

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta
za gradbeništvo
in geodezijo



Jamova cesta 2
1000 Ljubljana, Slovenija
<http://www3.fgg.uni-lj.si/>

DRUGG – Digitalni repozitorij UL FGG
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

To je izvirna različica zaključnega dela.

Prosimo, da se pri navajanju sklicujete na bibliografske podatke, kot je navedeno:

Putrih Jeza, H., 2014. Preiskave izluževanja žindre iz te trbovlje v koloni s tokom navzgor. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Petkovšek, A.): 36 str.

Datum arhiviranja: 21-10-2014

University
of Ljubljana

Faculty of
Civil and Geodetic
Engineering



Jamova cesta 2
SI – 1000 Ljubljana, Slovenia
<http://www3.fgg.uni-lj.si/en/>

DRUGG – The Digital Repository
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

This is original version of final thesis.

When citing, please refer to the publisher's bibliographic information as follows:

Putrih Jeza, H., 2014. Preiskave izluževanja žindre iz te trbovlje v koloni s tokom navzgor. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljana, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Petkovšek, A.): 36 pp.

Archiving Date: 21-10-2014

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta za
*gradbeništvo in
geodezijo*



Jamova 2
1000 Ljubljana, Slovenija
telefon (01) 47 68 500
faks (01) 42 50 681
fgg@fgg.uni-lj.si

UNIVERZITETNI ŠTUDIJSKI
PROGRAM PRVE STOPNJE
VODARSTVA IN
OKOLJSKEGA INŽENIRSTVA

Kandidatka:

HANA PUTRIH JEZA

**PREISKAVE IZLUŽEVANJA ŽLINDRE IZ TE
TRBOVLJE V KOLONI S TOKOM NAVZGOR**

Diplomska naloga št.: 20/B-VOI

**UP FLOW PERCOLATION TEST ON SLAG FROM
POWER PLANT TRBOVLJE**

Graduation thesis No.: 20/B-VOI

Mentorica:
doc. dr. Ana Petkovšek

Predsednik komisije:
izr. prof. dr. Dušan Žagar

Ljubljana, 27. 05. 2014

STRAN ZA POPRAVKE

Stran z napako

Vrstica z napako

Namesto

Naj bo

Ta stran je namenoma prazna.

IZJAVE

Izjavljam, da je elektronska različica v vsem enaka tiskani različici.

Izjavljam, da dovoljujem objavo elektronske različice v digitalnem repozitoriju.

Ljubljana, 12.5.2014

Hana Putrih Jeza

Ta stran je namenoma prazna.

BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČKI

UDK: 624.12/.14(497.4)(043.2)

Avtorica: Hana Putrih Jeza

Mentor: doc. dr. Ana Petkovšek

Naslov: Preiskave izluževanja žlindre iz TE Trbovlje v koloni s tokom vode navzgor

Tip dokumenta: Diplomaska naloga – univerzitetni študij

Obseg in oprema: 36 str., 7 pregl., 14 sl.

Ključne besede: žlindra, izluževalni preizkus, perkolacijski test, kemična analiza izlužkov, pH, elektroprevodnost

Izvleček

Pomanjkanje naravnih surovin in naraščanje količin odpadkov nam v skladu z zahtevami po trajnostnem razvoju narekuje iskanje inovativnih, alternativnih rešitev in razvoj novih znanj na področju predelave in rabe odpadkov namesto naravnih surovin. Za predelavo v alternativne materiale je med drugim zanimiv odpadek tudi žlindra, ki nastaja pri kurjenju premoga v termoelektrarnah.

V diplomski nalogi sem raziskovala možnost oziroma dopustnost uporabe žlindre iz TET v gradbeništvu iz okoljskega vidika. Cilj raziskave, na kateri temelji diplomaska naloga je ugotoviti, kakšni so rezultati izluževanje žlindre iz TET. Prvi del raziskave je bil izveden s perkolacijskim testom oziroma izluževalnim preizkusom v koloni s tokom navzgor, z natančnim upoštevanjem smernic, kot so definirane v standardu SIST-TS CEN/TS 14405:2004. Drugi del raziskave je zajemal spremljanje pH in elektroprevodnosti na desetih različnih mešanica med žlindro in vodo. Z primerjavo obeh preiskav smo ugotavljali, kakšen je vpliv žlindre na okolje.

Ta stran je namenoma prazna.

BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT

UDC: 624.12/.14(497.4)(043.2)

Author: Hana Putrih Jeza

Supervisor: Assist. Prof. Ana Petkovšek, Ph. D.

Title: Up-flow percolation test on slag from Power Plant Trbovlje

Document Type: Graduation Thesis – Univeristy studies

Scope and tools: 36 p., 7 tab., 14 fig.

Keywords: slag,, leaching behaviour test, percolation test, chemical analysis of eluates, pH, conductivity

Abstract

In accordance with the requirements of sustainable development, the lack of natural raw materials and increase of waste, a search for innovative, alternative solutions and development of new skills in the processing and use of waste instead of natural raw materials is required. Among the possibilities of processing alternative materials, slag is an interesting byproduct of the use of coal in thermal power plants.

In my thesis I explored the possibility and permissibility of using slag, obtained in Thermal power plant Trbovlje, in the construction industry, from the environmental perspective. The aim of the research, which the thesis is based on, is to obtain the results of slag leaching in Thermal power plant Trbovlje. The first part of my research was carried out by a percolation test (an up-flow percolation test - under specified conditions), with a precise regard to the guidelines, defined in SIST-TS CEN/TS 14405:2004 standard. The second part of the research consisted of monitoring pH and electrical conductivity in ten different mixtures of slag and water. By comparing both studies we determined the slag's impact on the environment.

Ta stran je namenoma prazna.

ZAHVALA

Za usmerjanje, strokovno pomoč in nasvete se iskreno zahvaljujem mentorici doc. dr. Ani Petkovšek. Zahvaljujem se tudi asist. dr. Mateju Mačku za pomoč in svetovanje pri računskem delu naloge.

Posebna zahvala gre moji družini, očetu Borisu, mami Metki in bratu Alecu za vso podporo in potrpežljivost med celotnim študijem. Hvala tudi vsem sošolcem in prijateljem, ki so tako ali drugače prispevali k nastanku tega dela.

Ta stran je namenoma prazna.

KAZALO VSEBINE

1 UVOD	1
1.1 Predstavitev problema	1
1.2 Cilj in namen diplomske naloge	1
2 OKOLJSKA ZAKONODAJA	3
2.1 Zakon o varstvu okolja (ZVO-1-UPB1) Ur. l. RS št. 39/2006	3
2.2 Uredba o odpadkih, Ur .l. RS št. 103/2011	3
2.2.1 Klasifikacijski seznam odpadkov in uvrstitev odpadka	3
2.2.2 Stranski proizvod	4
2.3 Uredba o odlaganju odpadkov na odlagališčih za inertne odpadke Ur.l. RS št. 61/2011	4
2.4 SETRA (2011)	7
3 MATERIALI V RAZISKAVI	9
3.1 Odpadki iz termoelektrarne	9
3.1.1 Proizvodni proces	9
3.1.2 Nastanek elektrofiltrskega pepela in žlindre na kuriščih termoelektrarne	10
3.1.3 Dejavniki, ki vplivajo na lastnosti EF pepela in žlindre	10
3.2 Lastnosti EF pepela	11
3.3 Lastnosti žlindre	11
4 METODE PREISKAV	13
4.1 Identifikacijske preiskave	13
4.1.1 Ugotavljanje vlažnosti	13
4.1.2 Ugotavljanje gostote zrn - Metoda s piknometrom	13
4.1.3 Ugotavljanje zrnave sestave	14
4.1.4 Edometriški poskus s postopnim obremenjevanjem	14
4.1.5 Ugotavljanje prepustnosti s spremenljivim hidravličnim padcem	15

4.2 Karakterizacija odpadkov - izluževalni preizkus – preizkus v koloni s tokom navzgor (pri določenih pogojih) SIST-TS CEN/TS 14405:2004	16
4.2.1 Opis izluževalnega preizkusa	16
4.2.2 Kemična analiza izlužkov	17
4.2.3 Merjenje pH in elektroprevodnosti	18
4.3 Merjenje pH in elektroprevodnosti na mešanicah žindre in destilirane vode	18
5 ANALIZA REZULTATOV	19
5.1 Uvod	19
5.1.1 Naravna vlaga žindre	19
5.1.1 Gostota zrn	19
5.1.1 Zrnavostna sestava	19
5.1.1 Edometriški preizkus s postopnim obremenjevanjem in ugotavljanje prepustnosti s spremenljivim hidravličnim padcem	20
5.2 Rezultati perkolacijskega testa	22
5.2.1 Perkolacijski test na vzorcu žindre	23
5.1.2 Rezultati kemične analize izlužkov žindre perkolacijskega testa	25
5.3 Rezultati merjenja pH in elektroprevodnosti na mešanicah žindre in vode	27
5.4 Primerjava rezultatov perkolacijskega testa in meritev mešanic žindra:voda	30
6 RAZPRAVA REZULTATOV V LUČI STAREJŠIH RAZISKAV	31
7 ZAKLJUČEK	34
VIRI	35

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Kriterij za izlužke določeni z Uredbo (1.del) (Ur.l. RS št. 61/2011 Priloga 3)	6
Preglednica 2: Kriterij za izlužke določeni z Uredbo (2.del) (Ur.l. RS št. 61/2011 Priloga 3)	7
Preglednica 3: Kriterij za izlužke po SETRA (2011)	8
Preglednica 4: Shema zbiranja frakcij izlužkov	17
Preglednica 5: Rezultati edometriškega poskusa s postopnim obremenjevanjem in ugotavljanje prepustnosti s spremenljivim hidravličnim padcem	22
Preglednica 6: Rezultati perkolacijskega testa na vzorcu »Žlindre 6« iz TET	23
Preglednica 7: Rezultati kemične analize izlužkov žlindre iz perkolacijskih testov	27
Preglednica 8: Rezultati preiskav in mejne vrednosti (Petkovšek s sod., 2013)	33

KAZALO SLIK

Slika 1a: Proizvodni proces v TET	9
Slika 1b: Pogled na nasip iz žindre	12
Slika 1c: Posnetek perkolacijskega testa	18
Slika 2: Krivulja zrnastostne sestave Žindre 4 iz TET (dostava 8.8.2013)	20
Slika 3: Krivulja odvisnosti koeficienta prepustnosti od pogojev preizkušanja za žindro iz TET	22
Slika 4: Krivulje stisljivosti za žindro iz TET	22
Slika 5: Krivulja pH izlužkov vzorca »Žindre 6« iz TET	24
Slika 6: Krivulja elektroprevodnosti izlužkov vzorca Žindre 6 iz TET	24
Slika 7: Količina soli v izlužkih »Žindre 6« iz TET	25
Slika 8: Rezultati kemične analize izlužkov žindre za sulfate, fluoride in bor	26
Slika 9: Rezultati kemične analize izlužkov žindre za kloride, cink, selen, molibden in barij	26
Slika 10: Krivulje pH v odvisnosti od časa za vzorec »Žindra 4« iz TET	28
Slika 11: Krivulje elektroprevodnosti v odvisnosti od časa za vzorec »Žindra 4« iz TET	28
Slika 12: Krivulje pH v odvisnosti od razmerja mešanic Ž:V na vzorcu »Žindra 4« iz TET	29
Slika 13: Krivulje elektroprevodnosti v odvisnosti od razmerja mešanic Ž:V na vzorcu »Žindra 4« iz TET	29
Slika 14: Primerjava rezultatov perkolacijskega testa in meritev na mešanicah žindra:voda	30

1 UVOD

1.1 Predstavitev problema

Sodobna družba je vse bolj razpeta med odvisnostjo od naravnih virov in povečanimi potrebami po energiji na eni strani in nujnostjo in neizogibnostjo doslednega spoštovanja ohranjanja okolja na drugi strani. Pomanjkanje naravnih surovin in naraščanje količin odpadkov¹ nam v skladu z zahtevami po trajnostnem razvoju narekuje iskanje inovativnih, alternativnih rešitev in razvoj novih znanj na področju predelave in rabe odpadkov namesto naravnih surovin.

Po predelavi postanejo odpadki gradbeni material, natančneje alternativni gradbeni material. Alternativni material mora izpolnjevati enake kriterije glede mehanske odpornosti in trajnosti kot material iz naravnih surovin, posebni poudarek pa je na potencialnem vplivu na okolje. Okoljski vplivi se preverjajo na osnovi kemične analize odpadkov in kemične analize izlužkov. Za predelavo v alternativne materiale v gradbeništvu so najbolj zanimivi odpadki:

- odpadki iz termoelektrarn, v katerih je energent premog. V to skupino odpadkov, ki jih poznamo pod skupnim imenom CCP (Coal Combustion Product)², uvrščamo elektrofilitrski (v nadaljevanju EF) pepel, žlindro in sadro;
- gradbeni odpadki kot so ostanki gradbenih materialov pri gradnji ali rušitvi gradbenih objektov, npr. beton, opeka, kovina, izolativni materiali in podobno;
- različne vrste žlindre v proizvodnji železa, jekla, livarn.

1.2 Cilj in namen diplomske naloge

Na področju nizkih gradenj se pogosto uporabljajo kompoziti iz mešanice žlindre in EF pepela iz termoelektrarn in sicer kot material za gradnjo nasipov in zasipov in za izboljševanje naravnih zemljin in kamenega agregata. Ker oba materiala nastajata pri kurjenju premoga, so sledni elementi podobni tistim v naravnih zemljinah, vendar pa so koncentracije le teh povečane. Zato se v izlužkih pogosto pojavijo prevelike koncentracije, ki niso skladne z določili, kot jih definira veljavna zakonodaja. V Sloveniji nimamo predpisov, ki bi določali kemično sestavo in merjene vrednosti izlužkov za alternativne materiale, predelane v nov gradbeni proizvod za rabo v gradbeništvu. Upoštevajo se

¹ V SSKJ je odpadke definiran kot tisto, kar se pri obdelavi, predelavi česa odstrani, izloči kot neuporabno za prvotni namen, Uredba o odpadkih (Ur.l. 103/2011) pa v 3. členu definira odpadke kot snov ali predmet, ki ga imetnik zavrže, namerava zavržeti ali mora zavržeti.

