

Zbornik

**13. strokovnega posvetovanja
z mednarodno udeležbo**

**“GOSPODARJENJE
Z ODPADKI - GzO’12”**

Glavni urednik:
dr. Jože KORTNIK

Brdo pri Kranju,
30. avgust 2012

Spoštovane udeleženke in udeleženci,

letos organiziramo že trinajsto strokovno posvetovanje z mednarodno udeležbo „Gospodarjenje z odpadki – GzO'12”, ter nadaljujemo tradicijo srečanj domačih in tujih strokovnjakov s področja gospodarjenja z odpadki. Ker se trenutna gospodarska kriza še pogloblja in izdanja v vseh porah naše družbe, se še bolj zavedamo nujnosti povezovanja, širšega sodelovanja in pomembnosti izmenjave izkušenj strokovnjakov različnih strok na tako zahtevnem interdisciplinarnem področju, kot je gospodarjenje z odpadki. Upam, da boste uspeli posvetovanje GzO'12 izkoristili v ta namen.

Na strokovnem posvetovanju z mednarodno udeležbo „Gospodarjenje z odpadki – GzO'12” bo po izboru strokovnega odbora GzO svoje prispevke predstavilo 12 domačih in tujih predavateljev, strokovnjakov na področju gospodarjenja z odpadki. Kot že v preteklih letih, nam bodo predstavili novosti, uspešne regijske pristope reševanja problematike ravnanja z odpadki v Sloveniji, primere dobre prakse doma in v svetu, rezultate raziskovalnih in razvojnih projektov na področju ravnanja z odpadki. Za izmenjavo idej, mnenj in izkušenj glede stanja in možnosti nadaljnjega razvoja na področju gospodarjenja z odpadki bodo potekale tri tehnične sekcije ter strokovno voden ogled odlagališča nenevarnih odpadkov Barje ter bodočega regijskega centra za ravnanje z odpadki RCERO Ljubljana. Zbornik člankov strokovnega posvetovanja GzO'12 je po številu člankov sicer nekoliko skromnejši kot predhodni, so pa članki strokovno kvalitetni ter zajemajo številne rešitve na danes aktualno problematiko. Zbornik obsega 12 prispevkov, od tega sta 2 prispevka iz tujine (Italije in Finske).

Za pokroviteljstvo nad 12. strokovnim posvetovanjem z mednarodno udeležbo „Gospodarjenje z odpadki – GzO'12” se želim zahvaliti Univerzi v Ljubljani, Naravoslovnotehniški fakulteti, Oddelku za geotehnologijo in rudarstvo, društvu SRDIT in pokrovitelju Ministrstvu za kmetijstvo in okolje.

V imenu organizacijskega odbora se še posebej zahvaljujem dolgoletnemu zlatemu sponzorju, podjetju RIKO d.o.o., IRGO ter bronastim sponzorjem podjetju KOSTAK, komunalno stavbno podjetje d.d., podjetju ECONO d.o.o. in podjetju Saubermacher Slovenija d.o.o.. Za organizacijo in izvedbo strokovno vodene ekskurzije na odlagališče nenevarnih odpadkov Barje ter predstavitev bodočega regijskega centra za ravnanje z odpadki RCERO Ljubljana dolgujem zahvalo podjetju Snaga Javno podjetje d.o.o., Ljubljana.

Organizacija in izvedba uspešnega strokovnega posvetovanja z mednarodno udeležbo zahteva predano in timsko delo številnih posameznikov. Zahvalju-

jem se članom organizacijskega in strokovnega odbora GzO, ki so pripomogli izvedbi strokovnega posvetovanja GzO'12.

Zahvalo za uspešno strokovno posvetovanje dolgujem tudi vsem avtorjem člankov, ki ste pripravili in boste predstavili vaše strokovne prispevke in vsem Vam, ki boste sodelovali z vprašanji, mnenji in pripombami v različnih strokovnih razpravah.

SREČNO!

doc.dr. Jože KORTNIK
predsednik organizacijskega
in strokovnega odbora GzO



KAZALO / INDEX

	doc.dr. Jože KORTNIK	
ID 09	Ravnanje z odsluženimi fotonapetostnimi (FN) moduli/ Solar photovoltaic (PV) modules treatment and recycling	1
	Ruggero FONTANA, Daniele FATUTTO, Cristina del PICCOLO	
ID 01	Evaporation and membrane technologies for landfill treatment – Case study: Cogelix in France	15
	Jarmo KIVI, prof.dr. Kauko KUJALA, dr. Jouko SAARELA	
ID 10	Some points of the tailing dam safety questions in Finland and Sweden	23
	dr. Marinka VOVK, Marina PEC	
ID 03	IKT kot inovacijski pristop za minimizacijo odpadkov/ IKT as inovative approach to the waste minimization	34
	dr. Marko LIKON, dr. Jouko SAARELA	
ID 11	LCA analiza odpadkov iz papirne industrije – izvedbeni/ praktični primer/ LCA of waste from the paper industry - implementation/ practical example	49
	Alen BALAŽIC	
ID 12	Preventivni in higienski vidik ravnanja z biološko razgrad- ljivimi odpadki/ Preventive and hygienic aspects of biodegradable waste treatment	61
	mag. Primož PAVŠIČ, Breda OGOREVC, doc.dr. Ana MLADENVIČ, dr. Sabina KRAMAR, prof.dr. Peter BUKOVEC	
ID 02	Stabiliziranje komunalnega mulja s pepelom biomase v VIPAP d.d./ Sewage sludge stabilization by biomass ash at VIPAP d.d.	72
	mag. Lidija ČEPON, mag. Mitja PRAZNIK, Breda POGLAJEN	
ID 06	Spremljanje vplivov odlagališča nenevarnih odpadkov Barje na okolje/ Monitor the effects of non-dangerous waste landfill Barje Ljubljana on the environment	81

	Bojan PARADIŽ, Žiga ŠVEGELJ, mag. Mitja PRAZNIK, mag. Lidija ČEPON, Franc HRIBAR Zmanjšanje vplivov odlagališča nenevarnih odpadkov Barje na okolje/ The reduction of environmental impacts from non- hazardous waste landfill Barje	91
ID 04		
	Polona PRIMOŽIČ Čiščenje izcednih vod na odlagališču nenevarnih odpadkov Barje/ Leachate treatment at the Barje non-hazardous waste landfill	107
ID 05		
	Andrej KOS, doc.dr. Jože KORTNIK Ravnanje s tehnološkimi vodami predelave naravnega kamna – apnenca/ Treatment of process waste waters after natural stone – limestone processing	119
ID 08		
	Srđan POPOVIČ, mag. Mitja PRAZNIK, mag. Marta MALUS, Petar ŽEŽELJ Objekti za predelavo odpadkov v sklopu regijskega centra za ravnanje z odpadki Ljubljana – predstavitev projekta in aktivnosti v pripravljalni fazi projekta/ Waste treatment facilities – Ljubljana, presentation of the project and activities in the preparation phase of the project	132
ID 07		



ID 09

Ravnanje z odsluženimi fotonapetostnimi (FN) moduli

Solar photovoltaic (PV) modules treatment and recycling

doc.dr. Jože KORTNIK¹

¹ Univerza v Ljubljani, Naravoslovnotehniška fakulteta, Aškerčeva 12,
1000 Ljubljana
joze.kortnik@guest.arnes.si

Povzetek

Velika rast števila sončnih elektrarn v svetu in doma je po eni strani razveseljiva, po drugi strani pa prinaša s seboj tudi vprašanje, kako ravnati s sončno elektrarno po preteku njene življenjske dobe. Glavni pomislek se nanaša predvsem na odslužene fotonapetostne (FN) module. Sončne elektrarne imajo sicer predvideno življenjsko dobo okoli 25 let, se pa danes že pojavljajo prvi izrabljeni fotonapetostni (FN) moduli, v večjem obsegu pa jih lahko pričakujemo že čez 10 do 15 let. V EU letno zberejo okoli 800 t odsluženih ali poškodovanih fotonapetostnih (FN) modulov, do leta 2030 naj bi jih zbrali 220.000 t. V članku je prikazano stanje na področju fotonapetostne industrije v svetu in doma, osnove in razvoj sončnih celic in nekatere tehnologije za ustrezno reciklažo fotonapetostnih (FN) modulov.

Ključne besede: fotonapetostni moduli (FN moduli), odpadki, recikliranje.

Abstract

The large growth of solar power plants in the world and home is very pleasing on the one hand, on the other hand, however, brings also some questions about dealing with solar power plant at the end of its lifespan. The main concern relates primarily on used photovoltaic (PV) modules. Solar power

stations, have provided a lifetime of about 25 years, but today already appearing first spent photovoltaic (PV) modules on a larger scale, we can expect it already over 10 to 15 years. In the EU a year collected about 800 t used or damaged photovoltaic (PV) modules, up to the year 2030 would have collected 220,000 t. This article provides information about the situation in the field of photovoltaic industry in the world and at home, gives some base information about solar cells and the development of solar cells, and some of the technology for the recycling of photovoltaic (PV) modules.

Key words: photovoltaic module (PV), waste, recycle.

1. UVOD

Sonce, kot najbolj obetajoč in zanesljiv vir energije se lahko danes izkoriščanja na različne načine in za različne namene. Planet Zemlja sprejme od Sonca vsako uro več energije, kot jo človeštvo porabi v enem letu, zato je sončno energijo kot »neomejen« vir energije smiselno izkoriščati. Začetki pretvorbe sončne energije v električno energijo z fotonapetnostnimi moduli (FN moduli), znanimi tudi kot *sončne celice*, *solarni paneli*, *fotovoltaični moduli*, segajo v leto 1958, ko so jih najprej pričeli uporabljati v vesolju za oskrbo satelitov z električno energijo in kasneje tudi orbitalnih postaj. Fotonapetostni moduli so v širši uporabi dostopni šele zadnjih 20 let. Dandanes predstavljajo priročen in predvsem okolju prijazen način pridobivanja električne energije za relativno sprejemljivo ceno, vendar le v primeru ko ne upoštevamo stroškov njihove izdelave in razgradnje oz. reciklaže. Fotonapetostni moduli so danes zaradi široke uporabnosti praktično prisotni že povsod, na trgu pa so razširjeni in privlačni tudi zaradi svojega »eko« statusa. Vseeno pa je vprašljiv njihov vpliv na okolje ob sami izdelavi kakor tudi kasneje pri njihovi reciklaži.

Stanje na EU trgu FN modulov

Trg fotonapetostnih modulov je dinamičen z nenehnim naraščanjem konkurence, s stalnim nihanjem cen in hitrim nadaljnjim razvojem. Do leta 2008 so pri izdelavi sončnih celic imeli vodilno vlogo Japonci, Nemci in Američani. Po letu 2008 je vodilna proizvajalka sončnih celic postala Kitajska, ki ima danes skupaj s Taiwanom kar 49% svetovni delež. Kar 95% na Kitajskem izdelanih sončnih celic je namenjeno izvozu, pretežno v Nemčijo, ki je tudi vodilna država EU pri njihovi uporabi s skoraj 2/3 deležem vseh v EU instaliranih FN modulov v letu 2009 (15.861,204 MW). Sledijo ji Španija, Italija, Češka, Belgija, Francija in Portugalska.

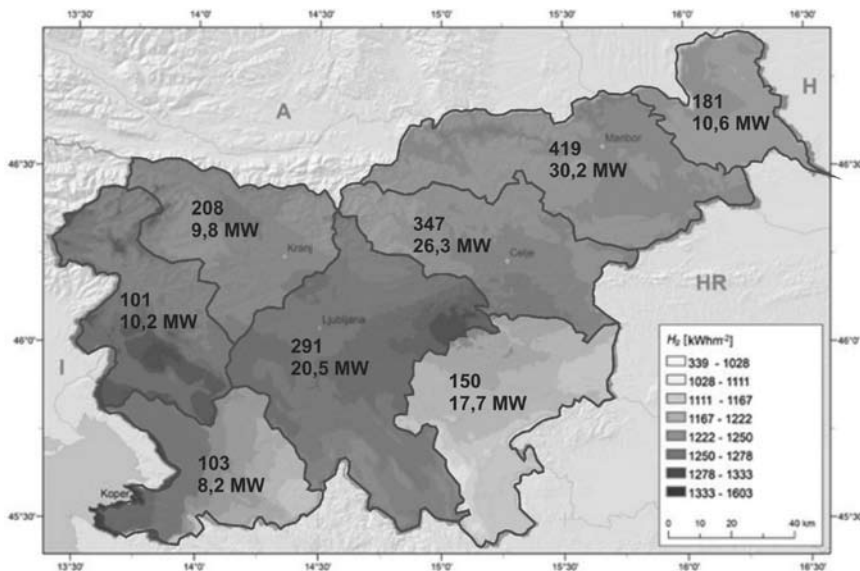
Tabela 1.: Delež fotonapetostnih modulov [MW] v državah Evropske Unije leta 2008 in 2009; Vir: [1].

	2008			2009		
	v omrežje	samostojno	skupaj	v omrežje	samostojno	skupaj
Nemčija	5.979,000	40,000	6.019,000	9.785,300	45,000	9.830,300
Španija	3.402,235	18,836	3.421,071	3.500,000	20,082	3.520,082
Italija	445,000	13,300	458,300	1.019,000	13,400	1.032,400
Češka	54,294	0,380	54,674	465,321	0,580	465,901
Belgija	70,870	0,053	70,923	362,970	0,053	363,023
Francija	82,990	20,912	103,902	268,230	21,119	289,349
Portugalska	65,011	2,941	67,952	99,164	3,041	102,205
Nizozemska	52,000	5,200	57,200	58,433	5,200	63,633
Grčija	12,000	6,500	18,500	48,300	6,700	55,000
Avstrija	29,030	3,357	32,387	34,130	3,357	37,487
Velika Britanija	20,920	1,590	22,510	30,920	1,690	32,610
Luksemburg	24,562	0,000	24,562	26,322	0,000	26,322
Švedska	3,079	4,831	7,910	3,579	5,131	8,710
Slovenija	1,906	0,100	2,006	8,302	0,100	8,402
Finska	0,170	5,479	5,649	0,170	7,479	7,649
Bolgarija	1,375	0,032	1,407	5,300	0,400	5,700
Danska	2,825	0,440	3,265	4,025	0,540	4,565
Ciper	1,586	0,571	2,157	2,695	0,633	3,328
Malta	0,238	0,000	0,238	1,527	0,000	1,527
Poljska	0,179	0,832	1,011	0,179	0,832	1,011
Madžarska	0,270	0,180	0,450	0,290	0,360	0,650
Romunija	0,245	0,205	0,450	0,365	0,270	0,635
Irska	0,100	0,300	0,400	0,100	0,300	0,400
Slovaška	0,046	0,020	0,066	0,176	0,020	0,196
Estonija	0,000	0,012	0,012	0,000	0,060	0,060
Litva	0,000	0,055	0,055	0,000	0,055	0,055
Latvija	0,000	0,004	0,004	0,000	0,004	0,004
Skupaj EU27	10.249,931	126,130	10.376,061	15.724,798	136,406	15.861,204

Stanje in možnost uporabe FN modulov v Sloveniji

V Sloveniji je povprečno sončno obsevanje na kvadratni meter horizontalne površine večje od 1.000 kWh/m². Za obdobje 1993-2003 je bila izdelana karta globalnega letnega obsevanja na horizontalno površino iz katere je razvidno desetletno povprečje letnega globalnega obsevanja ki znaša od 1.053 do 1.389 kWh/m² (slika 1), polovica Slovenije prejme med 1153 in 1261 kWh/m². Kljub temu, da povprečno obsevanje poljubne nesenčene lokacije v Sloveniji ne odstopa veliko od državnega povprečja, lahko Slovenijo razdelimo na posamezna področja glede količine obsevanja. V osrednji Sloveniji znaša povprečno sončno obsevanje na horizontalno površino okoli 1195 kWh/m²,

v severovzhodni Sloveniji in severni Dolenjski okoli 1236 kWh/m^2 , na Primorskem in Goriškem pa presega vrednost 1300 kWh/m^2 . Večje vrednosti obsevanja, preko 1250 kWh/m^2 , lahko opazimo še v Posavskem hribovju in na Kozjanskem (Kastelec, 2007).



Slika 1: Število in moč sončnih elektrarn v obratovanju (stanje jul.2012) s karto globalnega letnega obsevanja na horizontalno površino (PV portal, 2012, Kastelec, 2007).

Zadnji pregled geografske porazdelitve in moč instaliranih sončnih elektrarn v Sloveniji je bil v juliju 2012 objavljen na spletnem PV portalu, ki ga urejajo v Laboratoriju za fotovoltaiiko in optoelektroniko na Fakulteti za elektrotehniko Univerze v Ljubljani (slika 1. in tabela 2.).

Tabela 2.: Število in moč nameščenih sončnih elektrarn (vir: PV portal) z oceno števila FN modulov.

Pokrajina	Število sončnih elektrarn	Moč sončnih elektrarn MW	Število modulov*
Podravska	419 (23,3 %)	30,2 (22,6 %)	120.800
Savinjska	347 (19,3 %)	26,3 (19,7 %)	105.200
Osrednjeslovenska	291 (16,2 %)	20,5 (15,4 %)	82.000
Dolenjska	150 (8,3 %)	17,7 (13,3 %)	70.800
Pomurska	181 (10,1 %)	10,6 (7,9 %)	42.400
Goriška	101 (5,6 %)	10,2 (7,6 %)	40.800
Gorenjska	208 (11,5 %)	9,8 (7,3 %)	39.200
Primorska	103 (5,7 %)	8,2 (6,2 %)	32.800
Skupaj	1.800 (100%)	133,5 (100 %)	534.000

* ocena števila modulov (1 FN modul 250W)

Iz Tabele 2. in slike 1. je razvidno, da ima Primorska zaradi najvišje stopnje sončnega obsevanja najboljše pogoje za obratovanje sončnih elektrarn, kljub temu pa na širšem koprskem in novogoriškem območju obratuje le 11,3 % sončnih elektrarn, ki predstavljajo skupno 13,8 % moči vseh FN modulov v Sloveniji. Največ sončnih elektrarn obratuje na mariborskem in celjskem območju in sicer 23,3 oz. 19,3 %. Njihova moč predstavlja 22,6 oz. 19,7 % moči vseh sončnih elektrarn v Sloveniji. Na osnovi zadnjega podatka o skupni moči instaliranih FN modulov in ob predpostavki, da znaša povprečna vršna moč FN modula $250W_p$ je bilo ocenjeno skupno število v Sloveniji uporabljenih modulov, ki znaša okoli 534.000 FN modulov katerih skupna teža znaša okoli 9.879 t. Med FN moduli prevladujejo monokristalni in polikristalni silicijevi moduli (m-Si in P-Si).

2. OSNOVE IN DELOVANJE

Izraz »fotovoltaika« izhaja iz grške besede $\phi\omega\varsigma$ (*phōs*), ki pomeni »svetlobo« in besede »Volt«, ki je enota za električno silo in izhaja iz priimka italijanskega fizika Alessandra Volta, izumitelja baterije. Izraz »foto-voltaika« je na angleško govorečem področju v uporablja že od leta 1849. Fotovoltaika je veda, ki preučuje pretvorbo svetlobne energije, natančneje energije fotonov, v električno energijo. Pojem fotovoltaična pretvorba pomeni neposredno pretvorbo svetlobne energije (direktna in difuzna) sončnega obsevanja v električno energijo.

Pretvorba sončne energije v električno poteka pretežno v sončnih celicah. S povezovanjem (praviloma zaporedno) sončnih celic dobimo sončne module. Z združevanjem modulov in uporabo nekaterih drugih elementov (npr. akumulatorjev, regulatorjev polnjenja in razsmernikov) lahko na katerikoli lokaciji z zadostno količino sončnega obsevanja izdelamo poljubno močan sistem za oskrbo z električno energijo oz. t.i. sončno elektrarno.

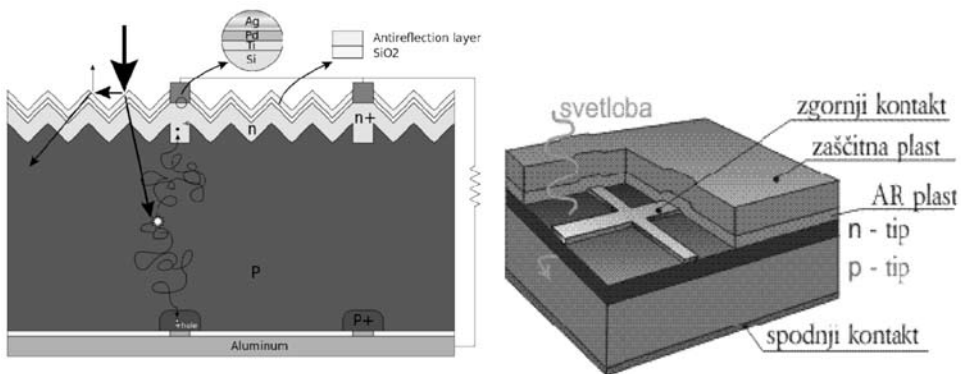
Sončna celica

Sončna celica je osnovni element, ki fotone oz. sončno energijo s pomočjo elektronov pretvori v električno energijo. Sončna celica je sestavljena iz dveh tankih plasti P- in N-tipa silicija (dva osnovna tipa polprevodnikov - N in P tip). N- tip dobimo tako, da v čisti silicijev kristal dodamo primesi (razmerje 1:106) 5-valentnih elementov (As, P ali Sb). P- tipa pa tako, da v čisti silicijev kristal dodamo primesi 3-valentnih elementov – najpogosteje indija. Skupna debelina sončne celice je približno 300 μm . Pri obsevanju s sončno svetlobo - fotoni, se začnejo prevodniški elektroni iz vrzeli gibati in ob meji med plastema prehajajo tudi na drugo stran. Pred sončnim obsevanjem je bila snov nevtralna, nato pa se zaradi gibljivih nabojev, ki so odsotni, naelektrena in

ozek pas ob meji pa je na strani P negativen na strani N pozitiven. Med njima nastane električno polje ter s tem generator enosmerne električne napetosti (**PV portal, 2012**).

Za delovanje fotonapetostnih (FN) celic je potrebno zagotoviti tri osnovne pogoje:

- (1) absorpcijo svetlobe, nastanek para elektron-vrzel,
- (2) ločitev različnih vrst nosilcev naboja,
- (3) ločen izhod nosilcev naboja na zunanji tokovodnik.



Slika 2: Zgradba in princip delovanja kristalne silicijeve sončne celice [9].

Izkoristek sončnih celic je omejen s številnimi dejavniki. Energija fotonov z naraščanjem valovne dolžine svetlobe pada, največja valovna dolžina, pri kateri imajo fotoni še dovolj veliko energijo za silicij znaša $1.15 \mu\text{m}$. V primeru večje valovne dolžine sevanje povzroča le še segrevanje sončnih celic. En foton lahko povzroči nastanek le enega para elektron-vrzel, zato se tudi pri manjših valovnih dolžinah od mejne pojavlja višek fotonov, ki celico prav tako le segrevajo. Zgornja meja izkoristka svetlobne energije v kristalni silicijeви sončni celici znaša okoli 23 %, ki je lahko v primeru uporabe drugih materialov tudi nekoliko višji vendar ne več kot 30 % zaradi širine spektra svetlobe, katere vpadno sevanje sončna celica še lahko pretvori v električno energijo. Lastne izgube sončne celice nastopajo zaradi kontaktne mreže (lastna zastrtost), notranje upornosti celice in zaradi refleksije sončnega sevanja na površini celice.

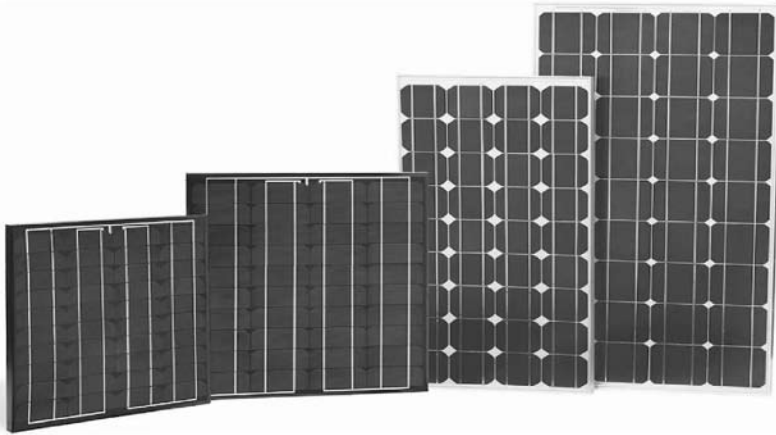
V primeru polne sončne obsevanosti (cca. 1.000 W/m^2) običajna monokristalna silicijeva sončna celica površine 100 cm^2 proizvede $1,5 \text{ W}$ moči pri $0,5 \text{ V}$ enosmerne napetosti in tok 3 A . Izhodna moč sončne celice je praviloma sorazmerna s sončno obsevanostjo. Pomembna lastnost sončne celice je v ohranjanju konstantne električne napetosti ne glede na sončno obsevanje. Nasprotno električni tok sorazmerno narašča z naraščanjem osvetlitve sončne celice. Izhodna moč in izkoristek sončne celice se povečujeta, bolj kot je sončna celica usmerjena pravokotno proti soncu ali pa z dodajanjem koncentradorjev svetlobe oz. lečami. V primeru takšnega povečevanja izhodne moči sončnih celic pa se pojavljajo nekatere omejitve. Sončne celice se v tem primeru bolj ogrejejo, z gretjem pa pada izhodna napetost, posledično pa tudi moč sončne celice, zato je potrebno sončne celice hladiti.

Vrste sončnih celic

Sončne celice so izdelane iz različnih materialov, od katerih so nekateri tudi bolj redki v naravi, nekateri pa tudi okolju škodljivi in zdravju nevarne (toksične). Glede na različne uporabljene materiale poznamo tudi različne vrste oz. tehnologije sončnih celic, ki jih glede na časovno stopnjo razvoja ločimo na štiri generacije:

- Prva generacija; monokristalne silicijeve (c-Si),
- Druga generacija:
 - o amorfne silicijeve (a-Si),
 - o polikristalne silicijeve (poly-Si),
 - o kadmij-telurjeve (CdTe) in
 - o baker-indij-galij selinid (CIGS),
- Tretja generacija:
 - o nanokristalne sončne celice
 - o fotoelektrokemijske (PEC) celice - Grätzelove celice
 - o polimerne sončne celice in
 - o s premazom (DSSC) sintetizirane.
- Četrta generacija:
 - o Hibridne – anorganske sončne celice s polimerno matrico.

V praksi se danes najbolj razširjene z najvišjim izkoristkom FN modulov in cenovno dostopne sončne celice prve in druge generacije in sicer so to kristalne silicijeve sončne celice (monokristalne, polikristalne in amorfne), ki jim bom zato v nadaljevanju posvetil nekoliko večjo pozornosti. Kristalne silicijeve sončne celice so največkrat v obliki rezin, debeline $0,3 \text{ mm}$, rezanih iz silicijevega ingota premera 10 do 15 cm , in generirajo okoli 35 mA toka na cm^2 (skupaj do 2 A/celico) površine pri napetosti približno 550 mV pri polni osvetlitvi. Laboratorijske izvedbe kristalnih silicijevih celic imajo izkoristek do 18% , v FN modulih pa do okoli 15% .



Slika 3: Različni tipi kristalnih silicijevih FN modulov (monokristalni - desno, polikristalni -levo); vir: IBT Solar.

V skupini kristalno silicijevih celic so monokristalne silicijeve celice (c-Si) trenutno najbolj učinkovita tehnologija za izkoriščanje sončne energije v električno energijo. FN moduli iz c-Si imajo izkoristek 15-18%. C-Si sončne celice so izdelane iz monokristalnega silicija v t.i. tehnološkem postopku Czochralski (postopek, ki poteka pri temperaturi 1.500°C , ima ime po Poljskem znanstveniku Janu Czochralskem, ki leta 1916 odkril metodo pri raziskavah stopnje kristalizacije kovin). Debelina silicijevih celic je običajno 0,2-0,75 mm. Ker so v času izdelave c-Si kristali odrezani iz ingota cilindrične oblike, ti v celoti ne prekrivajo kvadratnega modula. Pri večini c-Si modulov so vogali med štirimi celicami nepokriti.

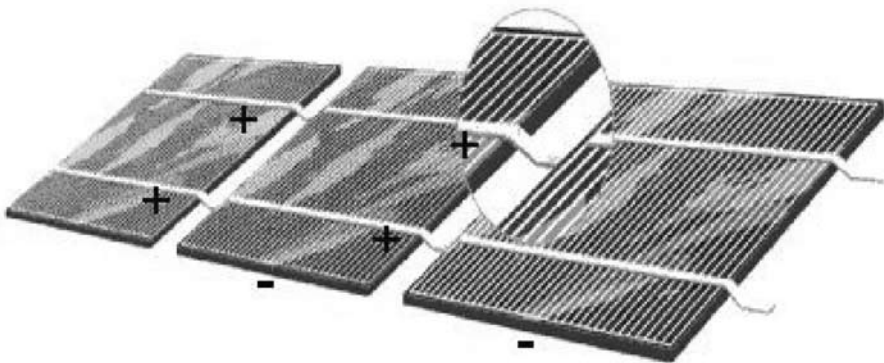
Polikristalne silicijeve celice (poly-Si oz. mc-Si) dosegajo izkoristek okoli 12-14%. Celice so izdelane z ohlajanjem grafitnega kalupa/kokile napolnjenega s tekočim silicijem in nato nato razrezom silicijevega ingota z žično žago v zelo tanke (180 to $350\ \mu\text{m}$) rezine ali (wafers). Prednosti poly-Si celic so predvsem v enostavnejši in cenovno nižji proizvodnji. Prav tako se z nadaljnjimi raziskavami pričakuje povečanje njihovega izkoristka sončne energije.

Amorfne silicijeve celice (a-Si) spadajo v skupino tankoplastnih sončnih celic in imajo precej slabši izkoristek, ki je med 6 in 8 %. Amorfne celice se tudi manj stabilne in se hitreje starajo. Gostota električnega toka znaša do $15\ \text{mA}/\text{cm}^2$, napetosti neobremenjenih celic pa so do 0,8 V, kar je več, kot pri kristalnih celicah. Spektralna občutljivost pri amorfni silicijevih celicah je pomaknjena v smeri proti modri svetlobi, tako da je idealen izvor svetlobe za amorfne celice fluorescenčna žarnica. A-Si sončne celice iz amorfne silicija so med silicijevimi celicami najcenejše, vendar tudi z najnižjim izkoristkom sončne energije.

V skupino tankoplastnih sončnih celic spada večina sončnih celic druge, tretje in četrte generacije.

Fotonapetostni (FN) modul

Fotonapetostni modul je najmanjši še zamenljiv element fotonapetostnega sistema. Sončne celice so v hermetično zaprtem sončnem modulu lahko povezane zaporedno ali vzporedno, s čimer povečujemo napetost ali tok FN modula. Celice so med seboj povezane tako, da je zgornji kontakt ene celice povezana s spodnjim kontaktom druge celice, kot je prikazano na sliki 3.



Slika 4: Način vezave med sončnimi celicami [8].

Povezane sončne celice se nato laminirajo med dva sloja EVA filma (eithylene vinyl acetate), kaljenim steklom (zgoraj) in belim tedlarjem (spodaj), ki sončni celici omogoča vodoodpornost in korozijsko zaščito (slika 4). Kaljeno steklo nudi visoko stopnjo prosojnosti difuzne svetlobe v obe smeri. Lamini-rane sončne celice so vgrajene v aluminijasti okvir s plastjo silikona, ki nudi visoko zaščito pred mehanskimi poškodbami.



Slika 5: Prečni prerez preko laminata [8].

Odvisno od vrste oz. tehnologije izdelave sončnih celic ločimo monokristalne, polikristalne in amorfne module.

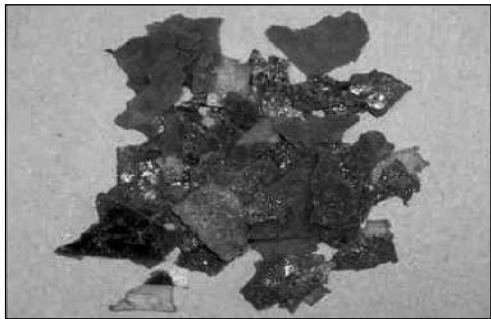
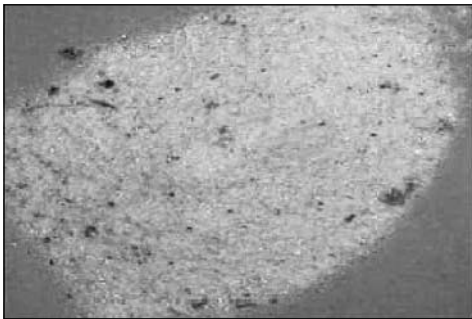
Tabela 3.: Primerjava mase, površine in moči različnih FN modulov.

FN modul	Kristalni silicijevi	Tankoplastni FN moduli		
		a-Si	CdTe	CIS/CIGS
Masa (kg)	5-28	11,7-20	9-15	10,2-20
Vršna moč (W)	120-300		60-120	
Površina (m ²)	1,4-1,7 (do 2,5)	1,4-5,7		0,6-1,0

Pretežni del danes na trgu dosegljivih FN modulov lahko proizvaja elektriko najmanj 20 let. Praviloma proizvajalci FN modulov dajejo garancijo za prvih 10 let delovanja preko 90% in za drugih 10 let preko 80%. FN moduli običajno delujejo od 30 do 35 let.

3. RECIKLAŽA IZRABLJENIH IN POŠKOVANIH FN MODULOV

Postopek reciklaže izrabljenih in poškodovanih FN modulov danes, predvsem zaradi še vedno majhnih količin, še ni ekonomsko upravičen. FN moduli so namreč na trgu prisotni nekje od začetka devetdesetih let prejšnjega stoletja, cenovno dostopni za širšo prodajo pa so bili še nekaj let kasneje. Glede na pričakovano življenjsko dobo se tako večje količine odsluženih FN modulov pričakujejo šele v letih od 2025 do 2030 dalje. Tako večina izrabljenih in poškodovanih FN modulov danes pretežno končajo kot odpadke na odlagališčih in ne kot surovina za recikliranje.

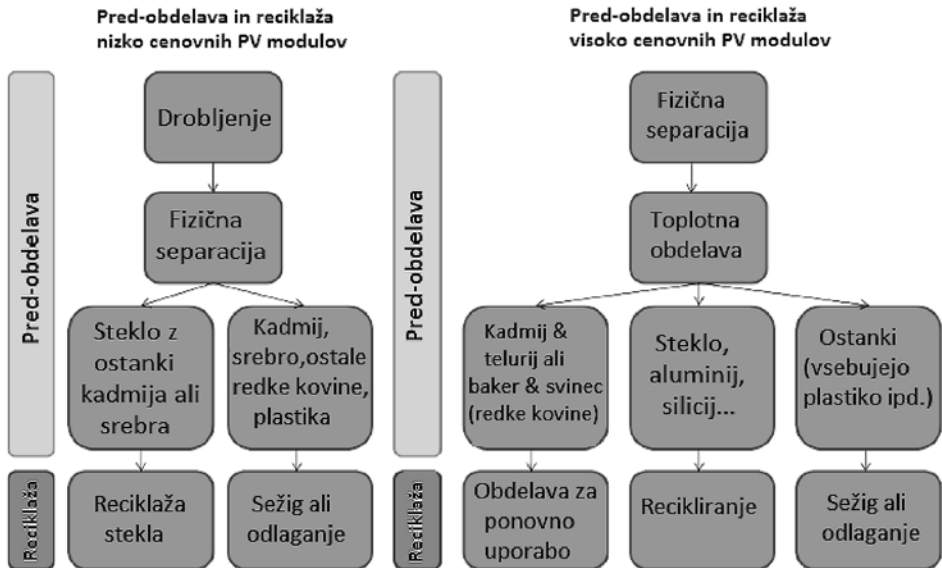


Slika 6: Frakcije stekla (4-5 mm) po drobljenju in mletju - levo. Ostale komponente FN modula po obdelavi v drobilcu in mletju - desno.

V postopku razvoja so različne metode obdelave in načini reciklaže FN modulov, trenutno pa prevladujeta predvsem dve metodi:

- prvo metodo za razgradnjo in reciklažo kristalnih silicijevih modulov je razvil nemški proizvajalec FN modulov Deutsche Solar,
- drugo metodo za obdelavo in reciklažo kadmij-telurjevih modulov je razvil ameriški proizvajalec FN modulov First Solar.

Metoda nemškega proizvajalca FN modulov Deutsche Solar je bila razvita leta 2003, ki pa se predvsem zaradi velikih stroškov reciklaže in premajhne količine odsluženih FN panelov trenutno v nemškem obratu za reciklažo ne izvaja.



Slika 7: Primer poteka reciklaže s postopki drobljenja, fizične ločitve in toplotne obdelave [1].

Metodo ameriškega proizvajalca FN modulov First Solar je bila prav tako razvita leta 2003 in se danes izvaja v ZDA, Nemčiji (ustavljena aprila 2012) in Maleziji. Postopek reciklaže poteka v več stopnjah, ki obsegajo zbiranje, drobljenje in mletje, odstranjevanje filmske prevleke, ločevanje trdne/tekoče faze, ločevanje steklo/lepilo, čiščenja in pakiranje stekla ter razprševanje in odstranjevanje vode.

Tabela 4.: Deleži materialov, ki sestavljajo različne vrste FN modulov. Vir [1].

Material	Kristalni silicijevi FN moduli	Tankoplastni FN moduli		
		a-Si	CdTe	CIS/CIGS
Steklo	74 %	86 %	95 %	84 %
Aluminij	10 %	<1 %	<1 %	12 %
Ostalo	16 %	14 %	4 %	4 %
Ostalo – surovine >1 %	EVA, silicij, adhezivna veziva	polyol, MDI	EVA	EVA
Redke surovine	srebro	indij, germanij		indij, germanij
Prisotnost težkih kovin	svinec		kadmij	kadmij

FN moduli so pretežno sestavljeni iz steklo, zato je njihova reciklaža podobna recikliranju LCD zaslonov, ogledal, žarnic itd. Postopek reciklaže stekla je znan, za ostale komponente FN modulov pa sta postopke reciklaže razvili podjetji First Solar in Deutsche Solar.

Tabela 5.: Sestava kristalnih silicijevih FN modulov. Vir [1].

Materiali	Delež (kg/m ²)	ut. %	Delež obnove (%)
Steklo	10,00	74,16	90
Aluminijast okvir	1,39	10,30	100
Sončna celica	0,47	3,48	90
EVA, Tedlar	1,37	10,15	-
Trakovi	0,10	0,75	95
Veziva, itd.	0,16	1,16	-

Poznani so tudi drugi načini končne obdelave in reciklaže FN modulov. Zaradi različnih vrst materialov prisotnih, še posebej v tankoplastnih tehnologijah sončnih celic, so namreč potrebni številni postopki obdelave, ki obsegajo mehansko, kemijsko, toplotno in tudi biološko obdelavo.

4. ZBIRANJE IN RECIKLAŽA FN MODULOV

V EU izvajata zbiranje in reciklažo dve neprofitni združenji proizvajalcev in uporabnikov FN modulov PV CYCLE in CERES.

PV CYCLE (www.pvcycle.org) je **neprofitno združenje ustanovljeno leta 2007 s sedežem v Bruslju**. PV CYCLE ima v EU in državah članicah EFTA (Švica, Norveška, Lihtenštajn in Islandija) **vzpostavljeno mrežo podjetij za zbiranje (do leta 2012 je pristopilo 279 podjetij) in mrežo podjetij za izvajanje reciklaže**. Od junija 2010, ko so pričeli izvajati program recikliranja je PV CYCLE v EU zbral okoli 1.020 t izrabljenih FN modulov (18 kg/modul – 57.000 modulov). Okoli 45% zbranih FN modulov prihaja iz vodilne države na področju solarne industrije Nemčije, ostali pa pretežno še iz Španije, Italije, Poljske, Belgije in Francije. Po zbiranju, PV CYCLE iztrošene FN module dostavlja v nadaljno obdelavo partnerskim podjetjem za recikliranje. PV CYCLE partnerska podjetja za reciklažo FN modulov se nahajajo v Nemčiji, Španiji in Belgiji. V Sloveniji delujeta v okviru PV CYCLE dve zbirni mesti in sicer v podjetju Plan-Net d.o.o., Preserje (www.plan-net.si) ter podjetju RE The d.o.o., Čenčurju.

CERES (European centre for the recycling of solar energy – CERES (www.ceres-recycle.org) je ne-profitno strokovno združenje ustanovljeno leta 2011 s sedežem v Parizu. Ustanovili so ga strokovnjaki iz FN industrije nezadovoljni z obstoječim stanjem in v iskanju učinkovitejšega in bolj trajno-

stno naravnane načina ravnanja z odpadki FN industrije. Izbrani člani CERES so se zavezali k reciklaži najmanj 85% vseh zbranih materialov z ciljem doseči 95% reciklažo do leta 2016. Z namenom doseganja višjega izkoristka, kot ga dosegajo trenutne tehnologije recikliranja, združenje spodbuja raziskave in razvoj za izboljšanje postopkov recikliranja, večji izplen materialov in manjšo porabo energije.

5. NAMESTO ZAKLJUČKOV

Različni avtorji ugotavljajo, da trenutni stroški reciklaže predvsem zaradi zahtevnih postopkov ter premajhnega števila odsluženih FN modulov še vedno ne zagotavljajo ekonomske upravičenosti.

V tabeli 6 so prikazani stroški reciklaže treh vrst FN modulov (CIGS, CdTe in x-Si (c-, a-, mc-)) ter izdelana primerjava z dobičkom od prodaje z reciklažo pridobljenih surovin (polprevodniški materiali, steklo, itd.).

Tabela 6.: Razmerje med stroški reciklaže in prihodkom od prodaje materialov [4].

	CIGS		CdTe		x-Si
	In	Ga	Cd	Te	Si
V_s (USD/g)	3,00 ^a	3,00 ^a	0,026 ^a	0,022 ^a	0,027 ^b
m_{rs} (g)	5,23	8,62	8,98 ^c	9,15 ^c	279,60 ^c
P_s (USD/modul)	15,70	25,85	0,23	2,02	7,54
V_g (USD/g)	$3,72 \times 10^{-6d}$	$3,72 \times 10^{-6d}$	$3,72 \times 10^{-6d}$	$3,72 \times 10^{-6d}$	$3,72 \times 10^{-6d}$
m_{rs} (g)		17,68 ^c		16,64 ^c	16,64 ^c
P_s (USD/modul)		0,07		0,06	0,06
P_t (USD/modul)		41,62 ^f		2,31 ^f	7,54 ^f
C (USD/modul)		20,24 ^g		9,00 ^g	32,11 ^g

V primeru tipa CIGS, je dobiček od prodaje dosti večji kot pa je strošek reciklažnega postopka enega modula. Pri CdTe in x-Si modulih, pa postopek reciklaže ni ekonomičen, saj so stroški ponovne pridobitve materialov iz modulov večji, kot pa dobiček od ponovne prodaje.

Tabela 7.: Razmerje med stroški reciklaže in stroški odlaganja na odlagališča; Vir: [4]

	CISG	CdTe	c-Si	p-Si	a-Si
E (W/m ²)	100 ^a	108	144	138	90
Teža (kg)	28	12	15,4	19,4	19,1
Vršna moč (W)	160	77,5	180	230	128
W (kg/modul)	17,50	16,72	12,32	11,64	13,43
T (USD/kg)	0,05	0,39	0,05	0,05	0,67
D (USD)	0,87	6,45	0,61	0,58	0,67
$P_r = P_t + D - C$ (USD)	22,25	-0,24	-23,96	-23,99	0,73-C

S primerjavo podatkov je bilo nadalje ugotovljeno, da stroški reciklaže CIGS, c-Si, p-Si in a-Si FN modula znašajo med 0,5\$ in 0,9\$. V primeru reciklaže CdTe FN modula so stroški reciklaže znatno višji in dosežejo 6,45\$ na FN modul predvsem zaradi prisotnosti Kadmija, kar zahteva zahtevnejše roko- vanje. Ker so stroški reciklaže FN modulov še vedno precej visoki, se proizva- jalci nagibajo k iskanju drugih ekonomsko učinkovitejših rešitev.

LITERATURA IN REFERENCE

- [1] European Commission (2011). Study on Photovoltaic Panels Supplementing the Impact Assessment for a Recast of the WEEE Directive. [Online]. [21.5.2012]. Dostopno na spletnem naslovu: <http://ec.europa.eu/environment/waste/weee/pdf/Study%20on%20PVs%20Bio%20final.pdf>.
- [2] First Solar. [Online]. [21.5.2012] Dostopno na spletnem naslovu: <http://www.firstsolar.com>.
- [3] Kastelec, D., Rakovec, J., Zakšek, K. (2007). Sončna energija v Sloveniji, ZRC SAZU, 2007, str. 76.
- [4] McDonald, N.C., J.M. Pearce, J.M., (2010). Producer Responsibility and Recycling Solar Photovoltaic Modules. *Energy Policy* **38**(11), p- 7041-7047. [Online]. [21.5.2012]; Dostopno na spletnem naslovu: http://www.appropedia.org/Producer_responsibility_and_recycling_solar_photovoltaic_modules.
- [5] Müller Anja. Deutsche Solar. Life Cycle Analysis of a Solar Module Recycling Process. [Online]. [21.5.2012]. Dostopno na spletnem naslovu: <http://www.projects.science.uu.nl/nws/publica/Publicaties2005/E-2005-81.pdf>.
- [6] Ostrowski, P. (2010). Ecological Chemistry and Engineering.
- [7] PV Cycle: <http://www.pvcycle.org/pv-cycle-system/recycling/>.
- [8] PV portal: <http://pv.fe.uni-lj.si>.
- [9] Solar photovoltaic energy: A Compendium, august 2007, http://www.aprekh.org/files/SPV_Compendium.pdf.



ID 01

Evaporation and membrane technologies for landfill leachate treatment – Case study: Cogelix in France

Ruggero FONTANA¹, Daniele FATUTTO¹, Cristina del PICCOLO¹

¹ Veolia Water Solution and Technologies Italia Srl, via Pra' di Risi 3,
Zoppola (PN), ITALY

ruggero.fontana@veoliawaterst.it, daniele.fatutto@veoliawaterst.it,
cristina.delpiccolo@veoliawaterst.it

Povzetek

V članku predstavljen primer se nanaša na francosko odlagališče na katerem se izcedne vode obdelajo z zelo zmogljivo in učinkovito tehnologijo: reverzno osmozo in izhlapevanje. V članku so opisane izkušnje podjetja Veolia Water Solution and Technologies Italia (VWS Italia) pridobljene pri zagonu postrojenja na francoskem odlagališču Granges. To postrojenje vključuje sistem za pred-obdelavo surove izcedne vode z dvojno reverzno osmozo ter pred-koncentracijo izcedne vode z dvojno vakumsko enoto za izhlapevanje. Produkt obdelave izcedne vode v postopku reverzne osmoze se pred končno izločitvijo še dodatno obdelata, medtem ko se nastali koncentrat po postopku sušenja pošlje na odlaganje.

Ključne besede: odlagališče, ravnanje z izcedno vodo, kogeneracija, reverzna osmoza, izhlapevanje.

Abstract

The case in this article refers to a landfill located in France where leachate is treated with the most effective and efficient technologies: reverse osmosis and evaporation. This article describes the expertise acquired during the start-up of the plant installed and started by VWS Italia at Granges landfill in France. This plant is composed of a raw leachate pre-treatment system followed by a double pass reverse osmosis employed as a leachate pre-concentration step with two evaporation vacuum units in series. The permeate produced by the reverse osmosis unit is conveyed through a post-treatment section before being discharged, while the concentrate produced by the evaporation unit is sent to be disposed.

Key words: landfill, leachate treatment, cogeneration, reverse osmosis, evaporation.

1. INTRODUCTION

The heaviest issues is the production of leachate. Landfills are essentially reactors; waste inside react and change according to complex processes. Rain filters through the waste and sweeps away all the internal soluble substances. The result is a dark, malodorous liquid, highly polluted by organic and inorganic substances and metallic ions.

It is practically impossible to forecast leachate composition or define a typical composition; leachate characteristics depend upon waste accumulation, upon the quantity of atmospheric precipitations, the landfill's age. For this reason each case needs to be individually evaluated and evaluation always starts from an analysis campaign of the leachate to be treated.

In Granges' urban solid waste landfill the customer's inquiry was for a plant treating 12.000 m³ leachate per year with a production of an effluent that had to be discharged to superficial water and a production of a concentrate with a 30% dry residue to be disposed.

Another inquiry from the customer, which was fundamental for the plant design and the choice of the treatment units, was the use of the residual thermal energy produced by the cogeneration engine installed in the landfill in order to benefit by the government financial support. The quantity available of residual heat, in the shape of warm water, was of about 900 kW. Limits over the analytical parameters of the treated water to be conveyed to discharge required by the customer can be found in the following table:

Table 1.: Discharge limits for the effluent treated.

pH		5.5÷8.5
Suspended solids	mg/l	100
COD	mg/l	150
BOD₅	mg/l	25
Total Nitrogen	mg/l N	30
Ammonia Nitrogen	mg/l N	4.1
Fluorides	mg/l	15
Total Phosphorus	mg/l P	10
AOX	mg/l	1
TOC	mg/l	70
Total metals	mg/l	15
Phenols	mg/l	0.1
Cyanides	mg/l	0.1

2. Analysis, TESTS AND PRELIMINARY EVALUATIONS

Following up the customer's enquiry, VWS Italia proceeded by asking for representative samples of the leachate to be treated. The analytical characteristics of the raw waste have been reported in the following table stating the most relevant parameters.

