



B&B
VIŠJA STROKOVNA ŠOLA

Diplomsko delo višješolskega strokovnega študija
Program: Elektroenergetika
Modul: Elektroenergetska učinkovitost in električne inštalacije

SOPROIZVODNJA ELEKTRIČNE ENERGIJE IN TOPLOTE S POMOČJO BIOPLINA NA CENTRALNI ČISTILNI NAPRAVI KRANJ

Mentor: Doc. dr. Matej Kranjc, univ. dipl. inž. el.
Lektorica: Hana Jagodic, dipl. slov. (UN) in dipl. zgod. (UN)

Kandidat: Sašo Žura

Kranj, oktober 2023

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorju doc. dr. Mateju Kranjcu, za mentorstvo pri diplomskem delu.

Hvala g. Blaž Bajželj za pomoč in nasvete pri izdelavi diplomskega dela.

Zahvaljujem se tudi lektorici Hani Jagodic, ki je mojo diplomsko nalogo jezikovno in slovnično pregledala.

IZJAVA

Študent Sašo Žura izjavljam, da sem avtor tega diplomskega dela, ki sem ga napisal pod mentorstvom doc. dr. Mateja Kranjca.

Skladno s 1. odstavkom 21. člena Zakona o avtorski in sorodnih pravicah dovoljujem objavo tega diplomskega dela na spletni strani šole.

Dne _____

Podpis: _____

POVZETEK

Bioplin se v Evropi razvija kot ključna komponenta obnovljive energije, z namenom zmanjšanja emisij toplogrednih plinov in zanesljive oskrbe z energijo. Države spodbujajo proizvodnjo bioplina s finančnimi spodbudami in regulativnimi ukrepi, kar vodi v širjenje bioplinskih naprav. Poudarja se tudi nadaljnji pomen raziskav in inovacij v sektorju bioplina za trajnostno prihodnost.

Pridobivanje bioplina na čistilni napravi (CČN) Kranj je ključnega pomena za zagotavljanje trajnostnega in energetskega učinkovitega obratovanja. Anaerobna digestija, ki se izvaja na tej čistilni napravi, omogoča razgradnjo organskih snovi brez prisotnosti kisika, kar vodi k proizvodnji bioplina. Ta vir obnovljive energije se nato uporablja za proizvodnjo električne energije in toplote.

V okviru diplomske naloge sem se osredotočil na pridobivanje bioplina in analiziral njegovo pomembno vlogo na CČN Kranj. Glede na podatke o proizvodnji bioplina smo izračunali, koliko metana proizvedemo letno, kar predstavlja ključno surovino za proizvodnjo električne energije in toplote. Na podlagi teh izračunov sem ugotovili, koliko električne energije je na letni ravni mogoče proizvesti z uporabo bioplina.

Poleg tega sem izvedel analizo prihrankov, kjer sem primerjal stroške električne energije, ki bi jih imeli brez sistema za proizvodnjo električne energije iz bioplina, s potencialnimi prihodki iz proizvodnje električne energije. Razlika med temi vrednostmi je pokazala, da je mogoče doseči velike letne prihranke.

Na koncu diplomske naloge sem obravnaval tudi potencialne izboljšave. Dodatne izboljšave bi z optimizacijo delovanja sistema, spremljanjem porabe in učinkovitosti ter nadgradnjami opreme lahko še dodatno povečale prihranke in energetske učinkovitost na CČN Kranj. To vključuje boljše načrtovanje, optimizacijo procesov ter nadgradnjo opreme za še boljši izkoristek bioplina. S temi ukrepi bi lahko dosegli še večje prihranke, zmanjšali negativne vplive na okolje in izboljšali trajnostno obratovanje na čistilni napravi v Kranju.

KLJUČNE BESEDE

- Bioplin,
- električna energija,
- soproizvodnja toplote,
- čistilna naprava.

ABSTRACT

Biogas is being developed in Europe as a key component of renewable energy, with the aim of reducing greenhouse gas emissions and providing reliable energy supply. Countries encourage biogas production through financial incentives and regulatory measures, leading to the proliferation of biogas plants. The continued importance of research and innovation in the biogas sector for a sustainable future is also emphasized.

Obtaining biogas at the Kranj wastewater treatment plant is crucial for ensuring sustainable and energy-efficient operation. Anaerobic digestion, carried out at this treatment plant, allows the decomposition of organic matter without the presence of oxygen, leading to the production of biogas. This renewable energy source is then used to produce electricity and heat.

As part of my thesis, I focused on obtaining biogas and analyzed its important role at the Kranj NPP. Based on the data on biogas production, I calculated how much methane is produced annually, which is a key raw material for the production of electricity and heat. Based on these calculations, I found out how much electricity can be produced annually using biogas.

In addition, I performed a savings analysis comparing the electricity costs that would have been incurred without the biogas electricity generation system with the potential income from electricity generation. The difference between these values showed that large annual savings could be achieved.

At the end of the thesis, I also discussed potential improvements. Additional improvements could further increase savings and energy efficiency at the Kranj wastewater treatment plant through optimization of system operation, consumption and efficiency monitoring, and equipment upgrades. This includes better planning, optimization of processes and upgrading of equipment for even better utilization of biogas. With these measures, we could achieve even greater savings, reduce negative impacts on the environment and improve the sustainable operation of the water treatment plant in Kranj.

KEYWORDS

- Biogas,
- Electricity,
- Cogeneration,
- sewage treatment plant.

KAZALO

1	UVOD.....	1
1.1	Opredelitev raziskovalnega področja, problema in raziskovalno vprašanje.....	3
1.2	Namen in cilji raziskovanja.....	3
1.3	Metodologija raziskovanja.....	4
1.4	Predvidene predpostavke in omejitve pri obravnavanju problema.....	4
1.5	Strnjena vsebina poglavij.....	4
2	PRIDOBIVANJE BIOPLINA.....	5
2.1	Kaj je bioplin in zakaj ga potrebujemo.....	5
2.2	Anaerobna digestija.....	6
2.3	Učinkovitost anaerobne digestije.....	6
2.4	Proces anaerobne digestije.....	7
3	PROCES PRIDOBIVANJA BIOPLINA NA CČN KRANJ.....	9
3.1	Splošno o CČN Kranj.....	9
3.1.1	Prispevno območje, obremenitev in stroški izgradnje.....	9
3.1.2	Proces delovanja.....	12
3.1.3	Stroški obratovanja.....	15
3.2	Proces pridobivanja bioplina na CČN Kranj.....	16
3.3	Težave, ki vplivajo na proces bioplina na CČN Kranj.....	21
3.3.1	Vzroki za slabo usedljivost blata.....	22
3.3.2	Ukrepi in učinki na napravi.....	23
4	ANALIZA PRIHRANKOV.....	24
4.1	Zbiranje podatkov.....	24
4.2	Poraba električne energije.....	24
4.2.1	Kupljena električna energija.....	26
4.1	Proizvodnja električne energije.....	28
5	REZULTATI ANALIZE.....	30
5.1	Analiza prihranka.....	34
6	POTENCIALNE IZBOLJŠAVE ZA PRIDOBIVANJE EL. ENERGIJE.....	35
6.1	Možni ukrepi.....	36
6.1.1	Optimizacija delovanja kotla.....	36
6.1.2	Povečanje moči kogeneracijskih enot.....	36
6.1.3	optimizacija gnilišča.....	37
7	ZAKLJUČEK.....	38
8	VIRI IN LITERATURA.....	40

KAZALO TABEL

Tabela 1: Prispevno območje.....	10
Tabela 2: Rekapitulacija obremenitve naprave.....	11
Tabela 3: Rekapitulacija stroškov celotne investicije	12
Tabela 4: Stroški obratovanja CČN Kranj.....	16
Tabela 5: Stroški vzdrževanja sistema	16
Tabela 6: Karakteristike sušilnika plina	18
Tabela 7: Poraba električne energije CČN Kranj.....	24
Tabela 8: Stroški.....	25
Tabela 9: Kupljena električna energija za potrebe CČN Kranj.....	26
Tabela 10: Odčitki merilnega števca	27
Tabela 11: Lastna proizvodnja električne energije CČN Kranj.....	28
Tabela 12: Lastna proizvodnja električne energije CČN Kranj v letu 2022	29
Tabela 13: Odstotek pokritja z lastno električno energijo za leto 2022	30
Tabela 14: Odstotek pokritja z električno energijo 2016–2022	32
Tabela 15: Odstotek pokritja z električno energijo 2017–2022	33
Tabela 16: Letni prihranek	34
Tabela 17: Letni prihranek ob upoštevanju stroškov vzdrževanja.....	34

KAZALO SLIK

Slika 1: CČN Kranj	13
Slika 2: Poraba elektrike v letu 2022	31
Slika 3: Proizvedena električna energija glede na delež v letu 2022	32

KRATICE IN AKRONIMI

CČN:	Centralna čistilna naprava
SPTTE:	Soproizvodnja toplote in električne energije
TGP:	Toplogredni plin
TSS:	Suspendirana trda snov
VSS:	Vrednost suspendirane snovi
SVI:	Indeks volumna blata

1 UVOD

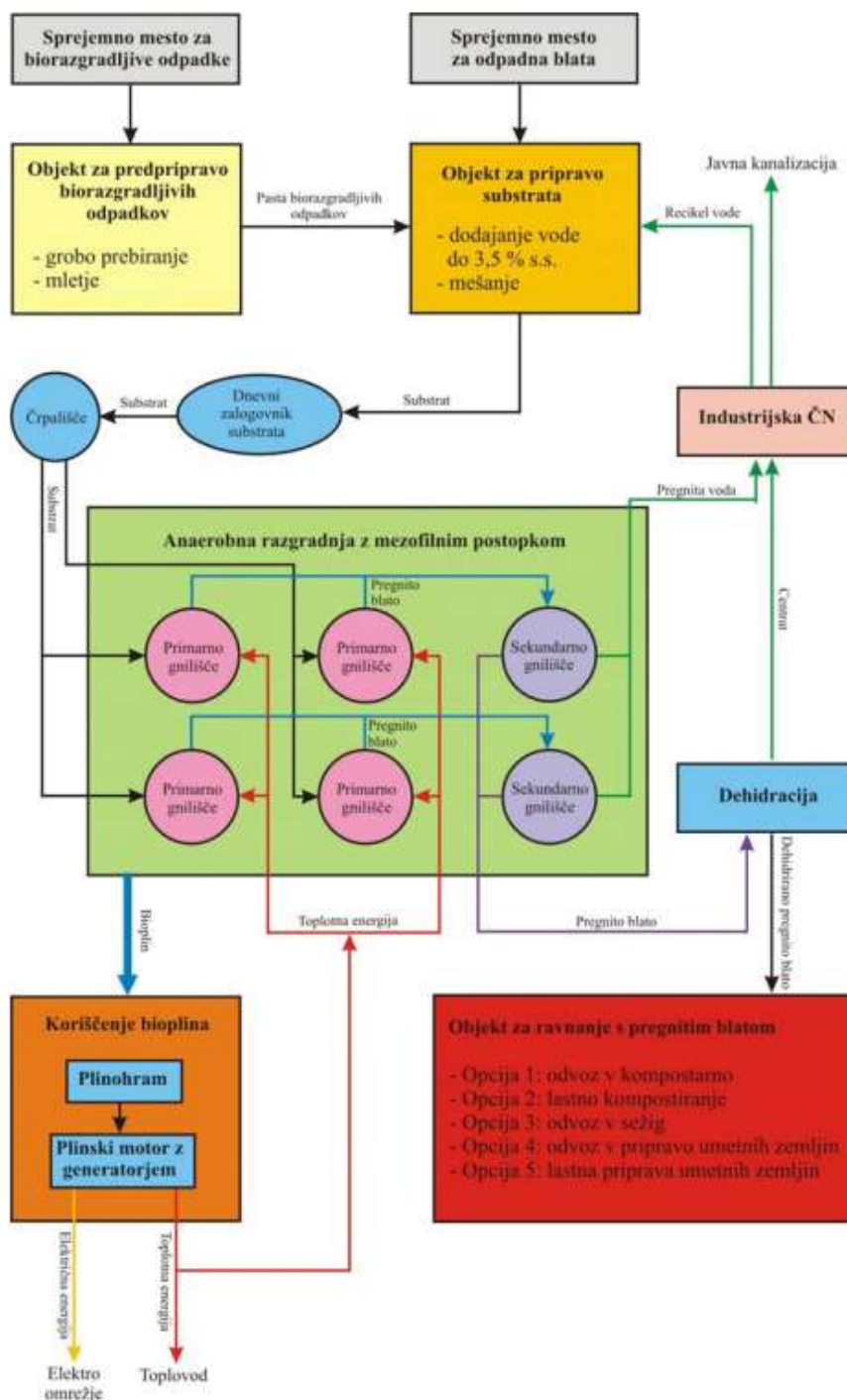
Centralna čistilna naprava Kranj (CČN Kranj) ima ključno vlogo v občini Kranj, saj skrbi za čiščenje odpadnih voda iz gospodinjstev, industrije in padavinskih voda, preden se te sprostijo v okolje. To je izjemno pomembno za ohranjanje okolja in zagotavljanje skladnosti z okoljskimi standardi. Poleg svoje osnovne funkcije čiščenja odpadnih voda ima CČN Kranj tudi pomembno vlogo pri energetske samooskrbi. Uporablja električno energijo in zemeljski plin kot glavna energenta, vendar se vedno bolj osredotoča na pridobivanje lastne električne energije. To pridobiva s samooskrbo bioplina, zanemarljivo pa tudi s sončno elektrarno, ki se bo v naslednjih letih zelo povečala. (Komunala Kranj d.o.o., 2023)

Bioplin, ki nastane pri anaerobni razgradnji odpadkov v gnilišču, ima v tej infrastrukturi ključno vlogo. Ta obnovljiv vir energije je izjemno pomemben za samooskrbo CČN Kranj, saj se uporablja za proizvodnjo električne energije in toplote, ki sta potrebni za delovanje čistilne naprave. (Komunala Kranj d.o.o., 2023)

Poleg bioplina so na objektih nameščene tudi sončne elektrarne, kar dodatno prispeva k proizvodnji električne energije. Vendar pa je večji poudarek CČN Kranj na bioplinu kot glavnemu viru energije za zagotavljanje trajnostnega in energetske učinkovitega delovanja čistilne naprave. Ta pristop poudarja zavezanost k uporabi obnovljivih virov energije in zmanjšanju okoljskega vpliva.

