

## O nekaterih značilnostih žlinder sistema $\text{CaF}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-CaO}$

Izdelava EPŽ-žlinder iz sistema  $\text{CaF}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$  in  $\text{CaF}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-CaO}$ . Vpliv pretaljevanja žlinder na kemično analizo in sicer pri treh različnih variantah pri konstantni in spreminjajoči izhodni sestavi.

Zakovitost odnosov med posameznimi komponentami žlindre:

$\text{Ca} = f(\text{Al})$ ,  $\text{O} = f(\text{F})$ , vsota  $\text{Ca} + \text{Al}$  pred in po pretaljevanju EPŽ-žlinder v pretaljenem stanju in mineralna sestava.

### 1. UVOD

Pretaljevanje kvalitetnih jekel pred žlindro (EPŽ-postopek) je dobilo v zadnjem desetletju silen razmah in se že danes uvršča med najbolj perspektivne sekundarne postopke za izboljšanje kvalitete jekel. Pri EPŽ-postopku igra žlindra dominantno vlogo, tako za doseg visoke kvalitete jekla, kakor tudi za ekonomičnost procesa.

Žal najdemo v literaturi (iz razumljivih razlogov) zelo malo podatkov o načinu izdelave žlinder in njenem obnašanju med talenjem, zlasti kar se tiče spremembe kemične in mineraloške sestave.

Namen tega članka je podati nekatere značilnosti žlindre sistema  $\text{CaF}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-CaO}$ .

### 2. Izbira surovin

Kemična sestava surovin, iz katerih smo izdelali sintetične žlindre v sistemu  $\text{CaF}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-CaO}$  je podana v tabeli 1.

### 3. Izdelava žlinder

Žlindre smo talili v posebno izdelani grafitni peči z grafitno elektrodo, ki je bila napajana s 100 kVA transformatorjem pri sekundarni napetosti 30–50 V in jakosti toka do 1550 A. Ta način talenja žlinder omogoča doseg visokih temperatur

v zelo kratkem času, kar pripomore k homogenizaciji žlinder in popolni reakciji med komponentami žlindre. Poleg talenja je mogoče vršiti rafinacijo žlindre s pihanjem zraka na površino žlindre ali delati z dodatki posebnih reagentov v tekočo žlindro.

Po fazi taljenja oziroma rafinacije smo žlindro zelo hitro odlili v suho grafitno kokilo.

Celotno količino pretaljene žlindre smo zdrobili, homogenizirali in vzeli vzorce za kemično in mineraloško analizo.

### 4. Analiza rezultatov

V prvi seriji poskusov smo analizirali vpliv pretaljevanja žlinder sistema  $\text{CaF}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$  na kemično analizo in odnose med posameznimi komponentami v žlindri in sicer:

a) pri različni izhodni sestavi žlinder (serija poskusov B),

b) pri enaki izhodni sestavi žlinder (serija poskusov Ž).

V drugi seriji poskusov smo analizirali žlindre tipa: 55 %  $\text{CaF}_2$  + 25 %  $\text{Al}_2\text{O}_3$  + 10 %  $\text{CaO}$ .

Pri talenju žlinder smo uporabili tri različne variante:

A: mešanica ( $\text{CaF}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3$ ), B:  $\text{CaF}_2 \rightarrow \text{Al}_2\text{O}_3$  + zrak in C: mešanica ( $\text{CaF}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3$ ) + zrak.

#### 4.1 Sistem $\text{CaF}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$

Ker smo za izdelavo žlinder uporabili tehnično čiste surovine (glej tab. 1), dejansko niti ne moremo govoriti o čistem binarnem sistemu.

Kemična analiza preiskovanih žlinder z oznako B, pred in po talenju je podana v tabeli 2 — in z oznako Ž v tabeli 3.

Iz dobljenih rezultatov kemične analize lahko potegnemo naslednje zaključke:

Tabela 1:

Surovina	Kemična sestava, ut. %										Vsota	Bazičnost % $\text{CaO}/$ % $\text{SiO}_2$
	Ca	Al	Si	F	O	Fe	Mn	C	S	P		
$\text{CaF}_2$	49,8		1,04	46,1	1,56		0,04	0,37	0,30	0,003	99,31	0,50
$\text{Al}_2\text{O}_3$	—	52,5	0,046	—	46,55	0,12	—	—	—	0,003	99,22	—
$\text{CaO}^*$	61,4	—	0,815	—	25,67	—	—	—	0,52	0,02	—	55,7

x) Apno vsebuje še 1,30 %  $\text{MgO}$ , 0,88 % ( $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{TiO}_2$ ) in 7,72 žarnih izgub

Tabela 2: Kemična analiza žlinder z oznako B pred in po taljenju v grafitni peči

Žlindre *	Kemična sestava, ut. %									Vsota	Bazičnost % CaO/ % SiO <sub>2</sub>
	Ca	Al	Si	F	O	Fe	Mn	C	P		
B-1 pred	46,50	2,97	0,955	43,10	4,07	0,31	0,008	0,44	0,003	98,35	0,63
po	47,26	2,38	0,930	42,80	4,02	0,21	—	0,41	0,003	98,01	1,45
B-2 pred	43,72	5,75	0,71	40,90	6,17	0,16	0,007	0,33	0,03	97,75	0,57
po	45,04	4,87	0,67	41,10	6,14	—	—	0,17	0,03	98,26	1,79
B-3 pred	42,50	7,15	0,55	39,90	7,20	0,11	0,003	0,26	0,003	97,76	0,47
po	43,16	7,15	0,49	40,00	7,31	—	—	0,18	0,003	98,53	1,27
B-4 pred	36,52	12,89	0,78	34,00	12,52	0,11	0,007	0,36	0,003	97,17	0,43
po	37,62	12,85	0,71	34,70	12,70	0,22	—	0,19	0,003	99,05	0,87
B-5 pred	33,75	15,90	0,67	31,20	15,17	0,14	0,007	0,33	0,003	97,17	0,87
po	31,15	15,45	0,66	32,60	14,43	0,14	—	0,10	0,003	98,75	0,74
B-6 pred	32,48	18,10	0,67	30,00	17,13	0,28	0,007	0,33	0,003	99,00	0,76
po	32,08	18,30	0,67	29,70	16,95	—	—	0,22	0,003	98,06	0,76

\* Vse žlindre so pretaljene po varianti A tj. mešanica ( $\text{CaF}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3$ )

