

Toplogredni plini pri odvajanju in čiščenju odpadnih voda ter ravnanju z odvečnim blatom

GREENHOUSE GASES FROM COLLECTION AND TREATMENT OF WASTEWATER AND SEWAGE SLUDGE HANDLING

dr. Boštjan RAJH, univ. dipl. inž. str., IEI d.o.o.



KLJUČNE BESEDE: odpadne vode, odvečno blato iz čistilnih naprav, ogljični odtis, toplogredni plini
KEYWORDS: wastewater, sewage sludge, carbon footprint, greenhouse gases

Malokdo se zaveda, da prihaja do nastajanja emisij toplogrednih plinov tudi na področju odvajanja in čiščenja odpadnih voda. Ravnanje z odvečnim blatom, ki nastaja na čistilni napravi kot ostanek, povzroča v sistemu kanalizacije še dodatne emisije toplogrednih plinov. Toda, do kakšne skupne količine emisij toplogrednih plinov točno prihaja, dejansko ne ve nihče. Lahko jih pa dokaj natančno ocenimo s pomočjo ogljičnega odtisa in prav to bomo poskušali prikazati v tem prispevku na primeru kanalizacijskega sistema in čistilne naprave v aglomeraciji Gameljne v Sloveniji. Analiza je pokazala, da v sistemu kanalizacijske mreže in čistilne naprave nastajajo občutno manjše emisije toplogrednih plinov, kot pa jih povzroča uporaba pretočnih greznic. Pri ravnanju z odvečnim blatom se je izkazalo, da odlaganje in vnos v tla predstavljata veliko večjo obremenitev okolja kot pa različni termični načini ravnanja z odpadnim blatom, ki so v današnjem času najpogostejše v uporabi.

Few are aware that the collection and treatment of wastewater generates greenhouse gases. Handling of sewage sludge, which is generated in the wastewater treatment plant as a residue, causes additional greenhouse gas emissions in the sewerage system. But the precise total amount of greenhouse gases which is generated, is unknown. We can fairly accurately estimate it by using the carbon footprint technique. In this paper we will demonstrate this technique on a practical example of the sewerage system and wastewater treatment plant in the agglomeration Gameljne in Slovenia. The analysis showed that the sewerage system and wastewater treatment plant produce significantly less greenhouse gas emissions

than the use of septic tank systems. We found that handling of sewage sludge during disposal on landfills and agricultural use represents a much greater environmental burden than the various thermal treatment principles, which are nowadays commonly used.

Uvod

Po podatkih za leto 2013 [1] je delež prebivalcev v Sloveniji, katerih komunalne odpadne vode se prečiščujejo na čistilni napravi (ČN), 55 odstoten. To dejansko pomeni, da se uvrščamo med države, kjer je delež prebivalstva, priključenega na ČN, dokaj majhen in da slaba polovica prebivalstva še vedno uporablja greznice, od katerih so najbolj problematične pretočne greznice, ki močno obremenjujejo in onesnažujejo okolje. Glavni namen ČN je ustrezno očistiti odpadno vodo do takšne mere, da jo bo v skladu s predpisi in zahtevami vse strožje zakonodaje mogoče odvajati v okolje – bodisi ponikati v tla ali izpuščati v vodotoke [2].

Pomembno se je zavedati, da tudi na področju odvajanja in čiščenja odpadnih voda ter ravnanju z odvečnim blatom prihaja do nastanka nezanemarljivih količin emisij toplogrednih plinov (TPG), ki so glavni in najpomembnejši vir onesnaženja okolja ter povzročajo in vplivajo na globalne spremembe, ki so v današnjem času vse bolj opazne in pogostejše. Globalno segrevanje povzročajo emisije TPG in je posledica učinka tople grede, kar ima za posledico, da so na zemeljskem površju povišane temperature ozračja. Količine izpustov ogljikovega dioksida (CO₂) in drugih toplogrednih plinov za posamezen proces ali izdelek lahko ponazorimo s pomočjo ogljičnega odtisa in bo predstavljeno v nadaljevanju na sistemu kanalizacijskega sistema s ČN v aglomeraciji Gameljne.

Nastajanje emisij toplogredni plinov

Pri odvajanju in čiščenju odpadnih voda prihaja do različnih virov emisij TPG. Ti izvori so lahko nepo-

sredni ali posredni. Posredne emisije TPG so povezane s postopki obdelave odpadne vode. To so plini, ki nastajajo kot posledica fizikalnih-biokemijskih procesov obdelave. Neposredni izvori TPG so povezani z vsemi ostalimi aktivnostmi, ki so nujne za nemoteno delovanje celotnega sistema kanalizacije in ČN. To so poraba električne energije, dostava in uporaba kemikalij v ČN, odvoz odpadkov zbranih na vходу v ČN (tj. v lovilcu kamenja, na finih in grobih grabljah, peskolovu in ozračnem lovilcu maščob), odvoz odvečnega blata iz ČN in ravnanje z njim (odlaganje, vnos v tla – uporaba v kmetijske namene, sosežig, sežig) in podobno.