Table 2. Analytical characteristics of leachate collected from Granges landfill.

Analysis No.		101/07	376/09	634/09
pH		7.9	7.8	7.8
Suspended solids	mg/l	2290	606	722
Dry matter at 105°C	%	1.06	0.72	1.12
Dry matter at 600°C	%	0.68	0.47	0.62
Conductivity	µS/cm	17330	7630	23800
COD	mg/l	5000	5191	4440
BOD₅	mg/l	1876	2030	1540
TKN	mg/l N	1400	980	1360
Ammonia Nitrogen	mg/l N	1400	927	1330
Nitric nitrogen	mg/l N	<30	<30	<30
Chlorides	mg/l	2056	1773	2056
Sulphates	mg/l	218	511	80
Fluorides	mg/l	0.8	<0.5	<0.5
Sulphates	mg/l	-	-	1.3
Total Phosphorus	mg/l P	32.9	-	14.9
Bicarbonates	mg/l	-	-	10980
Calcium	mg/l	226	469	303
Iron	mg/l	17.4	9.75	43.3
Copper	mg/l	<1.0	1.6	<1.0
Manganese	mg/l	1.3	2.1	<1.0
Total Chrome	mg/l	-	-	-
lead	mg/l	-	-	-
Silicon	mg/l	-	-	73.8
Anionic surfactants	mg/l	<5	10.2	21.1
Non ionic surfactants	mg/l	<5	191	120
Phenols	mg/l	1.3	<1	1.5

From the analysis of the results the waste COD level remains between 4000-5000 mg/l, BOD₅ represents about 35-40% of COD, Nitric nitrogen is about 1000-1400 mg/l N and nearly represents the majority of TKN, organic substances represent about 30-45% of the dry matter.

Samples analyzed have undergone vacuum evaporation tests to simulate concentration treatment.

The evaporation tests have been carried out after a pH correction to 5.5 with hydrochloric acid, collecting distillate and concentrate samples to effect analysis. pH correction is needed to limit ammonia concentration in distillate.

In the following table analytical results from distillation tests have been reported. Some of these tests have been repeated at different temperatures to simulate two types of evaporations units.

Table 3. Analytical outcomes of distillation tests on leachate samples.

Test No.		101/07 - a	101/07 - b	376/09 - a	376/09 - b
pH		9.8	9.4	8.7	8.8
Conductivity	μS/cm	109	277	396	358
COD	mg/l	99	123	535	498
BOD ₅	mg/l	38	48.6	159	115
TKN	mg/l N	420	140	181	181
Ammonia Nitrogen	mg/l N	39.4	30.1	122	119
Chlorides	mg/l	<1	2.6	<5	<5
Sulphates	mg/l	<5	<5	<5	<5
Iron	mg/l	<0.1	<0.1	0.12	0.13
Anionic surfactants	mg/l	0.3	<0.2	0.2	<0.2
Phenols	mg/l	<0.5	<0.5	<0.6	0.6

From the data collection through analysis and tests we can estimate a twelve-times concentration through a shell and tube evaporator and a thirty-three-times concentration through a scraped evaporator. Besides pH correction the employ of an antiscalant product must be forecasted.

The distillate analysis show, that distillate is not directly dischargeable, but it requires a post-treatment to further decrease COD, TKN and ammonia nitrogen. Another parameter to care of during design is the acid consumption for pH correction. Leachate has normally a very high alkalinity and therefore acid consumption to reduce pH can be relevant, in cases we examined, dosing of hydrochloric acid to correct pH vary from 3000 to 4000 mg/l.

3. CHOICE OF THE TREATMENT SOLUTION

As we already stated in our introduction, the choice for the treatment chain for landfill leachate is based upon both the results of the tests effected on raw leachate samples and upon general technical and economic considerations.

Granges landfill case is a matter of fact example: within the landfill the customer would have installed an engine to produce electric power from landfill

gas and the customer needed to completely exploit the residual heat coming from it. It stood to reason that the evaporation solution to be proposed had to focus on a unit exploiting the residual warm water as the main heat source (Cogelix VWS Italia Solution).

Granges landfill needs to treat 12.000 m³ leachate per year. If we consider a working time of about 315 working days per year, leaving the remaining days of the year for maintenance and extraordinary maintenance operations, holidays and inactivity, leachate quantity per day to be treated would be of about 38 m³.

As it is quite a diluted leachate with a conductivity lower than 25000 µS/cm and a residue at 105° lower than 1.5%, a reverse osmosis plant has been chosen as a leachate pre-concentration step.

The reverse osmosis unit carries out a first leachate concentration by producing a concentrate that needs to be conveyed to final evaporation. As distillate produced from the evaporation step cannot be discharged directly, it is conveyed upstream to the plant and mixed with raw leachate then treated within the reverse osmosis unit.

In the next table a diagram shows the proposed treatment Solution:

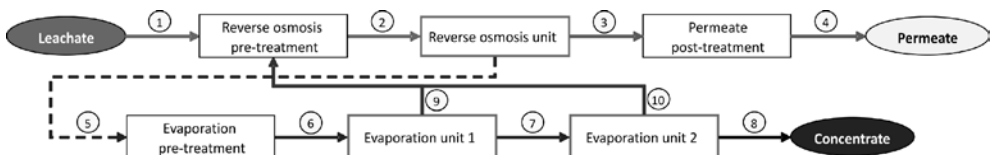


Figure 1. Diagram of the proposed treatment for Grange landfill.

By mixing leachate and distillate from the evaporators the following targets are reached:

- Dilute incoming leachate to facilitate the osmosis unit action;
- To avoid a post-treatment on distillate;
- To improve the permeate quality from the osmosis unit.

As we had to guarantee a dry residue over the final concentrate produced of about 30% and as the normal variability of the inlet leachate quality, the possible extreme situations need to be evaluated in mass balance calculations. Treatment of a leachate with a dry matter of 1.5 % or of 0.5% means to operate substantial modifications to the mass balance of the plant; in the first case a concentration by 20 times would result in reaching a 30% concentrate residue, in the second case concentration would be of 60 times.

Granges landfill case is further complicated as thermal energy available needs to be completely consumed therefore the evaporated material quantity

will have to be the same at any rate. In this situation final concentration will not be constant, but it will vary according to the variation of the inlet waste dry residue of the plant.

Concentration factors of evaporation units will vary in order to be able to guarantee both concentrate quality and the residual heat consumption. The osmosis unit will have to work with a fixed concentration factor in order to produce a concentrate able to constantly feed the evaporator.

The final concentrate residue will be of 30% in case of a very diluted leachate, but it will be of more than 65% in case leachate is very concentrated. If a final concentrate of this type needs to be treated, the evaporation section will have to be splitted in two steps; the first step will be a forced circulation evaporator and the second step will be a scraped evaporator. The last one is in fact the most suitable one to treat concentrates with such a high dry residue.

4. UNIT SETTLING

Landfill leachate is a waste water causing serious problems to the setting and management of a plant.

4.1 Reverse osmosis unit

Waste variable characteristics like its high content of organic substances, metal levels and unsolvable salts need the reverse osmosis units to be designed according to completely different parameters from the standard ones usually manufactured by ordinary membrane suppliers.

Membranes choice tends to be about models with wider spaces allowing to reduce headloss in membranes and to improve flow speed. Speed improvement in flow rate leads to a heavier turbulence within membranes, to a lower polarization and to a better capacity to treat products with suspended solids. Likewise detergent's action is easier during the membrane washing phase.

Another aspect influencing the reverse osmosis plant design is the permeate quality that needs to be produced. From laboratory test data a double step reverse osmosis plant needs to be taken into consideration, here the permeate produced by leachate direct treatment through first step reverse osmosis membranes is further treated through other second step reverse osmosis membranes.

4.2 Evaporation unit

As already mentioned above, the choice for the evaporation units fell on two units to be installed in series; the first unit is a forced circulation vacuum

evaporation unit EW 40000, the second is a scraped vacuum evaporation unit RW3000. They both can work using outsourced hot water and the difference between them is that second unit can treat a concentrate with a very high dry matter residue even with precipitated solids.

3.3 Leachate and concentraten characteristics assessment

All units being part of the plant need to be considered as a whole in order to evaluate permeate and concentrate characteristics. With reference to Column 1 in the following table the analytical characteristics of the main flow are stated and they are calculated considering decreases in Table 4 and 5.

Table 4. Estimated analytical characteristics of the various flows of the plant.

		Raw leachate	RO inlet	Permeate 2°step	RO unit Concentrate	Distillate EW+RW	Concentrate RW
Reference to Column 1		1	2	3	5	9+10	8
Flow rate	m ³ /d	38.0	66.6	37.3	29.3	28.6	0.7
COD	mg/l	6500	3870	14.6	8782	378	361757
BOD ₅	mg/l	3000	1777	8.4	4030	153	166875
N-NH ₄	mg/l	1800	1092	3.8	2478	151	100191
Chlorides	mg/l	3000	1715	2.0	3897	8.0	167224
Conductivity	µS/cm	25000	14603	35.4	33162	796	1392520

5. PLANT START-UP

In this period all set up operations have been carried out and all performances of the equipments have been verified with a series of analysis carried out locally and in an external laboratory. Medium results of the analysis carried out locally and in a laboratory have been reported in Table 7.

Table 5.: Medium analytical results on samples collected in the plant during the commissioning period.

		Raw leachate	RO inlet	Permeate 2°step	RO unit Concentrate	Distillate EW+RW
Reference to Column 1		1	2	3	5	9+10
pH		7.8	6.7	4.5	6.9	8.8
Conductivity	µS/cm	11100	12760	52	41050	350
Turbidity	NTU	25	31	-	48	-
COD	mg/l	2582	2440	<25	9510	320
N-NH ₄	mg/l	1202	902	2.3	1940	145
Chlorides	mg/l	1100	2940	2.6	11297	<1

From the analysis collected locally and in the laboratory it is evident that leachate treated by the plant is in fact more diluted in comparison with the analysis assumed during the design phase.

Table 6.: Decrease calculated from the analysis carried out during the plant commissioning.

	RO	Evaporation unit	Total plant
Conductivity	99.6 %	99.1 %	99.6 %
COD	> 98.9 %	96.6 %	> 99.0%
N-NH ₄	99.7%	92.5 %	99.8 %
Chlorides	99.9 %	>99.9 %	99.9 %

6. CONCLUSIONS

From the decrease calculation concerning parameters verified locally, see Table 6, the following commentary can be issued:

- The global decrease of the reverse osmosis is higher than the necessary operations to fall within the discharge limits;
- The ammonia decrease in the reverse osmosis unit is higher to what has been forecasted in the first step and lower than the second, but globally the decrease of the reverse osmosis is higher than what has been forecasted and what is necessary considering discharge limits.
- Chlorides and conductivity decrease is higher in the first step and lower in the second step in comparison with what has been forecasted. Also the reverse osmosis total conductivity decrease is slightly lower than what has been forecasted. As far as conductivity is concerned this is probably due to the alkalinity effect and to the carbon dioxide passage in permeate as both the first and the second steps work with an acid pH.
- Decreases in the evaporation units are heavier than what has been forecasted for COD and conductivity and lower for ammonia nitrogen and chlorides, for these last components the outcome is uncertain owing to the limits of the analytical method employed.

Analytical results seem positive according to the forecast issued during the design phase and decreases reached are higher than those needed to stay within the waste discharge parameters. This means that the approach to the leachate issue, considerations made during units' design and analytical results of the evaporation tests carried out in our laboratory are correct.

Reference

- [1].



ID 10

Some points of the tailing dam safety questions in Finland and Sweden

Jarmo KIVI¹, prof.dr. Kauko KUJALA¹, dr. Jouko SAARELA²

¹ UNIVERSITY OF OULU, Department of Process and Environmental Engineering, Water and Environmental Laboratory, P.O. Box 4300 FI-90014 OULU, FINLAND

jarmok84@hotmail.com, kauko.kujala@oulu.fi

² Finnish Environment Institute (SYKE), P.O. Box 140, FI-00251 HELSINKI, FINLAND

jouko.saarela@ymparisto.fi

Abstract

The starting point of this study was to compare Finland and Sweden's tailings dam safety practices. Before the tailings dam safety handbook was published the safety handbook which was designed for water dams was used for mine dam safety in Sweden. In Finland there is in use the tailings dam safety handbook that was published by Finland's ministry of agriculture and forestry in 1997. In Sweden there is in use a dam safety handbook called GruvRIDAS which was published by Swensk Energi AB/SveMin in 2007.

There are 14 mines in Finland which have 43 tailings dams. In Sweden there are 12 mines and 9 tailings dams. If dam failure would happen nearly all the dams in both countries could cause problems to health and damage to the environment. There are less dams in Sweden than in Finland but they are larger by size. In both countries the most common tailings dam type is an embankment dam.

GruvRIDAS and Finland's dam safety handbooks, for example, include guidelines for surveillance, documentation and maintenance. In both countries dam specific safety folders and computer database used to help with surveillance and documentation. Data from dam incidents and failures is gathered to these databases. Education and use of the best available techniques are used to ensure good quality. Dam classification is nearly the same in both countries. In Finland classification has 3 steps and in Sweden there are 4.

In both countries nearly all tailings dams have faced some sort of problems. The most common problems are sinks, leaks and internal erosion. Nearly

all problems are caused by structural weaknesses or by unexpected weather conditions. Filter layer is especially important when considering dam safety and stability.

Key words: tailing dam, handbook GruvRIDAS.

Povzetek

Naloga v članku predstavljene študije je primerjava Finskih in Švedskih varnostnih izkušenj na področju varnosti nasipov/jalovišč. Pred objavo varnostnega priročnika/priporočil za načrtovanje nasipov/jalovišč se je na Švedskem za varovanje nasipov jalovine/jalovišč uporabljal priročnik za načrtovanje vodnih nasipov/jezov. Na Finskem je v uporabi varnostni priročnik za načrtovanje nasipov jalovine, ki ga je izdalo Finsko Ministrstvo za kmetijstvo in gozdarstvo leta 1997. Na Švedskem se uporablja varnostni priročnik za nasipe/jalovišča/jezove GruvRIDAS, ki ga je izdal Swensk Energi AB/SveMin leta 2007.

Na Finskem je 14 rudnikov, ki imajo skupaj 43 nasipov jalovine/jalovišč/jezov. Na Švedskem je 12 rudnikov in 9 nasipov jalovine/jalovišč/jezov. V primeru porušitve vseh nasipov jalovine/jalovišč/jezov v obeh državah lahko nastanejo veliki problemi glede zdravja in poškodbe v okolju. Sicer je na Švedskem manj jalovišč/jezov kot na Finske, vendar pa so ta znatno večja. V obeh državah je najbolj značilen tip nasipa jalovine/jalovišča t.i. embankment dam.

GruvRIDAS in Finski varnostni priročnik za jalovišča, na primer vključujeta tudi navodila za njihov nadzor, vodenje dokumentacije in vzdrževanje. V obeh državah se uporabljajo posebna varnostna navodila in računalniška baza podatkov za pomoč pri nadzoru in vodenju dokumentacije. Podatki iz nesreč in poškodb na različnih jaloviščih se zbirajo v teh bazah podatkov. Izobraževanje in uporaba danes najboljših tehnik se uporabljajo/služijo za zagotavljanje največje varnosti in kvalitete. V obeh državah je klasifikacija jalovišč dokaj podobna, pri čemer ima Finska klasifikacija 3 stopnje, Švedska pa 4.

V obeh državah so skoraj pri vseh nasipih/jaloviščih soočeni z enakimi težavami. Najpogostejši skupni problemi so puščanje in lokalna erozija na površini. Večina problemov se nanaša na strukturne slabosti ali izredne vremenske dogodke. Filterni sloj ima pri obravnavi varnosti in stabilnosti nasipov še posebej pomembno vlogo

Ključne besede: jalovišče, priročnik GruvRIDAS.

1. TAILING DAMS IN FINLAND AND SWEDEN

In 2009 there were 14 mines and totally 43 mine dams in Finland (Environmental Center Kainuu, 2009). All tailing dams and mine constructions are unique and that is why all tailing dams and sand-dressing reservoirs differ by their characteristics and construction features. In 2005 there were in operation 12 mines with totally 9 tailing dams (Figure 1.).

The number of tailing dams in Sweden less than in Finland, but they are more large on average. There is also a lot of exploratory working ore-mines.

2. THE PRACTICAL TECHNIQUES OF THE TAILING DAM OPERATIONAL SAFETY

The instructions of the tailing dam operational safety

In Finland the tailing dam operational safety is regulated by laws and decrees with good practical manual guides. In Sweden the Svensk Energi AB/SveMin practical manual guide compiled by GruvRIDAS is used for the mine dam operational safety. This guide is in requisition, but not legally obligatory. The guides on the mine dam operational safety at both countries consider the questions of the dams planning, construction and monitoring. The technical side is more discussed at the GruvRIDAS guide than at the tailing dam operational safety Finnish guide (GruvRidas 2007, Suomen patoturvallisuusopas, design 2009).

The uniqueness of each dam is investigated in both countries and got results are used in the planning, construction and classification of the dam. The regulations of the dams' monitoring, documentation and maintenance are included in both guides. In Finland the dam operational safety file is used in the dams' documentation procedure. In Sweden this file named as DTU-manual (Drift, Tillståndskontroll och Underhåll). The computer databases with the total information about dam together with accidents are used in both countries. In Finland the specialist with the permission to read all information about the dam conduct the work with database. In Sweden every owner of the dam have the possibility to investigate the accidents with the registered dams – not only the information about one's own dam. In this case the dam owner can learn the experience of accidents on the other dams and take it in to account at the critical situation.

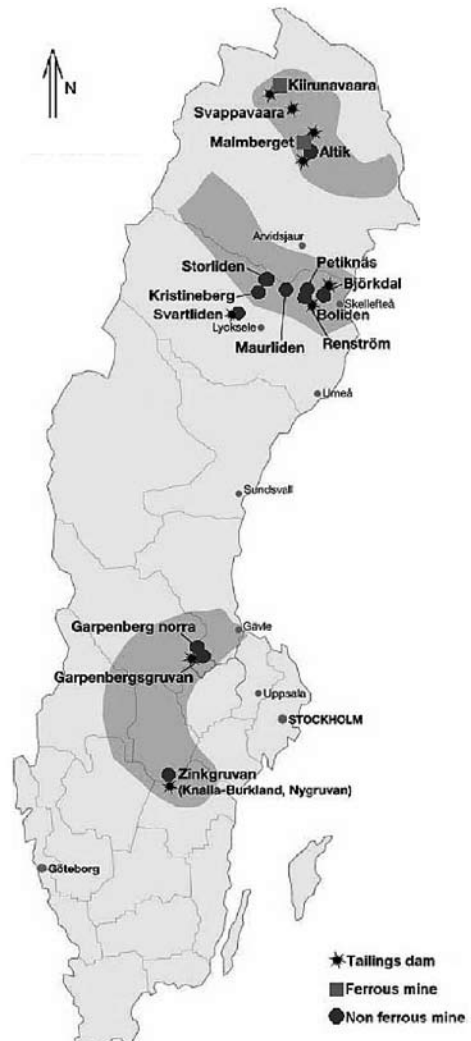


Figure 1.: The location of mines in Finland (Leskelä 2009) left.

Figure 2.: The location of mines and tailing dams in Sweden (Bjelkevick 2005) right.

The Swedish and Finnish tailing dam operational safety guides contain the requirements for personnel faculties to make a decision. More over the guides contain the instructions for personnel activity in the case of emergency and actions for dams' documentation service. Both guides contain the links to different instructions. For example, the mine dam operational safety Finnish guide at the item devoted to the requirements for personnel faculties to make a decision has a link to Finnish collection of regulations for construction works - Suomen Rakentamismääräyskokoelmaan A2 (Suomen patoturvallisuusopas, design 2009).

Confirmation of the quality

All activities connected with the tailing dam operational safety such as planning, construction, maintenance, monitoring, have to be done on the best way according to the procedures of confirmation of the quality. It is necessary to use legal and documentary methods of the dams' construction. The personnel must have the additional level of the education and experience for the given task. The requirements for personnel faculties to make a decision are documented and the personnel working at the dam certification have to be done systematically (GruvRIDAS 2007).

The tailing dam operational safety, according to guide GruvRIDAS, is developing permanently, for example, by investigation and education. More over the dam's owner works in the cooperation with independent inspectors and authorities.

Classification of the tailing dam operational safety

The classification of the mine dam operational safety in Sweden based on the estimation of the possible after-effects of the dams' destruction. The prevention of the dams' destruction and negative after-effects of it is very important – for this reason each dam and negative after-effects, which can take place due to dams' destruction, are studied particularly. The class of the tailing dam operational safety is estimated according to the results of the investigations. There are 4 classes in the classification of the mine dam operational safety in Sweden. Table 1.

Table 1.: The Swedish classification of the possible after-effects of dams' destruction directed to environment, social constructions and economical services (GruvRidas 2007).

Class number	After-effects of the dam's destruction
1A	The high level probabilities of the severe damages for important social constructions, significant environmental objects or economical services in large volume.
1B	The probabilities of the damages for social constructions, significant environmental objects or economical services have to be taken into account.
2	The probabilities of the damages for important social constructions, significant environmental objects or economical services are noticeably.
3	The probabilities of the above mentioned negative after-effects are very small

The classification of the mine dam operational safety in Finland based on the risk-analysis. The classification has 3 classes and the responsible person from the dam operational safety authorities is charged with it. It is not necessary to classify the dam operational safety if the responsible person from the dam operational safety authorities resolves that the dam is not dangerous (Suomen patoturvallisuusopas, design 2009). The classification of the mine dam operational safety in Finland is presented in table 2.

Table 2.: The classification of the mine dam operational safety in Finland (Suomen patoturvallisuusopas, luonnos 2009).

Class number	After-effects of the dam's destruction
1	In the case of dam' damage the risky situation for people and population health, for environment and property arise.
2	Dam failure can cause danger to health or more that smaller danger to environment or property.
3	Dam failure causes only small damage to environment etc.

3. MONITORING OF TAILING DAMS

The classification of dams has effect on their monitoring in Finland and Sweden. The dams belonging to classes 1 and 2 in Finland are controlled in nearly the same way as 1A and 1B class dams in Sweden. Class 3 dams in Finland and class 2 dams in Sweden are controlled more seldom than the dams of the higher hazard classes. The dams of class 2 in Sweden are controlled biannually, once over a 3-year period according to the schedule, and more thoroughly once in 15 years. In Finland all classified dams are controlled according to the schedule once in 5 years or more often. The dams of classes 1 and 2 are controlled once a year.

Dam owners in Sweden have to report 2-4 times a year depending on the class of the dam. In Finland the number of annual reports is stipulated in the dam monitoring plan for each dam specifically (GruvRIDAS, Avsnitt 4, 2007).

The constant visual inspections of the dams are practiced in Finland and Sweden, and are performed more frequently in emergency situations. The monitoring reports are partially attached to the dam's safe operation documentation, and the required reporting documents are delivered to the dam registration system. In Finland the responsible person from the dam operational safety authority gets all annual reports, and is in charge of the database (GruvRIDAS, Avsnitt 4, 2007, Suomen patoturvallisuusopas 2009).

4. PROBLEMS AND EMERGENCY SITUATIONS DURING DAM OPERATION

Emergency situations have been registered at all dams in Finland – in particular, at the dams in Nilsjö and Kemiö. In the period from 1982 to 2009, 44 emergency situations were registered at dams, but statistical data are not always reliable. The reasons for emergency or problem situations at dams vary. The most frequent ones are connected with enriched sand used as the construction material. This material is more sensitive to erosion and that is why the construction operations with it are harder to implement. Another potential cause of emergency or problem situations at dams is the large scale of the impoundments and, hence, the large amount of the waste or water stored there. The too many raisings of the dam walls create weak spots in the structure, which are more prone to damage than other parts of the dam. The most common ones are depressions, leakage and seepage. In almost all emergency situations the problems were related to the dam structure or weather conditions (Sivonen et al. 2001). Emergency situations and the methods of dealing with them are presented in Annex 8 (Saarela 2009).

In Sweden, 60 emergency situations were registered at dams between 1944 and 2004. The data can be deemed reliable starting 1998. Since then, all mining enterprises in Sweden began to use the of the safe dam operation program; monitoring and documentation improved noticeably. The emergency situations were caused by the dam structure or internal weathering. The problems with the structure are strength, displacement and mistakes during construction and operation. Internal weathering causes, for example, leakages and overflows, which, due to the cold climate, lead to freezing and frost penetration reducing the dams' safety. Sixty percent of the emergency situations at the dams were connected with structural problems, internal weathering or water penetration (Bjelkevik 2005, Bjelkevik et al. 2005). A short version of the final report on the accident at the Aitiki mine is presented in Annex 6. The presumed reason for that emergency situation was the weakening in the structure due to seepage or internal weathering (Christer 2001).

Emergency and problem situations at mine dams in Sweden and Finland are very typical, caused by the same reasons. The freezing and frost penetrations caused by the cold climate or mistakes in constructions lead to depressions, leakages and cracks in the dam structures. Application of improper or low quality building material may lead to water seepage into the dam's body, raise the water pressure and, eventually, damage the structure.

The number of emergency and problem situations at mine dams in Sweden in the period of 1990 – 2004 is shown in Figure 3. Data from 1989 and 1988 are missing.

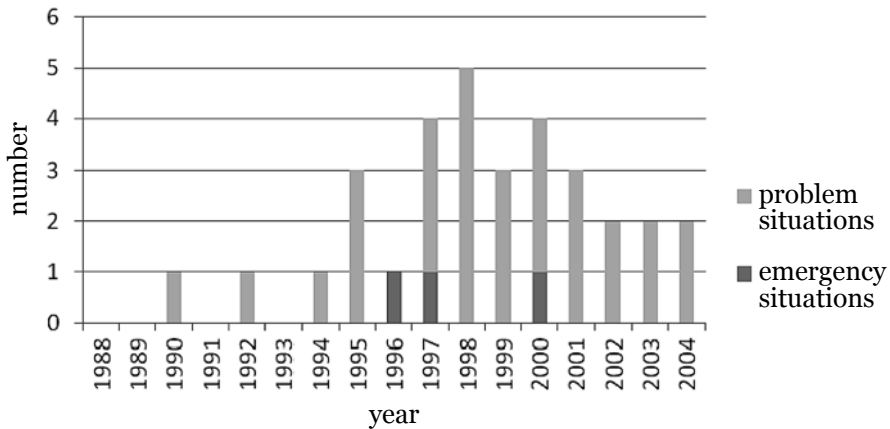


Figure 3.: The number of emergency and problem situations in Sweden during the period of 1990 – 2004 (Bjelkevik et al. 2005).

The number of emergency and problem situations at mine dams in Finland during the period of 1988 – 2009 is shown in Figure 4.

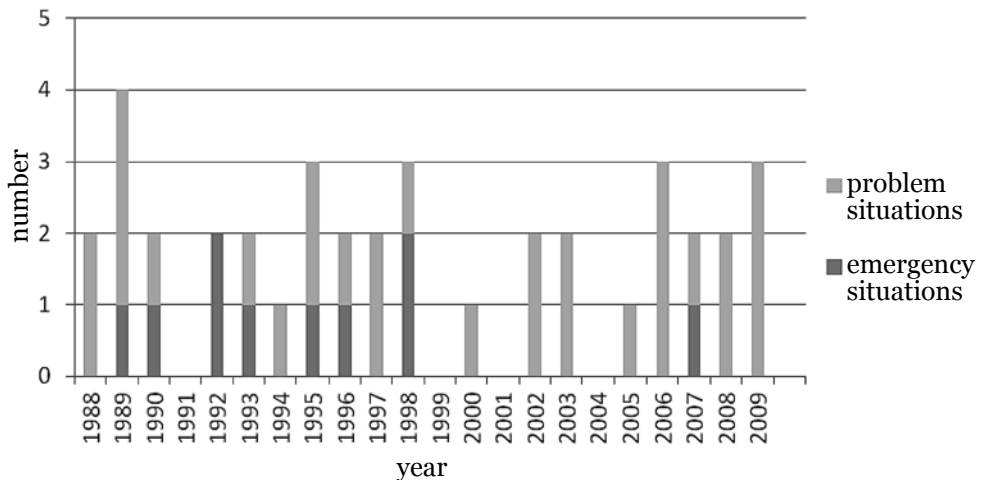


Figure 4.: The number of emergency and problem situations (the diagram was produced by Bjelkevik in (2005) using statistical data and Annex 4).

No definite conclusions can be drawn from Figures 22 & 23 because the data on emergency and problem situations in both countries are incomplete. The data from Sweden have been more reliable since 1998 because at that time monitoring and documentation at the dams began to be taken into account. In the case of Sweden, one may notice a decrease in the number of emergency and problem situations in the 20th century in comparison with the 19th cen-

tury (Bjelkevik 2005). Some progress may be noted also in Finland if results from 1992-1998 and 2000-2005 are compared. The number of problem situations in Finland remains at the same level, but the number of emergencies has dropped greatly since 1999.

REFERENCES

- [1] Bjelkevik A (2005) Stability of Tailings Dams, Focus on Water Cover Closure. Licentiate thesis. Luleå Univeristy of Technology ISSN: 1402-1757. s. 32-33. Bjelkevik A (2005) Stability of Tailings Dams, Focus on Water Cover Closure. Licentiate thesis. Luleå Univeristy of Technology ISSN: 1402-1757. s. 32-33.
- [2] Bjelkevik A (2005) Water Cover Closure Design for Tailings Damns. Luleå University of Technology. ISSN: 1420-1528. s.19, 20.
- [3] Bjelkevik A, Knutsson S (2005) Failures and incidents at Swedish tailings dams – experiences and comparsion. <http://pure.ltu.se/ws/fbspretrieve/2973432> (Luettu 24.8.2009).
- [4] Christer A (2001) Dammhaveriet vid Boliden Mineral AB:s anläggning i Aitik den 8 september 2000 Slutraport. Länsstyrelsen i Norrbottenslän. ISSN 0283-9636. http://www.bd.lst.se/publishedobjects/10000872/6_01.pdf (Luettu 24.8.2009).
- [5] Fall M, Célestin J.C, Han F.S (2009) Suitability of bentonite-paste tailings mixtures as engineering barrier material for mine waste containment facilities. *Minerals Engineering* 22 (2009) 840-848.
- [6] Faure Y.H, Farkouh B, Delmas Ph, Nancey A (1999) Analysis of geotextile filter behavior after 21 years in Valcroc dam. *Geotextiles and Geomembranes* 17 (1999) 353-370.
- [7] GruvRidas Gruvindustrins riktlinjer för dammsäkerhet (2007). SvenkEnerki AB/Svemin arbetslag. s. 15-17, 20, 36, 37, 38.
- [8] GruvRidas, Avsnitt 2; Vägledning för tillämpning av GruvRIDAS, Gruvindustrins riktlinjer för dammsäkerhet, Avsnitt 2, Utgångspunkter, Tillämpningsvägledning (2007). SvenkEnerki AB/Svemin arbetslag s. 2, 3.
- [9] GruvRidas, Avsnitt 3.2; Vägledning för tillämpning av GruvRIDAS, Gruvindustrins riktlinjer för dammsäkerhet, Avsnitt 3.2, Fyllningsdammar, Tillämpningsvägledning (2007). SvenkEnerki AB/Svemin arbetslag. s. 5-9.
- [10] GruvRidas Avsnitt 3.3; Vägledning för tillämpning av GruvRIDAS, Gruvindustrins riktlinjer för dammsäkerhet, Avsnitt 3.3 Dränerande fyllningsdammar, Tillämpningsvägledning (2007). SvenkEnerki AB/Svemin arbetslag. s. 3-7.

-
- [11] GruvRidas Avsnitt 3.4; Vägledning för tillämpning av GruvRIDAS, Gruvindustrins riktlinjer för dammsäkerhet, Avsnitt 3.4 Avbördnings-system, Tillämpningsvägledning (2007). SvenkEnerki AB/Svemin arbetslag. s. 2-20.
- [12] GruvRidas Avsnitt 4; Vägledning för tillämpning av GruvRIDAS, Gruvindustrins riktlinjer för dammsäkerhet, Avsnitt 4. Drift, Tillståndskontroll och underhåll, Tillämpningsvägledning 2007 SvenkEnerki AB/Svemin arbetslag. s.8, 9, 15-20.
- [13] Gulec S.B, Benson C. H, Edil T.B (2005) Effect of acidic mine drainage on the mechanical and hydraulic properties of three geosynthetics. *Journal of Geotechnical and geoenvironmental engineering*, s. 937.
- [14] Göransson T, Benckert A, Lindvall M, Ritzén R. Dam failure at the Aitik mine: Investigations, conclusions and measures taken. [http://www.boliden.com/www/bolidense.nsf/\(LookupWebAttachment\)/Library%20Lectures/\\$file/Dam_failure_at_Aitik.pdf](http://www.boliden.com/www/bolidense.nsf/(LookupWebAttachment)/Library%20Lectures/$file/Dam_failure_at_Aitik.pdf) (Luettu 17.9.2009).
- [15] Heikkinen P.M, Noras P, Mroueh U-M, Vanhanen P, Wahlström T, Karttinen T, Juvankoski M, Vestola E, Mäkelä E, Leino T, Kosonen M, Hatakka T, Jarva J, Kauppila J, Leveinen J, Lintunen P, Suomela P, Pöyry H, Vallius P, Nevalainen J, Tolla P ja Komppa V (2005) Kaivoksen sulkemisen käsikirja. ISBN 951-690-941-8 s. 27-29.
- [16] Holm J, Leskelä A (1979) Padot. Vesirakenteiden suunnittelu. Helsinki. Suomen rakennusinsinöörien liitto RY RIL 123 s. 53-112.
- [17] ICOLD (1982) Manual on Tailings dams and dumps. Paris Bulletin 45. 243 s. ISSN 0534-8293.
- [18] Isaksson N, Lundström H (2005) Dammsäkerhetsutvärdering samt utformning av dammregister och felrapporteringsystem för svenska gruvdammar. ISSN 1401-5765. http://www.w-program.nu/filer/exjobb/Nils_Isaksson_Helena_Lundstrom.pdf (Luettu 12.11.2009).
- [19] Kainuun ympäristökeskus (Pehkonen Kari, suullinen lähde) Laatikainen T (2008). Tekniikka&Talous. Peräkylästä löytyy timantteja ja kultaa. <http://www.tekniikkatalous.fi/metalli/article77092.ece?v=n> (Luettu 14.8.2009).
- [20] Leskelä A. (2009) Kaivospatojen rakenteet ja turvallisuustarkkailu, luonnos.
- [21] Lupo J.F, Morrison K.F (2007) Geosynthetic design and construction approaches in the mining industry. *Geotextiles and Geomembranes* 25 (2007) 96-108.
- [22] Ouangrawa M, Molson J, Aubertin M, Bussire B, Zagury G.J (2009). Reactive transport modeling of mine tailings columns with capillarity-

- induced high water saturation for preventing sulfide oxidation. *Applied Chemistry* 24(2009) 1312-1323.
- [23] Powers K (2005) CRS Report for congress. Aging Infrastructure: Dam Safety. Analyst in Energy and Environmental Policy Resources, Science, and industry Division.
- [24] Räsänen M-L (2008) GTK, FT. Kaivosympäristön geokemia. GTK/Kuopion yliopisto.
- [25] Räsänen M-L (2009) GTK, FT. Marja-liisa.raisanen@gtk.fi yksityinen sähköpostiviesti 27.10.2009.
- [26] Saarela J (1990) Kaivosjätteiden geoteknisistä ominaisuuksista ja ympäristövaikutuksista. Helsinki. Vesi- ja ympäristöhallitus. Julkaisuja sarja A 64 S145.
- [27] Saarela J (2009) Kaivospatojen teknillisiä erityispiirteitä, luonnos.
- [28] Sivonen M, Frilander R (2001) Suomen ympäristökeskuksen julkaisu 463 Patoturvallisuuden toteutuminen Suomen jäte- ja kaivospadoilla. s.16-19, 21, 22, 25-29, 76.
- [29] Suomen patoturvallisuusopas (2009), luonnos. SYKE. S. 7, 9, 13, 14, 17-19, 21, 30, 47, 47, 48, 50.
- [30] The Aitik tailings dam failure (Gällivare, Sweden) (2005) <http://www.wise.uranium.org/mdafai.html> (Luettu 24.8.2009).
- [31] The Aitik tailings dam failure (Gällivare, Sweden) (2005) <http://www.wise.uranium.org/mdafai.html> (Luettu 24.8.2009).
- [32] Vick S.G (1990) Planning, design, and analysis of tailings dams. BiTech Publishers ltd. Canada 369 s. ISBN 0-921095-12-0.
- [33] Vick S.G (2001) Stability aspects of long-term closure for sulfide tailings. Seminar on safe Tailings Dam Constructions in Gällivare, Sweden, 20-21 September 2001, organized by Swedish Mining Association, Swedish Environmental Protection Agency and European commission http://ec.europa.eu/environment/waste/mining/pdf/mining_dams_seminar.pdf (Luettu 2.9.2009).
- [34] Ympäristölupa (2009) Kevitsan kaivos. Pohjois-Suomen ympäristölupavirasto.
- [35] Ympäristölupa (2007) Kylylahti Copper Oy. Itä-Suomen ympäristölupavirasto.
- [36] Ympäristölupa (2007) Talvivaara Projekti Oy. Pohjois-Suomen ympäristölupavirasto.

**ID 03**

IKT kot inovacijski pristop za minimizacijo odpadkov

IKT as inovative approach to the waste minimization

dr. Marinka VOVK¹, Marina PEC²

¹ *EKO-TCE d.o.o., Kidričeva 25, 3000 Celje*
eko.tce@siol.net

² *Okoljsko raziskovalni zavod, Sp. Preloge 55, 3210 Slovenske Konjice*
orz@siol.com

Povzetek

Pretekli in sedanji vzorci rabe virov povzročajo visoko stopnjo onesnaževanja, propadanje okolja in izčrpavanje naravnih virov. EU je sprejela tematsko strategijo o trajnosti rabi naravnih virov ter o recikliranju in preprečevanju nastajanja odpadkov, v kateri mora sodelovati vsak posameznik, v kolikor želimo doseči njeno implementacijo. Sodobni družbeni procesi (demografska gibanja, razvoj znanosti in tehnologije, horizontalno upravljanje in vodenje, globalizacija) ne vplivajo samo na spremenjeno razumevanje vloge posameznika v družbi, temveč tudi na spremenjeno razumevanje svobode, človekovih pravic in njegovega ravnanja v družbi, kjer ima odnos do odpadkov pomembno vlogo pri uresničevanju strategije uporabe odpadkov kot virov. Inovacijsko komunikacijska tehnologija (IKT) vzpostavlja nov odnos med posameznikom in svetom in narekuje vsakodnevno vključenost v informiranje, med katero sodi tudi okoljska odgovornost. Razkorak med dostopnostjo do informacij o minimizaciji odpadkov in varovanju naravnih virov in drugimi informacijami je zelo velik. Razlog je v tem, da obstoječe tehnologije niso bile implementirane na področje ravnanja z odpadki s ciljem spreminjanja družbene zavesti o nujnosti uporabe e-storitve za potrošnike. Z razvojem mobilne aplikacije, ki temelji na uporabniški izkušnji lahko uporabnik glede na točno določeno občino in tip stanovanjske infrastrukture na enem mestu najde vse potrebne informacije o minimizaciji odpadkov in njihovem pravilnem ravnanju, vključno z možnostjo uporabe zbirnega centra v njegovi občini, do koder ga pripelje navigacija preko mobilne aplikacije. Posebnost mobilne aplikacije je »eko semafor«, ki uporabnika z različnimi barvami sproti opominja na prednostni red ravnanja z odpadki, od zelene barve, ki prikazuje trajnostno in odgovorno ravnanje z odpadki do oranžne in rdeče, ki prikazuje netrajno-

stno ravnanje. Novo aplikacijo smo z namizij osebni računalnikov preselili na mobilne terminale v obliki pametnih telefonov in tabličnih računalnikov in s tem omogočili širjenje znanja ter informacij za uporabo odpadkov kot virov.

Ključne besede: informacijska družba, odpadki, informacijsko-komunikacijska tehnologija (IKT), minimizacija odpadkov.

Abstract

Past and current patterns of resource use have caused high levels of pollution, environmental degradation and resource depletion. The EU has adopted a thematic strategy on the sustainable use of natural resources, recycling and waste prevention in which every individual must participate if we are to achieve its implementation. Modern social processes (demographic trends, the development of science and technology, horizontal management and governance, globalization) does not affect only the changed understanding of the role of the individual in society, but also the changed understanding of freedom, human rights and its behavior in a society where the attitude to waste plays an important role in realizing the strategy of using waste as a resource. Innovation and communication technology (ICT) establishes a new relationship between the individual and the world and requires daily involvement in informing, among which also includes environmental responsibility. The gap between the availability of information on minimizing waste and protecting natural resources and other information is very large. The reason is that existing technologies have been implemented in the field of waste management with the aim of changing the social consciousness of the necessity of using e-services to consumers. With the development of a mobile application based on the user experience, the user can, according to a specific municipality and type of housing infrastructure, in one place find all the necessary information on waste minimization and proper management, including the ability to use the collection center in their municipality, navigated through the mobile application. A feature of the mobile application is the »eco traffic light«, which with different colors constantly reminds the user of the priority order of waste from green, which indicates a sustainable and responsible management of waste, to orange and red which shows unsustainable practices. We have moved the new application from desktop PCs to mobile terminals in the form of smart phones and tablet PCs, and thus facilitated the diffusion of knowledge and information to use waste as a resource.

Key words: information society, waste, information-communication technology (ICT), waste of minimization.

1. UVOD

Direktiva evropskega parlamenta in sveta o odpadkih iz leta 2008 določa obvezno ponovno uporabo in uporabo odpadkov kot virov. Kot prednostni vrstni red se uporablja hierarhija ravnanja z odpadki: najprej preprečevanje nastajanja, nato priprava za ponovno uporabo, recikliranje in druga predelava ter šele nazadnje odstranjevanje. V prihodnje se bo morala tudi Slovenija približati »*družbi recikliranja*«, ki se poskuša izogibati nastajanju odpadkov in uporablja odpadke kot vire. Zato je smiselno opredeliti vlogo posameznika, njegove informiranosti, motivacije, možnosti ločenega zbiranja odpadkov in zbirnih centrov v smislu zagotavljanja odpadkov kot virov. Poudarjamo, da je poleg infrastrukture treba zagotoviti ustrezno kadrovsko strukturo zaposlenih pri ravnanju z odpadki in bistveno višjo obveščenost splošne javnosti. Preprečevanje nastajanja odpadkov lahko pomaga pri zmanjševanju vplivov na okolje v vseh fazah življenjskega kroga naravnih in drugih virov. Čeprav je prav pri preprečevanju nastajanja odpadkov največ možnosti za zmanjšanje obremenitev na okolje, so politike, usmerjene v zmanjševanje količine nastalih odpadkov, redke in pogosto ne dovolj učinkovite. Velika pozornost se posveča predvsem temu, da bi na odlagališča prišlo čim manj bioloških odpadkov, vključno z ostanki hrane (EC, 2008. Directive 2008/98/EC of the European Parliament and of the Council of 19 November 2008 on waste and repealing certain Directives.). Več pa bi lahko dosegli, če bi se bolj posvetili celotni verigi proizvodnje in potrošnje hrane, da bi zmanjšali količino nastalih odpadkov, s čimer bi prispevali tudi k trajnostni rabi naravnih virov, varstvu tal in blažitvi podnebnih sprememb. Recikliranje odpadkov (in preprečevanje nastajanja odpadkov) je tesno povezano s porabo snovi. V povprečju v EU vsako leto porabimo 16 ton snovi na prebivalca, iz večine teh snovi pa prej ali slej nastanejo odpadki: od 6 ton odpadkov na prebivalca, kolikor jih vsako leto nastane v EU, jih približno 33 % prihaja iz gradbenih in rušitvenih dejavnosti, približno 25 % iz pridobivanja rudnin in kamnin, 13 % iz proizvodnih dejavnosti in 8 % iz gospodinjstev. Vendar pa je neposredne povezave med rabo naravnih virov in nastajanjem odpadkov s sedanjimi kazalci težko količinsko opredeliti zaradi metodoloških razlik pri njihovem izračunavanju in pomanjkanja daljših časovnih nizov.

Poleg tega politike EU spodbujajo tudi do inovacij prijazne trge s pobudo EU Lead Markets (EC, 2007). Akcijski načrt EU za trajnostno potrošnjo in proizvodnjo in trajnostno industrijsko politiko iz leta 2008 EC se zavzema za uvedbo pristopov, ki upoštevajo življenjski krog. Krepi tudi zeleno javno naročanje in uvaja nekatere ukrepe za spremembe vedenjskih navad potrošnikov. Na spremembo vedenjskih navad lahko vplivamo z informiranostjo in motivacijskimi spodbudami, ki jih ponujajo informacijske komunikacijske tehnologije (IKT). IKT so običajno opredeljene kot tehnologije, ki omogočajo komunikacijo ter

obdelavo in posredovanje podatkov v elektronski obliki. Zato IKT predstavljajo revolucionaren pristop k reševanju vprašanj ravnanja z odpadki zaradi svoje edinstveno sposobnost, da zagotovijo dostop do informacij v trenutku iz katere koli lokacije, lahko tudi po velikih geografskih razdaljah po relativno nizki ceni. Izrecna osredotočenost na uporabo IKT pri uresničevanju okoljskih ciljev na področju odpadkov bi lahko predvsem državam, ki ne dosegajo zadovoljive stopnje ravnanja z odpadki, da se doseže boljša informiranost in trend k trajnosti družbi. Ta prispevek je namenjen razumevanju, kako lahko IKT pomaga doseči pomembne izboljšave na področju komunalnih odpadkov posebej pri širši javnosti, ki je šibko informirana in nizko motivirana za ravnanje z odpadki kot viri. Novo orodje bo za uporabnike na voljo za brezplačen prenos na mobilne naprave in bo testirano ter predstavljeno za obravnavo.

2. VPLIV NA VZORCE POTROŠNJE KOT POT K MINIMIZACIJI ODPADKOV

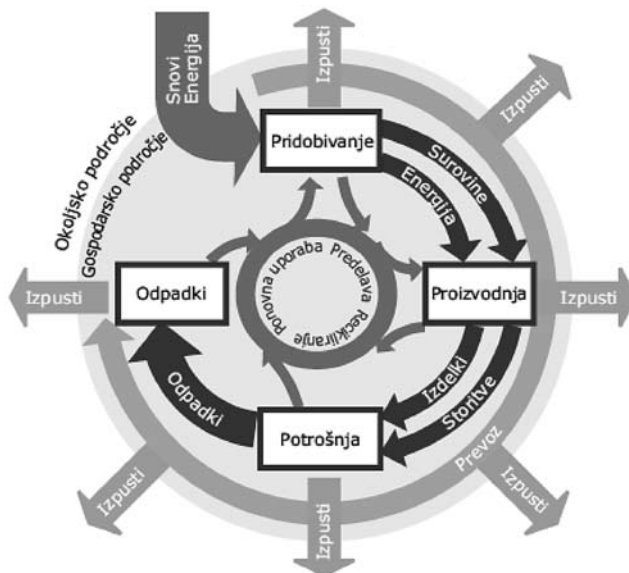
Vzorci potrošnje so ključna gonilna sila rabe naravnih virov in nastajanja odpadkov. Raba naravnih virov, vode, energije in nastajanje odpadkov poganjajo naši vzorci potrošnje in proizvodnje. Izpuste toplogrednih plinov, snovi, ki povzročajo zakisovanje in predhodnikov troposferskega ozona ter vnos snovi, ki ga povzročajo življenjski krogi s potrošnjo povezanih aktivnosti, povzročajo predvsem glavna področja potrošnje kot so prehranjevanje, gradnja, vzdrževanje stavb in infrastrukture ter mobilnost. Prehrana, mobilnost in v manjši meri stavbe so tudi področja potrošnje gospodinjstev, ki najbolj obremenjujejo okolje, kar se izraža v največjih pritiskih na okolje glede na finančni vložek. Zmanjšanje okoljskih pritiskov, ki jih povzroča potrošnja v gospodinjstvih bi lahko dosegli z zmanjšanjem intenzivnosti pritiska v okviru kategorij potrošnje — denimo preko izboljšav energetske učinkovitosti stavb; s prenosom izdatkov za promet z osebnih avtomobilov na javni prevoz; ali s prenosom izdatkov v gospodinjstvih s kategorij večje intenzivnosti (npr. promet) na kategorije manjše intenzivnosti (npr. komunikacije). Evropska politika se je šele pred kratkim začela posvečati problematiki povečevanja rabe virov in netrajnostnih vzorcev potrošnje. Evropske politike, kakršni sta recimo Integrirana politika do proizvodov (EC, 2003. Communication from the Commission to the Council and the European Parliament in Direktiva Eco-design (EC, 2009) sta usmerjeni v zmanjševanje vplivov proizvodov na okolje, vključno s porabo energije, skozi njihov celoten življenjski krog: po nekaterih ocenah je več kot 80 % vplivov proizvodov na okolje vnaprej določenih, in sicer že v fazi njihovega načrtovanja.

Pametne IKT in internet aplikacije imajo potencial za izboljšanje okolja in reševanje podnebne spremembe. IKT tudi spodbujanje trajnostne potrošnje

in okolju prijaznejši način življenja, kar je podpora k inovaciji za bolj zeleno gospodarsko rast.

