

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta
za gradbeništvo
in geodezijo



Jamova cesta 2
1000 Ljubljana, Slovenija
<http://www3.fgg.uni-lj.si/>

DRUGG – Digitalni repozitorij UL FGG
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

To je izvirna različica zaključnega dela.

Prosimo, da se pri navajanju sklicujete na bibliografske podatke, kot je navedeno:

Juvan, M., 2016. Raziskava optimizacije delovanja Centralne čistilne naprave Zagorje ob Savi. Magistrsko delo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Drev, D., somentorica Kolbl, S.): 100 str.

Datum arhiviranja: 01-09-2016

University
of Ljubljana

Faculty of
Civil and Geodetic
Engineering



Jamova cesta 2
SI – 1000 Ljubljana, Slovenia
<http://www3.fgg.uni-lj.si/en/>

DRUGG – The Digital Repository
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

This is original version of final thesis.

When citing, please refer to the publisher's bibliographic information as follows:

Juvan, M., 2016. Raziskava optimizacije delovanja Centralne čistilne naprave Zagorje ob Savi. Master Thesis. Ljubljana, University of Ljubljana, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Drev, D., co-supervisor Kolbl, S.): 100 pp.

Archiving Date: 01-09-2016

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta za
*gradbeništvo in
geodezijo*



Jamova 2
1000 Ljubljana, Slovenija
telefon (01) 47 68 500
faks (01) 42 50 681
fgg@fgg.uni-lj.si

**MAGISTRSKI ŠTUDIJSKI
PROGRAM DRUGE STOPNJE
VODARSTVO IN OKOLJSKO
INŽENIRSTVO**

Kandidatka:

MATEJA JUVAN

**RAZISKAVA OPTIMIZACIJE DELOVANJA
CENTRALNE ČISTILNE NAPRAVE ZAGORJE OB SAVI**

Magistrsko delo št.: 11/II.VOI

**RESEARCH OF THE OPERATION OPTIMIZATION OF
THE CENTRAL WASTEWATER TREATMENT PLANT
ZAGORJE OB SAVI**

Graduation – Master Thesis No.: 11/II.VOI

Mentor:

doc. dr. Darko Drev

Somentorica:

asist. dr. Sabina Kolbl

Ljubljana, 30. 08. 2016

STRAN ZA POPRAVKE

Stran z napako	Vrstica z napako	Namesto	Naj bo

IZJAVE

Spodaj podpisana študentka Mateja Juvan, vpisna številka 26450022, avtorica pisnega zaključnega dela študija z naslovom: Raziskava optimizacije delovanja Centralne čistilne naprave Zagorje ob Savi,

IZJAVLJAM

1. Obkrožite eno od variant a) ali b)

- a) da je pisno zaključno delo študija rezultat mojega samostojnega dela;
- b) da je pisno zaključno delo študija rezultat lastnega dela več kandidatov in izpolnjuje pogoje, ki jih Statut UL določa za skupna zaključna dela študija, ter je v zahtevanem deležu rezultat mojega samostojnega dela;

2. da je tiskana oblika pisnega zaključnega dela študija istovetna elektronski obliki pisnega zaključnega dela študija;

3. da sem pridobila vsa potrebna dovoljenja za uporabo podatkov in avtorskih del v pisnem zaključnem delu študija in jih v pisnem zaključnem delu študija jasno označila;

4. da sem pri pripravi pisnega zaključnega dela študija ravnala v skladu z etičnimi načeli in, kjer je to potrebno, za raziskavo pridobila soglasje etične komisije;

5. soglašam, da se elektronska oblika pisnega zaključnega dela študija uporabi za preverjanje podobnosti vsebine z drugimi deli s programsko opremo za preverjanje podobnosti vsebine, ki je povezana s študijskim informacijskim sistemom članice;

6. da na UL neodplačno, neizključno, prostorsko in časovno neomejeno prenašam pravico shranitve avtorskega dela v elektronski obliki, pravico reproduciranja ter pravico dajanja pisnega zaključnega dela študija na voljo javnosti na svetovnem spletu preko Repozitorija UL;

7. da dovoljujem objavo svojih osebnih podatkov, ki so navedeni v pisnem zaključnem delu študija in tej izjavi, skupaj z objavo pisnega zaključnega dela študija.

V: Ljubljana

Datum: 10. 8. 2016

Podpis študentke:

BIBLIOGRAFSKO–DOKUMENTACIJSKA STRAN Z IZVLEČKOM

UDK:	328.34:628.355(497.4)(043)
Avtor:	Mateja Juvan
Mentor:	doc. dr. Darko Drev
Somentorica:	asist. dr. Sabina Kolbl
Naslov:	Raziskava optimizacije delovanja Centralne čistilne naprave Zagorje ob Savi
Tip dokumenta:	magistrsko delo – univerzitetni študij
Obseg in oprema:	100 str., 31 pregl., 26 sl., 11 graf., 35 en., 6 pril.
Ključne besede:	odpadne vode, biološko čiščenje, presežno biološko blato, biometanski potencial, anaerobno presnovališče

Izvleček

V teoretičnem delu magistrske naloge smo najprej povzeli zakonodajo s področja odvajanja in čiščenja odpadnih voda. Sledi opis biološkega čiščenja odpadnih voda in predstavitev različnih sistemov za biološko čiščenje odpadnih voda. Predstavili smo možne načine ravnanja s presežnim biološkim blatom, ki kot neizogiben stranski produkt nastaja pri biološkem čiščenju odpadnih voda. Teoretični del smo zaključili z opisom sistema odvajanja in čiščenja odpadnih voda v občini Zagorje ob Savi, pri čemer smo se osredotočili na proces čiščenja odpadnih voda na Centralni čistilni napravi Zagorje ob Savi.

V eksperimentalnem delu smo na laboratorijskih SBR reaktorjih izvedli simulacijo delovanja realnega SBR reaktorja Centralne čistilne naprave Zagorje ob Savi. Z laboratorijskimi SBR reaktorji smo najprej ugotavljali, kako čas prezračevanja SBR reaktorjev vpliva na učinek čiščenja odpadne vode, nato pa smo učinke čiščenja odpadne vode laboratorijskih SBR reaktorjev primerjali z učinki čiščenja odpadne vode realnega SBR reaktorja Centralne čistilne naprave Zagorje ob Savi. Z napravo Automatic Methane Potential Test System II (AMPTS II) smo določili biometanski potencial presežnega biološkega blata Centralne čistilne naprave Zagorje ob Savi za dve različni organski obremenitvi v mezofilnem temperaturnem območju pri temperaturi 38 °C in v termofilnem temperaturnem območju pri temperaturi 55 °C. Na podlagi dobljenih rezultatov testa biometanskega potenciala smo analizirali smotnost postavitve anaerobnega presnovališča. V zaključku magistrskega dela smo podali ugotovitve in možne predloge.

BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT

UDC: 328.34:628.355(497.4)(043)
Author: Mateja Juvan
Supervisor: Assist. Prof. Darko Drev, Ph.D.
Cosupervisor: Sabina Kolbl, Ph.D.
Title: Research of the Operation Optimization of the Central Wastewater Treatment Plant Zagorje ob Savi
Document type: Master Thesis – University study
Scope and tools: 100 p., 31 tab., 26 fig., 11 graph., 35 eq., 6 ann.
Keywords: wastewater, biological treatment, biological excess sludge, biomethane potencial, anaerobic digester

Abstract

In the theoretical part of the Master's thesis we first summarized the legislation about the disposal and treatment of wastewaters. After this, there is a description of biological wastewater treatments and a presentation of the various systems for biological wastewater treatment. We presented the possible ways to deal with biological excess sludge, which appears as an inevitable side product of biological wastewater treatment. The theoretical part ends with a description of the system of disposal and treatment of wastewaters in the Municipality Zagorje ob Savi, where we focused on the process of wastewater treatment at the Central Wastewater Treatment Plant Zagorje ob Savi.

In the experimental part we performed a simulation of the activity of the SBR reactor of the Central Wastewater Treatment Plant Zagorje ob Savi on the laboratory's SBR reactors. With the laboratory's SBR reactors we first established how the ventilation time of the SBR reactors influence the effects of the wastewater treatment and then we compared the effects of the wastewater treatment of the laboratory's SBR reactors with the effects of the wastewater treatment of the real SBR reactor of the Central Wastewater Treatment Plant Zagorje ob Savi. With the Automatic Methane Potential Test System II (AMPTS II) device we established the biomethane potential of the biological excess sludge of the Central Wastewater Treatment Plant Zagorje ob Savi for two different organic loads, in a mesophilic temperature zone at 38 °C and in a thermophilic temperature zone at 55 °C. On the basis of the obtained results of the biomethane potential test we analysed the expediency of setting up an anaerobic digester. In the conclusion of the thesis we introduced our findings and possible suggestions.

ZAHVALA

Za strokovno pomoč pri izdelavi magistrskega dela se zahvaljujem mentorju doc. dr. Darku Drevu in somentorici asist. dr. Sabini Kolbl.

Za sodelovanje pri izdelavi magistrskega dela se zahvaljujem Blanki Povše, vodji Centralne čistilne naprave Zagorje ob Savi.

Zahvalila bi se tudi družini in prijateljem za vso podporo v času študija in med nastajanjem magistrskega dela.

KAZALO VSEBINE

STRAN ZA POPRAVKE.....	I
IZJAVE	II
BIBLIOGRAFSKO–DOKUMENTACIJSKA STRAN Z IZVLEČKOM	III
BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT.....	IV
ZAHVALA	V
KAZALO VSEBINE	VI
KAZALO PREGLEDNIC	IX
KAZALO GRAFIKONOV.....	XI
KAZALO SLIK	XII
KAZALO PRILOG	XIII
OKRAJŠAVE IN SIMBOLI	XIV
1 UVOD	1
1.1 Splošno	1
1.2 Struktura magistrskega dela.....	1
2 ZAKONODAJA NA PODROČJU ODVAJANJA IN ČIŠČENJA KOMUNALNIH ODPADNIH VODA.....	3
2.1 Zakonodaja Evropske unije	3
2.2 Zakonodaja Republike Slovenije.....	4
2.2.1 Uredba o emisiji snovi in toplote pri odvajanju odpadnih voda v vode in javno kanalizacijo	4
2.2.2 Uredba o odvajanju in čiščenju komunalne odpadne vode.....	5
2.2.3 Predpisi s področja ravnanja z odpadki, ki nastanejo na čistilnih napravah.....	5
2.3 Najboljša razpoložljiva tehnologija	9
3 BIOLOŠKO ČIŠČENJE ODPADNIH VODA	11
3.1 Oksidacija organskih snovi.....	13
3.2 Biološko odstranjevanje hranil	14
3.2.1 Biološko odstranjevanje dušika	14
3.2.2 Biološko odstranjevanje fosforja	16
4 SISTEMI ZA BIOLOŠKO ČIŠČENJE ODPADNIH VODA	18
4.1 Sistemi z razpršeno biomaso	18
4.1.1 Aktivno blato	19
4.1.2 Konvencionalni pretočni sistem z aktivnim blatom	19
4.1.3 SBR reaktor	22
4.1.4 MBR reaktor	28
4.2 Sistemi s pritrjeno biomaso	29
4.2.1 Biofilm.....	29

4.2.2	Precejalniki.....	30
4.2.3	Rotirajoči biološki kontaktor.....	33
4.2.4	Biofiltri.....	35
4.3	Hibridni sistemi.....	37
4.3.1	Reaktor s plavajočimi nosilci biomase (MBBR reaktor).....	37
5	NAČINI RAVNANJA S PRESEŽNIM BIOLOŠKIM BLATOM.....	39
5.1	Uporaba svežega ali predelanega biološkega blata v kmetijstvu.....	40
5.2	Biološka stabilizacija blata.....	40
5.2.1	Anaerobna stabilizacija blata.....	41
5.2.2	Aerobna stabilizacija blata.....	41
5.2.3	Hibridni postopki anaerobno-aerobne obdelave blata.....	42
5.3	Toplotna stabilizacija blata.....	43
5.3.1	Sežig blata.....	43
5.3.2	Sosežig blata.....	43
5.3.3	Novi postopki toplotne obdelave blata.....	44
5.4	Uporaba blata kot surovine.....	44
6	ODVAJANJE IN ČIŠČENJE KOMUNALNIH IN PADAVINSKIH ODPADNIH VODA V OBČINI ZAGORJE OB SAVI.....	46
6.1	Odvajanje in čiščenje komunalnih in padavinskih odpadnih voda v naseljih Kisovec in Zagorje ob Savi.....	47
7	CENTRALNA ČISTILNA NAPRAVA ZAGORJE OB SAVI.....	50
7.1	Prispevno področje in obremenitev naprave.....	50
7.2	Tehnološki postopek čiščenja.....	51
7.2.1	Grobe elektromotorne grablje.....	52
7.2.2	Mehansko predčiščenje.....	52
7.2.3	SBR reaktorja.....	53
7.2.4	Merilnik pretoka in kontrolni jašek iztoka.....	55
7.2.5	Sistem za obarjanje fosforja.....	56
7.2.6	Aerobna stabilizacija in strojno zgoščanje presežnega blata.....	56
7.2.7	Postaja za sprejem in obdelava gošč iz greznic in presežnega blata iz MČN.....	58
7.2.8	Kemični filter.....	59
7.2.9	Kompresorska postaja in prostor elektroagregata.....	59
7.2.10	Interno črpališče.....	59
7.2.11	Tehnološka shema procesa čiščenja odpadne vode.....	60
8	MATERIALI IN METODE DELA.....	62
8.1	Analizne metode.....	62

8.1.1	Določanje temperature, pH vrednosti, koncentracije raztopljenega kisika in nasičenosti s kisikom.....	62
8.1.2	Določanje suhe in organske snovi	62
8.1.3	Določanje kemijske potrebe po kisiku.....	64
8.1.4	Določanje biokemijske potrebe po kisiku.....	65
8.1.5	Določanje amonijevega dušika	66
8.1.6	Določanje nitratnega dušika	67
8.1.7	Določanje nitritnega dušika	67
8.1.8	Določanje ortofosfata	68
8.2	Simulacija delovanja realnega SBR reaktorja CČN Zagorje ob Savi na laboratorijskem SBR reaktorju.....	68
8.2.1	Sestava laboratorijskega SBR reaktorja in izvedba poskusa 1 in 2	69
8.3	Merjenje biometanskega potenciala presežnega biološkega blata CČN Zagorje ob Savi	70
8.3.1	AMPTS II – Automatic Methane Potential Test System II	70
8.3.2	Priprava inokuluma in substrata	71
8.3.3	Priprava 3 M raztopine NaOH in steklenic za fiksacijo CO ₂	71
8.3.4	Priprava anaerobnih reaktorjev AMPTS II.....	72
8.3.5	Izračun BMP	73
9	REZULTATI.....	75
9.1	Rezultati monitoringa odpadnih voda CČN Zagorje ob Savi 2/12 – 2016.....	75
9.2	Laboratorijski SBR reaktor – rezultati poskusa 1 in 2.....	77
9.3	Primerjava učinkov čiščenja odpadne vode laboratorijskega SBR reaktorja in realnega SBR reaktorja CČN Zagorje ob Savi	79
9.4	Določanje biometanskega potenciala presežnega blata CČN Zagorje ob Savi	80
9.4.1	Celokupni volumen proizvedenega biometana.....	80
9.4.2	Biometanski potencial	83
9.4.3	Dnevna proizvodnja biometana	85
9.4.4	Rezultati določanja suhe in organske snovi pregnitega blata	87
9.5	Analiza smotrnosti postavitve anaerobnega presnovališča CČN Zagorje ob Savi	88
10	ZAKLJUČEK	94

VIRI

SEZNAM PRILOG

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Osnovni podatki o Čistilni napravi Zagorje ob Savi – Kotredež.....	47
Preglednica 2: Emisije v vode iz Čistilne naprave Zagorje ob Savi – Kotredež.....	48
Preglednica 3: Rekapitulacija obremenitve CČN Zagorje ob Savi	51
Preglednica 4: Obremenitev CČN Zagorje ob Savi	51
Preglednica 5: Karakteristike grobih elektromotornih grabelj	52
Preglednica 6: Karakteristike tipske kombinirane naprave za mehansko predčiščenje	53
Preglednica 7: Karakteristike SBR reaktorjev.....	55
Preglednica 8: Karakteristike sistema za obarjanje fosforja	56
Preglednica 9: Karakteristike zgoščevalca in zalogovnika blata.....	57
Preglednica 10: Karakteristike centrifuge za stojno zgoščanje blata	58
Preglednica 11: Karakteristike naprave za sprejem gošč	58
Preglednica 12: Karakteristike kemičnega filtra	59
Preglednica 13: Karakteristike kompresorske postaje in elektroagregata.....	59
Preglednica 14: Karakteristike internega črpališča	60
Preglednica 15: Določitev volumna polnjenja v odvisnosti od pričakovane vrednosti BPK ₅	66
Preglednica 16: Vrednosti parametrov substrata.....	71
Preglednica 17: Sestava anaerobnih reaktorjev.....	72
Preglednica 18: Rezultati analiz odpadnih voda CČN Zagorje ob Savi.....	75
Preglednica 19: Učinek čiščenja odpadnih voda CČN Zagorje ob Savi	75
Preglednica 20: Rezultati analiz vzorcev odpadne vode, aktivnega blata in supernatanta aktivnega blata	77
Preglednica 21: Rezultati občasnih meritev temperature, pH vrednosti, koncentracije kisika in nasičenosti s kisikom v laboratorijskih SBR reaktorjih pri poskusu 1	78
Preglednica 22: Rezultati občasnih meritev temperature, pH vrednosti, koncentracije kisika in nasičenosti s kisikom v laboratorijskih SBR reaktorjih pri poskusu 2	78
Preglednica 23: Primerjava rezultatov vtoka neočiščene odpadne vode in iztoka očiščene odpadne vode iz laboratorijskih SBR reaktorjev pri poskusu 1 in 2	78
Preglednica 24: Učinek čiščenja laboratorijskih SBR reaktorjev pri poskusu 1 in 2	79
Preglednica 25: Celokupni volumen proizvedenega metana v anaerobnih reaktorjih zaradi dodanega substrata v mezofilnem temperaturnem območju pri temperaturi 38 °C in v termofilnem temperaturnem območju pri temperaturi 55 °C.....	82
Preglednica 26: Biometanski potencial presežnega blata CČN Zagorje ob Savi.....	85
Preglednica 27: Rezultati določanja suhe in organske snovi vzorcev pregnitega blata (digestata) po anaerobni razgradnji.....	88
Preglednica 28: Energetska bilanca proizvedene energije v napravi SPTE	91

Preglednica 29: Letni obratovalni in vzdrževalni stroški anaerobnega presnovališča	92
Preglednica 30: Energetska bilanca.....	92
Preglednica 31: Struktura prihodkov in stroškov anaerobnega presnovališča na letnem nivoju.....	93

KAZALO GRAFIKONOV

Grafikon 1: On-line meritve kisika v SBR reaktorjih CČN Zagorje ob Savi v času 24-urnega reprezentativnega vzorčenja v okviru monitoringa odpadnih voda	76
Grafikon 2: On-line meritve temperature v SBR reaktorjih CČN Zagorje ob Savi v času 24-urnega reprezentativnega vzorčenja v okviru monitoringa odpadnih voda	76
Grafikon 3: Celokupni volumen proizvedenega metana v anaerobnih reaktorjih zaradi dodanega substrata v mezofilnem temperaturnem območju pri temperaturi 38 °C	81
Grafikon 4: Celokupni volumen proizvedenega metana v anaerobnih reaktorjih zaradi dodanega substrata v termofilnem temperaturnem območju pri temperaturi 55 °C.....	81
Grafikon 5: Celokupni volumen proizvedenega metana v anaerobnih reaktorjih zaradi dodanega substrata v mezofilnem temperaturnem območju pri temperaturi 38 °C in v termofilnem temperaturnem območju pri temperaturi 55 °C.....	82
Grafikon 6: BMP, izražen na OS substrata posameznega anaerobnega reaktorja v mezofilnem temperaturnem območju pri temperaturi 38 °C.....	83
Grafikon 7: BMP, izražen na OS substrata posameznega anaerobnega reaktorja v termofilnem temperaturnem območju pri temperaturi 55 °C.....	84
Grafikon 8: BMP, izražen na OS substrata posameznega anaerobnega reaktorja v mezofilnem temperaturnem območju pri temperaturi 38 °C in v termofilnem temperaturnem območju pri temperaturi 55 °C	84
Grafikon 9: Dnevna proizvodnja biometana v anaerobnih reaktorjih zaradi dodanega substrata v mezofilnem temperaturnem območju pri temperaturi 38 °C.....	86
Grafikon 10: Dnevna proizvodnja biometana v anaerobnih reaktorjih zaradi dodanega substrata v termofilnem temperaturnem območju pri temperaturi 55 °C	86
Grafikon 11: Dnevna proizvodnja biometana v anaerobnih reaktorjih zaradi dodanega substrata v mezofilnem temperaturnem območju pri temperaturi 38 °C in termofilnem temperaturnem območju pri temperaturi 55 °C	87

KAZALO SLIK

Slika 1: Shema metabolizma aerobnih heterotrofnih bakterij	12
Slika 2: Shema metabolizma aerobnih avtotrofnih bakterij	12
Slika 3: Shema metabolizma fakultativnih anaerobnih bakterij	12
Slika 4: Shema metabolizma anaerobnih heterotrofov	13
Slika 5: Poenostavljen prikaz biološkega odstranjevanja fosforja	17
Slika 6: Shema konvencionalnega pretočnega sistem z aktivnim blatom	20
Slika 7: Shema popolnoma premešanega reaktorja in časovna odvisnost koncentracije organske snovi v popolnoma premešanem reaktorju.....	21
Slika 8: Shema čepastega reaktorja in časovna odvisnost koncentracije organske snovi v čepastem reaktorju.....	22
Slika 9: Shema delovanja SBR reaktorja – en cikel	23
Slika 10: Vertikalni sloji biofilma	30
Slika 11: Precejalnik.....	31
Slika 12: Rotirajoči biološki kontaktor.....	33
Slika 13: Delitev biofiltrrov glede na vstop odpadne vode.....	37
Slika 14: MBBR reaktor	38
Slika 15: Občina Zagorje ob Savi.....	46
Slika 16: CCN Zagorje ob Savi	50
Slika 17: Tehnološka shema procesa čiščenja na CCN Zagorje ob Savi – linija vode.....	60
Slika 18: Tehnološka shema procesa čiščenja na CCN Zagorje ob Savi – linija blata.....	61
Slika 19: Žarilna peč Aurodent TYP 4206	63
Slika 20: Eksikator s silikagelom	63
Slika 21: Sušilnik Thermo Scientific Heraeus Function Line T6.....	63
Slika 22: Analitska tehtnica Mettler Toledo AL 204.....	63
Slika 23: Določanje BPK_5	66
Slika 24: Merjenje fizikalno-kemijskih parametrov s prenosnim dvokanalnim multimetrom Hach Lange HQ40D	70
Slika 25: Določanje BMP presežnega blata CCN Zagorje ob Savi.....	73
Slika 26: Shema anaerobnega presnovališča	89

KAZALO PRILOG

Priloga A: Splošne mejne vrednosti emisij toplote in snovi v vode in javno kanalizacijo.....	II
Priloga B: Mejne vrednosti emisije snovi pri odvajanju odpadne vode iz komunalnih čistilnih naprav in malih komunalnih čistilnih naprav	III
Priloga C: Mejne vrednosti težkih kovin določene z Uredbo o uporabi blata iz komunalnih čistilnih naprav v kmetijstvu	IV
Priloga D: Mejne vrednosti za kompost in digestat ter mejne vrednosti vnosa nevarnih snovi v tla.....	V
Priloga E: Mejne vrednost za vsebnost nevarnih snovi v odpadkih iz biomase.....	VIII
Priloga F: Poročilo o monitoringu odpadnih vod CCN Zagorje 2/12 – 2016	IX

OKRAJŠAVE IN SIMBOLI

AMPTS II	Automatic Methane Potential Test System II
ATV	Inženirske smernice nemškega združenja za gospodarjenje z vodo (<i>Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V.</i>)
BAT	Najboljša razpoložljiva tehnologija (<i>Best Available Techniques</i>)
BMP	Biometanski potencial
BREF	BAT referenčni dokument (<i>Best Available Techniques Reference Document</i>)
BPK ₅	Biokemijska potreba po kisiku
CČN	Centralna čistilna naprava
EU	Evropska unija
HRT	Hidravlični zadrževalni čas
IPPC direktiva	Direktiva o celovitem preprečevanju in nadzorovanju onesnaževanja (<i>Integrated Pollution Protection and Control Directive</i>)
IZH	Inštitut za zdravstveno hidrotehniko
KČN	Komunalna čistilna naprava
KPK	Kemijska potreba po kisiku
MBBR reaktor	Reaktor s plavajočimi nosilci biomase
MBR reaktor	Membranski biološki reaktor
MČN	Mala čistilna naprava
OS	Organska snov
PAO	Fosfat akumulacijski organizmi
RS	Republika Slovenija
SBR reaktor	Šaržni biološki reaktor
SPTE	Naprava za sproizvodnjo toplotne in električne energije
SRT	Zadrževani čas blata oziroma starost blata
SS	Suha snov
TOC	Celotni organski ogljik
VDI	Inženirske smernice združenja nemških inženirjev (<i>Verein Deutscher Ingenieure</i>)
0 [38 °C]	Oznaka za dve paralelni ponovitvi – anaerobna reaktorja številka 1 in 2, ki predstavljata slepi kontroli pri segrevanju v mezofilnem temperaturnem območju pri temperaturi 38 °C
0 [55 °C]	Oznaka za dve paralelni ponovitvi – anaerobna reaktorja številka 8 in 9, ki predstavljata slepi kontroli pri segrevanju v termofilnem temperaturnem območju pri temperaturi 55 °C

- 1 [38 °C] Oznaka za dve paralelni ponovitvi – anaerobna reaktorja številka 3 in 4, ki smo jima dodali 21 ml substrata in ju segrevali v mezofilnem temperaturnem območju pri temperaturi 38 °C
- 1 [55 °C] Oznaka za dve paralelni ponovitvi – anaerobna reaktorja številka 10 in 11, ki smo jima dodali 21 ml substrata in ju segrevali v termofilnem temperaturnem območju pri temperaturi 55 °C
- 2 [38 °C] Oznaka za dve paralelni ponovitvi – anaerobna reaktorja številka 5 in 6, ki smo jima dodali 28 ml substrata in ju segrevali v mezofilnem temperaturnem območju pri temperaturi 38 °C
- 2 [55 °C] Oznaka za dve paralelni ponovitvi – anaerobna reaktorja številka 12 in 13, ki smo jima dodali 28 ml substrata in ju segrevali v termofilnem temperaturnem območju pri temperaturi 55 °C
- 3 [38 °C] Oznaka za anaerobni reaktor številka 7, ki smo mu dodali 3 g glukoze in predstavlja pozitivno kontrolo pri segrevanju v mezofilnem temperaturnem območju pri temperaturi 38 °C
- 3 [55 °C] Oznaka za anaerobni reaktor številka 14, ki smo mu dodali 3 g glukoze in predstavlja pozitivno kontrolo pri segrevanju v termofilnem temperaturnem območju pri temperaturi 55 °C

»Ta stran je namenoma prazna.«

1 UVOD

1.1 Splošno

Voda je vir življenja ter nosilec vseh bioloških procesov, ki potekajo na našem planetu [1]. Poleg oskrbe z zdravstveno ustrezno pitno vodo moramo zagotoviti tudi odvajanje in čiščenje onesnaženih odpadnih voda ter urejen način obdelave in odstranjevanja odpadkov, ki pri tem nastajajo [2].

Odpadne vode so vode, onesnažene zaradi antropogene dejavnosti. Odpadne vode delimo na tri glavne skupine, in sicer na komunalne, tehnološke in padavinske odpadne vode. Komunalne odpadne vode nastajajo predvsem zaradi uporabe vode pri vsakodnevnih dejavnostih prebivalstva v gospodinjstvih (kuhanje, pomivanje, pranje, umivanje, sanitarije in podobno). Sem poleg odpadnih voda iz gospodinjstev spadajo tudi odpadne vode iz drugih dejavnosti (kmetijstvo, industrija, turizem in tako naprej), če so po nastanku in sestavi podobne odpadnim vodam iz gospodinjstev. Tehnološke odpadne vode so katerekoli odpadne vode, ki se odvajajo iz objektov za gospodarske in industrijske namene ter niso komunalne ali padavinske odpadne vode. Pri padavinskih odpadnih vodah ne gre za vse vode, ki nastanejo zaradi padavin, temveč le za tisti del padavinskih voda, ki odtekajo z uporabnih površin (cestišča, parkirišča, dvorišča, strehe in podobno) [2].

Odpadne vode moramo pred izpustom v okolje ustrezno očistiti [1]. V svetu in pri nas se za odstranjevanje onesnaževal iz odpadnih voda najpogosteje uporablja biološko čiščenje [3]. Pri biološkem čiščenju odpadnih voda nastaja kot neizogiben stranski produkt presežno biološko blato, ki ga je treba zgostiti in stabilizirati ter nato odstraniti na primeren način [4].

Ravnanje s presežnim biološkim blatom predstavlja od 30 do 50 % obratovalnih stroškov čistilnih naprav [5], zato optimalno ravnanjem s presežnim blatom postaja pomemben izziv za projektante, investitorje in upravljalce čistilnih naprav po vsem svetu [6].

1.2 Struktura magistrskega dela

Magistrsko delo je sestavljeno iz dveh delov, teoretičnega in eksperimentalnega.

V teoretičnem delu smo najprej predstavili zakonodajo s področja odvajanja in čiščenja odpadnih voda. V nadaljevanju smo opisali proces biološkega čiščenja odpadnih voda in različne sisteme za biološko čiščenje odpadnih voda. Nadaljnje smo se posvetili tudi ravnanju s presežnim biološkim blatom, ki nastaja kot neizogiben stranski produkt pri procesih biološkega čiščenja odpadnih voda. Teoretični del

smo zaključili s predstavitvijo odvajanja in čiščenja odpadnih voda v občini Zagorje ob Savi s poudarkom na procesu čiščenja odpadnih voda na Centralni čistilni napravi (CČN) Zagorje ob Savi.

Eksperimentalni del magistrskega dela se prične z opisom različnih analiznih metod, ki smo jih izvedli za potrebe poskusov, ki so predstavljeni v nadaljevanju magistrskega dela. V laboratoriju Inštituta za zdravstveno hidrotehniko (IZH) smo na laboratorijskih šaržnih bioloških reaktorjih (SBR reaktorjih) izvedli simulacijo delovanja realnega SBR reaktorja CČN Zagorje ob Savi. Z laboratorijskimi SBR reaktorji smo najprej ugotavljali, kako čas prezračevanja SBR reaktorjev vpliva na učinek čiščenja odpadne vode. Nato smo učinke čiščenja odpadne vode pri laboratorijskih SBR reaktorjih primerjali z učinki čiščenja odpadne vode pri realnem SBR reaktorju. V nadaljevanju smo z napravo Automatic Methane Potential Test System II (AMPTS II) določili biometanski potencial (BMP) presežnega biološkega blata realnega SBR reaktorja CČN Zagorje ob Savi. BMP presežnega biološkega blata smo določili za dve različni organski obremenitvi v mezofilnem temperaturnem območju pri temperaturi 38 °C in v termofilnem temperaturnem območju pri temperaturi 55 °C. Na podlagi dobljenih podatkov smo analizirali smotrnost postavitve anaerobnega presnovališča za izkoriščanje bioplina iz presežnega biološkega blata CČN Zagorje ob Savi. V sklepnem delu magistrskega dela smo podali končne ugotovitve in možne predloge.

2 ZAKONODAJA NA PODROČJU ODVAJANJA IN ČIŠČENJA KOMUNALNIH ODPADNIH VODA

K urbanemu razvoju naselij je treba pristopiti z novo etiko načrtovanja, gradnje in upravljanja, ki temelji na konceptu trajnostnega razvoja. Na gradnjo in upravljanje naselij je zaradi odpravljanja posledic lastnega bivanja treba pogledati tudi skozi prizmo varstva vodnih virov. Oskrba z zdravstveno ustrezno pitno vodo in odvajanje ter čiščenje odpadnih voda sta v bistvu enoten sistem, zato bi se po okoljevarstvenih načelih vodovodni sistemi smeli načrtovati le ob hkratnem reševanju sistema za odvajanje in čiščenje komunalnih odpadnih voda. V tem duhu je oblikovana tudi zakonodaja Evropske unije (EU) [2].

2.1 Zakonodaja Evropske unije

EU je na področju voda sprejela vrsto direktiv, ki države članice EU zavezujejo k sprejetju številnih pomembnih politik in ukrepov s ciljem celostnega, sistematičnega in trajnostnega upravljanja voda [2].

Temeljni dokument EU na področju voda je Direktiva Evropskega parlamenta in Sveta 2000/60/ES z dne 23. oktobra 2000 o določitvi okvira za ukrepe Skupnosti na področju vodne politike, imenovana tudi Vodna direktiva. V Vodni direktivi je posebej poudarjen namen, da se prepreči dolgoročno poslabšanje kakovosti pitne vode v EU s sprejemom in izvedbo ukrepov trajnostne vodne politike v vseh državah članicah EU z določitvijo preglednega, učinkovitega in skladnega pravnega okvirja za delovanje v smeri varstva in varnostne trajne uporabe vode. Cilj Vodne direktive je ohraniti in izboljšati vodno okolje na območju celotne EU [2].

Temeljni evropski predpis na področju odvajanja in čiščenja odpadnih voda je Direktiva Sveta 91/271/EGS z dne 21. maja 1991 o čiščenju komunalne odpadne vode, kot je bila spremenjena z Direktivo Komisije 98/15/ES z dne 27. februarja 1998 o spremembi Direktive Sveta 91/271/EGS glede nekaterih zahtev, določenih v Prilogi I k Direktivi [2]. Direktiva ureja odvajanje in čiščenje komunalne odpadne vode ter odvajanje in čiščenje odpadne vode iz industrijskih obratov, kjer nastaja biološko razgradljiva industrijska odpadna voda. Direktiva določa roke v zvezi z izgradnjo ustreznih kanalizacijskih omrežij in komunalnih čistilnih naprav, za izpuste v okolje pa določa mejne emisijske vrednosti. Cilj direktive je varstvo okolja pred škodljivimi vplivi odvajanja biološko razgradljivih odpadnih voda [7].

2.2 Zakonodaja Republike Slovenije

Zakonodaja Republike Slovenije (RS) je tudi na področju odvajanja in čiščenja odpadnih voda usklajena z zahtevami zakonodaje EU. Področje odvajanja in čiščenja komunalne odpadne vode urejajo predpisi, izdani na podlagi Zakona o varstvu okolja (Uradni list RS, št. 39/06 – uradno prečiščeno besedilo, 49/06 – ZmetD, 66/06 – odl. US, 33/07 – ZPNačrt, 57/08 – ZFO-1A, 70/08, 108/09 – ZPNačrt-A, 48/12, 57/12, 92/13, 56/15, 102/15 in 30/16), v povezavi z zakonodajo, ki ureja gospodarske javne službe, upravljanje z vodami, prostorsko načrtovanje, graditev objektov, javno zasebno partnerstvo in podobno [7].

V RS zahteve v zvezi z odvajanjem in čiščenjem komunalne odpadne vode urejajo spodaj naštetih in opisani predpisi [8]:

- Uredba o emisiji snovi in toplote pri odvajanju odpadnih voda v vode in javno kanalizacijo (Uradni list RS, št. 64/12, 64/14 in 98/15),
- Uredba o odvajanju in čiščenju komunalne odpadne vode (Uradni list RS, št. 98/15),
- Uredba o okoljski dajatvi za onesnaževanje okolja zaradi odvajanja odpadnih voda (Uradni list RS, št. 80/12 in 98/15),
- Pravilnik o prvih meritvah in obratovalnem monitoringu odpadnih voda (Uradni list RS, št. 94/14 in 98/15),
- Pravilnik o občutljivih območjih (Uradni list RS, št. 98/15) ter
- Operativni program odvajanja in čiščenja komunalne odpadne vode (novelacija za obdobje od leta 2005 do leta 2017), Sklep Vlade RS, št. 35401-2/2010/3 z dne 11. 11. 2010, in Sklep Vlade RS, št. 35401-2/2010/8 z dne 14. 7. 2011.

2.2.1 Uredba o emisiji snovi in toplote pri odvajanju odpadnih voda v vode in javno kanalizacijo

Uredba o emisiji snovi in toplote pri odvajanju odpadnih voda v vode in javno kanalizacijo je osnovni podzakonski predpis, ki ureja odvajanje odpadnih voda v vodno okolje. Uredba določa splošne mejne vrednosti emisij toplote in snovi v vode in javno kanalizacijo, način vrednotenja teh emisij, prepovedi, omejitve ter druge ukrepe zmanjševanja emisij. Uredba določa tudi vsebino okoljevarstvenega dovoljenja. Uredba je splošna in ureja emisije čistilnih in vseh drugih naprav [8]. Splošne mejne vrednosti emisij toplote in snovi v vode in javno kanalizacijo, predpisane s to uredbo, so prikazane v Prilogi A.

2.2.2 Uredba o odvajanju in čiščenju komunalne odpadne vode

Uredba o odvajanju in čiščenju komunalne odpadne vode določa [8]:

- merila občutljivosti vodnih teles površinskih voda,
- mejne vrednosti emisije snovi pri odvajanju odpadne vode iz komunalnih čistilnih naprav in malih komunalnih čistilnih naprav,
- ukrepe zmanjševanja emisije snovi pri odvajanju komunalne odpadne vode in
- monitoring stanja vodnih teles, v katera se odvajajo komunalne odpadne vode.

Mejne vrednosti emisije snovi pri odvajanju odpadne vode iz komunalnih čistilnih naprav in malih komunalnih čistilnih naprav, predpisane s to uredbo, so prikazane v Prilogi B.

Uredba določa tudi posebne zahteve v zvezi z obratovanjem malih komunalnih čistilnih naprav z zmogljivostjo, manjšo od 50 PE, ter vrste nalog, ki se izvajajo v okviru javne službe, oskrbovalne standarde, tehnične, vzdrževalne, organizacijske ter druge ukrepe in normative za izvajanje javne službe [8].

Rok za zagotavljanje urejenega odvajanja in čiščenja komunalne odpadne vode je 31. december 2021 oziroma 31. december 2023, odvisno od skupne obremenitve aglomeracije in od tega, ali gre za iztok odpadne vode na občutljivo območje ali ne [2].

Rok za prilagoditev že obstoječih komunalnih čistilnih naprav je bistveno krajši, in sicer 22. avgust 2016 za komunalne čistilne naprave, ki so bile zgrajene, so obratovalne ali pa jim je bilo izdano ustrezno dovoljenje ali soglasje pred 22. avgustom 2009, oziroma 31. december 2020 za komunalne čistilne naprave, ki so bile zgrajene, so začele obratovati ali jim je bilo izdano ustrezno dovoljenje ali soglasje pred 31. decembrom 2015, vendar po 22. avgustu 2009 [2].

2.2.3 Predpisi s področja ravnanja z odpadki, ki nastanejo na čistilnih napravah

Poleg omenjenih predpisov spadajo k predpisom glede odvajanja in čiščenja odpadnih voda tudi tisti, ki urejajo ravnanje z odpadki, ki nastajajo na čistilnih napravah kot stranski produkt čiščenja odpadnih voda [2]. Pogoje za izvajanje posameznih načinov končnega ravnanja z odpadki, ki nastajajo na čistilnih napravah, opredeljujejo naslednje uredbe:

- Uredba o odpadkih (Uradni list RS, št. 37/15 in 69/15),
- Uredba o odlagališčih odpadkov (Uradni list RS, št. 10/14, 54/14 in 36/16),

- Uredba o obremenjevanju tal z vnašanjem odpadkov (Uradni list RS, št. 34/08 in 61/11),
- Uredba o uporabi blata iz komunalnih čistilnih naprav v kmetijstvu (Uradni list RS, št. 62/08),
- Uredba o predelavi biološko razgradljivih odpadkov in uporabi komposta ali digestata (Uradni list RS, št. 99/13 in 56/15),
- Uredba o sežiganju odpadkov (Uradni list RS, št. 68/08, 41/09 in 8/16) in
- Uredba o predelavi nenevarnih odpadkov v trdno gorivo in njegovi uporabi (Uradni list RS, št. 96/14).

2.2.3.1 Uredba o odpadkih

Uredba o odpadkih je krovni predpis RS na področju odpadkov in je v pravni red RS prenesla Direktivo 2008/98/ES Evropskega parlamenta in sveta z dne 19. novembra 2008 o odpadkih in razveljavitvi nekaterih direktiv. Uredba o odpadkih z namenom varstva okolja in varovanja človekovega zdravja določa pravila ravnanja in druge pogoje za preprečevanje ali zmanjševanje škodljivih vplivov nastajanja odpadkov in ravnanja z njimi ter zmanjševanje celotnega vpliva uporabe naravnih virov in izboljšanje učinkovitosti uporabe naravnih virov [9].

Uredba o odpadkih določa, da se pri nastajanju odpadkov in ravnanju z njimi kot prednostni vrstni red upošteva naslednja 5-stopenjska hierarhija ravnanja [9]:

- preprečevanje odpadkov,
- priprava za ponovno uporabo,
- recikliranje,
- drugi postopki predelave (na primer energetska predelava) in
- odstranjevanje.

Odstopanje od prednostnega vrstnega reda je ob upoštevanju celotnega življenjskega kroga snovi in materialov ter zmanjševanja obremenitve okolja mogoče le za posamezne tokove odpadkov, za katere je tako določeno s posebnimi predpisi [9].

2.2.3.2 Uredba o odlagališčih odpadkov

Uredba o odlagališčih odpadkov določa zahteve, ki jih morajo izpolnjevati odpadki, ki se odlagajo na odlagališča odpadkov. Uredba določa tudi pravila ravnanja in druge pogoje za odlaganje odpadkov ter pogoje in ukrepe v zvezi z načrtovanjem, gradnjo, odlaganjem in zapiranjem odlagališča odpadkov ter ravnanje po njegovem zaprtju z namenom, da se v celotnem obdobju trajanja odlagališča zmanjšajo

škodljivi vplivi na okolje, predvsem zaradi vplivov onesnaževanja tal, podzemne vode, površinske vode in zraka, ter da se v zvezi z globalnim onesnaženjem okolja zmanjšajo emisije toplogrednih plinov in preprečijo tveganja za zdravje ljudi [10].

