

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:

Ivančič, P. 2013. Problemi z napihnjnim blatom na komunalnih čistilnih napravah. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Kompare, B., somentorica Krivograd Klemenčič, A.): 80 str.

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:

Ivančič, P. 2013. Problemi z napihnjnim blatom na komunalnih čistilnih napravah. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljana, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Kompare, B., co-supervisor Krivograd Klemenčič, A.): 80 pp.

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

UNIVERZITETNI ŠTUDIJ
VODARSTVA IN
KOMUNALNEGA
INŽENIRSTVA

Kandidatka:

PETRA IVANČIČ

**PROBLEMI Z NAPIHNJENIM BLATOM NA
KOMUNALNIH ČISTILNIH NAPRAVAH**

Diplomska naloga št.: 200/VKI

**PROBLEMS WITH BULKING SLUDGE IN
MUNICIPALITY WASTEWATER TREATMENT
PLANTS**

Graduation thesis No.: 200/VKI

Mentor:

prof. dr. Boris Kompare

Predsednik komisije:

doc. dr. Dušan Žagar

Somentorica:

znanst. sod. dr. Aleksandra Krivograd Klemenčič

Član komisije:

prof. dr. Franc Steinman
izr. prof. dr. Jože Panjan

Ljubljana, 27. 05. 2013

STRAN ZA POPRAVKE (ERRATA)

Stran z napako	Vrstica z napako	Namesto	Naj bo

IZJAVE

Podpisana **PETRA IVANČIČ** izjavljam, da sem avtorica diplomske naloge z naslovom
»**PROBLEMI Z NAPIHNJENIM BLATOM NA KOMUNALNIH ČISTILNIH NAPRAVAH**«.

Izjavljam, da je elektronska različica v vsem enaka tiskani različici.

Izjavljam, da dovoljujem objavo elektronske različice v repozitorju UL FGG.

Koper, 13.5.2013

Petra Ivančič

IZJAVA O PREGLEDU DIPLOMSKE NALOGE

Diplomsko nalogo so pregledali naslednji profesorji:

BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK:	628.336(043.2)
Avtor:	Petra Ivančič
Mentor:	prof. dr. Boris Kompare
Somentorica:	znanst.sod. dr. Aleksandra Krivograd Klemenčič
Naslov:	Problemi z napihnjnim blatom na komunalnih čistilnih napravah
Tip dokumenta:	Diplomska naloga – univerzitetni študij
Obseg in oprema:	80 str., 4 pregl., 38 sl., 1 graf., 5 pril.
Ključne besede:	aktivno blato, usedanje, kosmičenje, napihnjeno blato, nitaste bakterije, nespecifične metode, kloriranje, mikroskopski pregled

Izvleček

Proces čiščenja z aktivnim blatom je najpogosteje uporabljena tehnika čiščenja odpadne vode. V tem procesu je zelo pomembno, da se mikroorganizmi med prezračevanjem odpadne vode združujejo v kosme, ki se tudi hitreje usedajo na dno usedalnih bazenov. Pravilen proces kosmičenja vpliva tako na kvaliteto aktivnega blata, kot tudi na iztok čiščene vode. Napihnjeno blato ima slabe lastnosti usedanja, saj je zelo lahko, voluminozno in se ne useda pravilno. Ta pojav je običajno povezan s prekomerno količino nitastih mikroorganizmov v aktivnem blatu, ki se širijo tudi na površini kosmov in ovirajo njihovo usedanje. Napihnjeno blato je resen problem na številnih komunalnih čistilnih napravah. Je glavni vzrok za slabo kvaliteto iztoka, saj s čiščeno vodo iz sistema uide tudi veliko plavajočega blata, ki viša vsebnost suspendiranih snovi v iztoku in bolj obremenjuje okolje. Na voljo so različni načini kontrole napihnjene blata. Rast nitastih bakterij se lahko kontrolira s specifičnimi ali pa nespecifičnimi metodami. Pri nespecifičnih metodah se prekomerno rast nitastih organizmov prepreči z vnosom kemikalije, običajno močnega oksidanta. V eksperimentalnem delu diplomske naloge smo preučili vpliv klora na aktivno blato. Naredili smo kratek laboratorijski test z natrijevim hipokloritom ter ovrednotili, ali je to dovolj učinkovit oksidant za zmanjšanje količine filamentov v aktivnem blatu. V vzorce aeracije, ki smo jih odvzeli iz bližnje Centralne čistilne naprave Piran, smo odmerili različne odmerke raztopine natrijevega hipoklorita. Vsak vzorec smo analizirali in slikali s faznim mikroskopom. Glavni cilj našega eksperimenta je bil določiti, pri kateri koncentraciji klora se izboljša sestava aktivnega blata.

BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT

UDC:	628.336(043.2)
Author:	Petra Ivančič
Supervisor:	Prof. Boris Kompare, Ph.D.
Cosupervisor:	scientific coworker dr. Aleksandra Krivograd Klemenčič
Title:	Problems with bulking sludge in municipality wastewater treatment plants
Document type:	Graduation Thesis – University studies
Scope and tools:	80 p., 4 tab., 38 fig., 1 graph., 5 ann.
Keywords:	activated sludge, settleability, flocculation, bulking sludge, filamentous bacteria, non-specific methods, chlorination, microscopic examination

Abstract:

Activated sludge process is the most widely used technique for wastewater treatment. It is based on the ability of microorganisms to form flocs when wastewater is aerated. Optimal formation of flocs is essential for sludge quality and clean water exiting the final clarifier. When sludge settles poorly it is generally described as a bulking sludge. This is a condition in which the sludge becomes very light, increases in volume, and will not settle well. The specific cause of sludge bulking is usually the overabundance of filamentous microorganisms in the activated sludge that extend from the floc and interfere with the compaction and settling of the sludge. Bulking is clearly a serious problem in many municipality wastewater treatment plants. It is the main cause of poor effluent quality, environmental damages, and in several cases sludge loss to the effluent. There are several ways of controlling bulking sludge. The growth of filamentous bacteria may be controlled by specific or non-specific methods. Non-specific methods involve the inhibition of the growth of filamentous organisms by the addition of chemicals, usually strong oxidants. In this thesis we investigated the effect of chlorine on activated sludge. In order to evaluate whether sodium hypochlorite can be used as an effective oxidant to reduce the amount of filament in activated sludge, a short term laboratory test was executed. Different dosing rates of chemical solution were added to the samples of aeration from our local wastewater treatment plant in Piran. Each sample was analysed and photographed with a phase-microscope. The main purpose of our experiment was to identify the level of chlorine concentration at which the activated sludge has a better composition.

ZAHVALA

Ob zaključku študija bi se rada zahvalila vsem, ki so mi ga pomagali uspešno dokončati.

Zahvaljujem se predvsem svojemu mentorju prof. dr. Borisu Kompare za vso pomoč, strokovne napotke in spodbudo, ki mi jo je namenil med pisanjem diplomskega dela. Posebna zahvala gre tudi univ. dipl. biol. Danijeli Kleva Švagelj, ki me je toplo sprejela na CČN Piran in veliko pripomogla pri nastanku tega dela. Zahvaljujem se tudi direktorici CČN Domžale-Kamnik, dr. Marjeti Stražar, ki mi je dovolila izvedbo eksperimentalnega dela diplome v njihovem laboratoriju ter univ. dipl. biol. Barbari Brajer Humar, ki mi je bila v veliko pomoč pri samem mikroskopiranju in laboratorijskemu delu.

Iz srca se zahvaljujem tudi vsem mojim domačim, predvsem mami in očetu, ki sta mi študij omogočila, me spodbujala in vedno verjela vame ter največ pripomogla, da sem študijsko pot uspešno prehodila.

Hvala tudi vsem sošolcem in sošolkam, predvsem Marjanu, Urši in Martinu, ki so mi med študijem vedno pomagali. Skupaj smo premagovali težave, se borili in ob tem preživeli tudi veliko lepih trenutkov, ki se jih bom vedno z veseljem spominjala.

Zahvaljujem se tudi vsem mojim dobrim prijateljem, predvsem Lukcu in Tomažu, ki sta me vedno spodbujala in razumela, če kdaj ni bilo časa za druženje in klepet. Obljubim, da bomo vse nadoknadili.

