

UNIVERZA V NOVI GORICI
POSLOVNO-TEHNIŠKA FAKULTETA

**LOČENO ZBIRANJE IN ENERGETSKO
IZKORIŠČANJE ORGANSKIH ODPADKOV**

DIPLOMSKO DELO

Aleš Lemut

Mentor: doc. dr. Henrik Gjerkeš

Nova Gorica, 2009

ZAHVALA

Iskreno se zahvaljujem mentorju doc. dr. Henriku Gjerkešu za strokovno svetovanje, potrpežljivost in spodbudo pri nastajanju diplomskega dela. Za pomoč pri opravljanju diplomskega dela se zahvaljujem tudi Dariu Rolihu, univ. dipl. inž. geoteh., vodji Centra za ravnanje z odpadki Nova Gorica.

NASLOV

Ločeno zbiranje in energetska izkoriščanje organskih odpadkov

IZVLEČEK

V diplomskem delu je predstavljena uvedba ločenega zbiranja organskih odpadkov na področju šestih občin goriške regije, ki jih pokriva CERO Nova Gorica. Ob uvedbi ločenega zbiranja odpadkov smo podrobneje raziskali in prikazali možnosti energetskega izkoriščanja organskih odpadkov. Izračunali smo izpuste toplogrednih plinov pri obstoječem neselektivnem in predlaganem ločenem zbiranju odpadkov. Oceno izpustov deponijskega plina v ozračje pri neselektivnem zbiranju odpadkov smo izračunali s pomočjo računalniškega programa GasSim2. Uvedba ločenega zbiranja organskih odpadkov je ekonomsko smiselna, če zbrane odpadke tudi energetska izkoriščamo. Izbira ustrezne naprave in tehnologije vpliva na učinkovitost energetskega izkoriščanja bioplina. Podrobneje smo analizirali tehnologiji mezofilnega in termofilnega procesa obdelovanja odpadkov v digestoriju. Za pretvorbo bioplina v električno in toplotno energijo smo predvideli kogeneracijski sistem proizvajalca Deutz. Bioplinski sistem z mezofilnim procesom proizvede 6,3 GWh električne in 6,5 GWh toplotne energije, s termofilnim procesom pa 7,5 GWh električne in 4,6 GWh toplotne energije. Okoljevarstvene učinke smo ovrednotili s stališča izpustov toplogrednih plinov pred in po uvedbi ločenega zbiranja odpadkov. Rezultati analize kažejo, da projekt, ne glede na vrsto procesa v digestoriju, zmanjša izpuste toplogrednih plinov za 11.250 ton na leto glede na zdajšnje ravnanje s komunalnimi odpadki. Ekonomske učinke smo ovrednotili z denarnim tokom v projektu, ki je pokazal, da bi predlagani projekt investitorju v 20 letih prinesel 4,8 mio € čistega dobička pri uporabi mezofilnega procesa v digestoriju, in 2,5 mio € pri uporabi termofilnega procesa. Celostno ovrednotenje projekta ločenega zbiranja in energetskega izkoriščanja organskih odpadkov na področju CERO Nova Gorica je pokazalo zelo pozitivne energetske, ekološke in ekonomske razvojne učinke.

KLJUČNE BESEDE

Komunalni odpadki, organski odpadki, deponijski plin, bioplinarna, digestor, mezofilni proces, termofilni proces, kogeneracijski sistem

TITLE

Separate collection and energetic exploitation of organic waste

ABSTRACT

In the bachelor thesis implementation of separate collecting of organic fraction of the municipal waste in six communes of Gorica region, covered by CERO Nova Gorica, is presented. The introduction of separate collection of waste was the basis for the study and demonstration of energetic exploitation of organic waste. The greenhouse gases emission at the existent non-selective and proposed selective collection of organic waste was calculated. Estimation of the landfill gas emission was performed with the GasSim2 software. Implementation of separate collection of organic waste is reasonable in the case the refuse is further energetic exploited. Effectiveness of the biogas energetic exploitation depends on the proper apparatus and technology selection. The technologies of the mesophilic and the thermophilic process for energetic waste treatment in the digester were analysed in greater detail. A cogeneration system from manufacturer Deutz was provided for biogas conversion into the electrical and heat energy. The biogas system with mesophilic process produces annually 6.2 GWh electrical and 6.5 GWh heat energy, with thermophilic process 7.7 GWh electrical and 4.6 GWh heat energy. The ecological effects of the proposed system were evaluated from the greenhouse gas emissions point of view before and after the organic waste separate collection. Results of the analysis show, that the project, regardless of the process type in the digester, reduces the emission of the carbon dioxide for 11,250 tons per year comparing with the present municipal waste handling. Economic effects were evaluated with the money flow, which shows that the proposed project would bring 4,8 mio € of clean profit to the investor in 20 years in the case of the mesophilic process in the digester, and 2,5 mio € in the case of the thermophilic process implementation. Overall evaluation of the separate collection and energetic exploitation of organic waste on the CERO Nova Gorica region showed very positive energetic, ecological and economic developmental effects.

KEY WORDS

Municipal waste, organic waste, landfill gas, biogas plant, digester, mesophilic process, thermophilic process, cogeneration system

KAZALO

1.	UVOD	1
2.	RAVNANJE Z ODPADKI NA PODROČJU OBČINE NOVA GORICA	3
2.1	Okoljska analiza obremenitve z odpadki	4
2.2	Dosedanji način zbiranja odpadkov.....	18
3.	NESELEKTIVNO ZBIRANJE ORGANSKIH ODPADKOV	21
4.	LOČENO ZBIRANJE ORGANSKIH ODPADKOV	28
4.1	Zbiranje in odvažanje organskih odpadkov	29
4.1.1	Odvoz organskih odpadkov	30
4.2	Pridobivanje bioplina na deponiji.....	31
4.3	Izbira in dimenzioniranje digestorja	34
4.3.1	Vrsta odpadkov	36
4.3.2	Koncentracija odpadkov	37
4.3.3	Temperatura	37
4.3.4	pH vrednost in alkalnost	37
4.3.5	Hidravlični zadrževalni čas (ang. hydraulic retention time).....	38
4.4	Količina proizvedenega bioplina.....	41
4.4.1	Mezofilni proces.....	41
4.4.2	Termofilni proces	41
4.5	Energetsko izkoriščanje organskih odpadkov.....	42
4.5.1	Energija proizvedenega bioplina - mezofilni proces.....	43
4.5.2	Energija proizvedenega bioplina - termofilni proces	43
4.5.3	Izbira kogeneracijskega sistema.....	44
4.5.4	Čas delovanja motorja	45
4.5.5	Skupna proizvodnja energije.....	48
4.5.6	Proizvodnja toplotne energije	49
4.5.7	Proizvodnja električne energije.....	49
4.5.8	Dimenzije in energija za ogrevanje digestorja.....	50
5.	EKOLOŠKI UČINKI.....	54
5.1	Emisije CO ₂ pri proizvodnji električne energije	55
5.1.1	Zmanjšanje emisij CO ₂ v primeru mezofilnega procesa	55

5.1.2	Zmanjšanje emisij CO ₂ v primeru termofilnega procesa.....	56
5.1.3	Toplogredni potencial pri zdajšnjem načinu odlaganja odpadkov.....	56
5.2	Emisije CO ₂ pri proizvodnji toplotne energije.....	59
5.2.1	Zmanjšanje emisij CO ₂ v primeru mezofilnega procesa	59
5.2.2	Zmanjšanje emisij CO ₂ v primeru termofilnega procesa.....	60
5.3	Emisije CO ₂ zaradi ločenega odvoza organskih odpadkov	60
6.	EKONOMSKI UČINKI.....	63
6.1	Prihodki.....	63
6.1.1	Prodaja električne energije.....	63
6.1.2	Prodaja toplotne energije	65
6.1.3	Prodaja presnovljene gošče kot organskega gnojila.....	65
6.2	Vrednost investicije	66
6.2.1	Izgradnja bioplinarne.....	66
6.2.2	Nakup kogeneracijske naprave	67
6.2.3	Nakup zabojnikov za organske odpadke	67
6.3	Subvencije države.....	68
6.3.1	Mezofilni proces.....	69
6.3.2	Termofilni proces	69
6.4	Stroški najema kredita	70
6.4.1	Višina anuitete pri najemu kredita - mezofilni proces.....	70
6.4.2	Višina anuitete pri najemu kredita - termofilni proces	71
6.5	Stroški amortizacije	73
6.5.1	Amortizacija digestorja - mezofilni proces.....	73
6.5.2	Amortizacija kogeneracijskega sistema - mezofilni proces.....	74
6.5.3	Amortizacija digestorja - termofilni proces	74
6.5.4	Amortizacija kogeneracijskega sistema - termofilni proces	74
6.6	Vračilna doba projekta.....	79
6.6.1	Doba vračanja projekta - mezofilni proces	80
6.6.2	Doba vračanja projekta - termofilni proces	80
7.	ZAKLJUČKI	82
8.	LITERATURA	83

KAZALO SLIK

Slika 1: Panoramska slika CERO Nova Gorica	5
Slika 2: Povprečna višina padavin po posameznih mesecih, meteorološka postaja Bilje.....	11
Slika 3: Vhod v CERO Nova Gorica.....	13
Slika 4: Odplinjevalne veje v CERO Nova Gorica	14
Slika 5: Zgorevanje deponijskega plina (bakla) v CERO Nova Gorica	15
Slika 6: Odvod izcednih vod v čistilno napravo	17
Slika 7: Zabojniki za odlaganje papirja, plastike, stekla (leva slika) in mešanih komunalnih odpadkov (desna slika)	19
Slika 8: Zbirni center za odpadke v Novi Gorici.....	19
Slika 9: Kontejner organskih odpadkov v CERO Nova Gorica.....	20
Slika 10: Podatki o viru odlagališča	23
Slika 11: Sestava komunalnih odpadkov	24
Slika 12: Vsebnost odpadkov.....	24
Slika 13: Karakteristike odlagališča odpadkov	25
Slika 14: Povprečna višina padavin v obdobju enega leta.....	26
Slika 15: Povprečni volumski tok deponijskega plina v CERO Nova Gorica.....	26
Slika 16: Koncept ravnanja z odpadki v republiki Sloveniji	28
Slika 17: Zabojnik ekoloških odpadkov v mestni občini Ljubljana	29
Slika 18: Vrste organskih odpadkov.....	30
Slika 19: Prikaz proizvodnje bioplina.....	33
Slika 20: Zasebna bioplinarna v Logarovcih pri Ljutomeru	34
Slika 21: Posplošen pretok snovi v anaerobnem mezofilnem procesu.....	35
Slika 22: Grelci na zidni površini digestorja (prazen, v izgradnji)	43
Slika 23: Motor z generatorjem Deutz TCG 2020	44
Slika 24: Možni načini zbiranja in odlaganja odpadkov.....	55
Slika 25: Doba vračila projekta - mezofilni proces	80
Slika 26: Doba vračila projekta - termofilni proces	81

KAZALO TABEL

Tabela 1: Struktura odloženih odpadkov na javnih odlagališčih v Sloveniji.....	7
Tabela 2: Zbrane količine komunalnih odpadkov v RS v letu 2001	8
Tabela 3: Sestava komunalnih odpadkov	8
Tabela 4: Podatki o odpadkih, zbranih z javnim prevozom.....	10
Tabela 5: Povprečna višina padavin po posameznih letnih obdobjih.....	11
Tabela 6: Povprečne mesečne temperature v CERO Nova Gorica	11
Tabela 7: Masa odvedenih komunalnih odpadkov.....	22
Tabela 8: Povprečna masa vseh odloženih organskih odpadkov na deponiji.....	31
Tabela 9: Tehnični podatki kogeneracijskih sistemov proizvajalca Deutz.....	45
Tabela 10: Proizvedena in porabljena energija pri pridobivanju bioplina iz organskih odpadkov za pogoje CERO Nova Gorica	53
Tabela 11: Bilanca emisije toplogrednih plinov v primeru prehoda na energetske izkoriščanje organskih odpadkov za pogoje CERO Nova Gorica	62
Tabela 12: Odkupne cene za kvalificirane proizvajalce električne energije v skupini komunalnih odplak	64
Tabela 13: Porazdelitev kontejnerskih mest na območju CERO Nova Gorica.	67
Tabela 14: Odstotek kontejnerskih mest z novimi zabojniki za organske odpadke...	68
Tabela 15: Amortizacija posojila ob uvedbi mezofilnega procesa.....	71
Tabela 16: Amortizacija posojila ob uvedbi termofilnega projekta	73
Tabela 17: Struktura prilivov, odlivov pri uvedbi mezofilnega procesa	75
Tabela 18: Struktura prilivov, odlivov pri uvedbi termofilnega procesa.....	77
Tabela 19: Ekonomski parametri v projektu energetskega izkoriščanja organskih odpadkov.....	79

1. UVOD

V današnjem svetu, kjer je skrb za okolje ključnega pomena za preživetje bitij na zemeljski obli, postaja ravnanje z odpadki, ki so proizvod razvite družbe, vse pomembnejše. Prispevku k reševanju tega problema je posvečeno tudi pričujoče diplomsko delo, v katerem opisujemo sedanje obravnavanje odpadkov na odlagališču odpadkov Nova Gorica in predlagamo nadgrajeno ločeno zbiranje in obdelavo odpadkov, s katerim lahko dosežemo manjše obremenjevanje okolja.

Slovenska gospodinjstva vsako leto ustvarijo več kot 600.000 ton odpadkov. Količina odpadkov tako v razvitih državah kot pri nas sicer narašča, vendar se odnos do njih spreminja. Odpadki niso več nekaj odvečnega, temveč predstavljajo potencialne surovine kot nadomestilo surovinam in virom, ki jih človeštvo nenehoma izrablja.

Okolju prijazna odlagališča se v svetu, in tudi v Sloveniji, preusmerjajo v tehnološko razvito industrijo za predelavo odpadkov v koristne surovine, predvsem goriva ali kompost. Dolgoročen cilj je, da bi na odlagališča prispeli le odpadki, ki jih ni mogoče predelati ali koristno uporabiti. S predelavo komunalnih odpadkov v koristne surovine se v Sloveniji ukvarja vse več javnih komunalnih podjetij in zasebnikov, zlasti zasebnih pridelovalcev hrane in rejcev živine. S finančnimi spodbudami države pri izrabi alternativnih virov energije marsikje uvajajo sisteme za predelavo odpadkov za proizvodnjo električne energije in ogrevanje z bioplinom. Prva sodobna naprava za proizvodnjo bioplina v Sloveniji je začela obratovati leta 1995 na največji slovenski prašičji farmi v Ihanu pri Domžalah. Danes so večji proizvajalci bioplina v Sloveniji deponije odpadkov Barje (Ljubljana), Maribor, Celje, Velenje, Kranj, ter čistilne naprave Škofja Loka, Domžale, Kranj in Jesenice. Med majhnimi, a zato nič manj pomembnimi proizvajalci velja omeniti kmetijo Flere v Letušu v Savinjski dolini, na kateri so zgradili prvi zasebni sistem za soproizvodnjo toplote in električne energije na bioplin v kmetijstvu v Sloveniji. Kot zgleden primer velja omeniti čistilno napravo na farmi Nemščak v Prekmurju, ki je med največjimi bioplinarnami v Sloveniji in tudi v evropskem merilu. Osnovni namen te bioplinarne je predelava in energetska izkoriščanje stranskih produktov, ki nastajajo v mesnih obratih, zelene

mase s polj in gnojevke, ki nastaja pri reji prašičev. Pridobljena električna energija zadošča za oskrbo 3000 gospodinjstev, organsko gnojilo, ki nastane kot stranski produkt, pa vračajo nazaj na polja. Ob tem velja omeniti, da se bo lastnikom omenjena investicija povrnila v manj kot osmih letih.

Uspešni primeri izkoriščanja biorazgradljivih odpadkov po Sloveniji dajejo dober zgled za načrtovanje ravnanja z odpadki na deponiji odpadkov Nova Gorica. V diplomskem delu bomo opisali dosednji sistem zbiranja odpadkov in podrobneje opisali in analizirali predlog projekta ločenega zbiranja organskih odpadkov in njihovo energetske izkoriščanje za proizvodnjo električne in toplotne energije. Projekt bomo ovrednotili iz energetske, ekološke in ekonomske plati in podali celovito oceno smiselnosti uvedbe takega projekta.

Z diplomskim delom želimo prispevati k hitrejšemu uvajanju projekta zbiranja in smotrnejšega ravnanja z odpadki in dvigovanju nivoja ekološke osveščenosti ljudi pri zbiranju, ločevanju in ravnanju z odpadki.

2. RAVNANJE Z ODPADKI NA PODROČJU OBČINE NOVA GORICA

Potreba po organiziranem ravnanju z odpadki na področju mesta in okolice Nove Gorice se je pojavila po začetku izgradnje mesta Nova Gorica v začetku petdesetih let prejšnjega stoletja. Ker se je mesto nenehno širilo, s tem pa se je skokovito povečevalo predvsem mestno prebivalstvo, so organizirali zbiranje in odvažanje odpadkov na določeno lokacijo, kjer le-ti ne bi predstavljali neposrednega vpliva na ljudi in okolico. Mestna uprava je ustanovila komunalno podjetje, ki z odpadki upravlja vse do današnjih dni.

Začetek delovanja podjetja in nadaljnji razvoj je sledil rasti mesta Nova Gorica, primestnih naselij in bližnjega podeželja. Sčasoma je podjetje začelo z dejavnostjo opravljanja in vzdrževanja cest, gradnjo komunalnih objektov in naprav, prevoznštva, cvetličarstva, kamnoseštva ter gradbene mehanizacije (Komunala, 2008a).

Danes ima podjetje Komunala Nova Gorica koncesijo upravljanja z odpadki na področju šestih občin :

- Brda,
- Kanal ob Soči,
- Mestna občina Nova Gorica,
- Miren – Kostanjevica,
- Renče – Vogrsko in
- Šempeter – Vrtojba.

Iz teh občin odpadke odvažajo na enotno deponijo, ki se danes imenuje Center za ravnanje z odpadki Nova Gorica (CERO Nova Gorica). Lokacija deponije se nahaja v bližini kraja Stara Gora, ki je primestni del Nove Gorice. Danes CERO Nova Gorica zagotavlja sodoben pristop k ravnanju z odpadki. Vključuje sprejemni plato s tehtnico, stiskalnico za ločeno zbrane frakcije, zbirni center za občane, prostor za skladiščenje ločeno zbranih frakcij odpadkov in skladišče za začasno skladiščenje nevarnih odpadkov iz gospodinjstev. Na CERO Nova Gorica je tudi sprejemna pisarna z video nadzorom in vremensko postajo. Celotno področje centra za ravnanje

z odpadki je ograjeno z dva metra visoko žično ograjo in dodatno nadzirano z varnostno službo (Komunala, 2008b).

2.1 Okoljska analiza obremenitve z odpadki

Okoljsko analizo obremenitve okolja z odpadki, ki se nahajajo na CERO Nova Gorica, lahko spremljamo in nadziramo na različne načine. Spremembe in dopolnitve Uredbe o odlaganju odpadkov na odlagališčih obravnavajo okoljsko analizo obremenitev z odpadki z več pokazatelji (Uradni list, 2006):

- velikosti površine, kjer so že odloženi odpadki,
- prostornina in sestava odloženih odpadkov,
- metode odlaganja,
- časovna opredelitev začetka in konca odlaganja,
- izračun preostale zmogljivosti odlagališča, izražene v tonah posameznih vrst odpadkov, ki se odlagajo.

Po isti uredbi, lahko analizo obremenitev okolja razčlenimo še na vrsto kazalnikov, ki dejansko pokažejo, kako ti odpadki obremenjujejo okolje. Te analize zajemajo:

- meteorološke parametre,
- emisije snovi v zrak iz odlagališča,
- emisije snovi pri odvajanju izcedne in onesnažene padavinske vode,
- onesnaženost površinske vode,
- onesnaženost podzemne vode,
- oceno letnih količin emisij toplogrednih plinov.

Velikost površine, kjer so že odloženi odpadki

Površina CERO Nova Gorica obsega približno 30 ha, slika 1. Površina je v skladu s prostorskim načrtom odlaganja odpadkov razdeljena na:

- 17 ha za odlaganje nenevarnih odpadkov,
- 10 ha za spremljajoče objekte (pot, cesta, dostop in varovalni pas),
- 3 ha za zbiranje, sortiranje in predelavo odpadkov.

"Lokacija je v povprečju 6 km oddaljena od težišča obveznega odvoza odpadkov in leži nekako na sredini med skrajnimi severnimi in skrajnimi južnimi naselji območja goriške upravne enote. Dostop na lokacijo je predviden direktno iz državne Vipavske ceste v dolžini 500 m. Odlagališče leži v slabo poseljenem flišnem gričevju med Staro Goro, Ajševico in zaselkom Tržič –Mandrija. V zgornjem delu ožje doline z nadmorsko višino okoli 70 m je odlagališče s treh strani obdano z pogozenimi gričevnatimi vzpetinami od 100 do 150 m nadmorske višine. Dolina je usmerjena proti jugovzhodu, kar je tudi glavna smer relativno šibkih in ne pogostih vetrov. Od spodnjega dela odlagališča do potoka Lijak je približno 1,5 km. V širšem območju ni zajetja pitnih vod in vodnjakov. S svojim položajem odlagališče ni v vizualnem kontaktu z najbližjimi poslopji in je preko 300 m oddaljeno od najbližjih naselij." (Komunala, 2008b).



Slika 1: Panoramska slika CERO Nova Gorica (Komunala, 2008b)

Prostornina in sestava odloženih odpadkov

Prostornina in sestava odloženih odpadkov sta pokazatelja, ki dajeta količinsko vrednotenje obremenitve okolja z odpadki.

Prostornina odloženih odpadkov: po izračunih upravljalca deponije bi lahko odlagališče z dosedanjim načinom zbiranja in odlaganja odpadkov sprejemalo le-te še naslednjih 40 let (Komunala, 2008b).

Podatki glede prostornine CERO in odpadkov:

- celotna prostornina odlagališča: 3.105.000 m³,
- prostornina odloženih odpadkov: 1.482.500 m³,
- preostala razpoložljiva prostornina: 1.622.500 m³.

Podatki so preračunani na stanje na koncu leta 2007 in temeljijo na podatkih upravljalca deponije za leto 2002. Preračun odloženih odpadkov za konec leta 2007 temelji na podatkih o odpadkih, zbranih z javnim prevozom v tabeli 4 (str. 10). V petletnem obdobju so na deponijo dodatno odložili 150.000 t odpadkov, stisnjenih na povprečno gostoto 0,75 t/m³.

Sestava odpadkov, ki se zbirajo in odlagajo na deponijo, je po kontroli in izračunih upravljalca odlagališča približno enaka sestavi odpadkov, ki se odlagajo na sorodnih odlagališčih po Sloveniji. Odpadke, ki jih odlagajo na odlagališču, lahko glede na vsebino razdelimo na tri večje skupine (CERO Nova Gorica, 2008):

- mešani komunalni odpadki,
- ostali nenevarni odpadki,
- nevarni odpadki.

Mešani komunalni odpadki so odpadki, ki jih odlagajo v telo odlagališča in predstavljajo med vsemi odpadki največji volumski delež.

Ostali nenevarni odpadki, ki se zbirajo na odlagališču, se morajo odlagati na posebnih lokacijah. To so sekundarne surovine, kot so: papir, plastika, steklo, tekstil, gume, kosovni odpadki, in mokri biološko razgradljivi nenevarni odpadki, kot so: pomije, olje in jedilna mast.

Nevarni odpadki sodijo med najbolj problematične odpadke in zahtevajo posebno obravnavo. Tehnološki proces na odlagališču zahteva zbiranje in sortiranje nevarnih odpadkov in njihovo skladiščenje v kontroliranem okolju do odvoza v nadaljnjo predelavo oziroma do odvoza na odlagališče nevarnih odpadkov. Skladišče je

namenjeno predvsem zbiranju nevarnih odpadkov iz gospodinjstev. Najpogostejše skupine nevarnih odpadkov so: barve, laki, pršilci, impregnirna sredstva, razredčila, odpadna olja, lugi, kisline, odpadki, ki vsebujejo kisline, odpadna zdravila, škropiva in kemični pripravki, baterije, akumulatorji, termometri in instrumenti, ki vsebujejo živo srebro, neonska in halogenska svetila. Mednje sodijo tudi z nevarnimi snovmi onesnažena embalaža, čopiči, oljni transformatorji, krpe, filtri in veziva. Med nevarnejše odpadke, ki jih odlagajo na odlagališču, štejemo tudi azbestne odpadke. V tabeli 1 je prikazana struktura odloženih odpadkov na deponijah odpadkov v Sloveniji. Prikazani so odstotki določenih vrst odpadkov na odlagališčih po državi, ki se ne spreminjajo bistveno za posamezno deponijo, zato so podatki primerni tudi za oceno strukture odpadkov na deponiji CERO Nova Gorica.

Tabela 1: Struktura odloženih odpadkov na javnih odlagališčih v Sloveniji (Arso, 2008a)

Vrsta odpadka \ leto odloga		2002	2003	2004	2005	2006
komunalni odpadki	%	84.9	82.1	82.8	86.3	82.3
gradbeni odpadki	%	5.2	6.9	4.4	5	4.3
ostali nekomunalni odpadki	%	4.3	4.2	4.4	3.2	3.5
iz obdelave odpadne vode	%	1.8	3.4	3.5	4	0.6
odpadna embalaža	%	1.8	1.8	2	1.3	3.3
iz obdelave lesa in uporabe papirja	%	1.8	1.6	2.8	0.2	5.9

Iz tabele 1 je razvidno, da dosega delež komunalnih odpadkov daleč največji delež pri vseh odloženih odpadkih in se z leti bistveno ne spreminja.