Skladno z Uredbo o odlagališčih odpadkov je na odlagališče nenevarnih odpadkov dovoljeno odlagati tudi obdelane nenevarne odpadke z visoko vsebnostjo biološko razgradljivih snovi, katerih vsebnost celotnega organskega ogljika (TOC) ne presega 18 % mase suhe snovi (SS), sposobnost navzemanja kisika, izražena v AT₄, ne presega mejne vrednosti 10 mg O₂/g suhe snovi in kurilna vrednost ne presega 6.000 kJ/kg suhe snovi [10].

2.2.3.3 Uredba o obremenjevanju tal z vnašanjem odpadkov

Uredba o obremenjevanju tal z vnašanjem odpadkov določa pogoje v zvezi z obremenjevanjem tal z vnašanjem odpadkov in obvezno ravnanje pri načrtovanju ter izvedbi vnašanja zemeljskega izkopa ali umetno pripravljene zemljine zaradi izboljšanja ekološkega stanja tal. Uredba določa tudi pogoje uporabe gradbenega materiala, pripravljenega iz obdelanih ali neobdelanih, izvornih ali odpadnih mineralnih surovin, če se nevarne snovi ob stiku s podzemno, površinsko ali padavinsko vodo lahko začnejo lužiti [11].

2.2.3.4 Uredba o uporabi blata iz komunalnih čistilnih naprav v kmetijstvu

Uredba o uporabi blata iz komunalnih čistilnih naprav v kmetijstvu določa ukrepe ter ravnanja z blatom iz komunalnih čistilnih naprav, če se ga uporablja kot gnojilo v kmetijstvu, omejitve in prepovedi v zvezi s tako uporabo ter obveznosti poročanja Evropski komisiji [12].

Uredba o uporabi blata iz komunalnih čistilnih naprav v kmetijstvu določa mejne vrednosti koncentracije težkih kovin v obdelanem blatu, ki se uporablja v kmetijstvu, mejne vrednosti koncentracije težkih kovin v tleh, v ali na katera se vnaša obdelano odpadno blato, ter mejne vrednosti letnega vnosa težkih kovin, ki se smejo na podlagi 10-letnega povprečja letno vnesti v kmetijska zemljišča [12].

Mejne vrednosti koncentracije težkih kovin, določene s to uredbo, so prikazane v Prilogi C.

2.2.3.5 Uredba o predelavi biološko razgradljivih odpadkov in uporabi komposta ali digestata

Uredba o predelavi biološko razgradljivih odpadkov in uporabi komposta ali digestata določa pravila ravnanja in druge pogoje v zvezi s predelavo biološko razgradljivih odpadkov, uporabo komposta ali digestata in dajanje komposta ali digestata v promet [13].

Predelovalec biološko razgradljivih odpadkov mora po končani predelavi biološko razgradljivih odpadkov zagotoviti nadzor kakovosti komposta ali digestata (izvajanje meritev in analiz ter preskušanje parametrov v kompostu ali digestatu). Na podlagi poročila o nadzoru kakovosti v skladu z mejnimi vrednostmi parametrov, določenimi v tej uredbi (Priloga D), se kompost ali digestat razvrsti v 1. ali 2. kakovostni razred. Uporaba komposta ali digestata 1. kakovostnega razreda za vnos v ali na tla na kmetijskih zemljiščih je dovoljena, razen če s predpisi, ki urejajo vodovarstvena območja, ni določeno drugače. Uporaba komposta ali digestata 2. kakovostnega razreda za vnos v ali na tla na kmetijskih zemljiščih ni dovoljena, je pa dovoljena uporaba le-tega na nekmetijskih zemljiščih, razen če s predpisi, ki urejajo vodovarstvena območja, ni določeno drugače. Letni vnos komposta ali digestata 1. ali 2. kakovostnega razreda v ali na tla ne sme presegati mejnih vrednosti letnega vnosa nevarnih snovi v tla. Uporaba komposta ali digestata, ki se ne uvršča v nobenega od kakovostnih razredov, je prepovedana [13].

2.2.3.6 Uredba o sežiganju odpadkov

Uredba o sežiganju odpadkov določa ukrepe, prepovedi, obvezna ravnanja ter druge pogoje za sosežiganje in sežiganje odpadkov ter pogoje in ukrepe glede obratovanja naprav za sosežig odpadkov in sežigalnic odpadkov z namenom, da se preprečijo ali omejijo škodljivi učinki na okolje, zlasti onesnaževanje z emisijo snovi v tla, podzemno vodo, površinsko vodo in zrak, kolikor je to izvedljivo, ter posledično tveganja za zdravje ljudi [14].

2.2.3.7 Uredba o predelavi nenevarnih odpadkov v trdno gorivo in njegovi uporabi

Uredba o predelavi nenevarnih odpadkov v trdno gorivo in njegovi uporabi določa pogoje za predelavo nenevarnih odpadkov v trdno gorivo ter pogoje za njegovo uporabo v sežigalnicah, napravah za sosežig ter kurilnih napravah [15].

Predelovalec, ki v trdno gorivo poleg drugih odpadkov predeluje blato iz čiščenja odpadne vode, usedline in mulj, mora zagotoviti izvajanje meritev onesnaževal skladno s predpisom, ki ureja uporabo

blata iz komunalnih čistilnih naprav (KČN) v kmetijstvu, in na podlagi rezultatov teh meritev razvrščati blato, usedline in mulj kot odpadek iz onesnažene biomase ali drug odpadek. Blato iz čiščenja komunalnih odpadnih voda (19 08 05) je razvrščeno kot odpadek iz onesnažene biomase, če ustreza zahtevam za vnos blata v ali na tla, določenim v predpisu, ki ureja uporabo blata iz KČN v kmetijstvu; v nasprotnem primeru je razvrščeno kot drug odpadek [15].

Mejne vrednosti za vsebnost nevarnih snovi v odpadkih iz biomase so prikazane v Prilogi E.

2.3 Najboljša razpoložljiva tehnologija

Zahteva po najboljši razpoložljivi tehnologiji (BAT) se je prvič pojavila v Direktivi Sveta 96/61/ES z dne 24. septembra 1996 o celovitem preprečevanju in nadzorovanju onesnaževanja (IPPC direktiva) [16]. Namen IPPC direktive je doseči celovito preprečevanje in nadzorovanje onesnaževanja okolja, ki je posledica industrijskih dejavnosti. IPPC direktiva določa tudi pravila za preprečevanje ali, če to ni izvedljivo, za zmanjševanje emisij v zrak, vodo in tla ter za preprečevanje nastajanja odpadkov, da bi dosegli visoko stopnjo varstva okolja kot celote [17]. Ta problematika je bistveno podrobneje opredeljena v zadnji verziji IPPC direktive, tj. Direktivi 2010/75/EU Evropskega parlamenta in Sveta z dne 24. novembra 2010 o industrijskih emisijah (celovito preprečevanje in nadzorovanje onesnaževanja) [16].

IPPC direktiva opredeljuje najboljšo razpoložljivo tehnologijo kot najučinkovitejšo in najnaprednejšo stopnjo preprečevanja in zmanjševanja emisij in s tem zmanjševanja negativnih posledic na okolje. Razpoložljiva tehnologija je tista, ki je bila razvita za izvrševanje v določeni industrijski panogi ter ima ekonomske in tehnične prednosti pred ostalimi tehnologijami. Pri iskanju najboljše razpoložljive tehnologije se upošteva, da [16]:

- je primerljiva s procesi in metodami proizvodnje, ki so že uspešno zastopane v procesih;
- je potrebna kakovostna poraba surovin in vode v procesu;
- proizvaja čim manjšo količino odpadkov;
- uporablja manj nevarne snovi in
- ima visoko energetske učinkovitost.

Na podlagi najboljše razpoložljive tehnologije se določajo mejne vrednosti emisij. Z najboljšo razpoložljivo tehnologijo dosegamo visoko splošno raven varstva okolja [17].

BAT referenčni dokumenti (BREF) so dokumenti v katerih so zbrane informacije o najboljših razpoložljivih tehnologijah za posamezne industrijske dejavnosti. Informacije o stanju tehnologije na določenem področju posredujejo strokovnjaki iz industrije, ter predstavniki upravnih organov držav članic EU, raziskovalnih in nevladnih organizacij. Vsebina BREF je dinamična in se po sedanjih izkušnjah obnavlja na približno 10 let. Izkušnje ob prvih obnovah kažejo, da se obseg novih BREF razširja, da vsebujejo nove tehnike in zajemajo vse širši nabor vidikov, ki lahko vplivajo na okolje [18].

BAT inženirske smernice sprejema Komisija EU in so večinoma povzete po ATV in VDI inženirskih smernicah. ATV inženirske smernice izdaja nemško združenje za gospodarjenje z vodo, odpadno vodo in odpadki. ATV smernice so že mnogo let osnova projektantom in konstruktorjem pri načrtovanju okoljevarstvenih tehnologij. VDI inženirske smernice izdaja združenje nemških inženirjev. VDI inženirske smernice se ne omejujejo le na ekološko problematiko [16].

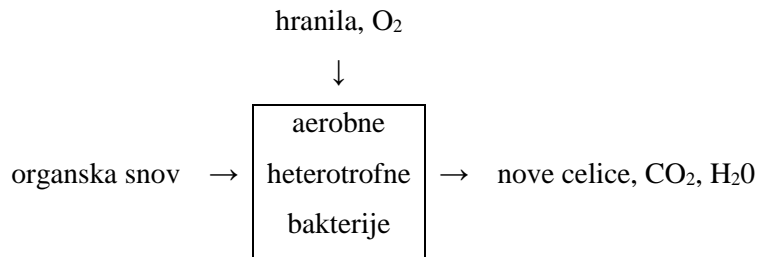
3 BIOLOŠKO ČIŠČENJE ODPADNIH VODA

Biološko čiščenje odpadnih voda poteka po predhodni mehanski obdelavi odpadnih voda, to je po predčiščenju in primarnem čiščenju odpadnih voda. Osnovni namen biološkega čiščenja odpadnih voda je odstranjevanje razgradljivih organskih snovi. Poleg razgradljivih organskih snovi lahko iz odpadnih voda z biološkim čiščenjem odstranjujemo tudi hranila, to so dušikove in fosforjeve spojine. Katere snovi in do kakšne mere jih bomo odstranili iz odpadnih voda z biološkim čiščenjem, je odvisno od sistema biološkega čiščenja, ki pa je precej odvisen od poznavanja sestave odpadne vode in kinetike odstranjevanja posameznih snovi [19].

Nosilci biološkega čiščenja odpadnih voda so mikroorganizmi [20]. Med mikroorganizmi, ki sodelujejo pri biološkem čiščenju odpadnih voda, prevladujejo bakterije, preostanek predstavljajo protozoi, metazoji, glive in alge. Glavna naloga bakterij je razgradnja raztopljenih organskih snovi. Bakterije z izločanjem ekstracelularnih encimov razgrajujejo tudi neraztopljene organske snovi [21].

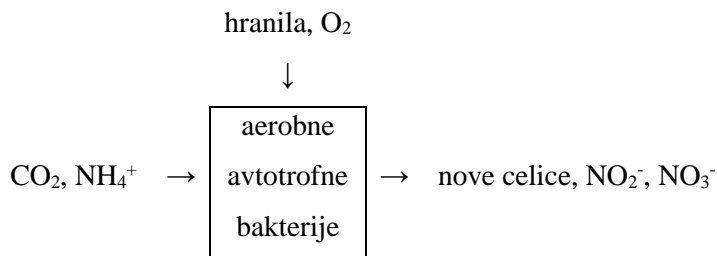
Mikroorganizmi v procesu razgradnje organskih snovi razgradijo del organskih snovi do končnih anorganskih produktov, pri čemer se sprošča energija, potrebna za potek procesa, drugi del organskih snovi pa vgradijo v novo biološko maso mikroorganizmov. V novo biološko maso mikroorganizmov se vgradi tudi določen del dušikovih in fosforjevih spojin skladno s potrebami mikroorganizmov po omenjenih hranilih [22]. Pri biološkem čiščenju odpadnih vod nastaja kot stranski produkt določena količina presežnega biološkega blata, ki ga je treba redno odstranjevati iz sistema in ga naknadno dodatno obdelati. Količina presežnega blata je odvisna od sestave in lastnosti odpadnih vod ter od sistema čiščenja [23].

Mikroorganizmi lahko razgrajujejo organske snovi v različnih oksidacijsko-redukcijskih pogojih oziroma razmerah, zato pri biološkem čiščenju odpadnih voda govorimo o aerobnih, anoksičnih in anaerobnih pogojih oziroma razmerah [20]. Pri aerobnih razmerah se razgradljive organske snovi pretvorijo v vodo, ogljikov dioksid in novo biološko maso mikroorganizmov. Pretvorba poteka z aerobnimi heterotrofnimi mikroorganizmi, ki kot akceptor elektronov uporabljajo raztopljeni O_2 [23]. Metabolizem aerobnih heterotrofnih bakterij je poenostavljeno prikazan na Sliki 1.



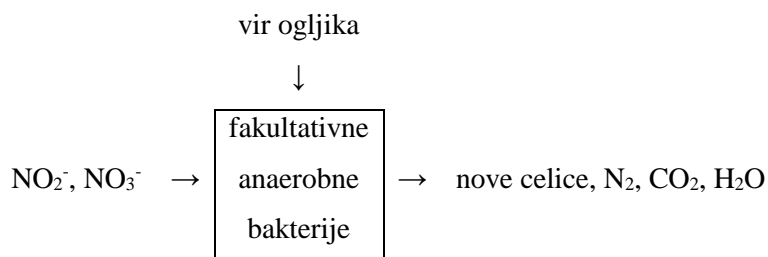
Slika 1: Shema metabolizma aerobnih heterotrofnih bakterij [23]

Pri aerobnih razmerah lahko ob prisotnosti nitrifikatorjev (aerobne avtotrofne bakterije) poteče proces nitrifikacije [23]. Na Sliki 2 je prikazana shema metabolizma aerobnih avtotrofnih bakterij.



Slika 2: Shema metabolizma aerobnih avtotrofnih bakterij [23]

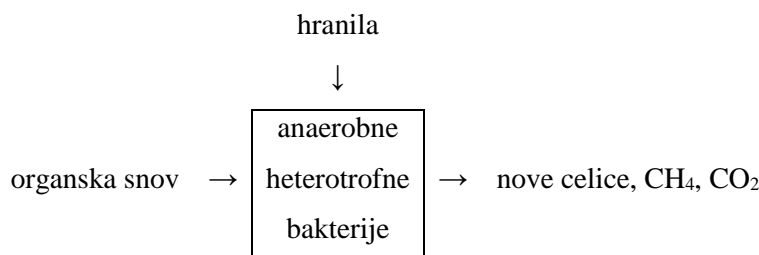
Pri anoksičnih razmerah nastopi proces denitrifikacije. Razgradni produkti, ki nastajajo v procesu denitrifikacije so voda, ogljikov dioksid, elementarni dušik in nova biološka masa mikroorganizmov. Denitrifikacija poteka z denitrifikatorji (heterotrofne bakterije), ki porabljajo kisik iz nitritnega in nitratnega dušika. Pri procesu denitrifikacije je nujno potreben zunanji vir lahko razgradljivega ogljika [23]. Na Sliki 3 je prikazana shema metabolizma fakultativnih anaerobnih bakterij – denitrifikatorjev.



Slika 3: Shema metabolizma fakultativnih anaerobnih bakterij [23]

Pri anaerobnih razmerah prevladujejo v reaktorju anaerobni heterotrofni mikroorganizmi, ki organske snovi najprej pretvorijo v nižje maščobne kisline, nato pa v vodo, ogljikov dioksid, metan in novo biološko maso mikroorganizmov. Anaerobni heterotrofni mikroorganizmi dobijo kisik iz organskih snovi ali iz sulfatnega iona. Za normalen potek anaerobnega procesa razgradnje raztopljen kisik, nitritni

in nitratni dušik v sistemu ne smejo biti prisotni [23]. Poenostavljena shema metabolizma anaerobnih heterotrofov je prikazana na Sliki 4.



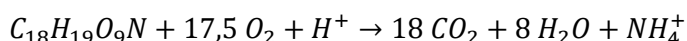
Slika 4: Shema metabolizma anaerobnih heterotrofov [23]

V sistemu biološkega čiščenja zagotovimo potek zelenega procesa čiščenja z ustvarjanjem in vzdrževanjem pogojev, optimalnih za razvoj ustrezne vrste mikroorganizmov [22].

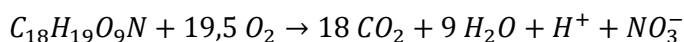
3.1 Oksidacija organskih snovi

Organske snovi so običajno sestavljene iz kombinacije ogljika, vodika in kisika, v nekaterih primerih skupaj z dušikom [1]. Približna kemijska sestava organskih snovi v odpadnih vodah je $C_{18}H_{19}O_9N$. Proces oksidacije organskih spojin v odpadni vodi lahko kemijsko zapišemo z naslednjima reakcijama [24]:

- Oksidacija organskih snovi brez nitrifikacije



- Oksidacija organskih snovi z nitrifikacijo



Organsko onesnaženje lahko izrazimo s porabo kisika. Za oksidacijo organske snovi s kemijsko sestavo $C_{18}H_{19}O_9N$ do CO_2 znaša mikrobiološka poraba kisika 1,42 kg O_2 /kg organske snovi brez nitrifikacije oziroma 1,59 kg O_2 /kg organske snovi z nitrifikacijo [21].

Poraba kisika je bodisi kemijska ali biokemijska. Kemijska potreba po kisiku (KPK) je množina kisika, ki je potrebna za oksidacijo organskih snovi, prisotnih v odpadni vodi. Biokemijska potreba po kisiku

(BPK) pa je množina kisika, ki je potrebna za biokemijsko razgradnjo razgradljivih organskih snovi, prisotnih v odpadni vodi. BPK posredno kaže na biorazgradljive organske snovi [1].

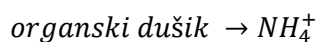
3.2 Biološko odstranjevanje hranil

Z biološkim čiščenjem lahko iz odpadnih voda poleg razgradljivih organskih snovi odstranjujemo tudi hranila [19].

3.2.1 Biološko odstranjevanje dušika

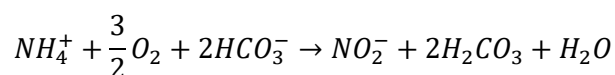
Biološko odstranjevanje dušika iz odpadnih voda poteka v treh procesnih korakih, in sicer v procesu amonifikacije, procesu nitrifikacije in procesu denitrifikacije [25].

V procesu amonifikacije se organski dušik pretvori v amonijev dušik. Proces amonifikacije prikazuje naslednja reakcija [25]:

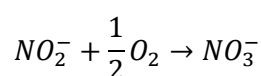


V procesu nitrifikacije amonijev dušik oksidira do nitratnega dušika. Nitrifikacija poteka v dveh stopnjah. V prvi stopnji amonijev dušik s pomočjo bakterij *Nitrosomonas sp.* oksidira v nitritni dušik, ta pa v drugi stopnji s pomočjo bakterij *Nitrobacter sp.* oksidira naprej v nitratni dušik. Nitrifikacijo prikazujeta naslednji reakciji [25]:

- Oksidacija amonijevega dušika v nitritni dušik s pomočjo bakterij *Nitrosomonas sp.*

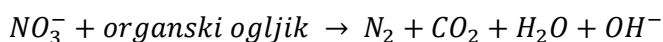


- Oksidacija nitritnega dušika v nitratni dušik s pomočjo bakterij *Nitrobacter sp.*



V procesu denitrifikacije se nitratni dušik reducira v plinasti dušik, ki se sprosti v ozračje. Denitrifikacija se pojavi takrat, ko v sistemu ni več na razpolago raztopljenega kisika, zato morajo mikroorganizmi za

vir kisika uporabiti nitratni ali nitritni dušik. Pogoj za izvedbo denitrifikacije je predhodni proces nitrifikacije. Denitrifikacijo prikazuje naslednja reakcija [25]:



3.2.1.1 Dejavniki vpliva na biološko odstranjevanje dušika

Na proces nitrifikacije in denitrifikacije vplivajo predvsem koncentracija raztopljenega kisika, temperatura, pH vrednost, alkaliniteta in starost blata [25].

- **Koncentracija raztopljenega kisika**

Za popolno nitrifikacijo je potreba po kisiku visoka. Za pretvorbo 1 mg amonijevega dušika v nitratni dušik se zahteva od 4,3 do 4,6 mg kisika. Za popolno nitrifikacijo je minimalna sprejemljiva koncentracija raztopljenega kisika v odpadni vodi od 2 do 3 mg/l [1].

- **Temperatura**

Nitrifikacija poteka v temperaturnem območju med 4 in 35 °C. Pri nižjih temperaturah se stopnja nitrifikacije zniža, pri višjih temperaturah pa se poveča. Stopnja nitrifikacije se podvoji pri vsakem dvigu temperature za 8 do 10 °C. Temperaturi je podvržena tudi denitrifikacija, vendar v manjšem obsegu kot nitrifikacija [25].

- **pH vrednost in alkaliniteta**

Nitrifikacija lahko poteka pri pH vrednostih med 6,5 in 8. Za vzdrževanje pH vrednosti je priporočeno, da je v sistemu od 50 do 100 mg/l preostanka alkalinitete. Za vsak g nitrificiranega amonijevega dušika potrebujemo približno 7,1 g alkalinitete. Če v sistemu ni dovolj alkalinitete, se pH vrednost zniža in nitrifikacija se upočasni. Skoraj polovica alkalinitete se ponovno pridobi med denitrifikacijo [25]. Optimum poteka denitrifikacije je približno v nevtralnem pH območju med 7 in 9 [22].

- **Starost blata**

Nitrifikacija zahteva daljšo starost blata, kot je potrebna pri biološkem odstranjevanju ogljikovih spojin. Nitrifikatorji so avtotrofne bakterije in imajo mnogo počasnejšo stopnjo rasti kot heterotrofne bakterije. Podvojitve nitrifikatorjev traja od 10- do 20-krat dlje kot pri drugih heterotrofnih bakterijah [25].

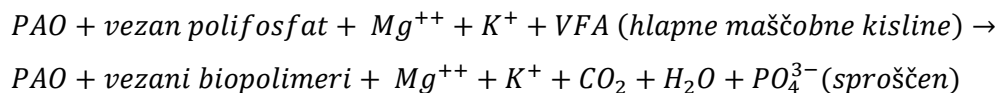
3.2.2 Biološko odstranjevanje fosforja

Fosfor je v odpadnih vodah prisoten v treh oblikah, in sicer kot organsko vezani fosfor, polifosfat ali ortofosfat [25].

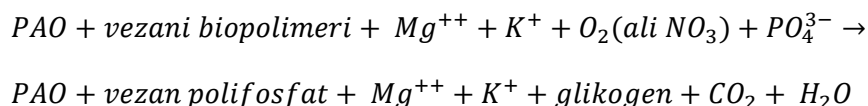
Biološko odstranjevanje fosforja iz odpadnih voda temelji na izmeničnem izpostavljanju aktivnega blata aerobnim in anaerobnim razmeram. Rezultat tega je rast fosfat akumulacijskih organizmov (PAO) *Acinetobacter*, *Pseudomonas* in *Moraxella*, ki so sposobni akumulacije fosforja v presežku, to je več, kot ga potrebujejo za lastno rast in razvoj [25]. Gre za ciklični proces, v katerem PAO izmenično sproščajo fosfat v anaerobnih razmerah in ga prevzemajo v aerobnih razmerah. Količina akumuliranih fosfatov v aerobnih razmerah je večja od povratnega sproščanja v anaerobnih razmerah, pri čemer pride do neto eliminacije fosforja, ki jo v končni fazi izvršimo z odvzemom presežnega blata iz aerobnega reaktorja [22].

Biološko odstranjevanje fosforja lahko zapišemo z naslednjima reakcijama [25]:

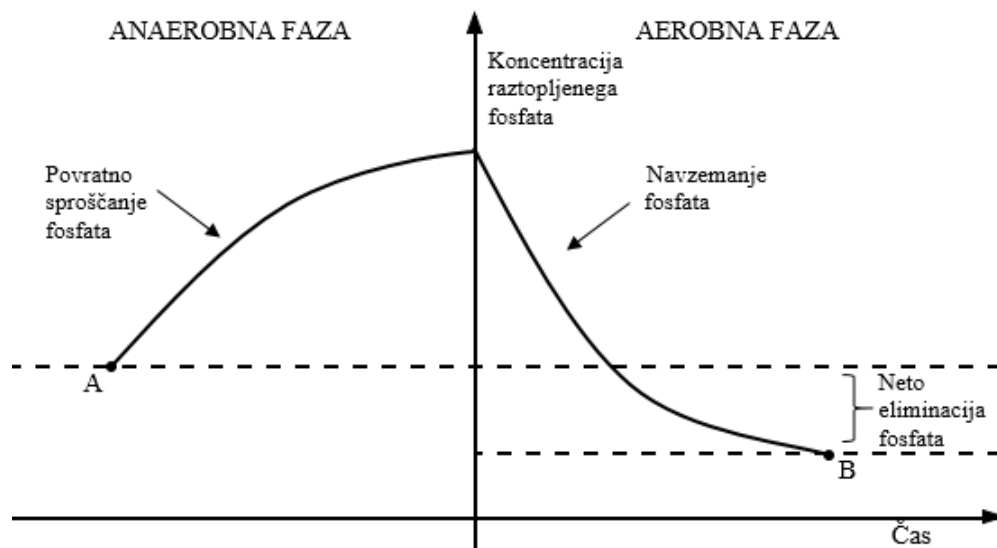
- Biološko sproščanje vezanega fosforja s PAO



- Biološki prevzem fosforja s PAO



Biološko odstranjevanje fosforja je v poenostavljeni obliki prikazano na Sliki 5.



Slika 5: Poenostavljen prikaz biološkega odstranjevanja fosforja [22]

4 SISTEMI ZA BIOLOŠKO ČIŠČENJE ODPADNIH VODA

Za biološko čiščenje odpadnih voda imamo danes na voljo številne različne sisteme. Najbolj splošna je delitev na sisteme za aerobno biološko čiščenje odpadnih voda in sisteme za anaerobno biološko čiščenje odpadnih voda [20]. Sisteme za biološko čiščenje odpadnih voda pogosto delimo tudi glede na to, ali je biomasa v reaktorju pritrjena ali ne. V tem primeru ločimo sisteme z razpršeno biomaso, sisteme s pritrjeno biomaso in sisteme s kombinacijo razpršene in pritrjene biomase, tj. hibridne sisteme. Pri sistemih z razpršeno biomaso je biomasa razpršena v reaktorju (prezračevalnemu bazenu). K tem sistemom prištevamo sisteme z aktivnim blatom. Za sisteme s pritrjeno biomaso je značilno, da je biomasa pritrjena na površino nosilcev biomase v reaktorju. Ti sistemi so precejalniki, rotirajoči biološki kontaktorji in biofiltri [19].

V magistrskem delu smo se osredotočili na sisteme za aerobno biološko čiščenje odpadnih vod.

4.1 Sistemi z razpršeno biomaso

Med sisteme za biološko čiščenje odpadnih voda z razpršeno biomaso uvrščamo sisteme z aktivnim blatom. K sistemom z aktivnim blatom prištevamo konvencionalne pretočne sisteme z aktivnim blatom, SBR reaktorje in MBR reaktorje (tj. membranske biološke reaktorje) [19].

Sistemi z aktivnim blatom so dimenzionirani na osnovi [19]:

- F/M (organske obremenitve) – množine substrata oziroma odpadne vode, ki priteka v reaktor,
- HRT (hidravličnega zadrževalnega časa) – časa, v katerem se odpadna voda zadržuje v reaktorju ali sistemu, in
- SRT (zadrževalnega časa blata oziroma starosti blata) – časa, v katerem se aktivno blato ohranja v reaktorju ali sistemu.

Postopek z aktivnim blatom, ki sta ga leta 1914 odkrila angleška inženirja, Edward Arden in William Lockett je postal najbolj razširjen proces za odstranjevanje biorazgradljivih organskih snovi iz odpadnih voda [20].

Osnovne sisteme z aktivnim blatom, ki jih uporabljamo za odstranitev ogljikove biokemične potrebe po kisiku, lahko z vrsto modifikacij uporabimo tudi za odstranjevanje dušikovih in fosforjevih spojin [26].

4.1.1 Aktivno blato

Aktivno blato je biološka masa, proizvedena med čiščenjem odpadne vode z rastjo mikroorganizmov v aerobnih in anoksičnih pogojih [27]. Aktivno blato je sestavljeno iz mikroorganizmov ter mineraliziranih organskih in anorganskih snovi. V aktivnem blatu prevladuje združba aerobnih heterotrofnih bakterij. Od heterotrofnih mikroorganizmov so pomembne še glive in praživali. Heterotrofni mikroorganizmi za pridobivanje energije in celično rast potrebujejo biološko razgradljive organske snovi. V aktivnem blatu so prisotne tudi avtotrofne bakterije, vključno z nitrifikacijskimi bakterijami. Avtotrofne bakterije za pridobivanje energije in celično rast porabljajo anorganske snovi [26].

Učinkovitost biološkega čiščenja odpadnih voda je odvisna predvsem od razvoja mikrobiološke združbe v biološkem sistemu, ki porablja in s tem odstranjuje odpadne snovi. Razvoj mikrobiološke združbe v sistemu je odvisen od dejavnikov okolja, in sicer od vrste in koncentracije hranil, koncentracije raztopljenega kisika, temperature, pH vrednosti in prisotnosti strupenih snovi [26].

V praksi je za ustrezno aktivnost mikroorganizmov v aktivnem blatu potrebna povprečna dnevna koncentracija raztopljenega kisika v prezračevalnem bazenu približno od 2 do 4 mg/l. Če raztopljeni kisik omejuje rast mikroorganizmov, lahko v sistemu prevladajo filamentozni mikroorganizmi, ki poslabšajo usedanje aktivnega blata. Slabša usedljivost aktivnega blata kot posledica rasti filamentoznih mikroorganizmov je povezana s koncentracijami raztopljenega kisika pod 1 mg/l. Čezmerno prezračevanje lahko tvori čezmerno turbulenco in zdrobi biološke kosme, kar povzroči poslabšanje usedanja in povečanje suspendiranih snovi v iztoku. Koncentracije, višje od 4 mg/l, bistveno ne izboljšajo učinka, ampak le povečajo porabo energije in posledično stroške prezračevanja. Optimalna temperatura za bakterijsko aktivnost v aerobnih čistilnih razmerah je v območju od 25 °C do 35 °C. Aerobni razkroj deluje do temperature 65 °C, nitrifikacija pa se popolnoma ustavi, ko se temperatura dvigne nad 40 °C ali pade pod 5 °C [1]. Optimalna pH vrednost je v mejah med 5 in 9 [24].

4.1.2 Konvencionalni pretočni sistem z aktivnim blatom

Konvencionalni pretočni sistem z aktivnim blatom je sestavljen iz [20]:

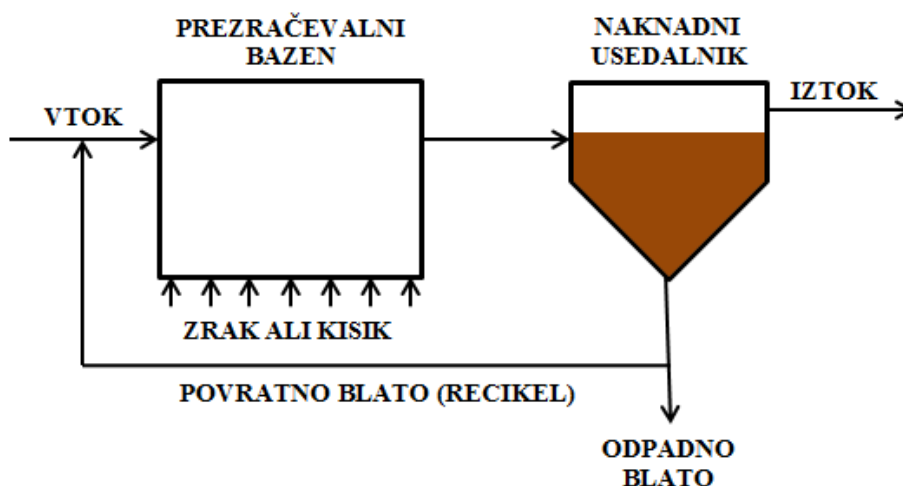
- prezračevalnega bazena,
- naknadnega usedalnika,
- sistema za vračanje aktivnega blata iz naknadnega usedalnika v prezračevalni bazen,
- prezračevalne naprave in

- mešalne naprave.

Pri konvencionalnem pretočnem sistemu z aktivnim blatom priteka odpadna voda iz mehanske obdelave v enega ali več prezračevalnih bazenov, kjer so prisotni predhodno razviti kosmi aktivnega blata. Prezračevalni bazeni so lahko načrtovani kot popolnoma premešani reaktorji, čepasti reaktorji ali vmesni stili. Suspenzijo aktivnega blata v prezračevalnem bazenu s prezračevalno in/ali mešalno opremo stalno prezračujemo in premešavamo, da zagotovimo potrebne količine kisika za razvoj ustreznih mikroorganizmov, da zagotovimo boljši stik med mikroorganizmi, raztopljenimi organskimi snovmi in kisikom ter da aktivno blato vzdržujemo v suspenziji [26].

Po aerobnih biokemijskih procesih razgradnje organskih snovi v prezračevalnem bazenu odteka odpadna voda v naknadni usedalnik. V naknadnem usedalniku se suspendirane snovi (aktivno biološko blato) z usedanjem ločijo od prečiščene odpadne vode. Večino v naknadnem usedalniku usedlega aktivnega blata vračamo v prezračevalni bazen (recikel povratnega blata). Recikel povratnega blata je pomemben zato, da v prezračevalnem sistemu lažje nastajajo kosmi aktivnega blata in da zaradi velikih nihanj v pretoku in koncentraciji organskih snovi skozi dan stabiliziramo dotok in koncentracijo hranilnih snovi v prezračevalni bazen. Višek v naknadnem usedalniku usedlega aktivnega blata, tako imenovano presežno blato, pa moramo iz naknadnega usedalnika redno odstranjevati in ga nadalje ustrezno dodatno obdelati [22].

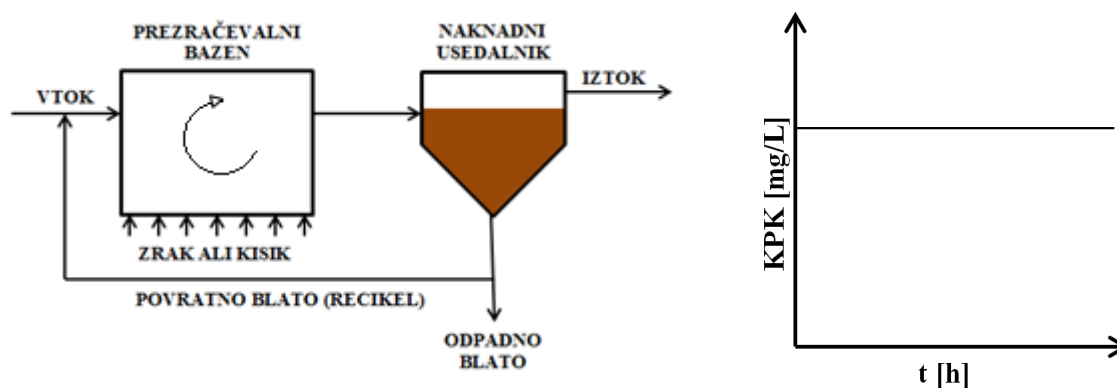
Shema konvencionalnega pretočnega sistema je prikazana na Sliki 6.



Slika 6: Shema konvencionalnega pretočnega sistema z aktivnim blatom [1]

4.1.2.1 Popolnoma premešan reaktor

Popolnoma premešan reaktor je vrsta prezračevalnega bazena, pri katerem se odpadna voda takoj premeša v homogeno suspenzijo aktivnega blata. Lastnosti suspenzije aktivnega blata so pri popolnoma premešanem reaktorju podobne tistim v celotnem reaktorju. Prednost popolnoma premešanega reaktorja je v tem, da lahko pri spreminjajočih se organskih obremenitvah deluje brez večjih sprememb v kakovosti iztoka odpadne vode iz reaktorja. Pri popolnoma premešanem reaktorju obstaja možnost hidravličnih kratkih stikov, v kolikor reaktor ni pravilno projektiran. Hidravlični kratki stiki se lahko ublažijo s primerno porazdelitvijo vtoka, primernim položajem prezračevalne opreme, ovirami v reaktorju ter namestitvijo reaktorjev v seriji. Slabost popolnoma premešanega reaktorja je tudi, da je nagnjen k rasti filamentoznih mikroorganizmov in posledično k napihovanju blata. Ena od metod za kontrolo filamentoznih mikroorganizmov in s tem za preprečevanje napihovanja blata je uporaba selektorja. Selektor je kontaktni bazen ali predel, ki se nadaljuje v popolnoma premešan reaktor. Selektor zagotavlja kratkotrajne, od 10- do 30-minutne, pogoje kondicioniranja med mešanico vtoka in povratnega blata. Kondicioniranje v selektorju se lahko dogaja pod aerobnimi, anoksičnimi ali anaerobnimi pogoji [1]. Shema popolnoma premešanega reaktorja in časovna odvisnost koncentracije organske snovi v popolnoma premešanem reaktorju sta prikazani na Sliki 7.



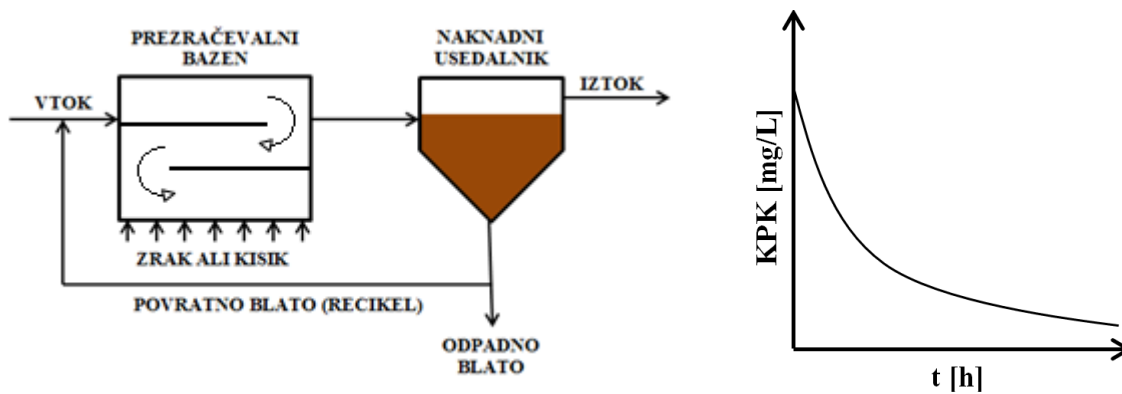
Slika 7: Shema popolnoma premešanega reaktorja in časovna odvisnost koncentracije organske snovi v popolnoma premešanem reaktorju [1]

4.1.2.2 Čepasti oziroma cevni reaktor

Čepasti oziroma cevni reaktor je najstarejša oblika prezračevalnih bazenov [1]. Čepasti reaktor je reaktor s popolnim mešanjem pravokotno na smer pretoka, brez difuzije in disperzije v smeri pretoka [27].

Pri čepastem reaktorju tečejo delci v začetek reaktorja in ves zadrževalni čas potujejo po dolžini reaktorja. Suspenzija aktivnega blata ima v začetnem delu reaktorja najvišjo obremenitev. Obremenitev

suspenzije aktivnega blata pada vzdolž dolžine reaktorja zaradi oksidacije organskih snovi v odpadni vodi. V zadnjem delu reaktorja, odvisno od zadrževalnega časa, se poraba kisika zmanjša in lahko pride do endogenega dihanja ali nitrifikacije. Čepasti reaktorji so lahko razporejeni drug ob drugem ali pa so izvedeni za dolgo pot toka. Razmerje med dolžino in širino je pri čepastih reaktorjih večje od 10 : 1. Pri čepastih reaktorjih ne more priti do hidravličnih kratkih stikov ali prehoda neobdelane organske snovi med nenadno obremenitvijo [1]. Shema čepastega reaktorja in časovna odvisnost koncentracije organske snovi v čepastem reaktorju sta prikazani na Sliki 8.



Slika 8: Shema čepastega reaktorja in časovna odvisnost koncentracije organske snovi v čepastem reaktorju [1]

4.1.3 SBR reaktor

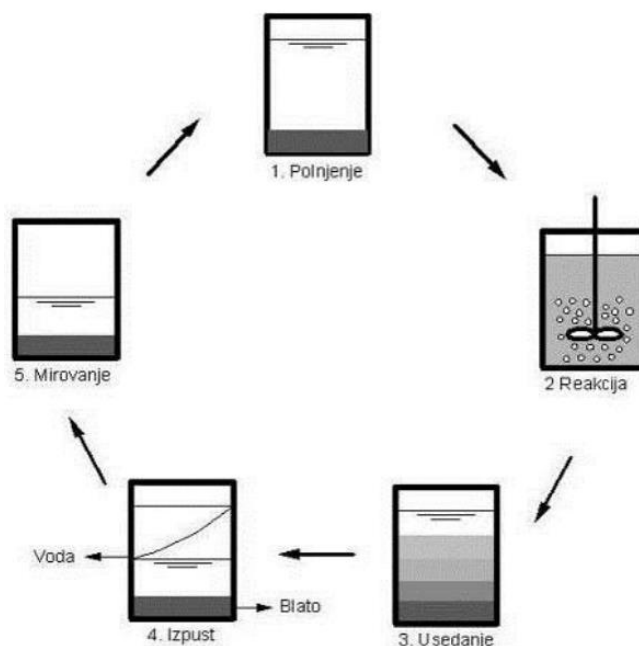
SBR reaktor je sistem za biološko čiščenje odpadnih voda z aktivnim blatom. Uporablja se za čiščenje komunalnih odpadnih voda s pretoki do 220 l/s (do 100.000 PE) in za čiščenje različnih industrijskih odpadnih voda [1].

