

# RAVNANJE Z ODVEČNIM BLATOM BIOLOŠKIH ČISTILNIH NAPRAV V KONTEKSTU KROŽNEGA GOSPODARSTVA

## SEWAGE SLUDGE MANAGEMENT IN CONTEXT OF CIRCULAR ECONOMY

Vesna MISLEJ, dr. Viktor GRILC<sup>1</sup>

JP VODOVOD - KANALIZACIJA d.o.o., Ljubljana, vesna.mislej@vo-ka.si

<sup>1</sup>Fakulteta za kemijo in kemijsko tehnologijo, Ljubljana; viktor.grilc@guest.arnes.si

### POVZETEK

Na komunalnih čistilnih napravah za odpadne vode stalno nastaja odvečno aktivno blato, ki je velik okoljski in prostorski problem. Konvencionalni način ravnanja z odlaganjem na odlagališča komunalnih odpadkov ne pride več v poštev zaradi bio-razgradljivosti in metanogenosti tovrstne biomase. Namen dela je podati pregled možnosti za trajnostne postopke ravnanja, ki bi upoštevali hierarhijo postopkov predelave odpadkov »3R« oz. celostne izrabe tega zanimivega materiala. Možnosti obstajajo v snovni izrabi na zemljiščih, v izvorni obliki kot digestat ali predelani obliki. Druga skupina so toplotne obdelave blata z zrakom ali brez, saj je 2/3 mase blata organske narave in zato zmožna predelave v razne vrste plinastih, tekočih in trdnih energentov. Na podlagi fizikalno-kemijske karakterizacije blata je mogoče za posamezne okoliščine izbrati ustrezen postopek ravnanja s ciljem njegove optimalne energijsko in/ali snovne izrabe.

**Ključne besede:** končna obdelava odvečnega blata, krožno gospodarstvo.

### ABSTRACT

Biological waste water treatment plants constantly generate the excess activated sewage sludge (code 19 08 05). Such waste is considered as nonhazardous, since the content of potentially environmentally critical components does not exceed the limit values. The purpose of the work is to give an overview of options for sustainable treatment procedures of this interesting material, which take into account the hierarchy of waste recovery operations "3R". Options exist in the material utilization on land in its original form as a digestate or in the processed form. Another group represents the energy utilization of the sludge with or without air, because the major part of mass has organic nature and, therefore, the sludge is capable of processing into the various kinds of gaseous, liquid and solid fuels. New concept of circular economy directs maximal utilisation of this material, the optimal options of will be presented and critically discussed in this paper.

**Key words:** circular economy, sewage sludge treatment.

### UVOD

Odvečno biološko blato komunalnih čistilnih naprav za čiščenje odpadnih vod (v nadaljevanju blato) predstavlja pomemben tok komunalnih odpadkov. Povprečno ga nastane okoli 60 g<sub>s.s.</sub>/PE.dan, torej v Sloveniji, nastane dnevno preko 60 ton oz. letno 20.000 ton suhe snovi

blata oz. okoli 100.000 ton vlažnega blata. Tak odpadek ima v seznamu odpadkov klasifikacijsko številko 19 08 05 in je nenevaren, saj vsebnost potencialnih okoljsko kritičnih komponent ne presega mejnih vrednosti. Novi okoljski program Evropske unije vzpostavlja princip krožnega gospodarstva kot instrument trajnostnega razvoja na področju izrabe odpadkov. Ali to načelo lahko uveljavi tudi smotrno izrabo blata? Možnosti za uporabo blata so zakonodajno (iz okoljevarstvenih razlogov povezanih s statusom blata kot odpadka) zelo omejene. Potem, ko je njegovo odlaganje od 1. 2009 v RS prepovedano zaradi prevelike organske vsebnosti in potencialne metanogenosti, je možnost za uporabo na zemljiščih zelo omejena tako v pogledu kakovosti kot količine, energijska izraba pa je tehnološko, stroškovno in upravno zahtevna. Vse to sili povzročitelje (upravljalce čistilnih naprav) v razvoj drugih načinov ravnanja v smeri selektivne izrabe posameznih zanimivih sestavin tega odpadka. Zanimive so tako organske kot anorganske sestavine, do katerih lahko pridemo po različni poti. V prispevku bodo prikazane pogloblitve možnosti izrabe koristnih sestavin ali lastnosti blata, kakor so se pokazale v dolgoletnih raziskavah blata največje čistilne naprave pri nas. Načelen prikaz možnosti je podan v Tabeli 1.

