

# PORAZDELITEV NEKOVINSKIH VKLJUČKOV PRI KONTINUIRNEM ULIVANJU GREDEC

## DISTRIBUTION OF NON-METALLIC INCLUSIONS IN A CONTINUOUS CAST BILLET

Boštjan Arh<sup>1</sup>, Franc Tehovnik<sup>1</sup>, Dimitrij Kmetič<sup>1</sup>, Erika Bricelj<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Inštitut za kovinske materiale in tehnologije, Ljubljana, Slovenija

<sup>2</sup>SŽ Acroni, d. o. o., Jesenice, Slovenija  
bostjan.arh@imt.si

*Prejem rokopisa – received: 2004-11-08; sprejem za objavo – accepted for publication: 2004-11-29*

V podjetju Steel Štore za boljše kakovost ulitih gredic ulivajo talino jekla z elektromagnetnim mešanjem. Štiripolni dvofazni induktivni mešalniki so postavljeni tik pod kokilo. Preiskave so pokazale, da se gredice, ulite z elektromagnetnim mešanjem taline, strjujejo bolj homogeno, imajo večje sredinsko globulitno področje, manjša zrna, manjše osno izcejanje, drobnejše vključke in enakomernjšo porazdelitev vključkov med zgornjim in spodnjim delom gredice. V prispevku bomo predstavili vpliv elektromagnetnega mešanja (EMM) na porazdelitev vključkov v gredicah.

Ključne besede: kontinuirno litje, elektromagnetno mešanje, nekovinski vključki

In the Štore Steel steelwork the melt is cast with electromagnetic stirring to achieve a better quality of the billets. Four-pole, two-phase inductive stirrers are located close below the mould. Investigations confirmed that billets cast with electromagnetic stirring have a more homogeneous solidification structure, a larger central region of globulitic grains, smaller grains, smaller central segregation, smaller and more uniform distributed inclusions in the billet cross section. Results of the influence of electromagnetic stirring on the distribution of inclusions in the billet are present.

Key words: continuous casting, electromagnetic stirring, non-metallic inclusions

### 1 UVOD

Nekovinski vključki se v jeklu tvorijo in rastejo pred strjevanjem in med njim. Imajo manjšo gostoto kot tekoče jeklo in zato splavajo v talini navzgor, kar je učinkovit mehanizem za njihovo odstranitev iz taline. Pri strjevanju jekla pa vključki rastejo navadno v pasu jekla pred mejno ploskvijo strjevanja, v takoimenovani kašasti coni. EMM zmanjšuje kašasto cono in s tem se zmanjšuje tokove izcejanje taline v tem območju, kar vodi k manjšem nastanku eksogenih in majhnih endogenih vključkov<sup>1,2,3</sup>. Večja jakost mešanja zmanjšuje debelino kašastega področja ter segregirane mejne plasti in povzroči, da je mejna plast strjevanja precej manj hrapava. Posledica tega so zmanjšane možnosti ujetja vključkov na mejni plasti strjevanja. Veliki vključki so odstranjeni, vključki, ki se izločajo med strjevanjem, pa ne zrastejo v večje<sup>4</sup> (slika 1).

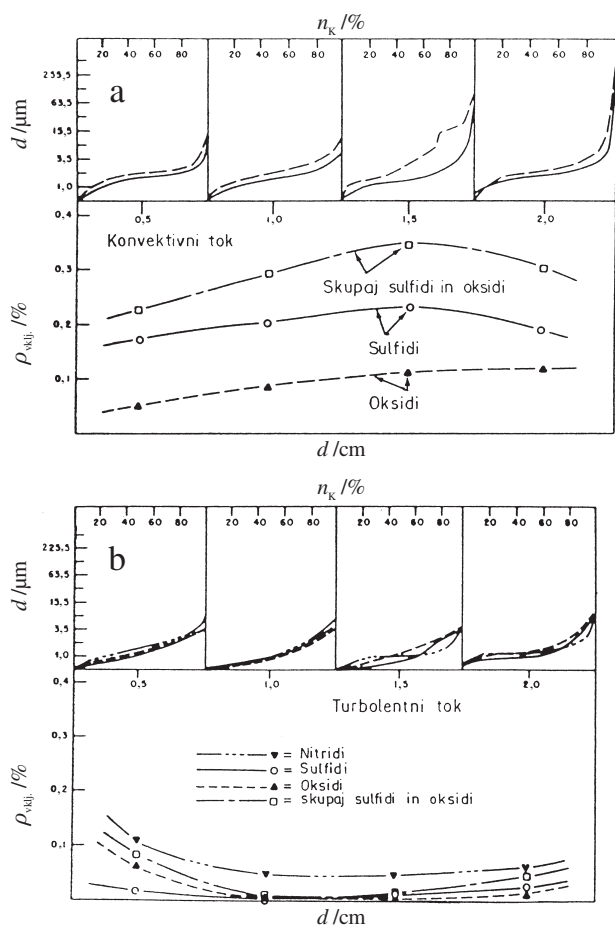
Rezultati štetja makrovključkov po prerezu<sup>5</sup> tudi kažejo, da z uporabo elektromagnetnega mešanja v kokili dosežemo zmanjšanje ali odstranitev makrovključkov na površini in pod površino ulite gredice ter zmanjšanje skupnega števila makrovključkov v ulitku-gredici (slika 2). D. A. Curry<sup>5</sup> ugotavlja, da se razmerje vključkov v osi mešane gredice poveča, podobno kot se zmanjša število vključkov pod površino. Torej vrtničasto mešanje taline jekla med strjevanjem žile vpliva na porazdelitev vključkov po prerezu žile.