V SBR reaktorju potekajo enaki procesi biološkega čiščenja kot pri konvencionalnem pretočnem sistemu z aktivnim blatom. Bistvena razlika med sistemoma je v tem, da pri konvencionalnem pretočnem sistemu z aktivnim blatom prezračevanje poteka v prezračevalnem bazenu, usedanje pa se izvaja v naknadnem usedalniku, pri SBR sistemu pa se oba procesa izvajata v istem reaktorju, vendar v različnih časih. Pri SBR sistemu ni recikla povratnega blata, ker aktivno blato ostane v reaktorju, dokler ga ne odstranimo [1].

4.1.3.1 Princip delovanja in parametri obratovanja

SBR proces vključuje reaktor s spremenljivim volumnom. Skupni volumen SBR reaktorja V_T je sestavljen iz stacionarnega volumna V_0 , ki v osnovi vsebuje usedlo aktivno blato, in volumna odpadne vode V_F , ki ga dodajamo in odvezujemo ob vsakem ciklu [1].

SBR je proces s cikličnim delovanjem, pri katerem ima en cikel običajno pet faz, ki se izvajajo v točno določenem zaporedju (Slika 9): faza polnjenja (T_F), faza reakcije (T_R), faza usedanja (T_S), faza spuščanja (T_D) in faza mirovanja (T_I) [1].



Slika 9: Shema delovanja SBR reaktorja – en cikel [1]

V fazi polnjenja (T_F) dovajamo v SBR reaktor odpadno vodo. V reaktorju pričnejo potekati biokemijske reakcije razgradnje organskih snovi. V fazi reakcije (T_R) prenehamo dovajati odpadno vodo v SBR reaktor. SBR reaktor začne delovati kot šaržni (diskontinuirani) reaktor z mešanjem oziroma prezračevanjem, dokler ni dosežena želena biokemijska pretvorba snovi, prisotnih v odpadni vodi. V fazi usedanja (T_S) se konča mešanje in prezračevanje SBR reaktorja. Aktivno blato se začne usedati na dno SBR reaktorja. V fazi spuščanja (T_D) spustimo očiščeno odpadno vodo nad usedlim aktivnim blatom iz SBR reaktorja. Fazi spuščanja odpadne vode iz reaktorja sledi faza mirovanja (T_I), ki služi kot rezervni čas za primer spreminjanja ostalih faz, kar poveča fleksibilnost sistema. Po potrebi se ta čas lahko uporabi za podaljšanje trajanja ene ali več faz v ciklu [1].

- **Število ciklov**

Število ciklov na dan m je pomemben parameter, ki ga izberemo pri dimenzioniranju in vodenju SBR sistema in ga definiramo kot [1]:

$$m = \frac{1}{T_c}$$

ali

$$m = \frac{Q}{V_F}$$

Pomen oznak:

T_c – čas celotnega cikla,

V_F – volumen dodatka odpadne vode v enem ciklu,

Q – dnevni pretok odpadne vode, ki se čisti v sistemu.

- **Trajanje posameznih faz v ciklu**

V praksi trajanje dodajanja odpadne vode v SBR reaktorju variira od skoraj trenutnega dodajanja do stalnega dodajanja med celotnim procesom cikla, vključno z usedanjem in izpustom. Perioda reakcije je tako nedoločljiva kot ločena procesna faza. V zvezi s tem se dodajanje odpadne vode (T_F) med želenim delom cikla ne sme obravnavati kot sestavni del mehanizma cikla. To namreč ni nujno ločena faza bioloških reakcij med polnjenjem odpadne vode, ki bi vplivala na strukturo masne bilance. Zato namesto faze polnjenja in reakcije prilagodimo procesno fazo (T_P). Procesna faza (T_P) pokriva celotno periodo, da ohranimo v reaktorju izbrane biokemijske reakcije, ki so primernejše s stališča procesa. Periodo v ciklu, ki vključuje faze usedanja, spuščanja in mirovanja ($T_S + T_D + T_I$), tako lahko vzamemo kot fazo brez biokemijske pretvorbe in jo opredelimo kot [1]:

$$T_c = T_P + T_{S+D+I}$$

V tem primeru lahko faza polnjenja (T_F) traja od majhnega dela časa do celotnega časa procesa ali celo celotni čas cikla in razmerje časa polnjenja (FRT). Razmerje časa polnjenja je definirano kot [1]:

$$FRT = \frac{T_F}{T_c}$$

Razmerje časa polnjenja resno vpliva na hidravliko SBR reaktorja. Manjše kot je razmerje časa polnjenja, izraziteje prihaja do gradienta odpadne vode v času cikla [1].

Procesna faza je lahko popolnoma aerobna, kot v sistemih za odstranjevanje organskih snovi, ali pa ima različne okoljske pogoje, regulirane z vnosom energije. Pri odstranjevanju hranil v SBR reaktorju je procesna faza sestavljena iz prezračevane periode (T_A) in mešalne periode (T_M), ki je lahko anoksična ali anaerobna, odvisno od prisotnosti nitrata [1]:

$$TP = T_M + T_A = T_{AN} + T_{AOX} + T_A$$

- **Število reaktorjev**

Pri SBR procesu je dotok odpadne vode stalen. SBR proces lahko izvajamo v enem ali več vzporednih SBR reaktorjih. V primeru, da SBR proces izvajamo v enem SBR reaktorju, moramo imeti pred SBR reaktorjem izravnalni bazen. Pri izvajanju SBR procesa v več vzporednih SBR reaktorjih ne potrebujemo izravnalnega bazna. Število reaktorjev n je obratno sorazmerno z razmerjem časa polnjenja FRT [1]:

$$n = \frac{1}{FRT}$$

V praksi povečanje števila reaktorjev zelo verjetno povzroči povečanje celotnih stroškov. Za velike naprave je bolj praktično imeti več kot dva reaktorja, ker s tem povečamo fleksibilnost sistema glede na pogoje dotoka odpadne vode [1].

- **Starost blata**

Zadrževalni čas blata (SRT) oziroma starost blata θ_X v SBR reaktorju je definirana kot [1]:

$$\theta_X = \frac{M_X}{P_{XT}}$$

Pomen oznak:

M_X – masa blata v SBR reaktorju

P_{XT} – masa dnevno odstranjenega odpadnega blata iz SBR reaktorja

Odvečno blato iz suspenzije aktivnega blata lahko preprosto in neposredno krmilimo s kontrolo starosti blata θ_x . Starost blata θ_x lahko kontroliramo z volumnom SBR reaktorja V_T , volumnom odpadnega blata iz suspenzije blata med vsakim ciklom V_T in časom trajanja cikla T_C . V praksi se odpadno blato večinoma odvzema po fazi usedanja na dnevni ali tedenski osnovi [1].

$$\theta_x = \frac{V_T X_T}{m V_W X_T} = \frac{V_T}{V_W} T_C$$

Starost aerobnega blata θ_{xA} je definirana kot funkcija celotnega časa prezračevanja v ciklu, tj. edini periodi delovnega cikla, ko se vzdržuje avtotrofna rast [1]:

$$\theta_{xA} = Q_x \frac{T_A}{T_C}$$

Heterotrofna rast lahko poteka med aerobno in anaerobno periodo. Rast in endogeno dihanje se končata, ko se vzpostavi anaerobna faza. Zato je učinkovita perioda T_E vsota aerobne T_A in anoksične periode T_{AOX} pri odstranjevanju hranil, medtem ko je celotna aerobna perioda učinkovita pri sistemu odstranjevanja ogljikovih spojin in nitrifikacije. Efektivno starost blata za heterotrofne organizme lahko definiramo kot [1]:

$$\theta_{xE} = \theta_x \frac{T_E}{T_C} = \theta_x \frac{T_A + T_{AOX}}{T_C}$$

Odnos med aerobno in efektivno starostjo blata lahko zapišemo z naslednjo enačbo [1]:

$$\theta_{xE} = \frac{\theta_{xA}}{\left(1 - \frac{T_{AOX}}{T_E}\right)}$$

4.1.3.2 Hidravlika SBR reaktorja

Dodajanje odpadne vode v SBR reaktor lahko poteka določen čas cikla. Iztok iz SBR reaktorja pa se pojavlja periodično, zato moramo ovrednotiti variabilni volumen reaktorja V_F . Med fazo polnjenja se med vodenjem reaktorja ali serije reaktorjev volumen poveča z začetnega volumna V_0 , na celotni volumen reaktorja V_T [1]:

$$V_T = V_0 + Q_{in} \times T_F$$

Pomen oznake:

Q_{in} – pretok odpadne vode v reaktor

Masno bilanco za koncentracijo vtoka C_A , lahko določimo kot popolnoma premešani reaktor [1]:

$$\frac{d[VC_A]}{dt} = Q_{in}C_{Ain} + Vr_A$$

Pomen oznak:

V – volumen reaktorja v danem času t

C_{Ain} – koncentracija vtoka

r_A – opazovalna hitrost pretvorbe C_A

S prerazporeditvijo enačbe dobimo [1]:

$$\frac{dC_A}{dt} = \frac{Q_{in}}{V_{oi} + Q_{in}t} (C_{Ain} - C_A) + r_A$$

Pomen oznake:

C_A – koncentracija reaktanta v danem času procesa med procesom faze

Med delom reakcije procesne faze, pri kateri SBR reaktor deluje kot popolnoma pomešani reaktor, ki ima stalni volumen, se masna bilanca lahko zapiše kot [1]:

$$\frac{dC_A}{dt} = r_A$$

Podobno velja tudi pri čepastem oziroma cevnem kontinuurnem reaktorju [1].

4.1.3.3 Možni procesi

SBR sistemi se uporabljajo za odstranjevanje ogljikovih spojin in hranil. Velika fleksibilnost vodenja je bila vedno prednost SBR sistemov. Enostavno ravnanje s parametri obratovanja se uporablja za vrsto procesov, predvsem za odstranjevanje hranil. SBR sistemi nudijo veliko število različnih operativnih variant in dovoljujejo veliko regulacij aerobnih, anoksičnih in anaerobnih faz skozi časovne kontrole dodajanja, mešanja in prezračevanja odpadne vode. Uspeh izvedbe procesa je v glavnem odvisen od

primerne zaporedja in trajanja različnih faz in period v ciklu. Poleg tega je pomembna tudi prava izbira parametrov dimenzioniranja, na primer starost biološkega blata [1].

4.1.4 MBR reaktor

MBR tehnologija predstavlja kombinacijo biološkega čiščenja in membranske filtracije. MBR tehnologija temelji na biološki razgradnji z aktivnim blatom, čemur sledi ločevanje aktivnega blata od očiščene odpadne vode na membranski enoti za mikro- ali ultrafiltracijo [28].

Glede na postavitev membranske enote v MBR sistemu ločimo potopni in ločeni sistem. Pri potopnem sistemu je membranska filtracijska enota nameščena v biološkem reaktorju. Membransko ločevanje se pri potopnem sistemu izvaja z vakuumsko filtracijo. Pri tem sistemu uporabljamo votlo-vlknaste ali ploščate membranske module. Pri ločenih sistemih je membranska enota nameščena izven biološkega reaktorja. Pri ločenih sistemih se membransko ločevanje izvaja s filtracijo pod tlakom [19]. Potopni sistemi porabijo manj energije in prostora kot ločeni sistemi [1]. Trend raziskav je v zadnjih letih usmerjen v danes vse bolj uporabljene potopne sisteme [28].

Pri membranski filtraciji prihaja do mašenja membran, zato jih je treba občasno čistiti. Mašenje membran je odvisno od delcev, ki jih filtriramo, in materiala, iz katerega je membrana narejena. Membrane morajo biti iz materialov z ustrežno fizikalno in kemijsko odpornostjo. Membrane so običajno narejene iz različne plastike ali keramike, obstajajo pa tudi kovinske membrane. Najpogosteje se uporablja poliakrilnitril (PAN), polivinil difluorid (PVDF), polietilsulfon (PES), polietilen (PE) in polipropilen (PP). Zamašene membrane lahko čistimo s povratnim tokom ali kemijsko, in sicer z bazo (soda, citrat), s kislino (HCl, H₂SO₄) ali z oksidantom (hipoklorit, H₂O₂) [1].

MBR sistem ima pred konvencionalnim sistemom z aktivnim blatom naslednje prednosti [1]:

- v prezračevalnem bazenu je lahko koncentracija aktivnega blata višja (nad 15 g/l), s čimer se zmanjša velikost prezračevalnega bazena;
- ni problemov z napihnjnim blatom;
- membranska enota nadomesti naknadni usedalnik, ki je običajno najmanj zanesljiv del procesa z aktivnim blatom;
- iztok je praktično brez suspendiranih delcev in ga ni treba dezinficirati ali dodatno obdelovati.

4.2 Sistemi s pritrjeno biomaso

Pri sistemih s pritrjeno biomaso je biomasa v obliki biofilma pritrjena oziroma priraščena na površino nosilcev biomase v reaktorju. Nosilci biomase so iz trdnih nevtralnih materialov (kamenje, sintetični materiali in drugi) ter so različnih oblik in velikosti [19]. K reaktorjem s pritrjeno biološko maso za biološko čiščenje odpadnih voda prištevamo precejalnike, rotirajoče biološke kontaktorje in biofiltre. Reaktorji s pritrjeno biološko maso opravljajo enako nalogo kot reaktorji (prezračevalni bazeni) pri sistemih z aktivnim blatom [29].

4.2.1 Biofilm

Biofilm je definiran kot plast mikroorganizmov, ki se tvori na površini [27]. V biofilmu so prisotni mikroorganizmi, ki jih najdemo tudi v aktivnem blatu. V biofilmu so prisotni predvsem heterotrofni mikroorganizmi, pri čemer prevladujejo fakultativne bakterije [19].

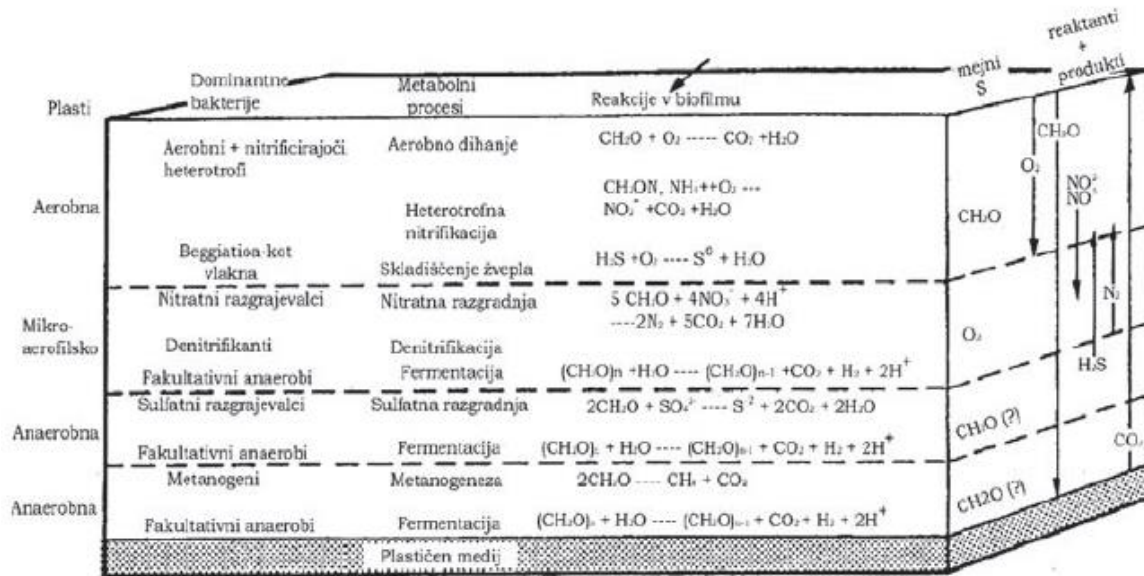
4.2.1.1 Nastajanje biofilma

Nastajanje biofilma se prične z nalaganjem hranilnih snovi, ki so prisotne v mediju oziroma okolici, na površino. Kmalu za tem se zaradi elektrostaticnih privlačnih sil pričnejo površini približevati mikroorganizmi. Po vezavi mikroorganizmov na površino pričnejo nekateri mikroorganizmi tvoriti zaščitno plast iz eksopolisaharidov. Zaščitna plast iz eksopolisaharidov, ki varuje mikroorganizme pred škodljivimi zunanjimi vplivi, ima pomembno vlogo tudi pri zadrževanju kisika in hranilnih snovi, potrebnih za vzdrževanje in razvoj biofilma. Zaščitna plast iz eksopolisaharidov je prepustna za transport kisika in hranilnih snovi iz medija oziroma okolice v biofilm, v nasprotni smeri pa prepušča razgrajene snovi in ogljikov dioksid. Z razvojem oziroma zorenjem biofilma se pričnejo v biofilmu spreminjati razmere. Debelina biofilma otežuje prehajanje kisika, zato se v spodnjih plasteh biofilma pričnejo postopoma ustvarjati anaerobni pogoji. V procesih razvoja biofilma lahko pride tudi do odcepa mikroorganizmov iz biofilma. Sproščeni mikroorganizmi se s pomočjo toka medija preselijo na nove površine, kjer se pričnejo novi procesi nastajanja biofilma [30].

4.2.1.2 Morfologija biofilma

Morfologija biofilma opisuje fizično obliko in notranjo zgradbo biofilma ter je pomembna za razumevanje interakcij z zunanjim okoljem in funkcijo biofilma. Zrela biofilmska plast je sestavljena iz

relativno trdne in urejene bazne plasti in manj trdne plasti z nepravilno topografijo ter je, kar se tiče mikroorganizmov, mikrobiološke zgradbe in procesov, zelo kompleksna. Na površju biofilma so makropore, ki jih imenujemo tudi vodni kanali, preko katerih se izvaja transport hranilnih snovi in plinov v mikrokolonije. Z globino biofilma se spreminjajo morfologija in dinamika ter vrsta procesov. Na Sliki 10 so prikazani vertikalni sloji biofilma z dominantnimi bakterijami, metabolnimi procesi, in reakcijami [31].



Slika 10: Vertikalni sloji biofilma [31]

Za odstranjevanje organske snovi iz odpadne vode, za mineralizacijo organske snovi in rast novih celic je treba organsko snov prevzeti v notranjost biofilma oziroma celice, kjer se odvijajo najpomembnejši biokemijski procesi. Poleg nove celične substance nastajajo tudi produkti mineralizacije, kot so amonijak in drugi [31].

4.2.2 Precejalniki

Precejalniki so bili prvič uporabljeni v Angliji leta 1893 [24] in veljajo za enega izmed najstarejših sistemov za biološko čiščenje odpadnih voda s pritrjeno biomaso [19].

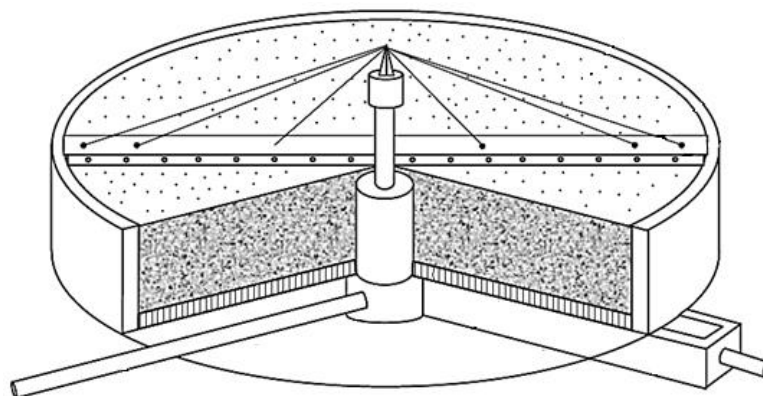
Precejalniki so načrtovani za hidravlično in organsko obremenitev. Hidravlična obremenitev precejalnikov je v območju od 1 do 40 m³/m²-dan. Hidravlično in organsko obremenitev izračunamo na naslednji način [1]:

$$\text{Hidravlična obremenitev} = \frac{\text{Pretok } \left(\frac{\text{m}^3}{\text{d}}\right)}{\text{Površina } (\text{m}^2)}$$

$$\text{Organska obremenitev} = \frac{\text{Breme onesnaženja (kg)BPK}_5\left(\frac{1}{\text{d}}\right)}{\text{Volumen } (\text{m}^3)}$$

4.2.2.1 Delovanje precejalnikov

Glavni deli precejalnikov so škropilna naprava, polnilni material, cilindrično ostenje in dno precejalnika za odtok odpadne vode. Škropilna naprava enakomerno razprši odpadno vodo iz predčiščenja po celotni površini precejalnika. Odpadna voda se nato preceja skozi polnilni material [32], na katerem so v obliki biofilma pritrjeni mikroorganizmi, ki se hranijo z organsko snovjo iz odpadne vode. Pred izpiranjem je biofilm zaščiten s polimeri, ki jih izločajo nekateri mikroorganizmi, prisotni v biofilmu [22]. Odpadna voda odteka naprej na dno precejalnika skozi odtočni kanal v naknadni usedalnik [32]. Del odpadne vode se iz iztoka precejalnika ali iz naknadnega usedalnika kot recikel vrača v precejalnik [1]. Precejalnik je prikazan na Sliki 11.



Slika 11: Precejalnik [19]

4.2.2.2 Konstrukcija precejalnikov

- **Ostenje in dno precejalnikov**

Ostenje precejalnikov običajno izvedemo v armiranem betonu in ga po potrebi toplotno izoliramo. Ostenje precejalnikov prevzame pritisk polnilnega materiala. Pritisk polnilnega materiala je odvisen od vrstne polnilnega materiala, nasipnega kota polnilnega materiala in višine precejalnika [24].

Dno precejalnikov ima tri funkcije, in sicer nosi polnilni material, omogoča pretok zraka in omogoča zbiranje in odtok prečiščene vode. Da bi v precejalniku zagotovili ustrezen pretok zraka, morajo biti prezračevalni kanali, ki poleg dotoka zraka služijo tudi za odtok prečiščene vode, priključeni na odprtine s skupno svetlo površino $\sum f \geq 1$ % površine precejalnika [24].

- **Polnilni material precejalnikov**

Pri starejših izvedbah precejalnikov je polnilni material praviloma kamen, pri novejših pa plastika. Zaželeno je, da ima polnilni material specifično površino od 90 do 96 m²/m³ in da je nasut tako, da zagotavlja dobro prezračevanje. Da bi dosegli dobro prezračevanje, mora biti velikost zrn polnilnega materiala enakomerna, vendar moramo za zmanjšanje nevarnosti zamašitve na površini precejalnika najprej uporabiti material nekoliko večje zrnivosti, od 6,5 do 12 cm, nato pa lahko uporabimo material manjše zrnivosti, od 2,5 do 6,5 cm. Material večje zrnivosti, od 8 do 15 cm, moramo uporabiti tudi na dnu precejalnika, da preprečimo posipanje drobnejših zrn polnilnega materiala skozi odprtine v nosilni konstrukciji nad dnom precejalnika. Sloj materiala z večjo zrnivostjo na dnu mora biti debeline približno 15 cm [24].

Plastični nosilci, ki se uporabljajo pri novejših izvedbah precejalnikov, so lahko različnih oblik (polnila, satovje in podobno) in imajo pred kamenjem naslednje prednosti [1]:

- imajo manjšo specifično težo,
- imajo več praznih prostorov in večjo površino na enoto volumna,
- imajo daljši hidravlični zadrževalni čas in boljši stik z mikroorganizmi,
- prenesejo večjo hidravlično in organsko obremenitev,
- imajo boljšo obstojnost,
- porazdelitev odpadne vode v precejalniku je boljša.

- **Škropilna naprava precejalnikov**

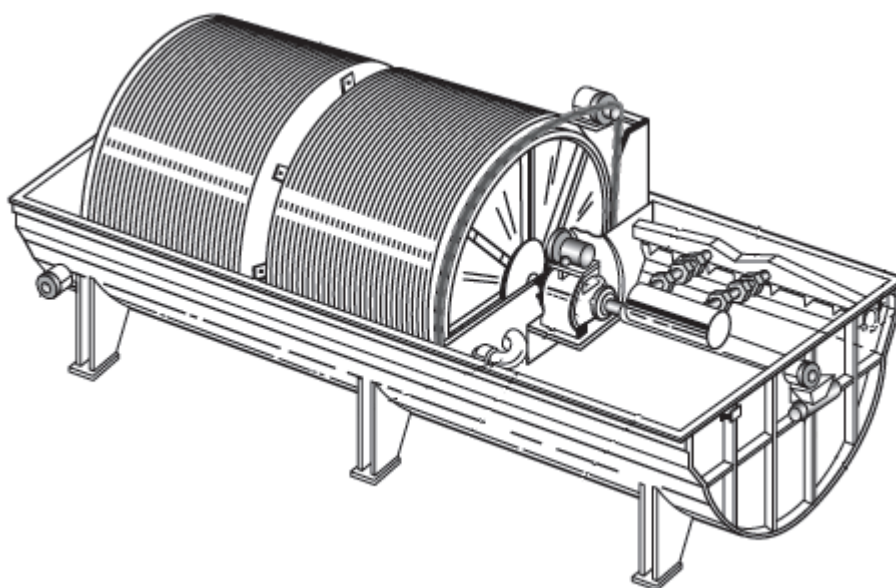
Odpadno vodo iz predčiščenja s pomočjo škropilne naprave enakomerno razpršujemo po celotni površini precejalnika bodisi kontinuirano ali pa v presledkih od 4 do 30 minut. Razprševanje odpadne vode se izvaja z razpršilnimi šobami ali pa s krožnimi in mostnimi škropili [24].

Pri precejalnikih pogosto prihaja do nepravilne porazdelitve odpadne vode po površini precejalnika. Zaradi tega lahko pride do kratkih stikov, lokalnih preobremenitev in slabšega čiščenja odpadne vode [1].

4.2.3 Rotirajoči biološki kontaktor

Rotirajoči biološki kontaktorji so posebna konstrukcijska oblika reaktorjev s pritrjeno biomaso [20]. Prvi rotirajoči biološki kontaktor je začel delovati v Nemčiji leta 1960 [19].

Bistveni deli rotirajočih bioloških kontaktorjev so ohišje, ki je obenem tudi rezervoar, horizontalna nosilna gred z diski ter napravi za električni pogon in vnos zraka. Strategija vodenja rotirajočega biološkega kontaktorja je, da se v rezervoarju zagotovi dovolj raztopljenega kisika za vzdrževanje biološkega čiščenja odpadne vode [1]. Rotirajoči biološki kontaktor je prikazan na Sliki 12.



Slika 12: Rotirajoči biološki kontaktor [33]

Rotirajoči biološki kontaktorji so načrtovani za hidravlične obremenitve od 40 do 244 l/m² dan in za organske obremenitve od 0,05 do 0,08 kg BPK₅/m³ dan [1]. Rotirajoči biološki reaktorji spadajo k visoko obremenjenim napravam [24].

Cena izgradnje rotirajočih bioloških kontaktorjev je približno enaka ceni izgradnje precejalnikov. Izkušnje kažejo, da je poraba energije za delovanje rotirajočih bioloških kontaktorjev minimalna, vendar so potrebna velika in draga vzdrževalna dela na strojni opremljeni [32].

4.2.3.1 Delovanje rotirajočih bioloških kontaktorjev

Osnovno biološko čiščenje pri rotirajočih bioloških kontaktorjih poteka na ploščah oziroma diskih, ki so pritrjeni na horizontalno nosilno gred [1] in se izmenično premikajo skozi odpadno vodo in zrak ter pri tem razvijajo biofilm na svoji površini. Učinek čiščenja odpadne vode je med drugim odvisen tudi od hitrosti vrtenja diskov, saj le-ta vpliva na debelino biofilma na diskih [24]. Če je hitrost vrtenja diskov prevelika, se lahko z diskov spere prevelika količina biomase in se zmanjša učinek čiščenja odpadne vode. Če pa je hitrost vrtenja diskov premajhna, se lahko na diskih nabere biomasa v prekomerni količini, posledično se lahko zmanjša koncentracija raztopljenega kisika ali pa pride do preobremenitve horizontalne nosilne gredi in s tem do neravnotežja na gredi [1]. Hitrost vrtenja diskov je običajno od 0,8 do 4 obrate na minuto [24]. Delovanje diskov lahko kontroliramo z električnim pogonom in vnosom zraka v sistem ali s kombinacijo obeh [1]. Vodo iz rotirajočega biološkega kontaktorja vodimo v naknadni usedalnik. V naknadnem usedalniku se od diskov oluščena biomasa z usedanjem loči od očiščene vode [24]. Gošča se črpa v nadaljnjo obdelavo ali pa nazaj v primarni usedalnik [1].

Da bi z rotirajočim biološkim kontaktorjem očistili 1 m³ povprečne odpadne vode, potrebujemo približno 10 m³ zraka in 0,3 m³ biomase [24].

4.2.3.2 Konstrukcija rotirajočih bioloških kontaktorjev

Rotirajoči biološki kontaktorji so sestavljeni iz ohišja, horizontalne nosilne gredi z diski, naprave za električni pogon in enote za vnos zraka [1]. Rotirajoči biološki kontaktorji se večinoma uporabljajo pri manjših čistilnih napravah, ker je njihova velikost bistveno omejena iz konstrukcijskih razlogov dolžine in obremenitve horizontalne nosilne gredi [24].

- **Ohišje rotirajočih bioloških kontaktorjev**

Pri rotirajočih bioloških kontaktorjih je pomembno, da so pokriti ali vgrajeni v zaprt prostor in tako zaščiteni pred atmosferskimi vplivi, kot so zmrzovanje, pojavljanje alg v sistemu ali poškodbe diskov zaradi UV svetlobe [1].

- **Nosilna gred z diski**

Diski so oblikovani tako, da nudijo veliko specifično površino in veliko volumsko učinkovitost [24]. Narejeni so lahko iz različnih materialov, pomembno je le, da je material lahek in da ima primerno hrapavo površino. Diski so običajno narejeni iz PVC, polietilena ali ekspaniranega polistirena. Diski imajo premer od 1,8 do 3,7 m [1] in so na horizontalno nosilno gred pritrjeni od 1,5 do 2,5 cm narazen. Na gred je lahko pritrjenih od 30 do 180 diskov. Dolžina horizontalne nosilne gredi je od 1 do 6 m [24]. Nosilne gredi so lahko razporejene zaporedno ali vzporedno s tokom odpadne vode [1].

Rotirajoče biološke kontaktorje lahko glede na površino razdelimo na [1]:

- rotirajoče biološke kontaktorje s standardno površino = 9.300 m²,
- rotirajoče biološke kontaktorje s srednjo površino = 11.200 m² in
- rotirajoče biološke kontaktorje z veliko površino = 16.700 m².

Pri starejših rotirajočih bioloških kontaktorjev je v odpadno vodo potopljenih okoli 40 % površine diskov, pri novejših od 80 do 100 % [1].

- **Naprava za električni pogon in enota za vnos zraka**

Z napravo za električni pogon in enoto za vnos zraka lahko kontroliramo delovanje diskov. Naprava za električni pogon ima motor in reduktor, ki je pritrjen na horizontalno nosilno gred. Enota za vnos zraka je lahko šoba ali difuzor in je nameščena pod diski. Z enoto za vnos zraka dovajamo v sistem raztopljeni kisik. Kisik se v sistem dovaja tudi z vrtenjem diskov skozi zrak [1].

4.2.4 Biofiltri

Biofilter je reaktor z nosilcem pritrjene biomase, kjer hkrati potekata biorazgradnja in filtracija [27]. Z biofiltrom hkrati odstranimo organsko onesnaženje in suspendirane snovi. Za procese biološkega čiščenja, pri katerih hkrati odstranimo organsko onesnaženje in suspendirane snovi, se uporablja tudi izraz biofiltracija [1].

Biofiltre lahko uporabljamo v aerobnih in anaerobnih procesih biološkega čiščenja odpadne vode za odstranjevanje različnih vrst onesnaženja (ogljikove in dušikove spojine) [1].

4.2.4.1 Uporaba biofiltrrov

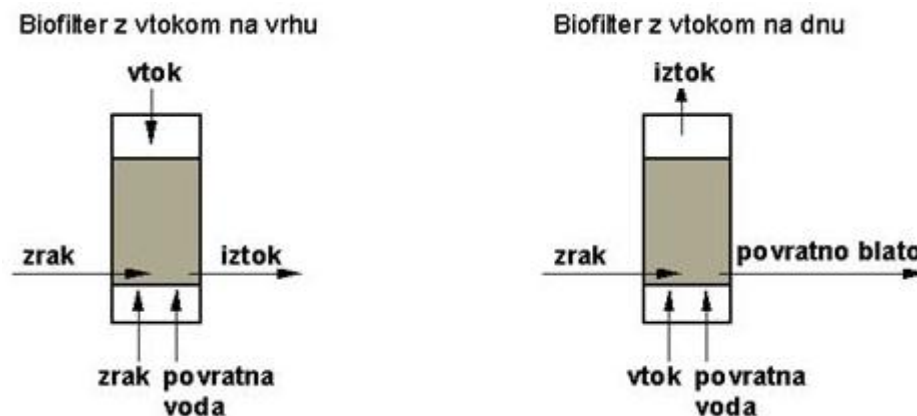
Za uporabo biofiltrrov se odločimo predvsem takrat, ko je odpadna voda visoko obremenjena in imamo za postavitev čistilne naprave za čiščenje odpadne vode na razpolago manj prostora [24]. Za postavitev biofiltrrov namreč potrebujemo manj prostora kot pri drugih čistilnih napravah – zaradi oblike in manjših bistrilnikov. Biomasa pri biofiltrih ima višjo koncentracijo in aktivnost kot pri sistemih biološkega čiščenja z aktivnim blatom. Biofiltri potrebujejo za zahtevano stopnjo čiščenja približno trikrat manj volumna kot sistemi biološkega čiščenja z aktivnim blatom in dvanajstkrat manj kot precejalniki. Delovanje biofiltrrov je zanesljivo. Pomembno je, da odpadna voda, ki vstopa v sistem biološkega čiščenja z biofiltri, vsebuje čim manj suspendiranih snovi. Čim več suspendiranih snovi vsebujejo odpadne vode, tem pogosteje prihaja do mašenja biofiltrrov oziroma tem pogosteje je potrebno biofiltre spirati. Od frekvence spiranja sta odvisni učinkovitost in poraba energije biofiltra. Njihova prednost je tudi v tem, da jih zlahka vključimo v že obstoječe čistilne naprave. Slaba stran biofiltrrov je njihova zapletena konstrukcija (dovod odpadne vode, dovod zraka, recikel). Zaradi uporabe nosilcev biomase so investicijski stroški visoki. V primerjavi s sistemi z aktivnim blatom so visoki tudi obratovalni stroški zaradi stroškov energije, ki omogoča dovod odpadne vode in zraka v biofilter [1].

4.2.4.2 Delitev biofiltrrov

Biofiltre glede na premečnost filtrnega medija delimo na [24]:

- biofiltre s stacionarnim filtrnim medijem in
 - biofiltre s premikajočim filtrnim medijem.
-
- **Aerirani biofiltri s stacionarnim filtrnim medijem**

V aerirane biofiltre s stacionarnim filtrnim medijem vpihujemo zrak na dnu biofiltra [24]. Glede na vtok odpadne vode v biofilter pa poznamo biofiltre z vtokom odpadne vode na dnu in tokom vode navzgor ter biofiltre z vtokom odpadne vode na vrhu in tokom vode navzdol (Slika 13) [1].



Slika 13: Delitev biofiltrrov glede na vstop odpadne vode [1]

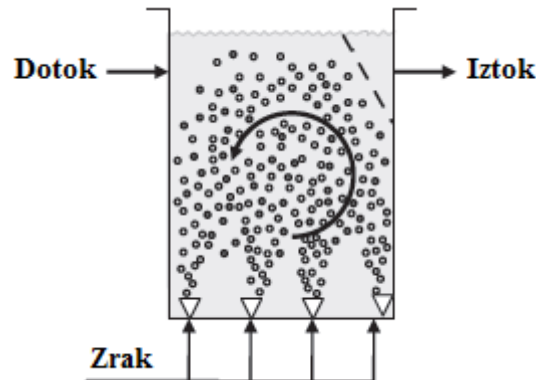
Glede na debelino biofilma in probleme z zamašitvijo se lahko odločamo za biofiltre, ki imajo dovolj vmesnega prostora med zrnji, in hidravlično prevodnostjo, ki preprečuje prekomerno razrast oziroma debelino biofilma. S takšnim filtrnim medijem ne moremo doseči velike specifične površine, zato takšna naprava potrebuje več prostora kot naprava s strnjanim slojem [24]. V biofiltrih s strnjanim slojem se lahko razvije biomasa z zelo visoko stopnjo aktivnosti, zato imajo ti filtri zelo visoko učinkovitost čiščenja glede na volumen. Pogosta težava, ki se pojavlja pri uporabi biofiltrrov s strnjanim slojem, je mašenje filtrnega medija. Potrebno je redno povratno spiranje filtrnega medija. Mašenje filtrnega medija in posledično pogostost spiranja sta odvisna od količine suspendiranih snovi v odpadni vodi, zato moramo z biofiltri iz odpadnih voda, ki vstopajo v sistem biološkega čiščenja, čim bolj odstraniti suspendirane snovi. Od frekvence povratnega spiranja sta odvisni učinkovitost in poraba energije biofiltra [1].

4.3 Hibridni sistemi

4.3.1 Reaktor s plavajočimi nosilci biomase (MBBR reaktor)

MBBR proces je bil razvit v poznih 80. letih 20. stoletja na Norveškem. Pri MBBR procesu so v reaktor (prezračevalni bazen) z aktivnim blatom dodani mobilni nosilci biomase, ki predstavljajo dodatno površino za rast mikroorganizmov [19].

MBBR reaktor je prikazan na Sliki 14.



Slika 14: MBBR reaktor [19]

Nosilci biomase so večinoma plastični in se med seboj razlikujejo po velikosti, obliki, strukturi in specifični površini, namenjeni za pritrjevanje mikroorganizmov [1]. Specifična teža nosilcev biomase je okoli $0,96 \text{ g/cm}^3$ in je nekoliko nižja od specifične teže vode, ki je $1,00 \text{ g/cm}^3$. Za normalno delovanje MBBR reaktorja mora biti od $1/3$ do $2/3$ praznega volumna prezračevalnega bazena napolnjenega z nosilci biomase [33].

Mikroorganizmi se pritrjujejo predvsem na notranje površine nosilcev, ki jim nudijo zaščito pred luščenjem. Odvečna biomasa se z nosilcev biomase lušči in izloča v suspenzijo aktivnega blata. Suspenzijo aktivnega blata se iz prezračevalnega bazena vodi v nadaljnje postopke obdelave, brez recikla povratnega blata, kot ga poznamo pri konvencionalnih sistemih z aktivnim blatom. Na iztoku očiščene vode iz sistema je nameščena rešetka, ki preprečuje izhajanje nosilcev biomase [1].

V MBBR reaktor moramo dovajati zadostne količine kisika, da lahko z njim oskrbimo mikroorganizme in hkrati omogočimo enakomerno razporeditev nosilcev biomase po celotni prostornini prezračevalnega bazena. Na ta način dosežemo visoko koncentracijo biomase in daljši zadrževalni čas mikroorganizmov v reaktorju ter posledično večjo starost biološkega blata [1].

5 NAČINI RAVNANJA S PRESEŽNIM BIOLOŠKIM BLATOM

Pri procesih biološkega čiščenja odpadnih voda nastaja kot neizogiben stranski produkt presežno biološko blato, ki ga je treba zgostiti, stabilizirati in nato na primeren način odstraniti [4].

Obdelava presežnega biološkega blata ima več namenov, v glavnem pa so njeni cilji stabilizacija, mineralizacija in higienizacija blata. Stabilizacija blata pomeni zmanjšanje razgradljivih lastnosti blata do takšne mere, da se zmanjšajo neprijetne vonjave in da sposobnost sprejemanja kisika po štirih dneh AT_4 ne presega mejne vrednosti, določene s pristojno uredbo. Mineralizacija blata je postopek, pri katerem se organske snovi v blatu pretvorijo v mineralne snovi. Higienizacija blata pa je postopek, s katerim se uničijo vegetativne oblike človeških, živalskih in rastlinskih škodljivih (patogenih) organizmov v blatu [3].

Ravnanje z biološkim blatom predstavlja od 30 do 50 % obratovalnih stroškov čistilnih naprav [5], zato optimalno ravnanjem s presežnim blatom bioloških čistilnih naprav postaja pomemben izziv za projektante, investitorje in upravljalce čistilnih naprav po vsem svetu [6].

V državah članicah EU temelji ravnanje z blatom na 5-stopenjski hierarhiji ravnanja z odpadki [5]:

1. Preprečevanje nastajanja blata:
 - zmanjšanje nastajanja blata na izvoru z uporabo mikrobnih združb z manjšim prirastom;
 - boljši presnovni postopki za surovo blato.
2. Ponovna uporaba blata:
 - direktna uporaba stabiliziranega blata v kmetijstvu.
3. Recikliranje:
 - vračanje humusnih in gnojnih komponent v kompost predelanega blata v kmetijstvo in gozdarstvo;
 - uporaba blata kot surovine v industrijskih proizvodnih procesih za izdelavo izdelkov.
4. Druga predelava blata, na primer energetska predelava blata:
 - anaerobna stabilizacija (digestija) s pridobivanjem bioplina;
 - sežig dehidriranega blata v toplotnih napravah.
5. Odstranjevanje:

- odstranitev preostankov predelav mora potekati na okoljsko varen način z odlaganjem preostankov predelave blata.

