

# STABILIZACIJA ŽIDKIH INDUSTRIJSKIH MULJEV Z UPORABO EF PEPELA STABILIZATION OF INDUSTRIAL SLUDGE WITH FLY ASH

ANA PETKOVŠEK, dipl.ing.geol., ZRMK-Inštitut za geotehniko in ceste

**POVZETEK:** Opisana sta dva primera stabilizacije židkih industrijskih muljev. V prvem primeru je opisana stabilizacija židkega mulja v opuščeni deponiji blizu Ljubljane. Prikazane so predhodne raziskave, potek stabilizacije na terenu in rezultati preiskav po zaključku del.

V drugem primeru so prikazani rezultati predhodnih preiskav odpadnih produktov, ki bodo nastajali v TE Šoštanj po namestitvi odžvepljevalnih naprav, ter rezultati laboratorijskih preiskav stabilizacije teh produktov za potrebe načrtovanja transporta in končnega odlaganja na suhi deponiji.

**SUMMARY:** In the paper two examples of industrial mineral sludge stabilization using fly ash are described. The first example concerns the stabilization of industrial sludge at an abandoned lagoon near Ljubljana. The preliminary investigations and ideas for sludge stabilization are given, as well as the results of past stabilization measurements, which proved the efficiency of the chosen stabilization method.

The second example describes the results of preliminary investigations into the sludge products soon to be expected due to the Šoštanj power-station desulphurization project. These included laboratory tests of the stabilization of these products using fly-ash, as needed for planning their transport and final disposal.

## UVOD

Med posebnimi odpadki, ki se odlagajo v Sloveniji, zavzemajo posebno mesto židki industrijski mulji. Zaradi drobne in praviloma uniformne zrnastostne sestave se slabo zgoščajo in zadržijo velike količine vode in židko konsistenco tudi po dolgotrajnem deponiranju; koristni volumni deponij pa so slabo izkoriščeni.

Skladno z okoljevarstvenimi trendi in nastajajočo zakonodajo pričakujemo, da deponiranje židkih muljev v Sloveniji v prihodnje ne bo več možno. Iskanje optimalnih sistemov za stabiliziranje svežih muljev na eni in postopkov za sanacijo in ponovno ožvitev obstoječih mokrih deponijskih površin na drugi strani je izziv za različne stroke - tudi geotehnično.

V članku sta opisana dva primera stabilizacije židkih muljev, povsem različnega izvora, ki jima je skupno to, da je reagent, uporabljen za stabilizacijo, elektrofilterski pepel. Prvi primer opisuje sanacijo opuščene deponije tinkalovega mulja, od faze predhodnih preiskav, spremljave poteka stabilizacije, do preiskav po zaključku sanacije. V drugem primeru pa so predstavljeni rezultati predhodnih preiskav stabilizacije mulja, ki v Sloveniji trenutno še ne nastaja, bo pa nastajal v velikih količinah po namestitvi odžvepljevalnih naprav v TE Šoštanj.

## SANACIJA OPUŠČENE DEPONIJE ŽIDKEGA MULJA

### Opis deponije

Pri pridobivanju natrijevega perborata iz tinkalove rude nastaja jalovina v obliki drobnozrnatega, tekočega mulja. Do l. 1985 se je mulj deponiral v opuščeno gramozno jamo na vzhodnem robu ljubljanskega polja. Poskusi utrjevanja mokrih površin z gradbenimi odpadki niso bili uspešni; gladina mulja v nezasutem delu se je naglo dvigala.

Raziskave, ki jih je opravil ZRMK Ljubljana so pokazale, da je globina jame - deponije 5,00 - 6,00 m. Ugotovljeno je bilo, da sta v jami odloženi dve vrsti židkega mulja. Pri dnu jame je plast mulja neznanega izvora, najverjetneje karbidno apno, zgornji del jame pa je zalit s tinkalovim muljem.

V letu 1986 je bila gladina mulja v pasu, oddaljenem 4,00 - 5,00 m od magistralne ceste Ljubljana - Litija le 0,60 m pod koto vozišča, mokre površine pa so pokrivala cca 6000 m<sup>2</sup>.

Zaradi nevarnosti preplavitve ceste ob nadaljevanju neustreznega zasipavanja in splošne nevarnosti "živega blata" za okolico, je bilo potrebno pristopiti k strokovni sanaciji - stabilizaciji mokrih površin.

Kakovost površin po sanaciji je bila določena z zahtevo občinskega organa, da so površine pohodne za ljudi in kmetijske stroje, ter primerne za pasivno kmetijsko uporabo.

## KEMIJSKE IN FIZIKALNE LASTNOSTI

Kemijska analiza mulja je podana v preglednici 1.