Pri krožnoločnih kontinuirnih napravah se zbirajo vključki v zgornji polovici žile. Med strjevanjem taline

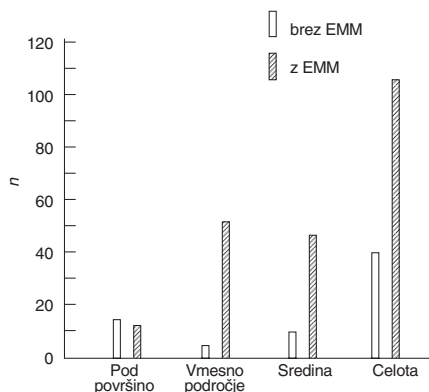
le-ti plavajo navzgor in se nabirajo na mejni ploskvi tekoče – trdno blizu notranjega radija kontinuirne naprave<sup>6</sup>. Nabiranje vključkov v zgornji polovici žile se lahko uspešno kontrolira oziroma zmanjša z uporabo EMM. V Kobe Steel<sup>7</sup> so pokazali, da z uporabo dveh linearnih mešalnikov pod kokilo in močnim mešanjem, pri Tyssen Stahl<sup>8</sup> pa pri ulivanju z rotirajočim mešanjem taline v kokili lahko nekovinske vključke v zgornjem delu prereza gredice v celoti odpravijo oziroma v tem delu zmanjšajo pogostost makrovključkov.

### 2 EKSPERIMENTALNO DELO

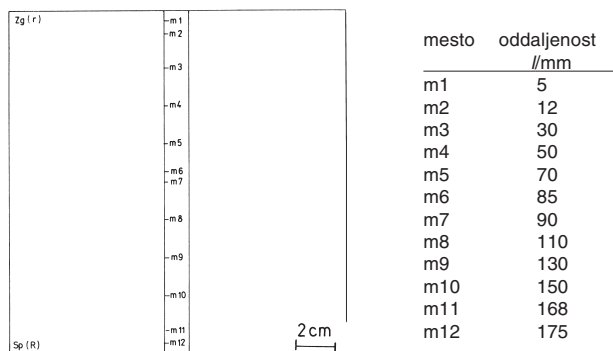
Vrsto vključkov, njihovo porazdelitev in vpliv elektromagnetnega mešanja na vključke v strjevalni strukturi smo preiskovali na prečnem prerezu nemešane in mešane gredice iz taline jekla 16MnCr5 z 0,024 % S. Stereološka analiza vključkov je bila izvršena na optičnem mikroskopu z napravo za avtomatsko analizo slike. Vse stereološke analize so bile izvršene pri 100-kratni povečavi. Mesta preiskav po prerezu gredice so prikazana na sliki 3. V preiskovanih vzorcih prevladujejo sulfidni vključki. Oksidnih vključkov je malo in so modificirani. V tabeli 1 so prikazani parametri vključkov, za oceno pa je važno predvsem število vključkov na kvadratni centimeter plosčine prereza gredice. V tabeli so tudi podatki o povprečni velikosti, celotni plosčini vključkov kot tudi delež na prerezu gredice v odstotkih.



**Slika 1:** Volumenski delež  $\rho_{vklj.}/\%$  in kumulativna stopnja porazdelitve  $n_k/\%$  vključkov v laboratorijskem ingotu v odvisnosti od oddaljenosti od hlajene stene kokile  $d/\text{cm}$ ; a – brez mešanja; b – z mešanjem (hitrost toka  $\gamma = 50 \text{ cm/s}$ )<sup>5</sup>  
**Figure 1:** Inclusion volume  $\rho_{vklj.}/\%$  and size distribution  $n_k/\%$  in uni-directionally solidified steel structures; a – with no induced flow and with a columnar structure; b – with intense induced flow and a modified structure



**Slika 2:** Pogostost porazdelitve makrovključkov  $n$  premočrtno po prerezu gredice ( $133 \times 133$ ) mm, pri kvaliteti jekla CK15 (merjeno pri 5-kratni povečavi)<sup>4</sup>  
**Figure 2:** Effect of EMS on the macro-inclusion distribution (mag. x5) in CK15 steel samples taken in the longitudinal direction of 133-mm-square billets



**Slika 3:** Mesta preiskav, njihova oddaljenost od zgornjega roba gredice  
**Figure 3:** Position of place examination; their distance from the upper edge of the billet

**Tabela 1:** Podatki o vključkih pri 100-kratni povečavi;  
 št. vk.  $n_c$  – skupno število vključkov;  
 $C_{vklj.}/\text{cm}^{-2}$  – številna gostota vključkov;  
 pov. vel. –  $A_p$  – povprečna ploščina vključkov;  
 pov. vk.  $A_c$  – celotna ploščina vključkov;  
 vk./preg. p.  $A/A_{pr.}$  – razmerje med ploščino vključkov in pregledano ploščino;  
 m1...m12 – mesta analize, /2, /1 – brez EMM, z EMM  
**Table 1:** Distribution data of inclusions (mag x100):  
 št. vk.  $n_c$  – total number of inclusions;  
 $C_{vklj.}/\text{cm}^{-2}$  – density of inclusions' area;  
 pov. vel. –  $A_p$  – average area of inclusions  
 pov. vk.  $A_c$  – total area of inclusions ;  
 vk./preg. p.  $A/A_{pr.}$  – ratio between area of inclusions and total examined area;  
 m1...m12 – examined places, /2, /1 – without EMM, with EMM

