

Uporabnost metalurških žlinder v gradbeništvu

Application of Metallurgical Slags to Civil Engineering

Mladenovič A.¹, N. Vižintin, ZRMK Ljubljana

Pregled preiskav metalurških žlinder, ki jih je Zavod za raziskavo materiala in konstrukcij Ljubljana v sodelovanju z železarnami opravil v zadnjih dvajsetih letih. Namen preiskav je bil definirati uporabnost žlinder v gradbeništvu in odkriti morebitne pasti, ki jih takšna uporaba lahko prinaša. Pričakujemo, da bomo z nadaljnjimi sistematskimi analizami trdnih metalurških odpadkov in ob nadzorovani uporabi, uspešno nadomestili del naravnih surovin in zmanjšali ekološke probleme, ki se pojavljajo na deponijah.

Ključne besede: žlindre, sekundarne surovine, odpadki, lastnosti, uporabnost v gradbeništvu

This work shows the investigations of slags during last twenty years for the purpose of potential use in civil engineering. It is expected that solid metallurgical wastes will substitute for a part of natural raw materials successfully and reduce environmental problems arising in connection with disposal sites, under condition they will be systematically analysed and carefully controlled.

Key words: slags, scrap, wastes, properties, application to civil engineering

1.0 Uvod

Obsežne deponije odpadnih produktov ob metalurških centrih in njihov nenadzorovan in običajno neznan vpliv na okolje so postale problem že pred časom. Obenem ugotavljamo, da so viri kvalitetnih naravnih surovin, primernih za uporabo v gradbeništvu, vse bolj omejeni in vse dražji. Spremljali smo tudi obetajoče poizkuse v nekaterih razvitih državah, da bi odkrili možnost uporabe umetnih odpadnih produktov, zlasti žlinder, na različnih področjih v gradbeništvu. Kot povzetek omenjenih trendov je Zavod za raziskavo materiala in konstrukcij Ljubljana v sodelovanju z železarnami v zadnjih dvajsetih letih preiskal večino naših žlinder po metodah, ki so s stališča uporabe v gradbeništvu uveljavljene v svetu (beton, asfalt, tampon).

2.0 Preiskave žlinder

2.1 Vrste žlinder

Preiskovali smo žlindre, ki nastajajo pri proizvodnji jekla in pri proizvodnji ferokroma. Pri proizvodnji jekla se je s postopkom pridobivanja (Siemens-Martinov, elektro) in z zahtevo po kakovosti jekla nekoliko spreminjala tudi sestava žlinder. Tako smo zasledili različne tipe jeklarskih žlinder ter variacije v sestavi in lastnostih znotraj teh tipov. Pri proizvodnji ferokroma nastajata, glede na postopek pridobivanja, žlindri carbure in suraffine.

2.2 Lastnosti žlinder

Pogoji nastanka žlindre nas nekoliko spominjajo na nastajanje eruptivnih magmatskih kamnin, ki v gradbeništvu veljajo za najkvalitetnejši surovinski material za predelavo v agregat.

Struktura žlinder, kot rezultat počasnega ohlajanja na deponiji, je pogosto identična porfirski strukturi eruptivnih kamnin. Določene sorodnosti najdemo tudi s primerjavo kemijske in mineralne sestave.

Žlindre so večinoma trde, trdne, zelo žilave in dobro kristalizirane. Manjši del žlinder nastaja v obliki prahu. Slaba lastnost žlinder, ki onemogoča neomejeno in brezskrbno uporabo v gradbeništvu, pa je vsebnost nestabilnih komponent, ki so v minimalni količini prisotne skoraj v vsakem tipu žlindre.

Uporabnost posameznih vrst žlinder smo opredelili na podlagi kemijske in mineraloške analize, mehanske fizikalnih lastnosti, vsebnosti radionuklidov in izluževanja v vodi.

2.1 Kemijska analiza žlinder

Kemijska analiza kaže na bazičen značaj jeklarskih žlinder in žlindre ferokrom suraffine, s kalcijevim oksidom kot prevladujočo komponento. Žlindra ferokrom carbure je kislja, prevladujeta aluminijev in magnezijev oksid.

2.2.2 Mineraloška analiza žlinder

Mineralna sestava, kot funkcija kemijske sestave, je pri posameznih vrstah žlinder razmeroma stalna. Razlikujejo se le po količinski zastopanosti mineralov. Pri trdnih jeklarskih žlin-

¹ Ana Mladenovič, dipl. inž. geol.
ZRMK - Zavod za gradbeništvo
Dimičeva 12, 61000 Ljubljana

drah prevladujejo dikalcijev silikat (Ca_2SiO_3), dikalcijev ferit ($\text{Ca}_2\text{Fe}_2\text{O}_7$), monticellit (CaMgSiO_3), merwinit ($\text{Ca}_2\text{MgSi}_2\text{O}_7$), gelenit ($\text{Ca}_2\text{Al}_2\text{SiO}_7$) in wüstit (FeO). Uprašene jeklarske žlindre so iz shanonita ($\gamma\text{Ca}_2\text{SiO}_3$), mayonita ($\text{Ca}_2\text{Al}_2\text{O}_7$) in periklaza (MgO).

