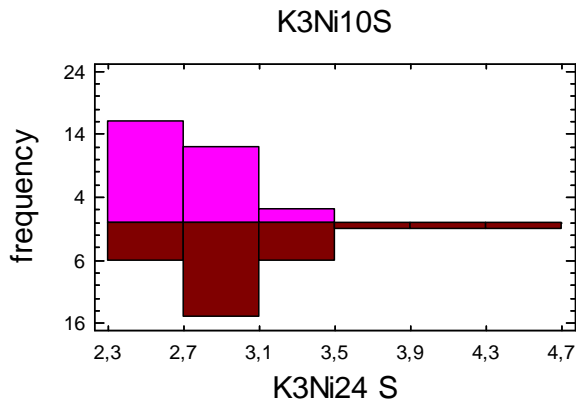
Analysis Summary

Sample 1: K3Ni10S

Sample 2: K3Ni24 S

Sample 1: 30 values ranging from 2,496 to 3,202

Sample 2: 30 values ranging from 2,586 to 4,52



Summary Statistics

	K3Ni10S	K3Ni24 S
Count	30	30
Average	2,7572	3,03247
Variance	0,0417593	0,173907
Standard deviation	0,204351	0,417022
Minimum	2,496	2,586
Maximum	3,202	4,52
Range	0,706	1,934
Std. skewness	1,60693	4,52383
Std. kurtosis	-0,539221	5,68306

Comparison of Means

95,0% confidence interval for mean of K3Ni10S: 2,7572 +/- 0,0763061 [2,68089,2,83351]

95,0% confidence interval for mean of K3Ni24 S: 3,03247 +/- 0,155719 [2,87675,3,18819]

95,0% confidence interval for the difference between the means

assuming equal variances: -0,275267 +/- 0,169721 [-0,444987,-0,105546]

t test to compare means

Null hypothesis: mean1 = mean2

Alt. hypothesis: mean1 NE mean2

assuming equal variances: t = -3,24655 P-value = 0,00194296

Comparison of Medians

Median of sample 1: 2,689

Median of sample 2: 2,962

Mann-Whitney (Wilcoxon) W test to compare medians

Null hypothesis: median1 = median2

Alt. hypothesis: median1 NE median2

Average rank of sample 1: 22,9333

Average rank of sample 2: 38,0667

W = 677,0 P-value = 0,000809655

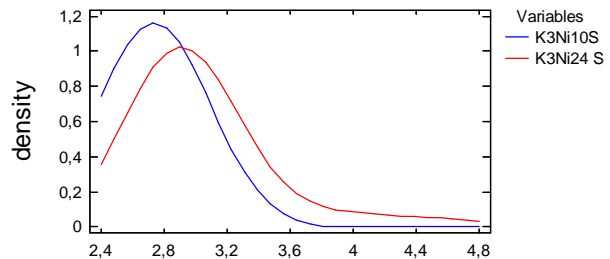
Kolmogorov-Smirnov Test

Estimated overall statistic DN = 0,433333

Two-sided large sample K-S statistic = 1,67829

Approximate P value = 0,00715327

Density Traces



Data. P14. Statistická analýza výsledků měření koncentrací niklu po homogenizaci 10 hodin vs. 24 hodin. Tavba K3. Měřeno u grafitu.

Two-Sample Comparison - K3Ni10 G & K3Ni24 G

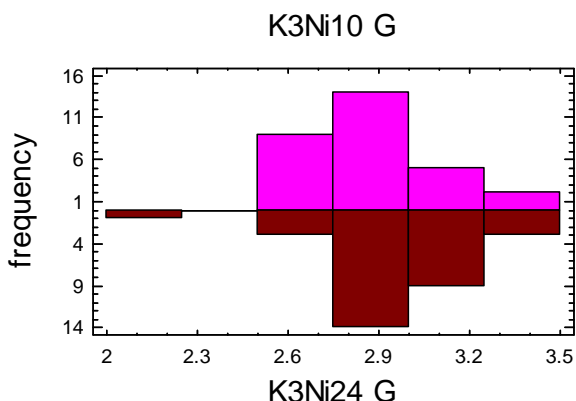
Analysis Summary

Sample 1: K3Ni10 G

Sample 2: K3Ni24 G

Sample 1: 30 values ranging from 2.62 to 3.264

Sample 2: 30 values ranging from 2.09 to 3.356



Summary Statistics

	K3Ni10 G	K3Ni24 G
Count	30	30
Average	2.86987	2.96103
Variance	0.0355814	0.0603382
Standard deviation	0.18863	0.245638
Minimum	2.62	2.09
Maximum	3.264	3.356
Range	0.644	1.266
Std. skewness	1.67566	-3.05088
Std. kurtosis	-0.410129	4.92477