Tabela 3: Kemična sestava žlinder z oznako Ž pred in po tlenju pri različnih variantah taljenja

Žlindre	Kemična sestava, ut. %									Vsota	Bazičnost % CaO/ % SiO <sub>2</sub>	
	Ca	Al	Si	F	O	Fe	Mn	C	P			
Izhodna * sestava	34,23	15,90	0,74	31,90	15,10	0,11	—	0,30	0,21	98,60	0,55	
A	Ž-7	36,44	13,65	0,65	32,80	13,57	0,11	—	0,12	0,03	97,27	1,74
	Ž-8	35,15	15,38	0,65	31,10	15,21	0,10	—	0,14	0,08	99,11	2,25
B	Ž-9	32,96	18,10	0,39	29,40	17,15	0,11	—	0,08	0,07	98,26	2,93
	Ž-10	29,95	21,70	0,20	27,52	19,85	0,25	—	0,08	0,02	99,55	2,40
C	Ž-11	36,82	14,50	0,26	34,50	14,94	0,20	—	0,18	0,1	101,4	0,79
	Ž-12	37,58	13,25	0,39	35,0	13,97	0,20	—	0,34	0,1	100,7	1,13
	Ž-13	37,38	13,62	0,25	35,1	14,03	0,20	—	0,16	0,1	100,7	0,74
	Ž-14	31,03	20,2	0,20	28,47	20,60	0,20	—	0,12	0,1	100,8	1,38
	Ž-15	39,20	11,71	0,21	36,20	11,85	0,30	—	0,12	0,1	97,59	0,17

\* Izračunano iz kemične sestave surovin

1. Pri taljenju žlinder po varianti A (žlindre B-1 do B-6 in Ž-1, Ž-8) ostane vsebnost silicija, železa in fosforja praktično nespremenjena. Vsebnost ogljika in žvepla (pri seriji B ni analiznih podatkov) se zniža v povprečju: za ogljik 44 odst. ( $n = 8$ ) in žveplo 73 % ( $n = 2$ ).

2. Bazičnost žlindre (serija B) se poveča po taljenju pri nižjih vsebnostih  $\text{Al}_2\text{O}_3$  celo za štirikrat, medtem ko pri višjih vsebnostih  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ostane praktično nespremenjena. Pri žlindrah s konstantno izhodno sestavo (serija Ž) bazičnost naraste

pri variantah A in B za 3—5 krat, pri varianti C se spreminja in leži med 0,17 in 1,38.

3. Taljenje žlinder po varianti B (pri kateri se najprej razstali čisti  $\text{CaF}_2$  in nato šaržira določena količina  $\text{Al}_2\text{O}_3$  s pihanjem zraka na površino žlindre) prinaša znatne prednosti glede odstranjevanja škodljivih primesi, kot so: Si ( $\text{SiO}_2$ ), C in S. Vsebnost Si se zniža v povprečju za 60 % ( $n = 2$ ), vsebnost žvepla in ogljika za okrog 78 % ( $n = 2$ ) oziroma 73 % ( $n = 2$ ).

Vsebnost železa se poveča pri vseh žlindrah, čeprav je lahko vzrok za povečanje železa tudi v pripravi vzorcev (drobljenje v jeklenih drobilcih).

4. Uporaba variante C, ki predstavlja delno kombinacijo variant A in B, pripomore k znatnemu znižanju vsebnosti Si ( $\text{SiO}_2$ ) — v povprečju 65 % ( $n = 5$ ), torej podobno kot pri varianti B. Odstranjevanje žvepla in ogljika je pri tej varianti

nekoliko slabše. Povprečna stopnja odstranjevanja žvepla znaša (min. 52 %) in ogljika 52 % ( $n = 4$ ).

Pri tem je treba poudariti, da so izgube na  $\text{CaF}_2$  največje pri varianti B, medtem ko so pri varianti A najmanjše.

V nadaljnjem nas je zanimalo, kakšni so odnosi med posameznimi komponentami v pretaljenih žlindrah. Resume analize bi bil naslednji:

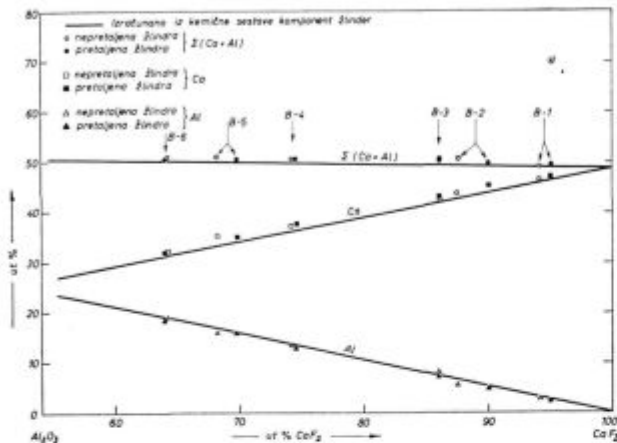
1. Vsota ( $\text{Ca} + \text{Al}$ ) v žlindrah pred in po talenju ostane praktično konstantna in se suče okrog 50 %, kar je razvidno iz podatkov v tabeli 4 in grafičnih ponazoritev na sliki 1 in 2.

2. Obstoja funkcionalna odvisnost med vsebnostjo Al in Ca (glej sliko 4) in vsebnostjo F in O (slika 3). Te odvisnosti lahko izrazimo v analitični obliki:

$$\text{ut. \% Al} = 54,9 - 1,11 \text{ ut. \% Ca}$$

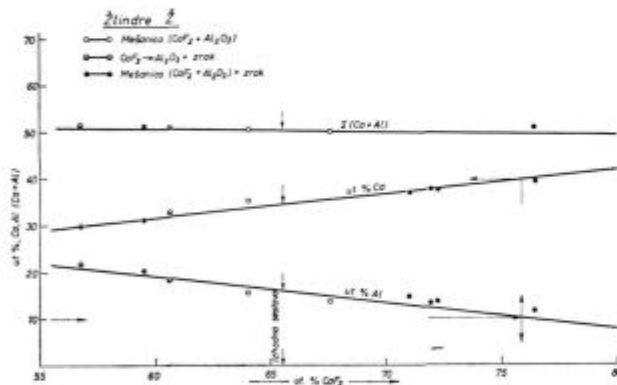
$$\text{ut. \% O} = 45,57 - 0,96 \text{ ut. \% F}$$

Grafična ponazoritev teh odnosov je razvidna iz slik 3 in 4.