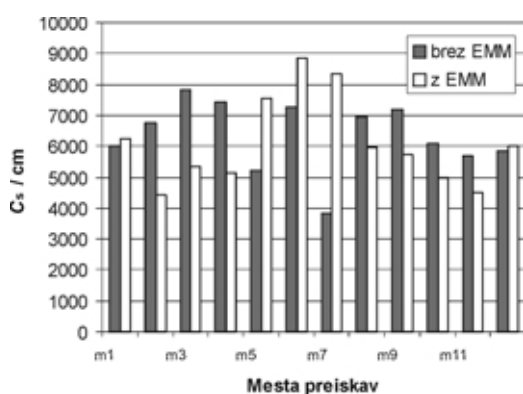
Mesto meritve	štev. vk. $n_c$	Gostota $C_{vklj.}/\text{cm}^{-2}$	povp. vel.	pov. vk.	vk./preg.p.
			$A_p/\mu\text{m}^2$	$A_c/\mu\text{m}^2$	$A/A_{pr.}/\%$
m 1/2	1594	6013	25,3	44715	0,2
m 2/2	1788	6745	26,5	44086	0,2
m 3/2	2072	7819	30,32	64526	0,2
m 4/2	1975	7450	47,58	81902	0,3
m 5/2	1378	5198	50,61	71794	0,3
m 6/2	1925	7261	40,29	76870	0,3
m 7/2	1020	3847	38,22	43126	0,2
m 8/2	1846	6963	29,58	55729	0,2
m 9/2	1910	7205	38,16	73414	0,3
m 10/2	1609	6069	29,05	48326	0,2
m 11/2	1513	5707	28,02	43404	0,2
m 12/2	1554	5862	23,44	42287	0,1
m 1/1	1658	6254	17,88	32392	0,1
m 2/1	1172	4421	22,54	27799	0,1
m 3/1	1410	5318	39,36	58765	0,2
m 4/1	1365	5149	34,46	48161	0,2
m 5/1	2000	7544	36,35	76869	0,3
m 6/1	2349	8860	35,82	87583	0,3
m 7/1	2215	8355	29,13	68828	0,3
m 8/1	1582	5967	49,64	81419	0,3
m 9/1	1522	5741	31,7	51046	0,2
m 10/1	1316	4964	27,64	37098	0,1
m 11/1	1199	4523	22,7	27402	0,1
m 12/1	1595	6016	20,71	34552	0,1

### 3 REZULTATI IN DISKUSIJA

Rezultate preiskav vključkov po prerezu gredice so prikazani tudi grafično v slikah 4, 5 in 6. Slika 4 prikazuje gostoto vključkov (število vključkov, deljeno s ploščino) po površini nemešane in mešane gredice. Število vključkov je nekoliko večje v zgornjem kot v spodnjem delu prerezu gredice. Večje število vključkov dobimo tudi na mestu končnega strjevanja tekočega korena, kjer je nastal lunker. Pri mešani gredici je gostota vključkov med spodnjim in zgornjim delom gredice (področje rasti stebričastih zrn) bolj izenačena. Gostota oz. število vključkov je pri z EMM uliti gredici najmanjša v območju svetlejšega pasu, največja pa v sredinskem območju gredice oz. v coni končnega strjevanja. Pod površino gredic so vključki majhni tako pri gredicah, ulitih brez EMM in z njim. Razlog za to so podobne razmere strjevanja gredice tik pod njeno površino. Pri nemešani gredici so sulfidni vključki največji v območju rasti stebričastih zrn, predvsem v zgornjem delu gredice. V globulitem sredinskem območju so vključki manjši. Pri mešani gredici je po prerezu, na mestih stebričastih zrn in v sredinskega

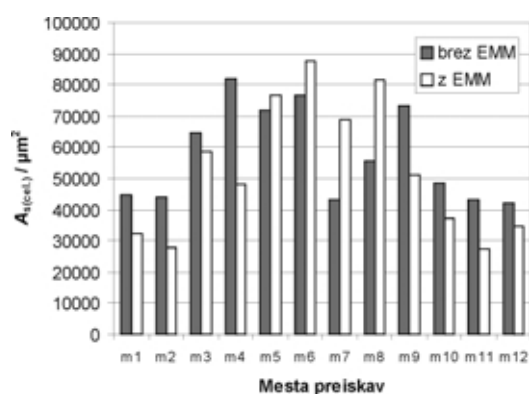
globulitnega območja povprečna velikost vključkov bolj izenačena (slika 5). Na sliki 6 je prikazana ploščina vključkov po prerezu gredice. S slike je razvidno, da je ta površina pri nemešani gredici najmanjša ob površini. V območju rasti stebričastih zrn je površina vključkov največja in je velika tudi na mestu končnega strjevanja tekočega korena žile, kjer je največje izcejanje. Pri mešani gredici je površina vključkov v območju rasti stebričastih zrn med zgornjo in spodnjo stranjo gredice zmanjšana. Površina vključkov pri mešani gredici je najmanjša v svetlejšem pasu in največja v sredini prečnega prereza gredice. Mešanje taline jekla pri ulivanju torej vpliva na velikost in prostorsko porazdelitev vključkov.

Primerjava porazdelitve vključkov med gredico, ulito brez EMM in z EMM oz. gostote vključkov po posameznih mestih prereza gredice, je prikazano na sliki 7. Za območje vpliva mešanja elektromagnetnih mešalnikov smo privzeli, da sega od svetlejšega pasu na zgornji strani gredice do svetlejšega pasu na spodnji strani le-te. To področje po prerezu gredice pa smo razdelili na tri področja, in sicer v cono za EMM. To je področje dveh merilnih mest na zgornji in spodnji strani gredice od svetlejšega pasu (mesta mešanja) proti sredini gredice,



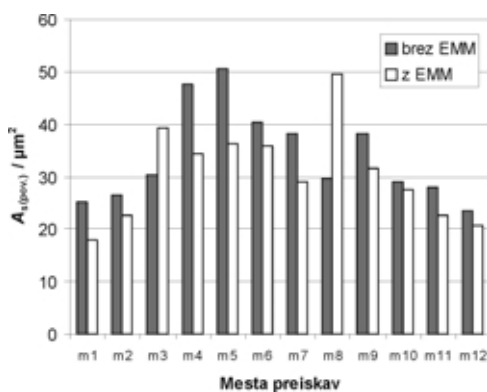
Slika 4: Gostota sulfidnih vključkov  $C_s$  po prerezu nemešane in mešane gredice