**Sestava blata:** Ključna za presojo možnosti izrabe blata je dobro poznavanje njegove makro in mikro elementne in komponentne sestave ter nekaterih relevantnih lastnosti, poleg tega pa še obseg njihovih fluktuacij med letom ter ev. časovne trende spreminjanja teh lastnosti. CCN Ljubljana že dolga leta izvaja obsežne analize tega odpadka, kar omogoča statistično obdelavo rezultatov. Izbor povprečnih rezultatov je prikazan v Tabeli 2.

## **PREGLED MOŽNOSTI NAPREDNE IZRABE ODVEČNEGA BLATA**

Zaradi stalnega in velikega toka nastajanja odvečnega blata na čistilnih napravah je že dosedaj bilo potrebno razpolagati z zanesljivimi načini njegovega odstranjevanja. Zaradi vse-evropske prepovedi odlaganja in izredno omejene uporabe blata na zemljiščih, se večino blata v EU še vlažnega termično obdela na namenskih napravah v okviru čistilnih naprav ali v okviru sežiga komunalnih odpadkov. V industrijskem sektorju se sežig blata prakticira zelo malo, predvsem zaradi potrebe po predhodnem sušenju blata.

### **Materialna izraba blata**

Prekrivanje odlagališč in degradiranih zemljišč: Odpadno blato ima status biogenega odpadka, v katerem je masno razmerje med organskimi in anorganskimi sestavinami približno 2:1. V obdobju po prepovedi njegovega odlaganja se je Slovenija soočala z množičnim zapiranjem nekdanjih občinskih odlagališč odpadkov, tako da je bilo veliko stabiliziranega in dehidriranega blata uporabljenega za prekrivanje odlagališč. Uredba o odlagališčih to dopušča, če je sestava anaerobno stabiliziranega blata (t.i. digestata) skladna z mejnimi vrednostmi iz uredbe o predelavi biološko razgradljivih odpadkov [1], kar ponavadi ni problem. Dolgoročni potencial takega ravnanja z blatom se zmanjšuje, saj je večina manjših odlagališč že zaprtih, velika pa se polnijo z bistveno zmanjšano hitrostjo; poleg tega prihaja do ponudbe še iz drugih sektorjev (MBO odpadkov). Podobno možnost uporabe nudijo tudi rekultiviranja okoljsko degradiranih površin (kamnolomov, glinokopov, starih industrijskih con) oz. pri večjih posegih v okolje (npr. gradnja prometnic), kjer bi morali odpadni materiali imeti prednost. Krožno gospodarstvo mora take pristope podpirati s sistemskimi ukrepi.

Tabela 1: Pregled možnosti izrabe odvečnega biološkega blata (priložnosti, prednosti, omejitve)

