

ENERGETSKA IN EKOLOŠKA PROBLEMATIKA OBDELAVE IN KONČNE DISPOZICIJE BLATA IZ ČISTILNIH NAPRAV

THE ENERGY AND ECOLOGICAL PROBLEMS OF SLUDGE TREATMENT AND ITS FINAL DISPOSITION FROM WWTP

prof. dr. Mitja Rismal, univ. dipl. inž. grad.
m.rismal@masicom.net

Strokovni članek
UDK: 628.35

Povzetek | Članek obravnava energetski potencial blata bioloških čistilnih naprav v odvisnosti od lastnosti odpadne vode, od starosti biološkega blata in izkoriščanja energije blata za pogon čistilnih naprav, direkten zažig aerobnega blata v celjski čistilni napravi in s sušenjem anaerobnega blata v ljubljanski čistilni napravi. Podana je presoja pasterizacije blata z uporabo toplotne energije v procesu endogene respiracije. Ključne besede: bilanca energije, sušenje blata, sežig blata.

Summary | The paper deals with the energy potential of the excess sludge of WWTP depending on the waste water properties, biological sludge age and the possible use of its energy for operation WWTP, the drying of the anaerobic sludge (WWTP of the city of Ljubljana) and the direct incineration of aerobic sludge without drying it (WWTP of the city of Celje). The short estimation of thermophilic aerobic sludge pasteurization is given.

1 • UVOD

V čistilnih napravah očiščena voda odteče v sprejemnike (recipiente), proizvedeno blato pa ostane na čistilni napravi. Ker obstoječi predpisi ne dovoljujejo odlaganja blata iz čistilnih naprav na deponije, ga je treba posebej obdelati. Članek obravnava razlike med direktnim sežigom aerobnega in sušenjem ter končnim sežigom anaerobnega blata čistilnih naprav z lastno energijo bioplina. Kratko so podane še druge, v določenih pogojih ekološko in ekonomsko primernejše obdelave in končne dispozicije blata iz bioloških čistilnih naprav. V osnovi lahko pri enaki kakovosti očiščene vode glede obdelave in končne dispozicije proizvedenega blata ločimo dva primera:

1. v prvem primeru (slika 2), ko je na razpolago dovolj kmetijskih površin, je ekološko in ekonomsko najprimernejša uporaba stabiliziranega in higieniziranega blata za organsko gnojilo. V ta namen lahko blato stabiliziramo in higieniziramo na tri načine.

1.1 V anaerobnih reaktorjih (gniliščih) s proizvodnjo bioplina za pogon čistilne naprave. Anaerobno blato se v zgoščevalcu zgosti in posuši na sušilnih gredah ali pa se, brez sušenja, do končnega odvoza na polja deponira v depojskih lagunah. Pri mehanski dehidraciji se deponira na pokritih odlagališčih. Salmonele v deponiranem blatu odmrjejo po enem do dveh mesecih.

1.2 Blato se aerobno stabilizira. Čiščenje odpadne vode in stabilizacija blata se izvršita v ločenem, največkrat pa v istem aerobnem reaktorju. Blato se zgosti, posuši ali mehansko dehidrira, v deponiji higienizira in po ca. 2 mesecih uporabi na poljih kot pod točko 1.1.

1.3 Tretji način, ki je manj v uporabi, je aerobna termična stabilizacija in pasterizacija blata. Pri tem postopku se

odvečno blato segreva – pasterizira – v ločenem reaktorju z lastno energijo, ki se sprošča med endogeno respiracijo – oksidacijo – preostanka organske snovi v blatu.

V vseh navedenih primerih je mogoče uporabiti tudi dodatno kompostiranje blata za dokončno stabilizacijo – higienizacijo – in nadaljnjo zmanjšanje količine proizvedenega blata.

2. V drugem primeru (slika 4), če za uporabo blata ni dovolj kmetijskih površin, odlaganje na komunalnih deponijah pa ni več dovoljeno, je treba blato s sežigom mineralizirati. Prej mehansko dehidrirano blato lahko sežgemo na dva načina:

- 2.1 s sušenjem pred sežigom blata;
- 2.2 z direktnim sežigom mehansko dehidriranega blata, brez sušenja, na lastni ali na skupni sežigalni napravi za druge komunalne odpadke.

Primerjava obravnavanih postopkov čiščenja je izvedena za povprečno sestavo odpadne vode (preglednica 1) in lastnosti odpadne vode (slika 1).

snovi	mineralne	organske	skupaj	BPK ₅
	g/m ³	g/m ³	g/m ³	g/m ³
usedljive	100	150	250	100
neusedljive	25	50	75	50
raztopljene	375	250	625	150
skupaj	500	450	950	300

Preglednica 1 • Sestava povprečne odpadne vode (Imhoff, 2007)

Možnost samosežiga blata brez zunanje energije je odvisna od količine (energije) organske mase v celotni teži sušine in ostanka vlage v mehansko dehidriranem blatu.