Comparison of Means

95.0% confidence interval for mean of K3Ni10 G: 2.86987 +/- 0.0704358 [2.79943,2.9403]
 95.0% confidence interval for mean of K3Ni24 G: 2.96103 +/- 0.0917231 [2.86931,3.05276]
 95.0% confidence interval for the difference between the means assuming equal variances: -0.0911667 +/- 0.113187 [-0.204354,0.0220204]

t test to compare means

Null hypothesis: mean1 = mean2

Alt. hypothesis: mean1 NE mean2

assuming equal variances: t = -1.61229 P-value = 0.112328

Comparison of Medians

Median of sample 1: 2.82

Median of sample 2: 2.9845

Mann-Whitney (Wilcoxon) W test to compare medians

Null hypothesis: median1 = median2

Alt. hypothesis: median1 NE median2

Average rank of sample 1: 25.4167

Average rank of sample 2: 35.5833

W = 602.5 P-value = 0.0245533

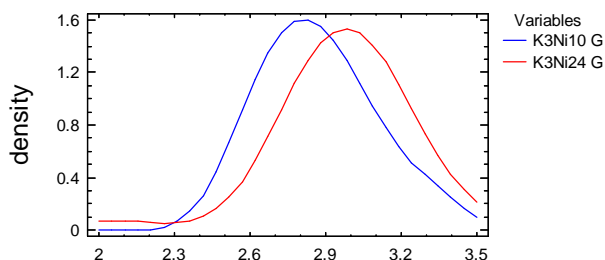
Kolmogorov-Smirnov Test

Estimated overall statistic DN = 0.433333

Two-sided large sample K-S statistic = 1.67829

Approximate P value = 0.00715327

Density Traces



Data. P15. Statistická analýza výsledků měření koncentrací křemíku po homogenizaci 10 hodin vs. 24 hodin. Tavba K3. Měřeno na styku tří eutektických buněk.

Two-Sample Comparison - K3Si10 S & K3Si24S

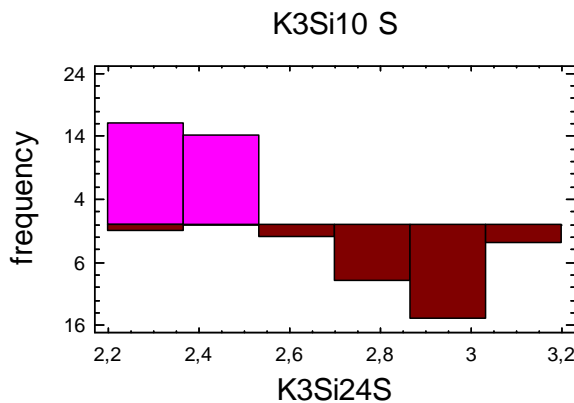
Analysis Summary

Sample 1: K3Si10 S

Sample 2: K3Si24S

Sample 1: 30 values ranging from 2,281 to 2,531

Sample 2: 30 values ranging from 2,331 to 3,121



Summary Statistics

	K3Si10 S	K3Si24S
Count	30	30
Average	2,37547	2,87543
Variance	0,00422536	0,030507
Standard deviation	0,0650028	0,174663
Minimum	2,281	2,331
Maximum	2,531	3,121
Range	0,25	0,79
Std. skewness	2,2495	-2,59585
Std. kurtosis	0,764166	2,19259

Comparison of Means

95,0% confidence interval for mean of K3Si10 S: 2,37547 +/- 0,0242725 [2,35119,2,39974]

95,0% confidence interval for mean of K3Si24S: 2,87543 +/- 0,0652202 [2,81021,2,94065]