V svoji diplomski nalogi bi želel predstaviti praktičen primer učinkovite izrabe bioplina, kot obnovljivega vira energije, za pridobivanje električne energije in toplote. Kot omenjeno, je bioplin obnovljiv vir energije, ki ga je potrebno proizvajati v kontroliranem okolju z anaerobnim procesom. Glavna sestavina bioplina je metan, ki poleg tega, da je obnovljiv in okolju prijazen vir energije, velja tudi za odličnega nosilca energije. Z ustreznimi postopki, ki bodo v nadaljevanju predstavljeni, je preko tehnološkega sistema Centralne čistilne naprave Kranj možno izkoristiti pregnito blato, s pomočjo katerega se skozi ustrezne procese pridobiva bioplin s kogeneracijo lastne električne energije in toplote.

Na spodnjem diagramu je prikazana shema Centra za integrirano ravnanje z odpadnimi blati in biorazgradljivimi odpadki Gorenjske regije, iz katere je razviden celoten proces pridobivanja bioplina.



Shema Centra za integrirano ravnanje z odpadnimi blati in biorazgradljivimi odpadki Gorenjske regije (Šalej, 2009).

V letu 2015 je bila na Centralni čistilni napravi Komunale Kranj (v nadaljevanju CČN Kranj) izvedena nadgradnja, v sklopu katere se je v liniji blata vzpostavila kogeneracija

(soproizvodnja) toplotne energije na bioplin. Proces predstavlja sočasno pretvarjanje električne energije goriva v toplotno in električno energijo. Na kratko gre za proces, kjer se primarno in odvečno blato iz bioloških bazenov, po predhodnem izvedenem zgoščanju, dozira v gnilišče. V naslednji fazi v gnilišču, na temperaturi 37 °C, poteka mineralizacija blata, v kateri metanogene bakterije pretvarjajo organsko snov v bioplin, vodo in CO₂. Pridobljeni bioplin se po izvedenih fazah izrabi na kogeneracijskih enotah oz. v soproizvodnji toplote in električne energije. Proizvedena energija služi lastni porabi, tj. za delovanje CČN Kranj. (Inštitut za ekološki inženiring d.o.o, 2015)

1.1 OPREDELITEV RAZISKOVALNEGA PODROČJA, PROBLEMA IN RAZISKOVALNO VPRAŠANJE

Raziskovalno področje zajema pomembno tehnološko področje pridobivanja bioplina, ki predstavlja ključno komponento obnovljivega energetskega vira. Bioplin, ki ga proizvajamo s pomočjo bioloških procesov v kontroliranem okolju, je dragocen, saj je obnovljiv, okolju prijazen in vsebuje metan, ki služi kot pomemben nosilec energije.

Tema diplomske naloge je tehnološki proces pridobivanja bioplina s kogeneracijo elektrike in toplote, s poglobljeno študijo procesa pridobivanja bioplina in njegove uporabe. Poudarek in temeljno raziskovalno vprašanje diplomske naloge je učinkovitost procesa z vidika optimizacije procesa in zmanjšanja stroškov.

1.2 NAMEN IN CILJI RAZISKOVANJA

Namen diplomske naloge je preučiti in analizirati učinkovitost procesov v praksi.

Glavni cilj raziskovanja je določiti stroškovni vidik izrabe obnovljivega vira energije, predvsem glede količine proizvedene energije in stroškov, ki so potrebni za vzdrževanje sistema, glede na celotno potrebo oz. porabo električne energije. Preko teoretičnih izhodišč in lastnosti sistema ter rezultatov v praksi, bom v sklopu diplomske naloge poskušal:

- Ugotoviti, če dodatna linija blata, v kateri se je vzpostavila kogeneracija toplotne energije, predstavlja učinkovito optimizacijo sistema.
- Ugotoviti, če količina proizvedene električne energije zadostuje potrebi po električni energiji.
- Ugotoviti, če obravnavani proces tudi v praksi predstavlja učinkovito optimizacijo stroškov.

1.3 METODOLOGIJA RAZISKOVANJA

Pri pripravi diplomske naloge bom uporabil različne raziskovalne metode. Z metodo deskripcije bom v začetnem delu opisal posamezne pojme in procese, ki so predmet obravnave. S komparativno metodo bom primerjal podatke pridobljene z analizami.

V jedru diplomske naloge bom z empiričnimi metodami raziskovanja, in sicer s kvantitativno metodo zbiranja numeričnih podatkov, pridobil ustrezne rezultate, ki jih bom kasneje ustrezno analiziral z induktivno metodo.

1.4 PREDVIDENE PREDPOSTAVKE IN OMEJITVE PRI OBRAVNAVANJU PROBLEMA

Hipoteza 1: Z izvedbo dodatne linije blata, kjer je vzpostavljena kogeneracija (soproizvodnja) toplotne energije na bioplin, se je zmanjšala količina pregnitega blata, s čimer so se zmanjšali stroški odvoza.

Hipoteza 2: S kogeneracijo se proizvede več kot polovica električne energije, ki je potrebna za delovanje CČN Kranj.

Hipoteza 3: Stroški za vzdrževanje sistema za proizvodnjo bioplina s kogeneracijo predstavljajo manj kot polovico prihranka, ki nastane na podlagi pridobivanja lastne električne energije in toplote.

1.5 STRNJENA VSEBINA POGLAVIJ

Drugo poglavje Čistilna naprava Kranj zajema kratek opis procesov Centralne čistilne naprave Kranj, njeno prispevno območje, obremenitev, stroške izgradnje ter predstavitev stroškov obratovanja. Tretje poglavje zajema podroben opis procesov in specifikacij v tehnološkem procesu pridobivanja bioplina in kogeneracije električne energije z obrazložitvijo delovanja in namena sistema. Četrto poglavje obsega podatke, ki sem jih zbral za potrebe priprave analize v diplomski nalogi. Zbrani podatki obsegajo podatke o porabi in proizvodnji električne energije ter stroških za porabo električne energije. V petem poglavju so predstavljeni rezultati izvedenih analiz. V šestem poglavju so v zaključnem delu preverjene postavljene hipoteze.

2 PRIDOBIVANJE BIOPLINA

Proizvodnja in zajem bioplina iz biološkega procesa segata v leto 1895, ko sta bila prvič dokumentirana v Veliki Britaniji. Ta postopek se je nato razvijal in danes se na splošno uporablja za ravnanje z odpadnimi vodami ter stabilizacijo blata. Energetska kriza v zgodnjih 70. letih je poudarila potrebo po uporabi obnovljivih virov energije, vključno z bioplinom, pridobljenim iz procesa anaerobne digestije. (Teodorita Al Seadi, 2010)

Rast trga bioplina v zadnjem času je izjemno opazna, saj beleži letno stopnjo rasti med 20 in 30 odstotki. Ta trend odraža izjemno povečano zanimanje za tehnologijo bioplinske proizvodnje. Med vodilnimi državami na tem področju izstopajo Evropske države, kot so Avstrija, Nemčija, Danska in Švedska, ki imajo bogate izkušnje in konkurenčna tržišča za proizvodnjo bioplina. Ključno vlogo pri razvoju tega sektorja igra tudi vladna finančna podpora, ki je bila v teh državah znatna. Posebej izstopata Nemčija in Avstrija, kjer so uvedli gojenje energetskih rastlin za namen proizvodnje bioplina. Hkrati poteka intenziven razvoj novih tehnologij za pretvorbo surovin v bioplin, vključno z digestorji, sistemi za doziranje, skladiščenjem in drugo opremo. Prevladujoča metoda izkoriščanja bioplina v sodobnih bioplinskih napravah v Evropi je soproizvodnja toplote in električne energije (SPTe), v nekaterih državah pa ga uspešno uporabljajo tudi kot gorivo za transportna omrežja in plinovode. (Teodorita Al Seadi, 2010)

Zanimiva smer raziskav je tudi koncept biorafinerij, ki združuje proizvodnjo biogoriv, hrane in surovin za industrijo. Bioplin ima ključno vlogo pri oskrbi proizvodnje tekočih biogoriv z energijo, pri čemer odpadni material služi kot surovina za anaerobno presnovo. Tak pristop ima ogromen potencial za učinkovito izkoriščanje energije in zmanjšanje emisij toplogrednih plinov (TGP). Celoten razvoj na področju bioplina odraža njegovo naraščajočo pomembnost kot obnovljivi vir energije v Evropi ter nenehen tehnološki napredek na tem področju. (Teodorita Al Seadi, 2010)

2.1 KAJ JE BIOPLIN IN ZAKAJ GA POTREBUJEMO

Uporaba bioplina prinaša številne okoljske, ekonomske in družbeno-ekonomske koristi, tako kmetovalcem in družbi kot celoti. Proizvodnja bioplina znotraj lokalnih verig krepi vrednost gospodarskega potenciala regij, ustvarja delovna mesta na podeželju in povečuje regionalno ekonomsko moč. S tem prispeva k izboljšanju življenjskega standarda in spodbuja ekonomski ter družbeni razvoj. Poleg tega se bioplin proizvaja lokalno in s tem vpliva na uvoz fosilnih goriv iz Rusije in Bližnjega vzhoda, kar zmanjša odvisnost od uvoza. Zmanjšanje globalnega segrevanja je glavna prioriteta okoljske in energetske politike v Evropi. Odpadne snovi se pretvorijo v koristen vir energije, s tem pa tudi preprečimo veliko proizvodnjo organskih odpadkov iz raznih industrij, kmetijstva, gospodinjstev, čistilnih naprav, ... Za proizvodnjo bioplina lahko uporabljamo veliko surovin, kot na primer: gnojevko, organske odpadke, goščo iz odpadnih voda, odpadke iz

gostinstva in gospodinjestev, rastlinske ostanke in podobno. Lahko ga izkoristimo tudi na deponijah, vendar gre potem za deponijski plin. (JP CČN Domžale-Kamnik d.o.o.)

Proizvodnja bioplina vključuje anaerobno fermentacijo teh materialov v zaprtih anaerobnih bioreaktorjih ali digesterjih. Med tem procesom mikroorganizmi razgrajujejo organske snovi, pri čemer se proizvaja bioplin. (Tecon textile constructions GmbH, 2015)

Sestava bioplina je običajno približno 65 % metana (CH₄), 34 % ogljikovega dioksida (CO₂) in 1 % drugih plinov. Ta bioplin se nato prečisti, da se odstranijo nečistoče, kot so silicijeve snovi, topila in sulfidi. Čiščenje je pomembno za zagotovitev učinkovitega delovanja opreme in preprečevanja emisij škodljivih snovi. (Tecon textile constructions GmbH, 2015)

Po čiščenju se bioplin uporabi za proizvodnjo električne energije in toplote s pomočjo bioplinskih motorjev. Ta energija se uporablja za lastne potrebe ali pa se odda v električno omrežje. Presežna količina bioplina se sežge na bakli, kar je najboljši način za odstranjevanje nepotrebne bioplina. (JP CČN Domžale-Kamnik d.o.o.)