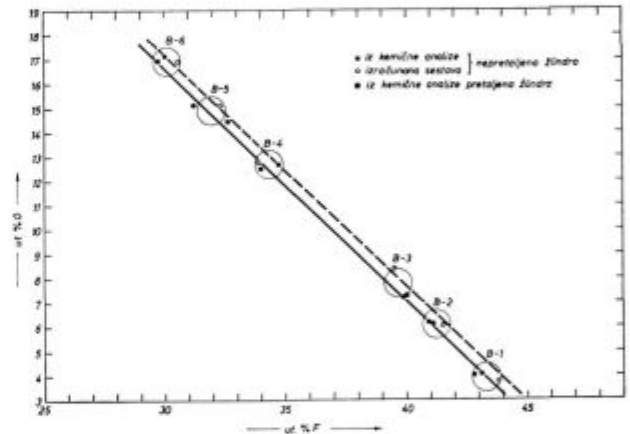
Slika 1

Grafična ponazoritev elementarne kemične analize preiskovanih žlindrov v binarnem sistemu  $\text{CaF}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$



Slika 2

Odvisnost vsebnosti Ca, Al in vsote ( $\text{Ca} + \text{Al}$ ) od vsebnosti  $\text{CaF}_2$  v pretaljenih žlindrah tipa Z



Slika 3

Odvisnost med vsebnostjo kisika in fluora v žlindrah sistema  $\text{CaF}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$

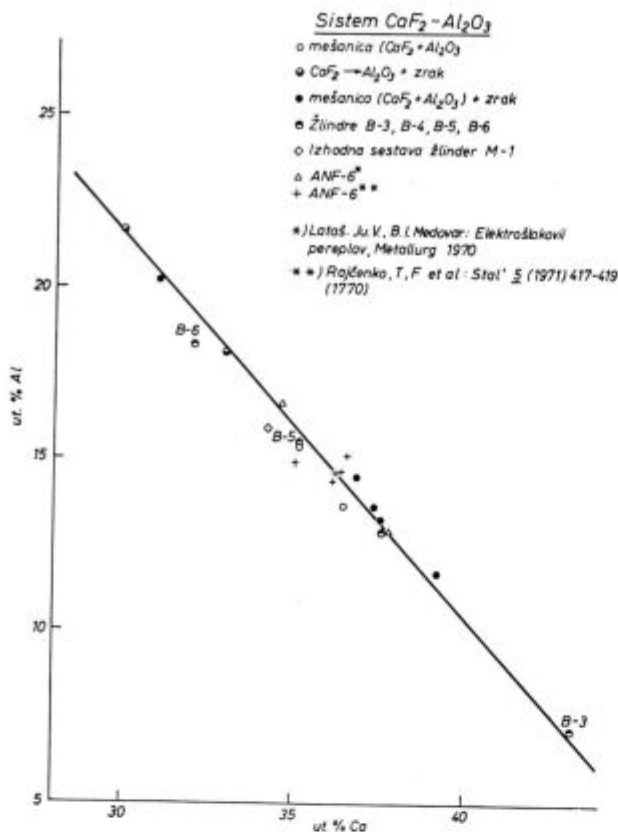
3. Eksistira korelacijska odvisnost med spremembo  $\text{CaF}_2$  in  $\text{Al}_2\text{O}_3$ .

Tab. 4 Vrednost vsote  $\text{Ca} + \text{Al}$  pri žlindrah sistema  $\text{CaF}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3$

Žlindra	Vsota: ( $\text{Ca} + \text{Al}$ ), %					
	B-1	B-2	B-3	B-4	B-5	B-6
pred talenjem	49,92	50,05	50,05	50,47	50,81	50,98
po talenju	49,64	49,93	50,31	50,47	50,60	50,38

Žlindra	Vsota: ( $\text{Ca} + \text{Al}$ ), %								
	Z-7	Z-8	Z-9	Z-10	Z-11	Z-12	Z-13	Z-14	Z-15
pred talenjem	50,13	50,13	50,13	50,13	50,13	50,13	50,13	50,13	50,13
po talenju	50,09	50,53	51,06	51,65	51,32	50,83	51,00	51,32	50,91



Slika 4  
 Odvisnost med vsebnostjo Ca in Al v pretaljenih žlindrah sistema CaF<sub>2</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

Če to spremembo definiramo v obliki:

$$\frac{(CaF_2)_{izh} - (CaF_2)_{pret}}{(CaF_2)_{izh}} \cdot 100 = \Delta CaF_2 (\%)$$

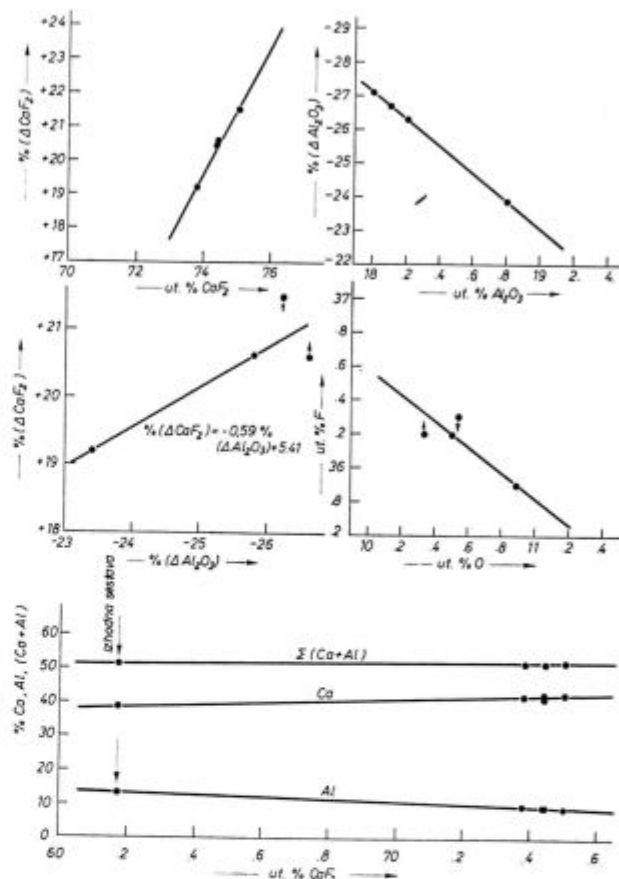
oziroma:

$$\frac{(Al_2O_3)_{izh} - (Al_2O_3)_{pret}}{(Al_2O_3)_{izh}} \cdot 100 = \Delta Al_2O_3 (\%)$$

potem je mogoče napisati regresijo za  $\Delta CaF_2$  in  $\Delta Al_2O_3$  v obliki:

$$\% (\Delta CaF_2) = 3,4 - 0,465 \% (\Delta Al_2O_3),$$

kar je pogojeno z vsoto:  $\% CaF_2 + \% Al_2O_3 = \text{konstanta}$ .