Potek sinteze (eksogena respiracija) nove organske mase biološkega blata in razgradnje (endogena respiracija) v procesu čiščenja smo upoštevali po shemi (slika 1).

Medtem ko se količina organske mase biološkega blata s starostjo blata v aerobnem reaktorju manjša, pa ostaja količina inertnih anorganskih snovi enaka.

V energetski bilanci organskega dela blata po modelu čistilne naprave (Rismal, 1980 – 1997) sušenja in sežiga blata so za določitev organske mase in lastne energije biološkega

blata uporabljene naslednje vrednosti in enačbe.

Razgradljivi del organske mase biološkega blata pri starosti blata T_b (Eckenfelder, 1989):

$$X_d = X_d' / (1 + k_d \cdot X_n' \cdot T_b \cdot F) \quad (1)$$

Nerazgradljivi del organske mase biološkega blata na koncu endogene respiracije

$$X_n = 1 - X_d \quad (2)$$

$Y = 0,6$ koeficient tvorbe biološkega org. mase biološkega blata pri eksogeni respiraciji

$X_d' = 0,8$ biol. razgradljivi del biol. blata na začetku endogene respiracije

$X_n' = 0,2$ biol. nerazgradljivi del biol. blata na začetku endogene respiracije

T_b (d) starost biološkega blata

$k_d = 0,08$ (1/d) koef. endogene razgradnje org. mase biol. blata

$F = 1,072^{(T-15)}$ faktor hitrosti biokemičnih procesov v odvisnosti od temperature

T (°C) temperatura vode v biološkem reaktorju

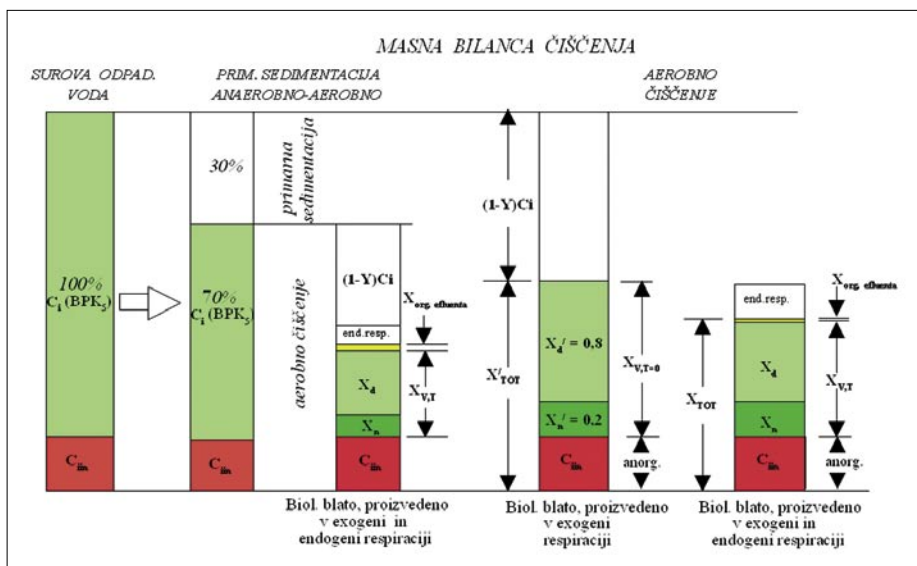
Podatki o energiji organske snovi v biološkem blatu, bioplinu in entalpiji za evaporacijo vode, ki so uporabljeni v obravnavani energetski bilanci sušenja in sežiga blata (Degremont, 1973):

neto kalorična vrednost organskega dela blata ca. 5000 kcal/kg

kalorična vrednost bioplina ca. 6,28 do 7,0 kWh/m³

totalna toplota (ent. alpija) za evaporacijo vode 640 kcal/kg pri 100 °C pri 105 N/m²

v odvisnosti od temperature t (°C) izpušnih plinov pa $640 + 0,5 (t-100)$ kcal/kg

Slika 1 • Shematski prikaz masne bilance anorganskih C_{in} in organskih snovi C_i biološkega blata v procesu čiščenja (Rismal, 2003)