² CCP (Coal Combustion Product) so v nekateri virih imenovani tudi CCR (Coal Combustion Residuals) (Vir: <http://www.epa.gov/osw/conservation/imr/ccps/index.htm>, pridobljeno 10. 04. 2014)

merila, kot so opredeljena v Uredbi o odlaganju odpadkov na odlagališčih za inertne odpadke (Ur.l. RS št. 61/2011) in v francoskih smernicah (SETRA³, 2011).

Diplomska naloga je bila zasnovana z namenom raziskovanja možnosti oz. dopustnosti uporabe žindre iz termoelektrarne v gradbeništvu z okoljskega vidika.

Cilj raziskave, na kateri temelji diplomska naloga, je ugotoviti, kakšni so rezultati izluževanja žindre iz Termoelektrarne Trbovlje (v nadaljevanju TET). Raziskava je bila izvedena s perkolacijskim testom oziroma izluževalnim preizkusom v koloni s tokom navzgor, z natančnim upoštevanjem smernic, kot so definirane v standardu SIST-TS CEN/TS 14405:2004. V laboratoriju za mehaniko tal Fakultete za gradbeništvo in geodezijo UL smo v skladu s tem standardom merili pH in elektroprevodnost izlužkov, kemična analiza izlužkov pa je bila opravljena v Kemijsko-tehnološkem laboratoriju Regionalno tehnološkega centra Zasavje. Vrednost pH v raztopinah in vpliv na mobilnost težkih kovin sta v svojih raziskavah proučevala že Cappuyns in Swennen in sta ugotovila: »Vrednosti pH je ključni parameter za ugotavljanje mobilnosti težkih kovin v zemljinah, sedimentih in odpadnih materialih.« (Cappuyns, ..., 2008). Z merjenjem teh dveh parametrov v izlužkih v kombinaciji s kemično analizo vseh izluženih elementov smo ugotavljali, kakšen je vpliv žindre na okolje.

V diplomski nalogi smo se omejili na raziskovanje žindre iz TET.

³ SETRA: Service d'etudes techniques des routes et autoroutes: Oddelek za tehnične študije cest in avtocest, od 1.januarja 2014 dalje del CEREMA, Le Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité, ki deluje pod okriljem Ministrstva za ekologijo, trajnostni razvoj in energijo.

2 OKOLJSKA ZAKONODAJA

2.1 Zakon o varstvu okolja (ZVO-1-UPB1) Ur. l. RS št. 39/2006

Namen zakona, ki določa temeljna načela in ukrepe varstva okolja, je usmerjanje takšnega gospodarskega in socialnega razvoja družbe, ki ob zadovoljevanju potreb sedanje generacije upošteva enake možnosti zagotavljanja potreb prihodnjih in omogoča dolgoročno ohranjanje okolja.

V zakonu so opredeljeni naslednji cilji varstva okolja:

- preprečevanje in zmanjšanje obremenjevanja okolja,
- ohranjanje in izboljševanje kakovosti okolja,
- trajnostna raba naravnih virov,
- zmanjšanje rabe energije in večja uporaba obnovljivih virov energije,
- odpravljanje posledic obremenjevanja okolja, izboljšanje porušenega naravnega ravnovesja in ponovno vzpostavljanje njegovih regeneracijskih sposobnosti,
- povečanje snovne učinkovitosti proizvodnje in potrošnje,
- opuščanje in nadomeščanje uporabe nevarnih snovi.

V zakonu predpisani ukrepi za doseganje teh ciljev so:

- spodbujanje proizvodnje in potrošnje, ki prispeva k zmanjšanju obremenjevanja okolja,
- spodbujanje razvoja in uporabe tehnologij, ki preprečujejo, odpravljajo in zmanjšujejo obremenjevanje okolja in
- plačevanje nadomestila za onesnaževanje in rabo naravnih virov.

2.2 Uredba o odpadkih, Ur .l. RS št. 103/2011

Vsebina te uredbe se nanaša na varstvo okolja in varovanje človekovega zdravja. V njej so določena pravila ravnanja in drugi pogoji za preprečevanje in zmanjševanje škodljivih vplivov nastajanja odpadkov in ravnanja z njimi ter zmanjševanja celotnega vpliva uporabe naravnih virov in izboljšanja učinkovitosti uporabe naravnih virov v skladu direktivami Evropske Unije.

Ta uredba določa tudi klasifikacijski seznam odpadkov v skladu z direktivami Evropske Unije.

2.2.1 Klasifikacijski seznam odpadkov in uvrstitev odpadka

Posamezni odpadek se razvrsti v skupino ali podskupino odpadkov s klasifikacijskega seznama odpadkov tako, da se mu dodeli klasifikacijska številka odpadka.

Na seznamu odpadkov se odpadki skladno z virom nastanka razvrščajo v skupine nevarnih ter nevarnih odpadkov glede na sestavo, ob tem pa je potrebno natančno upoštevati mejne vrednosti koncentracije nevarnih snovi.

Po tej uredbi spadata elektrofiltrski pepel in žindra v skupino 10, to je med odpadke iz termičnih procesov. Klasifikacijska številka, ki pripada tema odpadkoma oz. stranskima produktoma je:

- 10 01 01 za pepel, žindro in kotlovski prah (razen prah iz kurilnih naprav na olje) in
- 10 01 02 za elektrofiltrski pepel iz kurilnih naprav na premog.

2.2.2 Stranski proizvod

Stranske proizvode in način ravnanja z njimi opredeljuje Uredba o odpadkih. Ur. l. št. 103/2011. Z ostankom proizvodnje je dopustno ravnati kot s stranskim proizvodom in ne kot z odpadkom, če so izpolnjeni naslednji pogoji:

- nadaljnja uporaba ostanka proizvodnje je zagotovljena;
- ostanek proizvodnje se lahko neposredno uporabi brez kakršne koli nadaljnje obdelave, razen običajnih industrijskih postopkov⁴;
- ostanek proizvodnje nastaja kot sestavni del proizvodnega procesa;
- ostanek proizvodnje izpolnjuje zahteve, določene za uporabo take snovi ali predmeta s predpisi, ki urejajo proizvode ter varstvo okolja in varovanje človekovega zdravja, njegova nadaljnja uporaba pa ne bo škodljivo vplivala na okolje in človekovo zdravje.

Dejstvo, da je nadaljnja uporaba ostanka proizvodnje zagotovljena, imetnik, ki z ostankom proizvodnje ravna kot s stranskim proizvodom, dokazuje s pogodbo o prodaji stranskega proizvoda med imetnikom in kupcem, s strokovno analizo trga, s tehnično dokumentacijo o proizvodnem procesu, v katerem ostanek nastaja in s slovenskim tehničnim soglasjem v skladu z zakonom, ki ureja gradbene proizvode.

2.3 Uredba o odlaganju odpadkov na odlagališčih za inertne odpadke Ur.l. RS št. 61/2011

V Sloveniji ni predpisa, ki bi določal kemično sestavo in mejne vrednosti izlužkov za alternativne materiale, predelane v nov gradbeni proizvod. Slovensko tehnično soglasje (STS) za take proizvode se izdaja ob upoštevanju meril, opredeljenih v Uredbi o odlaganju odpadkov na odlagališčih za inertne

⁴ Šteje se, da je pogoj iz 2. točke prvega odstavka tega člena je izpolnjen, če je treba za neposredno uporabo ostanka proizvodnje izvesti le spiranje, sušenje, homogenizacijo, nadzor nad kakovostjo ali drug običajen industrijski postopek, ki je potreben zaradi spremembe velikosti ali oblike materiala, homogenizacije ali sušenja. Med običajne industrijske postopke se ne štejejo postopki, ki se izvedejo zaradi izločitve neželenih ali nevarnih snovi od ostanka proizvodnje. (Uredba o odpadkih Ur. l. RS št. 103/2011)

odpadke. Ur. l. RS št. 61/2011. Uredba definira pogoje za uporabo inertnih⁵ odpadkov pri vzpostavitvi novega ali nadomestitvi prejšnjega stanja okolja pri zagotavljanju stabilnosti telesa odlagališča, sanitarnih ukrepov in drugih posegov pri rekonstrukciji odlagališč ali pri gradnji, če se vnašajo v skladu s predpisom, ki ureja obremenjevanje tal z vnašanjem odpadkov.

EF pepele in žlindre v nizkih gradnjah vgrajujejo v kontroliranih pogojih zgoščanja, zato jih lahko vrednotimo kot gradbeni material in ne kot odpadek, ki se odlaga na odlagališču ali obremenjuje tla z zapolnjevanjem depresij. Zaradi zgoščanja in hidravličnih lastnosti se lahko v EF pepele in kompozite vežejo tudi potencialno izlužljivi elementi. V prilogi 3 te uredbe so natančno določene zahteve za inertne odpadke, ki se odlagajo na odlagališču za inertne odpadke.

Vrednost parametrov izlužka inertnih odpadkov pri $L/S = 10$ l/kg ne smejo presegati mejnih vrednosti parametrov izlužka prikazanih v Preglednici 1 in 2.

⁵ inertni odpadek je odpadek, ki se fizikalno, kemično ali biološko bistveno ne spreminja, ne razpade, ne zgori ali kako drugače kemijsko ali fizikalno ne reagira, se biološko ne razgradi in ne vpliva škodljivo na druge snovi ob stiku z njimi na način, ki bi lahko povzročil onesnaženje okolja ali škodoval zdravju; skupno izluževanje in vsebnost onesnaževal v inertnem odpadku in ekotoksičnost izcedne vode morajo biti zanemarljivi in zlasti ne smejo ogrozati kakovosti površinske ali podzemne vode (peta točka 1. odstavka 2. člena Uredbe o odlaganju odpadkov na odlagališčih za inertne odpadke Ur.l. RS št. 61/2011)

Preglednica 1: Kriterij za izlužke določeni z Uredbo (1.del) (Ur.l. RS št. 61/2011 Priloga 3)

	Parameter	Izražen kot	Enota	Mejna vrednost parametra izlužka L/S = 10 l/kg
1	Arzen	As	mg/kg s.s	0,5
2	Barij	Ba	mg/kg s.s	20
3	Kadmij	Cd	mg/kg s.s	0,04
4	Celotni krom	Cr	mg/kg s.s	0,5
5	Baker	Cu	mg/kg s.s	2
6	Živo srebro	Hg	mg/kg s.s	0,01
7	Molibden	Mo	mg/kg s.s	0,5
8	Nikelj	Ni	mg/kg s.s	0,4
9	Svinec	Pb	mg/kg s.s	0,5
10	Antimon	Sb	mg/kg s.s	0,06
11	Selen	Se	mg/kg s.s	0,1
12	Cink	Zn	mg/kg s.s	4
13	Kloridi	Cl	mg/kg s.s	800
14	Fluoridi	F	mg/kg s.s	10
15	Sulfati	SO ₄	mg/kg s.s	1000*
16	Fenolni indeks		mg/kg s.s	1
17	Raztopljeni organski ogljik – DOC**	C	mg/kg s.s	500
18	Celotne raztopljene snovi***	-	mg/kg s.s	4000

*odpadki ustrezajo zahtevam za inertne, če izmerjena vrednost sulfatov v izlužku ne presega 6000 mg/kg suhe snovi

**če izmerjena vrednost parametra izlužka presega mejno vrednost

***vsebnost celotnih raztopljenih snovi se lahko uporablja namesto vsebnosti sulfatov in kloridov.

Preglednica 2: Kriterij za izlužke določeni z Uredbo (2.del) (Ur.l. RS št. 61/2011 Priloga 3)

	Parameter	Izražen kot	Enota	Mejna vrednost parametra izlužka L/S = 10 l/kg
19	Celotni organski ogljik –TOC	C	% mase s.s	3%*
20	BTEX (benzen, toluen, etilbenzen in ksileni)	-	mg/kg s.s	6
30	PCB – poliklorirani bifenili		mg/kg s.s	1
40	Mineralna olja (od C10 do C40)		mg/kg s.s	500
50	PAH – policiklični aromatski ogljikovodiki		mg/kg s.s	6

* pri zemljini lahko izmerjena vrednost presega mejno vrednost, če DOC ne presega mejne vrednosti parametra izlužka podane zgoraj.

2.4 SETRA (2011)

Za smiselno vrednotenje materialov za konstrukcijske plasti v visoko nadzorovanih inženirskih nasipih in vrednotenje odpadkov za odlaganje na odlagališčih se uporabljajo francoske smernice Setra (2011).

V teh smernicah so mejne vrednosti izlužkov odvisne od

- pogojev rabe materiala,
- statističnih podatkov preiskav in
- postopkov izvajanja izluževalnih testov oziroma preiskav v kemičnem laboratoriju.

Mejne vrednosti izlužkov po Setri so prikazane v preglednic 3.