5.1 Uporaba svežega ali predelanega biološkega blata v kmetijstvu

Presežno biološko blato iz biološkega čiščenja odpadnih voda v svoji organski in mineralni snovi vsebuje kmetijske prvine in sestavine, ki so potrebne za gojenje različnih kultur v kmetijstvu [5]:

- organske snovi: suha snov blata vsebuje približno od 60 do 70 % organskih snovi, ki po digestiji in kompostiranju tvorijo humus, ki je odličen kondicionant za izčrpano zemljinjo;
- anorganske snovi: blato vsebuje od 30 do 40 % mineraliziranih snovi, od tega do 10 % zemljoalkalijskih kovin (kalcij Ca, magnezij Mg), do 5 % hranil (dušik N, fosfor P, kalij K) ter do 0,5 % esencialnih mikroelementov (bor B, baker Cu, železo Fe, mangan Mn, molibden Mo, cink Zn);
- vsebnost škodljivih snovi, kot so obstojna organska onesnaževala (POPs, PCB, PAH) in težke kovine (kadmij Cd, krom Cr, nikelj Ni, svinec Pb in druge), je praviloma majhna do zmerna, če je odpadna voda predvsem komunalnega izvora.

Blato, digestat ali kompost morajo biti higienizirani, tj. brez patogenih organizmov in kalijevih semen. Direktno gnojenje s svežim nestabiliziranim blatom je pogojeno z vrsto dejavnikov, kot so ustrezna sestava blata, dosedanja obremenjenost zemljine, vrsta kulture, letni čas in podobno, zato se ga razmeroma malo prakticira. Večje možnosti ima blato, predelano v digestat ali kompost, ki ju Uredba o predelavi biološko razgradljivih odpadkov in uporabi komposta ali digestata dovoljuje v dveh kakovostnih razredih. Mejne vrednosti za prvi kakovostni razred so razmeroma stroge in jim zadostijo le malokatera blata, zato je perspektivnost tovrstnega ravnanja z odvečnim biološkim blatom v EU in tudi pri nas razmeroma omejena [5].

5.2 Biološka stabilizacija blata

Sveža, nedehidrirana biološka blata so dobro biorazgradljiva, kar lahko izkoristimo za njihovo stabilizacijo [5]. Če je potek razgradnje ustrezen, se zmanjša volumen organskih snovi oziroma količina blata, zmanjša se število patogenih bakterij in posledično izgine tudi neprijeten vonj. Ločimo dva osnovna tipa biološke stabilizacije blata, in sicer anaerobno in aerobno stabilizacijo. Osnovna razlika med njima je, da aerobna stabilizacija poteka v prisotnosti kisika, anaerobna stabilizacija pa v odsotnosti kisika, ter da pri anaerobni stabilizaciji kot produkt razgradnje ogljikovih spojin nastaja bioplina [4].

Poznamo tudi hibridne postopke biološke stabilizacije blata [5].

5.2.1 Anaerobna stabilizacija blata

Anaerobna stabilizacija blata poteka v anaerobnem reaktorju – gnilišču. Pri tem postopku nastaja bioplina, ki je v grobem mešanica 70 % metana CH_4 in 30 % ogljikovega dioksida CO_2 . Bioplina ima kurilno vrednost do 25 MJ/m^3 . Bioplina se najpogosteje uporablja v napravi za soproizvodnjo toplotne in električne energije (SPTE). Dobra stran tega procesa je, da nam daje koristno energijo, ki jo lahko porabimo za druge namene na čistilni napravi. Slaba stran procesa pa je, da so stabilizacija, mineralizacija in higienizacija nepopolne, zato je ostanek obdelanega blata lahko zdravstveno oporečen [3].

Anaerobna stabilizacija biološkega blata lahko poteka v mezofilnem (30–40 °C) ali termofilnem (50–60 °C) temperaturnem območju. Proces običajno poteka v mezofilnem temperaturnem območju in je relativno počasen, traja od 20 do 30 dni. V termofilnem temperaturnem območju mikroorganizmi delujejo tudi do 8-krat hitreje in proces traja največ 12 do 15 dni. Sproščanje toplote zaradi delovanja mikroorganizmov je zanemarljivo, zato moramo vsebino anaerobnega reaktorja segreti. Za segrevanje anaerobnega reaktorja ponavadi uporabimo bioplina. V kogeneracijskih postrojenjih se ves bioplina porabi za proizvodnjo elektrike, odpadna toplota motorja, ki proizvaja elektriko, pa se porabi za gretje anaerobnih reaktorjev. Pri mezofilnem temperaturnem območju je odpadne toplote za gretje anaerobnega reaktorja dovolj, pri termofilnem temperaturnem območju pa ne. Za zadostitev toplotnih potreb procesa pri termofilnem temperaturnem območju se lahko uporabi regeneracija toplote z iztoka na vtok blata. Proces anaerobne stabilizacije biološkega blata lahko pospešimo s predhodno hidrolizo blata. Hidroliza blata je postopek, pri katerem se celice mikroorganizmov raztrgajo. Vsebinska celica je anaerobnim mikroorganizmom prosto dostopna za predelavo. Proces anaerobne predelave biološkega blata se zato bistveno pospeši in pri mezofilnih pogojih traja le do 10 dni. Za hidrolizo blata se običajno uporabljajo fizikalno-kemijski procesi. Hidroliza se lahko izvede samo z mehanskimi strižnimi silami, z natrijevo lužino, s kislino, z ultrazvokom, z ozonom ali z gama žarki. Aplikacija takih predobdelav blata je marsikje izvedena tudi že v polni velikosti [5].

5.2.2 Aerobna stabilizacija blata

Proces aerobne stabilizacije blata se uporablja predvsem pri manjših čistilnih napravah (pod 2.000 PE), kjer anaerobni proces ni rentabilen, torej obratovanje ne povrne vložka investicije. Stroški obratovanja

aerobnega procesa so sicer precej višji kot stroški obratovanja anaerobnega procesa, a je seštevek stroškov obratovanja še vedno nižji od investicije v kogeneracijski postroj anaerobnega procesa [3].

Pri aerobni stabilizaciji blato kontaktiramo z zrakom ali kisikom in heterotrofno združbo mikroorganizmov. Mikroorganizmi razgrajujejo blato v ogljikov dioksid (CO_2) in vodo (H_2O) ter mineraliziran preostanek. Hitrost procesa je tudi pri aerobnem postopku zelo odvisna od temperature. Pri ambientni temperaturi poteka proces zelo počasi, potrebni so zadrževalni časi preko 50 dni. V termofilnem temperaturnem območju poteka proces zelo hitro, saj je za potek procesa dovolj že 7 dni [5].

Slabosti aerobne stabilizacije so velika poraba energije za vpihanje zraka in mešanje vsebine reaktorja, potrebno je čiščenje izpušnega zraka na biofiltru, vsa sproščena toplota od razpada organskih snovi blata pa gre v nič. Prednosti postopka aerobne stabilizacije sta zanesljivost postopka in relativno poceni postrojenje. Lahko rečemo, da aerobni proces ceneje predela blato v stabilizirano in mineralizirano obliko pri malih čistilnih napravah, kjer se izraba bioplina zaradi visoke cene investicije v postrojenje ne splača. Preostalo blato, obdelano po tem postopku, običajno zadosti kriterijem vnosa blata kot gnojila v tla, če le niso prisotne težke kovine [5].

5.2.3 Hibridni postopki anaerobno-aerobne obdelave blata

Hibridnim postopkom obdelave blata je skupno, da niso strogo ločeni v svoji liniji, kot je to običajno, ampak so v veliki meri integrirani v več postopkov na čistilni napravi. Pri hibridnih postopkih se uporabi dobre lastnosti aerobnega in anaerobnega procesa. To pomeni, da ves bioplin, ki je proizveden v anaerobnem procesu, porabimo za proizvodnjo elektrike, v aerobnem procesu pa dokončno mineraliziramo in stabiliziramo blato. Dodatna pozitivna lastnost postopka je, da lahko z njim odstranimo sekundarni amonij na čistilni napravi [5].

Razvitih je tudi več aerobno-anaerobnih postopkov, kjer se najprej uporabi aerobni postopek za segrevanje blata na delovno temperaturo, nato pa anaerobni postopek za pridobivanje bioplina. Pri tem se v aerobnem postopku sicer izgubi nekaj bioplina, do 10 %, kar ustreza približno količini bioplina, ki bi bila potrebna za segrevanje blata. Omenjeni postopek ima zadrževalni čas do 20 dni [5].

Biološki postopki stabilizacije blata zmanjšajo količino blata, ne rešijo pa problema njegove končne odstranitve. V zadnjih letih so bili razviti postopki, ki stabilizirano blato kot surovino vgrajujejo v izdelke [5].

5.3 Toplotna stabilizacija blata

Zaradi prepovedi odlaganja surovega blata na odlagališča odpadkov je postala aktualna, prej zaradi cene manj priljubljena, toplotna stabilizacija pri povišani temperaturi. Pri toplotni stabilizaciji pri povišani temperaturi organske snovi razpadejo in zgorijo ali pa tvorijo uporabne pline [5].

5.3.1 Sežig blata

Za toplotno avtonomnost postopka sežiga blata je potrebno blato dehidrirati do približno 40 % suhe snovi, kar lahko dosežemo s kombinacijo centrifugiranja in sušenja. Za sežig blata se običajno uporabljajo peči s fluidiziranim slojem ali etažne peči. Temperatura sežiga blata je približno 850 °C. Leteči pepel izločimo z elektrofiltrom in ga odložimo kot nenevaren odpadke ali pa ga uporabimo kot surovino v betonih ali asfaltih. Postopek sežiga blata je primarno namenjen sežigu organske snovi blata in ne proizvodnji energije. Če želimo pridobiti tudi energijo, uporabimo kot dodatek les ali fosilno gorivo. S tem izboljšamo učinkovitost sežiga in celotni toplotni izkoristek. Mehansko dehidrirano blato (> 20 % sušine) lahko sežgemo v sežigalnici komunalnih odpadkov [5].

Sežig blata zelo zmanjša volumen in maso blata, a po obdelavi ostane pepel, ki ga je potrebno odložiti. Če smo pred sežigom imeli probleme z vsebnostjo težkih kovin v blatu, se je ta problem močno skoncentriral (tudi do 100-krat), kar pa je nevarnost odpadka še povečalo in postopke odlaganja še bolj zapletlo. Prav tako je treba omeniti, da je sežig blata kljub kurilni vrednosti blata med 3 in 7 MJ/kg suhega blata energijsko negativen proces. Po mehanski odstranitvi vode blato še vedno vsebuje od 55 do 80 % vode in ga je treba pred sežigom posušiti, kar močno poslabša energijsko bilanco procesa. S sodobnimi procesi je mogoče doseči energijsko pozitiven sežig, vendar so naprave bistveno bolj zapletene kot običajne naprave za biološke obdelave. Obstajajo tudi predlogi za rešitev odlaganja pepela. Zelo domiseln je postopek pridobivanja umetnega granita ali drugih kamnin iz blata čistilnih naprav. Tak postopek pa seveda porabi veliko energije in je precej drag [3].

5.3.2 Sosežig blata

Sosežig biološkega blata v industrijskih pečeh ali toplarnah na trda goriva zahteva popolno dehidriranost blata (> 90 % suhe snovi, kurilna vrednost 10–15 MJ/kg). To lahko dosežemo le s sušenjem mehansko dehidriranega blata, za kar pa porabimo toploto, ki je enaka približno polovici kurilne vrednosti dobljene sušine. To je smiselno le, kadar imamo na razpolago odpadno toploto (na primer digestijski plin iz

gnilišča surovega blata). S sosežigom blata se izognemo investiciji v lastno peč. Odpade tudi problem odstranitve pepela, vendar pa narastejo stroški odstranitve in odvisnosti od prevzemnika blata [5].

5.3.3 Novi postopki toplotne obdelave blata

Novi postopki gredo v smeri anoksičnih procesov, ki potekajo pri nižjih temperaturah in povzročajo bistveno nižje emisije. Ti postopki imajo boljše toplotne izkoristke, njihovi produkti pa se lahko uporabijo kot sekundarne surovine in energenti. Uveljavljata se predvsem dva postopka, in sicer uplinjanje in piroliza [5].

5.3.3.1 Uplinjanje

Uplinjanje je postopek, pri katerem se pri temperaturi do 800 °C organske snovi iz blata pretvarjajo v plinasto mešanico ogljikovega monoksida (CO) in vodika (H₂). Plinasta mešanica je odličen energent in tudi surovina za petrokemično industrijo. Blato vsebuje preveč mineralov, zato ga je treba mešati z lesom ali premogom. Dobitek je do 3 kg sinteznega plina/kg suhe snovi vložka s kurilnostjo od 3 do 5 MJ/m³ [5].

5.3.3.2 Piroliza

Piroliza (suha destilacija) je postopek, pri katerem trdne organske snovi iz blata razpadejo v plinaste, tekoče in trdne produkte, ki jih lahko uporabimo kot energente ali sekundarne surovine. Blato je treba mešati z drugimi odpadki, predvsem s plastiko ali gumo. Končni produkt pirolize sta pirolizno olje kot pogonsko gorivo in pirolizni plin, s katerim zagotavljamo toploto za proces [5].

5.4 Uporaba blata kot surovine

V zadnjih letih so se pojavili postopki, ki vgrajujejo blato kot surovino v izdelke. Blato lahko zaradi nekaterih njegovih lastnosti, kot so sestava in granulacija mineralnega deleža, uporabimo kot surovino. Blato se lahko sosežge v cementarnah, nastali pepel pa se do 20 % masnega deleža vgradi v cementno maso. Vgraditev blata do 15 % masnega deleža je možna tudi v opeko ali drug keramični material. Mehanske lastnosti opeke se ob dodatku blata do 5 % masnega deleža ne spremenijo. Pri višjih deležih blata se poslabšajo mehanske lastnosti opeke, prav tako pa se zniža kakovost pečnega materiala [5].

Biološko blato je kot surovino možno uporabiti tudi v proizvodnji kartona, in sicer za kartonsko sredico. Dodatek blata bistveno ne poslabša kakovosti kartona in njegovih mehanskih lastnosti. Blato se kot dodatek lahko uporablja le za nezahteven embalažni karton, kar kljub cenenosti daje soliden ekonomski učinek v primerjavi z odvažanjem in sežigom. Zaradi strogih pravil blata trenutno še ni mogoče uporabljati za živilske in visoko kakovostne kartone, kjer je dodana vrednost precej višja. Omenjeni postopki trajno rešijo problem blata in tako ne povzročajo okoljskih bremen, nedvomno pa so tudi ekonomsko izjemno učinkoviti [5].

6 ODVAJANJE IN ČIŠČENJE KOMUNALNIH IN PADAVINSKIH ODPADNIH VODA V OBČINI ZAGORJE OB SAVI

Občina Zagorje ob Savi leži v osrčju Slovenije in obsega 147 km² površin. V občini živi okoli 16.800 prebivalcev. Gostota poselitve znaša 114 prebivalcev na 1 km² površine [34]. Poleg okoliških naselij občino sestavljajo tri večja naselja, in sicer Zagorje ob Savi, Kisovec in Izlake [35]. Območje občine Zagorje ob Savi je prikazano na Sliki 15.



Slika 15: Občina Zagorje ob Savi [36]

Na območju občine Zagorje ob Savi opravlja dejavnost odvajanja in čiščenja komunalnih in padavinskih odpadnih voda Javno podjetje Komunala Zagorje d.o.o. (v nadaljevanju Komunala Zagorje). Komunala Zagorje izvaja dejavnost odvajanja in čiščenja komunalnih in padavinskih odpadnih voda le za približno 62 % prebivalcev občine Zagorje ob Savi [35].

V občini Zagorje ob Savi so s pomočjo sredstev iz Kohezijskega sklada EU v okviru projekta »Odvajanje in čiščenje odpadnih voda v porečju srednje Save – II. faza« zgradili celovit sistem odvajanja in čiščenja odpadnih voda za naselja Kisovec in Zagorje ob Savi [37].

V naselju Izlake ustrezen sistem odvajanja in čiščenja odpadnih voda še ni bil zgrajen [35]. Na območju Izlak je predvidena izgradnja javnega kanalizacijskega sistema s CCN Izlake kapacitete 2.000 PE do konca leta 2017 [37].

V okoliških naseljih trenutno še niso predvidene investicije v izgradnjo javnega kanalizacijskega sistema oziroma čistilnih naprav [35]. Na območjih, kjer javni kanalizacijski sistem ne bo zgrajen, je na podlagi Uredbe o odvajanju in čiščenju komunalne odpadne vode predvideno čiščenje odpadnih voda v malih komunalnih čistilnih napravah ali nepretočnih greznicah.

6.1 Odvajanje in čiščenje komunalnih in padavinskih odpadnih voda v naseljih Kisovec in Zagorje ob Savi

V naseljih Kisovec in Zagorje ob Savi je bil kanalizacijski sistem, pred izvedbo projekta »Odvajanje in čiščenje odpadnih voda v porečju srednje Save – II. faza«, zgrajen le delno. Obstoječa kanalizacija je bila grajena v mešanem sistemu; razen na območju nove industrijske cone na področju bivšega rudnika Kisovec in na ozkem pasu ob vodotoku Medija v naselju Zagorje ob Savi je bila kanalizacija izvedena v ločenem sistemu. Celotno obravnavano območje je bilo dokaj dobro komunalno opremljeno, saj je bila večina hiš že priključenih na kanalizacijski sistem. A večina obstoječega kanalizacijskega sistema ni imela ustreznega rešenega čiščenja odpadnih voda, temveč so se odpadne vode brez ustreznega čiščenja odvajale v vodotoke. Hiše so bile opremljene z individualnimi greznicami, v katerih se je voda delno prečistila, višek odpadne vode pa je po obstoječih kanalih odtekal v vodotoke [38] in [39]. Izjema je bil le severovzhodni del naselja Zagorje ob Savi ob vodotoku Kotredeščica, kjer je bila locirana komunalna čistilna naprava Zagorje ob Savi – Kotredež s kapaciteto 1.900 PE. Na čistilno napravo Zagorje ob Savi – Kotredež so dovažali tudi vsebine iz greznic z območja celotne občine [35].

V Preglednici 1 so prikazani osnovni podatki o Čistilni napravi Zagorje ob Savi – Kotredež. V Preglednici 2 pa emisije v vode iz Čistilne naprave Zagorje ob Savi – Kotredež.

Preglednica 1: Osnovni podatki o Čistilni napravi Zagorje ob Savi – Kotredež [40]

Ime čistilne naprave	Čistilna naprava Zagorje ob Savi – Kotredež
ID čistilne naprave	109
Naziv upravljalca čistilne naprave	Javno podjetje Komunala Zagorje, d.o.o.
Stopnja čiščenja čistilne naprave	sekundarno
Zmogljivost čistilne naprave	1.900 PE
Odvodnik	vodotok Kotredeščica
Koordinate iztoka čistilne naprave	GKY = 500505 in GKX = 109607

Preglednica 2: Emisije v vode iz Čistilne naprave Zagorje ob Savi – Kotredež [41]

Parametri	Leto				
	2010	2011	2012	2013	2014
Letna količina prečiščene odpadne vode [1000 m ³ /leto]	81,601	83,348	83,643	80,27	65,884
pH vrednost	7,3	7,4	7,9	7,6	7,5
Temperatura [°C]	18,6	18,8	17,4	11,9	13,5
pretok [l/s]	n. p.	n. p.	n. p.	n. p.	4,3
Kemijska potreba po kisiku (KPK) [mg/l]	65	83	80	82	93
Biokemijska potreba po kisiku (BPK ₅) [mg/l]	12	10	12	24	12
Učinek čiščenja po KPK [%]	92,4	86,8	95	89,4	44,1
Učinek čiščenja po BPK ₅ [%]	88,4	92,7	96,6	79,1	11,1

* n. p. – ni podatka

Na območju aglomeracije Loke pri Zagorju (ID aglomeracije 7514), kamor spada tudi naselje Kisovec, je bilo na sistem odvajanja odpadne vode priključenih 1.806 PE oziroma 71,98 % celotne obremenitve v aglomeraciji. Sistem čiščenja odpadne vode ni bil urejen. Na območju aglomeracije Zagorje ob Savi (ID aglomeracije 7622) je bilo na sistem odvajanja odpadne vode priključenih 7.980 PE, kar predstavlja 95 % celotne obremenitve aglomeracije, na sistem čiščenja odpadne vode pa le 1.557 PE oziroma 18,53 % celotne obremenitve v aglomeraciji [42].

V okviru projekta »Odvajanje in čiščenje odpadnih voda v porečju srednje Save – II. faza« so uredili sistem odvajanja in čiščenja komunalne in padavinske odpadne vode za naselji Kisovec in Zagorje ob Savi. V naselju Kisovec se je nova kanalizacija gradila v ločenem sistemu, v naselju Zagorje ob Savi pa v mešanem sistemu. Komunalna kanalizacija je izvedena iz armirano-poliestrskih gladkih cevi GRP SN 10000 N/m², padavinska kanalizacija pa iz PVC cevi SN8. Kanalizacija poteka gravitacijsko [35]. V okviru projekta je bilo v letih 2014 in 2015 na območju naselij Kisovec in Zagorje ob Savi zgrajenih 15,4 km kanalizacijskega sistema, od tega 13,1 km komunalnega sistema v mešanem in ločenem sistemu ter 2,3 km padavinskega sistema. Zgrajeni sta bili dve črpališči, eno v naselju Kisovec za prečrpavanje odpadne vode z levega brega Medije, drugo pa na območju Centralne čistilne naprave Zagorje ob Savi. Zgrajenih je bilo tudi 9 pretočnih bazenov padavinskih voda, od tega eno v naselju Kisovec in 8 v naselju Zagorje ob Savi. Od 9 pretočnih bazenov padavinskih voda je en razbremenilnik visokih voda [43]. Pretočni bazeni padavinskih voda so locirani na mestih, kjer se kanali v mešanem sistemu priključijo na kanale v ločenem sistemu. Volumni pretočnih bazenov so odvisni od velikosti prispevnega območja [35].

V okviru projekta so porušili tedaj obstoječo komunalno čistilno napravo Zagorje ob Savi – Kotredež s kapaciteto 1.900 PE [38] in na novi lokaciji zgradili novo, centralno čistilno napravo Zagorje ob Savi s kapaciteto 11.000 PE, ki je z januarjem 2015 pričela s poskusnim obratovanjem. Na Centralni čistilni

napravi Zagorje ob Savi so z rednim obratovanjem pričeli v septembru 2015, po pridobitvi pravnomočnega uporabnega dovoljenja za njeno delovanje [43]. Na lokaciji komunalne čistilne naprave Zagorje ob Savi – Kotredež so po poružitvi zgradili pretočni bazen padavinskih voda [35].

7 CENTRALNA ČISTILNA NAPRAVA ZAGORJE OB SAVI

CČN Zagorje ob Savi je mehansko-biološka čistilna naprava s terciarnim čiščenjem odpadne vode, aerobno stabilizacijo blata, strojnim zgoščanjem presežnega blata ter sprejemom in obdelavo gošč iz greznic in presežnega blata iz malih čistilnih naprav (MČN) [44].

CČN Zagorje ob Savi leži na desnem bregu reke Save ob križišču glavne ceste G2-108 (Litija–Trbovlje) in regionalne ceste R1-222 (krožišče Zagorje-most čez reko Savo) [45]. Na Sliki 16 je prikazana CČN Zagorje ob Savi.



Slika 16: CČN Zagorje ob Savi [46]

7.1 Prispevno področje in obremenitev naprave

Prispevno področje CČN Zagorje ob Savi obsega območje Zagorja, Dolenje vasi, Kisovca, Lok pri Zagorju, Podkrajja pri Zagorju in Sela pri Zagorju [44].

V Preglednici 3 je prikazana rekapitulacija obremenitve CČN Zagorje ob Savi, v Preglednici 4 pa obremenitev CČN Zagorje ob Savi.

Preglednica 3: Rekapitulacija obremenitve CČN Zagorje ob Savi [44]

Prispevek	PE	Dnevni sušni dotok [m³/dan]	Urni sušni dotok Qt [m³/h]	Urni deževni dotok Qm [m³/h]
Prebivalci	10.109	1.650	165	330
Industrija, mala obrt in javna poraba	250	37	6	10
Gošče iz greznic in presežno blato iz MČN	500	8	1	2
Tuje vode	0	868	37	37
Skupaj	10.859	2.583	208	379

Na kanalizacijski sistem in čistilno napravo ni priključene nobene industrije z izpusti tehnoloških vod [47]. Dejanska obremenitev CČN Zagorje ob Savi je 11.000 PE [44].

Preglednica 4: Obremenitev CČN Zagorje ob Savi [44]

Vhodni podatki	Vrednost	Enota
Število priključenih enot	11.000	PE
BPK ₅	660	kg BPK ₅ /dan
Neraztopljene snovi	770	kg/d
Obremenitev s celotnim dušikom	121	kg/d
Obremenitev s celotnim fosforjem	22	kg/d
Dnevni sušni dotok	2.583	m ³ /d
Urni sušni dotok Qt	208	m ³ /h
	58	l/s
Urni deževni dotok Qm	379	m ³ /h
	105	l/s
Najnižja temperatura vode	12	°C

7.2 Tehnološki postopek čiščenja

CČN Zagorje ob Savi obsega naslednje tehnološke sklope oziroma objekte [44]:

- grobe elektromotorne grablje,
- kompaktno kombinirano napravo za mehansko predčiščenje,
- SBR reaktorja,
- merilnik pretoka in kontrolni jašek iztoka,
- sistem za obarjanje fosforja,
- zgoščevalac in zalogovnik blata,
- centrifugo za strojno zgoščanje blata,
- kompresorsko postajo in elektroagregat,
- postajo za sprejem gošč iz greznic in presežnega blata iz MČN,

- kemični filter,
- interno črpališče,
- vodomerni jašek,
- trafo postajo in
- upravne prostore.

7.2.1 Grobe elektromotorne grablje

Na čistilno napravo gravitacijsko doteka mešana odpadna voda (komunalna odpadna voda in padavinska odpadna voda). Na grobih elektromotornih grabljah se iz odpadne vode izločajo delci, večji od 20 mm. Izločeni delci preko kompaktorja in izmetnega korita izpadajo v zabojnik. Odpadna voda se nato gravitacijsko preliva v kompaktno kombinirano napravo za mehansko predčiščenje [44]. Karakteristike grobih elektromotornih grabelj so prikazane v Preglednici 5.

Preglednica 5: Karakteristike grobih elektromotornih grabelj [44]

Karakteristika	Vrednost	Enota
Perforacija grabelj	20	mm
Širina grabelj	700	mm
Višina kinete grabelj	1.100	mm

7.2.2 Mehansko predčiščenje

Kompaktna kombinirana naprava za mehansko predčiščenje obsega fine elektromotorne grablje, prezračen peskolov, pralnik peska in lovilec maščob. Na finih elektromotornih grabljah se iz odpadne vode izločajo delci, večji od 5 mm. Izločeni delci preko kompaktorja in izmetnega korita izpadajo v zabojnik. V prezračevanem peskolovu se iz odpadne vode izloči pesek. Izločen pesek se odvaja v pralnik peska, od tod pa v zabojnik. Plavajoče snovi, izločene v lovilcu maščob, se odvajajo v pokrit jašek za maščobe, od kjer jih s črpalko komunalnega vozila občasno črpajo v transportno cisterno in odvažajo v predelavo. Iz kombinirane naprave za mehansko predčiščenje se odpadna voda gravitacijsko odvaja skozi iztočni cevovod v SBR reaktorja. V primeru okvare kombinirane naprave za mehansko predčiščenje odpadna voda gravitacijsko odteka po obtočnem cevovodu v iztočni cevovod kombinirane naprave za mehansko predčiščenje in naprej v SBR reaktorja [44].

V iztočni cevovod iz kombinirane naprave za mehansko predčiščenje se po potrebi dozira sredstvo za obarjanje fosforja, železov triklorid FeCl_3 [44]. V Preglednici 6 so prikazane karakteristike tipske kombinirane naprave za mehansko predčiščenje.

Preglednica 6: Karakteristike tipske kombinirane naprave za mehansko predčiščenje [44]

Karakteristika	Vrednost	Enota
Zmogljivost naprave	120	l/s
Perforacija grabelj	5	mm
Prostornina zabojnika za odpadke iz grabelj	900	l
Izločanje peska do 0,25 mm	nad 90	%
Zmogljivost pralnika peska	0,2	m^3/h
Prostornina zabojnika za pesek	900	l
Prostornina jaška za maščobe	5	m^3
Letna količina odpadkov iz grabelj in peskolova	do 176	m^3
Obtočni cevovod	DN350	mm

7.2.3 SBR reaktorja

Iz iztočnega cevovoda kombinirane naprave za mehansko predčiščenje odpadna voda gravitacijsko odteka v SBR reaktorja. V SBR reaktorja se odpadna voda dovaja izmenično, z odpiranjem dveh elektromotornih tablastih zapornic. SBR reaktorja sta pokrite izvedbe. Na vtočnem delu SBR reaktorjev so vgrajeni anaerobni selektorji. Na dnu anaerobnih selektorjev so vgrajena cevna prezračevala, ki z grobimi zračnimi mehurčki občasno premešavajo vsebino anaerobnih selektorjev in tako na dnu anaerobnih selektorjev usedle neraztopljene snovi občasno odvajajo v SBR reaktorja. Iz anaerobnih selektorjev se odpadna voda preliva v glavni del SBR reaktorjev, kjer simultano potekata nitrifikacija in denitrifikacija [44].

SBR reaktorja obratujeta ciklično. Obratovanje SBR reaktorjev upravlja programibilni logični kontrolor. Programibilni logični kontrolor glede na izmerjen dotok na čistilno napravo izbira obratovalni režim čistilne naprave, in sicer sušni obratovalni režim ali dežni obratovalni režim. Pri sušnem obratovalnem režimu traja en cikel 4 ure, in sicer faza polnjenja in prezračevanja 2 uri, faza usedanja blata in faza praznjenja pa vsaka po 1 uro. Pri dežnem obratovalnem režimu pa cikel traja 3 ure, in sicer traja faza polnjenja in prezračevanja 1,5 ure, faza usedanja blata in faza praznjenja pa vsaka po 0,75 ure. Funkcije časovnih ciklov za vsak bazen so prikazane na monitorju nadzornega računalnika [44].

7.2.3.1 Faza polnjenja in prezračevanja

V fazi polnjenja in prezračevanja poteka prezračevanje vsebine SBR reaktorja in povračanje suspenzije vode in blata nazaj v anaerobni selektor. Za prezračevanje vsebine SBR reaktorja so na dnu reaktorja vgrajena mehanska cevna samozaporna prezračevala. Stisnjen zrak se dovaja iz prostora kompresorske postaje in elektroagretata. Za povračanje suspenzije vode in blata nazaj v anaerobni selektor pa je na dnu SBR reaktorja nameščena potopna centrifugalna črpalka. Po končanju faze polnjenja in prezračevanja se ustavi prezračevanje vsebine SBR reaktorja ter povračanje suspenzije vode in blata, prične se faza usedanja blata [44].

7.2.3.2 Faza usedanja blata

Prezračevanje vsebine SBR reaktorja ne poteka, zato se prične blato usedati na dno SBR reaktorja. Na dnu SBR reaktorja je nameščena potopna centrifugalna črpalka, ki ob koncu faze usedanja blata izčrpa preko cevovoda presežno blato v zgoščevalec in zalogovnik blata. Po dokončanju faze usedanja blata se prične faza praznjenja [44].

7.2.3.3 Faza praznjenja

V fazi praznjenja se prečiščena odpadna voda iz SBR reaktorja preko prelivnikov in iztočne kinete preliva v merilnik pretoka in kontrolni jašek iztoka ter dalje v odvodnik – reko Savo. Iztok iz SBR reaktorja uravnava računalniški sistem vodenja čistilne naprave. Računalniški sistem uravnava iztok prečiščene vode iz SBR reaktorja tako, da se SBR reaktor prazni v predvidenem času, neodvisno od višine vode v njem, po končani fazi polnjenja in prezračevanja. Ob zaključku faze praznjenja se nivo odpadne vode v SBR reaktorju zniža na najnižji nivo, zapre se prelivnik in ponovi se cikel čiščenja [44]. V Preglednici 7 so prikazane karakteristike SBR reaktorjev.

Preglednica 7: Karakteristike SBR reaktorjev [44]

Karakteristika	Vrednost	Enota
Število anaerobnih selektorjev	2	kos
Prostornina anaerobnega selektorja pri h_{max}	432	m^3
Zadrževalni čas v anaerobnem selektorju pri Q_t	1	h
Zadrževalni čas v anaerobnem selektorju pri Q_m	0,57	h
Število SBR reaktorjev	2	kos
Minimalna globina vode h_{min}	5,74	m
Maksimalna globina vode h_{max}	7,20	m
Skupna potrebna prostornina reaktorjev	3.777	m^3
Skupna dejanska prostornina reaktorjev	3.750	m^3
Potrebna prostornina za čiščenje	2.640	m^3
Skupna dejanska površina	520,8	m^2
Dolžina cikla pri Q_t	4	h
Dolžina cikla pri Q_m	3	h
Potrebna akumulacija pri Q_t	832	m^3
Potrebna akumulacija pri Q_m	1.137	m^3
Nihanje vodne gladine pri Q_t	1,09	n
Nihanje vodne gladine pri Q_m	1,46	n
Potrebni kisik pri S.P.	74	kg O_2 /h
Specifični vnos kisika pri S.P.	min. 0,018	kg O_2 /(Nm^3 m)
Alfa faktor	0,65	
Obratovanje prezračevanja	2×12	h
Srednja globina prezračevanja $h_{p,st}$	6,27	m_1
Minimalna globina prezračevanja $h_{p,min}$	5,54	m_1
Potrebna povprečna količina zraka	1.009	Nm^3 /h
Potrebna količina zraka pri $h_{p,min}$	1.146	Nm^3 /h
Starost blata	20	dni
Masna proizvodnja presežnega blata	785	kg SS/dan
Dnevna volumska proizvodnja blata	87	m^3 /dan
Suha snov blata	cca. 9	kg SS/ m^3
Število črpalk povratnega blata	2	kos
Zmogljivost črpalke povratnega blata	15	l/s
Višina črpanja	3	m
Število črpalk presežnega blata	2	kos
Zmogljivost črpalke presežnega blata	4,5	l/s
Višina črpanja	5,6	m

7.2.4 Merilnik pretoka in kontrolni jašek iztoka

Prečiščena odpadna voda iz SBR reaktorjev se preko prelivnikov in 0,80 m široke iztočne kinete armiranobetonске izvedbe preliva v merilnik pretoka in kontrolni jašek iztoka. V kontrolnem jašku iztoka sta vgrajena Khafagi-Venturi merilni profil in ultrazvočni merilnik nivoja vode za meritev iztoka

iz SBR reaktorjev. V poglobitvi merilnika pretoka je predviden zajem vzorcev za vzorčenje iztoka prečiščene odpadne vode v odvodnik – reko Savo. Iztočna kineta je izvedena tako, da omogoča morebitno poznejšo vgradnjo UV dezinfekcije [44].

7.2.5 Sistem za obarjanje fosforja

Sistem za obarjanje fosforja obsega dvoplaščni rezervoar za sprejem sredstva za obarjanje fosforja, dozirno črpalko in tlačni cevovod. Sredstvo za obarjanje fosforja se na CČN Zagorje ob Savi dovaža z avtomobilsko cisterno v tekočem stanju in se prečrpava v rezervoar na prečrpališču kemikalij.

Na CČN Zagorje ob Savi kot sredstvo za obarjanje fosforja uporabljajo železov triklorid FeCl_3 . FeCl_3 po potrebi dozirajo v iztočni cevovod iz kombinirane naprave za mehansko predčiščenje [44]. Karakteristike sistema za obarjanje fosforja so prikazane v Preglednici 8.

Preglednica 8: Karakteristike sistema za obarjanje fosforja [44]

Karakteristika	Vrednost	Enota
Prostornina posode za FeCl_3	5	m^3
Število dozirnih črpalk	1 + 1	kos
Pretok dozirne črpalke	5–40	l/h

7.2.6 Aerobna stabilizacija in strojno zgoščanje presežnega blata

Na dnu posameznega SBR reaktorja je vgrajena potopna centrifugalna črpalka za črpanje presežnega blata v zgoščevalce in zalogovnik blata. Zgoščevalce in zalogovnik blata sta pokrite izvedbe. V zgoščevalcu blata je nameščeno samosesalno prezračevalo za mešanje vsebine zgoščevalca in za dodatno prezračevanje preseženega blata. Iz zgoščevalca se blatnenica odvaja v jašek blatnenice z več različnih nivojev. V ta namen so vgrajeni trije cevovodi z ročnimi, hitro odpirajočimi se zasuni. S potopno centrifugalno črpalko se blatnenico iz jaška blatnenice črpa v vtočno kineto čistilne naprave [44]. V Preglednici 9 so prikazane karakteristike zgoščevalca in zalogovnika blata.

Preglednica 9: Karakteristike zgoščevalca in zalogovnika blata [44]

Karakteristika	Vrednost	Enota
Prostornina zgoščevalca in zalogovnika blata	318	m ³
Površina zgoščevalca in zalogovnika blata	47,59	m ²
Koristna globina	6,7	m
Zadrževalni čas	5,3	dni
Čas prezračevanja	do 24	h
Potrebni kisik pri S.P.	min. 7	kg O ₂ /h
Število samosesalnih prezračeval	1 × 7,50 kW	kos
Število mešal	1	kos
Črpalka blatnenice	1	kos
Pretok črpalke blatnenice	7	l/s

Iz zgoščevalca in zalogovnika blata se blato z ročno nastavljivo vijačno ekscentrično črpalko (ena kot rezerva) z mehanskim variatorjem po tlačnem cevovodu črpa v centrifugo za zgoščanje blata. Centrifuga za zgoščanje blata je nameščena v prostoru za strojno zgoščanje blata. V napravi za pripravo in doziranje polielektrolita se pripravlja raztopina vode in polielektrolita. Strojno zgoščeno blato izpada v spiralni transporter blata. Spiralni transporter blata transportira strojno zgoščeno blato v rolo zabojnik. Izmet strojno zgoščenega blata v rolo zabojnik poteka skozi pnevmatsko gnane lopute na treh mestih, kar zagotavlja ustrezno nalaganje blata v zabojnik. Preklop izmeta skozi različne izmetne odprtine spiralnega transporterja blata se upravlja ročno. Iz centrifuge za zgoščanje blata izteka centrat. Centrat izteka v interno kanalizacijo in dalje v interno črpališče, od koder se črpa v vtočno kineto čistilne naprave.

V Preglednici 10 so prikazane karakteristike centrifuge za strojno zgoščanje blata na CCN Zagorje ob Savi.

Preglednica 10: Karakteristike centrifuge za stojno zgoščanje blata [44]

Karakteristika	Vrednost	Enota
Masna proizvodnja presežnega blata	785	kg SS/d
Dnevna volumska proizvodnja zgoščenega blata	32	m ³ /d
Število centrifug za stojno zgoščanje blata	1	kos
Čas obratovanja	7	h/d ₅
Potrebna zmogljivost centrifuge	8,4	m ³ /h
Izbrana zmogljivost centrifuge	15	m ³ /h
Letna količina strojno zgoščenega blata	1.302	m ³ /leto
Specifična poraba polielektrolita	9	kg/t SS
Poraba polielektrolita v enem letu	max. 2.580	kg/leto
Število vijčnih ekscentričnih črpalk za blato	2 (ena kot rezerva)	kos
Pretok črpalke za blato	5–15	m ³ /h
Število dozirnih črpalk za polielektrolit	1 + 1	kos
Pretok črpalke za polielektrolit	0–3	m ³ /h
Prostornina kontejnerja za blato	15	m ³

7.2.7 Postaja za sprejem in obdelava gošč iz greznic in presežnega blata iz MČN

Gošče iz greznic in presežno blato iz MČN (v nadaljevanju gošče) se prečrpavajo v sprejemu gošč. Sprejem gošč obsega napravo za sprejem gošč, ki je nameščena v ločenem prostoru čistilne naprave, in zbirni bazen za gošče. Naprava za sprejem gošč je opremljena s sistemom za identifikacijo prevoznika gošč. Transportno vozilo za dovoz gošč črpa gošče v napravo za sprejem gošč po dovodnem cevovodu. Na dovodnem cevovodu naprave so vgrajeni cevni, magnetno induktivni merilnik pH, merilnik prevodnosti in merilnik pretoka. V kolikor pH vrednost gošče prekorači dovoljene mejne vrednosti za vtok gošče v napravo, elektromotorni zasun zapre dotok gošče v napravo. Gošča, očiščena mehanskih delcev, gravitacijsko izteka iz naprave za sprejem gošč po sifonskem cevovodu v zbirni bazen za gošče. Zbirni bazen za gošče je izveden kot naravno prezračevani bazen. V zbirnem bazenu je vgrajeno potopno mešalo za mešanje vsebine bazena. Ponoči gošče iz zbirnega bazena črpajo z dvema potopnima centrifugalnima črpalkama (ena za rezervo) v kineto grobih elektromotornih grabelj [44]. Karakteristike naprave za sprejem gošč so prikazane v Preglednici 11.

Preglednica 11: Karakteristike naprave za sprejem gošč [44]

Karakteristika	Vrednost	Enota
Zmogljivost naprave	100	m ³ /h
Perforacija sita	5	mm
Koristna prostornina sprejemnega bazena	70	m ³
Črpalka za črpanje v vhodno črpališče	2 (ena kot rezerva)	kos
Pretok črpalke	5	l/s

7.2.8 Kemični filter

Onesnažen zrak iz prostora za mehansko predčiščenje in izmetnega dela centrifuge se odseva na kemični filter, kjer se prečisti in odvaja naprej v atmosfero. Kemični filter je vgrajen na armiranobetonski prekrivni plošči SBR reaktorjev [44]. V Preglednici 12 so prikazane karakteristike kemičnega filtra na CCN Zagorje ob Savi.

Preglednica 12: Karakteristike kemičnega filtra [44]

Karakteristika	Vrednost	Enota
Povprečna izmenjava zraka	3	-krat
Količina odsesanega zraka	1.500	m ³ /h

7.2.9 Kompresorska postaja in prostor elektroagregata

V kompresorski postaji in prostoru elektroagregata so nameščena tri puhala za prezračevanje SBR reaktorjev. Obratovanje puhal upravlja procesni računalnik. Kot referenčna vrednost za krmiljenje puhal je merilnik koncentracije kisika v SBR reaktorjih. Dve puhalni izmenično dovajata zrak preko elektomotornih loput v oba SBR reaktorja, tretje puhalo služi kot rezerva. Vsa puhalna so opremljena s frekvenčno regulacijo. V prostoru je vgrajen tudi elektroagregat z motorjem na plinsko olje in avtomatiko za samodejni zagon agregata ob prekinitvi dovoda električne energije iz javnega omrežja [44]. Karakteristike kompresorske postaje in elektroagregata so prikazane v Preglednici 13.