S pojavom informacijske družbe v 20. stoletju sledimo vse večji zahtevi po demokratizaciji vsakodnevnega informiranja in osveščanja, modernizaciji izobraževanja predvsem z uvajanjem sodobnih izobraževalnih tehnologij. Vzpostavlja se nov odnos med posameznikom in globalnim svetom, ki narokuje nenehno izobraževanje in učenje. Evropska izobraževalna politika je ustvarila nov koncept odgovornega vseživljenjskega procesa, ki omogoča življenje v multikulturni družbi. V luči vseživljenjskega učenja, hitrih sprememb, spremenjeni vlogi znanja in uvajanja informacijsko-komunikacijskih tehnologij v vsakdanje življenje pa ne smemo pozabiti na etični odnos do narave in bivalnega okolja. Z razvojem nove tehnologije se je tudi izobraževanje znašlo v novih izjemnih okoliščinah, ki zahtevajo spremembo samega izobraževanja. Slednje je izpostavljeno vedno večjim količinam informacij in vedno težje zaznavnim mejam med informacijami in dezinformacijami. Ključni nosilci programov preprečevanja nastajanja odpadkov imajo možnost uporabe IKT za povečano motiviranost posameznikov in družbe, da preide na trajnostni življenjski slog.

Potek življenjskega kroga: pridobivanje – proizvodnja – potrošnja – odpadki je močno odvisen od stopnje okoljske osveščenosti potrošnikov, ki kreirajo potrebo po novih izdelkih.



Slika 1.: Potek življenjskega kroga (vir: EEA, ETC za trajnostno potrošnjo in proizvodnjo).

3. OKOLJSKI VPLIV RABE NARAVNIH VIROV SE ŠE NAPREJ POVEČUJE

Gospodarski razvoj Evrope, torej tudi Slovenije je močno odvisen od naravnih virov. Občutna rast blaginje po vsej Evropi sloni na preteklih in sedanjih vzorcih proizvodnje in potrošnje, vendar se vse pogosteje zastavlja vprašanje, ali so ti vzorci trajnostni, zlasti z vidika posledic rabe in čezmerne rabe naravnih virov. Ocena stanja na področju rabe naravnih virov in ravnanja z odpadki v tem poglavju se osredotoča na snovne, pogosto neobnovljive naravne vire, ter vodne vire in tako dopolnjuje oceno stanja na področju rabe biotskih naravnih virov v prejšnjem poglavju. Pogled na naravne vire v smislu življenjskega kroga odpira več okoljskih vprašanj, povezanih s proizvodnjo in potrošnjo, ter rabo naravnih in drugih virov povezuje z nastajanjem odpadkov. Čeprav raba naravnih virov in nastajanje odpadkov različno vplivata na okolje, ju povezujejo številne skupne gonilne sile, ki so močno povezane s tem, kako in kje proizvajamo in uporabljamo dobrine ter kako uporabljamo naravni kapital za ohranjanje gospodarskega razvoja in vzorcev potrošnje.

Po podatkih SERI (Sustainable Europe Research Institute), Global 2000 v Evropi poraba naravnih virov in količina nastalih odpadkov še naprej naraščata, vendar so na obeh področjih med državami precejšnje razlike, kar lahko pripišemo predvsem različnim družbenim in gospodarskim razmeram ter različni ravni okoljske ozaveščenosti. Obseg izkoriščanja naravnih virov v Evropi se v zadnjih nekaj desetletjih ne spreminja, povečuje pa se odvisnost od uvoza. Okoljski problemi, povezani s pridobivanjem in predelavo številnih snovi in naravnih virov, se selijo iz Evrope v države izvoznice. Zato se povečujejo vplivi porabe in uporabe naravnih virov v Evropi na svetovno okolje. V Evropi porabimo več naravnih virov, kot jih imamo na voljo, zato jih moramo uvažati od drugod. Ker postaja tekma za naravne vire po svetu vse hujša in ker je Evropa od njih močno odvisna, se odpira vprašanje, kako dolgo se bo lahko z njimi še varno oskrbovala (UNEP, 2009).

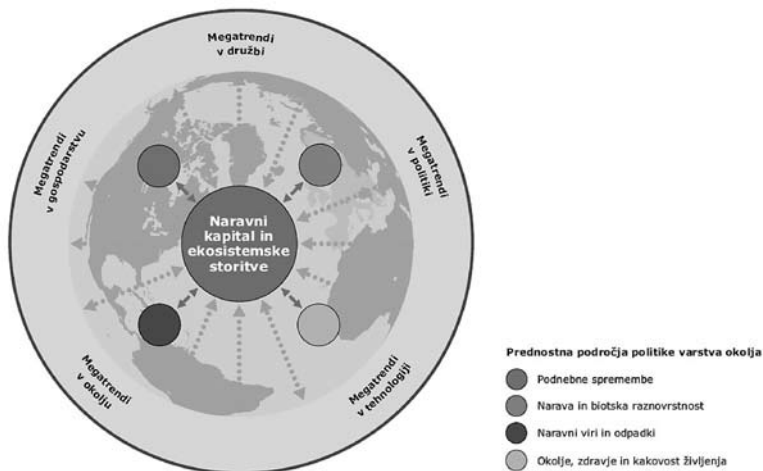
4. NARAVNI VIRI IN ODPADKI

Po zaslugi okoljskih predpisov in ekoinovacij se je na nekaterih področjih povečala učinkovitost rabe virov, saj se je delno prekinila relativna povezanost gospodarske rasti z rabo virov ter količino izpustov in nastalih odpadkov. Prekinitev te povezanosti v absolutnem smislu pa še naprej ostaja izziv, zlasti v gospodinjstvih. Iz tega izhaja, da lahko pritiske na okolje zmanjšamo ne le z izboljšavami proizvodnih procesov, temveč tudi s spremembami vzorcev potrošnje. Odpadki so tema, ki jo potrošniško usmerjena družba skoraj ne zaznava in praktično nima vrednosti pri potrošnikih. Dejstvo je, da vse človekove aktivnosti ustvarjajo odpadke. Odpadni papir, les, kovine, steklo, tekstil

ter drugi materiali, ki nastajajo v gospodarstvu, gospodinjstvih, trgovini in obrti, svojo življenjsko pot včasih končajo na odlagališču ali pa se celo kopičijo na tovarniških dvoriščih. Zato je naša naloga in odgovornost iskati možnosti minimiziranja ustvarjanja odpadkov. Izdelali smo aplikacijo *Več kot odpadki*, preko katere vzpostavimo enostaven prikaz preprečevanja nastajanja odpadkov, njihove ponovne uporabe in ločevanja nastalih odpadkov. Cilj aplikacije je izboljšati ozaveščenost ter odgovornost ljudi v zvezi minimizacijo odpadkov in ravnanjem z nastalimi odpadki.

Izboljševanje ozaveščenosti javnosti in vključevanje potrošnikov z njihovo aktivno udeležbo je izziv za zmanjševanje količine odpadkov, ki se proizvedejo in odlagajo na odlagališčih. Pri pregledu globalnih megatrendov smo prepoznali IKT kot motivacijski pristop za minimizacijo odpadkov za ohranjanje naravnih virov. Globalne megatrende prepoznamo kot:

- Vse večja razhajanja v trendih staranja, rasti in selitev prebivalstva
- Življenje v urbanem svetu: širjenje mest in rast potrošnje
- Spreminjanje globalnih vzorcev bremen bolezni in nevarnost novih pandemij
- Pospешen razvoj tehnologij: »dirka v neznano«
- Nenehna gospodarska rast
- Spremembe v globalnih razmerjih moči: iz enopolarnega v večpolarni svet
- Vse hujša tekma za naravne vire po vsem svetu
- Upadanje zalog naravnih virov
- Vse hujše posledice podnebnih sprememb
- Vse bolj nevzdržno breme onesnaževanja okolja
- Uravnavanje in upravljanje na svetovni ravni: vse večja razdrobljenost.

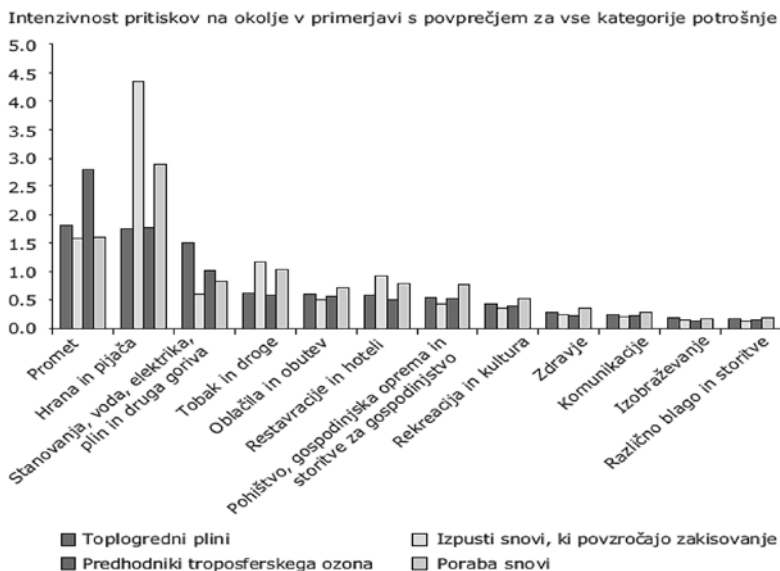


Slika 2.: Izbrani globalni megatrendi. Vir: EC, 2006. Communication from the Commission to the Council and the European Parliament.

Ravnanje z odpadki je osrednja tema okoljskih politik EU že od 70. let preteklega stoletja. Po zaslugi tovrstnih politik, ki postavljajo vse strožje zahteve glede zmanjševanja količine nastalih odpadkov, njihove ponovne uporabe in recikliranja, se snovi, pridobljene iz odpadkov, v proizvodnih procesih vse pogosteje uporabljajo kot surovine, kar prispeva k zapiranju snovnih tokov v vseh gospodarskih panogah. Kot vodilno načelo upravljanja naravnih virov je bilo v zadnjih letih uvedeno upoštevanje življenjskega kroga. Vplivi na okolje se namreč upoštevajo skozi celoten življenjski krog proizvodov in storitev, da bi se izognili ali da bi čim bolj omejili prelaganje okoljskega bremena med različnimi fazami življenjskega kroga in med državami – kar naj bi dosegli, če je to sploh mogoče, z inštrumenti trženja. Upoštevanje življenjskega kroga vpliva ne le na okoljsko, temveč tudi na večino drugih sektorskih politik – saj vodi v uporabo snovi in energije, pridobljene iz odpadkov, zmanjševanje izpustov in ponovno uporabo stavbnih zemljišč.

EU si je tudi zastavila strateški cilj, da bo postopoma uvedla bolj trajnostne vzorce potrošnje in proizvodnje. Postati želi najučinkovitejše gospodarstvo na svetu z vidika rabe naravnih virov (6. okoljski akcijski program) in zmanjšati negativne vplive rabe naravnih virov in nastajanja odpadkov na okolje (EC, 2002. Decision No 1600/2002/EC of the European Parliament and of the Council of 22 July 2002 laying down the Sixth Community Environment Action Programme.).

Na sliki 3 je prikazana intenzivnost pritiskov na okolje glede na kategorije potrošnje



Slika 3.: Intenzivnost pritiskov na okolje glede na kategorije potrošnje.

Pri ravnanju z odpadki dajemo prednost preprečevanju in ponovni uporabi pred recikliranjem.

Če želimo še naprej zmanjševati negativne vplive na okolje, je potrebno upoštevati življenjski krog pri ravnanju z odpadki, ki zmanjšuje vplive na okolje in rabo naravnih virov. Ravnanje z odpadki v Evropi temelji na načelih hierarhije odpadkov: najbolj bi si morali prizadevati za preprečevanje nastajanja odpadkov, sledijo pa ponovna uporaba, recikliranje, energetska predelava, kamor spada tudi sežiganje in šele na koncu odlaganje. Na odpadke torej vse bolj gledamo tudi kot na surovinski in energetski vir. Pri tem se moramo zavedati, da lahko različne oblike ravnanja z odpadki različno vplivajo na okolje, kar je odvisno od regionalnih in lokalnih razmer. Čeprav so se vplivi ravnanja z odpadki na okolje precej zmanjšali, je še vedno nekaj možnosti za izboljšave na tem področju, najprej z doslednim izvajanjem predpisov, potem pa z razširitvijo obstoječih politik ravnanja z odpadki na spodbujanje trajnostne potrošnje in proizvodnje, vključno z učinkovitejšo rabo virov.

5. VEČ KOT ODPADKI

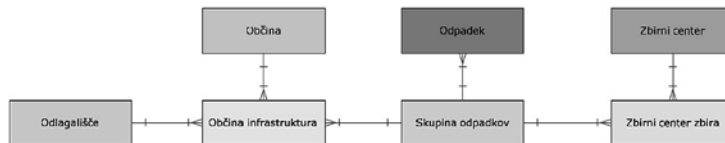
Za potrebe analize stanja in izgradnje spletne aplikacije smo uporabili preizkušeno metodologijo. Glede na to, da dosedanji spletni portali ponujajo le osnovno ločevanje odpadkov, ki pa ni uporabno za večina uporabnikov, ker vsaka lokalna skupnost uporablja svoj sistem in infrastrukturo, je aplikacija *Več kot odpadki* odgovor na navedene težave z možnostjo mobilne uporabe.

Prikaz metodologije

Podatkovni model

Definicija baze spletna stran za recikliranje odpadkov

ERD: Bachman's Notation



Odpadek - Tabela vsebuje podatke o posameznem tipu odpadka; v kolikor se odločimo za natančen opis odpadka lahko v to tabelo shranimo tekstovne opise za opis odpadka, kako zmanjšati, ponovna uporaba, pot reciklaže, ...

Skupina odpadkov - odpadki imajo vezavo na skupino odpadkov, ki združuje skupne lastnosti odpadkov. Skupina odpadkotako vsebuje: opis odpadkov te skupine, kako zmanjšati, ponovna uporaba, pot reciklaže, ...

Odlagališče - Definicija oblike odlagališča vsebuje podatke o namenu odlagališča, lokaciji, obliki, ... Za vsako občino se izdelava odlagališča, odvisno od oblike infrastrukture (npr. moder zabojnik za plastiko ...)

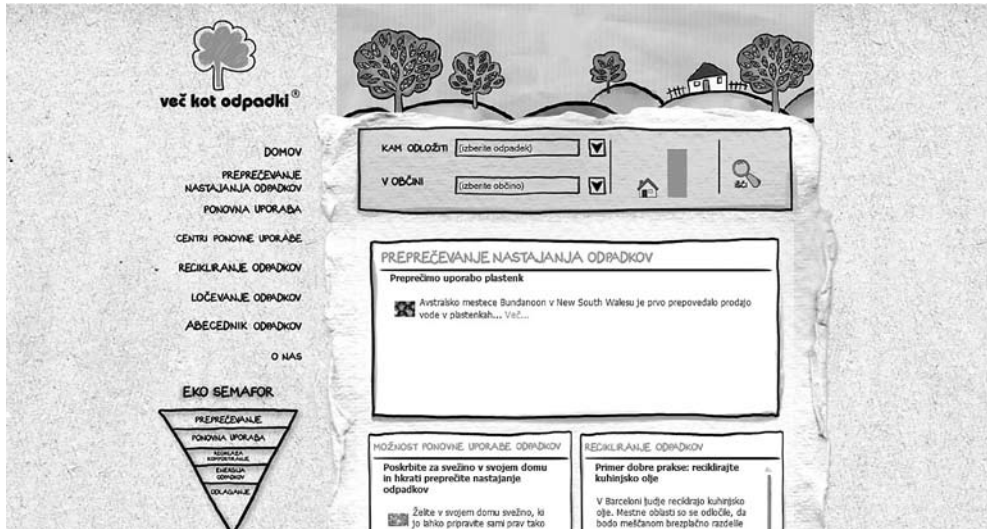
Občina - Tabela vsebuje seznam občin, ki so vključene v projekt skupaj z opisom njihove rešitve ločevanja odpadkov (opis infrastrukture, morebitna zbirna mesta, politika sprejema smeti, ...).

Občina infrastruktura - Tabela je uporabljena za izdelavo povezave med skupino smeti in tipom odlagališča za posamezno občino - na ta način lahko za vsako občino priagajamo infrastrukturo ločevanja odpadkov. (odpadek -> skupina odpadka -> občina -> tip odlagališča)

Zbirni centri - Tabela vsebuje podatke o registriranih zbirnih centrih: opis, lokacija, namen, lastnik, ...

Zbirni centri zbira - Povezovalna tabela med zbirnim centrom in skupino odpadkov. V tej tabeli so shranjeni nabori skupin odpadkov, ki jih zbira posamezni zbirni center skupaj z opisi tipa zbiranja in ostalimi morebitnimi omejitvami ...

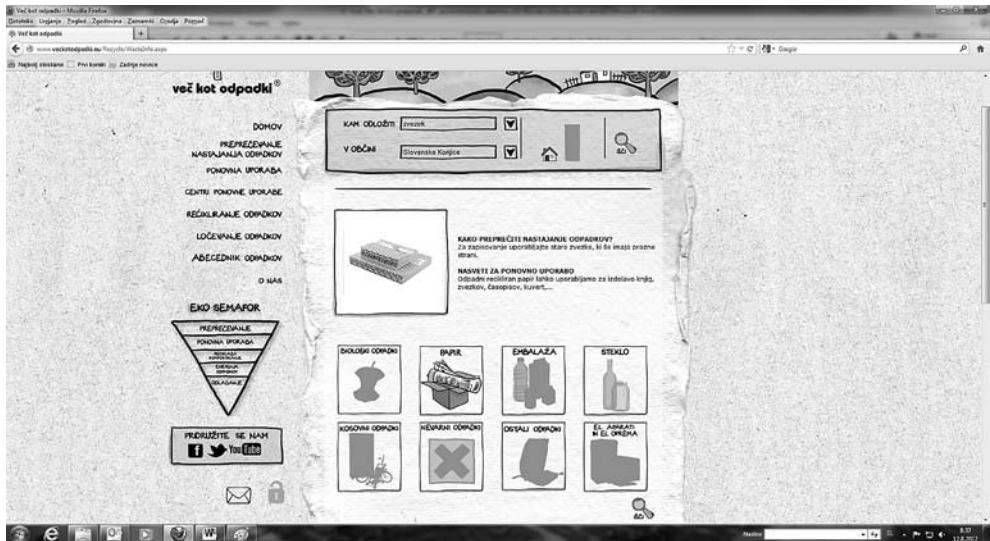
Aplikacijo *Več kot odpadki* smo zasnovali tako, da uporabnik na enem mestu najde vse potrebne informacije o določenem odpadku, katerega uporabnik vpiše v okence in nato izbere določeno občino, izbere opcijo ali stanuje v hiši ali bloku, brskalnik poda vse potrebne podatke o določenem odpadku, kako preprečiti odpadek, kako ga ponovno uporabiti, za katero vrsto odpadka gre, v kateri zabojnik sodi, način zbiranja tega odpadka, podatke o zbirnem centru, ter navede vse ostale odpadke, ki sodijo v isto skupino.



Slika 4.: Prikaz portala Več kot odpadki.

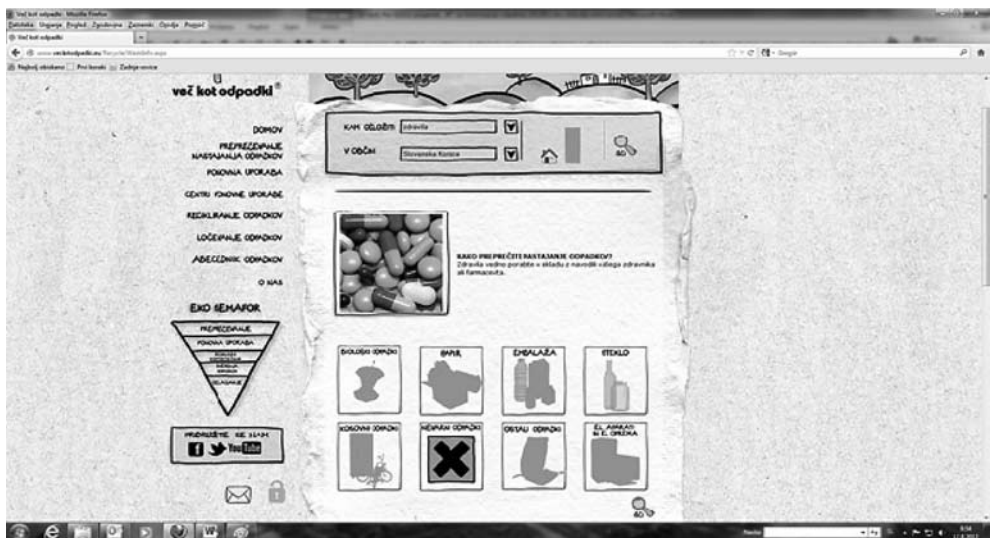
Aplikacija poleg tega ponuja več zavihkov v katerih je tako strokovno besedilo na temo preprečevanja nastajanja odpadkov, ponovna uporaba odpadkov, vse o Centrih ponovne uporabe, recikliranje odpadkov. V zavihku domov najdemo primere dobrih praks pri nas in v tujini v zvezi z preprečevanjem nastajanja odpadkov, ponovno uporabo odpadkov, recikliranjem odpadkov, te informacije se mesečno spreminjajo in osvežujejo, tako da je uporabnik seznanjen z najnovejšimi informacijami.

Aplikacija omogoča, da uporabnik ne rabi brskati po različnih spletnih straneh, da bi našel podatke o določenem odpadku, temveč ima vse na enem mestu. Prav tako spletna aplikacija ponuja povezavo do socialnih omrežij. Uporabnike je z aplikacijo mogoče ozavestiti o odpadkih kot še uporabnih surovinah z uporabo katerih lahko prihranimo obstoječe vire še za prihodnje generacije in hkrati opozarjamo na odgovornost do varovanja okolja in trajnostni razvoj. Z enostavnim, slikovitim pristopom lahko spodbudimo širši krog uporabnikov, da bi začeli pravilno ravnati z odpadki, pri čemer pravilno ravnanje pomeni, da se upošteva prednosti red ravnanja z odpadki. Inovativnost ravnanja z odpadki je v razumevanju odpadkov kot virov, torej surovin.



Slika 5.: Prednostne so informacije o preprečevanju nastajanja odpadkov in njihovi ponovni uporabi.

Pri modeliranju aplikacije smo uporabili pet faz kreativnega in inovativnega razmišljanja, kot so: opazovanje, viharjenje možganov, izdelava prototipa, izboljšava in izvedba (Nussbaum 2004, 5). Našo aplikacijo zato uvrščamo med ekoinovacije, ker preko tehnološkega pristopa poskušamo vzpodbuditi uporabnika, da bi s svojim ravnanjem skrbel za vires, surovine, ki pomembno vplivajo na rast gospodarstva in tako dajemo poudarek tudi človeškemu pristopu.



Slika 6.: Prednostne so informacije o preprečevanju nastajanja odpadkov, v kolikor njihova ponovna uporaba ni mogoča.

Pomemben je del aplikacije, ki usmerja uporabnika v informiranost in vednje o pomenu pravilnega ravnanja z viri, kar tudi uporabniku ponuja poslovno priložnost. Aplikacija »Več kot odpadki« že v imenu pove, da gre za »zeleni« način delovanja (Von Stamm 2008, 281), ki ne samo prispeva k pravilnemu ravnanju z viri, ampak tudi zmanjšuje stroške, saj je obdelava odpadkov pred odlaganjem pomemben stroškovni element v ceni storitve.

6. VIZUALNA ZASNOVA MOBILNE APLIKACIJE PROJEKTA

„Več kot odpadki“

Zasnova mobilne aplikacije „Več kot odpadki“ temelji predvsem na infografikah in ilustracijah kot vizualnih nosilcih informacij, ki jih aplikacija podaja. Naraščajoč trend podajanja informacij v vizualni obliki, ki je hkrati tudi najučinkovitejša, namreč močno olajša dojetje vsebin na mobilnih napravah. Tako bo v skladu s sistematizacijo odpadkov in njihovega ločevanja potrebno izdelati:

- stilizirane avtorske infografike za najpogostejše vrste odpadkov in posamezne odpadke ter vrste zabojnikov za odpadke,
- ikone menija oziroma posameznih kategorij aplikacije,
- sheme, grafične elemente, logotip in barvno ter tipografsko zasnovi,
- morebitne dodatne elemente, po katerih se bo pokazala potreba tekom ustvarjanja.



Slika 7.: Prikaz zasnove mobilne uporabe eVsebin »Več kot odpadki.eu«.

Količina vizualnih elementov je odvisna od natančne sistematizacije vsebine ob začetku projekta ter morebitnih tehničnih omejitev glede na tip naprave (iPhone, iPad, pametni telefon z OS Android, ...).

Informacijske in komunikacijske tehnologije (IKT) so ključnega pomena za »zeleno rast« v vseh sektorji gospodarstva. So ključni del vladne strategije za trajnostni gospodarski okrevanje. Neposredni okoljski vplivi informacijske in komunikacijske tehnologije so precej na področjih, kot so raba energije, materialov, pretok in konec življenjske dobe izdelka, pravilno ravnanje z

odpadki. Inovativne aplikacije lahko omogočajo trajnostno proizvodnjo in porabo v celotnem gospodarstvu.

7. ZAKLJUČEK

Cene surovin so visoke in rastejo, zato so snovi, pridobljene iz odpadkov, vse dragocenejši vir. Pravilno ravnanje z odpadki daje nove podjetniške priložnosti, katerih rezultat lahko prispeva delež k ohranjanju in varovanju okolja. V času gospodarske krize lahko varstvo okolja predstavlja priložnost za izboljšanje ekonomije. Aplikacija »Več kot odpadki« ima zato pomembno vlogo v segmentu ne tehnološke inovacije in spreminja življenjski slog, s tem pa pomembno prispeva k etičnemu odnosu do okolja in virov ter spodbuja podjetniške priložnosti. Z enostavnim, slikovitim in stimulativnim pristopom spodbuja širši krog uporabnikov (ne le internetnih), da z aplikacijo na mobilnih napravah kjerkoli in kadarkoli znajo pravilno poskrbeti za odpadke in še pomembneje, vedeli bodo, kako lahko ravnajo, da odpadki sploh ne nastanejo. Zelena IKT je globalnega pomena. Nujno je treba omejiti neposredne okoljske vplive informacijskih in komunikacijskih tehnologij v razvijajoča se gospodarstva. Pojav informacijske družbe je bil najbolj opazen v poznih 70-ih letih 20. stoletja, ko govorimo o prehodu iz industrijske v informacijsko dobo. To obdobje zaznamujejo porast števila informacij v vseh sferah družbenega življenja, hitrejši razvoj tehnologij, večji dostop do informacij, večja pluralizacija. Posledično pa to od nas zahteva usklajevanje in povezovanje informacij z različnih področij, sposobnost kritičnega presojanja teh informacij in njihovo osmišljanje ter nenazadnje komuniciranje na različnih ravneh. Zato tudi imenujemo informacijsko dobo »informacijsko-komunikacijska doba«, kjer so informacije in odnosi ključni del, na katerem temelji naše celotno življenje. »Informacijska« hkrati pomeni tudi spremembo v razmišljanju, v pristopu in odnosu ter načinu življenja. Zavedati se namreč moramo dejstva, da postaja vrednost znanja globalno merljiva ekonomska komponenta, ki še kako vpliva na merilo razvitosti tako posameznika kot celotne družbe oziroma, »družbe izobraženih«. Znanje se torej vse bolj uveljavlja kot glavna tržna dobrina, ki ekonomiji daje pomembne vire produkcije. S pojavom računalnika v začetku 80-ih let 20. stoletja se namreč začne pripravljati informacijska revolucija, ki privede do stanja, ko masovno proizvodnjo zamenja znanje, kako produkt/proizvod/storitev prodati. Ločevanje odpadkov danes ne zadošča, če hočemo resnično spoštovati prednosti red ravnanja z odpadki. Zato bi odnos do virov moral postati del vzgoje, saj bi le tako spremenili potrošniški neodgovoren odnos do virov. Vsakdanje ravnanje ljudi z odpadki se sicer izboljšuje, vendar vedno znova nastajajo novi viri, ki se v pojavnih oblikah odpadka pogosto s strani potrošnikov ne prepoznajo kot surovina. Vzrokov

za takšno stanje ni problem prepoznati, saj se odpadkom – virom ne posveča družbena pozornost in v večina primerov je to problem lokalne skupnosti. Zato se večina ljudi še vedno ne zaveda pomena odgovornega odnosa do odpadkov, še zlasti v fazi ponovne uporabe, saj je že ločevanje odpadkov problem. V sodobnem času moramo omogočiti mobilno uporabo informacij in z uporabo aplikacije Več kot odpadki lahko vsak, ne glede na kraj bivanja, vrsto infrastrukture, kjer živi, vrsto odpadka pridobi 24 ur dan informacije o možnostih ponovne uporabe, preprečevanja nastajanja in pravilnega razvrščanja virov, torej surovin (ne odpadkov). Pomembno je, ker ima uporabnik tudi informacijo o smiselnosti ločevanja, kajti šele s celovitim prikazom se osmisli način življenjski slog, ki ne le da je trajnostni, postane pomemben segment za gospodarski razvoj družbe.

LITERATURA IN REFERENCE

- [1] EC, 2002. Decision No 1600/2002/EC of the European Parliament and of the Council of 22 July 2002 laying down the Sixth Community Environment Action Programme.
- [2] EC, 2003. Communication from the Commission to the Council and the European Parliament – Integrated Product Policy – Building on Environmental Life-Cycle Thinking. COM(2003) 0302 final.
- [3] EC, 2005. Communication from the Commission to the Council, the European Parliament, the European Economic and Social Committee and The Committee of the Regions – Taking sustainable use of resources forward – A Thematic Strategy on the prevention and recycling of waste. COM(2005) 0666 final.
- [4] EC, 2005. Communication from the Commission to the Council, the European Parliament, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions – Thematic Strategy on the sustainable use of natural resources. COM(2005) 0670 final EC, 2006.
- [5] EC, 2007. Communication from the Commission to the Council, the European Parliament, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions: A Lead Market Initiative for Europe. COM(2007) 860 final SEC(2007) 1730.
- [6] EC, 2008. Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions on the Sustainable Consumption and Production and Sustainable Industrial Policy Action Plan. COM(2008) 0397 final.

- [7] EC, 2008. Directive 2008/98/EC of the European Parliament and of the Council of 19 November 2008 on waste and repealing certain Directives.
- [8] EC, 2009. Directive 2009/125/EC of the European Parliament and of the Council of 21 October 2009 establishing a framework for the setting of ecodesign requirements for energy-related products.
- [9] Nussbaum, B. (2004). The power of design. *BusinessWeek*.
- [10] Owen, W. (1962), "Transportation and Technology", *The American Economic Review* 52(2).
- [11] Sorrell, S., J. Dimitropoulos and M. Sommerville (2009), "Empirical Estimates of the Direct Rebound Effect: A Review", *Energy Policy*, 37(4), pp. 1356-1371.
- [12] Troccoli (ed.), Springer, pp. 175-188. UK recycling sector. www.cri.dk/images/downloads/file4a0f.pdf.
- [13] UNEP, (2009). *From Conflict to Peacebuilding: The Role of Natural Resources and the Environment*.
- [14] Von Stamm, B. (2008). *Managing Innovation, Design and Creativity*. Second edition. 259-288.
- [15] Vovk M. (2011). Zasnova izdelave mobilne aplikacije za uporabo odpadkov kot virov. Interno gradivo, EKO-TCE d.o.o..
- [16] Waste & Resources Action Programme (WRAP), 2006.
- [17] Wolak, F.A. (2010), "An Experimental Comparison of Critical Peak and Hourly Pricing: The PowerCentsDC Program", working paper, Stanford University, Stanford.
- [18] Zuleta, J.C. (2010), "The Future of the Lithium Market", paper presented at the Lithium Supply and Markets conference, Las Vegas, NV, USA, January.



ID 11

LCA odpadkov iz papirne industrije – izvedbeni/praktični primer

LCA of waste from the paper industry - implementation / practical example

dr. Marko LIKON¹, dr. Jouko SAARELA²

¹ *Insol d.o.o., Cankarjeva 16a, 6230 Postojna*
marko.likon@telemach.net

² *Finnish Environment Institute (SYKE), P.O. Box 140, FI-00251 HELSINKI,*
FINLAND
jouko.saarela@ymparisto.fi

Povzetek

Predelava papirniškega mulja v sorbente za čiščenje vodnih površin, namesto njihovega odlaganja na odlagališča ter zamenjava sintetičnih polipropilenskih sorbentov z sorbenti proizvedenimi iz papirniškega mulja ima pozitiven učinek na okolje. Ocena življenjskega cikla za saniranje 1000 kg oljnega razlitja je pokazala, da se ogljični odtis zmanjša za 14 krat, poraba vode pa za 372 kg, če se sintetične sorbente zamenja z sorbentom proizvedenim iz papirniškega mulja. Pretvorba papirniškega mulja v sorbent podaljša življenjski cikel papirnatih proizvodov za dodatna dva cikla. Kontroliran sežig pretvori uporabljen sorbent v inertne meta-kaolinske produkte, ki se lahko nadalje uporabijo kot hidrofilni sorpcijski material. Na ta način se celoten življenjski cikel papirja učinkovito zaključi.

Ključne besede: papirniški mulj, sorbent, LCA.

Abstract

The production of the sorbent material from papermill sludge, instead of landfilling it, and replacing expanded polypropylene absorbent with papermill sludge sorbent for oil spill sanitations has positive effects on the environment. Life cycle assessment study shows reduction of carbon footprint for more

than 14 times and reduction of water consumption for 372 kg based on the production of sorbent material for cleaning 1000 kg of oil spill. Conversion of papermill sludge into sorbent material prolongs life cycle of paper products for additional two cycles. Controlled incineration converts used sorbent into inert meta-kaolin product which can be further used as hydrophilic sorbent material. On that way life cycle of papermill sludge is efficiently closed.

Key words: papermill sludge, sorbent, LCA.

Povzetek

Trajnostno izboljšanje varnosti je raziskovalni projekt Evropske Unije. Naloga projekta je razvoj in uporaba metod za vrednotenje varnostnih parametrov in meritve za oceno in izboljšanje varnosti nasipov z posebnim poudarkom na stabilnosti jezov in past.

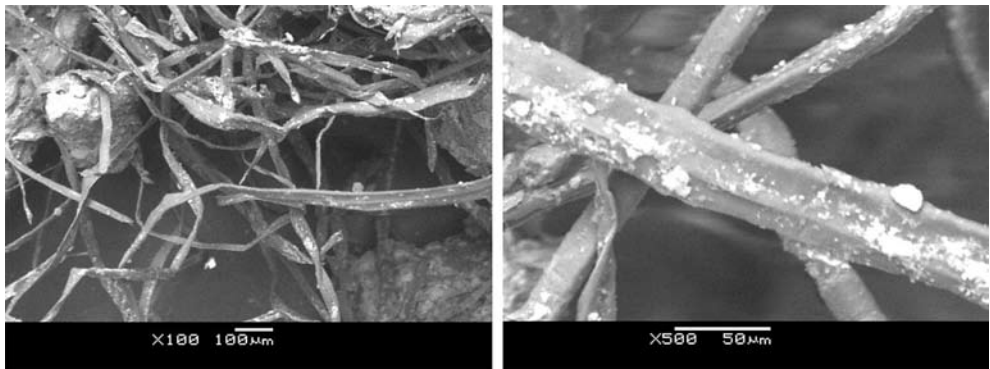
V obeh državah so skoraj pri vseh nasipih/jaloviščih soočeni z enakimi težavami. Najpogostejši skupni problemi so puščanje in lokalna erozija na površini. Večina problemov se nanaša na strukturne slabosti ali izredne vremenske dogodke. Filtrni sloj ima pri obravnavi varnosti in stabilnosti nasipov še posebej pomembno vlogo

Ključne besede: jalovišče, priročnik GruvRIDAS.

1. UVOD

Sorpcijski materiali se običajno uporabljajo za sanacijo manjših razlitij z namenom preprečevanja negativnih vplivov na okolje. V mnogih primerih se za ta namen uporablja lahko dostopne in poceni materiale. Ti materiali vključujejo ostanke iz predelovalne industrije npr. riževo, ovseno, pšenično in lane-no slamo, različne vrste sena, trstičje, luščine, storže in mah (US Department of Agriculture, 2008). Obveznost industrije in javnih služb za preprečevanje nesreč, ki se srečujejo z možnostjo razlitij okolju škodljivih tekočin je, da imajo na zalogi absorpcijske materiale za sanacijo razlitij in natančne podatke o njihovem obnašanju in vplivu na okolje v primeru njihove uporabe. Običajno uporabljajo sintetične absorbente zaradi njihovih, točno določenih lastnosti in stabilnosti pri skladiščenju. Po drugi strani pa so industrija in javne službe zavezane trajnostnemu razvoju. Ta je ob uporabi materialov o katerih vemo malo ali celo nič o njihovem izvoru lahko vprašljiv, predvsem zato, ker je potrebno pri njihovi uporabi vzeti v račun celoten življenjski cikel materiala, vključno s proizvodnjo, uporabo in njegovo odstranitvijo. Analiza življenjskega cikla (LCA) predstavlja uporabno orodje za primerjavo različni sorpcijskih materialov.

Obstaja mnogo materialov z odličnimi sorpcijskimi lastnostmi, med njimi tudi odpadna naravna vlakna ali industrijski stranski produkti, ki se jih danes obravnava kot odpadke. V skladu s teorijo industrijskega in ekološkega sožitja se odpadke, stranske produkte ali odpadno energijo, ki naključno nastanejo pri proizvodnih procesih lahko uporabi kot sekundarne surovine ali sekundarno energijo v drugih industrijskih branžah. Modernimi industrijskimi trendi, ki slonijo na ekološkem sožitju pa pri tem upoštevajo tudi kazalce ekonomske učinkovitosti, ki so ključni faktor pri planiranju modernih tehnoloških procesov. Ti vključujejo zmanjševanje količine odpadkov med samo proizvodnjo in ponovno uporabo odpadkov kot sekundarne surovine z visoko dodano vrednostjo.



Slika 1.: SEM slika prikazuje kompleksno strukturo PMS (celulozna vlakna in kaolin).

Papirna industrija je strateškega pomena za mnoge razvite države, toda obenem je ta industrija velik porabnik energije, kemikalij in lesne pulpe. Svetovna papirna industrija na leto proizvede preko 304.000.000 ton papirja (Lacour, 2005). V procesih recikliranja papirja velik del proizvedenih odpadkov predstavlja papirniški mulj (PMS). V povprečju nastane 23,4 % PMS na enoto proizvedenega papirja, količina pa je odvisna od procesov proizvodnje in recikliranja papirja (Miner, 1991). V povprečju države združene v organizacijo CEPI proizvedejo 4.700.000 ton PMS na leto in v naslednjih 50 letih se predvideva 48 do 86 % povečanje proizvodnje PMS glede na sedanje stanje. To predstavlja veliko ekološko obremenitev ker se več kot 69 % proizvedenega PMS odlaga na odlagališča odpadkov (Mabee in Roy, 2003). Zaradi visoke vsebnosti organskih snovi je odložen PMS podvržen procesom aerobnega in anaerobnega razkroja. V povprečju se iz 1 tone odloženega PMS v okolje sprosti 2,69 tone CO₂ in 0,24 tone CH₄ (Likon et al., 2009).

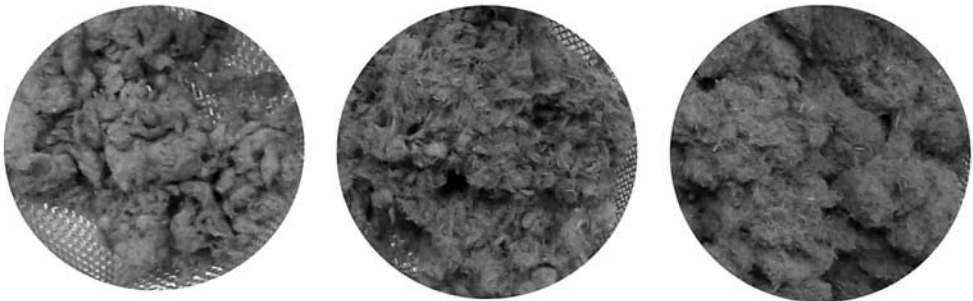
PMS fizikalno in kemijsko kompleksen material (slika 1), ki se ga lahko uporabi kot sekundarno surovino v različnih industrijskih branžah. Sestoji se iz kratkih celulozskih vlaken in polnil sestavljenih pretežno iz kalcijevega karbonata, kleva in ostankov kemikalij topnih v vodi. Lastnosti PMS se razlikujejo v

odvisnosti od procesov proizvodnje in je zato primeren material uporaben za različne aplikacije (Moo-Young and Zimmie, 1996; Zule et al., 2007; Černec et al., 2005; Rokainen et al., 2009; Dunster, 2009).

Tabela 2 Velikost delcev, aktivna površina in sorptivnost na motorno olje glede na vrsto mehanske obdelave (Likon et al., 2011).

	Povp. velikost	Aktivna površina	Sorptivnost
	mm	m ² /g	g/g
Sušen PMS	10	4.8096	1.23
Zmlet PMS	4.18	3.2048	2.07
Zdrobljen PMS	1.67	36.0526	4.4
Flufiran PMS	0.7	2.9626	7.12

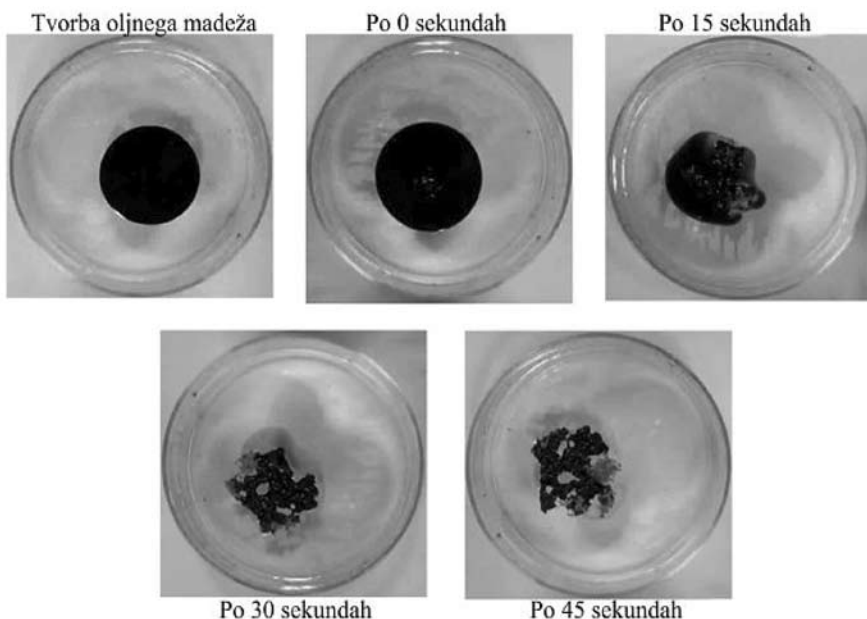
Razlike v teksturah PMS po mehanski obdelavi so prikazane na sliki 2.



Slika 2.: Sušen PMS (levo), zdrobljen PMS (v sredini) in flufiran PMS (desno).

Narejene so bile obetajoče raziskave uporabe PMS kot sorpcijskega sredstva za sanacijo oljnih razlitij in uporaba PMS za proizvodnjo absorbentov je v literaturi dobro dokumentirana, kljub temu pa trg teh materialov ni sprejel zaradi poplave učinkovitih in cenjenih sintetičnih absorbentov. Rezultati študij so pokazali, da se lahko PMS indirektno uporablja kot aktivni absorbent, če ga pretvorimo v črno oglje (Ben-Reuven, 2007). Veliko raziskav je bilo usmerjenih v uporabo PMS za odstranjevanje ionov težkih kovin (Battaglia et al., 2003; Calace et al., 2003, Hea et al., 2010; Ahmaruzzaman, 2011) in fenolov iz odpadnih vod (Calace et al., 2002), kot tudi proizvodnje absorbentov za čiščenje trdnih površin (Lowe et al., 1988; Eifling and Ebberts, 2006). Različni postopki predelave PMS v sorpcijske materiale so bili tudi patentirani in preneseni v prakso. Ker se moderna industrija sooča z velikim številom oljnih razlitij in posledično z odpravljanjem posledic, se srečuje tudi z velikimi stroški za nabavo sorpcijskih materialov. Ponudba trajnostnih, učinkovitih in cenjenih sorpcijskih materialov proizvedenih iz PMS je zato

dobrodošla. Eden od postopkov, ki omogoča pretvorbo PMS v granulato za čiščenje talnih površin je znan kot KAOFIN postopek in je opisan v in U.S. Patentu št. 4343751 (Naresh, 1980). Podoben postopek predelave PMS v absorbent je opisan tudi v U.S. Patentu št. 4374794. Po tem postopku se voda iz PMS upari med ekstrudiranjem in peletiziranjem na rotirajočem mlinu pri temperaturah od 100°C do 150°C (Kok, 1983). Postopek CAPS/WOCA (Conversion of paper mill sludge into absorbent) je inženirska rešitev predelave PMS v sorbent, kjer se za proizvodnjo uporablja viške odpadne toplotne energije, ki se jo običajno nekontrolirano spušča v okolje. Rezultat take proizvodnje je pretvorba odpadnega PMS v produkt z visoko dodano vrednostjo. Tehnologija CAPS/WOCA je relativno enostavna in prenosljiva ne glede na razvitost papirne industrije na določenem območju. Temelji na sušenju PMS do točke vlažnosti, kjer se delno osušeni material lahko učinkovito mehansko in/ali kemijsko obdela, da se iz anorganske matrice sprostijo celulozna vlakna. Vlažnost primarnega in »deinking« mulja se giblje med 50 in 70 %, vsebnost celuloznih vlaken v suhi snovi pa od 30 do 52 %, preostanek predstavlja anorganski del in polnila. Pri postopku CAPS/WOCA se PMS suši dokler vsebnost suhe snovi ne doseže 70 do 80 %. Tako sušen produkt se podvrže mehanski obdelavi (mletju), ki je ključen proces pri proizvodnji učinkovitega sorpcijskega sredstva saj v tej stopnji pride do sprostitve celuloznih vlaken iz anorganske matrice, ki omogoča lebdenje na vodni površini. Mehanska obdelava poveča aktivno površino materiala pri tem pa sorptivnost ni linearna z aktivno površino (Tabela 2).



Slika 3.: Prikazuje časovno skalo absorpcije olja z vodne površine.

Kemijska obdelava (esterifikacija, silanizacija) PMS se izvede, kadar je potrebno zagotoviti višje stopnje sorbtivnosti ali plavnosti absorbenta. Po mehanski in kemijski obdelavi se PMS-sorbent ponovno podvrže sušenju pri 130°C do 150°C dokler se ne doseže stopnjo vlažnosti od 1 do 10 %. Končni produkt ima aktivno površino 36 m²/g, sorpcijsko kapaciteto do 8 g olja/g PMS-sorbenta in zmožnost lebdenja na vodni površini (Likon et al., 2011).

Zdrobljen PMS kaže dobre sorpcijske lastnosti za odstranjevanje razlitih olj z vodnih površin. Kot je razvidno iz slike 3 PMS-sorbent odstrani olje v 45 sekundah, če je masno razmerje med razlitim oljem in PMS sorbentom 1:1.

Sorpcija mineralnega olja na PMS sorbent sledi kompleksni kombinaciji difuzije v pore med delce v prvi stopnji in adsorpcijo olja pseudo-drugega reda v pore anorganskega dela PMS v drugi stopnji. Difuzija v pore med delci je razvidna iz slike 4.

PMS-sorbent se lahko kot sorbent za sanacijo oljnih razlitij lahko uporablja v naftni, kemijski in transportni industriji, uporabljajo pa ga lahko tudi javne službe za preprečevanje naravnih in drugih nesreč npr. gasilci, civilna zaščita, obalna straža itd.

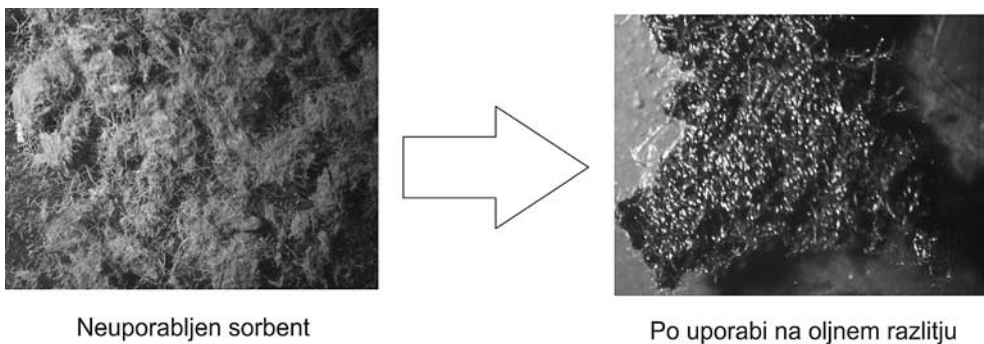


Figure 4.: Vezava mineralnega olja na PMS.