Preglednica 3: Kriterij za izlužke po SETRA (2011)

SETRA, 2011					
Vrsta uporabe			Globlje plasti, nasipi ali bankine, površina obdelana kot vozišče npr. asfalti, beton	Pokriti inženirski nasipi ali bankine, min. 30 cm zamljine v pokrovu	
Parameter	Izražen kot	Enota	Mejna vrednost parametra izlužka L/S = 10 l/kg		
1	Arzen	As	mg/kg s.s	0.8	0.5
2	Barij	Ba	mg/kg s.s	56	28
3	Kadmij	Cd	mg/kg s.s	0.32	0.16
4	Celotni krom	Cr	mg/kg s.s	4	2
5	Baker	Cu	mg/kg s.s	50	50
6	Živo srebro	Hg	mg/kg s.s	0.08	0.04
7	Molibden	Mo	mg/kg s.s	5.6	2.8
8	Nikelj	Ni	mg/kg s.s	1.6	0.8
9	Svinec	Pb	mg/kg s.s	0.8	0.5
10	Antimon	Sb	mg/kg s.s	0.4	0.2
11	Selen	Se	mg/kg s.s	0.5	0.4
12	Cink	Zn	mg/kg s.s	50	50
13	Sulfati	Cl	mg/kg s.s	10000	5000
14	Kloridi	F	mg/kg s.s	10000	5000
15	Fluoridi	SO ₄	mg/kg s.s	60	30

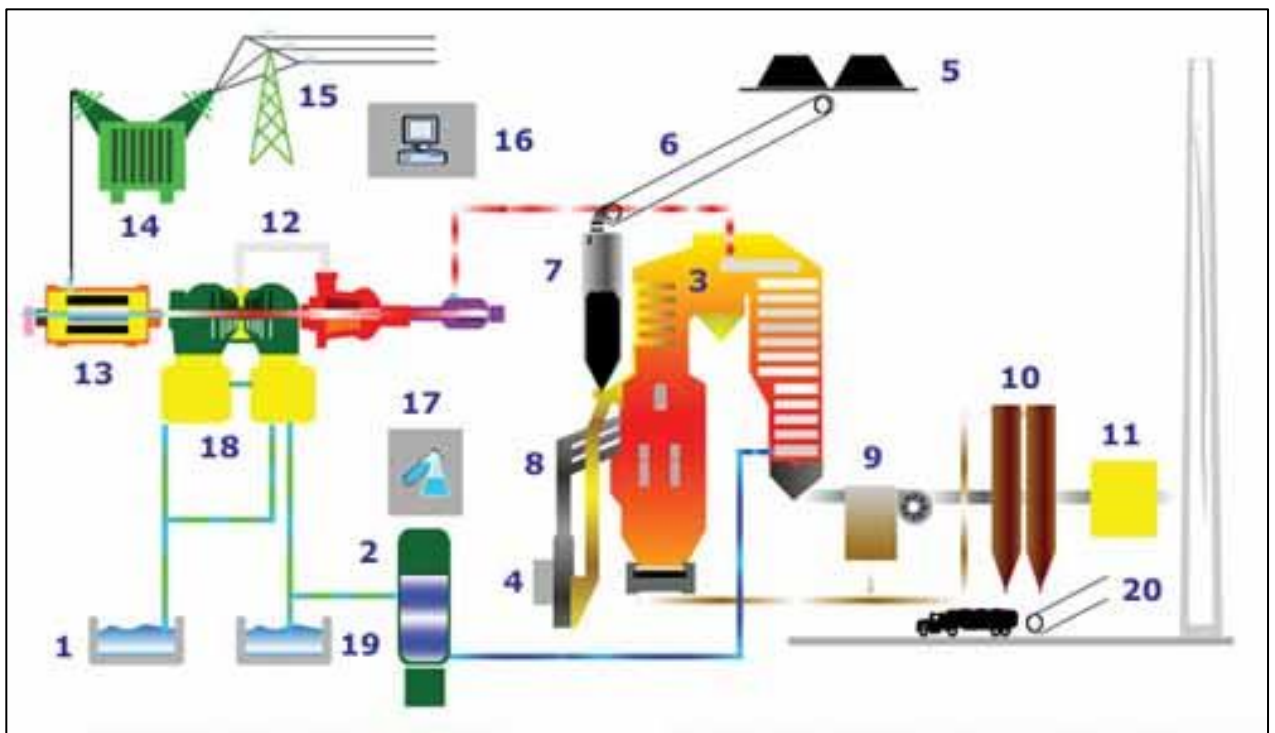
3 MATERIALI V RAZISKAVI

3.1 Odpadki iz termoelektrarne

S preiskovanjem EF pepela in žlindre so se že ukvarjali na v Laboratorijo za mehaniko tal Fakultete za gradbeništvo in geodezijo. Naslednje poglavje je povzeto iz elaborata (Petkovšek s sod., 2013)

3.1.1 Proizvodni proces

Termoelektrarna Trbovlje pretvarja kemično energijo goriva (premog) v toploto. Toploto pretvarja s parno turbino v mehanično energijo, to pa s pomočjo generatorjev v električno energijo. Pri gorenju premoga se voda segreva in prehaja v paro, ki poganja parno turbino in prek generatorja proizvaja električno energijo <http://www.tet.si/si/elektricna-energija/proizvodni-proces>, pridobljeno 11.3.2014).



Slika 1a: Proizvodni proces v TET

(Vir: <http://www.tet.si/si/elektricna-energija/proizvodni-proces/>, pridobljeno 11. 03. 2014)

1 - črpališče tehnološke vode

2 - kemična priprava vode

3 - kotel

4 - mlini premoga

11 - čistilna naprava

12 - turbina

13 - generator

14 - blok transformator

5 - deponija premoga	15 - stikališče 110 kV
6 - transport premoga	16 - upravljanje procesa
7 - silos za premog	17 - laboratorij
8 - gorilniki premoga	18 - kondenzacija
9 - elektrofilter	19 - izpust hladilne vode
10 - silos za pepel	20 - deponija nenevarnih odpadkov

3.1.2 Nastanek elektrofilterskega pepela in žindre na kuriščih termoelektrarne

Premog, zdrobljen v droben prah se vpahuje v kurišče, kjer zgoreva pri visokih temperaturah okrog 1200°C, pri čemer organske snovi zgorevajo, anorganske snovi pa dehidrirajo in se na kurišču pretalijo. Prvotni minerali razpadejo v nove spojine, ki med sabo reagirajo in tvorijo nove minerale.

Drobni trdni anorganski delci skupaj z dimnimi plini odletijo iz kurišča v sistem elektrofiltrov, kjer ionizirani sedajo na pozitivno nabite elektrode. Od tam padajo v bunkerje pod filtri in se kopičijo kot EF pepel. EF pepel je ob nastanku in v skladiščih suh. Večina anorganskih delcev je velikih manj kot 63µm. Zrna so kroglaste oblike, steklasta in porozna.

Organske komponente v EF pepelu so saje, nezgoreli in poogleneli delci premoga, koks in drugo.

Večji delci, ki na kurišču ne dogorijo, padejo iz kurišča v žlindrniki oziroma korito z vodo. Tam zrna aglomerirajo (se sprimejo v skupke). Tako nastane žindra, ki je ob nastanku mokra, povprečna zrnavost pa ustreza velikosti peska, pri čemer so posamezni skupki zrn veliki do 30 mm. Mineralna sestava je v primerjavi z EF pepelom praviloma bolj raznolika. Vlaga žindre, ki pride iz žlindrnika, znaša tudi več kot 90%.

3.1.3 Dejavniki, ki vplivajo na lastnosti EF pepela in žindre

Kemične, mineraloške in fizikalne lastnosti EF pepelov in žindre so odvisne od:

- vrste premoga in homogenosti (stanovitnosti) sestave premoga,
- tehnološke značilnosti kurišča in temperatur na kurišču,
- obtežbe elektrarne in spremembe v obtežbi elektrarne, na primer podnevi/ponoči,
- delovanja in vzdrževanja elektrofiltrov in
- morebitnega procesiranja EF pepela, npr. sejanja.

3.2 Lastnosti EF pepela

Večina anorganskih delcev v EF pepelu je velikosti 63 μ m, zrna so kroglaste oblike, steklasta in porozna. Organske komponente v EF pepelu so lahko saje, nezgoreli in poogleneli delci premoga, koks in drugo. EF pepeli so drobno zrnati in vsebujejo tako delce velikosti manj kot 1 μ m, kot tudi delce večje od 200 μ m. Kljub drobni zrnivosti ne izkazujejo plastičnega obnašanja. V primerjavi z naravnimi zemljinami je EF pepel sposoben vpiti velike količine vode, tudi 30% svoje teže in pri tem ne izgubi mehanske stabilnosti. Pribitek vode povzroči utekočinjenje, a ob mirovanju sediment ponovno otrdi. Vse te lastnosti, ki so bistveno drugačne od specifičnih lastnosti naravnih zemljin, so posledica okolja v katerem nastaja EF pepel. Zrnca EF pepela so porozna. To je posledica anorganskih sestavin premoga, ki so med kurjenjem izpostavljene visokim temperaturam, pri čemer se velik delež mineralnih delcev raztali. Ob tem nastajajo steklaste amorfne kroglice tako, da se v večini EF pepelov nahaja več kot 70% steklaste komponente. Ta vključuje tudi nekaj izparelih komponent, zato so zrnca EF pepela porozna. V sestavi prevladujeta Si in Al, v manjši meri pa tudi Ca in Fe. Skozi sistem potujejo tudi kristaljene komponente, ki se niso raztalile na kurišču in lahko ostanejo nespremenjene ali pa nastajajo novi minerali. Tako npr. kremen lahko ostane nespremenjen, minerali kalcita in dolomita pa se pretvorijo v apno in periklaz, pirit se pretvori v hematit, SO₂ reagira z apnom in pri tem nastane anhidrit, dehidrirani delci kaolinita in ilita pa predstavljajo pucolansko zelo reaktiven material.

Mineralna sestava vzorcev EF pepela iz TET je naslednja:

- hematit,
- kremen,
- anortit,
- apno,
- anhidrit,
- kalcit,
- steklo.

3.3 Lastnosti žlindre

Ob nastanku je žindra mokra, njena povprečna zrnivost ustreza velikosti peska. Med sušenjem zrna žlindre aglomerirajo v skupke zrn z velikostjo do 30 mm. Kemična sestava žlindre je podobna kemični sestavi EF pepela, njene mineraloške in fizikalne lastnosti pa se zelo razlikujejo od lastnosti EF pepela. Mineralna sestava žlindre je praviloma bolj raznolika kot sestava EF pepela. Stopnja vlažnosti žlindre, ki pride iz žlindrnika, je visoka, tudi preko 90%.

Glavne razlike med žindro in EF pepelom so:

- ob nastanku je žindra vlažna oz. mokra, EF pepel pa je suh,
- žindra je bolj debelo zrnata kot EF pepel,
- v žindri je prisotnih več nezgorelih organskih delcev,
- v žindri se nahaja manj steklaste faze, zato je žindra v naravnem stanju manj reaktivna in ne veže,
- v zgoščenem stanju je žindra veliko lažja od EF pepela.

Mineraloška analiza žindre je pri dosedanjih preiskavah pokazala visoko vsebnost sadre in posledično je tudi koncentracija sulfata v izlužku visoka.

Mineralna sestava vzorca žindre iz TET je naslednja: sadra, kremen, anortit, anhidrit, kalcit, hematit in gehlenit.

Kemične analize kažejo, da v sestavi žindre prevladujeta Si in Al, podobno kot v EF pepelu, v manjši meri pa so prisotni tudi Ca, Fe in S.



Slika 1b: Pogled na nasip iz žindre

4 METODE PREISKAV

4.1 Identifikacijske preiskave

Pred izvedbo izluževalnega preskusa v koloni s tokom navzgor smo na žlindri izvedli identifikacijske preiskave po naslednjih metodah:

Ugotavljanje vlažnosti, w (%)	SIST/ISO/TS 17892-1:2004
Ugotavljanje gostote zrn - Metoda s piknometrom, ρ_s (t/m^3)	SIST/ISO/TS 17892-3:2004
Ugotavljanje gostote zrn - Metoda s piknometrom, ρ_s (t/m^3)	SIST/ISO/TS 17892-4:2004
Edometrski poskus s postopnim obremenjevanjem, E_{oed} (kPa)	SIST/ISO/TS 17892-5:2004
Ugotavljanje prepustnosti s spremenljivim hidravličnim padcem, k (m/s)	SIST/ISO/TS 17892-11:2004

4.1.1 Ugotavljanje vlažnosti

Vlažnost žlindre smo določili na vzorcu žlindre, ki smo ga odvzeli iz materiala, ga stehali v posodi znane mase in ga 24 ur sušili v peči pri temperaturi 105 ± 5 °C. Po 24 urah smo vzorec vzeli iz peči, ga ohladili v eksikatorju in ponovno stehali. Vlago smo določili po enačbi:

$$w = \frac{m_m - m_s}{m_s} \times 100\%$$

w ... vlažnost

m_m ... masa mokrega materiala

m_s ... masa suhega materiala

4.1.2 Ugotavljanje gostote zrn - Metoda s piknometrom

Gostoto zrn smo določili na dveh paralelnih vzorcih žlindre, ki smo ju v piknometrom vgradili vlažna, uporabili pa smo zrna manjša od 2 mm. Najprej smo stehali prazen piknometrom znanega volumna in ga napolnili z destilirano vodo, pri čemer smo pazili, da ni bilo v njem nobenih zračnih mehurčkov ter ga postavili v vodno kopel, da je bila temperatura piknometra in destilirane vode enaka temperaturi vodne kopeli. Ko smo ga odstranili iz vodne kopeli, smo takoj določili maso piknometra napolnjenega

z destilirano vodo. Nato smo prazen piknometar napolnili z vzorcem žindre ter ga ponovno stehali. Nadaljevali smo tako, da smo piknometar do konca napolnili z destilirano vodo. Odstranili smo ujet zrak z vakuumom in ga postavili v vodno kopel pri znani stalni temperaturi za 60 minut tako, da je temperatura vzorca in vode v piknometru dosegla temperaturo v vodni kopeli. Ko smo piknometar z žindro in destilirano vodo odstranili iz vodne kopeli, smo takoj določili njegovo maso. Žindro smo nato odstranili iz piknometra in jo sušili v peči pri temperaturi 105 ± 5 °C do konstantne mase. Tako smo dobili maso suhe žindre, ki je bila v piknometru. Gostoto zrn žindre smo izračunali po enačbi:

$$\rho_s = \frac{m_4}{(m_1 - m_0) - (m_3 - m_2)} \times \rho_w$$

ρ_s ... gostota zrn

m_0 ... masa suhega piknometra

m_1 ... masa piknometra in destilirane vode

m_2 ... masa piknometra in žindre

m_3 ... masa piknometra, napolnjenega z žindro in destilirano vodo

m_4 ... suha masa vzorca žindre

ρ_w ... gostota destilirane vode

4.1.3 Ugotavljanje zrnave sestave

Zrnavo sestavo smo določili s sejerno preiskavo. To smo opravili po mokrem in suhem postopku. Najprej smo sejali po mokrem postopku in sicer na sitih nazivnih odprtih 8 mm, 4 mm in 0,063 mm. Pri tem smo ostanke na vseh treh sitih in presejek skozi sito 0,063 mm posušili v sušilniku in vsem določili maso. Za določitev zrnave sestave med siti z nazivnimi odprtinami 8 mm in 0,063 mm smo sejali še po suhem postopku na sitih nazivnih odprtih 8,0, 4,0, 2,0, 1,0, 0,50, 0,250, 0,125 in 0,063 mm. Uporabili smo vibracijsko napravo.