Statistični podatki kažejo, da se delež komunalnih odpadkov, zbranih na določenem področju, razlikuje glede na njihov izvor. Tabela 2 prikazuje količine ter deleže zbranih komunalnih odpadkov, ki jih ustvarijo različni proizvajalci. Ker se sestava odpadkov po uradni statistiki na vseh deponijah v državi bistveno ne spreminja, po tabeli 2 sklepamo, da gospodinjstva prispevajo večji delež vseh odpadkov.

Tabela 2: Zbrane količine komunalnih odpadkov v RS v letu 2001 (Mop, 2008a)

vrsta odpadkov	Količine in odstotki v letu 2001 (t in %)					
	iz gospodinjstev		iz industrije		skupaj	
komunalni odpadki	549.723 t	65,5 %	289.713 t	34,5 %	839.436 t	100 %

Sestavo komunalnih odpadkov prikazuje tabela 3, v kateri so navedeni masni odstotki določenih komunalnih odpadkov glede na celotno maso odpadkov.

Tabela 3: Sestava komunalnih odpadkov (Uradni list, 2007)

Organski odpadki, odpadna hrana (%)	Papir, lepenka, tekstil (%)	Zelena biomasa in naravni les (%)	Predelava in obdelava lesa (%)
32	15	8	8

Iz tabele 3 je razvidno, da je delež organskih odpadkov in odpadne hrane največji in dosega približno polovico vseh komunalnih odpadkov, odloženih na deponijo.

Metode odlaganja

Do polovice 90. let prejšnjega stoletja so odpadke odlagali brez predhodne priprave terena. V 90. letih prejšnjega stoletja so izdelali tehnološki projekt sanacije odlagališča z namenom, da se določi ustrežnejša priprava odlagališča in njegova nadaljnja gradnja. Leta 1995 so, predvsem v mestu Nova Gorica, začeli uvajati ločeno zbiranje odpadkov. Od takrat v telo odlagališča odlagajo le mešane komunalne odpadke, iz katerih se brez ustrezne infrastrukture ne da več izločiti koristnih sekundarnih surovin.

Na mestu izvora se danes ločujejo naslednji odpadki:

- sekundarne surovine, kot so papir, plastika, steklo, tekstil, gume in kosovni odpadki,
- mokri biološko razgradljivi nenevarni odpadki, kot so pomije, olje in jedilna mast.

Olje in mast prodajajo kot sekundarno surovino, pomije pa obdelajo v septični jami. Mešane nenevarne komunalne odpadkov vgrajujejo v telo odlagališča s stiskanjem, s čemer zmanjšajo prostornino odpadkov in podaljšujejo življenjske dobo obratovanja odlagališča. Odpadke stiskajo z delovnim strojem - kompaktorjem firme Bomag mase 32 t. Gostota stisnjenega komunalnega odpadka znaša povprečno $0,75 \text{ t/m}^3$. Odpadke odlagajo v valjane plasti, ki jih nalagajo v etaže do višine 5 m. Nalaganje etaž odpadkov poteka vzporedno z gradnjo nasipov višine 1 do 1,5 m. Ko posamezne dele odlagališča prekrijejo, zagotovijo nadzorovano odvajanje površinske vode. Telo odlagališča prekrijejo z izravnalno plastjo, tesnilno plastjo mineralnega nasutja, plastično folijo debeline najmanj 2,5 mm in rekultivacijsko plastjo zemlje. Rekultivacijsko plast zasadijo z rastlinami, ki preprečujejo erozijo (Jurca in Šircel, 2004).

Časovna opredelitev začetka in konca odlaganja

Odlaganje odpadkov v CERO Nova Gorica se je začelo leta 1975. Po predvidevanjih, analizah o načinih odlaganja, količinah ter ostalih dejavnikih glede odpadkov načrtujejo, da bi lahko na odlagališče dovažali odpadke do leta 2048, ki je predvideno kot leto zapiranja odlagališča (Komunala, 2005).

Izračun preostale zmogljivosti odlagališča, izražene v tonah posameznih vrst odpadkov, ki se odlagajo na odlagališču

Zaradi naraščanja prebivalstva v občinah, kjer se odpadki proizvajajo, višjega standarda ljudi in enakega načina zbiranja in odlaganja odpadkov je bil v preteklih letih trend količine odvoza odpadkov v porastu.

Trenutno število prebivalcev, ki so priključeni na CERO Nova Gorica, je 58.000. S pridobitvijo statusa regijskega odlagališča načrtujejo priključitev dodatnih 80.000

ljudi. Po podatkih statističnega urada RS so v tabeli 4 prikazane količine odloženih odpadkov iz posameznih občin na deponijo od leta 2002 do leta 2007 v tonah na leto. Skupna vsota kaže, da je količina odpadkov, odložena na CERO Nova Gorica v preteklih letih rasla z nekaj odstotki na leto. Podatki za obdobje petih let (2002 – 2007) pokažejo, da je bila masa zbranih odpadkov v letu 2007 višja za okoli 8 % glede na leto 2002.

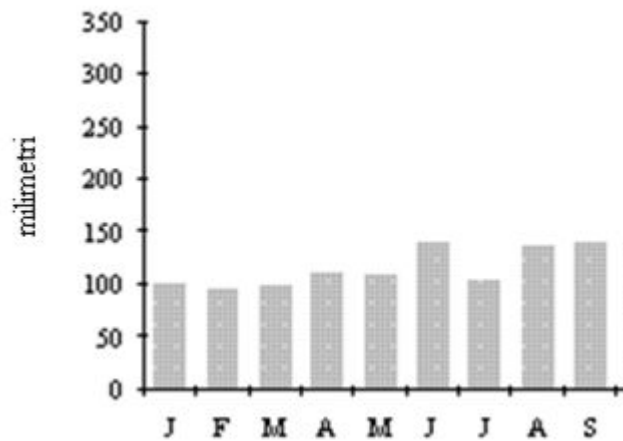
Tabela 4: Podatki o odpadkih, zbranih z javnim prevozom (Stat, 2008a)

	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Brda	1.746	1.706	2.010	2.410	2.386	2.085
Kanal	2.005	1.810	2.146	2.097	2.398	2.198
Miren - Kostanjevica	1.305	1.619	1.766	2.007	1.983	1.998
Nova Gorica	17.583	20.232	18.644	19.487	19.684	19.207
Renče - Vogrsko	-	-	-	-	-	1.220
Šempeter - Vrtojba	6.148	3.746	4.266	4.383	5.430	4.391
Skupaj letno	28.787	29.113	28.832	30.384	31.881	31.099

Odpadki so razvrščeni po klasifikacijskem seznamu. Klasifikacijski seznam odpadkov je seznam odpadkov, tako nevarnih kot nenevarnih, razvrščenih po ustreznih skupinah glede na izvor nastanka. Vsak odpadek ima poleg natančno opredeljenega imena vpisano še ustrezno klasifikacijsko številko. K tabeli 4 velja dodati, da se je z letom 2007 na področju občine Nova Gorica ustanovila manjša občina Renče-Vogrsko, ki je v zgornji tabeli zajeta šele po letu njene ustanovitve.

Meteorološki parametri

Med meteorološke parametre sodijo predvsem temperatura, zračni tlak, vlažnost in količina padavin. Devetindvajsetletni podatki, ki so bili izmerjeni v meteorološki postaji Agencije RS za okolje v kraju Bilje kažejo, da lokacija odlagališča ni izpostavljena velikim klimatskim spremembam. To je pomembno predvsem zaradi varnosti, ekologije in tudi zdravja delavcev v odlagališču odpadkov. Na sliki 2 so prikazani podatki o povprečni višini padavin po posameznih mesecih leta, izmerjeni in povprečni za obdobje od leta 1961 do 1990.



Slika 2: Povprečna višina padavin po posameznih mesecih, meteorološka postaja Bilje (Arso, 2008b)

Tabela 5 prikazuje podatke statističnega urada Republike Slovenije in lastne izračune o povprečni višini padavin na letnem nivoju, v obdobju od leta 1981 do 2007.

Tabela 5: Povprečna višina padavin po posameznih letnih obdobjih (Stat, 2008c)

Leto	1981-1990	1991-2000	2001-2007
Količina padavin (v milimetrih)	1.282	1.566	1.152

V tabeli 6 so prikazane povprečne temperature po posameznih mesecih izmerjenih za obdobje od leta 1961 do 1990.

Tabela 6: Povprečne mesečne temperature v CERO Nova Gorica (Arso, 2008b)

Mesec	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Avg	Sep	Okt	Nov	Dec
T (°C)	2,7	4,1	7,2	11,0	15,7	19,2	21,4	20,5	16,8	12,3	7,5	3,5

Občina Nova Gorica je na predlog upravljalca deponije v programu priprave spremembe ureditvenega načrta odlagališča odpadkov predvidela tudi izgradnjo meteorološke postaje za spremljanje meteoroloških pogojev. Upravljalci centra bodo

s pomočjo omenjene postaje prejemali podatke neposredno iz področja odlagališča (Mestni svet, 2002).

Emisija snovi v zrak iz odlagališča

Emisije snovi, ki se iz odlagališča sproščajo v zrak, lahko razdelimo na tri večje okolju in živim bitjem neprijazne komponente:

- emisije smradu,
- emisije prahu,
- emisije deponijskega plina.

Emisije smradu: Smrad povzroča predvsem vodikov sulfid (H_2S), ki nastaja kot posledica bakteriološke aktivnosti v razpadajočih organskih tkivih z vsebnostjo žvepla (Arhimeda, 2009). Je prisoten predvsem v poletnem obdobju, ko se odpadki zaradi višjih temperatur hitreje razkrajajo. Okoljsko poročilo glede vpliva smradu poudarja, da je to eden od večjih problemov odlagališča odpadkov, zaradi katerega trpi okolica (Trebše in drugi, 2004). Meritve emisij, izvedenih v neugodnih meteoroloških razmerah (ekstremno visoke temperature) so pokazale, da znaša razdalja od odlagališča, do katerega je bilo v času meritev še možno zaznati vonj, okoli 300 m. Najbližje stanovanjski objekti so od CERO Nova Gorica oddaljeni 400 m.

Smrad je v preteklosti povzročal težave prebivalcem, ki so živeli ob dovozni cesti, po kateri so tovornjaki transportirali odpadke na deponijo, največ stanovalcem na Cesti Partizanske tehnike. Konec avgusta leta 2008 je odlagališče odpadkov dobilo novo dovozno cesto v dolžini 500 m, ki se neposredno navezuje na medkrajevno cesto Rožna dolina - Ajševica. Prednost nove dovozne ceste je, da v njeni okolici ni prebivalcev, kar je najbolj razbremenilo krajane, ki so bili vsa leta izpostavljeni smradu transportov smetarskih vozil (Nova cesta, 2008).

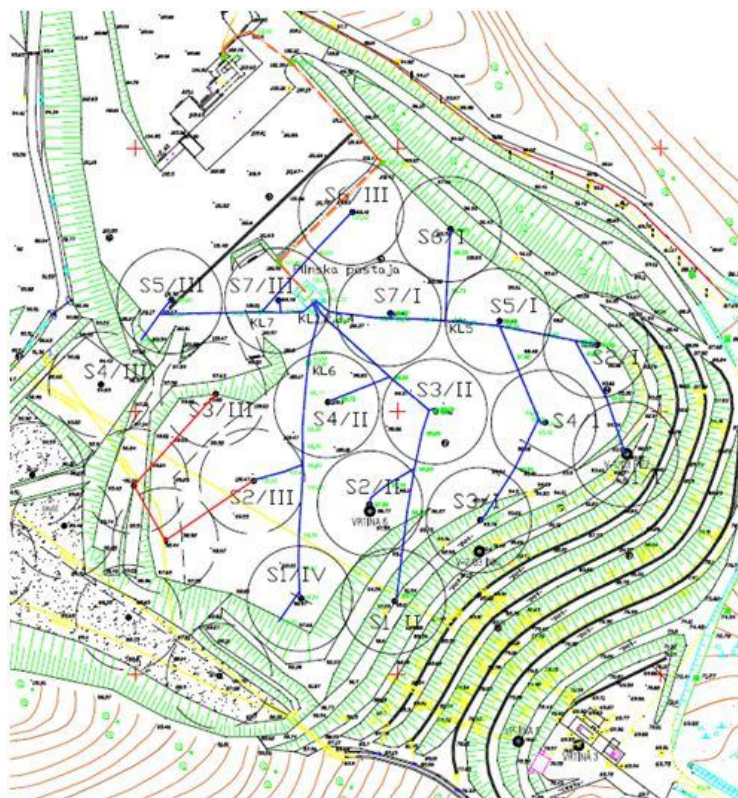
Emisije prahu: Prah nastaja kot posledica obdelovanja odpadkov na odlagališču in transporta odpadkov na in z odlagališča, slika 3. Od 27.06.2002 do 16.01.2003 je Zavod za zdravstveno varnost iz Maribora izvajal meritve prahu na odlagališču, ki so

pokazale, da koncentracija prašnih delcev presega mejno vrednost le pri vhodu na odlagališče, zaradi česar je bilo povprečje mesečnih meritev nad mejno letno vrednostjo, ki znaša 200 mg prašnih usedlin/m². Povprečje koncentracij težkih kovin v prašnih usedlinah ni presegalo mejne letne vrednosti za posamezne kovine (Odlagališče nenevarnih odpadkov, 2005)



Slika 3: Vhod v CERO Nova Gorica (Komunala, 2008b)

Emisije deponijskega plina: Deponijski plin nastaja kot posledica aerobne in anaerobne razgradnje organskih snovi mikroorganizmov. Sestava in količina nastajajočega plina je odvisna od sestave in količine odpadkov, načina odlaganja in meteoroloških pogojev. Velik prostorninski odstotek deponijskega plina zavzemata metan in ogljikov dioksid, preostanek zavzemata pretežno vodikov sulfid in dušik. Deponijski plin je zaradi visoke vsebnosti metana lahko nevaren, saj je metan v ustrezni mešanici z zrakom (5 % do 15 %) eksploziven. Na začetku obratovanja so na odlagališču deponijski plin odvajali preko odplinjevalnih jaškov neposredno v ozračje. Zaradi ekoloških razlogov in večje varnosti pred nekontroliranim izpustom plina so na deponiji uvedli aktivno odplinjevanje s sežigom s pomočjo sežigalnih bakel. Proces odplinjevanja poteka s plinovodnim sistemom, ki ga dograjujejo skladno z večanjem površine, na kateri so odloženi odpadki. Posamezen odplinjevalnik zadošča za odplinjevanje na površini približno 1600 m² in so postavljeni na medsebojni razdalji 40 m.



Slika 4: Odplinjevalne veje v CERO Nova Gorica (Rolih, 2008)

Slika 4 prikazuje odplinjevalni sistem v CERO Nova Gorica. Z modro barvo so označeni obstoječi plinovodi, z rdečo barvo pa so označeni plinovodi, ki so trenutno v izgradnji (Rolih, 2008). Vsi deponijski plinovodi se na koncu združijo pri plinski črpalki in zgorijo na bakli, ki je prikazana na sliki 5. Bakla je opremljena z ustrezno nadzorno in regulacijsko opremo za varno obratovanje, ki vključuje sistem izklopa v primeru prevelike vsebnosti kisika v deponijskem plinu. Bakle se vžge le, če je vsebnost metana v deponijskem plinu višja od 30 %. Vnetišče deponijskega plina je pri približno 700 °C, temperatura pri zgorevanju deponijskega plina na CERO Nova Gorica pa znaša okrog 970 °C.



Slika 5: Zgorevanje deponijskega plina (bakla) v CERO Nova Gorica

Emisije snovi pri odvajanju izcedne in onesnažene padavinske vode: Na kakovost vod v bližini odlagališča vplivajo izcedne in onesnažene padavinske vode, ki nastajajo na odlagališču. Stari del odlagališča po stari zakonodaji ni bil tesnjen s plastično folijo, ker tedanja zakonodaja tega ni zahtevala. Leta 2002 so bile na področju odlagališča izvedene meritve emisij odpadnih vod. Meritve so na iztoku izcednih vod pokazale, da na kakovost vode v potoku Jezero in potoku Lijak, ki ležita na področju odlagališča, vplivajo odpadne vode iz odlagališča. Za vrednotenje emisijskih vrednosti so upoštevali določila za iztok odpadne vode po Uredbi o emisiji snovi pri odvajanju izcedne vode iz odlagališč odpadkov (Uradni list, 2000) ter Uredbe o emisiji snovi in toplote pri odvajanju odpadnih vod iz virov onesnaževanja (Uradni list, 1996). Rezultati analize so pokazali, da je potrebno izcedno vodo prečistiti pred odvajanjem v potok. Rezultati analiz so pokazali, da

vrednosti parametrov neraztopljenih snovi, amonijev dušik, skupni organski ogljik, kemijska potreba po kisiku ter biokemijska potreba po kisiku presegajo mejne vrednosti. Po kriterijih za iztok vode v kanalizacijo pa so meritve pokazale, da parametra biološka razgradljivost ter amonijev dušik presegata mejne vrednosti.

V okoljskem poročilu zasledimo, da je upravljalec odlagališča v letu 2003 postavil novo napravo za čiščenje odpadnih vod s tehnologijo reverzne osmoze (Trebše in drugi, 2004). "Za razumevanje principa delovanja reverzne osmoze, moramo najprej razumeti delovanje osmoze. To je naravni proces, ki ga zasledimo pri rastlinah, kot prehajanje vode iz zemlje v korenine, pri ljudeh, kot prehajanje tekočin v celice in iz celic. Osmoza je pasivni transport. To pomeni, da snovi vstopajo v celico brez pomoči oz. da energija ni potrebna. Pravzaprav je osmoza gibanje molekule čistega topila (v našem primeru voda) iz raztopine z nižjo koncentracijo topljenca v raztopino z višjo koncentracijo topljenca, preko polprepustne membrane (semipermeabilne).

S povečanjem tlaka nad koncentrirano raztopino lahko proces osmoze obrnemo - tako dobimo postopek, ki ga imenujemo reverzna osmoza, s katerim iz koncentriranih raztopin iztiskamo vodo. Povečan tlak onesnažene vode omogoči le pretok molekule H₂O skozi membrano. Ker je premer luknjic v membrani samo 0,0001 - 0,001 mikrona, skozenj priteče samo molekula H₂O in zelo drobni minerali. Bakterije, virusi, težke kovine, pesticidi, nitrati, nitriti, kemični elementi in nečistoče, pa se odplavijo v odtok" (Reverzna osmoza, 2008).

Onesnaženost površinske vode: Površinska voda iz telesa odlagališča je lahko potencialno onesnažena zaradi čiščenja, transporta, raztrosa smeti ali nestrokovnega ravnanja. Robove teras odlagališča so po načrtih okoljevarstvenega dovoljenja utrdili z ilovnatimi nasipi višine 1 do 1,5 m, ki preprečujejo prelivanje padavinske vode preko robov aktivnega polja. Padavinska voda se zadržuje v telesu aktivnega odlagališča in se preko cevne sistema izcednih voda odvaja v čistilno napravo. Po istem sistemu se odvaja tudi površinska voda iz odprtih skladišč inertnih materialov, kot je guma ali les (CERO Nova Gorica, 2008).

Onesnaženost podzemne vode: Po pravilniku o odlaganju nenevarnih odpadkov so na deponiji odpadkov uvedli sistem odvodnjavanja vseh vrst voda, ki ga stalno dograjujejo. Sistem omejuje nastanek in zmanjšuje onesnaženost vod, saj se vode ločujejo glede na onesnaženost praviloma že na mestu nastanka ali prestrezanja in omogoča čiščenje onesnažene vode na čistilni napravi.

Onesnažene vode so izcedne vode iz telesa odlagališča, površinske vode iz aktivnih odlagalnih polj, izcedne vode iz postopkov izsuševanja mokrih odpadkov ter biotehnoških postopkov predelave in ločevanja odpadkov ter vse vode, ki pridejo na kakršen koli način v stik z neinertnimi odpadki.

Na odlagališču so uredili in bodo dograjevali neprekinjeno odvajanje izcednih voda iz vseh vrst sedanjih in predvidenih faz odlagališča. Izcedne vode zbirajo v zaprt kanalizacijski sistem, ki poteka skozi telo odlagališča. Na koncu odlagališča sta zbiralnika izcednih voda (prostornine 50 in 60 m³), ki sta zavarovana tudi z eksplozivno-varnim pokrovom, slika 6.



Slika 6: Odvod izcednih vod v čistilno napravo (Komunala, 2008c)

Izcedne vode nato odvajajo v čistilno napravo, ki omogoča očiščenje izcednih voda in vračanje prečiščenih vod v vrhno plast prekritja telesa odlagališča, ki mora biti primerna za ozelenitev površin odlagališča. Rekultivacijsko plast izvedejo iz prsti, primerne za gojenje rastlin, debeline najmanj 0,50 m. Rekultivacijska plast mora zagotavljati zadostno zaščito površinskega tesnjenja telesa odlagališča in sistema odvajanja padavinske vode pred škodljivimi vplivi rastlinskih korenin in zmrzali. Končna površina odlagališča mora biti zasajena tako, da bo zagotovljena zadostna zaščita pred erozijo (Komunala, 2005).

Ocena letnih količin in emisij toplogrednih plinov: "Toplogredni plini ali plini tople grede so plini, ki povzročajo učinek tople grede v Zemljinem ozračju. Najpogostejši toplogredni plin je ogljikov dioksid, ki predstavlja kar 80 % človekovih izpustov. Poleg ogljikovega dioksida podnebje ogroža tudi metan, ki nastaja na živalskih farmah, smetiščih, pri izgorevanju fosilnih goriv, predelavi odpadkov in v živilski industriji." (Toplogredni plini, 2008). Oceno emisij toplogrednih plinov smo dobili na podlagi izračunov s pomočjo računalniškega programa GasSim2 (GasSim2, 2008). Dva najpogostejša plina, metan in ogljikov dioksid, zavzemata po meritvah upravljalca deponije vsak približno polovičen volumski delež v deponijskem plinu (Rolih, 2008).

2.2 Dosedanji način zbiranja odpadkov

Dosedanji način zbiranja odpadkov na področju šestih obravnavanih občin lahko razdelimo na dve obdobji. Pred letom 1995 komunalne odpadke niso sistematično ločevali v posebej ločevalne zabojnike. Po tem letu so začeli na ekoloških otokih postavljati zabojnike za ločene odpadke. Odpadki, ki ne sodijo v te zabojnike ali na določenem območju stalnega odvoza določene vrste odpadkov ni, se zbirajo v zbirnih centrih odpadkov.

Ekološki otoki

Na ekoloških otokih so postavljeni zabojniki za papir, plastiko, steklo in zabojnik za odlaganje vseh ostalih komunalnih odpadkov, slika 7.



Slika 7: Zabojniki za odlaganje papirja, plastike, stekla (leva slika) in mešanih komunalnih odpadkov (desna slika) (Komunala, 2008d)

Zbirni center

Zbirni center je pokrit ali nepokrit prostor za ločeno zbiranje in začasno hranjenje komunalnih frakcij in kosovnih odpadkov, slika 8. V zbirnem centru so postavljeni veliki zabojniki, pred katerimi je tabla z oznako, kaj spada v določen zabojnik.



Slika 8: Zbirni center za odpadke v Novi Gorici (Komunala, 2008d)

V zbirnem centru se zbirajo: papir in lepenka vseh vrst in velikosti, vključno z odpadno embalažo iz papirja in lepenke, steklo vseh velikosti in oblik, vključno z odpadno embalažo iz stekla, plastika, vključno z odpadno embalažo iz plastike ali sestavljenih materialov, odpadke iz kovin, vključno z odpadno embalažo iz kovin,

les, vključno z odpadno embalažo iz lesa, oblačila, tekstil, jedilno olje in maščobe, barve, črnila, lepila in smole, ki ne vsebujejo nevarnih snovi, detergente, ki ne vsebujejo nevarnih snovi, baterije in akumulatorje, električno in elektronsko opremo, ki ne vsebuje nevarnih snovi, in kosovne odpadke (Komunala, 2008b). Zbirni center je lahko hkrati urejen tudi kot zbiralnica nevarnih frakcij. Za zbiranje in začasno hranjenje nevarnih odpadkov je urejen poseben prostor.

Zbiranje ostalih odpadkov

Med ostale odpadke štejemo odpadke iz industrije in javnih ustanov, ki jih po dogovoru oz. v določenih intervalih komunalna odvozna služba prevzema in vozi na deponijo odpadkov. Od leta 2006 na deponiji zbirajo tudi organske odpadke, ki jih morajo po zakonu zbirati vsi večji proizvajalci le teh (predvsem dejavnosti povezane z turizmom, trgovine, zdravstvene ustanove, vrtci, šole, javni zavodi,...). Poleg zakonsko obveznega zbiranja organskih odpadkov večjih proizvajalcev se na področju šestih občin postopoma uvaja postavljanje zabojnikov za organske odpadke, ki jih nameščajo poleg obstoječih zabojnikov na ekološke otoke. Trenutno se organski odpadki v CERO Nova Gorica začasno skladiščijo v kontejnerjih, kot je prikazan na sliki 9, in se enkrat na teden odvažajo na predelavo k pogodbenemu odjemalcu.



Slika 9: Kontejner organskih odpadkov v CERO Nova Gorica

3. NESELEKTIVNO ZBIRANJE ORGANSKIH ODPADKOV

Neselektivno zbiranje odpadkov je za okolje in živa bitja večja obremenitev zaradi vrste stranskih dejavnikov. Količina biorazgradljivih odpadkov na deponijah se stalno povečujejo, s tem pa povzročajo večanje količin ustvarjenega deponijskega plina. Bioplin večinoma sestavljata ogljikov dioksid in metan, ki sta toplogredna plina. Ostale komponente deponijskega plina so v nizkih deležih, zato se bomo v nadaljevanju osredotočili le na glavni sestavini deponijskega plina.