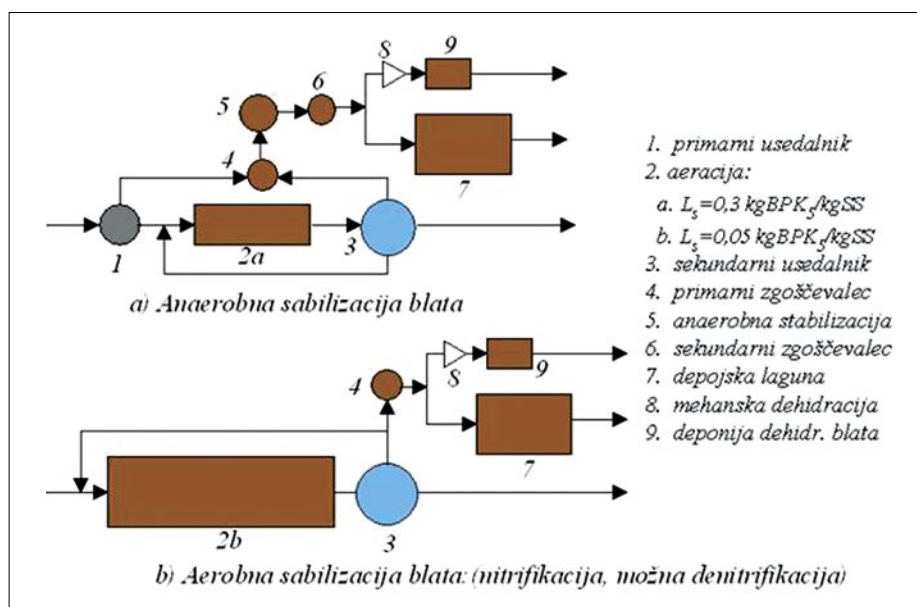
2 • OBDELAVA BLATA ZA UPORABO NA POLJIH

(Primerjava naprav s primarno sedimentacijo in anaerobno stabilizacijo blata in brez primarne sedimentacije z aerobno stabilizacijo) Kratko bomo opisali le lastnosti postopkov stabilizacije blata pod točko 1.1 in 1.2. Delovanje termične stabilizacije, pasterizacije blata, ki se uporablja redkeje, pa smo prikazali le v sliki 11.

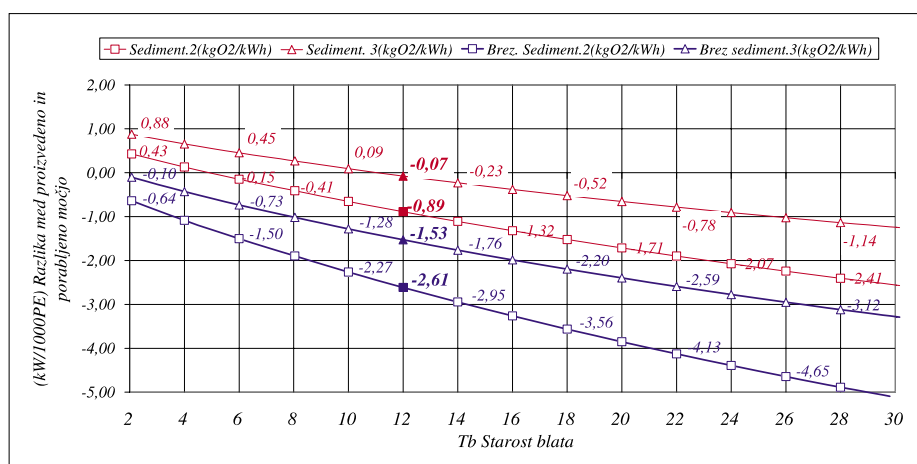
Pred leti so prevladovala naprave II. stopnje s primarno sedimentacijo in anaerobno stabilizacijo blata brez nitrifikacije in denitrifikacije efluenta pri specifičnih obremenitvah blata med 0,25 do 0,30 kgBPK₅/kgSS in starosti biološkega blata med 4 do 6 dni, z delnim pokritjem energije iz bioplina za lastne potrebe (slika 2a).

Po zgostitvi v zgoščevalcu se je blato posušilo na sušilnih gredah ali pa se je mehansko dehidrirano deponiralo v prekritih deponijah. Zgoščeno blato brez mehanske dehidracije se je deponiralo v depojskih lagunah.

Slika 2b pa prikazuje shemo naprave z aerobno stabilizacijo blata. Značilnost teh naprav je visoka starost blata nad 25 dni z obremenitvijo 0,04 kgBPK₅/kgSS do 0,05 kgBPK₅/kgSS in ustrezno večjim aerobnim reaktorjem. Naprave zagotavljajo visoko kakovost čiščenja glede BPK₅. Z načrtovano



Slika 2 • Shema čistilnih naprav II. stopnje z anaerobno stabilizacijo brez nitrifikacije in z aerobno stabilizacijo blata pri nitrifikaciji-denitrifikaciji efluenta



Slika 3 • Bilanca energije čistilnih naprav za 1000 populacijskih enot brez in s proizvodnjo energije iz bioplina v odvisnosti od starosti biološkega blata (Rismal, 2003)

3 • OBDELAVE ODPADNEGA BLATA ČISTILNE NAPRAVE S KONČNIM SEŽIGOM BLATA PRI NAPRAVAH III. STOPNJE ČIŠČENJA (nitrifikacija, denitrifikacija, defosfatizacija)

V tem poglavju nas zanimajo odgovori:

- o potrebni stopnji mehanske dehidracije blata za sežig blata z lastno energijo organske mase v proizvedenem biološkem blatu čistilne naprave;
- kaj energija na napravi proizvedenega bioplina zadostuje za osušitev dehidriranega biološkega blata na 10-odstotno vlago;
- ali je pred samosežigom treba blato posušiti.