4.1.4 Edometrski poskus s postopnim obremenjevanjem

Z edometrskim poskusom smo preiskali obnašanje žindre pri enodimenzijskem obremenjevanju in razbremenjevanju. Edometrski poskus smo opravili na treh vzorcih;

- prvi vzorec vgrajen sušen na zraku z zrnji pod 4 mm,
- drugi vzorec vgrajen naravno vlažen z zrnji pod 4 mm in
- tretji vzorec vgrajen naravno vlažen z zrnji pod 2 mm.

Toge kovinske obroče premera 70 mm in višine 19,1 mm smo napolnili z žlindro, ki smo jo ročno zbili in obroče vgradili v edometrski aparat med dve porozni ploščici. Začeli smo s postopnim vertikalnim obremenjevanjem v rednih časovnih intervalih. Vzorec smo obremenili z bremenskimi stopnjami: 4.5, 25, 50, 100, 200, 400, 800, 1600, ter jih nato v enakih stopnjah še razbremenili. Med vsako bremensko stopnjo smo zabeležili vertikalne pomike oziroma spremembo višine vzorca v odvisnosti od časa. S tem smo lahko določili stisljivost vzorcev v odvisnosti od obtežbe in edometrski modul s pomočjo enačbe:

$$E_{oed} = \frac{\delta\sigma'_v}{\delta\varepsilon_v}$$

E_{oed} ... edometrski modul

$\delta\sigma'_v$... sprememba vertikalne efektivne napetosti

$\delta\varepsilon_v$... sprememba vertikalne efektivne deformacije

Med vsako bremensko stopnjo smo določili še količnik por. S pomočjo enačbe:

$$e = \frac{H_f - H_s}{H_s}$$

e ... količnik por

H_f ... višina vzorca v edometru po posamezni obremenitvi

H_s ... višina suhega vzorca v edometru

4.1.5 Ugotavljanje prepustnosti s spremenljivim hidravličnim padcem

Prepustnost s spremenljivim hidravličnim padcem smo merili v edometriškem aparatu. Preiskavo smo izvedli na istih vzorcih na katerih smo določili edometrski modul. Ob spremembi bremenske stopnje smo merili padec vodnega stolpca v kapilari oziroma pretok skozi vzorce žlindre v odvisnosti od časa. Koeficient prepustnosti smo določili z enačbo:

$$k = \frac{A_0 h}{A \Delta t} \ln\left(\frac{H_1}{H_2}\right)$$

k ... koeficient prepustnosti

A_0 ... prerez kapilare

A ... premer vzorca

h ... višina vzorca (pri posamezni bremenski stopnji)

Δt ... čas med posameznim odčitkom padca višine vodnega stolpca

H_1 ... višina vodnega stolpca ob začetku meritve padca vodnega stolpca posameznega merskega

intervala

H_2 ... višina vodnega stolpca ob koncu meritve padca vodnega stolpca posameznega merskega intervala

4.2 Karakterizacija odpadkov - izluževalni preizkus – preizkus v koloni s tokom navzgor (pri določenih pogojih) SIST-TS CEN/TS 14405:2004

4.2.1 Opis izluževalnega preizkusa

Izluževanje je kemijska metoda, pri kateri se iz snovi, iz trde zmesi ali raztopine njene molekule prenesejo v drugo tekočo fazo s pomočjo topila (<http://sl.wikipedia.org/wiki/Ekstrakcija>, pridobljeno 1.4.2014). Za določitev izlužka iz vzorcev žindre smo uporabili standard za izvedbo preskusa v koloni s tokom navzgor (pri določenih pogojih) SIST-TS CEN/TS 14405:2004. To je standard za določanje izločanja topnih snovi v vodi, ki lahko ogrožajo okolje, pri čemer gre za izluževanje odpadkov ob ponovni uporabi oziroma odlaganju na deponijah. Ta test je namenjen identifikaciji izluževalnih lastnosti odpadnih materialov anorganske sestave. Pri tem preizkusu smo ugotavljali izpust kot funkcijo L/S (liquid=tekočina, solid waste=trdna snov) razmerja med količino pretečene vode in trdne snovi, skozi katero voda teče.

Najprej je bilo potrebno določiti delež suhe snovi v žindri, tako da smo reprezentativni vzorec žindre stehali v posodi znane mase in ga dali sušiti v peč pri temperaturi 105 ± 5 °C in za izračun uporabili enačbo:

$$w_{dr} = \frac{m_{dr}}{m_r} \times 100\%$$

w_{dr} ... delež suhe snovi v odpadku

m_{dr} ... masa suhega vzorca

m_r ... masa neposušene vzorca

V celico iz pleksi stekla s premerom 10 cm in višine 30 cm, ki je imela na dnu in na vrhu filter, smo nato vgradili žindro. Celico smo v več plasteh napolnili s testnim materialom in vsako plast zgostili. Določiti smo morali suho maso vzorca vgrajene žindre, pri tem smo uporabili enačbo:

$$m_o = \frac{m \times w_{dr}}{100\%}$$

m_o ... suha masa vzorca v celici; m ... masa vzorca v celici

Pred začetkom testiranja smo žlindro v celici saturirali z vodo z uporabo črpalke. Nato smo zagnali vodno črpalko in nastavili pretok, približno 15 cm/dan ± 2 cm/dan skozi prazno celico. Pretok izluževanja smo izračunali po naslednji enačbi:

$$\Phi = v_l \times \pi \times d^2 \times 0,0104$$

Φ ... pretok izluževanja; v_l ... hitrost izluževanja skozi prazno celico; d ... premer celice

Nato smo začeli z zbiranjem izlužka. Ob vsakem zbiranju izlužka smo beležili čas izluževanja in volumen izlužka ter izračunali L/S količnik in povprečno prepustnost izluževanja, do zbiranja naslednjega izlužka. Izlužke smo zbirali po shemi, kot jo določa standard (Preglednica 4).

Preglednica 4: Shema zbiranja frakcij izlužkov

Št. frakcije	Volumen zbrane frakcije (=L/S količnik * suha masa snovi)	Skupni L/S količnik (l/kg suhe snovi)
1	(0,1 \pm 0,02) * mo	0,1 \pm 0,02
2	(0,1 \pm 0,02) * mo	0,2 \pm 0,04
3	(0,3 \pm 0,05) * mo	0,5 \pm 0,08
4	(0,5 \pm 0,1) * mo	1,0 \pm 0,15
5	(1,0 \pm 0,2) * mo	2,0 \pm 0,3
6	(3,0 \pm 0,2) * mo	5,0 \pm 0,4
7	(5,0 \pm 0,2) * mo	10,0 \pm 0,1

Test smo zaključili, ko je znašal L/S količnik 10 l/kg suhe snovi. Na vsaki frakciji smo izmerili tudi pH in elektroprevodnost izlužka ter količino raztopljenih snovi v izlužku, tako da smo vzorec izlužka posušili in stehali maso celotnih raztopljenih snovi.

4.2.2 Kemična analiza izlužkov

Izlužke so analizirali v Kemijsko-tehnološkem laboratoriju Regionalnega tehnološkega centra Zasavje. Za vsak element, ki se je izlužil v zbranih frakcijah, smo izračunali izločeno količino elementa na količino izluževanega vzorca frakcije, pri čemer smo analizirali frakcijo 2, 5 in 7. Uporabili smo enačbo:

$$U_i = \frac{V_i \times c_i}{m_0}$$

i ... indeks frakcije izlužka (1, 2, ..., 7)

U_i ... izločena količina elementa glede na količino izluževanega vzorca frakcije

V_i ... volumen izlužka iz frakcije

c_i ... koncentracija elementa v izlužku frakcije

m_0 ... masa suhe snovi v celici

4.2.3 Merjenje pH in elektroprevodnosti

Izluževanje iz zemljin, sedimentov in odpadnih materialov in vpliv na okolje se spremlja z meritvijo vrednosti pH-ja in elektroprevodnosti izlužkov. Merili smo pH in elektroprevodnost izlužkov v odvisnosti od L/S količnika in rezultate primerjali z obnašanjem izluženih elementov. Za meritev pH in elektroprevodnosti vsakega izlužka smo uporabili merilno napravo, na kateri se istočasno meri pH vrednost, elektroprevodnost in temperatura vzorca (HANNA instruments, HI 3512).

4.3 Merjenje pH in elektroprevodnosti na mešanicah žindre in destilirane vode

Vzporedno s perkolacijskim preizkusom smo namešali mešanice žindre in destilirane vode v naslednjih razmerjih med žindro in destilirano vodo: 1:1, 1:2, 1:3, 1:4, 1:5, 1:6, 1:7, 1:8, 1:9, 1:10 in merili vrednost pH in elektroprevodnost v odvisnosti od časa ter v odvisnosti od razmerja mešanice. Pri tem smo bili vsakokrat pozorni in izmerili tudi temperaturo mešanic ob meritvi. Uporabili smo steklene čaše, ki smo jih napolnili z zadostno količino žindre in dodali destilirano vodo v izbranem razmerju.



Slika 1c: Posnetek perkolacijskega testa

5 ANALIZA REZULTATOV

5.1 Uvod

Preiskovana je bila žindra iz TET. Na vzorcu »Žindra 4« (dostava 8.8.2013) smo opravili osnovne preiskave fizikalnih lastnosti, pomembne za identifikacijo žindre.

Rezultati so podani v točkah 5.1.1, 5.1.2 in 5.1.3.

5.1.1 Naravna vlaga žindre

Naravno vlago žindre smo določili po postopku opisanem v točki 4.1.1.

Laboratorijsko določena naravna vlažnost je znašala 80,8 %.

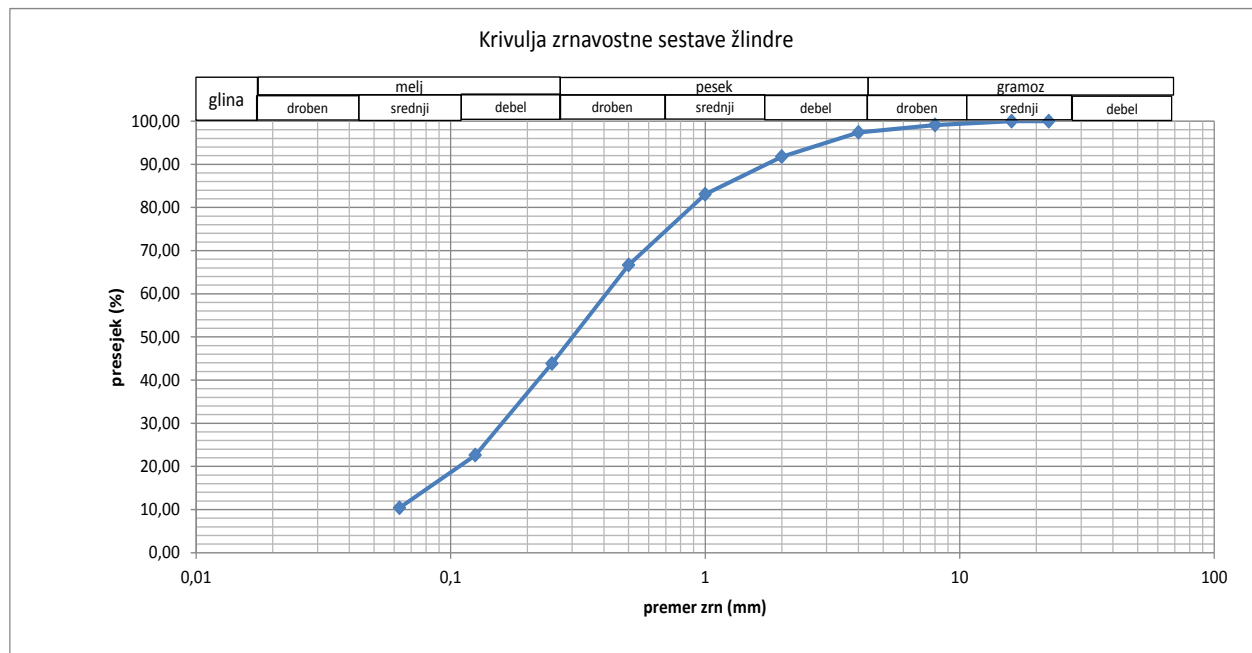
5.1.1 Gostota zrn

Gostoto zrn žindre smo določili po postopku, opisanem v točki 4.1.2. Uporabljena zrna so bila manjša od 2 mm.

Laboratorijsko določena suha gostota žindre je znašala 2,31 t/m³.

5.1.1 Zrnavostna sestava

Zrnavostna sestava je bila opravljena po postopku, opisanem v točki 4.1.3. Rezultati preiskave so razvidni iz Slike 2.



Slika 2: Krivulja zrnovostne sestave Žindre 4 iz TET (dostava 8.8.2013)

Delež zrn pod 0,063 mm je znašal 9,74 %. Delež izgubljenih zrn je znašal 5,77%. To je verjetno delno posledica raztapljanja in izpiranja sadre med postopkom mokrega sejanja, delno pa posledica odnašanja lahkih delcev.