Za oceno količin izpustov deponijskega plina pri obstoječem zbiranju komunalnih odpadkov v CERO Nova Gorica smo uporabili računalniški program GasSim2 (GasSim2, 2008). Program, ki smo ga uporabili, omogoča predvsem izračun izpustov količin toplogrednih plinov iz odlagališč odpadkov, izračun izgorevanja emisij na baklah, plinskih motorjih in izpuste, ki se vršijo iz teles odlagališč. Uporabljeni program je brezplačen, plačljiva, zmoglivejša verzija pa omogoča preračun izpustov v širšem izboru. Plačljiva verzija programa stane 1000 £ oz. 1176 € (informativen izračun). Izpust toplogrednih plinov je pogojen s karakteristikami odlagališča, ki predstavljajo vhodne parametre simulatorja GasSim2. V programu so vhodni parametri razdeljeni na različna področja. Pri izračunu količine izpusta deponijskega plina je bilo potrebno vnesti podatke v treh skupinah:

- vir (ang. *Source*),
- karakteristike odlagališča (ang. *Landfill_Charateristics*),
- pronicanje (ang. *Infiltration*).

Vir (Source)

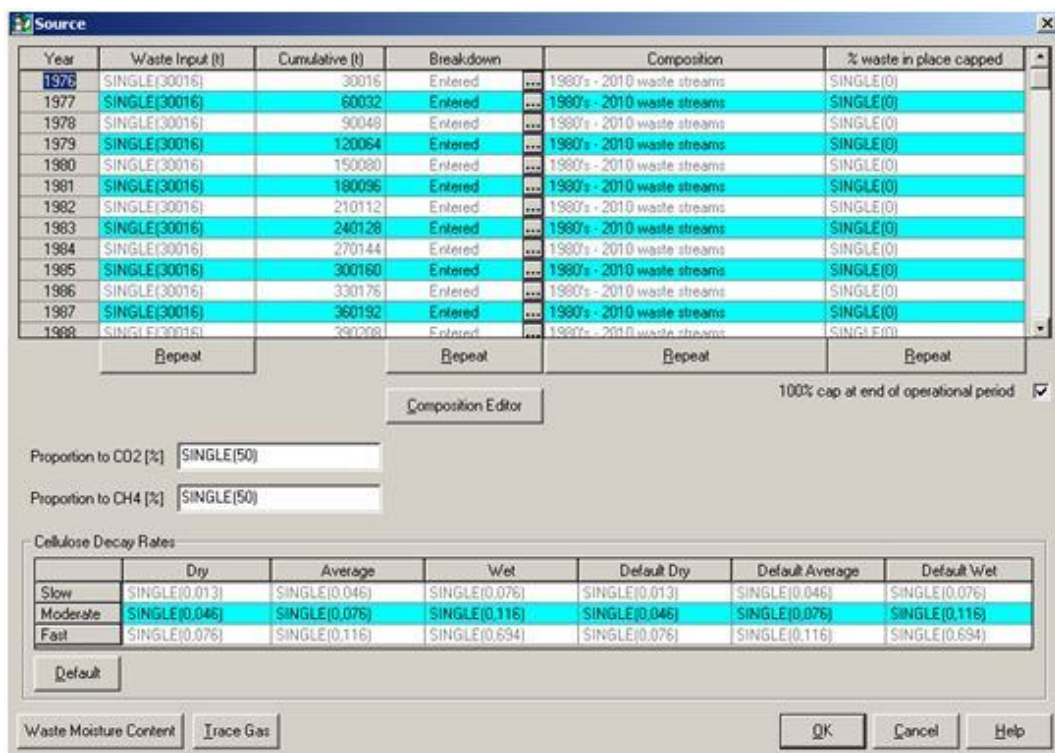
V skupino vir (source) smo zabeležili podatke o količinah, sestavi odpadkov ter deponijskega plina. Pri vnosu količin odloženih mešanih komunalnih odpadkov v obdobju 2002 – 2007 smo kot merilo za vnos uporabili podatke iz tabele 4 (stran 10). Povprečna masa dovedenih odpadkov na deponijo na letnem nivoju znaša 30.016 t.

Rezultat smo uporabili za vnos količin odpadkov v program od leta 1976 do predvidenega konca obratovanja, t. j. leta 2045. Uradni statistični viri republike Slovenije v tabeli 7 kažejo, da se povprečna masa odloženih komunalnih odpadkov na prebivalca z leti manjša, delež zbranih komunalnih odpadkov s strani javnih služb pa se povečuje. Na podlagi teh kazalcev lahko pri uporabi količine odloženih odpadkov na deponijo uporabimo povprečje vseh odloženih odpadkov v danem statističnem obdobju.

Tabela 7: Masa odvedenih komunalnih odpadkov (Arso, 2008c)

		1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
EU-27	kg / preb	458	468	482	480	506	518	517	527	519	516	512	517
Slovenija (podatki SURS)	kg / preb	515	np	np	523	np	np	438	407	418	417	422	431
Slovenija (podatki ARSO)	kg / preb	np	np	np	np	np	np	450	411	402	417	422	431

Večletne meritve sestave deponijskega plina, ki jih izvaja upravljalec CERO Nova Gorica, kažejo, da je delež glavnih komponent v deponijskem plinu, t. j. ogljikovega dioksida in metana, približno enak (Rolih, 2008), kar smo uporabili kot vhodni parameter sestave deponijskega plina na sliki 10.



Slika 10: Podatki o viru odlagališča

Pri podatkih, ki smo jih vnesli v program in zadevajo karakteristike deponije, sta pomembna še dva podatka. To sta:

- sestava komunalnih odpadkov (ang. Composition Editor),
- vlažnost odpadkov (ang. Waste Moisture Content).

Pri podatku o sestavi komunalnih odpadkov smo izbrali eno od možnih sestav, ki jo ponuja program, slika 11. Izbrali smo sestavo odpadkov, ki temelji na sestavi odpadkov na angleških deponijah med leti 1980 in 2010 (1980's - 2010 waste streams). Sestava odpadkov po omenjenem izboru je primerljiv s sestavo komunalnih odpadkov v republiki Sloveniji oz. CERO Nova Gorica.

Waste Composition

Name: 1980's - 2010 waste streams

Waste fraction		Domestic (%)	Civic Amenity (%)	Commercial (%)	Industrial (%)	Inert (%)
Paper/Card	Newspapers	SINGLE(11,38)	SINGLE(10)	SINGLE(10)		
	Magazines	SINGLE(4,87)	SINGLE(11)			
	Other paper	SINGLE(10,07)		SINGLE(50,1)		
	Liquid cartons	SINGLE(0,51)				
	Card	SINGLE(3,84)				
	Other card	SINGLE(2,83)				
Textiles	Textiles	SINGLE(2,36)	SINGLE(3)			
Miscellaneous	Disposable	SINGLE(4,35)				
	Other misc.	SINGLE(3,6)				
Putrescible	Garden waste	SINGLE(2,41)	SINGLE(22)			
	Other	SINGLE(18,38)		SINGLE(15)		
Fines	10mm fines	SINGLE(7,11)	SINGLE(15)			
Sewage sludge	Sewage sludge					
	Composted					
	Incinerator ash					
Non-Degradabl	Non	SINGLE(28,96)	SINGLE(39)	SINGLE(24,6)		SINGL

Load Save Help Done

Slika 11: Sestava komunalnih odpadkov

Vlažnost odpadkov (ang. Waste Moisture Content), ki se odlagajo v telo odlagališča, je visoka, zato jih definiramo kot mokre (vlažne), slika 12. Višina spodnjega, najnižjega dela telesa odlagališča, ki služi za zajezitev izcednih tekočin (ang. liquid head), je po podatkih upravljalca odlagališča približno 1 m. Vodna prevodnost oz. prepustnost deponije (ang. Hydraulic conductivity) je po podatkih upravljalca deponije ocenjena na 1 m/s (Rolih, 2008).

Waste Moisture Content

Moisture Content: Wet

Waste Density [t/m³]: UNIFORM(0,8, 1,2)

Effective Porosity [% (v/v)]: UNIFORM(1,0, 20,0)

Leachate Head [m]: SINGLE(1)

Hydraulic Conductivity [m/s]: SINGLE(1)

Adsorptive Capacity [% (v/v)]: UNIFORM(1,0, 5,0)

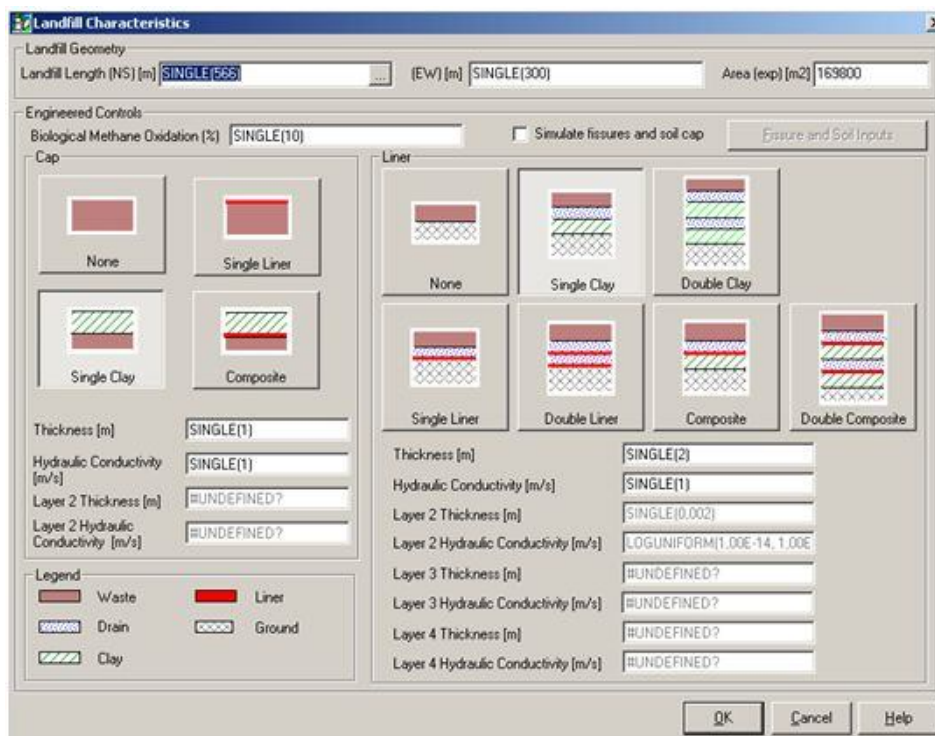
Leachate Recirculation [m³/hr]: #UNDEFINED?

OK Cancel Help

Slika 12: Vsebnost odpadkov

Karakteristike odlagališča (Landfill_Characteristics)

Podatke o karakteristikah odlagališča smo vnašali v okno Landfill_characteristics, slika 13.



Slika 13: Karakteristike odlagališča odpadkov

Celotna predvidena površina za odlog odpadkov (ang. Area) zajema približno 169.800 m². Pokrov oz. povrhnjica (ang. Cap) na odloženih odpadkih je iz enojnega sloja gline (ang. Single clay). Med plasti odpadkov v telesu odlagališča v CERO Nova Gorica vstavljajo enojno plast gline (ang. Single clay). Povprečna višina odloženih odpadkov (ang. Thickness) je 2 m.

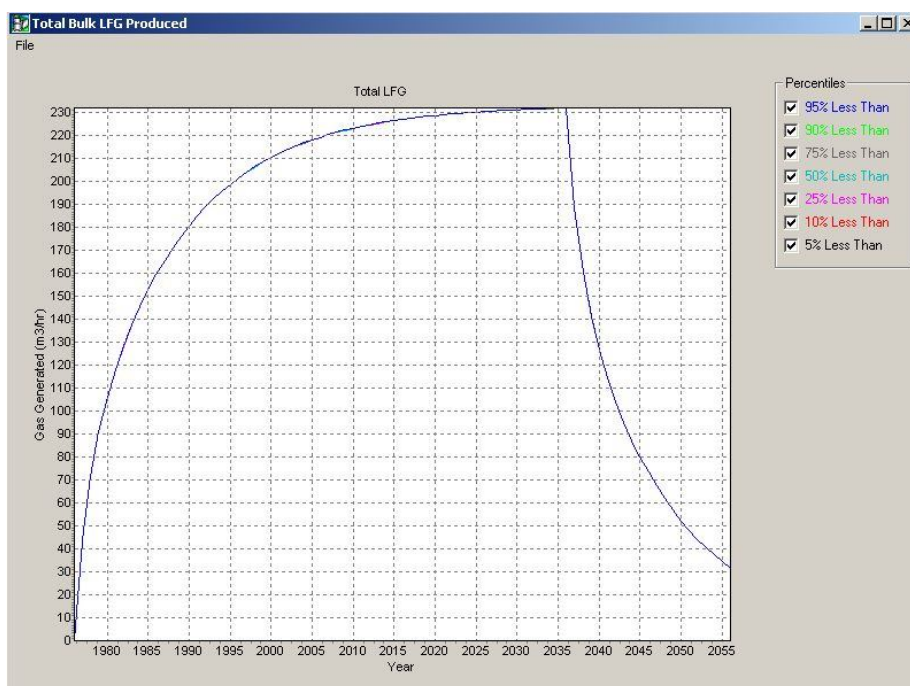
Prepojitev (ang. Infiltration)

Izračun povprečnih letnih padavin v obdobju od leta 1981 do leta 2007 pokaže, da znaša na področju CERO Nova Gorica višina povprečnih letnih padavin 1333 milimetrov, slika 14.



Slika 14: Povprečna višina padavin v obdobju enega leta

Ocena povprečnega volumskega toka deponijskega plina na leto v celotnem predvidenem obdobju delovanja CERO Nova Gorica je prikazana na sliki 15.



Slika 15: Povprečni volumski tok deponijskega plina v CERO Nova Gorica

Izračun pokaže, da CERO Nova Gorica v letu 2008 generira $\dot{V}_{iz} = 223 \text{ m}^3/\text{h}$ deponijskega plina. 20. 11. 2008 je merilec pretoka v plinovodu CERO Nova Gorica kazal pretok $\dot{V}_{mer} = 165 \text{ m}^3/\text{h}$ deponijskega plina, kar kaže na to, da del deponijskega plina mimo zbiralnega sistema uhaja v ozračje.

$$\dot{V}_{u,h} = \dot{V}_{iz} - \dot{V}_{mer} = 223 \text{ m}^3/\text{h} - 165 \text{ m}^3/\text{h} = 58 \text{ m}^3/\text{h} \quad (1)$$

\dot{V}_{iz} ocenjen urni izpust deponijskega plina na CERO Nova Gorica

\dot{V}_{mer} povprečna količina zbranega deponijskega plina v eni uri

$$\varphi = \frac{\dot{V}_{u,h}}{\dot{V}_{iz}} = \frac{58 \text{ m}^3/\text{h}}{223 \text{ m}^3/\text{h}} = 0,26 \cdot 100 \% = 26 \% \quad (2)$$

$\dot{V}_{u,h}$ količina deponijskega plina, ki uhaja v ozračje

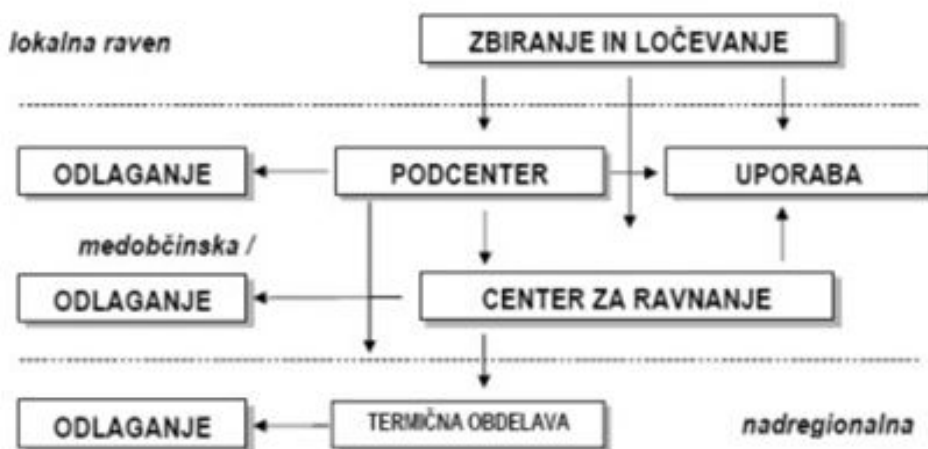
\dot{V}_{iz} ocenjen urni izpust deponijskega plina na CERO Nova Gorica

Volumski tok deponijskega plina, ki uhaja v ozračje, znaša 58 m³/h, kar predstavlja 26 % generiranega deponijskega plina. Rezultat kaže, da bi bilo potrebno zgostiti odplinjevalni sistem CERO Nova Gorica. V primeru enakega načina zbiranja komunalnih odpadkov bo v letu 2045 povprečni volumski tok deponijskega plina znašal 230 m³/h.

4. LOČENO ZBIRANJE ORGANSKIH ODPADKOV

V študijah, ki jih je pripravilo podjetje Komunala Nova Gorica, so predvideli gradnjo kompostarne oz. gnilišča. Tehnološko in okoljevarstveno je dokazano, da se s takim načinom zbiranja uspešno zmanjšuje volumen odloženih odpadkov. Študija raziskovalcev Forster-Carneiro in drugi (2007) je pokazala, da na količino generiranega bioplina pomembno vpliva ločevanje odpadkov na izvoru.

Z zmanjšanjem volumna odloženih odpadkov podaljšamo obratovalno dobo odlagališču. Izvedba takega procesa zbiranja ter gradnje predpisuje uredba o odlaganju odpadkov na odlagališčih, slika 16. Lokalne skupnosti so dolžne zagotavljati čim boljše ločevanje odpadkov na izvoru, država pa je dolžna vsakoletno zmanjševati količine biorazgradljivih sestavin v komunalnih odpadkih. Cilj za leto 2015 pravi, da količina bioloških odpadkov ne bo presegla 22 % vseh odloženih odpadkov (Operativni program, 2008)



Slika 16: Koncept ravnanja z odpadki v republiki Sloveniji (Mop, 2008b)

4.1 Zbiranje in odvažanje organskih odpadkov

Poleg obstoječega sistema zbiranja gospodinjskih odpadkov, ki je uveljavljen na področju šestih občin, bi bilo potrebno za ločeno zbiranje organskih odpadkov uvesti dodaten tip ekološkega zabojnika. Poleg obstoječih zabojnikov za papir, plastiko in steklo bi bilo potrebno postaviti zabojnike za organske odpadke. Običajno je barva takega zabojnika rjave barve, z namenom, da se zabojnik za organske odpadke lažje razpozna. Na sliki 17 je prikazan zabojnik za organske odpadke v mestni občini Ljubljana. Zabojnik ima zaprt pokrov z gumijastim tesnilom, ki preprečuje širjenje smradu. Zaradi zdravstveno higienskih zahtev je potrebno preučiti pogostost odvoza v zabojnikih na posameznih odjemnih mestih (trgovinah, skladiščih,...). Zabojnik za organske odpadke je vodotesen in ima na dnu ventil, ki omogoča izpust vode (Biotera, 2008).



Slika 17: Zabojnik ekoloških odpadkov v mestni občini Ljubljana (Snaga, 2008)

Slika 18 prikazuje tipične organske odpadke. V rjave zabojnike se lahko odlaga kuhinjske odpadke, zelenjavne odpadke (čebulne in krompirjeve olupke, odpadke od vseh vrst zelenjave, npr. solate, zelja), olupke in ostanke sadja, kavno usedlino, kavne filtre in čajne vrečke, netekoče ostanke hrane, jajčne lupine, pokvarjene prehranske izdelke, papirnate vrečke in robčke ter vrtno odpadke, rože, pokošeno travo, staro zemljo, plevel. V zabojnik za organske odpadke ne sodijo maščobe, olja, cigaretni ogorki.



Slika 18: Vrste organskih odpadkov (Green living, 2008)

Bioloških odpadkov nikoli ne odlagamo v plastičnih vrečkah. Na voljo so posebne vrečke, izdelane iz biološko razgradljive folije. Odpadno jedilno olje ne sodi med biološke odpadke. Olje, ki se uporablja za cvrtje, se zbira v posebni posodi in odda ločeno v zbirnem centru. Z ustreznim postopkom ga je mogoče predelati v gorivo za motorje z notranjim zgorevanjem – biodiesel, ali energent za ogrevanje prostorov. Odpadna olja lahko kot sestavino dodajamo v procesu kompostiranja, moč pa ga je tudi rafinirati v različne druge proizvode.

4.1.1 Odvoz organskih odpadkov

Organske odpadke odvažajo s pomočjo posebnih vozil, ki ne zbirajo ostalih vrst odpadkov. Posebnost teh vozil je, da so lahko opremljeni z rotirajočim bobnom, ki med vožnjo organske odpadke mešajo z namenom čim lažje obdelave in njihovega nadaljnjega izkoristka na deponiji (Gačeša, 1999).

Tabela 8 prikazuje izračun povprečne količine organskih odpadkov, ki se na letnem nivoju odložijo v CERO Nova Gorica. Povprečen delež komunalnih odpadkov, odloženih na deponiji, je izračunan za obdobje med letoma 2002 do leta 2006 na osnovi podatkov iz tabele 1. Izračun pokaže, da znaša povprečna odložena masa organskih odpadkov 8.038 t na leto, kar pomeni v povprečju 22 t na dan.

Tabela 8: Povprečna masa vseh odloženih organskih odpadkov na deponiji

Povprečna masa vseh odloženih odpadkov na deponiji (letno v t)	30.016
Povprečen delež komunalnih odpadkov odloženih na deponiji (%)	83,68
Povprečen delež organskih odpadkov v komunalnih odpadkih (%)	32
Povprečna masa organskih odpadkov (letno v t)	8.038

4.2 Pridobivanje bioplina na deponiji

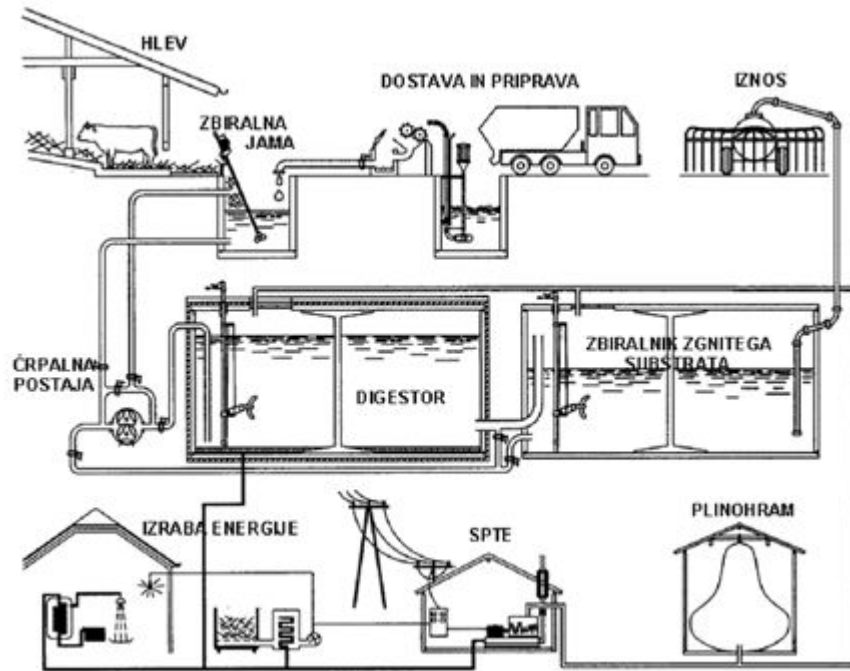
Organske odpadke po prihodu vozil na deponijo odložijo na običajno zaprt prostor, kjer se pripravijo za nadaljnjo obdelavo. Napravo, v kateri se pridobiva bioplin, imenujemo digestor. Veliko preprostih digestorjev za pridelavo bioplina so ljudje po svetu zgradili sami. Največkrat so zgrajeni iz kamna ali opeke, nastali bioplin običajno uporabljajo za kuhanje in gretje prostorov. Bioplin je produkt anaerobnega vrenja oz. fermentacije v digestorjih, ki je biološki proces, pri katerem bakterije razgradijo blago vodno raztopino organskih odpadkov brez prisotnosti kisika. Proces poteka v ravnotežju z dvema vrstama bakterij – med bakterijami, ki proizvajajo maščobne kisline in bakterijami, ki proizvajajo metan. Bakterije, ki proizvajajo metan, so zelo občutljive na temperaturo, kislosti raztopine (idealna je nevtralna kislost s pH med 7 in 7,5) in ne prenesejo prisotnosti kisika, soli ter težkih kovin, sicer se produkcija bioplina upočasni ali celo ustavi. Količina sproščenega bioplina in delež metana v njem sta odvisna od temperature raztopine, v kateri poteka anaerobno vrenje. Pri gnitju organskih odpadkov nastajajo plini, predvsem metan (CH₄) ter ogljikov dioksid (CO₂), ki predstavljata večino vseh toplogrednih izpustov.

Pri izpustih v zrak velja omeniti kot posebno problematičen plin metan. "Metan, najpreprostejši ogljikovodik, je plin s kemijsko formulo CH₄. Čisti metan je brez vonja, pri običajni uporabi pa je navadno pomešan z manjšimi količinami dišav, to so žveplove spojine močnih vonjev, kot je etantiol. Tako se lažje poišče uhajanja plina. Metan je glavna sestavina naravnega plina in je pomembno gorivo. Metan je toplogredni plin s potencialom globalnega segrevanja 25 v 100 letih. To pomeni, da v povprečju v 100 letih vsak kilogram CH₄ ogreje Zemljo 25-krat bolj kot enaka masa CO₂" (Metan, 2008).

