

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA ZOOTEHNIKO

Rozalija ILC

**VSEBNOST Cd IN Zn V BIOLOŠKO
RAZGRADLJIVIH ODPADKIH PRED IN PO
FERMENTACIJI V BIOPLINSKI NAPRAVI TER
PRAVNI VIDIKI OBRAVNAVANEGA PROBLEMA**

MAGISTRSKO DELO
Magistrski študij – 2. stopnja

Ljubljana, 2016

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA ZOOTEHNIKO

Rozalija ILC

**VSEBNOST Cd IN Zn V BIOLOŠKO RAZGRADLJIVIH ODPADKIH
PRED IN PO FERMENTACIJI V BIOPLINSKI NAPRAVI TER
PRAVNI VIDIKI OBRAVNAVANEGA PROBLEMA**

MAGISTRSKO DELO
Magistrski študij - 2. stopnja

**THE CONTENT OF Cd AND Zn IN BIODEGRADABLE WASTE
BEFORE AND AFTER FERMENTATION IN A BIOGAS PLANT AND
LEGAL ASPECTS OF PROBLEM**

M. SC. THESIS
Master Study Programmes

Ljubljana, 2016

Magistrsko delo je zaključek Magistrskega študijskega programa Ekonomika naravnih virov. Delo je bilo opravljeno na Katedri za agrarno ekonomiko, politiko in pravo, Oddelka za zootehniko Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani. Podatki za analizo so bili pridobljeni na Katedri za pedologijo in varstvo okolja, na oddelku za agronomijo Biotehniške fakultete.

Komisija za študij 1. in 2. stopnje Oddelka za zootehniko je odobrila naslov magistrskega dela in imenovala za mentorja doc. dr. Roka Miheliča in somentorja prof. dr. Francija Avsca. Za recenzenta je bil imenovan prof. dr. Luka Juvančič.

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik: prof. dr. Emil ERJAVEC
Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za zootehniko

Član: doc. dr. Rok MIHELIC
Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo

Član: prof. dr. Franci AVSEC
Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za zootehniko

Član: prof. dr. Luka JUVANČIČ
Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za zootehniko

Datum zagovora:

Podpisana izjavljam, da je magistrsko delo rezultat lastnega raziskovalnega dela. Izjavljam, da je elektronski izvod identičen tiskanemu. Na univerzo neodplačno, neizključno, prostorsko in časovno neomejeno prenašam pravici shranitve avtorskega dela v elektronski obliki in reproduciranja ter pravico omogočanja javnega dostopa do avtorskega dela na svetovnem spletu preko Digitalne knjižnice Biotehniške fakultete.

Rozalija Ilc

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

ŠD	Du2
DK	UDK 628.336.6:620.97:602.42-7(043.2)=163.6
KG	bioplin / bioplinske naprave / organski gospodinjski odpadki / toksične kovine / kadmij / cink / zakonodaja
AV	ILC, Rozalija, dipl. inž. kmet. zoot. (VŠŠ)
SA	MIHELIČ, Rok (mentor)/AVSEC, Franci (somentor)
KZ	SI-1000 Ljubljana, Jamnikarjeva 101
ZA	Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za zootehniko, Magistrski študijski program 2. stopnje Ekonomika naravnih virov
LI	2016
IN	VSEBNOST Cd IN Zn V BIOLOŠKO RAZGRADLJIVIH ODPADKIH PRED IN PO FERMENTACIJI V BIOPLINSKI NAPRAVI TER PRAVNI VIDIKI OBRAVNAVANEGA PROBLEMA
TD	Magistrsko delo (Magistrski študij - 2. stopnja)
OP	III, 43 str., 16 pregl., 10 sl., 3 pril., 36 vir.
IJ	sl
JI	sl/en
AI	Količina nastalih odpadkov, tudi bioloških, je vse večja. Predelava v bioplinarnah zmanjša odlaganje biološko razgradljivih odpadkov ter s tem nekontrolirano emitiranje toplogrednih plinov. Pri bioloških odpadkih moramo biti pozorni na težke kovine, kot sta kadmij in cink, ki sta lahko v okolju hitro problematična, če se njuni koncentraciji povečata. V bioplinarni Lokve smo analizirali vsebnost kadmija in cinka v vhodnih surovinah pred fermentacijo in po njej ter ugotovili, da na vsebnosti težkih kovin v fermentacijskem ostanku, digestatu, vplivajo vhodne surovine, ki jih damo v bioplinarno, še posebej svinjska gnojevka (Cu, Zn), ribe (Cd) in v nekaterih primerih soja (Cd, Zn). Na vsebnost kovin v digestatu pomembno vpliva količina vnosa posamezne surovine. Pridobljeni digestat glede vsebnosti kovin ustreza zakonodajnim merilom za 1. kakovost. Ugotovili smo, da pri strokovnem gnojenju z digestatom bioplinarne Lokve ni nevarnosti onesnaženja tal s težkimi kovinami. Po pregledu zakonodaje smo ugotovili, da so sedanje slovenske mejne vrednosti za težke kovine v digestatu še vedno relativno stroge v primerjavi z drugimi državami EU in so strožje od mejnih vrednosti, ki naj bi stopile v veljavo za celotno EU po letu 2025. Smotno bi bilo zakonodajo na tem področju bolj poenotiti med državami Evropske unije.

KEY WORDS DOCUMENTATION

ND Du2

DC UDC 628.336.6:620.97:602.42-7(043.2)=163.6

CX biogas / biogas devices / organic household wastes / toxic heavy metals / cadmium / zinc / legislation

AU ILC, Rozalija

AA MIHELIČ, Rok (supervisor)/AVSEC, Franci (co-advisor)

PP SI-1000 Ljubljana, Jamnikarjeva 101

PB University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Department of Animal Science, Master Study Programme in Economics of Natural Resources

PY 2016

TI THE CONTENT OF Cd AND Zn IN BIODEGRADABLE WASTE BEFORE AND AFTER FERMENTATION IN A BIOGAS PLANT AND LEGAL ASPECTS OF PROBLEM

DT M. Sc. Thesis (Master Study Programmes)

NO IV, 43 p., 16 tab., 10 fig., 3 ann., 36 ref.

LA sl

AL sl/en

AB The amount of waste, including biological, is growing. Processing in biogas plants reduce the landfilling of biodegradable waste and thus uncontrolled emitting of greenhouse gases. For biological waste, we must be alert to heavy metals such as cadmium and zinc, which may become problematic in the environment if their concentrations increase. In the biogas plant Lokve we analyzed the content of cadmium and zinc in the starting materials before and after fermentation and found that heavy metal content in the digestate is affect by input materials, which are placed in a biogas plant, especially pig manure (Cu, Zn), fish (Cd) and, in some cases, soybean (Cd, Zn). Obtained digestate regarding metal content meets the regulatory criteria of Quality 1. We found that the expert-based fertilization with digestate from biogas plant Lokve presents no risk of soil pollution with heavy metals. After reviewing the legislation, we found that the current Slovenian limit values for heavy metals in digestate is still relatively strong compared with other EU countries and are more stringent than the limit values, which should come into force across the EU since 2025. It would be worthwhile to create more uniform legislation in this area among the countries of the European Union.

KAZALO VSEBINE

	str.
KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA.....	III
KEY WORDS DOCUMENTATION	IV
KAZALO VSEBINE.....	V
KAZALO PREGLEDNIC.....	VII
KAZALO SLIK.....	VIII
KAZALO PRILOG	IX
OKRAJŠAVE IN SIMBOLI	X
SEZNAM GESEL	XI
1 UVOD	1
1.1 OPREDELITEV PROBLEMA.....	1
1.2 NAMEN MAGISTRSKE NALOGE.....	2
1.3 DELOVNA HIPOTEZA.....	2
2 PREGLED OBJAV	3
2.1 LASTNOSTI IN UPORABA BIOPLINA.....	3
2.2 SUBSTRATI ZA ANAEROBNO PRESNOVO	3
2.3 VSEBNOST HRANIL IN TEŽKIH KOVIN V VHODNIH SUROVINAH.....	5
2.4 ANAEROBNA DIGESTIJA	6
2.4.1 Biokemični procesi.....	7
2.4.1.1 Hidroliza	7
2.4.1.2 Acidogeneza ali kislinska geneza	7
2.4.1.3 Acetogeneza.....	7
2.4.1.4 Metanogeneza	7
2.4.2 Parametri za anaerobno digestijo	8
2.4.2.1 Temperatura	8
2.4.2.2 Vrednost pH.....	9
2.4.2.3 Hlapne maščobne kisline	9
2.4.2.4 Amonijak	9
2.4.2.5 Elementi v sledih, hranilne snovi in toksične zmesi	10
2.5 ANAEROBNI DIGESTAT OZ. PRESNOVLJENO BLATO	10
2.6 BIOPLINARNE V SLOVENIJI.....	13
2.7 KADMIJ IN CINK	14
2.7.1 Kadmij	14

2.7.2	Cink	15
2.7.3	Vsebnost Cd in Zn v bioplinski gnojevki	15
2.8	ZAKONODAJA IN PREDPISI	16
2.8.1	Zakonske zahteve za upravljalce kompostarn in bioplinskih naprav	16
3	MATERIALI IN METODE	19
3.1	VHODNE SUROVINE ZA IZBRANO BIOPLINSKO NAPRAVO	19
3.2	OPIS BIOPLINARNE BIOENERG OBNOVLJIVI VIRI ENERGIJE, D. O. O. 20	
3.3	VZORČENJE IN MERITVE.....	21
3.3.1	Vzorčenje in priprava vzorcev.....	21
3.3.2	Uporabljena merilne metode in merilna oprema.....	22
3.3.3.	Izračun gnojilne vrednoti digestata.....	23
3.3.4	Pravni okvir.....	23
4	REZULTATI	24
4.1	VSEBNOST Cd IN Zn V VHODNIH SUROVINAH	24
4.2	SUHA SNOV	27
4.3	VSEBNOST SUHE SNOVI, DUŠIKA, FOSFORJA IN KALIJA V DIGESTATU	27
4.4	MODELNI GNOJILNI NAČRT ZA PETLETNI NJIVSKI KOLOBAR Z UPORABO DIGESTATA BIOPLINARNE LOKEV	28
4.4.1	Gnojilna vrednost digestata	30
4.5	RAZNOLIKOST PREDPISOV V SLOVENIJI IN EU	31
5	RAZPRAVA IN SKLEPI	34
5.1	RAZPRAVA	34
5.2	SKLEPI.....	37
6	POVZETEK.....	39
7	VIRI	41
	ZAHVALA	
	PRILOGE	

KAZALO PREGLEDNIC

str.

Preglednica 1: Različne surovine za anaerobno presnovo iz komunalnih, kmetijskih in industrijskih virov (Vögeli in sod., 2014).	4
Preglednica 2: Hranila prisotna v rastlinskih in živalskih proizvodih (Lukehurst in sod., 2010).	5
Preglednica 3: Vsebnost elementov v sledovih in težkih kovin (mg/kg suhe snovi) v nekaterih surovinah (Lukehurst in sod., 2010).	5
Preglednica 4: Mejne vrednosti, ki določajo nanos dušika na kmetijska zemljišča, potrebno skladiščno zmogljivost zaregnito blato in čas oziroma sezono za njegovo aplikacijo v nekaterih državah EU (Lukehurst in sod., 2010).	11
Preglednica 5: Prepoved gnojenja z gnojnico in gnojevko po Uredbi o mejnih vrednostih nevarnih snovi in gnojil v tla (strokovno velja enako za digestat) (Uredba o mejnih ..., 2005).	12
Preglednica 6: Število naprav na OVE v podporni shemi glede na bioplin (Urbančič in sod., 2015: 90).	13
Preglednica 7: Parametri okoljske kakovosti (Uredba o obdelavi ..., 2008; opomba: uredba ne velja več).	17
Preglednica 8: Mejne vrednosti parametrov za uvrstitev digestata v kakovostni razred (Uredba o predelavi ..., 2015).	17
Preglednica 9: Vhodne surovine (inputi) za bioplinsko napravo Lokve v obdobju od avgusta 2013 do julija 2014.	20
Preglednica 10: Povprečna vsebnost Zn in Cd v vhodnih surovinah in v proizvedenem digestatu.	24
Preglednica 11: Vsebnost suhe snovi v vhodnih surovinah po vzorčenjih in povprečna vsebnost suhe snovi.	27
Preglednica 12: Vsebnost suhe snovi, skupnega dušika, celotnega fosforja in kalija v digestatu.	27
Preglednica 13: Gnojilni načrt za petletni kolobar za njivo, ki je optimalno preskrbljena s hranili in humusom.	29
Preglednica 14: Gnojilna vrednost digestata	30
Preglednica 15: Mejne vrednosti težkih kovin (mg/kg suhe snovi) v produktih iz odpadkov, ki se lahko uporabljajo/aplicirajo na zemljišča v državah članicah IEA Bioenergy Task 37* (Al Seadi in Lukehurst, 2012).	32
Preglednica 16: Mejne vrednosti vnosa nevarnih snovi v tla po Uredbi o predelavi biološko razgradljivih odpadkov in uporabi komposta ali digestata (Uredba o spremembah in dopolnitvi ..., 2015).	33

KAZALO SLIK

str.

Slika 1: Proces predelave odpadkov v bioplin (Zupančič in Grilc, 2015).....	3
Slika 2: Proces anaerobne presnove (Zupančič in Grilc, 2012: 27).	6
Slika 3: Vpliv temperature na stopnjo anaerobne digestije (Nayono, 2009: 148).....	9
Slika 4: Digestat v treh različnih oblikah: a) celoten, b) tekoč del, po separaciji, c) vlaknast del, po separaciji (Using quality anaerobic ..., 2012).....	10
Slika 5: Vhodne surovine pred obdelavo (foto: Mihelič R., 2015)	19
Slika 6: Bioplinarna Lokve.....	21
Slika 7: Vzorci vhodnih surovin bioplinarne Lokve pri sušenju zračno suho (30 °C).....	23
Slika 8: Povprečne vrednosti Zn v vhodnih surovinah in mejna vrednost vsebnost Zn za digestat oziroma digestat 1. razreda okoljske kakovosti (Uredba o predelavi ..., 2013).....	25
Slika 9: Povprečna vsebnost Cd v vhodnih surovinah in mejna vrednost vsebnost Cd za digestat oziroma digestat 1. razreda kakovosti (Uredba o predelavi ..., 2013)	26
Slika 10: Koncentracija kadmija za tri različne snovi, meso, žita, sadje in mejna vrednost za kadmij v digestatu (2,5 mg/kg suhe snovi) (vir podatkov: Uredba o predelavi ..., 2013).....	35

KAZALO PRILOG

Priloga A: Podatki o referenčnem materialu (blatu iz čistilnih naprav)

Priloga B: Vsebnost Cd v tleh (v primeru letnega dognojevanja na 100 let)

Priloga C: Podatki o vsebnosti suhe snovi, dušika, fosforja in kalija v digestatu pridobljeni
na Zavodu za zdravstveno varstvo Novo mesto

OKRAJŠAVE IN SIMBOLI

AD	Anaerobna presnova
ARSO	Agencija Republike Slovenije za okolje
FO	Fermentacijski ostanek
MW	Mega Watt
N/ha	Letni vnos dušika iz organskih gnojil na posamezno enoto rabe kmetijskih zemljišč
OFMSW	Organske frakcije komunalnih trdnih odpadkov
SS	Suha snov

SEZNAM GESEL

Acetogeneza:	proces anaerobne presnove, ko se proizvodi kislinke geneze, ki jih metanogena bakterija ne more direktno pretvoriti v metan, pretvarjajo v metanogene substrate.
Acidogeneza:	proces anaerobne presnove, ko acidogene bakterije pretvarjajo produkte iz prve faze (hidrolize) v organske kisline, ogljikov dioksid in vodik.
Anaerobna presnova:	je proces nadzorovanega razkroja biološko razgradljivih materialov pod nadzorovanimi pogoji.
Bioplin:	je zmes plinov, ki nastane pri anaerobnem vrenju organskih snovi, kot so hlevski gnoj, gnojnica, energetske rastline, organski odpadki, odpadki klavnic v napravi, ki jo imenujemo digestor oziroma fermentor.
Hidroliza:	je prvi korak oziroma faza anaerobne digestije, med katero se kompleksna organska snov (polimeri) razkroji v manjše enote, imenovane mono- in oligomeri.
Hlapne maščobne kisline:	so vmesne zmesi, ki nastajajo med kislinsko genezo, z ogljikovo verigo s šestimi atomi ali z manj atomi (na primer acetat, propionat, maslena kislina in laktat).
IEA BIOENERG TASK 37:	je mednarodna delovna skupina, ki zajema anaerobno presnovo (AD) surovin iz biomase, vključno s kmetijskimi ostanki, kot na primer gnoj in rastlinski ostanki, energetskih rastlin, organsko bogatih odpadnih voda, organske frakcije komunalnih trdnih odpadkov (OFMSW) in industrijskih odpadkov.
Metanogeneza:	je korak v procesu digestije. Proizvodnjo metana in ogljikovega dioksida iz vmesnih proizvodov omogoča metanogena bakterija (arheja).
Težke kovine:	Težke kovine so na splošno opredeljene kot kovine z relativno visoko gostoto, atomsko maso ali vrstnim številom. Gostoto nad 5 g/cm ³ se včasih navaja kot merilo.

1 UVOD

1.1 OPREDELITEV PROBLEMA

Z rastjo gospodarstva in potrošništva se raba naravnih virov povečuje, posledično naraščajo tudi količine odpadkov. Velik delež proizvedene hrane postane odpadek. Nekaj se je izgubi med pripravo, v zahodnem razvitem svetu pa kar tretjino kupljene hrane zavržemo (Parfitt in sod., 2010).

Na odlagališču biološko razgradljivi odpadki zaradi nenadzorovanega in neenakomernega razkroja predstavljajo enega največjih antropogenih virov toplogrednih plinov. Metan, ki pri tem nastaja, povzroča enaindvajsetkrat večji toplogredni učinek kot ogljikov dioksid, sproščena energija pa se v obliki toplote izgubi v okolje. Pri kontrolirani anaerobni predelavi biogenih odpadkov v bioplinarni se bioplin, ki ga sestavljata pretežno metan in ogljikov dioksid, koristno uporabi za proizvodnjo energije (elektrike in toplote). Proizvodnja in uporaba bioplina prinaša poleg okoljevarstvenih še družbeno-ekonomske koristi: nova delovna mesta, razvoj vzporednih dejavnosti (obrt, transport, strojna, laboratorijska oprema ...), digestat kot nadomestek za nakup gnojil (Al Seadi in sod., 2010).

Pri iskanju novih okolju prijaznih virov energije je potrebno oceniti vpliv energetskih obratov na okolje. Živilstvo proizvaja velike količine biološko razgradljivih odpadkov. Proizvodnja živil se globalno intenzivira in pelje v vedno večje količine živilskih odpadkov in stranskih proizvodov. Poleg biogenih odpadkov iz živilstva predstavljajo velik okoljski problem tudi živinska gnojila (gnojevka) iz veliki živinorejskih farm. Bioplinske elektrarne, ki predelajo živilske in živinorejske odpadke ter po potrebi tudi poljedelske stranske pridelke, predstavljajo zato velik energetski potencial (Al Seadi in sod., 2010). Akcijski načrt za obnovljive vire energije predvideva postopno rast bioplina iz 30 MWel. v letu 2010 na 61 MWel. v letu 2020. Potencial kmetijstva za bioplinsko proizvodnjo je 51 MWel. Pri čemer kmetijske površine, na katerih se prideluje rastlinska biomasa, za potrebe bioplina niso izgubljene za pridelavo hrane (Pšaker, 2011).