Preglednica 13: Karakteristike kompresorske postaje in elektroagregata [44]

Karakteristika	Vrednost	Enota
Število puhal	(2 + 1) 3 × frekvenčna regulacija	kos
Pretok puhal	700	Nm ³ /h
Nadtlak puhal	0,81	bar
Moč elektroagregata	min. 97	kW

7.2.10 Interno črpališče

Ker poteka dotok mešane odpadne vode na CCN Zagorje ob Savi gravitacijsko, je na platoju čistilne naprave vgrajeno interno črpališče, v katerega se odvajajo sanitarne vode, tehnološke vode (centrat iz centrifuge za stojno zgoščanje blata in pralne vode) in padavinske vode iz utrjenih površin platoja čistilne naprave. Interno črpališče je montažne izvedbe iz armiranega poliestra. V njem sta vgrajeni dve potopni centrifugalni črpalčki (ena kot rezerva). Dotok v interno črpališče se v deževnem vremenu pri

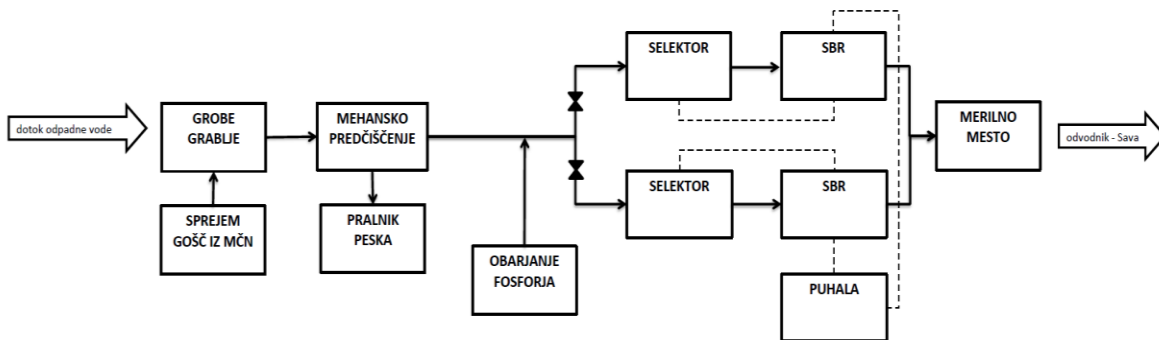
pretoku nad cca. 10 l/s razbremenjuje v iztočni kanal iz čistilne naprave [44]. V Preglednici 14 so prikazane karakteristike internega črpališča.

Preglednica 14: Karakteristike internega črpališča [44]

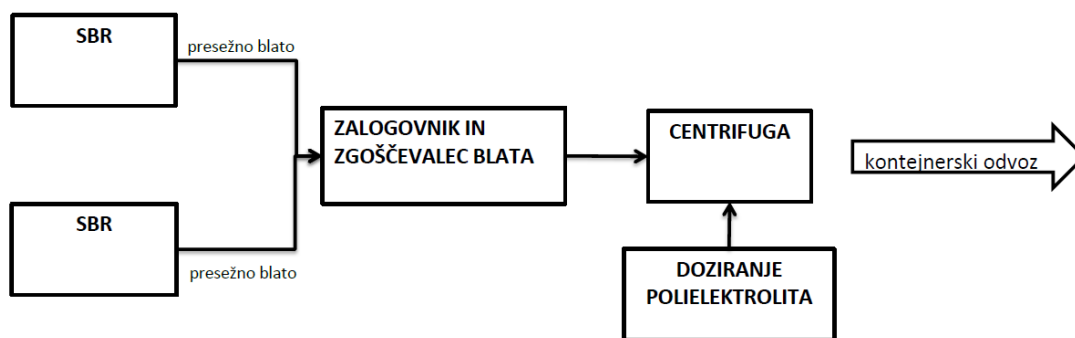
Karakteristika	Vrednost	Enota
Dotok tehnološke vode (centrat)	do 2	l/s
Prispevna površina	915	m ²
15-minutni naliv	165	l/s/ha
Dotok padavinske vode	15	l/s
Skupni dotok	17	l/s
Število črpalk	2	kos
Pretok črpalke	10	l/s
Višina črpanja črpalke	4,9 + tlačne izgube	m
Potrebna koristna prostornina črpališča	0,9	m ³
Višina potrebne akumulacije	0,45	m
Razbremenjevanje dotoka	nad 10 v iztočni kanal	l/s
Premer tlačnega cevovoda	DN100	mm

7.2.11 Tehnološka shema procesa čiščenja odpadne vode

Sliki 17 in 18 predstavljata tehnološki shemi procesa čiščenja odpadne vode na CČN Zagorje ob Savi, in sicer je na Sliki 17 prikazana linija vode, na Sliki 18 pa linija blata.



Slika 17: Tehnološka shema procesa čiščenja na CČN Zagorje ob Savi – linija vode [48]



Slika 18: Tehnološka shema procesa čiščenja na CČN Zagorje ob Savi – linija blata [48]

Komunala Zagorje, ki je upravljalec CČN Zagorje ob Savi, ima s podjetjem KOTO proizvodnja in trgovsko podjetje, d.o.o., sklenjeno pogodbo o prevzemu blata iz čiščenja komunalnih odpadnih voda na CČN Zagorje ob Savi za leto 2016 in 2017. Predmet pogodbe je sukcesivni prevzem blata iz čiščenja komunalnih odpadnih voda v letih 2016 in 2017 na lokaciji CČN Zagorje ob Savi, predelava blata in zagotovitev kontejnerjev za dehidracijo in odvoz blata. Pogodbena vrednost (brez DDV) za prevzem blata, predelavo blata in zagotovitev kontejnerjev za dehidracijo in odvoz blata po pogodbi znaša 68.000 EUR [49].

8 MATERIALI IN METODE DELA

8.1 Analizne metode

8.1.1 Določanje temperature, pH vrednosti, koncentracije raztopljenega kisika in nasičenosti s kisikom

Uporabljena oprema:

- prenosni dvokanalni multimeter Hach Lange HQ40D.

Postopek:

Meritve temperature, pH vrednosti, koncentracije raztopljenega kisika in nasičenosti s kisikom smo izvedli elektrometrično s prenosnim dvokanalnim multimetrom Hach Lange HQ40D. Pred meritvami smo izvedli kalibracijo po navodilih proizvajalca.

8.1.2 Določanje suhe in organske snovi

Vzorci suhe snovi (SS) in organske snovi (OS) smo določali po metodi 2540 B in 2540 G [50].

Uporabljena oprema:

- žarilni lončki,
- eksikator s silikagelom,
- analitska tehtnica Mettler Toledo AL 204,
- sušilnik Thermo Scientific Heraeus Function Line T6,
- žarilna peč Aurodent TYP 4206.

Postopek dela:

Pred pričetkom izvajanja meritev smo prazne žarilne lončke segrevali eno uro v žarilni pečici na 550 °C (Slika 19). Po segrevanju smo jih prenesli v eksikator s silikagelom (Slika 20) in jih pustili, da so se ohladili na sobno temperaturo [51].

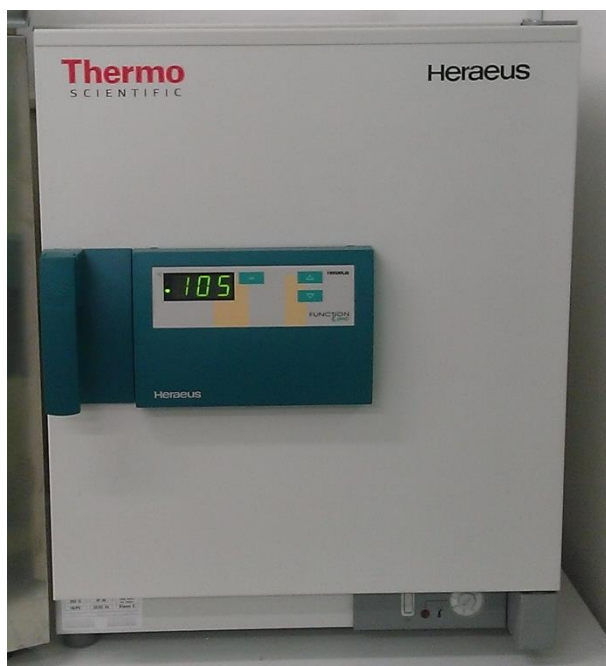


Slika 19: Žarilna peč Aurodent TYP 4206

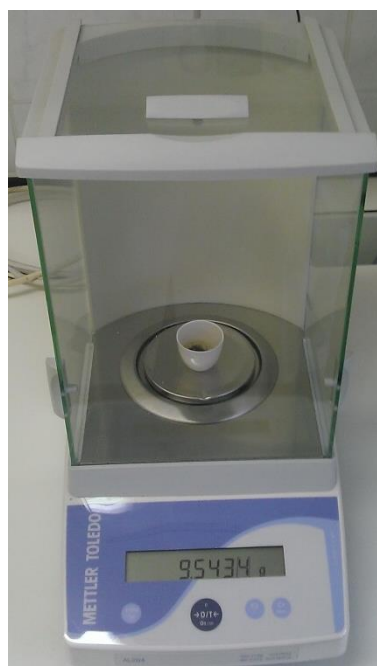


Slika 20: Eksikator s silikagelom

Ohlajene prazne žarilne lončke smo nato stehtali na analitski tehtnici. V stehtane prazne žarilne lončke smo dodali vzorec in jih ponovno stehtali. Žarilne lončke z vzorcem smo prenesli v sušilnik. Po 24-urnem sušenju v sušilniku na 105 °C (Slika 21) smo jih prenesli v eksikator s silikagelom, da so se ohladili na sobno temperaturo. Ohlajene žarilne lončke smo nato ponovno stehtali (Slika 22) [51].



Slika 21: Sušilnik Thermo Scientific Heraeus
Function Line T6



Slika 22: Analitska tehtnica Mettler Toledo
AL 204

Žarilne lončke iz merjenja suhe snovi smo prenesli v žarilno peč. Po 3-urnem segrevanju v žarilni peči na 550 °C smo pustili, da so žarilni lončki odvedli del toplote, nato pa smo jih prenesli v eksikator s silikagelom, da so se ohladili na sobno temperaturo. Ohlajene žarilne lončke smo ponovno stehali. Za vsak vzorec smo opravili tri paralelne ponovitve [51].

Delež suhe snovi vzorcev, delež organske snovi vzorcev in delež organske snovi v suhi snovi vzorcev smo določali po naslednjih enačbah:

$$SS [\%] = \frac{(A - B) * 100}{C - B}$$

$$OS [\%] = \frac{((A - B) - (D - B)) * 100}{(C - B)}$$

$$OS [\% SS] = \frac{(A - D) * 100}{A - B}$$

Pomen oznak:

SS [%] – delež suhe snovi vzorca

OS [%] – delež organske snovi vzorca

OS [% SS] – delež organske snovi v suhi snovi vzorca

A – teža žarilnega lončka [g] + teža suhega substrata [g]

B – teža žarilnega lončka [g]

C – teža žarilnega lončka [g] + teža svežega substrata [g]

D – teža žarilnega lončka [g] + teža ostanka [g]

8.1.3 Določanje kemijske potrebe po kisiku

KPK je masna koncentracija ekvivalenta kisika za količino porabljenega dikromata pri določenih pogojih [27].

Uporabljena oprema:

- kivetni test Hach Lange LCK 314 COD (merilno območje 15–150 mg/l O₂),
- kivetni test Hach Lange LCK 514 COD (merilno območje 100–2000 mg/l O₂),
- termostat za standardne in posebne razklope proizvajalca Hach Lange,
- spektrofotometer proizvajalca Hach Lange tipa DR 2800.

Postopek:

Analizo KPK smo izvedli spektrofotometrično s kivetnim testom Hach Lange LCK 314 (merilno območje 15–150 mg/l O₂) ali s kivetnim testom Hach Lange LCK 514 COD (merilno območje 100–2000 mg/l O₂), odvisno od pričakovane vrednosti oziroma pričakovanega merilnega območja rezultata. Analizo smo izvedli po navodilih proizvajalca kivetnega testa. Kiveto smo najprej pretresli, jo odprli in vanjo z avtomatsko pipeto odpipetirali 2,0 ml homogeniziranega vzorca. Kiveto smo zaprli, jo ponovno pretresli in jo 2 uri segrevali v termostatu za standardne in posebne razklope na 148 °C. Še vročo kiveto smo ponovno pretresli. Ko se je kiveta ohladila na sobno temperaturo, smo s spektrofotometerom odčitali koncentracijo KPK v vzorcu. Spektrofotometer smo pred tem kalibrirali s slepim vzorcem, za katerega smo uporabili deionizirano vodo, pripravljeno po enakem postopku. Za vsak vzorec smo opravili dve paralelni ponovitvi.

8.1.4 Določanje biokemijske potrebe po kisiku

BPK₅ je masna koncentracija raztopljenega kisika, ki se v 5 dneh pri 20 °C porabi z inhibicijo nitrifikacije ali brez nje za biološko oksidacijo organskih snovi in/ali anorganskih snovi v vodi [27].

Uporabljen reagent:

- granule NaOH.

Uporabljena oprema:

- WTW merilni komplet BPK₅ Oxi Top IS 12.

Postopek:

Pred pričetkom izvajanja meritev smo glede na osnovi predhodno določene vrednosti KPK izračunali vrednost BPK₅ po naslednji splošni enačbi:

$$BPK_5 = \frac{1}{2} KPK$$

S pomočjo Preglednice 15 smo glede na pričakovano vrednost oziroma merilno območje BPK₅ določili ustrezen volumen vzorca. Ustrezen volumen vzorca smo odmerili v steklenico in dodali magnetno mešalo. V grlo smo vstavili notranji gumijasti zamašek, v katerega smo s pinceto vstavili dve granuli natrijevega hidroksida NaOH. Na steklenico smo privili Oxi Top merilno glavo in nastavili začetek merjenja. Steklenico smo postavili na magnetno mešalo v termostatsko omaro s stalno temperaturo 20

°C in pustili pet dni, da je potekla reakcija. Po preteku reakcijskega časa smo z Oxi Top merilno glavo odčitali vrednosti BPK_5 (Slika 23). Za vsak vzorec smo opravili tri paralelne ponovitve.

Preglednica 15: Določitev volumna polnjenja v odvisnosti od pričakovane vrednosti BPK_5 [52]

Predvideno merilno območje BPK_5 [mg/l]	Volumen vzorca [ml]	Multiplikacijski faktor
0–40	432	1
0–80	365	2
0–200	250	5
0–400	164	10
0–800	97	20
0–2000	43,5	50
0–4000	22,7	100



Slika 23: Določanje BPK_5

8.1.5 Določanje amonijevega dušika

Uporabljena reagenta:

- Rochelle Salt-PVA reagent,
- Nessler Reagent for Food and Waste Analysis.

Uporabljena oprema:

- spektrofotometer Hach Lange DR 2800.

Postopek:

V kiveto smo odmerili 25 ml vzorca. Najprej smo dodali 1 ml Rochelle Salt-PVA reagenta in kiveto pretresli. V kiveto smo nato dodali še 1 ml reagenta Nessler Reagent for Food and Waste Analysis. Kiveto smo ponovno pretresli in jo pustili mirovati 5 minut, da je potekla reakcija. Koncentracijo amonijevega dušika smo določili spektrofotometrično pri valovni dolžini 425 nm. Kot slepi vzorec za kalibracijo spektrometra smo uporabili 25 ml deionizirane vode, ki smo ji dodali oba reagenta. Za vsak vzorec smo opravili dve paralelni ponovitvi.

8.1.6 Določanje nitratnega dušika

Uporabljen reagent:

- kivetni test Hach Lange LCK 339 Nitrate (merilno območje 0,23–13,5 mg/l NO₃-N in 1–60 mg/l NO₃).

Uporabljena oprema:

- spektrofotometer Hach Lange DR 2800.

Postopek:

Koncentracijo nitritnega dušika v vzorcu smo določili spektrofotometrično s kivetnim testom Hach Lange LCK 339 Nitrate (merilno območje 0,23–13,5 mg/l NO₃-N in 1–60 mg/l NO₃). Analizo smo izvedli po navodilih proizvajalca kivetnega testa. V kiveto smo s pomočjo avtomatske pipete odpipetirali 1 ml homogeniziranega vzorca, nato pa še 0,2 ml priložene raztopine A. Kiveto smo zaprli in dobro pretresli. Po 15 minutah smo pri valovni dolžini 345 nm določili koncentracijo nitritnega dušika v vzorcu. Spektrofotometer smo pred tem kalibrirali s slepim vzorcem. Kot slepi vzorec nam je služila deionizirana voda, pripravljena po enakem postopku. Za vsak vzorec smo opravili dve paralelni ponovitvi.

8.1.7 Določanje nitritnega dušika

Uporabljen reagent:

- kivetni test Hach Lange LCK 341 Nitrite (0,015–0,6 mg/l NO₂-N in 0,05–2,0 mg/l NO₂) 515 nm.

Uporabljena oprema:

- spektrofotometer Hach Lange DR 2800.

Postopek:

Koncentracijo nitratnega dušika smo določili spektrofotometrično s kivetnim testom Hach Lange LCK 341 Nitrite (0,015–0,6 mg/l NO₂-N in 0,05–2,0 mg/l NO₂). Analizo smo izvedli po navodilih proizvajalca kivetnega testa. Najprej smo odstranili zaščitno folijo na pokrovčku kivete, kjer je nameščen reagent v obliki tablete. V epruveto smo nato z avtomatsko pipeto odpipetirali 2,0 ml homogeniziranega vzorca. Kiveto smo zaprli in dobro pretresli, da se je raztopila tableta, nameščena v pokrovčku kivete. Po 10 minutah smo s spektrofotometrom odčitali koncentracijo nitratnega dušika pri 515 nm. Kot slepi vzorec nam je služila deionizirana voda, pripravljena po enakem postopku. Za vsak vzorec smo opravili dve paralelni ponovitvi.

8.1.8 Določanje ortofosfata

Uporabljena reagenta:

- Molybdate reagent,
- Amino Acid Solution reagent.

Uporabljena oprema:

- spektrofotometer Hach Lange DR 2800.

Postopek:

V kiveto smo odmerili 25 ml vzorca in najprej dodali 1 ml reagenta Molybdate reagenta in nato še 1 ml Amino Acid Solution reagenta. Kiveto smo dobro pretresli in jo pustili mirovati 10 minut, da je potekla reakcija. Po 10 minutah smo s spektrofotometrom pri 530 nm odčitali koncentracijo ortofosfata v vzorcu. Spektrofotometer smo pred tem kalibrirali s slepim vzorcem. Kot slepi vzorec smo uporabili 25 ml vzorca brez dodanih reagentov. Za vsak vzorec smo opravili dve paralelni ponovitvi.

8.2 Simulacija delovanja realnega SBR reaktorja CČN Zagorje ob Savi na laboratorijskem SBR reaktorju

V laboratoriju IZH smo postavili tri laboratorijske SBR reaktorje, na katerih smo poskušali simulirati delovanje realnega SBR reaktorja CČN Zagorje ob Savi. Z laboratorijskimi SBR reaktorji smo najprej ugotavljali, kako čas prezračevanja SBR reaktorjev vpliva na učinek čiščenja odpadne vode. Učinke

čiščenja odpadne vode laboratorijskih SBR reaktorjev smo nato primerjali z učinki čiščenja odpadne vode realnega SBR reaktorja.

Pri poskusu smo uporabili realne vzorce – aktivno blato iz SBR reaktorja CČN Zagorje ob Savi in odpadno vodo iz selektorskega bazena CČN Zagorje ob Savi, torej bazena po mehanskem čiščenju. Aktivno blato in odpadno vodo smo na CČN Zagorje ob Savi odvzeli med 24-urnim reprezentativnim vzorčenjem v okviru monitoringa odpadnih vod na CČN Zagorje ob Savi 2/12 – 2016, ki je bilo izvedeno v dneh od 01. 02. 2016 do 02. 02. 2016. Aktivno blato in odpadno vodo smo takoj po odvzemu na CČN Zagorje ob Savi pripeljali v laboratorij IZH, kjer smo vzorce testirali na parametre (KPK, BPK₅, NH₃-N, NO₂-N, NO₃-N, PO₄³⁻) po zgoraj opisanih metodah (podpoglavje 8.1 Analizne metode) in pričeli z izvajanjem poskusa.

8.2.1 Sestava laboratorijskega SBR reaktorja in izvedba poskusa 1 in 2

Celotna prostornina posameznega laboratorijskega SBR reaktorja je bila 5 l, aktivna prostornina pa 4,5 l. V vsak laboratorijski SBR reaktor smo dali 1,5 l aktivnega blata SBR reaktorja CČN Zagorje ob Savi in 3 l odpadne vode iz selektorskega bazena CČN Zagorje ob Savi. Vsebino posameznega laboratorijskega SBR reaktorja smo prezračevali z zračno črpalko RETRO L s pretokom zraka 2 l/min.

- Poskus 1: Vsebino laboratorijskih SBR reaktorjev smo z zračno črpalko RETRO L s pretokom zraka 2 l/min prezračevali 2 ure. Faza usedanja aktivnega blata je trajala pol ure.
- Poskus 2: Vsebino laboratorijskih SBR reaktorjev smo z zračno črpalko RETRO L s pretokom zraka 2 l/min prezračevali 3 ure. Faza usedanja aktivnega blata je trajala pol ure.

V obeh poskusih smo po zaključku faze usedanja aktivnega blata očiščeno odpadno vodo izčrpali z ročno črpalko iz reaktorjev. Očiščeno odpadno vodo smo testirali na parametre KPK, BPK₅, NH₃-N, NO₂-N, NO₃-N in PO₄³⁻ po metodah, opisanih v podpoglavju 8.1 Analizne metode. Iz dobljenih podatkov smo določili učinke čiščenja laboratorijskih SBR reaktorjev.

Na Sliki 24 je prikazano izvajanje meritev temperature, pH vrednosti, koncentracije raztopljenega kisika in nasičenosti s kisikom v laboratorijskih SBR reaktorjih, ki smo jih med potekom poskusov občasno izvajali s prenosnim dvokanalnim multimetrom Hach Lange HQ40D.



Slika 24: Merjenje fizikalno-kemijskih parametrov s prenosnim dvokanalnim multimetrom Hach Lange HQ40D

8.3 Merjenje biometanskega potenciala presežnega biološkega blata CCN Zagorje ob Savi

BMP je eksperimentalno določena vrednost maksimalne količine metana, ki nastane na gram organske obremenitve določene biomase s substratom. BMP določamo s testom BMP, kjer za določeno znano količino odpadkov v šaržnem sistemu pri anaerobnih razmerah izmerimo količino nastalega biometana [51].

8.3.1 AMPTS II – Automatic Methane Potential Test System II

Za anaerobno presnovo biološko razgradljivih substratov in določanje BMP smo uporabili napravo AMPTS II. AMPTS II je laboratorijska analitična naprava, ki omogoča meritve ultranizkih hitrosti tvorbe biometana, proizvedenih med anaerobno presnovo biološko razgradljivih substratov. Test BMP se uporablja za določevanje anaerobne biorazgradljivosti in končnega BMP iz odpadnih snovi ali biomase ter določevanje hitrosti razgradnje v procesu anaerobne presnove [51].

Naprava AMPTS II je sestavljena iz dveh enot. Prva enota vključuje 15 steklenic volumna 500 ml, ki predstavljajo majhne anaerobne reaktorje. Vsak anaerobni reaktor je opremljen s plinotesnim gumijastim pokrovom in mehanskim mešalom, ki je računalniško vodeno. Anaerobni reaktorji so potopljeni v termo regulirano vodno kopel, kjer lahko vzdržujemo mezofilno ali termofilno

temperaturno območje. Druga enota zajema 15 steklenic volumna 100 ml, ki vsebujejo 3M NaOH za fiksacijo CO₂ in napravo za merjenje volumna bioplina. Merjenje bioplina poteka po principu izpodrivanja tekočine in vzgona [51].

8.3.2 Priprava inokuluma in substrata

Inokulum je biomasa iz bioplinske naprave, ki deluje na realnem modelnem merilu in služi kot vir mikroorganizmov za anaerobno pretvorbo organskih snovi v bioplin. Da bi zmanjšali tvorbo bioplina, ki nastane iz inokuluma, lahko inokulum inkubiramo v anaerobnih pogojih za od 2 do 5 dni pri temperaturi, pri kateri bomo izvajali določanje BMP. Inokulum je pripravljen, ko se iz njega preneha ustvarjati bistvena količina bioplina. Test BMP lahko izvedemo tudi brez predhodne inkubacije inokuluma. Pri tem moramo količino bioplina, ki nastane iz inokuluma, odšteti od bioplina, ki nastane iz mešanice inokuluma in substrata. V našem primeru inokuluma nismo inkubirali in smo nastali biometan, ki je posledično nastal, upoštevali pri preračunu BMP [51]. Za substrat smo uporabili odvečno biološko blato iz zalogovnika biološkega blata CČN Zagorje ob Savi. Odvečno biološko blato smo iz zalogovnika blat CČN Zagorje ob Savi odvzeli med 24-urnim reprezentativnim vzorčenjem v okviru monitoringa odpadnih vod na CČN Zagorje ob Savi 2/12 – 2016, ki je bilo izvedeno v dneh od 01. 02. 2016 do 02. 02. 2016. Odvečno biološko blato smo takoj po odvzemu na CČN Zagorje ob Savi pripeljali v laboratorij IZH, kjer smo ga do pričetka poskusa hranili v hladilniku na 4 °C, vendar ne dlje kot 5 dni. Preglednica 16 prikazuje vrednosti parametrov presežnega blata iz zalogovnika CČN Zagorje ob Savi.

Preglednica 16: Vrednosti parametrov substrata

Substrat	PO ₄ ³⁻ [mg/l]	NH ₃ -N [mg/l]	KPK [mg O ₂ /l]	SS [%]	OS [%]	OS [% SS]
Presežno blato iz zalogovnika	1510,5	23,25	61400	3,4171	2,3465	68,67

8.3.3 Priprava 3 M raztopine NaOH in steklenic za fiksacijo CO₂

Za fiksacijo CO₂ se uporablja 3 M raztopine NaOH. Raztopino smo pripravili po navodilih proizvajalca. Najprej smo 240 g čistega NaOH pomešali z destilirano vodo do 2 l. Nato smo pripravili 0,4-odstotno raztopino timolftaleina, ki je služila kot pH indikator. 0,4-odstotno raztopino timolftaleina smo pripravili tako, da smo 40 mg timolftaleina in 9 ml 99,5-odstotnega etanola dodali 1 ml destilirane vode. 10 ml 0,4-odstotne raztopine timolftaleina smo zlili v pripravljeno 2-litrsko raztopino NaOH in tako dobili 3 M raztopine NaOH. S pripravljenimi 3 M raztopine NaOH smo 100-mililitrske steklenice za fiksacijo

CO₂ napolnili do višine 80 ml. Na steklenice smo nato natakneli gumijaste zamaške z dvema cevčkama, ki smo jih predhodno namazali s petelinčkovno mastjo. Steklenice smo na koncu zaprli še s plastičnimi pokrovi [51].

8.3.4 Priprava anaerobnih reaktorjev AMPTS II

Vse anaerobne reaktorje smo oštevilčili in jih napolnili s 400 ml inkoluma. V 10 od 14 reaktorjev smo nato dodali substrat. Reaktorji, ki jih nismo napolnili s substratom, so predstavljali slepe kontrole, katerih nastali biometan smo na koncu odšteli od produkcije biometana iz reaktorjev, v katere smo dodali substrat. Sestava anaerobnih reaktorjev je prikazana v Preglednici 17.

Preglednica 17: Sestava anaerobnih reaktorjev

Številka reaktorja	Inkolum [ml]	Glukoza [g]	Odvečno blato [ml]	KPK obremenitev [g]	Obremenitev z OS [g]
1	400				
2	400				
3	400		21	1,2894	0,45759
4	400		21	1,2894	0,45759
5	400		28	1,7192	0,61012
6	400		28	1,7192	0,61012
7	400	3		3,2010	
8	400				
9	400				
10	400		21	1,2894	0,45759
11	400		21	1,2894	0,45759
12	400		28	1,7192	0,61012
13	400		28	1,7192	0,61012
14	400	3		3,2010	

Opomba: V nadaljevanju magistrskega dela bomo za anaerobne reaktorje uporabljali naslednje oznake: 0 [38 °C], 1 [38 °C], 2 [38 °C], 3 [38 °C], 0 [55 °C], 1 [55 °C], 2 [55 °C] in 3 [55 °C]. Pomen posamezne oznake je pojasnjen v uvodnih straneh Okrajšave in simboli.

Po polnjenju z inokulumom in substratom smo vratove anaerobnih reaktorjev namazali s silikonsko mastjo, jim nadeli gumijaste zamaške z mešalom, nanje natakneli plastične navoje z motorčki in jih zatesnili. Polovico reaktorjev (oštevilčenih s številkami od 1 do 7) smo položili v vodno kopel, v kateri je bila voda predhodno segreta na temperaturo 38 °C (mezofilno temperaturno območje). Potopljeni grelniki so ves čas vzdrževali temperaturo vode v vodni kopeli na 38 °C. Drugo polovico reaktorjev (oštevilčenih s številkami od 8 do 14) smo položili v vodno kopel, v kateri je bila voda predhodno segreta na 55 °C (termofilno temperaturno območje). Potopljeni grelniki so ves čas vzdrževali temperaturo vode

v tej vodni kopeli na 55 °C. Vse reaktorje smo povezali z enoto za fiksacijo ogljikovega dioksida, kjer smo uporabili 1 steklenico 80 ml 3 M raztopine NaOH za en reaktor. Pretok plina smo od tam naprej povezali z napravo za merjenje količine nastalega metana. Skozi silikonsko cevko na vratu steklenice smo vsak reaktor 2 minuti prepilovali z N₂, da smo zagotovili anaerobne pogoje. Na računalniku smo nato zagnali program za spremljanje tvorbe metana. Kontinuirano mešanje 60 sekund s 180-sekundnim premorom je bilo računalniško vodeno, prav tako tudi odčitavanje proizvedenega metana. Reaktorje smo pustili tako delovati 35 dni in spremljali tvorbo metana. Po preteku 35 dni smo reaktorje razdrli. Vse eksperimentalne variante določevanja BMP smo izvajali v dveh paralelnih ponovitvah, razen pozitivne kontrole z glukozo, ki smo jo pripravili le v eni ponovitvi [51]. Na Sliki 25 je prikazan test BMP.



Slika 25: Določanje BMP presežnega blata CCN Zagorje ob Savi

8.3.5 Izračun BMP

BMP smo izračunali iz količine metana, ki je nastal iz 1 g OS. Uporabili smo naslednjo enačbo [51]:

$$BMP = \frac{V_{inokulum\&substrat} - V_{inokolum}}{OS_{substrat}}$$

Pomen oznak:

BMP – normaliziran volumen metana, ki se proizvede iz 1 g OS dodanega substrata [ml CH₄/g OS],

V_{inokulum&substrat} – celotni volumen metana, ki se je proizvedel v reaktorju, kjer je bil inokulum in substrat [ml],

V_{inokulum} – povprečna tvorba celotnega metana, ki je nastala v reaktorjih z izhodiščnim vzorcem (samo inokulum) [ml],

OS_{substrat} – organska snov dodanega substrata [g].

9 REZULTATI

9.1 Rezultati monitoringa odpadnih voda CČN Zagorje ob Savi 2/12 – 2016

Preglednici 18 in 19 predstavljata rezultate analiz odpadnih voda CČN Zagorje ob Savi, ki so bile opravljene v okviru monitoringa odpadnih voda CČN Zagorje ob Savi 2/12 – 2016. Celotno poročilo monitoringa odpadnih voda CČN Zagorje ob Savi 2/12 – 2016 je prikazano v Prilogi F.

Preglednica 18: Rezultati analiz odpadnih voda CČN Zagorje ob Savi [53]

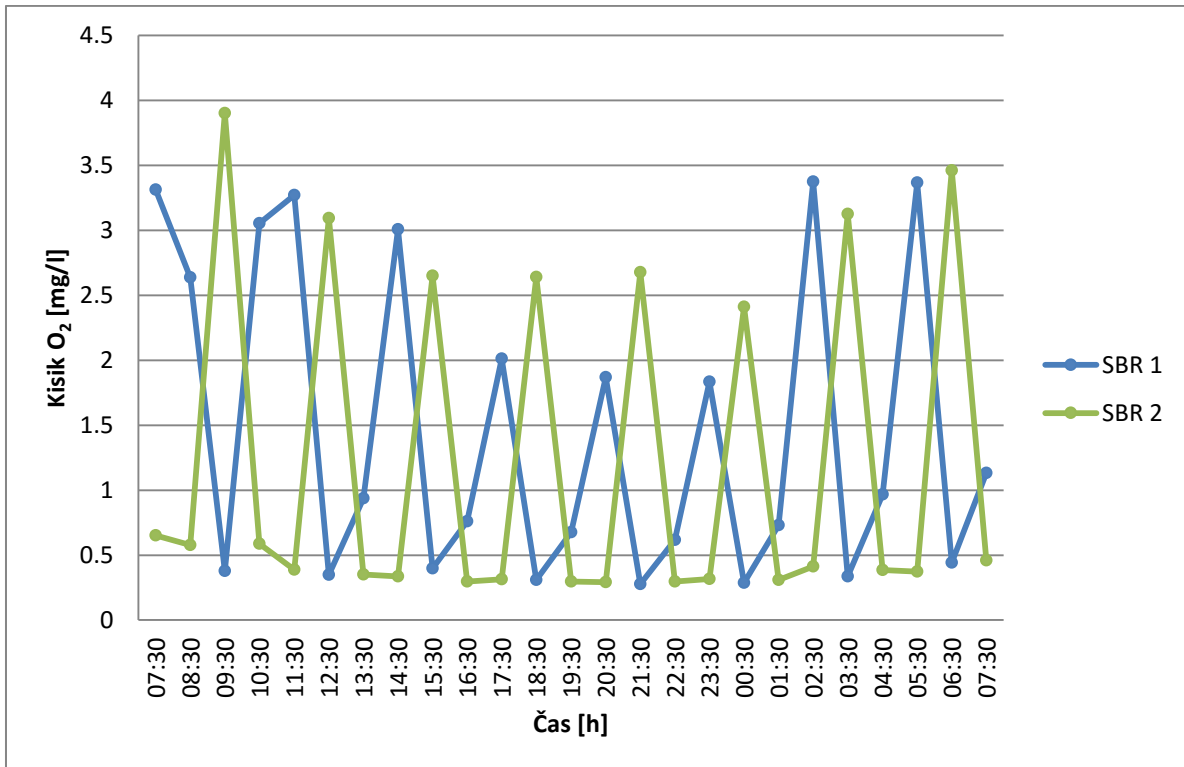
Parameter	Enote	Vtok na ČN	Iztok s ČN
Temperatura	°C	9,6	18,2
pH vrednost	/	8,3	9,5
Raztopljen kisik	mg/l	6,61	7,2
Nasičenost s kisikom	%	59,9	56,1
Neraztopljene snovi	mg/l	130	5,96

Preglednica 19: Učinek čiščenja odpadnih voda CČN Zagorje ob Savi [53]

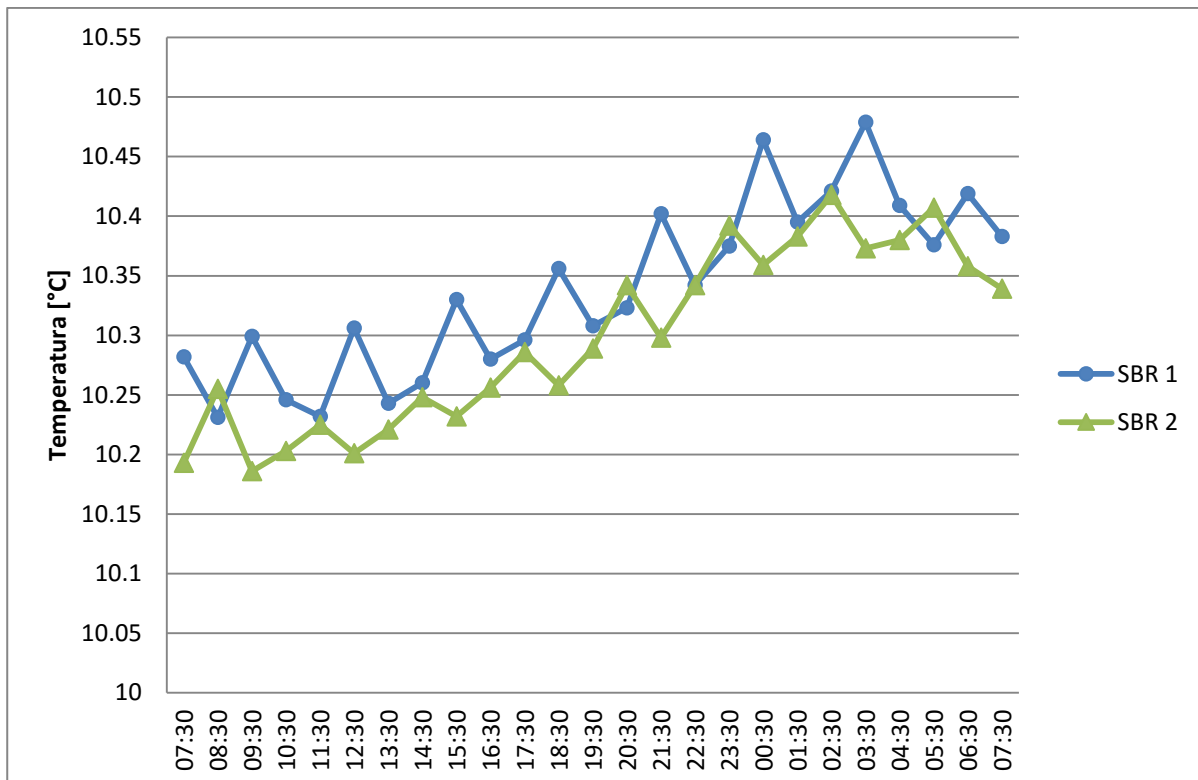
Parameter	Vtok na ČN [mg/l]	Iztok s ČN [mg/l]	Učinek čiščenja η [%]
KPK	390	19,7	94,9
BPK ₅	63	3,8	94,0
Celotni fosfor	5,25	0,39	92,6
Amonijev dušik	30,4	9,57	68,5
Celotni vezani dušik	39,1	9,37	76,0

Na osnovi rezultatov analiz odpadnih voda ocenjujemo, da odpadna voda ustreza kriterijem za izpust v odvodnik – reko Savo, saj so vsi parametri in učinki čiščenja CČN Zagorje ob Savi v predpisanih mejah.

Z namenom primerjave učinkov čiščenja odpadnih voda realnega SBR reaktorja CČN Zagorje ob Savi z laboratorijskim SBR reaktorjem smo v času 24-urnega reprezentativnega vzorčenja v okviru monitoringa odpadnih voda CČN Zagorje ob Savi 2/12 – 2016 spremljali koncentracijo kisika in temperaturo v obeh SBR reaktorjih CČN Zagorje ob Savi. Med vzorčenjem je CČN Zagorje ob Savi obratovala z dežnim obratovalnim režimom. Pri dežnem obratovalnem režimu traja en cikel 3 ure, in sicer faza polnjenja in prezračevanja SBR reaktorja 1,5 ure, faza usedanja aktivnega blata in faza praznjenja pa vsaka po 0,75 ure. Cikli obratovanja obeh SBR reaktorjev so lepo razvidni tudi iz grafikonov 1 in 2, kjer so prikazane on-line meritve koncentracije kisika in temperature v SBR reaktorjih CČN Zagorje ob Savi v času 24-urnega reprezentativnega vzorčenja.



Grafikon 1: On-line meritve kisika v SBR reaktorjih CČN Zagorje ob Savi v času 24-urnega reprezentativnega vzorčenja v okviru monitoringa odpadnih voda



Grafikon 2: On-line meritve temperature v SBR reaktorjih CČN Zagorje ob Savi v času 24-urnega reprezentativnega vzorčenja v okviru monitoringa odpadnih voda

Povprečna koncentracija kisika v SBR 1 je bila 1,453 mg O₂/l, v SBR 2 pa 1,224 mg O₂/l. Pri obeh SBR reaktorjih so bila znotraj posameznega cikla obratovanja opazna manjša nihanja koncentracije kisika navzdol in navzgor, odvisno od faze, ki je potekala v SBR reaktorju. Maksimalno nihanje je bilo ± 2,679 mg O₂/l. Koncentracija kisika je v SBR reaktorjih pričela naraščati in dosegla maksimum v fazi polnjenja in prezračevanja, medtem ko je v fazi usedanja aktivnega blata pričela padati.

Iz Grafikona 2 je razvidno, da je temperatura v SBR reaktorjih čez dan nekoliko narasla. Povprečna temperatura v SBR 1 je bila 10,338 °C, v SBR 2 pa 10,298 °C. Pri obeh SBR reaktorjih so bila znotraj posameznega cikla obratovanja opazna minimalna nihanja temperature navzdol in navzgor, odvisno od faze, ki je potekala v SBR reaktorju. Maksimalno nihanje temperature je bilo ± 0,141 °C.

9.2 Laboratorijski SBR reaktor – rezultati poskusa 1 in 2

V laboratoriju IZH smo pred pričetkom poskusov analizirali vzorce odpadne vode, aktivnega blata in supernatanta aktivnega blata, ki smo jih pridobili v času 24-urnega reprezentativnega vzorčenja v okviru monitoringa odpadnih voda CČN Zagorje ob Savi 2/12 – 2016 in smo jih uporabili v laboratorijskih SBR reaktorjih za izvajanje poskusa 1 in 2. Rezultati analiz so prikazani v Preglednici 20.