Oblika blata, cilj izrabe in ciljni produkti	Postopek ravnanja z blatom/materialom	Potenciali blata/materiala	Predpisi/Omejitve
<b>I. Celotno pregnito in mehansko dehidrirano blato (20-30 % suhe snovi)</b>			
1. Kot gnojilo oz. kondicionant za zemljišča; kot prekrivka za odlagališča odpadkov in degradirane površine			
- Mokro blato: Izraba humusnih organskih in mineralnih snovi	- Gnojenje in kondicioniranje zemljišč z blatom; - Prekrivanje odlagališč in degradiranih površin - Izdelava komposta (z drugimi vrstami odpadkov)	38-40 % <sub>s.s.</sub> TOC (60-65 % organskih snovi) 6 % <sub>s.s.</sub> N; 2,2 % <sub>s.s.</sub> P; 0,3 % <sub>s.s.</sub> K; 5,5% <sub>s.s.</sub> Ca+Mg; mikroelementi: Zn, Cu, B...	-Uredba o predelavi biološko razgradljivih odpadkov in uporabi komposta in digestata. -Uredba o mejnih vrednostih vnosa nevarnih snovi in gnojil v tla.
<b>II. Predelava blata v sekundarne surovine in energente</b>			
-Suho blato (> 90% <sub>s.s.</sub> ): Kot alternativno gorivo	Nadomeščanje konvencionalnih goriv v industrijskih pečeh	Kur.vrednost > 12 MJ/kg	-Uredba o predelavi nenevarnih odpadkov v trdno gorivo.
1. Predelava v sintetični plin	Uplinjanje (segrevanje z vodno paro nad 1000°C brez dostopa zraka)	38-40 % <sub>s.s.</sub> TOC; 4,4% <sub>s.s.</sub> H <sub>2</sub> ; možnost zajemanja amoniaka	-Veliko oksigeniranih org. snovi; - zahtevna tehnologija; -majhen donos.
2. Predelava v bioogljje in pirolizno olje	Piroliza (segrevanje na 450-600°C brez dostopa zraka)	Pirolizno olje ima kurilno vrednost 31 MJ/kg, bioogljje ima 11 MJ/kg. V bioogljju so hranila in minerali (P, K, Ca, Mg, Si); možnost zajemanja amoniaka	-V piroliznem olju se koncentrira Hg, v bioogljju se koncentrirajo težke kovine. -Nastaja organsko obremenjen vodni kondenzat[2].
<b>III. Uporaba trdnih preostankov predelav (pepelov, ogelj)</b>			
1. Pepel od samostojnega sežiga blata			
- Primešavanje betonom (zeleni beton)	Delno nadomeščanje cementa in/ali agregata v betonarnah	Pucolanske lastnosti pepela	Manj zahtevni izdelki; ekološke omejitve
- Izolacija fosforja	Izpiranje fosforja iz pepela	Izdelava fosforne komponente gnojil	Vsebnost težkih kovin
2. Pirolizno ogljje			
- Uporaba kot nadomestno gorivo	Uporaba za kurjenje v industrijskih pečeh	Kurilna vrednost 10 MJ/kg	Majhna kurilna vrednost, ekol. omejitve
- Bioogljje	Uporaba za kondicioniranje zemljin/zemljišč	Zadrževanje hranil, vode in zraka	Ekološke omejitve (po uredbi)

Tabela 2: Karakteristična sestava in lastnosti posušenega odvečnega blata CČNL

Parameter/enota	Tipične vrednosti	Mejne vrednosti
Vlaga, %	9,0	-
Pepel, % <sub>s.s.</sub>	33,1	-
Vodik, % <sub>s.s.</sub>	4,4	-
Celotni organski ogljik, % <sub>s.s.</sub>	38,4	-
Klor, % <sub>s.s.</sub>	<0,1	0,2-3G
Žveplo, % <sub>s.s.</sub>	1,15	0,2-0,5G
Dušik, cel., % <sub>s.s.</sub>	6,15	-
Dušik, amoniakalni, % <sub>s.s.</sub>	1,0	-
Fosfor, cel. % <sub>s.s.</sub>	2,2	-
Kalij, % <sub>s.s.</sub>	0,3	-
Kalcij + magnezij, % <sub>s.s.</sub>	5,5	-
Arsen, mg/kg <sub>s.s.</sub>	3,5	20Z
Baker, mg/kg <sub>s.s.</sub>	350	30Z; 600T
Cink, mg/kg <sub>s.s.</sub>	970	60K; 100Z; 200K; 200T
Kadmij, mg/kg <sub>s.s.</sub>	1	0,5-0,7Z; 1K; 5T; 1-5G
Krom, mg/kg <sub>s.s.</sub>	120	40Z; 100K
Svinec, mg/kg <sub>s.s.</sub>	93	40-50Z, 85K; 500T
Nikelj, mg/kg <sub>s.s.</sub>	86	30Z; 50K; 80T
Živo srebro, mg/kg <sub>s.s.</sub>	1,9	0,2-0,3Z; 0,2-0,5G; 0,8K; 5T
Kurilna vrednost, MJ/kg <sub>k.p.</sub>	14,3	3-25G