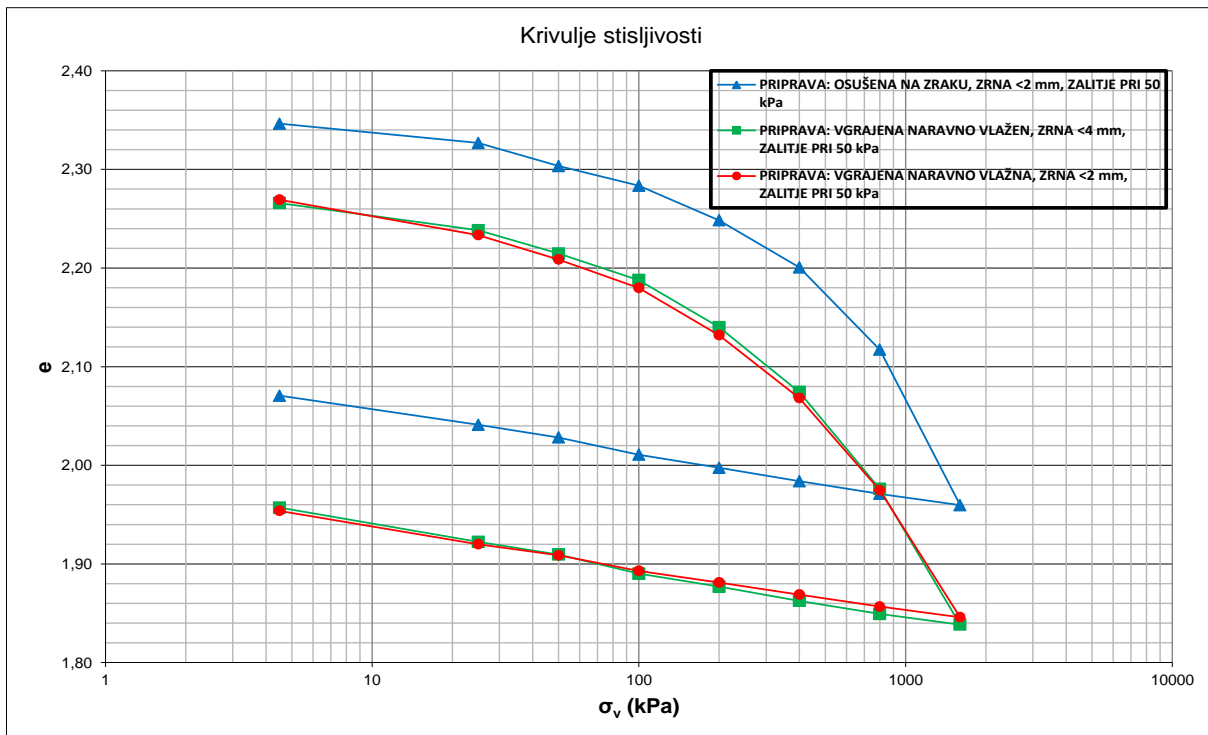
5.1.1 Edometrski preizkus s postopnim obremenjevanjem in ugotavljanje prepustnosti s spremenljivim hidravličnim padcem

Z vgradnjo žindre v edometer smo po postopku, opisanem v točki 4.1.4, določili edometrski modul in količnik por. Na istih vzorcih smo po postopku, opisanem v točki 4.1.5, določili še koeficient prepustnosti.

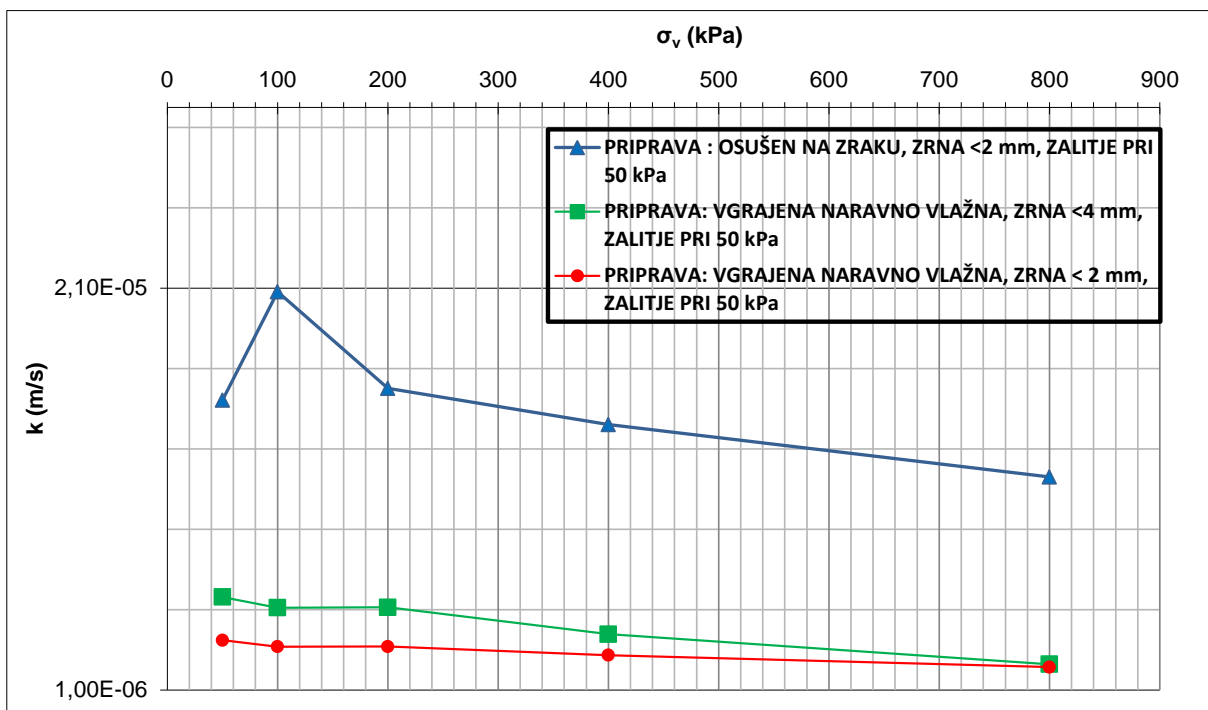
Preizkus smo izvedli na treh različno pripravljenih vzorcih in različnih velikosti zrn:

- vzorec žindre sušen na zraku z zrnji manjšimi od 4 mm;
- naravno vlažen vzorec žindre z zrnji manjšimi od 4 mm in
- naravno vlažen vzorec žindre z zrnji manjšimi od 2 mm.

Rezultati obeh preiskav so prikazani v Preglednici 5, na Sliki 3 je prikazana krivulja stisljivosti in na Sliki 4 pa je prikazana odvisnost koeficienta prepustnosti od pogojev preizkušanja.



Slika 3: Krivulje stisljivosti za žlindro iz TET



Slika 4: Krivulja odvisnosti koeficienta prepustnosti od pogojev preizkušanja za žlindro iz TET

5.2 Rezultati perkolacijskega testa

5.2.1 Perkolacijski test na vzorcu žlindre

Perkolacijski test smo izvedli na vzorcu žlindre »Žlindra 6« po postopku, kot je opisan v točki 4.2.1. Žlindro smo pred vgradnjo v celico sušili 24 ur in vgradili zrna, manjša od 16 mm.

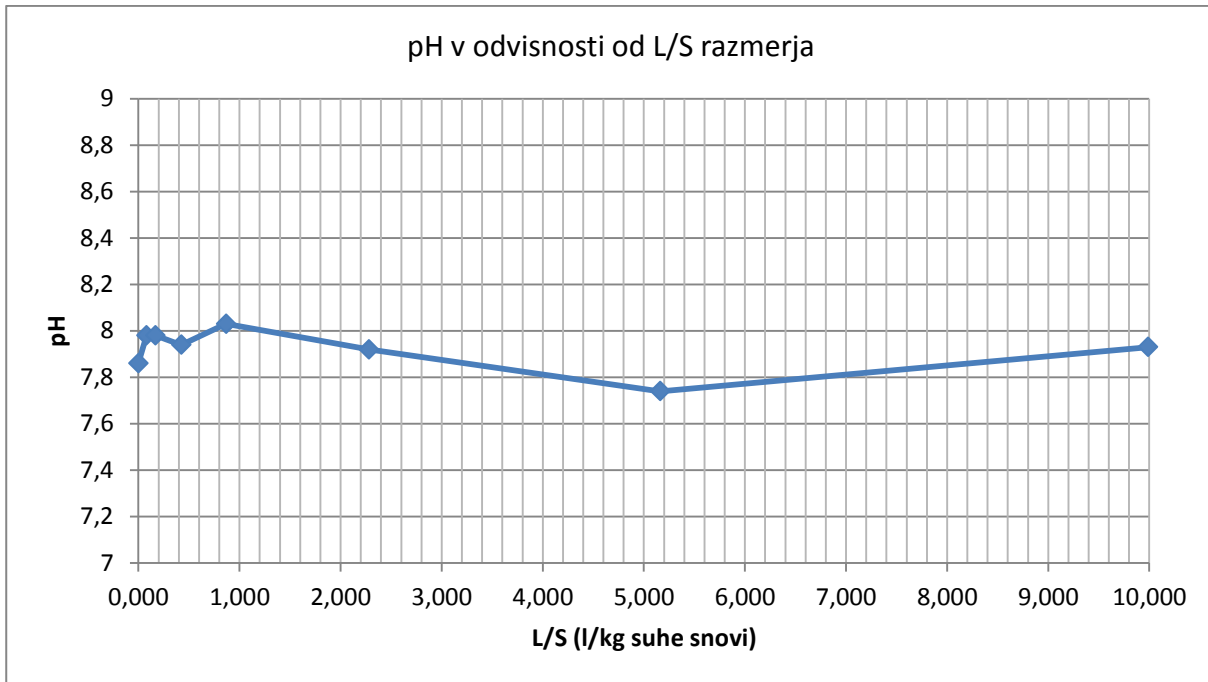
Najprej smo določili delež suhe snovi v odpadku, ki je znašal 63,55 %.

S pomočjo tega podatka smo določili suho maso vzorca vgrajene žlindre, ki je znašala 1952,2 g in tako izračunali volumne za zbiranje frakcij izlužkov.

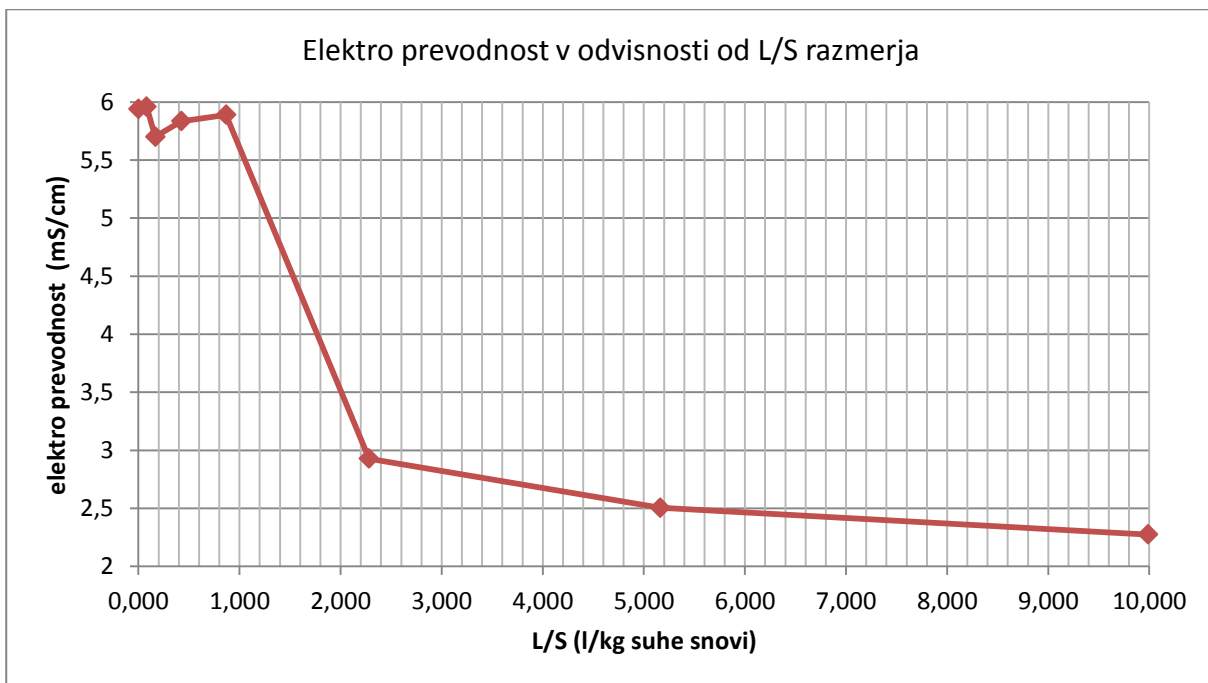
Rezultati perkolacijskega testa so prikazani v Preglednici 6. Na Sliki 5, 6 in 7 je prikazano obnašanje pH, elektroprevodnosti in količine raztopljenih snovi v izlužkih.