Preglednica 20: Rezultati analiz vzorcev odpadne vode, aktivnega blata in supernatanta aktivnega blata

Parametri onesnaženosti	Odpadna voda	Aktivno blato	Supernatant aktivnega blata
PO ₄ ³⁻ [mg/l]	11,81	102	59,75
NH ₃ -N [mg/l]	20	29,5	9
NO ₃ -N [mg/l]	0,476	10	0,406
NO ₂ -N [mg/l]	0,07	1,54	0,044
KPK [mg/l]	71,6	2.527	79,3
BPK ₅ [mg/l]	33,33	533,33	n. p.
SS [%]	0,06	0,59	n. p.
OS [%]	0,01	0,40	n. p.
OS [% SS]	21,35	67,27	n. p.

* n. p. – ni podatka

Pri poskusu 1 smo laboratorijske SBR reaktorje prezračevali 2 uri, pri poskusu 2 pa smo jih prezračevali 3 ure. Faza usedanja aktivnega blata je bila enaka pri obeh poskusih in je trajala pol ure. Preglednici 21 in 22 predstavljata rezultate občasnih meritev temperature, pH vrednosti, koncentracije kisika in nasičenosti s kisikom v laboratorijskih SBR reaktorjev, ki smo jih izvajali med trajanjem obeh poskusov. Vrednosti predstavljajo povprečje treh paralelnih ponovitev.

Preglednica 21: Rezultati občasnih meritev temperature, pH vrednosti, koncentracije kisika in nasičenosti s kisikom v laboratorijskih SBR reaktorjih pri poskusu 1

Čas prezračevanja [min]	T [°C]	pH vrednost	O ₂ [mg/l]	Nasičenost s kisikom [%]
0	14,47	7,81	8,41	85,40
60	15,43	8,09	8,06	82,93
120	16,70	8,06	7,95	84,10

Preglednica 22: Rezultati občasnih meritev temperature, pH vrednosti, koncentracije kisika in nasičenosti s kisikom v laboratorijskih SBR reaktorjih pri poskusu 2

Čas prezračevanja [min]	T [°C]	pH vrednost	O ₂ [mg/l]	Nasičenost s kisikom [%]
0	15,50	8,14	8,39	88,10
60	17,00	8,13	7,79	83,63
90	17,43	8,07	7,69	83,33
120	17,83	8,06	7,61	83,27
150	18,23	8,05	7,56	83,33
180	18,43	8,04	7,47	82,83

Temperatura v laboratorijskih SBR reaktorjih je bila pri poskusu 1 nekoliko nižja kot pri poskusu 2, a je pri obeh poskusih med trajanjem le-tega postopoma naraščala. Pri poskusu 1 je temperatura narasla s 14,47 °C na 16,70 °C, pri poskusu 2 pa je temperatura narasla s 15,50 °C na 18,43 °C. Vrednosti drugih parametrov (pH vrednost, koncentracija kisika in nasičenost s kisikom) pri poskusu 1 in 2 se niso bistveno razlikovale, so pa pri obeh poskusih med trajanjem le-tega postopoma padale.

V Preglednici 23 je narejena primerjava rezultatov vtoka neočiščene odpadne vode in iztoka očiščene odpadne vode iz laboratorijskih SBR reaktorjev pri poskusu 1 in 2. V Preglednici 24 so primerjani učinki čiščenja laboratorijskih SBR reaktorjev pri poskusu 1 in 2. Vrednosti za posamezen poskus predstavljajo povprečje treh paralelnih ponovitev.

Preglednica 23: Primerjava rezultatov vtoka neočiščene odpadne vode in iztoka očiščene odpadne vode iz laboratorijskih SBR reaktorjev pri poskusu 1 in 2

Parametri	PO ₄ ³⁻ [mg/l]	NH ₃ -N [mg/l]	NO ₃ -N [mg/l]	NO ₂ -N [mg/l]	KPK [mg/l]	BPK ₅ [mg/l]
Odpadna voda – vtok	11,81	20	0,476	0,07	71,6	33,33
Poskus 1 – iztok	17,47	11,25	2,42	0,25	39,07	15,97
Poskus 2 – iztok	5,63	0,00	8,85	0,50	23,33	7

Preglednica 24: Učinek čiščenja laboratorijskih SBR reaktorjev pri poskusu 1 in 2

Parameter	PO ₄ ³⁻	NH ₃ -N	KPK	BPK ₅
Poskus 1 – učinek čiščenja η [%]	-47,93	43,75	45,43	52,09
Poskus 2 – učinek čiščenja η [%]	52,33	100,00	67,42	79,00

Iz rezultatov je razvidno, da ima čas prezračevanja SBR reaktorjev precejšen vpliv na učinkovitost odstranjevanja posameznih onesnaževal iz odpadnih voda. Vrednosti parametrov PO₄³⁻, NH₃-N, KPK in BPK₅ očiščene odpadne vode so pri poskusu 2, kjer smo SBR reaktorje prezračevali 3 ure, bistveno nižje kot vrednosti pri poskusu 1, kjer smo SBR reaktorje prezračevali 2 uri. Vrednosti parametrov NO₃-N in NO₂-N so v očiščeni odpadni vodi nekoliko višje kot v neočiščeni odpadni vodi, in sicer zaradi pretvorbe NH₃-N v NO₂-N in naprej v NO₃-N.

9.3 Primerjava učinkov čiščenja odpadne vode laboratorijskega SBR reaktorja in realnega SBR reaktorja CČN Zagorje ob Savi

V laboratoriju smo laboratorijske SBR reaktorje pri poskusu 1 prezračevali 2 uri, pri poskusu 2 pa 3 ure. Faza usedanja aktivnega blata je bila pri obeh poskusih pol ure. Pri poskusu 1 je temperatura narasla s 14,47 °C na 16,70 °C, koncentracija kisika pa je padla z 8,41 mg O₂/l na 7,95 mg O₂/l. Pri poskusu 2 se je temperatura povzpela s 15,50 °C na 18,43 °C, koncentracija kisika pa je padla z 8,9 mg O₂/l na 7,47 mg O₂/l.

Pri SBR reaktorjih CČN Zagorje ob Savi je faza polnjenja in prezračevanja trajala 1,5 ure, faza usedanja aktivnega blata pa 0,75 ure. Vrednosti temperature in koncentracije kisika so bile nekoliko nižje kot v laboratorijskih SBR reaktorjih, in sicer je povprečna temperatura v SBR reaktorjih CČN Zagorje ob Savi znašala 10,318 ± 0,141 °C, povprečna koncentracija kisika pa 1,3385 ± 2,679 mg O₂/l.

Glede na to, da se je pri primerjavi poskusa 1 in poskusa 2 na laboratorijskih SBR reaktorjih izkazalo, da daljši čas prezračevanja SBR reaktorjev izboljša učinek čiščenja odpadne vode, bi pričakovali, da bo učinek čiščenja laboratorijskih SBR reaktorjev zaradi daljšega prezračevanja boljši od učinka čiščenja realnega SBR reaktorja CČN Zagorje ob Savi, vendar se je izkazalo, da temu ni tako. Kot je razvidno iz zgornjih preglednic, so učinki čiščenja odpadne vode realnega SBR reaktorja CČN Zagorje ob Savi bistveno boljši od učinkov čiščenja odpadne vode laboratorijskih SBR reaktorjev.

Slabše učinke čiščenja laboratorijskih SBR reaktorjev v primerjavi z realnim SBR reaktorjem CČN Zagorje ob Savi bi morda lahko pripisali krajši fazi usedanja aktivnega blata. Faza usedanja aktivnega blata je trajala pri realnem SBR reaktorju 0,75 ure, pri laboratorijskih SBR reaktorjih pa pol ure, zato je

možno, da se aktivno blato v laboratorijskih SBR reaktorjih še ni dobro usedlo. Poleg tega smo po končani fazi usedanja izčrpali očiščeno odpadno vodo iz laboratorijskih SBR reaktorjev z ročno črpalko, s čimer smo povzročili dodaten dvig aktivnega blata, kar se pozna na koncentraciji parametrov očiščene odpadne vode in posledično na slabšem učinku čiščenja laboratorijskih SBR reaktorjev v primerjavi z realnim SBR reaktorjem CČN Zagorje ob Savi.

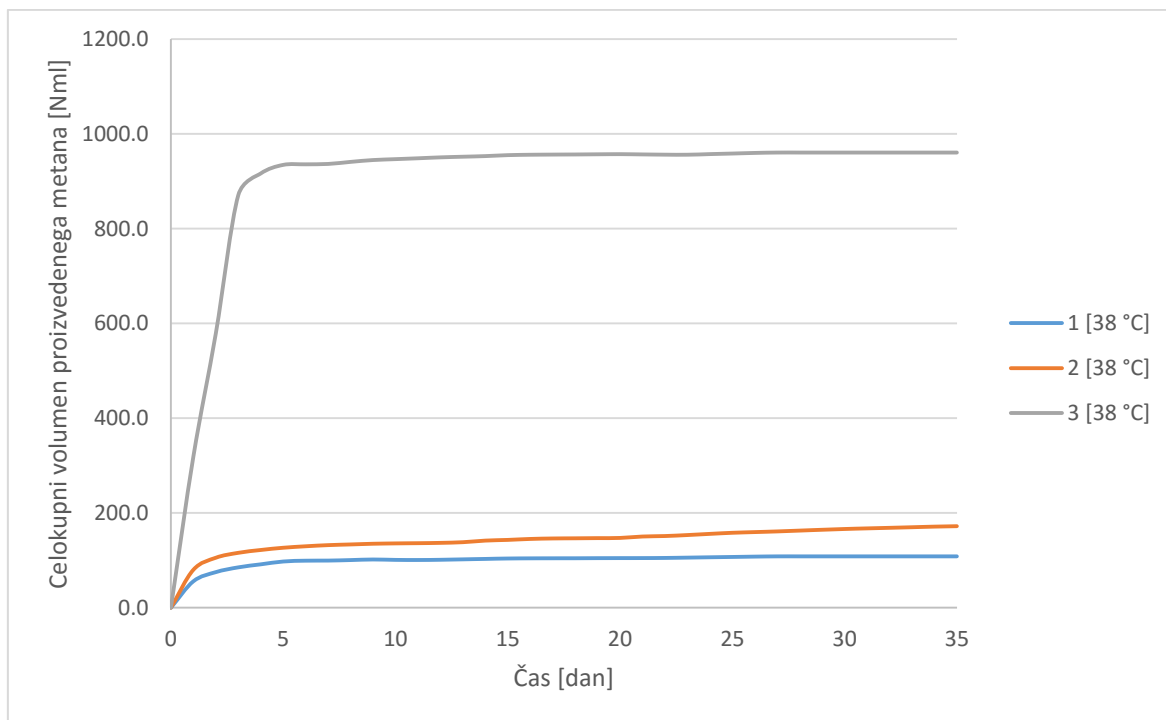
9.4 Določanje biometanskega potenciala presežnega blata CČN Zagorje ob Savi

Določali smo BMP presežnega blata CČN Zagorje ob Savi. BMP smo določali za dve različni organski obremenitvi anaerobnega reaktorja pri različnih temperaturah, in sicer v mezofilnem temperaturnem območje pri temperaturi 38 °C in v termofilnem temperaturnem območju pri temperaturi 55 °C.

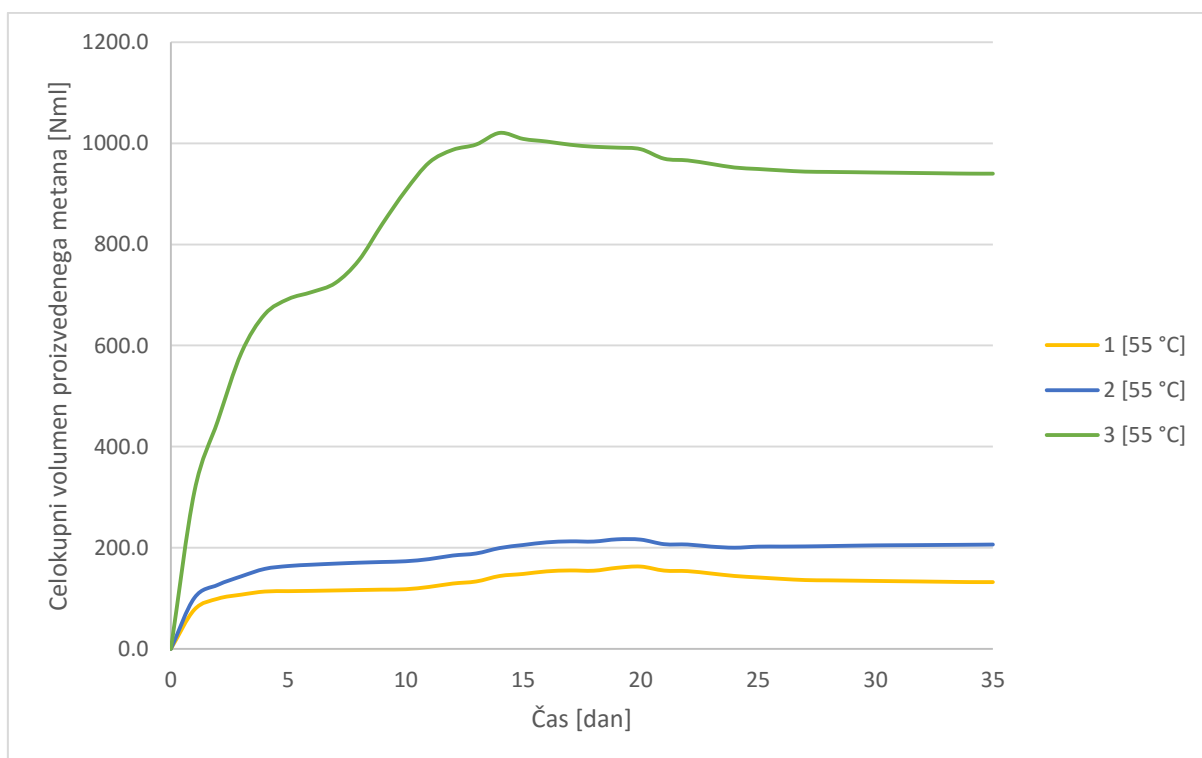
Sestava posameznih anaerobnih reaktorjev je prikazana v Preglednici 17, v podpoglavju 8.3.4 Priprava anaerobnih reaktorjev AMPTS II.

9.4.1 Celokupni volumen proizvedenega biometana

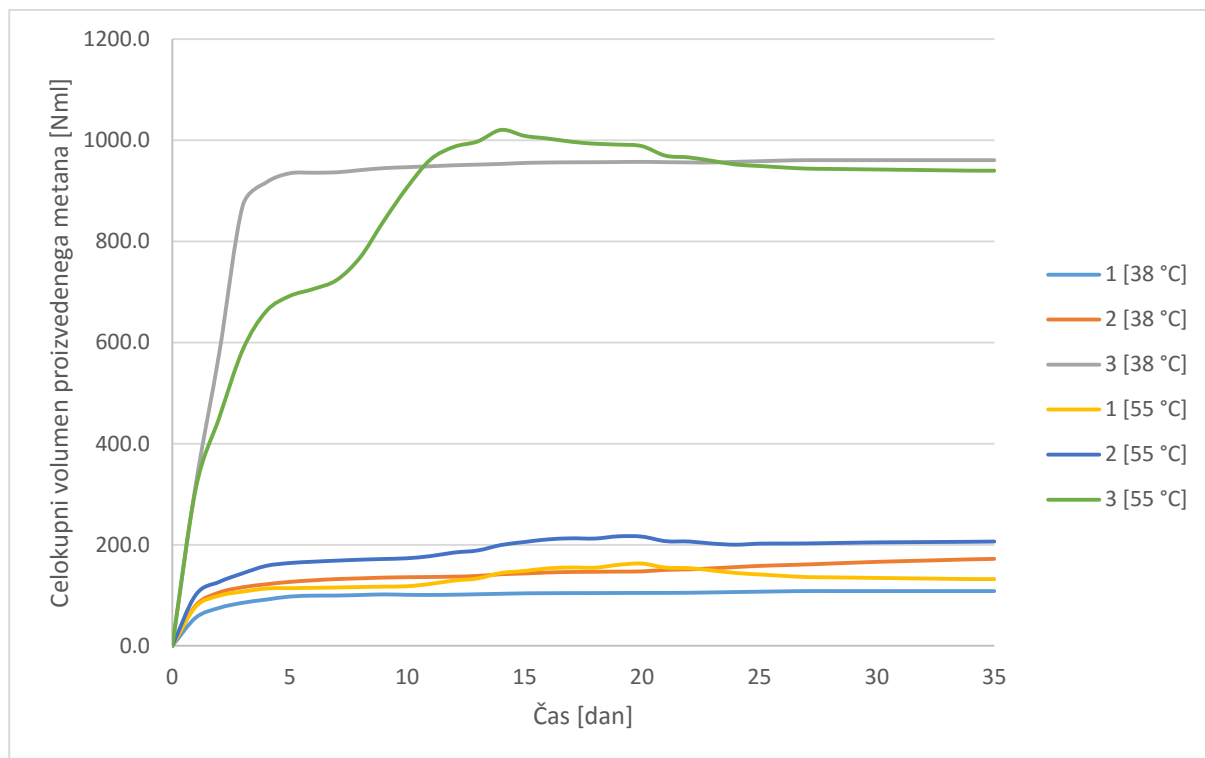
Grafikona 3 in 4 prikazujeta trend nastajanja biometana v anaerobnih reaktorjih zaradi dodanega substrata v mezofilnem temperaturnem območju pri temperaturi 38 °C in v termofilnem temperaturnem območju pri temperaturi 55 °C. Grafikon 5 prikazuje primerjavo obeh variant.



Grafikon 3: Celokupni volumen proizvedenega metana v anaerobnih reaktorjih zaradi dodanega substrata v mezofilnem temperaturnem območju pri temperaturi 38 °C



Grafikon 4: Celokupni volumen proizvedenega metana v anaerobnih reaktorjih zaradi dodanega substrata v termofilnem temperaturnem območju pri temperaturi 55 °C



Grafikon 5: Celokupni volumen proizvedenega metana v anaerobnih reaktorjih zaradi dodanega substrata v mezofilnem temperaturnem območju pri temperaturi 38 °C in v termofilnem temperaturnem območju pri temperaturi 55 °C

Če ne upoštevamo pozitivnih kontrol (anaerobnih reaktorjev z oznakama 3 [38 °C] in 3 [55 °C]), ki so potrebne za interno kontrolo uspešnosti poteka poskusa, je največ biometana, in sicer 206,4 Nml, nastalo pri anaerobnem reaktorju z oznako 2 [55 °C], tj. reaktorju z višjo od obeh organskih obremenitev v termofilnem temperaturnem območju pri temperaturi 55 °C. Najmanj metana, 108,4 Nml, je nastalo pri anaerobnem reaktorju z oznako 1 [38 °C], tj. reaktorju z nižjo od obeh organskih obremenitev v mezofilnem temperaturnem območju pri temperaturi 38 °C. V Preglednici 25 je prikazan celokupni volumen proizvedenega metana v anaerobnih reaktorjih za obravnavane testne mešanice.

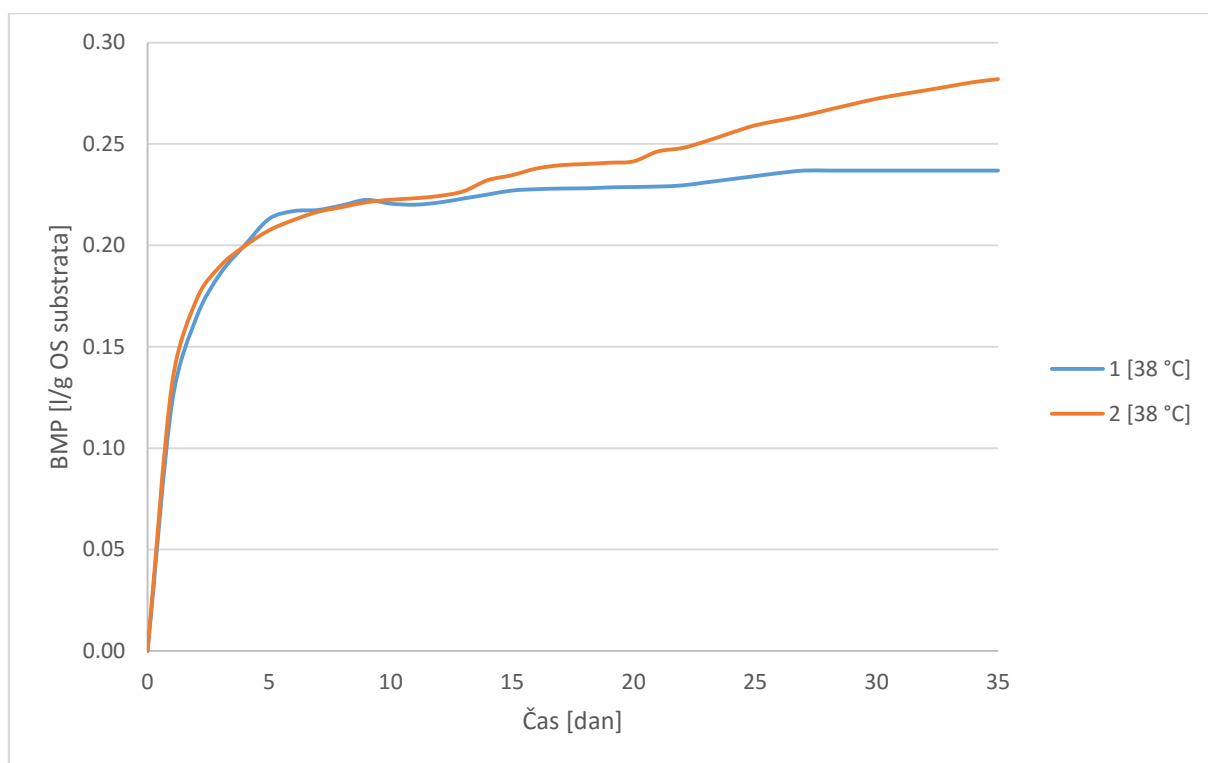
Preglednica 25: Celokupni volumen proizvedenega metana v anaerobnih reaktorjih zaradi dodanega substrata v mezofilnem temperaturnem območju pri temperaturi 38 °C in v termofilnem temperaturnem območju pri temperaturi 55 °C

Celokupni volumen proizvedenega biometana [Nml]	Anaerobni reaktorji					
	1 [38 °C]	2 [38 °C]	3 [38 °C]	1 [55 °C]	2 [55 °C]	3 [55 °C]
	108,4	172,1	960,8	132,1	206,4	940,0

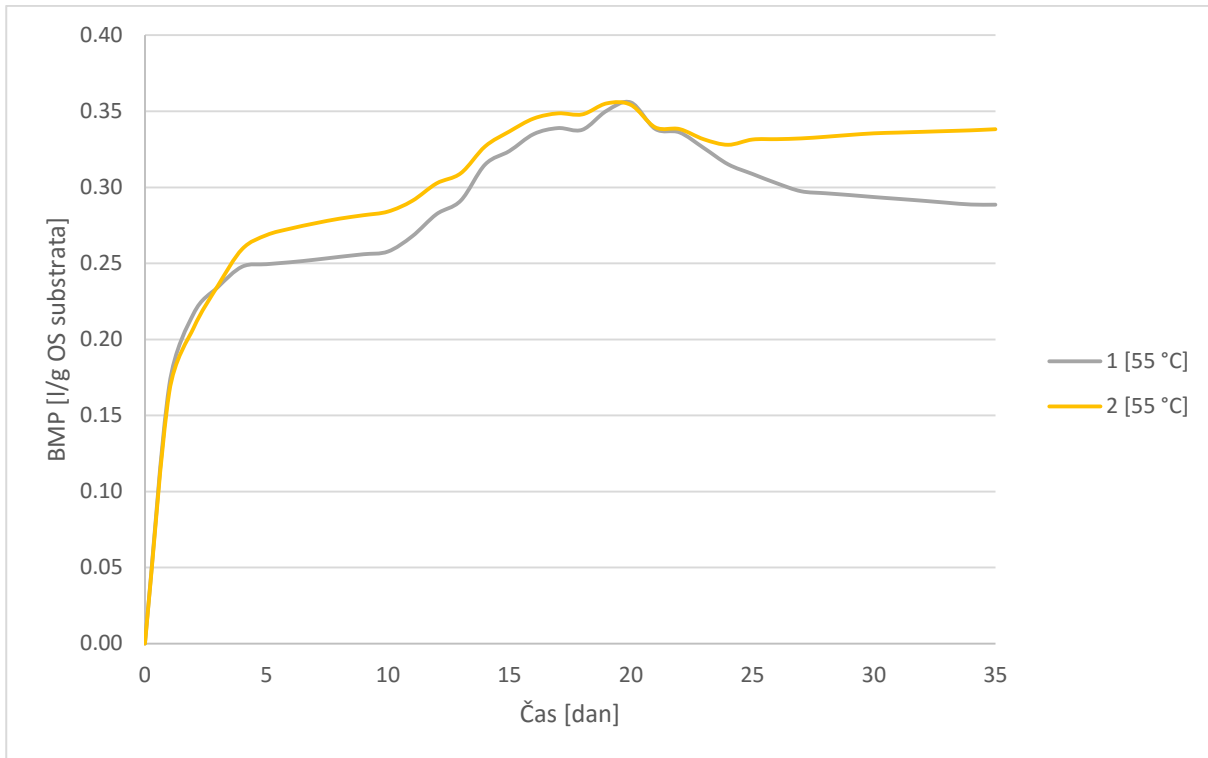
Rezultati so potrdili, da anaerobna razgradnja v termofilnem temperaturnem območju pri temperaturi 55 °C poteka hitreje od anaerobne razgradnje v mezofilnem temperaturnem območju pri temperaturi 38 °C in da iz enake količine substrata pri termofilnem procesu pridobimo več bioplina oziroma biometana kot pri mezofilnem procesu.

9.4.2 Biometanski potencial

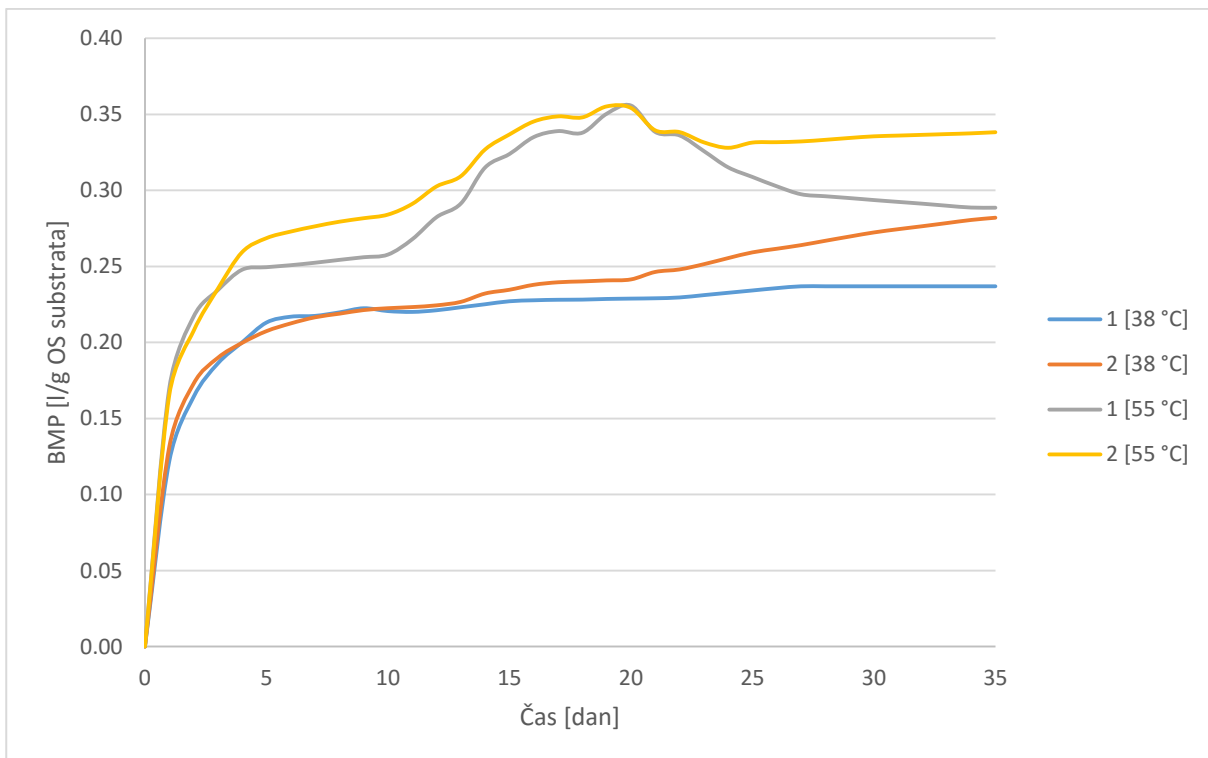
Grafikona 6 in 7 prikazujeta BMP, izražen na vsebnost OS substrata posameznega anaerobnega reaktorja v mezofilnem temperaturnem območju pri temperaturi 38 °C in v termofilnem temperaturnem območju pri temperaturi 55 °C. Grafikon 8 prikazuje primerjavo obeh variant.



Grafikon 6: BMP, izražen na OS substrata posameznega anaerobnega reaktorja v mezofilnem temperaturnem območju pri temperaturi 38 °C



Grafikon 7: BMP, izražen na OS substrata posameznega anaerobnega reaktorja v termofilnem temperaturnem območju pri temperaturi 55 °C



Grafikon 8: BMP, izražen na OS substrata posameznega anaerobnega reaktorja v mezofilnem temperaturnem območju pri temperaturi 38 °C in v termofilnem temperaturnem območju pri temperaturi 55 °C

Iskani BMP predstavlja najvišja točka krivulje BMP. Vrednosti BMP za posamezne anaerobne reaktorje so zbrane v Preglednici 26.

Preglednica 26: Biometanski potencial presežnega blata CČN Zagorje ob Savi

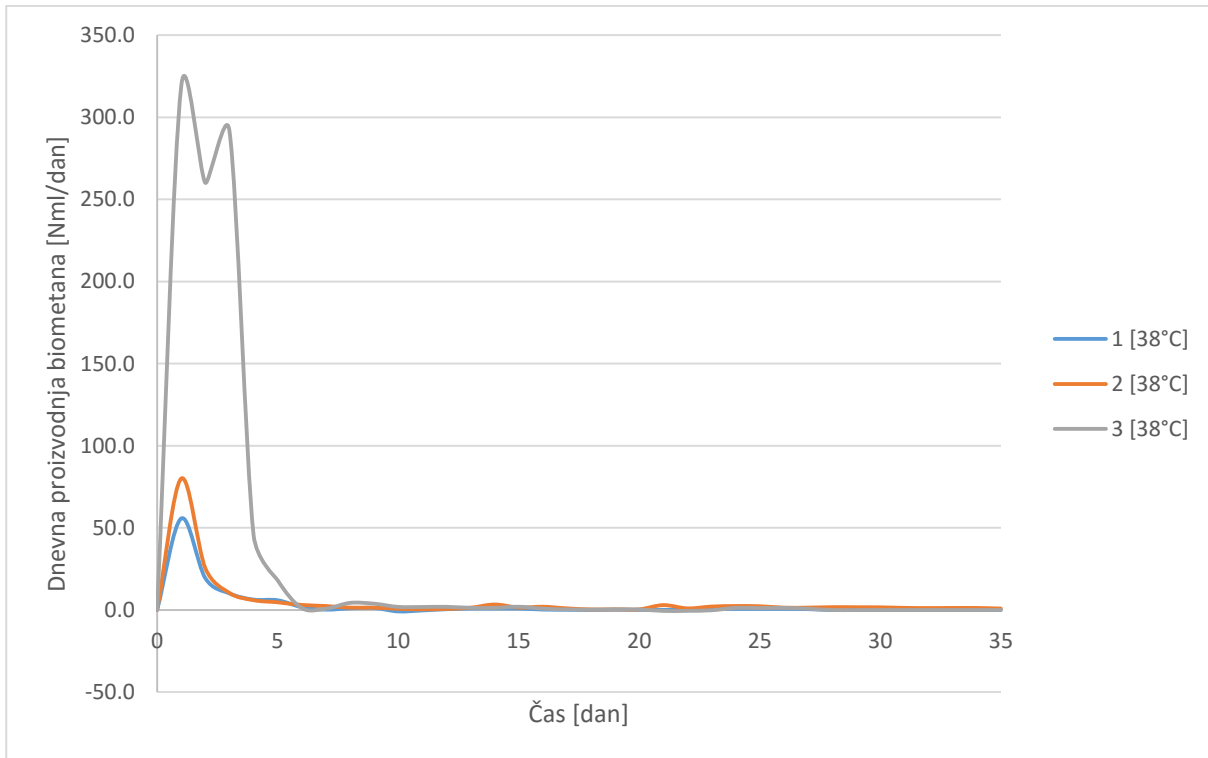
	Anaerobni reaktorji			
	1 [38 °C]	2 [38 °C]	1 [55 °C]	2 [55 °C]
BMP [l CH₄/g KPK]	0,084	0,100	0,102	0,120
BMP [l CH₄/g OS]	0,237	0,282	0,289	0,338

Največ biometana, in sicer 0,120 l CH₄/g KPK oziroma 0,338 l CH₄/g OS blata, je pričakovano nastalo pri anaerobnem reaktorju z oznako 2 [55 °C], tj. reaktorju v termofilnem temperaturnem območju pri temperaturi 55 °C z višjo od obeh organskih obremenitev. Najnižji BMP, in sicer 0,084 l CH₄/g KPK oziroma 0,237 l CH₄/g OS blata, je bil zabeležen pri anaerobnem reaktorju z oznako 1 [38 °C], tj. reaktorju v mezofilnem temperaturnem območju pri temperaturi 38 °C z nižjo od obeh organskih obremenitev. Pri anaerobnem reaktorju z oznako 2 [38 °C] znaša BMP 0,100 l CH₄/g KPK oziroma 0,282 l CH₄/g OS blata, pri anaerobnem reaktorju z oznako 1 [55 °C] pa znaša BMP 0,102 l CH₄/g KPK oziroma 0,289 l CH₄/g OS blata. Rezultati testa so pokazali, da bi bilo presežno blato iz CČN Zagorje ob Savi primerno za izrabo bioplina oziroma biometana.

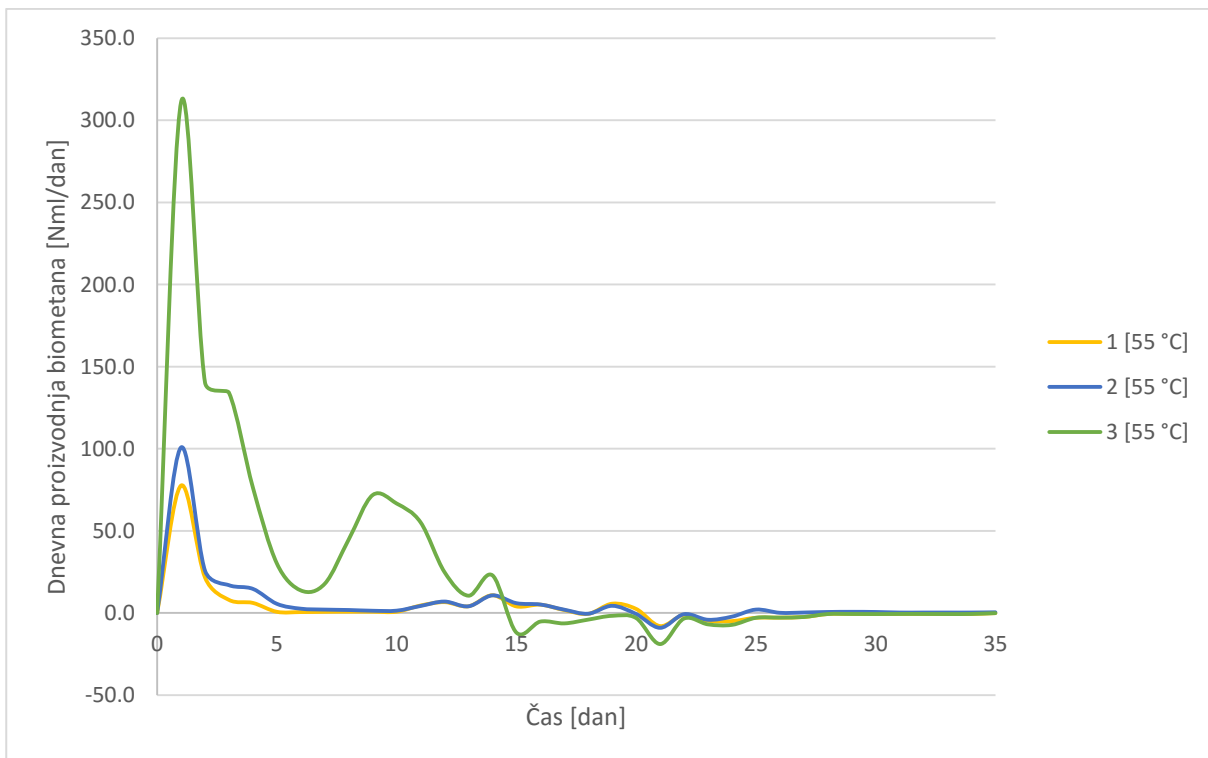
S testom BMP smo dobili grobo oceno BMP presežnega blata CČN Zagorje ob Savi. Rezultati testa BMP so namreč slabo ponovljivi in so zgolj informativni.

9.4.3 Dnevna proizvodnja biometana

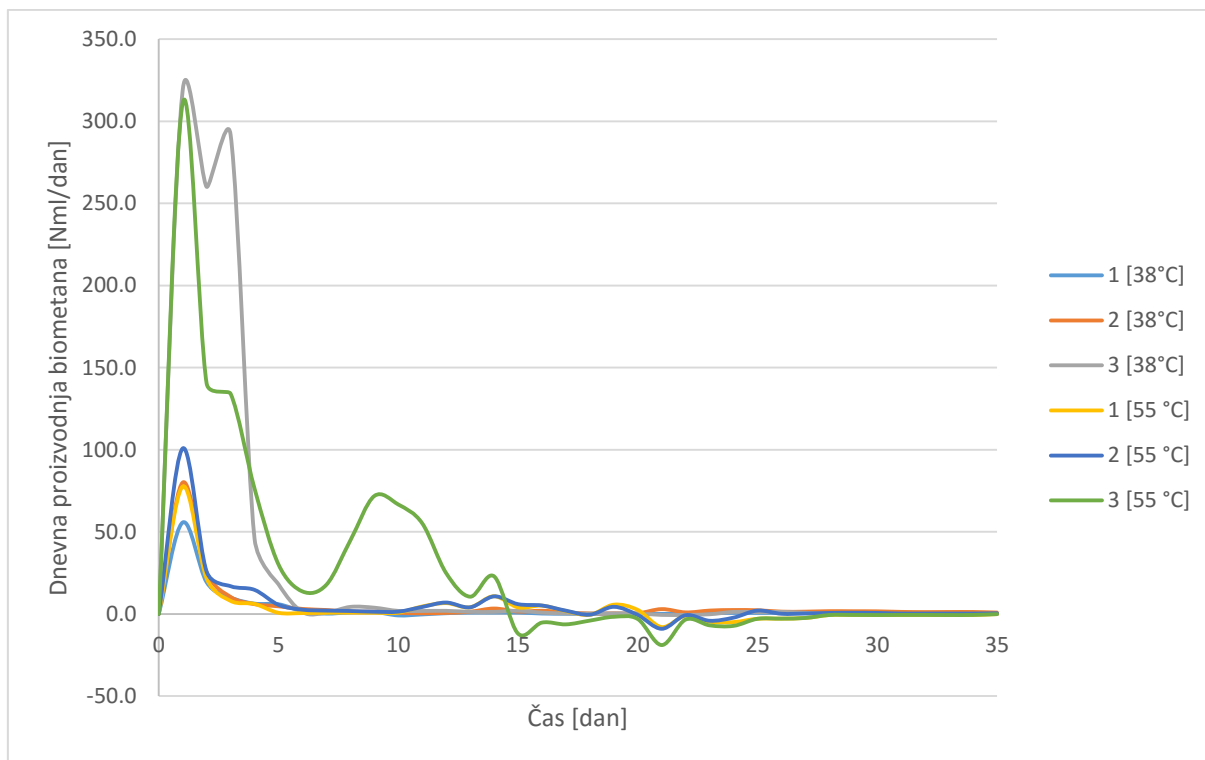
Grafikona 9 in 10 prikazujeta dnevno proizvodnjo biometana v anaerobnih reaktorjih zaradi dodanega substrata v mezofilnem temperaturnem območju pri temperaturi 38 °C in v termofilnem temperaturnem območju pri temperaturi 55 °C. Grafikon 11 prikazuje primerjavo obeh variant.



Grafikon 9: Dnevna proizvodnja biometana v anaerobnih reaktorjih zaradi dodanega substrata v mezofilnem temperaturnem območju pri temperaturi 38 °C



Grafikon 10: Dnevna proizvodnja biometana v anaerobnih reaktorjih zaradi dodanega substrata v termofilnem temperaturnem območju pri temperaturi 55 °C



Grafikon 11: Dnevna proizvodnja biometana v anaerobnih reaktorjih zaradi dodanega substrata v mezofilnem temperaturnem območju pri temperaturi 38 °C in termofilnem temperaturnem območju pri temperaturi 55 °C

Dnevna proizvodnja biometana je pri vseh anaerobnih reaktorjih najvišja prvi dan anaerobne razgradnje, nato začne upadati. Mikroorganizmi najprej pretvorijo lažje razgradljive OS v biometan, nato pa pričnejo s pretvorbo težje razgradljivih OS. V substratu je vedno manj OS, ki jih mikroorganizmi lahko pretvorijo v biometan, zato prične proizvodnja biometana postopoma upadati, dokler se ne ustavi popolnoma.

9.4.4 Rezultati določanja suhe in organske snovi pregnitega blata

V Preglednici 27 so prikazani rezultati določanja SS in OS vzorcev pregnitih blat (digestata) po anaerobni obdelavi. Vrednosti predstavljajo povprečne vrednosti dveh paralelnih ponovitev.