Za izdelavo dovolj kakovostnega ogljičnega odtisa, tj. dovolj dobre ocene količin nastalih TPG v celotnem sistemu kanalizacije in ČN, je potrebno najprej ugotoviti, kje sploh prihaja do njihovega nastajanja. Razdelimo jih lahko na naslednje kategorije:

Surova odpadna voda: je odpadna voda, ki priteka na ČN. Prihaja do tvorbe emisij metana (CH_4) kot posledica biološke razgradnje in bakterijske aktivnosti v cevovodih. CH_4 je raztopljen v odpadni vodi v tlačnih kot v gravitacijskih cevovodih. V primeru pojava anaerobnih pogojev lahko pride do emisij CH_4 še na črpališčih in skozi odprtine jaškov. V praksi pri obratovanju kanalizacijskega sistema do emisij CH_4 praviloma ne prihaja.

Odstranitev odpadkov na rešetkah in peskolovu: prevoz tovrstnih odpadkov z vozili na ustrezno odlagališče, kjer prihaja do nastajanja emisij CO_2 kot posledica porabe fosilnih goriv potrebnih za pogon vozil.

Primarna in anaerobna obdelava odpadnih voda: v gnilišču na ČN poteka anaerobna razgradnja organskih snovi, kar pomeni razgradnjo brez prisotnosti kisika. Bistveni in ključni za anaerobno presnovo sta dve vrsti bakterij, to so kislinske in metanske bakterije. Produkt gnitja je anaerobno stabilizirano blato in bioplin (mešanica CO_2 in CH_4). Nastali CH_4 je mogoče koristiti za sežig na bakli ali za proizvodnjo električne energije na sami lokaciji ČN. Z zgorevanjem CH_4 ne pride do doprinosa h globalnemu segrevanju pod pogojem, da je vhodna biokemijska obremenitev iz obnovljivega ogljika, npr. hrane. Prispevek k emisijam TPG nastane zaradi sproščanja CH_4 iz anaerobno obdelanega blata. Do emisij CH_4 prihaja tudi skozi razpoke v zaprtem sistemu cevovodov, anaerobnih gniliščih (digestorjih) in opreme za proizvodnjo električne energije. Prihaja tudi do emisij didušikovega oksida (N_2O) pri sežigu bioplina.

Biološka obdelava odpadnih voda: kot glavni produkt nastaja CO_2 , ki je ogljično nevtralen razen v primeru, ko prihaja pri biološki obdelavi do dodatnih vnosov ogljika (npr. metanola). V kolikor je potrebno odstranjevanje dušikovih spojin, lahko prihaja do potencialno pomembnih ubežnih emisij N_2O iz procesa nitrifikacije in denitrifikacije.

Uporaba kemikalij: prevoz kemikalij do lokacije ČN, ki so potrebne za njeno delovanje in s tem uporaba fosilnih goriv za pogon vozil dodatno ustvarja emisije TPG.

Odstranjevanje obdelanega blata: prevoz obdelanega blata z vozili na končno izbrano obdelavo blata vodi do emisij CO_2 kot posledica zgorevanja fosilnih goriv. Do emisij CH_4 in N_2O (različne stopnje in odvisno od stabilnosti obdelanega blata) prihaja pri odlaganju in/ali koriščenju na kmetijskih zemljiščih, sosežigu ali sežigu.

Individualni in drugi sistemi zbiranja in obdelave odpadnih voda (mala komunalna čistilna naprava (MKČN), pretočne in nepretočne greznice): v teh sistemih prihaja do anaerobne razgradnje, pri čemer nastajajo emisije CH_4 , N_2O in CO_2 .

Metodologija ocene emisij TPG

Osnova za pravilno in dovolj natančno oceno nastalih količin TPG je uporaba ustreznih specifičnih faktorjev emisij TPG za posamezne procese, ki so podani v ustrezni literaturi, medtem ko se lahko točna količina TPG določi le z merjenjem. Merjenje količin nastalih TPG v sistemu kanalizacije je zaradi velike površine, skozi katere prihaja do izhlapevanja in difuzije plinov v okoliški zrak, zelo zapleteno.

Glavni plini, ki nastajajo v sistemu kanalizacije in ČN ter dajejo prispevek k globalnemu segrevanju ozračja, so:

- ogljikov dioksid (CO_2),
- metan (CH_4) in
- didušikov oksid (N_2O).

| SNOV | POTENCIAL GLOBALNEGA SEGREVANJA |
|----------------------|---|
| CO_2 | 1 kg CO_2 -e |
| CH_4 | 25 kg CO_2 -e/kg CH_4 |
| N_2O | 298 kg CO_2 -e/kg N_2O |

Tabela 1: Potencial globalnega segrevanja za različne pline, ki nastajajo pri delovanju kanalizacijskega sistema in ČN [3]

Vsi TPG nimajo enakega potenciala globalnega segrevanja. Zaradi poenostavitve izračunavanja se masa vsakega izmed toplogrednih plinov običajno prevaja v enoto ekvivalenta ogljikovega dioksida (CO₂-e), s čimer se učinek vseh različnih toplogrednih virov zvede na skupni imenovalac. Pri tem se upoštevajo fizikalno-kemijske lastnosti plina in ocenjena njegova življenjska doba v ozračju. Potencial globalnega segrevanja teh plinov je podan v tabeli 1.