Za samosežig aerobnega ali anaerobnega biološkega blata sta odločilni stopnja mehanske dehidracije blata in količina organskih snovi v proizvedenem biološkem blatu z energijo $20.000 \text{ kJ/kgSS}_{\text{org}}$ ali $5,56 \text{ kWh/kgSS}_{\text{org}}$. Za evaporacijo vode pa potrebujemo ca. $1,4 \text{ kWh/kgH}_2\text{O}$.

Naprave s primarno sedimentacijo (slika 4a) in anaerobno obdelavo blata imajo večji izplen energije. Na drugi strani pa primarna sedi-

aeracijo pa omogočajo še nitrifikacijo-denitrifikacijo in biokemično defosfatizacijo efluenta. Velika masa aktivnega biološkega blata in veliko razredčenje onesnaženja v aerobnem reaktorju omogočata prevzem velikih sunkov onesnaženja.

Manjše število, le 4 do 5 procesnih faz, v primerjavi s klasično čistilno napravo, ki vsebuje s kuriščem in plinohramom 9 faz (slika 2a), pa omogoča enostavnejše in varnejše obratovanje.

Edina pomanjkljivost aerobne stabilizacije, dokler gre le za II. stopnjo čiščenja (le eliminacija organskega ogljika BPK_5), je večja poraba energije. Razlika v energetski bilanci obeh naprav (sliki 2a in 2b) je podana (slika 3) v odvisnosti od starosti biol. blata (kakovosti čiščenja) in porabe energije $2 \text{ kgO}_2/\text{kWh}$ ali $3 \text{ kgO}_2/\text{kWh}$ za aeracijo.

Z uvedbo III. stopnje čiščenja, ki zahteva večje starosti biološkega blata, pa se ta razlika, kot vidimo iz slike 3 relativno zmanjšuje.

Sama proizvodnja bioplina in energije za naprave z in brez primarne sedimentacije je podana na sliki 6.

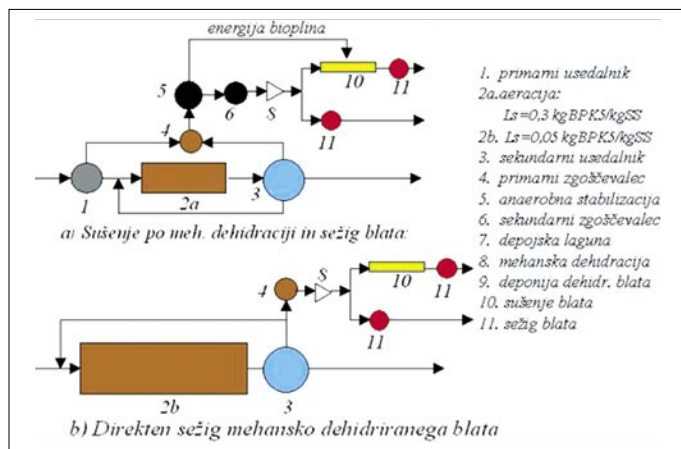
Naprave s primarno sedimentacijo in anaerobno stabilizacijo blata lahko pokrijejo porabo energije za aeracijo odpadne vode z energijo bioplina v glavnem le pri starostih biološkega blata pod 10 dni (glej sliko 3). Večinoma pa je za pogon drugih elementov čistilne naprave potrebna zunanja energija. Pri večjih čistilnih napravah, če je na voljo dovolj kmetijskih površin, je takšna rešitev ekološko in energetsko utemeljena.

mentacija z gnilišči povečuje za denitrifikacijo neugodno razmerje N/BPK_5 .

Pri starosti blata nad 10 do 12 dni pa tudi skupna energetska bilanca (slika 3) čiščenja in proizvedenega bioplina ni več pozitivna. Zato teh naprav (slika 4a) tukaj ne obravnavamo.

Na drugi strani pa ostane v blatu čistilnih naprav brez primarne sedimentacije in gnilišč več organskih snovi (slika 5) za samosežig blata in za denitrifikacijo ugodnejše razmerje N/BPK_5 . Za manjšo porabo energije pa je treba blato pred sežigom dobro mehansko dehidrirati (centrifuge, tlačne preše itd.).

Sliki 5 in 6 kažeta upadanje organske snovi v biološkem blatu s totalno energijo, količino in energijo bioplina, ki jo je iz blata mogoče



Slika 4 • Shema čistilnih naprav z nitrifikacijo-denitrifikacijo efluenta z različno obdelavo in končno dispozicijo blata

pridobiti za lasten sežig in evaporacijo vode iz blata.

Z direktnim sežigom mehansko dehidriranega aerobnega blata pridobimo celotno energijo organske mase (slika 5 in 6). Iz iste organske mase pa pridobimo v anaerobnem reaktorju z bioplinom le del te energije. Razliko do celotne energije organske mase pa pridobimo šele s sežigom anaerobnega blata (iz anaerobnega reaktorja).