T-mejne vrednosti za tla; G-mejne vrednosti za alt. gorivo; Z-um.pripr.zemljina, K-blata KČN v kmetijstvu; ss. suha snov; k.p. kot prejeto

**Gnojenje in kondicioniranje zemljišč:** Odpadno blato ima izredno zanimive sestavine za oskrbo zemljišč s humusom, mineralnimi snovmi (P, K, Ca, Mg, tudi Zn, Se in B) ter amonijevim dušikom; žal pa so potencialno prisotne tudi moteče snovi, predvsem težke kovine. Potencial za plasma blata na zemljiščih je velik, vendar je pogosto problem v njegovi kakovosti, zato je interes za uporabo vprašljiv. Večina kanalizacijskih sistemov zbira tudi industrijske odpadne vode oz. imajo komunalne vode visoko naravno ozadje, zato so v blatu praviloma prisotne težke kovine; največ problemov povzročajo elementi z najnižjimi mejnimi vrednostmi, t. j. živo srebro, kadmij in nikelj. Drugi problem je sezonska uporaba gnojil, medtem ko blato enakomerno nastaja vse leto in ga je težko skladiščiti za daljši čas. Tretji problem je (ne)razpolaganje z ustrezno velikimi kmetijskimi površinami v bližini čistilnih naprav, kar vodi v visoke transportne stroške.

**Izdelava komposta:** Dodajanje blata drugim biorazgradljivim odpadkom iz industrije, kmetijstva in komunale je privlačno zaradi njegove relativno velike vsebnosti dušika, ki ga običajno pri kompostiranju primanjkuje. Potrebni deleža primešanega blata je 10-20 %, kar pa običajno predstavlja majhen delež od razpoložljive količine. Večji dodatek blata ni zaželen zaradi prevelikega vnosa vlage, včasih pa tudi v blatu prisotnih onesnažil.

**Direktna izraba toplotne vsebnosti suhe snovi blata:** Uredba o predelavi nenevarnih odpadkov v trdno gorivo [1] je določila pogoje za predelavo odpadkov v trdno gorivo po postopku obdelave R1, kjer so limitni parametri dve težki kovini (Hg in Cd), dve kisli nekovini (Cl in S) ter kurilna vrednost. Ta predpis rangira za predelavo v sekundarno gorivo

potencialne odpadke v pet kakovostnih skupin, v katere pa se slovenska odpadna blata stežka uvrstijo. Poleg živega srebra (pogosto izvira iz okolja) je problem tudi z vsebnostjo žvepla, ki izvira iz kemikalij pri čiščenju odpadnih vod.