Slika 5  
 Odnosi med različnimi komponentami in njihovimi spremembami pri pretaljevanju žlinder sistema CaF<sub>2</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-CaO

Tab. 5 Kemična sestava pretaljenih žlinder s konstantno izhodno sestavo

Žlindre	Kemična sestava, ut. %										Vsota %	% CaO/ % SiO <sub>2</sub>
	Ca	Al	Si	F	O	Mg	Fe	C	S			
Izhodna sestava*)	x) 38,42	13,1	0,76	30,0	15,15	—	—	0,24	0,19	97,99	5,76	
C	Ž-17	42,09	9,95	0,33	35,9	10,89	0,12	0,16	0,12	0,10	99,53	8,40
	Ž-18	42,03	9,65	0,30	36,2	10,33	0,36	0,16	0,16	0,10	99,29	8,35
	Ž-19	42,82	9,61	0,33	36,3	10,53	0,24	0,15	0,16	0,10	100,14	8,20
	Ž-20	42,70	9,54	0,30	36,2	10,50	0,36	0,20	0,14	0,20	99,94	9,80

C — žlindre so pretaljene po varianti C.

x) Izračunana sestava iz kemične sestave surovin

#### 4.2 Sistem $\text{CaF}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-CaO}$

V tem sistemu smo izbrali le eno žlindro z okvirno izhodno sestavo:

65 %  $\text{CaF}_2$  + 25 %  $\text{Al}_2\text{O}_3$  + 10 %  $\text{CaO}$ . V tabeli 5 je podana kemična analiza pretaljenih žlindrov.

Z analizo teh rezultatov pridemo do podobnih zaključkov kot pri žlindrah sistema  $\text{CaF}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ :

1. Vsebnost  $\text{CaF}_2$  v vseh preiskovanih žlindrah naraste v povprečju za okrog 20 %. Povečanje vsebnosti  $\text{CaF}_2$  v žlindrah gre na račun zmanjšanja vsebnosti  $\text{Al}_2\text{O}_3$  in  $\text{CaO}$  v žlindri.

2. Razmerje med Ca in Al se poveča od prvotne vrednosti 2,94 na 4,38 toda njihova vsota ostane praktično konstantna (glej tabelo 6 in sliko 5):

Žlindra	Ž-17	Ž-18	Ž-19	Ž-20	Izhodna sestava
$\Sigma$ (Ca+Al)	52,04	51,68	52,43	52,24	51,52

3. Tudi pri žlindrah sistema  $\text{CaF}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-CaO}$  opazamo določeno odvisnost med vsebnostjo  $\text{CaF}_2$  oz.  $\text{Al}_2\text{O}_3$  in njihovimi spremembami  $\Delta\text{CaF}_2$  in  $\Delta\text{Al}_2\text{O}_3$ . Ravno tako obstoja korelacija med spremembo  $\Delta\text{CaF}_2$  in  $\Delta\text{Al}_2\text{O}_3$ , ki izražena v analitični obliki glasi:

$$\% (\Delta\text{CaF}_2) = 5,41 - 0,59 \% (\Delta\text{Al}_2\text{O}_3)$$

4. Povprečne spremembe kemične sestave žlindrov kot posledica pretaljevanja lahko ocenimo takole:  $\Delta\text{Si} (\%) = -58,5 \%$ ,  $\Delta\text{S} (\%) = -37,5 \%$ ,  $\Delta\text{C} (\%) = -40 \%$ .

5. Bazičnost žlindrov se poveča v povprečju za 60 %.

Povečanje vsebnosti  $\text{CaF}_2$  v pretaljenih žlindrah na račun znižanja  $\text{CaO}$  in  $\text{Al}_2\text{O}_3$  tolmačimo z že opaženim pojavom razmešanja.

Raziskave Zmodina in Caterdija<sup>1</sup> in Mitchella<sup>2</sup> opozarjajo na tvorbo dveh plasti žlindre. Zgornja plast žlindre je bogatejša na  $\text{CaF}_2$ , medtem ko so spodnje plasti bogatejše na  $\text{CaO}$  in  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Pri izlivanju tekoče žlindre v kokilo, ostane del žlindre iz spodnjih plasti v loncu kot skorja, kar vodi do povečanja vsebnosti  $\text{CaF}_2$  v žlindri.

#### 5. Mineraloške preiskave

Ugotavljanje mikrostrukture in mineralnih sestavin v  $\text{CaF}_2$ -žlindrah je zelo otežkočeno zaradi nepopolnih podatkov o optičnih in rentgenskih lastnostih mineralov, ki nastopajo v teh žlindrah. Zato se podani podatki nanašajo le na faze, ki jih je bilo mogoče z gotovostjo identificirati.

##### 5.1 Žlindre tipa $\text{CaF}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$

Zaradi velikih hitrosti hlajenja, žlindre nimajo razvite kristalne strukture. Pri vseh analiziranih žlindrah opazamo tri plasti:

a) zunanji rob, ki je ponavadi dokaj gost in je njegova debelina v povprečju le nekaj milimetrov,

b) vmesna plast med zunanjim robom in sredino bloka žlindre,

c) sredina bloka žlindre, ki je v večini primerov omejena s centralnim lunckerjem, v katerem so razviti drobni kristali.

Za analizo smo izbrali le dve žlindri Ž-12 in Ž-15. Bistvena razlika med njima je, da ima žlindra Ž-12 običajne vsebnosti  $\text{CaO}$  in  $\text{SiO}_2$ , med tem ko je žlindra Ž-15 vsebovala izredno malo  $\text{CaO}$ ; zato je njena bazičnost abnormalno nizka.

Na slikah 6 in 7 je pokazana mikrostruktura žlindrov v treh omenjenih plasteh bloka žlindre.