Figure 4: Density of sulphide inclusions in stirred and non-stirred billet



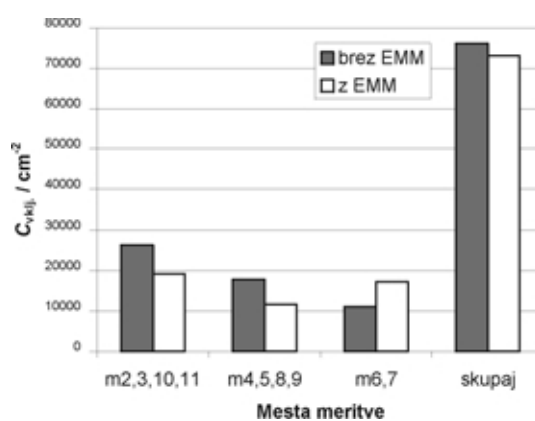
Slika 6: Ploščina sulfidnih vključkov  $A_{s(cekl)}$  po prerezu nemešane in mešane gredice

Figure 6: Area distribution of sulphides in stirred and non-stirred billet



Slika 5: Povprečna velikost sulfidnih vključkov  $A_{s(pov)}$  po prerezu nemešane in mešane gredice

Figure 5: Average size of sulphide inclusions in stirred and non-stirred billet



Slika 7: Gostota vključkov  $C_{vklj}/cm^{-2}$  v območju vpliva EMM po prerezu nemešane in mešane gredice

Figure 7: The effect of EMS on the density distribution of inclusions

obsega pa merilna mesta m2, m3, m10 in m11. Drugo primerjalno področje (vmesno področje) obsega merilna mesta m4, m5, m8, in m9, tretje pa sredino gredice, in sicer mesti preiskav 6 in 7.

Primerjava rezultatov kaže (slika 7), da se glede na področje vpliva mešanja taline z EMM zmanjša število vključkov takoj za mestom mešanja in nadalje v območju do sredine gredice (vmesno področje). Število vključkov je precej manjše ob mestu postavitve EMM in za njim. V vmesnem območju vpliva mešanja je med nemešano in mešano gredico manjša razlika v številu vključkov, vendar je v prid mešane gredice. Na sredini vpliva mešanja ob sredini prereza gredice pa je število vključkov večje pri mešani gredici. Primerjava celotnega števila vključkov v območju vpliva elektromagnetnega mešanja pokaže, da je število vključkov nekoliko manjše pri mešani gredici.

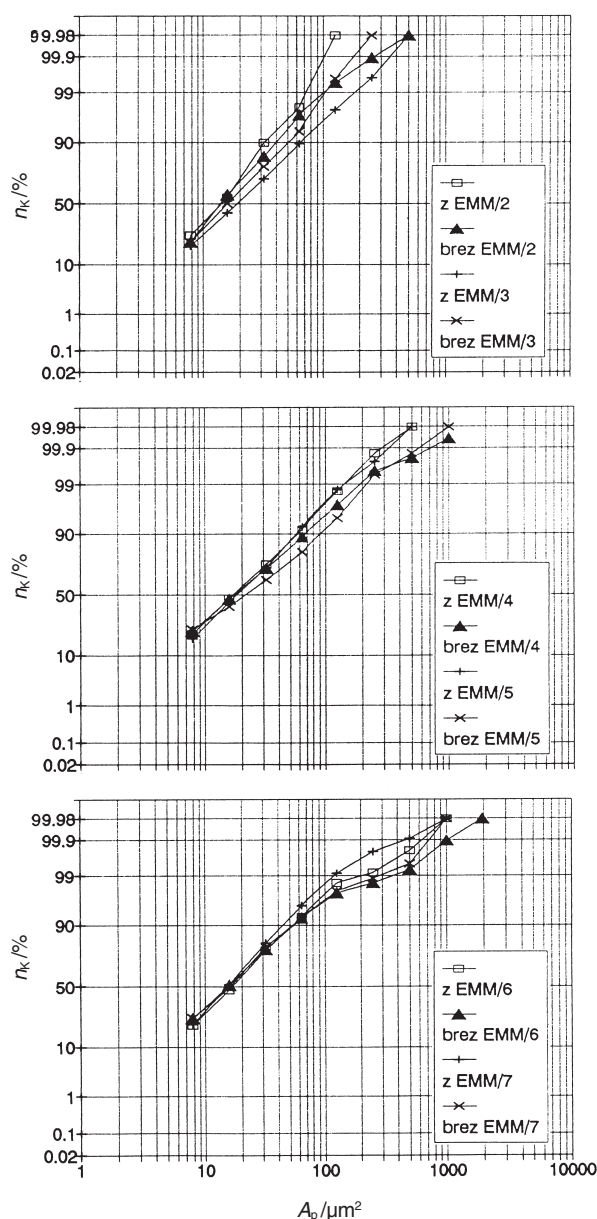
Na sliki 8 so prikazani rezultati analize velikostne porazdelitve vključkov na mestih m2, m3, m4, m5, m6 in m7, to je po prerezu zgornje polovice gredice. Povprečna aritmetična velikost vključkov v vzorcih je bila od  $7,8 \mu\text{m}^2$  do  $1961,0 \mu\text{m}^2$  kar ustreza premeru nekovinskih vključkov od  $3,1 \mu\text{m}$  do  $50,0 \mu\text{m}$ . Analiza pa kaže, da je 50 % vključkov manjših od povprečne ploščine  $15,7 \mu\text{m}^2$ , to je velikosti vključkov s premerom pod  $4,47 \mu\text{m}$ . Na mestu m2 je 90 % vključkov pod velikostjo  $31,4 \mu\text{m}^2$  ( $d = 6,32 \mu\text{m}$ ). Na tem mestu najdemo večinoma majhne vključke. Ob mestu m3 ima 90 % vključkov velikost manjšo od povprečne velikosti  $62,8 \mu\text{m}^2$  oziroma premera:  $d = 8,94 \mu\text{m}$ . Okoli 94 % vključkov v jeklu je manjših od povprečne velikosti  $125,67 \mu\text{m}^2$  ( $d = 12,64 \mu\text{m}$ ) na mestih meritev m4 in m5. Na merilnem mestu m6 in m7 pa je 98 % vključkov manjših od velikosti  $125,67 \mu\text{m}^2$ . Na teh dveh mestih, to je mestu lunkeja in geometrijske sredine gredice, je več večjih vključkov. Strmina krivulj pogostosti velikosti vključkov nad temi vrednostmi pa postane položnejša, ker je delež še večjih vključkov v jeklu na teh dveh mestih zmanjšan. Če torej govorimo o pogostosti vključkov, večjih od  $125,67 \mu\text{m}^2$ , lahko rečemo, da je na mestih m4 in m5 po prerezu gredice delež le-teh večji kot pa na mestih m6 in m7, s tem da je na mestu lunkeja (m6) izmerjen največji vključek.