Obstaja pa načelni zadržek za tako ravnanje z blatom. Konvencionalni postopki dehidracije pregnitega blata s centrifugo namreč zagotavlja maksimalno 27 % vsebnosti suhe snovi, zato je njegova kurilna vrednost nična. Pretvorba v sekundarno gorivo s kurilno vrednostjo 15 MJ/kg zahteva predhodno popolno osušitev odpadka. Za to pa potrebujemo toliko toplote, kolikor jo nastane v obliki kurilne vrednosti suhega blata. Odpadnega blata torej ne moremo smatrati kot alternativno gorivo, ki zmanjšuje porabo fosilnih goriv. Trajnostna in ekonomsko upravičena toplotna obdelava tega odpadka (t. j. brez dodanega goriva) je le v okolju, ki mu potrebno toploto za osušitev zagotovi iz lastnega vira v obliki bioplina ali pa iz sekundarnega vira, navadno iz energetske bogate frakcije komunalnih odpadkov. Ker le-ta na prispevnem območju z danim številom prebivalcev (PE) nastaja v nekajkrat večji količini kot odpadno blato, ga lahko sežigamo skupaj z njo, ne da bi to signifikantno zmanjševalo temperaturo zgorevanja ali toplotno moč kurišča.

## **NAPREDNE TERMIČNE OBDELAVE BLATA**

**Piroliza:** To je postopek, pri katerem blato (najbolje popolnoma osušeno) izpostavimo povišani temperaturi (do 600°C) brez dostopa zraka, s ciljem termo-kemijske konverzije visokomolekularnih oz. kondenziranih organskih snovi v nizko molekularne produkte. Postopek je endotermen, torej rabi vir toplote. Primeren je za odpadke z visoko vsebnostjo organskih snovi, predvsem umetnih mas, opravili pa smo tudi poskuse s suhim odvečnim biološkim blatom. Pri tem nastane 15 mas% plina, 15% vodnega kondenzata, 20% piroliznega olja in 50% trdnega piroliznega ostanka – mineraliziranega biooglja. Dobitek najvrednejšega produkta (olja) je majhen (iz plastike ta frakcija predstavlja 50% produktov), ker je vsebnost visokomolekularnih organskih snovi v blatu manjša, njihova kakovost pa slaba (oksidirana in degradirana). Pirolizno olje je potrebno nadalje še prečistiti in mu popolnoma odstraniti vodo, da postane zanimivo kot gorivo. Pirolizni ostanek - biooglje vsebuje 30 % ogljika in ima kurilno vrednost okoli 10 MJ/kg. To je majhna vrednost, zato na tržišču sekundarnih goriv ne bo imelo cene. Pirolizo odpadnega blata je še v fazi raziskav in razvoja tehnologije..

**Uplinjanje:** Je star industrijski postopek, razvit za pridobivanje t.i. sinteznega plina, mešanice ogljikovega monoksida in vodika, ki nastane z reakcijo med vodo in ogljikom pri povišani temperaturi (nad 700°C) in tlaku. Vodo navadno zagotavljajo kar odpadki sami iz svoje vlage, za toplotno oskrbo endotermnega procesa pa dodajamo še malo zraka oz. kisika, tako da del surovine zgori. Sintezni plin je izhodiščna snov za številne organske kemične snovi, vključno sintetična tekoča goriva, ima pa tudi znatno energetska vrednost (5-10 MJ/Nm<sup>3</sup> → kurjenje, kogeneracija). Klasična surovina za njegovo proizvodnjo je premog, po novem pa tudi organski odpadki. Ostanek uplinjanja so le mineralne snovi, brez ogljika, zato je dobytek plina mnogo večji. Uplinjanje je primerno za predelavo suhih in vlažnih odpadkov (do 30 % vlage), ker je voda reaktant v procesu. Očiščen sintezni plin iz odpadkov, brez CO<sub>2</sub> in dušika, ima kurilno vrednost do 15 MJ/Nm<sup>3</sup> in se praviloma sežge v kogeneracijskih napravah. Postopki uplinjanja odpadkov se šele uveljavljajo v praksi; naprave so zaenkrat manjših kapacitet (pod 30 kt/leto). Vendar pa se razvoj nadaljuje in v naslednjih letih že lahko pričakujemo industrijske linije z letnimi zmogljivostmi do 100 kt. Mehanizem prenosa toplote je običajno

konvekcijski, zato je hitrejši od piroliznega, naprave so zato manjše; najnovejše naprave uvajajo tudi plazemski način uplinjanja, ki poteka pri temperaturi nad 2000°C.