2.2 ANAEROBNA DIGESTIJA

Anaerobna digestija je biokemični proces, v katerem različne vrste mikroorganizmov razgrajujejo kompleksne organske materiale v bioplin in presnovljene produkte. Ta proces poteka brez prisotnosti kisika. Anaerobna digestija se uporablja za razgradnjo različnih vrst organskih substratov, vključno z zeleno biomaso, odpadki, živalsko gnojevko, blatom, organskimi odpadki in kanalizacijskimi izpusti. (Borzen, d. o. o., 2023)

Proces anaerobne presnove se naravno pojavlja v različnih okoljih, kot so morski sedimenti, prebavni trakt prežvekovalcev in šotišča. Substrat je homogena mešanica več različnih surovin, na primer mešanica živalskega blata in organskih odpadkov iz prehranske industrije – to imenujemo sopresnova (kofermentacija). To je najpogostejši način proizvodnje bioplina v sodobnih bioplinarnah, kjer se različne surovine kombinirajo in predelajo v bioplin ter druge koristne produkte. (Borzen, d. o. o., 2023)

2.3 UČINKOVITOST ANAEROBNE DIGESTIJE

Učinkovitost anaerobne digestije, ključnega postopka za proizvodnjo bioplina, je odvisna od kompleksnega sklopa parametrov, ki igrajo ključno vlogo pri zagotavljanju optimalnih pogojev za rast in dejavnost anaerobnih mikroorganizmov. To so bistveni dejavniki, ki jih je treba natančno nadzorovati in prilagajati za doseg maksimalne učinkovitosti v tem biološkem procesu. (Teodorita Al Seadi, 2010)

Prva ključna točka je izločitev kisika iz procesa anaerobne digestije. Anaerobni mikroorganizmi za svojo presnovo ne potrebujejo kisika, zato je kritično, da se zagotovi

popolna odsotnost kisika v tem okolju. To omogoča razgradnjo organskih materialov v bioplin brez oksidacije, kar je bistvenega pomena za uspešen postopek. (Teodorita Al Seadi, 2010)

Temperatura je drugi pomemben dejavnik, ki bistveno vpliva na hitrost presnove v anaerobni digestiji. Mikroorganizmi optimalno delujejo pri določeni temperaturi, ki je odvisna od njihove vrste. Običajno se anaerobna digestija izvaja pri temperaturah med 35 °C in 55 °C, da se doseže najvišja učinkovitost procesa. (Teodorita Al Seadi, 2010)

Tretji pomemben dejavnik je pH vrednost okolja. Večina anaerobnih procesov poteka pri nevtralni ali blago alkalni pH vrednosti, ki običajno znaša med 6 in 8. Pravilno uravnotežen pH prispeva k optimalni aktivnosti mikroorganizmov. (Teodorita Al Seadi, 2010)

Oskrba s hranili, kot so dušik, fosfor in mikroelementi, je naslednji dejavnik, ki vpliva na učinkovitost anaerobne digestije. Mikroorganizmi zahtevajo ustrezno oskrbo s temi hranili, da lahko učinkovito razgrajujejo organske materiale. (Teodorita Al Seadi, 2010)

Poleg tega lahko intenzivnost spodbujanja dejavnosti, ki se doseže s prilagajanjem mešanja substratov, pomembno vpliva na proces anaerobne digestije. To povečuje stik med mikroorganizmi in organskimi materiali, kar lahko izboljša učinkovitost. (Teodorita Al Seadi, 2010)

Prisotnost in količina inhibitorjev sta prav tako ključna vidika, ki ju je treba spremljati in obvladovati med procesom anaerobne digestije. Inhibitorji lahko zavirajo aktivnost mikroorganizmov, zato je pomembno, da se jih identificira in zmanjša na sprejemljivo raven. (Teodorita Al Seadi, 2010)

Skupno gledano je zagotavljanje optimalnih pogojev za anaerobne mikroorganizme ključno za doseg učinkovite proizvodnje bioplina in preprečevanje morebitnih težav v procesu anaerobne digestije. Te številne spremenljivke zahtevajo nenehno pozornost in prilagajanje, da se dosežejo zeleni rezultati in ohrani trajnost procesa. (Teodorita Al Seadi, 2010)

2.4 PROCES ANAERORBNE DIGESTIJE

Anaerobna digestija predstavlja kompleksen biološki proces, ki poteka v odsotnosti kisika in omogoča razgradnjo organskih snovi. Ta mikrobiološki proces je izjemno pomemben za obvladovanje organskih odpadkov in hkrati ponuja številne prednosti, vključno z obnovljivo energijo ter trajnostnim ravnanjem z odpadki. (JP CČN Domžale-Kamnik d.o.o.)

Glavni cilj anaerobne digestije je pretvoriti kompleksne organske spojine, kot so maščobe, ogljikovi hidrati in beljakovine, v enostavnejše spojine, predvsem v metan (CH₄) in ogljikov dioksid (CO₂). Metan je visoko energijski plin, ki ima številne uporabe,

najpomembnejša pa je proizvodnja električne energije in toplote. Ta proces se lahko uporablja za čiščenje in odstranjevanje organskih odpadkov iz različnih virov, kot so komunalni odpadki, gnoj, industrijski odpadki in še več. (Teodorita Al Seadi, 2010)

Anaerobna digestija poteka v več zaporednih korakih, pri katerih sodelujejo specifični mikroorganizmi in kemične reakcije. Prvi korak je hidroliza, kjer se kompleksne organske molekule razgradijo na enostavnejše spojine. Sledi kislinska geneza, kjer se tvorijo kratkoverižne maščobne kisline. Acetogeneza omogoča pretvorbo teh kislin v očetno kislino in vodik. Nazadnje, metanogeneza zaključi proces s tvorbo metana in ogljikovega dioksida. (Teodorita Al Seadi, 2010)

Za učinkovito izvajanje anaerobne digestije so ključni različni dejavniki. Odsotnost kisika je ena od najpomembnejših, saj anaerobni mikroorganizmi ne potrebujejo kisika za svojo presnovo. Prav tako je temperatura ključna, saj mikroorganizmi delujejo najbolje pri določeni temperaturi, običajno med 35 °C in 55 °C. Pravilna pH-vrednost, ustrezna oskrba s hranili in nadzor nad prisotnostjo ter količino inhibitorjev so tudi ključni za učinkovito izvajanje procesa. (Teodorita Al Seadi, 2010)

Anaerobna digestija ima številne prednosti, med katerimi sta trajnostno odstranjevanje organskih odpadkov in proizvodnja obnovljive energije. Ta proces omogoča bolj trajnostno ravnanje z odpadki, saj se organski materiali reciklirajo in pretvorijo v uporabne proizvode, kot je bioplin. Hkrati pa prispeva k zmanjšanju emisij toplogrednih plinov in uporabi obnovljivih virov energije. (JP CČN Domžale-Kamnik d.o.o.)

Anaerobna digestija je ključna tehnologija za trajnostno ravnanje z organskimi odpadki ter proizvodnjo obnovljive energije. S pravilno kontrolo parametrov in optimalnimi pogoji lahko dosežemo visoko učinkovitost tega procesa, kar prispeva k bolj trajnostni prihodnosti in zmanjšanju vpliva na okolje. (JP CČN Domžale-Kamnik d.o.o.)

3 PROCES PRIDOBIVANJA BIOPLINA NA CČN KRANJ

3.1 SPLOŠNO O CČN KRANJ

Centralna čistilna naprava Kranj (CČN Kranj) ima ključno vlogo v infrastrukturi občine Kranj, saj se osredotoča na čiščenje odpadnih voda, ki nastanejo v gospodinjstvih, industriji in iz padavinskih voda. Njena naloga je zagotoviti, da te odpadne vode pred izpustom v okolje izpolnjujejo vse okoljske standarde, ki so predpisani za ohranjanje čistoče in zdravja okolja. Poleg čiščenja odpadnih voda ima CČN Kranj tudi druge pomembne funkcije, kot so spremljanje in nadzor nad kakovostjo vode, zagotavljanje skladnosti z okoljskimi zakoni in predpisi ter izvajanje ukrepov za zaščito okolja pred potencialnimi škodljivimi vplivi odpadnih voda. S pravilnim obratovanjem in vzdrževanjem CČN Kranj se zagotavlja trajnostno ravnanje z vodnimi viri in varstvo okolja, kar je ključno za dobro počutje in zdravje prebivalcev občine Kranj ter ohranjanje naravne raznolikosti v okolju. Centralna čistilna naprava Komune Kranj (v nadaljevanju CČN Kranj) predstavlja celovit sistem odvajanja in čiščenja odpadnih voda na zaokroženem območju občine Kranj, Šenčur in Naklo. Nadgradnja čistilne naprave je bila izvedena v letu 2015, in sicer s ciljem, da se zgradi celovit sistem odvajanja in čiščenja odpadnih voda v aglomeracijah, ki imajo obremenitev večjo od 2.000 populacijskih enot. Kapaciteta nadgrajene CČN Kranj obsega 95.000 PE. V sklopu sistema CČN Kranj se čistijo odpadne vode, obdelujejo gošče iz greznic in mulji malih komunalnih čistilnih naprav na območju. (Inštitut za ekološki inženiring d.o.o, 2015)

3.1.1 Prispevno območje, obremenitev in stroški izgradnje

Območja poselitve oz. aglomeracije, ki predstavljajo prispevno območje CČN Kranj, so prikazane v spodnji tabeli. (Inštitut za ekološki inženiring d.o.o, 2015)

OBČINA	IME AGLOMERACIJE	ID agl.	število prebivalcev (1.1.2011)
KRANJ	Bitnje-Žabnica	20598	3.348
	Čirče	20596	987
	Kranj	20594	34.834
	Britof-Predoslje	20593	3.142
	Kokrica-Veliki hrib	20592	209
	Kokrica	20591	1.616
	Mlaka	20590	1.660
	Golnik 2	3932	188
	Golnik	3930	862
	Trstenik	3923	289
	Pangršica	3922	76

	Tenetiše	3915	386
	Goriče	3913	421
	Bobovek	3910	147
	Rupa	3908	233
	Srakovlje	3907	68
	Suha pri Predosljah	3905	234
	Ind. cona - Laze	3893	112
	Sp. Bes.- Pešnica	3890	688
	Rakovica	30208	80
	Zg. Besnica	3880	659
	Sp. Besnica	3860	258
	Tatinec	3859	58
ŠENČUR	Oiševak	3956	332
	Luže	3954	305
	Hotemaže	3953	481
	Visoko	3952	1.204
	Šenčur	3944	3.428
NAKLO	Polica	3903	42
	Podbrezje	3814	445
	Podbrezje-Srednja vas	3813	90
	Bistrica	3812	406
	Zadruga	3810	123
	Duplje	3809	995
	Naklo	3805	2.045
	Strahinj	3804	739
MOK		50.555	
ŠENČUR		5.750	
NAKLO		4.885	
SKUPAJ		61.190	

Tabela 1: Prispevno območje
(Komunala Kranj, 2020)

Rezultati izračunov, ki so bili ugotovljeni s pregledom priključkov prebivalstva in priključenih populacijskih enot v preteklih letih, so predstavljali ključno izhodišče za določitev velikosti CČN Kranj.

Pregled populacijskih enot za CČN Kranj		
Pregled PE 2008	70.626	PE
Pregled PE 2008	67.235	PE
Pregled PE 2008	61.268	PE
Prebivalci gospodinjstev zaokroženo	61.190	PE
Industrija, obremenitev 650 mg BPK5/l	20.000	PE
Obrt	8.500	PE
Greznice	2.000	PE
Izcedne vode	1.315	
Skupaj:	93.005	PE
Rezerva za prihodnost:	1.995	PE
Velikost izgradnje:	95.000	PE

*Tabela 2: Rekapitulacija obremenitve naprave
(Komunala Kranj, 2020)*

Celotna izvedba projekta CČN Kranj je znašala 29,4 milijone evrov. Podatki za posamezne sklope v času izdelave predmetne diplomske naloge niso na voljo. V sklopu izvedbe projekta je bil izveden celoten sistem za proizvodnjo in izdelavo bioplina ter kogeneracija toplotne energije.

naziv sklopa	skupna cena v mio EURO
gradbena dela – objekti, zunanja ureditev, rušitev	9,9
elektroinštalacije in elektro oprema	4,7
strojne inštalacije in strojna oprema	9,5
Skupaj	24,1
22 % DDV	5,3
Skupaj	29,4

*Tabela 3: Rekapitulacija stroškov celotne investicije
(Komunala Kranj, 2020)*

3.1.2 Proces delovanja

Proces delovanja CČN Kranj obsega več faz.

Na spodnji grafiki je prikazano celotno območje CČN Kranj z označenimi fazami. Prav tako je na spodnji sliki označen del, v katerem se izvaja proces anaerobne obdelave blata za namen dovoda bioplina na kogeneracijske enote za sočasno proizvodnjo toplotne in električne energije.