Smiselno je, da pline, ki nastanejo pri anaerobnem vrenju, energetsko izkoriščamo in pretvarjamo v električno energijo ter s tem zmanjšujemo porabo ostalih energetskih virov. Ker proces kompostiranja (gnitja) odpadkov ne sme potekati nekontrolirano zaradi uhajanja metana v ozračje in možnosti energetskega izkoriščanja, se po svetu vse bolj uveljavljajo procesno kontrolirane kompostarne – digestorji. Razlikujemo tri vrste procesnih digestorjev glede na temperaturni nivo procesa, ki v njih poteka: psihofilni, mezofilni ali termofilni proces (Medved in Novak, 2000). Psihofilni proces poteka pri najnižji temperaturi med 15 in 20 °C, mezofilni med 20 in 40 °C, termofilni pa pri najvišji temperaturi med 50 in 65 °C. Termofilni proces omogoča najintenzivnejšo generacijo bioplina, vendar zahteva dodatno ogrevanje digestorja, saj deluje pri temperaturi, ki je višja od temperature okolice. Pri anaerobnem vrenju se uničijo vse bakterije, ki se nahajajo v človeških in živalskih fekalijah. Pri procesu nastajanja bioplina v digestorju je stranski produkt brozga, ki je dehidrirana kvalitetno gnojilo.

Izbira najprimernejšega tipa digestorja za proizvodnjo bioplina je odvisna od značilnosti odlagališča (geografske okoliščine odlagališča in okolja, bližina urbanih naselij, podnebni dejavniki), zmesi odpadkov ter ekonomskega in okoljevarstvenega vidika.

Splošni način sistema za proizvodnjo bioplina iz organskih odpadkov v digestorjih prikazuje slika 19.



Slika 19: Prikaz proizvodnje bioplina (Energetska izraba bioplina, 2008).

Sistem proizvodnje bioplina je sestavljen iz več komponent. V primeru ločenega zbiranja organskih odpadkov se ti iz dostavnih smetarskih tovornjakov odvržejo v zbirno jamo za organske odpadke, kjer jih potopni rezalnik zmelje in premeša. Nastalo brozgo (substrat) črpalna postaja skozi cevni sistem prečrpa v osrednji del sistema – fermentor oz. digestor, ki je toplotno izoliran, plinotesen in (v primeru termofilnega procesa) opremljen s stenskim ogrevanjem. Trajanje fermentacije je odvisno od sestave substrata. Sveže dovedeni organski odpadki potiskajo maso iz fermentorja v postfermentor, iz njega pa se fermentirani substrat skozi drug črpalni jašek prečrpava v končni zbiralnik za gnojvko. Fermentirani substrat po fermentaciji ne vsebuje nitratov, zato je kakovostno biološko gnojilo, ki ne povzroča ožigov zelenih listov in je skoraj brez vonja. Postfermentor je najpogosteje enako velik kot fermentor, plinotesen in opremljen z mešalno napravo. Praviloma ga ni potrebno ne ogrevati ne toplotno izolirati. V postfermentorju se s procesom razžvepljevanja, ki poteka ob kontroliranem dotoku zraka, bioplina pripravi na sežig. Bioplin se skladišči v plinohramu, ki je namenjen njegovemu skladiščenju, saj proizvodnja in poraba bioplina običajno nista enaka. Najprimernejši sistem za izrabo bioplina je kogeneracijski sistem za istočasno proizvodnjo toplote in električne energije. V

procesno vodenih bioplinskih sistemih, kot je na primer bioplinarna v Logarevcih na sliki 20, je mogoče energetsko izrabiti vse vrste biomase - od čiste gnojevke do povsem rastlinskega substrata. Biomaso je mogoče dovajati v fermentor skozi celo leto, bodisi svežo ali kot silažo (Energetska izraba, 2008).

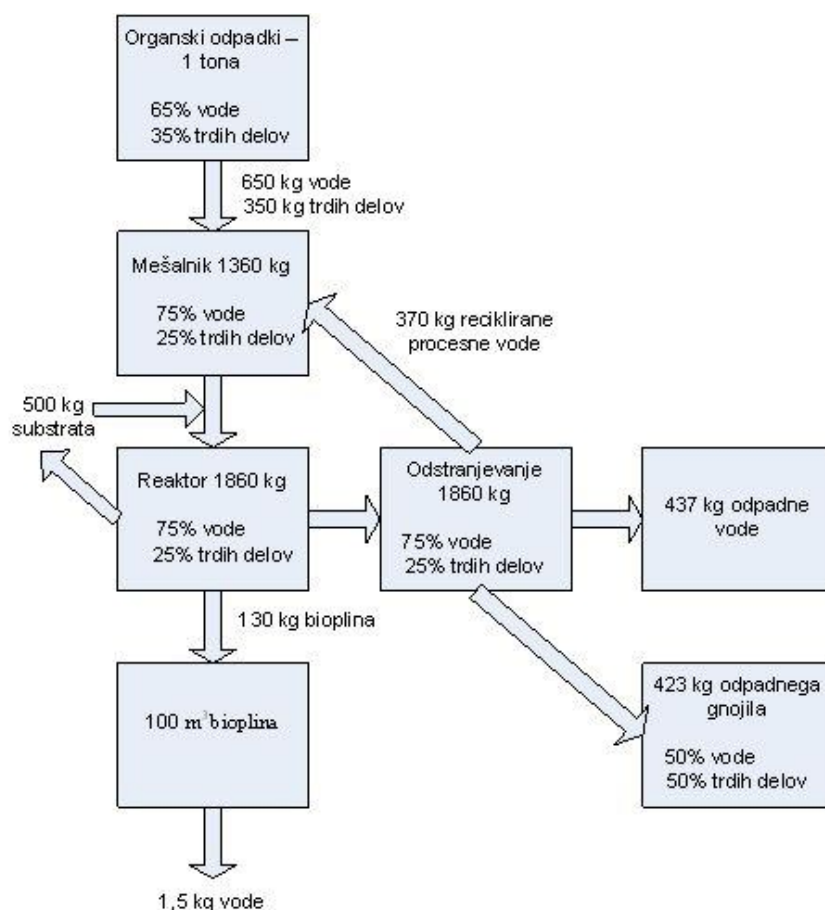


Slika 20: Zasebna bioplinarna v Logarovcih pri Ljutomeru (Bioplinarna Logarovci, 2008)

4.3 Izbira in dimenzioniranje digestorja

Zaradi hitre razgradnje je potrebno organske odpadke pogosto zbirati in vsakodnevno odvažati na deponijo. Hartmann (2002) je pokazal, da je smiselno ločeno zbiranje organskih odpadkov na izvoru, saj na takšen način lahko pridobimo večjo količino bioplina, kot s poznejšim mehanskim ločevanjem organskih odpadkov. Z ekonomsko analizo različnih tehnologij anaerobnih digestorjev na osnovi donosa bioplina je pokazal, da je za procesno fermentacijo organskih odpadkov najustreznejši kontinuirano mešalni reaktor ali CSTR digestor (ang. Continuously Stirred Tank Reactor) (Hartmann, 2002). Glavne značilnosti CSTR digestorja so: trdna snov v digestorju lahko zavzema prostorninske vrednosti med 5 % do 14 %, čas odloga odpadkov v digestorju (ang. Hydraulic retention time) je lahko do 30 dni, prostornina takšnega tipa digestorjev je velika, zato je tudi cena izgradnje relativno visoka, substrat v digestorju se neprestano meša (Swine manure methods, 1997). Raziskave na laboratorijski ravni in praktične izkušnje pri pridobivanju bioplina kažejo, da na količino nastalega bioplina vplivajo vhodni substrat in pogoji v digestorju. Tudi v

Sloveniji je danes vse več gospodarskih in javnih ustanov, ki se ukvarjajo z izkoriščanjem alternativnih virov energije za proizvodnjo električne energije. Na farmi Nemščak pri Beltincih deluje eden od največjih digesterjev za proizvodnjo bioplina v JV delu Evrope. Proces pridobivanja bioplina poteka v mezofilnem režimu pri temperaturi 38 °C. Bioplina uporabljajo predvsem za proizvodnjo električne energije, ki jo prodajajo v distribucijsko omrežje. Toplotno energijo, ki nastane pri pretvorbi, porabijo za ogrevanje svinjskih hlevov. Substrat tvorijo gnojevka, klavnični odpadki in koruzna silaža. Dnevno vložijo 130 t gnojevke, 35-40 t silaže in 30 t klavničnih odpadkov v digester, pri čemer nastane povprečno med 13.000 in 14.000 m³ bioplina. Na tono vloženi odpadki pridobijo torej povprečno 70 m³ bioplina. Izmerjeni povprečni odstotek metana (CH₄) v bioplinu znaša 56 vol%, ogljikovega dioksida (CO₂) pa med 35 in 36 vol% (Durič, 2008).



Slika 21: Posplošen pretok snovi v anaerobnem mezofilnem procesu (Ostrem, 2004)

Slika 21 prikazuje razmerja med snovmi, ki nastopajo v mezofilnem procesu na praktičnem primeru mezofilnega procesa pridobivanja bioplina, v katerem je iz ene tone organskih odpadkov nastalo 100 m³ bioplina ter 423 kg gnojila (Ostrem, 2004). Nekatere druge študije kažejo, da lahko z anaerobnim mezofilnim procesom na tono odpadkov pridobimo še več bioplina. Hartmann (2002) je opravil raziskavo izbora pravilne tehnologije digestorja glede na vrsto odpadkov, ki jih želimo izkoriščati. Njegova študija temelji na petnajstletnem raziskovalnem delu, kjer zaključí, da so največji donosi bioplina pri uporabi mokrih odpadkov v digestorju in, da termofilni režim fermentacije daje večje donose bioplina kot mezofilni proces. Ker pa je pri termofilnem procesu potrebno dovajati toploto za vzdrževanje temperaturnega režima in so investicijski stroški višji, smo v nadaljevanju primerjali oba režima iz energetskega, ekonomskega in ekološkega stališča.

Pretvorba odpadkov v bioplin in izbira pravega tipa digestorja je pogojena z več dejavniki (Burke, 2005):

- vrsta odpadkov,
- koncentracija odpadkov,
- temperatura,
- pH vrednost in alkalnost,
- hidravlični zadrževalni čas,
- razmerje hrane in mikroorganizmov,
- vrednost polnjenja digestorja,
- odstotek odvedenih končnih strupenih odpadkov.

4.3.1 Vrsta odpadkov

Različne vrste odpadkov niso enako razgradljive v bioplin. Odpadki, ki se neradi mešajo z vodo, se razgrajajo počasneje.

4.3.2 Koncentracija odpadkov

Lastnosti odpadkov se lahko spremenijo z redčenjem z vodo. Dodana voda zmanjša koncentracijo dušika in žvepla, ki tvorita amonijak in žveplov vodik. Z redčenjem proces pridobivanja bioplina poteka hitreje in bolj zanesljivo. Najprimernejša koncentracija trdne snovi v brozgi znaša šest do sedem odstotkov. Redčenje odpadkov pa ima to neprijetno posledico, da kljub mešanju povzroča platenje po višini digestorja. Na dnu se nabira pesek, na vrhu pa debeli sloj substrata, kar zmanjšuje učinkovitost fermentacije. Optimalna koncentracija odpadkov je odvisna od temperature v digestorju.

V digestorju lahko fermentiramo mokre odpadke (odpadke, ki imajo manj kot 20 % trdih delcev) ali dehidrirane odpadke (odpadke, ki majo več kot 20 % trdih delcev) (Hartmann, 2002). Obe tehnologiji imata prednosti in slabosti. V letu 2000 je v Evropi delovalo 54 % digestorjev z izsušenimi organskimi odpadki. Prednost takšnega sistema je večja donosnost bioplina, slabost pa težji transport odpadkov, kar lahko privede do zamašitev v sistemu. Sistem z mokrimi organskimi odpadki je procesno manj problematičen, vendar je potrebno odpadke redčiti in zahteva neprestano mešanje odpadkov, torej uporabo CSTR digestorja.

4.3.3 Temperatura

V splošnem ima višja temperatura v digestorju za posledico višji volumski tok bioplina. Z višanjem temperature eksponentno raste vlažnost bioplina in količina hlapljivih organskih delcev v digestorju. Po trditvah Hartmanna (2002) je v Evropi vse več sistemov, ki delujejo s termofilnim procesom. Povečana proizvodnja bioplina presega rabo toplote za ogrevanje digestorja v termofilnem procesu.

4.3.4 pH vrednost in alkalnost

Metanogene bakterije, ki pretvarjajo maščobne kisline v metan, potrebujejo nevtralnno ali neznatno alkalnost brozge (pH med 6,8 in 8,5). V nasprotnem primeru se ustavi fermentacija sekundarnega metabolita in v brozgi začnejo rasti bakterije, ki

proizvajajo kislino, kar lahko povzroči ustavitev delovanja metanogenih bakterij in s tem proizvodnjo metana.

4.3.5 Hidravlični zadrževalni čas (ang. hydraulic retention time)

Večina anaerobnih sistemov je zasnovanih tako, da zaradi stabilnosti procesa zadržujejo odpadke v digestorju natančno določen časovni interval (Burke, 2001). Interval zadrževanja kontrolnega volumna substrata v digestorju imenujemo hidravlični zadrževalni čas (ang. Hydraulic Retention Time, *HRT*):

$$HRT = \frac{V}{\dot{V}_o} \quad (3)$$

V prostornina digestorja

\dot{V}_o volumski tok organskih odpadkov

Hidravlični zadrževalni čas je zelo pomemben, saj določa razpoložljiv čas za rast bakterij in posledično uspešnost pretvorbe organskega substrata v bioplin. Pri izboru digestorja smo izbrali hidravlični zadrževalni čas, ki zagotavlja največjo možno pretvorbo organskega materiala v bioplin.

4.3.5.1 Izračun prostornine digestorja – mezofilni proces

Substrat v digestorju je sestavljen iz trdih delov organskih odpadkov in vode. Pri izračunu digestorja za CERO Nova Gorica smo privzeli, da je povprečni delež trdih delcev organskih odpadkov v substratu mezofilnega procesa v digestorju $TS_m = 10 \%$ (Krzystek in drugi, 2001). Tipični organski odpadki v Evropi vsebujejo približno $\varphi_{TS} = 65 \%$ mase trdih delcev in 35% vode (Ostrem, 2004). Glede na statistične podatke o količini odloženih komunalnih odpadkih v CERO Nova Gorica je masa dnevno odloženih organskih odpadkov $\dot{m}_{in} = 22.022 \text{ kg/dan}$.

Masni tok trdih delcev organskih odpadkov:

$$\dot{m}_{TS} = \dot{m}_{in} \cdot \rho_{TS} = 22.022 \text{ kg/dan} \cdot 0,65 = 14.314 \text{ kg/dan} \quad (4)$$

V CERO Nova Gorica se dnevno odloži 14.314 kg trdih delcev organskih odpadkov. Celotni masni tok brozge v digestorju:

$$\dot{m}_{in,m} = \frac{\dot{m}_{TS}}{TS_m} = \frac{14.314 \text{ kg/dan}}{0,10} = 143.142 \text{ kg/dan} \quad (5)$$

Masni tok brozge v mezofilnem procesu znaša 143,142 kg/dan.

Zaradi razredčenosti lahko gostoto za gostoto brozge privzamemo kar gostoto vode $\rho_v = 1000 \text{ kg/m}^3$. Dnevni volumen substrata:

$$\dot{V}_{in,m} = \frac{\dot{m}_{in,m}}{\rho_v} = \frac{143.142 \text{ kg/dan}}{1000 \text{ kg/m}^3} = 143,142 \text{ m}^3/\text{dan} \quad (6)$$

$\dot{V}_{in,m}$ volumski tok vloženih organskih odpadkov

Volumen dnevno odloženega substrata v CERO Nova Gorica znaša 143,142 m³.

Priporočeni hidravlični zadrževalni čas substrata v digestorju v primeru mezofilnega procesa $HRT_m = 12$ dni (Krzystek in drugi, 2001). Z navedenimi podatki lahko izračunamo potrebno prostornino digestorja:

$$V_{efm} = HRT_m \cdot \dot{V}_{in,m} = 12 \text{ dni} \cdot 143,142 \text{ m}^3/\text{dan} = 1717,7 \text{ m}^3 \quad (7)$$

V_{efm} prostornina učinkovitega dela digestorja pri mezofilnem procesu

Iz enačbe 7 vidimo, da bi pri uporabi mezofilnega procesa fermentacije potrebovali digestor s prostornino 1717,7 m³. Dejanska prostornina digestorja mora biti večja za okoli 15 odstotkov od učinkovite prostornine, saj bi se lahko v nasprotnem primeru brozga preko zgornjega roba nekontrolirano pretakala v kanale za zbiranje plina:

$$V_m = 1,15 \cdot V_{efm} = 1,15 \cdot 1717,7 \text{ m}^3 = 1975,4 \text{ m}^3 \approx 2000 \text{ m}^3 \quad (8)$$

Digestor za anaerobni mezofilni proces za pogoje, kot so v CERO Nova Gorica, mora imeti prostornino 2000 m³.

4.3.5.2 Izračun prostornine digestorja - termofilni proces

Termofilni proces z mokrimi odpadki je najučinkovitejši način anaerobne fermentacije organskih odpadkov, saj je izplen bioplina na enoto organskega dela odpadka največji (Hartmann, 2001). Za izračun prostornine digestorja v primeru termofilnega procesa v CERO Nova Gorica smo manjkajoče podatke povzeli po primerljivih značilnostih bioplinskega sistema v študiji Davidsson, Gruvberger, Thomas, Christensen, Hansen, Jansen (2006), v kateri anaerobni termofilni proces poteka pri temperaturi 55°C in je delež trdega substrata $TS_t = 5\%$. Z enačbo 4 smo izračunali, da se v CERO Nova Gorica dnevno odloži 14.314 kg trdih delcev organskih odpadkov.

Celotni masni tok brozge v digestorju:

$$\dot{m}_{in,t} = \frac{\dot{m}_{TS}}{TS_t} = \frac{14.314 \text{ kg/dan}}{0,05} = 286.280 \text{ kg/dan} \quad (9)$$

Dnevni volumen substrata:

$$\dot{V}_{in,t} = \frac{\dot{m}_{in,t}}{\rho_v} = \frac{286.280 \text{ kg/dan}}{1000 \text{ kg/m}^3} = 286,28 \text{ m}^3/\text{dan} \quad (10)$$

$\dot{V}_{in,t}$ volumski tok vloženih organskih odpadkov

V primeru termofilnega procesa znaša volumen dnevno odloženega substrata v CERO Nova Gorica 286,28 m³/dan.

Priporočeni hidravlični zadrževalni čas substrata v digestorju v primeru mezofilnega procesa $HRT_t = 15$ dni (Davidsson in drugi, 2006). Z navedenimi podatki lahko izračunamo potrebno prostornino digestorja:

$$V_{eft} = HRT_t \cdot \dot{V}_{in,t} = 15 \text{ dni} \cdot 286,28 \text{ m}^3/\text{dan} = 4294,2 \text{ m}^3 \quad (11)$$

V_{eft}prostornina efektivnega dela digestorja pri termofilnem procesu.

Iz enačbe 11 vidimo, da bi v CERO Nova Gorica za termofilni proces potrebovali digestor z prostornino 4294,2 m³. Dejanska prostornina digestorja mora biti večja za okoli 15 odstotkov od efektivne prostornine iz enakih razlogov, kot pri mezofilnem procesu:

$$V_t = 1,15 \cdot V_{eft} = 1,15 \cdot 4294,2 \text{ m}^3 = 4938,3 \text{ m}^3 \approx 5000 \text{ m}^3 \quad (12)$$

Digestor za anaerobni termofilni proces za pogoje, kot so v CERO Nova Gorica, mora imeti prostornino 5000 m³.

4.4 Količina proizvedenega bioplina

Količini dnevno proizvedenega bioplina se pri mezofilnem in termofilnem procesu razlikuje. V nadaljevanju smo na osnovi izračun in meritev, ki so jih različni avtorji opravili laboratorijsko z veliko manjšimi količinami vhodnega substrata, ocenili potencialne količine bioplina glede na pogoje v CERO Nova Gorica.

4.4.1 Mezofilni proces

Krzystek in drugi (2001) so pri mezofilnem anaerobnem procesu na kubični meter substrata v digestorju pridobili $\omega_m = 2,5 \text{ m}^3$ bioplina na dan. V CERO Nova Gorica bi v podobnih pogojih nastalo:

$$\dot{V}_{b,m} = \omega_m \cdot V_m = 2,5 \text{ m}^3/\text{m}^3/\text{dan} \cdot 2000 \text{ m}^3 = 5000 \text{ m}^3/\text{dan} = 208,33 \text{ m}^3/\text{h} \approx 200 \text{ m}^3/\text{h} \quad (13)$$

Pri uporabi mezofilnega procesa nastane približno 200 m³ bioplina na uro.

4.4.2 Termofilni proces

Davidsson in drugi (2006) navajajo, da so na tono odpadka z termofilnim procesom pridobili $\omega_t = 300 \text{ m}^3$ do 400 m^3 metana na tono hlapljive snovi. V nadaljevanju upoštevamo srednjo vrednost $\omega_{tsr} = 350 \text{ m}^3$. Koncentracija metana v bioplinu je bila

$\varphi_{CH_4} = 62$ %. Delež hlapljive snovi v organskih odpadkih je bil med $VS_t = 81$ % in 92 % vseh trdih odpadkov. V nadaljevanju upoštevamo srednjo vrednost $VS_{tsr} = 86$ %. Celotna masa hlapljive snovi:

$$\dot{m}_{VS,t} = \dot{m}_{TS} \cdot VS_{tsr} = 14.314 \text{ kg/dan} \cdot 0,86 = 12.310 \text{ kg/dan} = 12,31 \text{ t/dan} \quad (14)$$

Volumski tok metana:

$$\dot{V}_{CH_4,t} = \dot{m}_{VS,t} \cdot \omega_{tsr} = 12,31 \text{ t/dan} \cdot 350 \text{ m}^3/\text{t} = 4308 \text{ m}^3 \text{ CH}_4/\text{dan} \quad (15)$$

Volumski tok bioplina z upoštevanim 62 vol% deležem metana:

$$\dot{V}_{b,t} = \frac{\dot{Q}_{t(CH_4)}}{\varphi_{CH_4}} = \frac{4308 \text{ m}^3/\text{dan}}{0,62} \approx 6949 \text{ m}^3/\text{dan} = 289,55 \text{ m}^3/\text{h} \approx 290 \text{ m}^3/\text{h} \quad (16)$$

Pri uporabi termofilnega procesa pri pogojih CERO Nova Gorica nastane približno 290 m³ bioplina na uro.

4.5 Energetsko izkoriščanje organskih odpadkov

Pri procesu kogeneracije se kemična energija goriva sočasno pretvarja v električno in toplotno energijo. Primarna pretvorba poteka z električnim generatorjem, ki ga poganja mehanska energija motorja z notranjim zgorevanjem bioplina. Pri pretvorbi notranje energije bioplina v mehansko delo se v motorju sprošča toplota, ki jo lahko koristno uporabimo. To je osnovna prednost procesa kogeneracije električne in toplotne energije pred klasično (termo)proizvodnjo električne energije, pri kateri ne izkoristimo toplotne energije in omogoča prihranke tako energije kot denarja (Energetika, 2008). Pri energetskem izkoriščanju organskih odpadkov so toplotna energija iz procesa kogeneracije uporabljata za ogrevanje substrata s pomočjo cevnih prenosnikov toplote v digestorju, slika 22.



Slika 22: Grelci na zidni površini digestorja (prazen, v izgradnji) (Grelci, 2008)

Energijska vsebnost bioplina je odvisna od sestave bioplina in se povečuje z deležem metana. Kurilna vrednost bioplina je med 4 in 7,5 kWh/Nm³. Spodnja kurilna vrednost čistega metana je $H_{i,CH_4} = 9810 \text{ Wh/Nm}^3$, medtem ko je ogljikov dioksid pri zgorevanju inertni plin.

4.5.1 Energija proizvedenega bioplina - mezofilni proces

V Krzystek in drugi (2001) za mezofilni proces vsebnost metana v bioplinu ni navedena, zato smo uporabili enako koncentracijo metana, kot pri termofilnem procesu fermentacije, $\varphi_{CH_4} = 62 \%$ (Davidsson in drugi, 2006).

Energijska vsebnost bioplina pri mezo filnem procesu:

$$\dot{Q}_m = \dot{V}_{b,m} \cdot \varphi_{CH_4} \cdot H_{i,CH_4} = 5000 \text{ m}^3/\text{dan} \cdot 0,62 \cdot 9810 \text{ Wh/Nm}^3 = 30.411 \text{ kWh/dan} \quad (17)$$

V primeru uporabe mezofilnega procesa bi v CERO Nova Gorica s proizvedenim bioplinom imeli na razpolago 30.411 kWh energije na dan.

4.5.2 Energija proizvedenega bioplina - termofilni proces

Energijska vsebnost bioplina pri termofilnem procesu:

$$\dot{Q}_t = \dot{V}_{b,t} \cdot \varphi_{CH_4} \cdot H_{i,CH_4} = 6949 \text{ m}^3/\text{dan} \cdot 0,62 \cdot 9810 \text{ Wh/Nm}^3 = 42.265 \text{ kWh/dan} \quad (18)$$

V primeru uporabe mezofilnega procesa bi v CERO Nova Gorica s proizvedenim bioplinom imeli na razpolago 42.265 kWh energije na dan.