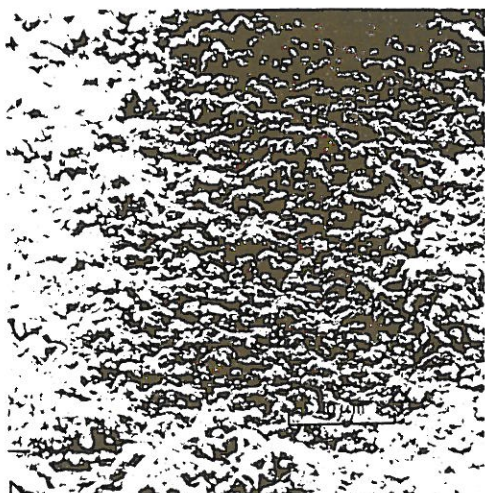
### Preglednica 1: Kemijska analiza mulja

Glavne komponente (% s.s.) Sledni elementi (mg/kg s.s.)

SiO <sub>2</sub>	17.88	Zn	60
R <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.46	Pb	110
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.88	Ba	200
B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4.11	As	22.7
CaO	18.77	Hg	11.5
MgO	17.32	Cu	2.6
Na <sub>2</sub> O	3.50	Cd	1
K <sub>2</sub> O	0.31		
CO <sub>2</sub>	26.51		

Mulj je mešanica kalcijevih in magnezijevih silikatov in karbonatov s sledovi natrijevega borata in težkih kovin. Z ekološkega vidika je v mulju kritična vsebnost bora (B) in alkalnost (pH = 10). Izlužljivost bora je zelo visoka (po DIN 38414 400 mg/l) in nekajkrat presega dovoljeno vrednost.

V trdni fazi blata so zastopani trije glavni minerali, dolomit, kalcit in uleksit v obliki kriptokristalne mase, brez jasno določljivih kristalnih oblik (slika 1).



Slika 1: Elektronsko mikroskopski posnetek mulja

Fizikalne lastnosti mulja so podane v preglednici 2.

Preglednica 2: Fizikalne lastnosti mulja

Parameter	Vrednost
<b>PROIZVEDENI MULJ</b>	
vlažnost	300 - 320 %
prostorninska masa	1.17 g/cm <sup>3</sup>
<b>USEDLINA</b>	
vlažnost	208 - 216 %
prostorninska masa	1.22 - 1.23 g/cm <sup>3</sup>
<b>USEDLINA PO FILTRIRANJU</b>	
vlažnost	153 - 170 %
prostorninska masa	1.24 - 1.25 g/cm <sup>3</sup>
prostorninska masa suha	≈ 0.48 g/cm <sup>3</sup>
specifična masa trdnih zrn	2.59 g/cm <sup>3</sup>
meja židkosti	84.5 - 134.0 %
meja plastičnosti	21.0 - 52.0 %
indeks plastičnosti	77.0 - 96.0 %
indeks konsistence	< 0
koefficient vodopropustnosti	10 <sup>-8</sup> cm/s
kohezija (T <sub>vane</sub> )	< 2 kN/m <sup>2</sup>
koefficient por	3.26

#### IZBOR STABILIZACIJSKEGA SREDSTVA

Večina tehnik, ki se uporabljajo za stabilizacijo židkih muljev in imobilizacijo kovin v odpadkih temelji na uporabi cementa, apna, elektrofilterskega (EF) pepela, gipsov in vodnega stekla. Po presoji učinkov apna, cementa in EF pepelov, smo se odločili za uporabo EF pepela iz TE - TO Ljubljana. EF pepel je tudi sam odpadni produkt, je poceni in na voljo v neomejenih količinah, predvsem pa je lahek in ima veliko sposobnost vpijanja vode. Uporabo EF pepela je odobril ustrezen organ.

Vrednosti optimalne vlage pepelov so se v letu 1986 gibale med 30 - 40 %, suhe gostote pa med 1000 - 1100 kg/m<sup>3</sup>. Pri vlagah pod 20 % so bili pepeli za mehansko vgradnjo presuhi, pri vlagah nad 50 - 55 % pa premokri in so se obnašali podobno kot tekoči peski. Specifična površina pepelov je bila okrog 2880 cm<sup>2</sup>/g.

Ob poznavanju navedenih lastnosti so bile pripravljene laboratorijske stabilizacijske zmesi, ki so pokazale (preglednica 3), da so zmesi mulja in EF pepela, v katerih je delež pepela večji od 45 %, stabilne in mehansko dobro vgradljive.

Preglednica 3 : Lastnosti laboratorijsko pripravljenih zmesi mulja

MULJ / EF PEPE	VLAŽNOST	PROSTORINSKA MASA *		KOHEZIJA 3 DNI	OPOMBA
		W <sub>0</sub>	SUHA		
		%	g/cm <sup>3</sup>		
1 : 0.5	69	*			VGRADNJA NI MOŽNA
1 : 0.8	48	1.49	1.00	48	VGRADNJA MOŽNA, IZLOČANJE VODE
1 : 1	44	1.49	1.03	80 - 100	DOBRA VGRADNJA
1 : 1.5	37	1.49	1.08	> 150	ZELO DOBRA VGRADNJA
1 : 2	29	1.41	1.10	> 150	ZELO DOBRA VGRADNJA

\* ASTM D 698

Posebej pomembne so bile ugotovitve, da so razmerja volumnov stabilizirane zmesi glede na volumne vhodnih komponent izjemno ugodna, prostorninske teže stabilizacijske zmesi pa nizke, podobne težam židkega mulja.