Faktorji emisij TPG posameznih procesov in postopkov, ki se najpogosteje pojavljajo v praksi v sklopu delovanja kanalizacijskega sistema in ČN ter ravnanja z odvečnim blatom, so prikazani v tabeli 2.

Večini je poznano, da uporaba pretočnih greznic povzroča emisije TPG, toda do kakšne količine prihaja, natančno ne ve nihče, saj prihaja do pomanjkanja zanesljivih podatkov, ker jih večina temelji na različnih metodologijah in teoretično predpostavljenih modelih, ki pa niso podkrepjeni in validirani z eksperimentalnimi meritvami. Tako lahko le ocenimo okvirno količino emisij TPG, ki nastajajo iz pretočnih greznic z izpustom v okolje kot [13]:

$$(1) \quad \text{CO}_2\text{-e} \left[\frac{\text{ton}}{\text{leto}} \right] = 0,2208 \cdot \text{PE}$$

Enačba (1) temelji na IPCC metodologiji (2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories), kjer

je ocenjeno, da se sprošča iz pretočnih greznic le metan (CH₄) in tako vsaka populacijska enota (PE¹) povzroča dnevno 24,20 gramov emisij CH₄.

Raziskovalci so s pomočjo eksperimentalnih meritev [8], [9] ugotovili, da se iz pretočnih greznic sprošča le slaba polovica količine CH₄, ki jo predvideva IPCC metodologija, in sicer v povprečju 11 g na prebivalca dnevno. Dodatno je bilo ugotovljeno [9], da se poleg CH₄ sproščata iz pretočnih greznic v ozračje v znatno manjši količini še CO₂ (33,3 g) in N₂O (0,005 g).

Tako naj bi uporaba pretočnih greznic prispevala v ozračje manjšo količino TPG, kot jo predvideva IPCC metodologija in se giblje na letni ravni:

$$(2) \quad \text{CO}_2\text{-e} \left[\frac{\text{ton}}{\text{leto}} \right] = 0,1131 \cdot \text{PE}$$

V splošnem je tvorba CH₄ temperaturno občutljiva, ampak ugotovitve kažejo, da temperatura znotraj pretočne greznice ne vpliva na njihovo količino, ki se sprošča v ozračje, tako da so pridobljeni podatki uporabni v širšem okolju in v različnih podnebnih pasovih po svetu.

Primer izračuna ogljičnega odtisa: aglomeracija Gameljne v Sloveniji

Aglomeracijo Gameljne [11] (ID aglomeracije 3637) sestavljajo tri naselja. To so Zgornje, Srednje in Spodnje Gameljne, kjer prebiva 1.875 prebivalcev. Trenutno je s

| IZVOR NASTAJANJA CO ₂ | FAKTOR EMISIJE CO ₂ -e | ENOTA | IZVOR PODATKOV |
|--|-----------------------------------|---|----------------|
| proizvedena električna energija (Slovenija) za obdobje 2008–2013 | 0,492 | kg CO ₂ -e/kWh | [4] |
| gorivo za pogon vozil (dizel) | 2,68 | kg CO ₂ -e/l | [5] |
| gorivo za pogon vozil (bencin) | 2,31 | kg CO ₂ -e/l | [5] |
| poraba goriva tovornjaka | 0,29 | l/km | [6] |
| proizvodnja kemikalij (FeCl ₃ 40 %) | 0,719 | kg CO ₂ -e/kg | [10] |
| proizvodnja kemikalij (polielektrolit) | 1,57 | kg CO ₂ -e/kg | [10] |
| proizvodnja kemikalij (NaOCl 15 %) | 0,813 | kg CO ₂ -e/kg | [10] |
| proizvodnja kemikalij (metanol) | 0,2 | kg CO ₂ -e/kg | [7] |
| IZVOR NASTAJANJA N ₂ O | FAKTOR EMISIJE CO ₂ -e | ENOTA | IZVOR PODATKOV |
| sekundarna obdelava odpadnih vod | 0,01–0,05 | kg N ₂ O-N/kg N denit. | [7] |
| terciarna obdelava odpadnih vod | 0,05 | kg N ₂ O-N/kg N denit. | [7] |
| odlaganje blata na odlagališču | 0,0082 | kg N ₂ O-N/kg N odloženega | [7] |
| vnos blata na kmetijske površine | 0,0159 | kg N ₂ O-N/kg N odloženega | [7] |
| izpust očiščene/neočiščene odpadne vode v vodotok | 0,0015 | kg N ₂ O-N/kg N v izpuščeni odpadni vodi | [3] |
| IZVOR NASTAJANJA CH ₄ | FAKTOR EMISIJE CO ₂ -e | ENOTA | IZVOR PODATKOV |
| presnova/uhajanje plinov iz anaerobnega gnitja | 1 % | % od skupno proizvedenega bioplina | [7] |
| nezgoreli metan pri sežigu blata | 0,0034 | kg CH ₄ /kg CH ₄ sežganega | [7] |
| odlaganje blata na odlagališču | 0,00283 | kg CH ₄ /kg odložene SS ² | [7] |
| vnos blata na kmetijske površine | 0,0041 | kg CH ₄ /kg odložene SS | [7] |