4.5.3 Izbira kogeneracijskega sistema

Po primerjavi sistemov največjih proizvajalcev kogeneracijskih sistemov: Deutzpower system (Deutz, 2009), Jenbacher (Jenbacher, 2009), MAN (Man, 2009) in MTU Onsite Energy (Mtu, 2009), smo se odločili za proizvajalca Deutz. Po tehničnih karakteristikah sistemov sodijo med vrhunske proizvajalce, prednost pred konkurenco zagotavljajo z visoko kvaliteto, dolgimi servisnimi intervali (prvi servis šele po 64.000 urah delovanja), nizkimi stroški obratovanja in razvejano servisno mrežo. Po podatkih proizvajalca lahko kogeneracijski sistem Deutz deluje z bioplinom, ki mora imeti vsebnost metana višjo od 60 %.



Slika 23: Motor z generatorjem Deutz TCG 2020 (Deutz, 2008a)

Na podlagi različnih količin bioplina smo izbrali dva podobna, a po moči različna kogeneracijska sistema, slika 23, ki najbolj ustrezata pogojem v CERO Nova Gorica v primeru mezofilnega ali termofilnega procesa energetskega izkoriščanja organskih odpadkov. Glavne karakteristike obeh izbranih sistemov so navedene v tabeli 9.

Tabela 9: Tehnični podatki kogeneracijskih sistemov proizvajalca Deutz (Deutz, 2008b)

		DEUTZ TCG 2020 V12	DEUTZ TCG 2020 V20
Tip motorja			
Moč motorja	kW	1050	1750
Vrtilna hitrost (50Hz)	min ⁻¹	1500	1500
Energijske lastnosti			
Električna moč	kW	1021	1703
Električni izkoristek	%	41	41
Termični izkoristek	%	43	42,7
Skupni izkoristek	%	84	83,7
Mere			
Dolžina	mm	5500	7300
Širina	mm	1800	1800
Višina	mm	2500	2600
Masa	kg	10.400	17.300
Glasnost	dB	103.0	107.1

Iz tabele 9 je razvidno, da imata navedena kogeneracijska sistema proizvajalca Deutz podobne karakteristike. Izbira kogeneracijskega sistema je temeljila na čim višjem izkoristku ter čim višjih donosih električne in toplotne energije.

4.5.4 Čas delovanja motorja

Na osnovi vsebnosti energije proizvedenega bioplina in moči kogeneracijskega sistema izračunamo čas delovanja motorja na dan pri polni moči. Največ proizvedene električne energije dobimo ob neprekinjenem delovanju kogeneracijskega sistema.

4.5.4.1 Mezofilni proces z enim motorjem TCG 2020 V20

V primeru uporabe mezofilnega procesa je v CERO Nova Gorica s proizvedenim bioplinom na razpolago 30.411 kWh energije na dan. Glede na karakteristike in investicijske stroške je najprimernejši kogeneracijski sistem Deutz TCG 2020 V20. Čas delovanja motorja na dan pri polni nazivni moči $P_m = 1750$ kW:

$$t_m = \frac{Q_m}{P_m} = \frac{30.411 \text{ kWh}}{1750 \text{ kW}} = 17,38 \text{ h} \approx 17 \text{ ur } 23 \text{ min/dan} \quad (19)$$

V danih pogojih bi sistem z enim motorjem moči 1750 kW deloval 17 ur in 23 min na dan. Za neprekinjeno delovanje 24 ur na dan je potrebno povečati dnevno proizvedeno količino bioplina s povečanjem prostornine digestorja. Ker je volumski tok dnevno odloženih organskih odpadkov $\dot{V}_{in,m}$ določen s količino dnevno odloženih komunalnih odpadkov na CERO Nova Gorica, lahko povečano proizvodnjo bioplina dosežemo s podaljšanjem hidravličnega zadrževalnega časa substrata v digestorju *HRT*.

Iz enačbe 19 izračunamo potrebno dnevno energijo za celodnevni, $t_{m1} = 24 \text{ h}$, pogon kogeneracijskega sistema Deutz TCG 2020 V20:

$$\dot{Q}_{m1} = P_m \cdot t_{m1} = 1750 \text{ kW} \cdot 24 \text{ h/dan} = 42.000 \text{ kWh/dan} \quad (20)$$

Iz enačbe 18 izračunamo potrebni volumski tok bioplina za celodnevni pogon kogeneracijskega sistema:

$$\dot{V}_{b,m1} = \frac{\dot{Q}_{m1}}{\varphi_{CH_4} \cdot H_{i,CH_4}} = \frac{42.000.000 \text{ kWh/dan}}{0,62 \cdot 9810 \text{ Wh/Nm}^3} = 6905,4 \text{ m}^3/\text{dan} \approx 6900 \text{ m}^3/\text{dan} \quad (21)$$

Večji volumski tok bioplina pomeni, da moramo povečati prostornino digestorja. Novo prostornino digestorja izračunamo s pomočjo enačbe 13:

$$V_{m1} = \frac{\dot{V}_{b,m1}}{\omega_m} = \frac{6900 \text{ m}^3/\text{dan}}{2,5 \text{ m}^3/\text{m}^3/\text{dan}} = 2760 \text{ m}^3 \quad (22)$$

Za neprekinjeno delovanje izbranega kogeneracijskega sistema Deutz TCG 2020 V20 mora biti v primeru mezofilnega procesa pri pogojih CERO Nova Gorica prostornina digestorja enaka 2760 m^3 .

4.5.4.2 Termofilni proces z dvema motorjema TCG 2020 V12

V primeru uporabe termofilnega procesa je v CERO Nova Gorica s proizvedenim bioplino na razpolago 42.265,21 kWh energije na dan. Glede na karakteristike je najprimernejši kogeneracijski sistem z dvema motorjema Deutz TCG 2020 V12 z nazivno močjo $P_t = 1050$ kW. Čas delovanja motorjev na dan pri polni nazivni moči:

$$t_t = \frac{Q_t}{2 \cdot P_t} = \frac{42.265,210 \text{ kWh}}{2 \cdot 1050 \text{ kW}} = 20,13 \text{ h} \approx 20 \text{ ur } 8 \text{ min/dan} \quad (23)$$

V danih pogojih bi sistem z dvema motorjema skupne moči 2100 kW deloval 20 ur in 8 min na dan. Za neprekinjeno delovanje 24 ur na dan je potrebno povečati dnevno proizvedeno količino bioplina s povečanjem prostornine digestorja. Ker je volumski tok dnevno odloženih organskih odpadkov $\dot{V}_{in,m}$ določen s količino dnevno odloženih komunalnih odpadkov na CERO Nova Gorica, lahko povečano proizvodnjo bioplina dosežemo s podaljšanjem hidravličnega zadrževalnega časa substrata v digestorju *HRT*.

Iz enačbe 20 izračunamo potrebno dnevno energijo za celodnevni, $t_{t1} = 24$ h, pogon kogeneracijskega sistema z dvema enotama Deutz TCG 2020 V12:

$$\dot{Q}_{t1} = 2 \cdot P_t \cdot t_{t1} = 2 \cdot 1050 \text{ kW} \cdot 24 \text{ h/dan} = 50.400 \text{ kWh/dan} \quad (24)$$

Iz enačbe 18 izračunamo potrebni volumski tok bioplina za celodnevni pogon kogeneracijskega sistema:

$$\dot{V}_{b,t1} = \frac{\dot{Q}_{t1}}{\varphi_{CH_4} \cdot H_{i,CH_4}} = \frac{50.400,000 \text{ kWh/dan}}{0,62 \cdot 9810 \text{ Wh/Nm}^3} = 8286,5 \text{ m}^3/\text{dan} \approx 8300 \text{ m}^3/\text{dan} \quad (25)$$

Večji volumski tok bioplina pomeni, da moramo povečati prostornino digestorja. Novo prostornino digestorja izračunamo s pomočjo deležem povečanja volumskega toka bioplina pri neprekinjenem delovanju motorjev:

$$V_{t1} = \frac{\dot{V}_{b,t1}}{\dot{V}_{b,t}} \cdot V_t = \frac{8300 \text{ m}^3/\text{dan}}{6900 \text{ m}^3/\text{dan}} \cdot 5000 \text{ m}^3 = 6000 \text{ m}^3 \quad (26)$$

Za neprekinjeno delovanje izbranega kogeneracijskega sistema z dvema enotama Deutz TCG 2020 V12 mora biti v primeru termofilnega procesa pri pogojih CERO Nova Gorica prostornina digestorja enaka 6000 m³. Piccinini (2008) pri analizi anaerobnih digestorjev v Italiji opisuje in argumentira, da so in zakaj so digestorji v večini primerov grajeni do 5000 m³, zato smo se odločili za dva manjša digestorja iste velikosti:

$$V_{t2} = \frac{V_{t1}}{2} = \frac{6000 \text{ m}^3}{2} = 3000 \text{ m}^3 \quad (27)$$

Prostornina enega digestorja v termofilnem procesu znaša 3000 m³.

4.5.5 Skupna proizvodnja energije

4.5.5.1 Mezofilni proces z motorjem TCG 2020 V20

Skupna pretvorjena energija kogeneracijskega sistema v CERO Nova Gorica v primeru mezofilnega procesa:

$$Q_{SKm} = P_m \cdot t_{t1} \cdot \varepsilon_{SKm} = 1750 \text{ kW} \cdot 24 \text{ h/dan} \cdot 0,837 = 35.154 \text{ kWh/dan} \quad (28)$$

P_m moč motorja TCG 2020 V20

ε_{SKm} skupni izkoristek kogeneracijskega sistema TCG 2020 V20

4.5.5.2 Termofilni proces z dvema motorjema TCG 2020 V12

Skupna pretvorjena energija kogeneracijskega sistema v CERO Nova Gorica v primeru termofilnega procesa:

$$Q_{SKt} = 2 \cdot P_t \cdot t_{t1} \cdot \varepsilon_{SKt} = 2 \cdot 1050 \text{ kW} \cdot 24 \text{ h/dan} \cdot 0,84 = 42.336 \text{ kWh/dan} \quad (29)$$

P_t moč motorja TCG 2020 V12

ε_{SKt} skupen izkoristek kogeneracijskega sistema TCG 2020 V12

4.5.6 Proizvodnja toplotne energije

4.5.6.1 Mezofilni proces z motorjem TCG 2020 V20

Proizvodnja toplotne energije kogeneracijskega sistema v CERO Nova Gorica v primeru mezofilnega procesa:

$$Q_{Tm} = P_m \cdot t_{t1} \cdot \varepsilon_{Tm} = 1750 \text{ kW} \cdot 24 \text{ h/dan} \cdot 0,427 = 17.934 \text{ kWh/dan} \quad (30)$$

ε_{Tm} termični izkoristek kogeneracijskega sistema TCG 2020 V20

4.5.6.2 Termofilni proces z dvema motorjema TCG 2020 V12

Proizvodnja toplotne energije kogeneracijskega sistema v CERO Nova Gorica v primeru termofilnega procesa:

$$Q_{Tt} = 2 \cdot P_t \cdot t_{t1} \cdot \varepsilon_{Tt} = 2 \cdot 1050 \text{ kW} \cdot 24 \text{ h/dan} \cdot 0,43 = 21.672 \text{ kWh/dan} \quad (31)$$

ε_{Tt} termični izkoristek kogeneracijskega sistema TCG 2020 V12

4.5.7 Proizvodnja električne energije

4.5.7.1 Mezofilni proces z motorjem TCG 2020 V20

Proizvodnja električne energije kogeneracijskega sistema v CERO Nova Gorica v primeru mezofilnega procesa:

$$Q_{Em} = P_m \cdot t_{t1} \cdot \varepsilon_{Em} = 1750 \text{ kW} \cdot 24 \text{ h/dan} \cdot 0,41 = 17.220 \text{ kWh/dan} \quad (32)$$

ε_{Em} električni izkoristek kogeneracijskega sistema TCG 2020 V20

4.5.7.2 Termofilni proces z dvema motorjema TCG 2020 V12

Proizvodnja električne energije kogeneracijskega sistema v CERO Nova Gorica v primeru termofilnega procesa:

$$Q_{Et} = 2 \cdot P_t \cdot t_{t1} \cdot \varepsilon_{Et} = 2 \cdot 1050 \text{ kW} \cdot 24 \text{ h/dan} \cdot 0,41 = 20.664 \text{ kWh/dan} \quad (33)$$

ε_{Et} električni izkoristek kogeneracijskega sistema TCG 2020 V12

4.5.8 Dimenzije in energija za ogrevanje digestorja

4.5.8.1 Mezofilni proces z motorjem TCG 2020 V20

Z znano prostornino lahko izračunamo višino digestorja h z enačbo (Agricultural Structures, 2008)

$$h = 1,2 \cdot \sqrt[3]{\frac{4r^2V}{\pi}} \quad (34)$$

V prostornina digestorja

r razmerje med višino in premerom digestorja

Lanting in drugi (2002) omenjajo kot najbolj primerno razmerje med višino in premerom digestorja 1 : 4 oz. $r = 0,25$. Višino digestorja pri mezofilnem procesu dobimo iz enačbe 34:

$$h_m = 1,2 \cdot \sqrt[3]{\frac{4 \cdot r^2 \cdot V_{m1}}{\pi}} = 1,2 \cdot \sqrt[3]{\frac{4 \cdot (0,25)^2 \cdot 2760 \text{ m}^3}{3,14}} = 7,24 \text{ m} \quad (35)$$

Premer digestorja pri mezofilnem procesu:

$$2r_m = 4 \cdot h_m = 4 \cdot 7,24 \text{ m} = 28,96 \text{ m} \approx 29 \text{ m} \quad (36)$$

Ploščino plašča digestorja pri mezofilnem procesu izračunamo z enačbo:

$$A_m = 2\pi r_m \cdot h_m = 29 \cdot 3,14 \cdot 7,24 \text{ m} = 659,61 \text{ m}^2 \approx 660 \text{ m}^2 \quad (37)$$

r_m polmer digestorja

h_m višina digestorja

Ob nastajanju bioplina se temperatura substrata v digestorju poviša zaradi aktivnosti mikroorganizmov. Anaerobni mezofilni proces poteka pri temperaturi 36 °C in ne potrebuje dodatnega ogrevanja substrata v digestorju (Durič, 2008).

4.5.8.2 Termofilni proces z dvema motorjema TCG 2020 V12

S pomočjo enačbe 34 izračunamo višino digestorjev:

$$h_t = 1,2 \cdot \sqrt[3]{\frac{4 \cdot r^2 \cdot V_{t2}}{\pi}} = 1,2 \cdot \sqrt[3]{\frac{4 \cdot (0,25)^2 \cdot 3000 \text{ m}^3}{3,14}} = 7,44 \text{ m} \approx 7,5 \text{ m} \quad (38)$$

Premer digestorjev pri termofilnem procesu:

$$2r_t = 4 \cdot h_t = 4 \cdot 7,5 \text{ m} = 30 \text{ m} \quad (39)$$

Ploščino plašča obeh načrtovanih digestorjev pri termofilnem procesu izračunamo z enačbo:

$$A_t = 2 \cdot 2\pi r_t \cdot h_t = 2 \cdot 30 \text{ m} \cdot 3,14 \cdot 7,5 \text{ m} = 1413 \text{ m}^2 \quad (40)$$

r_t polmer digestorja

h_t višina digestorja

Po podatkih meteorološke postaje v Biljah je dolgoletna povprečna letna temperatura v CERO Nova Gorica 11,8 °C. Specifično toplotno kapaciteto brozge lahko zaradi razredčenosti privzamemo kar za vodo $c_p = 4186 \text{ J/kgK}$. Temperatura anaerobnega termofilnega procesa znaša 55 °C. Z enačbo 9 smo izračunali, da znaša dnevni masni tok brozge v digestorju 286.280 kg.

Stena digestorja je iz betona debeline 20 cm brez dodatne izolacije. Koeficient toplotne prestopnosti iz na notranji strani je 30 W/m²K in na zunanji strani 10 W/m²K. Toplotna prevodnost betona je 2 W/mK. Koeficient prehoda toplote z brozge na okolico izračunamo s pomočjo toplotnih upornosti:

$$U = \frac{1}{\sum R} = \left(\frac{1}{\alpha_n} + \frac{d_{beton}}{\lambda_{beton}} + \frac{1}{\alpha_z} \right)^{-1} = \left(\frac{1}{30 \text{ W/m}^2\text{K}} + \frac{0,2 \text{ m}}{2 \text{ W/mK}} + \frac{1}{10 \text{ W/m}^2\text{K}} \right)^{-1} = 4,3 \text{ W/m}^2\text{K} \quad (41)$$

Pri termofilnem procesu je potrebno v digestor dovajati toplotni tok zaradi ogrevanja substrata na temperaturni nivo termofilnega režima, ki poteka pri 55 °C, in zaradi toplotnih izgub skozi stene digestorja v okolico, kjer upoštevamo, da digestor, kot pri mezofilnem procesu, zaradi aktivnosti mikroorganizmov do 36 °C sam pokriva toplotne izgube:

$$\begin{aligned} \dot{Q}_{t1} &= \dot{m}_{in,t} \cdot c_p \cdot \Delta T + U \cdot A_t \cdot \Delta T = \frac{286.280 \text{ kg}}{24 \text{ h} \cdot 3600 \text{ s}} \cdot 4186 \text{ J/kgK} \cdot (55 \text{ °C} - 36 \text{ °C}) + \\ &4,3 \text{ W/m}^2\text{K} \cdot 1413 \text{ m}^2 \cdot (55 \text{ °C} - 36 \text{ °C}) = 263.530 \text{ W} + 115.422 \text{ W} = \\ &378.952 \text{ W} \approx 380 \text{ kW} \end{aligned} \quad (42)$$

Pri neprekinjenem delovanju je potrebno dovajati toplotni tok 24 ur na dan. Toplota, ki jo je potrebno dnevno dovesti digestorjema pri termofilnem režimu:

$$Q_{ogr,t1} = \dot{Q}_{t1} \cdot \frac{24\text{h}}{\text{dan}} = 380 \text{ kW} \cdot 24\text{h/dan} = 9120 \text{ kWh/dan} \quad (43)$$

V tabeli 10 je povzetek vse pridobljene in porabljene energije z mezofilnim in termofilnim režimom pridobivanja bioplina iz organskih odpadkov za pogoje CERO Nova Gorica.

Tabela 10: Proizvedena in porabljena energija pri pridobivanju bioplina iz organskih odpadkov za pogoje CERO Nova Gorica

	Proces	Mezofilni	Termofilni
	Enota	DEUTZ TCG 2020 V20	DEUTZ TCG 2020 V12
Število kogeneracijskih enot	kos	1	2
Dovedena energija	kWh / dan	42.000	50.400
Proizvedena toplotna energija	kWh / dan	17.934	21.672
Poraba toplotne energije	kWh / dan	-	9.120
Višek toplotne energije	kWh / dan	17.934	12.552
Skupna proizvedena energija	kWh / dan	35.154	42.336
Dnevna proizvodnja električne energije	kWh / dan	17.220	20.664
Letna proizvodnja električne energije	MWh / leto	6.285	7.542

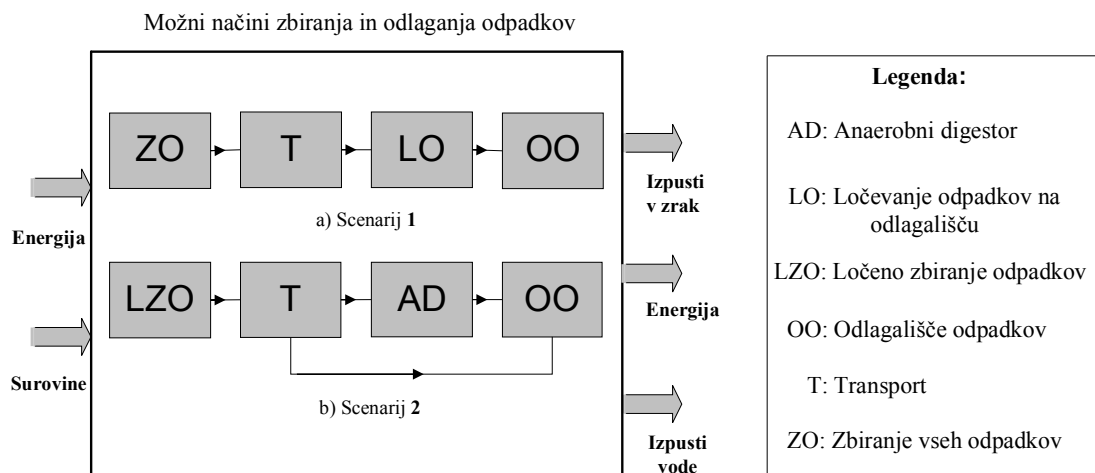
Izračunane vrednosti proizvedene energije v tabeli 10 kažejo, da je energijska bilanca termofilnega procesa boljša, saj proizvede 20 % več električne energije. Pri tem ostane sicer 30 % manj toplotne energije, kot pri mezofilnem procesu, vendar le ta na trgu dosega bistveno nižje ekonomske donose. Pri izbiri termofilnega procesa sta potrebna dva kogeneracijskega sistema Deutz TCG 2020 V12, kar poviša vrednost investicije. Energetske učinke obeh procesov bomo nadgradili z analizo ekoloških v naslednjem poglavju in ekonomskih učinkov v poglavju 6, na osnovi katerih bomo lahko podali relevantno celostno primerjavo obeh procesov.

5. EKOLOŠKI UČINKI

Upravljanje z odpadki postaja v svetu vse bolj pomembno zaradi dolgoročnega preživetja človeštva in vseh živih bitij. Globalno segrevanje je eden od perečih okoljskih problemov, ki je posledica civilizacijskega razvoja in zahteva takojšnjo ukrepanje in ustrezno dolgoročno strategijo ravnanja z okoljem. Eden od ključnih strateških dejavnikov so tudi odpadki. Pravilno ravnanje z odpadki lahko bistveno zmanjša obremenitev okolja s toplogrednimi plini. K temu nas poleg rastoče ekološke zavesti vodijo in narekujejo vse strožji predpisi Evropske unije (EU). Najpomembnejša dokumenta EU za to področje sta Direktiva o evropskih odlagališčih (sprejeta leta 1999) in Evropska direktiva zbiranja in sortiranja odpadkov (sprejeta leta 2004). V mnogih državah po svetu intenzivno vpeljujejo postopke za zmanjševanja porabe fosilnih goriv in povečevanje rabe obnovljivih virov energije, med katere lahko štejemo tudi organske komunalne odpadke.

Eden od postopkov, ki je postala standard na področju ravnanja z odpadki, je Metoda življenjskega cikla (Life Cycle Assessment - LCA). LCA analiza daje smernice pri izbiri pravilne oz. optimalne strategije ravnanja z odpadki. Postala je mednarodno sistemsko orodje pri analizah ravnanja z odpadki. Razvita je bila v devetdesetih letih prejšnjega stoletja, sčasoma pa dosegla tudi raven harmonizacije in standardizacije, kar je omogočilo njeno mednarodno uporabo (Consonni in drugi, 2007).

Pri analizi okoljske obremenitve v primeru smo izdelali dve različici zbiranja odpadkov na območju, ki ga servisira CERO Nova Gorica. Oba scenarija sta prikazana na sliki 24. Sežigalnica odpadkov v nobeni od različic ni predvidena, ker ni predvidena v nobenih dolgoročnih planih mestne občine Nova Gorica. Ekološke učinke predlaganega sistema za energetske izkoriščanje organskih odpadkov smo izdelali s stališča emisij toplogrednih plinov, ki imajo v povezavi s komunalnimi odpadki največji vpliv na okolje.



Slika 24: Možni načini zbiranja in odlaganja odpadkov

5.1 Emisije CO₂ pri proizvodnji električne energije

Električna energija, proizvedena z izkoriščanjem organskih odpadkov, pomeni zmanjšanje izpustov toplogrednih plinov v ozračje, saj bi se sicer proizvajala z viri, ki so danes v Sloveniji na razpolago. Pri proizvodnji ene kilovatne ure električne energije v Sloveniji nastane povprečno 0,446 kg izpustov ogljikovega dioksida v ozračje (Elektroinštitut, 2009).

5.1.1 Zmanjšanje emisij CO₂ v primeru mezofilnega procesa

V poglavju 4 smo ocenili, da bi z uvedbo mezofilnega procesa za pridobivanje bioplina iz organskih odpadkov na CERO Nova Gorica vsak dan proizvedli 17.220 kWh električne energije. Pri proizvodnji enake količine električne energije z obstoječo strukturo elektrarn v Sloveniji pride do emisije:

$$\dot{m}_{CO_2,m} = Q_{Em} \cdot 0,446 = 17.220 \text{ kWh} \cdot 0,446 \text{ kg CO}_2/\text{kWh}/\text{dan} = 7680 \text{ kg CO}_2/\text{dan} \quad (44)$$

V Sloveniji pri proizvodnji enake količine električne energije, kot je proizvede mezofilni proces, pride do emisije 7680 kg ogljikovega dioksida na dan, kar znese v enem letu 2803 ton ogljikovega dioksida.

5.1.2 Zmanjšanje emisij CO₂ v primeru termofilnega procesa

Z uvedbo termofilnega procesa za pridobivanje bioplina iz organskih odpadkov na CERO Nova Gorica bi vsak dan proizvedli 20.664 kWh električne energije. Pri proizvodnji enake količine električne energije z obstoječo strukturo elektrarn v Sloveniji pride do emisije:

$$\dot{m}_{CO_2,t} = Q_{Et} \cdot 0,446 = 20.664 \text{ kWh} \cdot 0,446 \text{ kg CO}_2/\text{kWh}/\text{dan} = 9216 \text{ kg CO}_2/\text{dan} \quad (45)$$

V Sloveniji pri proizvodnji enake količine električne energije, kot je proizvede termofilni proces, pride do emisije 9216 kg ogljikovega dioksida na dan, kar znese v enem letu 3364 ton ogljikovega dioksida.