95,0% confidence interval for the difference between the means

assuming equal variances: -0,499967 +/- 0,0681099 [-0,568077,-0,431857]

t test to compare means

Null hypothesis: mean1 = mean2

Alt. hypothesis: mean1 NE mean2

assuming equal variances: t = -14,6938 P-value = 0,0

Comparison of Medians

Median of sample 1: 2,366

Median of sample 2: 2,885

Mann-Whitney (Wilcoxon) W test to compare medians

Null hypothesis: median1 = median2

Alt. hypothesis: median1 NE median2

Average rank of sample 1: 16,2333

Average rank of sample 2: 44,7667

W = 878,0 P-value = 2,58881E-10

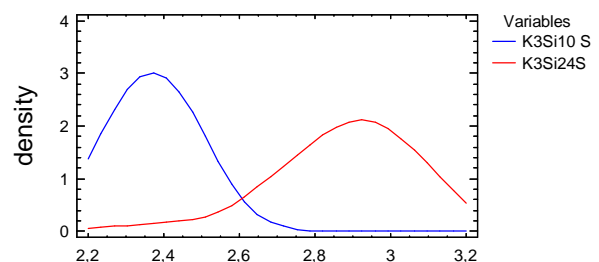
Kolmogorov-Smirnov Test

Estimated overall statistic DN = 0,966667

Two-sided large sample K-S statistic = 3,74388

Approximate P value = 0,0

Density Traces



Data. P16. Statistická analýza výsledků měření koncentrací křemíku po homogenizaci 10 hodin vs. 24 hodin. Tavba K3. Měřeno u grafitu.

Two-Sample Comparison - K3 Si24 G & K3Si10 G

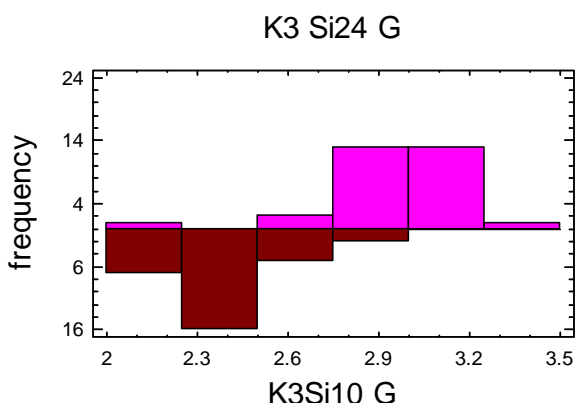
Analysis Summary

Sample 1: K3 Si24 G

Sample 2: K3Si10 G

Sample 1: 30 values ranging from 2.169 to 3.256

Sample 2: 30 values ranging from 2.127 to 2.894



Summary Statistics

	K3 Si24 G	K3Si10 G
Count	30	30
Average	2.97383	2.38137
Variance	0.0426037	0.0358686
Standard deviation	0.206407	0.18939
Minimum	2.169	2.127
Maximum	3.256	2.894
Range	1.087	0.767
Std. skewness	-5.21308	2.8052
Std. kurtosis	8.46556	1.96475

Comparison of Means

95.0% confidence interval for mean of K3 Si24 G: 2.97383 +/- 0.0770736 [2.89676,3.05091]

95.0% confidence interval for mean of K3Si10 G: 2.38137 +/- 0.0707195 [2.31065,2.45209]

95.0% confidence interval for the difference between the means

assuming equal variances: 0.592467 +/- 0.102377 [0.49009,0.694843]

t test to compare means

Null hypothesis: mean1 = mean2

Alt. hypothesis: mean1 NE mean2

assuming equal variances: t = 11.5842 P-value = 0.0

Comparison of Medians

Median of sample 1: 2.995

Median of sample 2: 2.317

Mann-Whitney (Wilcoxon) W test to compare medians

Null hypothesis: median1 = median2

Alt. hypothesis: median1 NE median2

Average rank of sample 1: 44.3

Average rank of sample 2: 16.7

W = 36.0 P-value = 9.62256E-10

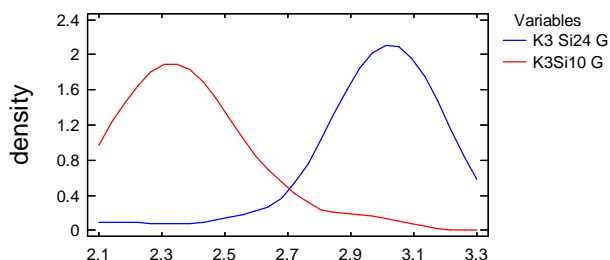
Kolmogorov-Smirnov Test

Estimated overall statistic DN = 0.866667

Two-sided large sample K-S statistic = 3.35659

Approximate P value = 0.0

Density Traces



Data. P17. Statistická analýza výsledků měření koncentrací niklu po homogenizaci 10 hodin vs. 24 hodin. Tavba K4. Měřeno na styku tří eutektických buněk.