Tabela 2: Faktorji emisij TPG posameznih procesov in postopkov

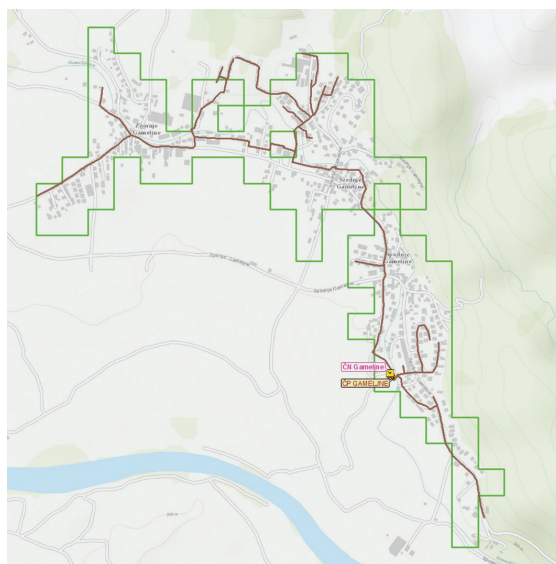
¹ enota za obremenitev vode, ki ustreza onesnaženju, ki ga povzroči en prebivalec na dan.

² SS - suha snov

kanalizacijskim sistemom pokritih 64 % aglomeracije v skupni dolžini kanalizacijske mreže 5.979 metrov. Ostali prebivalci (36 %), ki niso priključeni na kanalizacijski sistem, še vedno uporabljajo pretočne greznice. Odpadne vode se iz kanalizacijskega sistema vodijo na ČN Gameljne, zmogljivosti 1.500 PE. Na ČN poteka primarna in sekundarna stopnja čiščenja z denitrifikacijo, tj. biološkim odstranjevanjem dušika. Naprava je zasnovana po principu SBR tehnologije. Očiščena voda odteka v reko Savo. ČN obratuje v okviru pričakovanih parametrov na iztoku in okolja ne obremenjuje prekomerno. V letu 2014 je bil učinek čiščenja glede na parameter KPK 97,71 %, na parameter BPK₅ pa 97,78 % [12].

ČN Gameljne sodi med manjše ČN. Zalogovniki za odvečno blato so locirani na sami liniji blata. Nastalo odvečno blato pri biološkem čiščenju na ČN se s cisternami odpelje v obdelavo na centralno čistilno napravo (CČN) Ljubljana, saj so količine odvečnega blata na tovrstnih ČN majhne in predstavlja najbolj optimalno ravnanje odvoz odvečnega blata v tekočem stanju (vsebnost SS 1,3 %) v nadaljnjo obdelavo na CČN Ljubljana. Na ČN Gameljne je v letu 2014 nastalo 482 m³ odvečnega blata v tekočem stanju (1,3 % SS) oziroma 6,27 t SS.

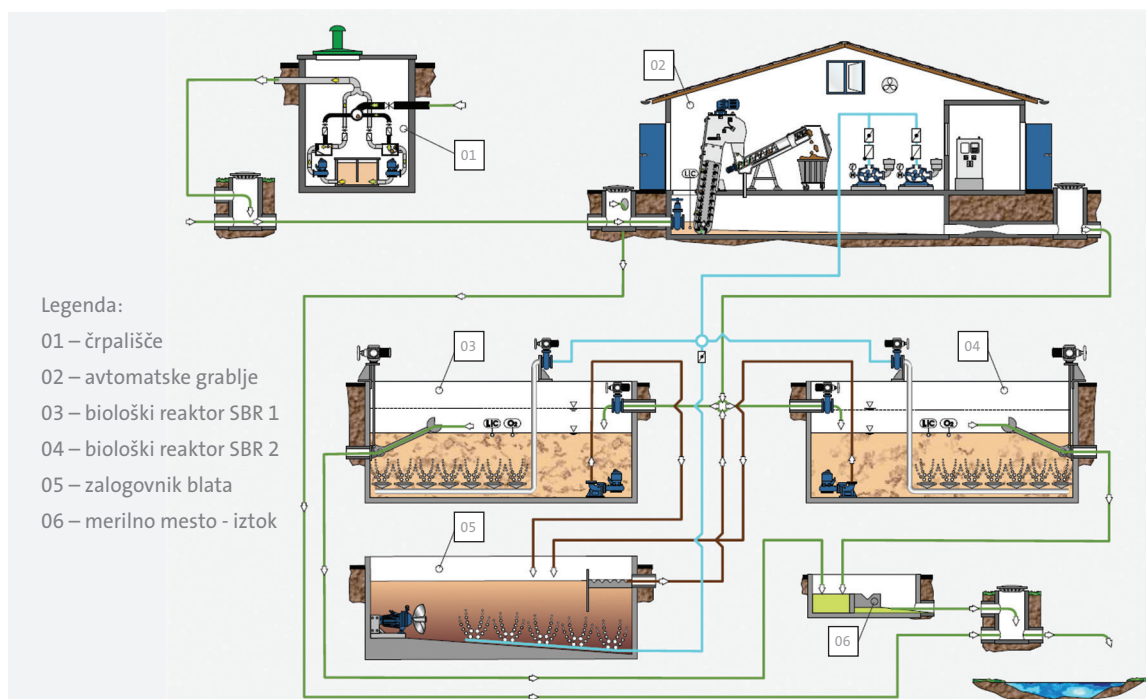
Tekoče blato, ki ga pripeljejo na CČN Ljubljana se sprejme v objektu za sprejem grezničnih gošč in blata. Nato se blato prečrpa v gnilišče, kjer se približno 20 dni anaerobno stabilizira. Ob tem nastaja bioplin, ki ima vsebnost CH₄ 60–63 %. Bioplin, ki nastaja pri anaerobnem procesu, se porabi za ogrevanje gnilišč in v procesu za sušenje blata. Sledi postopek obdelava blata, kjer se blato najprej strojno zgošča na centrifugi do 20–22 %