5.1.3 Toplogredni potencial pri zdajšnjem načinu odlaganja odpadkov

V CERO Nova Gorica se deponijski plin zbira v plinovodu in sežiga na bakli. Meritve kažejo, da je v letu 2008 na bakli v eni uri povprečno zgorelo 165 m³ deponijskega plina. Povprečni delež metana v deponijskem plinu je $\eta_{CH_4} = 47,3$ vol%, preostali delež je skoraj v celoti ogljikov dioksid. Količina zgorelega bioplina na bakli v enem dnevu:

$$\dot{V}_{DP} = \dot{V}_{mer} \cdot t = 165 \text{ m}^3/\text{h} \cdot 24 \text{ h}/\text{dan} = 3960 \text{ m}^3/\text{dan} \quad (46)$$

Količina zgorelega metana na bakli v enem dnevu:

$$\dot{V}_{DP,CH_4} = \dot{V}_{DP} \cdot \eta_{CH_4} = 3960 \text{ m}^3/\text{dan} \cdot 0,473 = 1873,08 \text{ m}^3 \text{ CH}_4/\text{dan} \quad (47)$$

Gostota metana je $\rho_{CH_4} = 0,717 \text{ kg}/\text{m}^3$. Masa zgorelega metana v enem dnevu:

$$\dot{m}_{DP,CH_4} = \dot{V}_{DP,CH_4} \cdot \rho_{CH_4} = 1873,08 \text{ m}^3 \text{ CH}_4/\text{dan} \cdot 0,717 \text{ kg}/\text{m}^3 = 1343 \text{ kg CH}_4/\text{dan} \quad (48)$$

Metan pri popolnem zgorevanju na bakli tvori ogljikov dioksid in vodno paro. Stehiometrijska reakcija popolne oksidacije:



Molska masa (M_{CH_4}) metana je 16 g/mol, molska masa (M_{CO_2}) ogljikovega dioksida je 44 g/mol. S pomočjo enačbe 49 izračunamo razmerje molskih mas med metanom in ogljikovim dioksidom:

$$M(\text{CH}_4) / M(\text{CO}_2) = \frac{44 \text{ g/mol}}{16 \text{ g/mol}} = 2,75 \text{ kg}_{\text{CO}_2} / \text{kg}_{\text{CH}_4} \quad (50)$$

Pri zgorevanju 1 kg metana nastane 2,75 kg ogljikovega dioksida.

Dnevna količina nastalega ogljikovega dioksida na bakli:

$$\dot{m}_{\text{CO}_2(-\text{CH}_4)} = \dot{m}_{\text{DP,CH}_4} \cdot M_{\text{CH}_4} / M_{\text{CO}_2} = 1343 \text{ kg CH}_4 / \text{dan} \cdot 2,75 \text{ kg}_{\text{CO}_2} / \text{kg}_{\text{CH}_4} = 3693 \text{ kg CO}_2 / \text{dan} \quad (51)$$

Na bakli v CERO Nova Gorica znaša emisija ogljikovega dioksida zaradi zgorevanja metana v deponijskem plinu 3693 kg.

Ogljikov dioksid je inertni plin in pri zgorevanju deponijskega plina na bakli ne reagira. Povprečni delež ogljikovega dioksida v deponijskem plinu je $\eta_{\text{CO}_2} = 50$ vol%. Volumski tok ogljikovega dioksida skozi baklo:

$$\dot{V}_{\text{DP,CO}_2} = \dot{V}_{\text{DP}} \cdot \eta_{\text{CO}_2} = 3960 \text{ m}^3 / \text{dan} \cdot 0,5 = 1980 \text{ m}^3 \text{ CO}_2 / \text{dan} \quad (52)$$

Gostota ogljikovega dioksida je $\rho_{\text{CO}_2} = 1,96 \text{ kg/m}^3$. Masni tok ogljikovega dioksida skozi baklo:

$$\dot{m}_{\text{DP,CO}_2} = \dot{V}_{\text{DP,CO}_2} \cdot \rho_{\text{CO}_2} = 1980 \text{ m}^3 \text{ CO}_2 / \text{dan} \cdot 1,96 \text{ kg/m}^3 = 3881 \text{ kg CO}_2 / \text{dan} \quad (53)$$

Celotna emisija ogljikovega dioksida zaradi zgorevanja deponijskega plina na bakli:

$$\dot{m}_{\text{bakla,CO}_2} = \dot{m}_{\text{DP,CO}_2} + \dot{m}_{\text{CO}_2(-\text{CH}_4)} = 3881 \text{ kg CO}_2 / \text{dan} + 3693 \text{ kg CO}_2 / \text{dan} = 7574 \text{ kg CO}_2 / \text{dan} \quad (54)$$

V poglavju 3 smo ugotovili, da sistem za zbiranje deponijskega plina v CERO Nova Gorica ne zbere vsega nastalega plina in da ga del uide v atmosfero. Z enačbo 1 smo

izračunali, da v atmosfero prosto uhaja 58 m³/h deponijskega plina, kar znaša v enem dnevu:

$$\dot{V}_u = \dot{V}_{u,h} \cdot t = 58 \text{ m}^3/\text{h} \cdot 24 \text{ h/dan} = 1392 \text{ m}^3/\text{dan} \quad (55)$$

Volumski tok metana v prosto uhajajočem deponijskem plinu:

$$\dot{V}_{u,CH_4} = \dot{V}_u \cdot \eta_{CH_4} = 1392 \text{ m}^3/\text{dan} \cdot 0,473 = 658,42 \text{ m}^3 \text{ CH}_4/\text{dan} \quad (56)$$

Masni tok metana v prosto uhajajočem deponijskem plinu:

$$\dot{m}_{u,CH_4} = \dot{V}_{u,CH_4} \cdot \rho_{CH_4} = 658,42 \text{ m}^3 \text{ CH}_4/\text{dan} \cdot 0,717 \text{ kg/m}^3 = 472 \text{ kg CH}_4/\text{dan} \quad (57)$$

Volumski tok ogljikovega dioksida ($\eta_{CO_2} = 50 \%$) v prosto uhajajočem deponijskem plinu:

$$\dot{V}_{u,CO_2} = \dot{V}_u \cdot \eta_{CO_2} = 1392 \text{ m}^3/\text{dan} \cdot 0,5 = 696 \text{ m}^3 \text{ CO}_2/\text{dan} \quad (58)$$

Masni tok ogljikovega dioksida ($\rho_{CO_2} = 1,96 \text{ kg/m}^3$) v prosto uhajajočem deponijskem plinu:

$$\dot{m}_{u,CO_2} = \dot{V}_{u,CO_2} \cdot \rho_{CO_2} = 696 \text{ m}^3 \text{ CO}_2/\text{dan} \cdot 1,96 \text{ kg/m}^3 = 1364 \text{ kg CO}_2/\text{dan} \quad (59)$$

Toplogredni potencial (ang.: Global Warming Potential, GWP) je kvantitativna mera za povprečni globalni vpliv določenega toplogrednega plina i glede na referenčni toplogredni plin ogljikov dioksid. Toplogredni potencial zmesi toplogrednih plinov izračunamo s pomočjo enačbe (IPCC, 2001):

$$\dot{m}_{CO_2,eq} = \sum GWP_i \dot{m}_i \quad (60)$$

\dot{m}_i je masni tok toplogrednega plina i , ki v določenem času preide v ozračje, GWP_i je toplogredni potencial toplogrednega plina i , ki se z leti spreminja in je običajno definiran za obdobje 100 let. Toplogredni potencial je reduciran na toplogredni učinek ogljikovega dioksida na globalno segrevanje in je za druge toplogredne pline

izražen z večkratnikom toplogrednega potenciala ogljikovega dioksida: $GWP_{CO_2} = 1$, $GWP_{CH_4} = 21$. Enota za GWP je kg_{CO_2eq} oz. ekvivalentni kilogram ogljikovega dioksida.

Toplogredni potencial v CERO Nova Gorica pri zdajšnjem načinu odlaganja odpadkov je sestavljen iz toplogrednega potenciala ogljikovega dioksida pri zgorevanju bioplina v bakli in toplogrednega potenciala ogljikovega dioksida in metana v prosto uhajajočem deponijskem plinu:

$$\begin{aligned} \dot{m}_{CO_2,eq} &= GWP_{CO_2}(\dot{m}_{bakla,CO_2} + \dot{m}_{u,CO_2}) + GWP_{CH_4}\dot{m}_{u,CH_4} = \\ &1 \cdot (7574 \text{ kg}_{CO_2,eq}/\text{dan} + 1364 \text{ kg}_{CO_2,eq}/\text{dan}) + 21 \cdot 472 \text{ kg}_{CO_2,eq}/\text{dan} = \\ &18.850 \text{ kg}_{CO_2,eq}/\text{dan} \end{aligned} \quad (61)$$

V CERO Nova Gorica je pri zdajšnjem načinu odlaganja dnevna emisija toplogrednih plinov enaka 18.850 ekvivalentni kilogram ogljikovega dioksida, kar znese v enem letu toplogredni potencial 6880 ekvivalentnih ton ogljikovega dioksida.

5.2 Emisije CO₂ pri proizvodnji toplotne energije

Pri kogeneracijskih sistemih se poleg električne energije proizvaja toplotna energija, ki se pojavlja v motorjih z notranjim zgorevanjem in se prenaša na hladilno tekočino motorja. Toplotno energijo lahko preko prenosnikov toplote transportiramo na lokacijo, ki jo potrebuje za ogrevanje ali procesne potrebe. V nadaljevanju bomo ocenili zmanjšanje emisij za mezofilni in termofilni proces za primer, če bi s kogeneracijsko toploto nadomestili generacijo toplote s tipičnim kotlom na kurilno olje.

5.2.1 Zmanjšanje emisij CO₂ v primeru mezofilnega procesa

Iz tabele 10 je razvidno, da v primeru mezofilnega procesa kogeneracijski sistem generira 17.934 kWh toplotne energije na dan. Za proizvodnjo 1 kWh toplotne energije pri zgorevanju kurilnega olja nastane približno $\omega_l = 0,27$ kg ogljikovega dioksida. Z zamenjavo kurilnega olja z mezofilnim procesom pridobivanja bioplina

in njegove pretvorbe v toplotno energijo v kogeneracijskem sistemu se emisija CO₂ zmanjša za:

$$\dot{m}_{CO_2, Tm} = Q_{Tm} \cdot \omega_T = 17.934 \text{ kWh/dan} \cdot 0,27 \text{ kg CO}_2/\text{kWh} = 4842 \text{ kg CO}_2/\text{dan} \quad (62)$$

5.2.2 Zmanjšanje emisij CO₂ v primeru termofilnega procesa

V primeru termofilnega procesa kogeneracijski sistem generira 21.672 kWh toplotne energije na dan, vendar je potrebno ogrevati digestor na 55 °C, za kar mora biti na razpolago 9120 kWh/dan toplotne energije. Na razpolago ostane 12.552 kWh/dan. Z zamenjavo kurilnega olja s termofilnim procesom pridobivanja bioplina in njegove pretvorbe v toplotno energijo v kogeneracijskem sistemu se emisija CO₂ zmanjša za:

$$\dot{m}_{CO_2, Tt} = Q_{Tt} \cdot \omega_T = 12.552 \text{ kWh/dan} \cdot 0,27 \text{ kg CO}_2/\text{kWh} = 3389 \text{ kg CO}_2/\text{dan} \quad (63)$$

5.3 Emisije CO₂ zaradi ločenega odvoza organskih odpadkov

Pri uvedbi ločenega zbiranja organskih odpadkov bi bilo potrebno na področju zbiranja komunalnih odpadkov postaviti dodatne zabojnike za organske odpadke. To je smiselno predvsem v urbanih naseljih, redkeje pa v ruralnih področjih, kjer ljudje organske odpadke večinoma zbirajo v lastnih kompostnikih za pridobivanja gnojila. CERO Nova Gorica projekt zbiranja organskih odpadkov uvaja postopoma in je do sedaj postavljaj zabojnike za organske odpadke predvsem v urbanih središčih.

Na osnovi podatkov smo v poglavju 4 ocenili, da je na območju CERO Nova Gorica pričakovana generacija organskih odpadkov 22.022 kg/dan oz. 8038 t/leto, tabela 8. Ločeno zbiranje organskih odpadkov bi zahteval nakup dodatnih specialnih smetarskih tovornjakov. Vozni park podjetja Komunala Nova Gorica se posodablja z vozili IVECO Eurocargo. Za odvoz organskih odpadkov smo izbrali model z nosilnostjo $m_t = 7,5$ t in motorjem z močjo 130 kW, ki glede emisij izpolnjuje normo EURO 5 (Iveco, 2009).

Če predpostavimo, da bi bilo posamezno vozilo natovorjeno v povprečju $\mu = 80$ % nosilnosti, znaša potrebno število novih vozil:

$$N = \frac{\dot{m}_m}{\mu \cdot m_T} = \frac{22 \text{ t}}{0,8 \cdot 7,5 \text{ t}} = 3,67 \approx 4 \text{ tovornjake} \quad (64)$$

Za dnevni odvoz 22 t organskih odpadkov bi potrebovali štiri nove smetarske tovornjake. Po podatkih podjetja Komunala Nova Gorica primerljiv tovornjak za odvoz organskih odpadkov povprečno prevozi od 2800 do 3000 km mesečno in pri tem prepelje 35 do 40 ton organskih odpadkov (Rolih, 2008).

Izbrana tovorna vozila znamke Iveco z motorji tipa EURO 5 izpuščajo v zrak približno 1000 g ogljikovega dioksida na kilometer prevožene poti, $\dot{m}_{iz} = 1 \text{ kg/km}$ (Iveco, 2009). Dodatni štiri tovornjaki za odvoz organskih odpadkov med osemurnim delovnikom po izkustvenih podatkih prevozijo okrog $s = 150 \text{ km}$ pri tem izpustijo v atmosfero:

$$\dot{m}_{CO_2, tov} = N \cdot s \cdot \dot{m}_{iz} = 4 \cdot 150 \text{ km} \cdot 1 \text{ kg CO}_2/\text{km} = 600 \text{ kg CO}_2/\text{dan} \quad (65)$$

Štirje novi smetarski tovornjaki bi dnevno generirali emisijo 600 kg CO₂ oz. 219 t/leto.

V tabeli 11 je prikazana bilanca emisije toplogrednih plinov, reducirana na ekvivalentni kilogram ogljikovega dioksida, z mezofilnim in termofilnim režimom pridobivanja bioplina iz organskih odpadkov za pogoje CERO Nova Gorica.

Tabela 11: Bilanca emisije toplogrednih plinov v primeru prehoda na energetsko izkoriščanje organskih odpadkov za pogoje CERO Nova Gorica

Zamenjava aktualnega stanja v CERO Nova Gorica z ločenim zbiranjem odpadkov	kg _{CO2} / dan	- 18.850	
Uvedba energetskega izkoriščanja organskih odpadkov		Mezofilni proces	Termofilni proces
Proizvodnja električne energije	kg _{CO2} / dan	- 7.680	- 9.216
Proizvodnja toplotne energije	kg _{CO2} / dan	- 4.842	- 3.389
Emisija zaradi ločenega odvoza organskih odpadkov	kg _{CO2} / dan	+ 600	+ 600
Bilanca emisije CO ₂ novega sistema	kg _{CO2} / dan	- 30.772	- 30.855
Letna bilanca emisije CO₂	t_{CO2} / leto	- 11.250	

(-: zmanjšana emisija, +: povečana emisija)

Analiza ekoloških učinkov uvedbe ločenega zbiranja in energetskega izkoriščanja organskih odpadkov na področju CERO Nova Gorica je pokazala, da bi se ob popolni sanaciji zdajšnjega odlagališča dnevna emisija toplogrednih plinov zmanjšala za 30,8 ekvivalentnih ton ogljikovega dioksida. Iz tabele 11 je razvidno, da je iz ekološkega stališča nepomembno, ali bi se odločili za mezofilni ali termofilni proces. Na letni ravni bi se emisija toplogrednih plinov zmanjšala za 11.250.000 kg_{CO2e} ali 11.25 Mt_{CO2e}, kar predstavlja odločen prispevek k zmanjšanju globalnega segrevanja atmosfere.

6. EKONOMSKI UČINKI

Največji delež investicije v projekt ločenega zbiranja in energetskega izkoriščanja organskih odpadkov predstavlja izgradnja digestorja, nakup kogeneracijske naprave in izgradnjo infrastrukture (dovozne ceste, servisni objekti, oprema in izgradnja priključka na visokonapetostni daljnovod). Ločeno zbiranje odpadkov zahteva postavitev večjega števila organskih zabojsnikov. Za praznjenje povečanega števila zabojsnikov in odvoz organskih odpadkov je potreben nakup štirih novih tovornjakov, ki pa ne bi predstavljal dodatnega stroška, saj bi z novimi zamenjali stara vozila, ki so se amortizirala. Novi smetarski tovornjaki bodo imeli prekatni sistem polnjenja in bodo lahko istočasno pobirali več ločenih komunalnih frakcij. Amortizacijska doba smetarskih tovornjakov je ocenjena na sedem let.

Glavni vir prihodkov uvedbe ločenega zbiranja predstavljata prodaja električne in toplotne energije, predvidene za ogrevanje stanovanjskih prostorov. Projekt je smiseln, če bilanca vloženih sredstev in predvidenih prihodkov iz poslovanja prikaže dolgoročno upravičenost projekta. Država Slovenija spodbuja izgradnjo objektov za proizvodnjo električne energije iz obnovljivih virov energije (OVE) z:

- subvencijami/spodbudami,
- ugodnimi krediti Ekološko razvojnega sklada,
- fiksnimi cenami odkupa električne energije za naslednjih 15 let.

6.1 Prihodki

6.1.1 Prodaja električne energije

Za proizvodnjo in prodajo električne energije iz obnovljivih virov energije je potrebno zaprositi za soglasje ministrstvo, pristojno za energetiko. Pristojni minister prosilcem, ki izpolnjujejo pogoje, podeli status kvalificiranega proizvajalca električne energije. Pojem kvalificirane proizvodnje električne energije je uvedel energetske zakon z namenom povečanja obsega električne energije, ki se proizvaja na okolju prijazen način. Status kvalificiranega proizvajalca dodelijo v skladu z uredbo o pogojih za pridobitev statusa kvalificiranega proizvajalca električne energije, kjer so upoštevani obseg proizvodnje, vrsta energetskega vira in doseženi izkoristki

kvalificiranih elektrarn. Kvalificirani proizvajalec lahko električno energijo prodaja upravljalcu javnega distribucijskega omrežja po subvencionirani ceni. V primeru, da prodaja električno energijo neposredno končnim porabnikom ali trgovcem z električno energijo, ima kvalificirani proizvajalec pravico do premije na prodano električno energijo. Vlada republike Slovenija je leta 2008 postavila odkupno ceno za različne skupine kvalificiranih proizvajalcev električne energije za 15 letno obdobje (Uradni list, 2008). V tabeli 12 so navedene trenutne cene električne energije v skupini, kamor spadajo kvalificirane elektrarne ali toplotarne na komunalne odplake.

Tabela 12: Odkupne cene za kvalificirane proizvajalce električne energije v skupini komunalnih odpadkov (Uradni list, 2008)

Vrsta KE glede na vir primarne energije	Velikostni razred	Enotna letna cena (€/MWh)	Enotna letna premija (€/MWh)
KE ali toplotarne na komunalne odpadke	do vključno 1 MW	56,77	4,39
	nad 1 MW do 10 MW	52,89	0,51

Ne glede na izbiro mezofilnega ali termofilnega procesa predviden sistem za energetsko izkoriščanje organskih odpadkov spada v skupino večjih proizvajalcev, saj je inštalirana moč generatorja električne energije večja od 1 MW. Subvencionirana cena električne energije je v tem primeru $C_E = 52,89 \text{ €/MWh}$ brez DDV. Količina prodane električne energije v javno elektrodistribucijsko omrežje je zaradi lastne porabe anaerobnih digesterjev manjša od realizirane proizvodnje (poraba električne energije za mešala v digesterjih, črpalke, nadzorni sistem, razsvetljava,...). Analiza delujočih digesterjev v Češki republiki je pokazala, da sistemi na bioplin za svoje delovanje rabijo od štiri do osem odstotkov proizvedene električne energije (Kajan in drugi, 2008). Če ocenimo lastno rabo na šest odstotkov proizvedene električne energije, ostane za prodajo $\varepsilon_E = 94 \%$ proizvedene električne energije:

6.1.1.1 Mezofilni proces

Prihodki od prodaje $Q_{Em} = 6285$ MWh električne energije na leto (tabela 10) znašajo:

$$PR_{Em,l} = Q_{Em} \cdot \epsilon_E \cdot C_E = 6285 \text{ MWh/leto} \cdot 0,94 \cdot 52,89 \text{ €/MWh} = 312.469 \text{ €/leto} \quad (66)$$

6.1.1.2 Termofilni proces

Prihodki od prodaje $Q_{Et} = 7542$ MWh električne energije na leto (tabela 10) znašajo:

$$PR_{Et,l} = Q_{Et} \cdot \epsilon_E \cdot C_E = 7542 \text{ MWh/leto} \cdot 0,94 \cdot 52,89 \text{ €/MWh} = 374.963 \text{ €/leto} \quad (67)$$

6.1.2 Prodaja toplotne energije

Viški toplotne energije, ki se ustvarijo ob kogeneraciji, se lahko prodajo pogodbenim odjemalcem toplotne energije. Bioplinarna Motvarjevci prodaja tako ustvarjeno toplotno energijo po ceni $C_T = 55$ €/MWh (Motvarjevci, 2007).

6.1.2.1 Mezofilni proces

V procesu dnevno nastane $Q_{Tm} = 17.934$ kWh (tabela 10) oz. 6546 MWh/leto toplotne energije. Prihodki od letne prodaje toplotne energije:

$$PR_{Tm,l} = Q_{Tm} \cdot C_T = 6546 \text{ MWh/leto} \cdot 55 \text{ €/MWh} = 360.030 \text{ €/leto} \quad (68)$$

6.1.2.2 Termofilni proces

V procesu dnevno nastane $Q_{Tt} = 12.552$ kWh (tabela 10) oz. 4581 MWh/leto viška toplotne energije. Prihodki od letne prodaje toplotne energije:

$$PR_{Tt,l} = Q_{Tt} \cdot C_T = 4581 \text{ MWh/leto} \cdot 55 \text{ €/MWh} = 251.955 \text{ €/leto} \quad (69)$$

6.1.3 Prodaja presnovljene gošče kot organskega gnojila

V anaerobnem procesu fermentacije organskih odpadkov kot stranski produkt nastaja gošča, ki je dobro organsko gnojilo. Bioplinarna Motvarjevci (2007) v procesu

nastalo gnojilo prodaja na trgu po ceni $C_g = 1,5 \text{ €/t}$. Iz ene tone organskih odpadkov pridobimo $\gamma = 423 \text{ kg}$ gnojila (Ostrem, 2004).

Na CERO Nova Gorica letno odložijo 8038 t organskih odpadkov (tabela 8), iz katerih nastane:

$$\dot{m}_g = \dot{m}_m \cdot \gamma = 8038 \text{ t/leto} \cdot 0,423 = 3400 \text{ t/leto} \quad (70)$$

gnojila, za katerega dobijo na trgu:

$$PR_{g,l} = \dot{m}_g \cdot C_g = 3400 \text{ t/leto} \cdot 1,5 \text{ €/t} = 5100 \text{ €/leto} \quad (71)$$

S prodajo organskega gnojila v CERO Nova Gorica zaslužili 5100 € na leto.

6.2 Vrednost investicije

Največje vrednosti investicije predstavljajo izgradnja digestorja, spremljajočih objektov in nakup kogeneracijske naprave.

6.2.1 Izgradnja bioplinarne

Po podatkih upravljalca bioplinarne na farmi Nemščak (Durič, 2008) so znašali stroški izgradnje objekta $S_{kve} = 2500 \text{ €}$ na inštaliran kilovat električne energije, kar vključuje dokumentacijo, digestor, plinohram in vso infrastrukturo, vključno s priklopom na električno distribucijsko omrežje. Stroški ne vključujejo kogeneracijskega sistema.

6.2.1.1 Mezofilni proces

Stroški izgradnje kompletnega sistema za energetska izkoriščanje organskih odpadkov z mezofilnim procesom z električnim generatorjem s 1703 kW inštalirane moči (tabela 9), znašajo:

$$S_i = P_m \cdot S_{kve} = 1703 \text{ kW} \cdot 2500 \text{ €/kW} = 4.257.500 \text{ €} \quad (72)$$

6.2.1.2 Termofilni proces

Stroški izgradnje kompletnega sistema za energetska izkoriščanje organskih odpadkov s termofilnim procesom, z dvema električnima generatorjema s po 1021 kW inštalirane moči (tabela 9), znašajo:

$$S_{i_t} = 2 \cdot P_i \cdot S_{kve} = 2 \cdot 1021 \text{ kW} \cdot 2500 \text{ €/kW} = 5.105.000 \text{ €} \quad (73)$$

6.2.2 Nakup kogeneracijske naprave

6.2.2.1 Mezofilni proces

Po ponudbi proizvajalca predvidenega kogeneracijskega sistema Deutz TCG 2020 V20 znašajo stroški nakupa, postavitve in zagona sistema je $S_{kog,m} = 635.000 \text{ €}$.

6.2.2.2 Termofilni proces

Po ponudbi proizvajalca predvidena dva kogeneracijska sistema Deutz TCG 2020 V12 znašajo stroški nakupa, postavitve in zagona sistema $S_{kog,t} = 890.000 \text{ €}$.

6.2.3 Nakup zabojnikov za organske odpadke

Na območju šestih občin, ki jih pokriva CERO Nova Gorica, se nahaja 1321 kontejnerskih mest (Rolih, 2008). V tabeli 13 je prikazana podrobna porazdelitev kontejnerskih mest na območju CERO Nova Gorica.