#### TEHNOLOŠKA ZASNOVA STABILIZACIJE

Po projektu je zaključna plast deponije po sanaciji zgrajena iz 0,30 m debelega humusnega pokrova in iz gramoznega zasipa. Končna debelina gramoznega zasipa pod humusom je odvisna od gladine mulja v jami in končnih nagibov površin po sanaciji in je od min. 0,40 m do 1,30 m. Židke površine v jami je potrebno pred izvedbo končnega zasipa stabilizirati.

Za stabilizacijo muljev so z ozirom na zasnovno mešanja znani trije osnovni postopki: "mix in place", "mix in plant" in "area mixing". Vsak od teh postopkov bi zahteval velika investicijska vlaganja v opremo in zagotovitev dodatnih svežih površin za začasno deponiranje zmesi.

Odločili smo se za tehnologijo postopne sanacije v dveh stopnjah. V prvi stopnji mulj stabiliziramo z EF pepelom tako, da bodo stabilizirane površine sposobne prevzeti obremenitev končnega zasipa, v drugi stopnji pa na stabilizirane površine izvedemo gramozni in humusni pokrov. Okvirni izračuni, ki so temeljili na rezultatih predhodnih preiskav, so pokazali, da bo za prvo fazo stabilizacije potrebnih okvirno 6000 - 6500 m<sup>3</sup> svežega, suhega EF pepela. Pomembno je, da sta postopka dobave svežih pepelov na jamo in vmešavanja EF pepela v mulj harmonizirana. EF pepeli, ki se v toplarni vlažijo zaradi protiprašne zaščite ali pepeli, ki bi se navlažili ali celo razmočili na začasni deponiji pred vgradnjo, predstavljajo jalove mase.

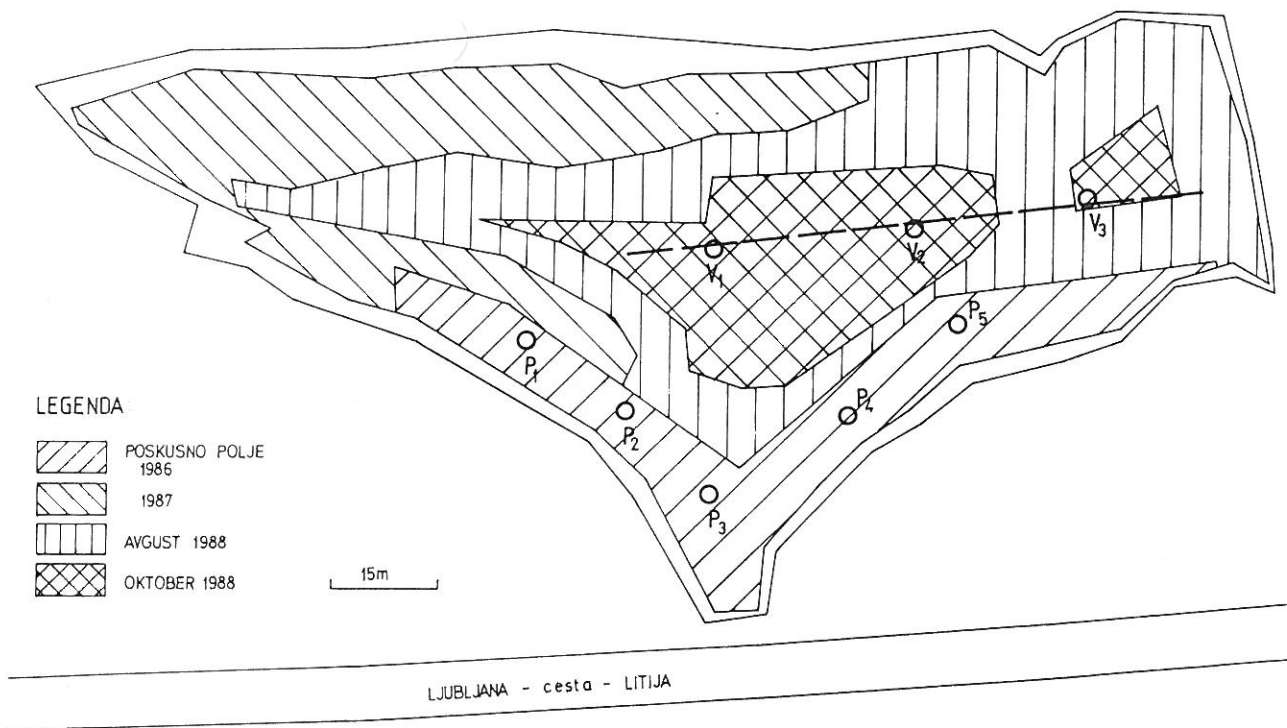
Stabilizacija se lahko izvaja izključno v obdobju toplega, suhega, sončnega vremena.