Slika 1: CČN Kranj
(Komunala Kranj d.o.o., 2023)

Oznaka 1: Deževni bazen igra ključno vlogo pri obvladovanju pretoka deževnice. Zgrajen je pod nivojem zemljišča in je namenjen razbremenitvi čistilne naprave med obilnimi padavinami. Na njegovem vходу so elektromotorne grobe grablje, ki so odgovorne za odstranjevanje grobih delcev iz deževnice, kar preprečuje, da bi te delce vnesli v nadaljnje faze čiščenja. (Komunala Kranj d.o.o., 2023)

Oznaka 2: Lovilnik kamenja služi odstranjevanju večjih naplavin iz odpadne vode, preden vstopijo v glavni tok čistilne naprave. Njegova naloga je zaščititi nadaljnje procese pred morebitnimi poškodbami ali zamažitvami. (Komunala Kranj d.o.o., 2023)

Oznaka 3: Vhodno črpališče je ključni element za črpanje odpadnih voda v nadaljnje faze čiščenja. Sestavljeno je iz treh zmogljivih polžnih črpalk, vsaka s premerom 2 metrov. Te črpalke so sposobne obvladovati maksimalni pretok odpadne vode skozi čistilno napravo, kar znaša 760 litrov na sekundo. Dve črpalke sta v stalni uporabi, medtem ko ena služi kot rezervna za zagotavljanje nemotene delovanja. (Komunala Kranj d.o.o., 2023)

Oznaka 4: Peskolov in lovilnik maščob je odgovoren za odstranjevanje peska in maščob iz odpadne vode. To je ključno za preprečevanje poškodb opreme in zagotavljanje učinkovitega nadaljnega čiščenja. (Komunala Kranj d.o.o., 2023)

Oznaka 5: Odstranjevanje fosforja se lahko izvaja bodisi biološko bodisi s postopkom obarjanja s FeCl_3 , odvisno od specifičnih potreb čistilne naprave. (Komunala Kranj d.o.o., 2023)

Oznaka 6: Sistem za biološko čiščenje vključuje tri linije po tri bazene, kar skupno predstavlja devet bazenov. To je ključna faza procesa čiščenja, kjer poteka biološko čiščenje odpadne vode. Uporablja se merjenje koncentracije kisika v bazenih in amonijevega dušika v iztočnem kanalu, kar omogoča nadzor nad stopnjo čiščenja. V enem od bazenov se hkrati meri tudi koncentracija nitrata. (Komunala Kranj d.o.o., 2023)

Oznaka 7: Tehnologija čiščenja z aktivnim blatom, ki ima višjo koncentracijo suhe snovi v bioloških bazenih. To omogoča boljše čiščenje odpadne vode. (Komunala Kranj d.o.o., 2023)

Oznaka 8: Usedalniki predstavljajo ključno fazo procesa, kjer se odstranjuje blato iz odpadne vode. Blato se useda na dno usedalnika, kjer se uporabljajo posebna strgala za potiskanje blata v poglobljeni del usedalnika. Nato se odteka v razdelilnik povratnega aktivnega blata, del pa se odvaja v gnilišče. Primarno blato in biološko blato sta namenjena za nadaljnjo stabilizacijo, anaerobno v mezofilnem gnilišču, kjer se vzdržuje temperatura med 35–40 °C. Pred vstopom v gnilišče je predvideno strojno predzgoščanje. Bioplin, ki nastane v gnilišču, se dovaja na kogeneracijske enote za sočasno proizvodnjo toplotne in električne energije, ki se porabi za procese čiščenja. Pregnito blato iz gnilišča se preko zalogovnikov blata dovaja na dehidracijo, kjer se blato suši za nadaljnjo obdelavo. (Komunala Kranj d.o.o., 2023)

Oznaka 9: Filtriranje – po procesu usedalnikov se prečiščena voda vodi skozi filter, kar omogoča odstranjevanje morebitnih preostalih delcev iz vode. (Komunala Kranj d.o.o., 2023)

Oznaka 10: Iztočni kanal vodi prečiščeno vodo iz filtracije v skupno kineto, kjer se meri pretok z magnetnim merilnikom pretoka, kar zagotavlja natančen nadzor nad iztokom v reko. (Komunala Kranj d.o.o., 2023)

Oznaka 11: Sprejem gošče igra ključno vlogo pri sprejemu gošče iz greznic in drugih virov. Med postopkom iztočenja gošče se izvaja merjenje pretoka in spremljanje kakovosti iztočenega blata, kar je pomembno za nadzor in kakovostno obdelavo odpadnih materialov. (Komunala Kranj d.o.o., 2023)

Pretok se meri, da bi zagotovili natančno oceno količine pritekajočega gošča v objekt. To je bistveno za učinkovito upravljanje in nadzor procesa čiščenja. Hkrati se tudi meri kakovost iztočenega blata, kar vključuje spremljanje vsebnosti nečistoč, kemikalij ali drugih snovi, ki lahko vplivajo na nadaljnjo obdelavo. (Komunala Kranj d.o.o., 2023)

Da bi zagotovili nemoteno delovanje sistema in preprečili zamašitve ter druge težave, so v objektu nameščene grablje. Te grablje imajo funkcijo odstranjevanja tujih materialov in grobih delcev iz gošče. Tako se preprečuje, da bi trdni delci ovirali ali poškodovali

opremo, ter se zagotavlja nemoteno nadaljnjo čiščenje in obdelava gošče. (Komunala Kranj d.o.o., 2023)

Skupaj z merjenjem pretoka in nadzorom kakovosti iztočenega blata omogoča ta objekt učinkovito sprejemati in pripraviti gošče za nadaljnje faze čiščenja na čistilni napravi. (Komunala Kranj d.o.o., 2023)

Oznaka 12: Sprejem maščob. Ta objekt predstavlja ključno točko za sprejem maščob, ki je postavljen poleg objekta za sprejem gošče iz greznic. Maščobe, ki se odvajajo iz različnih virov, se stekajo in zbirajo v tem zalogovniku, ki se nahaja v kleti strojnice čistilne naprave. (Komunala Kranj d.o.o., 2023)

Znotraj zalogovnika gošče iz greznic se maščobe in gosto blato homogenizirajo s pomočjo posebnega mešalnega sistema. Ta postopek zagotavlja enakomerno porazdelitev maščob in gostega blata ter pripravo na nadaljnjo obdelavo. (Komunala Kranj d.o.o., 2023)

Nato se maščobe in gosto blato prečrpajo v zalogovnik zgoščenega blata, ki se prav tako nahaja v kleti strojnice. Tukaj se začne proces anaerobne obdelave. Anaerobna obdelava je učinkovit postopek razgradnje organskih snovi brez prisotnosti kisika. Med tem procesom se maščobe in gosto blato razgrajujejo, kar vodi do proizvodnje bioplina, ki lahko nato služi kot obnovljiv vir energije za različne procese čiščenja in obratovanje čistilne naprave. (Komunala Kranj d.o.o., 2023)

Postopek je pomemben za učinkovito ravnanje z maščobami in gostim blatom ter izrabo bioplina kot trajnostnega vira energije, kar prispeva k trajnostnemu delovanju čistilne naprave. (Komunala Kranj d.o.o., 2023)

3.1.3 Stroški obratovanja

Stroški obratovanja in vzdrževanja so prikazani v spodnji tabeli.

Stroški obratovanja CČN Kranj		
Strošek osebja	500.000	€/leto
Strošek električne energije	480.000	€/leto
Strošek porabe kemikalij	173.000	€/leto
Strošek končne dispozicije blata	320.000	€/leto
Vzdrževalni stroški	265.000	€/leto

Stroški kapitala	1.070.000	€/leto
Ostali stroški	280.000	€/leto
Skupaj	3.088.000	€/leto

*Tabela 4: Stroški obratovanja CČN Kranj
(Lastni vir)*

Stroški obratovanja celotne CČN Kranj znašajo 3.088.000 € letno.

V spodnji tabeli so prikazani stroški vzdrževanja obravnavanega sistema za pridobivanje električne energije in toplote s pomočjo bioplina in kogeneracije. Stroški vzdrževanja letno znašajo 95.000 €, kar predstavlja 3,08 % celotnih stroškov obratovanja CČN Kranj in 35,85 % od stroškov vzdrževanja celotnega sistema CČN Kranj.

Stroški vzdrževanja sistema pridobivanja bioplina in kogeneracije - CCN Kranj		
Klimasol kogeneracija vzdrževanje	45.000	€/leto
Krambo vzdrževanje	50.000	€/leto
Skupaj	95.000	€/leto

*Tabela 5: Stroški vzdrževanja sistema
(Lastni vir)*

3.2 PROCES PRIDOBIVANJA BIOPLINA NA CČN KRANJ

Bioplin se pridobiva z anaerobno obdelavo blata v mezofilnem gnilišču (35–40 °C). Na CČN Kranj je postavljeno eno gnilišče s prostornino 4.400 m³. Čas zadrževanja blata je 29 dni. Najprej se zgoščeno blato zmeša s toplim predelanim blatom iz gnilišča, s čimer se doseže, da se temperatura svežega dodanega blata, ki vstopa v cikel toplote izmenjave čim prej poviša. Dopustna razmerja mešanja so med 1:3 do 1:5. (Inštitut za ekološki inženiring d.o.o, 2015)

V gnilišču se mešanje izvaja z vertikalnim mešanjem, pri čemer se vsebina gnilišča konstantno meša tudi z recirkulacijo blata z dvema črpalkama po cevovodu za mešanje gnilišč. V recirkulacijskem krogu je vgrajen macerator obtoka blata gnilišč in izmenjevalnik toplote pregnitega blata. Blatu recirkulacije gnilišča se v mešalcu blata pred vstopom v izmenjevalnik toplote dodaja blato iz zalogovnika zgoščenega blata. Ciklus toplote izmenjave, z oskrbo s toploto iz kogeneracijske enote, poviša temperaturo

dodanega blata v gnilišče na zahtevano temperaturo. (Inštitut za ekološki inženiring d.o.o, 2015)

Pregnito blato se odvaja iz gnilišča s pomočjo nastavljive teleskopske cevi in se gravitacijsko odvaja v zalogovnik pregnitega blata. Ob nizkem nivoju blata v gnilišču pa se blato črpa iz gnilišča s črpalkama za praznjenje gnilišč, ki sta vgrajeni v strojnici gnilišč. (Inštitut za ekološki inženiring d.o.o, 2015)

Pregnito blato se odvaja iz gnilišča preko toplotnega izmenjevalca blato/voda. Tako pridobljena toplotna energija ogreva v gnilišče dovedeno sveže blato. (Inštitut za ekološki inženiring d.o.o, 2015)

V gnilišču je nameščen sistem za odstranjevanje pene in plavajočega blata. Plavajoče blato in pena se odvajata po cevovodu za odjem pene. Pena se odvaja v zalogovnik pregnitega blata. Za občasno odvajanje pene se na vrh gnilišča po cevovodu avtomatsko dovaja procesna voda. (Inštitut za ekološki inženiring d.o.o, 2015)

Proizvedeni plin se zbira v zgornjem delu gnilišča in se neprekinjeno odvaja v sistem odjema in čiščenja bioplina. (Inštitut za ekološki inženiring d.o.o, 2015)

Vhodne količine za anaerobno obdelavo vključujejo 67 m³/d primarnega blata in 84 m³/d odpadnega aktivnega blata, kar skupaj znaša 151 m³/d. Glede na vsebnost vseh suspendiranih trdnih snovi (TSS) v primarnem blatu, ki znaša 70 %, je to ekvivalentno 2.33 ton/dnevno VSS v primarnem blatu. Enako velja za odpadno aktivno blato, kjer je vsebnost VSS 65 % TSS, kar predstavlja 2.73 ton/dnevno VSS v odpadnem aktivnem blatu. Skupna količina vhodnih VSS za anaerobno obdelavo je tako enaka vsoti obeh, kar znaša 5.06 ton/dnevno. (Inštitut za ekološki inženiring d.o.o, 2015)

Izračun proizvodnje bioplina temelji na smernicah, ki jih je predstavil Imhoff. Dnevna količina proizvedenega bioplina na čistilni napravi v Kranju znaša 2,430 kubičnih metrov, pri čemer je približno 1,550 kubičnih metrov tega bioplina sestavljenega iz metana (CH₄). Ta izračun je bil izveden na osnovi specifične proizvodnje bioplina, ki znaša 0,48 kubičnih metrov bioplina na kilogram vhodnih vsebnosti suspenziranih trdnih snovi (VSS) vhodnega blata. Skupna dnevna količina VSS vhodnega blata na čistilni napravi Kranj znaša 5,058 kilogramov. (Inštitut za ekološki inženiring d.o.o, 2015)

Z upoštevanjem te specifične proizvodnje bioplina se dnevno proizvede približno 2,428 kubičnih metrov bioplina, kar pomeni približno 886,220 kubičnih metrov bioplina na letni ravni. Vsebnost metana v bioplenu, ki ga proizvedejo anaerobni procesi v gnilišču, znaša približno 64 %. To pomeni, da se vsak dan pridobi približno 1,550 kubičnih metrov metana, ki je dragocen energent. (Inštitut za ekološki inženiring d.o.o, 2015)

Ta metan se nato lahko pretvori v električno moč. Za potrebe izračuna se upošteva, da 1 kubični meter metana lahko proizvede približno 10 kilovatov električne moči. To pomeni, da se dnevno pridobi približno 15,500 kilovatov električne moči iz proizvedenega metana. (Inštitut za ekološki inženiring d.o.o, 2015)

Izvedena je preiščena zasnova za upravljanje s toplotno energijo, ki omogoča izrabo proizvedene toplote za različne namene. Ključen element te zasnove je kotel Viessmann Vitoplex 300 s toplotno močjo 345 kW, ki deluje kot vršni vir toplote. Ta kotel igra pomembno vlogo pri zagotavljanju toplote različnim porabnikom, še posebej takrat, ko kogeneracijski postroj ne deluje v celoti ali kadar ne proizvaja dovolj toplote za lastne potrebe. (Inštitut za ekološki inženiring d.o.o, 2015)

Kogeneracijski postroj na tej napravi ne služi le proizvodnji električne energije, temveč tudi toplote. Presežek bioplina, ki se proizvede v procesu anaerobne digestije v gnilišču, se usmeri v kogeneracijsko enoto. Tam se bioplin uporablja za hkratno proizvodnjo toplote in elektrike ali za mešanje z vsebino gnilišča, kar prispeva k izboljšani učinkovitosti celotnega procesa. (Inštitut za ekološki inženiring d.o.o, 2015)

Da bi zagotovili natančen nadzor in učinkovito uporabo bioplina, se pretok bioplina meri, preden vstopi v biološki biofilter za razžveplanje. Za izboljšanje rezultatov čiščenja se komprimiran zrak združi z bioplinom, preden ta vstopi v biofilter za razžveplanje. Ta postopek mešanja zraka in bioplina je skrbno nadzorovan z uporabo kontrolnih ventilov, kar preprečuje morebitne varnostne težave, povezane z eksplozivnimi plini. Po obdelavi v biofiltru za razžveplanje se bioplin nato usmeri v sušilnik bioplina, kjer se izvaja nadaljnja obdelava. Sušilnik bioplina vključuje integriran semi-hermetični kompresor in črpalko za odvajanje kondenzata, ki se odvaja z EM izpustnim ventilom. (Inštitut za ekološki inženiring d.o.o, 2015)