Slika 1: Kanalizacijski sistem s ČN v aglomeraciji Gameljne (Vir: Vo-Ka Ljubljana)

SS, nato v mešalniku premeša z osnovnim materialom (posušeno blato, ki ni ustrezalo kvaliteti končnega produkta) in gre s približno 60 % SS v postopek sušenja v sušilni boben. Končni produkt je sipek in higieniziran odpadki v obliki pelet premera 2–4 mm in je posušen na več kot 90 % SS.

V tabeli 3 in 4 je predstavljen ogljični odtis za delovanje celotnega kanalizacijskega sistema in ČN v aglomeraciji Gameljne. V izračunu je upoštevan tudi prevoz odvečnega blata v tekočem stanju (1,3 %SS) s cisternami iz ČN v nadaljnjo obdelavo na CČN Ljubljana, kjer so upoštevane še emisije iz gnilišča in procesa zgoščanja blata.



Legenda:

- 01 – črpališče
- 02 – avtomatske grablje
- 03 – biološki reaktor SBR 1
- 04 – biološki reaktor SBR 2
- 05 – zalogovnik blata
- 06 – merilno mesto - iztok

Slika 2: Tehnološka shema ČN Gameljne (Vir: Vo-Ka Ljubljana)

| 1. NASTAJANJE CO ₂ | | | | | | |
|--|-------------------------------|---|----------|--------------------------------|---|--|
| Električna energija | | | | PORABA EL. ENERGIJE [kWh/leto] | FAKTOR EMISIJE CO ₂ -e [kg CO ₂ -e/kWh] | KOLIČINA EMISIJ [kg CO ₂ -e/leto] |
| ČN + črpališče | | | | 46583 | 0,492 | 22918,836 |
| Transport | "PORABA GORIVA VOZILA [l/km]" | DVOJNA RAZDALJA OD ČN GAMELJNE DO MESTA OBDELAVE [km] | KOLIČINA | ŠTEVILO ODVOZOV [št./leto] | FAKTOR EMISIJE [kg CO ₂ -e/l] | KOLIČINA EMISIJ [kg CO ₂ -e/leto] |
| "Odvoz tekočega blata (1,3 %SS) v obdelavo na CČN Ljubljana [m ³]" | 0,29 | 28 | 482 | 49 | 2,68 | 1066,3184 |
| Odpadki na finih grabljah [t] | 0,29 | 40 | 0,411 | 1 | 2,68 | 31,088 |
| Poraba kemikalij na ČN | | | | | | |
| Kemikalij se na ČN Gameljne ne uporablja | | | | | | |
| Količina emisij CO₂-e | | | | | | 24016,2424 |

| 2. NASTAJANJE NO ₂ | | |
|------------------------------------|-----------------------------------|----------|
| Parameter | ENOTA | KOLIČINA |
| Količina denitrificiranega dušika | kg/leto | 4062 |
| Faktor emisije | kg N ₂ O-N/kg N denit. | 0,025 |
| Proizvodnja N ₂ O | kg N ₂ O-N/leto | 101,55 |
| Količina emisij CO ₂ -e | kg CO ₂ -e/leto | 30261,9 |

| 3. OCENJENA SKUPNA LETNA KOLIČINA EMISIJ CO ₂ -e ZA DELOVANJE CELOTNE KANALIZACIJSKE MREŽE VKLJUČNO S CELOTNIM DELOVANJEM ČN IN PREVOZOM TEKOČEGA BLATA V OBDELAVO NA CČN LJUBLJANA | |
|--|---------------------------------------|
| Letna količina emisij CO ₂ -e | 54278,1424 kg CO ₂ -e/leto |
| Letna količina emisij CO ₂ -e | 54,2781424 t CO ₂ -e/leto |

| 4. OCENJENA LETNA KOLIČINA EMISIJ CO ₂ -e NA POPULACIJSKI EKVALENT (PE) ZA KANALIZACIJSKI SISTEM IN ČIŠČENJEM ODPADNE VODE NA ČN BREZ OBDELAVE BLATA NA CČN LJUBLJANA | |
|--|---------------------------------------|
| Celotna obremenitev ČN | 1288 PE |
| Letna količina emisij CO ₂ -e | 42,1414 kg CO ₂ -e/PE/leto |
| Letna količina emisij CO ₂ -e | 0,0421 t CO ₂ -e/PE/leto |

Tabela 3: Ogljični odtis za delovanje kanalizacijskega sistema s ČN v aglomeraciji Gameljne in prevozom tekočega blata iz ČN v nadaljnjo obdelavo na CČN Ljubljana

Iztok prečiščene odpadne vode iz ČN v vodotok še dodatno poveča celotni ogljični odtis in prispeva k nastajanju emisij N₂O. V preteklosti, ko so bile v uporabi pretočne greznice, je bila obremenitev vodotoka še veliko večja, saj je neprečiščena odpadna voda v večji meri neposredno odtekala v vodotok. Primerjava obremenitve vodotoka je prikazana v tabeli 5.