Preglednica 6: Rezultati perkolacijskega testa na vzorcu »Žlindre 6« iz TET

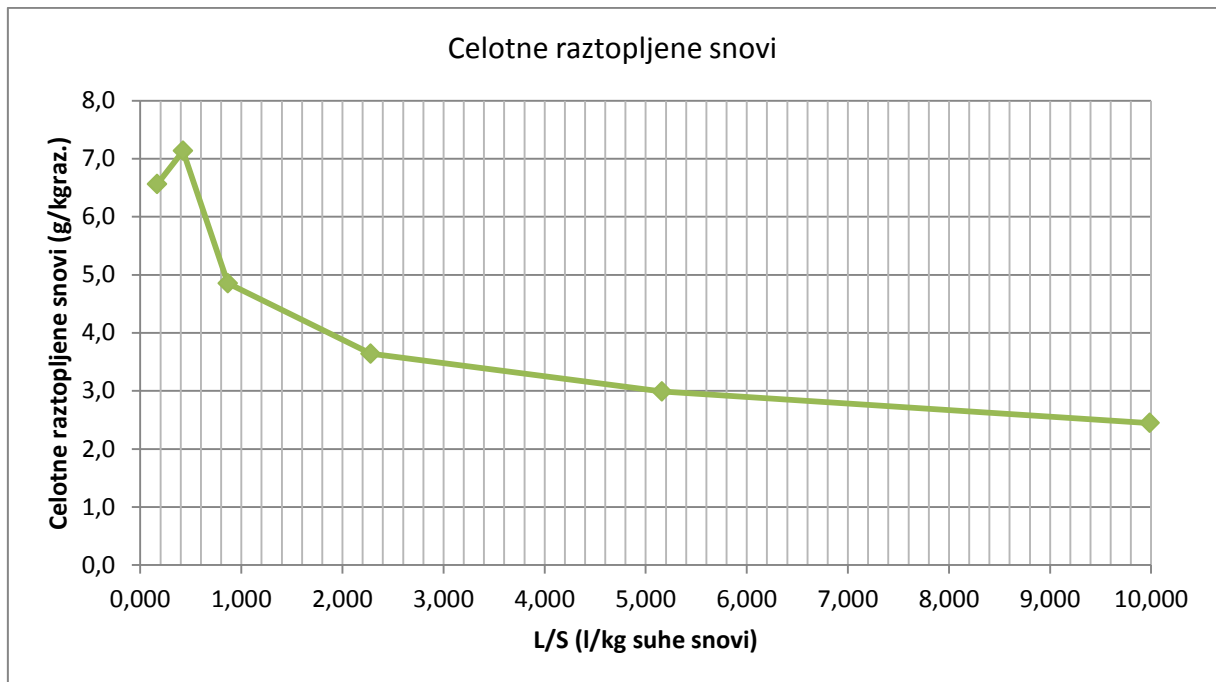
id. št. frakcije	L (g)	S (g)	Volumen frakcije (L/S količnik* m_0)	dejanski L/S (l/kg suhe snovi)	pH	el. prev.	T	celotne raztopljene snovi	q	v_1
						mS/cm	°C	g/kg _{raz}	ml/h	cm/dan
0	0	1952,2	0,000	0,000	7,86	5,941	21,2	-	-	-
1	155,74	1952,2	0,080	0,080	7,98	5,96	21,6	-	24,0	7,3
2	171,65	1952,2	0,088	0,168	7,98	5,7	21,3	6,560	52,3	16,0
3	498,79	1952,2	0,256	0,423	7,94	5,834	21,2	7,133	55,3	16,9
4	866,52	1952,2	0,444	0,867	8,03	5,889	21,2	4,854	50,1	15,3
5	2760	1952,2	1,414	2,281	7,92	2,928	20,9	3,640	133,0	40,7
6	5622	1952,2	2,880	5,161	7,74	2,505	21,3	2,989	68,4	20,9
7	9423	1952,2	4,827	9,988	7,93	2,275	21,4	2,446	54,3	16,6



Slika 5: Krivulja pH izlužkov vzorca »Žindre 6« iz TET



Slika 6: Krivulja elektroprevodnosti izlužkov vzorca Žindre 6 iz TET



Slika 7: Količina soli v izlužkih »Žlindre 6« iz TET

Iz rezultatov perkolacijskega testa lahko vidimo, da pH, elektroprevodnost in količina soli v izlužkih padajo z naraščanjem L/S količnika. Iz krivulje pH lahko razberemo naraščanje in upadanje pH-ja v prvih štirih izlužkih, v nadaljnjih frakcijah pa postopno upadanje vrednosti. Vrednost pH se giblje med 7,74 in 8,03.

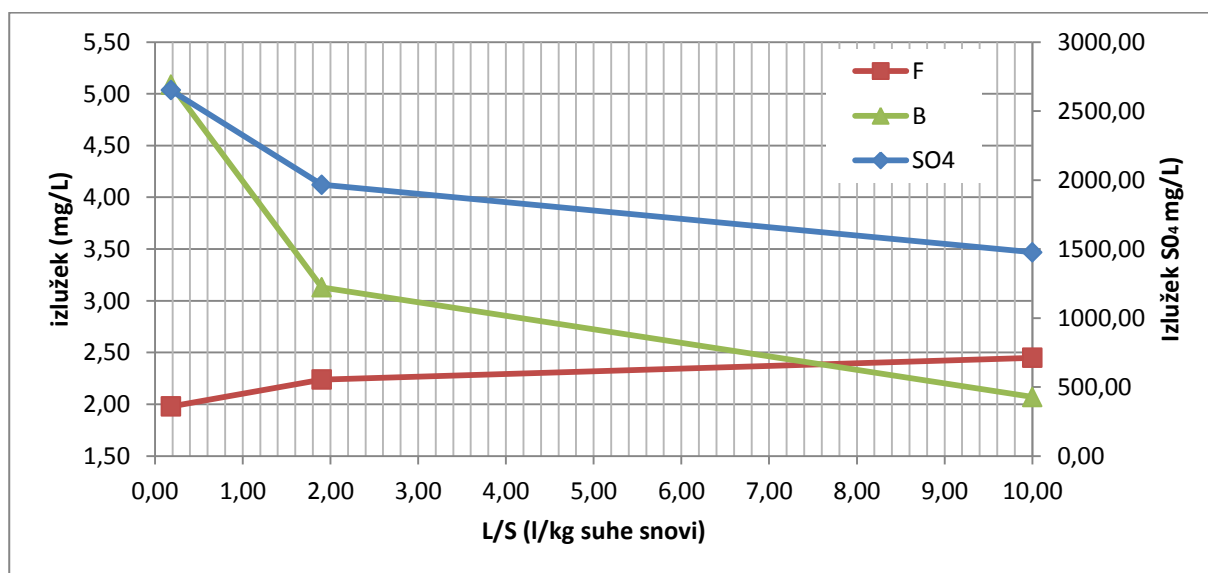
Pri vrednosti elektroprevodnosti prav tako pride do nihanja v začetnih štirih frakcijah, sledi pa sunkovit upad vrednosti pri petem izlužku in nato počasno upadanje elektroprevodnosti do končnega izlužka. Elektroprevodnost se giblje med 5,96 mS/cm in 2,275 mS/cm. Količina raztopljenih snovi izlužkih kaže, da se njihova količina zmanjšuje z L/S količnikom, pri čemer drugi merjeni frakciji naraste količina raztopljenih soli, saj se v začetku hitro izlužijo, nato njihova količina upade.

5.1.2 Rezultati kemične analize izlužkov žlindre perkolacijskega testa

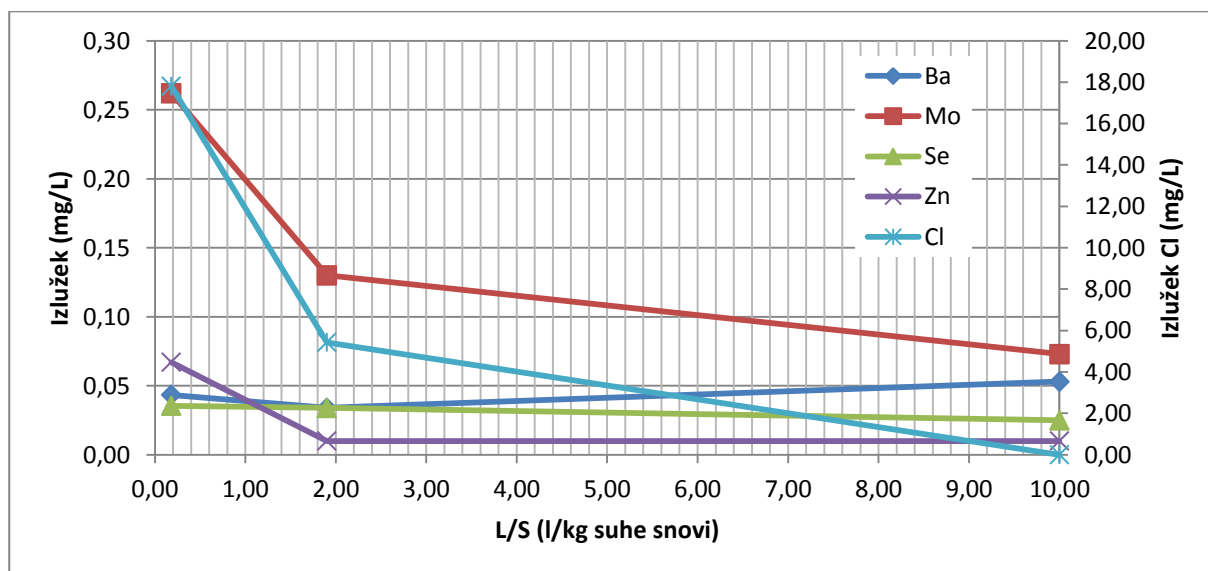
Rezultati kemične analize izlužkov žlindre zbranih frakcij 2,5 in 7 so pokazali obnašanje elementov v odvisnosti od L/S razmerja oziroma v odvisnosti od pretečene vode skozi vzorec pri perkolacijskem testu. Iz rezultatov je jasno razvidno, da se koncentracije večine elementov z naraščanjem L/S razmerja zmanjšujejo, z izjemo fluora, katerega koncentracija s povečevanjem količine pretečene vode skozi vzorec narašča. Rezultati so prikazani na Sliki 8 in 9.

Rezultati kemične analize izlužkov žlindre, zbranih s perkolacijskim testom, so pokazali, da je, glede na določila Uredbe za inertne odpadke, Ur. l. RS št. 61/2011 v izlužkih presežena mejna vrednost

sulfatov, selena in fluoridov in sicer je vrednost sulfatov v izlužku znašala 17000 mg/kg suhe snovi, vrednost selena 0.28 mg/kg suhe snovi in vrednost fluoridov 24 mg/kg suhe snovi. Prav tako so presežene mejne vrednosti, določene s francoskimi smernicami Setra (2011) za vse pogoje rabe alternativnih materialov pri gradnji cest. Rezultati in primerjava z mejnimi vrednostmi so prikazani na Preglednici 7.



Slika 8: Rezultati kemične analize izlužkov žlindre za sulfate, fluoride in bor



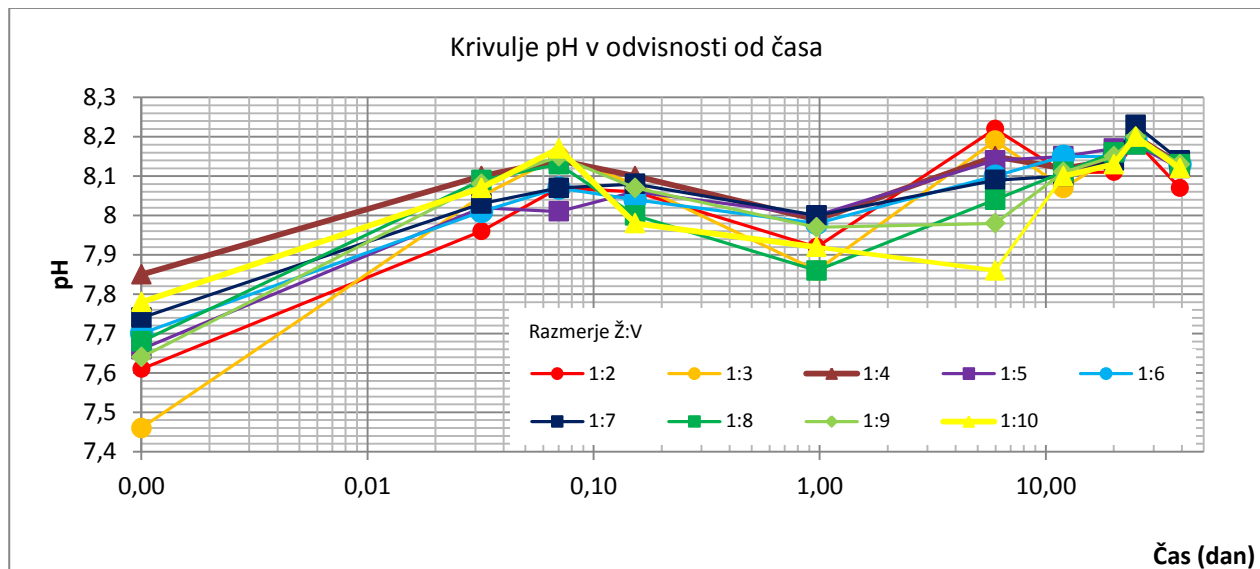
Slika 9: Rezultati kemične analize izlužkov žlindre za kloride, cink, selen, molibden in barij

Preglednica 7: Rezultati kemične analize izlužkov žlindre iz perkolacijskih testov