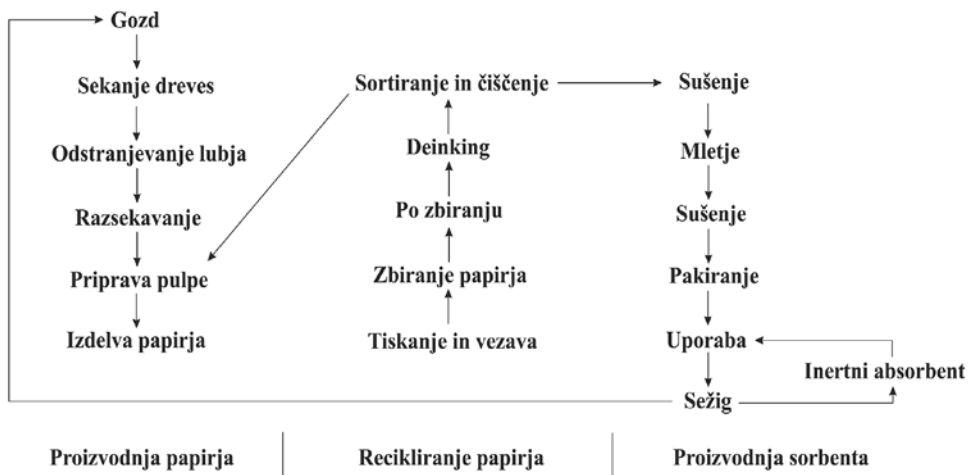
To so institucije, ki za ukrepanje potrebujejo okolju prijazen, učinkovit in obenem trajnostni produkt. PMS-sorbent ima kalorično vrednost okoli 3,8 MJ/kg in sorpcijsko kapaciteto do 8 kg olja na 1 kg sorpcijskega sredstva. Sorbent namočen z oljem pa lahko doseže kalorično vrednost do 33,5 MJ/kg in se ga kot takega lahko uporabi kot visoko kvalitetno gorivo v ko-generacijskih procesih. Ob sežigu pod kontroliranimi pogoji se kaolinski del pretvori v porozne meta-kaolinske granule, ki se jih lahko uporabi kot hidrofilni absorbent.

V tem prispevku bova predstavila LCA PMS-sorbenta in ga primerjala s sintetičnim absorbentom proizvedenim iz ekspaniranega polipropilena. Omenjeni primer lahko služi kot osnova za debato o dejanski trajnosti uporabe

različnih vrst absorbentov za čiščenje oljnih razlitij, kot tudi za debato o uporabni vrednosti pretvorbe industrijskih odpadkov iz papirne industrije v produkte z visoko dodano vrednostjo.

2. METODE

LCA PMS-sorbenta in ekspaniranega polipropilena sva izvedla z uporabo metode Eco-Indicator 99(H) V2.06/Europe EI 99 H/A. Ogljični odtis in vodna bilanca za ekspaniran polipropilen sva izračunala na osnovi podatkov iz baze podatkov BUWAL 250 z uporabo programskega paketa SimaPro 7.1 in podatkov iz strokovne literature (Felix et al., 2008; Binder and Woods, 2009; LyondellBasell, 2009; Tabone et al., 2010). Za izračune ogljičnega odtisa pri nekontrolirani razgradnji PMS sva uporabila postopek po Buswell-u in Mueller-ju (1952). Energijsko bilanco pri proizvodnji in izrabi PMS sva izračunala na osnovi podatkov in enačbe po Martin et al. (2003). Model izračuna LCA za PMS-sorbent je prikazan na sliki 5.



Slika 5.: LCA model izračuna LCA za PMS-sorbent.

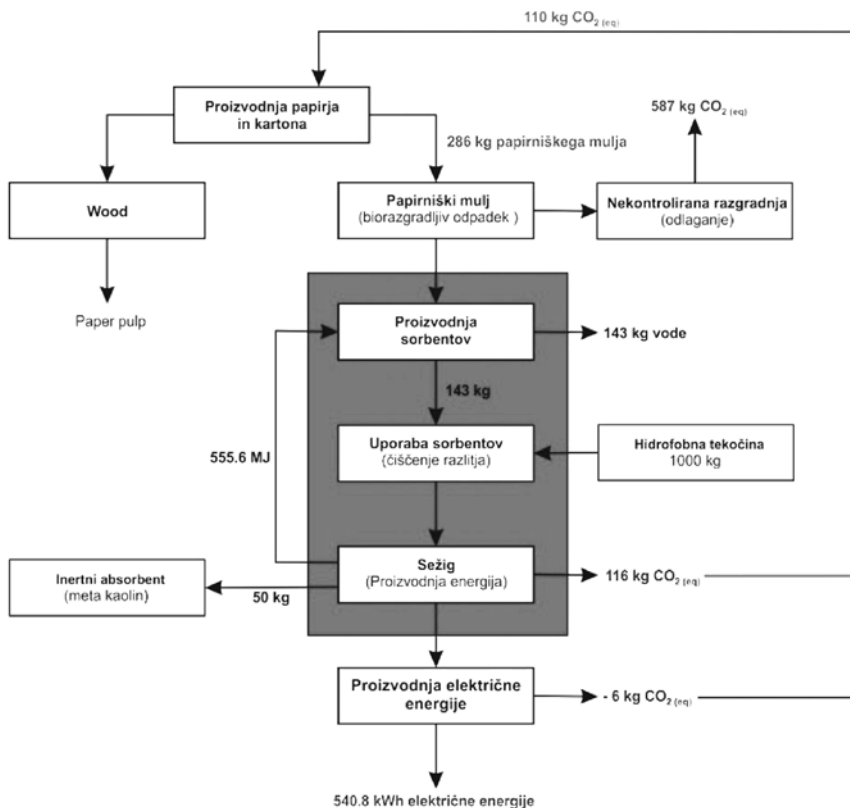
3. MEJE IZRAČUNA

Pri izračunih sva PMS smatrala kot nezaželen stranski produkt (odpadek) pri recikliranju in proizvodnji papirja in kartona. To pomeni, da je PMS nastal brez porabe vode in energije in da ni povzročil negativnega ogljičnega odtisa pri njegovem nastanku. Ekspaniran polipropilen (EPP) sva smatrala kot absorbent proizveden iz neobnovljivega surovinskega vira (propena). Vsi iz-

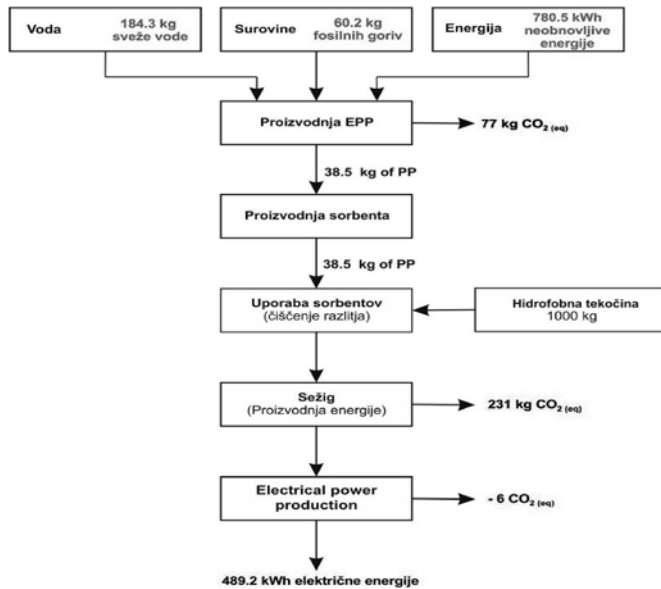
računi temeljijo na količini sorbenta, ki je potreben za popolno sanacijo 1000 kg oljnega razlitja, ter na predpostavki, da je sorpcijska kapaciteta PMS-sorbenta 7 kg olja na 1 kg sorbenta, sorpcijska kapaciteta ekspaniranega polipropilena pa 26 kg olja na 1 kg sorbenta. V izračunu sva upoštevala, da se izrabljen sorbent uporabi kot gorivo pri čemer pa absorbirana hidrofozna snov ni upoštevana v končnih LCA izračunih.

4. REZULTATI IN RAZPRAVA

Kot lahko vidimo iz slik 6 in 7 proizvodnja in uporaba PMS-sorbenta za saniranje oljnega razlitja lahko zmanjša ogljični odtis za 2,75-krat v primerjavi s proizvodnjo in uporabo EPP. Dodatno se ogljični odtis zmanjša za 5,25-krat (graf 1) če PMS uporabimo za proizvodnjo sorbenta namesto, da ga odlagamo. V kolikor PMS uporabimo za proizvodnjo PMS-sorbenta in z njim zamenjamo EPP sorbent pri sanaciji oljnega razlitja namesto, da bi ga odložili se ogljični odtis skupno zmanjša za kar 14-krat.

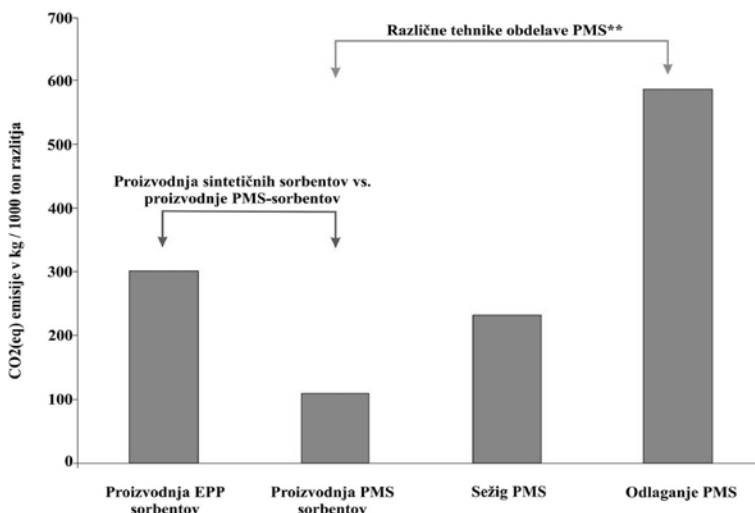


Slika 6.: Življenjski cikel za pretvorbo PMS v sorpcijski material.



Slika 7.: Življenjski cikel za proizvodnjo in aplikacijo EPP absorbenta.

Razlika v vodni bilanci znaša 372,3 kg izračunana na količini sorpcijskega materiala za sanacijo 1000 kg oljnega razlitja. Razlika v vodni bilanci nastane zaradi porabe 184,3 kg sveže vode za proizvodnjo EPP in zaradi generacije 143 kg čiste tehnološke vode pri rekuperaciji toplotne energije pri proizvodnji PMS-sorbenta.



Slika 8.: Primerjava CO₂(eq) emisij za proizvodnjo 1000 kg oljnega razlitja (*) in primerjava CO₂(eq) emisij za različne tehnike obvladovanja PMS (**).

Energijska bilanca kaže nastanek viška energije pri proizvodnji PMS-sorbenta zaradi generiranja gorljivega produkta iz odpadkov in negativno energijsko bilanco v primeru proizvodnje in uporabe EPP absorbenta. Razlog negativne energijske bilance je visoka poraba energije pri proizvodnji PP iz fosilnih goriv. LCA analiza proizvodnje PMS-sorbenta tudi kaže na podaljšanje življenjskega cikla papirja za dodatna dva cikla in učinkovito zapiranje življenjskega kroga pri proizvodnji in uporabi papirja.

5. ZAKLJUČEK

Moderno upravljanje proizvodnih procesov vključuje tudi vidik trajnostnega razvoja, ki kora temeljiti na industrijsko ekološkem sožitju. LCA je uporabno orodje za testiranje trajnosti in celovitega okoljskega vpliva posameznih produktov in proizvodnih tehnologij. Primer proizvodnje sorpcijskih materialov iz odpadkov iz papirne industrije je pokazal, da so sorpcijski materiali proizvedeni iz odpadkov okolju bolj prijazni kot, na prvi pogled bolj učinkoviti, sintetični materiali. S pretvorbo PMS v sorpcijski material industrija ter javne službe, ki se ukvarjajo z sanacijo oljnih razlitij pridobijo poceni in okolju prijazen sorpcijski material, po drugi strani pa papirna industrija razširja svoj proizvodni program z izrabo industrijskih odpadkov in odpadne energije. Glavna pomanjkljivost pri osvojitvi tržnega deleža je počasna degradacija PMS-sorbentov na vodni površini. To pomanjkljivost se lahko odpravi z kemijsko obdelavo, pravilno uporabo ali z mešanjem PMS-sorbenta z drugimi materiali, pri tem pa se je potrebno zavedati, da vsak dodaten proces draži produkt in lahko naredi PMS-sorbente nezanimive za trg. PMS-sorbent predstavlja resno alternativo sintetičnim sorpcijskim sredstvom za čiščenje oljnih razlitij vendar bo potrebo vložiti še nekaj truda, da bo industrija dobila resnično trajnostni, poceni in visoko učinkovit material v praktično neomejenih količinah pri tem pa izraba naravnih virov ne bo ogrožena.

REFERENCE

- [1] Ahmaruzzaman M. (2011). *Industrial wastes as low-cost potential adsorbents for the treatment of wastewater laden with heavy metals*. Advances in Colloid and Interface Science, 166, 36-59.
- [2] Battaglia A., Calace N., Nardi E., Maria Petronio B.M., Pietroletti M. (2003). *Paper mill sludge-soil mixture: kinetic and thermodynamic tests of cadmium and lead sorption capability*. Microchemical Journal, 75, 97-102.
- [3] Ben-Reuven M. (1997). *Conversion of Paper-Mill Sludge Into Pelletized, Composite Activated Sorbent*. Small Business Innovation Research (SBIR) - Phase I (1997), EPA, Washington, USA.

- [4] Binder M., Woods L. (2009). *Comparative Life Cycle Assessment In-geo™ biopolymer, PET, and PP Drinking Cups. Final report for Starbucks Coffee Company*. Seattle, US, 61.
- [5] Buswell A.M., Mueller H.F. (1952). *Mechanism of Methane Fermentation, Industrial Engineering Chemistry*. 44(3), 550-552.
- [6] Calace N., Nardi E., Petronio B.M., Pietroletti M. (2002). *Adsorption of phenols by papermill sludges*. Environmental Pollution, 118, 315-319.
- [7] Calace N., Nardi E., Petronio B.M., Pietroletti M., Tosti G. (2002). *Metal ion removal from water by sorption on paper mill sludge*, Chemosphere, 8(51), 797-803.
- [8] Černek F., Zule J., Može A., Ivanuš A. (2005). *Chemical and microbiological stability of waste sludge from paper industry intended for brick production*, Waste management & research. 2(23), 106-112.
- [9] Dunster A.M. (2009). *Paper sludge and paper sludge ash in Portland cement manufacture*.
- [10] Eifling R.B., Ebberts H.J. (2006). *Cellulose absorbent*. U.S. Patents 7038104 B1.
- [11] Felix E., Tilley D.R., Felton G., Flamino E. (2003). *Biomass production of hybrid poplar (Populus sp.) grown on deep-trenched municipal biosolids*. Ecological Engineering, 33, 8 - 14.
- [12] Hea X., Yao L., Lianga Z., Ni J. (2010). *Paper sludge as a feasible soil amendment for the immobilization of Pb²⁺*. Journal of Environmental Sciences, 22(3), 413-420.
- [13] Kok J.M. (1983). *Process for the preparation of a liquid-absorbing and shock-absorbing material*. U.S. Patent 4374794.
- [14] Lacour P.A. (2005). *Pulp and paper markets in Europe UNECE/FAO 2005*, 26th of September.
- [15] Likon M., Černek F., Saarela J., Zimmie T.F., Zule J. (2009). *Use of paper mill sludge for absorption of hydrophobic substances*. 2nd International Conference on New Developments in Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Near East University, Nicosia, North Cyprus.
- [16] Likon M., Černek F., Svegl F., Saarela J., Zimmie T.F. (2011). *Papermill industrial waste as a sustainable source for high efficiency absorbent production*. Waste Management, 6(31), 1350-1356.
- [17] LyondellBasell. (2009). *Polypropylene, Environmental Information Document Relevant to Australia*. South Yarra Vic, Australia, 6.

- [18] Lowe H.E., Yoder L.R., Clayton C.N. (1988). *Nonclay oil and grease absorbent*. US. Patent 4734393.
- [19] Mabee W., Roy D.N. (2003). *Modeling the role of papermill sludge in the organic carbon cycle of paper products*. Environmental Reviews, 1(11), 1-16.
- [20] Martin F.M., Roberdo F.G., Osado I.I., Ortiz S.V. (2003). *CO₂ fixation in poplar-214 plantations aimed at energy production*. Council on Forest Engineering (COFE) Conference Proceedings: "Forest Operations Among Competing Forest Uses", Bar Harbor, US, 7-10.
- [21] Miner R. (1991). *Environmental Considerations and Information Needs Associated With an Increased Reliance on Recycled Fiber*. In Focus 95+ Proceedings, TAPPI PRESS, Atlanta, pp. 343-362.
- [22] Moo-Young H.K., Zimmie T.F. (1996). *Geotechnical Properties of Paper Mill Sludges for Use in Landfill Covers*. Journal of Geotechnical Engineering, 9(122), 768-755.
- [23] Naresh K. (1980). *Clay agglomeration process*. U.S. Patent 4343751.
- [24] Rokainen N., Kujala K., Saarela J. (2009). *Use of industrial by-products in landfill cover*. Paper in Proceedings Sardinia 2009, Twelfth International Waste and Landfill Symposium S. Margaritha di Pula, Caligari, Italy, 5-9.
- [25] Tabone M.D., Cregg J.J., Beckman E.J., Landis A.E. (2010). *Sustainability Metrics: Life Cycle Assessment and Green Design in Polymers*. Environmental Science & Technology, 44(21), 8264-8269.
- [26] United States Department of Agriculture Rural Development Utilities Programs; Bulletin 1724E-302; *Subject: Design Guide for Oil Spill Prevention and Control at Substations*. <http://www.usda.gov/rus/electric/bulletins.htm> (2008).
- [27] Zule J., Černec F., Likon M. (2007). *Chemical properties and biodegradability of waste paper mill sludges to be used for landfill covering*. Waste management & research, 6(25), 538-546.



ID 12

Preventivni in higienski vidik ravnanja z biološko razgradljivimi odpadki

Preventive and hygienic aspects of biodegradable waste treatment

Alen BALAŽIČ¹

¹ *Saubermacher Slovenija d.o.o, Ulica Matije Gubca 2, 9000 Murska Sobota
a.balazic@saubermacher.si*

Povzetek

Tudi danes je najučinkovitejši higienski ukrep preventiva, ki naj bi preprečila razmnoževanje patogenih organizmov in preventivno zmanjšala stik človeka, živali in rastlin s patogeni. Skupen cilj omenjenih preventivnih higienskih ukrepov je zmanjšati različna higienska tveganja, ki pogosto pomenijo resno nevarnost za zdravje. Cilj obdelave bioloških razgradljivih odpadkov je proizvesti kompost/digestat, ki lahko vsebuje veliko različnih mikroorganizmov, ki pa je z vidika kužnih bolezni in rastlinske higijene neoporečen, torej so uničeni vsi patogeni mikroorganizmi. Upoštevanje omenjenega cilja je predpogoj, da bo željeno krožno gospodarstvo z biološko razgradljivimi odpadki varno za zdravje ljudi, živali in rastlin, tudi ko so v biomaso vneseni zelo kužni povzročitelji bolezni. Obrati za obdelavo bioloških odpadkov, ki izpolnjujejo zahteve Uredbe o obdelavi biološko razgradljivih odpadkov, zagotavljajo higienizacijo, ki uniči patogene za človeka, živali in rastline.

Ključne besede: Higienizacija, preventiva, patogeni mikroorganizmi, obdelava odpadkov

Abstract

Even today, prevention is the most efficient way to prevent reproduction of pathogenic microorganisms and to avoid contacts of these pathogens with humans, animals and plants. Common aim of hygienic measures previously

noted is to reduce different hygienic risks that are in most cases harmful to health. The aim of biodegradable waste treatment is to produce compost/digestate which in itself can contain different microorganisms, but from the perspective of infectious diseases this compost/digestate is not harmful since all pathogenic microorganisms are eliminated. Fulfillment of this aim is a precondition for safe treatment of biodegradable waste that is harmless for humans, animals and plants even when infectious pathogens are present in the biomass. Facilities for biodegradable waste treatment that are in compliance with Decree on the treatment of biodegradable waste, assure required hygienization eliminating pathogens harmful for humans, animals and plants.

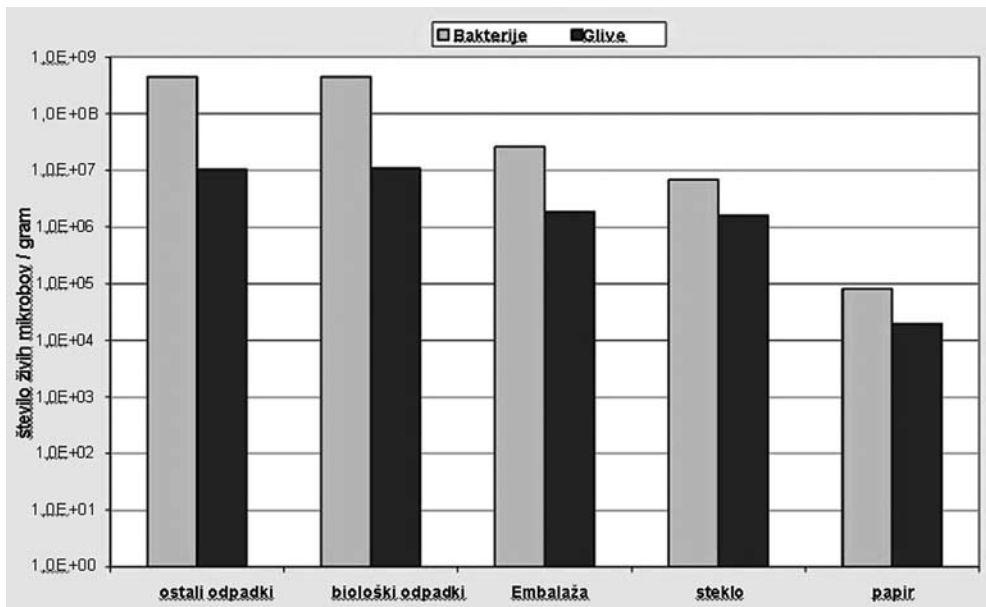
Key words: Hygienization, Prevention, Pathogenic microorganisms, waste treatment

1. UVOD

Zaradi zmanjševanja tveganja, okoljskega in bolezenskega, so bile v preteklosti organizirane različne strukture in različne organizacijske oblike ravnanja z odpadki. Ena prvih je bila zbiranje odpadkov in odlaganje. Kasnejši razvoj je pripeljal do novih organizacijskih struktur ravnanja z odpadki t.i. 5-stopenjsko hierarhijo ravnanja z odpadki.

Tudi danes je najučinkovitejši higienski ukrep preventiva, ki naj bi preprečila razmnoževanje patogenih organizmov in preventivno zmanjšala stik človeka, živali in rastlin s patogeni. Tveganja za razvoj patogenih organizmov zmanjšujemo s pomočjo zdravstvenega varstva (medicina, veterina, fitomedicina), nadzorom nad živili, krmo, pitno vodo, čiščenjem odpadne vode in ravnanjem z odpadki. Skupen cilj omenjenih preventivnih higienskih ukrepov je zmanjšati različna higienska tveganja, ki pogosto pomenijo resno nevarnost za zdravje. Zadnja leta je v RS letno prijavljenih povprečno okoli 60.000 primerov nalezljivih bolezni. Skupna obolevnost za nalezljivimi boleznimi se giblje okoli 3000/100.000 prebivalcev [1].

Pri dejanski realizaciji samozadostnega gospodarstva s poudarkom na surovinskem tokokrogu, se ne moremo izogniti področju ravnanja z biološko razgradljivimi odpadki, ki so med drugim lahko obremenjeni s kužnimi boleznimi, zato jih je potrebno s termičnimi postopki predelati v higiensko neoporečne proizvode. Obravnavani so izbrani vidiki, relevantni za prakso z namenom omejevanja higienskih tveganj na področju zbiranja in obdelave biološko razgradljivih odpadkov.

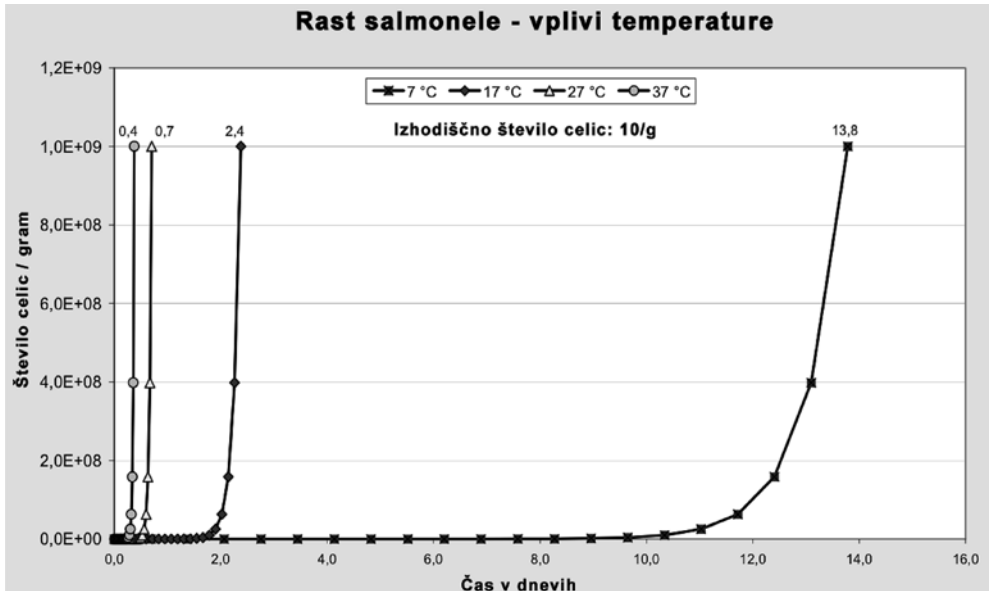


Slika 1.: Število živih bakterij in gliv, ko se prirastejo na odpadke: podatki iz [6].

2. MIKROBIOLOŠKA SESTAVA ODPADKOV

Biomasa nastaja s procesom fotosinteze, pri čemer nastane približno 120 do 130 milijard ton rastlinske biomase, ki se razgradi pretežno zaradi mikrobnih procesov. Hkrati se za proizvodnjo te biomase zaradi neto produkcije biomase, ki jo proizvajajo rastline po celem svetu, izgubi okrog 60 milijard ton ogljika [2]. Biomaso razgrajujejo bakterije in glive, bistveno pa vplivajo na razkroj biomase tudi številni virusi iz okolja [3]. Nedavne študije so pokazale da je v tleh neverjetno bogastvo bakterijskih skupnosti, vendar pa bakterije niso edini mikroorganizmi ki se nahajajo v tleh. V naravnem okolju zato najdemo na vseh nahajališčih biomase ogromno raznolikih in številnih bakterij, gliv ter virusov, ki so danes večinoma še neznan [4-5]. Razgradnja biomase je izrazita predvsem v tleh; število živih organizmov, živečih v tleh, ocenjujejo na 10^{14} na m^2 . Več kot 99 % omenjenih organizmov predstavljajo bakterije, ki k biomasi v tleh živečih organizmov zaradi svoje majhnosti prispevajo malo več kot 50 %. Drugi največji delež predstavljajo talne glive, katerih število ocenjujejo na 10^{11} na m^2 . V preteklosti ko se odpadki v gospodinjstvih niso ločevali, so analize sestave odpadkov pokazale, da je delež biomase v gospodinjstvih odpadkih znašal do 70 %. Danes se gospodinjstvi odpadki zbirajo kot ločene frakcije KO. Visok delež biomase imajo poleg bioloških še papirnati in ostali odpadki (> 50 % ogljika), a biomasa se lahko priraste tudi na koristne snovi in steklene odpadke, kar hitro povzroči intenzivno naselitev mikroorganizmov (slika 1).

Za nastanek tolikšnih količin mikroorganizmov zadostuje le nekaj miligramov biomase, ki se lahko predela. To dejstvo pojasnjuje, da lahko tudi odpadki z razmeroma nizkim deležem biomase ali pa brez nje (npr. stekleni odpadki) ob stiku z biomaso vsebujejo veliko število različnih mikroorganizmov. V primeru prisotnosti biomase z visoke stopnjo vlažnosti in povišane temperature okolja se v določenih odpadkih v zelo kratkem času pojavi velika količina mikroorganizmov (slika 2).



Slika 2.: Prikaz vpliva temperature na rast bakterij, podatki iz [7].

Ker so gospodinjski odpadki pred odvozom pogosto več dni shranjeni v koših za smeti (nato v zabojnikih za odpadke) in to pri sobni temperaturi, se v večini že nahaja povečano število mikroorganizmov. Za človeka 99,99 % mikroorganizmov v okolju ne predstavlja nevarnosti. Znanih je približno 1407 vrst patogenih organizmov – 208 virusov/prionov, 538 bakterij, 317 gliv, 57 protozojev in 287 helmintov („gliste“). 60 % omenjenih povzročiteljev lahko poleg človeka okuži tudi živali. Ker oboleli ljudje in živali večinoma izločajo velike količine patogenov, se lahko v biomasi iz gospodinjstev redno dodajajo najrazličnejši povzročitelji okužb. To potrjujejo tudi številni primeri obolenj, ki se povečini prenašajo s živali. Živila, primerna za prehrano ljudi, sicer pogosto vsebujejo veliko količino mikroorganizmov, ki pa so apatogeni organizmi. Na nastanek patogenov v gospodinjskih odpadkih vplivajo predvsem oboleli ljudje in živali, ki le-te prenesejo v biomaso. Primer bakterije EHEC leta 2011 pa dokazuje, da lahko na prisotnost patogenov v gospodinjskih odpadkih močno vplivajo tudi izdelki iz rastlinskih živil.

Tabela 1.: Nekateri prijavljeni primeri nalezljivih bolezní v Sloveniji.

Bolezen/Leto	2008	2009	2010	Povzročitelj
Driska in gastroenteritis	13.401	11.459	12.176	V
Kampilobakterioza (enteritis)	888	921	999	B
Rotaviroza (rotavirusni enteritis)	2.070	1.644	1.593	V
Salmoneloza (salmonelni enteritis)	1.068	614	340	B
Enteritis (E-coli)	40	52	61	B
Hepatitis C (kronični virusni)	76	105	78	V
Tuberkuloza	192	175	151	B
Lamblijoza (Giardioza)	14	9	19	P
Gripa (Infuenza)	ni podat.	652	16	V
Enteritis (Yersinia enterocolitica)	31	27	16	B
Sifilis	93	49	40	B
HIV	48	48	35	V
Hantavirus	ni podat.	ni podat.	ni podat.	V
Kriptosporidioza	6	3	7	P
EHEC - Enterohemoragična E-coli	19	24	14	B
Hepatitis A	17	12	9	V
Ošpice	ni podat.	ni podat.	2	V
Hepatitis B	17	11	7	V
Griža	44	42	31	B
Legioneloza	48	66	58	B
Malaria	3	7	9	P

B: bakterija; V: virus; P: parazit; vir: Inštitut za varovanje zdravja Republike Slovenije, Epidemiološko spremljanje nalezljivih bolezní v Sloveniji v letu 2010, 2009 in 2008;

3. ZBIRANJE BIOLOŠKIH ODPADKOV IN HIGIENSKI VIDIK

Pri vseh načinih ravnanja z odpadki (zbiranje, obdelava in končna odstranitev) je zelo pomemben vidik preventiva. Tako je osnovno načelo zbiranja odpadkov, da se v sklopu izvajanja javne gospodarske službe zbiranja odpadkov zagotovi čim krajši čas zadrževanja odpadkov pri gospodinjskih. Še posebej bioloških odpadkov v poletnih mesecih saj se že po enem oz. dveh dneh v njih razvijajo številni mikroorganizmi. Posledično so potrebni preventivni ukrepi:

- S higienskega vidika se priporoča uporaba majhnih zbiralnih posod s pokrovom, ki so opremljene z zbiralnimi vrečami za odpadke, s pomočjo katerih ostaja koš za odpadke čist.
- Svetuje se le čiščenje. Za čiščenje zbiralne posode, za katero ponavadi zadostujeta gospodinjsko čistilo in voda, naj bi se uporabile rokavice za enkratno uporabo, ki se nato odvržejo v smeti.
- Izmed mnogih postopkov obdelave bioloških odpadkov se je kot izvedljiva izkazala uporaba biorazgradljivih plastičnih vrečk za zbiranje bioloških odpadkov v gospodinjstvih [8]. Če kdor omenjenega postopka ne more izvesti, se vseeno priporoča zbiranje vrečk v gospodinjstvu in praznjenje le-teh v smetnjaku za biološke odpadke.
- Tako posoda za zbiranje bioloških odpadkov v gospodinjstvu kot smetnjak za biološke odpadke naj bi bila opremljena z dobro prilagojenim pokrovom, ki zmanjša vonjave in možnost dostopa muham. Iz omenjenih razlogov naj bi imeli smetnjaki dovolj prostornine, da so lahko zmeraj zaprti.
- Kot mesto postavitve se poleti priporoča senčno mesto, saj se tako preprečujejo visoke temperature, ki spodbujajo rast mikroorganizmov. Pozimi je naj mesto zaščiteno pred mrazom, da se bodo lahko smetnjaki izpraznili.
- V prostorih, kjer so biološki odpadki bogati z vodo in imajo slabo strukturo, lahko dodatek higienskega in/ali časopisnega papirja izboljša prezračevanje bioloških odpadkov, posledično se zmanjšajo anaerobni procesi razgradnje, ki sproščajo intenzivne vonjave.
- Iz higienskih preventivnih razlogov naj čiščenje smetnjakov za biološke in druge odpadke prevzamejo ustrezni servisi, ki uporabljajo avtomatizirane agregate. Pri ročnem čiščenju smetnjakov se nastanek aerosolov ne more preprečiti, zato se poleg ustrezne obleke priporočajo vsaj še nepremočljive rokavice za enkratno uporabo in zaščita za dihala ter oči.

Za izpolnitev zakonskih zahtev iz 13. člena Uredbe o ravnanju z biološko razgradljivimi kuhinjskimi odpadki in zelenim vrtnim odpadom, zagotavljamo v podjetju Saubermacher Slovenija na našem koncesijskem področju povzročiteljem odpadkov čiščenje in razkuževanje zabojnikov. To izvajamo s specialnim vozilom MB ATEGO 815 z nadgradnjo za čiščenje zabojnikov. Naprava za pranje omogoča pranje posod volumna od 80 litrov do 1100 litrov. Možno je prati tudi 2 posodi naenkrat (do volumna 240 litrov). Zmogljivost naprave je do 600 posod za odpadke (volumna do 240 litrov ali 300 posod volumna 750 ali 1100 litrov) v osmih delovnih urah, odvisno od razporeditve posod na terenu. Pranje posod se izvaja iz zadnje strani tovornega vozila. Pranje izvajata skupaj voznik in delavec pri pralni napravi. Za boljši efekt pranja se lahko doda detergent ali pa se voda za pranje ogreje. Odpadna voda od pranja posode se zbere v zbiralnem koritu, od koder se prečrpa preko predfiltra in filtra s pomočjo črpalke v rezervoar vode. Zaradi dvostopenjskega filtriranja se voda lahko brez menjave uporablja cel delovni dan.

Za razkuževanja uporabljamo pripravek DIVO CIP. Običajno se pripravek uporablja kot 0,5% raztopina. Pri takšni raztopini ima raztopina prevodnost od 4-6 μS , kar je neugodno za mikrobiologijo. Po čiščenju odpadno vodo tretiramo kot odpadno komunalno vodo. Za zaščito zaposlenih na področju zbiranja odpadkov uporabljamo v podjetju Saubermacher Slovenija skupno Tehnično smernico za biološke delovne snovi [9]. Pri zbiranju odpadkov se na podlagi trenutnega znanja s področja nevarnosti, povezanimi z obstoječimi biološkimi delovnimi snovmi, v našem podjetju koristimo ta priporočila nemškega združenja za varovanje zdravja pri delu z namenom da zmanjšujemo higienska tveganja na tovrstnih delovnih mestih s preventivnimi pregledi v okviru medicine dela, ustrezno tehnično opremo vozil za zbiranje odpadkov in ustreznimi osebnimi zaščitnimi ukrepi ter osebno varovalno opremo.

4. OBDELAVA BIOLOŠKO RAZGRADLJIVIH ODPADKOV

Cilj obdelave bioloških razgradljivih odpadkov je proizvesti kompost/digestat, ki lahko vsebuje veliko različnih mikroorganizmov, ki pa je z vidika kužnih bolezni in rastlinske higiene neoporečen, torej so uničeni vsi patogeni mikroorganizmi. Posledično se morajo v sklopu obdelave (kompostiranje ali fermentiranje) v vseh fazah upoštevati ukrepi za inaktivacijo patogenov nevarnih za ljudi, rastline in živali, ter kaljivi deli rastlin, ki lahko vplivajo na nastanek mikroorganizmov. Sam proces ne zahteva sterilizacije bioloških odpadkov, temveč se mora na ustrezen način zmanjšati oz. odpraviti tiste mikroorganizme, kipredstavljajo potencialno nevarnost za ljudi, živali in rastline.

V procesu obdelave odpadkov, ki je ponavadi sestavljen iz večih faz, je potrebno upoštevati vidik higiene na delovnem mestu. Na tem področju naša zakonodaja še ne pozna tehničnih smernic, ki bi opredeljevale zahteve za ustrezno delovno okolje skladno s predpisi glede varnosti pri delu in medicine dela. V podjetju Saubermacher Slovenija se zato poslužujemo določil skupne Tehnične smernice za biološke delovne snovi [10], ki jo je izdalo nemško združenje za varovanje zdravja pri delu.

Trenutna slovenska zakonodaja s tega področja predpisuje le mejne vrednosti za emisije v okolje, ne predpisuje pa najosnovnejša tehnična navodila za izvajanje ukrepov za pravilno voden proces obdelave z namenom zagotavljanja ustrezne higienizacije odpadkov.

V procesu načrtovanja, izvedbe in upravljanja kompostarne CRO Vrhnika se v podjetju Saubermacher Slovenija d.o.o., in v podjetju CRO Vrhnika d.o.o. poslužujemo predvsem tuje/nemške literature predvsem Stand der Technik der Kompostierung [11].

Higienizacija biološko razgradljivih odpadkov je toplotna obdelava biološko razgradljivih odpadkov pri proizvodnji komposta in pregnitega blata ali pri

njihovi stabilizaciji z mehansko-biološko obdelavo z namenom uničenja vegetativnih oblik človeških, živalskih in rastlinskih patogenih organizmov v procesu nastajanja komposta, pregnitega blata ali stabiliziranih biološko razgradljivih odpadkov tako, da je tveganje prenosa bolezni pri nadaljnji obdelavi, prodaji ali uporabi komposta, pregnitega blata ali stabiliziranih biološko razgradljivih odpadkov zanemarljivo. Stabilizacija je zmanjšanje razgradljivih lastnosti biološko razgradljivih odpadkov do take mere, da se zmanjšajo neprijetne vonjave in da sposobnost sprejemanja kisika po štirih dneh.

Praviloma mora obdelovalec bioloških odpadkov zagotoviti izpolnitev zahtev glede kužnih bolezni in rastlinske higijene s pomočjo treh različnih načinov, ki so sledeči:

1. Upoštevanje potrebne temperature v določenem časovnem obdobju med postopkom higienizacije s pomočjo nadzora procesa,
 - najmanj 55 °C pri kompostiranju na prostem za čas najmanj dveh tednov, pri čemer je treba petkrat premešati celotno količino komposta,
 - najmanj 65 °C pri kompostiranju na prostem za čas najmanj enega tedna, pri čemer je treba dvakrat premešati celotno količino komposta, ali
 - najmanj 60 °C pri zaprtem kompostiranju za čas najmanj enega tedna.
2. dokaz učinkovitosti postopka higienizacije

Tabela 2: Variante režima temperatura/čas za neposredni dokaz o zadostnem zmanjšanju okuženih klic [11]

Minimalna temperatura	Čas trajanja
Odrpte in zaprte kope (odprte kope v vrstah, hale, kjer poteka razkrajanje) z naravnim ali prisilnim zračenjem; pH okrog 7 in vsebnost vode nad 40 %	
55 °C	kontinuirano merjenje temperature s pomočjo sonde: upoštevanje minimalne temperature v povezanem časovnem obdobju 4 ur, vsakokrat po 5 procesih premetavanja; celotno obdobje merjenja: najmanj 10 dni
55 °C	diskontinuirano vsakodnevno merjenje temperature*: upoštevanje minimalne temperature v vseh dneh merjenja v povezanem časovnem obdobju 10 dni pri najmanj 3 procesih premetavanja;
60 °C	diskontinuirano vsakodnevno merjenje temperature*: upoštevanje minimalne temperature med 3 x 3 dnevi pri 2 procesih premetavanja v povezanem časovnem obdobju 14 dni
65 °C	diskontinuirano vsakodnevno merjenje temperature*: upoštevanje minimalne temperature med 2 x 3 dnevi pri 1 procesu premetavanja v povezanem časovnem obdobju 14 dni
Zaprto intenzivno razkrajanje (npr. boksi ali kompostiranje v tunelih) s prisilnim zračenjem - pH okrog 7 in vsebnost vode nad 40 %	
55 °C	kontinuirano merjenje temperature s pomočjo sonde: upoštevanje minimalne temperature v 4 dneh, v povezanem časovnem obdobju 10 dni
65 °C	kontinuirano merjenje temperature s pomočjo sonde: upoštevanje minimalne temperature v 3 dneh, v povezanem časovnem obdobju 10 dni

* Možni so tudi kontinuirani procesi merjenja s pomočjo sond in avtomatičnega zapisovanja

3. upoštevanje najvišjih dopustnih mejnih vrednosti za patogene in kaljiva semena.

Izvede se analiza vzorca na odsotnost salmonelle (število v 50 g suhe snovi) in analiza na kaljiva semena plevela (število/l), ob predpogoju vzorčenja 1 analiza na vsake 3 mesece.

V fazi obdelave odpadkov mora upravljavec naprave-kompostarne upoštevati tudi naslednje tehnične ukrepe [11]:

- Materiali se morajo po njihovi dostavi čim prej predelati in pravilno skladiščiti. Prevzeti materiali se morajo nemudoma zmešati s potrebnimi sestavnimi deli mešanice za kompostno šaržo ali predhodno fermentacijo.
- Čiščenje kontejnerjev, posod in vozil, v katerih se je prevažal neobdelan material se opravi na točno določenem mestu, tako da ni tveganja, da bi se onesnažili obdelovani materiali oz. proizvodi. Transportne posode se morajo očistiti po vsakokratni uporabi, pri čemer je možno ob temeljittem čiščenju z vročo vodo (npr. s parnim tlakom) z dnevno prakso, glede na zahteve po dezinfekciji, lahko le-ta doseže v zadostni meri. Očiščene transportne posode se morajo do naslednje uporabe primerno shraniti na suhem in čistem prostoru.
- Preventivni ukrepi proti pticam, glodavcem, insektom na podlagi dokumentiranega načrta o uničevanju mrčesa in glodavcev.
- V primeru odprtega kompostiranja v kompostnih kupih se morajo do zaključka termične faze higienizacije, kompostni kupi po nasutju in po vsakokratnem mešanju prekriti z organskim prekrivnim materialom (npr. s sesekljanim materialom, starim kompostom), s kopreno za kompost ali v primeru predhodne fermentacije popolnoma prekriti s folijo.
- Določitev in dokumentacija postopkov čiščenja za vse dele naprave, razpoložljivost čistilnih aparatov in sredstev.
- Dokumentiranje rednih higienskih kontrol na osnovi časovnega načrta, inšpekcij delovnega okolja in delovnih strojev.
- Neoporečno stanje inštalacij in opreme; redno umerjanje merilnih aparatov.
- Obdelava in skladiščenje ostankov fermentacije, tako da je izključena ponovna kontaminacija / onesnaženje.

3. ZAKLJUČKI

V procesu kompostiranja in fermentacije se morajo biološko razgradljivi odpadki v večji meri razgraditi. Organske sestavine, ki so še prisotne v biološko stabiliziranih bioloških odpadkih, so večinoma polimerne substance s heterogeno strukturo, ki se le še relativno počasi mikrobn spreminjajo. Medtem ko ponujajo neobdelani biološki odpadki s prehrambeno-fiziološkega vidika

(visoka vsebnost vode, visoki delež dobro razgradljivih organskih komponent ...) ugodne pogoje za razvoj številnih patogenov, so obdelani biološki odpadki neugodni za razvoj zahtevnejših patogenov (s prehrambeno-fiziološkega vidika). Rezultati preizkusov kakovosti, izvedenih na higieniziranih, biološko stabiliziranih bioloških odpadkih in v skladu z določenimi parametri so tako praviloma negativni. Upoštevanje omenjenega cilja je predpogoj, da bo želeno krožno gospodarstvo z biološko razgradljivimi odpadki varno za zdravje ljudi, živali in rastlin, tudi ko so v biomaso vneseni zelo kužni povzročitelji bolezni. Obrati za obdelavo bioloških odpadkov, ki izpolnjujejo zahteve Uredbe o obdelavi biološko razgradljivih odpadkov, zagotavljajo higienizacijo, ki uniči patogene za človeka, živali in rastline.

VIRI IN LITERATURA

- [1] www.ivz.si.
- [2] Haberl H, Erb KH, Krausmann F, Gaube V, Bondeau A, Plutzer C, Gingrich S, Lucht W, Fischer-Kowalski M, (2007): From the Cover: Quantifying and mapping the human appropriation of net primary production in earth's terrestrial ecosystems. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 2007, 104:12942-12947.
- [3] Kimura M, Jia Z, Nakayama N, Asakawa S, (2008): Ecology of viruses in soils: Past, present and future perspectives. *Soil Science and Plant Nutrition* 2008, 54:1-32.
- [4] Schleifer K, (2007): Bedeutung der Mikroorganismen für die Umwelt. In Bayerische Akademie der Wissenschaften (Hrsg.): *Rundgespräche der Kommission für Ökologie - Bedeutung der Mikroorganismen für die Umwelt*:13-16.
- [5] Fierer N, Breitbart M, Nulton J, Salamon P, Lozupone C, Jones R, Roberson M, Edwards RA, Felts B, Rayhawk S, Knight R, Rohwer F, Jackson RB, (2007): Metagenomic and Small-Subunit rRNA Analyses Reveal the Genetic Diversity of Bacteria, Archaea, Fungi, and Viruses in Soil. *Applied and Environmental Microbiology* 2007, 73:7059-7066.
- [6] H. Krist, K. Hoppenheidt, W. Mücke, E. Christoph, E. Niculescu, W. A. Ehret, (2002): Examination of the pathogenic micro-organism content in relevant waste fractions from the health service and their possible transmissibility to humans, November 2002.
- [7] Muschkowitz C, (1997): Impedimetrische Bestimmung von Generationszeiten bei Stämmen lebensmittelhygienisch relevanter Enterobacteriaceaespezies und -genera. Dissertation. FU Berlin, Fachbereiches Veterinärmedizin.

-
- [8] Ziermann A, Schmidt B, (2012): C.A.R.M.E.N.-Studie: Praxiserfahrungen zum Abbau kompostierbarer Bioabfallsäcke auf verschiedenen Kompostanlagen in Deutschland.
 - [9] TRBA 213 (2005): Abfallsammlung: Schutzmaßnahmen.
 - [10] TRBA 214 (2007): Abfallbehandlungsanlagen einschließlich Sortieranlagen in der Abfallwirtschaft.
 - [11] Stand der Technik der Kompostierung - Richtlinie des Bundesministeriums für Land und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft 2005; <http://www.lebensministerium.at>.



ID 02

Stabiliziranje komunalnega mulja s pepelom biomase v VIPAP d.d. Sewage sludge stabilization by biomass ash at VIPAP d.d.

**mag. Primož PAVŠIČ¹, Breda OGOREVC²,
doc.dr. Ana MLADENVIČ³,
dr. Sabina KRAMAR³, prof.dr. Peter BUKOVEC⁴**

*¹ PMA d.o.o., Tbilisijska 61, 1000 Ljubljana
primoz.pavsic@pma-lj.si*

² ZEL-EN d.o.o., Hočvarjev trg 1, 8270 Krško

³ Zavod za gradbeništvo Slovenije, Dimičeva ulica 12, 1000 Ljubljana

⁴ Fakulteta za kemijo in kemijsko tehnologijo, Aškerčeva cesta 5, 1000 Ljubljana

Povzetek

Komunalni mulji zaradi visoke vsebnosti organskih snovi, prisotnosti patogenih bakterij in pogosto tudi težkih kovin, predstavljajo velik okoljski problem. V industriji nastajajo tudi različni pepeli, ki se že dalj časa uspešno uporabljajo tudi v gradbeništvu, kar pa ne velja za pepele iz sežiga biomase. Z mešanjem komunalnega mulja in pepela pa lahko pridobimo kompozitni gradbeni material za specifične namene, denimo za uporabo na območju deponij komunalnih odpadkov za dnevne in zaključne prekrivke, za ureditev brežin in bankin v cestogradnji, pa tudi kot podlago za izgradnjo transportnih poti in sanacijo degradiranih območij. Z vidika trajnostnega razvoja je takšna rešitev optimalna, saj je rezultat predelave uporaben produkt (»zero waste« predelava), s čimer se zmanjšujejo potrebe po naravnih virih in razbremenjujejo deponije.

Prispevek podaja bistvene mehanske in kemijske lastnosti komunalnega mulja iz čistilne naprave podjetja VIPAP, stabiliziranega s pepelom kotla K5 iz podjetja VIPAP in oceno uporabnosti tega kompozita kot gradbenega materiala.

Ključne besede: mulj, pepel biomase, stabiliziranje, gradbeni proizvod.

Abstract

Sewage sludge due to the high organic content, presence of pathogenic bacteria and often heavy metals pose a major environmental problem. Environmentally very demanding is also managing different waste ash residues, which some of them were already successfully in use in field of construction. This is not a case for ashes from biomass combustion. By mixing waste ash and biodegradable sewage sludge a composite construction material for specific purposes, mainly in the area of landfill covers, road shoulders management and stabilizing road base, as well as in rehabilitation of degraded areas, can be obtained. In view of sustainable development this presents an optimal – zero waste solution.

This paper presents main physical and chemical properties of the construction product obtained from sewage sludge stabilized with K5 biomass ash in VIPAP factory.

Key words: biodegradable sludge, biomass ash, stabilizing, construction product.