Iz slike 3 je razviden celoten ogljični odtis na populacijsko enoto, kjer lahko ugotovimo, da v današnjem času v aglomeraciji Gameljne ena populacijska enota ustvari občutno manj emisij TPG, kot pa jih je v preteklosti, ko je uporabljala pretočno greznico.

Emisije TPG za različne možne načine pri ravnanju z odvečnim blatom iz CČN Ljubljana

Ustrezno ravnanje z odvečnim blatom, ki nastaja na CČN kot ostanek, povzroča v sistemu kanalizacije dodatne emisije TPG. Postopek obdelave blata na CČN

Ljubljana (360.000 PE) obsega objekte in naprave za obdelavo odvečnega blata, nastalega na CČN in tujega sprejetega blata. Pripeljano odvečno blato v obdelavo iz drugih ČN (kot je npr. ČN Gameljne) in blato iz obstoječih greznic in MKČN se sprejema v objektu za sprejem vsebine greznicnih gošč, od koder se vodi v gnilišče in od tu v nadaljnjo obdelavo blata. Letna količina blata, proizvedenega na CČN znaša 4.000 t SS.

V nadaljevanju na sliki 4 so prikazani ogljični odtisi za različne možne načine ravnanja z odvečnim blatom na CČN, in sicer za najslabši možen scenarij (angl. worst case) in realen scenarij, do katerega prihaja običajno v praksi [14]. Upoštevani sta dve najbolj pogosti možni vhodni obliki odvečnega blata: biološko stabilizirano in mehansko dehidrirano blato (21 % SS) ter posušeno blato (91 % SS). Predstavljene emisije TPG veljajo le za ravnanja po dehidraciji odvečnega blata, ne pa tudi za čiščenje vode in zgoščanje blata na CČN Ljubljana [14]. Trenutno se posušeno blato

| 1. NASTAJANJE CO ₂ | | | | |
|--|---|-----------------------------------|---|--|
| Poraba električne energije | KOLIČINA TEKOČEGA BLATA PRIPELJANA IZ ČN GAMELJNE (1,3 %SS) [m ³] | PORABA EL. ENERGIJE [kWh/leto] | FAKTOR EMISIJE CO ₂ -e [kg CO ₂ -e/kWh] | KOLIČINA EMISIJ [kg CO ₂ -e/leto] |
| "Prečrpavanje tekočega blata v gnilišče (pogon črpalke 3kW, 10 m ³ /h)" | 482 | 144,60 | 0,492 | 71,14 |
| Prečrpavanje vsebine gnilišča za njegovo delovanje, da se blato ogreva (pogon črpalke 19kW, 200 m ³ /h) | 482 | 45,79 | 0,492 | 22,53 |
| Strojno zgoščanje blata | 482 | 719,26 | 0,492 | 353,87 |
| Presnova/uhajanje plinov iz anaerobnega gnitja | "PROIZVEDENA KOLIČINA BIOPLINA IZ PRIPELJANE KOLIČINE TEKOČEGA BLATA IZ ČN GAMELJNE [Nm ³]" | PROIZVEDENA KOLIČINA BIOPLINA [t] | FAKTOR EMISIJE CO ₂ -e [%] | KOLIČINA EMISIJ [kg CO ₂ -e/leto] |
| Bioplina v gnilišču [Nm ³] | 2.626 | 3.517 | "1% od skupno proizvedene količine" | 35167,20 |
| Poraba kemikalij za zgoščanje blata | KOLIČINA NASTALEGA IN ODSTRANJENEGA BLATA NA ČN GAMELJNE (100 %SS) [t] | "PORABA KEMIKALIJ [kg/leto]" | FAKTOR EMISIJE CO ₂ -e [kg CO ₂ -e/kg] | KOLIČINA EMISIJ [kg CO ₂ -e/leto] |
| Polielektrolit | 6,266 | 43,16 | 1,57 | 67,75 |
| Količina emisij CO₂-e | | | | 35682,50 |

| 2. OCENJENA SKUPNA LETNA KOLIČINA EMISIJ CO ₂ -e ZA OBDELAVO TEKOČEGA BLATA IZ ČN GAMELJNE NA CČN LJUBLJANA | |
|--|--|
| Letna količina emisij CO ₂ -e | 35682,50 kg CO ₂ -e/leto |
| Letna količina emisij CO ₂ -e | 35,6824995334849 t CO ₂ -e/leto |

| 3. OCENJENA LETNA KOLIČINA EMISIJ CO ₂ -e NA POPULACIJSKI EKVIVALENT (PE) ZA OBDELAVO TEKOČEGA BLATA IZ ČN GAMELJNE NA CČN LJUBLJANA | |
|---|---------------------------------------|
| Celotna obremenitev ČN | 1288 PE |
| Letna količina emisij CO ₂ -e | 27,7038 kg CO ₂ -e/PE/leto |
| Letna količina emisij CO ₂ -e | 0,0277 t CO ₂ -e/PE/leto |