Two-Sample Comparison - K4Ni10S & K4Ni24S

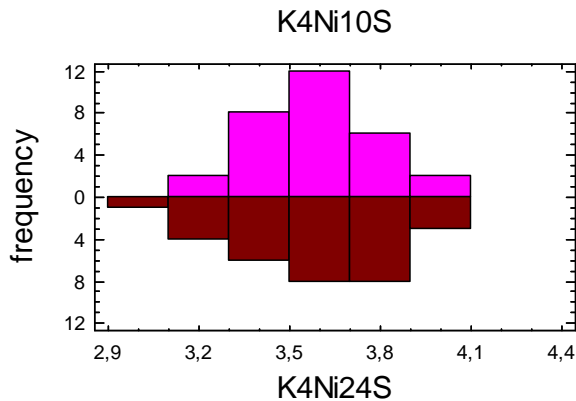
Analysis Summary

Sample 1: K4Ni10S

Sample 2: K4Ni24S

Sample 1: 30 values ranging from 3,217 to 4,038

Sample 2: 30 values ranging from 3,02 to 3,964



Summary Statistics

	K4Ni10S	K4Ni24S
Count	30	30
Average	3,62347	3,59713
Variance	0,0439856	0,0594544
Standard deviation	0,209728	0,243833
Minimum	3,217	3,02
Maximum	4,038	3,964
Range	0,821	0,944
Std. skewness	0,44948	-0,911414
Std. kurtosis	-0,238555	-0,531185

Comparison of Means

95,0% confidence interval for mean of K4Ni10S: 3,62347 +/- 0,0783137 [3,54515,3,70178]

95,0% confidence interval for mean of K4Ni24S: 3,59713 +/- 0,0910488 [3,50608,3,68818]

95,0% confidence interval for the difference between the means

assuming equal variances: 0,0263333 +/- 0,11754 [-0,0912071,0,143874]

t test to compare means

Null hypothesis: mean1 = mean2

Alt. hypothesis: mean1 NE mean2

assuming equal variances: t = 0,448458 P-value = 0,655493

Comparison of Medians

Median of sample 1: 3,586

Median of sample 2: 3,654

Mann-Whitney (Wilcoxon) W test to compare medians

Null hypothesis: median1 = median2

Alt. hypothesis: median1 NE median2

Average rank of sample 1: 31,0333

Average rank of sample 2: 29,9667

W = 434,0 P-value = 0,818679

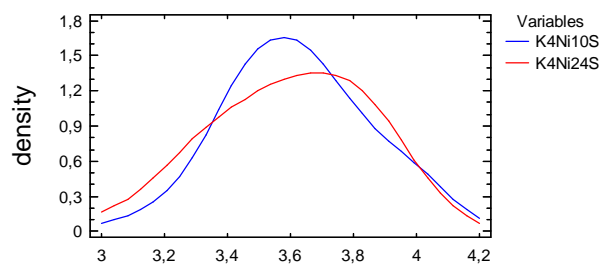
Kolmogorov-Smirnov Test

Estimated overall statistic DN = 0,233333

Two-sided large sample K-S statistic = 0,903696

Approximate P value = 0,392009

Density Traces



Data. P18. Statistická analýza výsledků měření koncentrací niklu po homogenizaci 10 hodin vs. 24 hodin. Tavba K4. Měřeno u grafitu.