1. UVOD

Komunalni mulji zaradi visoke vsebnosti organskih snovi, prisotnosti patogenih bakterij in pogosto tudi težkih kovin, predstavljajo velik okoljski problem^[1]. Kot potencialne sekundarne surovine se v industriji pojavljajo tudi različni pepeli, ki so zaradi velikih količin zelo zanimivi za aplikacije v gradbeništvu. Nekateri se že dolgo časa uspešno uporabljajo, kar pa ne velja za pepele iz sežiga biomase, ki se pojavljajo v lesni, papirni in nekaterih drugih panogah. V letu 2011 in 2012 so v okviru projekta »T1 Razvoj izolativnih materialov in izdelkov z visoko dodano vrednostjo iz odpadnih surovin«, ki ga izvaja družba ZEL-EN d.o.o., potekale raziskave o uporabnosti stabiliziranega biološkega mulja v gradbeništvu in vzpostavitvi tehnologije proizvodnje stabiliziranega produkta. Že preliminarne raziskave so pokazale, da z mešanjem komunalnega ali bio mulja in pepela biomase^[1] lahko pridobimo kompozitni gradbeni material (t.i. *BioPel*)^[2], v nadaljnjih raziskavah pa smo preverili mehanske in kemijske lastnosti ter preučili njegovo uporabnost. Komunalni mulji zaradi visoke vsebnosti organskih snovi, prisotnosti patogenih bakterij in pogosto tudi težkih kovin, predstavljajo velik okoljski problem^[1]. Kot potencialne sekundarne surovine se v industriji pojavljajo tudi različni pepeli, ki so zaradi velikih količin zelo zanimivi za aplikacije v gradbeništvu. Nekateri se že dolgo časa uspešno uporabljajo, kar pa ne velja za pepele iz se-

žiga biomase, ki se pojavljajo v lesni, papirni in nekaterih drugih panogah. V letu 2011 in 2012 so v okviru projekta »T1 Razvoj izolativnih materialov in izdelkov z visoko dodano vrednostjo iz odpadnih surovin«, ki ga izvaja družba ZEL-EN d.o.o., potekale raziskave o uporabnosti stabiliziranega biološkega mulja v gradbeništvu in vzpostavitvi tehnologije proizvodnje stabiliziranega produkta. Že preliminarne raziskave so pokazale, da z mešanjem komunalnega ali bio mulja in pepela biomase^[1] lahko pridobimo kompozitni gradbeni material (t.i. *BioPel*)^[2], v nadaljnjih raziskavah pa smo preverili mehanske in kemijske lastnosti ter preučili njegovo uporabnost.

2. RAZISKAVE^[2, 3]

V okviru predhodnih raziskav se je kot optimalno mešalno razmerje mulja in pepela biomase, ki je še zagotavljalo primeren čas obdelavnosti, izkazalo masno razmerje 1:1. Ob mešanju vhodnih surovin se ob uporabi ohlajenega pepela temperatura mešanice dvigne na okoli 45 °C, pri čemer je začetek vezanja po 285 minutah in konec po 1140 minutah. Tako postopek stabilizacije zaradi povišane temperature in visoke pH vrednosti učinkovito zavre nadaljnjo mikrobiološko aktivnost in s tem povezan razkroj^[2]. Nadaljnje raziskave, rezultati katerih so podani v tem prispevku, so bile namenjene opredelitvi mehanskih in kemijskih lastnosti vhodnih surovin in pridobljenega kompozitnega materiala, kot tudi njegovi potencialni uporabnosti.

Vhodne surovine

Vhodni surovini pri proizvodnji kompozitnega gradbenega materiala *BioPel* sta mulj iz čistilne naprave in pepel biomase kotla K5 podjetja VIPAP Videm Krško d.d. (VVK).

Pepel biomase nastaja na parnem kotlu K5. Kurilna naprava K5 je srednja kurilna naprava, postavljena 1989, kot kotel na lubje. Proizvaja paro na srednje tlačnem nivoju – 12 bar. V letih 2002 in 2003 je bila na kotlu K5 izvedena obsežna rekonstrukcija, z namenom prilagoditve kurjenja goriva z nizko kalorično vrednostjo. Nastali pepel in žindra iz K5 se preko transportnega sistema odvajata v silos prostornine 300m³. Ostanke gorenja K5, v katerem so prisotne tri reaktivne komponente (prosti CaO, portlandit in dikalcijev silikat), so nenevarni (preglednica 1) in se že uporabljajo kot dodatek za stabiliziranje pri nekaterih zemeljskih delih (Slovensko tehnično soglasje STS-09/0065). V preglednici 1 so podani rezultati analiz anorganskih parametrov izlužka pepela.

Preglednica 1.: Rezultati analiz anorganskih parametrov za izlužek pepela.

Parameter	Enota	Rezultat	Mejne vrednosti ^{*(4)}	
			nenevarni odpadki	inertni odpadki
pH		12,5	-	-
Elektroprevodnost	μS/cm	7370	-	-
Arzen (As)	mg/kg s.s	<0,02	2	0,5
Barij (Ba)	mg/kg s.s	59	100	20
Kadmij (Cd)	mg/kg s.s	<0,005	1	0,04
Celotni krom (Cr)	mg/kg s.s	<0,01	10	0,5
Baker (Cu)	mg/kg s.s	<0,07	50	2
Živo srebro (Hg)	mg/kg s.s	<0,004	0,2	0,01
Molibden (Mo)	mg/kg s.s	<0,05	10	0,5
Nikelj (Ni)	mg/kg s.s	0,048	10	0,4
Svinec (Pb)	mg/kg s.s	<0,05	10	0,5
Antimon (Sb)	mg/kg s.s	<0,006	0,7	0,06
Selen (Se)	mg/kg s.s	<0,01	0,5	0,1
Cink (Zn)	mg/kg s.s	0,12	50	4
Kloridi (Cl ⁻)	mg/kg s.s	25,3	15.000	800
Fluoridi (F ⁻)	mg/kg s.s	4,5	150	10
Sulfati (SO ₄ ²⁻)	mg/kg s.s	<5	20.000	1000

*Mejne vrednosti po Ur.L. RS 61/11 »Uredba o odlaganju odpadkov na odlagališčih« Priloga 3⁽⁴⁾

Mulj je tekoča komponenta, ki nastaja na biološki aerobni čistilni napravi z razpršeno biomaso in vsebuje tudi minerale kalcit, kremen, kaolinit, dolo- mit in illit. Kemijska sestava je podana v preglednici 2. Na aerobni čistilni napravi, ki se nahaja v podjetju VVK, se poleg tehnoloških in komunalnih odpadnih voda podjetja čistijo tudi komunalne vode mesta Krško. Delež vod mesta Krško na vtoku na aerobni del ČN znaša cca 15 % glede na BPK5 obre- menitev in tudi glede na hidravliko.

Preglednica 2.: Rezultati analiz anorganskih parametrov za mulj.

Parameter	Enota	Rezultat	Mejne vrednosti ^{*(4)}	
			nenevarni odpadki	inertni odpadki
pH		7,1	6,5-9,0	6,5-9,0
Arzen (As)	mg/L	0,010	0,1	0,1
Barij (Ba)	mg/L	1,2	5,0	5,0
Kadmij (Cd)	mg/L	<0,0005	0,1	0,1
Celotni krom (Cr)	mg/L	0,0035	0,5	0,5
Baker (Cu)	mg/L	0,19	0,5	0,5
Živo srebro (Hg)	mg/L	<0,01	0,01	0,01
Molibden (Mo)	mg/L	0,0077	1,0	1,0
Nikelj (Ni)	mg/L	0,0050	0,5	0,5
Svinec (Pb)	mg/L	<0,005	0,5	0,5
Antimon (Sb)	mg/L	0,0026	0,3	0,3
Selen (Se)	mg/L	<0,001	-	-
Cink (Zn)	mg/L	0,58	2,0	2,0
Kloridi (Cl ⁻)	mg/L	44,7	-	-
Fluoridi (F ⁻)	mg/L	<1,0	10	20
Sulfati (SO ₄ ²⁻)	mg/L	50,6	-	300

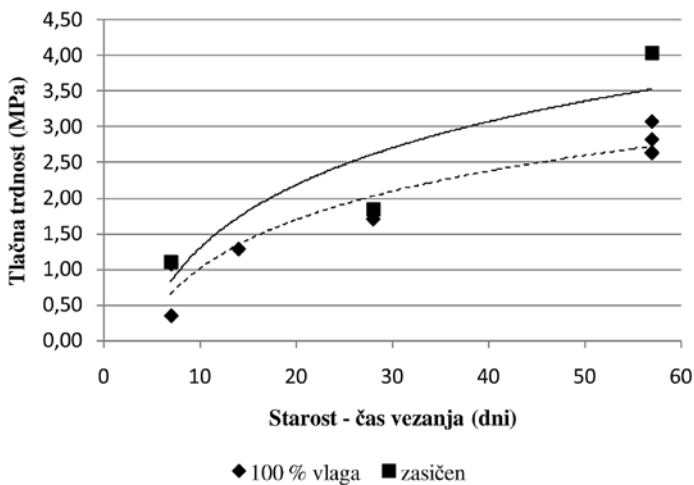
*Ur.L 45/2007 »Uredba o emisiji snovi in toplote pri odvajanju odpadnih vod v vode in javno kanalizacijo« Priloga 1, Preglednica 1⁽⁵⁾

Kompozit material (*BioPel*)

Kompozit je bil laboratorijsko pripravljen z mešanjem mulja in pepela VIPAP v utežnem razmerju 1:1, pri čemer je bil uporabljeni pepel »naravno« vlažen (1,3 %) in sobne temperature (ohlajen). Ker so za uporabo v gradbeništvu pomembne mehanske karakteristike kompozita, smo te določili na preskušanih dimenzij 150×150×150 mm, ki so bili vgrajeni v kalupe z vibriranjem. V določenih časovnih intervalih smo jim nato določili tlačno trdnost. Preiskave določitve tlačne trdnosti so bile izvedene tako v sklopu poskusne vgradnje, preliminarnih raziskav, kot tudi nadaljnjih raziskav po različnem času vezanja in različnih pogojih negovanja. Tlačna trdnost preskušancev je podana v preglednici 3, spremembe v odvisnosti od starosti oziroma časa vezanja in pogojev nege, pa so grafično predstavljene na sliki 1.

Preglednica 3.: Mehanske lastnosti kompozita.

Oznaka preskušanca	Nega	Razmerje mulj: pepel K5	Starost [dni]	Prostorninska masa (naravna) [kg/m ³]	Tlačna trdnost [MPa]	
3	100 % vlaga	1:1	7	1236	0,35	
4			14	1040	1,28	
B9			7	1297	1,07	
B10			28	1315	1,7	
2			57	1170	3,06	
3			57	1161	2,63	
4			57	1190	2,81	
5			57	1199	2,62	
B3			zasičen (v vodi)	7	1339	1,1
B4				28	1353	1,83
6	57	1425		4,03		

**Slika 1.:** Tlačna trdnost kompozita v odvisnosti od starosti in nege preskušancev

Tlačna trdnost kompozita po 28 dneh za preizkušance, hranjene v pogojih 100 % zračne vlage, doseže 1,7 MPa, podobno vrednost (1,83 MPa) pa doseže tudi v pogojih zasičenosti z vodo. Podatki preiskav preizkušancev, pripravljenih ob poskusnem vgrajevanju kažejo, da proces vezanja in s tem naraščanja tlačne trdnosti po 28 dneh še ni zaključen, saj je po 57 dneh dosežena tlačna trdnost okoli 2,8 MPa. Dosežene mehanske karakteristike so primerne za uporabo pri izvedbi dnevnih protiprašnih prekrivk, v cestogradnji pri izvedbi hidravlično vezanih spodnjih nosilnih plasti za manj obremenjene ceste ali urejanju bankin, kot tudi za pripravo manj zahtevnih hidravlično vezanih iz-

delkov in izravnalne oziroma podložne plasti nezahtevnih objektov, praviloma pri zunanji uporabi.

Mineraloško je kompozit sestavljen iz kalcita, gehlenita, $\text{Ca}(\text{OH})_2$, dikalcijev silikat, CaO in kaolinita. Kvalitativna mineralna sestava kompozita se s starostjo ne spreminja. Je pa s starostjo opazna razlika v kvantitativni sestavi, saj se zmanjšuje količina larnita, prostega apna in portlandita ter povečuje količina kalcita.

Z vidika vplivov na okolje je ob uporabi kompozita potrebno preveriti morebitne negativne vplive na okolje. Za gradbene proizvode, pripravljene z recikliranjem ali z uporabo sekundarnih surovin, se uporabljajo kriteriji, ki jih za anorganske parametre določa Uredba o obremenjevanju tal z vnašanjem odpadkov (Ur.L. 34/2008) za polnilo pri gradnji objektov in mejne vrednosti anorganskih parametrov za odlaganje inertnih odpadkov (Ur.L. 61/11). Za preveritev okoljske sprejemljivosti so bile opravljene analize izlužka vzorca kompozita. Rezultati opravljenih analiz so podani v preglednici 4.

Preglednica 4.: Analiza izlužka kompozita.

Parameter	Enota	Rezultat (po 28 dneh)	Mejne vrednosti	
			61/11*	34/08 ^{#[6]}
pH		11,88	-	
Elektroprevodnost	$\mu\text{S}/\text{cm}$	1800	-	
Arzen (As)	mg/kg s.s	<0,02	0,5	0,3
Barij (Ba)	mg/kg s.s	2,7	20	
Kadmij (Cd)	mg/kg s.s	<0,005	0,04	0,03
Celotni krom (Cr)	mg/kg s.s	0,016	0,5	0,3
Baker (Cu)	mg/kg s.s	0,08	2	0,6
Živo srebro (Hg)	mg/kg s.s	<0,01	0,01	0,01
Molibden (Mo)	mg/kg s.s	<0,05	0,5	
Nikelj (Ni)	mg/kg s.s	<0,01	0,4	0,6
Svinec (Pb)	mg/kg s.s	0,066	0,5	0,3
Antimon (Sb)	mg/kg s.s	0,018	0,06	
Selen (Se)	mg/kg s.s	<0,002	0,1	
Cink (Zn)	mg/kg s.s	<0,1	4	18
Kloridi (Cl^-)	mg/kg s.s	15,6	800	
Fluoridi (F^-)	mg/kg s.s	<2	10	
Sulfati (SO_4^{2-})	mg/kg s.s	8,6	1000	

*Mejne vrednosti po Ur.L. RS 61/11 Priloga 3, inertni odpadki;

[#]Mejne vrednosti po Ur.L. RS 34/08 Priloga 1, preglednica 3;^[6]

V izlužku kompozita po 28 dneh staranja so vse vrednosti preiskanih parametrov pod predpisanimi maksimalnimi vrednostmi za inertne odpadke in polnilo pri gradnji objektov.

6. ZAKLJUČKI

V podjetju VIPAP Videm Krško d.d. so že v letu 2010 pristopili k reševanju problematike odpadnih produktov z vidika trajnostnega razvoja. Osnovna ideja je koristna izraba potencialnih sekundarnih surovin, ki nastajajo znotraj proizvodnih procesov in s tem povezano zmanjševanje odlaganja in porabe energije ob odstranjevanju (sosežigu) odpadnih komponent. V mešanici pepela in žindre K5 so prisotne tri reaktivne komponente (prosti CaO, portlandit in larnit), ki v prisotnosti vode reagirajo in tvorijo stabilno matrico, ki je po količini in tipu poroznosti podobna matrici v apnenih maltah.

Kot optimalno razmerje mulja in pepela biomase pri pripravi kompozita se je pokazalo masno razmerje 1:1, tako z vidika časa obdelavnosti, kot tudi z vidika mehanskih lastnosti in bioloških parametrov. Na čas vezanja ima bistven vpliv tudi temperatura uporabljenega pepela. Svež, vroč pepel deluje bistveno bolj higroskopično, kar ob mešanju z biološkim muljem povzroči previsok porast temperature mešanice, zaradi česar pride do sprememb v sestavi (izhlapevanje) in skrajšanja časa obdelave. Za pripravo kompozita je tako nujna uporaba »odležanega« ohlajenega pepela, saj je la na ta način možen nadzor in kontrolirana priprava. V procesu priprave (mešanja) kompozita se število aerobnih mezofilnih bakterij glede na osnovni mulj bistveno zmanjša, s tem pa zavre nadaljnji razkroj. Ocenjujemo, da takšni produkti ob predvideni uporabi v gradbeništvu ne predstavljajo zdravstvenega tveganja^[7].

Izlužek kompozita po 28 dneh staranja ne vsebuje anorganskih komponent v koncentracijah, ki bi bile nevarne za okolje in ga zato lahko smatramo za inertnega. Dosežena tlačna trdnost kompozita po 28 dneh znaša 1,7 oziroma 1,8 MPa vendar pa se proces otrjevanja ne zaključi, tako da je po 57 dneh dosežena tlačna trdnost okoli 2,8 MPa.

Glede na rezultate izvedenih raziskav je kompozitni gradbeni material (*Bio-PeI*), pripravljen iz ohlajenega pepela in žindre iz kotla K5 (brez postopkov vlaženja) in mulja iz čistilne naprave VIPAP v masnem razmerju 1:1, primeren za specifične namene, denimo za uporabo na območju deponij komunalnih odpadkov za dnevne in zaključne prekrivke, za ureditev brežin in bankin v cestogradnji, pa tudi kot podlaga za izgradnjo transportnih poti in sanacijo degradiranih območij. Z vidika trajnostnega razvoja je takšna rešitev optimalna, saj je rezultat predelave uporaben produkt (»zero waste« predelava), s čimer se zmanjšujejo potrebe po naravnih virih in razbremenjujejo deponije.

LITERATURA

- [1] Černek, F., Zule, J. (2007). *Stability properties of biosludge-wood ash composites*. International Conference "Waste Management, Environmental Geotechnology and Global Sustainable Development (ICWME-GGSD'07 - GzO'07)" Ljubljana, SLOVENIA, August 28. - 30., 2007.
- [2] Pavšič, P. (2011). *Delno poročilo o rezultatih raziskav biomulja VIPAP stabiliziranega z lesnim pepelom VIPAP*. Št. 027/11/A5-PP. PMA d.o.o.
- [3] Pavšič, P. (2011). *Poročilo o rezultatih raziskav biomulja stabiliziranega z ostanki gorenja kotla K5 v družbi VIPAP*. Št. 105/11/A5-PP. PMA d.o.o.
- [4] Uredba o odlaganju odpadkov na odlagališčih. Ur.L. RS 61/11. Priloga 3..
- [5] Uredba o emisiji snovi in toplote pri odvajanju odpadnih vod v vode in javno kanalizacijo. Ur.L 45/2007, Priloga 1, Preglednica 1.
- [6] Uredba o obremenjevanju tal z vnašanjem odpadkov. Ur.L. RS 34/08, Priloga 1, preglednica 3.
- [7] Tatjana Rupel, T., Pavlica, T., Planina P., Vidrih, J., Glas, S., Car, T., Koblja, L., Lušicky, M., Bošnjak, D., Sabotin, D. (2005). *Smernice za mikrobiološko varnost živil, ki so namenjena končnemu potrošniku*. IVZ RS.



ID 06

Spremljava vplivov odlagališča nenevarnih odpadkov Barje na okolje

Monitor the effects of non-dangerous waste landfill Barje Ljubljana on the environment

mag. Lidija ČEPON¹, mag. Mitja PRAZNIK¹, Breda POGLAJEN¹

*¹ Javno podjetje SNAGA d.o.o., Povšetova 6, 1000 Ljubljana
lidija.cepon@snaga.si, mitja.praznik@snaga.si, breda.pogljajen@snaga.si*

Povzetek

Odlagališče Barje sprejema odpadke od približno 368.000 prebivalcev. Zaradi velikosti odlagališča je tudi spremljanje vplivov odlagališča na okolje specifično, skladno z Okoljevarstvenim dovoljenjem za obratovanje odlagališča in obsega kontrolo meteoroloških parametrov, kontrolo sestave podzemnih voda in emisij snovi v izcednih, površinskih in padavinskih vodah, kontrolo emisij snovi v zrak iz plinskih motorjev in kontrolo sestave deponijskega plina. Poleg omenjenega v lastni okoljski merilni postaji spremljamo imisije metana, dušikovih oksidov, vodikovega sulfida in olfaktometrične meritve neprijetnih vonjav. Redno izvajamo geotehnična opazovanja posredkov dna odlagalnih polj in objektov za padavinske in odpadne vode. Velik poudarek posvečamo spremljanju nivojev in kakovosti podzemnih voda v okolici odlagališča v 25 piezometričnih vrtinah na različnih globinah.

Ključne besede: odlagališče, monitoring, okoljski vplivi.

Abstract

The landfill for non-dangerous wastes Barje Ljubljana collects wastes from around 368,000 inhabitants. Because of the size of the landfill is the control and evidence of the influence on the environment specific as well. This con-

trol and evidence is in accordance with environmental permits for the operation of the landfill and the volume control of meteorological parameters, in accordance with control of the composition of the groundwater and discharge into the leachate, control of surface and storm waters, in accordance with the control of atmospheric emissions from gas engines and control composition of landfill gas. In addition to this we measure methane, nitrogen oxides, and hydrogen sulphide and odour olfactometer measurements in our own environmental monitoring emission measuring station. We regularly carry out geotechnical observation settlements on the bottom of storage fields and facilities for storm water and wastewater. Great emphasis is dedicated to monitoring of the levels and quality of groundwater around the landfill in 25 piezometric wells on different depths.

Key words: landfill, monitoring, environmental impacts.

1. UVOD

Odlagališče nenevarnih odpadkov Barje (naprej Odlagališče Barje) sprejema trenutno odpadke od 368.000 prebivalcev. Je odlagališče za komunalne in komunalnim podobne nenevarne odpadke iz območja Ljubljane in okolice in se skladno z zakonodajo razvršča med odlagališča za nenevarne odpadke. Je največje odlagališče nenevarnih odpadkov v Republiki Sloveniji s skupno zmogljivostjo 6.424.456 t. Upravljaavec Snaga Javno podjetje d.o.o. odlaga odpadke ki nastajajo na območju občin Mestna občina Ljubljana, Dobrova - Polhov Gradec, Brezovica, Horjul, Dol, Medvode, Ig, Škofljica in Velike Lašče.

Na Odlagališču Barje, ki se razprostira na jugozahodnem delu Ljubljane ob robu severnega dela Ljubljanskega barja, so začeli odpadke odlagati leta 1964. Skupna površina Odlagališča Barje znaša 89 ha zemljišč in se deli na dva dela; stari in novi del odlagališča. Stari del odlagališča zavzema 47,5 ha, razprostira se severno od potoka Curnovca. Deponijski prostor je bil zapolnjen v obdobju od leta 1964 in 1987 s povprečno debelino odpadkov 10 m. Novi del odlagališča obsega okoli 42 ha površine in je začel obratovati v sredini leta 1987.

Struktura deponijskega dna je glede na časovno obdobje izgradnje prilagojena tedanjim zahtevam in znanju o gradnji deponijskih polj. Prvi dve odlagalni polji (I. in II. polje) imata na prosto zaraščenih tleh 50 cm debelo zbito plast elektrofiltrskega pepela, na katerega so odloženi odpadki (pričetek polnjenja I. polja 1987, II. polja 1989).

V naslednjih obdobjih so se pojavila nova spoznanja o tesnenju deponijskih teles. Tako je bilo leta 1992 zgrajeno dno III. polja, ki je bilo tesnjeno s PEHD folijo. V letu 1998 je bilo urejeno nadvišanje II. odlagalnega polja na enak način kot dno III. odlagalnega polja.

I. faza IV. V. polja je bila grajena leta 2003, II. faza IV. in V polja leta 2005, trenutno se odpadki odlagajo na III. fazo IV. V. polja, zgrajeno leta 2009. Struktura dna polja je narejena iz naslednjih plasti:

- glina 3x25 cm,
- geomembrana PEHD 2,5 mm,
- geotekstil 1200 g/m²,
- prodni drenažni sloj 40 cm,
- ločilni sloj (polipropilenska mreža 10/10 mm),
- drobni komunalni odpadki v debelini 2,7 m (gospodinjskih odpadkov pripeljanih s smetarskimi vozili).

Zaradi velikosti odlagališča je tudi spremljanje vplivov odlagališča na okolje specifično in je skladno z Okoljevarstvenim dovoljenjem za obratovanje odlagališče pridobljenim leta 2007. Spremljanje obsega kontrolo sestave podzemnih voda in emisij snovi v izcednih, površinskih in padavinskih vodah, kontrolo emisij snovi v zrak iz plinskih motorjev in kontrolo sestave deponijskega plina ter kontrolo meteoroloških parametrov.

Poleg omenjenega v lastni okoljski merilni postaji spremljamo imisije metana, dušikovih oksidov, vodikovega sulfida in olfaktometrične meritve neprijetnih vonjav. Redno izvajamo geotehnična opazovanja posevkov dna odlagalnih polj in objektov za padavinske in odpadne vode. Od leta 2010 dalje poteka tudi merjenje aktivnosti gama sevanja pri prehodu tovornih vozil na vhodu odlagališča.

2. OPIS

Podzemne vode

S hidrogeološkega stališča leži odlagališče nenevarnih odpadkov Barje na kvartarnih naplavinah, ki zapolnjujejo tektonsko udorino, ki je na južnem delu odlagališča (ob Bežlanovem grabnu) globoka približno 130 m, na severnem delu (ob avtocesti) pa približno 50 do 70 m. Podlago kvartarnega zasipa tvorijo karbonatne kamnine - dolomiti.

Tabela 1.: Lokacije opazovalnih vrtin.

Vrtina	Lokacija vrtine	Globina vrtine	Ciljna geološka cona
DBG-1/99 ^{A, B}	SZ od starega dela odlagališča	37	Zgornji vodonosnik
DBG-2/99 ^{A, B}	Z pred odlagališčem	38	Zgornji vodonosnik
DBG-3/99 ^B	Z na robu odlagališča	38	Zgornji vodonosnik
DBG-4/99 ^B	JZ rob novega odlagališča	39	Zgornji vodonosnik
DBG-5/99 ^B	na S robu starega odlagališča	38,5	Zgornji vodonosnik
DBG-6/99 ^{A, B}	200 m SV od starega odlag.	39	Zgornji vodonosnik
DBG-7/99 ^{A, B}	600 m V za odlagališčem	41	Zgornji vodonosnik
DBG-8/99 ^B	V od novega dela odlagališča	40	Zgornji vodonosnik
DBG-9/99 ^B	JV rob novega odlagališča	40	Zgornji vodonosnik
DBG-10/99 ^B	500 m J od odlagališča	37	Zgornji vodonosnik
Vd-4agl/03 ^{A, B}	V od novega odlagališča	37,5	Zgornji vodonosnik
DBP-1/99 ^{A, B}	SZ od starega odlagališča	13	Prva prodna plast
DBP-2/99 ^{A, B}	Z pred odlagališčem	15	Prva prodna plast
DBP-3/99 ^B	Z na robu odlagališča	15	Prva prodna plast
DBP-4/99 ^B	JZ rob novega odlagališča	17	Prva prodna plast
DBP-5/99 ^B	na S robu starega odlagališča	15	Prva prodna plast
DBP-6/99 ^{A, B}	200 m SV od starega odlag.	12	Prva prodna plast
DBP-7/99 ^{A, B}	600 m V za odlagališčem	17	Prva prodna plast
DBP-9/99 ^B	JV rob novega odlagališča	15	Prva prodna plast
DBP-10/99 ^B	500 m J od odlagališča	12	Prva prodna plast
Vd-4apl/03 ^B	V od novega odlagališča	6	Prva prodna plast
Vd-5apl/03 ^B	V od novega dela odlagališča	9	Prva prodna plast
Vd-6pl/02 ^B	V od novega dela odlagališča	3,8	Vrhnje plasti nad ppp
Vd-7pl/02 ^B	V od novega dela odlagališča	5,8	Vrhnje plasti nad ppp
Vd-8pl/02 ^{A, B}	V od novega dela odlagališča	9,8	Prva prodna plast
App/89 ^B	900 m SV od odlagališča	-	Zgornji vodonosnik

vzorčna mesta širšega obsega meritev^A

vzorčna mesta ožjega obsega meritev^B

Cilj spremljanja podzemnih voda v okolici odlagališča so:

- (a) vrhnje plasti nad prvo prodno plastjo**, ki se v splošnem nahaja približno do globine 6 m, ponekod do globine 10 m pod površino,
- (b) prva prodna plast**, do globine 17 m, ponekod do 25 m in
- (c) zgornji vodonosnik** do globine 33m, ponekod do 43 m.

Prodor onesnaženja v zgornji vodonosnik bi pomenil možnost napredovanja onesnaženja v vodonosnik savskega prodnega zaslpa, ki se nadaljuje v vodo-

nosnik Ljubljanskega polja, s tem pa bi se onesnaženje lahko razširilo proti črpališču Hrastje.

Piezometrične vrtine ob I. odlagalnem polju so bile izvedene že leta 1991 (Vd4 pl, Vd4 gl in Vd5 pl), zaradi starostiso bile postopoma zacevljene, v bližini pa so bile izvrtane nove. Koncem leta 1999 je bilo izvedenih 19 vrtin, redni monitoring v vseh vrtinah pa se je začel leta 2005, ko je bil leta 2004 potrjen Programom monitoringa podzemnih vod za Odlagališče nenevarnih odpadkov Barje.

Monitoring kakovosti podtalnice na Odlagališču Barje se izvaja v skladu z Okoljevarstvenim dovoljenjem za obratovanje Odlagališča nevarnih odpadkov Barje št. 35407-167/2006-18 in programom monitoringa podzemnih vod za Odlagališče nenevarnih odpadkov Barje št.: 35407-16/2003. Izvaja se dvakrat letno (enkrat s širšim obsegom meritev v 10 vrtinah - merilna mesta z označbo ^A in enkrat ožjim obsegom meritev v 26 vrtinah merilna mesta z označbo ^B). V večini piezometričnih vrtin so nameščeni merilniki nivoja gladine podzemne vode in temperature podzemne vode.

Pretok podzemne vode pod odlagališčem v vrhnjih plasteh in prvi prodni plasti pod vrhnjimi plastmi je počasen. Ocena deleža vode, ki odteka iz telesa odlagališč v vodonosnik je naslednji:

- do vrtin v vrhnjih plasteh Vd-6pl/02 in Vd-7pl/02 potuje voda približno 50 let,
- do vrtin prvi prodni plasti Vd-5apl/03 in Vd-8apl/02 potuje voda približno 460 dni (1,3 let).

Če upoštevamo, da se mora voda do prve prodne plasti precediti še preko krovnih plasti in vrhnjih plasti, je čas pretoka vode od telesa odlagališča do vrtin v prvi prodni plasti reda 2 do 3 leta. Do vrtine v prvi prodni plasti Vd-4apl/03, ki je od roba telesa odpadkov oddaljena približno 120 m, pa je čas prenosa približno dvakrat daljši (920 dni, kar je okoli 2,5 let), ter z upoštevanjem časa precejanja od telesa odlagališča do prve prodne plasti 3 do 4 leta.

Površinske vode

Odlagališče Barje se širi južno od Malega grabna in se razteza preko potoka Curnovca proti Ljubljani. Površinski tokovina območju odlagališča (Mali graben, Curnovec, Bezlanov graben in Lahov graben) odtekajo v smeri od zahoda proti vzhodu in se stekajo v reko Ljubljanico. Med temi vodotoki je več manjših jarkov v smeri sever - jug, ki odvajajo površinske vode, delno pa drenirajo tudi vrhnje plasti najmlajših sedimentov.

Na obeh potokih Curnovcu in Bezlanovem grabnu sta dva vzorčna mesta (pred in za odlagališčem), skupaj štiri vzorčna mesta, kjer se izvaja vzorčenje dvakrat letno.

Vzorčenje enkrat letno se izvaja še na mestih:

- potok Curnovec pred odlagališčem in pred iztokom površinskih voda iz Malega grabna,
- Mali graben pred iztokom v potok Curnovec,
- Bezlanov graben ob odlagališču,
- Lahov graben 700 m za odlagališčem,
- Jarek s strani Surovine.

Poleg rednega zunanjega monitoringa površinskih vod poteka še notranji monitoring v lastnem laboratoriju.

Padavinske vode

Vode ki padajo na travnate površine polja zato ne pridejo v stik z odpadki, zbiramo v treh lagunskih sistemih, na skrajnem JV robu I. odlagalnega polja (RL 8.0), na skrajnem JZ delu IV.V. polja (RL 8.1) in skrajnem SZ delu IV.V. polja (RL 8.2).

Vzorčenje za monitoring se izvaja štirikrat letno, medtem ko se na vseh treh lagunah izvajajo kontinuirne meritve amonijevega dušika, v laguni ob I. odlagalnem polju pa še kontinuirna meritve bora. V primeru preseganj se voda prečrpa v zbirni bazen ČJ5 in naprej v lastno čistilno naravo.

Poleg rednega zunanjega monitoringa padavinskih vod poteka še notranji monitoring v lastnem laboratoriju.

Izcedne vode

Vsa odlagalna polja z izjemo I. odlagalnega polja so imela ob gradnji nameščene cevi za odvodnjavanje izcednih voda. Na I. odlagalnem polju pa je bila cev za odvod izcednih voda nameščena naknadno na vzhodnem in južnem robu. Na južnem delu polja je bila že v devetdesetih letih navrtana tudi bočna drenaža, zgoščena in razširjena po vsej dolžini vzhodnega boka pa je bila v letu 2006. Tedaj je bila nameščena tudi nova neperforirana cev za odvod izcednih voda ob vzhodnem boku.

Deponijske izcedne vode iz I., II. in III. odlagalnega polja (neaktivni del odlagališča) se po drenažnem sistemu iztekajo v bazen ČJ 17, od koder se prečrpavajo v bazen ČJ5. V bazen ČJ 5 se prečrpavajo tudi izcedne vode iz IV.V. polja (aktivni del odlagališča), ki se pred tem zbirajo v bazenih ČJ1, ČJ2, ČJ3 in ČJ4.

Ker je skladno z Okoljevarstvenim dovoljenjem potrebno ločevati odpadne vode iz zaprtega odlagališča (I., II. in III. polja), se monitoring odpadnih voda zaprtega dela odlagališča izvaja ločeno v bazenu ČJ 17 (I., II., III polje) dvakrat letno.

Vse izcedne vode se očistijo v lastni čistilni naravi. Monitoring izcednih voda se izvaja na vodu za odtok voda v javno kanalizacijo štirikrat letno. Poleg rednega zunanjega monitoringa izcednih voda poteka še notranji monitoring lastnem laboratoriju.

Deponijski plin

Tako stari kot novi del odlagališča sta odplinjevana. Nameščeno je okoli 250 plinjakov. Na odlagališču Barje so že leta 1984 pričeli vzpostavljati sistem aktivnega (nadzorovanega) odplinjanja deponije.

Danes delujejo štirje plinski motorji s skupno močjo dobrih 4 MW z lastno transformatorsko in toplotno postajo. Obratovanje črpališča in plinskih motorjev je v celoti avtomatizirano. Prav tako je poskrbljeno za varno obratovanje s senzorji nameščenimi v vsaki veji, ki opozarjajo na prisilne oziroma nepredvidene zaustavitve črpanja plina.

Celotna plinska inštalacija na deponijskih poljih je zgrajena iz polietilenskega materiala, ki je negorljiv in v celoti odporen na mehanske deformacije.

Odplinjanje je potrebno, ker je v deponijskem plinu okoli 50% metana, ki se pri sežigu v motorjih oksidira v ogljikov dioksid. S tem se zmanjša toplogredni efekt. Z odplinjanjem se zmanjša emisija deponijskega plina v ozračje in s tem širjenje neprijetne vonja. Metan je v mešanici z kisikom eksploziven, z zmanjševanjem metana v zraku se zmanjša nevarnost eksplozij. V plinskih motorjih nastane električna energija.

Meritve na dveh skupnih vejah, ki vodita v motorje oziroma baklo, se izvajajo mesečno in sicer:

- metan (CH_4),
- ogljikov dioksid (CO_2),
- kisik (O_2),
- vodikov sulfid (H_2S),
- vodik (H_2).

Enkrat na vsake tri leta se izvede meritve emisij izpuhov iz plinskih motorjev (PM1, PM2, PM3, PM4). V izpuhih motorjev se meri:

- ogljikov monoksid (CO),
- dušikovi oksidi (izraženi kot NO_2),
- formaldehid (HCHO),
- kisik (O_2),
- celotni prah.

Poleg zunanjega monitoringa se izvajajo še notranje meritve deleža metana v tehnični službi podjetja.

Meteorološki parametri in imisije plinov

V okoljsko merilni postaji na lokaciji odlagališča potekajo:

- meritve imisijskih koncentracij metana in nemetanskih ogljikovodikov,
- meritve meteoroloških parametrov – temperature na višini 5, 200, 900 cm, gradienta temperature do višine 900 cm, relativne vlažnosti zraka na višini 200 cm, zračnega tlaka in padavin na merilni postaji,
- meritve hitrosti in smeri vetra ter parametrov stabilnosti atmosfere,
- meritve imisijskih koncentracij NO in NO₂,
- meritve imisijskih koncentracij H₂S,
- meritve netto sevanja,
- olfaktometrične meritve neprijetnih vonjav.

V mobilni okoljski merilni postaji na lokaciji izven Odlagališča Barje potekajo meritve metana in nemetanskih ogljikovodikov ter gibanj azraka s trikomponentnim ultrazvočnim anemometrom z določanjem smeri in hitrosti vetra, stalnosti smeri in turbulenčnih parametrov.

Geotehnična opazovanja posedkov dna odlagalnih polj in objektov za padavinske in odpadne vode in lasersko skeniranje površine odlagalnih polj

Odpadki na odlagališču odpadkov so podvrženi biokemičnim procesom razgradnje. Zaradi tega se deponijsko telo seseda, zaradi teže odloženih odpadkov se posesta tudi osnovni teren pod odpadki.

Na I. odlagalnem polju so odpadki na osnovnem terenu odloženi do višine 15 m, na II. odlagalnem polju do višine 18 - 24 m in na III. odlagalnem polju do višine 24 m. Na teh poljih je odlaganje odpadkov zaključeno. Odpadki se trenutno odlagajo na 3. fazo IV.V. odlagalnega polja. Maksimalna dovoljena višina odloženih odpadkov s prekritjem je 24 m.

Spremljanje posedkov dna odlagalnih polj poteka z meritvami po posameznih poljih:

- na I. odlagalnem polju se nahaja repna plošča RP1,
- na II. odlagalnem polju je repna plošča RP2, ter repni vrtini RV3 in RV4,
- na III. odlagalnem polju sta repni vrtine RV 5 in RV 6 ter v letu 2009 izvedeni vrtini za spremljanje nivoja izcedne vode RV 7 in RV 8,
- na IV.V. polju je vgrajenih 22 posedalnih plošč ter 4 inklinacijske vrtine.

Na zaprtem delu odlagališča (I., II., III. polje potekajo opazovanja enkrat letno, na aktivnem delu pa dvakrat letno).

Redno letno se izvaja geotehnično opazovanje bazenov za izcedno vodo (ČJ2, ČJ3, ČJ4, ČJ5) in lagun za padavinsko vodo (RL8.1 in RL8.2) ter stavbe čistilne naprave in bazena ob čistilni napravi.

S pomočjo terenskega zajema podatkov na vseh odlagalnih poljih z metodo terestričnega laserskega skeniranja planiramo, da bo odlagalni prostor za polnjen leta 2022.

Vode starega dela odlagališča

Ker je razvoju oksidacijsko redukcijskih procesov zelo težko slediti pod odlagališčem (zaradi tehnične izvedljivosti in visokih stroškov), jim je potrebno slediti tik ob odlagališču. Za stari del odlagališča ni opazovalnih mest v ozkem pasu, zato smo v letu 2011 izvedli štiri dodatne opazovalne vrtime: DB-6-vp/11, DB-6ppp/11, DB-7vp/11 in DB-7ppp/11. Ko bo ARSO potrdil program vzorčenja v štirih novih vrtnah, bomo zaželi z vzorčenjem in analiziranjem voda v teh štirih piezometrih.

Leta 1995 se je na starem delu odlagališča Barje začelo z aktivnostni sonaravne sanacije čiščenja izcednih voda. V rastlinski čistilni napravi se očisti del izcednih voda, ki se izpuščajo v potok Curnovec. Redno mesečno se izvaja monitoring vsebnosti značilnih onesnaževal v izcedni vodi na dotokih in iztoka iz rastlinske čistilne naprave.

Na vzhodnem delu Starega dela Odlagališča Barje se je zaradi izgradnje golf igrišča v letu 2006 izvedlo temeljito POVRŠINSKO TESNENJE ODPADKOV, ki s prvotnim prekritjem odpadkov obsega tesnilne plasti glin v dveh slojih po 15 cm, prekritje s geotekstilom, plast laporja in plast zemlje v debelini 10 cm, drenažni sistem in nadvišanje plinske napeljave.

V rastlinski čistilni napravi se je pred izgradnjo golf igrišča v povprečju očistilo letno okoli 400 m³ vode, v letih po izgradnji pa se je količina izcednih voda na tem delu zmanjšala, v letu 2009 na 105 m³ v letu 2010 na 41 m³ v letu 2011 na 122 m³ letno.

Merjenje aktivnosti gama sevanja

Pri prehodu tovornih vozilna vhodu na odlagališče izvajamo merjenje aktivnosti gama sevanja. Spodnje meje zaznavanja pri naravnem ozadju gama sevanja in pri hitrosti prehoda vira do 20 km/h, ter razmaku detekcijskih sklopov 4 m so:

- 170 KBq za ⁶⁰Co,
- 310 KBq za ¹³⁷Cs,
- 1,9 MBq za ²⁴¹Am.

3. ZAKLJUČKI

Snaga Javno podjetje d.o.o. kot upravljavec Odlagališča Barje namenja veliko pozornosti in sredstev skrbi za okolje. Z izgradnjo lastne čistilne naprave je zagotovljeno čiščenje izcednih in onesnaženih padavinskih voda.

Zaradi preprečevanja vpliva izcednih voda na podzemne vode so bile v zadnjih letih izvedene dodatne bočne drenaže v vzhodno brežino I. polja in južna horizontalna drenaža v III. polje. Največji učinek je bil dosežen predvsem leta 2004 z izgradnjo glinenega pokrova prek prvih treh odlagalnih polj. Učinki so se odrazili v vodnem bilančnem stanju odlagališča. Vpliv na stanje podzemne vode pa se v izvedenem prvem petletnem obdobju monitoringa še ni mogel značilno pokazati. Razloga sta vsaj dva. Prvi je, da je stopnja obnove voda v ciljnih plasteh reda velikosti 10 let. Drugi pa ta, da so tudi na vstopni strani odlagališča opaženi trendi obremenitve, ki ne morejo biti posledica odlagališča, pač pa posledica naravnih razmer in drugih zunanjih vplivov.

Hidrogeologi predlagajo, da bi se za morebitne dodatne tehnične ukrepe za preprečevanje vplivov izcednih vod na podzemne vode odločili šele po naslednjem obdobju monitoringa, ko bodo lahko dovolj ovrednoteni učinki dosežanih ukrepov na kemijsko stanje podzemne vode.

LITERATURA

- [1] Program monitoringa podzemnih vod na odlagališču Barje, ZZV Maribor, 2004.
- [2] Ugotavljanje vpliva prepustnosti I., II. in III. odlagalnega polja (odlagališče nenevarnih odpadkov Barje), Geološki zavod Slovenije, 2011.



ID 04

Zmanjševanje vplivov odlagališča nenevarnih odpadkov Barje na okolje

The reduction of environmental impacts from non-hazardous waste landfill Barje

**Bojan PARDIŽ¹, Žiga ŠVEGELJ¹, mag. Mitja PRAZNIK²,
mag. Lidija ČEPON², Franc HRIBAR²**

*¹ Studio okolje d.o.o., Medenska cesta 65, 1133 Ljubljana
ziga.svegelj@s-okolje.si, bojan.paradiz@s-okolje.si*

*² Javno podjetje SNAGA d.o.o., Povšetova 6, 1000 Ljubljana
mitja.praznik@snaga.si, lidija.cepon@snaga.si, franci.hribar@snaga.si*

Povzetek

Na odlagališča odloženi odpadki predstavljajo veliko okoljsko breme, ki se z različnimi ukrepi postopno zmanjšuje. Na odlagališču nenevarnih odpadkov na Barju so se najbolj škodljive emisije toplogrednih plinov in neprijetnih vonjav v zadnjem desetletju več kot prepolovile. K temu so največ pripomogli izvajani ukrepi na odlagališču in vse več ločeno zbiranje odpadkov, ki se ne odlagajo na odlagališču in se koristno uporabljajo kot sekundarne surovine, oz. obdelajo v za okolje neškodljivem zaprtem sistemu s koristno energetsko izrabo nastalih plinov. Zmanjševanje okoljskih vplivov je prikazano z letnimi snovnimi in emisijskimi bilancami metana ter s spremembami koncentracij metana in intenzitete vonja v okoliškem zraku. Ločeno so prikazani vplivi ločenega zbiranja in neizkoriščene možnosti preprosto dosegljive z vestnejšim ločenim zbiranjem.

Ključne besede: odlagališče, okoljski vplivi, ločeno zbiranje odpadkov.

Abstract

Waste deposited in landfills represents a significant environmental burden that is by various measures gradually decreasing. The most problematic and harmful greenhouse gases and unpleasant odours were at landfill

Barje in last decade halved. This was achieved by upgrading the infrastructure of the landfill and by efficient waste separation. Individual types of waste are not disposed at landfill but are useful as secondary raw materials or processed at environmentally safe systems where by-product gases are used for energy production. The reduction of environmental impacts is shown by the annual balance of deposited waste at landfill, methane emissions and odor intensity in ambient air. Separately are shown the effects of waste separation and untapped potential achievable through more efficient waste separation.

Key words: landfill, environmental impacts, waste separation.

1. UVOD

Odpadki so okoljsko breme, ki ga je mogoče s premišljenim delom in ravnanjem učinkovito zmanjšati. Načrtno zbiranje, obdelava in odlaganje odpadkov z vračanjem dela odpadkov za ponovno uporabo ter z energetsko izrabo na odlagališču nastalih plinov so načini, ki pripomorejo k znatnemu zmanjšanju okoljskih vplivov. Poleg izvajanih ukrepov v fazi zbiranja odpadkov in koristne izrabe nastalih stranskih produktov odloženih odpadkov na odlagališčih, lahko za zmanjševanje okoljskega bremena odpadkov veliko prispeva vsak posameznik. Ne le s prenehanjem nepotrebne odlaganja na divjih odlagališčih ter s prenehanjem neprimernega sežiganja odpadkov, ki je velikokrat vir strupenih emisij, temveč predvsem z discipliniranim ločenim zbiranjem odpadkov, za kar je na voljo vse več možnosti.

Komunalni odpadki so za okolje precejšnje breme. Največ jih še vedno konča na odlagališču, kjer se pri njihovem postopnem razkroju razvijajo škodljive snovi, ki so z izcednimi vodami lahko potencialna nevarnost za podtalnico in tudi površinske tekoče vode, nastali plini pa onesnažujejo zrak. K onesnaževanju zraka, ki ga bomo v tem prispevku podrobneje obravnavali, največ prispevata metan in razni plini z vonjavami. Metan je brez vonja in ni strupen, zato zdravja prebivalstva neposredno ne ogroža. Za okolje pa je nevaren zaradi izdatnih toplogrednih vplivov, saj je kilogram metana po toplogrednem učinku enak vplivu 21 kilogramov ogljikovega dioksida. Zato predstavlja iz odpadkov nastala količina metana brez izvajanih ukrepov skoraj desetino od skupnih toplogrednih emisij na prebivalca Slovenije.

Za okolico odlagališča in na odlagališču zaposlene, so najbolj zaznavni in neprijetni izpusti plinov z vonjem. Količina nastalih aromatskih ogljikovodikov je zelo majhna in zato za zdravje prebivalstva ni neposredno nevarna, zaradi vonjav pa je lahko moteča. Zaradi velikega števila aromatskih ogljikovodikov in zelo majhnih količin, so le te težko merljivi in se na Odlagališču Barje

ne merijo. Merijo pa se z razgradnjo odpadkov nastale količine vodikovega sulfida. Na merilni postaji, ki je od sredine odlagalnega polja oddaljena 400 metrov, znašajo koncentracije vodikovega sulfida nekaj mikrogramov v kubičnem metru zraka, v zelo neugodnih vremenskih razmerah pa tudi prek 10 mikrogramov v kubičnem metru zraka, kar presega prag vonjanja ne presega pa mejnih vrednosti pri katerih so po kriterijih svetovne zdravstvene organizacije zaznavni prvi neposredni škodljivi vplivi na zdravje ljudi.

V tem prispevku so za območje Ljubljane in okolice, s katerega se odpadki odlagajo na Odlagališče nenevarnih odpadkov Barje, navedeni podatki o doseženih rezultatih zmanjševanja vplivov na zrak. Navajajo se tudi podatki o neizkoriščenih možnostih za nadaljnje zmanjševanje vplivov.

2. UKREPI ZA ZMANJŠEVANJE EMISIJ

Za zmanjšanje emisij toplogrednih plinov pri ravnanju z odpadki je na voljo več učinkovitih ukrepov. Najprimernejši so ukrepi s katerimi preprečujemo nastanek toplogrednih plinov in plinov z vonjavami, kar dosegamo z izločanjem biorazgradljivih deležev, ki jih obdelamo v zaprtih postopkih s koristno izrabo razpoložljive energije ter z ločevanjem snovi, uporabnih za predelavo v nove izdelke z manjšim vložkom uporabljene energije in onesnaževanja kot za proizvodnjo iz izhodnih surovin. K tej vrsti zmanjševanja okoljskih vplivov pri ravnanju z odpadki lahko največ pripomore učinkovito ločeno zbiranje odpadkov. S prikazom količin ločeno zbranih odpadkov in odpadkov, ki še vedno končajo na odlagališču je razvidno, da se učinkovitost ločenega zbiranja povečuje, še vedno pa polovica za ločeno zbiranje primernih odpadkov konča na odlagališču. Veliko je namreč posameznikov, ki pravil ločenega zbiranja ne upoštevajo in z neodgovornim mešanjem odloženih snovi, tudi strupenih, ki ne sodijo k vrsti odloženih, zmanjšujejo uporabnost ločeno zbranih odpadkov in povečujejo stroške predelave.