Iz poteka histogramov velikostne porazdelitve sulfidnih vključkov je razvidno, da so vključki pri mešani gredici manjši, razen na mestu m3. Tako je na mestu m2 pri mešani gredici izmerjena povprečna velikost in velikost največjih vključkov za dva velikostna razreda manjša kot pri nemešani gredici. Na mestih m4, m5 in m6 pa je povprečna velikost največjih vključkov pri mešani gredici manjša za en velikostni razred.

Delež manjših vključkov je pri mešani gredici večji kot pri nemešani. To pomeni, da je delež večjih vključkov pri nemešani gredici večji, kar pomeni, da so v povprečju vključki večji pri nemešani gredici.

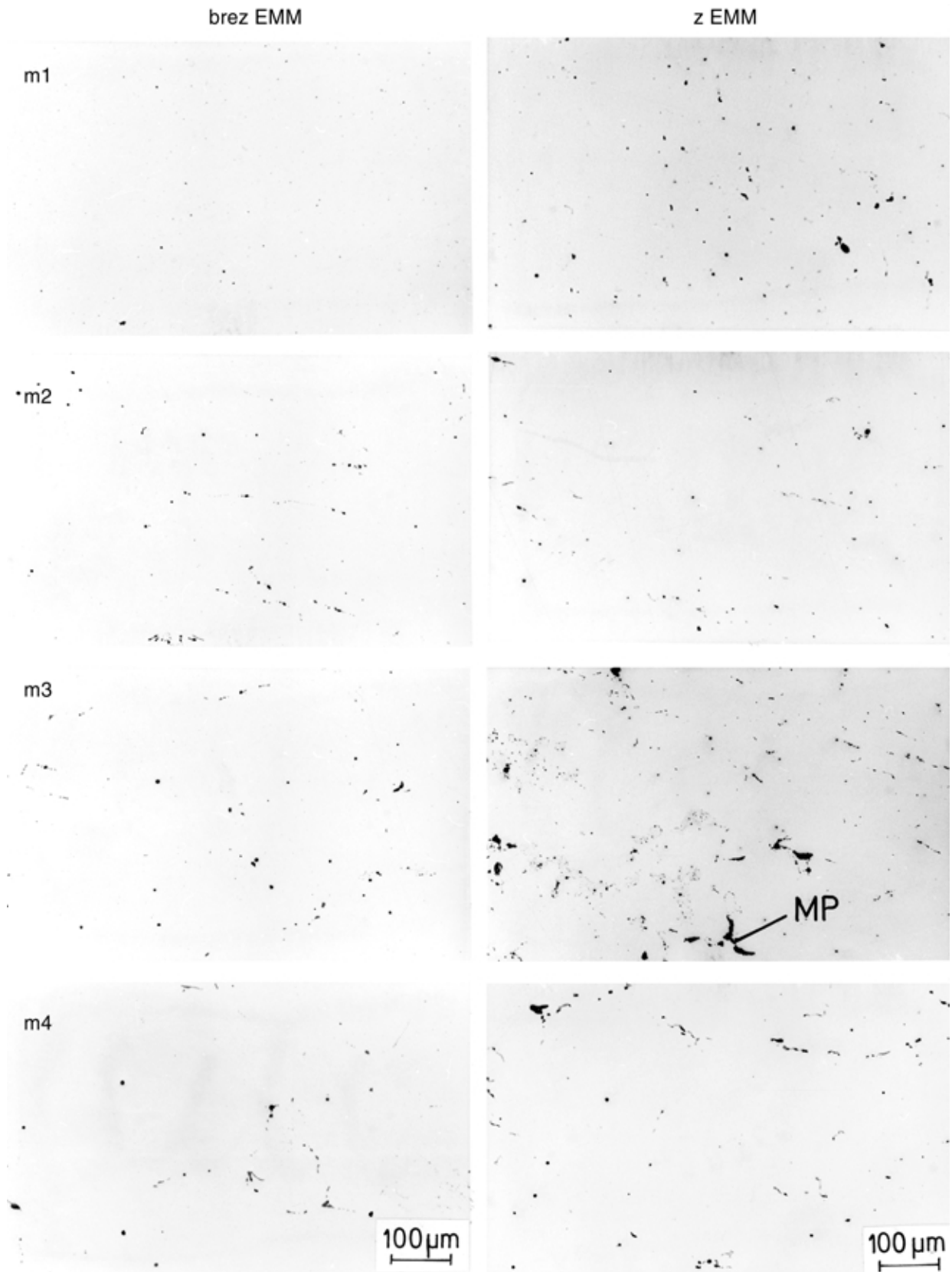
Slika 9 prikazuje mikroposnetke nekovinskih vključkov po prerezu gredice od mesta m1 (zgornji rob

gredice) do mesta m8 na spodnjem robu mešane in nemešane gredice pri 100-kratni povečavi. Pri nemešani gredici se z oddaljenostjo od površine gredice velikost vključkov povečuje in sulfidi so porazdeljeni v evtetski obliki. Na mestih m4, m5 in m8 je bilo opaziti tudi nekaj globularnih sulfidnih vključkov. Ob sredinskem delu gredice (mesti m7 in m8) in pod njim so vključki po večini zopet manjši. Število vključkov od roba proti sredini nemešane gredice ne narašča veliko, pač pa se povečuje velikost vključkov. Ob lunkeju, ki je pre-maknjen 5 mm od geometrijske sredine proti zgornjemu robu gredice je videti največje vključke, ki pa so v večini