Sušilnik plina na čistilni napravi je opremljen s posebnimi karakteristikami. Ima pretok plina pri 150 nm³/h in deluje pri tlaku 100 mbar. Vstopna temperatura plina v sušilniku znaša 38 °C, pri čemer je točka rosišča plina med 4 in 6 °C. Sušilnik ima tudi hladilno kapaciteto, ki znaša 4,2 kW. (Inštitut za ekološki inženiring d.o.o, 2015)

Sušilnik plina s karakteristikami:	
Pretok:	150 nm ³ /h
Tlak:	100 mbar
Vstopna temperatura plina	38 °C
Točka rosišča	4-6 °C
Hladilna kapaciteta	4.2 kW

Tabela 6: Karakteristike sušilnika plina
(Inštitut za ekološki inženiring d.o.o, 2015)

Sušeni bioplin, ki je produkt procesa anaerobne digestije, se usmeri v dve možni smeri, odvisno od trenutnih potreb in obratovanja kogeneracijske enote ter drugih faktorjev. (Inštitut za ekološki inženiring d.o.o, 2015)

Skladiščen bioplin je na voljo za nadaljnjo uporabo in se črpa iz plinohrama, pri čemer se ustvari nadtlak za nemoteno črpanje. Pred uporabo se sušeni bioplin dodatno obdela v karbonskem filtru, kjer se odstranijo nezaželeni primesi, zlasti silicij, kar pripomore k izboljšani in čistejši uporabi plina. (Inštitut za ekološki inženiring d.o.o, 2015)

Naprej v procesu se nahajata dve kogeneracijski enoti, ki delujeta z izkoriščanjem bioplina za proizvodnjo tako električne energije kot tudi toplote. Skupna električna moč, ki jo proizvedeta obe kogeneracijski enoti, znaša 210 kW. To pomeni, da se obogaten bioplin izkoristi za zagotavljanje električne energije in toplote, kar prispeva k energetski učinkovitosti naprave. (Inštitut za ekološki inženiring d.o.o, 2015)

Toplota, ki se sprošča pri izgorevanju in v hladilnem sistemu strojnice, ni zapravljena, temveč se pametno izkoristi z uporabo zračnih in vodnih toplotnih izmenjevalcev. Ta toplota se uporabi za segrevanje doziranega blata v gnilišču, kar je ključno za proces čiščenja odpadnih voda. Vgrajen je tudi zalogovnik tople vode s toplotno močjo 345 kW, ki zagotavlja dodatno oskrbo s toploto v primeru, ko kogeneracijske enote ne obratujejo ali ne proizvajajo dovolj toplote za pokrivanje potreb na napravi. (Inštitut za ekološki inženiring d.o.o, 2015)

Varnost in učinkovitost sistema sta še dodatno izboljšani s prisotnostjo zasilnih hladilnih enot za vsako kogeneracijsko enoto. Te enote se aktivirajo v primeru presežka toplote pri izgorevanju, kar preprečuje pregrevanje kogeneracijskih enot in s tem ohranja zanesljivo delovanje celotnega sistema. (Inštitut za ekološki inženiring d.o.o, 2015)

V situacijah, ko kogeneracijske enote ne obratujejo ali ne proizvajajo dovolj toplote za segrevanje doziranega blata v gnilišče, je na voljo tudi kotel, ki deluje s pomočjo bioplina. To zagotavlja alternativno rešitev za oskrbo s toploto in ohranja neprekinjeno obratovanje naprave. (Inštitut za ekološki inženiring d.o.o, 2015)

Da bi se zagotovila zanesljiva oskrba s plinom za kogeneracijske enote, je pred njimi postavljen nizkotlačen plinohram s kapaciteto 1,000 m³. Ta plinohram omogoča skladiščenje do 10 ur proizvodnje bioplina, kar zagotavlja kontinuirano in stabilno oskrbo s surovinami za proizvodnjo električne energije in toplote iz bioplina na čistilni napravi. (Inštitut za ekološki inženiring d.o.o, 2015)

Plinohram predstavlja pomembno komponento za zanesljivo skladiščenje bioplina, ki se proizvaja v procesu anaerobne digestije. Ta nizkotlačni membranski plinohram je sestavljen iz več ključnih elementov, ki zagotavljajo njegovo učinkovito delovanje. Osnovna struktura plinohrama vključuje membrano iz perbunana s tesnilnim slojem iz

KK400, ki skrbi za neprepustnost in ohranja kakovost bioplina. Za stabilno delovanje poskrbi tudi vodilo membrane, opremljeno s teleskopskim vodilom iz pocinkanega jekla, ki preprečuje neželene premike in deformacije membrane. Plinohram je dodatno opremljen z mehansko zaščito prenapolnitve, ki preprečuje prekomerno polnjenje in morebitno poškodbo sistema. Hidravlična nadtljučna zaščita s tekočinsko zaporo in kontrola tlaka v plinohramu zagotavljata varnost skladiščenja bioplina. (Inštitut za ekološki inženiring d.o.o, 2015)

V primeru popolne izpraznitve plinohrama je vgrajena podtljučna zaščita, ki prepreči nezaželeno situacijo. Za nadzor in signalizacijo nivoja plina je vključen mehanski indikator polnosti plinohrama, ki je pripravljen za montažo mejnih stikal in zveznega prikazovalnika. Končno stikalo omogoča signalizacijo na oddaljeno lokacijo in nadzor nad procesom. (Inštitut za ekološki inženiring d.o.o, 2015)

Dnevna proizvodnja bioplina iz gnilišča na čistilni napravi znaša 2,450 m³. Ta bioplin se mora shraniti in uporabiti, ko je potrebno, za proizvodnjo električne energije in toplote v kogeneracijskih napravah ali za druge procese. Pretok bioplina, ki ga je mogoče usmeriti v plinohram, znaša 101 m³ na uro. (Inštitut za ekološki inženiring d.o.o, 2015)

Kapaciteta plinohrama, ki se uporablja za skladiščenje bioplina, je 1,000 m³. Izračun časa skladiščenja bioplina v plinohramu temelji na teh podatkih. Dnevno proizvedeni bioplin (2,450 m³) se preoblikuje v pretok na uro (101 m³/h). Rezultat tega izračuna je, da se bioplin lahko shranjuje v plinohramu približno 9.9 ur, preden doseže svojo maksimalno kapaciteto. (Inštitut za ekološki inženiring d.o.o, 2015)

Izračun časa skladiščenja bioplina prikazuje, da plinohram omogoča shranjevanje bioplina za približno 10 ur. Ta podatek je ključen za zagotavljanje stabilne oskrbe s surovinami za proizvodnjo električne energije in toplote iz bioplina na čistilni napravi. (Inštitut za ekološki inženiring d.o.o, 2015)

Obstajajo različne strategije za ravnanje z viškom proizvedenega bioplina ali v primerih, ko kogeneracijska enota ne obratuje. Za te namene je na CČN KRANJ nameščena plinska bakla, ki omogoča varno izgorevanje presežnega bioplina, ki se ne more nadzorovano porabiti na kogeneracijskih enotah. (Inštitut za ekološki inženiring d.o.o, 2015)

Kapaciteta plinske bakle je pomembna, saj mora zagotavljati zadostno zmogljivost za izgorevanje viška plina, ki ga proizvede čistilna naprava. Pri načrtovanju kapacitete plinske bakle je upoštevana urna proizvodnja bioplina, ki znaša 101 m³/h. Za zagotovitev učinkovitega izgorevanja presežnega plina in preprečevanja težav, ko kogeneracijska enota ne obratuje ali v obdobjih največje proizvodnje plina, je izbrana kapaciteta bakle, ki znaša 200 % urne proizvodnje plina, kar je 202 m³/h. Ta izračun zagotavlja, da je plinska bakla dovolj zmogljiva za izgorevanje viška bioplina, ne da bi pri tem prihajalo do zastojev

ali težav z izgorevanjem. Tako se zagotovi varno in učinkovito ravnanje z bioplinom na čistilni napravi. Poleg tega je v sistem bioplina vgrajeno tudi proti plamensko varovalo na dovodnem cevovodu bioplina. To zagotavlja dodatno varnost v primeru neželene plinske rasti v sistemu. V primerih, ko je kapaciteta kogeneracijske enote presežena ali kadar enota ne obratuje, se plin, ki ga ne moremo takoj porabiti, usmeri v plinsko baklo. Bakla, dimenzionirana za 200 m³/h, je zasnovana tako, da lahko učinkovito izgoreva presežni bioplin, pri čemer se zagotovi nemoteno obratovanje naprave in preprečijo morebitne težave zaradi prekomernega plina. (Inštitut za ekološki inženiring d.o.o, 2015)

3.3 TEŽAVE, KI VPLIVAJO NA PROCES BIOPLINA NA CČN KRANJ

Napihovanje blata v dotočni kineti sekundarnega usedalnika lahko povzroči nepredvidene situacije in moti učinkovito čiščenje odpadne vode na Centralni čistilni napravi Kranj (CČN Kranj). To lahko rezultira v prekomerni obremenitvi naprave in slabi kakovosti čiščenja. Podobno, težave z neenakomerno sušino v bioloških bazenih lahko negativno vplivajo na procese odvajanja vode od blata, kar vodi do zastojev in oteženega čiščenja. (Kolektor sETup d.o.o, 2022)

Slaba usedljivost blata in visok volumski indeks blata sta še dodatna izziva, saj kažeta na neustrezno sedimentacijo blata, kar lahko povzroči težave pri ločevanju vode od blata. Poleg tega so višje koncentracije amonijevega in celotnega dušika na iztoku znak za težave v procesu čiščenja, še posebej v obdobjih nizkih temperatur in ob vračanju blata v proces čiščenja. (Kolektor sETup d.o.o, 2022)

Ključna težava pri obratovanju CČN Kranj je nizek hidravlični pretok, ki vodi do slabe premešanosti in zastajanja blata v bazenih. Za reševanje tega problema se izvajajo različni ukrepi, vendar imajo lahko tudi negativne posledice. Med temi ukrepi velja izpostaviti: (Kolektor sETup d.o.o, 2022)

1. 2-kratni recikel povratnega blata, ki povečuje koncentracije nitratov v prvi kaskadi, s čimer izboljšuje hidravlične razmere, vendar lahko vpliva na proces denitrifikacije in povzroči povečane koncentracije nitrata na iztoku. (Kolektor sETup d.o.o, 2022)
2. Interni recikel iz 3. v 1. kaskado, ki še dodatno obremenjuje z nitratom in lahko poslabša mešanje v tretji kaskadi, kar lahko vpliva na učinkovitost denitrifikacije. (Kolektor sETup d.o.o, 2022)
3. Prepihovanje za izboljšanje mešanja, ki pa hkrati zmanjšuje anaerobne pogoje, potrebne za denitrifikacijo, kar vodi do povečanih koncentracij nitratov na iztoku. (Kolektor sETup d.o.o, 2022)

Visoko obremenjene tehnološke vode predstavljajo dodatno obremenitev naprave, ki lahko oteži denitrifikacijo in povzroči povečane koncentracije dušikovih spojin na iztoku. (Kolektor sETup d.o.o, 2022)

Vse te spremembe in ukrepi v obratovanju naprave lahko imajo kompleksne učinke na proces čiščenja in koncentracije dušikovih spojin na iztoku, kar zahteva pozorno spremljanje in prilagajanje postopkov za optimalno delovanje CČN Kranj. (Kolektor sETup d.o.o, 2022)

3.3.1 Vzroki za slabo usedljivost blata

Kriterij za ocenjevanje usedljivosti blata na Centralni čistilni napravi Kranj (CČN Kranj) je določen s pomočjo volumskega indeksa blata, imenovanega tudi "sludge volume index" ali SVI. Vrednost SVI je merilo za stopnjo usedljivosti blata, pri čemer se dobra usedljivost blata smatra pri vrednosti SVI manjši od 150. (Kolektor sETup d.o.o, 2022)

Za razumevanje vzrokov slabe usedljivosti blata na CČN Kranj lahko pregledamo potencialne dejavnike, ki so opisani v raziskavi Richarda (2003). Slaba usedljivost in dvigovanje blata, kar se pojavlja na tej čistilni napravi, lahko izhaja iz procesa denitrifikacije v flokulah blata in sproščanja plinskega dušika. Denitrifikacija znotraj flokul se lahko pojavi zaradi nizkih koncentracij kisika v notranjosti flokul, in posledično sproščen plin dviguje delce blata. Če se pri testiranju usedljivosti v dveh urah blato dvigne na površje, je denitrifikacija v flokulah ena od možnih razlag za slabo usedljivost. (Kolektor sETup d.o.o, 2022)

Drugi potencialni vzrok slabe usedljivosti so nitaste bakterije, ki se lahko pojavijo zaradi specifične sestave odpadne vode, obratovalnih pogojev ali konfiguracije naprave. Vzroki za pojav nitastih bakterij so raznoliki in vključujejo nizko koncentracijo kisika, nizko razmerje med hranilno snovjo in mikrobnno maso (razmerje F/M), septičnost odpadne vode, prisotnost maščob in olj, pomanjkanje hranil ter izmenične anoksične in aerobne pogoje v procesu. (Kolektor sETup d.o.o, 2022)