Po mnenju poznavalcev obnovljivih virov energije je v Sloveniji še močno neizkoriščen potencial pri deponijskem plinu ter plinu iz čistilnih naprav, medtem ko je na področju bioplinarn kmetijstvo do leta 2010 zelo napredovalo (Čebular, 2010), po gospodarski krizi pa so bioplinarne, predvsem velike, v finančnih težavah zaradi slabega poslovnega načrta ob izgradnji (Sever, 2015). V Sloveniji je izkoriščanje bioplina iz anaerobnih presnovnih odplak, gnoja in deponijskega plina prisotno, vendar predstavlja glede na slovensko energetsko bilanco zanemarljiv delež.

Pomembno je, da bioplinska naprava deluje po predpisih glede varstva okolja in zdravja ljudi. Digestat (bioplinska gnojevka, če je vhodna snov pretežno živilska gnojevka) lahko služi kot sredstvo za izboljšanje tal. Digestat, ki nastaja v procesu fermentacije, ima večjo gnojilno vrednost kot izvorna surovina, npr. živilska gnojevka, saj se rastlinska hranila (N, P, K, Ca, Mg ...) med procesom predelave ohranijo, njihova biodostopnost pa se poveča. V primerjavi s hlevskim gnojem ali gnojevko digestat vsebuje manj suhe snovi in

skupnega organskega ogljika, ima nižje razmerje ogljika proti dušiku (C : N) in nižjo viskoznost. Vrednost pH in delež amonijevega iona (NH_4^+) sta v digestu višja. (Drosg in sod., 2015). Ob tem je potrebno izpostaviti, da lahko nekatere vodne snovi ter posledično digestat vsebujejo nezaželene snovi, med katere spadajo tudi težke kovine. Predvsem živinska gnojevka (prašičja in perutninska) pogosto vsebuje veliko cinka (Zn) in bakra (Cu), ki sta sicer esencialna mikrohranila ne samo za rastline, ampak tudi za živali in ljudi, zato je zmerno gnojenje s tema dvema elementoma običajno koristno, saj povečujeta kakovost tal in živil. V primeru presežnih vnosov v tla pa delujeta škodljivo (Valeur, 2011).

V nalogi želimo na konkretnem primeru dokazati, da je kljub povečani vsebnosti težkih kovin (Zn, Cd) v digestatu gnojenje z njim lahko neškodljivo, če prekoračimo dovoljen vnosa v tla.

1.2 NAMEN MAGISTRSKE NALOGE

Namen magistrske naloge je izmeriti in oceniti koncentracije hranil in težkih kovin (Zn, Cd) v vhodnih surovinah za bioplinsko proizvodnjo, biogenih odpadkov iz gospodinjstev in živinske (prašičje) gnojevke ter v pridelanem digestatu.

Na podlagi meritev in modelnih izračunov želimo ugotoviti, koliko digestata lahko uporabimo za gnojenje kmetijskih površin, da bi imeli koristne gnojilne učinke, ne da bi onesnaževali tla in okolje s cinkom in kadmijem.

Pri tem želimo proučiti, ali obstoječi pravni okvir v Sloveniji in drugih državah EU ustrezno regulira uporabo digestata za gnojenje kmetijskih tal: ali je preveč restriktiven in zavira razvoj bioplinske panoge ali pa je nasprotno preveč blag/liberalen in na dolgi rok povzroča tveganje za onesnaženje okolja.

1.3 DELOVNA HIPOTEZA

Hipoteza magistrskega dela je, da med procesom anaerobne digestije koncentracija kovin močno naraste in v digestatu doseže relativno visoke vsebnosti, čeprav bi naprava predelovala popolnoma neoporečno hrano, ki ima v prvotni obliki zelo majhno vsebnost težkih kovin.

Predpostavljamo, da je vsebnost Cd in Zn pri nekaterih vhodnih biogenih odpadkih že na vhodu presega mejno vrednost za digestat.

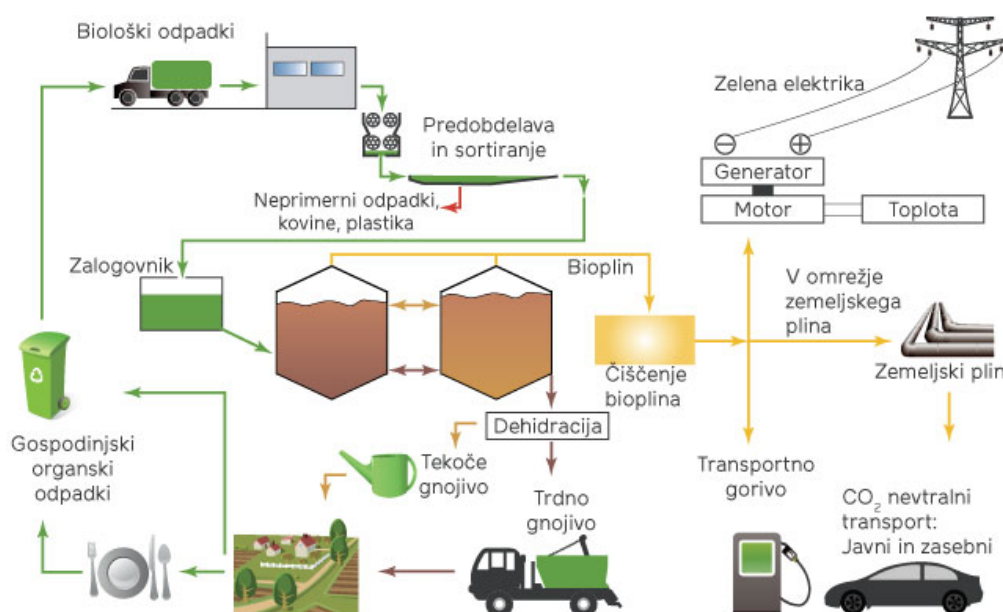
Pri strokovnem gnojenju z digestatom bo vnos težkih kovin, Cd in Zn, v tla majhen in okoljsko neproblematičen.

2 PREGLED OBJAV

2.1 LASTNOSTI IN UPORABA BIOPLINA

Bioplin je obnovljivi nosilec energije. V kontroliranih postopkih bakterije iz biogenih surovin proizvajajo visokoenergetski bioplin in dragoceno organsko gnojilo. Bioplin je zmes plinov, ki nastane pri anaerobnem vrenju organskih snovi, kot so hlevski gnoj, gnojnice, energetske rastline, organski odpadki, odpadki klavnic v napravi, ki jo imenujemo digester oziroma fermentor. Če proces gnitja opravljamo pri točno določenih pogojih, se začne sproščati bioplin. V bioplinskih napravah lahko uporabljamo vse organsko-biološke snovi, katerih sestava se pod delovanjem mikroorganizmov spreminja. Bioplin je podoben zemeljskemu plinu in je primeren za uporabo v motorjih z notranjim izgorevanjem za proizvodnjo toplote in elektrike (Bitenc in Srt, 2010).

Sestava bioplina je odvisna od organskih snovi, ki nastopajo pri procesu fermentacije. Bioplin je sestavljen največ iz CH_4 in CO_2 . Koncentracija metana v bioplinu je med 50 in 75 odstotkov, koncentracija ogljikovega dioksida med 25 in 50 odstotkov, ostalo pa je vodna para, dušik, amonijak, vodik, žveplovodik, kisik ter vodikov sulfid (Bitenc in Srt, 2010).



Slika 1: Proces predelave odpadkov v bioplin (Zupančič in Grilc, 2015)

2.2 SUBSTRATI ZA ANAEROBNO PRESNOVO

Skozi zgodovino so za anaerobno presnovo najprej uporabljali tekoče odpadke s suspendiranimi trdnimi snovmi, kot so gnoj, odplake, industrijske odpadne vode, in blata z biološko ali fizikalno-kemično obdelavo ali brez takšnih snovi. Trdne odpadke, kot so kmetijski in komunalni odpadki, so začeli uporabljati v šestdesetih letih 20. stoletja zaradi

visoke vsebnosti organskih snovi in posledično velikega potenciala za proizvodnjo bioplina (Vögeli in sod., 2014).

Za proizvodnjo bioplina z anaerobno presnovo kot vhodni substrat lahko uporabimo veliko različnih vrst surovin. Med najpogostejšimi so živalska gnojevka in gnoj, kmetijski ostanki in stranski proizvodi, organski odpadki iz prehranske in kmetijske industrije: odpadki rastlinskega izvora in odpadki živalskega izvora, organski del komunalnih in gostinskih odpadkov: odpadki rastlinskega izvora in odpadki živalskega izvora, kanalizacijska gošča, namensko pridelane energetske rastline (na primer koruza, trstikovec, sirek, detelja) (Al Seadi in sod., 2010).

Preglednica 1: Različne surovine za anaerobno presnovo iz komunalnih, kmetijskih in industrijskih virov (Vögeli in sod., 2014)

Komunala	Kmetijstvo	Industrija
• Organske frakcije komunalnih odpadkov; trdni odpadki (»biološki odpadki«) • Človeški iztrebki	• Gnoj • Energetske rastline • Biomasa alg • Kmetijsko-industrijski odpadki	• Odpadki iz klavnic • Predelani odpadki hrane • Biokemični odpadki • Celuloza in odpadki papirja

Substrate lahko razvrstimo tudi glede na vsebnost suhe snovi (SS). Substrati z deležem suhe snovi, manjšim od 20 %, se uporabljajo za mokro digestijo (mokra fermentacija). V to kategorijo spadata živalski gnoj in gnojevka in tudi različni mokri organski odpadki iz prehranske industrije. Kadar vsebnost suhe snovi znaša 35 % ali več, gre za suho presnovo (suho digestijo), tipično za energetske pridelke in silažo. Izbira vrste in količine surovin za anaerobno presnovo mešanice substratov je odvisna od vsebnosti suhe snovi in tudi od vsebnosti sladkorjev, lipidov in proteinov. Za digestijo lahko uporabimo tudi substrate z visoko vsebnostjo lignina, celuloze in hemiceluloze, vendar jih moramo navadno pred tem obdelati in tako povečati njihovo zmožnost za anaerobno razgradnjo (Al Seadi in sod., 2010).

Živalski gnoj kot surovina oz. substrat za anaerobno digestijo daje relativno majhne donose bioplina na enoto sveže mase. Zaradi tega je pogosto mešan in sorazgradljiv z drugimi vrstami surovin, ki imajo višje donose bioplina. Pogosto uporabljene druge vrste surovin, s katerimi se meša gnoj, so ostanki iz predelave hrane, industrij, rastlinski ostanki pri pridelavi poljščin, še posebej pa gojeni posevki, tako imenovane energetske rastline (Lukehurst in sod., 2010).

Pri izboru surovin za anaerobno digestijo se običajno upošteva biomasa, ki je na voljo, obenem pa upoštevamo tudi čim boljšo optimizacijo za proizvodnjo bioplina. Najprimernejše surovine za anaerobno digestijo v Avstriji, Švici in Združenem kraljestvu so predelava živilskih odpadkov iz prodaje živil na drobno, gostinskih lokalov in gospodinjstev (Lukehurst in sod., 2010).

2.3 VSEBNOST HRANIL IN TEŽKIH KOVIN V VHODNIH SUROVINAH

Surovine za anaerobno digestijo vsebujejo rastlinska hranila, kot so makrohranila in mikrohranila, v manjšem deležu lahko tudi težke kovine in obstojne organske spojine, ki niso biološko razgradljive v različnih količinah. Makrohranila so zelo pomembna za rastline, živali in tudi za življenje bakterij (Lukehurst in sod., 2010).

Preglednica 2: Hranila prisotna v rastlinskih in živalskih proizvodih (Lukehurst in sod., 2010)

Makrohranila	Dušik (N), Fosfor (P), Kalij (K), Kalcij (Ca), Magnezij (Mg), Žveplo (S)
Mikrohranila/elementi v sledovih	Bor (B), Kobalt (Co), Baker (Cu), Klor (Cl), Železo (Fe), Mangan (Mn), Molibden (Mo), Nikelj (Ni), Selen (Se), Cink (Zn)
Težke kovine	Svinec (Pb), Krom (Cr), Kadmij (Cd), Živo srebro (Hg)

Živali ne izkoristijo oziroma ne porabijo učinkovito hranil in visok delež hranil izločijo. Nedavni podatki kažejo, da naj bi se 55–95 % dušika v živalski prehrani izločilo z blatom in urinom. Visok delež fosforja in kalija v prehrani živali se tudi izloči. Zato sta živalski gnoj in gnojevka bogata z rastlinskimi hranili. To velja tudi za večino drugih vrst surovin za anaerobno digestijo, zaradi česar je presnovljeni substrat dragoceno gnojilo.

Z uporabo digestata kot gnojila se hranila vrnejo v tla preko naravnih ciklov in zamenjajo vnos anorganskih gnojil. S tem pa se ustvarjajo bolj trajnostni kmetijski proizvodni sistemi (Lukehurst in sod., 2010).

Vse težke kovine in obstojne organske spojine lahko povzročajo težave, zato je potrebno v surovinah in digestatu spremljati njihovo vsebnost. Njihove koncentracije v digestatu ne smejo presegati zakonsko predpisanih omejitev, ki so določene v posamezni državi (Lukehurst in sod., 2010).

Preglednica 3: Vsebnost elementov v sledovih in težkih kovin (mg/kg suhe snovi) v nekaterih surovinah (Lukehurst in sod., 2010)

Surovine	Zn	Cu	Ni	Pb	Cr	Cd	Hg
Živali							
Gnojevka krav molznic – mlečna gnojevka	176	51,0	5,5	4,79	5,13	0,20	
Prašičja gnojevka	403	364	7,8	<1,0	2,44	0/30	
Perutninski gnoj	423	65,6	6,1	9,77	4,79	1,03	
Pridelki							
Travna silaža	38–53	8,1–9,5	2,1	3,0	/	0,2	
Koruzna silaža	35–56	4,5–5,0	5,0	2,0	0,5	0,2	
Kmetijsko-živilski proizvodi							
Mlečni odpadki	3,7	1,4	<1,0	<1,0	<1,0	<0,25	<0,01
Vsečina iz želodca	4,1	1,2	<1,0	<1,0	<0,15	<0,25	<0,01
Kri	6,1	1,6	<1,0	<1,0	<1,0	<0,25	<0,01
Odpadki iz pivovarn	3,8	3,7	<1,0	0,25	<1,0	<0,25	<0,01

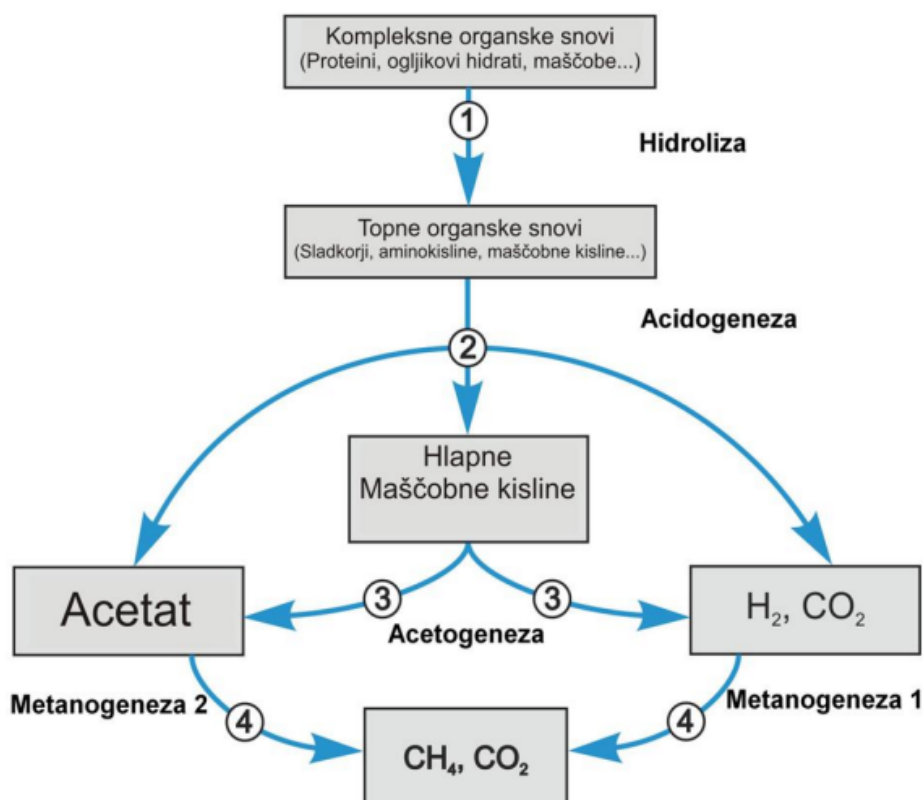
2.4 ANAEROBNA DIGESTIJA

Anaerobna digestija je v zadnjih letih postala prevladujoča metoda za trajnostno ekološko ravnanje z odpadki po vsem svetu. Slednja je zelo primerna za mokre biološko razgradljive organske odpadke z visoko vsebnostjo vode (več kot 80 %), saj tako dobimo bioplin bogat z metanom za proizvodnjo obnovljivih virov energije in uporabo (Zupančič in Grilc, 2012).

Anaerobna presnova je proces nadzorovanega razkroja biološko razgradljivih materialov pod nadzorovanimi pogoji. Poteka brez kisika pri temperaturah, primernih za naravno prisotne mezofilne ali termofilne anaerobne in fakultativne bakterije in vrste arhej, ki pretvarjajo vhodne surovine v bioplin in celotni digestat (Zupančič in Grilc, 2012).

Kadar je substrat homogena mešanica dveh ali več vrst surovin (na primer gnoj in organski odpadki iz prehranske industrije), dobimo t. i. sopresnovo (kofermentacijo). To je obenem tudi najpogostejši način proizvodnje bioplina v sodobnih bioplinarnah (Al Seadi in sod., 2010).

Anaerobna digestija je posledica niza presnovnih interakcij med različnimi skupinami mikroorganizmov. Pojavlja se v treh fazah; te so: hidroliza/utekočinjanje, kislinska geneza (acidogeneza) in metanogeneza. Poteka pri temperaturi od 30 °C do 65 °C (Shefali, 2002).

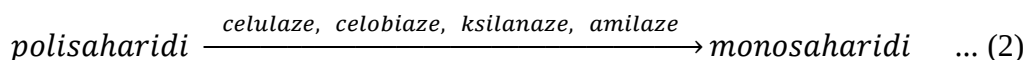
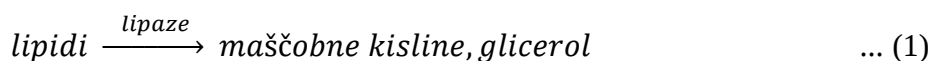


Slika 2: Proces anaerobne presnove (Zupančič in Grilc, 2012: 27)

2.4.1 Biokemični procesi

2.4.1.1 Hidroliza

Teoretično je hidroliza prvi korak oziroma faza anaerobne digestije, med katero se kompleksna organska snov (polimeri) razkroji v manjše enote, imenovane mono- in oligomeri. Polimeri, kot so ogljikovi hidrati, lipidi, nukleinske kisline in proteini, se pretvorijo v glukozo, glicerol, purine, piridine itn. V primeru bioplinskih naprav, v katerih se presnavljajo zelenjavni substrati, ki vsebujejo celulozo, hemicelulozo in lignin, hitrost procesa določa hidroliza. V hidrolizo je vključena vrsta bakterij in je izvedena z eksoencimi, ki jih proizvajajo te bakterije. Encimi nato napadajo nerazkrojene delce snovi (Al Seadi in sod., 2010).