Karakteristično za žlindre tipa  $\text{CaF}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$  je močna heterogenost strukture. V skrajnem zunanem robu opazamo igličaste in stebraste kristale korunda (sl. 6, št. 1) in korunda ter  $\text{CaO} \cdot 6\text{Al}_2\text{O}_3$  (sl. 7 št. 7). Velikost kristalov se giblje med 10 in 350 mikronov, debeline 3 do 10 mikronov. Igle so žarkovito razporejene in zaradi hitrega ohlajanja »površno« zgrajene (skeletaste). Prostor med aluminati zapolnjujejo temnosiva ksenomorfnna zrna fluorita, ki merijo 10 do 50 mikronov.

V plasteh globlje proti notranjosti se struktura spreminja v korist  $\text{CaF}_2$ . Kristali korunda so vedno večji, toda njihova količina se zmanjšuje (glej sliko 6, št. 4 in 5). V notranjosti prevladujejo kristali fluorita ( $\text{CaF}_2$ ), ki merijo 50 do 150 mikronov.

Za razliko od žlindre Ž-12, opazamo pri žlindri Ž-15 z zelo nizko vsebnostjo  $\text{CaO}$  v notranjih plasteh močno naraščanje debeline korundnih kristalov, ki so tabličaste oblike in dokaj »površno« razviti. Njihova velikost se giblje med 70 in 500 mikronov (glej sliko 7, št. 9 in 11). Med kristali korunda opazamo le delno kristale  $\text{CaO} \cdot 6\text{Al}_2\text{O}_3$  in  $\text{CaF}_2$ .

Taka razdelitev mineralov govori, da pride pri ohlajevanju žlindre v talini do diferenciacije posameznih komponent.  $\text{CaO}$  se je skoncentriral na zunanem robu ob površini, medtem ko najdemo  $\text{Al}_2\text{O}_3$  v zunanosti in deloma tudi v osrednjem delu žlindre. Fluorit je nakopičen v glavnem v notranjosti.

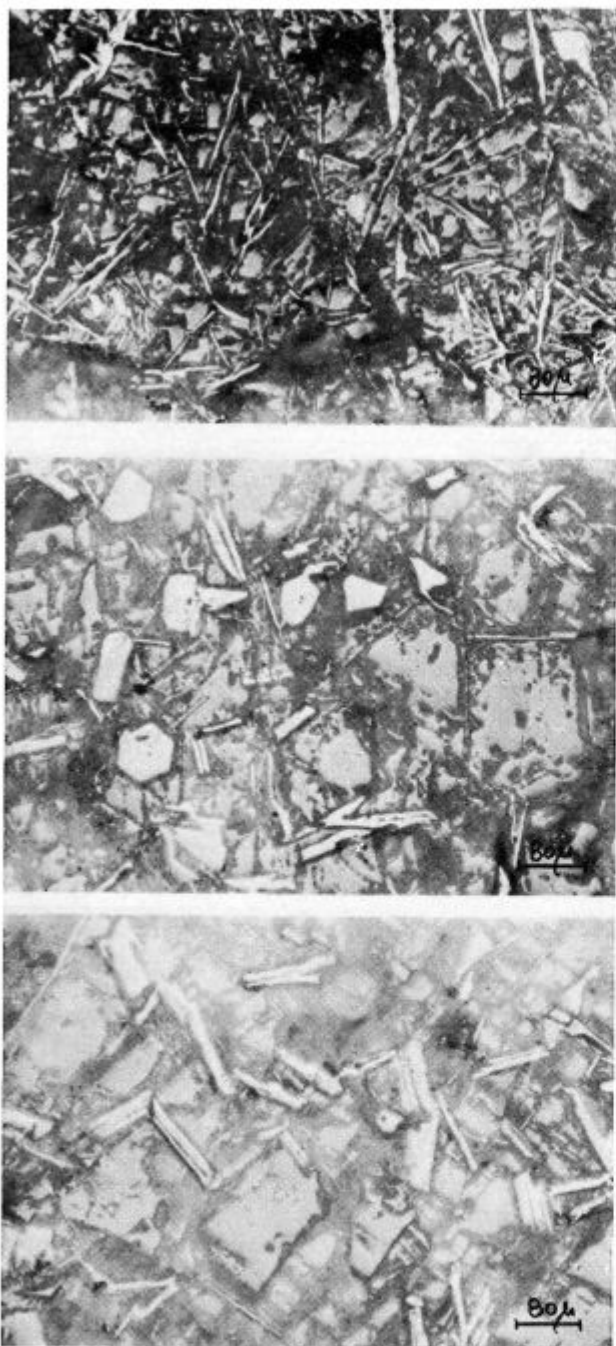
##### 5.2 Žlindre tipa $\text{CaF}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-CaO}$

Tudi pri tem tipu žlindrov opazamo plastovito heterogeno strukturo, ki je pogojena s kristalizacijo mineralnih sestavin.

V zunanem pasu opazamo skelete mineralov, ki so med seboj bolj ali manj paralelni (glej sliko 8, št. 12 — vzdolžna smer, št. 13 — prečna smer). Skeleti merijo do 700 mikronov, kažejo jasno anizotropijo, imajo srednje visoko dvolomnost in poševno potemnitev. Take kristalne oblike in optične lastnosti so značilne za kalcijev dialuminat ( $\text{CaO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3$ ).

Kristalni skeleti, ki kažejo razen omenjenih lastnosti tudi dvojčične lamele, pripadajo monokalcijevemu aluminatu ( $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ ).

Žlindra Z-12  
 $\text{CaF}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$



Slika 6

Mikrostruktura žlindre tipa  $\text{CaF}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$  v odbojni svetlobi

**FAZE:**

št. 1

Svetle igle —  $\text{CaO} \cdot 2 \text{Al}_2\text{O}_3$ , svetle ploščice —  $\text{CaO} \cdot 6 \text{Al}_2\text{O}_3$ , siva zrnca —  $\text{CaF}_2$ , črni skupki — ogljik in pore

št. 4

Svetla zrna korund in  $\text{CaO} \cdot 6 \text{Al}_2\text{O}_3$ , siva zrna — fluorit, črno — ogljik in pore

št. 5

Svetli stebrički korunda v debelo zrnatem fluoritu, črno — ogljik in pore

Zunanji rob žlindre št. 1
Vmes med zunanjim robom in sredino št. 4
V notranjosti žlindre št. 5

Kemična sestava	
Komponen.	ut. %
$\text{CaF}_2$	71,9
$\text{Al}_2\text{O}_3$	25,0
CaO	0,95
$\text{SiO}_2$	0,84
MgO	0,40
$\text{Fe}_{\text{tot}}$	0,20
S	0,1
C	0,34
P	0,003
%CaO/% $\text{SiO}_2$	1,13
$\Sigma$	99,65

Vmesne prostore med skeleti Ca-aluminatov zapolnjujejo kristali fluorita, ki merijo od nekaj mikronov do 70 mikronov.