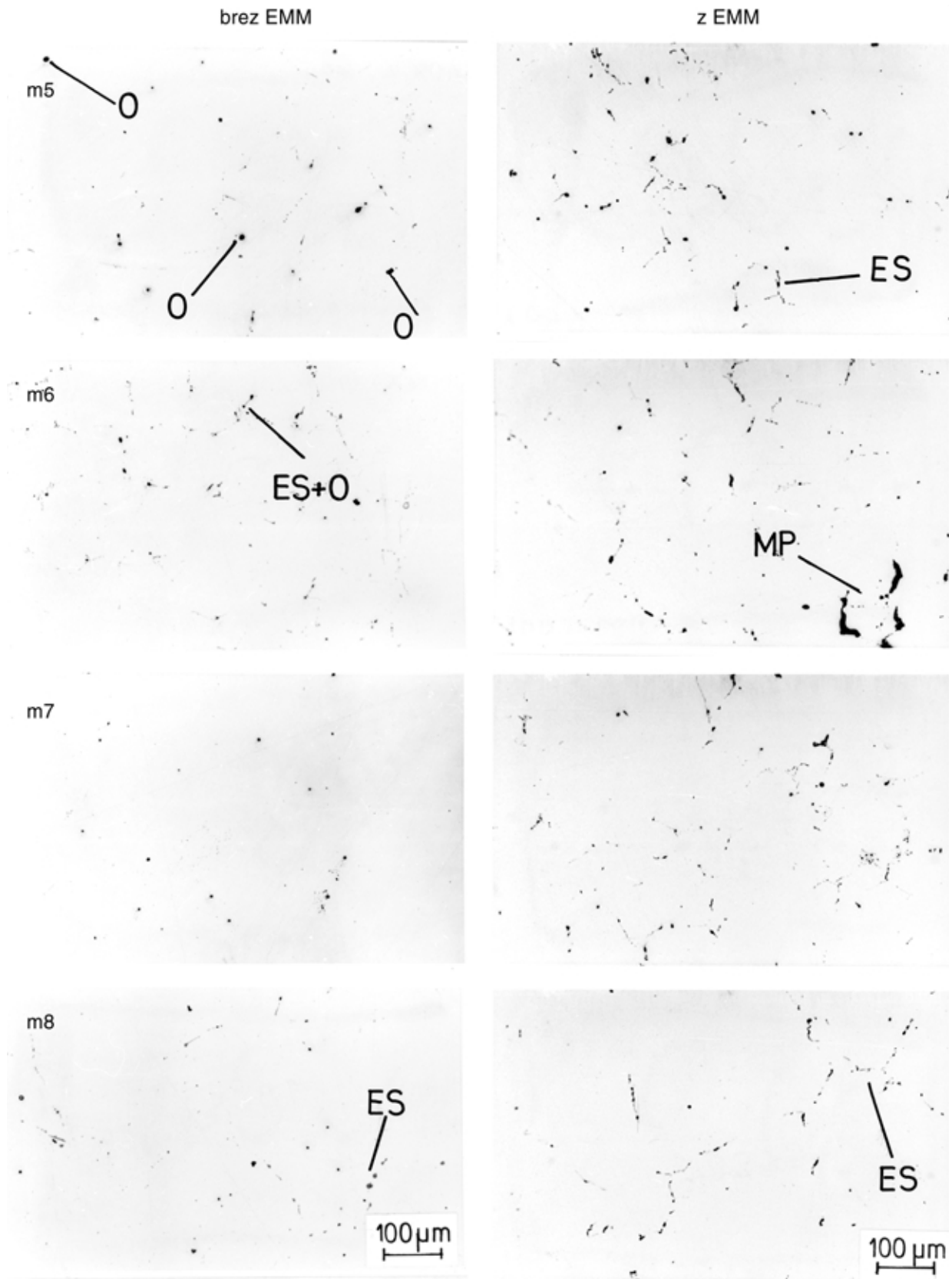
Slika 8: Histogram porazdelitve vključkov na treh področjih v območju vpliva elektromagnetnega mešanja v zgornji polovici prečne prereza gredice

Figure 8: Histogram of inclusion distribution for inclusions in three different zones



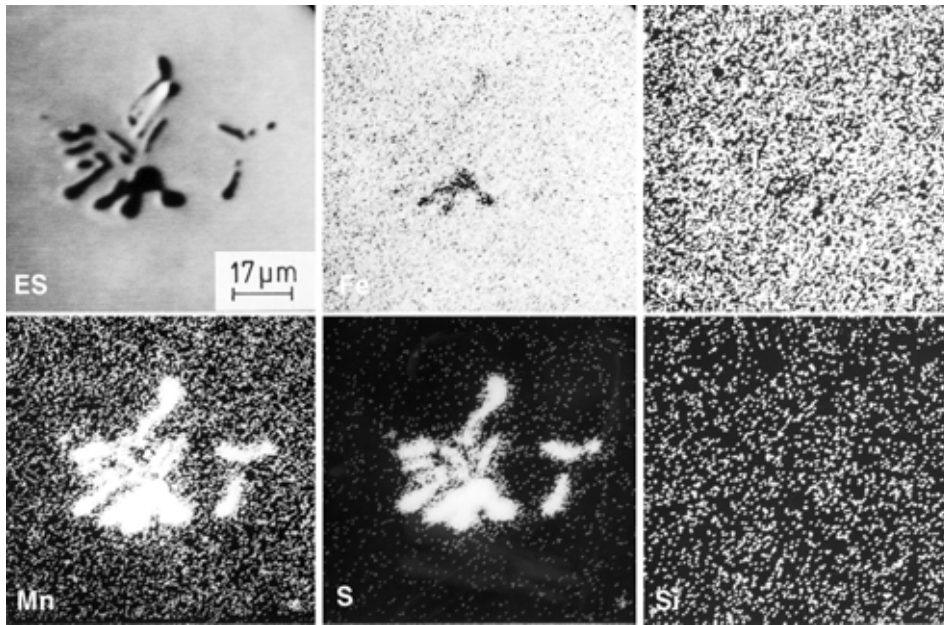
**Slika 9:** Nekovinski vključki od mesta m1 do m4 po prerezu nemešane in mešane gredice; povečava 100-kratna (ES-evtetski sulfidi, O-oksidi, MP-mikroporoznost)