2.4.1.2 Acidogeneza ali kislinska geneza

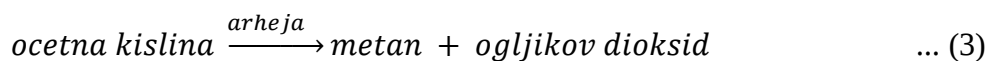
V drugi fazi anaerobne presnove acidogene bakterije pretvarjajo produkte iz prve faze (hidrolize) v organske kisline, ogljikov dioksid in vodik (Shefali, 2002). Tako v procesu acidogeneze enostavni sladkorji, aminokisline in maščobne kisline razpadajo v acetat, ogljikov dioksid in vodik in tudi v hlapne maščobne kisline in alkohole (Al Seadi in sod., 2010).

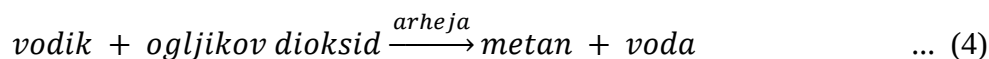
2.4.1.3 Acetogeneza

Med acetogenezo se proizvodi kislinske geneze, ki jih metanogena bakterija ne more direktno pretvoriti v metan, pretvarjajo v metanogene substrate. Hlapne maščobne kisline in alkoholi oksidirajo v metanogene substrate: acetat, vodik in ogljikov dioksid. Hlapne maščobne kisline z ogljikovimi verigami, daljšimi od dveh enot, in alkoholi z ogljikovimi verigami, daljšimi od ene enote, oksidirajo v acetat in vodik. Med metanogenezo se vodik pretvarja v metan. Acetogeneza in metanogeneza navadno potekata vzporedno, kot simbioza dveh skupin organizmov (Al Seadi in sod., 2010).

2.4.1.4 Metanogeneza

Proizvodnjo metana in ogljikovega dioksida iz vmesnih proizvodov omogoča metanogena bakterija (arheja). 70 % nastalega metana izvira iz acetata, ostalih 30 % pa nastane iz pretvorbe vodika in CO₂, glede na sledečo reakcijo:





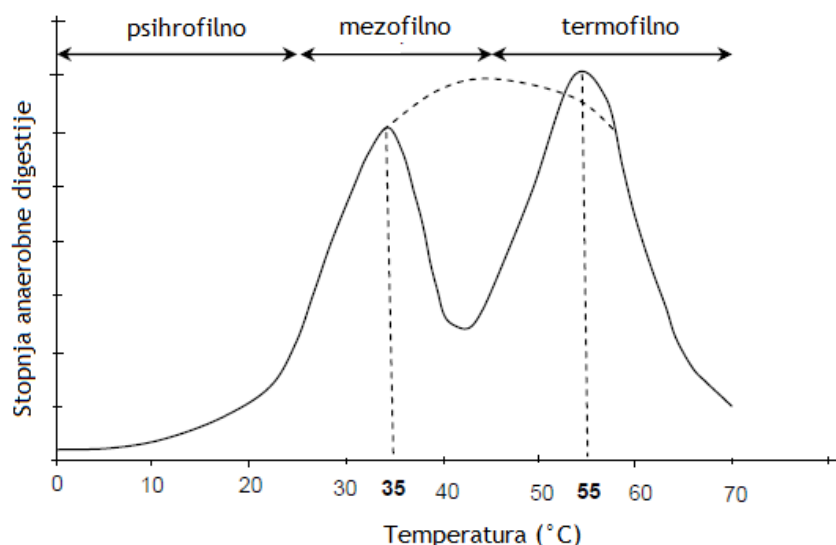
Metanogeneza je ključni korak v procesu digestije, saj je najpočasnejša biokemična reakcija v procesu. Na metanogenezo močno vplivajo sestava substrata, hitrost dovajanja, temperatura in vrednost pH (Al Seadi in sod., 2010).

2.4.2 Parametri za anaerobno digestijo

Bistvenega pomena za anaerobno digestijo je hitrost, s katero mikroorganizmi rastejo. V digestorju je zato potrebno nadzorovati sam proces in tudi parametre, da se poveča mikrobna aktivnost in s tem tudi učinkovitost anaerobne digestije. Med najpomembnejše parametre spadajo: temperatura, vrednost pH, vsebnost hlapnih maščobnih kislin, količina amonijaka, elementi v sledih, hranilne snovi in toksične zmesi, substrat in mešanje (Vögeli in sod., 2014).

2.4.2.1 Temperatura

Za anaerobno presnovo sta ključnega pomena določitev in nadzor temperature. Temperaturo, potrebno za proces, omogočimo s talnim ali stenskim sistemom ogrevanja znotraj digestorja. Delovno temperaturo v praksi določimo na podlagi uporabljene surovine. Proces anaerobne digestije se lahko odvija pri različnih temperaturah, ki jih delimo v tri temperaturna območja: psihrofilno (pod 25 °C), mezofilno (25–45 °C) in termofilno (45–70 °C). Mnoge sodobne bioplinske naprave v Evropi delujejo pri termofilnih procesnih temperaturah, in sicer zaradi večje stopnje rasti metanogenih bakterij pri višjih temperaturah. Termofilna delovna temperatura prinaša hitrejše kemične reakcije in tako večjo učinkovitost proizvodnje metana, boljšo topnost ter manjšo židkost. Večjo potrebo po energiji pri termofilnem procesu upraviči večji donos bioplina (Al Seadi in sod., 2010).



Slika 3: Vpliv temperature na stopnjo anaerobne digestije (Nayono, 2009: 148)

2.4.2.2 Vrednost pH

Vrednost pH (stopnja kislosti oz. bazičnosti snovi) vpliva na rast metanogenih mikroorganizmov in na razkroj nekaterih zmesi, pomembnih za proces anaerobne digestije (amonijak, sulfid, organske kisline). Nastajanje metana se odvija znotraj relativno ozkega območja pH, približno od 5,5 do 8,5, pri čemer je optimalni interval za večino metanogenov med 7 in 8, medtem, ko imajo acidogene bakterije v mnogih primerih nižjo vrednost optimalnega pH (Al Seadi in sod., 2010).

2.4.2.3 Hlapne maščobne kisline

Hlapne maščobne kisline (HMK) so vmesne zmesi, ki nastajajo med kislinsko genezo, z ogljikovo verigo s šestimi ali manj atomi (na primer acetat, propionat, maslena kislina in laktat). Nestabilnost procesa vodi do akumulacije hlapnih maščobnih kislin znotraj digestorja, kar lahko prinese padec vrednosti pH. Akumulacija hlapnih maščobnih kislin pa vseeno ne povzroči vedno padca vrednosti pH zaradi sposobnosti blaženja nekaterih vrst biomase. Na primer živalska gnojevka ima presežek alkalnosti, kar pomeni, da bi morala akumulacija hlapljivih maščobnih kislin preseči določeno raven, preden bi to zaznali na podlagi zmanjšane vrednosti pH. Na tej točki bi bila koncentracija kislin v digestorju že tako visoka, da bi bil proces anaerobne digestije resno ogrožen (Al Seadi in sod., 2010).

2.4.2.4 Amonijak

Proteini so glavni vir amonijaka v procesu anaerobne digestije. Pri procesu anaerobne digestije je zelo pomemben amonijak in je tudi pomembno hranilo. Previsoka koncentracija amonijaka, še posebej v neionizirani obliki, je vzrok oviranja procesa. Koncentracijo amonijaka bi morali zato zadržati pod 80 mg/l (Al Seadi in sod., 2010).

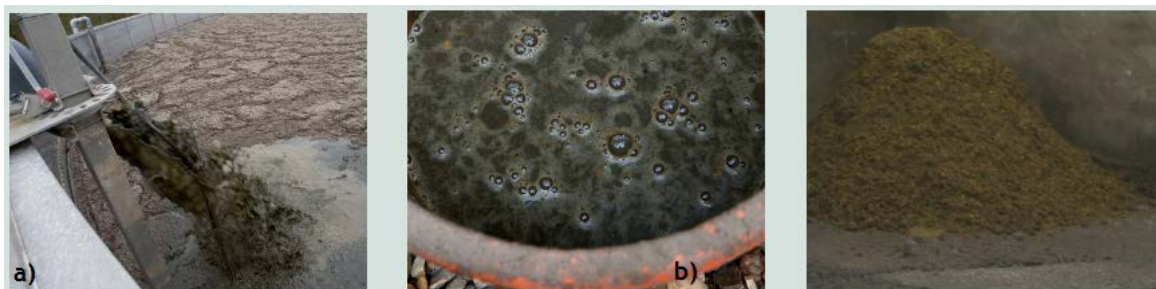
2.4.2.5 Elementi v sledih, hranilne snovi in toksične zmesi

Elementi v sledih, kot so železo, nikelj, kobalt, selen, molibden in volfram, so enako pomembni za rast in preživetje bakterij anaerobne digestije kot makrohranila. Optimalno razmerje makrohranil: ogljik, dušik, fosfor in žveplo je (C : N : P : S) je 400 : 15 : 5 : 1. Nezadostna preskrba s hranilnimi snovmi in elementi v sledih in tudi prevelika presnovljivost lahko povzročijo zaviranje in motnje v procesu anaerobne digestije. Prisotnost toksičnih zmesi je dodaten dejavnik, ki vpliva na anaerobne bakterije. V sistem anaerobne digestije jih lahko vnesemo skupaj s surovinami, nastanejo pa lahko tudi med samim procesom. Uporaba mejnih vrednosti je težavna, saj lahko toksične materiale omejimo s kemičnimi procesi, anaerobni mikroorganizmi pa so, do določene mere, zmožni prilagoditve na okoliščine (Al Seadi in sod., 2010).

2.5 ANAEROBNI DIGESTAT OZ. PRESNOVLJENO BLATO

Anaerobni digestat nastaja s procesom anaerobne digestije. Digestat je običajno v treh oblikah (Using quality anaerobic ..., 2012):

- a) celoten: po videzu tekoč, podoben živinski gnojevki, z manj kot 5 % suhe snovi;
- b) tekoč: digestat, ki vsebuje tudi trdne snovi po separaciji;
- c) vlaknast: podoben je kompostu, to je trdna snov, ločena od celotnega digestata.



Slika 4: Digestat v treh različnih oblikah: a) celoten, b) tekoč del, po separaciji, c) vlaknast del, po separaciji (Using quality anaerobic ..., 2012).

Nekateri substrati oz. digestati so narejeni iz odpadkov hrane, kot so mlečni izdelki, meso in ribe. Proizvodnja in uporaba takšnega digestata je določena z uredbo oz. predpisi, ki veljajo za stranske proizvode živali, katerih material se pasterizira (Using quality anaerobic ..., 2012; Uredba o predelavi ..., 2013).

Analize kažejo, da je 80 % skupnega dušika, ki je v substratu iz hrane (ostankov hrane) oziroma katerega osnova je hrana, prisotnega kot rastlinam dostopni (mineralni) dušik. Visoka raven dostopnosti pomeni, da se lahko substrat oziroma digestat uporablja kot neposredna zamenjava za mineralna dušikova gnojila. Digestija oziroma presnova živinske gnojevke navadno poveča dostopnost dušika v gnojevki za približno 10 %. Npr. v primeru živinske gnojevke bo količina dušika, ki jo bo dobil pridelek, manjša od celotne, z gnojenjem dane količine, zaradi potencialnih izgub dušika v obliki amonijaka ali izpiranja v podtalnico preko nitrata ali denitrifikacije, in sicer kljub izvajanju dobre kmetijske prakse. Ugotovljeno je bilo, da je lahko na voljo za pridelek do največ 60 % celotnega

dušika v letu uporabe oziroma aplikacije, če je uporaba digestata namenjena gojenju rastlin spomladi. (Using quality anaerobic ..., 2012).

Poleg dušika pa digestat vsebuje koristne količine fosfata in kalija, ki skupaj z majhnimi količinami drugih hranil in elementov v sledovih pomagajo vzdrževati rodovitnost tal. Za pridelek oziroma rastlinam naj bi bilo v letu uporabe dostopnega 50 % fosforja in 80 % kalija, kar je enako (ali bolje) kot iz mineralnih gnojil. Pri uporabi digestata za gnojilo je potrebno upoštevati zahteve rastlin po hranilih, da ne bi ogrozili pridelka ali zmanjšali njegove kakovosti (Using quality anaerobic ..., 2012).

Uporaba digestata za gnojenje ni priporočljiva v letnem času, ko je privzem oziroma potreba rastlin po hranilih majhna (npr. jesen in zima), saj lahko pride do izpiranja hranil, na primer dušika in fosforja, in odtoka v podzemne in površinske vode, zato je potrebno digestat skladiščiti toliko časa, dokler ni primeren čas za uporabo. Potencial izpiranja hranil je največji na peščenih tleh s slabo sposobnostjo zadrževanja vode, zato je priporočeno, da se gnojenju z digestatom izogibamo, kadar je privzem hranil s strani rastlin majhen ali kadar so velike količine dežja. Zato je bistvenega pomena, da poznamo sestavo digestata ter tudi najboljši način in čas za njegovo aplikacijo (Lukehurst in sod., 2010).

Preglednica 4: Mejne vrednosti, ki določajo nanos dušika na kmetijska zemljišča, potrebno skladiščno zmogljivost za preginito blato in čas oziroma sezono za njegovo aplikacijo v nekaterih državah EU (Lukehurst in sod., 2010)

Država	Maksimalna obremenitev s hranili	Potrebna skladiščna zmogljivost	(Obvezna) sezona aplikacije
Avstrija	170 kg N/ha/leto	6 mesecev	od 28. feb. do 5. okt.
Danska	170 kg N/ha/leto (govedo) 140 kg N/ha/leto (prašiči)	9 mesecev	od 1. feb. do spravila
Italija	170-500 kg N/ha /leto	90–180 dni	od 1. feb. do 1.dec.
Švedska	170 kg N/ha /leto (izračunano na GVŽ/ha)	6–10 mesecev	od 1. feb. do 1. dec.
Severna Irska	170 kg N/ha/leto	4 mesece	od 1. feb. do 14.okt.
Nemčija	170 kg N/ha/leto	6 mesecev	od 1. feb. do 31. okt. obdelovalne površine od 1. feb. do 14. nov. travnate površine
Slovenija	250 kg N/ha	6 mesecev	od 1. marca do 15. nov.

V Sloveniji je gnojenje s tekočimi organskimi gnojili na kmetijskih zemljiščih, kamor uvrščamo tudi digestat oz. bioplinsko gnojevko, prepovedano od 15. novembra do 1. marca. Izjema velja za občine s submediteranskim podnebjem, kjer prepoved na površinah, pokritih z zeleno odejo, velja od 15. decembra do 15. januarja (Uredba o mejnih vrednostih ..., 2005).

Letni vnos dušika iz organskih gnojil na posamezno enoto rabe kmetijskih zemljišč ne sme presegati 250 kg N/ha. Pri določanju posameznega odmerka tekočih organskih gnojil, kamor uvrščamo tudi digestat, upoštevamo, da se lahko na letnem nivoju vnese največ 170 kg N/ha iz živinskih gnojil na nivoju kmetijskega gospodarstva in največ 250 kg N/ha na

posamezno enoto rabe iz organskih gnojil. Pri prvi omejitvi upoštevamo vsebnost dušika v živalskih gnojilih in morebitno vsebnost dušika iz živalskih gnojil v digestatu (Uredba o varstvu voda ..., 2009; Uredba o spremembah in dopolnitvah ..., 2015). Na strmih zemljiščih, ki so nagnjena k površinskim vodam, je treba odmerke tekočih organskih gnojil razdeliti v več delov, tako da enkratni odmerek dušika ne presega 80 kg N/ha (Uredba o spremembah in dopolnitvah ..., 2015).

Poleg tega je treba na njivah, ki so na strmih zemljiščih, nagnjenih k površinskim vodam, zagotoviti enega od naslednjih ukrepov (Uredba o spremembah in dopolnitvah ..., 2015):

- njiva mora biti razmejena s prečnimi ozelenjenimi pasovi;
- med njivo in površinsko vodo mora biti najmanj 15 m širok pas zemljišča, porasel z zeleno odejo ali drugimi kmetijskimi rastlinami;
- njiva mora biti obdelana prečno na strmino;
- njiva mora biti čez zimo prekrita z zeleno odejo.

Preglednica 5: Prepoved gnojenja z gnojnico in gnojevko po Uredbi o mejnih vrednostih nevarnih snovi in gnojil v tla (strokovno velja enako za digestat) (Uredba o mejnih...,2005)

Zemljišča z zeleno odejo	na lahkih tleh od 15. 10. do 31. 1.
	na srednje težkih in težkih tleh od 15. 11. do 15. 1.
Ostala zemljišča brez zelene odeje (njive)	z zaoravanjem žetvenih ostankov – na lahkih tleh od 1. 10. do 15. – na srednje težkih in težkih tleh od 15. 10. do 15. 2.
	brez zaoravanja žetvenih ostankov – od spravila posevkov do 15. 2.

Pri gnojenju z digestatom je dobro upoštevati nekaj nasvetov oziroma priporočil. Za čim boljši izkoristek vsebnosti dušika v digestatu ga je potrebno uporabljati v času največje rasti rastlin, kar je po navadi pozno pozimi februarja skozi pomlad in poletje. Majhna pa je verjetnost, da bo dušik učinkovito deloval na posevke oziroma pridelke ob jesenski aplikaciji, razen pri nekaterih pridelkih, ki imajo v tem letnem času potrebo po dušiku, takšna je na primer oljna ogrščica. V skladu z dobro kmetijsko prakso se digestat ne sme uporabljati oziroma aplicirati, kadar veljajo naslednji pogoji (Using quality anaerobic ..., 2012):

- močan dež je napovedan v 48 urah;
- zemlja je prepojena z vodo;
- zemlja je zamrznjena;
- tla so prekrita s snegom;
- zemlja na polju je bila izsušena ali namočena.

Prav tako naj se ne bi digestat uporabljalo:

- 10 metrov okoli jarka, ribnika ali druge površinske vode;

- 50 metrov okoli izvira, vrtine ali rezervoarja, ki dobavlja vodo za prehrano ljudi ali za domače mlekarne;
- na zelo strmih pobočjih.

2.6 BIOPLINARNE V SLOVENIJI

Proizvodnja bioplina v Sloveniji se je začela proti koncu osemdesetih let 20. stoletja. Prvi bioplinski napravi sta bili na komunalnih napravah – čiščenje odpadnih vod in velika prašičja farma v Ihanu. Pridobivanje bioplina z anaerobno digestijo je bilo pred letom 2002 omejeno na bioplin iz čistilnih naprav in zajetje deponijskega plina na odlagališčih komunalnih odpadkov (Al Seadi in sod., 2010).