Tabela 13: Porazdelitev kontejnerskih mest na območju CERO Nova Gorica.

Občina	Število mest
Brda	168
Kanal	152
Miren Kostanjevica	161
Nova Gorica	683
Renče-Vogrsko	55
Šempeter-Vrtojba	102

Večje število zabojnikov za organske odpadke je smiselno postaviti v urbanih naseljih, saj v odročnih in podeželskih krajih prebivalci organske odpadke v veliki meri sami predelajo, običajno v kompostnikih za pridobivanja gnojila. V tabeli 14 je prikazan predviden odstotek kontejnerskih mest v posamezni občini z novimi zabojniki za organske odpadke.

Tabela 14: Odstotek kontejnerskih mest z novimi zabojniki za organske odpadke

Občina	Predviden odstotek kontejnerskih mest z novimi zabojniki, (%)
Brda	30
Kanal	30
Miren Kostanjevica	40
Nova Gorica	80
Renče-Vogrsko	60
Šempeter-Vrtojba	80

Skupno število novih zabojnikov za organske odpadke na področju CERO Nova Gorica:

$$N = 0,3 \cdot 168 \text{ kos} + 0,3 \cdot 152 \text{ kos} + 0,4 \cdot 161 \text{ kos} + 0,8 \cdot 683 \text{ kos} + 0,6 \cdot 55 \text{ kos} + 0,8 \cdot 102 \text{ kos} = 721 \text{ kos} \quad (74)$$

Stroški nakupa 721 zabojnikov za organske odpadke s ceno za 120 l zabojnik $C_z = 20 \text{ €}$:

$$S_z = C_z \cdot N = 20 \text{ €/kos} \cdot 721 \text{ kos} = 14.420 \text{ €} \quad (75)$$

Stroški nakupa kontejnerjev za organske odpadke znašajo 14.420 €.

6.3 Subvencije države

Republika Slovenija s subvencioniranjem investicij in odkupa električne energije spodbuja gradnjo sistemov za izkoriščanje obnovljivih virov energije. Država v obliki nepovratnih sredstev podpira pripravo dokumentacije in študije izvedljivosti, pod določenimi pogoji tudi subvencionira investicije. V študiji izvedljivosti

proizvodnje bioplina Garvas in Butala (2005) navajata, da deleži subvencij države pri podobnih projektih dosegajo 40 % stroškov investicije.

6.3.1 Mezofilni proces

V kolikor bi država Slovenija projekt energetskega izkoriščanja organskih odpadkov v CERO Nova Gorica sofinancirala s $\varphi_{DR} = 40\%$ investicije, kar pri mezofilnem procesu znaša:

$$S_m = \varphi_{DR} \cdot (S_{i_m} + S_{kog,m} + S_z) = 0,4 \cdot (4.257.500 \text{ €} + 635.000 \text{ €} + 14.420 \text{ €}) = 1.962.768 \text{ €} \quad (76)$$

je višina nesubvencioniranega dela investicije enaka:

$$D_m = (S_{i_m} + S_{kog,m} + S_z) - S_m = 4.906.920 \text{ €} - 1.962.768 \text{ €} = 2.944.152 \text{ €} \quad (77)$$

Za sistem za energetske izkoriščanje organskih odpadkov z mezofilnim procesom bi ob 40 % državnem sofinanciranju investitor (CERO Nova Gorica) moral zagotoviti še 2.944.152 €.

6.3.2 Termofilni proces

V kolikor bi država Slovenija projekt energetskega izkoriščanja organskih odpadkov v CERO Nova Gorica sofinancirala s enakim deležem investicije kot pri mezofilnem procesu $\varphi_{DR} = 40\%$, bi višina subvencije pri termofilnem procesu znašala:

$$S_t = \varphi_{DR} \cdot (S_{i_t} + S_{kog,t} + S_z) = 0,4 \cdot (5.105.000 \text{ €} + 890.000 \text{ €} + 14.420 \text{ €}) = 2.403.768 \text{ €} \quad (78)$$

je višina nesubvencioniranega dela investicije enaka:

$$D_t = (S_{i_t} + S_{kog,t} + S_z) - S_t = 6.009.420 \text{ €} - 2.403.768 \text{ €} = 3.605.652 \text{ €} \quad (79)$$

Za sistem za energetske izkoriščanje organskih odpadkov s termofilnim procesom bi ob 40 % državnem sofinanciranju investitor (CERO Nova Gorica) moral zagotoviti še 3.605.652 €.

6.4 Stroški najema kredita

6.4.1 Višina anuitete pri najemu kredita - mezofilni proces

Pri odobritvi kredita EKO sklada s $p = 3,8\%$ letno obrestno mero (obrestovalni faktor $f = 1,038$) in 15 letno odplačilno dobo ($y = 15$ let) bi letna anuiteta ob uvedbi mezofilnega procesa znašala:

$$a_m = \frac{D_m \cdot f^y \cdot (f - 1)}{f^y - 1} = \frac{2.944.152 \text{ €} \cdot (1,038)^{15} \cdot (1,038 - 1)}{(1,038)^{15} - 1} = 261.110 \text{ €/leto} \quad (80)$$

D_m višina nesubvencioniranega dela investicije, višina kredita

Letna anuiteta kredita EKO sklada bi znašala 261.110 €.

6.4.1.1 Stroški obresti – mezofilni proces

Stroške obresti najetega kredita EKO sklada izračunamo s pomočjo formule 81. Višina obresti za leto 2010 znaša:

$$o_{2010,m} = D_m \cdot p = 2.944.152 \cdot 0,038 = 111.878 \text{ €/leto}_{2010} \quad (81)$$

D_m višina nesubvencioniranega dela investicije, višina kredita

p letna obrestna mera kredita EKO sklada

Razdolžnina za leto 2010 znaša:

$$Raz_{2010,m} = a_m - o_{2010,m} = 261.110 \text{ €/leto} - 111.878 \text{ €/leto}_{2010} = 149.233 \text{ €/leto}_{2010} \quad (82)$$

a_m višina anuitete na leto

o_m višina obresti na leto

Ostanek obveznosti kredita v letu 2010 znaša:

$$O_{2010,m} = D_m - Raz_{2010,m} = 2.944.152 \text{ €/leto} - 149.232 \text{ €/leto} = 2.794.919 \text{ €/leto}_{2010} \quad (83)$$

Raz_m ...višina razdolžnine na leto

Vse ostale vrednosti po letih do konca odplačila kredita analogno prikazuje tabela 15, kjer so podane obresti, razdolžnine in ostanki vrednosti.

Tabela 15: Amortizacija posojila ob uvedbi mezofilnega procesa

Leto	Anuiteta (€)	Obresti (€)	Razdolžnina (€)	Ostanek (€)
2009				2.944.152,00
2010	261.110,47	111.877,78	149.232,70	2.794.919,30
2011	261.110,47	106.206,93	154.903,54	2.640.015,76
2012	261.110,47	100.320,60	160.789,87	2.479.225,89
2013	261.110,47	94.210,58	166.899,89	2.312.326,00
2014	261.110,47	87.868,39	173.242,09	2.139.083,91
2015	261.110,47	81.285,19	179.825,29	1.959.258,63
2016	261.110,47	74.451,83	186.658,65	1.772.599,98
2017	261.110,47	67.358,80	193.751,67	1.578.848,31
2018	261.110,47	59.996,24	201.114,24	1.377.734,07
2019	261.110,47	52.353,89	208.756,58	1.168.977,49
2020	261.110,47	44.421,14	216.689,33	952.288,16
2021	261.110,47	36.186,95	224.923,52	727.364,63
2022	261.110,47	27.639,86	233.470,62	493.894,02
2023	261.110,47	18.767,97	242.342,50	251.551,52
2024	261.110,47	9.558,96	251.551,52	0,00
	3.916.657,11	972.505,11	2.944.152,00	

6.4.2 Višina anuitete pri najemu kredita - termofilni proces

Pri odobritvi kredita EKO sklada s $p = 3,8 \%$ letno obrestno mero (obrestovalni faktor $f = 1,038$) in 15 letno odplačilno dobo ($y = 15$ let) bi letna anuiteta ob uvedbi termofilnega procesa znašala:

$$a_t = \frac{D_t \cdot f^y \cdot (f-1)}{f^y - 1} = \frac{3.605.652 \text{ €} \cdot (1,038)^{15} \cdot (1,038 - 1)}{(1,038)^{15} - 1} = 319.777 \text{ €/leto} \quad (84)$$

D_t višina nesubvencioniranega dela investicije, višina kredita

Letna anuiteta kredita EKO sklada bi znašala 319.777 €.

6.4.2.1 Stroški obresti - termofilni proces

Stroške obresti najetega kredita EKO sklada izračunamo s pomočjo formule 85.

Višina obresti za leto 2010 znaša:

$$o_{2010,t} = D_t \cdot p = 3.605.652 \cdot 0,038 = 137.015 \text{ €/leto}_{2010} \quad (85)$$

D_t višina nesubvencioniranega dela investicije, višina kredita

p letna obrestna mera kredita EKO sklada

Razdolžnina za leto 2010 znaša:

$$Raz_{2010,t} = a_t - o_{2010,t} = 319.777 \text{ €/leto} - 137.015 \text{ €/leto}_{2010} = 182.763 \text{ €/leto}_{2010} \quad (86)$$

a_t višina anuitete na leto

o_t višina obresti na leto

Ostanek obveznosti kredita v letu 2010 znaša:

$$O_{2010,t} = D_t - Raz_{2010,t} = 3.605.652 \text{ €/leto} - 182.762 \text{ €/leto} = 3.422.889 \text{ €/leto}_{2010} \quad (87)$$

Raz_t ...višina razdolžnine na leto

Vse ostale vrednosti po letih do konca odplačila kredita analogno prikazuje tabela 16, kjer so podane obresti, razdolžnine in ostanki vrednosti.

Tabela 16: Amortizacija posojila ob uvedbi termofilnega projekta

Leto	Anuiteta (€)	Obresti (€)	Razdolžnina (€)	Ostank (€)
2009				3.605.652,00
2010	319.777,48	137.014,78	182.762,70	3.422.889,30
2011	319.777,48	130.069,79	189.707,68	3.233.181,61
2012	319.777,48	122.860,90	196.916,58	3.036.265,04
2013	319.777,48	115.378,07	204.399,41	2.831.865,63
2014	319.777,48	107.610,89	212.166,58	2.619.699,04
2015	319.777,48	99.548,56	220.228,91	2.399.470,13
2016	319.777,48	91.179,86	228.597,61	2.170.872,52
2017	319.777,48	82.493,16	237.284,32	1.933.588,19
2018	319.777,48	73.476,35	246.301,13	1.687.287,07
2019	319.777,48	64.116,91	255.660,57	1.431.626,50
2020	319.777,48	54.401,81	265.375,67	1.166.250,83
2021	319.777,48	44.317,53	275.459,95	890.790,88
2022	319.777,48	33.850,05	285.927,42	604.863,46
2023	319.777,48	22.984,81	296.792,67	308.070,79
2024	319.777,48	11.706,69	308.070,79	0,00
	4.796.662,17	1.191.010,17	3.605.652,00	

Pri izračunu vračilne dobe projekta upoštevamo vse prilive in odlive s stališča investitorja v življenjski dobi projekta.

6.5 Stroški amortizacije

6.5.1 Amortizacija digestorja - mezofilni proces

Življenjska doba elektrarn na bioplin znaša povprečno $Pp_{dig} = 30$ let (Nemac in drugi, 2007). Znesek letne amortizacije za predvideno življensko dobo digestorja ob uvedbi mezofilnega procesa in uvedbi linearne metode amortizacije znaša:

$$Am_{dig,m} = \frac{Si_m}{Pp_{dig}} = \frac{4.257.500 \text{ €}}{30 \text{ let}} = 141.917 \text{ €/leto} \quad (88)$$

Si_m vrednost investicije

6.5.2 Amortizacija kogeneracijskega sistema - mezofilni proces

Življenjska doba kogeneracijskih sistemov znaša povprečno $Pp_{kog} = 15$ let (Kalkum, 2004). Znesek letne amortizacije za predvideno življensko dobo kogeneracijskega sistema Deutz TCG 2020 V20 ob uvedbi mezofilnega procesa in uvedbi linearne metode amortizacije znaša:

$$Am_{kog,m} = \frac{Si_{kog,m}}{Pp_{kog}} = \frac{635.000 \text{ €}}{15 \text{ let}} = 42.333 \text{ €/leto} \quad (89)$$

$Si_{kog,m}$ vrednost investicije

6.5.3 Amortizacija digestorja - termofilni proces

Življenjska doba elektrarn na bioplin znaša povprečno $Pp_{dig} = 30$ let (Nemac in drugi, 2007). Znesek letne amortizacije za predvideno življensko dobo digestorja ob uvedbi termofilnega procesa in uvedbi linearne metode amortizacije znaša:

$$Am_{dig,t} = \frac{Si_t}{Pp_{dig}} = \frac{5.105.000 \text{ €}}{30 \text{ let}} = 170.167 \text{ €/leto} \quad (90)$$

Si_t vrednost investicije

6.5.4 Amortizacija kogeneracijskega sistema - termofilni proces

Življenjska doba kogeneracijskih sistemov znaša povprečno $Pp_{kog} = 15$ let (Kalkum, 2004). Znesek letne amortizacije za predvideno življensko dobo kogeneracijskega sistema Deutz TCG 2020 V12 ob uvedbi termofilnega procesa in uvedbi linearne metode amortizacije znaša:

$$Am_{kog,t} = \frac{Si_{kog,t}}{Pp_{kog}} = \frac{890.000 \text{ €}}{15 \text{ let}} = 59.333 \text{ €/leto} \quad (91)$$

$Si_{kog,t}$ vrednost investicije

Tabela 17: Struktura prilivov, odlivov pri uvedbi mezofilnega procesa

struktura	Ekonomska doba projekta												
	leta	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
		2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
A PRILIVI	1.962.768	677.599	677.599	677.599	677.599	677.599	677.599	677.599	677.599	677.599	677.599	677.599	677.599
1. PRIHODKI IZ POSLOVANJA	0	677.599	677.599	677.599	677.599	677.599	677.599	677.599	677.599	677.599	677.599	677.599	677.599
prodaja električne energije	0	312.469	312.469	312.469	312.469	312.469	312.469	312.469	312.469	312.469	312.469	312.469	312.469
prodaja toplotne energije	0	360.030	360.030	360.030	360.030	360.030	360.030	360.030	360.030	360.030	360.030	360.030	360.030
prodaja organskega gnojila	0	5.100	5.100	5.100	5.100	5.100	5.100	5.100	5.100	5.100	5.100	5.100	5.100
2. PRIHODKI FINANCIRANJA	1.962.768	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
subvencija države	1.962.768	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
B ODLIVI	4.906.920	557.238	551.567	545.681	539.571	533.229	526.646	519.812	512.719	505.357	497.714	489.782	
I. VREDNOST INVESTICIJE	4.906.920	261.110	261.110	261.110	261.110	261.110	261.110	261.110	261.110	261.110	261.110	261.110	
celoten energetski sistem	4.257.500	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
kogeneracijska naprava	635.000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
zabojniki	14.420	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
vračilo glavnice	0	149.233	154.904	160.790	166.900	173.242	179.825	186.659	193.752	201.114	208.757	216.689	
plačilo obresti	0	111.878	106.207	100.321	94.211	87.868	81.285	74.452	67.359	59.996	52.354	44.421	
II. ODHODKI (1+2)	0	296.128	290.457	284.571	278.461	272.118	265.535	258.702	251.609	244.246	236.604	228.671	
1. ODHODKI POSLOVANJA	0	184.250	184.250	184.250	184.250	184.250	184.250	184.250	184.250	184.250	184.250	184.250	
amortizacija sistema	0	141.917	141.917	141.917	141.917	141.917	141.917	141.917	141.917	141.917	141.917	141.917	
amortizacija kogeneracije	0	42.333	42.333	42.333	42.333	42.333	42.333	42.333	42.333	42.333	42.333	42.333	
2. ODHODKI FINANCIRANJA	0	111.878	106.207	100.321	94.211	87.868	81.285	74.452	67.359	59.996	52.354	44.421	
stroški obresti	0	111.878	106.207	100.321	94.211	87.868	81.285	74.452	67.359	59.996	52.354	44.421	
C BRUTO PRILIV	-2.944.152	381.471	387.142	393.028	399.138	405.481	412.064	418.897	425.990	433.353	440.995	448.928	
D DAVKI IZ DOBIČKA	0	76.294	77.428	78.606	79.828	81.096	82.413	83.779	85.198	86.671	88.199	89.786	
E NETO PRILIV (C - D)	-2.944.152	305.177	309.714	314.423	319.311	324.384	329.651	335.118	340.792	346.682	352.796	359.142	
F Kumulativni neto priliv	-2.944.152	-2.638.975	-2.329.261	-2.014.839	-1.695.528	-1.371.143	-1.041.492	-706.375	-365.582	-18.900	333.896	693.038	

Nadaljevanje tabele 17: Struktura prilivov, odlivov pri uvedbi mezofilnega procesa

struktura	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	SKUPAJ
leta	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	
A PRILIVI	677.599	677.599	677.599	677.599	677.599	677.599	677.599	677.599	677.599	677.599	16.192.347
1. PRIHODKI IZ POSLOVANJA	677.599	677.599	677.599	677.599	677.599	677.599	677.599	677.599	677.599	677.599	14.229.579
prodaja električne energije	312.469	312.469	312.469	312.469	312.469	312.469	312.469	312.469	312.469	312.469	6.561.849
prodaja toplotne energije	360.030	360.030	360.030	360.030	360.030	360.030	360.030	360.030	360.030	360.030	7.560.630
prodaja organskega gnojila	5.100	5.100	5.100	5.100	5.100	5.100	5.100	5.100	5.100	5.100	107.100
2. PRIHODKI FINANCIRANJA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.962.768
subvencija države	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.962.768
B ODLIVI	481.547	473.000	464.128	454.919	141.917	141.917	141.917	141.917	141.917	141.917	13.411.334
I. VREDNOST INVESTICIJE	261.110	261.110	261.110	261.110	0	0	0	0	0	0	8.823.577
celoten energetski sistem	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4.257.500
kogeneracijska naprava	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	635.000
zabojniki	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14.420
vračilo glavnice	224.924	233.471	242.343	251.552	0	0	0	0	0	0	2.944.152
plačilo obresti	36.187	27.640	18.768	9.559	0	0	0	0	0	0	
II. ODHODKI (1+2)	220.437	211.890	203.018	193.809	141.917	141.917	141.917	141.917	141.917	141.917	4.587.757
1. ODHODKI POSLOVANJA	184.250	184.250	184.250	184.250	141.917	141.917	141.917	141.917	141.917	141.917	3.615.252
amortizacija sistema	141.917	141.917	141.917	141.917	141.917	141.917	141.917	141.917	141.917	141.917	2.980.257
amortizacija kogeneracije	42.333	42.333	42.333	42.333	0	0	0	0	0	0	634.995
2. ODHODKI FINANCIRANJA	36.187	27.640	18.768	9.559	0	0	0	0	0	0	972.505
stroški obresti	36.187	27.640	18.768	9.559	0	0	0	0	0	0	972.505
C BRUTO PRILIV	457.162	465.709	474.581	483.790	535.682	535.682	535.682	535.682	535.682	535.682	6.697.670
D DAVKI IZ DOBIČKA	91.432	93.142	94.916	96.758	107.136	107.136	107.136	107.136	107.136	107.136	1.928.364
E NETO PRILIV (C - D)	365.730	372.567	379.665	387.032	428.546	428.546	428.546	428.546	428.546	428.546	4.769.306
F Kumulativni neto priliv	1.058.768	1.431.335	1.811.000	2.198.032	2.626.578	3.055.123	3.483.669	3.912.214	4.340.760	4.769.306	

Tabela 18: Struktura prilivov, odlivov pri uvedbi termofilnega procesa

struktura	Ekonomska doba projekta												
	leta	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	
A PRILIVI	2.403.768	632.018	632.018	632.018	632.018	632.018	632.018	632.018	632.018	632.018	632.018	632.018	632.018
1. PRIHODKI IZ POSLOVANJA	0	632.018	632.018	632.018	632.018	632.018	632.018	632.018	632.018	632.018	632.018	632.018	632.018
prodaja električne energije	0	374.963	374.963	374.963	374.963	374.963	374.963	374.963	374.963	374.963	374.963	374.963	374.963
prodaja toplotne energije	0	251.955	251.955	251.955	251.955	251.955	251.955	251.955	251.955	251.955	251.955	251.955	251.955
prodaja organskega gnojila	0	5.100	5.100	5.100	5.100	5.100	5.100	5.100	5.100	5.100	5.100	5.100	5.100
2. PRIHODKI FINANCIRANJA	2.403.768	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
subvencija države	2.403.768	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
B ODLIVI	6.009.420	686.292	679.347	672.138	664.656	656.888	648.826	640.457	631.771	622.754	613.394	603.679	
I. VREDNOST INVESTICIJE	6.009.420	319.777	319.777	319.777	319.777	319.777	319.777	319.777	319.777	319.777	319.777	319.777	
celoten energetski sistem	5.105.000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
kogeneracijska naprava	890.000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
zabojniki	14.420	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
vračilo glavnice	0	182.763	189.708	196.917	204.399	212.167	220.229	228.598	237.284	246.301	255.661	265.376	
plačilo obresti	0	137.015	130.070	122.861	115.378	107.611	99.549	91.180	82.493	73.476	64.117	54.402	
II. ODHODKI (1+2)	0	366.515	359.570	352.361	344.878	337.111	329.049	320.680	311.993	302.976	293.617	283.902	
1. ODHODKI POSLOVANJA	0	229.500	229.500	229.500	229.500	229.500	229.500	229.500	229.500	229.500	229.500	229.500	
amortizacija sistema	0	170.167	170.167	170.167	170.167	170.167	170.167	170.167	170.167	170.167	170.167	170.167	
amortizacija kogeneracije	0	59.333	59.333	59.333	59.333	59.333	59.333	59.333	59.333	59.333	59.333	59.333	
2. ODHODKI FINANCIRANJA	0	137.015	130.070	122.861	115.378	107.611	99.549	91.180	82.493	73.476	64.117	54.402	
stroški obresti	0	137.015	130.070	122.861	115.378	107.611	99.549	91.180	82.493	73.476	64.117	54.402	
C BRUTO PRILIV	-3.605.652	265.503	272.448	279.657	287.140	294.907	302.969	311.338	320.025	329.042	338.401	348.116	
D DAVKI IZ DOBIČKA	0	53.101	54.490	55.931	57.428	58.981	60.594	62.268	64.005	65.808	67.680	69.623	
E NETO PRILIV (C - D)	-3.605.652	212.403	217.959	223.726	229.712	235.926	242.376	249.071	256.020	263.233	270.721	278.493	
F Kumulativni neto priliv	-3.605.652	-3.393.249	-3.175.291	-2.951.565	-2.721.853	-2.485.928	-2.243.552	-1.994.481	-1.738.462	-1.475.228	-1.204.507	-926.014	

Nadaljevanje tabele 18: Struktura prilivov, odlivov pri uvedbi termofilnega procesa

struktura	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	SKUPAJ
leta	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	
A PRILIVI	632.018	632.018	632.018	632.018	632.018	632.018	632.018	632.018	632.018	632.018	15.676.146
1. PRIHODKI IZ POSLOVANJA	632.018	632.018	632.018	632.018	632.018	632.018	632.018	632.018	632.018	632.018	13.272.378
prodaja električne energije	374.963	374.963	374.963	374.963	374.963	374.963	374.963	374.963	374.963	374.963	7.874.223
prodaja toplotne energije	251.955	251.955	251.955	251.955	251.955	251.955	251.955	251.955	251.955	251.955	5.291.055
prodaja organskega gnojila	5.100	5.100	5.100	5.100	5.100	5.100	5.100	5.100	5.100	5.100	107.100
2. PRIHODKI FINANCIRANJA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.403.768
subvencija države	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.403.768
B ODLIVI	593.595	583.128	572.262	560.984	170.167	170.167	170.167	170.167	170.167	170.167	11.997.092
I. VREDNOST INVESTICIJE	319.777	319.777	319.777	319.777	0	0	0	0	0	0	10.806.082
celoten energetski sistem	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5.105.000
kogeneracijska naprava	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	890.000
zabojniki	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14.420
vračilo glavnice	275.460	285.927	296.793	308.071	0	0	0	0	0	0	3.605.652
plačilo obresti	44.318	33.850	22.985	11.707	0	0	0	0	0	0	
II. ODHODKI (1+2)	273.818	263.350	252.485	241.207	170.167	170.167	170.167	170.167	170.167	170.167	1.191.010
1. ODHODKI POSLOVANJA	229.500	229.500	229.500	229.500	170.167	170.167	170.167	170.167	170.167	170.167	4.463.502
amortizacija sistema	170.167	170.167	170.167	170.167	170.167	170.167	170.167	170.167	170.167	170.167	3.573.507
amortizacija kogeneracije	59.333	59.333	59.333	59.333	0	0	0	0	0	0	889.995
2. ODHODKI FINANCIRANJA	44.318	33.850	22.985	11.707	0	0	0	0	0	0	1.191.010
stroški obresti	44.318	33.850	22.985	11.707	0	0	0	0	0	0	1.191.010
C BRUTO PRILIV	358.200	368.668	379.533	390.811	461.851	461.851	461.851	461.851	461.851	461.851	4.012.214
D DAVKI IZ DOBIČKA	71.640	73.734	75.907	78.162	92.370	92.370	92.370	92.370	92.370	92.370	1.523.573
E NETO PRILIV (C - D)	286.560	294.934	303.627	312.649	369.481	369.481	369.481	369.481	369.481	369.481	2.488.641
F Kumulativni neto priliv	-639.454	-344.520	-40.893	271.756	641.237	1.010.717	1.380.198	1.749.679	2.119.160	2.488.641	

6.6 Vračilna doba projekta

Izračun ekonomskega učinka obeh investicij temelji na naslednjih predpostavkah: (i) sistem za energetske izkoriščanje organskih odpadkov bo začel delovati leta 2010, (ii) država bo sofinancirala investicijo v višini 40 % zneska projekta, (iii) letna obrestna mera kredita EKO sklada je 3,8 % s 15 letno odplačilno dobo, in (iv) Komunala Nova Gorica bo lastni delež financirala v celoti s kreditom EKO sklada.