V ferokromovih žlindrah so glavni minerali forsterit (Mg_2SiO_4), spinel (MgAl_2O_4), wolastonit (BCaSiO_3) in enstatit (MgSiO_3).

Tabela 1:

Lastnosti	Enota	Jeckarska žindra		Ferokrom žindra		Kamnina	
		Trdna	Uprašena	Carbure	Suraffine	Andezit	Diabaz
Prostorninska masa brez por in votlin	kg/m^3	3170-3600	-	3186	-	2873	2943
Prostor.masa	kg/m^3	-	-	3084	-	2847	2883
Vprijanje vode	%	0,3-0,8	-	0,26	-	0,58	0,50
Odpornost na zmrzovanje (25 ciklov)	%	0,5-1,0	-	0,0	-	0,0	0,0
Tlačna trdnost	Mpa	210-308	-	332	-	182	172
Obraba pri brušenju	$\text{cm}^3/50\text{cm}^2$	9,5-15	-	9,8	-	9,7	9,9

2.2.4 Vsebnost radionuklidov

Rezultati so prikazani v tabeli 2

Tabela 2:

Vrsta žindre	Vsebnost radionuklidov (Bq/kg)			
	Ra 226	Th 232	K 40	Skupaj
Jeckarska žindra-uprašena	22	10	20	52
Ferokromova žindra				
- carbure	40	50	50	140
- suraffine	28	48	100	176
Opečni zidak	50	50	500	600
Max. dopustna meja za gradbeni material za visoke gradnje	400	300	5000	4000

Primerjava žlindre z običajnimi gradbenimi elementi (opečni zidak) ter z največjimi dopustnimi vrednostmi za gradbene materiale za visoke gradnje pokaže, da je radioaktivnost žlindre daleč pod dovoljeno mejo in da je celo nižja kot pri opečnih zidakih.

2.2.5 Izluževanje v vodi

Preiskani so bili migrati težkih kovin v vodnih izlužkih. Pri večini žlindre so ti v območju dovoljenih vrednosti. Previdnost je potrebna pri žlindri ferokrom suraffine tako pri uporabi, kakor tudi pri odlaganju na deponijo. Omenjena žindra ima prevelike vsebnosti kroma in previsok pH izlužek. Zato bi bilo potrebno zagotoviti tesneno deponijo in zbiranje odpadnih voda.

3.0 Možnost uporabe žlindre v gradbeništvu in dosedanje izkušnje

Primerjava lastnosti žlindre s kakovostnimi kriteriji, ki veljajo v gradbeništvu za naravne materiale pokaže:

- mehansko fizikalne lastnosti trdnih žlindre so primerljive in včasih celo boljše kot pri naravnih eruptivnih kamninah,
- metastabilne komponente so prisotne skoraj vedno v različnih količinah, kar zahteva poostreno kontrolo, v nekaterih primerih pa je uporaba celo omejena.

Rezultat opisanih, nekoliko nasprotujočih dejavnikov je, da na današnji stopnji preiskavanosti, trdne jeckarske žlindre in ferokromovo žlindro carbure lahko klasificiramo kot ustrezen surovinski material za pripravo agregata za bitumenizirane plasti voziščnih konstrukcij za vse vrste prometnih obremenitev.

Žindra carbure je preiskana in primerna tudi za predelavo v agregat za obrabne asfaltne plasti, kar v praksi dokazujejo poskusna polja.

Vsebnost metastabilnih komponent (BC_2S , prosto apno, periklaz), ki so s svojimi reakcijami lahko vzrok za volumske spremembe v gradbenem telesu, je močno spremenljiva.

2.2.3 Mehansko fizikalne lastnosti žlindre

V tabeli 1 so zbrani rezultati za žlindre, ki so najprimernejše za predelavo v agregate za potrebe gradbeništvu v primerjavi z naravnimi eruptivnimi kamninami.

Podobne podatke objavljajo tudi v svetu, saj je znano, da npr. na Japonskem jeckarsko žlindro za te namene uporabljajo že od leta 1973. Velja mnenje, da je morebitnim nestabilnim mineralom transformacija preprečena z bitumenizacijo v postopku priprave asfaltne zmesi.

Uporaba v nevezanih plasteh (tampon, nasip) je omejena na žlindre z malo ali brez metastabilnih komponent. Izbiranje takšne žlindre zahteva večji obseg preiskav. Učinkovita in cenovna metoda, s katero bi stabilizirali žlindro še pred uporabo, zaenkrat še ni znana.