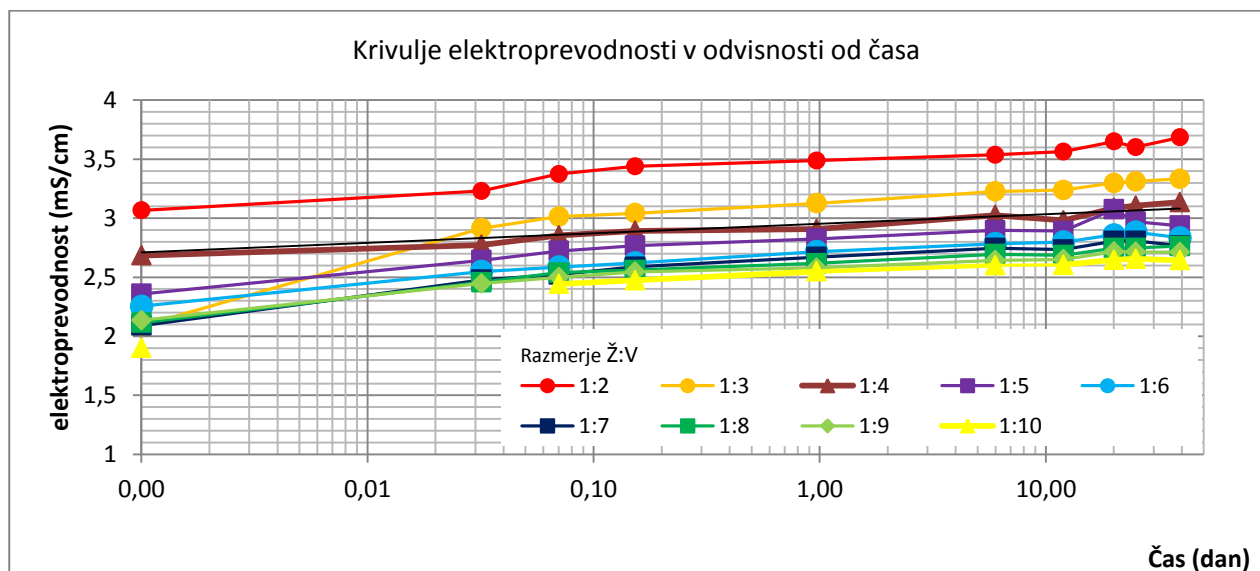
dostava			19.12.2012	MEJNA VREDNOST ****			
Parameter	izražen kot	enota	Žindra 6	Ur.l. RS št.61/2011	Francoske smernice Setra (2011)		
					Vse vrste uporabe		
IZLUŽEK ODPADKA PRIPRAVLJEN PO STANDARDU			SIST-TS CEN/TS 14405:2004	Inerten odpadek (mejna vrednost parametra izlužka L/S=10 l/kg	globlje plasti, nasipi ali bankine, površina obdelane kot vozišče, npr. asfalt, beton	pokriti inženirski nasipi ali bankine, min. 30 cm zemljine v pokrovu	
1	pH	-	7,63				
2	Električna prevodnost	-	mS/cm	2,59			
3	Arzen	As	mg/kg	0.01-0.05	0,5	0,8	0,5
4	Barij	Ba	mg/kg	0,48	20	56	28
5	Kadmij	Cd	mg/kg	0-0.01	0,04	0,32	0,16
6	Celotni krom	Cr	mg/kg	0-0.1	0,5	4	2
7	Baker	Cu	mg/kg	0-0.1	2	50	50
8	Živo srebro	Hg	mg/kg	0-0.01	0,01	0,08	0,04
9	Molibden	Mo	mg/kg	1,0	0,5	5,6	2,8
10	Nikelj	Ni	mg/kg	0.02-0.11	0,4	1,6	0,8
11	Svinec	Pb	mg/kg	0-0.1	0,5	0,8	0,5
12	Antimon	Sb	mg/kg	0-0.1	0,06	0,4	0,2
13	Selen	Se	mg/kg	0,28	0,1	0,5	0,4
14	Cink	Zn	mg/kg	0,16	4	50	50
15	Sulfati	SO ₄	mg/kg	17000	1000*	10000	5000
16	Kloridi	Cl	mg/kg	36	800	10000	5000
17	Fluoridi	F	mg/kg	24	10	60	30
18	Raztopljeni organski ogljik DOC	C	mg/kg s.s.		3%**		
19	Celotne raztopljene snovi		mg/kg s.s.		6***		
20	Fenolni indeks		mg/kg s.s.		1		
21	Berilij	Be	mg/kg s.s.		500		
22	Bor	B	mg/kg s.s.		6		
23	Kobalt	Co	mg/kg s.s.				
24	Srebro	Ag	mg/kg s.s.				
25	Vanadij	V	mg/kg s.s.				
26	Krom (VI)	Cr	mg/kg s.s.				
27	Telur	Te	mg/kg s.s.				
28	Talij	Tl	mg/kg s.s.				
29	Kositer	Sn	mg/kg s.s.				
30	Amonijev dušik	NH ₄ -N	mg/kg s.s.				
31	Nitritni dušik	NO ₂ -N	mg/kg s.s.				
32	Celotni cianid	CN	mg/kg s.s.				
33	Cianid prosti	CN	mg/kg s.s.				
34	Sulfid	S	mg/kg s.s.				
35	Celotni ogljikovodiki		mg/kg s.s.				
36	PAH		mg/kg s.s.				
37	AOX		mg/kg s.s.				

5.3 Rezultati merjenja pH in elektroprevodnosti na mešanich žlindre in vode

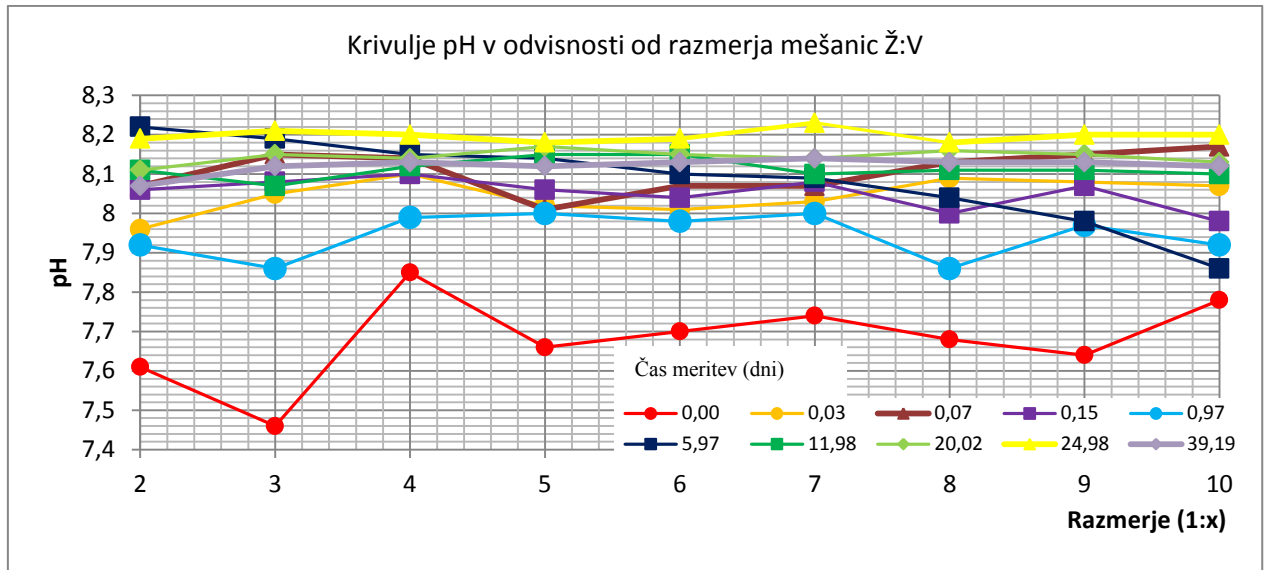
Z namenom, da bi podrobneje preučili dogajanje v zvezi z vrednostjo pH in elektroprevodnosti v žlindri, smo na desetih mešanich z različnimi razmerji med žlindro in destilirano vodo (1:2, 1:3, 1:4, 1:5, 1:6, 1:7, 1:8, 1:9, 1:10) merili pH, elektroprevodnost in temperaturo. Rezultati teh meritev so prikazani v Slikah 8, 9, 10 in 11.



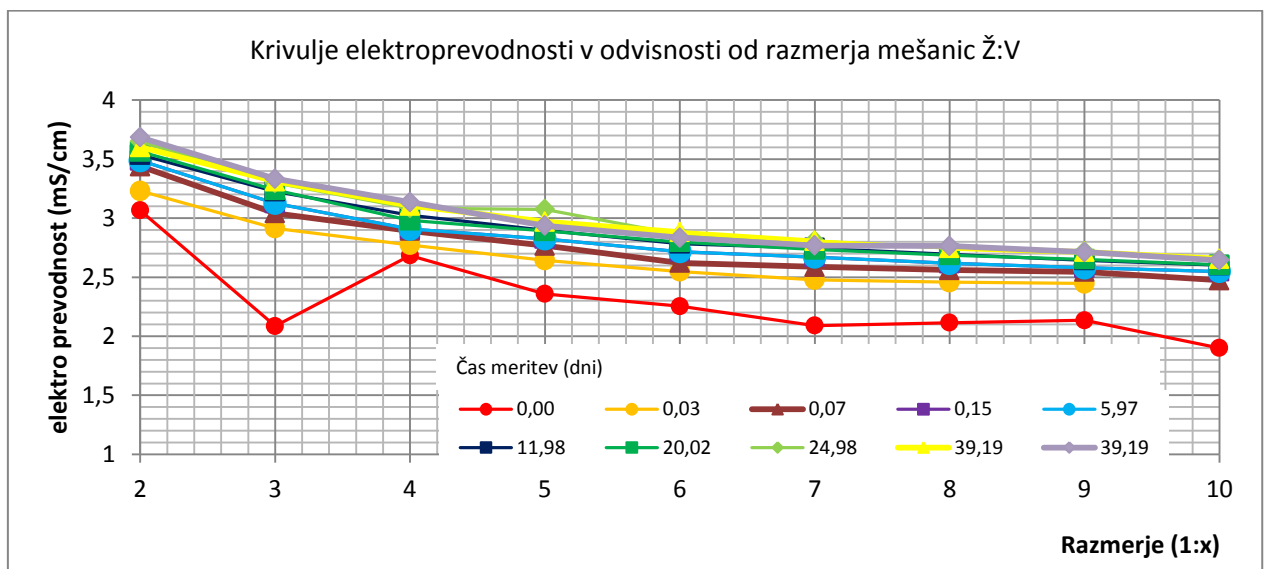
Slika 10: Krivulje pH v odvisnosti od časa za vzorec »Žlindra 4« iz TET



Slika 11: Krivulje elektroprevodnosti v odvisnosti od časa za vzorec »Žlindra 4« iz TET



Slika 12: Krivulje pH v odvisnosti od razmerja mešanic Ž:V na vzorcu »Žlindra 4« iz TET



Slika 13: Krivulje elektroprevodnosti v odvisnosti od razmerja mešanic Ž:V na vzorcu »Žlindra 4« iz TET

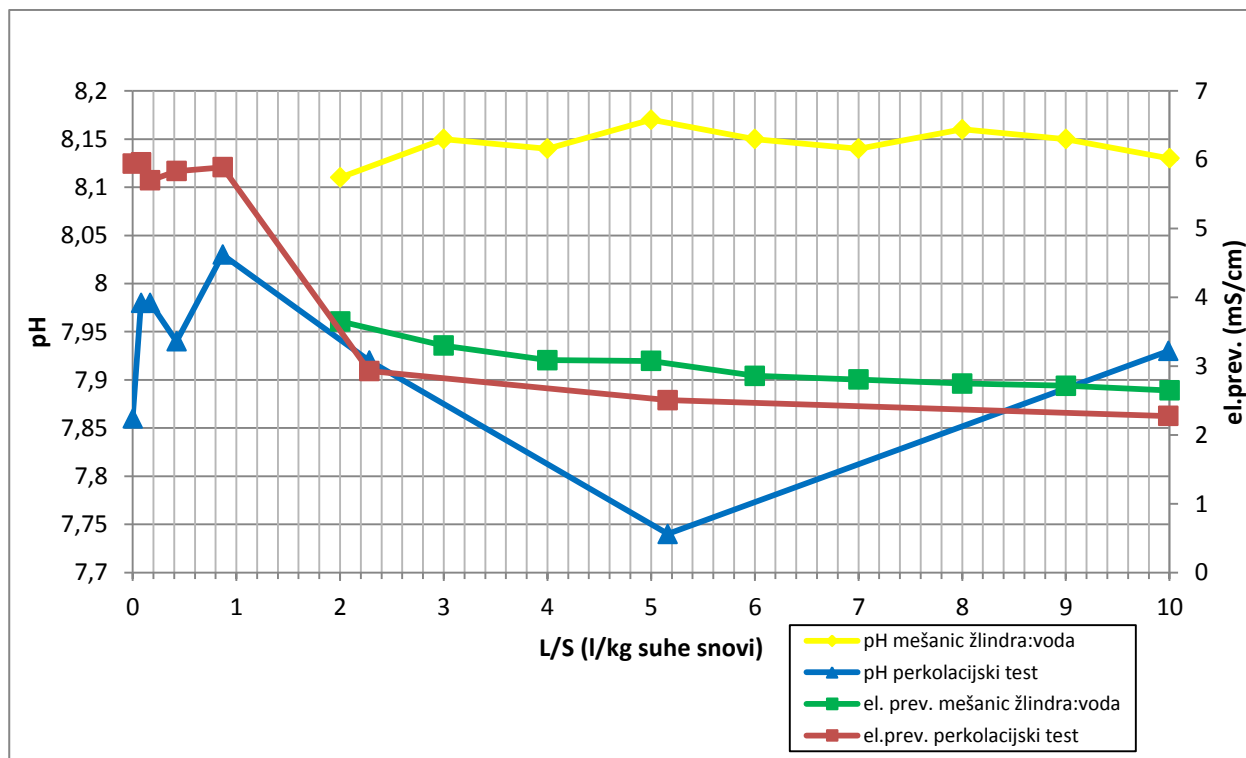
Iz grafov je razvidno, da pH upada z naraščanjem razmerja med žlindro in vodo. Še bolj jasno je razvidno upadanje elektroprevodnosti.

V odvisnosti od časa vidimo, da elektroprevodnost postopoma narašča in enako se dogaja z vrednostjo pH.

5.4 Primerjava rezultatov perkolacijskega testa in meritev mešanic žlindra:voda

S primerjavo rezultatov pH in elektroprevodnosti perkolacijskega testa ter meritev pH in elektroprevodnosti mešanic med žlindro in vodo smo ugotovili, da sta testa primerljiva. Vrednosti pH so se pri perkolacijskem testu s povečevanjem pretečene vode oziroma s povečevanjem L/S razmerja obnašale zelo podobno kot vrednosti pH mešanic med žlindro in vodo z naraščanjem razmerja med žlindro in vodo oziroma z naraščanjem vode v mešanicah.

Enako dogajanje smo ugotovili pri elektroprevodnosti, kjer je še bolj razvidna podobnost rezultatov dveh različnih poskusov. Tudi tu ugotavljamo, da se z naraščanjem količine pretečene vode pri perkolacijskem testu oziroma pri naraščanju količine vode v mešanicah enako manjša elektroprevodnost. Primerjava rezultatov obeh testov je podana na Sliki 14.