Preglednica 27: Rezultati določanja suhe in organske snovi vzorcev pregnitega blata (digestata) po anaerobni razgradnji

	Anaerobni reaktorji							
	0 [38 °C]	1 [38 °C]	2 [38 °C]	3 [38 °C]	0 [55 °C]	1 [55 °C]	2 [55 °C]	3 [55 °C]
SS [%]	2,63	2,63	2,56	2,56	2,45	2,48	2,50	1,15
OS [%]	1,56	1,56	1,51	1,54	1,44	1,44	1,46	0,72
OS [% SS]	59,27	59,37	59,05	60,26	58,66	57,91	58,43	62,58

Vrednosti SS in OS vzorcev pregnitih blat se med seboj bistveno ne razlikujejo.

9.5 Analiza smotrnosti postavitve anaerobnega presnovališča CČN Zagorje ob Savi

Za izrabo bioplina oziroma biometana iz presežnega blata CČN Zagorje ob Savi smo analizirali smotrnost postavitve anaerobnega presnovališča s SPTE.

- **Količine presežnega blata CČN Zagorje ob Savi**

Na CČN Zagorje ob Savi nastane letno 286,53 t suhe snovi presežnega blata. V suhi snovi presežnega blata je 68,67 % organskih snovi, kar pomeni, da na CČN Zagorje ob Savi nastane letno 196,76 t organskih snovi, ki bi jih lahko izrabili za pridobivanje bioplina oziroma biometana.

- **Izbira postopka anaerobne obdelave presežnega blata in velikosti anaerobnega presnovališča**

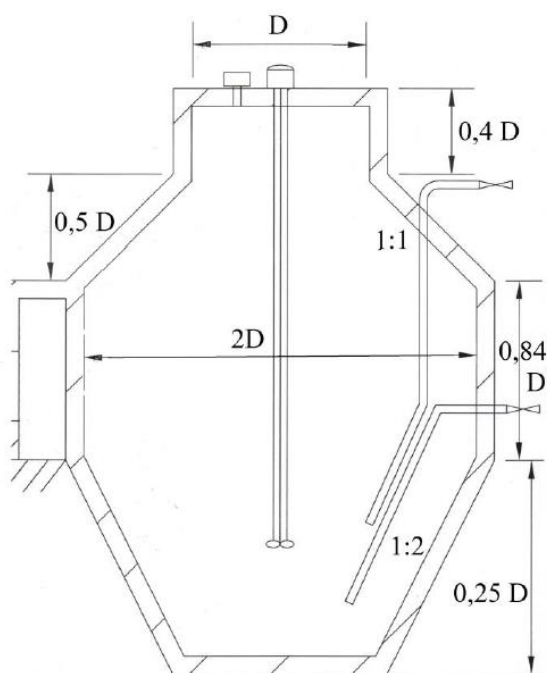
Preverili smo smotrnost anaerobne obdelave presežnega blata v mezofilnem temperaturnem območju pri 38 °C in v termofilnem temperaturnem območju pri 55 °C. V našem primeru se je postopek anaerobne obdelave presežnega blata v mezofilnem temperaturnem območju pri 38 °C izkazal za bolj smotrnega, zato smo v magistrskem delu prikazali izračun le-tega.

Proces v mezofilnem temperaturnem območju poteka 20 do 30 dni [5]. Glede na rezultate testa BMP smo se odločili za zadrževalni čas 20 dni.

V anaerobni reaktor bi vodili substrat s 3,42 % vsebnosti suhe snovi, tolikšna je namreč vsebnost suhe snovi v presežnem biološkem blatu, ki nastane na CČN Zagorje ob Savi. Če naše vhodne količine preračunamo na 3,42 % vsebnosti suhe snovi, dobimo 8.377,93 t substrata letno. Ker je specifična teža

tekočega blata približno enaka specifični teži vode, smo v izračunih predpostavili, da 1 t presežnega biološkega blata s 3,42 % vsebnosti suhe snovi zavzame približno 1 m³ prostornine anaerobnega presnovališča.

Ob upoštevanju količine substrata in potrebnega zadrževalnega časa substrata v anaerobnem presnovališču (20 dni) bi potrebovali anaerobno presnovališče z volumnom 574 m³, od tega bi bilo 80 % (459 m³) »mokrega« volumna in 20 % (115 m³) »suhega« volumna. Shema našega anaerobnega presnovališča je prikazana na Sliki 26.



Slika 26: Shema anaerobnega presnovališča [54]

Ob upoštevanju BMP presežnega blata CCN Zagorje ob Savi, ki znaša 282 m³/t OS, bi lahko letno proizvedli 55.486,32 m³ metana. Energijska vrednost metana je 35,80 MJ/m³ oziroma 9,94 kWh/m³ [55]. Na letnem nivoju bi brez upoštevanja izgub lahko proizvedli 551.534,02 kWh energije.

Razpoložljivo energijo dobimo tako, da od proizvedene energije odštejemo energijo, ki je potrebna za ogrevanje anaerobnega presnovališča in toplotne izgube presnovališča.

Energijo, potrebno za ogrevanje anaerobnega presnovališča, izračunamo po naslednji formuli [54]:

$$Q_t = \text{količina svežega blata} * (T_s - T) * c$$

Če želimo anaerobno presnovališče vzdrževati v mezofilnem temperaturnem območju pri temperaturi 38 °C, bomo na letnem nivoju za ogrevanje le-tega porabili 272,77 kWh energije. Pri tem smo upoštevali, da specifična toplota blata znaša 4,186 J/(kg K), vhodna temperatura blata pa je 10 °C [54].

Toplotne izgube anaerobnega presnovališča smo izračunali z naslednjimi enačbami [54]:

- Toplotne izgube presnovališča:

$$Q_{izgube}(28\text{ }^{\circ}\text{C}) = 28 * (c_{nad\ zemljo} * P_{nad\ zemljo} + c_{pod\ zemljo} * P_{pod\ zemljo})$$

- Površine presnovališča nad zemljo:

$$P_{nad\ zemljo} = \frac{D^2\pi}{4} + D * \pi * 0,4D + \frac{3}{2}\pi\sqrt{0,5} * D^2 + 2D * \pi * 0,84D$$

- Površine presnovališča pod zemljo:

$$P_{pod\ zemljo} = \frac{D^2\pi}{4} + \pi * \frac{D\sqrt{5}}{2} * \left(\frac{2D}{2} + \frac{D}{2}\right)$$

- Premer presnovališča:

$$D = \sqrt[3]{\frac{V}{0,785}}$$

Letne toplotne izgube presnovališča bi znašale 121.947,33 kWh. Pri tem smo za izgube toplote skozi stene presnovališča za $\Delta T = 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ upoštevali $c_{nad\ zemljo} = 2,32\text{ W/m}^2$ in $c_{pod\ zemljo} = 0,47\text{ W/m}^2$ [54].

Ob upoštevanju energije, potrebne za ogrevanje anaerobnega presnovališča in toplotnih izgub presnovališča, bi na letnem nivoju tako proizvedli 429.313,92 kWh razpoložljive energije.

- **Naprava za soproizvodnjo toplotne in električne energije**

V napravi SPTE s plinskim motorjem se proizvede okvirno od 37 do 41 % električne energije in od 40 do 50 % toplotne energije, preostali del predstavljajo izgube [56]. Energetska bilanca, z upoštevanimi povprečnimi izkoristki, je prikazana v Preglednici 28.

Preglednica 28: Energetska bilanca proizvedene energije v napravi SPTE

	Izkoristek [%]	Proizvedena energija [kWh/dan]
Električna energija	39	458,72
Toplotna energija	45	529,29
Izgube	16	188,19

Na podlagi opravljenih izračunov smo se odločili za motor z električno močjo 20 kW, ki bi v enem dnevu proizvedel 458,72 kWh električne energije. Nazivna moč SPTE bi bila 20 kW električne energije in 22 kW toplotne energije.

- **Ekonomska smotrnost investicije**

Investicijski stroški

Investicijski stroški znašajo od 3.000 do 5.000 EUR/kW električne energije [56]. Če vzamemo povprečno vrednost, tj. 4.000 EUR/kW električne energije, bi investicijski stroški anaerobnega presnovališča znašali okvirno 80.000 EUR, preračunano na osnovi 20 kW inštalirane električne moči.

Obratovalni in vzdrževalni stroški

Najvišji obratovalni strošek predstavlja amortizacijska stopnja. Amortizacijska stopnja je zakonsko določena in znaša 2,5 % vrednosti letno za gradbena dela in 6,67 % vrednosti letno za opremo. Med obratovalne stroške sodijo tudi stroški vzdrževanja (gradbena dela znašajo okvirno 0,5 % vrednosti letno, oprema 1 % vrednosti letno in delovanje SPTE od 8 do 12 cent/kWh). Nezanemarljiv ni niti strošek lastne porabe energije (od 8 do 15 % električne energije in od 20 do 30 % toplotne energije), ki je odraz dogajanj na trgu energentov [56]. V Preglednici 29 so prikazani letni obratovalni in vzdrževalni stroški anaerobnega presnovališča.

Preglednica 29: Letni obratovalni in vzdrževalni stroški anaerobnega presnovališča

Vrsta stroška	EUR
Amortizacijska stopnja za gradbena dela	2.000
Amortizacijska stopnja za opremo	5.336
Tekoča vzdrževalna gradbena dela	400
Tekoča vzdrževalna dela na opremi	800
Delovanje SPTE (upoštevano 10 cent/kWh)	46
Skupaj	8.582

Letni obratovalni in vzdrževalni stroški anaerobnega presnovališča bi znašali 8.582 EUR.

Lastno porabo energije smo upoštevali tako, da smo jo odšteli od proizvedene energije. S tem smo dobili količino razpoložljive energije, ki smo jo upoštevali pri nadaljnjih izračunih. V Preglednici 30 je prikazana razpoložljiva energija ob upoštevanju povprečnih vrednosti za lastno porabo energije (11,5 % električne energije in 25 % toplotne energije).

Preglednica 30: Energetska bilanca

	Proizvedena energija	Lastna raba energije	Razpoložljiva energija
Električna energija [kWh/dan]	458,72	50,46	408,26
Toplotna energija [kWh/dan]	529,29	132,32	396,97

Prihranki

CČN Zagorje ob Savi pri obratovanju s sušnim obratovalnim ciklom porabi 1.396 kWh električne energije dnevno, torej 509.540 kWh električne energije letno [44]. S proizvedeno električno energijo bi lahko pokrili 29,24 % potreb po električni energiji CČN. Ob upoštevanju cene električne energije 0,081 EUR/kWh [57] bi na letnem nivoju pri električni energiji prihranili 12.070 EUR.

Pregnito blato

V anaerobnem presnovališču nastane kot stranski produkt anaerobne razgradnje presežnega blata CČN Zagorje ob Savi pregnito blato oziroma digestat. Analize presežnega blata CČN Zagorje ob Savi nismo uspeli pridobiti, zato prihodke oziroma stroške, ki so povezani z odstranitvijo pregnitega blata, izpuščamo iz nadaljnjih izračunov.

V Preglednici 31 je podana struktura prihodkov in stroškov anaerobnega presnovališča na letnem nivoju.

Preglednica 31: Struktura prihodkov in stroškov anaerobnega presnovališča na letnem nivoju

	EUR
Prihodki oziroma prihranki na račun proizvedene električne energije	12.070,0
Obratovalni in vzdrževalni stroški	8.582
Dobiček	3.488

Investicija v anaerobno presnovališče s SPTE bi se na CČN Zagorje ob Savi povrnila v 23 letih. Glede na to, da so življenjske dobe anaerobnih presnovališč v povprečju 30 let [58], menim, da se postavitve anaerobnega presnovališča z ekonomskega vidika ne splača.

10 ZAKLJUČEK

V laboratoriju IZH smo na laboratorijskih SBR reaktorjih izvedli simulacijo delovanja realnega SBR reaktorja CČN Zagorje ob Savi. Na laboratorijskih SBR reaktorjih smo najprej ugotavljali, kako čas prezračevanja SBR reaktorjev vpliva na učinek čiščenja odpadne vode. Rezultati poskusov so pokazali, da so učinki čiščenja odpadne vode pri daljših časih prezračevanja laboratorijskih SBR reaktorjev bistveno boljši. Učinke čiščenja odpadne vode laboratorijskih SBR reaktorjev smo nato primerjali z učinki čiščenja realnega SBR reaktorja CČN Zagorje ob Savi. Glede na daljše čase prezračevanja laboratorijskih SBR reaktorjev smo pričakovali, da bodo dosegli boljše učinke čiščenja odpadne vode kot SBR reaktor CČN Zagorje ob Savi, a se je izkazalo, da so učinki čiščenja realnega SBR reaktorja CČN Zagorje ob Savi bistveno boljši. Slabše učinke čiščenja laboratorijskih SBR reaktorjev v primerjavi z realnim SBR reaktorjem CČN Zagorje ob Savi bi lahko pripisali krajši fazi usedanja aktivnega blata. Poleg tega smo pri črpanju očiščene odpadne vode z ročno črpalko povzročili dvig usedlega aktivnega blata. V analiziranem vzorcu očiščene odpadne vode iz laboratorijskih SBR reaktorjev smo tako imeli povečano število suspendiranih snovi, zato so bili njihovi učinki čiščenja posledično slabši.

V magistrski nalogi smo določali tudi BMP presežnega biološkega blata CČN Zagorje ob Savi za dve različni organski obremenitvi v mezofilnem temperaturnem območju pri 38 °C in v termofilnem temperaturnem območju pri 55 °C. Glede na količino nastalega metana pri testu BMP smo ugotovili, da ima presežno biološko blato iz CČN Zagorje ob Savi potencial za pridobivanje le-tega. Kljub temu se je izkazalo, da postavitve anaerobnega presnovališča za pridobivanje bioplina iz presežnega biološkega blata CČN Zagorje ob Savi z ekonomskega vidika ni smotrna, saj na CČN Zagorje ob Savi nastajajo premajhne količine presežnega blata. Menim, da bi bilo smiselno, da bi se CČN Zagorje ob Savi povezala s sosednjimi čistilnimi napravami (CČN Litija-Šmartno, CČN Trbovlje in CČN Hrastnik), da bi preverili smotnost postavitve skupnega anaerobnega presnovališča.

VIRI

- [1] Roš, M. 2015. Sodobni postopki čiščenja odpadnih vod. Celje, Fit media d.o.o.: 208 str.
- [2] Peroša, A., Zirnstein, E. 2016. Kritika sprememb zakonodaje na področju odvajanja in čiščenja komunalne odpadne vode. Gradbeni vestnik 65, 4: 90–99.
- [3] Vrtovešk, J., Zupančič, G. D. 2006. Čistilne naprave in odpadno blato. V: Vode – skrb, nadloga in izziv: 3. okoljski simpozij, Celje, Slovenija, 25–26 Maj 2006. Celje, Fit media d.o.o.: 71–79.
http://www.zelenaslovenija.si/images/stories/pdf_dokumenti/Voda%20-%20Zbornik%202006.pdf
(Pridobljeno 20. 3. 2016.)
- [4] Uranjek Ževart, N., Štramcar, A. 2009. Proizvodnja in uporaba bioplina na CCN Šaleške Doline. Sinenergija, 2009, 1: 7–8.
<http://www.dlib.si/details/URN:NBN:SI:DOC-ZJSV86DO/> (Pridobljeno 15. 6. 2016.)
- [5] Zupančič, G. D., Grilc, V. 2013. Pregled ravnanja z odvečnim blatom bioloških čistilnih naprav za odpadne vode. V: Zbornik referatov: simpozij z mednarodno udeležbo Vodni dnevi 2013, Portorož, Slovenija, 16–17 Oktober, 2013. Ljubljana, Slovensko društvo za zaščito voda.
http://vodnidnevi.si/images/arhiv/2013/referati/11_Zupancic.pdf (Pridobljeno 15. 1. 2016.)
- [6] Likon, M. 2013. Ali trajnostno upravljanje z biorazgradljivimi blati sploh obstaja? V: Zbornik referatov: simpozij z mednarodno udeležbo Vodni dnevi 2013, Portorož, Slovenija, 16–17 Oktober, 2013. Ljubljana, Slovensko društvo za zaščito voda.
http://vodnidnevi.si/images/arhiv/2013/referati/12_Likon.pdf (Pridobljeno 15. 1. 2016.)
- [7] Operativni program odvajanja in čiščenja komunalne odpadne vode (novelacija za obdobje od leta 2005 do leta 2017). Sklep Vlade RS, št. 35401-2/2010/3 z dne 11. 11. 2010 in Sklep Vlade RS, št. 35401-2/2010/8 z dne 14. 7. 2011.
http://www.mko.gov.si/fileadmin/mko.gov.si/pageuploads/zakonodaja/varstvo_okolja/operativni_programi/operativni_program_komunalne_vode.pdf (Pridobljeno 6. 6. 2016.)
- [8] Agencija Republike Slovenije za okolje. 2016. Predpisi.
http://okolje.arso.gov.si/onesnazevanje_voda/vsebine/predpisi (Pridobljeno 6. 6. 2016.)
- [9] Uredba o odpadkih. Uradni list RS, št. 37/15 in 69/15.

- [10] Uredba o odlagališčih odpadkov. Uradni list RS, št. 10/14, 54/14 in 36/16.
- [11] Uredba o obremenjevanju tal z vnašanjem odpadkov. Uradni list RS, št. 34/08 in 61/11.
- [12] Uredba o uporabi blata iz komunalnih čistilnih naprav v kmetijstvu. Uradni list RS, št. 62/08.
- [13] Uredba o predelavi biološko razgradljivih odpadkov in uporabi komposta ali digestata. Uradni list RS, št. 99/13 in 56/15.
- [14] Uredba o sežiganju odpadkov. Uradni list RS, št. 68/08, 41/09 in 8/16.
- [15] Uredba o predelavi nenevarnih odpadkov v trdno gorivo in njegovi uporabi. Uradni list RS, št. 96/14.
- [16] Drev, D., Čuvan, J. 2013. Okoljevarstvene tehnologije. Učbenik za modul Okoljevarstvene tehnologije v programu Okoljevarstveni tehnik. Celje, Fit media d.o.o.: 164 str.
- [17] Direktiva Sveta 96/61/ES z dne 24. septembra 1996 o celovitem preprečevanju in nadzorovanju onesnaževanja.
<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CONSLEG:1996L0061:20031120:SL:PDF>
(Pridobljeno 6. 8. 2016.)
- [18] Gospodarska zbornica Slovenije. 2016. Najboljše razpoložljive tehnike in referenčni dokumenti z njihovimi opisi.
https://www.gzs.si/skupne_naloge/varstvo_okolja/vsebina/Emisije-iz-industrijskih-virov/Referen%C4%8Dni-dokumenti-najbolj%C5%A1ih-razpolo%C5%BEljivih-tehnologij
(Pridobljeno 6. 8. 2016)
- [19] Riffat, R. 2013. Fundamentals of Wastewater Treatment and Engineering. Boca Raton, London, New York, CRC Press, Taylor & Francis Group: 333 str.
- [20] Degremont. 2009. Water Treatment Handbook. 1571 str.
- [21] Henze, M., Harremoës, P., Jansen, J., Arvin, E. 1997. Wastewater Treatment. Biological and Chemical Processes. 2nd edition. Berlin, Springer: 383 str.

- [22] Panjan, J. 2001. Osnove čiščenja odpadnih voda. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 207 str.
- [23] Roš, M. 2005. Sistemi čiščenja s problematiko odpadnega blata. V: Zbornik referatov: simpozij z mednarodno udeležbo Vodni dnevi 2005, Portorož, Slovenija, 12–13 Oktober, 2005. Ljubljana, Slovensko društvo za zaščito voda: str. 18–26.
http://vodnidnevi.si/images/arhiv/2005/03_Ros.pdf (Pridobljeno 15. 1. 2016.)
- [24] Panjan, J. 2010. Čiščenje odpadnih voda. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 172 str.
- [25] Kang, S. J., Olmstead, K., Takacs, K., Collins, J. 2008. Municipal Nutrient Removal Technologies. Reference Document. Volume 1 – Tehnical Report. Ann Arbor, Tetra Tech, Inc., U. S. Enviromental Proteciton Agency: 449 str.
<http://nepis.epa.gov/EPA/html/DLwait.htm?url=/Exe/ZyPDF.cgi/P100GE8B.PDF?Dockey=P100GE8B.PDF> (Pridobljeno 5. 4. 2016.)
- [26] Vesilind, A. 2003. Wastewater Treatment Plant Design. London, IWA Publishing: 512 str.
- [27] SIST EN 1085:2001. Čiščenje odpadne vode – Slovar.
- [28] Judd, S. 2006. The MBR Book. Principles and Applications of Membrane Bioreactors in Water and Wastewater Treatment. 1st edition. Amsterdam, Boston, London, Elsevier: 325 str.
- [29] Bitton, G. 2011. Wastewater Microbiology. 4th edition. Hoboken, Wiley-Blackwell, cop.: 781 str.
- [30] Pintarič, Š. 2010. Obstojnost biofilmov. Sanitarno inženirstvo 4, 2: 31–38.
- [31] Panjan, J., Drev, D. 2009. Analiza biofilma in samočistilni procesi v kanalizacijskih sistemih. Gradbeni vestnik 58, 12: 297–305.
- [32] Panjan, J. 2005. Osnove zdravstveno hidrotehnične infrastrukture. Vodovod in čiščenje pitnih voda, odvod in čiščenje onesnaženih voda in komunalni odpadki. 2. izdaja. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 289 str.

- [33] Mackenzie, L. D. 2010. Water and Wastewater Engineering. Design Principles and Practice. The McGraw-Hill Companies, Inc.: 1301 str.
- [34] Občina Zagorje ob Savi. 2016. Osnovni podatki.
<http://www.zagorje.si/podrocje.aspx?id=24> (Pridobljeno 23. 5. 2016.)
- [35] Kerin, M., Fakin, M. 2015. Odvajanje komunalne in padavinske odpadne vode. Elaborat o oblikovanju cen storitev obvezne občinske gospodarske službe varstva okolja.
- [36] Prostorski informacijski sistem. 2016. Občina Zagorje ob Savi.
<http://www.geoprostor.net/piso/ewmap.asp?obcina=ZAGORJE> (Pridobljeno 23. 5. 2016.)
- [37] Javno podjetje Komunala Zagorje d.o.o. 2015. Odvajanje in čiščenje odpadnih voda v občini Zagorje ob Savi. Zloženka.
- [38] Svetina Mercina, M. 2015. Kanalizacija Zagorje ob Savi. Tehnično poročilo.
- [39] Svetina Mercina, M. 2015. Kanalizacija Kisovec. Tehnično poročilo.
- [40] Agencija Republike Slovenije za okolje. 2016. Čistilne naprave – podatki.
http://okolje.arso.gov.si/onesnazevanje_voda/vsebine/podatki-1 (Pridobljeno 25. 5. 2016.)
- [41] Agencija Republike Slovenije za okolje. 2016. Emisije v vode iz komunalnih čistilnih naprav.
http://vode.arso.gov.si/dist_javna/kcn/iskalnik_cn.jsp (Pridobljeno 25. 5. 2016.)
- [42] SL CONSULT d.o.o. 2011. Odvajanje in čiščenje odpadne vode v porečju srednje Save – II. faza – izgradnja kanalizacije in centralne čistilne naprave v občini Zagorje ob Savi.
- [43] Skupaj za čisto Savo. 2015.
http://www.cista-sava.si/pdf/zlozenka_zagorje_2015_splet.pdf (Pridobljeno 20. 12. 2015.)
- [44] Inštitut za ekološki inženiring, d.o.o. 2013. Načrt tehnologije: Centralna čistilna naprava Zagorje ob Savi.
- [45] Skupaj za čisto Savo. 2015.
http://www.cista-sava.si/novice_4.junij.html (Pridobljeno 20. 12. 2015.)

- [46] Rudis. 2016. Projektiranje in izgradnja Centralne čistilne naprave v občini Zagorje ob Savi – sklop 1.
<http://www.rudis.si/reference/projektiranje-in-izgradnja-centralne-cistilne-naprave-v-obcini-zagorje-ob-savi-sklop-1/> (Pridobljeno 10. 12. 2015.)
- [47] Povše, B. 2016. Industrija, priključena na Centralno čistilno napravo Zagorje ob Savi. Elektronsko sporočilo za: Juvan, M. 2. 6. 2016. Osebna komunikacija.
- [48] Povše, B. 2016. Osnovni podatki o Centralni čistilni napravi Zagorje ob Savi. Interno gradivo.
- [49] Javno podjetje Komunala Zagorje d.o.o. in KOTO proizvodnja in trgovsko podjetje, d.o.o. 2015. Pogodba o prevzemu blata iz čiščenja komunalnih odpadnih voda v letih 2016 in 2017 CČN Zagorje ob Savi.
- [50] APHA. 2005. Standard Methods for Examination of Water and Wastewater. 21st edition. Washington, American Public Health Association.
- [51] Kolbl, S. 2014. Izboljšava anaerobne presnove blata iz komunalnih čistilnih naprav in lignoceluloznih substratov pri pridobivanju bioplina. Doktorska disertacija. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba S. Kolbl): 206 f.
- [52] WTW. Determination of Biochemical Oxygen Demand (BOD).
old.omnilab.de/hpb/export/2/BSB_E.PDF (Pridobljeno 10. 5. 2016).
- [53] Drobnič, U. 2016. Poročilo o monitoringu odpadnih vod CČN Zagorje 2/12 – 2016.
- [54] Presnovališče. Gradivo za vaje pri predmetu Kanalizacija in čiščenje odpadnih voda za študijsko leto 2016. Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo.
http://ucilnica1516.fgg.uni-lj.si/pluginfile.php/23480/mod_resource/content/1/presnovalisce.pdf
(Pridobljeno 21. 7. 2016.)
- [55] Jejčič, V., Poje, T., Orešek, A. Uvod v pridobivanje in čiščenje bioplina do faze biometana ter možnosti njegove uporabe – Slovenija. Ljubljana, Kemijski inštitut: 20 str.
http://www.fedarene.org/wp-content/uploads/2013/10/BRM.D.4.3.1.Non_technical_audiencesAIS.pdf
(Pridobljeno 10. 6. 2016.)

- [56] Jug, D. 2009. Ekonomičnost bioplinskih naprav. Sinenergija, 2009, 1: 3–4.
<http://www.dlib.si/details/URN:NBN:SI:DOC-ZJSV86DO/> (Pridobljeno 15. 6. 2016.)
- [57] Statistični urad Republike Slovenije. 2016. Cene energentov.
<http://www.stat.si/StatWeb/pregled-podrocja?idp=30&headerbar=4> (Pridobljeno 15. 6. 2016.)
- [58] Papler, D., Juričič, Đ. 2011. Projekt izkoriščanja bioplina v goriški regiji (4. del). Ekonomika bioplinarn Bovec in Ajdovščina. Eges 2011, 3: 40–49.
- [59] Uredba o emisiji snovi in toplote pri odvajanju odpadnih voda v vode in javno kanalizacijo. Uradni list RS, št. 64/12, 64/14 in 98/15.
- [60] Uredba o odvajanju in čiščenju komunalne odpadne vode. Uradni list RS, št. 98/15.

SEZNAM PRILOG

- Priloga A: Splošne mejne vrednosti emisij toplote in snovi v vode in javno kanalizacijo
- Priloga B: Mejne vrednosti emisije snovi pri odvajanju odpadne vode iz komunalnih čistilnih naprav in malih komunalnih čistilnih naprav
- Priloga C: Mejne vrednosti težkih kovin določene z Uredbo o uporabi blata iz komunalnih čistilnih naprav v kmetijstvu
- Priloga D: Mejne vrednosti za kompost in digestat ter mejne vrednosti vnosa nevarnih snovi v tla
- Priloga E: Mejna vrednost za vsebnost nevarnih snovi v odpadkih iz biomase
- Priloga F: Poročilo o monitoringu odpadnih vod CCN Zagorje 2/12 – 2016

Priloga A: Splošne mejne vrednosti emisij toplote in snovi v vode in javno kanalizacijo

Preglednica A.1: Mejne vrednosti splošnih parametrov [59]

Parameter onesnaženosti	Izražen kot	Enota	Mejne vrednosti pri odvajanju neposredno ali posredno v vode	Mejne vrednosti pri odvajanju v javno kanalizacijo
pH vrednost	/	/	6,5–9,0	6,5–9,0
Temperatura	/	°C	30	40
Neraztopljene snovi	/	mg/l	80	(a)
Usedljive snovi	/	mg/l	0,5	10 (b)
Obarvanost				
• pri 436 nm	SAK	m ⁻¹	7,0	(a)
• pri 525 nm	SAK	m ⁻¹	5,0	
• pri 620 nm	SAK	m ⁻¹	3,0	

Priloga B: Mejne vrednosti emisije snovi pri odvajanju odpadne vode iz komunalnih čistilnih naprav in malih komunalnih čistilnih naprav

Preglednica B.1: Mejne vrednosti pri sekundarnem in terciarnem čiščenju [60]

Parameter onesnaženosti	Izražen kot	Enota	Skupna obremenitev aglomeracije ali zmogljivosti čistilne naprave (a)		
			≥ 2.000 PE in < 10.000 PE	≥ 10.000 PE in < 100.000 PE	≥ 100.000 PE
Biokemijska potreba po kisiku (BPK ₅)	O ₂	mg/l	25	20	20
	Učinek čiščenja	%	90	90	90
Kemijska potreba po kisiku (KPK)	O ₂	mg/l	125	110	100
	Učinek čiščenja	%	80	80	80
Neraztopljene snovi		mg/l	35	35	35
Amonijev dušik (b)	N	mg/l	10	10	10
Celotni dušik (c)	N	mg/l	(d)	(d)	(d)

(a) Mejne vrednosti pri sekundarnem in terciarnem čiščenju glede na skupno obremenitev aglomeracije veljajo tudi za malo komunalno čistilno napravo, če se v tej mali komunalni čistilni naravi čisti komunalna odpadna voda iz aglomeracije s skupno obremenitvijo iz te preglednice.

(b) Mejna vrednost za amonijev dušik se uporablja pri temperaturi vode 12 °C in več na iztoku aeracijskega bazena.

(c) Celotni dušik je vsota dušika po Kjeldahlu (Norganski + N-NH₄), nitratnega dušika (N-NO₃) in nitritnega dušika (N-NO₂).

(d) Mejna vrednost pri sekundarnem čiščenju ni določena; prve meritve in meritve obratovalnega monitoringa se izvajajo.

Preglednica B.2: Mejne vrednosti pri terciarnem čiščenju [60]

Parameter onesnaženosti	Izražen kot	Enota	Skupna obremenitev aglomeracije ali zmogljivosti čistilne naprave (a)		
			≥ 2.000 PE in < 10.000 PE	≥ 10.000 PE in < 100.000 PE	≥ 100.000 PE
Celotni fosfor	P	mg/l	2	2	1
	Učinek čiščenja	%	80	80	80
Celotni dušik (b) (c)	N	mg/l	15	15	10
	Učinek čiščenja	%	70	70	80

(a) Mejne vrednosti pri terciarnem čiščenju glede na skupno obremenitev aglomeracije veljajo tudi za malo komunalno čistilno napravo, če se v tej mali komunalni čistilni naravi čisti komunalna odpadna voda iz aglomeracije s skupno obremenitvijo iz te preglednice.

(b) Mejna vrednost za celoten dušik se uporablja pri temperaturi vode 12 °C in več na iztoku aeracijskega bazena.

(c) Celotni dušik je vsota dušika po Kjeldahlu (Norganski + N-NH₄), nitratnega dušika (N-NO₃) in nitritnega dušika (N-NO₂).

Preglednica B.3: Mejne vrednosti pri dodatni obdelavi [60]

Parameter onesnaženosti	Enota	Mejna vrednost	
		Vodotoki	Morje
Intestinalni enterokoki	cfu/100 ml	400	200
Escherichia coli	cfu/100 ml	1000	500

Priloga C: Mejne vrednosti težkih kovin določene z Uredbo o uporabi blata iz komunalnih čistilnih naprav v kmetijstvu

Preglednica C.1: Mejne vrednosti težkih kovin [12]

Parameter	Tla [mg/kg suhe snovi] 1)	Odpadno blato [mg/kg suhe snovi] 2)	Mejna vrednost letnega vnosa [kg/ha]
Kadmij in njegove spojine	1	1,5	0,015
Krom in njegove spojine	100	200	2
Baker in njegove spojine	60	300	3
Živo srebro in njegove spojine	0,8	1,5	0,015
Nikelj in njegove spojine	50	75	0,75
Svinec in njegove spojine	85	250	2,5
Cink in njegove spojine	200	1200	12

1) Mejne vrednosti veljajo za vsebnost težkih kovin v reprezentativnem vzorcu tal, določenem v tej uredbi, pri vrednostih pH od 6 do 7 v tleh.

2) Mejne vrednosti veljajo za koncentracije težkih kovin v obdelanem blatu. Izmerjene vrednosti morajo biti preračunane na 30 % vsebnosti biološko razgradljivih organskih snovi v obdelanem blatu.

Priloga D: Mejne vrednosti za kompost in digestat ter mejne vrednosti vnosa nevarnih snovi v tla

Preglednica D.1: Mejne vrednosti za kompost [13]

Parameter	Enota	1. kakovostni razred	2. kakovostni razred
Kadmij (Cd)	[mg/kg SS]	1,5	3
Celotni krom (Cr)	[mg/kg SS]	100	250
Baker (Cu)	[mg/kg SS]	100	500
Živo srebro (Hg)	[mg/kg SS]	1	3
Nikelj (Ni)	[mg/kg SS]	50	100
Svinec (Pb)	[mg/kg SS]	120	200
Cink (Zn)	[mg/kg SS]	400	1800
Policiklični aromatski ogljikovodiki (PAH ₁₆) ¹⁾	[mg/kg SS]	6	6
Poliklorirani bifenil (PCB ₇) ²⁾	[mg/kg SS]	0,2	1
Organska snov	[% mase SS]	> 15	> 15
Biološka stabilnost (AT ₄)	[mg O ₂ /g SS]	< 15	< 15
Semena in vegetativni reproduktivni deli plevela	[št./l]	≤ 2	≤ 2
Določevanje učinka izboljševalcev tal in rastnih substratov na kalitev in rast rastlin	[%]	15 % m/m ali 25 % v/v komposta: - SRM ³⁾ : ≥ 100 % od kontrolnega substrata, - kaljivost: ≥ 95 %, - zamik kaljivosti: 0 dni; 30 % m/m ali 50 % v/v komposta: - SRM: ≥ 90 % od kontrolnega substrata, - kaljivost: ≥ 90 % - zamik kaljivosti: 0 dni	/
Trdni delci iz stekla, plastike ali kovine, večji od 2 mm	[% mase SS]	< 0,5	< 2
Mineralni trdni delci, večji od 5 mm	[% mase SS]	< 5	< 5
Salmonella	[odsotnost v 25 g sveže snovi]	ni najdeno: 0	ni najdeno: 0
Eschericia coli	[CFU ali MNP/1 g sveže snovi]	1000	1000

¹⁾ (PAH₁₆) je vsota parametrov: naftalen, acenaftilen, acenaften, fluoren, fenantren, antracen, fluoranten, piren, benzo[a]antracen, krizen, benzo[b]fluoranten, benzo[k]fluoranten, benzo[a]piren, indeno[1,2,3-cd]piren, dibenzo[a,h]antracen in benzo[g,h,i]perilen.

²⁾ (PCB₇) je vsota parametrov: 2,4,4'-triklorobifenil (PCB-28), 2,2',5,5'-tetraklorobifenil (PCB-52), 2,2',4,5,5'-pentraklorobifenil (PCB-101).

³⁾ SRM je kratica za svežo rastlinsko maso.

Preglednica D.2: Mejne vrednosti za digestat [13]

Parameter	Enota	1. kakovostni razred		2. kakovostni razred
		Mejne vrednosti za digestat z manj kot 20 % suhe snovi	Mejne vrednosti za digestat z več ali enako 20 % suhe snovi	Mejne vrednosti za digestat z več ali enako 20 % suhe snovi
Kadmij (Cd)	[mg/kg SS]	2,5	1,5	3
Celotni krom (Cr)	[mg/kg SS]	100	100	250
Baker (Cu)	[mg/kg SS]	200	200	500
Živo srebro (Hg)	[mg/kg SS]	1	1	3
Nikelj (Ni)	[mg/kg SS]	50	50	100
Svinec (Pb)	[mg/kg SS]	120	120	200
Cink (Zn)	[mg/kg SS]	400 ¹⁾	400	1800
Policiklični aromatski ogljikovodiki (PAH ₁₆) ²⁾	[mg/kg SS]	6	6	6
Poliklorirani bifenil (PCB ₇) ³⁾	[mg/kg SS]	0,2	0,2	1
Organska snov	[% mase SS]	> 15	> 15	> 15
Biološka stabilnost (KMK) ⁴⁾	[mg/l]	< 300	< 100	< 300
Določevanje učinka izboljševalcev tal in rastnih substratov na kalitev in rast rastlin	[%]	15 % m/m ali 25 % v/v digestata: - SRM ⁵⁾ : ≥ 100 % od kontrolnega substrata, - kaljivost: ≥ 95 % - zamik kaljivosti: 0 dni; 30 % m/m ali 50 % v/v komposta: - SRM: ≥ 90 % od kontrolnega substrata, - kaljivost: ≥ 90 % - zamik kaljivosti: 0 dni	15 % m/m ali 25 % v/v digestata: - SRM: ≥ 100 % od kontrolnega substrata, - kaljivost: ≥ 95 % - zamik kaljivosti: 0 dni; 30 % m/m ali 50 % v/v komposta: - SRM: ≥ 90 % od kontrolnega substrata, - kaljivost: ≥ 90 % - zamik kaljivosti: 0 dni	/
Trdni delci iz stekla, plastike ali kovine, večji od 2 mm	[% mase SS]	/	< 2	< 2
Mineralni trdni delci, večji od 5 mm	[% mase SS]	/	< 5	< 5
Semena in vegetativni reproduktivni deli plevela	[št./l]	≤ 2	≤ 2	≤ 2
Salmonella	[odсотnost v 25 g sveže snovi]	ni najdeno: 0	ni najdeno: 0	ni najdeno: 0

»se nadaljuje ...«

»... nadaljevanje Preglednice D.2«

Eschericia coli	[CFU ali MNP/1 g sveže snovi]	1000	1000	1000
-----------------	-------------------------------	------	------	------

¹⁾ Mejna vrednost za digestat iz biološko razgradljivih odpadkov z več kot 50-odstotnim deležem svinjske gnojevke ali perutninskega gnoja je 600 mg/kg SS.

²⁾ (PAH₁₆) je vsota parametrov: naftalen, acenaftilen, acenaften, fluoren, fenantren, antracen, fluoranten, piren, benzo[a]antracen, krizen, benzo[b]fluoranten, benzo[k]fluoranten, benzo[a]piren, indeno[1,2,3-cd]piren, dibenzo[a,h]antracen in benzo[g,h,i]perilen.

³⁾ (PCB₇) je vsota parametrov: 2,4,4'-triklorobifenil (PCB-28), 2,2',5,5'-tetraklorobifenil (PCB-52), 2,2',4,5,5'-pentaklorobifenil (PCB-101), 2,3',4,4',5-pentaklorobifenil (PCB-118), 2,2',3,4,4',5'-heksaklorobifenil (PCB-138), 2,2',4,4',5,5'-heksaklorobifenil (PCB-153) in 2,2',3,4,4',5,5'-heptaklorobifenil (PCB-180).

⁴⁾ KMK je kratica za tako imenovane kratkoverižne maščobne kisline (določamo le očetno in propionsko kislino).

⁵⁾ SRM je kratica za svežo rastlinsko maso.

Preglednica D.3: Mejne vrednosti vnosa nevarnih snovi v tla [13]

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

Priloga E: Mejne vrednosti za vsebnost nevarnih snovi v odpadkih iz biomase

Preglednica E.1: Mejne vrednosti za vsebnost nevarnih snovi v odpadkih iz biomase [15]

Onesnaževalo	Mejna vrednost za onesnaženo biomaso [mg/kg]
Arzen	2
Baker	20
Fluor	100
Kadmij	2
Klor	600
Krom	30
Pentaklorfenol	3
Svinec	30
Poliklorirani bifenil	5
Živo srebro	0,4

* Katerakoli posamezna mejna vrednost onesnaževala v onesnaženi biomasii iz zgornje preglednice je lahko presežena za največ 25 %, če so pri tem vsebnosti drugih onesnaževal za neonesnaženo ali onesnaženo biomaso v predpisanih mejnih vrednostih.

Priloga F: Poročilo o monitoringu odpadnih vod CCN Zagorje 2/12 – 2016



REGIONALNI TEHNOLOŠKI CENTER ZASAVJE d.o.o.

Naselje Aleša Kaple 9a, 1430 Hrastnik, Tel: +386 (0)3 56 42 750, Fax: 386 (0)3 56 42 754, info@rtcz.si, www.rtcz.si



3d-prototip.si

info@3d-prototip.si



kemlab.si

info@kemlab.si

JP Komunala Zagorje d.o.o.

ga. Blanka Povše, dipl.ing.kem.tehn.

Cesta zmage 57

1410 Zagorje ob Savi

naš znak: 5000-143/16

datum: 26.02.2016

Zadeva: **Poročilo o monitoringu odpadnih vod CCN Zagorje 2/12 - 2016**

V prilogi vam pošiljamo rezultate analiz za odpadno vodo v okviru monitoringa odpadnih vod. 24-urno reprezentativno vzorčenje je bilo izvedeno v dneh od 01.02.-02.02.2016.

Lep pozdrav!

Poročilo odobril:
vodja laboratorija
Uroš Drobnič, mag.manag.šp.,
dipl.ing.met.tehn.