V izračunu nismo upoštevali vplivov kapilarnega dviga vode v pepel, možnosti površinskega osuševanja razgrnjenih plasti, le-ti so v Ljubljani poleti lahko večje od 5 % / dan, ter drugih vplivov, ki pozitivno vplivajo na celoten proces in smo jih nameravali preveriti na poskusnem polju. Za izvedbo stabilizacije smo načrtovali uporabo navadnega gradbenega stroja - bagra žličarja.

#### POSKUSNO POLJE

Za poskusno polje smo izbrali južni rob deponije, kjer se je klin židkega mulja najbolj približal magistralni cesti (slika 2).





Slika 2: Konture deponije židkega mulja pred pričetkom stabilizacije in med deli

Z deli smo pričeli avgusta 1986 leta. Vzorci mulja, odvzeti ob robu jame na površini pred pričetkom sanacije, so imeli vlažnost med 80 in 100 %, do globine 1,00 m pa se je vlažnost povečala na 140 - 180 %. Vzpostavili smo sistem geodetskega opazovanja površin za spremljanje ev. izpodrivanja oz. lezenja mulja iz območja vmešavanja pepela. Poiskusi z bagrom žličarjem na kolesih niso dali nikakršnih rezultatov. Zaradi premajhne moči stroja in stalnega ugrezavanja koles, vnašanje pepela v židko blato nikakor ni uspevalo. Po zamenjavi stroja z bagrom žličarjem na gosenicah so dela nemoteno stekla (slika 3).



Slika 3: Vmešavanje pepela v židek mulj

Do 20. septembra 1986 leta je bilo na jamo navoženih skupno 1160 m<sup>3</sup> pepela, s tem pepelom pa stabiliziranih 1092 m<sup>2</sup> površin (slika 2).

Takoj po prekinitvi del je bilo na poskusnem polju izvrtanih pet vrtin do globine 2,50 m z odvzemom vzorcev za preiskave. Raziskave so pokazale, da sega stabilizirana plast od 1,30 do 2,40 m globoko. Zmes je bila dobro homogenizirana, tik nad kontaktom z muljem rahla in zelo vlažna, tik pod površino pa rahla do srednje gosta. Na površini se je nahajal sloj pepela debeline od 0,40 do 1,10 m, v katerem mulj ni bil opažen, visoke vlažnosti pepela pa so kazale, da le-ta dobro "komunicira" s podlago.

Pomembno je, da so po razcevitvi, stene vrtine ostale določene in da se je v vrtine nabrala voda. Rezultati preiskav karakterističnih vzorcev kažejo, da se je pepel pri vgrajevanju popolno aktiviral.

Preglednica 4: Prikaz rezultatov učinkov stabilizacije s poskusnega polja

VRTINA	GLOBINA m	MATERIAL	VLAŽ- NOST		PROSTOR- NINSKA TEŽA		TLAČNA TRDNOST qu
			Wo %	φ	φd	kN/m <sup>3</sup>	
P - 1	0.90	ZMES	66 - 69	15.0	8.9	50	
	1.80	ZMES	57 - 70	15.1	8.9	40 - 70	
P - 2	1.95	ZMES	59	-	-	50	
P - 3	0.80	EF PEPEL	44.1	-	-	-	
	1.90	MULJ	72 - 73	15.0	8.7	30	
P - 4	1.70	ZMES	42 - 50	14.8	9.9	-	

V nesaniiranem delu jame niso bili zaznani nikakršni dvižki gladine mulja. Poraba reagenta je bila v mejah načrtovanih, nosilnost stabiliziranih površin pa že brez ojačitvenega gramoznega sloja zadovoljiva.

Na osnovi rezultatov s poskusnega polja je bil izdelan protokol nadaljevanja del. Poleg zahtev za zagotovitev varnosti pri delu, smo za nadaljevanje del predpisali še naslednje:

- dela se izvajajo izključno v obdobju suhega, toplega vremena,
- sanacija se izvaja samo s svežim, netuširanim pepelom,
- sanacija se izvaja le na površinah mulja, ki niso pokrite z vodo,
- zapiranje jame poteka v krogih od zunanjega robu proti sredini,
- pred nadgradnjo ali prometno uporabo stabiliziranih površin mora ustreznost stabilizacije preveriti geomehanik.