Slika 14: Primerjava rezultatov perkolacijskega testa in meritev na mešanicah žlindra:voda

6 RAZPRAVA REZULTATOV V LUČI STAREJŠIH RAZISKAV

V nadaljevanju bom rezultate perkolacijskega testa primerjala z rezultati starejših preiskav na žlindri, ki so bile opravljene na Katedri za mehaniko tal Fakultete za gradbeništvo in geodezijo UL (Petkovšek s sod., 2013). Preiskave so bile opravljene v okviru laboratorijskih preiskav lastnosti žlindre, ki nastane pri kurjenju premoga v TET z namenom pridobitve Slovenskega tehničnega soglasja (STS) za rabo v geotehničnih gradnjah. Preiskovali so EF pepel, žlindro ter kompozit iz žlindre in elektrofiltrskega pepela. Pri tem je bil največji delež žlindre v kompozitu z EF pepelom 70 mas.%. Preizkušali so mešanice s sestavo Žlindra : EF pepel = 50 mas. %:50 mas. % ter Žlindra : EF pepel = 70 mas. %:30 mas. %. Rezultat preiskav so kemijske analize izlužkov. Izlužki so bili pripravljani po standardu SIST EN 12457-4:2002 in po standardu SIST EN 1744-3:2002.

SIST EN 12457-4:2002 Karakterizacija odpadkov-Izluževanje-Preskus skladnosti za izluževanje granuliranih odpadkov in blata - 4. del: Enostopenjski šaržni preskus pri razmerju tekoče/trdno 10 l/kg za materiale z velikostjo delcev pod 10 mm (brez drobljenja ali z njim). Steklenico iz stekla ali polipropilena volumna 1 l napolnimo z vzorcem in destilirano vodo v razmerju 1:10. Steklenico nato vgradimo v stresalno napravo. Začnemo z izluževanjem, ki traja 24 ur. Ob koncu izluževanja izlužek prefiltriramo skozi membranski filter. Določimo pH in elektroprevodnost izlužka. Sledi kemična analiza izlužka. Ob izvedbi preiskave v Laboratoriju za mehaniko tal so vgradili svežo žlindro z velikostjo delcev pod 10 mm.

SIST EN 1744-3:2002 Preskusi kemičnih lastnosti agregatov-3.del: Priprava izlužkov agregatov. Gre za standard za pripravo izlužkov, pri katerem posodo za izluževanje napolnimo z vzorcem frakcije 0/32 mm in destilirano vodo v razmerju 1:10. Nato na posodo za izluževanje namestimo električno mešalo. Začnemo z izluževanjem, ki traja 24 ur. Ko končamo z izluževanjem, izlužek prefiltriramo skozi membranski filter in določimo pH in električno prevodnost. Sledi kemična analiza izlužka. Ob izvedbi preiskave v Laboratoriju za mehaniko tal so vgradili vzorec žlindre, star 95 dni, z velikostjo delcev manj kot 32 mm.

Rezultati kemičnih analiz v izlužkih žlindre so pokazali, da je glede na določbe Uredbe o odlaganju odpadkov na odlagališčih za inertne odpadke Ur. l. RS št. 61/2011 v izlužku presežena mejna vrednost sulfatov, fluoridov in selena. Prav tako je bila presežena mejna vrednost za sulfate, selen in fluoride, kot je določena s francoskimi smernicami Setra (2011). Za ostale elemente je žlindra izpolnjevala zahteve za inertni material in za uporabo v cestogradnji.

Rezultati kemičnih analiz obeh kompozitov iz mešanice žlindre in EF pepela so pokazali, da v izlužkih kompozitov z vsebnostjo do 70% žlindre v mešanici z EF pepelom ni presežena nobena od mejnih

vrednosti glede na določila Uredbe za inertne odpadke Ur. L. RS št. 61/2011. Enako velja za vrednosti komponent v izlužkih, ki ne presegajo mejnih vrednosti, kot so določene s francoskimi smernicami Setra (2011) za vse pogoje rabe alternativnih materialov pri gradnji cest.

V okviru diplomske naloge, kjer smo uporabili žlindro z velikostjo zrn manj kot 16 mm in vodo potiskali navzgor skozi zbit vzorec, smo ugotovili, da so prav tako presežene mejne vrednosti selena, sulfatov in fluoridov.

Rezultati (Petkovšek s sod., 2013) so prikazani na Preglednici 8.

Preglednica 8: Rezultati preiskav in mejne vrednosti (Petkovšek s sod., 2013)

dostava			12.4.2012	5.7.2012	MEJNA VREDNOST ****		
Parameter	izražen kot	enota	ob vzorčenju	Vz.Ž10 voda	Ur.l. RS št.61/2011	Francoske smernice Setra (2011)	
						Vse vrste uporabe	
IZLUŽEK ODPADKA PRIPRAVLJEN PO STANDARDU			SIST EN 12457-4	SIST EN 1744-3:2002	Inerten odpadek (mejna vrednost parametra izlužka L/S=10 l/kg)	Vse vrednosti mora izpolniti najmanj 80% vzorcev	Vse vrednosti je potrebno izpolniti s 100% vzorcev
1	pH	-	10,6	7,78			
2	Električna prevodnost	-	mS/cm	2,46	2,07		
3	Arzen	As	mg/kg	< 0.10	< 0.10	0,5	1,5
4	Barij	Ba	mg/kg	0,81	0,3	20	60
5	Kadmij	Cd	mg/kg	< 0.01	< 0.01	0,04	0,12
6	Celotni krom	Cr	mg/kg	< 0.05	< 0.10	0,5	1,5
7	Baker	Cu	mg/kg	< 0.05	< 0.05	2	6
8	Živo srebro	Hg	mg/kg	< 0.01	< 0.01	0,01	0,03
9	Molibden	Mo	mg/kg	0,31	< 0.10	0,5	1,5
10	Nikelj	Ni	mg/kg	< 0.05	< 0.05	0,4	1,2
11	Svinec	Pb	mg/kg	< 0.10	< 0.10	0,5	1,5
12	Antimon	Sb	mg/kg	< 0.10	< 0.05	0,06	0,18
13	Selen	Se	mg/kg	0,43	0,31	0,1	0,3
14	Cink	Zn	mg/kg	0,12	0,33	4	12
15	Sulfati	SO ₄	mg/kg	14860	12930	1000*	3000
16	Kloridi	Cl	mg/kg	111	120	800	2400
17	Fluoridi	F	mg/kg	9,3	15,9	10	30
18	Raztopljeni organski ogljik DOC	C	mg/kg s.s.	50,4		3%**	
19	Celotne raztopljene snovi		mg/kg s.s.	24000		6***	
20	Fenolni indeks		mg/kg s.s.	< 0.05		1	
21	Berilij	Be	mg/kg s.s.	< 0.01		500	
22	Bor	B	mg/kg s.s.	0,64		6	
23	Kobalt	Co	mg/kg s.s.	< 0.10			
24	Srebro	Ag	mg/kg s.s.	< 0.10			
25	Vanadij	V	mg/kg s.s.	0,47			
26	Krom (VI)	Cr	mg/kg s.s.	< 0.1			
27	Telur	Te	mg/kg s.s.	< 0.05			
28	Talij	Tl	mg/kg s.s.	< 0.05			
29	Kositer	Sn	mg/kg s.s.	< 0.10			
30	Amonijev dušik	NH ₄ -N	mg/kg s.s.	< 10.0			
31	Nitritni dušik	NO ₂ -N	mg/kg s.s.	1,55			
32	Celotni cianid	CN	mg/kg s.s.	< 0.1			
33	Cianid prosti	CN	mg/kg s.s.	< 0.2			
34	Sulfid	S	mg/kg s.s.	< 0.4			
35	Celotni ogljikovodiki		mg/kg s.s.	< 1.0			
36	PAH		mg/kg s.s.	< 0.02			
37	AOX		mg/kg s.s.	< 0.20			

*odpadki ustrezajo zahtevam za inertne, če izmerjena vrednost sulfatov v izlužku ne presega 6000 mg/kg suhe snovi

**če izmerjena vrednost parametra izlužka presega mejno vrednost

***vsebnost celotnih raztopljenih snovi se lahko uporablja namesto vsebnosti sulfatov in kloridov.

7 ZAKLJUČEK

Z raziskavo, na kateri temelji diplomska naloga, smo ugotovili, da žindra iz Termoelektrarne Trbovlje z okoljskega vidika ni primerna za uporabo v gradbeništvu. Z meritvijo pH in elektroprevodnosti izlužkov iz žindre smo ugotovili, da obe vrednosti z naraščanjem količine pretečene vode upadata. Kemične analize izlužkov, pridobljenih s perkolacijskim testom, so pokazale, da so vrednosti nekaterih elementov v izlužkih previsoke, saj presegajo mejne vrednosti iz določil slovenske zakonodaje in francoskih smernic Setra (2011).

Z vzporedno meritvijo vrednosti pH in elektroprevodnosti na devetih različnih mešanicah žindre in destilirane vode smo ugotovili, da vrednosti teh dveh parametrov lahko preverimo z zelo enostavnim preizkusom, za katerega ne potrebujemo nobene posebne opreme. Z dobljenimi rezultati si lažje ustvarimo sliko o tem, kaj se dogaja z drugimi komponentami v izlužku iz odpadka. Ugotovili smo, da z naraščanjem razmerja med žindro in vodo pH in elektroprevodnost upadata. Če te ugotovitve primerjamo z rezultati perkolacijskega testa, še enkrat zaključimo, da oba parametra upadata z naraščanjem razmerja med žindro in vodo v raztopinah oziroma v primeru perkolacijskega testa, z naraščanjem pretečene vode skozi žindro.

VIRI

Cappuyns, V., Swennen, R. 2008. The application of pH_{stat} leaching tests to assess the pH-dependent release of trace metals from soils, sediments and waste materials. Journal of hazardous materials 158 (1): str. 185-195.

Izluževanje. 2013.

<http://sl.wikipedia.org/wiki/Ekstrakcija> (Pridobljeno 1. 04. 2014.)

Petkovšek A., Smolar, J., Majes, B. 2013. Tehnična mapa za kompozite iz mešanice žlindre in EF pepela iz TE Trbovlje. UL FGG, E-03-13.

Proizvodni proces TET. 2009.

<http://www.tet.si/si/elektricna-energija/proizvodni-proces> (Pridobljeno 11. 03. 2014.)

SETRA, 2011,2012: Acceptability of Alternative Materials in Road Construction, Ministry of ecology, sustainable development, transport and housing, Republika Francija.

SIST-TS CEN ISO/TS 17892-1:2004/AC:2010. Geotehnično preiskovanje in preskušanje - Laboratorijsko preskušanje zemljin - 1. del: Ugotavljanje vlažnosti (ISO/TS 17892-1:2004) - Geotechnical investigation and testing - Laboratory testing of soil - Part 1: Determination of water content.

SIST-TS CEN ISO/TS 17892-3:2004. Geotehnično preiskovanje in preskušanje – Laboratorijsko preskušanje zemljin – 3. del: Ugotavljanje gostote zrn – Metoda s piknometrom (ISO/TS 17892-3:2004) - Geotechnical investigation and testing - Laboratory testing of soil - Part 3: Determination of particle density - Pycnometer method.

SIST-TS CEN ISO/TS 17892-4:2004/AC:2010. Geotehnično preiskovanje in preskušanje - Laboratorijsko preskušanje zemljin - 4. del: Ugotavljanje zrnastostne sestave (ISO/TS 17892-4:2004) - Geotechnical investigation and testing - Laboratory testing of soil - Part 4: Determination of particle size distribution.

SIST-TS CEN ISO/TS 17892-5:2004/AC:2010. Geotehnično preiskovanje in preskušanje - Laboratorijsko preskušanje zemljin - 5. del: Edometriški preskus s postopnim obremenjevanjem (ISO/TS 17892-5:2004) - Geotechnical investigation and testing - Laboratory testing of soil - Part 5: Incremental loading oedometer test.

SIST-TS CEN ISO/TS 17892-11:2004/AC:2010. Geotehnično preiskovanje in preskušanje - Laboratorijsko preskušanje zemljin - 11. del: Ugotavljanje prepustnosti s konstantnim in spremenljivim hidravličnim padcem (ISO/TS 17892-11:2004) - Geotechnical investigation and testing - Laboratory testing of soil - Part 11: Determination of permeability by constant and falling head.

SIST-TS CEN/TS 14405:2004. Karakterizacija odpadkov - Izluževalni preskusi - Preskus v koloni s tokom navzgor (pri določenih pogojih) - Characterization of waste - Leaching behaviour tests - Up-flow percolation test (under specified conditions).

SIST EN 12457-4:2004 Karakterizacija odpadkov-Izluževanje- Preizkus skladnosti za izluževanje granuliranih odpadkov in blata - 4. del: Enostopenjski šaržni preskus pri razmerju tekoče/trdno 10 l/kg za materiale z velikostjo delcev pod 10 mm (brez drobljenja ali z njim) - Characterisation of waste - Leaching - Compliance test for leaching of granular waste materials and sludges - Part 4: One stage batch test at a liquid to solid ratio of 10 l/kg for materials with particle size below 10 mm (without or with size reduction)

SIST EN 1744-3:2002 Preskusi kemičnih lastnosti agregatov-3.del: Priprava izlužkov agregatov.

Slovar slovenskega knjižnega jezika. 2005. Izdala Slovenska akademija znanosti in umetnosti in Znanstvenoraziskovalni center Slovenske akademije znanosti in umetnosti, Inštitut za slovenski jezik Frana Ramovša. Ljubljana, DZS.

Uredba o odpadkih. Ur.l. št. 103/2011.

<http://www.uradni-list.si/1/content?id=106484#!/Uredba-o-odpadkih> (Pridobljeno 10. 12. 2013.)

Uredba o odlaganju odpadkov na odlagališčih. Ur. l. RS, 61/2011.

<http://www.uradni-list.si/1/objava.jsp?urlid=201161&stevilka=2892> (Pridobljeno 10. 12. 2013.)

Zakon o varstvu okolja. Ur. l. RS št. 39/06.

<https://www.uradni-list.si/1/content?id=72890> (Pridobljeno 10. 12. 2013.)