Načelna presoja primernosti blata bioloških čistilnih naprav za predelavo z uplinjanjem je podobna kot pri pirolizi. Njegova organska snov je v glavnem iz biološko razgrajene celuloze, torej že precej oksidirana, zato pretvorba v vodik ne poteka, nastaja voda. Glede na zahtevnost tehnologije je manj perspektivna od pirolize.

## **MOŽNOSTI SNOVNE IZRABE PREOSTANKOV PO TERMIČNI OBDELAVI**

**Ostanek po gorenju:** Blato vsebuje okoli 35% mineralnih snovi, ki ne gorijo, zato pri zgorevanju preostanejo kot pepel. Pepel iz naprav za sežig izključno blata brez drugih materialov ima zanimivo sestavo. Predvsem je zanimiva vsebnost hraniv fosforja in kalija, ter zemljo-alkalij (kalcija in magnezija). V kolikor je blato brez presežnih vrednosti težkih kovin (če je nenevaren odpadek), potem ima verjetno tak status tudi pepel, čeprav se vsebnost nehlapnih težkih kovin skoraj potroji. Kot tak predstavlja zanimivo nadomestno fosfor-kalijevo gnojilo, dodatno pa še dober kondicionant za kislja, mineralno izčrpana zemljišča. Določeno možnost ima tudi uporaba pepela v pripravi umetno pripravljenih zemljišč, za katere pa so mejne vrednosti komponent najstrožje.

**Ostanek po pirolizi:** Bogata mineralna sestava blata je verjetno edini argument, zakaj bi bila piroliza blata smiselna. Oglje, pridobljeno s pirolizo odpadnega blata spada med t. i. bioglja, ki jih sodobna okoljevarstvena stroka uvršča med vezane oblike ogljika. V primerjavi s klasičnim bioogljem iz lesa vsebuje več hraniv in kondicionantov, zato bi (pod pogojem, da je vsebnost težkih kovin v dovoljenih mejah), lahko na tržišču dosegel določeno ceno. Lahko bi ga uporabljali za dodatek izčrpanim zemljinam za povečanje rodovitnosti, zračnosti in zadrževanja vode.

## **ZAKLJUČEK**

Odpadno blato bioloških čistilnih naprav zaradi svoje sestave, lastnosti in količine predstavlja velik potencial za snovno in/ali energijsko izrabo, pod pogojem, da ni preveč obremenjeno z določenimi onesnažili. De-kemizacija življenja bo pogojevala izboljšanje kakovosti blata, katerega poglobitveni potencial je kombinacija biogenih organskih in hranilnih mineralnih sestavin, ki sodijo v biološki krog kmetijstva in gozdarstva ali vsaj urejanja okolja zaradi degradiranosti prostora.

## **VIRI IN LITERATURA**

1. Veljavna zakonodaja na področju obdelave odpadkov, [http://www.mop.gov.si/si/zakonodaja\\_in\\_dokumenti/veljavni\\_predpisi/okolje/zakon\\_o\\_varstvu\\_okolja/odpadki/zajeto](http://www.mop.gov.si/si/zakonodaja_in_dokumenti/veljavni_predpisi/okolje/zakon_o_varstvu_okolja/odpadki/zajeto) marec 2016.
2. MISLEJ, Vesna, NOVOSEL, Barbara, KLINAR, Dušan, ZALAR SERJUN, Vesna, ZUPAN, Klementina, MARINŠEK, Marjan, GRILC, Viktor, ŽNIDARŠIČ PONGRAC, Vida, NOVAK, Robert. (2015) Piroliza posušenega odvečnega blata komunalne čistilne naprave. Slovenski kemijski dnevi 2015, Ljubljana, 24. - 25. september 2015, Zbornik referatov in povzetkov, [COBISS.SI-ID 1536547779]