V notranjosti bloka žlindre opazamo enake skelete Ca-aluminatov, le da so njihove stene znatno debelejše (glej sliko 7).

Iz opisanega sledi zaključek, da pri žlindrah tipa  $\text{CaF}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-CaO}$  (v slučaju analiziranih sestav) nastopa vedno diferencija sestavin. CaO in  $\text{Al}_2\text{O}_3$  se koncentrirata predvsem na obrobju, medtem ko v notranjosti popolnoma prevladuje  $\text{CaF}_2$ .

**6. Zaključki**

1. Med talenjem žlinder sistema  $\text{CaF}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-CaO}$  poteka vrsta kemičnih reakcij, ki vodijo do odstranjevanja  $\text{SiO}_2$ , žvepla in ogljika. Vsebnost železa, mangana in fosforja ostane praktično nespremenjena. Stopnja odstranjevanja  $\text{SiO}_2$ , C in S je odvisna od parcialnega pritiska kisika na površini tekoče žlindre.

Zunanji rob žindre št. 7
Vmes med zunanjim robom in sredino št. 9
V notranjosti žindre št. 11

Kemična sestavina	
Komponen.	ut. %
CaF <sub>2</sub>	76,4
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	22,1
CaO	0,08
SiO <sub>2</sub>	0,46
MgO	0,20
Fe <sub>tot</sub>	0,30
S	0,10
C	0,12
P	0,003
%CaO/% SiO <sub>2</sub>	0,17
Σ	99,68

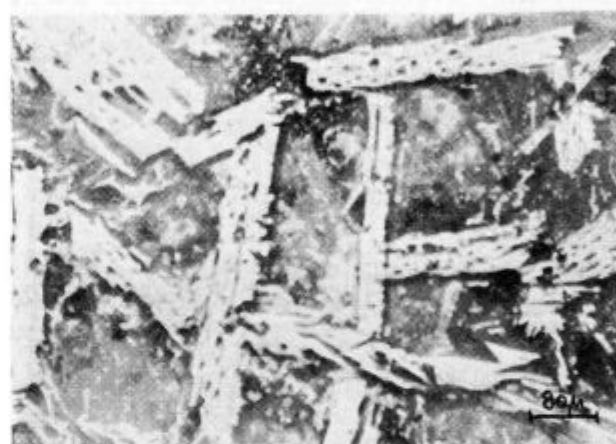
2. Obstojata funkcionalna odvisnost med vsebnostjo Ca in Al in F in O. Vsota (Ca + Al) = 50—51 % ostane praktično nespremenjena med celotnim postopkom talenja, neodvisno od razmerja CaF<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

3. Med ohlajevanjem žilinder sistema CaF<sub>2</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-CaO pride vedno do diferenciacije sestavin. CaO in Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> se koncentrirata predvsem v zunanjih plasteh, medtem ko v notranjosti prevladuje fluorit.

#### Literatura

- Zmodin, G. I., A. K. Caterdi: Osobnosti kristalizaciji šlakov sistemi Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-CaF<sub>2</sub>, Izv. AN SSSR, Metali, 6 (1971) 46—52
- Mitchell A., J. Cameron: The Electrical Conductivity of some liquids in the System CaF<sub>2</sub> + CaO + Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Metallurg. Transactions, Vol. 2, 12 (1971) 3361—3366

#### Žilindra Ž-15 CaF<sub>2</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>



Slika 7

Mikrostruktura žilindre tipa CaF<sub>2</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> v odbojni svetlobi

#### FAZE:

št. 7

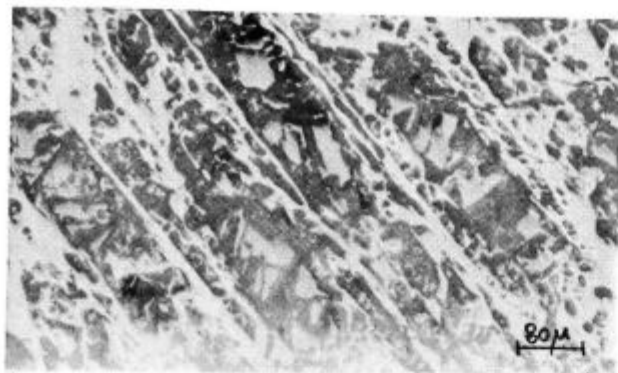
Igljasti in letvasti kristalni skeleti korunda, sivo — CaF<sub>2</sub>

št. 9

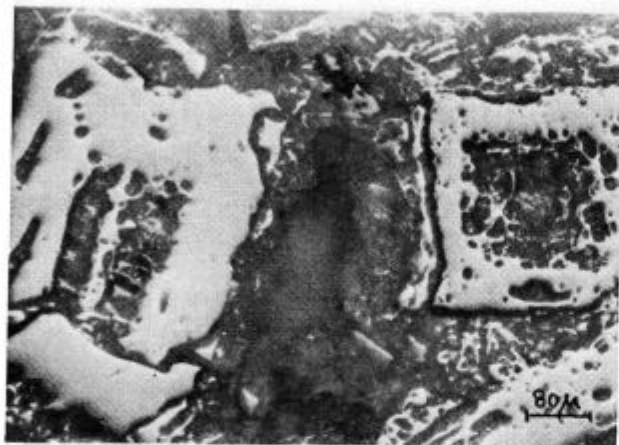
Svetli tabličasti kristalni skeleti korunda, sivo-drobno zrnat CaF<sub>2</sub>