KAZALO VSEBINE

1 UVOD	1
1.1 Namen diplomske naloge	2
2 BIOLOŠKO ČIŠČENJE ODPADNIH VOD	3
2.1. Odpadna voda.....	3
2.2 Vrste biološkega čiščenja	4
2.3 Biološko čiščenje z razpršeno biomaso	5
2.3.1 Konvencionalni sistem čiščenja z aktivnim blatom	5
2.3.2 Zaporedni šaržni reaktor (SBR)	6
2.4 Mikroorganizmi v aktivnem blatu.....	7
2.4.1 Vloga bakterij v aktivnem blatu	9
3 USE DANJE AKTIVNEGA BLATA	11
3.1 Proces kosmičenja.....	11
3.1.1 Vloga nitastih mikroorganizmov v procesu kosmičenja	13
3.2 Problematika usedanja aktivnega blata	14
3.2.1 Vrste in vzroki težav usedanja aktivnega blata	16
3.2.2 Določitev lastnosti usedanja aktivnega blata s kvantitativnimi parametri	20
3.2.2.1 Vpliv količine nitastih mikroorganizmov na kvantitativne parametre usedanja	22
3.2.3 Napihnjeno blato	22
3.2.3.1 Parametri, ki vplivajo na rast specifičnih vrst nitastih mikroorganizmov	22
4 KONTROLA NAPIHJENEGA BLATA	25
4.1 Specifične metode preprečevanja napihovanja blata.....	26
4.1.1 Diferencialno barvanje	26
4.1.1.1 Barvanje po Gramu	26
4.1.1.2 Neisser barvanje	27
4.2 Nespecifične metode preprečevanja napihovanja blata.....	28
4.2.1 Uporaba kemikalij	29
4.2.1.1 Kloriranje	29
4.2.1.1.1 Lastnosti in reaktivnost klora	30
4.2.1.1.2 Uporaba klora.....	31
4.2.1.1.3 Kriteriji za uspešno kontrolo napihnjene ga blata s kloriranjem	32
4.2.1.1.4 Dozirne koncentracije klora	35
4.2.1.2 Vodikov peroksid (H ₂ O ₂)	36

4.2.1.3 Ozon	37
4.2.1.4 Poli-aluminijev klorid (PAK)	37
4.2.2 Preventivne metode preprečevanja napihovanja blata.....	38
4.2.2.1 Selektor.....	38
4.2.3 Fizikalno-mehanski postopki.....	41
4.2.3.1 Uporaba ultrazvoka.....	41
4.2.3.2 Posnemanje plavajočih plasti napihnjnega blata.....	43
4.2.3.2.1 Corgin Scum Harvester	44
4.2.4 Alternativne rešitve za borbo pred napihnjnim blatom.....	46
4.2.4.1 Uporaba riževih otrobov	46
5 CENTRALNA ČISTILNA NAPRAVA (CČN) PIRAN	48
5.1 Kanalizacijski sistem	49
5.2 Delovanje CČN Piran	50
5.2.2 Opis postopka čiščenja	50
5.2.2.1 Primarno čiščenje	50
5.2.2.2 Biološko in terciarno čiščenje.....	51
5.2.3 Ravnanje z blatom in odpadki	53
5.2.4 Odvajanje odpadne vode iz naprave	54
5.3 Merjenje in vrednotenje pravilnega delovanja tehnologije čiščenja.....	54
5.3.1 Kontrola učinka delovanja CČN Piran	54
5.3.2 Kontrola tehnologije čiščenja	55
5.4 Težave CČN Piran	55
5.4.1 Povišana koncentracija kloridov v odpadni vodi.....	55
5.4.1.1 Rešitev čiščenja zasoljenih odpadnih vod	56
5.5 Težave z napihnjnim blatom.....	57
6 EKSPERIMENTALNI DEL	58
6.1 Cilj eksperimentalnega dela.....	58
6.2 Vzorčenje.....	59
6.3 Določitev tehnoloških parametrov.....	60
6.4 Mikroskopske metode	61
6.4.1 Opis poteka mikroskopiranja.....	61
6.5 Dobljeni rezultati	64
6.5.1 Rezultati tehnoloških parametrov	64
6.5.2 Rezultati mikroskopskega pregleda vzorcev	65

6.7 Diskusija rezultatov	70
7 ZAKLJUČEK	74
VIRI	75

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: ORP za posamezne pogoje delovanja ČN (Roš, 2005, str. 23)	5
Preglednica 2: Parametri, ki vplivajo na rast specifičnih vrst nitastih bakterij (Čarman, 2011, str.31)	23
Preglednica 3: Shematični prikaz lastnosti vzorcev	61
Preglednica 4: Rezultati tehnoloških parametrov	64