Teoretično, fizikalno, je vsota iz blata sproščene energije v obeh postopkih enaka (slika 6). Določena razlika nastane le zaradi energetskih izgub pri sušenju blata z energijo bioplina in v številu za njen izkoristek potrebnih operacij. Direktni sežig aerobnega blata skupaj z

zgoščevanjem in dehidracijo vsebuje, kot že rečeno, 5 postopkov. Za drugi postopek s primarnim in sekundarnim zgoščevanjem, anaerobno obdelavo v gnilišču z rezervoarjem za bioplin, kuriščem in dehidracijo ter sušenjem s končnim zažigom blata pa potrebujemo s pripadajočimi objekti in napravami kar 9 postopkov.

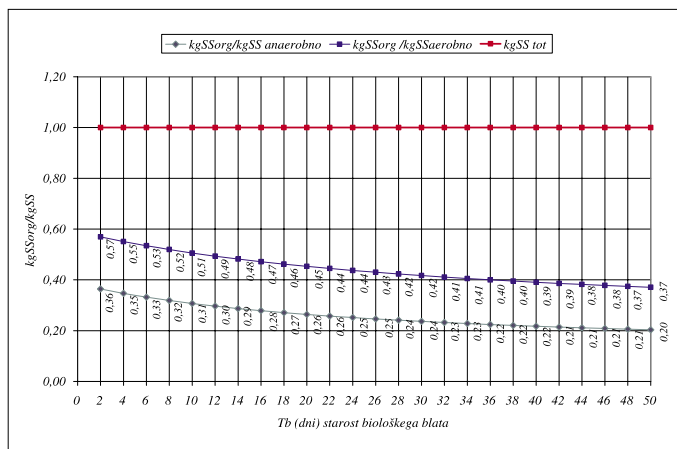
Prednost ima direktni sežig blata. Posušeno blato iz anaerobnega reaktorja po izplenu bioplina namreč še vedno vsebuje ostanek organske snovi, ki jo je treba sežgati, ker sicer blata ni mogoče odložiti na deponijah (slika 6).

Za direktni samosežig aerobnega blata (slika 6b) pri starosti biol. blata 8 do 20 dni pri ni-

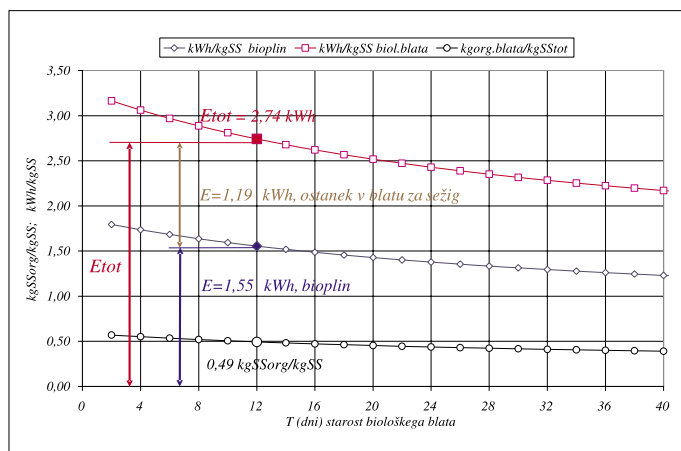
trifikaciji-denitrifikaciji efluenta na sliki 7, mora blato vsebovati najmanj 33 % sušine. Pri starosti biološkega blata $T_b = 12$ dni z organskim delom 49 % potrebuje blato za samosežig le ca. 34 % sušine (slika 7).

V drugem primeru (slike 4a, 6 in 8) pa se aerobno blato pred sežigom v gnilišču anaerobno obdelo kot na ljubljanski čistilni napravi (slika 9). Pri tem pa pade organski del blata z 49 % na 30 % (sliki 5 in 6). Za samosežig pa mora biti v blatu na račun bioplina za $(49-30)/49 = 39\%$ zmanjšana organska masa v anaerobnem reaktorju mehansko bolj dehidrirana na ca. 46 % sušine (slika 8).

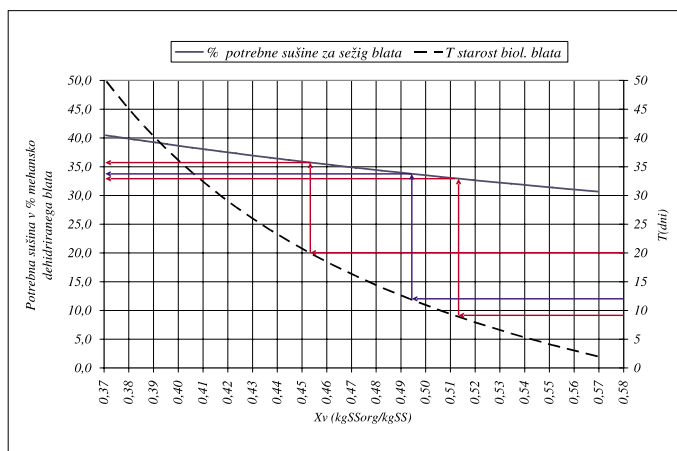
Pri slabši mehanski dehidraciji biološkega blata (preglednica 1) kot v slikah 7 in 8,