V Sloveniji imamo bioplinarne, ki uporabljajo kot surovine kmetijske proizvode in biološko razgradljive odpadke z različno skupno močjo delovanja. (Al Seadi in sod., 2010).

Preglednica 6 spodaj prikazuje število naprav na obnovljivih virih energije glede na bioplin. Iz tabele je razvidno, da se je število naprav v podporni shemi za energijo iz obnovljivih virov letih 2010–2014 povečalo. Leta 2014 je bilo skupno število vseh naprav na bioplin 25. Prevladujejo bioplinarne, ki za svojo delovanje uporabljajo biomaso. Imamo pa tudi bioplinarne, ki delujejo na osnovi biološko razgradljivih odpadkov in na osnovi blata iz čistilnih odpadnih vod (Urbančič in sod., 2015). Navedeno število bioplinarn v preglednici 6 zajema tiste bioplinarne, ki so vključene v podporno shemo. Namen podporne sheme je spodbujanje proizvodnje električne energije iz obnovljivih virov. Podporna shema je najpomembnejši instrument na področju električne energije za doseganje mednarodnih obveznosti Slovenije (Urbančič in sod., 2015).

Preglednica 6: Število naprav na OVE v podporni shemi glede na bioplin (Urbančič in sod., 2015: 90)

Vir/leto	Število naprav				
	2010	2011	2012	2013	2014
Bioplin	10	22	26	25	25
• iz biomase	9	20	23	22	22
• iz biološko razgradljivih odpadkov	1	2	2	1	2
• iz blata čistilnih naprav odpadnih vod	0	0	1	2	1

Tehnologija soproizvodnje toplotne in električne energije nam omogoča, da se ustvarjena odpadna toplota v industrijskih procesih uporabi za ogrevanje gospodinjstev. Poleg tega je gnojilo tudi uporaben stranski produkt. Študija je pokazala, da se vsaj 50 MW bioplinskih naprav lahko namesti v Sloveniji do leta 2020, kar so z naložbo ocenili na približno 180106 evrov. Čeprav bioplinske naprave imajo socialne in okoljske koristi, so gospodarne le s podporo zagotovljenega sistema nabavnih cen; kljub temu moramo tudi upoštevati premijo za predelavo bioloških odpadkov in prihodkov od prodaje toplote in gnojila (Obrecht in Denac, 2013).

2.7 KADMIJ IN CINK

Vzroki onesnaženosti tal so emisije iz industrijske proizvodnje, intenzivnega kmetijstva, odlaganja odpadkov ter kurišč in prometa. V tleh se nalagajo organske in anorganske nevarne snovi, ki ostajajo v njih tudi po prenehanju onesnaževanja, saj nekatere le počasi razpadajo ali se iz tal izločajo. Učinek nevarnih snovi v tleh je odvisen od njihovih fizikalno-kemijskih lastnosti in lastnosti tal (kislost, delež humusa in gline, temperatura, namočenost, poroznost itd.). Kovine in druge anorganske snovi v tleh se vključujejo v številne procese, prehajajo tudi v rastline in dalje v prehrambno verigo do pridelkov in živil. Rastline akumulirajo kovine večinoma v koreninah, manj v steblih in listih, najmanj pa v plodovih in semenih. Zato je največ tveganja pri pridelavi korenovk in solatnic. Slednje so izpostavljene še vplivom onesnaženega zraka in padavin. Problematično je tudi spiranje nevarnih snovi v podtalnico. Najpogostejše nevarne snovi v tleh so težke kovine (Cd, Zn, Pb, Cr, Ni, Hg, Cu) (Turk in sod., 1996).

Težke kovine so kemijski elementi, ki so prisotni v okolju, tleh in živilskih proizvodih. Nahajajo se v krmi in tudi v drugih kulturah. V majhnih količinah so nekatere težke kovine, kot so železo, baker, mangan in cink, bistvene za zdravo življenje, čeprav jih včasih označujemo kot potencialno strupene sestavine. Elementi v sledovih so naravno prisotni v živilih, sadju in zelenjavi ter se nahajajo v prehranskih dopolnilih in multivitaminskih izdelkih in postanejo toksični, ko ne sodelujejo več pri presnovi v telesu in se kopičijo v mehkem tkivu. Toksično raven dosežejo, ko njihova koncentracija preseže koncentracijo, pri kateri so naravno prisotni v okolju. Težke kovine, kot so kadmij, cink, baker ali živo srebro, v hrani in v odpadkih hrane najdemo v zelo nizkih ravneh oz. koncentracijah (Al Seadi in Lukehurst. 2012).

2.7.1 Kadmij

Kadmij je naravno prisoten v tleh kot posledica preperevanja matične kamnine. Največjo koncentracijo kadmija imajo sedimentne kamnine, kot so sedimenti depozitov fosfata in črni skrilavci. Naravna tla vsebujejo manj kot 1 mg/kg kadmija, ta nastane s preperevanjem matične kamnine. Pomembnejši so antropogeni viri kadmija (Martin in sod., 2009). Antropogeni izvor kadmija je rudniška in topilniška dejavnost, kovinska industrija, industrija plastike in mikroelektronike, izgorevanje fosilnih goriv, mineralna gnojila in odlaganje odpadkov. Kadmij je v neonesnaženih tleh v zelo majhnih koncentracijah, povprečno do 0,35 mg/kg (Zupan in sod., 2008). Eden glavnih virov kadmija so fosfatna gnojila, ta naj bi vsebovala 30 do 79 mg Cd/kg P_2O_5 . Pomemben vir kadmija je tudi blato iz čistilnih naprav (Martin in sod., 2009).

Kadmij spada med toksične elemente ne samo za rastline, ampak tudi za živali in ljudi. Ima zelo dobro mobilnost, kar pomeni, da se v rastlinah hitro absorbira oziroma ga te prevzamejo. Nekatere rastline lahko kopičijo velike količine kadmija, kot so zelena solata, špinača, zelena in zelje, medtem ko krompir, francoski fižol in grah le majhne količine. Pomemben dejavnik, ki vpliva na privzem kadmija v rastline je pH tal. Pri rastlinah se fitotoksičnost kaže v motnji presnove nekaterih mikrohranil, zaviranju fotosinteze. Fitotoksična koncentracija kadmija za rastline je v razponu od 5 do 20 mg/kg sveže mase,

kar pa je seveda odvisno od rastlinske vrste (Martin in sod., 2009). Kadmij za rastline ni esencialni element. Hitro se absorbira s koreninami rastlin in prenese na nadzemne dele rastlin (Smolders, 2001).

2.7.2 Cink

Antropogeni izvori cinka so rudarjenje in taljenje rude, industrija tekstila, mikroelektronike in metalurgije ter odlaganje odpadkov in blat čistilnih naprav. Prispeva tudi kmetijstvo z mineralnimi in organskimi gnojili in fitofarmaceutskimi sredstvi. Cink se poleg Pb in Cd pogosto pojavlja v tleh v povečanih količinah, vendar bi radi opozorili, da je cink mikrohranilo in v določenih koncentracijah nujno potreben ne samo za rast in razvoj rastlin, ampak tudi za rast in razvoj živali ter človeka (Zupan in sod., 2008).

Cink je esencialni element, najdemo ga v različnih koncentracijah v tleh, rastlinah in živalih ter je bistvenega pomena za normalno zdravo rast in razmnoževanje rastlin, živali in ljudi. Cink je pomemben v majhnih koncentracijah; kadar je razpoložljivost cinka za rastline majhna oziroma rastlinam cinka primanjkuje ali pa je tudi povečana koncentracija cinka, to vodi v zmanjšanje in slabšo kakovost pridelka, živali pa lahko trpijo fiziološki stres in motnje v delovanju encimov ter presnovnih funkcijah, kjer cink igra pomembno vlogo. Cink v rastlinah opravlja številne pomembne funkcije, kot so presnova ogljikovih hidratov, pri presnovi beljakovin, sodeluje pri fotosintezi, omogoča odpornost rastlin na okužbe z določenimi patogeni, sodeluje pri metabolizmu avksina, ki je rastni regulator (Alloway, 2008).

Tako kot druga mikrohranila tudi cink postane zaradi prevelikih koncentracij toksičen. V tleh je povprečna koncentracija cinka 50 mg Zn/kg. Visoke koncentracije razpoložljivega cinka v tleh se običajno pojavijo iz različnih virov, kot so onesnaženost ozračja, industrijska odlagališča, pretirana aplikacija snovi, ki so bogate s cinkom v tla, vključno s prašičjimi in perutninskimi gnojili, kjer so bile živali krmljene z dodatki, ki vsebujejo cink, blato iz čistilnih naprav ter industrijske odpadne vode. Ker je cink od srednje do visoko mobilni element, lahko povečane koncentracije tega hitro preidejo v prehranjevalno verigo živali in ljudi (Alloway, 2008).

2.7.3 Vsebnost Cd in Zn v bioplinski gnojevki

V živinskih gnojilih iz intenzivne reje živali (predvsem v prašičji gnojevki in perutninskem gnoju) sta lahko prisotna baker (Cu) in cink (Zn) v večji koncentraciji od predpisanih mejnih vrednosti, ki veljajo npr. za kompost 1. razreda za neomejeno uporabo po Uredbi o obdelavi biološko razgradljivih odpadkov (Uredba o obdelavi ..., 2008).

Mlade pitovne živali namreč tako hitro priraščajo, da za zdrav razvoj potrebujejo povečan vnos mikrohranil, predvsem veliko Zn in Cu. V telesa živali se vgradi le zelo majhen del zaužitih mikroelementov, večinoma (95 %) pa konča v iztrebkih (Petersen in Mihelič, 2007).

Fiziološke potrebe pitovnih prašičev in perutnine po bakru so v območju 3–10 mg/kg, po Zn pa med 50–100 mg/kg suhe snovi krmila. V žitih in stročnicah je vsebnost obeh elementov na spodnji meji fizioloških potreb živali, krompirjeva pulpa pa ima obeh elementov dovolj (40 mg/kg Cu in 50 mg/kg Zn) (Schultheiss in sod., 2004). Vseeno so mineralni dodatki Cu in Zn v prehrano prašičev in perutnine koristni za uspešno prirejo. Pri prehrani prašičev so ugotovili, da vnos 150–250 mg/kg bakrovega sulfata in 2500–3000 mg/kg cinkovega sulfata (25-kratno povečanje nad minimalnimi potrebami), stimulira rast, ne da bi s tem živali izpostavili kakršnemu koli tveganju za zastrupitev (Poole in sod., 1990).

2.8 ZAKONODAJA IN PREDPISI

V Republiki Sloveniji urejajo vnos nevarnih snovi v tla uredbe:

- Uredba o mejnih, opozorilnih in kritičnih imisijskih vrednostih nevarnih snovi v tleh (2004),
- Uredba o vnosu nevarnih snovi in rastlinskih hranil v tla (2013),
- Uredba o mejnih vrednostih vnosa nevarnih snovi in gnojil v tla (2013).

Na ravni EU ne obstaja predpis, ki bi neposredno urejal področje uporabe bioplinske gnojevke.

Področje biološko razgradljivih odpadkov pa ureja Uredba o predelavi biološko razgradljivih odpadkov in uporabi komposta ali digestata (2015).

2.8.1 Zakonske zahteve za upravljalce kompostarn in bioplinskih naprav

Uredba o predelavi biološko razgradljivih odpadkov in uporabi komposta ali digestata (2015) določa obvezna ravnanja pri obdelavi biološko razgradljivih odpadkov in pogoje za uporabo ter dajanje v promet obdelanih biološko razgradljivih odpadkov. V strokovni oceni o največji količini komposta, digestata ali stabiliziranih biološko razgradljivih odpadkov se na podlagi podatkov o vsebnosti nevarnih snovi v njih ter na podlagi podatkov o vrsti in koncentraciji nevarnih snovi v tleh določi največja količina komposta, digestata ali stabiliziranih biološko razgradljivih odpadkov, ki se lahko glede na pedološke lastnosti tal v enem letu vnesejo na zemljišča. Strokovno oceno mora izdelati oseba, pooblaščen za izvajanje obratovalnega monitoringa, in sicer v skladu s predpisom, ki ureja obratovalni monitoring pri vnosu nevarnih snovi in rastlinskih hranil v tla (Uredba o predelavi ..., 2015).

Mejne vrednosti vsebnosti težkih kovin v digestatu za uvrstitev digestata v kakovostni razred, ki so prikazane v preglednici 7, so veljale po prejšnji uredbi, sprejeti leta 2008 in dopolnjeni 2011 (Uredba o obdelavi ..., 2011), do leta 2013, ko je prejšnjo uredbo nadomestila sedanja, nazadnje spremenjena 2015 (Uredba o predelavi ..., 2015). Predelovalec biološko razgradljivih odpadkov na podlagi poročila o nadzoru kakovosti razvrsti kompost ali digestat v 1. ali 2. kakovostni razred v skladu z normativi, ki so sestavni del uredbe.

Preglednica 7: Parametri okoljske kakovosti (Uredba o obdelavi ..., 2008; opomba: uredba ne velja več).

Parameter okoljske kakovosti	Kompost ali digestat: 1. razred okoljske kakovosti (mg/kg suhe snovi)	Kompost ali digestat: 2. razred okoljske kakovosti (mg/kg suhe snovi)
Cd	0,7	1,5
Celotni Cr	80	200
Cu	100	300
Hg	0,5	1,5
Ni	50	75
Pb	80	250
Zn	200	1200
PCB	0,4	1
PAH	3	3

Bioplinska gnojevka oz. digestat iz ostankov človeške hrane in drugih biogenih odpadkov iz gospodinjstev in javnih kuhinj ne vsebuje prekomernih vsebnosti Cu in Zn. Problem pri uporabi bioplinske gnojevke na kmetijskih zemljiščih nastane, če bioplinska naprava predeluje poleg biogenih odpadkov še živinsko (prašičjo ali perutninsko) gnojevko.

Preglednica 8: Mejne vrednosti parametrov za uvrstitev digestata v kakovostni razred (Uredba o predelavi ..., 2015).

Parameter	Enota	1. kakovostni razred		2. kakovostni razred
		mejne vrednosti za digestat z manj kot 20 % suhe snovi	mejne vrednosti za digestat več ali enako 20 % suhe snovi	mejne vrednosti za digestat z več ali enako 20 % suhe snovi
kadmij (Cd)	mg/kg s. s.	2,5	1,5	3
celotni krom (Cr)	mg/kg s. s.	100	100	250
baker (Cu)	mg/kg s. s.	200	200	500
živo srebro (Hg)	mg/kg s. s.	1	1	3
nikelj (Ni)	mg/kg s. s.	50	50	100
svinec (Pb)	mg/kg s. s.	120	120	200
cink (Zn)	mg/kg s. s.	400*	400	1800
policiklični aromatski ogljikovodiki (PAH)	mg/kg s. s.	6	6	6
poliklorirani bifenili (PCB)	mg/kg s. s.	0,2	0,2	1

*mejna vrednost za digestat iz biološko razgradljivih odpadkov z več kot 50-odstotnim deležem svinjske gnojevke ali perutninskega gnoja je 600 mg/kg s. s.

Če primerjamo uredbo iz leta 2008 in sedanjo uredbo iz leta 2015, vidimo, da so mejne vrednosti za kadmij in cink dvakrat večje po uredbi, kar pomeni, da so predpisi v Sloveniji glede digestata, kateri produkt je iz bioplinarn, veliko manj strogi kot po stari uredbi iz leta 2008 (pregl. 7), saj lahko damo na kmetijske površine digestat z večjo koncentracijo kovin. Racionalno razlago za smiselno nove uredbe podajamo v poglavju diskusija.

Uporaba digestata 1. kakovostnega razreda za vnos v tla ali na tla je dovoljena, če s predpisi, ki urejajo vodovarstvena območja, ni določeno drugače. Pri uporabi digestata

1. kakovostnega razreda za vnos v tla ali na tla na kmetijskih zemljiščih letni vnos (Uredba o predelavi ..., 2015):

- suhe snovi v tla ali na tla ne sme presegati 8 t na ha v povprečju petih let, če gre za kompost ali digestat, ki vsebuje več kakor 20 odstotkov suhe snovi,
- dušika v tla ali na tla ne sme presegati mejnih vrednosti letnega vnosa dušika v skladu s predpisom, ki ureja varstvo voda pred onesnaževanjem z nitrati iz kmetijskih virov, in
- ne sme presegati mejnih vrednosti letnega vnosa nevarnih snovi v tla iz priloge 5 te uredbe.

Pri uporabi digestata 1. kakovostnega razreda za vnos v tla ali na tla na nekmetijskih zemljiščih letni vnos suhe snovi v tla ali na tla ne sme presegati 40 t na ha v povprečju treh let (Uredba o predelavi ..., 2015).

Uporaba digestata 2. kakovostnega razreda je dovoljena na nekmetijskih zemljiščih, če s predpisi, ki urejajo vodovarstvena območja, ni določeno drugače, in gre za (Uredba o predelavi ..., 2015):

- gnojenje okrasnih rastlin v vrtnarijah in drevesnicah;
- izboljšavo tal v parkih, na zelenicah ali površinah za šport, rekreacijo ali prosti čas;
- rekultivacijo glinokopov, kamnolomov, degradiranih industrijskih območij ali opuščenih industrijskih površin, če je vodonosnik pod temi površinami prekrit z zveznimi neprekinjenimi, od slabo do zelo slabo prepustnimi krovnimi plastmi;
- rekultivacijo odlagališč odpadkov v skladu s predpisom, ki ureja odlaganje odpadkov na odlagališčih;
- rekultivacijo zemljišč prometne infrastrukture in
- gradnjo biofiltra.

3 MATERIALI IN METODE

3.1 VHODNE SUROVINE ZA IZBRANO BIOPLINSKO NAPRAVO

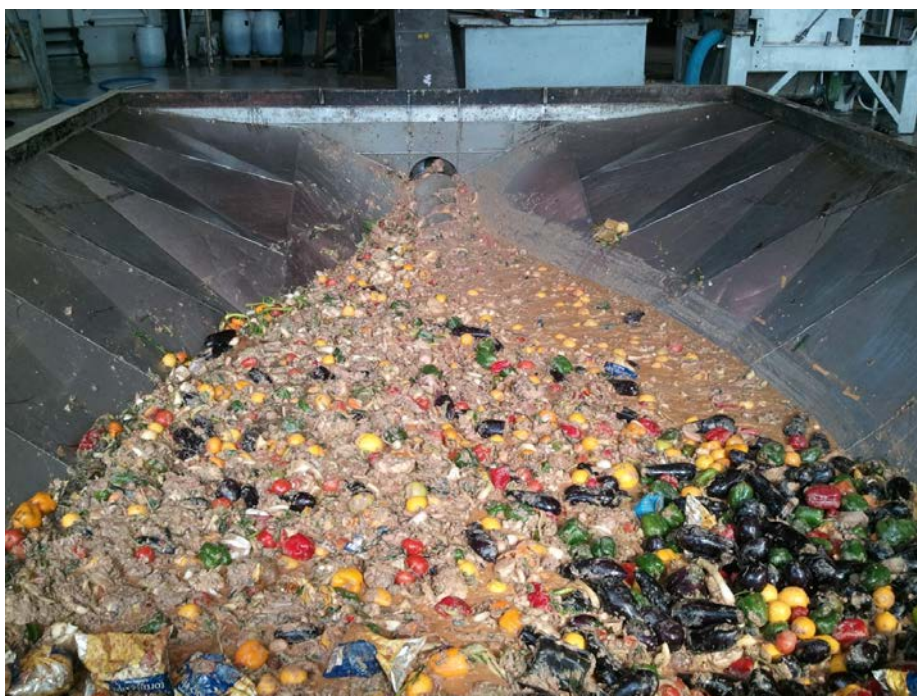
V bioplinarnah se izkorišča organska snov iz različnih materialov. Cilj bioplinarn je, da se v procesu anaerobne fermentacije iz vhodne surovine porabi večino organske suhe snovi. Bioplinarne uporabljajo vhodne surovine, ki se enostavno in hitro razkrajajo.