**Figure 9:** Non-metallic inclusions from the place m1 to place m4 of the transverse section of the non-stirred and stirred billet (ES-eutectic sulphide, O-oxide, MP-microporosity)

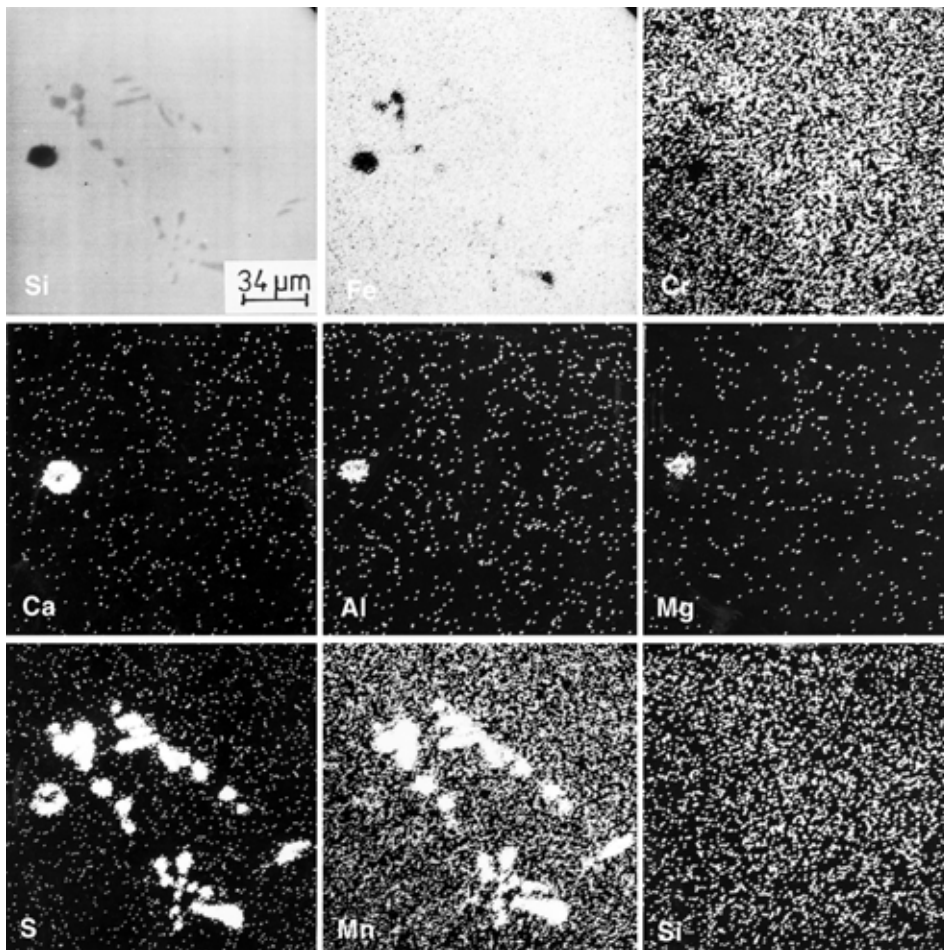


**Slika 10:** Nekovinski vključki od mesta m5 do m8 po prerezu nemešane in mešane gredice; povečava 100-kratna (ES-evtetski sulfidi, O-oksidi, MP-mikroporoznost)

**Figure 10:** Nonmetallic inclusions from the place m5 to place m8 of the transverse section of non-stirred and stirred billet (ES-eutectic sulphide, O-oxide, MP-microporosity)



**Slika 11:** Elektronski posnetek sestave (ES) in specifični rentgenski posnetki za elemente v nekovinskem vključku (evtektični vključek MnS)  
**Figure 11:** Electron image of composition (ES) and specific X-ray images of elements in the non-metallic inclusion (eutectic MnS)



**Slika 12:** Elektronski posnetek sestave (ES) in specifični rentgenski posnetki za elemente v nekovinskem vključku (modificiran vključek in niz vključkov MnS)  
**Figure 12:** Electron image of composition (ES) and specific X-ray image of elements in the non-metallic inclusion (modified inclusion and row of inclusions MnS)

manjši kot na mestih stebričaste rasti kristalov (mestu m3, m4 in m5).

Pri mešani gredici sta porazdelitev in število vključkov tik pod površino podobna kot pri nemešani gredici. V območju svetlejšega pasu je najmanj vključkov. Od tod naprej proti notranosti gredice število vključkov postopoma narašča. V sredinskem delu mešane gredice (mesta m5, m6, m7) je večja gostota vključkov kot v enakem območju pri nemešani gredici.

V gredicah prevladujejo vključki MnS. Ti so izločeni predvsem v evtetski obliki. Oksidnih vključkov je malo. Najdemo jih predvsem po mejah strjevalnih zrn (v feritu) in v prostorih med vejami zrn.