Opravljeni so bile tudi preiskave nekaterih vrst žlindre glede uporabnosti za betonski agregat. Žindra ferokrom carbure ustreza za pripravo vseh vrst betonskih mešanic. Jeckarske žlindre niso bile preiskane v takšnem obsegu, da bi lahko nedvoumno opredelili uporabnost za beton.

Preiskave glede uporabnosti bazičnih žlindre kot dodatek pri proizvodnji cementa in nekatera druga področja uporabe so šele na začetku.

4.0 Primeri obnašanja vgrajene žlindre

Siemens Martinove in elektro jeckarske žlindre so med leti 1970 in 1990 veliko uporabljala nekatera gradbena podjetja kot nasipni in tamponski material. Nizka cena in odlična možnost komprimacije sta bila pomembna kriterija, ki sta vzpodbujala uporabo omenjenih žlindre. Konec devetdesetih let so nadaljno uporabo ustavila poročila o poškodbah na objektih, pod katere je



Slika 1: Zrno žlindre razpokano zaradi povečanja volumna zm dikalcijevega silikata pri prehodu iz β v γ obliko
Figure 1: Cracked grain of slag caused by volume increase of dicalcium silicate grains between transformation from β into γ modification

bila vgrajena žindra. Poškodbe so se pojavile predvsem na pritličnih objektih, pod katerimi so bila naravna slabša tla odstranjena in nadomeščena z žindro, ali pa je bila žindra vgrajena med pasovne temelje, oziroma temeljne zidove. Nabrekanje žindre je povzročilo razpoke na stenah, razpiranje stikov med tlakom in stenami ter deformacije na tlakih. Na **sliki 1** prikazujemo zrno žindre, razpokano zaradi povečanja volumna zrn dikalcijevega silikata pri prehodu iz β v γ obliko, na **sliki 2** pa detajle na poškodovanem objektu.



Slika 2: Detajl na poškodovanem objektu
Figure 2: Detail on damaged construction

5.0 Sklepi

Glede na opravljene raziskave žlinder menimo, da ta material lahko uporabljamo v gradbeništvu ob ustrezni kontroli kvalitete, s posebnim poudarkom na metastabilnih komponentah, ki kasneje lahko povzročijo poškodbe na objektih. Uporaba

žlindre kot kvalitetne surovine je pogojena tudi s selektivnim odlaganjem na urejenih, dostopnih deponijah. Obseg kontrolnih preiskav in večja skrb železarn pri deponiranju običajno pomeni višjo ceno žindre v primeri z naravnimi materiali.

Gledano dolgoročno, s stališča ekologije in ohranjanja naravnih surovin, bi bilo smotno narediti vse, da zmanjšamo deponije ob metalurških centrih.

6.0 Literatura

- ¹ A. Grimšičar: Preiskave in uporaba jeseniške žindre v gradbeništvu, Informacije Zavoda za raziskavo materiala in konstrukcij Ljubljana št. 221, 222, 223 in 224, *priloga Gradbenega vestnika*, Ljubljana 1980
- ² V. Očepek: Poročilo o osnovnih preiskavah jeklarske elektrožindre Železarne Ravne za uporabnost v gradbeništvu, Zavod za raziskavo materiala in konstrukcij Ljubljana, 1983
- ³ V. Očepek: Orientacijske preiskave vzorca jeklarske žindre iz elektroobločnih peči Železarne Štore z ozirom na uporabnost v gradbeništvu, Zavod za raziskavo materiala in konstrukcij Ljubljana, Ljubljana 1983
- ⁴ M. Zajc Pogorelnik: Uporaba žindre iz elektroobločnih peči kot agregat za betone, diplomsko delo, Univerza v Mariboru, Tehniška fakulteta, Maribor 1987
- ⁵ B. Zatler Zupančič, V. Očepek, I. Tomše, D. Dimic: Poročilo o raziskavi žindre, ki nastane pri karbotermični proizvodnji ferokroma - ocena uporabnosti za agregate, Zavod za raziskavo materiala in konstrukcij Ljubljana, Ljubljana 1988
- ⁶ B. Zatler Zupančič, A. Mladenovič: Sekundarne surovine - možnost uporabe metalurških žlinder v gradbeništvu, Zavod za raziskavo materiala in konstrukcij Ljubljana, Ljubljana 1989
- ⁷ N. Vižintin s sodelavci: Žindra FeCr carbure - agregat v gradbeništvu za proizvodnjo betona in asfalta, Raziskovalna naloga MZT, Ljubljana, 1994
- ⁸ Pravilnik o največjih mejah radioaktivne kontaminacije človekovega okolja in o dekontaminaciji (*Uradni list SFRJ št. 8/1987 in št. 27/1990*)