Vzorčili in analizirali smo vhodne surovine za bioplinsko napravo Lokve pri Črnomlju, ki pretežno deluje na vnosu ostankov hrane in ostankov oz. odpadkov živilsko predelovalne industrije, del vnosa pa predstavlja prašičja gnojevka.

Analizirali smo različne vrste biomase (surovin), ki jih vnaša izbrana bioplinarna. Vhodni substrati bioplinarske naprave so:

- gostinski in gospodinjski odpadki (pomije, kruh, ribe, meso, mlečni ostanki);
- organski odpadki iz prehranske in kmetijske industrije (sadje);
- svinjska gnojevka;
- namensko pridelane energetske rastline (soja);
- organski industrijski odpadki (ostanki medu in medenih izdelkov, maščobnik, odpadki iz industrije predelave sadja in zelenjave).

Podatki o količinah vhodnih surovin (inputov) za bioplinsko napravo v Lokvah pri Črnomlju so bili pridobljeni za obdobje od avgusta 2013 do julija 2014. Kot je razvidno iz preglednice 9, znaša povprečna količina mesečnega vnosa vhodnih surovin ca. 1500 t. Od tega v povprečju prevladujejo kuhinjski odpadki, sledi voda in gnojevka.



Slika 5: Vhodne surovine pred obdelavo (foto: Mihelič R., 2015)

Vhodne surovine bioplinski napravi v Lokvah v celoti dobavlja podjetje Biotera, d. o. o. Preglednica 9 prikazuje vhodne surovine (inpute) za bioplinsko napravo Lokve v obdobju od avgusta 2013 do julija 2014.

Preglednica 9: Vhodne surovine (inputi) za bioplinsko napravo Lokve v obdobju od avgusta 2013 do julija 2014

Vhodne surovine	Številka biološko razgradljivih odpadkov	Povprečna količina posameznega inputa	
		(kg/mesec)	% (masni)
Odpadne vode	02 03 05	162986	10,1
Živalski iztrebki, urin in gnoj – svinjska gnojevka	02 01 06	140333	8,7
Biološko razgradljivi kuhinjski odpadki iz gostinstva	02 01 08	827181	51,5
Odpadki iz proizvodnje hrane	02 03 04	10620	0,7
Odpadki iz proizvodnje mlečnih izdelkov	02 05 01	23204	1,4
Zelenjava	02 03 04	145015	9,0
Odpadki iz pekarn in slaščičarn – kruh	02 06 01	49172	3,1
Živila s pretečenim rokom uporabe – pretekli izdelki	02 03 04	84882	5,3
Jedilno olje in maščobe – kuhinjske lahke maščobe	20 01 25	4090	0,3
Jedilno olje in maščobe – olja iz kuhinj	20 01 25	24880	1,5
Produkt glicerol	02 03 04	15646	1,0
Jedilno olje in maščobe – lovilci olj iz kuhinje (flotat)	20 01 25	37837	2,4
Produkt maščobe	02 03 04	27522	1,7
Jedilno olje in maščobe – produkt sončničnega olja	20 01 25	53855	3,4
Input skupno		1607223	100,0

Iz preglednice 9 je razvidno, da so biološko razgradljivi odpadki, odpadna zelenjava in gnojevka predstavljali poleg vode največji delež surovin. Od surovin, ki so jih v omenjenem obdobju vnesli v bioplinarno, so predstavljale najmanjši del kuhinjske lahke maščobe.

Bioplinarne, ki delujejo po standardu, ki velja v državah Evropske unije in v skladu z vsemi strokovnimi pravili pri obratovanju, kamor spada tudi bioplinarna Lokve, imajo nad 80-odstotni izkoristek oz. biološko razgradnjo sušine vhodnih surovin do bioplina. Mešanica vhodnih snovi ima visoko vsebnost organske snovi v suhi snovi (cca. 90 %). Po končani fermentaciji ima digestat le še cca. 60 % organske snovi v suhi snovi.

3.2 OPIS BIOPLINARNE BIOENERG OBNOVLJIVI VIRI ENERGIJE, D. O. O.

Bioplinska naprava Lokve je med sodobnejšimi bioplinskimi elektrarnami v Sloveniji. Letna proizvodnja električne energije znaša 10,5 GWh, kar zadostuje za oskrbo okoli 2500 gospodinjstev. V Lokvah se predelujejo naravni organski odpadki biološko razgradljivih snovi, kot so biološki kuhinjski odpadki, odpadno sadje in zelenjava, ostanki iz pekarn,

nekateri ostanki od pridelave in predelave hrane, silaža, koruza in podobno ter živalska gnojevka. Odpadki se zbirajo v gostinskih obratih, šolah, vrtcih, domovih za ostarele, hotelih, prehrabnih trgovinah ter trgovskih verigah, pekarnah, lekarnah ter podobnih objektih. Živinski gnojevki se po predelavi v bioplinarni izboljšajo njeni gnojilni učinki, hkrati pa, pri optimalnem delovanju bioplinske naprave, izgubi zelo motečo lastnost – smrad, tako da se pri raztrosu v okolje širi manj smradu.

Z naravnim postopkom anaerobne fermentacije (podoben proces srečamo v naravi pri prebavi prežvekovalcev) se odpadki zaradi delovanja različnih mikroorganizmov predelajo na kontroliran in okolju prijazen način; tako se prepreči, da bi se tovrstni odpadki odlagali v okolje in ga ob razpadanju onesnaževali, hkrati pa se pridobivata dva koristna produkta, in sicer bioplin in bioplinska gnojevka oz. digestat. Bioplin se pridobiva za proizvodnjo električne in toplotne energije ali kot pogonsko gorivo.

Bioplinska naprava Lokve je upravljalo podjetje Bioenerg obnovljivi viri energije, d. o. o. Od leta 2013 naprej je bioplinarno v Črnomlju prevzelo podjetje Petrol, d. d.



Slika 6: Bioplinarna Lokve

3.3 VZORČENJE IN MERITVE

3.3.1 Vzorčenje in priprava vzorcev

Vzorčenje je potekalo v treh fazah. V juniju 2011 je bilo z bioplinarne Lokve pri prvem vzorčenju odvzetih 7 vzorcev, pri drugem 4 vzorci. Vzorčene so bile posamezne vhodne surovine.

Pri prvem vzorčenju so bili pridobljeni vzorci naslednjih vhodnih surovin: pomije, kruh, svinjska gnojevka, ribe, odpadki iz industrije predelave sadja in zelenjave, sadje, soja, pri drugem pa flotat z dna kontejnerja, flotat tekoči, flotat suhi. Pri drugem vzorčenju so bili pridobljeni vzorci naslednjih vhodnih surovin: pomije, ribe, mlečni ostanki, mokri flotat, maščobnik, meso, sadje in zelenjava, odpadni biološki produkti proizvodnje medenih izdelkov, kruh ter soja.

V juliju 2011 je bilo z bioplinarne Lokve odvzetih 10 vzorcev vhodnih surovin. Pri tretjem vzorčenju, ki je potekalo avgusta 2011, je bilo z bioplinarne Lokve odvzetih 7 vzorcev. Vzorčeni so bile vhodne surovine: pomije, mlečni izdelki, sadje, ribe, meso, flotat tekoči.

Vzorci fermentacijskega ostanka (FO) so bili v 5-litrskih plastičnih posodah prineseni na Oddelek za agronomijo, na Center za pedologijo in varstvo okolja na Biotehniški fakulteti v Ljubljani.

3.3.2 Uporabljena merilne metode in merilna oprema

Analizirali smo vsebnost cinka (Zn) in kadmija (Cd) po postopku SIST ISO 11466: 1996 – Kakovost tal – Ekstrakcija elementov v sledovih, topnih v zlatotopki, z atomsko absorpcijsko spektrometrijo.

Vzorke smo najprej zračno suho posušili na 30 °C in zdrobili v ahatni terilnici presegali skozi 2-milimetrsko sito in še dodatno zmleli z ahatnim mlinom na 160 µm. V epruvete smo zatehtali približno 3 g zmletga vzorca in mu med mešanjem dodali 21 ml solne kisline (HCl) in po kapljicah 7 ml dušikove kisline (HNO₃). Vzorke smo pustili stati 16 ur pri sobni temperaturi. Nato smo jih postopoma 2 uri segrevali, priklopljene na povratne hladilnike, ki smo jih postavili na električno peč, skozi katere je krožila voda, da bi preprečili izgube v obliki hlapov. Vsebino epruvet smo ohladili, prefiltrirali v 100-mililitrsko bučko, sprali z minimalno množino dušikove kisline ter dopolnili do označbe z deionizirano vodo. Cd in Zn smo izmerili z metodo atomske absorpcijske spektrofotometrije.

V vzorcih vhodnih surovin smo določili tudi suho snov, tako da smo naprej stehtali svež vzorec, ga dali zračno suho sušiti na 30 °C, po končanem sušenju smo stehtali še suh vzorec. Odstotek suhe snovi smo nato izračunali tako, da smo maso suhega vzorca pomnožili s 100 in delili z maso svežega vzorca.



Slika 7: Vzorci vhodnih surovin bioplinarne Lokve pri sušenju zračno suho (30 °C)

3.3.3. Izračun gnojilne vrednosti digestata

Gnojilna vrednost digestata smo ocenili na podlagi izmerjene vrednosti rastlinskih hranil (N, P, K) ter humusa z mikroelementi. Za vrednost hranil smo upoštevali tržno ceno hranil v mineralnih gnojilih (Düngerpreise 2016, spletni portal <http://www.agrarheute.com/tag/duengerpreise>), vrednost humusa pa smo ocenili na podlagi tržne vrednosti hlevskega gnoja in podatka o tvorbi humusa iz hlevskega gnoja (Mihelič in sod., 2010).

3.3.4 Pravni okvir

V pravnem okviru smo pregledali slovensko področno zakonodajo s poudarkom na predpisanih mejnih vrednostih vnosa težkih kovin v tla. Zakonodajo smo analizirali z vidika preteklih sprememb področne zakonodaje, predvsem zakonodajnih sprememb v letih 2008 in 2013. Primerjali smo tudi razlike v predpisanih mejnih vrednostih, ki veljajo v uredbah izbranih evropskih držav in v slovenski zakonodaji.

4 REZULTATI

Rezultati vsebnosti Cd in Zn v vhodnih surovinah, fermentacijskem ostanku ter vsebnosti suhe snovi so bili pridobljeni na Katedri za pedologijo in varstvo okolja Biotehniške fakultete.

4.1 VSEBNOST Cd IN Zn V VHODNIH SUROVINAH

Preglednica 10: Povprečna vsebnost Zn in Cd v vhodnih surovinah in v proizvedenem digestatu

Vhodna snov v bioplinaro	Zn (mg/kg s. s.)			Povprečno Zn (mg/kg)	Cd (mg/kg s. s.)			Povprečno Cd (mg/kg)
pomije	39,1	60,3	47	48,8	0,35	0,3	0,06	0,24
kruh	19,5	31,7		25,6	0,30	0,03		0,17
svinjska gnojevka	665,0			665,0	0,40			0,40
ribe	82,4	98,4	68,6	83,1	1,51	1,21	5,62	2,78
odpadki iz industrije predelave sadja in zelenjave	30,5			30,5	0,11			0,11
sadje	30,5	38,6	37,9	35,7	0,09	0,12	0,23	0,15
flotat z dna	126,0			126,0	0,16			0,16
flotat tekoči	127,0	117	84,9	109,6	0,03	0,03	0,01	0,02
flotat suhi	75,5			75,5	0,02			0,02
soja	139,0	171	215,0	175,0	1,32	1,2	0,81	1,11
maščobnik		25,5		25,5	0,06			0,06
mlečni izdelki	58,9	15,7		37,3	0,01	0,05		0,03
meso	81,1	58,8		70,0	0,04	0,04		0,04
medeni ostanki	19,6			19,6	0,02			0,02
Digestat (fermentacijski ostanek)	168	187	214	190	0,95	1,29	1,41	1,22
Referenčni material (blato komunalne čistilne naprave)				563				1,74

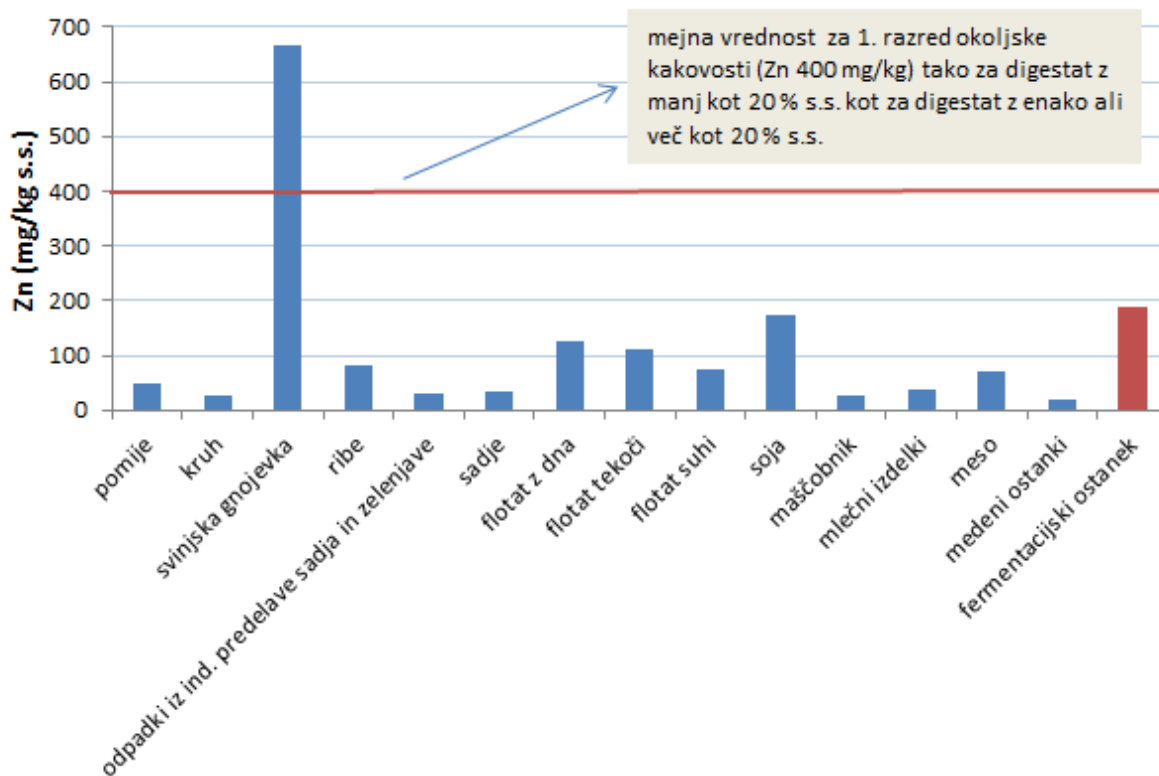
Kot referenčni material pri laboratorijskih meritvah (za kontrolo točnosti meritev) smo uporabili referenčno blato čistilne naprave, ki ima referenčno vrednost za cink 563 mg/kg suhe snovi, za kadmij pa 1,74 mg/kg suhe snovi. Podatki o referenčnem materialu so podani v prilogi A.

Preglednica 10 prikazuje rezultate analize vsebnosti cinka (Zn) in kadmija (Cd) v ekstraktih zlatotopke z atomsko absorpcijsko spektrometrijo. Analiza vsebnosti cinka in kadmija je potekala v dveh oziroma treh ponovitvah. Podana je tudi povprečna vrednost.

V primerjavi z vsebnostmi Zn v ostalih vhodnih surovinah najbolj odstopa svinjska gnojevka. Odstopanje svinjske gnojevke je od mejne vrednosti za digestat oziroma digestat 1. okoljskega razreda precejšnje; meja za Zn je bila po uredbi iz leta 2008 (Uredba o obdelavi... , 2008) 200 mg/kg s. s.; sedaj 400 mg/kg s. s. oz. 600 mg/kg, če bi svinjska gnojevka presegla 50-odstotni delež vhodnih surovin (v našem primeru gnojevka predstavlja nekaj manj kot 8,9-odstotni delež). Ostale vhodne surovine se nahajajo pod mejno vrednostjo glede na vsebnost Zn.

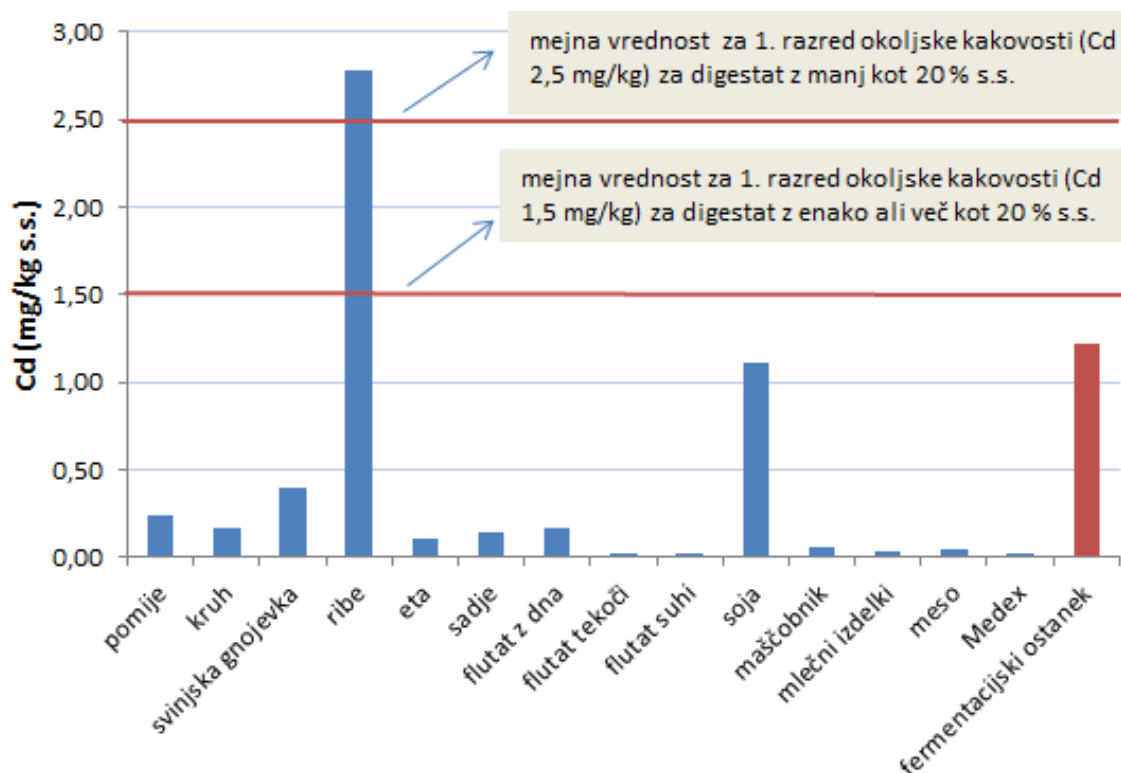
V primerjavi z vsebnostmi Cd v ostalih vhodnih surovinah najbolj odstopajo ostanki rib. Prekoračenje Cd v odpadku iz rib je od mejne vrednosti za digestat oziroma digestat 1. okoljskega razreda precejšnje; meja za Cd je bila po uredbi iz leta 2008 (Uredba o obdelavi ... , 2008) 0,7 mg/kg s. s.; sedaj 2,5 mg/kg s. s. Preseženo mejno koncentracijo Cd po uredbi iz leta 2008 je imela tudi soja in fermentacijski ostanek oz. digestat.