Razumevanje teh vzrokov za slabo usedljivost blata je zelo pomembno za izboljšanje učinkovitosti čiščenja na CČN Kranj in omogoča izvajanje ukrepov za obravnavo teh težav v procesu čiščenja odpadnih voda. (Kolektor sETup d.o.o, 2022)

3.3.2 Ukrepi in učinki na napravi

Ena izmed ključnih strategij za izboljšanje usedljivosti blata na Centralni čistilni napravi Kranj (CČN Kranj) je zmanjšanje starosti blata, saj ima mlado blato boljše lastnosti za sedimentacijo in ločevanje od vode. Ta pristop vključuje prilagoditve nastavitvev za odvzem odvečnega blata, kar zajema vklop in izklop črpanja blata. Prilagajanje nastavitvev črpanja blata je odločilnega pomena, saj lahko pomaga izboljšati razmerje med hranilnimi snovmi in mikroorganizmi, znano kot F/M razmerje, kar vodi k bolj učinkovitemu čiščenju odpadne vode. S tem procesom znižanja starosti blata dosežemo višjo koncentracijo mladih mikroorganizmov, ki so bolj aktivni pri odstranjevanju onesnaževanja iz vode. (Kolektor sETup d.o.o, 2022)

Spremljanje in vzdrževanje ustrezne koncentracije kisika v biološki stopnji čistilne naprave igra ključno vlogo pri učinkovitem odstranjevanju dušikovih spojin iz odpadne vode. Na CČN Kranj smo vzpostavili optimiziran avtomatski sistem vodenja, ki nadzoruje koncentracijo kisika in delovanje bazenov v biološki stopnji. Ta sistem zagotavlja optimalne pogoje za mikroorganizme, ki sodelujejo v procesih nitrifikacije in denitrifikacije, kar prispeva k učinkovitemu odstranjevanju dušikovih spojin. Sistem se je izkazal za učinkovitega pri odstranjevanju dušikovih spojin v različnih obratovalnih pogojih, kar pripomore k stabilnemu čiščenju odpadne vode. (Kolektor sETup d.o.o, 2022)

Poleg tega smo implementirali prepihanje bazenov z zračnimi blazinami za izboljšano mešanje. Ta proces omogoča nadzor nad močjo mešanja z zrakom, ki se doseže z odstotkom odprtosti ventilov pri prepihanju. Višja odprtost ventila pomeni intenzivnejše mešanje. Prav tako smo določili časovni okvir za trajanje prepihanja, med katerim se zrak vpahuje v bazen za izboljšano mešanje, ter obdobje mirovanja, ko ventil ostane zaprt. Ta prilagodljiv pristop omogoča natančno nadzorovanje mešanja v bazenih, kar vodi k bolj učinkoviti obdelavi odpadne vode. (Kolektor sETup d.o.o, 2022)

Skupno gledano je uporaba teh strategij in prilagoditev v obratovanju CČN Kranj prinesla izboljšanje usedljivosti blata in učinkovitejšo čiščenje odpadne vode, kar je ključno za zagotavljanje visoke kakovosti čiščenja na tej čistilni napravi. (Kolektor sETup d.o.o, 2022)

4 ANALIZA PRIHRANKOV

4.1 ZBIRANJE PODATKOV

V okviru priprave diplomske naloge sem izvedel temeljno analizo o prihrankih električne energije z izkoriščanjem bioplina. V ta namen sem sistematično zbral vse relevantne podatke o porabi električne energije, ki jih Centralna čistilna naprava Kranj (CČN Kranj) potrebuje za svoje delovanje. To vključuje podatke o električni energiji, ki jo zahtevajo različni procesi na čistilni napravi, kot tudi podatke o potrebah za vzdrževanje in nadzor.

Hkrati sem pridobil vse relevantne podatke o količini električne energije, ki jo CČN Kranj proizvaja s pomočjo procesa pridobivanja bioplina. To vključuje podatke o količini bioplina, ki se proizvede, in učinkovitosti kogeneracijske enote pri pretvarjanju bioplina v električno energijo. Z združitvijo teh podatkov sem lahko natančno ocenil, koliko električne energije CČN Kranj prihrani z uporabo bioplina.

Celotna analiza je bila izvedena z namenom zagotavljanja jasnega vpogleda v finančne in okoljske koristi izkoriščanja bioplina na čistilni napravi. S temi podatki bomo lahko učinkovito komunicirali o prednostih tega trajnostnega energetskega vira in njegovem pozitivnem vplivu na obratovanje CČN Kranj ter okolje. Podatki o porabi električne energije se zbirajo v mesečni evidenci. (Lastni podatki)

4.2 PORABA ELEKTIRIČNE ENERGIJE

V spodnji tabeli je prikazana celotna poraba električne energije na CČN Kranj od leta 2016 do leta 2022. (Lastni podatki)

Leto	Celotna poraba (kWh)
2016	2.372.417
2017	2.453.475
2018	2.215.930
2019	2.196.207
2020	2.333.658
2021	2.179.572
2022	2.038.926

*Tabela 7: Poraba električne energije CČN Kranj
(Lastni vir)*

Povprečna letna poraba električne energije za neprekinjeno delovanje Centralne čistilne naprave Kranj (CČN Kranj) znaša 2.255.741 kilovatnih ur (kWh) na leto. Ta velika poraba

energije je posledica kompleksnih in energetsko zahtevnih procesov, ki potekajo na čistilni napravi. CČN Kranj mora zagotoviti neprekinjeno delovanje številnih strojev, naprav in sistemov. (Lastni podatki)

Zaradi občutljivosti in zaupnosti podatkov v tej diplomski nalogi ne razkrivam natančnih nakupnih cen električne energije. Pomembno je omeniti, da se cene električne energije lahko razlikujejo glede na vrsto in razred (VT in MT) odjemne napetosti ter druge faktorje. Za namen te analize sem upošteval povprečno skupno tarifo, ki je bila pridobljena iz internih evidenc Komunale Kranj in znaša 0,22 evrov na kilovatno uro (EUR/kWh). (Lastni podatki)

S temi podatki smo v spodnji tabeli izvedli simulacijo celotnih stroškov za električno energijo. V tej tabeli so predstavljeni stroški, ki bi nastali, če na CČN Kranj ne bi bilo vzpostavljenega sistema za lastno proizvodnjo električne energije in toplote. (Lastni podatki)

Leto	celotni stroški (€)
2016	521.932
2017	539.765
2018	487.505
2019	483.166
2020	513.405
2021	479.506
2022	448.564

Tabela 8: Stroški
(Lastni vir)

4.2.1 Kupljena električna energija

V spodnji tabeli je prikazana celotna kupljena električna energija na CČN Kranj od leta 2016 do leta 2022. (Lastni podatki)

Leto	Kupljena električna energija(kWh)
2016	1.839.706
2017	1.517.423
2018	1.271.074
2019	1.215.458
2020	1.397.856
2021	1.246.728
2022	1.017.285

Tabela 9: Kupljena električna energija za potrebe CČN Kranj
(Lastni vir)

4.2.1.1 Analiza kupljene električne energije v letu 2022

V spodnji tabeli je prikazan popis porabe skupnega števca CČN Kranj. Števci se popisujejo mesečno. V prvem stolpcu so prikazani presečni dnevi zbiranja podatkov. Drugi in tretji stolpec prikazujeta odčitek števca (I. tarifo in II. tarifo), pri čemer I. tarifa predstavlja VT (večjo dnevno tarifo), kjer števec beleži porabo vsak delovnik od 6.00 do 22.00 ure, II. tarifa pa prikazuje MT (manjšo tarifo), kjer števec beleži porabo vsak delovnik od 22.00 do 6.00 ure ter ob sobotah, nedeljah in drugih dela prostih dnevih.

Četrti in peti stolpec prikazujeta odčitek jalove energije po obeh tarifah. Šesti in sedmi stolpec prikazujeta dejansko porabo po mesecih, pri čemer šesti stolpec prikazuje skupno delovno električno energijo in sedmi stolpec skupno jalovo električno energijo.

Odčitki predstavljajo celotno količino kupljene električne energije Komunale Kranj. Za potrebe analize v diplomski nalogi je v 8., 9., 10. in 11. stolpcu navedena količina električne energije, ki se porablja za druge kapacitete in ne za CČN Kranj. V 13. stolpcu so prikazane mesečne količine električne energije, ki je bila kupljena za delovanje CČN Kranj.

Dodatno je v 12. stolpcu prikazana električna energija, ki jo proizvede sončna elektrarna, ki je nameščena na objektu CČN Kranj. Za potrebe priprave analize v diplomski nalogi in preizkus hipotez je v diplomski nalogi predpostavljeno, da sončna elektrarna glede na količino porabe in proizvodnje električne energije z izrabo bioplina, bistveno ne vpliva na rezultat, saj je količina proizvedene električne energije, ki se letno proizvede z nameščeno sončno elektrarno, sorazmerno majhna (tj. 64.987 kWh).

1.	2.		3.		4.		5.		6.		7.		8.		9.		10.		11.		12.	13.	
	odčitek/ mesec	odčitek delovna I. tarifa	odčitek delovna II. tarifa	odčitek jalova I. tarifa	odčitek jalova II. tarifa	skupaj delovna	skupaj jalova	skupaj delovna	skupaj jalova	odštevalni odčitek	odštevalni skupaj	odštevalni odčitek	odštevalni skupaj	odštevalni odčitek	odštevalni skupaj	odštevalni odčitek	odštevalni skupaj	odštevalni odčitek	odštevalni skupaj	odštevalni odčitek			odštevalni skupaj
	CČN Kranj (skupni števec)																						
1.1.22	5.136.093	4.562.282	1.516.042	1.526.472			190.714			234.107													
1.2.22	5.190.602	4.614.401	1.533.007	1.543.793	106.628	34.286	195.998	5.284	242.754	8.647											92.697	jan	
1.3.22	5.236.618	4.652.756	1.548.210	1.557.777	84.371	29.187	199.913	3.915	249.877	7.123											73.333	feb	
1.4.22	5.285.820	4.694.833	1.564.692	1.572.893	91.279	31.598	203.336	3.423	257.121	7.244											80.612	mar	
1.5.22	5.330.591	4.748.177	1.579.502	1.591.593	98.115	33.510	206.188	2.852	263.262	6.141											89.122	apr	
1.6.22	5.388.812	4.802.872	1.597.280	1.610.414	112.916	36.599	207.399	1.211	268.756	5.494											106.211	maj	
1.7.22	5.460.783	4.861.896	1.619.075	1.629.733	130.995	41.114	208.526	1.127	275.469	6.713											123.155	jun	
1.8.22	5.513.373	4.912.707			103.401		209.672	1.146	282.178	6.709											100.692	jul	
1.9.22	5.545.847	4.952.303			72.070		210.800	1.128	288.191	6.013											90.234	avg	
1.10.22	5.587.153	4.994.083			83.086		212.295	1.495	294.823	6.632											90.912	sep	
1.11.22	5.620.789	5.034.324	1.671.215	1.688.431	73.877	110.838	214.349	2.054	300.275	5.452											79.568	okt	
1.12.22	5.664.148	5.070.753	1.684.991	1.701.798	79.788	27.143	217.459	3.110	306.457	6.182											75.882	nov	
1.1.23	5.710.509	5.115.882	1.700.357	1.718.470	91.490	32.038	221.521	4.062	314.033	7.576											79.952	dec	
skupaj 2022					1.128.016	376.313		30.807		79.926												1.082.270	

Tabela 10: Odčitki merilnega števca
(Lastni vir)

4.1 PROIZVODNJA ELEKTRIČNE ENERGIJE

V spodnji tabeli je prikazana celotna proizvedena električna energija na CČN Kranj od leta 2016 do leta 2022.

leto	Proizvedena električna energija (kWh)
2016	532.711
2017	936.052
2018	944.856
2019	980.749
2020	935.802
2021	932.844
2022	1.021.641

*Tabela 11: Lastna proizvodnja električne energije CČN Kranj
(Lastni vir)*

Povprečje proizvedene električne energije na CČN Kranj od leta 2016 do leta 2022 je 897.808 kWh/ leto in povprečje proizvedene električne energije na CČN Kranj od leta 2017 do leta 2022 je 958.657 kWh/leto. V letu 2016 je bila izvedena nadgradnja CČN Kranj, zato podatki o proizvodnji lastne električne energije ne obsegajo celotnega leta. (Lastni podatki)

4.1.1.1 Analiza proizvodnje električne energije v letu 2022

Mesečno se izvaja popis proizvedene električne energije, ki se uporabi za potrebe delovanja CČN Kranj. Spodnja tabela prikazuje količino proizvedene električne energije po mesecih v letu 2022.

mesec v 2022	lastna proizvodnja (kWh)
januar	92.796
februar	98.570
marec	110.773
april	98.732
maj	83.485
junij	54.267
julij	67.202
avgust	74.545
september	70.786
oktober	85.585

november	89.846
december	95.054
skupaj	1.021.641

Tabela 12: Lastna proizvodnja električne energije CČN Kranj v letu 2022
(Lastni vir)