Druga skupina ukrepov se nanaša na zmanjšanje emisij na odlagališču že nastalih škodljivih snovi predvsem plinov. Za ta namen je najprimernejši zajem in sežig odlagališčnih plinov. S sežigom metana se za 21krat zmanjšano toplogredni učinek. Še več, s sežigom metana nastali CO₂ je biološkega izvora, zato sodi v naravni cikel ogljika v naravi, ki ne povečuje količine toplogrednih plinov v atmosferi. Poleg tega se s koristno uporabo nastale toplote zmanjša uporaba fosilnih goriv, ki so glavni povzročitelj daljnosežnih škodljivih posledic povečevanja ravni toplogrednih plinov v atmosferi. S sežigom odlagališčnih plinov se učinkovito zmanjšujejo tudi emisije aromatskih ogljikovodikov, ki so glavni povzročitelj neprijetnih vonjav na odlagališču in njegovi okolici.

3. UKREPI NA ODLAGALIŠČU ODPADKOV BARJE

Okoljski vplivi odlaganja odpadkov in rezultati raznih ukrepov za zmanjšanje teh vplivov so prikazani v bilanci količine odloženih odpadkov in nastalih ter z raznimi ukrepi zmanjšanih količin toplogrednih plinov. Uspešnost izvajanih ukrepov je prikazana tudi z meritvami na okoljski merilni postaji, ki omogočajo spremljanje ambientalnih koncentracij ciljnih plinov in ocenjevanjem intenzitete neprijetnih vonjav na vplivnem območju odlagališča.

Na odlagališču Barje so se pričeli odpadki odlagati leta 1964. Na stari del odlagališča površine 47,5 ha se je do zapolnitve starega dela odlagališča v letu 1987 odložilo 1,21 mio ton gospodinjskih in njim podobnim odpadkov iz industrije in obrti ter okoli 1,9 mio ton gradbenih in inertnih industrijskih odpadkov ter elektrofiltrskega pepela. Na novi del odlagališča se je od leta 1987 odložilo še 3.355.125 ton komunalnih odpadkov. Količina odloženih odpadkov na prebivalca, ki odlaga odpadke na Odlagališče Barje se je od 368 kilogramov na prebivalca povečevala do leta 2007, ko je dosegla 432 kilogramov na prebivalca. Od tedaj se ta količina počasi zmanjšuje in je v letu 2011 znašala 182 kilogramov na prebivalca.

Za okolje je najbolj nevaren plin metan, ki nastaja z anaerobnim razkrajanjem odloženih odpadkov. Metan je brez vonja in ni strupen, zato zdravja prebivalstva neposredno ne ogroža. Je pa nevaren zaradi izdatnih toplogrednih vplivov, saj je kilogram metana po toplogrednem učinku enak vplivu 21 kilogramov CO₂. Zato predstavlja iz odpadkov nastala količina metana brez izvajanih ukrepov skoraj desetino od skupnih toplogrednih emisij na prebivalca Slovenije. Za okolico odlagališča in na odlagališču zaposlene, so najbolj zaznavni izpusti plinov z vonjem. Količina nastalih aromatskih ogljikovodikov in vodikovega sulfida z vonjem je majhna in po kriterijih svetovne zdravstvene organizacije ne presega praga, ki bi bil nevaren za zdravje prebivalstva. Presežen pa je prag zaznavanja vonja, ki je lahko ob neugodnem vremenu zelo moteč.

Najbolj učinkovit način za zmanjšanje toplogrednih vplivov in zmanjšanja vonjav že nastalih plinov je zajem in sežig odlagališčnih plinov s koristno izrabo energije. S sežigom metana se toplogredni vplivi izničijo in zmanjšajo 21 krat, hkrati pa zgorijo tudi aromatski ogljikovodiki. Preostalega žveplovega sulfida pa je tako malo, da neprijetnega vonja ne zaznamo niti v izpušnih plinih v neposredni bližini izpuhov. S koristno izrabo nastale energije zmanjšamo porabo fosilnih goriv in na ta način še dodatno prispevamo k zmanjšanju onesnaževanja atmosfere.

Zajem in sežig nastalih odlagališčnih plinov s sežigom na bakli je bil na Barju uveden leta 1984. Leta 1995 je pričel delovati prvi plinski motor za proizvodnjo električne energije z močjo 1,2 MW. V naslednjih letih so bili postavljeni

še trije tako, da je sedanja skupna proizvodna moč vseh štirih motorjev 4,2 MW. Za obratovanje se uporabi več kot polovica nastalih odlagaliških plinov s čimer se več kot prepolovijo emisije toplogrednih plinov in plinov z vonjem. Z ločenim zbiranjem odpadkov, ki se ne odlagajo na odlagališče in se obdelajo v zaprtem postopku brez emisij je doseženo še dodatno zmanjšanje škodljivih vplivov na okolje.

4. BILANCA ODLAGALIŠČA ODPADKOV BARJE MED LETI 2004 IN 2011

Celotna bilanca odlaganja odpadkov ter nastanka in zmanjševanja emisij odlagaliških plinov na odlagališču odpadkov na Ljubljanskem Barju za preteklih 8 let je prikazana v tabeli na naslednji strani; Tabela 1: Bilanca odloženih odpadkov, nastalih emisij metana, izvajanih dejavnosti za zmanjšanje emisij in ekološke ugodnosti zaradi izvajanih dejavnosti.

Predstavljeni so statistični podatki o na odlagališče odloženi količini odpadkov in nastali količini toplogrednega plina metana, o načrpani količini odlagaliških plinov in proizvedeni električni energiji, o količini ločeno zbranih odpadkov v preteklih letih itd.

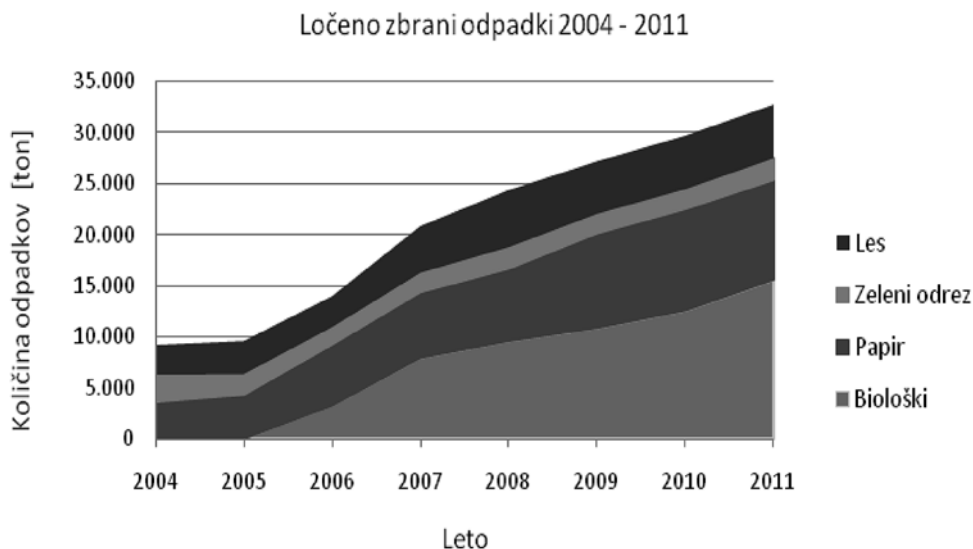
Za potrebe ugotavljanja učinkovitosti in zagotavljanja varnega delovanja odlagališča odpadkov potekajo kontinuirane meritve nekaterih parametrov, kot so odložena količina odpadkov, načrpane količine metana, proizvedena električna energija itd. Količine, ki se ne merijo so izračunane s pomočjo priporočenih formul s strani RS, ki so navedene v različnih uredbah povezanih z ravnanjem z odpadki. Med te količine štejemo na primer podatek o nastali količini metana iz na odlagališče odloženih odpadkih in potencialno nastale količine metana iz ločeno zbranih odpadkov, ki bi nastale v primeru, da bi bili tudi te odloženi na odlagališče odpadkov.

Količine odloženih odpadkov

Med odpadki, ki se odložijo na odlagališče Barje je največja količina odloženih mešanih komunalnih odpadkov iz gospodinjstev. Kakšna je sestava mešanih komunalnih odpadkov se ugotovi s pomočjo sortirnih analiz, ki jih izvajajo na Odlagališču Barje. Izkaže se, da mešane komunalne odpadke sestavljajo papir, karton, plastika, tekstil, steklo, kovine, mineralni odpadki, odpadki iz kuhinj ter druge vrste odpadkov, ki jih štejemo pod ostalo. Največji delež je papirja, potem pa si sledijo vse ostale frakcije odpadkov v napisanem vrstnem redu. Delež posameznih odpadkov znotraj mešanih komunalnih odpadkov se zaradi uvedbe ločenega zbiranja odpadkov spreminja, saj se v zadnjih letih odloži čedalje manj bioloških odpadkov, papirja, lesnih odpadkov in zelene- ga odreza.

Kot je razvidno iz bilance odloženih odpadkov, se v zadnjih letih količine na odlagališče odloženih biorazgradljivih odpadkov manjšajo. To je posledica vse učinkovitejšega ločenega zbiranja odpadkov. V zadnjih osmih letih je bila na odlagališče odložena največja količina odpadkov leta 2007, ko se je odložilo 185.483 ton odpadkov, najmanj odpadkov pa se je odložilo leta 2011, ko je bilo odloženih 109.993 ton odpadkov. Biološki odpadki so se ločeno pričeli zbirati leta 2005, ko se jih je zbralo 38 ton. Ločevanje bioloških odpadkov je od leta 2005 vse učinkovitejše. Tako je bilo v letu 2011 ločeno zbranih kar 15.628 ton bioloških odpadkov. Medtem, ko se je biološke odpadke začelo ločeno zbirati leta 2005, pa so se ostale frakcije odpadkov, t.j. papir, zeleni odrez in lesni odpadki, ločeno zbirale že v obdobju pred letom 2005. Med vsemi vrstami odpadkov iz leta v leto čedalje več ločeno zbranih biološko razgradljivih odpadkov, počasneje pa se večja tudi količina ločeno zbranega papirja in lesa, medtem ko je ločeno zbrana količina zelenega odreza od leta 2004 pa do danes skoraj nespremenjena.

Vse učinkovitejše ločeno zbiranje odpadkov v letih med 2004 in 2011 je grafično prikazano na Sliki 1.



Slika 1.: Količina ločeno zbranih odpadkov v letih med 2004 in 2011.

Izločene in preprečene količine metana in ostalih odlagališčnih plinov

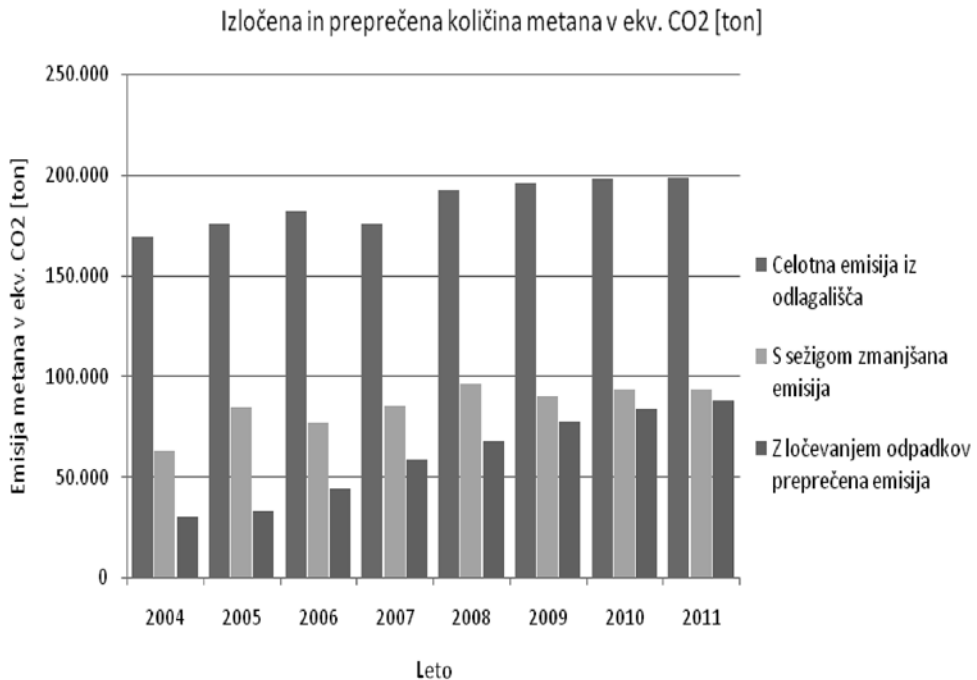
Stranski produkt razkrajjanja na odlagališče odloženih biorazgradljivih organskih odpadkov so razni plini, ki so za okolje potencialno nevarni. Odlo-

ženi odpadki se razgrajujejo v več fazah. Odpadki odloženi v zgornji plasti odlagališča, ki so na začetku nepokriti, se razgrajujejo pri aerobnih pogojih. Nasprotno se odpadki v spodnjih plasteh odlagališča, razgrajujejo pri anaerobnih pogojih. V prvih fazah, ko so odpadki še odkriti, se širijo v okoliški zrak predvsem neprijetne vonjave, ki jih povzročajo številni aromatski ogljikovodiki. Količina teh plinov je zelo majhna in so nemerljivi, posledično pa je obravnava neprijetnih vonjav težavna. V kasnejših fazah, pri anaerobnih pogojih, se aromatski ogljikovodiki še vedno sproščajo, hkrati pa se začnejo sproščati velike količine drugih odlagališčnih plinov, predvsem metana, v manjših količinah pa tudi vodikovega sulfida, amonijaka in ostalih plinov.

Nekatere izmed odlagališčnih plinov štejemo med toplogredne pline. Zlasti metan, ki je sicer brez vonja in neškodljiv, ima velik toplogredni vpliv. Ima namreč kar 21 krat večji toplogredni učinek kot ogljikov dioksid. Nekaj ukrepov za zmanjšanje emisij nastalih toplogrednih plinov smo že omenili. K zmanjšanju vplivov toplogrednih plinov v zadnjih letih pripomoreta v največji meri sežig metana v plinskih motorjih in ločeno zbiranje biološko razgradljivih odpadkov. Načrpan metan služi kot gorivo za plinske motorje, ki so denimo v letu 2011 proizvedli 22.25 MWh električne energije. Na ta način se je emisija toplogrednega metana iz odlagališča zmanjšala za 4.450 ton metana, kar znaša 93.444 ton v ekvivalentu CO₂.

K zmanjšanju toplogrednih emisij pripomore tudi ločeno zbiranje odpadkov, saj se zbrani odpadki ne odložijo na odlagališče, ampak se jih obdela in izrabi kot dodaten vir energije. Tako se je v letu 2011 z ločenim zbiranjem emisija toplogrednih plinov zmanjšala za 88.070 ton ekvivalenta CO₂. Poudariti velja, da v primeru ločeno zbranih odpadkov obravnavamo potencialno emisijo. Dejanska emisija, ki nastane z razgradnjo biološko razgradljivih odpadkov v obratih na drugih lokacijah nam ni poznana.

Uspešnost dejavnosti, ki se izvajajo na odlagališču Barje je prikazana v bilanci od leta 2004 do 2011 in grafično prikazana na Sliki 2. Celotna iz odloženih odpadkov nastala emisija metana se v zadnjih letih zaradi ločenega zbiranja odpadkov zmanjšuje; na grafu je prikazana s stolpci modre barve. Del nastale količine metana se načrpa in uporabi kot gorivo v plinskih motorjih, ki proizvajajo električno energijo (stolpci zelene barve). S sežigom metana je tako preprečen del celotne količine nastalega metana. Stolpci rdeče barve prikazujejo potencialno nastalo količino metana v ekvivalentu ogljikovega dioksida. Ta emisija dejansko ne nastane, prikazuje pa uspešnost ločenega zbiranja odpadkov, ki je iz leta v leto učinkovitejša.

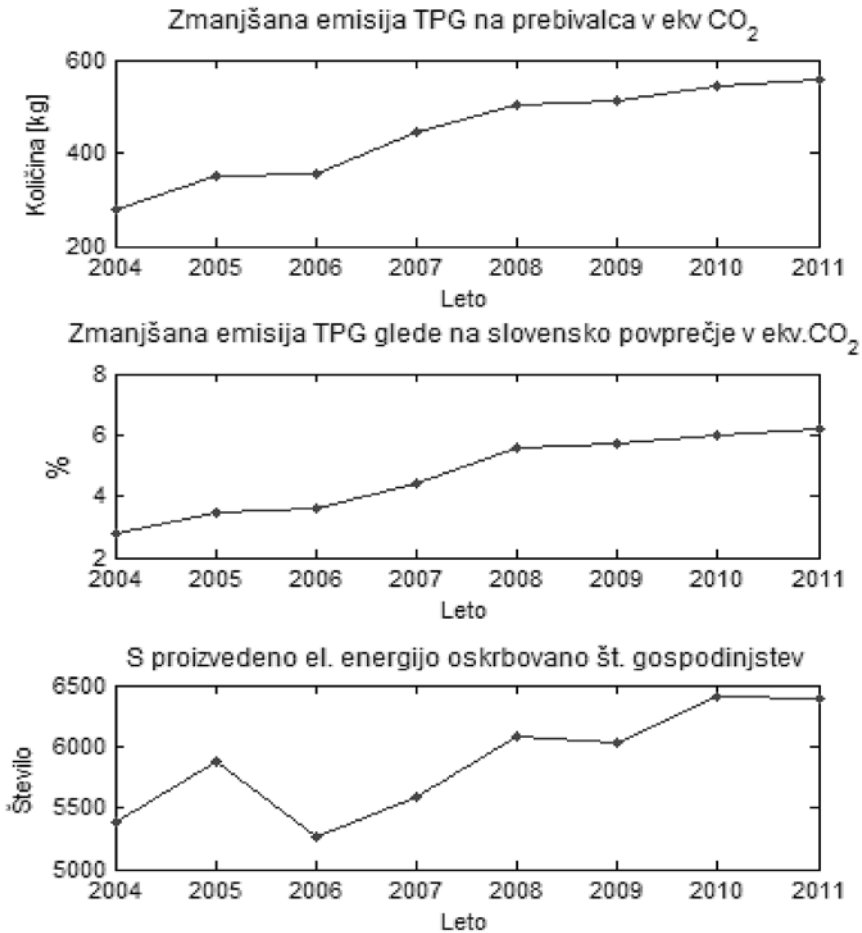


Slika 2.: S sežigom zmanjšana emisija metana in z ločenim zbiranjem odpadkov preprečena emisija metan v letu 2011.

Ekološke ugodnosti energetske izrabe načrpanega plina in ločeno zbranih odpadkov

Slovenija je na področju onesnaževanja zraka s toplogrednimi plini sprejela nekatere mednarodne dogovore, ki ji nalagajo omejitev in zmanjšanje izpustov toplogrednih plinov. Po Kyotskem protokolu se je Slovenija obvezala, da bo v ciljem obdobju v letih med 2008 in 2012 emisije toplogrednih plinov zmanjšala za povprečno 8 % glede na izbrano referenčno leto 1986, ko so bile emisije ogljikovega dioksida največje.

Ker med onesnaževalce s toplogrednimi plini spada tudi odlagališče nenevarnih odpadkov na Barju, izvajane dejavnosti za zmanjševanje izpustov le teh prispevajo k skupni bilanci emisij toplogrednih plinov na področju Slovenije. Ne le, da se s črpanjem metana prepreči emisija plina v atmosfero, ampak se z električno energijo oddano v električno omrežje zmanjša tudi celotna emisija toplogrednih plinov, ki nastane s proizvodnjo električne energije v Sloveniji. K zmanjšanju emisij toplogrednih plinov v zadnjih letih čedalje večji delež prispeva tudi ločeno zbiranje odpadkov. Biološko razgradljivi odpadki se ne odložijo na odlagališče in so uporabljeni kot dodaten energetski vir, odpadki kot so plastika in steklo pa so recikrirani.



Slika 3.: Z izvajanimi dejavnostmi na Odlagališču Barje zmanjšana količina toplogrednih plinov na prebivalca in energetska izraba načrpanega odlagališčnega plina.

Kot primer ekološke ugodnosti energetske izrabe zajetih odlagališčnih plinov in ločeno zbranih biološko razgradljivih odpadkov vzemimo preteklo leto 2011. V tem letu je na odlagališče odpadkov na Barju odlagalo okoli 350.00 prebivalcev iz Ljubljane in njene okolice. V celotnem letu je bilo proizvedenih 22.25 MWh električne energije, za proizvodnjo katere je bilo načrpanih in sežganih 4.450 ton metana oziroma v ekvivalentu 93.444 ton ogljikovega dioksida. Ker je bila proizvedena električna energija vključena v omrežje za električno energijo RS, se je glede na emisijo toplogrednih plinov nastalih zaradi proizvodnje električne energije za celotno Slovenijo emisija zmanjšala za 11.349 ton ekvivalenta CO₂. S proizvodnjo električne energije se je torej v letu 2011 emisija toplogrednih plinov zmanjšala za 106.793 ton ekvivalenta

CO₂. Če k tej količini prištejemo še potencialno emisijo toplogrednih plinov preprečeno z ločenim zbiranjem odpadkov, se je z izvajanimi ukrepi na odlagališču odpadkov Barje emisija zmanjšala za 194.864 ton v ekvivalentu CO₂ oziroma 557 kilogramov ekvivalenta CO₂ na prebivalca, ki je v tem letu odlagal na Odlagališče Barje.

Ob upoštevanju, da je povprečna emisija ogljikovega dioksida na prebivalca Slovenije v letu 2010 po podatkih Statističnega urada Slovenije znašala 9 ton, je bila emisija toplogrednih plinov glede na celotno emisijo toplogrednih plinov na prebivalca Slovenije z dejavnostmi na Odlagališču Barje omejena oziroma zmanjšana za 6,2 %.

Zmanjšanje emisije toplogrednih plinov za 557 kilogramov ekvivalenta CO₂ na prebivalca je enako emisiji toplogrednih plinov, ki nastane pri porabi 238 litrov goriva bencina na prebivalca oziroma 739 litrov goriva bencina na povprečno številčno slovensko družino. Poleg naštetega je potrebno omeniti, da je bilo s proizvedeno električno energijo leta 2011 v povprečju oskrbovanih 6.393 gospodinjstev.

Ekološke ugodnosti dosežene z izvajanimi dejavnostmi na odlagališču Barje so v številkah predstavljene v Tabeli 1, nekateri izmed njih pa za obdobje med 2004 in 2011 grafično prikazani na Sliki 3.

5. UČINKOVITOST IZVAJANJA ZMANJŠEVANJA OKOLJSKIH VPLIVOV

Kljub črpanju in izrabi deponijskega plina, v atmosfero še vedno preide preostala količina nastalega metana. Odlagalno polje štejemo med nehomogene površinske emisijske vire. Površina iz katere izhajajo emisije odlagališčnih plinov in vonjav se zaradi življenja odlagališča spreminja praktično ves čas. Po zapolnitvi določenega dela odlagalnega polja, se pričnejo odpadki odlagati na drugi lokaciji, kar posledično pomeni, da se s spremembo mesta odlaganja prestavi tudi površinski vir emisij. Čeprav se na zapolnjeni lokaciji odpadki ne odlagajo več, zapolnjeno odlagalno polje se namreč uredi, pa je polje, zaradi anaerobnega razpadanja odpadkov v globini še vedno površinski emisijski vir. Intenziteta tvorjenja odlagališčnih plinov, med katere štejemo metan, vodikov sulfid, ogljikov dioksid in tudi aromatske ogljikovodike, je z anaerobnim razpadanjem največja približno 1 leto po tem, ko so bili odpadki odloženi. Nastali plini iz površine ne izhajajo enakomerno, ampak preko manjših po odlagalnem polju naključno porazdeljenih virov.

Čeprav se dimenzije površinskega vira emisij zaradi spreminjanja odlagalnega polja ves čas spreminjajo, velja ocena, da je glavni površinski vir na Odlagališču Barje dolg 200 metrov in enako širok. Ob upoštevanju velikosti in

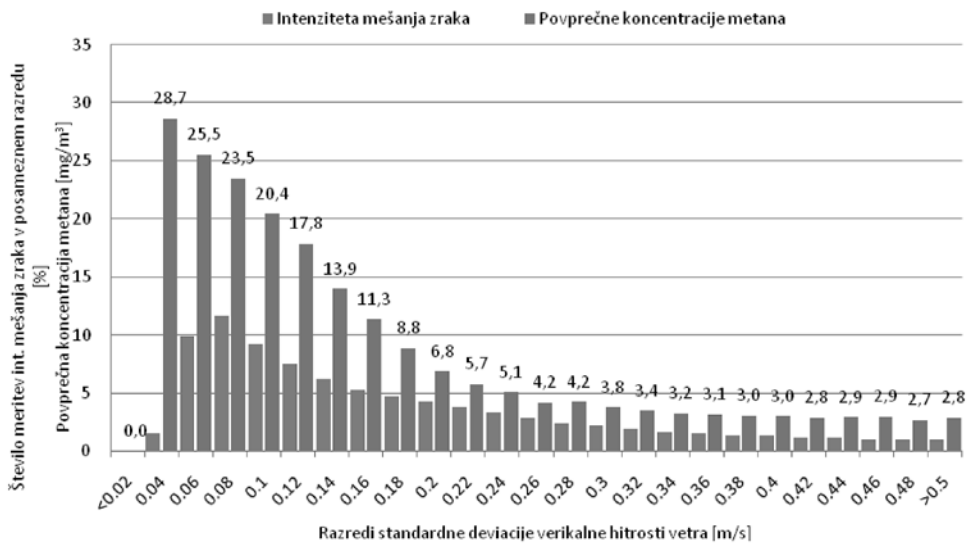
nehomogenosti površinskega vira je določanje emisije odlagališčnih plinov z emisijskimi meritvami oteženo. Zahtevno je predvsem odkrivanje posameznih emisijskih virov, ki so razporejeni po odlagalnem polju neenakomerno. Poleg neenakomerne razporejenosti manjših emisijskih virov je potrebno upoštevati tudi variabilno intenziteto le teh, saj se posamezni viri po količini, kot tudi po časovni odvisnosti med seboj zelo razlikujejo. Količina nastalih odlagališčnih plinov je namreč odvisna tudi od zunanjih faktorjev. Eden izmed dejavnikov so na primer meteorološke razmere, ki lahko v nekaterih primerih povzročijo povečano produkcijo deponijskih plinov in posledično večjo emisijo toplogrednih plinov v zrak.

Zaradi oteženega določanja emisije odlagališčnega plina so bile leta 1997 uvedene ambientalne oziroma imisijske meritve plina metana in kasneje tudi vodikovega sulfida. Na okoljski merilni postaji od glavnega emisijskega vira oddaljeni 400 metrov potekajo s trikomponentnim ultrazvočnim anemometrom tudi meritve gibanja zraka, dodatno pa tudi meritve temperature, vlažnosti, količine padavin, sedimentacije in evapotranspiracije. V letu 2008 je bila v smeri proti središču Ljubljane v oddaljenosti 1,1 kilometra uvedena dodatna merilna postaja, na kateri se izvajajo kontinuirane meritve metana in meritve gibanja zraka.

Ob poznavanju gibanja zraka, to je smeri, hitrosti vetra in nekaterih turbulentnih parametrov, ki podajajo učinkovitost mešanja zraka v spodnjem sloju atmosfere, in meritvah metana ter vodikovega sulfida, lahko v daljšem časovnem obdobju ocenimo vpliv emisij iz odlagališča Barje na okolje. V času, ko piha veter iz smeri emisijskega vira proti merilni postaji, izmerimo koncentracije metana in vodikovega sulfida v zraku in iz številnih meritev v daljšem časovnem obdobju ugotovimo, kako se te vrednosti spreminjajo v odvisnosti od količine odloženih odpadkov in meteoroloških razmer v času izvedbe meritve. Poleg kontinuiranih ambientalnih meritev nekaterih plinov, potekajo v okolici Odlagališča Barju tudi meritve neprijetnih vonjav, ki so zlasti v jutranjih urah za okoliške prebivalce moteče. Ugotovitve, ki so rezultat kombinacije imisijskih meritev, meteoroloških meritev in meritev neprijetnih vonjav kažejo vpliv Odlagališča Barje na okolje, hkrati pa služijo kot nadzor učinkovitosti izvajanih dejavnosti za zmanjševanje okoljskih vplivov Odlagališča Barje.

Rezultati nadzora učinkovitosti izvajanih ukrepov

Čeprav potekajo imisijske in meteorološke meritve na starejši izmed obeh okoljskih merilnih postaj že od leta 1997, bomo zaradi usklajenosti z ekološko bilanco prikazano v Tabeli 1 obravnavali imisijske in meteorološke podatke v obdobju med letoma 2004 in 2011.

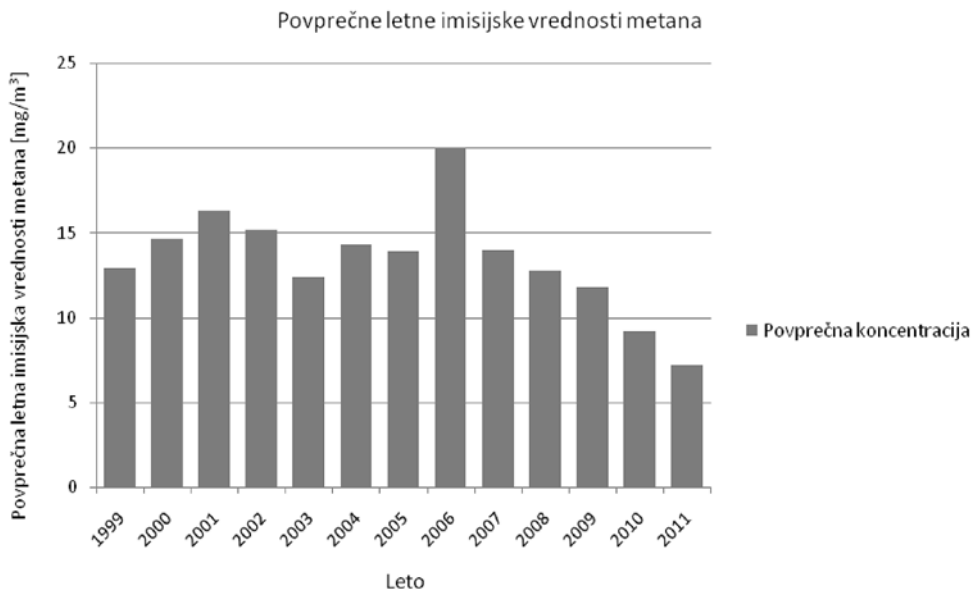


Slika 4.: Odvisnost imisijskih koncentracij metana in intenzitete mešanja zraka v vertikalni smeri. Povprečne imisijske vrednosti metana prikazujejo stolpci modre barve, stolpci vijolične barve pa intenziteto mešanja zraka v vertikalni smeri. Uporabljene so podatki v letih med 2004 in 2011.

Imisijske meritve kažejo, da so najvišje koncentracije metana in vodikovega sulfida izmerjene v času, ko prevladujejo šibki vetrovi in je mešanje zraka v horizontalni in predvsem vertikalni smeri prizemne plasti ozračja slabo. V takih razmerah se odlagališčni plini v okoliški zrak mešajo neučinkovito in so posledično koncentracije plinov povišane. Plini, ki izhajajo iz površja odlagališča v atmosfero se namreč širijo v času slabih razredčevalnih razmer v manjši volumen zraka. Nasprotno se plini v dnevnem času mešajo v večji volumen zraka in so koncentracije nižje. Koncentracije merjenih plinov so torej najvišje v nočnih in zgodnjih jutranjih urah, ko prevladujejo šibki vetrovi in je prisotna izrazita temperaturna inverzija. Odvisnost koncentracij plina metana od vremenskih razmer je prikazana na Sliki 4, ki prikazuje odvisnost med izmerjenimi koncentracijami metana in standardno deviacijo vertikalne hitrosti vetra, ki opisuje mešanje zraka v prizemnem sloju ozračja. Na podlagi meritev lahko ugotovimo, da so bile v letih med 2004 in 2011 najvišje koncentracije metana (stolpci modre barve) izmerjene pri vetru, ki je pihal iz smeri glavnega emisijskega vira proti postaji in pri majhnih vrednosti standardne deviacije vertikalne hitrosti zraka (stolpci vijolične barve).

Prav v poznih večernih in zgodnjih jutranjih urah se v okolici Odlagališča Barje pojavljajo neprijetne vonjave. Moteče so zlasti pri vetru iz smeri glavnega emisijskega vira proti središču Ljubljane. Leta 2008 so bile za spremljanje širjenja neprijetnih vonjav uvedene meritve s posebnim instrumentom

imenovanim ročni olfaktometer. Oseba, ki izvaja meritve se po ustaljeni poti, včasih se pot prilagodi vremenskim razmeram, ustavlja na izbranih mestih in preveri stopnjo neprijetnih vonjav, hkrati pa z mobilnim anemometrom zabeleži hitrost in smer vetra ter nekatere turbulenčne parametre. Sodeč po analizi zbranih meritev lahko ugotovimo, da se od začetka meritev neprijetnih vonjav le teh okolici odlagališča pojavljajo vse redkeje in so tudi manj intenzivne. Sklepamo, da je to posledica manjše količine odloženih odpadkov in predvsem ločenega zbiranja odpadkov.



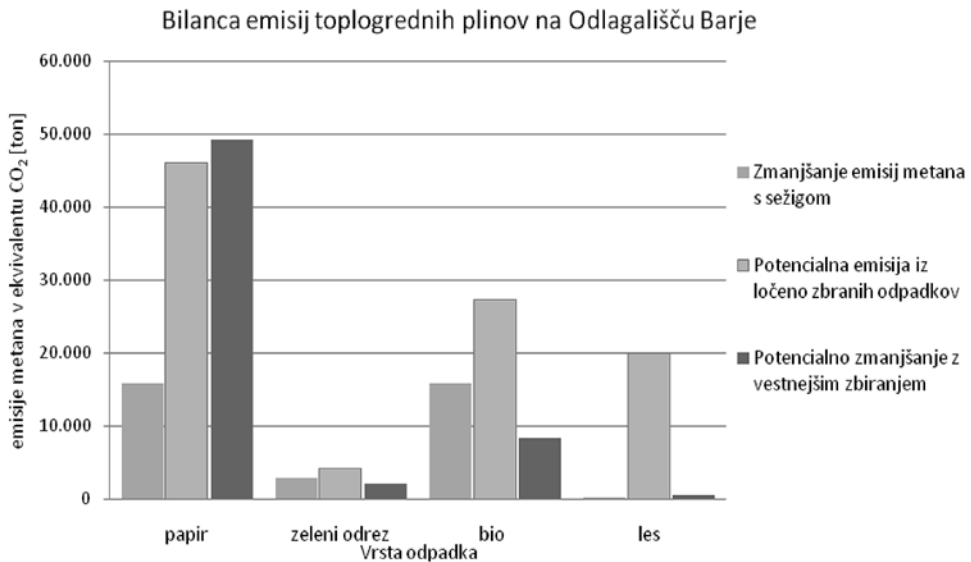
Slika 5.: Povprečne letne imisijske vrednosti plina metana na merilnem mestu od glavnega emisijskega vira oddaljenem 400 metrov.

Podoben trend kot pri meritvah neprijetnih vonjavah je izmerjen tudi pri ambientalnih koncentracijah plina metana in vodikovega sulfida. Povprečne letne imisijske vrednosti metana so v zadnjih letih čedalje nižje. Vse manjše povprečne letne imisijske vrednosti metana sovpadajo s podatki iz bilance odloženih odpadkov, nastalih emisij, ločeno zbranih odpadkov itd. Predvsem v zadnjem obdobju, od leta 2006 dalje, je trend manjšanja povprečnih vrednosti metana izrazit. Leta 2007 je bila povprečna imisijska vrednost metana 12,1 mg/m³, leta 2011 pa več kot polovico nižja, in sicer 4,7 mg/m³. Sklepamo, da vse nižje izmerjene koncentracije pripišemo izvajanim dejavnostim na Odlagališču Barje, upoštevati pa je potrebno, da se glavni emisijski vir zaradi življenja odlagališča seli in se posledično razdalja med virom in merilnim mestom malce spreminja. Produkcija metana in tudi neprijetnih vonjav je z vse učinkovitejšimi izvajanimi dejavnostmi, to je črpanjem odlagališčnega

plina in ločenim zbiranjem odpadkov, vse manjša. Tako so koncentracije v okolihu odlagališča nižje, vpliv odlagališča pa vse manjši.

6. MOŽNOSTI ZA NADALJNE ZMANJŠEVANJE OKOLJSKIH VPLIVOV

Navedeni podatki o doseženih rezultatih zmanjševanja vplivov Odlagališča Barje na okolje kažejo na učinkovitost izvajanih ukrepov za zmanjšanje emisij v zrak. Neizkoriščene možnosti za nadaljnje zmanjševanje vplivov odlagališča na okolje so dosegljive predvsem z vestnejšim ločevanjem odpadkov, h kateremu lahko prispeva vsak posameznik.



Slika 6.: Neizkoriščene možnosti za nadaljnje zmanjšanje vplivov odlagališča Barje na okolje.

V letu 2011 je bilo med mešanimi komunalnimi odpadki še vedno veliko biorazgradljivih odpadkov. Tako je bilo na odlagališče odloženih 18.291 ton papirja, 18.357 ton biorazgradljivih odpadkov, 3.409 ton zelenega odreza in 329 ton lesa. Največje rezerve za omejitev in zmanjšanje emisij toplogrednih plinov v zrak je torej vestnejše ločeno zbiranje odpadkov. Ker pa je iz mešanih gospodinjskih odpadkov, biološke odpadke še vedno težavno v celoti izločiti, je na Odlagališču Barje v načrtu objekt mehansko biološke obdelave, kjer se bodo iz gospodinjskih odpadkov izločile vse ne ločene frakcije odpadkov in se oddale v nadaljnje postopke. Razgradnja odpadkov bo namreč v zaprtih reaktorjih potekala kontrolirano, nastali metan se bo zajemal in bo izrabljen za pridobivanje energije.

	leto 2004	leto 2005	leto 2006	leto 2007	leto 2008	leto 2009	leto 2010	leto 2011
količina odloženih odpadkov [ton]	177,436	173,532	178,238	185,483	176,068	153,326	131,333	109,993
nastala količina metana [Nm ³]	11,294,570	11,703,838	12,105,767	11,695,234	12,802,087	9,289,106	7,003,800	8,428,571
nastala količina metana [ton]	8,065	8,358	8,645	8,352	9,144	6,635	5,002	6,020
nastala količina toplogrednih plinov v tonah ekvivalenta CO ₂	169,365	175,518	181,545	175,392	192,017	139,326	105,049	126,419
načrpana količina odlagaljskih plinov [Nm ³]	8,326,000	11,434,554	10,584,842	12,290,607	13,015,093	12,681,951	13,622,148	14,127,177
poprečna letna vsebnost metana v odlagaljskem plinu [%]	50,1	49,2	48,4	46,1	49,3	47,3	45,8	44,1
masa načrpanega metana [ton]	2,979	4,017	3,658	4,046	4,583	4,284	4,456	4,450
masa načrpanega metana izražena v tonah ekvivalenta CO ₂	62,553	84,365	76,826	84,967	96,239	89,972	93,577	93,444
delež zmanjšanja toplogrednih plinov z ukrepi na odlagaljsku v %	36,9	48,1	42,3	48,4	50,1	64,6	89,1	73,9
proizvedena el. energ. [kWh]	18,762,000	20,445,350	18,292,304	19,466,090	21,185,345	21,014,422	22,280,267	22,248,631
zmanjšanje toplogrednih plinov s proizvodnjo el.energ. v tonah ekv. CO ₂	11,257	12,267	10,975	11,680	12,711	12,609	13,368	13,349
izločena količina zbranih bio odpadkov [ton]	0	38	3,281	7,969	9,629	10,904	12,620	15,628
zmanjšana količina nastalega metana [ton]	0	3	253	614	741	840	972	1,203
zmanjšana količina nastalega metana v tonah ekvivalenta CO ₂	0	3	5,305	12,886	15,570	17,632	20,407	25,270
količina zbranega papirja [ton]	3,618	4,263	5,946	6,389	7,033	9,212	9,880	9,718
zmanjšana količina metana [ton]	743	875	1,221	1,312	1,444	1,892	2,029	1,995
zmanjšana količina metana v tonah ekvivalenta CO ₂	15,601	18,382	25,639	27,549	30,326	39,722	42,603	41,904
izločena količina zelenega odreza [ton]	2,638	2,020	1,696	1,888	2,093	1,902	1,939	2,106
zmanjšana količina metana [ton]	230	176	148	165	183	166	169	184
zmanjšana količina metana v tonah ekvivalenta CO ₂	4,834	3,702	3,108	3,460	3,836	3,486	3,553	3,859
izločena količina lesnih odpadkov	2,928	3,248	3,035	4,580	5,602	5,144	5,245	5,268
zmanjšana količina metana [ton]	451	500	467	705	863	792	808	811
zmanjšana količina metana v tonah ekvivalenta CO ₂	9,469	10,504	9,815	14,812	18,117	16,636	16,962	17,037
z dejavnostmi JP SNAGA zmanjšana količina metana v tonah ekv. CO ₂	103,715	129,223	131,669	155,354	176,799	180,056	190,470	194,864
št. preb., ki odlagajo na Barje	370,473	370,473	370,473	350,000	350,000	350,000	350,000	350,000
zmanjšana emisija CO ₂ ekv. kg/preb	280	349	355	444	505	514	544	557
zmanjšanje CO ₂ ekv. v % na povprečno emisijo na prebivalca Slovenije	2,8	3,5	3,6	4,4	5,1	5,1	5,4	5,6
zmanjšanje izraženo v toplogredni emisiji bencina v litrih na preb.	111	138	141	176	216	220	233	238
zmanjšanje izraženo v toplogredni emisiji bencina v litrih na povpr. družino	343	428	436	544	670	683	722	739
št. gospodinjstev oskrbovanih s proizvedeno električno energ. na Barju	5,391	5,875	5,256	5,594	6,088	6,039	6,402	6,393
količina na odlagaljske pripremljenih odpadkov iz divjih odlagaljsč [ton]	2,754	2,462	1,658	3,992	2,374	601	1,082	255

Tabela 1.: Bilanca odloženih odpadkov, nastalih emisij metana, izvajanih dejavnosti za zmanjšanje emisij in ekološke ugodnosti izvajanih dejavnosti.

Zmanjšanje emisij metana z izvajanimi dejavnostmi in neizkoriščenimi možnostmi je grafično prikazano na Sliki 6. S črpanjem odlagališčnih plinov doseženo zmanjšanje emisij metan predstavljajo stolpci obarvani zeleno, stolpci sive barve pa emisijo, ki bi nastala z odložitvijo ločeno zbranih odpadkov. Neizkoriščene možnosti dosegljive z vestnejšem ločevanjem odpadkov označujejo stolpci rdeče barve.

LITERATURA IN VIRI

- [1] Paradiž B., Šveglj Ž., Leskovšek J. (2009). Prispevek za oceno uporabnosti modelnih izračunov pri ugotavljanju kakovosti zraka. Ljubljana: Gospodarjenje z okoljem.
- [2] Šveglj Ž. (2009). Modeliranje disperzije ob nenadnem izpustu polutantov. Ljubljana: Fakulteta za matematiko in fiziko. Diplomsko delo, oktober 2009.
- [3] Čepon L., 2009. Preprečevanje in ravnanje s plinastimi emisijami iz odlagališč komunalnih odpadkov, Ljubljana: Univerza v Ljubljani, Fakulteta za kemijo in kemijsko tehnologijo. Magistrsko delo, junij 2002.



ID 05

Čiščenje izcednih vod na odlagališču nenevarnih odpadkov Barje

Leachate treatment at the Barje non-hazardous waste landfill

Polona PRIMOŽIČ¹

¹ Javno podjetje Snaga d.o.o., Povšetova cesta 6, 1000 Ljubljana
polona.primozic@snaga.si

Povzetek

Na odlagališčih nenevarnih odpadkov pri razgradnji le-teh nastajajo izcedne vode. Najbolj značilni spremenljivki izcednih vod so neenakomernost nastajanja in nihanje v sestavi. K temu pripomorejo številni dejavniki, ki so povezani z izgradnjo odlagališča, načinom odlaganja, količino in sestavo odloženih odpadkov, klimatski pogoji področja, na katere ne moremo vedno vplivati. Glede na laboratorijske in pilotne preskuse ter ogled referenčnih čistilnih naprav na drugih odlagališčih smo natančneje proučili več variant in na podlagi tehnoloških značilnosti, ekonomiko in zakonodajo izbrali postopek z membranskim bioreaktorjem – MBR z adsorpcijo na aktivnem oglju in selektivno ionsko izmenjavo. Članek opisuje učinkovitost čiščenja izcedne vode na čistilni napravi na Odlagališču nenevarnih odpadkov Barje, kjer smo s poskusnim obratovanjem pričeli marca 2010 in z rednim obratovanjem januarja 2011.

Ključne besede: deponijske izcedne vode, MBR, ionska izmenjava, adsorpcija na aktivnem oglju, učinkovitost čiščenja.

Abstract

In the process of non-hazardous waste degradation at a landfill, leachate is generated. The most typical features of leachates are their irregular formation and varying composition, which is a result of numerous factors related to the landfill construction, method of disposal, amount and composition of disposed waste and climatic conditions in the area. These factors cannot always be influenced. Based on conducted laboratory and pilot tests and visits to comparable treatment plants at other landfills, several options for our plant were examined, and after having taken into account their economical, technological and legislative aspects, the MBR process by adsorption on activated carbon and selective ion exchange was chosen. The article describes the efficiency of leachate treatment at the treatment plant of the Barje non-hazardous waste landfill, where trial operation was started in March 2010, followed by regular operation in January 2011.

Key words: landfill leachates, MBR, reverse osmosis, ion exchange, adsorption on activated carbon, efficiency of treatment.

1. UVOD

Naša zakonodaja zahteva zajem in čiščenje izcednih ter drugih onesnaženih vod iz odlagališč, ločeno odvajanje izcedne vode, padavinskih in drugih vod, ki ne pridejo v stik s telesom odlagališča, omejuje letne količine vnosa nevarnih snovi neposredno v vodotok ter prepoveduje odvajanje izcedne vode neposredno v podzemne vode, stoječe površinske vode ali vode, namenjene za pripravo pitne vode.

Izcedne vode iz Odlagališča nenevarnih odpadkov Barje so se več let iztekale v javno kanalizacijo mesta Ljubljana. Na osnovi rezultatov večletnih monitoringov v skladu z Uredbo o emisiji snovi in toplote pri odvajanju odpadnih vod v vode in v javno kanalizacijo in Uredbo o emisiji snovi pri odvajanju izcedne vode iz odlagališč odpadkov so presegali mejne vrednosti za iztok v kanalizacijo parametri: amonijev dušik, adsorbiljivi organski halogeni – AOX, biološka razgradljivost in bor ter občasno še sulfat in sulfid.

V praksi sta se izoblikovala dva glavna načina čiščenja, in sicer popolno čiščenje z doseganjem parametrov za izpust v okolje in predčiščenje na deponiji, ki mu sledi kombinirano čiščenje na centralni čistilni napravi. Med najbolj razširjenimi načini čiščenja izcednih vod s komunalnih deponij v svetu uporabljajo biološko čiščenje, v zadnjem času pa se vedno bolj uveljavlja MBR tehnologija (v membranskem bioreaktorju).

2. NASTANEK IZDCEDNIH VOD

Razgradnja organskih odpadkov v deponiji je serija zapletenih kemijskih, fizikalnih in bioloških procesov. Biološki procesi razgradnje so najpomembnejši od vseh treh procesov in lahko potekajo v aerobnih, anoksičnih ali anaerobnih pogojih. Glede na spremljanjem procesov, sestavo plina in izcednih vod se biološka razgradnja razdeli na več faz:

- Aerobna faza
- Anaerobna nemetanska faza – kislina faza.
- Anaerobna nestabilna metanska faza – acetogena faza
- Anaerobna stabilna metanska faza – metanogena faza
- Faza oksidacije

Pomemben pokazatelj onesnaženja izcednih vod je spreminjanje koncentracij organskih spojin, ki se pojavljajo s spreminjanjem biološke razgradnje iz kisle v metanogeno fazo. Za kislino fazo (sveže izcedne vode) je značilna visoka količina lahko razgradljivih organskih snovi (masno razmerje $\xi(\text{BPK}_5/\text{KPK}) > 0,4$). Za metanogeno fazo (stare izcedne vode) je značilna nižja vsebnost organskih snovi, preostanejo le težko razgradljive oblike (masno razmerje $\xi(\text{BPK}_5/\text{KPK}) < 0,1$).

Najpomembnejši dejavniki, ki vplivajo na nihanja v kakovosti izcednih vod, so:

- sestava odpadkov in njihova spremenljivost,
- temperatura v deponijskem telesu, ki se spreminja glede na letni čas,
- debelina odloženega sloja,
- način odlaganja odpadkov (mletje odpadkov, odlaganje trdnih odpadkov skupaj z blati iz čistilnih naprav, odlaganje komunalnih odpadkov skupaj s sorptivnimi odpadki, prisotnost strupenih snovi),
- starost deponijskega polja,
- vlaga.