št. 11

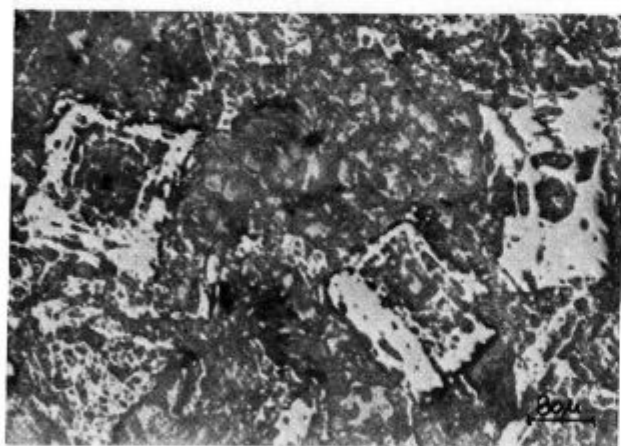
Tabličasti kristali korunda, sivo-debelo zrnat CaF<sub>2</sub>



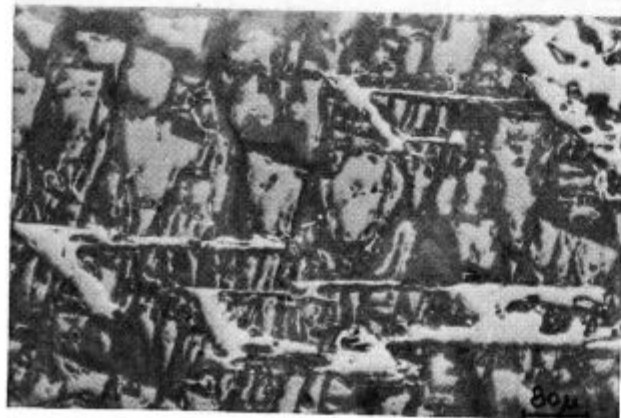
2-17
Zunanji rob žlindre št. 12
Notranji del žlindre št. 13



2-20
Zunanji rob žlindre št. 14
Notranji del žlindre št. 15



Kemična sestava		
Komponen.	2-17 ut. %	2-20 ut. %
$\text{CaF}_2$	73,8	74,4
$\text{Al}_2\text{O}_3$	18,8	18,0
$\text{CaO}$	5,86	6,28
$\text{SiO}_2$	0,70	0,64
$\text{MgO}$	0,20	0,60
$\text{Fe}_{\text{tot}}$	0,16	0,20
S	0,10	0,20
C	0,19	0,14
P	0,003	0,003
%CaO/%SiO <sub>2</sub>	8,4	9,8
$\Sigma$	99,81	100,46



Slika 8  
Mikrostruktura žlindre tipa  $\text{CaF}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-CaO}$  v odbojni svetlobi

**FAZE:**

št. 12 in 13

Skeletni kristali Ca-aluminatov sivo-debelozrnat  $\text{CaF}_2$

št. 14

Skeleti  $\text{CaO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3$ , sivo-zrna  $\text{CaF}_2$

št. 15

Svetlo-klinasti skeleti  $\text{CaO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3$ , sivo-zrna  $\text{CaF}_2$



## ZUSAMMENFASSUNG

Beim Elektroschlackenschmelzverfahren (ESU-Verfahren) spielt die Schlacke eine entscheidende Rolle. Es ist vor allem wichtig, die physikalischen Eigenschaften wie elektrische Leitfähigkeit, Viskosität, Oberflächenspannung, die Schmelztemperatur und Schmelzintervall zu kennen, weil diese in grossem Umfang von der chemischen und strukturellen Zusammensetzung der Schlacken abhängig sind.

Während des Schmelzens der Schlacken des Systemes  $\text{CaF}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-CaO}$  verläuft eine Reihe der physikalischen und chemischen Reaktionen, welche zu der Änderung der Schlackenzusammensetzung führen. Es handelt sich vor allem um die Entfernung des  $\text{SiO}_2$ , 40—60 %, des Schwefels 40—80 %, und des Kohlenstoffs bis zu 80 %, was von der Art der Prozessführung abhängig ist. Dabei spielt eine

besonders wichtige Rolle der Partialdruck des Sauerstoffes in der Gassphase.

Es besteht eine funktionelle Abhängigkeit zwischen dem Ca und Al sowie F und O Gehalt. Die Summe  $(\text{Ca} + \text{Al}) = 50\text{—}51\%$  bleibt während des Schmelzens praktisch unverändert und unabhängig von dem Verhältnis  $\text{CaF}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  in der Schlacke. Die Kenntnis dieser Verhältnisse ist sehr wichtig, da es auf Grund des minimalen Analysenprogrammes möglich ist die chemische Zusammensetzung der Schlacken im geschmolzenen Zustand vorzusetzen.

Beim Übergang vom flüssigen in den festen Zustand der Schlacken des Systemes  $\text{CaF}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-CaO}$  kommt es immer zu der Differenzierung der Bestandteile. CaO und  $\text{Al}_2\text{O}_3$  konzentrieren sich vor allem in den äusseren Schichten während der  $\text{CaF}_2$  überwiegend im Inneren herrscht.

## SUMMARY

In the electro-slag remelting process (ESR) slag has important role. Knowledge of physical properties as: electrical conductivity, viscosity, surface tension, melting point and melting point interval is of great importance. These properties are mainly influenced by chemical composition and by the structure of slags.

During the melting of slags of the system  $\text{CaF}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-CaO}$  a number of physical and chemical reactions take place, and all of them change the slag composition. Mainly 40 to 60 % removal of  $\text{SiO}_2$ , 40 to 80 % removal of sulphur, and removal of carbon up to 80 % is ment by this which depends on the control of the melting process. Oxygen

partial pressure in the gas phase has the most important role here.

Functional relationship exists between the Ca in Al content, and between the F and O content. The sum  $\text{Ca} + \text{Al} = 50\text{—}51\%$  remains practically unchanged during the melting independently on the ratio  $\text{CaF}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  in the slag. Knowledge of these relationships is very important as chemical composition of slags in the remelted state can be predicted on base of the minimal analytical program.

In solidification of slags of the system  $\text{CaF}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-CaO}$  components always segregate. CaO and  $\text{Al}_2\text{O}_3$  are concentrated mainly in outer layers while fluorite is inside.

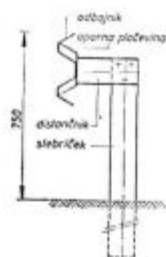
## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Решающее значение электро-переплавки металлов под шлаком имеет состав и физические характеристики шлака. Между физическими особенностями шлака имеют особенное влияние: электропроводность, вязкость, поверхностное натяжение, температура и температурный интервал плавки и пр. На эти свойства на первом месте влияет химический состав шлака а также его структура.