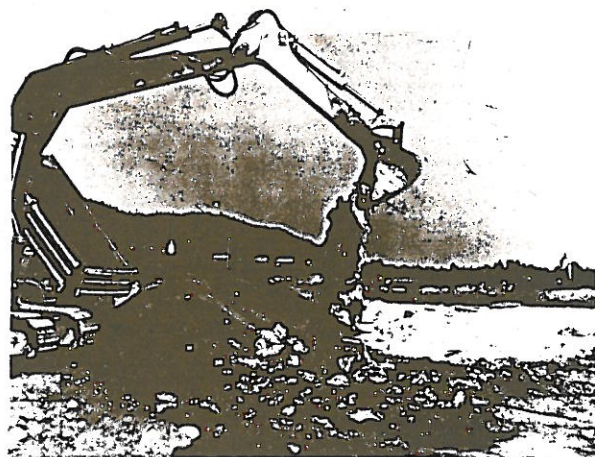
#### POTEK IN ZAKLJUČEK STABILIZACIJE

V letu 1987 je bilo stabiliziranih skupno 2580 m<sup>2</sup> ali cca 43 % vseh mokrih površin. V letu 1988 so se dela razvila v kritičnem območju centralnega in vzhodnega dela jame, kjer so bili mulji izjemno rahli, z vlažnostjo na površini nad 200 % in mestoma prekrite z vodo. Stabilizacija je potekala nemoteno (slika 4).

I. faza stabilizacije jame je bila v celoti uspešno zaključena l. 1988. Zasluge za to ima tudi operater bagra žličarja, ki je dobro razumel zasnovano procesa in samoiniciativno prilagajal postopke mešanja pepela in razgrinjanja stabiliziranih plasti stanju mulja, kar je pri tovrstnih delih zelo pomembno.

V oktobru 1989 smo v osrednjem kritičnem delu stabilizirane deponije izvrstali 3 geomehanske vrtnice do trdne podlage, da bi ocenili kakovost izvedenih sanacijskih del. Karakteristični vzdolžni profil je podan na sliki 5.

S posebnim sistemom jedrovanja, ki smo ga za vzorčevanja na deponijah židkih muljev razvili na ZRMK Ljubljana, smo pridobili intaktne vzorce iz celotne višine deponije. Rezultati preiskav so pokazali, da so učinki stabilizacije v površinskem sloju enaki, stanje mulja pod stabilizirano plastjo pa boljše od pričakovanih.



Slika 4: Postopno zapiranje površin židkega mulja, avgust 1988

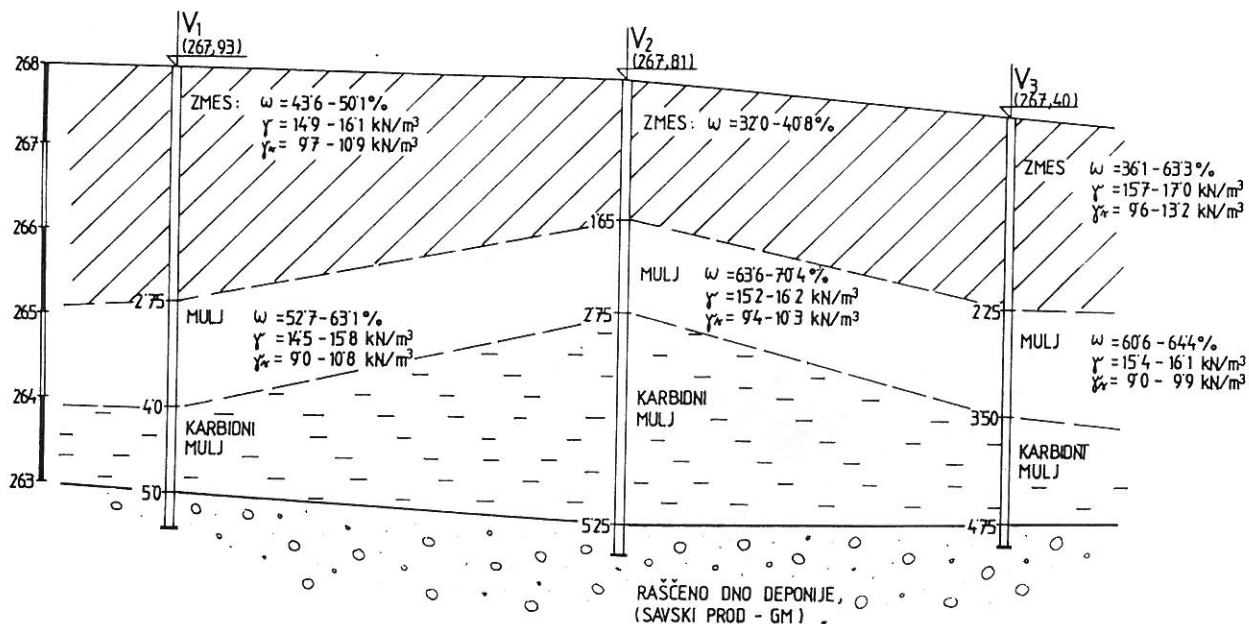
Srednja vlažnost stabiliziranega sloja, določena na 22 vzorcih je 48 % (primerjaj rezultate predhodnih preiskav, preglednica 3), vlažnost tinkalovega mulja pod stabilizirano plastjo pa med 52 in 70 %.

Kombinirani vplivi postopnega vnašanja EF pepela v površinski sloj deponije, kapilarni dvig, postopno obremenjevanje in nenazadnje stalno odpiranje židkih površin vplivom sonca so pripomogli, da je tudi mulj v nestabilizirani plasti prešel iz židkega v plastično konsistenčno stanje.