V tabeli 19 so prikazani glavni ekonomski parametri v projektu energetskega izkoriščanja organskih odpadkov za primer mezofilnega in termofilnega procesa ter izračun vračilne dobe investicije v obeh primerih.

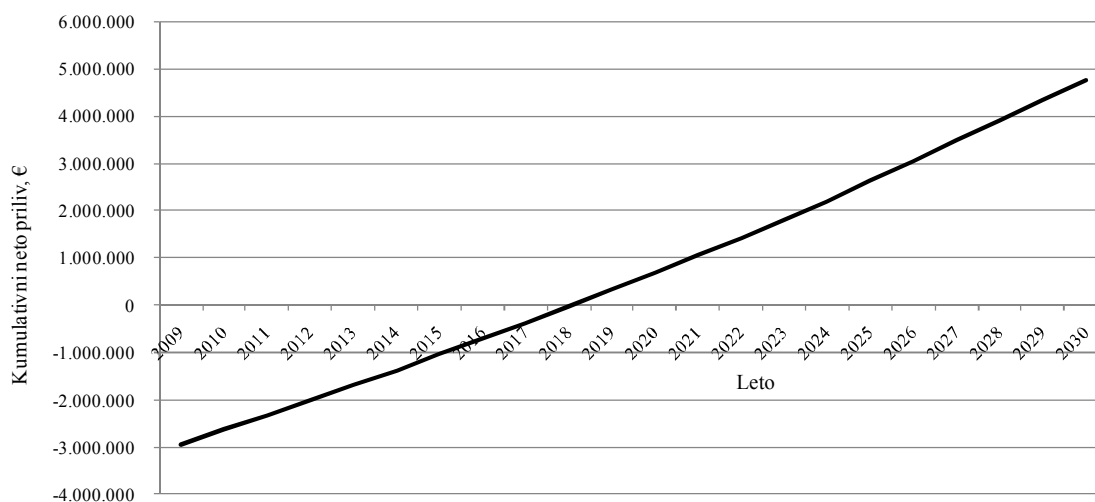
Tabela 19: Pomembnejši ekonomski parametri v projektu energetskega izkoriščanja organskih odpadkov

	Mezofilni proces	Termofilni proces
1. PRIHODKI		
A. prodaja električne energije, €/leto	312.469	374.963
B. prodaja toplotne energije, €/leto	360.030	251.955
C. prodaja organskega gnojila, €/leto	5.100	5.100
DONOSI OD PRODAJE SKUPAJ (A+B+C), €/leto	677.599	632.018
subvencija države, €/leto	1.962.768	2.403.768
2. ODHODKI		
A. vrednost investicije, €	4.906.920	6.009.420
B. višina najetega kredita (glavnica), €	2.944.152	3.605.652
C. obresti od najetega kredita (skupaj), €	972.505	1.191.010
letna anuiteta kredita, €/leto (15 let, EOM = 3,8 %)	261.110	319.777
VLAGANJE SKUPAJ (A+B+C), €	8.823.577	10.806.082
DOBA VRAČILA PROJEKTA	9 let	14 let

Ekonomska analiza je pokazala, da je vračilna doba projekta energetskega izkoriščanja organskih odpadkov v primeru mezofilnega procesa 9 let, v primeru termofilnega procesa pa 14 let.

6.6.1 Doba vračanja projekta - mezofilni proces

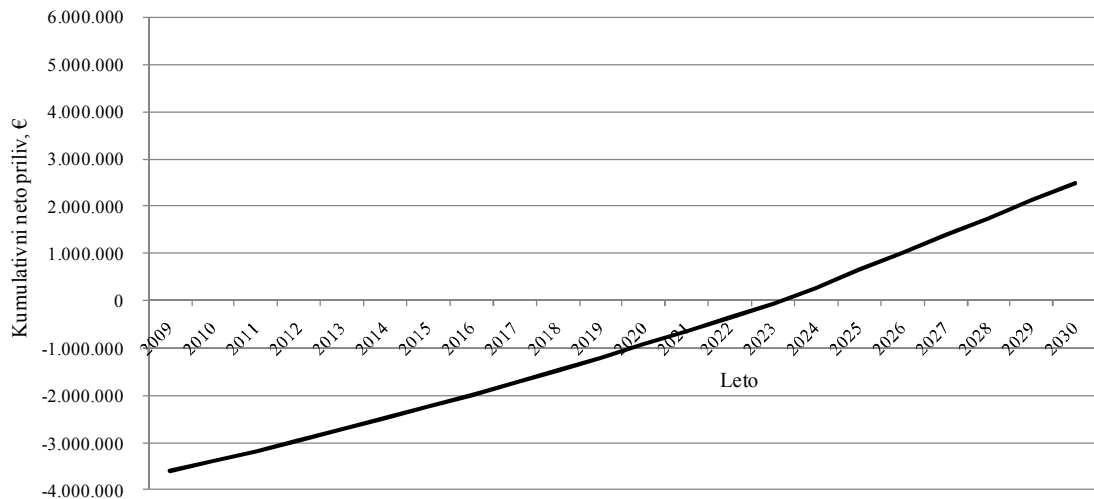
Metoda dobe vračila projekta daje oceno njegove ekonomske učinkovitosti. Slika 25 prikazuje denarni tok projekta energetskega izkoriščanja organskih odpadkov z mezofilnim procesom v € po posameznih letih projekta. Točka preloma je v letu 2019. Po 15. letu, ko je investicijski kredit poplačan, znaša presežek prilivov nad odlivi že 428.546 €. Do leta 2030, torej v 20 letih od začetka projekta, bi investitorju Komunala Nova Gorica, prinesel 4,8 milijona € čistega dobička.



Slika 25: Doba vračila projekta - mezofilni proces

6.6.2 Doba vračanja projekta - termofilni proces

Slika 26 prikazuje denarni tok projekta energetskega izkoriščanja organskih odpadkov s termofilnim procesom v € po posameznih letih projekta. Točka preloma je v letu 2024, kar sovpade eno leto pred poplačilom investicijskega kredita. Po 15. letu, ko je investicijski kredit poplačan, znaša presežek prilivov nad odlivi že 369.481 €. Do leta 2030, torej v 20 letih od začetka projekta, bi investitorju Komunala Nova Gorica, prinesel 2,5 milijona € čistega dobička. Pričakovana življenjska doba komponent sistema za energetskega izkoriščanja organskih odpadkov z mezofilnim ali termofilnim procesom je najmanj 30 let.



Slika 26: Doba vračila projekta - termofilni proces

Primerjava obeh procesov v sistemu za energetska izkoriščanje organskih odpadkov pokaže, da je iz ekonomskega stališča investicija v sistem z mezofilnim procesom ugodnejša, kot investicija v termofilni proces. Termofilni proces proizvede več električne energije, vendar manj toplotne energije, ker je del rabi za vzdrževanje temperaturnega nivoja v digestorju. Do občutne razlike pri ocenjevanju ekonomskih učinkov obeh procesov pride predvsem zaradi višje začetne investicije v primeru termofilnega procesa in zaradi nesorazmerne cene na trgu pri prodaji električne in toplotne energije, ki sta v primeru bioplina kot obnovljivega vira energije skoraj enaki.

7. ZAKLJUČKI

Zakonske določbe in strateške usmeritve o zmanjševanju odložene mase komunalnih odpadkov na deponijah nalagajo upraviteljem deponij iskanje rešitev za boljše upravljanje z odpadki. V diplomskem delu smo analizirali in celostno ovrednotili razvojne učinke uvedbe ločenega zbiranja in energetskega izkoriščanja organskih odpadkov na področju šestih občin goriške regije, ki jih servisira CERO Nova Gorica.

Produkti ločenega zbiranja in energetskega izkoriščanja organskih odpadkov so električna in toplotna energija za prodajo na trgu, ter organsko gnojilo, ki je primerno za nadaljnjo rabo v kmetijstvu. Osnovni komponenti sistema za energetsko izkoriščanje organskih odpadkov sta digestor, kjer lahko pridobivanje bioplina poteka z mezofilnim ali termofilnim procesom, in kogeneracijska enota za proizvodnjo električne in toplotne energije. Pri oceni energetskih, ekoloških in ekonomskih učinkov smo primerjali varianti z mezofilnim ali termofilnim procesom. V primeru mezofilnega procesa je letna proizvodnja električne in toplotne energije skupaj največja in znaša 12,8 GWh, emisija toplogrednih plinov se zmanjša za 11.250 t_{CO2} / leto, vračilna doba investicije je 9 let, investitor bi v 20 letih zaslužil 4,8 mio €. V primeru termofilnega procesa je letna proizvodnja električne energije večja za 20 %, vendar je zaradi lastne porabe toplote za ogrevanje digestorja skupna proizvodnja energije za prodajo manjša in znaša 12,1 GWh. Emisija toplogrednih plinov se zmanjša približno enako, vračilna doba investicije je 14 let, investitor bi v 20 letih zaslužil 2,5 mio €. Razloga za občutno slabše ekonomske kazalce sistema s termofilnim procesom sta višja investicija in prenizke subvencije za električno energijo iz bioplina, saj na trgu dosega toplotna energija celo višjo ceno kot električna, kar s stališča proizvodnih stroškov in vsebnosti eksergije ni smiselno. Ko bo prišlo do racionalnega razmerja pri cenah posameznih energij, bo termofilni proces tudi z ekonomskega stališča popolnoma konkurenčen mezofilnemu. Ne glede na vrsto procesa v digestorju pa rezultati kažejo, da so razvojni učinki energetskega izkoriščanja odpadkov pozitivni po vseh kriterijih, zato upamo, da bo pričujoče diplomsko delo pripomoglo k realizaciji projektov z organskimi odpadki na CERO Nova Gorica.

8. LITERATURA

Agricultural Structures - Biogas Plant (2008). Pridobljeno 22.12.2008 s svetovnega spleta:

<http://www.pcarrrd.dost.gov.ph/cin/agmachin/pdf%20files%20agmachin/PAES%20413.pdf>.

Arhimedia (2009). Pridobljeno 26.04.2009 s svetovnega spleta:

<http://www.arhimedia.eu/default.asp?FolderId=156>.

Arso (2008a). Kazalci okolja v republiki Sloveniji. Pridobljeno 01.09.2008 s svetovnega spleta: <http://kazalci.arso.gov.si/kazalci>.

Arso (2008b). Povprečna višina padavin po posameznih mesecih.

Pridobljeno 01.09.2008 s svetovnega spleta:

<http://www.arso.gov.si/vreme/napovedi%20in%20podatki/bilje.html>.

Arso (2008c). Povprečna višina padavin po posameznih mesecih.

Pridobljeno 01.09.2008 s svetovnega spleta:

http://www.stat.si/pxweb/Database/Okolje/01_ozemlje_podnebje/10_01561_podnebni_kazalniki/10_01561_podnebni_kazalniki.asp.

Banar, M., Cokaygil, Z., Ozkan, A. (2007). Life cycle assessment of solid waste management for Eskisehir. Eskisehir: Faculty of Engineering and Architecture.

Bioplinarna Logarovci (2008). Pridobljeno 01.09.2008 s svetovnega spleta:

<http://www.kis.si/pls/kis/kis.web?m=170&j=SI>.

Biotera (2008). Pridobljeno 02.11.2008 s svetovnega spleta:

http://www.biotera.si/opis_odvozov.html.

Burke, D. A. (2001). Dairy Waste Anaerobic digestion Handbook. Olympia: Environmental Energy Company.

CERO Nova Gorica (2008). Pridobljeno 05.09.2008 s svetovnega spleta:

[http://www.komunala-ng.si/mma_bin.php/\\$fld/2007031309270017/\\$fName/CENTER+ZA+RAVNANJE+Z+ODPADKI+NOVA+GORIC1.pdf](http://www.komunala-ng.si/mma_bin.php/$fld/2007031309270017/$fName/CENTER+ZA+RAVNANJE+Z+ODPADKI+NOVA+GORIC1.pdf).

Consonni, S., Giugliano, M., Grosso, M. (2004). Alternative strategies for energy recovery from municipal solid waste Part B. Milano: Department of Energy Engineering.

Davidsson, A., Gruvberger, C., Christensen, T., Hansen, T., Jansen, J. (2006), Methane yield in source-sorted organic fraction of municipal solid waste. Oxford: Elsevier Science.

Deutz (2008a). Pridobljeno 01.09.2008 s svetovnega spleta:

<http://www.power-technology.com/contractors/cogeneration/deutz2/deutz24.html>.

Deutz (2008b). Pridobljeno 01.09.2008 s svetovnega spleta:

<http://www.deutzpowersystems.com>.

- Deutz** (2009). Pridobljeno 18.06.2009 s svetovnega spleta:
<http://www.mwm.net/modules/wfdownloads/viewcat.php?cid=7&phpMyAdmin=6c1494f8e44206fbd042b9d03b5d12c5>.
- Durič** (2008). Osebna korespondenca z upraviteljem bioplinarne, obisk bioplinarne na farmi Nemščak, 22.11.2008.
- Elektroinštitut Milan Vidmar** (2009). Pridobljeno 05.09.2008 s svetovnega spleta:
<http://www.eimv.si/index.html>.
- Energetika** (2008). Pridobljeno 22.12.2008 s svetovnega spleta:
<http://www.energetika.net>.
- Energetska** izraba bioplina (2008). Ministrstvo za prostor, okolje in energijo. Pridobljeno 29.10.2008 s svetovnega spleta:
<http://www.aure.si/dokumenti/Izraba%20bioplina.pdf>.
- European** emission standards. Pridobljeno 18.01.2009 s svetovnega spleta:
http://en.wikipedia.org/wiki/European_emission_standards#Emission_standards_for_loorries_and_buses.
- Forster, T., Pérez, M., Romero, L. I.** (2007). Thermophilic anaerobic digestion of source-sorted organic fraction of municipal solid waste. Cádiz: Faculty of Sea Sciences and Environmental Sciences.
- Gačša, R.** (1999). Varstvo okolja v Sloveniji. Ljubljana: Zavod za tehnično izobraževanje.
- Garvas, J., Butala, V.** (2005). Viri in tehnologije za pridobivanje zelene električne energije. Ljubljana: Fakulteta za strojništvo.
- GasSim2** (2008). Računalniški program za izračun emisij toplogrednih plinov iz deponij odpadkov. Pridobljeno 28.10.2008 s svetovnega spleta:
<http://www.gassim.co.uk/download.htm>.
- Green living** (2008). Pridobljeno 01.09.2008 s svetovnega spleta:
<http://greenliving.about.com/od/gardenlandscaping/tp/Composting-Myths.htm>.
- Grelci** (2008). Ogrevanje digestorjev. Pridobljeno 01.09.2008 s svetovnega spleta:
http://ib-franke.de/joomla/index.php?option=com_content&task=view&id=84&Itemid=88888974.
- Hartmann, H.** (2002). Anaerobic digestion of the organic fraction of municipal solid waste with recirculation of process water. Lyngby: Technical University of Denmark.
- IPCC** (2001). Intergovernmental Panel on Climate Change. Pridobljeno 22.06.2009 svetovnega spleta: <http://www.ipcc.ch/>.
- Iveco** (2009). Tovorna vozila Iveco. Pridobljeno 18.01.2009 s svetovnega spleta:
http://www.iveco.com/IVECO_MM/uploads/PB_TMPL_PRODUCTS/1073752170/20061005/IVECO_MM009/ML75E18.pdf.
- Jenbacher** (2009). Pridobljeno 18.06.2009 s svetovnega spleta:
http://www.gepower.com/prod_serv/products/recip_engines/en/index.htm.

Jurca, N., Šircel, I. (2004). Lokacijski načrt za center za ravnanje z odpadki Nova Gorica. Nova Gorica: Mestna občina Nova Gorica.

Kajan, M., Štindl, P., Procházka, J. (2008). Experiences with anaerobic digestion in the Czech Republic. Pridobljeno 01.10.2008 s svetovnega spleta: http://www.compostnetwork.info/ad-workshop/presentations/pdf-berichte/25_kajan_text_version.pdf.

Kalkum, B. (2004). Market Potential for District Heating Projects in the Ukraine and their Modernization with Austrian Technology. Vienna: Scientific Engineering Centre "Biomass".

Komunala (2005). Odlagališče nenevarnih odpadkov Stara Gora, Izvlečki iz programov in načrtov okolje varstvenega dovoljenja za obratovanje odlagališča.

Komunala (2008a). Predstavitev podjetja Komunala Nova Gorica. Pridobljeno 24.07.2008 s svetovnega spleta: <http://www.komunala-ng.si/podjetje/predstavitev/>.

Komunala (2008b). Predstavitev podjetja Komunala Nova Gorica. Pridobljeno 24.07.2008 s svetovnega spleta: http://www.komunala-ng.si/dejavnosti/ravnanje_z_odpadki/obdelava_odlaganje/.

Komunala (2008c). Predstavitev podjetja Komunala Nova Gorica. Pridobljeno 01.09.2008 s svetovnega spleta: [http://www.komunala-ng.si/mma_bin.php/\\$fid/2008021114325845/\\$fName/Predstavitev+cistilna+za+internetno+stran+1+brez+IP.pdf](http://www.komunala-ng.si/mma_bin.php/$fid/2008021114325845/$fName/Predstavitev+cistilna+za+internetno+stran+1+brez+IP.pdf).

Komunala (2008d). Predstavitev podjetja Komunala Nova Gorica. Pridobljeno 01.09.2008 s svetovnega spleta: http://www.komunala-ng.si/dejavnosti/ravnanje_z_odpadki/zbiranje_prevoz/.

Krzystek, L., Ledakowicz, S., Kahle, H., Kaczorek, K. (2001). Degradation of household biowaste in reactors. Amsterdam: Elsevier.

Lanting, J., Murphy, J. (2002). Anaerobic digestion apparatus, methods for anaerobic digestion and for minimizing the use of inhibitory polymers in digestion. Broadway: Biothane corporation.

Medved, S., Novak, P. (2000). Varstvo okolja in obnovljivi viri energije. Ljubljana: Fakulteta za strojništvo Univerze v Ljubljani.

Man (2009). Pridobljeno 18.06.2009 s svetovnega spleta: http://www.man-engines.com/en/Industrial_engines/Stationary_engines/Stationary_engines.jsp.

Mestni svet (2002). Program priprave spremembe ureditvenega načrta za centralno odlagalčišče odpadkov, Pridobljeno 17.10.2008 s svetovnega spleta: http://ads3.arctur.si/nova-gorica-gids/mma_bin_public.php?id=4674.

Metan (2008). Pridobljeno 22.08.2008 s svetovnega spleta: <http://sl.wikipedia.org/wiki/Metan>.

Mop (2008a). Zbrane količine komunalnih odpadkov v RS. Pridobljeno 01.09.2008 s svetovnega spleta: <http://www.mop.gov.si/fileadmin/mop.gov.si>.

- Mop** (2008b). Opis regijskega koncepta ravnanja z odpadki. Pridobljeno 01.09.2008 s svetovnega spleta:
<http://www.mop.gov.si/si/splosno/cns/novica/article/1994/6267/?cHash=f4302aa575>.
- Motvarjevci** (2007). Bioplin, tehnologija in okolje. Murska Sobota: Mednarodni simpozij.
- Mtu** (2009). Pridobljeno 18.06.2009 s svetovnega spleta:
<http://www.mtuonsiteenergy.com/>.
- Nemac, F., Jan, A., Vertin, K., Lambergar, N., Grmek, M., Andrejaši, T.** (2007). Pregled tehnologij in stroškov proizvodnje električne energije iz OVE ter ocena potrebnih stroškov spodbujanja. Ljubljana: ApE Agencija za prestrukturiranje energetike.
- Nova cesta** (2008). Pridobljeno 16.10.2008 s svetovnega spleta:
<http://www.roznadolina-ng.si/util/bin.php?id=2008082608143611>.
- Odlagališče** nenevarnih odpadkov (2005). Izvečki iz programov in načrtov okoljevarstvenega dovoljenja za obratovanje odlagališča. Nova Gorica: Mestni svet mestne občine Nova Gorica.
- Operativni** program odstranjevanja odpadkov (2008). Pridobljeno 25.08.2008 s svetovnega spleta:
http://www.mop.gov.si/fileadmin/mop.gov.si/pageuploads/podrocja/evropa/pdf/op_odstranjevanje_odpadkov_biorazgradljivi.pdf.
- Ostrem, K.** (2004). Greening waste: Anaerobic digestion for treating the organic fraction of municipal solid wastes. New York: Columbia University.
- Piccinini, S.** (2008). State of the art of biogas in Italy. Reggio Emilia: Research Centre on Animal Production.
- Reverzna** osmoza (2008). Citirano 13.10.2008 s svetovnega spleta:
http://www.awt.si/tehnologija.php?target=reverzna_ozmoza.
- Rolih, D.** (2008). Gradivo upravitelja CERO Nova Gorica. Pridobljeno v decembru 2008.
- Snaga** (2008). Zbiranje bioloških odpadkov v mestni občini Ljubljana. Pridobljeno 01.09.2008 s svetovnega spleta: <http://www.jh-lj.si/snaga/locevanje/bio>.
- Stat** (2008a). Podatki o odpadkih, zbranih z javnim prevozom. Pridobljeno 01.09.2008 s svetovnega spleta:
http://www.stat.si/pxweb/Database/Okolje/27_okolje/02_Odpadki/01_27061_odvoz_odpadkov/01_27061_odvoz_odpadkov.asp.
- Swine** manure management methods (1997). Humboldt: Prairie agricultural machinery institute.
- Uradni list** (1996). Uredba o emisiji snovi in toplote pri odvajanju odpadnih voda iz virov onesnaževanja. Uradni list, št. 35 (1996).
- Uradni list** (2000). Uredba o emisiji snovi pri odvajanju izcedne vode iz odlagališč odpadkov. Uradni list RS, št. 7 (2000).

Uradni list (2006). Obseg obratovalnega monitoringa za odlagališče odpadkov. Uradni list RS, št. 32-01311 (2006).

Uradni list (2007). Sestava komunalnih odpadkov. Uradni list RS, št. 98 (2007).

Uradni list (2008). Sklep o cenah in premijah za odkup električne energije od kvalificiranih proizvajalcev električne energije. Uradni list RS, št. 65 (2008).

Toplogredni plini (2008). Citirano 17.10.2008 s svetovnega spleta: http://sl.wikipedia.org/wiki/Toplogredni_plini.

Trebše, P., Franko, M., Bavcon, M., Boškin, A. (2004). Okoljsko poročilo za spremembo lokacijskega načrta za center za ravnanje z odpadki Nova Gorica. Nova Gorica: Univerza v Novi Gorici.

PRILOGA I - NOMENKLATURA

Spremenljivke:

a anuiteta [€]

A ploščina [m²]

Am znesek letne amortizacije [€/leto]

C cena [€]

d debelina [m]

D višina nesubvencioniranega dela investicije, višina kredita [€]

GWP ...toplogredni potencial [kg_{CO2e}/dan]

h višina [m]

H kurilna vrednost [Wh/Nm³]

HRT ...hidravlični zadrževalni čas [dni]

K večkratnik [-]

m masa [kg]

\dot{m} masni tok [kg/dan]

M molska masa [g/mol]

n letna obrestna mera [-]

N število enot [kos]

O ostanek vrednosti posojila [€]

o strošek obresti na leto [€/leto]

P moč [kW]
 PR prihodki od prodaje [€]
 Raz razdolžnina [€]
 Q energija [kWh]
 \dot{Q} energijski pretok [kWh/dan]
 p letna obrestna mera [–]
 Pp predvidena življenska doba [let]
 r polmer [m]
 R upornost [m²K/W]
 s razdalja [m]
 S stroški [€]
 Si vrednost investicije [€]
 t čas [h]
 T temperatura [K]
 U koeficient prehoda [W/m²K]
 V prostornina [m³]
 \dot{V} prostorninski pretok [m³/dan]
 VS hlapljiva snov [–]

Grške črke:

α koeficient toplotne prestopnosti [W/m²K]

γ vsebnost gnojila [-]

ϵ izkoristek [-]

η delež [-]

λ toplotna prevodnost [W/m²K]

μ delež nosilnosti [-]

π Ludolfovo število [3,14]

ρ gostota [kg/m³]

φ finančni delež [€]

ω količina bioplina [m³]

Indeksi:

2010leto projekta

bbioplin

betonbeton

CH₄metan

CO₂ogljikov dioksid

DPdeponijski plin

DRdržavni

Eelektrična
efefektiven
eqekvivalent
ggnojilo
hna uro
ičisti
inodloženi
izgeneriran
kogkogeneracijski
kwekilovat električne energije
lletno
mmezofilni
merizmerjen
m1mezofilni (v prvem spremenjenemu pogoju)
nnotranji
oorganski
ogrogrevanje
pspecifičen
SKskupen
srsrednji
ttermofilni
t1termofilni (v prvem spremenjenemu pogoju)
t2termofilni (v drugem spremenjenemu pogoju)
tovtovornjak

Ttoplotna

TStrda snov

uuhajan

vvoda

VShlapljiva snov

yodplačilna doba kredita

zzabojnik