Two-Sample Comparison – K4Ni24 G & K4Ni10 G

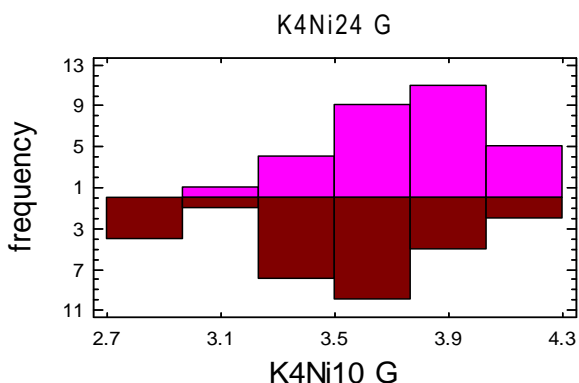
Analysis Summary

Sample 1: K4Ni24 G

Sample 2: K4Ni10 G

Sample 1: 30 values ranging from 3.15 to 4.12

Sample 2: 30 values ranging from 2.851 to 4.155



Summary Statistics

	K4Ni24 G	K4Ni10 G
Count	30	30
Average	3.7688	3.51913
Variance	0.0658551	0.117895
Standard deviation	0.256623	0.343359
Minimum	3.15	2.851
Maximum	4.12	4.155
Range	0.97	1.304
Std. skewness	-1.32227	-1.11348
Std. kurtosis	-0.409469	0.303295

Comparison of Means

95.0% confidence interval for mean of K4Ni24 G: 3.7688 +/- 0.0958246 [3.67298,3.86462]

95.0% confidence interval for mean of K4Ni10 G: 3.51913 +/- 0.128213 [3.39092,3.64735]

95.0% confidence interval for the difference between the means

assuming equal variances: 0.249667 +/- 0.15666 [0.093007,0.406326]

t test to compare means

Null hypothesis: mean1 = mean2

Alt. hypothesis: mean1 NE mean2

assuming equal variances: t = 3.19012 P-value = 0.00229526

Comparison of Medians

Median of sample 1: 3.835

Median of sample 2: 3.5865

Mann-Whitney (Wilcoxon) W test to compare medians

Null hypothesis: median1 = median2

Alt. hypothesis: median1 NE median2

Average rank of sample 1: 37.4

Average rank of sample 2: 23.6

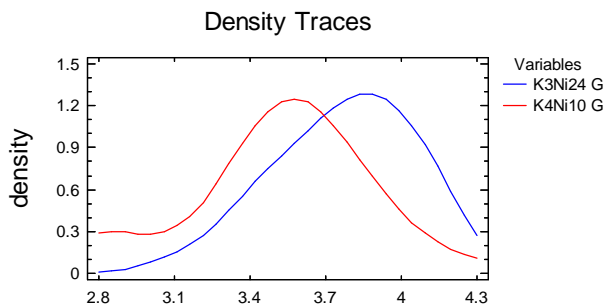
W = 243.0 P-value = 0.00224994

Kolmogorov-Smirnov Test

Estimated overall statistic DN = 0.433333

Two-sided large sample K-S statistic = 1.67829

Approximate P value = 0.00715327



Data. P19. Statistická analýza výsledků měření koncentrací křemíku po homogenizaci 10 hodin vs. 24 hodin. Tavba K4. Měřeno na styku tří eutektických buněk.

Two-Sample Comparison - K4Si10 S & K4Si24S

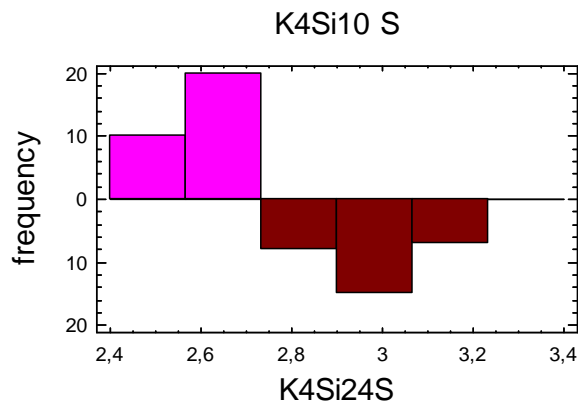
Analysis Summary

Sample 1: K4Si10 S

Sample 2: K4Si24S

Sample 1: 30 values ranging from 2,473 to 2,727

Sample 2: 30 values ranging from 2,82 to 3,21



Summary Statistics

	K4Si10 S	K4Si24S
Count	30	30
Average	2,575	2,9863
Variance	0,00310414	0,0112113
Standard deviation	0,0557148	0,105883
Minimum	2,473	2,82
Maximum	2,727	3,21
Range	0,254	0,39
Std. skewness	2,16452	0,858633
Std. kurtosis	2,81526	-0,876045

Comparison of Means

95,0% confidence interval for mean of K4Si10 S: 2,575 +/- 0,0208043 [2,5542,2,5958]