Tabela 4: Ogljični odtis za obdelavo tekočega blata iz ČN Gameljne na CČN Ljubljana

| | POVPREČNA KONCENTRACIJA CELOTEN N NA IZTOK IZ ČN OZ. PRETOČNE GREZNICE [mg/l] | POVPREČNA DNEVNA PORABA NA PREBIVALCA [l/PE] | OBREMENITEV VODOTOKA S CELOTNIM N [kg/PE/leto] | FAKTOR EMISIJE CO ₂ -e [kg NO ₂ -N/kg N v IZPUŠČENI ODPADNI VODI] | EMISIJE CO ₂ -e [kg CO ₂ -e/PE/leto] |
|-------------------|---|--|--|---|--|
| ČN Gameljne | 10,6 | 150 | 0,931 | 0,0015 | 0,416157 |
| Pretočna greznica | 46,5 | 150 | 2,495 | 0,0015 | 1,115265 |

Tabela 5: Ogljični odtis za iztok prečiščene/neprečiščene odpadne vode iz ČN oziroma pretočne greznice v vodotok

(91 % SS) iz CČN Ljubljana v glavnini sosežiga v cementarni Anhovo.

V okviru najslabšega možnega scenarija je v izračunu upoštevano [14], da je pri toplotni obdelavi odvečnega blata popolna pretvorba celotnega (organskega in anorganskega) ogljika v CO₂, pri odlaganju pretvorba TOC v deponijski plin (CH₄:CO₂ = 60:40 vol. %), ki se ne izkorišča, pri vnosu v tla popolna pretvorba TOC v CO₂ in popolna pretvorba celotnega dušika (N) v N₂O, bioplina iz gnilišča ter CO₂ iz biogenega dela blata pa ni odštet. V okviru realnega scenarija je upoštevano [14], da se 50 % deponijskega plina izrabi, le 10 % N se ga emitira kot N₂O, 50 % CO₂ iz blata je biogenega in gniliščni plin je biogen, tj. CO₂ nevtralen.

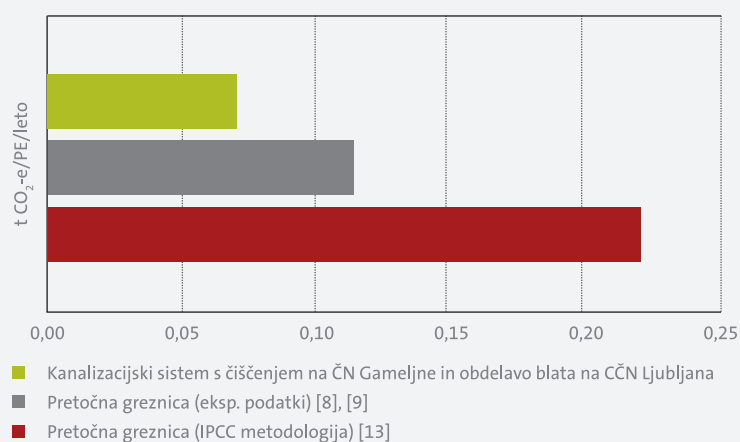
Iz slike 4 lahko razberemo, da odlaganje in vnos v tla povzročata največji toplogredni vpliv in sta zato

v današnjem času povsem neprimerna ter veljata za preteklo prakso. Vsi termični načini ravnanja imajo manjše ogljične odtise, saj izrabljajo toplotno vsebnost suhe snovi blata in veljajo v današnjem času za najpogostejši izbrani način ravnanja z odvečnim blatom iz ČN. Najmanjši ogljični odtis pri ravnanju z odvečnim blatom ima sosežig dehidriranega blata s trdnimi gorivi, kot je na primer premog, biomasa in goriv iz odpadkov (RDF).

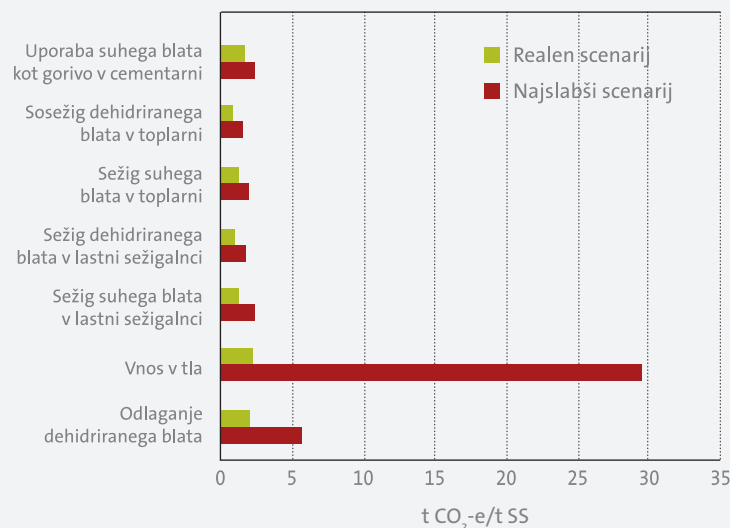
Zaključek

Na podlagi opravljene analize smo ugotovili, da je v preteklosti v aglomeraciji Gameljne, ko so bile v uporabi pretočne greznice prihajalo do veliko večjih emisij TPG in posledično večjega ogljičnega odtisa kot pa to prihaja danes, ko je pretočne greznice nadomestil sodobni kanalizacijski sistem s ČN. Z izgradnjo