V letu 2022 je bilo skupno, z uporabo obnovljivih virov energije, proizvedene 1.021.641 kWh električne energije. (Lastni podatki)

5 REZULTATI ANALIZE

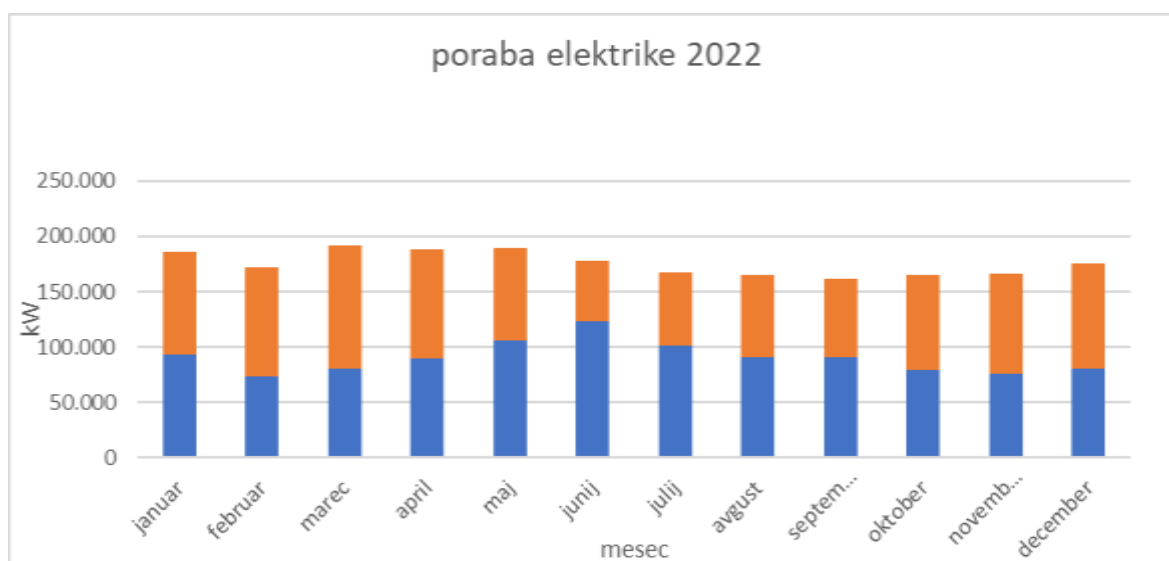
Glede na zbrane prikazane podatke o skupni porabi, kupljeni in proizvedeni električni energiji v letu 2022 sem izračunal odstotek pokritja z lastno proizvedeno električno energijo, pri čemer sem izračunal odstotek od celotne porabe električne energije, ki ga predstavlja lastna proizvedena električna energija ter hkrati kolikšen odstotek električne energije je potrebno dokupiti od distributerja v letu 2022.

mesec v 2022	kupljena (kWh)	lastna proizvodnja (kWh)	skupaj
januar	92.697	92.796	185.493
februar	73.333	98.570	171.903
marec	80.612	110.773	191.385
april	89.122	98.732	187.854
maj	106.211	83.485	189.696
Junij	123.155	54.267	177.422
julij	100.692	67.202	167.894
avgust	90.234	74.545	164.779
september	90.912	70.786	161.698
oktober	79.568	85.585	165.153
november	75.882	89.846	165.728
december	79.852	95.054	174.906
Skupaj	1.082.270	1.021.641	2.103.911
%	51,44	48,56	100

*Tabela 13: Odstotek pokritja z lastno električno energijo za leto 2022
(Lastni vir)*

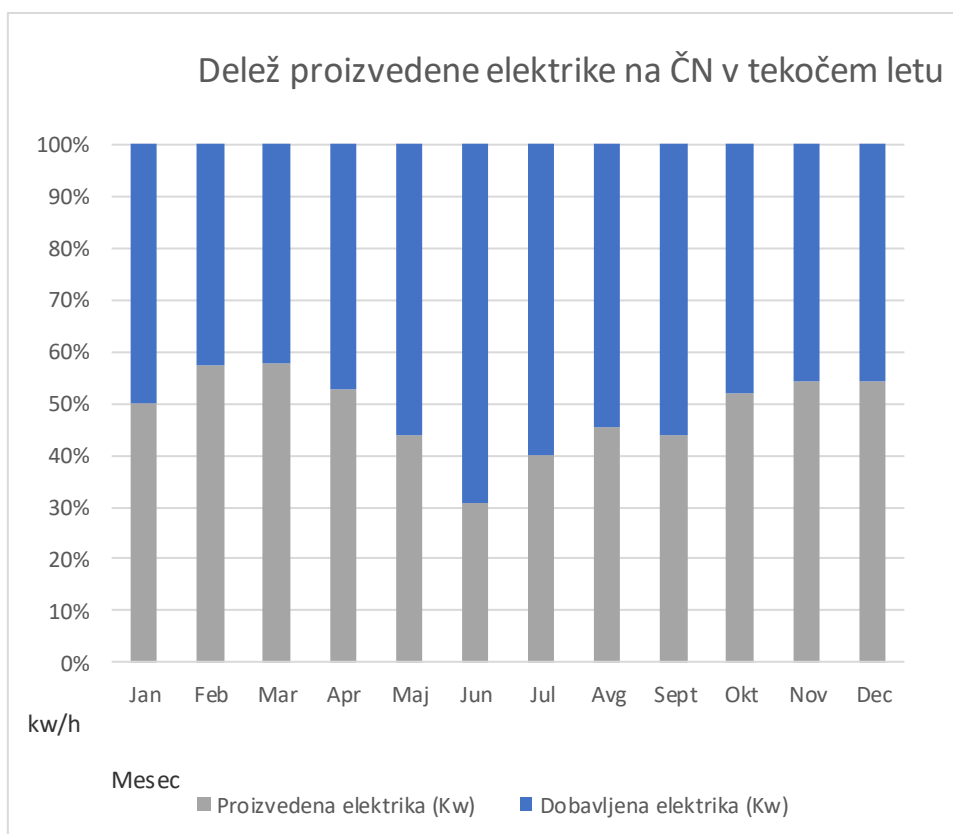
V letu 2022 je znašal odstotek lastno proizvedene električne energije 48,56 % od celotne porabljene električne energije. (Lastni podatki)

V spodnjem grafu je prikazana celotna poraba električne energije, razdeljena na kupljeno električno energijo (modra barva) in lastno proizvedeno električno energijo (oranžna barva).



Slika 2: Poraba elektrike v letu 2022
(Lastni vir)

Največ lastne energije je bilo proizvedene v mesecu februarju, marcu, aprilu, oktobru, novembru in decembru, ko je delež presegal 50 % potrebe. Najmanj lastne energije je bilo proizvedene v juniju, ko je delež znašal nekaj več kot 30 %.(Lasten vir)



Slika 3: Proizvedena električna energija glede na delež v letu 2022
(Lastni vir)

V spodnji tabeli je prikazan delež lastne proizvodnje in delež kupljene električne energije med letoma 2016 in 2022.

Leto	Dobavljena elektrika (Kw)	Proizvedena elektrika (Kw)	Skupaj poraba elektrike (Kw)	Delež lastne proizvodnje	Delež kupljene elektrike
2016	1.839.586	532.711	2.372.297	22,46%	77,54%
2017	1.517.423	936.052	2.453.475	38,15%	61,85%
2018	1.271.074	944.856	2.215.930	42,64%	57,36%
2019	1.215.458	980.749	2.196.207	44,66%	55,34%
2020	1.397.856	935.802	2.333.658	40,10%	59,90%
2021	1.246.728	932.844	2.179.572	42,80%	57,20%
2022	1.082.271	1.021.641	2.103.912	48,56%	51,44%
POVPREČJE	1.367.199	897.808	2.265.007	39,91%	60,09%

Tabela 14: Odstotek pokritja z električno energijo 2016–2022
(Lastni vir)

Povprečen odstotek lastne proizvodnje od leta 2016 znaša 39,91 % od celotne porabljene električne energije na CČN Kranj. V letu 2016 je odstotek manjši, saj podatki o lastni proizvodnji ne obsegajo celotnega koledarskega leta (nadgradnja CČN Kranj je bila izvedena v delu leta 2016), zato spodaj predstavljam še odstotek lastne proizvodnje od leta 2017 do leta 2022, saj so v tem obdobju zajeti podatki za vsa koledarska leta v celoti (365 dni). (Lastni podatki)

Poraba elektrike	Dobavljena elektrika (Kw)	Proizvedena elektrika (Kw)	Skupaj poraba elektrike (Kw)	Delež lastne proizvodnje	Delež kupljene elektrike
2017	1.517.423	936.052	2.453.475	38,15%	61,85%
2018	1.271.074	944.856	2.215.930	42,64%	57,36%
2019	1.215.458	980.749	2.196.207	44,66%	55,34%
2020	1.397.856	935.802	2.333.658	40,10%	59,90%
2021	1.246.728	932.844	2.179.572	42,80%	57,20%
2022	1.082.271	1.021.641	2.103.912	48,56%	51,44%
POVPREČJE	1.288.468	958.657	2.247.126	42,82%	57,18%

Tabela 15: Odstotek pokritja z električno energijo 2017–2022
(Lastni vir)

Povprečen odstotek lastne proizvodnje od leta 2017 do leta 2022 znaša 42,82 % od celotne porabljene električne energije na CČN Kranj. (Lastni podatki)

5.1 ANALIZA PRIHRANKA

Glede na predstavljene podatke sem izračunal prihranek za električno energijo. Pri izračunu je upoštevana povprečna skupna tarifa, ki je povzeta po internih evidencah Komunale Kranj in znaša 0,22 EUR/kWh.

leto	celotna porabljena električna energija	celotni stroški	proizvedena elektrika (Kw)	letni prihranek (€)	zmanjšanje stroškov
2016	2.372.417	521.932	532.711	115.697	22,17%
2017	2.453.475	539.765	936.052	203.296	37,66%
2018	2.215.930	487.505	944.856	205.209	42,09%
2019	2.196.207	483.166	980.749	213.004	44,09%
2020	2.333.658	513.405	935.802	203.242	39,59%
2021	2.179.572	479.506	932.844	202.600	42,25%
2022	2.038.926	448.564	1.021.641	221.885	49,47%

Tabela 16: Letni prihranek
(Lastni vir)

Povprečni letni prihranek ob upoštevanju obdobja od 2016 do 2022 znaša 194.990 € tj. 39,62 % od zneska za celotno porabljeno električno energijo na CČN Kranj. Povprečni letni prihranek ob upoštevanju obdobja od 2017 do 2022 znaša 208.206 € tj. 49,47 % od zneska za celotno porabljeno električno energijo na CČN Kranj. (Lastni podatki)

Stroški vzdrževanja sistema proizvodnje bioplina s kogeneracijo, ki so predstavljeni v poglavju 2.2.1 Stroški obratovanja, znašajo letno 95.000 €. V spodnji tabeli je prikazan prihranek z upoštevanjem stroškov letnega vzdrževanja sistema.

leto	celotni stroški (€)	1. letni prihranek (€)	2. letni stroški vzdrževanja (€)	3. ostali prihranek (€)	4. zmanjšanje stroškov
2016	521.932	115.697	0	115.697	22,17%
2017	539.765	203.296	95.000	108.296	20,06%
2018	487.505	205.209	95.000	110.209	22,61%
2019	483.166	213.004	95.000	118.004	24,42%
2020	513.405	203.242	95.000	108.242	21,08%
2021	479.506	202.600	95.000	107.600	22,44%
2022	448.564	221.885	95.000	126.885	28,29%

Tabela 17: Letni prihranek ob upoštevanju stroškov vzdrževanja
(Lastni vir)

V tabeli je prikazan letni prihranek ob upoštevanju stroškov vzdrževanja sistema za proizvodnjo bioplina s kogeneracijo toplotne energije. V letu 2016 stroškov vzdrževanja nisem upošteval, saj je bil sistem izveden v letu 2016 in tekoči vzdrževalni stroški niso nastali. POTENCIALNE IZBOLJŠAVE ZA PRIDOBIVANJE EL. ENERGIJE

Za doseg boljšega izkoristka na čistilni napravi (CČN) Kranj se lahko izvedejo številne izboljšave, ki bi lahko pozitivno vplivale na energetske učinkovitost in pridobivanje električne energije. Prav zaradi tega sem v svoji diplomski nalogi želel obravnavati tudi potencialne izboljšave, saj CČN Kranj trenutno še ni popolnoma samooskrbna in porabi velike količine električne energije za svoje delovanje. (Kolektor sETup d.o.o, 2022)

Potencialne izboljšave za pridobivanje električne energije na CČN Kranj zajemajo več ključnih vidikov, ki se lahko obravnavajo z namenom povečanja učinkovitosti in trajnosti procesov. Poleg tega je potrebno natančno spremljanje in nadzor nad procesom proizvodnje bioplina ter skrbno uravnoteženje razmerja med električno energijo in toploto, ki se proizvaja. To omogoča, da se maksimira izkoriščenost bioplina za ogrevanje in proizvodnjo električne energije v različnih obratovalnih scenarijih. V prihodnjih letih bo poraba električne energije strmo narasla, saj imamo vedno več električnih vozil. Gradil se bo tudi nov objekt, Center krožnega gospodarstva Zarica, ki bo znatno povečal odjem energije. Velik potencial vidim tudi v gradnji sončnih elektrarn za večjo samooskrbo.