Priloge:

- izračun učinka čiščenja
- odpadna voda V-41/16 - vtok na ČN
 - Poročilo o analizi (2 lista)
 - Poročilo o terenskih meritvah (5 listov)
 - Poročilo o vzorčenju odpadne vode (1 list)
- odpadna voda V-42/16 - iztok iz ČN
 - Poročilo o vrednotenju rezultatov (1 list)
 - Poročilo o analizi (2 lista)
 - Poročilo o terenskih meritvah (5 listov)
 - Poročilo o vzorčenju odpadne vode (1 list)



Poročilo o analizi odpadne vode: CČN Zagorje

Stran 1 od 1

Izračun učinka čiščenja – JP Komunala Zagorje - CČN Zagorje

Poročilo št. 5000-143/16
Datum: 26.02.2016

Za izračun učinka čiščenja je bila uporabljena naslednja enačba:

$$\eta = (C_v - C_i) / C_v \times 100$$

kjer je:

η učinek čiščenja, izražen v %

C_v koncentracija snovi v vstopni odpadni vodi, v mg/l

C_i koncentracija snovi v izstopni odpadni vodi, v mg/l

Parameter	Vtok na ČN (mg/l)	Iztok iz ČN (mg/l)	Učinek čiščenja (%)
KPK	390	19,7	94,9
BPK ₅	63	3,8	94,0
Celotni fosfor	5,25	0,39	92,6
Amonijev dušik	30,4	9,57	68,5
Celotni vezani dušik	39,1	9,37	76,0

Rezultate ovrednotil:
Uroš Drobnič, mag.manag.šp.,
dipl.ing.met.tehn.



Pregledala:
Anica Murn, univ.dipl.kem.



Regionalni tehnološki center Zasavje d.o.o.
Sedež: Naselje Aleša Kaple 9a, 1430 HRASTNIK,
tel.: 03 56 42 750, fax: 03 56 42 754, splet: www.rtcz.si
Kemijsko-tehnološki laboratorij
Sedež: Nasipi 48, 1420 TRBOVLJE
tel.: 03 56-29-546, 03 56-29-561, e-pošta: ktl@rtcz.si



POROČILO O ANALIZI

SPLOŠNI PODATKI:

Naloga:	Monitoring odpadne vode
Naročnik:	JP Komunala Zagorje d.o.o.
Poročilo št.	5000-143/16
Datum:	26.02.2016

PODATKI O VZORCU:

Oznaka vzorca:	CČN Zagorje – vtok	Datum vzorčenja:	01.02.2016/ 02.02.2016
Lab. oznaka vzorca:	V-41/16	Datum prejema vzorca:	02.02.2016
Vzorčil:	RTCZ –Marin	Datum začetka analize:	02.02.2016
Matriks:	odpadna voda	Datum konca analize:	15.02.2016

REZULTATI ANALIZ:

Parameter	Enota	Izražen kot	Metoda	MEJNE VREDNOSTI	Rezultat	Začetek analize/ Konec analize
SPLOŠNI PARAMETRI						
pH ¹⁾		-	SIST ISO 10523:2010	-	8,3 (T=9,6 °C)	01.02.2016/ 02.02.2016
Temperatura ¹⁾	°C	-	SIST DIN 38404-C4:2000	-	9,6	01.02.2016/ 02.02.2016
Neraztopljene snovi ²⁾	mg/l	-	SIST ISO 11923:1998	-	130	02.02.2016/ 02.02.2016
ANORGANSKI PARAMETRI						
Celotni fosfor	mg/l	P	SIST EN ISO 6878 :2004, pogl. 8	-	5,25	15.02.2016/ 15.02.2016
Amonijev dušik	mg/l	N	SIST ISO 5664:1996	-	30,4	02.02.2016/ 02.02.2016
Celotni vezani dušik	mg/l	N	ND: 5000/160, izdaja 4 interna metoda	-	39,1	10.02.2016/ 10.02.2016
ORGANSKI PARAMETRI						
KPK ³⁾	mg/l	O ₂	SIST ISO 15705:2010, kivetni testi	-	390	# 03.02.2016/ 03.02.2016
BPK ₅	mg/l	O ₂	ISO 5815-1:2003	-	63	10.02.2016/ 15.02.2016

Opombe:

¹⁾ Podatki iz terenskih meritev. Vsi podatki o vzorčenju in rokovanju z vzorcem so navedeni na Poročilu o vzorčenju odpadne vode z isto laboratorijsko številko.

²⁾ Neraztopljene snovi:
- stekleni filtri Sartorius AG 13400-50-Q, vzorčenje končano ob 07.⁴⁵, analiza opravljena ob 08.⁰⁰ (dne 02.02.2016)

³⁾ Analiza parametra ni bila opravljena po metodi navedeni v ponudbi.

Amonijev dušik – določitev je bila izvedena v 24-ih urah.

Celotni fosfor – razklop v avtoklavu, čas razklopa 30 minut.

Vse dodatne informacije o analizi so dostopne v laboratoriju.
Rezultati se nanašajo izključno na analizirani vzorec.
Poročila se ne sme reproducirati, razen v celoti.

Stran 1 od 2

KPK – za določitev smo uporabili konzerviran vzorec (pH < 2), razklop pri 170 °C (15 min)

BPK₅ – za določitev smo uporabili zamrznjen (T pod -18°C) in homogeniziran vzorec; dodana je bila raztopina alitiouree za preprečitev nitrifikacije.

Analizo opravili:

Marjana Uranič, prof.kem.

Jana Pajk Vrtovšek, ing.kem.tehn.

Poročilo izdelal:

Uroš Drobnič, mag.manag.šp.,
dipl.ing.met.tehn.



Pregledala:

Anica Murn, univ.dipl.kem.



Regionalni tehnološki center Zasavje d.o.o.
Sedež: Naselje Aleša Kaple 9a, 1430 HRASTNIK,
tel.: 03 56 42 750, fax: 03 56 42 754, splet: www.rtcz.si
Kemijsko-tehnološki laboratorij
Sedež: Nasipi 48, 1420 TRBOVLJE
tel.: 03 56-29-546, 03 56-29-561, e-pošta: ktl@rtcz.si



POROČILO O TERENSKIH MERITVAH

Lokacija:	ČN Zagorje
Ime izpusta:	Vtok na ČN
Mesto vzorčenja:	Začetni bazen po mehanskem čiščenju
Gauss-Krüger koordinate:	X=-; Y=-
Številka/število vzorčenj v letu:	2-12/16
Lab. oznaka vzorca:	V-41/16
Številka poročila:	5000-143/16 z dne 26.02.2016

Parameter	Metoda	Oprema	Presledki med mer.
Pretok	-	Sonda upravljalca	-
Temperatura (T)	SIST DIN 38404-C4:2000	ISCO 701, temp.modul	2 min
pH	SIST ISO 10523:2010	ISCO 701, pH modul	2 min
Raztopljeni kisik (RK)	SIST EN ISO 5814:2013	Hach HQ 40	-

	Datum	Ura
Začetek meritev:	01.02.2016	07:45
Konec meritev:	02.02.2016	07:45

Rezultati meritev:	Število meritev:	Povprečna vrednost:	Najnižja izmerjena vrednost:	Najvišja izmerjena vrednost:	#
Pretok (l/sek)	-	-	-	-	
Temperatura (°C)	720	9,6	9,1	10,2	
pH	720	8,3	8,1	8,8	
Raztopljeni kisik (mg O ₂ /l)	6	6,61(59,9%)	6,61(9,6°C)	6,61(9,6°C)	

Opombe:-

Priloga: - Kom.ZG – ČN ZG - vtok 2/12-2016; meritve pH (grafični in tabelarni prikaz) (2 lista),
- Kom.ZG – ČN ZG- vtok 2/12-2016; meritve temperature (grafični in tabelarni prikaz) (2 lista).

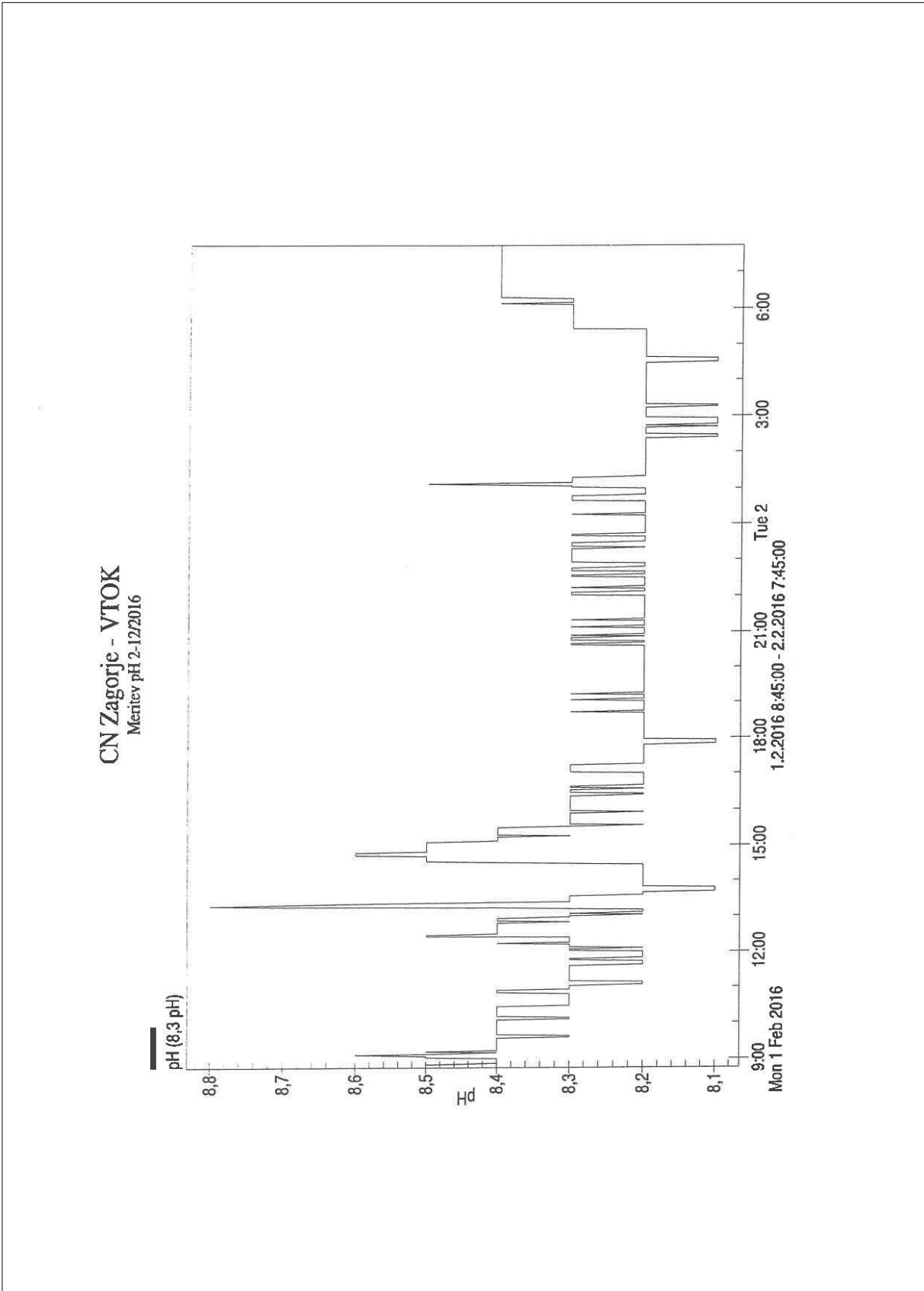
Meritve opravila:
Darja Marin, rud.tehn.
Poročilo izdelal:
Uroš Drobnič, mag.manag.šp.,
dipl.ing.met.tehn.



Pregledala:
Anica Murn, univ.dipl.kem.

Datum: 02.02.2016

Vse dodatne informacije o analizi so dostopne v laboratoriju.
Rezultati se nanašajo izključno na analizirani vzorec.
Poročila se ne sme reproducirati, razen v celoti.

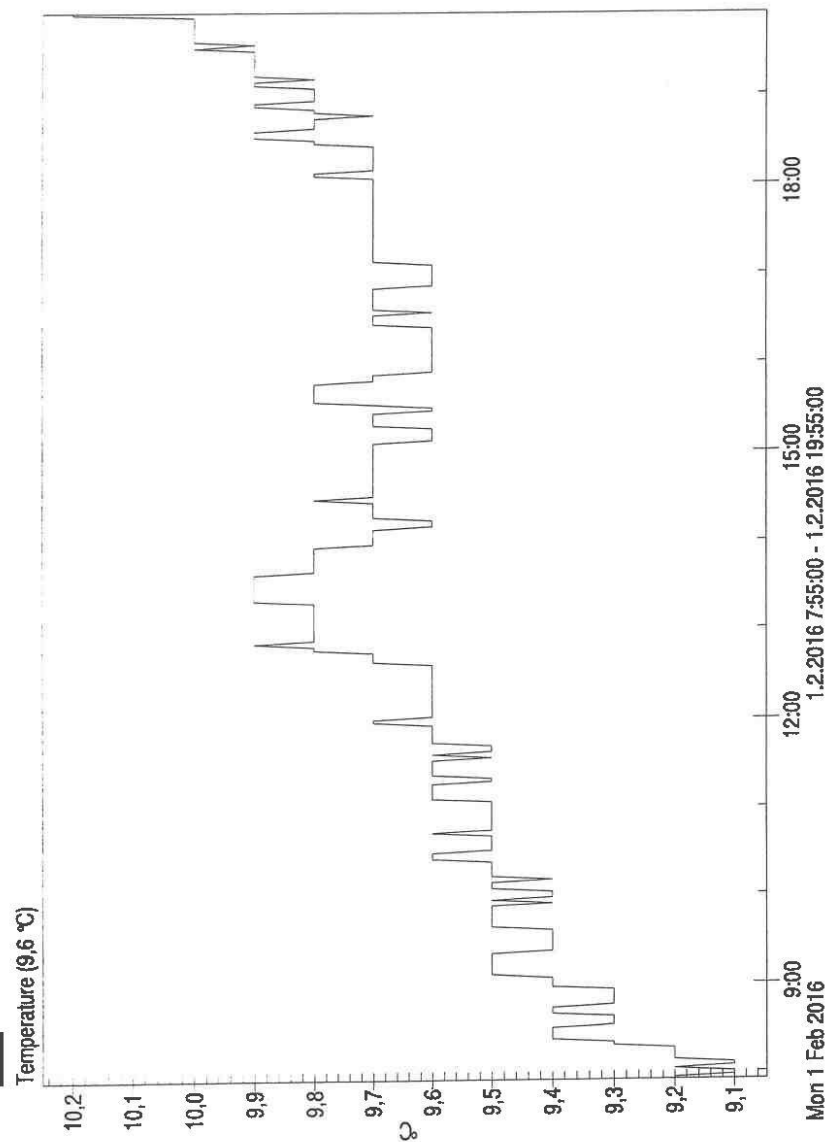


CN Zagorje - VTOK

Meritev pH 2-12/2016

Date/Time	Average pH (pH)	Minimum pH (pH)	Maximum pH (pH)
1.2.2016 9:45:00	8,4	8,3	8,6
1.2.2016 10:45:00	8,4	8,3	8,4
1.2.2016 11:45:00	8,3	8,2	8,4
1.2.2016 12:45:00	8,3	8,2	8,5
1.2.2016 13:45:00	8,3	8,1	8,8
1.2.2016 14:45:00	8,3	8,1	8,6
1.2.2016 15:45:00	8,4	8,2	8,6
1.2.2016 16:45:00	8,3	8,2	8,3
1.2.2016 17:45:00	8,2	8,2	8,3
1.2.2016 18:45:00	8,2	8,1	8,3
1.2.2016 19:45:00	8,2	8,2	8,3
1.2.2016 20:45:00	8,2	8,2	8,3
1.2.2016 21:45:00	8,2	8,2	8,3
1.2.2016 22:45:00	8,2	8,2	8,3
1.2.2016 23:45:00	8,3	8,2	8,3
2.2.2016 0:45:00	8,2	8,2	8,3
2.2.2016 1:45:00	8,2	8,2	8,5
2.2.2016 2:45:00	8,2	8,1	8,2
2.2.2016 3:45:00	8,2	8,1	8,2
2.2.2016 4:45:00	8,2	8,1	8,2
2.2.2016 5:45:00	8,2	8,2	8,3
2.2.2016 6:45:00	8,4	8,3	8,4
2.2.2016 7:44:00	8,4	8,4	8,4
<hr/>			
Average pH (pH)	8,3	Minimum pH (pH) 8,1	Maximum pH (pH) 8,8

CN Zagorje - VTOK
Meritev temperature 2-12/2016



CN Zagorje - VTOK

Meritev temperature 2-12/2016

Date/Time	Average Temperature (°C)	Minimum Temperature (°C)	Maximum Temperature (°C)
1.2.2016 8:25:00	9,2	9,1	9,4
1.2.2016 8:55:00	9,3	9,3	9,4
1.2.2016 9:25:00	9,4	9,3	9,5
1.2.2016 9:55:00	9,5	9,4	9,5
1.2.2016 10:25:00	9,5	9,4	9,6
1.2.2016 10:55:00	9,5	9,5	9,6
1.2.2016 11:25:00	9,6	9,5	9,6
1.2.2016 11:55:00	9,6	9,5	9,6
1.2.2016 12:25:00	9,6	9,6	9,7
1.2.2016 12:55:00	9,7	9,6	9,9
1.2.2016 13:25:00	9,8	9,8	9,9
1.2.2016 13:55:00	9,8	9,8	9,9
1.2.2016 14:25:00	9,7	9,6	9,8
1.2.2016 14:55:00	9,7	9,7	9,8
1.2.2016 15:25:00	9,7	9,6	9,7
1.2.2016 15:55:00	9,7	9,6	9,7
1.2.2016 16:25:00	9,6	9,6	9,8
1.2.2016 16:55:00	9,7	9,6	9,7
1.2.2016 17:25:00	9,7	9,6	9,7
1.2.2016 17:55:00	9,7	9,7	9,7
1.2.2016 18:25:00	9,8	9,7	9,8
1.2.2016 18:55:00	9,8	9,7	9,9
1.2.2016 19:25:00	9,9	9,8	9,9
1.2.2016 19:54:00	10,0	9,9	10,2
Average Temperature (°C)	9,6	Minimum Temperature (°C)	9,1
		Maximum Temperature (°C)	10,2



Regionalni tehnološki center Zasavje d.o.o.
Sedež: Naselje Aleša Kaple 9 A, 1430 HRASTNIK,
tel.: 03 56 42 750, fax: 03 56 42 754, splet: www.rtcz.si
Kemijsko-tehnološki laboratorij
Sedež: Nasipi 48, 1420 TRBOVLJE
tel.: 03 56-29-546, 03 56-29-561, e-pošta: ktl@rtcz.si



Rezultati označeni
z # se nanašajo
na neakreditirano
dejavnost

POROČILO O VZORČENJU ODPADNE VODE

Lokacija:	ČN Zagorje
Ime izpusta:	Vtok na ČN
Mesto vzorčenja:	Začetni bazen po mehanskem čiščenju
Gauss-Krüger koordinate:	X=-; Y=-
Številka/število vzorčenj v letu:	2-12/16
Lab.oznaka vzorca:	V-41/16
Številka poročila:	5000-143/16, z dne 26.02.2016

	Datum	Ura
Začetek vzorčenja:	01.02.2016	07:45
Konec vzorčenja:	02.02.2016	07:45

Vremenske razmere:	Temp. (°C)	Rel. vlaga (%)	Zračni tlak (hPa)	nebo	
Začetek vzorčenja:	10,0	78,4	1003	/	#
Konec vzorčenja:	11,3	76,9	1002	/	#

Metoda vzorčenja (SIST ISO 5667-10:1996):	Avtomatsko
Uporabljena oprema:	ISCO 6712 , št. 84
Vrsta vzorca:	Časovno-sorazmerni vzorec
Presledki ali pretok med vzorci	15 min
Prostornina odvzetega vzorca (ml):	100
Celotna količina vzorca (ml):	9700
Celotna kol. pretečene vode v času vzorčenja (m ³):	-

Metoda konzerviranja (SIST EN ISO 5667-3:2013):	DA
Odvzem trenutnega vzorca za posebne določitve:	NE
Steklena posoda:	-
Plastična posoda:	-
Kontrola delovanja opreme:	DA

Opomba:-

Datum: 02.02.2016

Meritve opravila:

Darja Marin, rud.tehn.

Poročilo izdelal:

Uroš Drobnič, mag.manag.šp.,
dipl.ing.met.tehn.

Pregledala:

Anica Murn, univ.dipl.kem.

Vse dodatne informacije o analizi so dostopne v laboratoriju.
Rezultati se nanašajo izključno na analizirani vzorec.
Poročila se ne sme reproducirati, razen v celoti.

Poročilo o analizi odpadne vode: CČN Zagorje

Stran 1 od 1

POROČILO O VREDNOTENJU

Poročilo št. 5000-143/16
Datum: 26.02.2016

V-42/16: JP Komunala Zagorje - CČN Zagorje - iztok iz čistilne naprave 2/12 -2016

Vrednotenje emisije po 10. členu Uredbe o emisiji snovi in toplote pri odvajanju odpadnih vod v vode in javno kanalizacijo (Uradni list RS, št. 64/2012, 64/2014 in 98/2015):

- izmerjene temperature ne presegajo mejne vrednosti za izpust v vode
- izmerjene pH vrednosti ne presegajo mejne vrednosti za izpust v vode

Ugotavljanje čezmerne obremenitve po 11. členu Uredbe o emisiji snovi in toplote pri odvajanju odpadnih vod v vode in javno kanalizacijo (Uradni list RS, št. 64/2012, 64/2014 in 98/2015):

- nobeden parameter ne presega mejne vrednosti za več kot 50 %

Kriterij za oceno kakovosti: odpadna voda odteka v vode

Če ocenjujemo rezultate analiz po kriterijih, ki veljajo pri odtekanju v vode, lahko ugotovimo naslednje:

Splošni parametri:	Vsi izmerjeni parametri so v dopustnih mejah.
Kemijske analize:	
- anorganski parametri	Vsi izmerjeni parametri so v dopustnih mejah.
- organski parametri	Vsi izmerjeni parametri so v dopustnih mejah.

Na osnovi rezultatov analiz ocenjujemo, da odpadna voda **USTREZA** kriterijem za izpust v vode.

Rezultate ovrednotil:
Uroš Drobnič, mag.manag.šp.,
dipl.ing.met.tehn.



Pregledala:
Anica Murn, univ.dipl.kem.



Regionalni tehnološki center Zasavje d.o.o.
Sedež: Naselje Aleša Kaple 9a, 1430 HRASTNIK,
tel.: 03 56 42 750, fax: 03 56 42 754, spleť: www.rtcz.si
Kemijsko-tehnološki laboratorij
Sedež: Nasipi 48, 1420 TRBOVLJE
tel.: 03 56-29-546, 03 56-29-561, e-pošta: ktl@rtcz.si



Rezultati označeni
z # se nanašajo
na neakreditirano
dejavnost

POROČILO O ANALIZI

SPLOŠNI PODATKI:

Naloga:	Monitoring odpadne vode
Naročnik:	JP Komunala Zagorje d.o.o.
Poročilo št.	5000-143/16
Datum:	26.02.2016

PODATKI O VZORCU:

Oznaka vzorca:	CCN Zagorje – iztok	Datum vzorčenja:	01.02.2016/ 02.02.2016
Lab. oznaka vzorca:	V-42/16	Datum prejema vzorca:	02.02.2016
Vzorčil:	RTCZ – Marin	Datum začetka analize:	02.02.2016
Matriks:	odpadna voda	Datum konca analize:	26.02.2016

REZULTATI ANALIZ:

Parameter	Enota	Izražen kot	Metoda	MEJNE VREDNOSTI	Rezultat	Začetek analize/ Konec analize
SPLOŠNI PARAMETRI						
Pretok ¹⁾	l/s		Števec upravljalca	-	18,2	# 01.02.2016/ 02.02.2016
pH ¹⁾		-	SIST ISO 10523:2010	6,5-9	7,2 (T=9,5 °C)	01.02.2016/ 02.02.2016
Temperatura ¹⁾	°C	-	SIST DIN 38404-C4:2000	30	9,5	01.02.2016/ 02.02.2016
Neraztopljen snovi ²⁾	mg/l	-	SIST ISO 11923:1998	35	9	02.02.2016/ 02.02.2016
ANORGANSKI PARAMETRI						
Celotni fosfor	mg/l	P	SIST EN ISO 6878 :2004, pogl. 8	2	0,39	15.02.2016/ 15.02.2016
Amonijev dušik ³⁾	mg/l	N	SIST ISO 5664:1996	10	9,57	02.02.2016/ 02.02.2016
Celotni vezani dušik ³⁾	mg/l	N	ND: 5000/160, izdaja 4 interna metoda	15	9,37	26.02.2016/ 26.02.2016
ORGANSKI PARAMETRI						
KPK ⁴⁾	mg/l	O ₂	SIST ISO 15705:2010, kivetni test	110	19,7	# 03.02.2016/ 03.02.2016
BPK ₅	mg/l	O ₂	ISO 5815-2:2003	20	3,8	10.02.2016/ 15.02.2016

Mejne vrednosti so določene z določili Uredbe o odvajanju in čiščenju odpadne vode, Ur.l. RS št. 98/2015 in Uredbe o emisiji snovi in toplote pri odvajanju odpadnih vod v vode in javno kanalizacijo, Ur.l. RS št. 64/2012, 64/2014 in 98/2015.

Opombe:

¹⁾ Podatki iz terenskih meritev. Vsi podatki o vzorčenju in rokovanju z vzorcem so navedeni na Poročilu o vzorčenju odpadne vode z isto laboratorijsko številko.

²⁾ Neraztopljen snovi:
- stekleni filtri Sartorius AG I3400-50-Q, vzorčenje končano ob 07.²⁵, analiza opravljena ob 08.⁰⁰ (dne 02.02.2016)

³⁾ Mejna vrednost za amonijev in celotni dušik se uporablja pri temperaturi OV 12°C in več na iztoku aeracijskega bazena.

⁴⁾ Analiza parametra ni bila opravljena po metodi navedeni v ponudbi.

Amonijev dušik – določitev je bila izvedena v 24-ih urah.

Vse dodatne informacije o analizi so dostopne v laboratoriju.
Rezultati se nanašajo izključno na analizirani vzorec.
Poročila se ne sme reproducirati, razen v celoti.

KPK – za določitev smo uporabili konzerviran vzorec (pH < 2), razklop pri 170 °C (15 min)

BPK₃ – za določitev smo uporabili zamrznjen (T pod -18°C) in homogeniziran vzorec; dodana je bila raztopina alitiouree za preprečitev nitrifikacije.

Analizo opravili:

Marjana Uranič, prof.kem.

Jana Pajk Vrtovšek, ing.kem.tehn.

Poročilo izdelal:

Uroš Drobnič, mag.manag.sp.,

dipl.ing.met.tehn.



Pregledala:

Anica Murn, univ.dipl.kem.



Regionalni tehnološki center Zasavje d.o.o.
Sedež: Naselje Aleša Kaple 9a, 1430 HRASTNIK,
tel.: 03 56 42 750, fax: 03 56 42 754, splet: www.rtcz.si
Kemijsko-tehnološki laboratorij
Sedež: Nasipi 48, 1420 TRBOVLJE
tel.: 03 56-29-546, 03 56-29-561, e-pošta: ktl@rtcz.si



POROČILO O TERENSKIH MERITVAH

Lokacija:	ČN Zagorje
Ime izpusta:	Iztok iz ČN
Mesto vzorčenja:	Iztok
Gauss-Krüger koordinate:	X=-; Y=-
Številka/število vzorčenj v letu:	2-12/16
Lab. oznaka vzorca:	V-42/16
Številka poročila:	5000-143/16 z dne 26.02.2016

Parameter	Metoda	Oprema	Presledki med mer.
Pretok	-	Sonda upravljalca	-
Temperatura (T)	SIST DIN 38404-C4:2000	ISCO 701, temp.modul	2 min
pH	SIST ISO 10523:2010	ISCO 701, pH modul	2 min
Raztopljeni kisik (RK)	SIST EN ISO 5814:2013	Hach HQ 40	-

	Datum	Ura
Začetek meritev:	01.02.2016	07:25
Konec meritev:	02.02.2016	07:25

Rezultati meritev:	Število meritev:	Povprečna vrednost:	Najnižja izmerjena vrednost:	Najvišja izmerjena vrednost:	#
Pretok (l/sek)	2	18,2	18,2	18,2	
Temperatura (°C)	720	9,5	8,6	10,5	
pH	720	7,2	7,0	7,3	
Raztopljeni kisik (mg O ₂ /l)	6	5,96(56,1%)	5,96(9,5°C)	5,96(9,5°C)	

Opombe:-

Priloga: - Kom.ZG – ČN ZG - iztok 2/12-2016; meritve pH (grafični in tabelarni prikaz) (2 lista),
- Kom.ZG – ČN ZG- iztok 2/12-2016; meritve temperature (grafični in tabelarni prikaz) (2 lista).

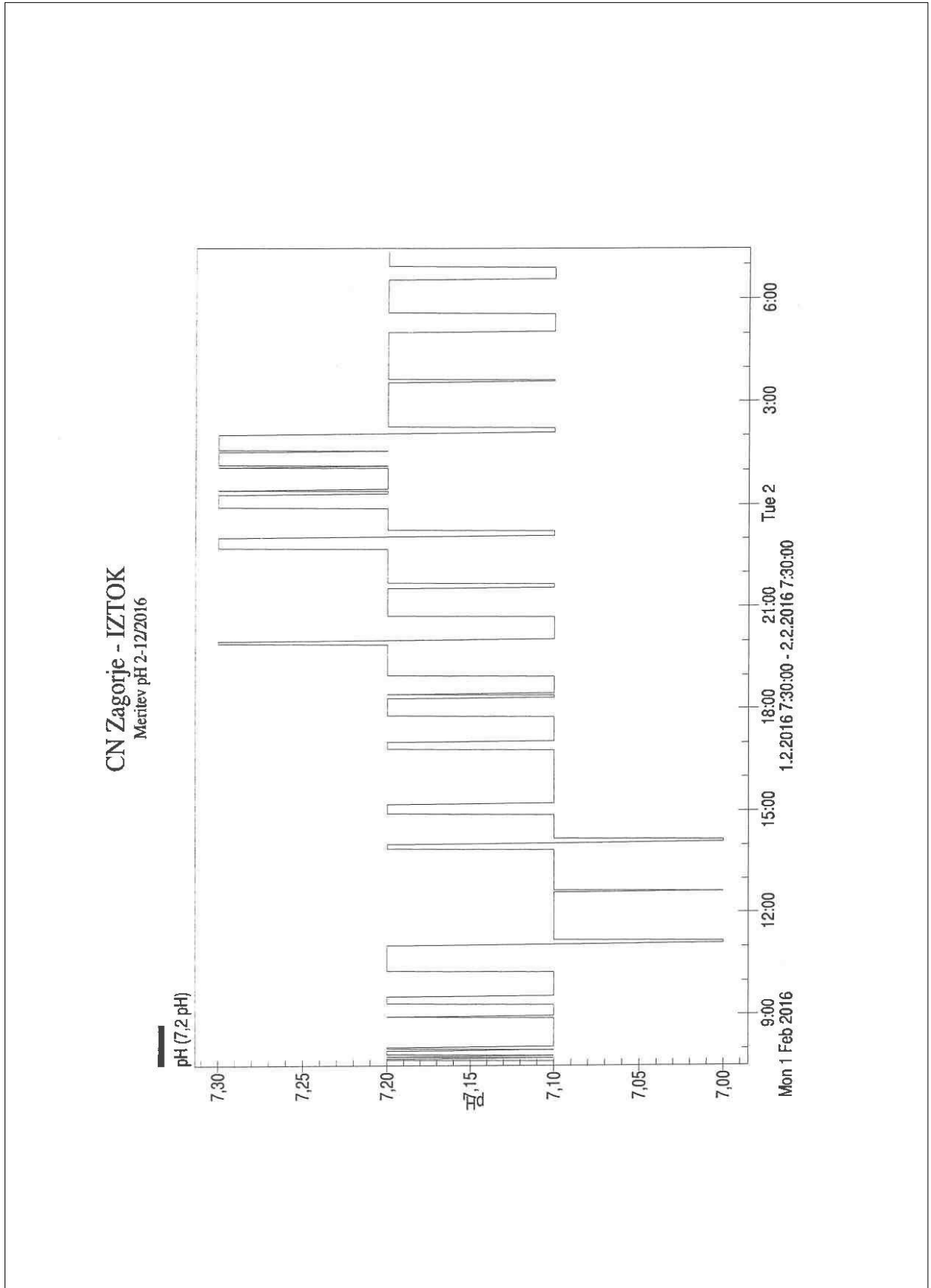
Meritve opravila:
Darja Marin, rud.tehn.
Poročilo izdelal:
Uroš Drobnič, mag.manag.sp.,
dipl.ing.met.tehn.



Pregledala:
Anica Murn, univ.dipl.kem.

Datum: 02.02.2016

Vse dodatne informacije o analizi so dostopne v laboratoriju.
Rezultati se nanašajo izključno na analizirani vzorec.
Poročila se ne sme reproducirati, razen v celoti.

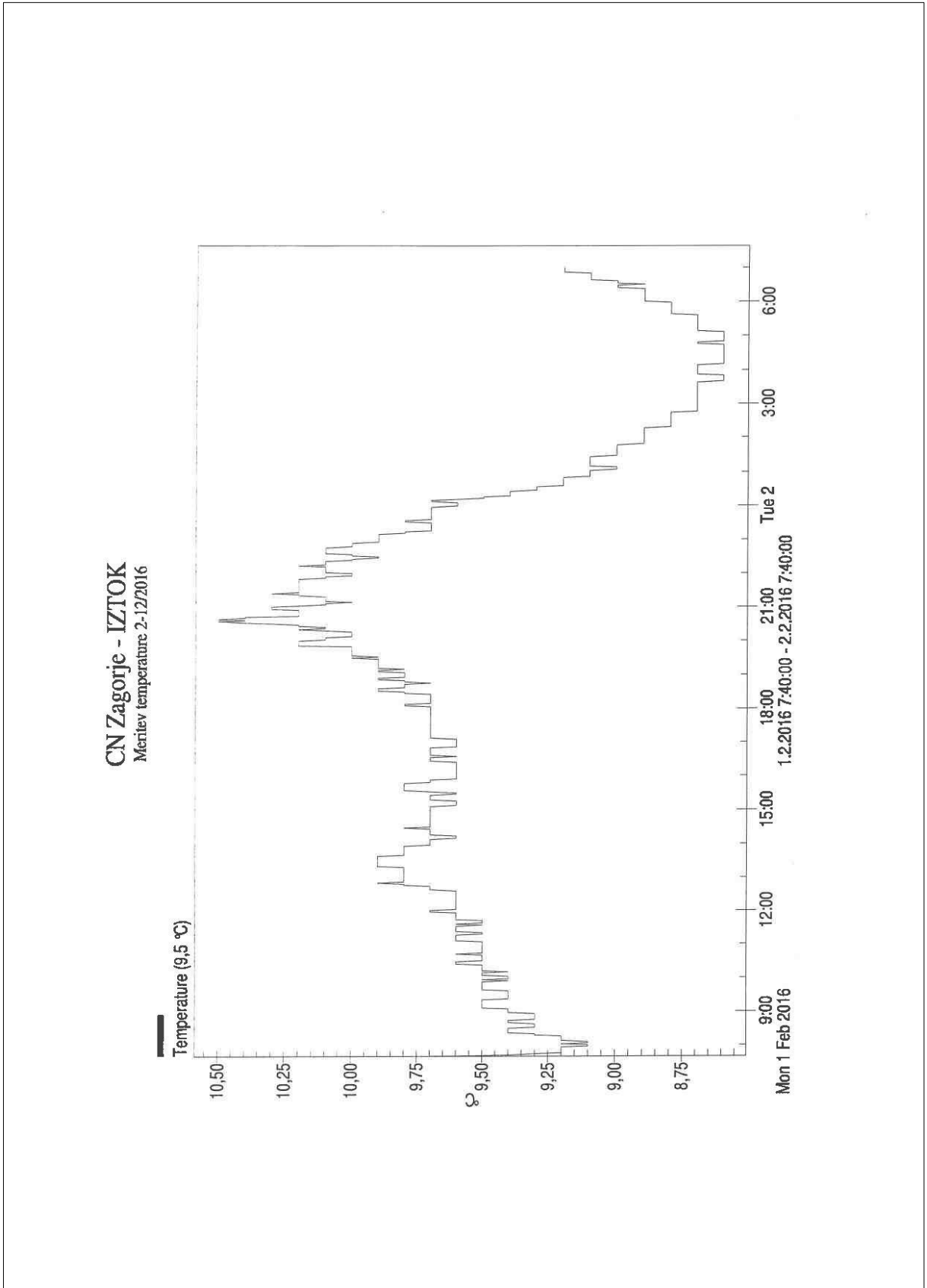


CN Zagorje - IZTOK

Meritev pH 2-12/2016

Date/Time	Average pH (pH)	Minimum pH (pH)	Maximum pH (pH)
1.2.2016 8:30:00	7,1	7,1	7,2
1.2.2016 9:30:00	7,1	7,1	7,2
1.2.2016 10:30:00	7,1	7,1	7,2
1.2.2016 11:30:00	7,1	7,0	7,2
1.2.2016 12:30:00	7,1	7,1	7,1
1.2.2016 13:30:00	7,1	7,0	7,1
1.2.2016 14:30:00	7,1	7,0	7,2
1.2.2016 15:30:00	7,1	7,1	7,2
1.2.2016 16:30:00	7,1	7,1	7,1
1.2.2016 17:30:00	7,1	7,1	7,2
1.2.2016 18:30:00	7,2	7,1	7,2
1.2.2016 19:30:00	7,2	7,1	7,2
1.2.2016 20:30:00	7,2	7,1	7,3
1.2.2016 21:30:00	7,2	7,1	7,2
1.2.2016 22:30:00	7,2	7,1	7,2
1.2.2016 23:30:00	7,2	7,1	7,3
2.2.2016 0:30:00	7,2	7,2	7,3
2.2.2016 1:30:00	7,2	7,2	7,3
2.2.2016 2:30:00	7,2	7,1	7,3
2.2.2016 3:30:00	7,2	7,2	7,2
2.2.2016 4:30:00	7,2	7,1	7,2
2.2.2016 5:30:00	7,2	7,1	7,2
2.2.2016 6:30:00	7,2	7,1	7,2
2.2.2016 7:20:00	7,2	7,1	7,2

Average pH (pH)	Minimum pH (pH)	Maximum pH (pH)
7,2	7,0	7,3



CN Zagorje - IZTOK

Meritev temperature 2-12/2016

Date/Time	Average Temperature (°C)	Minimum Temperature (°C)	Maximum Temperature (°C)
1.2.2016 8:40:00	9,3	9,1	9,4
1.2.2016 9:40:00	9,4	9,3	9,5
1.2.2016 10:40:00	9,5	9,4	9,6
1.2.2016 11:40:00	9,5	9,5	9,6
1.2.2016 12:40:00	9,6	9,5	9,7
1.2.2016 13:40:00	9,8	9,7	9,9
1.2.2016 14:40:00	9,7	9,6	9,8
1.2.2016 15:40:00	9,7	9,6	9,8
1.2.2016 16:40:00	9,7	9,6	9,8
1.2.2016 17:40:00	9,7	9,6	9,7
1.2.2016 18:40:00	9,7	9,7	9,9
1.2.2016 19:40:00	9,9	9,7	10,0
1.2.2016 20:40:00	10,2	10,0	10,5
1.2.2016 21:40:00	10,2	10,0	10,4
1.2.2016 22:40:00	10,1	9,9	10,2
1.2.2016 23:40:00	9,8	9,7	10,1
2.2.2016 0:40:00	9,5	9,2	9,7
2.2.2016 1:40:00	9,1	9,0	9,2
2.2.2016 2:40:00	8,9	8,8	9,0
2.2.2016 3:40:00	8,7	8,6	8,8
2.2.2016 4:40:00	8,6	8,6	8,7
2.2.2016 5:40:00	8,7	8,6	8,8
2.2.2016 6:40:00	8,9	8,8	9,1
2.2.2016 7:02:00	9,2	9,1	9,2

Average Temperature (°C)	Minimum Temperature (°C)	Maximum Temperature (°C)
9,5	8,6	10,5



Regionalni tehnološki center Zasavje d.o.o.
Sedež: Naselje Aleša Kaple 9 A, 1430 HRASTNIK,
tel.: 03 56 42 750, fax: 03 56 42 754, spleť: www.rtcz.si
Kemijsko-tehnološki laboratorij
Sedež: Nasipi 48, 1420 TRBOVLJE
tel.: 03 56-29-546, 03 56-29-561, e-pošta: ktl@rtcz.si



Rezultati označeni
z # se nanašajo
na neakreditirano
dejavnost

POROČILO O VZORČENJU ODPADNE VODE

Lokacija:	ČN Zagorje
Ime izpusta:	Iztok iz ČN
Mesto vzorčenja:	Iztok
Gauss-Krüger koordinate:	X=-; Y=-
Številka/število vzorčenj v letu:	2-12/16
Lab.oznaka vzorca:	V-42/16
Številka poročila:	5000-143/16, z dne 26.02.2016

	Datum	Ura
Začetek vzorčenja:	01.02.2016	07:25
Konec vzorčenja:	02.02.2016	07:25

Vremenske razmere:	Temp. (°C)	Rel. vlaga (%)	Zračni tlak (hPa)	nebo	
Začetek vzorčenja:	10,3	75,4	1002	Oblačno	#
Konec vzorčenja:	11,4	74,3	1001	Oblačno	#

Metoda vzorčenja (SIST ISO 5667-10:1996):	Avtomatsko
Uporabljena oprema:	ISCO 6712 , št. 30
Vrsta vzorca:	Časovno-sorazmerni vzorec
Presledki ali pretok med vzorci	15 min
Prostornina odvzetega vzorca (ml):	100
Celotna količina vzorca (ml):	9700
Celotna kol. pretečene vode v času vzorčenja (m ³):	1571,4 #

Metoda konzerviranja (SIST EN ISO 5667-3:2013):	DA
Odvzem trenutnega vzorca za posebne določitve:	NE
Steklena posoda:	-
Plastična posoda:	-
Kontrola delovanja opreme:	DA

Opomba:-

Datum: 02.02.2016

Meritve opravila:
Darja Marin, rud.tehn.

Poročilo izdelal:

Uroš Drobnič, mag.manag.šp.,
dipl.ing.met.tehn.

Pregledala:

Anica Murn, univ.dipl.kem.

Vse dodatne informacije o analizi so dostopne v laboratoriju.

Rezultati se nanašajo izključno na analizirani vzorec.

Poročila se ne sme reproducirati, razen v celoti.