Glavni vir vlage so padavine, ki pronicajo skozi deponijsko telo. Del te vlage odteče kot meteorna voda s pobočij deponije, del se je vrne v atmosfero z izhlapevanjem iz zgornje površine zemlje ali rastlinja, preostanek pa ostane shranjen v povečani vlažnosti vrhnjega sloja zemlje. Ko vsebnost vlage prekorači vlažnost polja, prične pronicati navzdol, v odpadke. V tej fazi se vlaga iz odpadkov pojavi kot izcedna voda. Načeloma velja, da je količina vlage, ki pricurlja v odpadke po začetni zakasnitvi, enaka prostornini nastalih izcednih vod.

3. ODLAGALIŠČE NENEVARNIH ODPADKOV BARJE

Ljubljansko odlagališče leži na južnem obrobju mesta, oziroma na severnem obrobju Ljubljanskega barja in ima dva dela, starega in novega. Na starem delu, ob Cesti dveh cesarjev, se je odlaganje odpadkov začelo leta 1964 in je trajalo vse do leta 1987, ko je bilo s severa proti jugu zasedeno skupno območje starega dela odlagališča na površini zemljišča 47,5 ha.

Novi del Odlagališča nenevarnih odpadkov Barje, na površini 41,5 ha, se postopoma gradi in ureja od leta 1987 po posameznih odlagalnih poljih in fazah ter pripadajočih objektih. Sestavljen je iz petih odlagalnih polj. Prva tri odlagalna polja s prostornino 3.000.000 m³ so bila zapolnjena do konca leta 2003 in prekrita s pokrovom v letu 2004. Odlaganje gospodinjstvih in drugih komunalnih odpadkov od leta 2003 poteka na enovitem IV. in V. odlagalnem polju s skupno zmogljivostjo 2.100.000 m³.

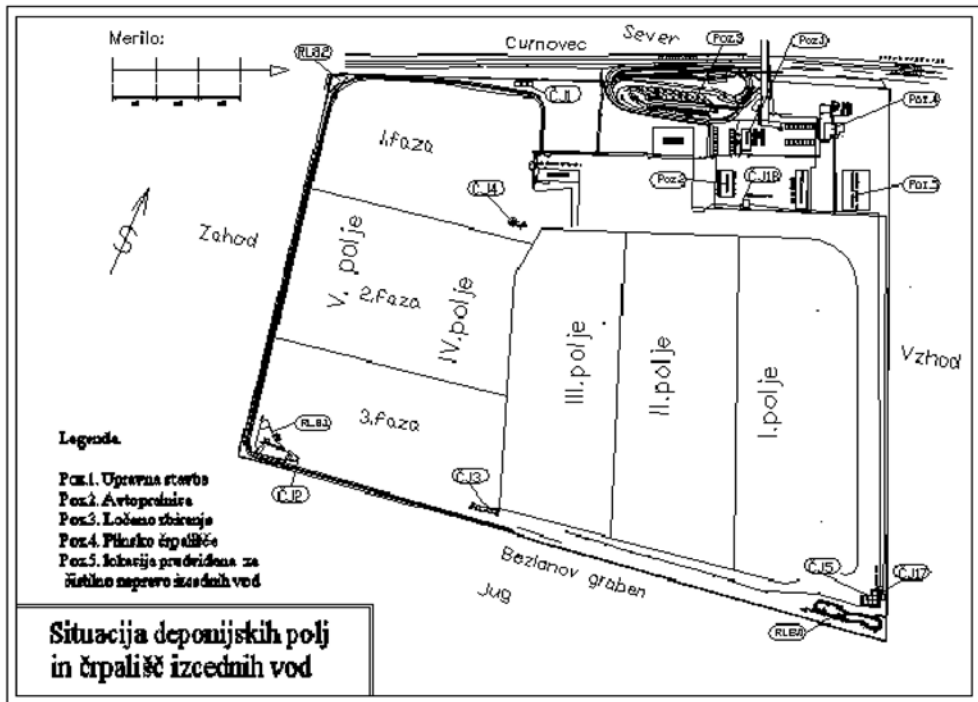
Do leta 2011 je bilo na enovitem IV. in V. odlagalnem polju porabljenega 1.336.000 m³ prostora. Izračuni kažejo, da bo razpoložljivi odlagalni prostor zapolnjen v prvi polovici leta 2022. Masa sprejetih odpadkov od leta 2001 do leta 2011 je prikazana v tabeli 1. Na odlagalnih poljih je urejeno odplinjanje. Leta 1995 je bila Odlagališču nenevarnih odpadkov Barje je bila zgrajena plinska elektrarna z močjo 1,2 MW. Skladno z rastjo deponijskih polj, se je povečevala tudi količina zajetega odlagališčnega plina (tabela 1). Trenutno so instalirani štirje (4) motorji proizvajalca Jenbacher model J 320, katerih nazivna bruto električna moč znaša 4243 kW.

Zajemanje izcedne in padavinske vode (slika 1):

Zajemanje izcedne vode:

- iz I. odlagalnega polja (delno), II. odlagalnega polja (nadvišanje polja) in III. odlagalnega polja, se po drenažnem sistemu iztekajo v zbiralni bazen izcednih vod ČJ 17, iz katerega jih prečrpavamo v bazen ČJ 5;
- iz 1. faze IV. in V. odlagalnega polja se zbirajo v bazenu ČJ 1 in jih prečrpavamo v bazen ČJ 18 in nato v bazen ČJ 5;
- iz dela 2. faze IV. in V. odlagalnega polja se zbirajo v bazenu ČJ 4 in jih prečrpavamo v bazen ČJ 18 in nato v bazen ČJ 5;
- iz dela 2. faze in iz 3. faze IV. in V. odlagalnega polja se zbirajo v bazenu ČJ 2 in ČJ 3, prečrpavamo jih v bazen ČJ 5.

Odpadne vode iz avtopralnice vozil nastajajo pri pranju vozil, vsebnost posameznih polutantov ne presega mejnih vrednosti za iztok v kanalizacijo, tako da jih odvajamo direktno v iztok iz deponije, kjer se pomešajo z očiščeni izcednimi vodami iz čistilne naprave.



Slika 1.: Situacija deponijskih polj in črpališč izcednih vod.

Padavinske vode:

- iz deponijskega telesa I., II. in III. odlagalnega polja se zbirajo vode v obodnem jarku in odvajajo v usedalnik in laguno RL 8.0;
- iz 1. faze IV. in V. odlagalnega polja se vode zbirajo v obodnem jarku in odvajajo v usedalnik in laguno RL 8.2;
- iz 2. in 3. faze IV. in V. odlagalnega polja se zbirajo vode v obodnem jarku in odvajajo v usedalnik in laguno RL 8.1.

Pri vseh treh lagunah so nameščeni analizatorji, ki avtomatsko merijo koncentracijo amonijevega dušika, električno prevodnost, pH, vsebnost kisika. Če koncentracija amonijevega dušika preseže mejno vrednost za iztok v vode, ki je določena z Uredbo o emisiji snovi pri odvajanju izcedne vode iz odlagališč odpadkov, se pretok v potoke zapre in voda se prečrpa v bazene za izcedno vodo.

Prostornina in kvaliteta izcednih vod

Prostornine izcednih vod so odvisne od količine padavin ter od površine odlagališča. Na osnovi letne količine padavin in površine deponijskega dela zemljišča je možno oceniti letne prostornine izcednih vod.

Na Odlagališču nenevarnih odpadkov Barje od leta 1998 naprej redno merimo in beležimo prostornine odvedenih izcednih vod v javno kanalizacijo in količini padavin. V tabeli so zbrani podatki za skupno prostornino nastalih izcednih vod in količina padavin od leta 2001 do leta 2011.

Tabela 1.: Masa sprejetih odpadkov, količina padavin in izcedne vode, količina proizvedene ga plina in električne energije od leta 2001 do leta 2011.

Leto	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Masa odpadkov (1000 t)	214	193	177	178	174	178	184	176	153	131	110
Padavine (L/m²)	1.117	1.367	1.078	1.693	1.427	1.128	1.313	1.623	1.333	1.832	1.034
Izcedna voda (1000 m³)	121	111	95	166	155	129	126	178	190	225	127
Prostornina izsesanega plina (1000 m³)	9.130	7.144	7.416	8.326	11.435	10.585	12.290	13.015	10.568	12.056	11.589
Proizvedena elek. energ. (1000 kWh)	7.253	9.618	13.677	18.762	20.445	18.298	19.466	21.185	21.014	22.280	22.249

Iz podatkov o prostornini izcednih vod od leta 2001 do 2011 v tabeli 1 je možno razbrati, da je letna prostornina izcednih vod neposredno povezana z letno količino padavin. Iz podatkov za leto 2004, 2008 in 2010 je razvidno, da je bila v teh letih izredno povečana količina padavin ter tudi izredno povečana letna prostornina izcednih vod.

Ugotovljeno je, da iz I., II. in III. odlagalnega polja dobimo povprečno dnevno 260 m³/d (povprečje: 2001–2011) izcedne vode, pri maksimalnih padavinah pa tudi do 1.100 m³/d. Na IV. in V. enovitem odlagalnem polju dobimo povprečno 201 m³/d, pri maksimalnih padavinah pa do 1.400 m³/d.

Tabela 2.: Prostornine in obremenitev izcednih vod iz odlagališča nenevarnih odpadkov Barje.

Parameter	Prostornina (m ³ /dan oz. kg/dan)	Povprečne koncentracije* (mg/L)	MDK za iztok v kanalizacijo (mg/L)
dnevni pretok izcedne vode	400,0		
KPK	800,0	2000,0	– (300)*
BPK ₅	267,0	700,0	–
N,NH ₄	480,0	1200,0	200,0
Bor	9,2	23,0	10,0
AOX	0,4	1,0	0,5

*Koncentracija KPK v izcedni vodi je posredno omejena s parametrom biološke razgradljivosti, za katero ne velja mejna vrednost 75 %, če je koncentracija KPK manjša kot 300 mg/L(28).

Povprečna letna dnevna prostornina izcednih vod, ki se čisti na čistilni napravi za izcedne vode, je pribl. 500 m³/d. Pri čemer je v sušnem obdobju prostornina izcednih vod manjša, v času padavin pa so dnevne prostornine izcednih vod do 1.900 m³/d. V času brez padavin so dnevne prostornine izcednih voda med 200 m³/d in 300 m³/d, v poletnih sušnih mesecih pa okoli 100 m³/d. Zaradi izrednega nihanja v prostornini izcednih vod je bilo potrebno zagotoviti zadostno prostornino za izravnavo prostornin v sistemu zbiranja in odvajanja izcednih vod. Tako imamo na odlagališču več bazenov in črpališč, katerih skupna prostornina je pribl. 2.600 m³.

Povprečna letna dnevna prostornina izcednih vod, ki se čisti na čistilni napravi za izcedne vode, je pribl. 500 m³/d. Pri čemer je v sušnem obdobju prostornina izcednih vod manjša, v času padavin pa so dnevne prostornine izcednih vod do 1.900 m³/d. V času brez padavin so dnevne prostornine izcednih voda med 200 m³/d in 300 m³/d, v poletnih sušnih mesecih pa okoli 100 m³/d. Zaradi izrednega nihanja v prostornini izcednih vod je bilo potrebno zagotoviti zadostno prostornino za izravnavo prostornin v sistemu zbiranja in odvajanja izcednih vod. Tako imamo na odlagališču več bazenov in črpališč, katerih skupna prostornina je pribl. 2.600 m³.

Glede na večletne rezultate obratovalnega monitoringa in rezultate analiz, ki so se izvajale v laboratoriju na Deponiji Barje je bilo predvideno, da se bo na čistilni napravi čistila izcedna voda s karakteristikami podane v tabeli 2.

4. ČISTILNA NAPRAVA

Na področju Odlagališča Barje sta dva vodotoka in sicer potok Curnovec ter barjanski jarek Bezlanov graben. Iz podatkov in zaključkov Poročila o vplivih na okolje, je razvidno, da je potok Curnovec preobremenjen že pred vtokom na odlagališče in sodi v drugi kakovostni razred. Po odlagališču se stanje potoka še poslabša. V sušnih poletnih časih se pretok potoka zelo zniža in skoraj presahne.

Obstoječi iztok izcednih vod je bil preko črpališča ČJ 5 speljan v javno kanalizacijo mesta Ljubljane, ki je zaključena s čistilno napravo CČN Ljubljana. Preizkušena oddaja vode v javni kanalizacijski sistem je glede na črpalke 31 L/s oziroma do 2.680 m³/dan. Sušni dnevni dotok odpadne vode na CČN Ljubljana pribl. 82.000 m³/d. Izcedne vode iz odlagališča Barje tako predstavljajo pribl. 0,5 % vseh odpadnih vod na CČN Ljubljana, kar pomeni, da je njihov delež zanemarljiv in da ne bodo vplivale na delovanje CČN Ljubljana.

Na osnovi zgoraj navedenih dejstev je bila predlagana izgradnja čistilne naprave za izcedne vode z iztokom v kanalizacijo.

Poskusi čiščenja izcedne vode

Da bi lahko izbrali ustrezno tehnologijo čiščenja izcednih vod, smo izvedli vrsto laboratorijskih in pilotnih testov:

- biološko čiščenje v pol-industrijski pilotni napravi, ki je delovala saržno po principu saržnega biološkega reaktorja (SBR). Izvedli smo nitrifikacijo in denitrifikacijo in odstranili večino amonijevega dušika. Odstranili smo 30% KPK, vendar je ta še vedno presegal mejno vrednost 300 mg/L;
- fizikalno-kemijsko čiščenje s tehnično raztopina FeCl_3 , s katerim smo dosegli od 20 % do 30% učinek odstranjevanja KPK na surovih izcednih vodah, na biološko prečiščenih izcednih vodah pa smo dosegli od 25% do 35% učinek odstranjevanja KPK. KPK v očiščeni izcedni vodi je bil še vedno višji od 300 mg/L;
- adsorpcijo na aktivnem oglju, s katero smo odstranili KPK pod mejno vrednost 300 mg/L;
- oksidacijo z ozonom, kjer smo dosegli le delno zmanjšanje KPK, kljub podaljševanju zadrževalnih časov in povečevanju doziranja ozona;
- ionsko izmenjavo bora, pri kateri sta selektivna ionska izmenjava bora in regeneracija ionskega izmenjevalca potekla reverzibilno in jo lahko uspešno uporabimo za odstranjevanje bora iz izcedne vode, do mejne koncentracije za iztok v kanalizacijo.

Izbira tehnologije čiščenja

Na osnovi glavnih polutantov v izcedni vodi, rezultatov laboratorijskih in pilotnih poskusov ter pregledu možnih tehnoloških postopkov smo podrobneje preučili naslednje tehnološke postopke:

- SBR z fizikalno-kemijskim predčiščenjem, naknadno adsorpcijo na aktivnem oglju in selektivno ionsko izmenjavo bora – varianta A;
- MBR z naknadno adsorpcijo na aktivnem oglju in selektivno ionsko izmenjavo bora – varianta B;
- obratna osmoza z uparjanjem koncentrata – varianta C.

Predlagane variante smo med seboj primerjali v tehnoloških, tehničnih in ekonomskih značilnostih in jih ponderirali po pomembnostmi. Ocenjevali smo 17 značilnost (investicijski stroški, obratovalni stroški, doba vračanja sredstev, učinkovitost čiščenja, obdelava odpadkov iz ČN,...) Izbrana je bila varianta B, ki je dosegla najvišje število točk.

Varianta C omogoča učinkovito odstranjevanje vseh polutantov, vendar pri tem nastanejo velike količine koncentrata, katerega obdelava zelo poveša obratovalne stroške. Vračanje koncentrata na odlagalna polja bi obratovalne stroške sicer znižalo do te mere, da bi postala varianta C najugodnejša, vendar bi glede na konfiguracijo strmih brežin odlagalnih polj, vračanje 40 m³ koncentrata/d lahko povzročilo tudi zrušenje odlagalnih polj.

Glavna prednost variante A je v najnižjih investicijskih stroških, vendar v primerjavi obratovalnih stroškov kot tudi ostalih lastnostih ta varianta predstavlja slabšo izbiro od variante B.

Opis čistilne naprave:

- egalizacija: izcedne vode se zbirajo v egalizacijskem bazenu, kjer se izravna kvaliteta ter količina izcednih vod;
- biološko čiščenje z MBR:
 - denitrifikacija nitratnega dušika do plinastega. V primeru, da je v izcedni vodi premalo biološko razgradljivega organskega ogljika, se v tej fazi dodaja metanol. Poleg metanola se dodaja še fosforna kislina (fosfor je nujno potreben za rast mikroorganizmov). Nitratni dušik se v denitrifikacijo vrača iz nitrifikacije z reciklom iz ultrafiltracije;
 - nitrifikacija amonijevega dušika do nitrata in razgradnja organskega substrata s pomočjo dovajanja kisika v nitrifikacijski bazen. V tej fazi se dodaja antipenilec za preprečevanje nastajanja pen;
 - ultrafiltracija, kjer se ločuje aktivno blato od očiščene izcedne vode;
- adsorpcija na aktivnem oglju odstranjuje biološko težko razgradljive organske snovi;
- selektivna ionska izmenjava bora, kjer se odstranjuje bor pod predpisano mejno vrednost. Ko je ionski izmenjevalec nasičen, poteče regeneracija s 5% žvepleno kislino in 2,5% natrijevim hidroksidom;
- uprevanje koncentrata bora, kjer se zmanjšuje količina regenerata in koncentrata, ki nastane pri regeneraciji ionskega izmenjevalca. Koncentriran preostanek se odstranjuje kot tekoči odpadek in se ga predaja pooblaščenemu zbiralcu in odstranjevalcu nevarnih odpadkov.



Slika 2.: Čistilna naprava Barje.

Očiščena voda se iz selektivne ionske izmenjave zbira v bazenu očiščene vode od kjer se jo prečrpava v javno kanalizacijo, ki se zaključi s CČN Ljubljana.

V MBR reaktorju nastaja pri biološkem čiščenju odvečno blato. Blato se dehidrira na centrifugi, pred tem se dodaja polielektrolit – flokulant zaboljšanje dehidracije blata. Blato

se zbira v zalogovniku in odlaga na odlagališču, skladno z Uredbo o odlaganju odpadkov na odlagališčih (Ul RS 61/2011). Blato po obdelavi vsebuje pribl. 20% suhe snovi.

Temperatura odpadne vodne ne sme preseči 36 °C, zato je potrebno zagotoviti dodatno hlajenje, predvsem v poletnih mesecih. V zimskem času se temperatura izcedne vode precej zniža. Da se za zagotavljanje temperature izcedne vode v bazenih vsaj 20 °C, se izcedno vodo segreva s pomočjo tople vode iz obstoječih plinskih motorjev preko posebne toplotne podpostaje in toplotnega izmenjevalca.

Delovanje čistilne naprave oziroma delovanje posameznih segmentov opreme ČN je avtomatsko, glede na nastavljene parametre vgrajene programske opreme. Vodenje naprave poteka preko krmilnika s pripadajočo programsko opremo. Vsi procesni parametri in stanja so prikazani na LCD grafičnem operaterskem panelu. Na operaterskem panelu je možno spremljati vse trenutne funkcije posameznih elementov opreme ter meritve, ki se opravljajo na merilni opremi ter po potrebi tudi spreminjati posamezne nastavitvene parametre

Obratovanje čistilne naprave

Z devet mesečnim poskusnim obratovanjem smo pričeli v mesecu marcu 2010 in zaključili v januarju 2011. Da bi čim hitreje pričeli z uspešnim biološkim čiščenjem smo v nitrifikacijski bazen dali aktivno blato iz podobnih čistilnih naprav za izcedno vodo s koncentracijo aktivnega blata 11-12 mg/L.

Po dveh mesecih obratovanja smo dosegli zadovoljive učinke biološkega čiščenja (vsebnost KPK med 350 in 300 mg/L in vsebnost amonija pod 1 mg/L) in koncentracijo aktivnega blata med 16 in 17 mg/L in pričeli vodo črpati tudi na adsorpcijo z aktivnim ogljem in ionsko izmenjavo.

V mesecu juliju 2010 smo pričeli s šest mesečnim obdobjem, kjer so se vrednotili parametri delovanja čistilne naprave ter spremljali obratovalni stroški.

Kot obratovalni stroški so se upoštevali naslednji elementi: poraba električne energije, poraba aktivnega oglja in vseh kemikalij za obratovanje ČN. V času šestmesečnega dokazovanja parametrov je čistilna naprava dosegala nižje

obratovalne stroške na enoto očiščene vode kot je bilo predvideno s ponudbo izvajalca. Vrednotili so se tudi rezultati učinka čiščenja, za katere je bilo izvedenih 10 vzorčenj.

V obdobju od 14.07.2010 do 14.01.2011 smo na čistilni napravi očistili 85.054 m³ izcedne vode, s povprečnim dnevnim pretokom 466 m³. Pri tem so bile povprečne vrednosti vsebnosti KPK 1.261 mg/L, amonijevega dušika 381 mg/L in bora 14,2 mg/L, katerih povprečne vrednosti na iztoku so bile: vsebnost KPK 197 mg/L (učinek 84,4%), vsebnost amonijevega dušika 2,4 mg/L (učinek 99,4%) in vsebnost bora 7,0 mg/L (učinek 50,7).

V januarju 2011 smo zaključili s poskusnim obratovanjem ter pričeli z rednim obratovanjem, ko se je obenem pričelo dvoletno garancijsko obdobje.

Tako smo v letu 2011 na čistilni napravi očistili 115.208 m³ izcedne vode, s povprečnim dnevnim pretokom 316 m³. Pri tem so bile povprečne vrednosti vsebnosti KPK 1.196 mg/L, amonijevega dušika 457 mg/L in bora 18,4 mg/L, katerih povprečne vrednosti na iztoku so bile: vsebnost KPK 189 mg/L (učinek 84,2%), vsebnost amonijevega dušika 1,95 mg/L (učinek 99,6%) in vsebnost bora 8,8 mg/L (učinek 52,2%).

Da je delovanje čistilne naprave učinkovito, so pokazali tudi rezultati rednega obratovalnega monitoringa (Tabela 3):

Tabela 3.: Rezultati obratovalnega monitoringa za leto 2011 na iztoku iz Odlagališča Barje.

Parameter	Enota	Številka vzorca			
		1	2	3	4
KPK	mg/L	220	200	190	250
BPK ₅	mg/L	3	4	3	3
AOX	mg/L	0,18	0,18	0,19	0,5
N,NH ₄	mg/L	LOD	1,7	LOD	1,0
B	mg/L	9,85	8,4	5,4	9,32

LOD – pod mejo detekcije

Že v času poskusnega obratovanja se je izkazalo, da je učinkovitost biološkega čiščenja boljša, kot je bilo ugotovljeno pri poskusih in predvideno v projektu. Predvidena vrednost KPK po biološkem čiščenju je bila med 600 in 700 mg/L, dejansko je med 350 in 250 mg/L. Tako je izcedna voda, ki se čisti na aktivnem oglju manj obremenjena kar pomeni manjšo porabo aktivnega oglja. Tako smo v enem letu porabili pribl. 20 t aktivnega oglja namesto predvidnih 240 t.

Manjša količina porabljenega aktivnega oglja je precej vplivala na obratovalne stroške, saj so namesto predvidenih 7,96 EUR/m³ dejansko 2,58 EUR/m³ izcedne vode.

5. ZAKLJUČKI

Možnih načinov čiščenja izcednih vod je veliko, zato je izbira prave tehnologije zelo pomembna. Potrebno je ugotoviti, kateri so glavni polutanti v izcedni vodi in kakšen je najučinkovitejši in najbolj ekonomični način za njihovo odstranjevanje.

V Snagi javno podjetje smo se na podlagi pregledane literature, laboratorijskih in pilotnih poskusov ter ogledu referenčnih čistilnih naprav odločili za čiščenje izcedne vode na membranskem biološkem reaktorju (MBR) z naknadno adsorpcijo na aktivnem oglju in selektivno ionsko izmenjavo bora.

Po dveletnem obratovanju čistilne naprave ugotavljamo, da je bila izbrana tehnologija in izvedba pravilna, saj dosegamo boljše rezultate čiščenja ob nižjih obratovalnih stroških od planiranih..

LITERATURA IN VIRI

- [1] Primožič P. (2006). Čiščenje izcednih vod na Deponiji barje, Univerza v Mariboru, FKKT, Maribor.
- [2] Snaga, Javno podjetje d.o.o. (2012). Letno poročilo Odlagališča nenevarnih odpadkov Barje, Ljubljana; 1998 – 2011.
- [3] DFG Consulting, d.o.o. (2012): Zaključno poročilo izvedbe snemanja površine odlagalnih polj na Odlagališču nenevarnih odpadkov Barje, Ljubljana.
- [4] Riko, d.o.o. (2011). Končno poročilo o poskusnem obratovanju Čistilne naprave Barje v obdobju od 14.07.2010 do 14.01.2011, Ljubljana.
- [5] Zavod za zdravstveno varstvo Maribor (2012). Poročilo o obratovalnem monitoringu odpadnih vod za podjetje Snaga javno podjetje, d.o.o., Maribor.



ID o8

Ravnanje s tehnološkimi vodami predelave naravnega kamna – apnenca

Treatment of process waste waters after natural stone – limestone processing

Andrej KOS², doc.dr. Jože KORTNIK¹

¹ *Univerza v Ljubljani, Naravoslovnotehniška fakulteta, Aškerčeva 12, 1000 Ljubljana*

joze.kortnik@guest.arnes.si

² *Marmor Sežana d.d., Partizanska 73a, 6210 Sežana*
andrej.kos@marmor-sezana.si

Povzetek

Tehnološka voda iz proizvodnega procesa predelave naravnega kamna Marmor Sežana vsebuje predvsem trde delce. Trdne delce se izpira na sitih, v pralniku z lopaticami ali bobnih in nato seje na različne frakcije. Frakcija 0-4 mm se ločuje od umazane tehnološke vode v klasifikatorju. Z trdimi delci onesnaženo tehnološko vodo je potrebno očistiti in vrniti na pranje. V članku je predstavljena tehnična rešitev z uporaba flokulantov in hidravlične stiskalnice, ki omogoča vračanje okoli 90 % s trdnimi delci očiščene tehnološke vode nazaj v proizvodnjo in vzpostavitev zaprtega krogotoka tehnološke vode. Gošča z okoli 10% deležem vlage se lahko uporabi v kemični industriji, npr. kot polnila, belila, itd. ali v kmetijstvu.

Ključne besede: čiščenje, odpadne tehnološke vode, zgoščevanje.

Abstract

Process waste water from the natural stone process production of Marmor Sežana contains mostly hard particles. Solid particles are eluted on the sieves, in bladed washer or drums and later on are sieved to different fractions. Fraction 0-4 mm separates from the waste water in separator. Hard particles contaminated process waste water need to be cleaned and returned to the process. Article presents the use of combination flocculants and hydraulic presse, which allows for the returning of around 90% process water (eliminated of hard particles) back into the production and the establishment of a closed cir-

cuit of process water. Slurry with around 10% moisture content can be used in the chemical industry, for example as a filler, bleaches, etc. or in agriculture.

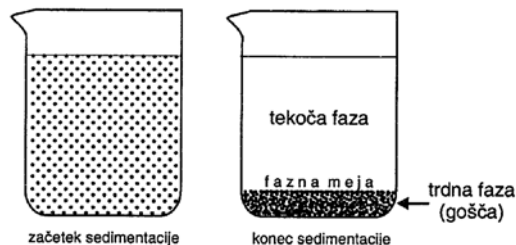
Key words: purification, process waste water, sedimentation, flocculation.

1. UVOD

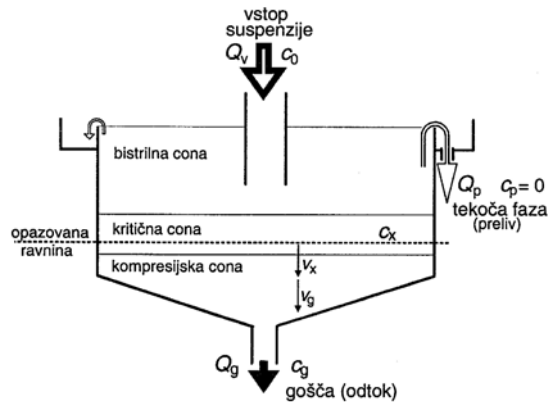
Pri procesih predelave in obdelave naravnega kamna – apnenca se srečujemo s tehnološkimi vodami onesnaženimi predvsem s trdnimi delci. Tehnologija razreza kamnitih plošč temelji na uporabi vode, ki poleg hlajenja rezilnih elementov opravlja tudi nalogo izpiranja žaganega materiala nastalega pri obdelavi obdelovanca. Z razvojem in vpeljavo novejših tehnologij razreza kamna z vodnim curkom (water-jet) se poraba vode pri predelavi in obdelavi naravnega kamna še povečuje. Voda je danes dobrina, ki zahteva kot naravni vir smotrno uporabo, predvsem pa z namenom zmanjševanja stroškov predelave naravnega kamna in zmanjševanja onesnaževanja okolja. Zato se v zadnjem času v industriji predelave naravnega kamna povečuje povpraševanje po tehnoloških rešitvah za čiščenje tehnoloških vod v katerih so prisotni trdni delci in vračanje nazaj v proizvodni proces. Pri predelavi naravnega kamna v podjetju Marmor, Sežana d.d. uporabljamo tehnološke rešitve in postrojenje podjetja FRACCAROLI & BALZAN iz Verone, Italija, ki je eden od vodilnih proizvajalcev te opreme v svetu in ima v obratovanju preko 9.000 postrojenj. Pri čiščenju tehnološke vode se srečujemo z procesi zgoščevanja, kot ga lahko imenujemo proces ločevanja faz trdno in tekoče. Iz postrojenja se izloča karbonatna pogača skupaj z vodo. V nadaljevanju bodo podrobneje predstavljeni procesi in tehnologija čiščenja tehnološke vode, ter izračun dimenzioniranja takšnega zgoščevalnika. Prikazan bo tudi primer uporabe karbonatne pogače v komercialne namene, predvsem za potrebe živilske tehnologije.

2. TEORETIČNE OSNOVE

Zgoščevanje je eden od procesov ločevanja faz nekega disperznega sistema. Pojem zgoščevanja lahko natančneje opredelimo, kot proces ločevanja faz trdno tekoče. Zgoščevanje obravnavamo kot gibanje trdnih delcev v mirujoči tekoči fazi.



Slika 1: Sedimentacija proces ločevanja faz (Stražičar, 2001).



Slika 2: Delovanje kontinuirnega zgoščevalnika (Stražičar, 2001).

Pri ločevanju faz trdno tekoče pogosto uporabimo oba procesa in sicer najprej zgoščevanje, nato še filtriranje dobljenje gošče. Pri vsakem procesu lahko naletimo na posamezne omejitve, ki jih presežemo s kombinacijo obeh.

Proces zgoščevanja prikazan na sliki 1. je videti preprost, opis s fizikalnimi zakoni pa nezahteven. Glavni spremenljivki, ki se pri tem pojavljata sta velikost delcev in koncentracija trdne faze v suspenziji. Pri tem se sedimentacije deli na dva specifična procesa, to sta bistrenje in zgoščevanje. O procesu bistrenja govorimo, kadar koncentracija trdne faze v suspenziji majhna oz. ne presega 1 vol.%. Cilj bistrenja je dobiti čim bolj čisto tekočo fazo. V procesu zgoščevanja želimo doseči čim večjo koncentracijo trdne faze v gošči. Čistoča tekoče faze pri tem procesu ni pomembna.

2.1. Izvedba sedimentacijskega testa po Kynchu

Poznamo več vrst sedimentacijskih testov, ki se pretežno imenujejo po avtorjih:

- Coejeva in Clevengerjeva metoda predstavlja klasični pristop za določitev minimalne specifične obremenitve zgoščevalnika G . Testiranje sestavlja več sedimentacijskih testov pri različnih C_x . Z izmerjenimi vrednostimi v_x se izračunajo vrednosti za G in izriše diagram;
- Metoda po Kynchu omogoča hitrejši način določevanja specifične obremenitve zgoščevalnika G . Kynch je dokazal zakonitosti porazdelitve koncentracije delcev v območju kritične cone. Za določitev G_{KT} moramo poznati v_{KT} in C_{KT} , kar je lahko določimo s pomočjo sedimentacijske krivulje.

$$G_{KT} = \frac{v_{KT}}{\left(\frac{1}{C_{KT}} - \frac{1}{C_0}\right)} = \frac{(H_{C,KT} - H_{KT}) \cdot C_0 \cdot H_0}{(H_{C,KT} - H_g) \cdot t_{KT}} = \frac{C_0 \cdot H_0}{t_{TF}} \quad [1]$$

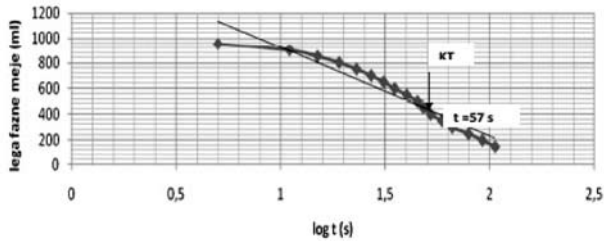
t_{KT} - presečišče tangente v kritični točki z linijo koncentracije v odtoku
 G_{KT} - najmanjša obremenitev zgoščevalnika.

- Sedimentacijski testi v coni bistrenja, in
- Sedimentacijski testi z visokimi kolonami.

V nadaljevanju bomo podrobneje prikazali uporabo metode po Kynchu.

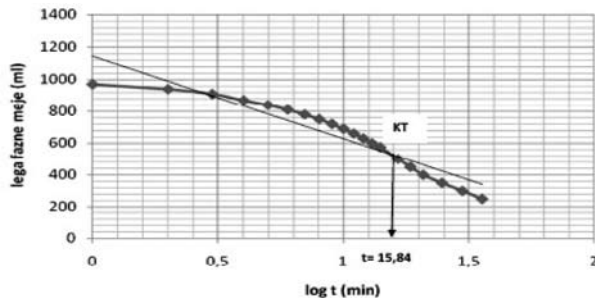
2.1.1 Primer sedimentacijskega testa po Kynchu

Sedimentacijski test za dimenzioniranje zgoščevalnika se praviloma izvaja v 1.000 ml merilnih valjih. Vzporedno se izvajata dva sedimentacijska testa z in brez dodatka flokulanta. Na sliki 3, je prikazana sedimentacija z dodatkom flokulanta kjer prehod v kompresijsko cono dosežemo v času $t=57s$. Hitrost sedimentiranja je odvisna tudi od količine dodanega flokulanta (primer uporabe flokulanta MagnaFloc 3105).



Slika 3: Sedimentacija z dodatkom flokulanta $t=57 s$.

Sedimentacija brez dodatka flokulanta (slika 4.) poteka znatno počasneje. Prehod v kompresijsko cono dosežemo šele po 16 minutah.

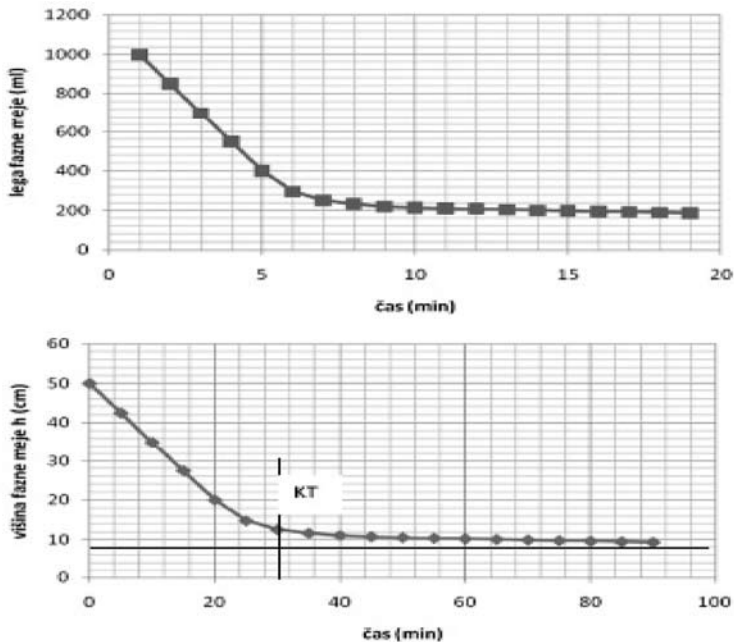


Slika 4: Sedimentacija z dodatkom flokulanta $t=15,84 min$.

2.2 Dimenzioniranje zgoščevalnika

V nadaljevanju je prikazan računski primer (Stražišar, 2001) sedimentacije po Kynchu v 1.000 ml merilnem valju za vodno suspenzijo, katere vstopna koncentracija $C_0 = 68 \text{ kg/m}^3$ in gostota disperzije trdne faze 2.700 kg/m^3 .

Za opisano vodno suspenzijo se dimenzionira zgoščevalnik za dnevno kapacitete trdne faze $Q = 16$ t/dan. Koncentracija gošče v odtoku je ocenjena na 400 kg/m^3 .



Slika 4: Sedimentacijska krivulja z iz vrednotenjem kritične točke (KT).

Tabela 1.: Podatki sedimentacijskega testa bistrenja.

Čas (min)	Gošča (ml)	Višina H (cm)	Log $(h-h_{\text{odtok}})$
0	1000	50,00	1,618048
5	850	42,50	1,531479
10	700	35,00	1,423246
15	550	27,50	1,278754
20	400	20,00	1,060698
25	295	14,75	0,79588
30	250	12,50	0,60206
35	232	11,60	0,491362
40	220	11,00	0,39794
45	214	10,70	0,342423
50	210	10,50	0,30103
55	207	11,35	0,267122
60	204	10,20	0,230449
65	201	10,05	0,190332
70	198	9,90	0,146128
75	195	9,75	0,09691
80	192	9,60	0,041393
85	189	9,45	
90	186	9,30	

Pri procesu zgoščevanja se nad fazno mejo nabere čista tekočina pod njo pa vsa trdna faza.

$$C_o * h_o = C_x * h_x = C_{odtok} * h_{odtok}$$

$$h_{odtok} = 68 * 50 / 400 = 8,5 \text{ cm}$$

Ta vrednost je vrisana na sliko 4. spodaj. Določitev kritične točke (KT) na sedimentacijski krivulji največkrat ni možno. Določitev KT je na več načinov preko logaritmičnih vrednosti fazne meje h oz. razlik h_{odtok} .

KT se lahko določi tudi po Robertsu, kot je prikazano v tabeli 1. Logaritmična funkcija ima v

celotnem opazovanem časovnem intervalu vsaj dva preloma. KT se nahaja v drugi polovici kritične cone in določimo vrednost na abscisi (30 min - v našem primeru). Presečišče vertikale s krivuljo predstavlja kritično točko KT.

Specifična določitev zgoščevalnika G (kg/m³h) se lahko določa po več postopkih:

- Oltmannu (nariše se linija od začetka sedimentacijske krivulije skozi kritično točko do presečišča z linijo odtoka).
- Talmage – Fitchu (nariše se tangenta v kritični točki. Presečišče z linijo koncentracije v odtoku nam na abscisi da vrednost $T_c = 42$ min.)

$$G = (C_o * h_o) / T_c$$

$$G = (68 * 0,5) / (42/60) = \mathbf{48,57 \text{ kg/m}^3\text{h}}$$

Po Oltmannu so vrednosti višje, medtem ko je dimenzioniranje po Talmage – Fitchu varnejše.

Specifična obremenitev zgoščevalnika G predstavlja najpomembnejši parameter za dimenzioniranje in omogoča določitev potrebne površine zgoščevalnika S .

$$S = Q_g / (G * 24) = 16000 / (48,57 * 24) = \mathbf{13,72\text{m}^2}$$

Zgoščevalniki so praviloma okrogle oblike, njihova velikost pa je določeni s premerom. Osnovna dimenzija za proces zgoščevanja je površina S , višina zgoščevalnika je običajno 1 do 2 metrov in je neodvisna od površine. Višine posameznih con v zgoščevalniku so praviloma višje od 1 m, zato se pri dimenzioniranju preverijo višine. V praksi prihaja do predolgega zadrževanja v kompresijski coni in so izračunane vrednosti previsoke, zato se poveča

površina zgoščevalnika. Vsoti izračunanih višin posameznih con dodamo približno 0,75 m iz drugih konstrukcijskih razlogov.

Določitev potrebne višine posameznih con izvedemo s pomočjo podatkov o zadrževanih časih iz sedimentacijske krivulje. Preverjanje višin se navadno reducira na cono prostega usedanja (pri procesu bistrenja je zelo pomembna) in kompresijsko cono. Mejo med obema conama predstavlja kritična točka KT.

Cona prostega usedanja :

- Začetna koncentracija $C_o = 68$
- Koncentracija v kritični točki $C_{kt} = 272$
- Povprečna koncentracija v coni $C_{povp.} = 170$
- Zadrževalni čas $T_z = 30$ min

Kompresijska cona:

- Koncentracija v kritični točki $C_{kt} = 272$
- Koncentracija v odtoku $C_{odtok} = 400$
- Povprečna koncentracija v coni $C_{povp.} = 336$

Zadrževalni čas je iz diagrama je težko odčitati, zato si pomagam z naklonom kompresijske cone (hitrost zniževanja fazne meje znaša 0,018 m/h) in celotnim znižanjem fazne meje v obravnavanem področju (0,125-0,085 = 0,040m).

$$T_z = 0,04 / 0,018 = 2,2 \text{ h}$$

Potrebno višino H (m) določimo:

$$H = (G * T_z) / C_{povp.} = (48,57 * 2,2) / 336 = 0,31 \text{ m}$$

Če bi bil rezultat večji od 1 m bi bila potrebna korekcija G . Na isti način preverimo še višino cone prostega usedanja, ki znaša 0,14 m.

Premer zgoščevalnika D :

$$D = (4 * S / \pi)^{0,5} = 4,01 \text{ m}$$

Celotna višina usedalnika je 1,2 m.

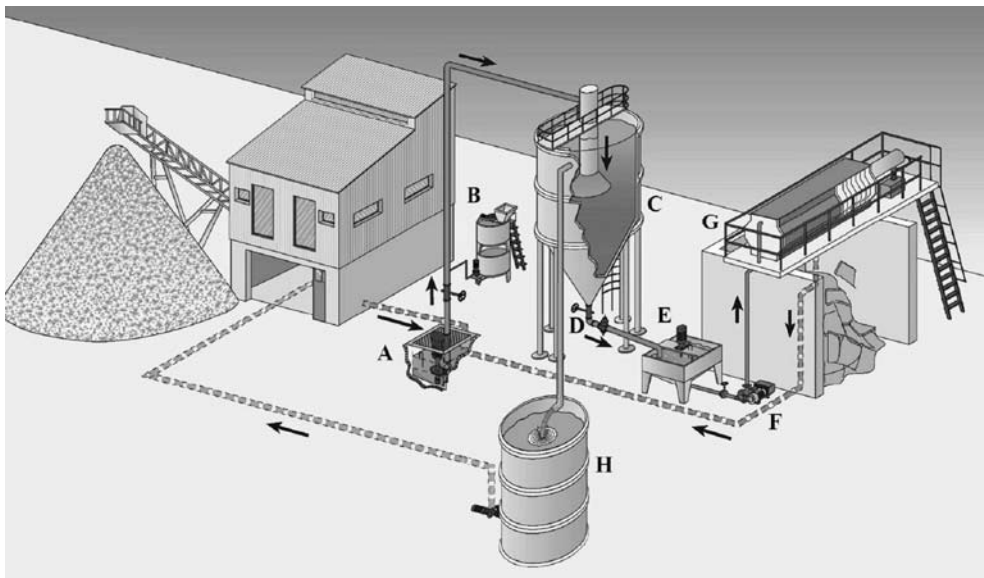
2.3 Postrojenje za čiščenje vode v podjetju Marmor Sežana

V podjetju Marmor Sežana d.d. se za čiščenje tehnološke vode, ki se uporablja pri predelavi in obdelavi naravnega kamna – apnenca, že vrsto let uporablja postrojenje podjetja FRACCAROLI & BALZAN iz Verone – Italija. Čiščenje tehnološke vode s trdnimi delci poteka v zaprtem tehnološkem proizvodnem

krogotoku. Tehnološka voda v proizvodnem procesu prenaša veliko trdnih delcev, ki nastajajo pri predelavi in obdelavi naravnega kamna in jih je potrebno pred ponovno uporabo izločiti iz tehnološke vode. Material se pere na sitih, v pralniku z lopaticami ali bobnih in seje na frakcije. Pesek velikosti delcev 0-4 mm se nato ločuje od tehnološke vode v klasifikatorju. Na sliki 5 je prikazano postrojenje za čiščenje tehnološke vode podjetja FRACCAROLI & BALZAN.

Tabela 6.: Kompleksometrijske analize karbonatov iz vrtin kamnoloma Lipica II.

CaO [%]	MgO [%]	Kalcit [%]	Dolomit* [%]	Skupni karbonat [%]	Netopni ostanek [%]
55,13÷55,74	0,12÷0,32	97,59÷99,19	0,55÷1,48	99,06÷99,74	0,26÷0,94



Slika 5.: Tipično postrojenje za čiščenje umazane vode (vir: FRACCAROLI & BALZAN).

Tipično postrojenje za čiščenje umazane vode je sestavljeno iz naslednjih delov:

- A)** Tehnološka voda s trdnimi delci iz predelave, iz klasifikatorja v posodo, v kateri je črpalka mulja, ki dovaja vodo v silos za zgostitev - dekanter C (v primeru, da je zadostna višinska razlika, črpalka ni potrebna).
- B)** Naprava za mešanje suhih flokulantov z vodo, ki se dodaja v cevovod z umazano tehnološko vodo.
- C)** V statičnem zgoščevalcu se čista tehnološka voda loči od mulja. Mulj v zgoščevalcu počasi drsi navzdol.

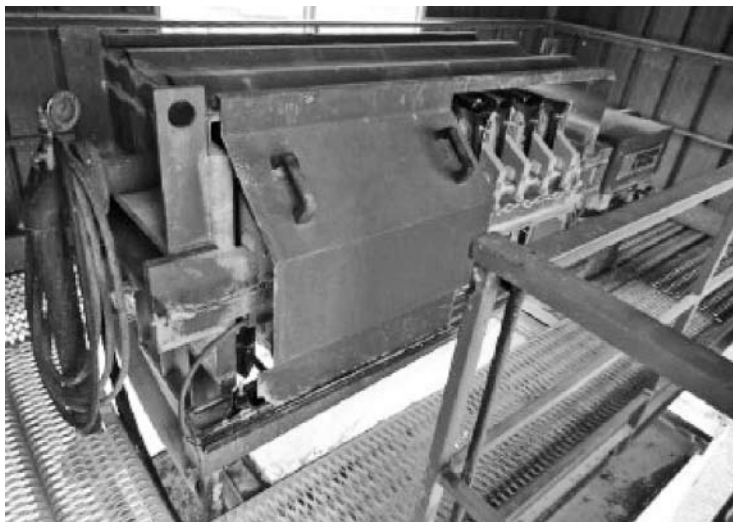
- H)** Tehnološka čista voda gre v rezervoar (priporoča se okoli 100 m³ velikosti zaradi razgradnje flokulantov). Lahko je v obliki silosa, bazena itd. Črpalka potiska vodo nazaj na postrojenje kjer se material pere.
- D)** Pnevmatiski ventil občasno napolni posodo z muljem E.
- E)** V posodi z muljem je mešalec, ki se vrtil in ne dovoljuje, da bi se ločila voda od mulja (mešanica mora biti enakomerna). Mulj je ponavadi sestavljen iz 30% suhih delov in 70% vode.
- F)** Črpalka z mulj polni hidravlično stiskalnico.
- G)** Hidravlična stiskalnica je postavljena na višini, da se lahko stisnjeni odpadni material prazni na deponijo. Ko se stiskalnica odpre, črpalka mulja napolni prostore v njej z muljem. Ko je črpalka napolnjena se začne stiskanje. Po določenem času se stiskalnica odpre, stisnjeni material se loči in pade na deponijo. Odpadni material je kompakten in se lahko takoj transportira. Vsebuje delčke peska, glinje in zemlje, ponavadi velikosti 0-63 mikronov. V njem je okoli 10% vode.
- F)** Voda ki se iztisne na stiskalnici (odvisno od čistoče) se ponavadi vrača v zbiralnik tehnološko čiste vode **H** včasih pa se vrača v posodo **A** z umazano vodo (pri čiščenju umazane vode iz predelave naravnega kamna - apnenca).



Slika 6.: Postrojenje za čiščenje tehnološke vode Marmor Sežana.

Flokulanti se nahajajo v praškasti obliki, so nestrupeni in biološko razgradljivi. Naloga flokulantov je doseganje hitrejše zgoščevanje trdih delcev v vodni suspenziji. V Marmor Sežani uporabljamo flokulant MagnaFloc 3105. Flokulant MagnaFloc 3105 se dodaja v posebni mešalnik pred začetkom izmene, in

sicer cca. 3 dl prahu. Zgoščevalec predstavlja jekleni silos s predelnimi stenami za ločevanje čiste vode od gošče in je na notranji strani obložen z nerjavečo oblogo. Filterska stiskalnica je sestavljena iz jeklenega ohišja, plošč iz polipropilena in velikega hidravličnega cilindra.