Mehanske lastnosti jekel so povezane s številom, velikostjo, vrsto in morfologijo vključkov. Jeklo 16MnCr5 je namenjeno za cementacijo. Drobni vključki MnS v obliki nizov, ki so deformabilni med plastično predelavo, so ugodni za obdelovalnost jekel pri višjih hitrostih in zmanjšajo obrabo orodja. **Sliki 10 in 11** prikazujeta sestavo vključkov v obliki specifičnih rentgenskih posnetkov za sestavne elemente, razen kisika. **Slika 11** prikazuje vključek MnS. Na **sliki 12** pa je prikazan modificiran kompleksen vključek kalcijevega aluminata in okoli njega obroč CaS. Pod njim je niz evtetičnih vključkov MnS.

#### 4 SKLEP

Elektromagnetno mešanje taline jekla pri kontinuirnem ulivanju vpliva na prostorsko porazdelitev in velikost vključkov. Število vključkov po prerezu nemešane gredice je največje v območju rasti stebričastih zrn in ob lunkerju. Večje število vključkov je bilo izmerjeno na zgornji četrtini prereza gredice (področje stebričaste rasti zrn) kot pa na enakem področju v spodnjem delu prereza gredice. Pri mešani gredici je največ vključkov na sredini gredice. Porazdelitev le-teh med zgornjim in spodnjim delom gredice je pri mešani gredici boljša.

Velikost vključkov je najmanjša v hitro strjenem robnem področju gredice in se povečuje v smeri proti sredini gredice. V sredini nemešane gredice so vključki nekoliko manjši. Pri mešani gredici so vključki manjši in v območju stebričastih in globulitnih zrn je njihova velikost bolj izenačena.

V jeklu se opazijo pretežno evtetično izločeni vključki tipa MnS. Oksidnih vključkov je malo.

Pri mešani gredici število in velikost vključkov rasteta od mesta mešanja proti sredini gredice, kar pripisujemo vplivu toka taline in centripetalne sile na vključke, ki jih vleče od meje strjevanja proti sredini gredice. Pri nemešani gredici večje število in velikost vključkov v območju stebričastih zrn pripisujemo masnim tokovom obogatene taline pred mejo rasti stebriča-

stih zrn ter povečanju lokalnega časa strjevanja. To omogoča nastanek in rast sulfidnih vključkov, med strjevanjem taline ujetih med sekundarnimi vejami stebričastih zrn. Pri elektromagnetnem mešanju pa tok taline na meji strjevanja odstrani velike vključke, zmanjša temperaturni gradient in čas lokalnega strjevanja. Podhladitev je manjša, zato je manjše izcejanje taline pred mejo strjevanja, kar ovira rast vključkov.

Večje število in večja površina vključkov na zgornji polovici prereza nemešane gredice sta lahko posledica plavanja vključkov v žili krožnolodne kontinuirne naprave navzgor oziroma glede na prerez gredice proti zgornjemu robu gredice zaradi manjše prostorninske gostote kot je gostota jeklene taline. Večji vključki zaradi večje sile vzgona hitreje splavajo navzgor.

#### 5 LITERATURA

- <sup>1</sup> J. P. Birat, J. Chone: Electromagnetic stirring on billet, bloom and slab continuous casters, *Ironmaking and Steelmaking*, 10 (1983), 6, 269–281
- <sup>2</sup> A. A. Tzavaras: Solidification control by electromagnetic stirring state of the art., *Continuous Casting*, 3 (1984), 47–67
- <sup>3</sup> I. Hoshikawa, et al.: Development of an in mold electromagnetic stirring technique at Kobe Steel, *Proceedings of the Sixth International Iron and steel Confress*, v.3, *Steelmaking 1*, April 1991, 45–52
- <sup>4</sup> D. A. Currey, C. A. Pickles: The effects of electromagnetic stirring on segregation and inclusion distribution in continuously cast billets, *ISS Transactions*, 9 (1988), 67–77
- <sup>5</sup> A. A. Tzavaras, J. F. Wallace: Behavior of inclusions in steel under induced fluid flow during solidification, *Trans. AFS*, 80 (1972), 197–204
- <sup>6</sup> B. Arh: Master's Degree (in Slovene), Univerza v Ljubljani, NTF-OMM, Ljubljana, 1996
- <sup>7</sup> K. Ayata, et al.: Improvement of the distribution of large inclusion by electromagnetic stirring in bending type continuous casting machine, *Trans. ISIJ*, 20 (1980) 6, B 211
- <sup>8</sup> E. Sowka, et al.: Modernisierung der Vorblock Stranggiesanlage der Thyssen Stahl AG in Duisburg, *Stahl und Eisen* 115 (1995) 3, 59–64

#### Legenda:

- Kumulativna pogostnost:  $n_K/\%$
- Velikostna porazdelitev vključkov:  $d/\mu\text{m}$
- Volumenski delež vključkov:  $\rho_{\text{vklj.}}/\%$
- Oddaljenost od hlajene stene kokile:  $d/\text{cm}$
- Hitrost toka:  $\gamma = 50 \text{ cm/s}$
- Število makro vključkov:  $n$
- Število vključkov na kvadratni centimeter:  $C_{\text{vklj.}}/\text{cm}^{-2}$  (= številna gostota vključkov)
- Povprečna velikost vključkov = povpr. plošč:  $A_p/\mu\text{m}^2$
- Delež vključkov na prerezu gredice:  $X_{\text{vklj.}}/\%$
- Oddaljenost od zg. roba gredice:  $l/\text{mm}$
- Skupno število vključkov:  $n_c$
- Povprečna ploščina vključkov:  $A_p/\mu\text{m}^2$
- Celotna ploščina vključkov:  $A_c/\mu\text{m}^2$
- Razmerje med ploščino vključkov in pregl. plošč:  $A/A_{\text{pr}}$
- $n_S$  je število sulfidnih vključkov
- velikost (povprečna) sulfidnih vključkov:  $A_{S(\text{pov})}$