Centralna čistilna naprava Kranj (CČN Kranj) za svoje delovanje porablja razmeroma velike količine energije. Glavna vira energije sta električna energija in zemeljski plin. Poleg tega je CČN Kranj delno samooskrbna z energijo, saj proizvaja lastno energijo s pomočjo energijske infrastrukture, ki je nameščena na objektu.

Bioplin, ki nastane v gnilišču, se uporablja za proizvodnjo električne energije in toplote. To je trajnostna praksa, saj se odpadni materiali uporabljajo za proizvodnjo energije, hkrati pa se zmanjšujejo emisije toplogrednih plinov. (Kolektor sETup d.o.o, 2022)

Manjši del so tudi sončne elektrarne, nameščene na objektih čistilne naprave, in proizvajajo električno energijo iz sončne svetlobe. To je še ena okolju prijazna in obnovljiva metoda za zagotavljanje električne energije. (Komunala Kranj, 2020)

S temi viri energije CČN Kranj prispeva k zmanjšanju svoje odvisnosti od tradicionalnih virov energije, hkrati pa pomaga zmanjšati okoljski odtis in prispeva k trajnostnemu obratovanju.

5.2 MOŽNI UKREPI

5.2.1 Optimizacija delovanja kotla

Optimizacija delovanja kotla na čistilni napravi (CČN) Kranj ima izjemno pomembno vlogo pri zmanjšanju lastne rabe plina in povečanju energetske učinkovitosti, kar posledično izboljšuje izkoristek proizvodnje električne energije. Sistem avtomatizacije in nadzora za kotel omogoča boljše upravljanje s temperaturo in plinsko porabo, kar ima več ključnih vidikov. (Kolektor sETup d.o.o, 2022)

Natančna regulacija temperature in plinske porabe je ključna za učinkovito delovanje kotla. Namestitev takšnega sistema omogoča natančno prilagajanje kotla dejanskim potrebam ogrevanja na CČN, kar preprečuje nepotrebno porabo plina. Pravilno načrtovanje vklopa in izklopa kotla je nujno, saj se tako prepreči delovanje kotla v obdobjih, ko to ni potrebno, kar prispeva k zmanjšanju porabe plina. (Kolektor sETup d.o.o, 2022)

Zmanjšanje rezervne kapacitete kotla, če ni kritična za obratovanje, je še en korak k boljši energetske učinkovitosti. S tem ukrepom se zmanjša nepotrebna poraba plina in poveča celotna energetska učinkovitost. (Kolektor sETup d.o.o, 2022)

Poleg tega bi bilo smiselno preučiti tudi možnosti za izboljšanje energetske učinkovitosti samega kotla. To se lahko doseže z nadgradnjami ali vzdrževalnimi ukrepi, ki zmanjšujejo izgube toplote, kar omogoča boljšo izrabo energije. (Kolektor sETup d.o.o, 2022)

Spremljanje in analiza podatkov o porabi plina in temperaturi sta bistvena za boljše razumevanje porabe ter identifikacijo priložnosti za izboljšanje. Na ta način omogočamo stalno optimizacijo delovanja kotla in skrbimo za energetske učinkovito obratovanje CČN Kranj. Celovit pristop k optimizaciji kotla pripomore k bolj trajnostnemu in ekonomičnemu obratovanju celotne čistilne naprave. (Kolektor sETup d.o.o, 2022)

5.2.2 Povečanje moči kogeneracijskih enot

Povečanje izkoristka in proizvodnje električne energije na čistilni napravi CČN Kranj bi imelo več pozitivnih učinkov na celoten energetske proces in delovanje naprave. Trenutno je delovanje soproizvodnje toplote in električne energije (SPTe) nastavljeno na 90 %, kar pomeni, da obstaja prostor za izboljšave. Povečanje moči delovanja SPTe na najvišjo raven bi omogočilo boljše izkoriščanje razpoložljivih virov, kot je bioplina iz gnilišča. To bi prineslo bolj trajnostno obratovanje, saj bi se zmanjšala potreba po drugih energentih in posledično bi se zmanjšali stroški električne energije. (Kolektor sETup d.o.o, 2022)

Poleg tega bi redno in učinkovito delovanje SPTe prispevalo k stabilnejšemu delovanju naprave. Nihanje moči bi se zmanjšalo, kar bi pripomoglo k boljši energetske učinkovitosti

in podaljšanju življenjske dobe enot. Manjša obremenitev bi zmanjšala obrabo komponent, kar bi zmanjšalo stroške vzdrževanja in zamenjave. To pa bi imelo tudi pozitiven vpliv na okolje, saj bi se zmanjšala potreba po proizvodnji in zamenjavi komponent. (Kolektor sETup d.o.o, 2022)

Hkrati pa bi povečanje proizvodnje električne energije na čistilni napravi prineslo dodatne prihodke. Presežek električne energije bi lahko prodali na trg, kar bi izboljšalo finančno vzdržnost naprave. Skupaj bi ti ukrepi pripomogli k boljšemu delovanju in trajnostnemu upravljanju čistilne naprave CČN Kranj, kar je ključno za zmanjšanje negativnega vpliva na okolje in zmanjšanje stroškov obratovanja. (Kolektor sETup d.o.o, 2022)

5.2.3 Optimizacija gnilišča

Inteligentno vodenje strojnice na čistilni napravi CČN Kranj bi lahko prineslo več pomembnih koristi, predvsem v smislu učinkovitejše proizvodnje biometana in zmanjšanja porabe na bakli. Ena od ključnih prednosti bi bila boljša prilagoditev procesa proizvodnje biometana glede na vhodne parametre, kot je vnos materiala v gnilišče. Na primer, na podlagi trenutne stopnje nasičenosti gnilišča z organskimi snovmi, bi inteligentni sistem lahko prilagodil stopnjo proizvodnje biometana. To bi omogočilo boljšo izrabo razpoložljivega materiala in zmanjšalo potrebo po izgorevanju na bakli. (Kolektor sETup d.o.o, 2022)

Poleg tega bi vključevanje vremenskih napovedi omogočilo načrtovanje obratovanja glede na pričakovane vremenske razmere. Na primer, v obdobjih nizke sončne svetlobe ali močnega deževnega obdobja, ko je proizvodnja bioplina lahko omejena, bi se lahko sistem prilagodil tem pogojem in bolj učinkovito upravljal proizvodnjo in porabo energije. (Kolektor sETup d.o.o, 2022)

Pametno vodenje bi prav tako omogočilo boljše upravljanje procesa razžveplanja in odvajanja bioplina. Sistem bi lahko zaznal potrebo po razžveplanju na podlagi vsebnosti žveplovodika v bioplenu in samodejno prilagodil delovanje biofiltra za odstranjevanje žveplovodika. (Kolektor sETup d.o.o, 2022)

V skupnem rezultatu bi se poraba na bakli zmanjšala, saj bi se izboljšalo celotno energetsko ravnovesje na čistilni napravi. Inteligentno vodenje bi tako prispevalo k bolj trajnostnemu in učinkovitemu obratovanju naprave, kar bi zmanjšalo negativni vpliv na okolje in izboljšalo ekonomske vidike obratovanja. (Kolektor sETup d.o.o, 2022)

6 ZAKLJUČEK

Diplomska naloga je vsebovala več hipotez, katerih verodostojnost in relevantnost sem skušal ovrednotiti na podlagi razpoložljivih podatkov in analiz.

Hipoteza 1: Z izvedbo dodatne linije blata, kjer je vzpostavljena kogeneracija (soproizvodnja) toplotne energije na bioplin, se je zmanjšala količina pregnitega blata, s čemer so se zmanjšali stroški.

Prva hipoteza se nanaša na učinke vzpostavitve dodatne linije za proizvodnjo bioplina s kogeneracijo toplotne energije. Na podlagi raziskave sem ugotovil, da je ta hipoteza potrjena. S postavitvijo nove linije za kogeneracijo se je dejansko zmanjšala količina odvečnega blata na čistilni napravi, kar pa ima neposreden pozitiven učinek na zmanjšanje stroškov, povezanih z odstranjevanjem tega blata. Ta ukrep predstavlja pomemben ekonomski vidik in prispeva k trajnostnemu obratovanju CČN Kranj.

Hipoteza 2: S kogeneracijo se proizvede več kot polovica električne energije, ki je potrebna za delovanje CČN Kranj.

Druga hipoteza se nanaša na delež proizvedene električne energije s pomočjo kogeneracije glede na skupno porabo električne energije na čistilni napravi. Na osnovi analize podatkov sem zavrnil to hipotezo. Delež električne energije, ki jo proizvede kogeneracija, predstavlja manj kot polovico celotne porabe električne energije na CČN Kranj. To poudarja, da čistilna naprava še vedno potrebuje zunanji vir električne energije, kljub svoji lastni proizvodnji.

Hipoteza 3: Stroški za vzdrževanje sistema za proizvodnjo bioplina s kogeneracijo predstavljajo manj kot polovico prihranka, ki nastane na podlagi pridobivanja lastne električne energije in toplote.

Tretja hipoteza se osredotoča na stroške vzdrževanja sistema za proizvodnjo bioplina s kogeneracijo v primerjavi s prihrankom, ki ga prinaša lastna proizvodnja električne energije in toplote. Analiza podatkov potrjuje to hipotezo. Stroški vzdrževanja sistema za proizvodnjo bioplina predstavljajo manj kot polovico prihranka, ki ga prinaša proizvodnja lastne električne energije in toplote. To nakazuje, da so investicije v kogeneracijo donosne in dolgoročno ekonomsko koristne.

Poleg tega sem v okviru te diplomske naloge obravnaval tudi potencialne izboljšave v delovanju sistema. Izboljšave vključujejo optimizacijo delovanja kotla za zmanjšanje porabe plina, kar prispeva k večji energetske učinkovitosti. Prav tako sem dodatno obravnaval inteligentno vodenje sistema, ki bi temeljilo na vnosu materiala v gnilišče,

vremenski napovedi in drugih relevantnih podatkih, kar bi dodatno zmanjšalo porabo na bakli.

Celoten proces in bodoči projekti predstavljajo pomemben korak v smeri trajnostnega obratovanja čistilnih naprav in učinkovite rabe virov. V diplomski nalogi sem poudaril pomen uporabe obnovljivih virov energije in trajnostnih pristopov v obratovanju infrastrukture za čiščenje odpadnih vod. Potencial za nadaljnje izboljšave ostaja ključen vidik za prihodnost, saj lahko dodatne optimizacije še povečajo učinkovitost sistema in ekonomske koristi.

7 VIRI IN LITERATURA

Agencija za energijo. (2014). *Poročila o stanju na področju energetike v Sloveniji*. Maribor. Pridobljeno 19. 9. 2023 z naslova <https://www.agen-rs.si/izvajalci/plin/bioplín>.

Borzen, d. o. o. (2023). *Vse o obnovljivih virih energije*. Ljubljana. Pridobljeno 19. 9. 2023 z naslova: <https://www.trajnostnaenergija.si/Trajnostna-energija/Proizvajajte/Obnovljivi-viri-energije/Vse-o-obnovljivih-virih-energije/kaj-so-obnovljivi-viri-energije>.

Hvala, N., Vrečko, D. in Vrančič, D. (2019). *Analiza obratovalnih parametrov in predlogi za nastavitve le-teh za izboljšanje delovanja CČN Kranj* (Raziskovalno poročilo). Ljubljana: Inštitut Jože Stefan.

Inštitut za ekološki inženiring d.o.o., (2015) *Projekt za izvedbo: Centralna čistilna naprava Kranj nadgradnja*. Neobjavljeno delo.

JP CČN Domžale-Kamnik d.o.o., Domžale. *Anaerobno biološko čiščenje*. Pridobljeno 19. 9. 2023 z naslova: <https://www.ccn-domzale.si/index.php/sl/ciscenje-odpadne-vode/anaerobno-biolosko-ciscenje>.

Klimasol, storitve in inženiring d.o.o. (2015). *Stikalna naprava in krmilni sistem*. Neobjavljeno delo.

Kolektor sETup d.o.o. (2022). *Študija umestitve nove energetske infrastrukture*. Ljubljana Šentvid. Neobjavljeno delo.

Komunala Kranj d.o.o. (2023). *Centralna čistilna naprava Kranj*. Kranj. Pridobljeno 19. 9. 2023 iz naslova: <https://www.komunala-kranj.si/ravnanje-z-odpadnimi-vodami/centralna-cistilna-naprava>.

Komunala Kranj. (2020). *Letno poročilo 2020: Odvajanje in čiščenje odpadne vode*. Kranj. Pridobljeno 19. 9. 2023 z naslova: https://www.komunala-kranj.si/documents/komunala-kranj/Komunala-Kranj/Letno-porocilo-2020_www.pdf.

Šalej, S. (2009). *Načrtovanje integriranega ravnanja z odpadnimi blati in biorazgradljivimi odpadki v Gorenjski regiji*. Magistrsko delo, Ljubljana: Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. Pridobljeno 19. 9. 2023 z naslova <https://core.ac.uk/download/pdf/12089104.pdf>.

Tecon textile constructions GmbH. (2015). *Projekt za izvedbo: Plinohram*. Avstrija. Neobjavljeno delo.

Teodorita Al Seadi, D. R. et al. (2010). *Priročnik o bioplinu*. Ljubljana: Agencija za prestrukturiranje energetike d.o.o.