Slika 7.: Hidravlična stiskalnica

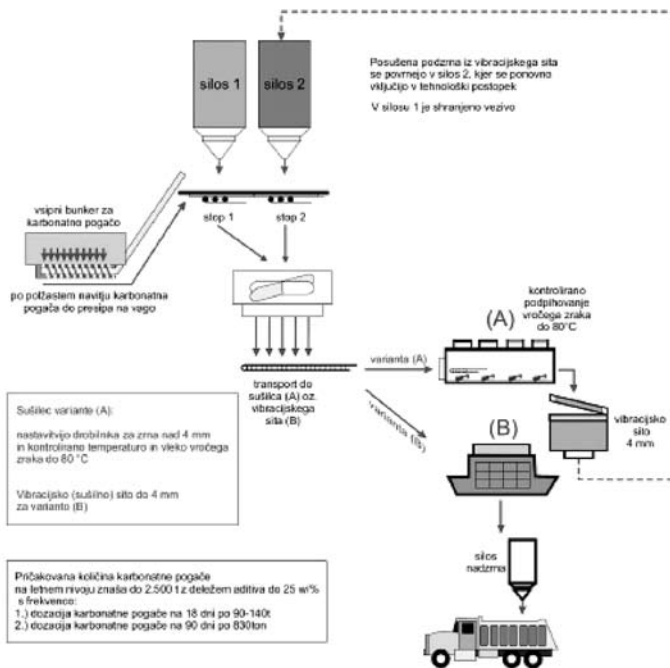
2.4 Čistilna naprava brez hidravlične stiskalnice

V primeru, ko se hidravlična stiskalnica ne uporablja, se vsa gošča najprej zbira v sedimentacijskem bazenu in nato s približno 70 % deležem tekoče faze transportira in deponira. Iz zgoščevalnika se na izmeno izpusti približno 2,0 m³ gošče. Zaradi velikega deleža vode v gošči prihaja do izgub tehnološke vode, ki jo je potrebno nenehno nadomeščati z vodo iz vodovodnega omrežja. Novo dovedene količine vode v tehnološki proces predelave naravnega kamna na kraškem področju predstavljajo dodatne relativno visoke stroške.

Tehnično rešitev predstavlja dodatna uporaba hidravlične stiskalnice s katero lahko v krogotok tehnološke vode vrnemo več kot 60% vode, ki jo pridobimo pri stiskanju in filtriranju gošče. Možnosti uporabe filtrata gošče so predvsem v kemični industriji za npr. polnila, belila, itd. ali v kmetijstvu.

2.5 Tehnologija za uporabo apnenega blata v komercialne namene

Stisnjeno goščo oz. material, ki pade iz hidravlične stiskalnice je možno uporabiti za izdelavo karbonatnih granul. Kemična sestava gošče je iz karbonata, ki omogoča uporabo v kmetijstvu, kot dodatek k zemlji za izboljšavo pH vrednosti zemlje. Na sliki 4. je predstavljena tehnološka shema postrojenja ERICH za predelavo karbonatne gošče izpod hidravlične stiskalnice.



Slika 8.: Tehnološki proces predelave karbonatne pogače iz predelave.

Gošča, ki prihaja iz stiskalnice se deponira na pripravljenem mestu, vsebuje še okoli 10% delež vode. Gošča se nato stehta na tehtnici in vsuje v mešalnik ERICH, v katerega se dodatno dodaja še vezivo. V mešalniku nastajajo sferične kroglice, ki se nato preko tekočega traku transportirajo v peči, kjer se zaradi vpihovanja vročega zraka (80°C) izloči odvečna vlaga. Granule se dodatno sejejo na situ 4 mm in nato se nato v razsutem stanju natovorijo na kamion. Granule manjšega premera od 4 mm se vračajo nazaj v silos 2, kjer ponovno vstopajo v proces mešanja.



Slika 9., 10.: Prikaz mešalnika ERICH in prikaz testiranih vzorcev z merjeno količino vlage.

Za izdelavo karbonatnih granul se uporablja mešalnik ERICH (slika 9.). Kapaciteta proizvodnje granul je odvisna predvsem od velikosti mešalnika in recepture mešanja dodatkov k karbonatni pogači. Na primeru materialov Marmor Sežana smo izvedli različne mešalne recepture za karbonatne granule, na katerih smo nato testirali parametre mešanja, obliko in obstojnost kroglic. Vzorci so prikazani na **sliki 10.**



Slika 11., 12.: Oprema za sejanje

Karbonatne granule se lahko vnašajo v kislila, lahko in težko kislila tla. V laboratorijskem poskusu smo vzorce tal inkubirali mesec dni pri sobni temperaturi. Ves čas poskusa smo vzdrževali optimalno vlago vzorcev (okoli 80% poljske kapacitete) in izvajali meritve vrednosti pH. S poskusom smo želeli simulirati delovanje apnenih sredstev v tleh. V prihodnje želimo rezultate laboratorijskih raziskav primerjati z rezultati in-situ raziskav.

Na slikah 11. in 12. spodaj, je prikazana oprema za obdelavo surovine – tehnologije sejanja in sicer peletirni krožnik za sejanje karbonatnih granul, glede na premer kroglic ter sistem priprave za transport.

5. ZAKLJUČKI

Na hitrost sedimentacije trdnih delcev v tehnoloških vodah imata gostota in viskoznost fluida zelo velik vpliv. Tukaj prihaja do uporabe Stokesovega zakona s korekturnimi faktorji. Naraščanje koncentracije trdne faze znotraj gošče obravnavamo ločitev obeh faz med seboj kot pretok tekoče faze med delci trdne faze. Takšno dogajanje ima osnove v Poiseuillejevem in Darcyjem zakonu, ki obravnavata pretok tekoče faze skozi kapilare oz. porozne sloje. Uporabljajo se tudi enačbe po Kozenyju in Carmanu, kjer je vključena še

poroznost. Na hitrost sedimentacije v zgoščevalniku lahko pomembno vplivamo z uporabo flokulacijskih sredstev, ki vplivajo na delujoče sile med delci in na velikost delcev.

V podjetju Marmor; Sežana d.d. uporabljamo čistilno napravo podjetja Fraccaroli & Balzan, s katero čistimo tehnološko vodo iz tehnološkega procesa predelave naravnega kamna. V tehnološke vode v proizvodnji naravnega kamna vstopajo trdni delci, granulacije od 0-4mm. Dodatna naloga čistilne naprave, da očiščeno tehnološko vodo vrača nazaj v proizvodni proces. Pri procesu zgoščevanja nastaja gošča v kateri je ugotovljen delež 98% CaCO_3 . Gošča z okoli 60% deležem vode se odvaja v hidravlično stiskalnico, od koder se s trdnimi delci očiščena voda vrača nazaj v proizvodni proces. V trdni fazi še vedno ostane približno 10% delež vode. Izguba vode v tej fazi predstavlja veliko izgubo, ki jo je potrebno v tehnološkem krogotoku nadoknaditi. Ponoven dotok vode pa predstavlja nepotreben strošek pri predelavi naravnega kamna.

Podjetje ERICH je specializirano za izdelavo in dimenzioniranje mešalnikov. Njihova uporaba je zelo široka. Mešalnik ERICH in njihov tehnološki proces, bi uporabili pri izdelavi karbonatnih granul v naši industriji. Ena od možnosti je uporaba karbonatnih granul v kmetijstvu je z namenom izboljšave kislosti tal. Študija je še v izvajanju, s testiranjem karbonatnih kroglic na terenu, poleg tega pa je potrebno zaradi velikih investicijskih stroškov postrojenja opraviti še dodatne podrobnejše študije. Uporaba karbonatnega materiala iz proizvodnje predelave naravnega kamna npr. v kmetijstvu pa bi po prvi oceni znatno zmanjšala količino odloženega materiala na deponijah oz. lahko pomeni dodatni tržni produkt.

LITERATURA IN REFERENCE

- [1] Besra, L., Sengupta, D.K., Roy, S.K., Ay, P. (2002): Studies of flocculation and dewatering of kaolin suspensions by anionic polyacrylamide flocculant in the presence of some surfactants, *International Journal of Mineral Processing*, vol. 66, issues 1-4, p. 1-28.
- [2] Pogačnik, Ž., Mihelič, R. (2011). Tehnološki postopki predelave karbonatne surovine, arhiv podjetja Marmor Sežana d.d..
- [3] Stražišar, J., Knez, S. (2001). Vaje in računski primeri iz mehanske procesne tehnike; NTF, Ljubljana.
- [4] Stražišar, J. (1996). Mehanska procesna tehnika I., NTF, Ljubljana.
- [5] Spletne strani www.fraccarolibalzan.it in www.skalar.si.
- [6] Zupančič, F., (2008) Čiščenje umazane vode v separacijah in kamnologih, *Mineral*, št.2/2008, str. 48-50.



ID 07

Objekti za predelavo odpadkov v sklopu regijskega centra za ravnanje z odpadki Ljubljana – predstavitev projekta in aktivnosti v pripravljalni fazi projekta

Waste treatment facilities – Ljubljana, presentation of the project and activities in the preparation phase of the project

**Srđan POPOVIĆ¹, mag. Mitja PRAZNIK¹,
mag. Marta MALUS¹, Petar ŽEŽELJ¹**

*¹ Snaga Javno podjetje d.o.o., Povšetova ulica 6, 1000 Ljubljana
srđan.popovic@snaga.si, mitja.praznik@snaga.si, marta.malus@snaga.si,
petar.zezelj@snaga.si*

Povzetek

Projekt predelave odpadkov v sklopu nadgradnje Regijskega centra za ravnanje z odpadki Ljubljana (MBO-LJ) predstavlja izgradnjo ključnih objektov ravnanja s komunalnimi odpadki v osrednji slovenski regiji. S pravilnim izborom najustreznejše tehnologije ter optimalno pripravo projekta bo bodoči objekt dosegel zastavljene okoljske cilje in zadostil tehničnim, ekonomskim in okoljskim kriterijem. Na osnovi podrobne fizikalne in kemijske analize odpadkov so pripravljene podrobne zahteve, ki jih bo načrtovani objekt MBO-LJ moral izpolnjevati. Pomembna naloga v fazi priprave projekta je bila pridobitev finančnih sredstev iz kohezijskih skladov EU in izvedba specifičnega postopka javnega naročanja z uporabo konkurenčnega dialoga s kandidati, ki so izkazali svojo usposobljenost za izvedbo projekta. Posledica tega je bila pridobitev ponudb, ki v kar največji meri izpolnjujejo naročnikove zahteve. Pri tem je, kot posebej pomemben kriterij, potrebno izpostaviti višino obratovalnih stroškov celotnega MBO-LJ. S pravilnim in uspešno izvedenim izborom najustreznejšega ponudnika ter kasnejšo uspešno izvedbo bo osrednjeslovenska regija pridobila funkcionalne objekte, ki bodo izpolnjevali zastavljene cilje in bodo hkrati nudili storitve prebivalcem številnih občin po Sloveniji po sprejemljivih in primerljivih cenah.

Ključne besede: Regijski center za ravnanje z odpadki, komunalni odpadki, MBO, Kohezijski sklad EU, obdelava odpadkov, predelava odpadkov.

Abstract

The Waste Treatment Facilities project (MBT-LJ) being part of the project of Upgrading of Regional Waste Management Center Ljubljana comprises construction of the fundamental facilities for treatment of municipal waste in the central Slovenian region. By means of correct selection of the most appropriate technology and optimal preparation of the project, the foreseen facilities will achieve the environmental objectives as well as meet the technical, economical and environmental criteria. The detailed requirements on the MBT-LJ facilities planned have been elaborated based on comprehensive physical and chemical waste analysis. The important task in the preparation phase of the project was acquisition of EU cohesion funds financing along with execution of the specific public procurement procedure by using the Competitive Dialogue with the candidates already prequalified for the project. The received Bids consequently fulfilled the requirements imposed by the Employer to large extent. In addition to this, operational costs of the entire MBT-LJ as the evaluation criterion having the greatest impact is to be emphasized. By means of the correctly and successfully executed selection of the most appropriate Bidder as well as subsequent realization of the project, the Central Slovenian Region will acquire the functional facilities fulfilling the objectives foreseen, providing services for citizens of numerous municipalities of Slovenia at acceptable and comparable costs at the same time.

Key words: Region waste treatment centre, municipal solid waste, MBT, EU cohesion funds, waste treatment.

1. UVOD

Obstoječe stanje pred RCERO

Na lokaciji odlagališča Barje (stari in novi del odlagališča) se od leta 1964 izvaja aktivnost odlaganja odpadkov. V skladu z razvojem zakonodaje se je spreminjal način odlaganja odpadkov (izgradnja deponijskega telesa) in ostalih s tem povezanih aktivnosti, kot je ravnanje z izcednimi vodami, ki nastajajo v deponijskem telesu ter zbiranje in izkoriščanje deponijskega plina.

Pred začetkom realizacije projekta Nadgradnja regijskega centra za ravnanje z odpadki Ljubljana (RCERO-LJ) se je preostanek mešanih komunalnih odpadkov (PMKO - ostanek po izločitvi posameznih frakcij iz mešanih komunalnih odpadkov (MKO) skozi sistem ločenega zbiranja odpadkov) odlagal na odlagališče nenevarnih odpadkov, izcedne vode so se zbirale s pomočjo zbiralnega in retenzijskega sistema ter se odvajale v zunanji kanalizacijski sistem mesta Ljubljana (obdelava na CČN Ljubljana), deponijski plin pa se je zbiral s pomočjo zbiralnega sistema in se energetske delno izkoriščal za

proizvodnjo električne energije in v manjšem delu za proizvodnjo toplotne energije za ogrevanje objektov na odlagališču.

Kompleks odlagališča Barje dopolnjujejo še ostali spremljajoči objekti, ki zagotavljajo neovirano izvajanje vseh potrebnih aktivnosti.

RCERO-LJ in MBO

Projekt RCERO-LJ je krovni projekt, v katerem so združeni trije podprojekti in sicer:

- izgradnja objektov za predelavo odpadkov (MBO-LJ),
- izgradnja naprave za čiščenje izcednih voda (ČN) in
- izgradnja 3. faze IV. in V. odlagalnega polja.

V letu 2009 je bila dokončana in spuščena v obratovanje 3. faza IV. in V. odlagalnega polja, in v letu 2010 ČN. Projekt MBO-LJ je v končni fazi izbora izvajalca gradnje.

Pomen MBO za osrednjeslovensko regijo

Cilji projekta MBO – LJ

Z izvedbo projekta RCERO Ljubljana bodo doseženi naslednji cilji:

- celovita rešitev problematike ravnanja s PMKO in z ločeno zbranimi bio-razgradljivimi frakcijami gospodinjestev (BIOG),
- zagotavljanje skladnosti z zakonsko predpisanimi vrednostmi glede emisij v okolje in z zahtevami EU IPPC direktive,
- optimalna raba razpoložljivih odlagalnih površin,
- odlaganje pretežno inertiziranih odpadkov, ki dolgoročno ne predstavljajo tveganja za okolje,
- pridobivanje sekundarnih energentov za energetske izrabe za lastne tehnološke procese in za energetske izrabe v eksternih industrijskih in termoeenergetskih objektih,
- zmanjševanje emisij toplogrednih plinov, zlasti metana,
- varovanje virov pitne vode in podtalnice ter naravnih vrednot na meji odlagališča, ki so varovane v okviru Nature 2000 in ekološko pomembnih območij in,
- zagotovitev varnega in zanesljivega obratovanja sistema.

Zahtevane količine za predelavo odpadkov v MBO-LJ

Zahtevane količine za predelavo odpadkov v objektu za predelavo odpadkov so naslednje:

Preostali mešani odpadki iz gospodinjestev (PMKO):	108.200 t/leto
Odpadki iz proizvodnje, obrti in storitvene dejavnosti (POSD)	25.500 t/leto
Kosovni odpadki (KOS)	9.300 t/leto

Ločeno zbrani biorazgradljivi odpadki gospodinjstev (BIOG)	21.000 t/leto
Zeleni odrez in odpadki z vrtov	1.948 t/leto*
Obdelan les	2.508 t/leto
Neobdelan les	2.185 t/leto
Odpadki s tržnic	600 t/leto
<hr/>	
SKUPAJ	171.241 t/leto

Št. prebivalcev in vpliv ločenega zbiranja

V fazi izdelave idejne zasnove in predinvesticijske zasnove projekta je bil projekt predviden za obdelavo odpadkov prebivalcev širšega območja Mestne občine Ljubljana (MOL) ki zajema 314.000 prebivalcev. V nadaljnjih fazah razvoja projekta se je število občin pristopnic k projektu RCERO-LJ povečevalo in je zasnova projekta, ki je prikazan v končni verziji vloge za pridobitev finančnih sredstev iz kohezijskih skladov EU (Vloga) zajemala 414.000 prebivalcev Osrednje slovenske regije.

Kot posledica zelo pozitivnih izkušenj s procentom izločenih odpadkov v sistemu ločenega zbiranja odpadkov ter na tem temelječih načrtovanih ciljnih (zmanjšanih) količinah PMGO v letu 2020 je sklenjen dogovor med naročnikom projekta – MOL in Ministrstvom za kmetijstvo in okolje (MKO) o vključitvi dodatnih občin v projekt RCERO-LJ na podlagi ugotovljenih prostih zmogljivosti pri načrtovani kapaciteti MBO-LJ. Tako bo v letu 2020 načrtovani objekt MBO-LJ zadostoval potrebam predelave odpadkov za 700.000 prebivalcev.

Pogoji izvedbe del

Pogodbena dela se bodo izvedla na osnovi določil pravil FIDIC 1999 – Rumena knjiga, pri čemer bo Izvajalec pripravil vso projektno dokumentacijo, pridobil ali pripravil vse potrebno za pridobitev vseh potrebnih soglasij in dovoljenj, zgradil objekte in izvedel poskusno obratovanje objektov ter odpravil vse morebitne pomanjkljivosti v fazi garancijske dobe objektov.

2. PRIMERJAVA TEHNOLOGIJ V FAZI PIZ IN IZBOR NAJUSTREZNEJŠE TEHNOLOGIJE

V fazi predinvesticijske zasnove (PIZ) so bile analizirane različne tehnologije obdelave odpadkov in sicer na osnovi naslednjih kriterijev:

- Ekonomski kriteriji (investicijska vrednost; obratovalni stroški brez amortizacije po prihodkih; neto sedanja vrednost in interna stopnja donosnosti),
- Tehnično obratovalni kriteriji (prilagodljivost; dostopnost, umestitev v namenski prostor, neto pokrivanje porabe električne energije, uporabnost

produktov, možnost razširitve do lastne končne oskrbe na lokaciji, zanesljivost in varnost obratovanja),

- Okoljski kriteriji (uporaba dislociranega objekta za namenski sežig preostankov komunalnih odpadkov, odlaganje preostankov, skupni energetski potencial, proizvodnja »zelene« električne energije, emisije v zrak, emisije odpadnih vod v čiščenje).

Po izločitvi nekaterih (kombinacij) tehnologij v predhodnih fazah so v zadnji fazi bile primerjane naslednje kombinacije tehnologij:

- *Varianta 1:* Mehanska separacija lahke frakcije, anaerobna fermentacija s proizvodnjo in izrabo bioplina, sušenje ostanka iz anaerobne fermentacije, obdelava BIOG po aerobnem postopku, priprava sekundarnega goriva iz lahke frakcije.
- *Varianta 2:* Mehanska separacija lahke frakcije, anaerobna fermentacija s proizvodnjo in izrabo bioplina, sušenje ostanka iz anaerobne fermentacije, obdelava BIOG po anaerobnem postopku, priprava sekundarnega goriva iz lahke frakcije.
- *Varianta 3:* Biološka suha stabilizacija, mehanska separacija s pripravo SG, aerobna obdelava BIOG.
- *Varianta 4:* Biološka suha stabilizacija, mehanska separacija s pripravo SG,- anaerobna obdelava BIOG

V tabelah 1. in 2. je prikazana primerjava obratovalnih stroškov po tehnologijah.

Tabela 1.: Analiza obratovalnih stroškov brez amortizacije upoštevajoč prihodke (efektivni obratovalni stroški) na letni ravni in analiza le teh na enoto po variantah.

	Varianta 1: B + E1	Varianta 2: B + E2	Varianta 3: C + E1	Varianta 4: C + E2
na enoto v (EUR/t):	67,58	67,28	80,02	79,89

Tabela 2.: Analiza obratovalnih stroškov z amortizacijo upoštevajoč prihodke (efektivni obratovalni stroški) na letni ravni in analiza le teh na enoto po variantah.

	Varianta 1: B + E1	Varianta 2: B + E2	Varianta 3: C + E1	Varianta 4: C + E2
na enoto v (EUR/t):	92,30	95,94	100,49	104,22

Ovrednotenje po ekonomskih, tehnično obratovalni in okoljskih merilih je pokazalo, da je glede na ekonomska merila najoptimalnejša varianta 1 medtem, ko je po tehnično obratovalnih merilih in po okoljskih merilih najbolj optimalna varianta št. 2. Skladno z omenjenim se je kot optimalna varianta na podlagi vseh treh meril izkazala Varianta 2.

Tabela 3.: Končno rangiranje variant glede na ekonomska, tehnično obratovalna in okoljska merila za izbor optimalne variante.

	Varianta 1	Varianta 2	Varianta 3	Varianta 4
Ekonomska merila	1	2	3	4
Tehnično obratovalna merila	2	1	3	3
Okoljska merila	3	1	2	3
Rang točke skupaj	6	4	8	10
Končni rang	2	1	3	4

V nadaljnjih fazah priprave projekta je naročnik izdelal idejni projekt (IDP) in presojo vplivov na okolje (PVO), kot osnove za izdelavo investicijskega programa ter investicijski program.

3. VLOGA IN ZAPLETI S POTRJEVANJEM VLOGE

Priprava Vloge

V naslednji fazi je naročnik pripravil Vlogo, v skladu s predpisano metodologijo s strani EU z naslednjimi poudarki:

- MBO-LJ bo namenjen prebivalcem 17 občin s 414.000 prebivalcev,
- tehnični opis investicije in infrastrukture ter ekonomski izračuni.

Zaradi značilnosti in načinov zbiranja odpadkov, zagotavljanja največjega izkoristka potencialov, vsebovanih v odpadkih in minimizacije količine odloženih odpadkov vključuje načrtovani objekt kombinacijo posameznih sistemov in podsistemov za obdelavo odpadkov in sicer:

- Sistem obdelave mešanih gospodinjskih odpadkov (MGO), odpadkov iz proizvodnje, obrti in storitvenih dejavnosti (POSD) ter kosovnih odpadkov iz gospodinjstev s podsistemi za mehansko separacijo lahkih, energetsko bogatih frakcij kot surovine/inputa za izdelavo trdnega goriva (visoko in nizkokaloričnega), za izločanje in sortiranje sekundarnih surovin, za ločitev težjih, biološko razgradljivih frakcij in priprava le-teh za anaerobno fermentacijo in za anaerobno fermentacijo (AF) s proizvodnjo in izkoriščanjem energije bioplina – proizvodnjo električne in toplotne energije,
- Sistem proizvodnje trdnih goriv s podsistemi za mehansko pripravo lahke frakcije - surovine za predelavo trdih goriv, za sušenje in konfekcioniranje glede na zahteve kupca ter za pripravo za transport,
- Sistem obdelave ločeno zbranih biorazgradljivih gospodinjskih odpadkov (BIOG) s podsistemi za mehansko predobdelavo BIOG, za anaerobno fermentacijo s proizvodnjo in izkoriščanjem energije bioplina – proizvodnjo električne in toplotne energije, za dehidracijo digestata in pripravo meša-

nice za kompostiranje ter za kompostiranje digestata, vključno z zorenjem in rafinacijo zrelega komposta.

Za potrebe obratovanja tehnoloških navedeni sistemov je potrebno izgraditi še pomožne objekte, kot npr. sistema čiščenja bioplina in deponijskega plina, rezervoar za bioplin, naprava za (pred)čiščenje odpadnih voda, odstranitev obstoječega in izgradnja novega skladišča nevarnih gospodinjskih odpadkov, odstranitev obstoječe in izgradnja nove pralnice tovornjakov in težke mehanizacije, izgradnja cest in vseh potrebnih tehnoloških in energetskih inštalacij, izgradnja administrativne stavbe za potrebe MBO-LJ itn.

Tabela 4.: Predvideni outputi iz MBO – LJ.

Produkt	Količina
Visoko kalorično trdno gorivo, izdelano iz lahke frakcije	9.771 t/leto
Srednje in nizko kalorično trdno gorivo, izdelano iz srednje težke in težke frakcije	39.082 t/leto
Obdelani les	11.284 t/leto
Bioplin	5.455 t/leto
Proizvodnja elektrike	12.437.600 kWh/leto
Dehidrirano pregnito blato (iz biorazgradljive frakcije MGO)	27.026 t/leto
Kompost	7.328 t/leto
Kovine	5.698 t/leto
Neobdelani les	8.156 t/leto
Drugi reciklirani materiali za ponovno uporabo	13.715 t/leto
Inertni odpadki za odlaganje na odlagališče nenevarnih odpadkov	15.342 t/leto
Nevarni odpadki	839 t/leto
Odpadne vode	38.500 m ³ /leto

Problemi s ponovno izdelavo Vloge in časovni zamik

Izdelava Vloge so spremljali problemi, ki so bili povezani s potekom evropske kohezijske perspektive leta 2006, z novo metodologijo v novi perspektivi 2007 – 2013, z naknadno vključitvijo (na iniciativo predstavnikov EU) strokovnjakov – specialistov za tehnologije predelave odpadkov in za ekonomske analize in ocene itn.. Posledično je bilo izdelanih več verzij Vlog in sicer v letih 2006, 2007, 2008 ter končna in potrjena verzija v februarju 2009 na osnovi katere so bila (z Odločbo evropske komisije iz aprila 2009) odobrena

finančna sredstva za izgradnjo celotnega projekta RCERO – LJ. Za potrebe MBO-LJ so bila predvidena sredstva v naslednji višini (v EUR, brez DDV, upravičeni stroški):

- izdelava projektne dokumentacije (Skupno za RCERO): 3.999.278,
- gradnja in poskusno obratovanje: 102.560.000,
- storitve Inženirja (nadzora): 2.202.000.

Ker se podprojekti v sklopu krovnega projekta RCERO-LJ niso izvajali istočasno in je bilo dovoljeno prelivanje sredstev med njimi je, po koncu izgradnje dveh preostalih podprojektov, bilo, za potrebe izgradnje MBO, zagotovljenih 102.912.299,01 EUR za izgradnjo in 1.970.000,00 za storitve Inženirja. Pri tem bo financiranje projekta potekalo po naslednjem obrazcu:

iz kohezijskih skladov EU:	65,88 %,
iz takse za obremenjevanje okolja:	10,11 %,
iz proračuna RS:	14,01 %,
iz občinskih proračunov:	10,00 %,

4. POSTOPEK ODDAJE NAROČILA

Razpisni postopek je stekel po pridobitvi odločitve EU in je bil načrtovan v treh fazah in sicer:

- faza ugotavljanja sposobnosti,
- faza konkurenčnega dialoga (KD),
- faza oddaje končne ponudbe po končanem KD.

Faza ugotavljanja sposobnosti

Prijavitelji so morali dokazati naslednje sposobnosti:

- osnovne sposobnosti,
- sposobnosti za opravljanje poklicne dejavnosti,
- ekonomsko in finančno sposobnost,
- tehnično sposobnost prijavitelja / gospodarskega subjekta (referenčni objekti po posameznih tehnologijah, ki so predvidene v MBO-LJ),
- kadrovske sposobnosti osebja prijavitelja.

Po končanem postopku (vključno z revizijskimi zahtevki in izdanimi odločbami državne revizijske komisije (DKOM)) so v postopek konkurenčnega dialoga bili povabljeni 4 prijavitelji:

- konzorcij RIKO d.o.o. & CESTNO PODJETJE LJUBLJANA d.d.,
- konzorcij STRABAG AG & STRABAG Umwelthanlagen GmbH,
- konzorcij GORENJE d.d. & DANECO IMPIANTI SRL in
- konzorcij SGP POMGRAD d.d. & GH HOLDING d.d. & KRAŠKI ZIDAR d.d. & SUTCO RECYCLING TECHNIK GmbH&Co KG, ki je izstopil iz postopka KD že v samem začetku postopka.

Postopek konkurenčnega dialoga (KD)

Postopek KD, ki se tudi v Sloveniji v zadnjem času bolj pogosto uporablja, je bil, kljub mnogim pomislekom, izbran zaradi naslednjih razlogov:

- velikega obsega projekta v tehničnem smislu (tehnološki, energetski in drugi sistemi in podsistemi),
- velikega obsega storitev v sklopu projekta (projektiranje, pridobitev različnih soglasij in dovoljenj, izgradnja in montaža objektov, šolanje osebja naročnika, poskusno obratovanje in dokazovanje velikega števila garancijskih parametrov procesov ter s tem povezanih pogodbenih kazni itn.),
- izjemno zahtevne in obsežne razpisne dokumentacije in spremljajočih dokumentov in projektov,
- velike verjetnosti različnih tolmačenj istih zahtev razpisne dokumentacije itn.

Seveda ima postopek KD tudi svoje pomanjkljivosti, ki so predvsem te, da je postopek drag in časovno zahteven (v našem primeru je potekal v časovnem obdobju cca. 1 leta). Kljub temu je bilo sprejeto, da prednosti postopka KD (popolnoma jasen in dorečen obseg projekta in storitev ter spremljajoči pogoji, pojasnjene vse morebitne dileme in odprta vprašanja, preverjene tehnične rešitve ponudnikov pred oddajo končnih zavezujočih ponudb, prediskutirani pomisleki ponudnikov tekom neposrednih sestankov itn.) prevladujejo nad pomanjkljivostmi.

Naročnik je nameraval izvesti 3 kroge KD, vendar je zaradi omenjenih časovnih in finančnih omejitev realiziral samo 2 kroga KD.

Vsak od dveh krogov KD je vseboval naslednje faze/aktivnosti:

- izdelava razpisne dokumentacije (RD) za posamezni krog KD,
- zahteve kandidatov za pojasnila RD in odgovori naročnika,
- predaja Rešitev s strani kandidatov (vsi podatki, ki so del meril niso zavezujoči tekom KD, kot npr. investicijska cena itn.),
- pregled Rešitev s strani naročnika,
- zahtevki naročnika za pojasnila posameznih delov Rešitev,
- prejem in pregled pojasnil kandidatov,
- priprava agend sestankov z vsakim kandidatom na osnovi njegove Rešitve,
- pripombe in dopolnitve agend sestankov s strani kandidatov,
- izdaja končne verzij agend sestankov s kandidati,
- izvedba sestankov (2 dni z vsakim kandidatom),
- predaja in pregled dodatnih materialov (risb, izračunov in pojasnil kandidatov), v skladu z dogovori tekom sestankov KD.

Sestanki s kandidati so bili dvodnevni in so potekali po skupinah. V vsaki skupini so se obravnavala posamezna sorodna področja projekta. V primeru

KD za MBO-LJ so bili sestanki organizacijsko strukturirani na naslednji način:

- Skupina 1 – ekonomska, organizacijska in pravna vprašanja,
- Skupina 2 – gradbeni del,
- Skupina 3 – tehnološki del,
- Skupina 4 – okoljevarstveni del,
- Skupina 5 – zaščita pred požarom,
- Skupina 6 – strojno energetske del,
- Skupina 7 – elektro del in računalniško vodenje procesov.

Strokovna komisija naročnika je štela 14 članov (brez opazovalcev – predstavnikov ministrstva in brez izdelovalcev razpisne dokumentacije). Pet članov komisije so bili tuji specialisti za tehnološka vprašanja in specialist – svetovalec za postopek KD, ostali so bili domači strokovnjaki za posamezna področja - varstvo okolja, energetiko, požarno varnost, gradbeni in arhitektonski del, pogodbeni vprašanja, organizacijska vprašanja in dr.. Vsi člani komisije so bili intenzivno angažirani tekom vseh faz KD.

Po končani fazi KD je naročnik izdal končno RD. V končno RD so bili vgrajeni vsi izsledki postopka KD, vendar je naročnik kljub temu prejel več zahtevkov ponudnikov za pojasnila RD in izdal ustrezne dodatke k RD. Vsi navedeni dokumenti so tvorili razpisno dokumentacijo, ki je bila osnova za izdelavo končnih, zavezujočih ponudb ponudnikov.

Glavni sestavni deli RD

Glavni sestavni deli RD vključno z Dodatki naročnika:

- navodila za izdelavo ponudbe,
- dodatek k ponudbi - povzema osnovne parametre pogodbe,
- posebni pogoji pogodbe - osnova pogodbe za izvedbo gradnje so pravila FIDIC 1999 – Rumena knjiga, ki jih je naročnik dopolnil in delno spremenil z vključitvijo t.i. Posebnih pogojev pogodbe s katerimi si je omogočil večjo kontrolo nad realizacijo projektnih aktivnosti,
- obrazci in vzorci garancij,
- tehnične zahteve - vsebuje zahteve naročnika, ki določajo tehnične pogoje projektiranja, gradnje, spuščanja v pogon, poskusnega obratovanja in garancijske dobe projekta.
- seznam odsekov del znotraj celotnega projekta - projekt je razdeljen na t.i. odseke del (8 odsekov del), ki predstavljajo posamezne tehnološke ali tehnične sklope in podsklope del, ki jih je mogoče delno ločeno graditi in izvajati poskusno obratovanje ter za njih pridobiti tudi uporabno dovoljenje.
- časovni načrti po odsekih del - posebej so podani časovni mejniki projekta za vsak odsek del, ki so tudi osnova za morebitne pogodbene kazni,

- plan plačil - podana je dinamika in višina plačil v procentih pogodbenih zneskov za posamezni odsek del, vključno s pogoji za izstavitve posameznih računov,
- podatki o opremi,
- ponudbeni predračun,
- dodatne zahteve, vezane na posameznega ponudnika - podane so zahteve, ki so specifične za posameznega ponudnika in temeljijo na izsledkih predhodno zaključenega KD s posameznim ponudnikom,
- tabela obratovalnih stroškov (excel) - ponudnik mora v pripravljeno tabelo, za vsaki navedeni tehnični / tehnološki sklop in skupno za celotni objekt, vpisati podatke o količinah in stroških porabe različnih vrst energije, potrošnih materialov, delovne sile, ravnanja z izhodnimi frakcijami ter o količinah in prihodkih od izločenih sekundarnih surovin in proizvedene električne in toplotne energije. Kot končni rezultat, ki predstavlja tudi najpomembnejše merilo za izbor najugodnejše ponudbe se prikaže seštevek vseh v tabeli podanih vrednosti v EUR/Mg v MBO-LJ sprejetih odpadkov.

Merila za ocenjevanje ponudb

Obratovalni stroški:	55 točk,
Investicijska cena:	30 točk,
Roki izvedbe:	15 točk
Skupno:	100 točk

Razlog za to, da ima merilo obratovalni stroški največji vpliv na izbor najugodnejše ponudbe je v naslednjih dejstvih:

- ob upoštevanju življenjske dobe obrata 30 let prinese že majhna sprememba obratovalnih stroškov velike prihranke,
- ker bo z izgradnjo MBO-LJ prišlo do spremembe načina ravnanja z odpadki, ki bo z vsemi pozitivnimi posledicami prispevala tudi k višjim stroškom, ki jih pokrivajo občani, je naročnik želel izbrati tehnologijo, ki bo s svojimi obratovalnimi stroški v najmanjši možni meri obremenjevala njihove družinske proračune.

5. GLAVNE TEHNIČNE ZAHTEVE KONČNE RD IN DODATKOV NAROČNIKA K RD

Glavne tehnične zahteve končne RD in dodatkov naročnika k RD so:

- obseg del in storitev izvajalca gradnje,
- posebne zahteve:
 - o posebne zahteve za tehnologijo - vključene so tudi zahteve za izkoriščanje energije bioplina in deponijskega plina, čiščenje bioplina in

- deponijskega plina, čiščenje odpadnih voda, laboratorije in pripadajočo opremo, skladišča, vzdrževalne delavnice, mobilno opremo, cevne razvode itn.
 - o posebne zahteve za elektro dela,
 - o posebne zahteve za kontrolne sisteme,
 - o posebne zahteve za gradbena dela in infrastrukturo
- tehnološki parametri in garancije - podani so parametri za katere izvajalec garantira in jih mora dokazati tekom poskusnega obratovanja posameznih odsekov del in celotnega MBO-LJ,
 - poskusno obratovanje in testi ob dokončanju - podrobno so podane zahteve glede aktivnosti tekom spuščanja odsekov del v pogon, poskusnega obratovanja, izvajanja preizkusov in izvedbe garancijskih meritev,
 - pogodbene kazni in zavrnitve - določeni so načini izračuna pogodbениh kazni,
 - opis storitev, ki so v obsegu del Izvajalca - navedene so zahteve naročnika, ki se nanašajo na pogoje izdelave projektne dokumentacije, pridobitve okoljevarstvenega soglasja in okoljevarstvenega dovoljenja, izdelave navodil za obratovanje in vzdrževanje, usposabljanja osebja naročnika za obratovanje in vzdrževanje ter izvedbo drugih storitev, ki so v pogodbenem obsegu izvajalca gradnje.

6. PREJEM PONUDB IN IZBOR NAJUGODNEJŠEGA PONUDNIKA

Po prejetju in pregledu ponudb ter prejetju dodatnih pojasnil je naročnik izvedel ocenjevanje ponudb in pripravil Poročilo o pregledu ponudb in Odločitev o oddaji javnega naročila. Ker so vse ponudbe presegle zagotovljena sredstva je naročnik postopek nadaljeval s postopkom s pogajanjem po 1. tč. prvega odstavka 28. člena ZJN. Naročnik je pripravil RD za postopek s pogajanjem, na osnovi te je prejel ponudbe ponudnikov ter izvedel 2 kroga pogajanj.

Po končanih pogajanjih je najugodnejša ponudba še vedno presejala zagotovljena sredstva naročnika. Naročnik je potem za, po vseh treh merilih najugodnejšo in po ponujeni investicijski ceni najugodnejšo (najnižja investicijska cena) ponudbo naknadno zagotovil dodatna finančna sredstva, kar je pomenilo, da je bila najugodnejša ponudba tudi edina popolna ponudba in je izdal Odločitev o oddaji javnega naročila. Na to odločitev sta se oba preostala ponudnika pritožila – vložila zahtevka za revizijo, katerim je Državna revizijska komisija tudi ugodila, razveljavila odločitev naročnika in dala napotke naročniku, da ponovno pregleda prejete ponudbe. To je faza v kateri se projekt trenutno nahaja.

7. ZAKLJUČEK

Namen prispevka je, na primeru projekta MBO-LJ, prikazati pomembnost in kompleksnost pripravljalne faze projekta ter na ta način omogočiti boljši vpogled in načrtovanje (časovno, organizacijsko in finančno) v primeru bodočih projektov podobne velikosti in zahtevnosti. Na žalost je potrebno dodati, da je ob sedaj veljavni zakonodaji na področju javnega naročanja potrebno računati tudi s potencialnimi zahtevki za revizijo s strani ponudnikov v vseh fazah razpisnega postopka, kar onemogoča kvalitetno načrtovanje projektnih aktivnosti ali pa celo ogroža izvedbo celotnega projekta. Pri tem ni nepomembno, da je v primeru projektov, ki so financirani na način, ki je prikazan v tem prispevku, treba tudi računati na preglede in potrditve različnih dokumentov s strani organa upravljanja (Služba vlade za lokalno samoupravo in regionalno politiko - SVLR) in posredniškega telesa (Ministrstvo za okolje in kmetijstvo), kar dodatno podaljšuje celotno fazo priprave projekta do podpisa pogodbe.

VIRI IN LITERATURA

- [1] Predinvesticijska zasnova za objekte predelave odpadkov v Regionalnem centru za ravnanje z odpadki (RCERO) na območju odlagališča nenevarnih odpadkov Barje v Ljubljani (2005), (Hidroinženiring d.o.o., Ljubljana, IEI d.o.o. Maribor in SI Consult d.o.o. Ljubljana).
- [2] Vloga za pridobitev finančnih sredstev iz kohezijskih skladov EU (2009) (SI Consult d.o.o.).
- [3] Dokumenti naročnika.



IRGO
INSTITUT ZA RUDARSTVO, GEOTEHNOLOGIJO IN OKOLJE



IRGO
CONSULTING d.o.o.

Ustanovljen leta 1954

Znanstveno raziskovalni zavod

Slovenčeva 93, SI 1000 Ljubljana

Telefon: +386 (0)1 560 36 00

Telefax: +386 (0)1 534 61 80

Internet: <http://www.irgo.si>

email: info@irgo.si

GLAVNE DEJAVNOSTI

GEOTEHNOLOGIJA

- Računalniško modeliranje podzemnih objektov
- Geotehnične analize
- Laboratorijske in "in-situ" preiskave hribin

RUDARSTVO

- Raziskave in razvoj metod za odpiranje ter izkoriščanje nahajališč mineralnih surovin
- Preizkušanje in razvoj rudarske opreme
- Zdravje in varnost v rudarstvu

TEHNOLOGIJE ZA OKOLJE

- Sanacija rudarskih škod zaradi posedanja površine
- Čiščenje odpadnih voda in drugih odpadkov v rudarstvu in predelavi mineralnih surovin
- Ponovna uporaba in recikliranje odpadkov
- Sanacija starih odlagališč rudniške jalovine
- Podzemno odlaganje odpadkov

ZEMELJSKI IN VODNI VIRI

- Izračun in ocena izkoristljivosti rezerv zemeljskih naravnih virov
- Vrednotenje in zaščita vodnih virov
- Modeliranje podzemnih vod
- Laboratorijske in "in-situ" preiskave

VARSTVO OKOLJA

- Ocena vplivov na okolje in izdelava celovitih poročil o vplivih na okolje
- Zaščita vodnih virov
- Določitev stopnje ogroženosti okolja zaradi hrupa in miniranja
- Raziskave s področja ravnanja z odpadki
- Izdelava študij onesnaženosti, ranljivosti in zaščite podzemnih vodnih virov

Ustanovljen leta 1998

Podjetje za projektiranje, svetovanje, raziskave in razvoj

Slovenčeva 93, SI 1000 Ljubljana

Telefon: +386 (0)1 560 36 00

Telefax: +386 (0)1 534 61 80

Internet: <http://www.irgo.si>

email: info@irgo.si

GLAVNE DEJAVNOSTI

GEOTEHNOLOGIJA

- Projektiranje predorov in drugih podzemnih objektov
- Ukrepi za stabilizacijo zemeljskih plazov in podpiranje kamninskih mas
- Laboratorijske preiskave geomehanskih karakteristik materialov
- Analize stabilnosti objektov in izdelava ekspertnih mnenj
- Specializirane geotehnične meritve v predorogradnji in pri drugih podzemnih delih
- Računalniško modeliranje podzemnih objektov
- Geotehnične analize

RUDARSTVO

- Projektiranje površinskih kopov in podzemnih rudnikov

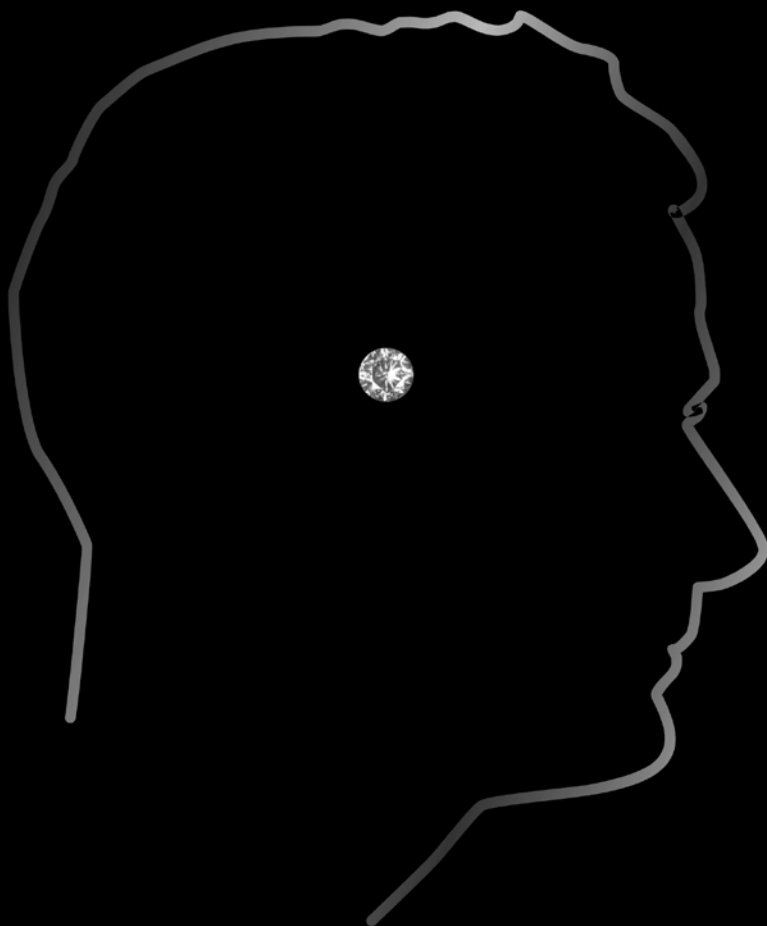
TEHNOLOGIJE ZA OKOLJE

- Svetovanje in izdelava konceptov integralnega reševanja problematike ravnanja z odpadki
- Načrtovanje površinskih in podzemnih odlagališč odpadkov
- Sanacija obstoječih odlagališč odpadkov
- Načrtovanje ločenega zbiranja, sortiranja in kompostiranja odpadkov
- Načrtovanje in izvedba predpisanih monitoringov
- Ocena vplivov na okolje in izdelava celovitih poročil o vplivih na okolje
- Izdelava študij onesnaženosti, ranljivosti in zaščite podzemnih vodnih virov

ZEMELJSKI IN VODNI VIRI

- Projektiranje vodnjakov, odvodnjevanja in vodooskrbe
- Vrednotenje in zaščita vodnih virov
- Modeliranje podzemnih vod

Odličnost v naših mislih



Riko d.o.o., Blagajna, 2. 1000 Ljubljana, Slovenija, T: +386 1 5916 300, F: +386 1 5916 340, e-mail: riko@riko.si, www.rikogroup.com



RIKO

Inženiring na področju
tehnološke opreme
Inženiring na področju
skladiščnih in transportnih sistemov
Inženiring na področju energetike
Inženiring na področju ekologije
Gradbeni inženiring

Mi recikliramo!

VAŠ ZVESTI PARTNER
ŽE 22 LET

Saubermacher
Slovenija

za življenja vredno okolje

02-620-23-00, odpadki@saubermacher.si, www.saubermacher.si


Saubermacher
Slovenija

V sožitju z okoljem

Z inovativnim razmišljanjem, vlaganjem v znanje in razvoj lahko dosegamo strateške razvojne cilje.



Temeljno poslanstvo podjetja Kostak je skrb za ohranjanje okolja. Danes je bolj kot kadarkoli prej očitno, da moramo vsi spremeniti odnos do narave, če želimo, da bodo tudi naši potomci lahko občudovali njene lepote.

Pri tem smo naredili korak naprej v povezovanju strokovnega znanja z gospodarstvom.

Razvijamo projekte na področju varstva okolja in gradbeništva, svetujemo pri gradnji centrov za ravnanje z odpadki, od zbirnih centrov do kompostarn, nameravamo pa vključiti tudi vo- dooskrbo in kanalizacijo. Posebna pozornost je namenjena obnovljivim virom in učinkoviti rabi energije, še posebno po letu 2005, ko smo sodobno in inovativno zasnovali novo poslovno stavbo, ki temelji na izkoriščanju energije zemlje za ogrevanje in hlajenje. Naš pristop vključuje energetske pregled, predlog gradbene sanacije z izolacijo ter uporabo novih energetskih virov, ki so na dolgi rok okolju prijaznejši in gospodarnejši.



Z vami že 50 let – in tudi v prihodnosti

Kostak, komunalno stavbno podjetje, d. d.
Leskovška cesta 2a, 8270 Krško
Tel.: 07 481 200
Faks: 07 481 250
E-pošta: kostak@kostak.si
Splet: www.kostak.si

ECONO

ECONO d.o.o.,
Dimičeva ulica 16,
1000 LJUBLJANA
tel: 01 280 27 60,
fax: 01 280 27 62
e-pošta: info@e-cono.si
www.e-cono.si

TEHNOLOGIJE ZA OKOLJE: Celostni koncepti ravnanja z odpadki • Projektna in investicijska dokumentacija s področja gospodarjenja z odpadki • Načrtovanje novih površinskih in podzemnih odlagališč • Sanacija, rekonstrukcija in zapiranje obstoječih odlagališč • Načrtovanje ločenega zbiranja, zbirnih centrov in sortirnic odpadkov • Projektiranje objektov in naprav za biološko in mehansko obdelavo odpadkov

GEOTEHNOLOGIJA, GEOLOGIJA, GRADBENIŠTVO: Izdelava dokumentacije za sanacijo zemeljskih plazov in podpiranja kamninskih mas • Stabilnostne analize objektov in izdelave stabilnostnih mnenj, geotehnične analize • Računalniško modeliranje in numerične analize • Projektiranje zaščit gradbenih jam • Izdelava geološko-geomehanskih poročil o zgradbi tal in pogojih temeljenja objektov • Projektiranje predorov in drugih podzemnih prostorov • Izvajanje geotehničnih meritev pri izgradnji predorov • Kartiranje in izdelava geoloških kart, geološka spremljava vrtnanja, inklinometriške meritve

RUDARSTVO: Projektiranje površinskih kopov in podzemnih rudnikov • Projektna, tehnična in investicijska dokumentacija na področju rudarstva • Projektiranje podzemnih prostorov na področju inženirskih gradenj, predorov • Izračun in ocena izkoristljivosti rezerv in zemeljskih naravnih virov

UNIVERZA V LJUBLJANI
NARAVOSLOVNOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA GEOTEHNOLOGIJO IN RUDARSTVO

SMER ŠTUDIJA
**GEOTEHNOLOGIJA
IN RUDARSTVO**



Vse dodatne informacije najdete na:
www.ntf.uni-lj.si/ogr