V preglednici 10 vidimo, da bi imel digestat iz bioplinarne Lokve povečano vsebnost kadmija po stari uredbi iz leta 2008 (meja je bila 200 mg/kg s. s.) in kot takšen ne bi bil primeren za vnos na kmetijska zemljišča oziroma kot organsko gnojilo. Ker pa se je mejna vrednost po novi uredbi iz leta 2013 za kadmij spremenila, bi se tako digestat, pridobljen iz bioplinarne, lahko uporabljal kot organsko gnojilo.



Slika 8: Povprečje vrednosti Zn v vhodnih surovinah in mejna vrednost vsebnost Zn za digestat oziroma digestat 1. razreda okoljske kakovosti (Uredba o predelavi ..., 2013)

Iz slike 8 je razvidno, da v primerjavi z ostalimi vhodnimi surovinami in fermentacijskim ostankom po vsebnosti cinka najbolj izstopa svinjska gnojevka. V uredbi (Uredba o predelavi ..., 2013) je zato postavljena mejna vrednost za Zn v digestatu iz biološko razgradljivih odpadkov z več kot 50-odstotnim deležem svinjske gnojevke ali perutninskega gnoja na 600 mg/kg s. s.



Slika 9: Povprečna vsebnost Cd v vhodnih surovinah in mejna vrednost vsebnost Cd za digestat oziroma digestat 1. razreda kakovosti (Uredba o predelavi ..., 2013)

Na sliki 9 vidimo, da po uredbi iz leta 2013 (Uredba o predelavi ..., 2013) v primerjavi z ostalimi vhodnimi surovinami in fermentacijskim ostankom po vsebnosti kadmija najbolj izstopajo ribe.

4.2 SUHA SNOV

Preglednica 11: Vsebnost suhe snovi v vhodnih surovinah po vzorčenjih in povprečna vsebnost suhe snovi

Vhodna surovina	Junij		Julij	Avgust	
	1. vzorčenje	2. vzorčenje			
% suhe snovi					Povprečna suha snov (%)
pomije	24,51		8,02	7,12	13,22
kruh	74,98		3,43		39,20
svinjska gnojevka	4,08				4,08
ribe	33,86				33,86
odpadki iz industrije predelave sadja in zelenjave	17,53				17,53
sadje	6,64				6,64
soja	86,73	85,17	26,16		66,02
flotat z dna		72,20			72,20
flotat tekoči		13,59	18,69	17,89	16,72
flotat suhi		26,77			26,77
ribe			9,08	8,96	9,02
mlečni izdelki			4,23	2,62	2,62
meso			9,35	12,1	10,73
sadje			8,36	24,26	16,31
medeni ostanki			1,63		1,63

Iz preglednice 11 je razvidno, da je bila povprečna vsebnost suhe snovi največja v flotatu z dna kontejnerja (72,20 %), najmanjša pa pri ostankih iz meda (1,63 %). Večja vsebnost suhe snovi praviloma predstavlja energijsko bolj zgoščeno snov. V fermentorju je povprečna suha snov okrog 7–8 %. Če dodajamo vhodne surovine z več suhe snovi, je potrebno dodajati v fermentor vodo, da se vsebina v fermentorju lepo meša in dobro homogenizira.

4.3 VSEBNOST SUHE SNOVI, DUŠIKA, FOSFORJA IN KALIJA V DIGESTATU

Podatki o vsebnosti suhe snovi, dušika, fosforja in kalija v digestatu so bili pridobljeni na Zavodu za zdravstveno varstvo Novo mesto (št. dokumenta: 98-82/11, datum: 29. 12. 2011), Priloga C.

Preglednica 12: Vsebnost suhe snovi, skupnega dušika, celotnega fosforja in kalija v digestatu

Parameter	Enota	Količina	Vsebnost v sveži masi (kg/t)
Suha snov	%	6,3	
Skupni dušik, N	mg/kg s. s.	111198	7,0
Fosfor celotni, P ₂ O ₅	mg/kg s. s.	15618	1,0
Kalij, K ₂ O	mg/kg s. s.	34000	2,1

Iz preglednice 12 je razvidno, da digestat iz bioplinarne Lokve vsebuje v primerjavi z gnojevko primerljivo vsebnost vode, nekoliko več dušika, izrazito manj kalija; vsebnost fosforja je podobna kot v goveji gnojevki.

4.4 MODELNI GNOJILNI NAČRT ZA PETLETNI NJIVSKI KOLOBAR Z UPORABO DIGESTATA BIOPLINARNE LOKEV

Sestavili smo modelni gnojilni načrt za petletni njivski kolobar, kjer smo za gnojenje predvideli uporabo digestata bioplinarne Lokve v čim večjem možnem odmerku glede na omejitve po nitratni direktivi (maksimalen letni vnos dušika je 250 kg/ha; Uredba o varstvu voda ..., 2015) in na podlagi smernic za strokovno gnojenje (Mihelič in sod., 2010). Z modelnim gnojilnim načrtom smo želeli ugotoviti, ali z digestatom pokrijemo potrebe poljščin po hranilih ter koliko težkih kovin, Zn in Cd, damo v tla s priporočenimi gnojilnimi odmerki. Modelni gnojilni načrt je predstavljen v preglednici 13.

Uporabili smo podatke o vsebnosti hranil v digestatu, ki smo ga obravnavali v tej nalogi (preglednici 10 in 12), vendar moramo opozoriti, da se vsebnosti hranil in drugih elementov v digestatu stalno spreminjajo, odvisno od vrste in količine vhodnih snovi ter od uspešnosti fermentacijskega procesa. Vsebnost dušika, ki je vodilni element za načrtovanje gnojenja, je lahko pri različnih 'šaržah' od 1,5 do 12 kg/t digestata. Zato opozarjamo, da je spodnji gnojilni načrt le primer za digestat, ki je sorazmerno bogat z dušikom in kadmijem.

Predpostavili smo, da je v digestatu letni izkoristek dušika v obliki $\text{NH}_4\text{-N}$ (amonijskega dušika) 70–80 % in od 20 do 30-odstotni izkoristek organsko vezanega dušika (Mihelič in sod., 2010). Z eno tono digestata damo v tla skupno 7 kg dušika. Od tega je 4,9 kg $\text{NH}_4\text{-N}$ ter 2,1 kg organskega-N. Če upoštevamo, da damo v tla eno tono digestata, potem je v enem letu dostopnega 3,7 kg/t ($4,9 \times 0,75 = 3,7$ kg/t) amonijskega dušika in 0,4 kg/t ($2,1 \times 0,2 = 0,4$ kg/t) organskega dušika. Vendar je treba pri večletni redni uporabi digestata za gnojenje upoštevati kumulativni izkoristek organskega dušika, ki se v tleh postopno mineralizira. Računamo, da je po več letih uporabe tudi iz organskega N dostopnega cca. 70–75% N, kar znesi $2,1 \times 0,74 = 1,56$ kg N/t. Skupno je torej izkoristljivega cca. 5,25 kg N/t digestata, kar smo upoštevali pri izračunih v gnojilnem načrtu.

Za fosfor in kalij smo predpostavili, da sta dolgoročno 100-odstotno izkoristljiva; torej 1,0 kg P_2O_5 in 2,1 kg K_2O /t digestata. Iz odmerkov digestata za gnojenje smo izračunali vnos Cd in Zn v petletnem kolobarju, z upoštevanjem vsebnosti 190 g/t s. s. za Zn in 1,22 g/t s. s. za Cd.

Za izračun doprinosa humusa iz digestata smo predpostavili, da ima 6,3 % suhe snovi (SS), 60 % organske snovi v ss ter humifikacijski količnik 38% (enak kot za kompostirani hlevski gnoj). Upoštevali smo, da organska snov vsebuje 58% ogljika. Izračunali smo, da 1 t digestata doprinese 8,8 kg humusnega ogljika (humus-C) oz. 15,2 kg humusa, kar se sklada z nemškimi smernicami (VDLUFA, 2004). Za izračun prispevka humusa iz zaorane slame smo upoštevali slovenske smernice za gnojenje; 76 kg humus-C/t (Mihelič in sod., 2010).

Preglednica 13: Gnojilni načrt za petletni kolobar za njivo, ki je optimalno preskrbljena s hranili in humusom.

Leto	Poljščina	Pridelek	Gnojenje z digestatom bioplinarne Lokev		Dodana hranila (kg/ha)			Dodani mikroelement (g/ha)		Tvorba humus-C	Odvzem hranil (kg/ha)			Razgrad. humus-C
		(t/ha)	termin gnojenja	(t/ha)	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Zn	Cd	(kg/ha)	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	(kg/ha)
1	Silažna koruza	50	pred setvijo 6 listov	10 20	53 105	10 20	21 42	120 239	0,77 1,54	88	190	80	225	-700
2	Ozimni ječmen	5	pred setvijo	5	26	5	11	60	0,38	44	85	40	30	-300
	(slama zaorana)		razraščanje	10	53	10	21	120	0,77	88				
	prispevek humusa s slamo		kolenčenje	8	42	8	17	96	0,61	70				
	Krmni ohrovt	25	pred setvijo	20	105	20	42	239	1,54	175	195	63	180	200
3	Krompir	25	pred setvijo pri okopavanju	15 12	79 63	15 12	32 25	180 144	1,15 0,92	132 105	88	35	150	-800
4	Koruzna za zrnje	8	pred setvijo	10	53	10	21	120	0,77	88	104	56	32	-700
	(koruzna slama podorana)		6 listov okopavanje	20	105	20	42	239	1,54	175				
	humus od zaorane koruznice									611				
5	Ozimna pšenica	6	pred setvijo	10	53	10	21	120	0,77	88	108	48	36	-300
	(slama zaorana)		razraščanje	15	79	15	32	180	1,15	132				
	prispevek humusa s slamo		kolenčenje	10	53	10	21	120	0,77	88				
Σ				165	866	165	347	1975	12,68	2722	770	322	653	-2600
Povprečno na leto				33	173	33	69	395	2,54	544	154	64	131	-520

Predpostavili smo, da so tla optimalno preskrbljena tla s hranili. Gnojenje z digestatom smo odmerjali po potrebah poljščin po dušiku. Povprečni letni bilančni saldo dušika je pozitiven za 19 kg N/ha (povprečni vnos N za toliko preseže povprečni odvzem z odpeljanimi pridelki). Tako gnojenje je upravičeno, saj se niti v idealnih razmerah dodani dušik ne izkoristi 100 %; možne so izgube z izhlapevanjem, izpiranjem, denitrifikacijo, erozijo. Tako majhen presežek ne bo onesnažil okolja (npr. podtalnice) (Mihelič in sod., 2010).

Gnojilni načrt pokaže, da digestat ne vsebuje dovolj fosforja in kalija. Za potrebe poljščin v modelnem kolobarju bi morali polovico potreb po teh dveh hranilih pokriti iz drugih virov.

V predstavljenem modelnem kolobarju se v 3 letih od petih prideluje poljščine (strna žita in koruzo) za zrnje, slamo pustimo na njivi. Slama se dobro kombinira z digestatom, saj digestat predstavlja dober vir dušika in drugih mineralov, ki pripomorejo pri biološkem razkroju slame v tleh (= tvorba komposta v tleh). Del dušika iz digestata se ob tem biološko veže, s čimer se zmanjša nevarnost izgub presežkov prostega dušika iz digestata. V takem kolobarju je humusna bilanca izravnana. Iz modelnega gnojilnega načrta vidimo, da sam digestat ni zadosten vir organske snovi za obnovo humusa ter da je potrebno slamo puščati na njivi, če gnojimo z digestatom. Če bi jo prodali, bi siromašili tla.

Pomembna ugotovitev je, da z bioplinskim digestatom v petletnem poljskem kolobarju ne presežemo dovoljenih vrednosti vnosa težkih kovin, kadmija in cinka, čeprav je bila vsebnost Zn (190 mg/kg s. s.) na meji, vsebnost Cd (1,22 mg/kg s. s.) pa krepko nad dovoljenimi mejami po uredbi iz l. 2008. Primer modelnega gnojilnega načrta z digestatom jasno pokaže, da je bil sprejem nove uredbe l. 2013 (Uredba o predelavi ..., 2015), v kateri so se mejne vrednosti povečale (postale manj stroge), smiseln.

Povprečni letni odmerki Cd in Zn v petletnem kolobarju so kljub relativno veliki vsebnosti obeh elementov v digestatu pol manjši od dovoljenega letnega vnosa: Cd, 2,54 g/ha (dovoljeno 5 g/ha letno), Zn pa 395 g/ha (dovoljeno 750 g/ha) (glej pregl. 14).

4.4.1 Gnojilna vrednost digestata

V preglednici 14 je prikazan izračun gnojilne vrednosti digestata. Kot je razloženo v poglavju 3.3.3, je cenovna vrednost izračunana na podlagi cen glavnih hranil v mineralnih gnojilih in vrednosti humusa z mikrohranili na podlagi stroškov za pridelavo organskih snovi (slame, gnoja) in njihove sposobnosti tvorbe humusa.

Vrednost N, P in K, če upoštevamo, da je dolgoročno izkoristljivo 75 % dušika, in celotna vsebnost P in K, je 6,21 €/m³.

Preglednica 14: Gnojilna vrednost digestata

	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
cena hranila (€/kg; brez DDV; stanje cen na EU trgu 1. 12. 2016)	0,80	0,75	0,60
hranila v digestatu (kg/m ³); pri N smo upoštevali dolgoročno izkoristljivi del (= 75 %); pri P in K 100-odstotni izkoristek	5,25	1,00	2,10
Gnojilna vrednost N, P in K v digestatu (€/m ³)	4,20	0,75	1,26
Skupaj vrednost glavnih hranil = 6,21 €/m ³			
Vrednost humusa z mikro hranili = od 1,67 do 6,08 €/m ³			
Skupna gnojilna vrednost digestata = od 7,92 do 12,29 €/m³			

Opomba: volumna gostota digestata je približno 1 t/m³

Poleg vrednosti N, P in K, ki se jih enostavno ovrednoti s primerjavo cene mineralnih gnojil, je dejanska gnojilna vrednost digestata večja, saj ne vsebuje le N, P in K, temveč še celo paleto esencialnih sekundarnih (Ca, Mg, S) in mikrohranil (npr. Fe, Zn, Cu, B ...), poleg tega pa še delno stabilizirano organsko snov, ki je vir hrane talnim

mikroorganizmom in tvori humus. Mihelič in Majerič, 2016, sta izračunala, da je humus z mikrohranili vreden od 0,11 do 0,40 €/kg. Humus z mikrohranili v 'našem' digestatu, ki tvori 15,2 kg humusa/m³, je torej vreden 1,67 do 6,08 €/m³.

Skupna gnojilna vrednost digestata je od 7,9 do 12,3 €/m³ fco. bioplinarna.

Vrednost letnega gnojilnega odmerka 33 t/ha (~ 33 m³/ha), kolikor smo predpostavili v modelnem gnojilnem načrtu (Preglednica 13), je od 260 do 406 €/ha, kar je v ekonomiki poljedelske pridelave veliko, če predpostavimo, da kmet s prodajo pridelka iz 1 ha, npr. 6 t pšeničnega zrnja (s 14 % s. s.), zasluži cca. 800–900 €.

Pri gnojenju bi bilo potrebno upoštevati še stroške prevoza digestata do zemljišč in stroške, ki jih imamo z aplikacijo.

4.5 RAZNOLIKOST PREDPISOV V SLOVENIJI IN EU

Predpisi v državah EU določajo različne mejne vrednosti za vsebnost težkih kovin in mikrohranil v digestatih. Težke kovine, ki so prisotne v digestatu, izvirajo iz surovin, ki se uporabljajo in gredo skozi proces anaerobne digestije nespremenjene v digestat in na koncu končajo v tleh, če se digestat uporabi kot gnojilo.

Če pride v tleh do kopičenja težkih kovin, je to povezano z onesnaževanjem in potencialno toksičnostjo za ekosisteme. Skladno s tem ima večina držav stroge omejitve o koncentracijah težkih kovin v katerem koli materialu, ki se uporablja na zemljiščih oziroma za aplikacijo na tla. Kakovost digestata, ki se uporablja kot gnojilo, mora biti v skladu s takimi mejnimi vrednostmi, kot so določene v posamezni državi. Vsebnosti težkih kovin v digestatu iz procesa anaerobne digestije, pri katerem so bile uporabljene surovine iz kmetijstva, odpadki hrane ter ostanki od predelave hrane, so običajno v mejah primernosti, da se lahko digestat uporablja kot gnojilo v kmetijstvu (Al Seadi in Lukehurst, 2012).

Preglednica 15: Mejne vrednosti težkih kovin (mg/kg suhe snovi) v produktih iz odpadkov, ki se lahko uporabljajo/aplicirajo na zemljišča v državah članicah IEA Bioenergy Task 37* (Al Seadi in Lukehurst, 2012)

Država	Cd	Pb	Hg	Ni	Zn	Cu	Cr
EU priporočila z začetkom 2015	5	500	5	200	2000	800	600
EU priporočila z začetkom 2025	2	300	2	100	1500	600	600
Avstrija ¹	3 (10)	100 (600)	1 (10)	100 (400)	-(3000)	-(700)	100 (600)
Kanada	3	150	0,6	62	500	100	210
Danska	0,8	120	0,8	30	4000	1000	100
Finska	1,5	100	1	100	1500	600	300
Francija	3	180	2	60	600	300	120
Nemčija	10	900	8	200	2500	800	900
Irska	20	750	16	300	2500	1000	1000
Norveška	2	80	3	50	800	650	100
Švedska	1	100	1	50	800	600	100
Švica	1/0,7	120/45	1/0,4	30/25	400/200	100/70	70/na
Nizozemska	1,25	100	0,75	30	300	75	75
Združeno kraljestvo	1,5	200	1	50	400	200	100
Slovenija (Ur. l. RS, 99/13) 1. razred okoljske kakovosti	1,5–2,5	120	1	50	400	200	100

*IEA BIOENERG TASK 37 je mednarodna delovna skupina, ki zajema anaerobno presnovo (AD) surovin iz biomase, vključno s kmetijskimi ostanki, kot na primer gnoj in rastlinski ostanki, energetskih rastlin, organsko bogatih odpadnih voda, organske frakcije komunalnih trdnih odpadkov (OFMSW) in industrijskih organskih odpadkov (<http://www.iea-biogas.net/>).

¹Vrednosti v oklepajih pomenijo mejne vrednosti hranil v g/ha za dveletno obdobje.