Stabilizirane površine so torej sposobne prevzeti obremenitve z nasipom in humusno zemljo.

Vzpostavljen je bil geodetski opazovalni sistem stabiliziranih površin. Trije zaporedni mesečni odčitki so pokazali, da se stabilizirana površina poseda že brez zaključnega gramoznega nasipa.

Med navažanjem zaključnega sloja zemljin so bile reprne točke porušene in neobnovljene, tako da podatkov o posedanjih po obremenitvi s končnim nasipom žal ni.



Slika 5: Karakteristični profil osrednjega dela deponije



## STABILIZACIJA PRODUKTOV ODŽVEPLJEVANJA DIMNIH PLINOV

Odžvepljevanje dimnih plinov iz termoelektrarn postaja življenska nuja razvitih industrijskih držav. TE Šoštanj načrtuje izgradnjo odžvepljevalne naprave po mokri kalcitni tehnologiji na 4. bloku. Postopek odžvepljevanja v TE Šoštanj bo soroden postopku, ki že nekaj let teče v TE Voitsberg v Avstriji. V TE Voitsberg je končni produkt malo vlažna, nekoherentna, drobno zrnata sadra, ki se v celoti porabi kot sekundarna surovina. V TE Šoštanj bo končni produkt sadrin mulj s koncentracijo suhe snovi okrog 50 %, ki se bo po stabilizaciji odlagal na suho deponijo. Po izgradnji odžvepljevalne naprave se bodo zmanjšale ekološke obremenitve zraka, povečale pa obremenitve tal.

Kakovost svežega in odležanega mulja po stabilizaciji določajo kriteriji transporta in deponiranja:

- prašenje ali izcejanje voda ni dopustno,
- zmes mora biti stabilna, nelepljiva in v času transporta nevezljiva,
- zmes mora biti mehansko vgradljiva in čim manj propustna.

Na ZRMK Ljubljana smo v letu 1993 opravili predhodne laboratorijske preiskave in določili izhodiščne parametre materialov za potrebe izdelave projektne dokumentacije za postopke stabiliziranja, transporta in trajnega deponiranja na suhi deponiji. Vzorci REA sadre so iz TE Voitsberg.

### KEMIJSKE IN FIZIKALNE LASTNOSTI

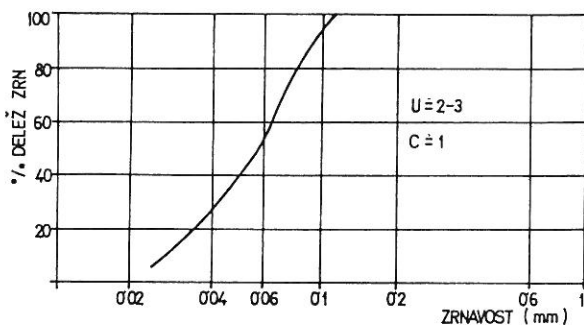
Kemijske lastnosti produktov odžvepljevanja so podane v preglednici 5.

Preglednica 5: Kemijske lastnosti produktov odžvepljevanja

Glavne komponente (% s.s.)		Sledni elementi (mg/kg s.s.)	
CaSO <sub>4</sub> x2H <sub>2</sub> O	93 - 97	As	2 - 3
CaSO <sub>3</sub> x½H <sub>2</sub> O	< 0.2	Cd	< 0.01
CaCO <sub>3</sub>	2 - 6	Co	< 0.01
MgCO <sub>3</sub>	0.8 - 1.5	Cr	3 - 5
SiO <sub>2</sub>	0.9 - 1.5	Cu	2 - 4
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.2 - 0.4	Hg	< 1.5
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.1 - 0.2	Ni	1 - 4
TiO <sub>2</sub>	0.01 - 0.02	Pb	1 - 2
MnO <sub>2</sub>	0.004 - 0.007	Se	2 - 6
Na <sub>2</sub> O	0.01 - 0.02	Mb	< 0.01
K <sub>2</sub> O	1.0 - 1.3	V	3 - 4
Cl <sup>-</sup>	0.02 - 0.04	Zn	5 - 9
F <sup>-</sup>	0.1 - 0.2	Ba	7 - 10
		Ta	< 0.5

V trdni fazi je glavni mineral sadra (CaSO<sub>4</sub>x2H<sub>2</sub>O) s sledovi nezreagiranega kalcita.

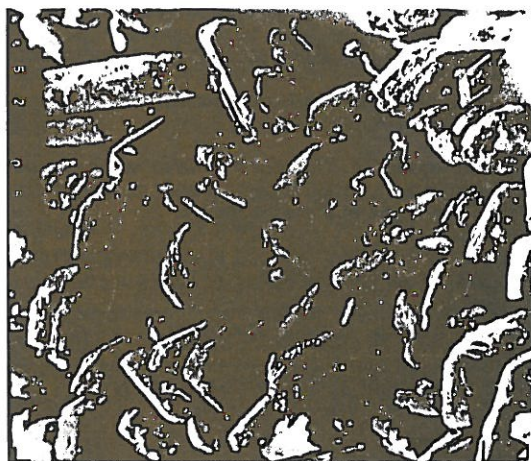
Fizikalne lastnosti REA produkta so podane v preglednici 6, zrnavostna sestava na sliki 6, kristalna oblika zrn pa na sliki 7.