Ocenjena letna količina CO₂-e na PE v aglomeraciji Gameljne



Slika 3: Ogljični odtis za kanalizacijski sistem s čiščenjem odpadne vode na ČN Gameljne vključno z obdelavo blata na CČN Ljubljana in za uporabo pretočne greznice



Slika 4: Ogljični odtis za različne možne načine ravnanja z odvečnim blatom iz CČN Ljubljana za najslabši in realen scenarij [14], [15]

sistema kanalizacije in ČN tako pride do zmanjšanja emisij TPG na tistih področjih, kjer so pretočne greznice izvzete iz uporabe. V prihodnosti bo izziv vsekakor še dodatno zmanjšanje ogljičnega odtisa, kar pa zagotovo ne bo enostavna naloga.

Ogljični odtis v aglomeraciji Gameljne se lahko v prihodnosti še dodatno zmanjša z razširitvijo kanalizacijske mreže na področje, kjer so pretočne greznice še vedno v uporabi kot tudi z opustitvijo delovanja obstoječe ČN Gameljne in navezavo kanalizacijske mreže neposredno na CČN Ljubljana, saj je električna energija pri delovanju celotnega kanalizacijskega sistema s ČN velik porabnik in posledično prispeva velik del emisij TPG k skupnemu ogljičnemu odtisu. V kolikor bi v Sloveniji pridobivali električno energijo iz okoljsko prijaznejših obnovljivih virov energije v še večjem deležu kot pa je to danes, bi bil toplogredni vpliv lahko še veliko manjši.

ZAHVALA

Zahvala gre Javnemu podjetju Vodovod–Kanalizacija Ljubljana, še posebej Boštjanu Mišmašu, Mojci Vrbančič, Blažu Horvatu in Roku Babiču za pridobitev vseh potrebnih podatkov kanalizacijskega sistema s ČN v aglomeraciji Gameljne in CČN Ljubljana.

Literatura:

1. Dajana PAVLIČ, Presoja možnosti trajnostne oskrbe prebivalstva z vodo na Krasu, magistrska naloga, 2015.
2. Tanja PANGERL, Skoraj polovica Slovenije uporablja greznice, revija EOL, št. 68, 2014, <http://www.zelenaslovenija.si/revija-eol/-arhiv-stevilk-eol/1577-embalaza-okolje-logistika-68> (26. 09. 2016).
3. David de HAAS, Jeff FOLEY, Paul LANT, Energy and greenho-

use footprints of wastewater treatment plants in South-east Queensland, 2009.

4. <http://www.rcp.ijs.si/ceu/sl/izpusti-co2tgp-na-enoto-elektricne-energije> (04. 10. 2016).
5. Nataša ŽEROVNIK, Izračun ogljičnega odtisa gospodinjstev v občini Nazarje ter primerjava s Slovenijo in Evropo, diplomsko delo, 2012.
6. MAN kamion damper. MAZ-MAN Damper 6*4.
7. David de HAAS, Jeff FOLEY, Keith BARR, Greenhouse Gas Inventories From WWTPs-The Trade-off With Nutrient Removal, Sustainability 2008 Green Practices for the Water Environment, Maryland, 2008.
8. Harold L. LEVERENZ, George TCHOBANOGLIOUS, Jeannie L. DARBY, Evaluation of greenhouse gas emissions from septic systems, Water Environment Research Foundation, 2010.
9. Libia R. DIAZ-VALBUENA, Methane, Carbon Dioxide, and Nitrous Oxide Emissions from Septic Tank Systems, Environ. Sci. Technol. 45, 2741–2747, 2011.
10. Chefingeniør Christian Stamer, Hvor står afsaltning energimæssigt?, Krüger A/S.
11. Program odvajanja in čiščenja komunalne in padavinske odpadne vode za obdobje 2013 – 2016, Javno podjetje Vodovod-Kanalizacija Ljubljana, 2012.
12. <http://www.vo-ka.si/o-druzbi/odvajanje-ciscenje-odpadne-vode/cistilna-naprava-gameljne> (04.10.2016).
13. European Investment Bank Induced GHG Footprint, The carbon footprint of projects financed by the Bank, Methodologies for the Assessment of Project GHG Emissions and Emission Variations, version 10.1, 2014.
14. Renata Janja SLOVŠA, Viktor GRILC, Ogljični odtis alternativnih načinov ravnanja z odvečnim blatom bioloških čistilnih naprav, Gospodarno in odgovorno! : Strokovno posvetovanje 2014, 151-157, 2014.
15. Renata Janja SLOVŠA, Analysis of alternative chances for sludge treatment at new central waste water treatment plant: master's thesis, 2016.