Glede mejnih vrednosti vsebnosti težkih kovin v produktih iz odpadkov, ki se lahko uporabljajo oziroma aplicirajo na zemljišča, imata najstrožje predpise Danska za kadmij z mejno vrednostjo 0,8 mg/kg suhe snovi, ki pa ima za Zn nasprotno, zelo visoko mejo, kar 4000 mg/kg. Najstrožjo mejno vrednost za Zn ima Nizozemska, 300 mg/kg suhe snovi, kar je malo pod slovensko mejno vrednostjo, 400 mg/kg. Mejne vrednosti v Sloveniji so po predpisih, veljavnih od 2013, tako za cink kot za kadmij (Cd = 1,5 mg/kg, Zn=400 mg/kg), določene na enaki ravni kot v Združenem kraljestvu. Enake mejne vrednosti za kadmij ima tudi Finska. Na splošno lahko sklenemo, da so sedanje slovenske mejne vrednosti za težke kovine v digestatih še vedno relativno stroge v primerjavi s članicami IEA in so strožje od mejnih vrednosti, ki naj bi stopile v veljavo za celotno EU po letu 2025 (Preglednica 14).

Preglednica 16: Mejne vrednosti vnosa nevarnih snovi v tla po Uredbi o predelavi biološko razgradljivih odpadkov in uporabi komposta ali digestata (Uredba o spremembah in dopolnitvi ..., 2015)

Nevarna snov	[g/ha] v dveh letih
Kadmij in njegove spojine, izražene kot Cd	10
Baker in njegove spojine, izražene kot Cu	700
Nikelj in njegove spojine, izražene kot Ni	400
Svinec in njegove spojine, izražene kot Pb	600
Cink in njegove spojine, izražene kot Zn	3000
Živo srebro in njegove spojine, izražene kot Hg	10
Celotni krom	600

Uporaba digestata v kmetijstvu je poleg dovoljenih vnosov na kmetijska zemljišča in zahtev za visoko kakovost digestata omejena tudi z dovoljeno vsebnostjo dušika v skladu s predpisom, ki ureja varstvo voda pred onesnaževanjem z nitrati iz kmetijskih virov (Uredba o varstvu voda ..., 2015) in z dovoljenim letnim vnosom nevarnih snovi v tla. Varnost dovoljenega letnega vnosa nevarnih snovi v tla je tako zagotovljena z določenimi vrednostmi za težke kovine za doseganje 1. razreda kakovosti digestata, dovoljenim vnosom digestata v tla ter omejenim vnosom digestata v tla zaradi dušika (Uredba o predelavi ..., 2013).

5 RAZPRAVA IN SKLEPI

5.1 RAZPRAVA

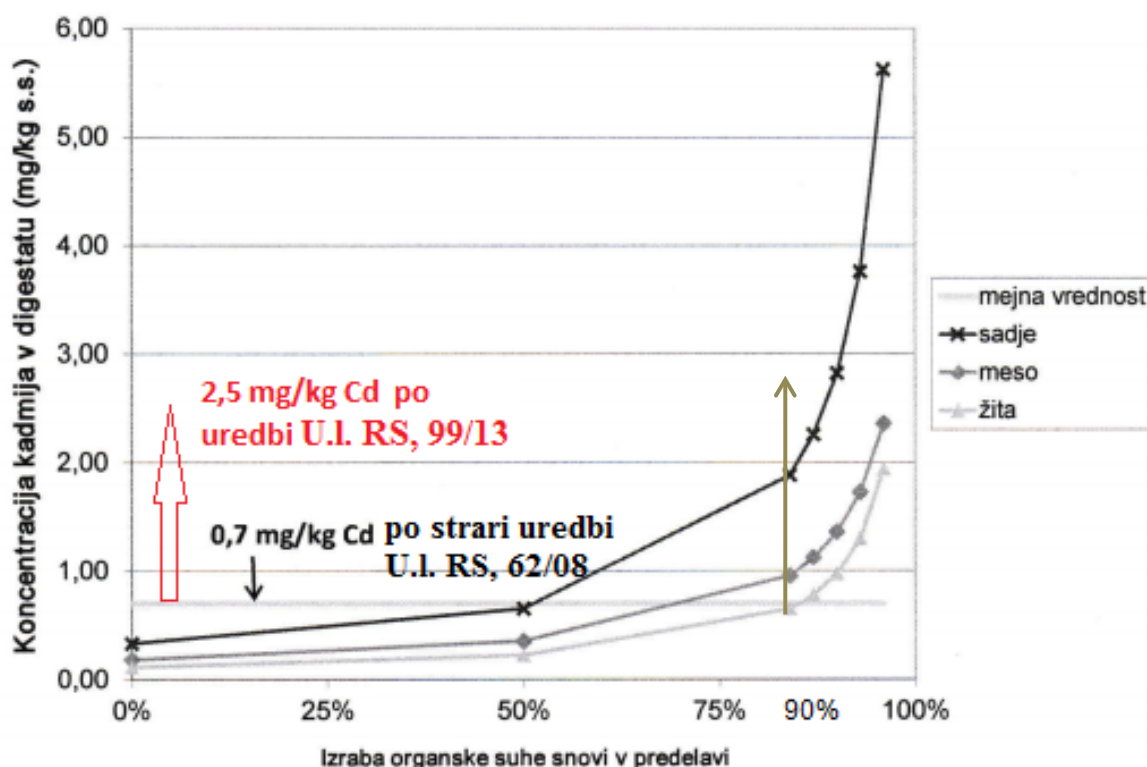
Mejne vrednosti glede vsebnosti težkih kovin in mikrohranil v bioplinski gnojevki in kompostu, če biološko razgradljive odpadke obdelujemo, se od države do države razlikujejo. Ene najbolj strogih določil glede mejnih vrednosti ima Avstrija, manj stroga glede mejnih vrednosti težkih kovin pa je Nemčija. Glede vnosa težkih kovin v tla je glede kadmija najmanj stroga Irska, glede cinka pa Danska.

Pri obdelavi biološko razgradljivih odpadkih moramo biti pozorni na vsebnost težkih kovin v vhodnih surovinah in nato v presnovku, ki naj bi bil kot obdelan primeren za nadaljnjo uporabo, saj lahko hitro pridemo do povečanih koncentracij težkih kovin, ki kot takšne predstavljajo nevarnost za okolje, ljudi in živali. Da se problematiki koncentracije težkih kovin izognemo pri nastajanju digestata, moramo bioplinsko napravo napolniti z ustreznim razmerjem vhodnih surovin. Pri gnojenju z digestatom moramo biti pozorni, da digestat apliciramo na dovolj veliko površino, pred tem določimo ustrezne odmerke ter opravimo predhodne analize digestata in izdelamo večletni gnojilni načrt.

Iz gnojilnega načrta je razvidno, da prispevek humusa iz digestata sicer ne pokrije razgradnje humusa, a je v primeru zaoravanja žetvenih ostankov (slame žit) v kolobarju humusna bilanca izravnana do pozitivna (preglednica 13).

Na leto lahko damo v tla 1,5 kg cinka na hektar in 5 g kadmija na hektar. V modelnem gnojilnem načrtu (preglednica 13) letna vnosa cinka in kadmija, ki smo ju dali v tla, nista presežena. Za ponazoritev smo izračunali (Priloga 2), da bi se po 100 letih vsakoletnega gnojenja s povprečnim odmerkom digestata v poljedelskem kolobarju vsebnost Cd v tleh povečala za manj kot 0,1 mg/kg tal v ornici (0–20 cm). Pri izračunu nismo upoštevali odvzema Cd in Zn s pridelki, niti možnih izgub z izpiranjem in erozijo. Izračun jasno pokaže, da tudi pri dolgoletni uporabi digestata za gnojenje ni nevarnosti onesnaženja tal (Priloga 2).

V uvodu smo si zastavili hipotezo, da v suhi snovi med procesom bioplinske fermentacije koncentracija kovin močno naraste in lahko tudi preseže mejne vrednosti, čeprav naprava predeluje popolnoma neoporečno hrano, ki ima v prvotni obliki zelo majhno vsebnost težkih kovin. To možnost potrjujemo in prikazujemo v sliki 10, kjer smo kot izhodiščno vsebnost kadmija privzeli dopustno vsebnost kadmija v živilih po uredbi ES št. 1881/2006 o določitvi mejnih vrednosti nekaterih onesnaževal v živilih in spremembi št. 629/2008. Za meso in sadje smo vzeli mejno vrednost 0,05 mg Cd/kg svežega živila, za žita pa 0,1 mg Cd/kg zrnja (sl. 10).



Slika 10: Koncentracija kadmija za tri različne snovi, meso, žita, sadje in mejna vrednost za kadmij v digestatu (2,5 mg/kg suhe snovi) (vir podatkov: Uredba o predelavi ..., 2013)

Ostanki teh živil so pomemben sestavni del komunalnih bioplinskih naprav. Iz slike je razvidno, da npr. neproblematično sadje, ki ima v sveži snovi izjemno majhno vsebnost elementov, postane na videz problematično po stari uredbi (Uredba o obdelavi ..., 2008) že, če se razgradi nekoliko več kot 50 % organske snovi, po novi uredbi (Ur. l. RS, 99/13) pa šele, če se razgradi 90–95 % organske snovi. Z razgradnjo organske snovi eksponentno narašča vsebnost elementov v suhi snovi digestata, zato ker elementi ostajajo v digestatu, z nastajajočim bioplinom pa izhajajo metan, ogljikov dioksid in vodna para. Koncentracija elementov v digestatu zato narašča v povezavi z razgradnjo organskih snovi; večja kot je razgradnja, večja je koncentracija elementov, kar je prikazano na sliki 10. S tem pa se ne slabša kakovost digestata, temveč gre za naraven proces v obtoku snovi.

Uredba o obdelavi biološko razgradljivih odpadkov ne more zahtevati boljše kakovosti za digestate (npr. nižje vsebnosti kovin), kot jih dovoljuje Uredba o določitvi mejnih vrednosti nekaterih onesnaževal v živilih (uredba ES št. 1881/2006 o določitvi mejnih vrednosti nekaterih onesnaževal v živilih in sprememba št. 629/2008). Če lahko neka bioplinarna dobi skozi vhodne materiale (hrano in ostanke hrane) 500 g kadmija na leto, potem mora biti teh 500 g kadmija dovoljenih tudi v digestatu, ne glede na to, kakšna je koncentracija kadmija v suhi snovi digestata. Isto velja pri uporabi digestata kot gnojila za kmetijske površine. Pomembno je, koliko posameznega elementa se vnese letno v tla, kar določa večkrat spremenjena Uredba o mejnih vrednostih vnosa nevarnih snovi in gnojil v tla (2013). Koncentracija elementa v suhi snovi gnojila ne pove nič o tem, koliko tega elementa je bilo vnesenega v tla in ali je bila presežena letna mejna vrednost za vnos v tla

za ta element. Pomemben je preračun količine elementa v gnojilu in njegov količinski vnos v tla in ne njegova koncentracija v suhi snovi gnojila.

Pri kompostih in digestatih, ki se uporabljajo za kmetijsko rabo, so mejne vrednosti še vedno precej strogo določene (primerjava s članicami IEA in predlogom nove EU uredbe za l. 20225), čeprav blažje kot v uredbi o obdelavi biološko razgradljivih odpadkov z leta 2008. Glede na modelne izračune in modelni gnojilni načrt lahko potrdimo, da so bile mejne vrednosti po stari uredbi prestroge oz. postavljene brez resnega znanstvenega ozadja. Kot take so brez potrebe ovirale predelavo organskih odpadkov v bioplinskih napravah. Sedanje mejne vrednosti so še vedno stroge, vendar se jih z dobro prakso v bioplinskih napravah da doseči.

Tekoči digestati imajo sorazmerno veliko vsebnost lahko dostopnega dušika. Če bi letno odmerjali 200 kg N/ha, bi lahko uporabili npr. 35 m³/ha tekočega digestata iz bioplinarne Lokve, s čimer pa bi odmerili le 2 t suhe snovi/ha, kar je relativno malo. Zgolj podatek o koncentraciji kovin v suhi snovi tekočega (z vodo bogatega) digestata ni dovolj, da bi sklepali o nevarnosti onesnaženja okolja s težkimi kovinami pri uporabi digestata na poljih. Za varovanje okolja je bistven podatek o absolutnem vnosu določene snovi v tla (npr. kovine v g/ha), ki ga dobimo z zmnožkom priporočenega odmerka digestata in koncentracije določene snovi v njem. Če bi uporabili digestat iz bioplinarne Lokve za gnojenje v odmerku 35 m³/ha, bi s tem dali cinka 420 g/ha in kadmija 2,7 g/ha, kar je bistveno manj od dovoljenega (preglednica 14), in kot smo pojasnili, tudi pri dolgoletni redni uporabi digestata za gnojenje v okviru potreb tal in rastlin ne bi prišlo do onesnaženja okolja.

Problematika razvoza gnojevke in delovanja bioplinske naprave Lokve je bila medijsko v letu 2011 odmevna. Civilna iniciativa in okoljsko gibanje Proteus so opozarjali na slab nadzor uporabe gnojevke (Ovsenik, 2011). Digestat, kot stranski proizvod bioplinarne Lokve, se po tedaj veljavni uredbi iz l. 2008 ni uvrščal v prvi kakovostni razred, zato so pozivali k večjemu nadzoru inšpekcij in pristojnih služb nad bioelektrarno ter izdelali svoje poročilo, ki so ga poslali na kmetijsko, okoljsko in veterinarsko inšpekcijo, ARSO in pristojna ministrstva. V poročilu je zapisano, da se iz bioplinarne pogosto širi neznosen smrad. Bioplinsko gnojevko, ki je stranski produkt predelave ostankov hrane in prašičje gnojevke, pa naj bi kmetje nenadzorovano razlivali po belokranjskih kraških poljih in s tem močno ogrožali podtalnico. Poročajo tudi, da so bile v gnojevki močno povišane vrednosti težkih kovin; z njeno uporabo naj bi se v Beli krajini izrazito povečala tudi obremenjenost tal z dušikom. Smrad, ki se je širil, naj bi bil posledica neobvladanja procesa anaerobne fermentacije v bioplinarni. Pritožbe glede smradu so bile morebiti upravičene, glede težkih kovin pa je bila, glede na naše analize, bojazen odveč, saj je, kot smo prikazali, pri strokovnemu gnojenju z digestatom odmerok težkih kovin v tla majhen in okoljsko neproblematičen, četudi bi z njim redno, vsakoletno gnojili več kot sto let.

5.2 SKLEPI

Prvo delovno hipotezo, da v suhi snovi v digestatu koncentracija kovin močno naraste in lahko celo preseže mejne vrednosti, čeprav naprava obdeluje popolnoma neoporečno hrano, ki ima v prvotni obliki zelo majhno vsebnost težkih kovin, smo potrdili. Z razgradnjo organske snovi eksponentno narašča vsebnost elementov v suhi snovi digestata zato, ker elementi ostajajo v digestatu, z nastajajočim bioplinom pa izhajajo metan, ogljikov dioksid in vodna para. Koncentracija elementov v digestatu zato narašča v povezavi z razgradnjo organskih snovi; čim večja je razgradnja, tem večja je koncentracija elementov. S tem pa se ne slabša kakovost digestata, temveč gre za naraven proces v obtoku snovi.

Ugotovljeno je bilo, da ima lahko posamezna vhodna surovina s povečano koncentracijo določenega elementa izrazit vpliv na vsebnost tega elementa v bioplinskem digestatu. Primer je svinjska gnojevka, ki je imela vsebnost cinka 665 mg/kg suhe snovi in je vplivala na precejšnjo vsebnost Zn v digestatu, 190 mg/kg suhe snovi, čeprav je bil njen delež med vhodnimi svežimi snovmi le cca. 9 % utežno.

Predpostavili smo, da je vsebnost Cd in Zn pri nekaterih vhodnih biogenih odpadkih že na izvoru velika, zato je lahko končna koncentracija težkih snovi v suhi snovi digestata precejšnja. Problematični so se zaradi povečane vsebnosti Cd pokazali ostanki rib in soje, svinjska gnojevka pa je imela povečano vsebnost cinka. Ob napovedanem sprejemu večje količine tovrstnih surovin priporočamo, da se pred vnosom v bioplinsko napravo te vhodne snovi analizirajo na vsebnost kritičnih elementov in da se na podlagi dejanske vsebnosti upravitelj naprave odloči, ali je smotrno te surovine uporabiti in v kakšni količini, da ne bo imel na koncu procesa onesnaženega bioplinskega digestata.

Veljavna zakonodaja na področju mejnih vrednosti koncentracije težkih kovin je v nekaterih državah bolj, v drugih manj stroga. Zato bi bilo smiselno zakonodajo na tem področju bolj poenotiti za vse države v Evropski uniji. Med najbolj strogi državi glede mejnih vrednosti vsebnosti težkih kovin v produktih iz odpadkov, ki se lahko uporabljajo na zemljiščih, spadata Danska za kadmij z 0,8 mg/kg suhe snovi ter Nizozemska za cink z mejno vrednostjo 300 mg/kg suhe snovi. Po sedanji Uredbi o mejnih vrednostih vnosa nevarnih snovi in gnojil v tla (2013) bi Slovenijo lahko enačili z predpisi, ki veljajo v Združenem kraljestvu (Cd = 1,5 mg/kg, Zn = 400 mg/kg).

Pomembna je ugotovitev, da z bioplinskim digestatom v petletnem poljskem kolobarju ne presežemo dovoljenih vrednosti vnosa težkih kovin, kadmija in cinka. Primer modelnega gnojilnega načrta z digestatom jasno pokaže, da je bila novelacija uredbe l. 2013, v kateri so se mejne vrednosti povečale (postale manj stroge), smiselna in da bo pri strokovnem gnojenju z digestatom odmerik težkih kovin v tla majhen in okoljsko neproblematičen, četudi bi z njim redno, vsakoletno gnojili več kot sto let.

Digestat, ki ga lahko uporabljamo kot organsko gnojilo na polju, kamor spada tudi digestat iz bioplinarne Lokve, ima za kmetijstvo in tudi za okolje nekatere prednosti, kot so hranilna vrednost, izboljšanje lastnosti tal ter zmanjšanje emisij toplogrednih plinov. Pri njegovi aplikaciji pa moramo upoštevati primeren čas aplikacije (upoštevanje časovnih

omejitev, ko je aplikacija prepovedana), tip tal (lahka, srednje težka in težka tla), območje, kjer želimo aplicirati digestat (vodovarstvena območja, kmetijska, nekmetijska zemljišča). Upoštevati moramo tudi, da z digestatom v tla nesemo malo organske snovi in da je poleg digestata potrebno za vzdrževanje ravni humusa v tla dati dodaten vir organske snovi (npr. slamo strnih žit, koruze, podorine, kompost ...).

6 POVZETEK

V večini evropskih držav biološko razgradljive odpadke, kot so kmetijski stranski proizvodi in odpadki iz kmetijske industrije, odlagajo kot nekoristne in ti odpadki so pogosto vir onesnaževanja okolja. Če pa z njimi ustrezno ravnamo in obenem izpolnjujemo okoljske smernice in upoštevamo zakonodajo (uredbe), lahko večina kmetijskih stranskih proizvodov postane pomemben gospodarski vir.