Slika 6: Krivulja zrnivosti REA produkta

Preglednica 6: Fizikalne lastnosti REA produkta

Parameter	Vrednost
<b>SVEŽI PRODUKT</b>	
vlažnost	6 - 8 %
specifična površina zrn	650 - 750 cm <sup>2</sup> /g
meje plastičnosti	ni plastičen
zrnavostna sestava	0/125 μm
optimalna vlažnost	14.9 %
max. gostota	1.49 g/cm <sup>3</sup>
<b>MULJ, conc. 50 %</b>	
prostorninska masa	1.34 g/cm <sup>3</sup>
prostorninska masa usedline	1.66 g/cm <sup>3</sup>
srednja vlažnost usedline	34.0 %
<b>MULJ, conc. 59 %</b>	
prostorninska masa	1.47 g/cm <sup>3</sup>
prostorninska masa usedline	1.70 g/cm <sup>3</sup>
srednja vlažnost usedline	33.0 %



Slika 7: EM posnetek REA produkta

V primerjavi z drugimi industrijskimi sadrami v Sloveniji, npr. titanovo sadro iz Celja, fosforjevo sadro iz Hrastnika ali citronske sadro iz Il. Bistrice je REA sadra bolj grobo zrnata, ni plastična in se pri optimalni vlagi bolje zgošča. Skupna lastnost vseh sader pa je uniformna zrnavostna sestava in velika občutljivost materiala na vodo.

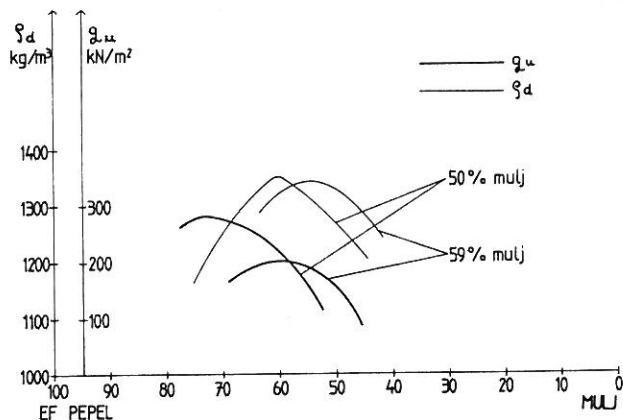
### IZBOR STABILIZACIJSKEGA SREDSTVA

Mulj se bo stabiliziral z EF pepelom. Vrednosti optimalne vlage pepelov so bile v juniju 1993 med 19 in 24 %, suhe gostote pa med 1275 - 1375 kg/m<sup>3</sup>. Za stabilizacijo mulja so opisane lastnosti EF pepela dokaj neugodne.

Laboratorijske preiskave so pokazale, da stabilizacijske zmesi 50 % mulja in EF pepela ustrezajo kakovostnim kriterijem v primeru, ko je delež pepela v zmesi med 57 in 67 %; stabilizacijske zmesi 59 % mulja in EF pepela pa v primeru, ko je delež EF pepela v zmesi med 52 in 60 % (slika 8).

Koncentracije mulja bistveno vplivajo na porabo stabilizacijskega reagenta, na kakovost stabilizirane zmesi in na obremenitve mešalnih in transportnih naprav.

Ker so razpoložljive količine EF pepela omejene, TE ne more zagotavljati zadostne dobave EF pepela za stabilizacijo v podanih, optimalnih razmerjih mešanja. Dodatno smo preverili različne variantne možnosti in izdelali recepture mešanja, pri katerih zmesi sicer ne izkazujejo zahtevanih kakovosti v celotnem procesu



Slika 8: Lastnosti zmesi mulj REA sadra / EF pepel

transporta in skladiščenja hkrati, vendar pa so lastnosti zmesi v pomembnejših delih procesa, zlasti vmesnega in končnega deponiranja zelo blizu optimalnim, količine EF pepela, potrebne za stabilizacijo pa v TE še zadostne.

#### LASTNOSTI STABILIZIRANEGA PRODUKTA ODŽVEPLJEVANJA

Fizikalne in mehanske lastnosti stabiliziranega produkta odžvepljevanja za eno od prognoziranih primernih variant stabilizacije so podane v preglednici 7.