В время плавки в шлаке системы  $\text{CaF}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-CaO}$  происходит целый ряд химических и физических реакций при которых наступает изменения состава шлака. В первую очередь наступает устранение  $\text{SiO}_2$  в количестве 40—80 %, серы в количестве 40—60 % и углерода до 80 %, что зависит от режима при процесси плавки. Особенное влияние на режим такого процесса имеет частичное давление кислорода в газообразной фазе.

Существует функциональная зависимость между содержанием Ca и Al и F и O. Сумма  $(\text{Ca} + \text{Al}) = 50\text{—}51\%$  остается во время плавки практически неизменна независимо од отношения  $\text{CaF}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  в шлаке. Ознакомление с этими отношениями очень важно, так как оно позволяет на основании минимального аналитического программа заключить о химическом составе шлака в расплавленном состоянии.

При переходе из жидкого в твердое состояние в шлаках системы  $\text{CaF}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-CaO}$  происходит всегда до перемены в составе. CaO и  $\text{Al}_2\text{O}_3$  сосредоточиваются в внешних пластях, между тем как в внутренних частях шлака преобладает флюорит.



### Enojna odbojna ograja

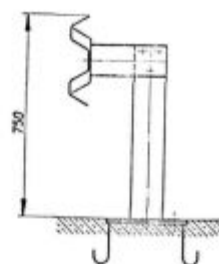
Stebrički iz HOP

»C« 25 × 250 × 120 × 4, dolžina 1500 mm

»U« 60 × 120 × 4 dolžine 260 mm

Odbojnik iz HOP: 4200 × 3800 × 3 mm

Teža cca 15 kg/m.

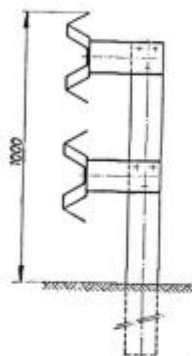


### Enojna ograja na mostu

Stebriček ima privarjeno podložno ploščo, ki se privije na zabetonirano siderno ploščo.

Razmak stebričkov na 2 m.

Teža: cca 20 kg/m brez siderne plošče.



### Dvojna odbojna ograja

Stebriček dolžine 2000 mm.

Razmah stebričkov 4 m.

Vsi vijaki so pocinkani.

Ves material ograje Č 0361.

Teža cca 29 kg/m

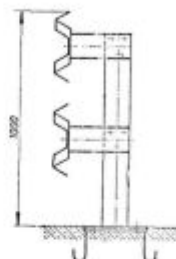
### Izvedba vseh vrst ograj

a) dvojni oplesk na bazi epoksidne smole s 5 letno garancijo

### Dobava:

a) brez montaže

b) z montažo na terenu



### Dvojna ograja na mostu

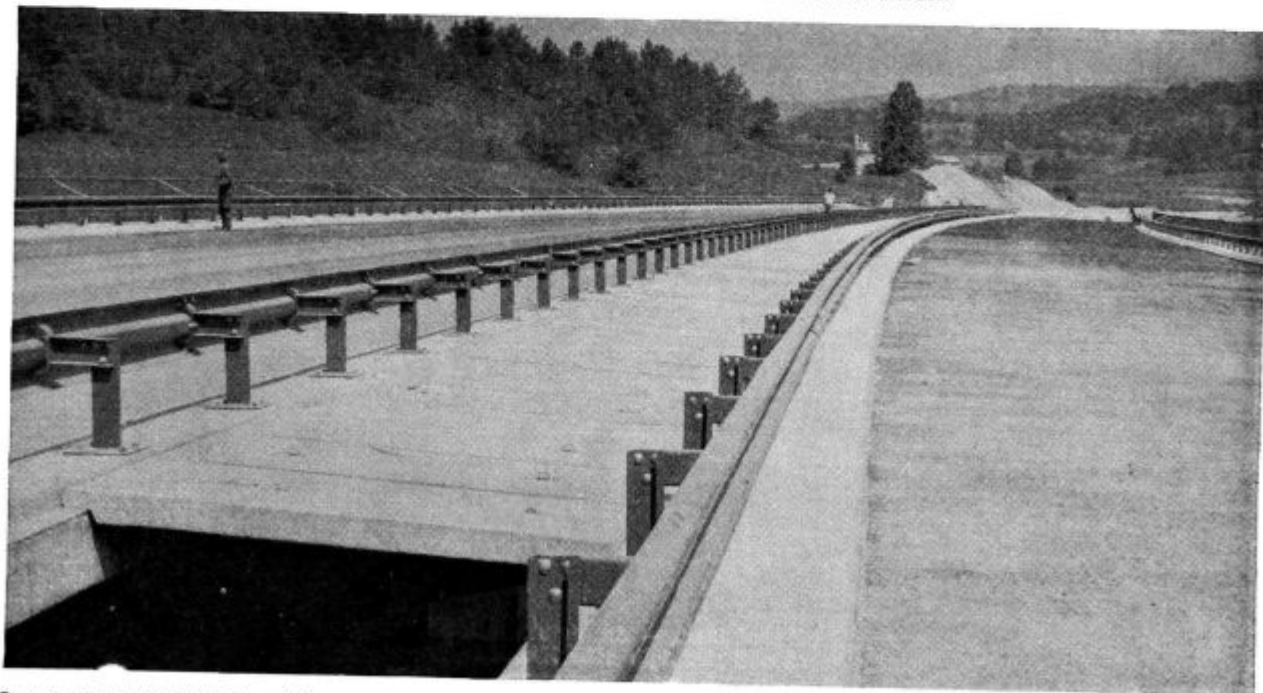
Teža cca 31,5 kg/m brez siderne plošče.

### Prednosti ograj z distančniki:

- možnost hitre zamenjave poškodovanih delov
- deluje na varilo kot zavora ob strani in kolo ne more udariti ob stebriček
- elastičnost
- možnost horizontalne in vertikalne korekture linije pri montaži

### Zaključnice:

- a) za zaključek ograje, na cestah, ki niso namenjene hitremu prometu: zaključnica ima 4 m odbojnik in 3 stebričke. Zadnji del zakopan 200 mm v teren.
- b) za zaključek ograje na hitrih cestah: dolga je 16 m, stebrički so zabiti v tla na vsaka 2 m. Vkopana v tla.
- c) takšna zaključnica cestne ograje je predvidena na uvoznih in izvoznih delih hitrih cest. Izdelano iz standardnih delov z različnimi radiusi.



Cestni odbojniki Izdelek profilarne v železarni Jesenice