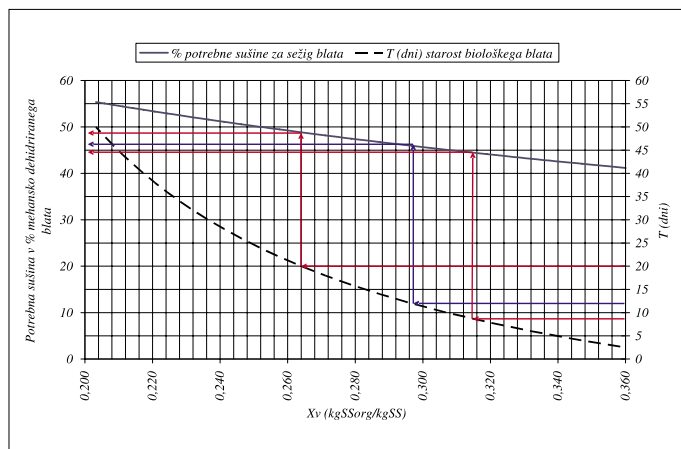
Slika 5 • Delež organske snovi v skupni suhi teži 1 kgSS odvečnega blata v odvisnosti od starosti biološkega blata po anaerobni in aerobni obdelavi blata; s starostjo blata upada vsebnost organske mase in s tem lastna energija za sežig blata (Rismal, 2003)



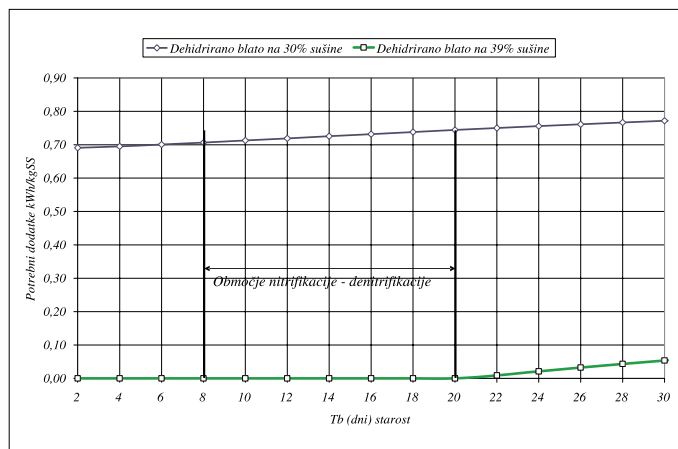
Slika 6 • Celotna energija organske mase v 1 kgSS suhe snovi biološkega blata in iz nje pridobljenega bioplina v odvisnosti od starosti biološkega blata; z direktnim sežigom blata izkoristimo njegovo energijo v enem, s predhodnim pridobivanjem bioplina za sušenje blata pa v dveh ločenih postopkih. Pri sušenju pa gre del energije v izgubo



Slika 7 • Območje sežiga aerobnega biol. blata z lastno energijo organ. dela; potrebna meh. dehidracija kgSS/kgblata v % za nitrifikacijo-denitrifikacijo efluenta potrebni starosti blata T_b s pripadajočo organsko maso v kgSSorg/kgSS na kilogram skupne suhe teže biološkega blata



Slika 8 • Območje sežiga anaerobnega biol. blata z lastno energijo org. dela; potrebna mehanska dehidracija kgSS/kg blata v % pri za nitrifikacijo-denitrifikacijo efluenta potrebni starosti blata T_b , s pripadajočo organsko maso v kgSSorg/kgSS na kilogram skupne suhe teže biološkega blata



Slika 9 • Primer potrebne zunanje energije za osušitev mehansko dehidriranega blata iz anaerobnega reaktorja od 30 % in 39 % na 90 % sušine (glej sliko 7 in 8); količina zunanje energije se večja s starostjo T_b aerobnega blata

samosožig blata ni mogoč. Zagotoviti je treba dodaten, zunanji vir energije. Če je mogoče, pa je blato treba sežgati s komunalnimi odpadki v skupni sežigalnici.

Količino zunanje energije za direkten sežig mehansko dehidriranega blata s 30 % do 39 % sušine lahko ocenimo, odvisno od njegove starosti T_b , iz diagrama 6. Blato večje starosti z manj organske snovi potrebuje za sežig več energije.

Na slikah 7 in 8 izračunane sovisnosti med organskim delom biološkega blata in potrebno sušino za energetsko samozadosten sežig blata, ki so dopolnjene s pripadajočimi starostmi blata (za obravnavane primere brez primarne sedimentacije), se ujemajo s podatki (Degremont 1973) v sliki 10.