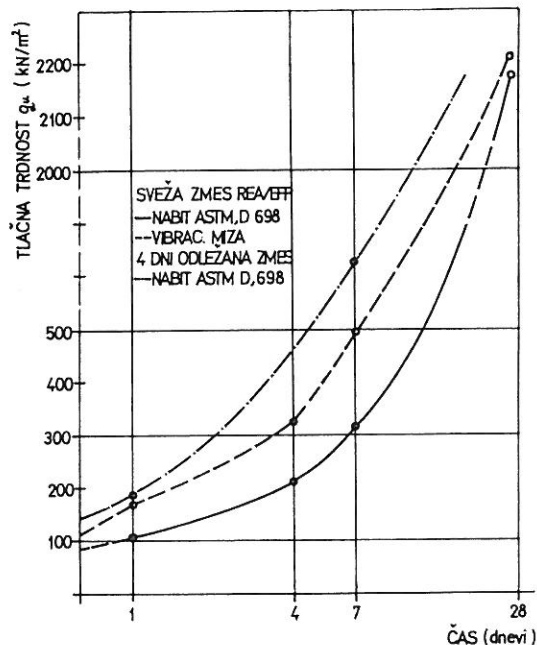
Preglednica 7: Fizikalne lastnosti stabiliziranega produkta odžvepljevanja

ZMES: REA SADRA : VODA : EF PEPEL	1 : 0.7 : 1.5
OPTIMALNI POGOJI ZMESI SUHIH REAGENTOV	
optimalna vlažnost	19.6 %
max. gostota	1.37 $g/cm^3$
tlačna trdnost (4 dni)	267 $kN/m^2$
LASTNOSTI ZMESI STABILIZIRANEGA MULJA	
- vlažnost	24 - 25 %
- prostorninska masa	
- rahlo nasuto stanje	0.88 $g/cm^3$
- gosto zbito stanje	1.63 $g/cm^3$
- nabito, $E = 6 \text{ kgcm/cm}^3$	
$\rho$	1.64 $g/cm^3$
$\rho_d$	1.32 $g/cm^3$
- kot notranjega trenja nabite zmesi	$\varphi = 38^\circ$ $c = 8 \text{ kN/m}^2$
- koeficient vodopropustnosti	$10^{-6} \text{ cm/s}$

Prirast tlačnih trdnosti sveže in 4 dni odležane zmesi po vezanju je podan na sliki 9.

Sveže stabilizirane zmesi so za mehansko vgradnjo s komprimiranjem prevlažne. Po nekaj dnevnem odležanju na deponiji pa se stabilizirane zmesi odlično mehansko zgoščajo, po vezanju dosegaajo dobre mehanske lastnosti in so malo propustne za vodo. Pri geotehničnih delih so možnosti uporabe materialov z opisanimi lastnostmi velike, vprašljiv pa je njihov vpliv na okolje.

Predhodne preiskave kažejo, da bi bilo vzporedno sprejeto deponiranje, umestno preveriti tudi kakšne so možnosti koristne, a za okolje varne rabe teh produktov in pristopiti k ustreznim ekološko tehnološkim preiskavam.



Slika 9: Časovni prirast tlačne trdnosti zmesi

#### ZAKLJUČEK

Pri načrtovanju stabilizacij materialov z zelo neugodnimi lastnostmi in veliko heterogenostjo je priporočljivo procese graditi v več stopnjah, tako da pridobimo v vsaki stopnji optimalne rezultate. Pod optimalnimi rezultati razumemo doseganje zahtevane kakovosti, ta pa naj bo prilagojena realnim razmeram in dosežena z za investitorja razumnimi stroški.

Obravnavana primera kažeta, da je možno z geomehanskimi raziskavami, dopolnjenimi z ustreznimi mineraloškiimi, reološkimi in kemijskimi podatki dobro okarakterizirati tudi lastnosti materialov, ki po izvoru sicer ne sodijo med klasične zemeljske materiale in neposredno vplivati na optimizacijo tehnoloških procesov.

#### LITERATURA:

- AHMAN, S., (1988): Safe dry FGD Product Utilization Flakt Industri AB, Sweden
- CALMANO, W., (1988): Stabilization of Dredged Mud, Environmental Management of Solid Waste Springer - Verlag, Berlin - Heidelberg
- GRILC, V., PETKOVŠEK, A., (1993): Stabilization of Boron containing mineral sludge with fly ash before landfilling, Proc. of 4<sup>th</sup> international landfill symposium, Cagliari (v tisku)
- PETKOVŠEK, A., (1989): Razvoj in tehnologija odlaganja židkega blata na sanitarni deponiji Barje, Razvojni projekt; URP/RP 21-6012-227-89, Ljubljana
- Neobjavljena dela - interna poročila:
- DERMOL, J., (1993): Projektna naloga za PGD za naprave mešanja transporta in skladiščenja REA sadre in EF pepela za blok 4, TE Šoštanj, CEE Ljubljana
- SCHONGRUNDNER, W., (1993): REA - Gips - Charakterisierung, (interna kemijska analiza) TE Voitsberg
- PETKOVŠEK, A., (1993): Poročilo o preiskavah fizikalno - mehanskih lastnosti REA produktov odžvepljevanja in stabilizacijskih mešanic EF pepela in REA produktov za TE Šoštanj, ZRMK Ljubljana
- PETKOVŠEK, A., (1986-89): Sanacija mokrega odlagališča mulja, ZRMK Lj., 745/85 -89