95,0% confidence interval for mean of K4Si24S: 2,9863 +/- 0,0395375 [2,94676,3,02584]

95,0% confidence interval for the difference between the means

assuming equal variances: -0,4113 +/- 0,0437265 [-0,455026,-0,367574]

t test to compare means

Null hypothesis: mean1 = mean2

Alt. hypothesis: mean1 NE mean2

assuming equal variances: t = -18,8286 P-value = 0,0

Comparison of Medians

Median of sample 1: 2,575

Median of sample 2: 2,9915

Mann-Whitney (Wilcoxon) W test to compare medians

Null hypothesis: median1 = median2

Alt. hypothesis: median1 NE median2

Average rank of sample 1: 15,5

Average rank of sample 2: 45,5

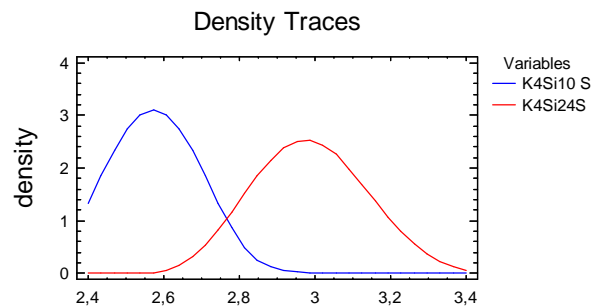
W = 900,0 P-value = 2,97946E-11

Kolmogorov-Smirnov Test

Estimated overall statistic DN = 1,0

Two-sided large sample K-S statistic = 3,87298

Approximate P value = 0,0



Data. P20. Statistická analýza výsledků měření koncentrací křemíku po homogenizaci 10 hodin vs. 24 hodin. Tavba K4. Měřeno u grafitu.

Two-Sample Comparison - K4Si10 G & K4Si24G

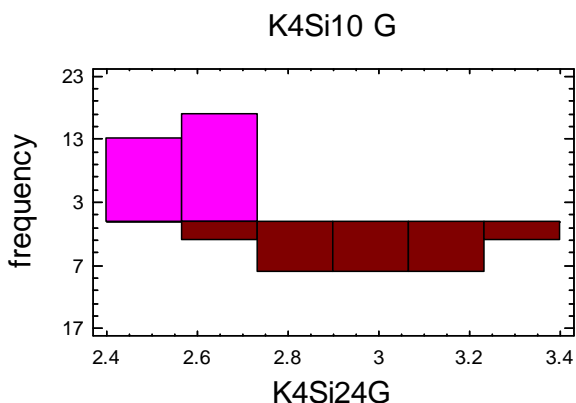
Analysis Summary

Sample 1: K4Si10 G

Sample 2: K4Si24G

Sample 1: 30 values ranging from 2.459 to 2.707

Sample 2: 30 values ranging from 2.603 to 3.29



Summary Statistics

	K4Si10 G	K4Si24G
Count	30	30
Average	2.58257	2.99267
Variance	0.00536377	0.0331008
Standard deviation	0.0732378	0.181936
Minimum	2.459	2.603
Maximum	2.707	3.29
Range	0.248	0.687
Std. skewness	0.184154	-0.305389
Std. kurtosis	-1.23529	-0.873041

Comparison of Means

95.0% confidence interval for mean of K4Si10 G: 2.58257 +/- 0.0273475 [2.55522,2.60991]

95.0% confidence interval for mean of K4Si24G: 2.99267 +/- 0.0679362 [2.92473,3.0606]

95.0% confidence interval for the difference between the means

assuming equal variances: -0.4101 +/- 0.0716759 [-0.481776,-0.338424]

t test to compare means

Null hypothesis: mean1 = mean2

Alt. hypothesis: mean1 NE mean2

assuming equal variances: t = -11.453 P-value = 0.0

Comparison of Medians

Median of sample 1: 2.5975

Median of sample 2: 2.975

Mann-Whitney (Wilcoxon) W test to compare medians

Null hypothesis: median1 = median2

Alt. hypothesis: median1 NE median2

Average rank of sample 1: 15.9

Average rank of sample 2: 45.1

W = 888.0 P-value = 9.73799E-11

Kolmogorov-Smirnov Test

Estimated overall statistic DN = 0.966667

Two-sided large sample K-S statistic = 3.74388

Approximate P value = 0.0

Density Traces