Anaerobna fermentacija pridobivanja bioplina, ki poteka v bioplinarnah in ki se uporablja za soproizvodnjo toplote in električne energije iz biološko razgradljivih odpadkov in tudi kmetijskih ostankov, pripomore k zmanjšanju odpadkov, ki jih je v današnji družbi čedalje več. Digestat, ki ga dobimo kot stranski proizvod iz teh surovin, lahko uporabimo kot bogato organsko gnojilo.

Namen magistrske naloge je bil tako ugotoviti vsebnost dveh problematičnih težkih kovin, kadmija in cinka, v bioloških odpadkih pred fermentacijo in po fermentaciji in pregledati zakonodajo na tem področju.

Vhodne surovine smo pred anaerobno digestijo v bioplinarni Lokve analizirali in izmerili vsebnost sušine, kadmija in cinka. Ugotovili smo, da dovoljeno mejno vrednost presegata dve od izbranih vhodnih surovin: svinjska gnojevka, ki je imela povprečno vsebnost cinka v suhi snovi 665 mg/kg, in pa ribe, ki so imele povprečno vsebnost kadmija v suhi snovi 83 mg/kg. Po opravljeni fermentaciji oziroma anaerobni digestiji smo še v fermentacijskem ostanku – digestatu določili vsebnost kadmija, 1,6 mg/kg, in cinka, 195 mg/kg suhe snovi. Digestat je imel po stari uredbi, ki je veljala do l. 2013, preveliko vsebnost kadmija, zato ne bi bil primeren kot organsko gnojilo. Po uveljavitvi spremembe Uredbe o mejnih vrednostih vnosa nevarnih snovi in gnojil v tla v letu 2013 ista vsebnost Cd ne presega več mejne vrednosti in bi bil primeren kot organsko gnojilo. Povečanje mejnih vrednosti za cink in kadmij v digestatu po sedaj veljavni uredbi je utemeljeno z okoljskega in ekonomskega vidika.

Digestat, ki ga lahko uporabljamo kot organsko gnojilo na polju, kamor spada tudi digestat iz bioplinarne Lokve, ima za kmetijstvo in tudi za samo okolje nekatere prednosti, kot so hranilna vrednost, izboljšanje lastnosti tal ter zmanjšanje emisij toplogrednih plinov.

Izdelan model gnojilnega načrta z digestatom nam jasno pokaže, da so bile spremembe uredbe iz leta 2013, v skladu s katerimi so se povečale mejne vrednosti (oziroma postale manj stroge), smiselne in da bo pri strokovnem gnojenju z digestatom odmerik težkih kovin v tla majhen in okoljsko neproblematičen, četudi bi z njim redno oziroma vsakoletno gnojili več kot sto let.

Po pregledu zakonodaje v Sloveniji in drugih državah članicah Evropske unije smo ugotovili, da obstajajo med državami razlike. Glede mejnih vrednosti vsebnosti težkih kovin v produktih iz odpadkov, ki se lahko uporabljajo oziroma aplicirajo na zemljišča, sta najbolj strogi državi Danska za kadmij z 0,8 mg/kg suhe snovi ter Nizozemska za cink z mejno vrednostjo 300 mg/kg suhe snovi. V primerjavi z mejnimi vrednostmi za kovine v digestatih v državah članicah IFE in predloga EU za obdobje po letu 2025 (Preglednica 14) so sedanje slovenske mejne vrednosti še vedno stroge, a se jih z dobro prakso v bioplinskih

napravah da doseči. Slovenijo bi lahko primerjali s predpisi oz. mejnimi vrednostmi, ki veljajo v Združenem kraljestvu, tako za cink kot kadmij ($Zn = 400 \text{ mg/kg}$, $Cd = 1,5 \text{ mg/kg}$). Enake mejne vrednosti za kadmij, kot jih imata določene Slovenija in Združeno kraljestvo ima tudi Finska. Danska zakonodaja je glede Cd prestroga, naša zakonodaja je bolj življenjska, kar smo dokazali z modelnim gnojilnim načrtom, kjer za gnojenje uporabljamo digestat iz bioplinarne Lokve v odmerkih, ki so v skladu z omejitvami glede vnosa dušika v tla po Nitratni direktivi (Uradni list RS, št. 113/09, 5/13 in 22/15). Glede na ugotovitve bi bilo smotrno zakonodajo na tem področju bolj poenotiti med državami Evropske unije.

7 VIRI

- Alloway B. J. 2008. Zinc in Soils and Crop Nutrition. Bruselj, IZA (International Zinc Association) in IFA (International Fertilizer Industry Association): 139 str.
- Al Seadi T., Lukehurst C. T. 2012. Quality management of digestate from biogas plants used as fertiliser. IEA Bioenergy: 40 str.
http://www.iea-biogas.net/files/daten-redaktion/download/publi-task37/digestate_quality_web_new.pdf (februar, 2016)
- Al Seadi T., Rutz D., Prassl H., Köttner M., Finsterwalder T., Volk S., Janssen R., Grm M. 2010. Priročnik o bioplinu. Ljubljana, ApE-Agencija za prestrukturiranje energetike: 142 str.
- Bitenc P., Srt M. 2010. Pridobivanje in uporaba bioplina. Raziskovalna naloga. Velenje, Šolski center Velenje: 28 str.
- Čebular A. 2010. Obnovljiva Slovenija. Gea, 7: 24–31
- Drosg B., Fuchs W., Al Seadi T., Madsen M., Linke B. 2015. Nutrient Recovery by Biogas Digestate Processing. IEA Bioenergy. First electronic edition produced in 2015. ISBN 978-1-910154-16-8 (eBook electronic edition). 39 p.
- Düngerpreise 2016, spletni portal <http://www.agrarheute.com/tag/duengerpreise> (1. december 2016).
- EUR-Lex. 2008. Zelena knjiga o ravnanju z biološkimi odpadki v Evropski uniji
<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2008:0811:FIN:SL:PDF> (februar, 2016)
- IEA Bioenergy.
<http://www.iea-biogas.net/> (september, 2016)
- Kickinger T., Würzner H., Windisch W. 2009. Zinc and copper in feeds, slurry soils from Austrian pig fattening farms feeding commercial complete feed or feed mixtures produced on-farm. Dunaj, University of Natural Resources and Life Sciences, <https://diebodenkultur.boku.ac.at/volltexte/band-60/heft-4/kickinger.pdf> (september, 2016)
- Lukehurst C. T., Frost P., Al Seadi T. 2010. Utilisation of digestate from biogas plants as biofertiliser. Oxford, IEA Bioenergy: 24 str.
- Martin I., Morgan H., Waterfall E. 2009. Soil Guideline Values for cadmium in soil. Bristol, Environment Agency: 11 str.

- Mihelič, R., Čop J., Jakše, M., Štampar, F., Majer, D., Tojnko, S., Vršič, S. 2010. Smernice za strokovno utemeljeno gnojenje. Ljubljana: Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano, 2010. 182 str., ilustr. ISBN 978-961-6761-09-3.
http://www.mkgp.gov.si/fileadmin/mkgp.gov.si/pageuploads/publikacije/Program_razvoja_podezelja/smernice09_skupaj_april_2011.pdf. (1. december 2016)
- Mihelič R., Majerič B. 2016. Vrednotenje humusa ali sprstenine v tleh. Kmečki glas, ISSN 0350-4093, 27. jan. 2016, vol. 73, št. 4, str. 12
- Nayono S. E. 2009. Anaerobic digestion of organic solid waste for energy production. Doctor Dissertation. Karlsruhe, Universität Fridericiana zu Karlsruhe: 148 str.
- Ovsenik D. 2011. Bioplinska elektrarna Lokve prenehala predelovati gnojevko. SIOL.net, (maj, 2011)
<http://siol.net/novice/novice/bioplinska-elektrarna-lokve-prenahala-predelovati-gnojevko-39959> (maj, 2016)
- Obrecht M., Denac A. 2013. sustainable energy policy for Slovenia: Considering the potential of renewables and investment costs. Journal of Renewable Sustainable Energy, 5, 3: 14-15.
- Parfitt J., Barthel M., S. Macnaughton. 2010. Food waste within food supply chains: quantification and potential for change to 2050. Philosophical Transactions of the Royal Society, 365: 3065–3081
- Petersen S. O., Mihelič R. 2007. Recycling of livestock manure in whole-farm perspective. Livestock Science, 112, 3: 180–191
- Pšaker P. 2011. Analiza kmetijskega potenciala za proizvodnjo bioplina v Sloveniji. Referet, Moravske Toplice, 2. 3. 2011.
http://www.p-tech.si/shared_files/6._peter_paker_kgzs.pdf (1. december 2016)
- Shefali V. 2002. Anaerobic digestion of biodegradable organics in municipal solid wastes. Columbia, Columbia University, Department of Earth & Environmental Engineering: 56 str.
<http://www.seas.columbia.edu/earth/vermathesis.pdf> (oktober, 2015)
- Sever C. 2015. Bioplinarne – zgodba o (ne)uspehu?
<http://www.rtvsl.si/lokalne-novice/bioplinarne-zgodba-o-ne-uspehu/357519>
(1. december 2016)
- SIST ISO 11466. Soil quality -- Extraction of trace elements soluble in aqua regia. 1996: 6 str.
- Smolders E. 2001. Cadmium uptake by plants. International Journal of Occupational Medicine and Environmental Health, 14, 2: 177–183

- Urbančič A., Petelin Visočnik B., Đorić M., Lah P., Česen P., Merše S. 2015. Poročilo o doseganju nacionalnih ciljev na področju OVE in SPTE za obdobje 2012–2014. Maribor, Agencija za energijo: 90 str.
- Uredba Komisije (ES) št. 629/2008 o spremembi Uredbe Komisije (ES) št. 1881/2006 o določitvi mejnih vrednosti nekaterih onesnaževal v živilih. 2008. Uradni list Evropske unije, L173: 6–9
- Uredba o mejnih vrednostih vnosa nevarnih snovi in gnojil v tla. 2005. Ur. l. RS št. 84/05
- Uredba o obdelavi biološko razgradljivih odpadkov. 2008. Ur. l. RS št. 62/08
- Uredba o predelavi biološko razgradljivih odpadkov in uporabi komposta ali digestata. 2013. Ur. l. RS št. 99/13
- Uredba o spremembah in dopolnitvi Uredbe o predelavi biološko razgradljivih odpadkov in uporabi komposta ali digestata. 2015. Ur. l. RS, št. 56/15
- Uredba o varstvu voda pred onesnaževanjem z nitrati iz kmetijskih virov, neuradno prečiščeno besedilo št. 2. Pravno-informacijski sistem.
<http://www.pisrs.si/Pis.web/pregledPredpisa?id=URED5124> (30. maj 2016)
- Valeur I. 2011. Speciation of heavy metals and nutrient elements in digestate. Master thesis. Oslo, Norwegian University of Life Sciences, Department of Plant and environmental sciences: 48 str.
- Vögeli Y., Lohri C. R., Gallardo A., Diener S., Zurbrügg C. 2014. Anaerobic digestion of biowaste in developing countries. Dübendorf, Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology (Eawag): 137 str.
- Zupančič G.D., Grilc V. 2012. Anaerobic treatment and biogas production from organic waste. Rijeka, Institute for Environmental Protection and Sensors. Management of Organic Waste: 27 str.
- Zupančič G.D., Grilc V. 2015. Potencial, ki še zdaleč ni izkoriščen - EOL 58. Ravnanje z biorazgradljivimi odpadki. Zelena Slovenija.
<http://www.zelenaslovenija.si/revija-eol/arhiv-stevilk-eol/arhiv/922-potencial-ki-se-zdalec-ni-izkoriscen-eol-58> (november, 2015)
- Zupan M., Grčman H., Lobnik F. 2008. Raziskave onesnaženosti tal Slovenije. Ljubljana, Agencija RS za okolje: 63 str.

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorju dr. Roku Miheliču za usmerjanje pri izdelavi diplomske naloge.

Iskreno se zahvaljujem tudi svoji družini, ki me je potrpežljivo spodbujala v času študija.

Zahvaljujem se g. Dejanu Štrbenku, prejšnjemu direktorju podjetja Bioenerg obnovljivi viri energije, d. o. o., ki je upravljalo bioplinarno Lokve v času našega raziskovalnega dela. Podjetje Bioenerg nam je omogočilo vzorčenje surovin in digestata ter financiralo njihove analize.

Za pomoč in posredovane informacije se zahvaljujem tudi zdajšnjemu lastniku bioplinarne Lokve, družbi Petrol, d. d., mag. Anji Kocjančič, direktorici okoljskih rešitev v družbi Petrol.

Hvala!

PRILOGA A

Podatki o referenčnem materialu (blatu iz čistilnih naprav)

Certificate of Analysis

NATURAL MATRIX CERTIFIED REFERENCE MATERIAL

Produced and Certified by a Partnership between


RTC
 Resource Technology Corporation (USA and UK)


RIZA
 Institute for Inland Water Management and Waste Water Treatment


CNS
 C N Schmidt BV

Trace Elements on Sewage Sludge

Catalog No: CRM CNS311-04 Lot No: 002545

CERTIFIED ANALYTE CONCENTRATIONS

Element	Reference Value	S.D.	Confidence Interval	Prediction Interval
Antimony, Sb	3.33	1.58	2.18 - 4.48	0.00 - 7.15
Aluminum, Al	13200	1060	12600 - 13800	10700 - 15700
Arsenic, As	3.30	1.41	2.60 - 4.01	0.173 - 6.43
Barium, Ba	347	27.8	328 - 387	282 - 413
Beryllium, Be	(1.17)			
Cadmium, Cd	1.74	0.290	1.59 - 1.89	1.11 - 2.37
Chromium, Cr	40.4	4.51	38.2 - 42.6	30.6 - 50.2
Cobalt, Co	2.97	1.08	2.15 - 3.78	0.419 - 5.51
Copper, Cu	492	37.7	384 - 420	320 - 483
Iron, Fe	22500	1910.0	21500 - 23500	18300 - 26700
Mercury, Hg	1.71	0.828	1.20 - 2.23	0.00 - 3.61
Manganese, Mn	232	20.9	220 - 244	184 - 279
Molybdenum, Mo	10.4	1.02	9.62 - 11.1	7.94 - 12.8
Nickel, Ni	19.2	2.02	18.1 - 20.2	14.8 - 23.6
Lead, Pb	25.4	4.75	23.1 - 27.7	15.1 - 35.6
Selenium, Se	(6.21)			
Silver, Ag	18.0	2.25	16.0 - 20.0	12.6 - 23.4
Vanadium, V	12.0	1.87	10.9 - 13.2	7.89 - 18.3
Zinc, Zn	583	61.2	532 - 594	431 - 696
COD (CZV)	771	192	619 - 922	302 - 1239
Kj-N	41.1	4.09	38.5 - 43.6	31.8 - 50.3
Phosphorus, total	23.1	3.28	21.3 - 24.9	15.9 - 30.4



2931 Soldier Springs Road
Laramie, WY 82070
Phone: 307.576.5690 or 307.742.5463
Fax: 307.745.7136
Web: www.RTC-Corp.com

PRILOGA B

Vsebnost Cd v tleh (v primeru letnega dognojevanja na 100 let)

Preračun: če gnojimo 100 let z digestatom:

v 1 letu damo 2,54 g Cd/ha

v 100 letih = $2,54 \times 100 = 254$ g Cd/ha

1 ha = $10.000 \text{ m}^2 \times 0,2 \text{ m} = 2000 \text{ m}^3$

vol. gostota = $1,5 \text{ t/m}^3 \rightarrow 2000 \text{ m}^3 \times 1,5 \text{ t/m}^3 = 3000 \text{ t}$

254 g Cd.....3000 t

X g Cd..... 1 t

$X = 254 \text{ g Cd} \times 1 \text{ t} / 3000 \text{ t} = 0,085 \text{ g Cd/t}$ oz. mg/kg (približno 0,1 g/t)

Naravno ozadje Cd v tleh v globini od 0-20 cm je 0,32 mg/kg (Zupan in sod., 2008).

PRILOGA C

Podatki o vsebnosti suhe snovi, dušika, fosforja in kalija v digestatu pridobljeni na Zavodu za zdravstveno varstvo Novo mesto

Priloga C1: Rezultati preizkušanja originalnega vzorca in vzorca z dodanim CaCO_3

Št.	Parameter	Enota	Normativ okoljske kakovosti			Rezultati originalnega vzorca	Rezultati vzorca z dodanim CaCO_3
			1. razred	2. razred	SBRO	Lab. št. 2011/11533	Lab št. 2011/11368
1	Organska snov	% mase s.s.	/	/	/	61,6	29,3
2	Suha snov	%	/	/	/	6,3	11,4
3	Kadmij	mg/kg s.s. Cd	0,7	1,5	7	2	0,68
4	Krom - skupno	mg/kg s.s. Cr	80	200	500	23,6	20
5	Baker	mg/kg s.s. Cu	100	300	800	44	12
6	Živo srebro	mg/kg s.s. Hg	0,5	1,5	7	0,14	<0,08
7	Nikelj	mg/kg s.s. Ni	50	75	350	16	12
8	Svinec	mg/kg s.s. Pb	80	250	500	5,8	3,8
9	Cink	mg/kg s.s. Zn	200	1200	2500	200	49
10	PCB - vsota	mg/kg s.s.	0,4	1	1	<0,1	<0,1
11	Policiklični aromatski ogljikovodiki (PAH)	mg/kg s.s.	3	3	6	<0,3	<1
12	Trdni delci (steklo, plastika, kovina) >2mm	% mase s.s.	<0,5	<2	<7	0	0
13	Mineralni trdni delci; > 5mm	% mase s.s.	<5	<5	/	0	0

Priloga C2: Monitoring pregnitega blata z dodatkom CaCO_3 in originalnega vzorca

Št.	Parameter	Enota	Rezultati originalnega vzorca	Rezultati vzorca z dodanim CaCO_3
			Lab. št. 2011/11534 Lab. št. 2011/9918	Lab št. 2011/11063 Lab št. 2011/11368
1	Suha snov	%	6,3	11,4
2	Organska snov	% mase s.s.	61,6	29,3
3	Gostota	kg/L sveže mase	1	1
4	Električna prevodnost	mS/m	813	402
5	pH		7,7	7,8
6	Skupni dušik	mg/kg s.s. N	111.198	57.175
7	Fosfor celotni	mg/kg s.s. P_2O_5	15.618	8.380
8	Kalij	mg/kg s.s. K_2O	34.000	16.000
9	Kalcij	mg/kg s.s. CaO	130.000	310.000
10	Magnezij	mg/kg s.s. MgO	5.000	8.700
11	Bor	mg/kg s.s. B	28	18
12	Molibden	mg/kg s.s. Mo	3,7	2,1
13	Neželeni primesi	% mase s.s.	0	0
14	AT4	mg/g s.s. O2	/	30
15	Salmonele	v 25 g	Nismo našli.	/
16	Kadmij	mg/kg s.s. Cd	1,1	0,68
17	Krom - skupno	mg/kg s.s. Cr	13	20
18	Baker	mg/kg s.s. Cu	24	12
19	Nikelj	mg/kg s.s. Ni	8,8	12
20	Svinec	mg/kg s.s. Pb	3,2	3,8
21	Cink	mg/kg s.s. Zn	110	49
22	Živo srebro	mg/kg s.s. Hg	<0,08	<0,08
23	Policiklični aromatski ogljikovodiki (PAH)	mg/kg s.s.	<1	<1
24	PCB - vsota	mg/kg s.s.	<0,1	<0,1