Iz rezultatov prikazane analize direktnega in indirektnega sežiga blata iz obravnavanih čistilnih naprav brez in s sušenjem blata pred sežigom je mogoče povzeti naslednje zaključke:

1. Možnost direktnega sežiga blata je odvisna od stopnje predhodne mehanske dehidracije, od starosti blata oziroma od količine organskih snovi kot vira lastne energije. Pri čistilnih napravah III. stopnje, brez primarne sedimentacije in za nitrifikacijo-denitrifikacijo potrebni starosti blata med 8 in 20 dni, je treba blato pred sežigom mehansko dehidrirati nad ca. 33 % sušine (slika 7). Pri napravah III. stopnje s proizvodnjo bioplina za sušenje anaerobnega blata na 10 % sušine pa je treba zagotoviti zunanji vir energije.
2. Obdelava sekundarnega biološkega blata v gniliščih omogoča ca. 26 % nižjo proizvodnjo sušine blata. Pri za nitrifikacijo-denitrifikacijo

trifikacijo potrebni starosti blata med 8 in 20 dni pa lahko z energijo proizvedenega bioplina na 90 % osušimo le mehansko dehidrirano blato z nad 45 % do 50 % sušine (slika 8). Sicer je za osušitev blata na 10 % vlage potreben dodatni, zunanji vir energije.

3. Energija lastnega bioplina za sušenje anaerobnega blata v obravnavanih primerih torej ne zadostuje. Zato je postopek na sliki 4a v primerjavi z direktnim sežigom dehidriranega blata tehnološko, obratovalno in investicijsko zahtevnejši.

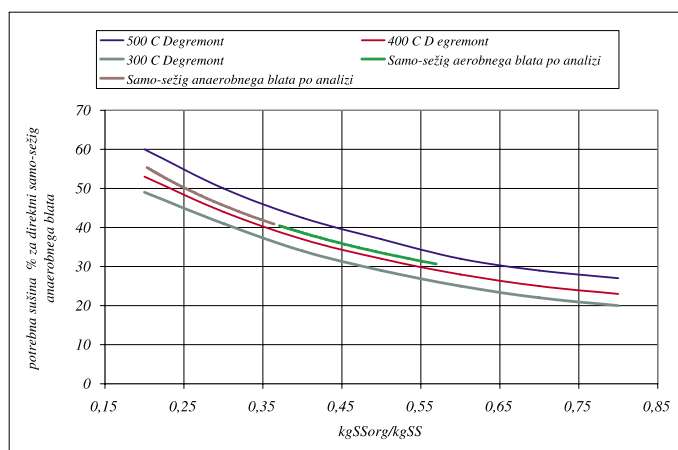
Odlaganje le posušenega blata na deponije z ostankom organskih snovi pa ni več dovoljeno.

4. Energetsko in ekonomsko je zato najprimernejši skupen sežig blata s komunalnimi odpadki. Blato iz čistilnih naprav je del vseh komunalnih odpadkov. Po logičnem konceptu, ki je doslej uspešno izveden edino v Celju, sodi na skupno sežigalnico komunalnih odpadkov. Ali, namesto dragega sušenja, je treba blato sežgati z viškom bioplina na delujočih deponijah.

5. Zaradi velikega deleža anorganskih snovi v blatu čistilnih naprav III.

stopnje v mešanih kanalizacijskih sistemih pa ostane pri sežigu blata v primerjavi z drugimi odpadki več pepela (slika 5).

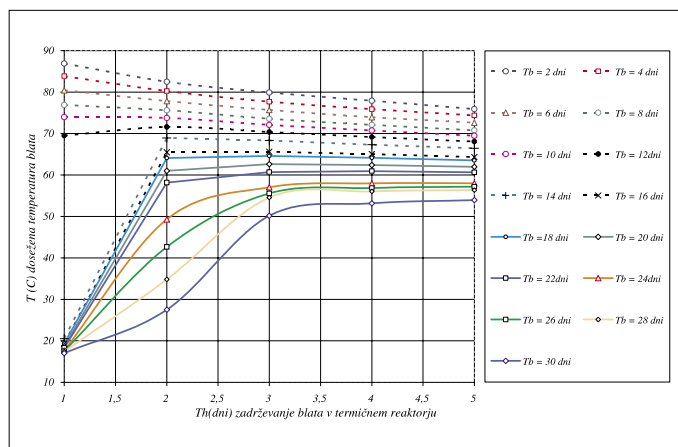
6. V slikah 2, 7 in 8 je razvidna prednost direktnega sežiga mehansko dehidriranega blata iz aerobnega reaktorja v enem postopku pred sežigom anaerobnega blata (slike 7, 8 in 9).
7. V tej luči je bila izgradnja drage sušilnice blata na ljubljanski čistilni napravi z gnilišči s proizvodnjo ca. 4000 m³/dan bioplina za sušenje anaerobnega blata negospodarna, saj ga je na ljubljanski deponiji na voljo desetkrat več (ca. 40.000 m³/dan). Samo manjši del tega bioplina bi bilo, namesto dragih gnilišč in sušilnice, mogoče izkoristiti za enostavnejši in cenejši neposredni sežig blata.



Slika 10 • Območje (Degremont, 1973) za sežig potrebne sušine blata v % v odvisnosti organskega blata v kgSSorg/kgSS se pokriva s podatki analize v slikah 7 in 8, upoštevajo pa tudi pripadajočo starost aerobnega blata T_b

4 • TERMIČNA AEROBNA STABILIZACIJA IN HIGIENIZACIJA BLATA

Na sliki 11 so podani rezultati računa termične stabilizacije biološkega blata na čistilnih napravah brez primarne sedimentacije. Popolna pasterizacija (70°C) blata z lastno energijo je v glavnem mogoča le (odvisno od deleža anorganskih snovi in toplotne izolacije termičnega reaktorja) pri napravah brez nitrifikacije. Higienizacijo in redukcijo količine blata pred odvozom na polja pa je mogoče ceneje in enostavneje zagotoviti v depojskih lagunah.



Slika 11 • Dosežena temperatura blata povprečne odpadne vode pri zadrževanju blata T_h v termičnem reaktorju v odvisnosti od starosti T_b biološkega blata

5 • SKLEP

Iz obravnavanih postopkov obdelave in končne dispozicije blata iz čistilnih naprav lahko povzamemo naslednje zaključke:

1. če je na voljo dovolj kmetijskih površin in če je stabilizirano higienizirano blato primerne kakovosti, ga je ekološko in ekonomsko najprimerneje uporabiti na poljih;
2. pri čistilnih napravah na ruralnih območjih v pogojih pod točko 1 je tehnično-ekonomsko najprimernejša aerobna stabilizacija blata v depojskih lagunah, če je zanje

prostor, ker je istočasno zagotovljena tudi samodejna higienizacija blata;

3. pri večjih čistilnih napravah III. stopnje pa je anaerobna stabilizacija blata s proizvodnjo bioplina za pogon čistilne naprave lahko ekonomsko-tehnološko utemeljena, če je za uporabo blata v kmetijstvu dovolj površin;
4. če ni dovolj površin, ostaja za končno dispozicijo blata sežig blata. V tehnično-ekonomskem pogledu je racionalen skupni

sežig na regijski sežigalnici komunalnih odpadkov kot je na primer izveden v Celju in na čistilni napravi Ruhleben v Berlinu (sliki 14, 16);

5. Žal pa takšne postopne, energetske in tehnično-ekonomske podprte rešitve blata niso uporabili pri največji slovenski čistilni napravi v Ljubljani; čeprav je na mestni deponiji na voljo ca. 10 krat več energije, so za sušenje blata zgradili gnilišča za ca. 4000 m³ bioplina in sušilnico blata s pripadajočimi napravami (sliki 13, 15); negospodarnost takšne rešitve dokazuje čistilni napravi v Celju in Ruhlebnu pri Berlinu (slike 12, 14, 16), kjer so na račun



Slika 12 • Tehnološko in prostorsko funkcionalna zasnova celjske čistilne naprave



Slika 13 • Tehnološko in prostorsko neracionalna zasnova čistilne naprave v Ljubljani



Slika 14 • Regionalna sežigalnica z direktnim sežigom mehansko dehidriranega aerobnega blata iz čistilne naprave in mestnih smeti v Celju



Slika 15 • Negospodarna gnilišča na ljubljanski čistilni napravi s pripadajočimi objekti za sušenje blata z lastnim in zemeljskim plinom. Zaradi prevelikega ostanka organskih snovi v posušenem blatu pa ostaja problem blata še naprej nerešen

- direktnega sežiga blata že pred 20 leti opustili proizvodnjo bioplina v 52.000 m³ velikih gniliščih; samo oprema za nepotrebno sušenje blata, brez gnilišč in drugih gradbenih objektov, na čistilni napravi v Ljubljani pa je stala – po podatkih dobavitelja opreme Andritz – 6,9 mio evrov;
6. prednost enofaznega postopka z direktnim sežigom aerobnega blata pred dvofaznim postopkom z bioplinom za sušenje temelji na dejstvu, da je za oba postopka na voljo enaka lastna energija blata. Zaradi toplotnih izgub pri sušenju blata z energijo bioplina se pri dvofaznem postopku porabi več energije kot pri enofaznem postopku z direktnim sežigom blata.
- Samozadostnost lastne energije blata za sežig pri čistilnih napravah z nitrifikacijsko-denitrifikacijo efluenta je odvisna od starosti biološkega blata in dosežene dehidracije blata pred direktnim sežigom, kot je za povprečne lastnosti odpadne vode vidno na slikah 7, 8 in 9.



Slika 16 • Pogled na čistilno napravo Ruhleben v Berlinu za 1,6 milijona PE, kjer so, enako kot v Celju, že pred 20 leti opustili 8 gnilišč z 52.000 m³ za proizvodnjo bioplina in zgradili sežigalnico za direkten sežig dehidriranega blata

6 • LITERATURA

- Eckenfelder, W.W., Industrial water pollution control, Mc.Graw – Hill, 1989.
- Rismal, M., Problematika lastne energetske oskrbe čistilnih naprav, Gradbeni vestnik 52. sept. 2003.
- Rismal, M., Zapiski predavanj iz predmeta čiščenje odpadnih vod IZH, FGG 1980–1997.
- Degremont, Water treatment handbook, Stephen Austin&Sons Ltd., strani 463, 464, 466, 1973.