KAZALO GRAFIKONOV

Grafikon 1: Nihanje slanosti na CČN Piran v letu 2012 (Priloga A3)	56
--	----

KAZALO SLIK

Slika 1: Enostopenjska aerobna ČN z aktivnim blatom (Roš, 2005, str. 21).....	6
Slika 2: Prikaz vseh faz, ki se izvedejo v enem ciklu v SBR (Kurbus, 2008, str. 19)	7
Slika 3: Primer nematoda (levo) in kotačnika (desno) v aktivnem blatu (Čarman, 2011, str. 10)	8
Slika 4: Potek odstranjevanja dušikovih spojin s heterotrofnimi (denitrifikacijskimi) bakterijami (Kurbus, 2008, str.7).....	10
Slika 5: Model nastajanja kosmov, ki sovpada z bakterijsko rastjo (Kurbus, 2008, str. 12)	13
Slika 6: Povezovanje bakterijskih celic z ekstracelularnimi polimeri (Dan, 2001, str. 47).....	14
Slika 7: Bakterijska vrsta <i>Zoogloea</i> (levo) in viskozno napihovanje blata zaradi pomanjkanja hranil (desno) (What is going ..., 2013)	17
Slika 8: Širjenje filamentov na kosmih aktivnega blata (Dynamac Corporation, 1987, str.7)	18
Slika 9: Penjenje blata na površini bazena (levo) in uhajanje pene iz usedalnega bazena (desno) (Foaming, 2013; Wastewater Operator Training, 2010)	19
Slika 10: Mikroskopska slika aktivnega blata po Gram barvanju, 1000× povečava z imerzijo (Čarman, 2011, str.30).....	27
Slika 11: Mikroskopska slika aktivnega blata po Neisser barvanju, 1000× povečava z imerzijo (Čarman, 2011, str.30).....	28
Slika 12: Kemijska struktura klorovih kislin (Halogen, 2013).....	30
Slika 13: Shema enostopenjske ČN z anaerobnim selektorjem (Understanding ..., 2013b).....	39
Slika 14: Shema ČN z anoksičnim selektorjem (Understanding..., 2013b).....	39
Slika 15: Shematični prikaz uporabe ultrazvoka na KČN z aktivnim blatom	41
Slika 16: Odvisnost VIB od odmerka ultrazvočnega sevanja (Wusch in sod., 2002, str. 207)	43
Slika 17: Plavajoča naprava Corgin Scum Harvester (levo) in odstranjevanje vode na vrtečem pasu (desno) (Corgin Scum Harvester, 2013).....	44
Slika 18: Sestavni deli naprave Corgin Scum Harvester (Beneficial ..., 2009, str. 5)	45
Slika 19: Spreminjanje KPK (zgoraj) in BPK (spodaj) v iztoku čiščene vode brez riževih otrobov in z riževimi otrobi (Adachi in sod., 2005, str. 553).....	46
Slika 20: Mikroskopska slika aktivnega blata pred (levo) in po (desno) vnosu riževih otrobov (Adachi in sod., 2005, str. 554)	47
Slika 21: Zgornji (levo) in spodnji (desno) plato CČN Piran (Vodopivec, 2009).....	49
Slika 22: Dvignjen dekanter med fazo polnjenja in prezračevanja SBR.....	53
Slika 23: Mesto vgraditve cevne UV naprave za dezinfekcijo vode (levo) in cevni induktivni merilnik pretoka (desno)	54
Slika 24: Napihnjeno blato na površini SBR bazenov CČN Piran.....	57
Slika 25: Prikaz vzorčenja aeracije.....	59
Slika 26: Prezračevanje vzorcev z akvarijskimi črpalkami	62

Slika 27: Penjenje vzorca F med prezračevanjem.....	63
Slika 28: Priprava vzorcev na mikroskopiranje	63
Slika 29: Mikroskop Nikon Eclipse 80i	64
Slika 30: Slika plavajočih plasti napihnjnega blata v SBR 4 (levo) ter slaba usedljivosti blata v merilnem valju (desno).....	65
Slika 31: Mikroskopska slika kontrolnega vzorca A (100× povečava, fazni kontrast).....	66
Slika 32: Mikroskopska slika vzorca B pri 200× povečavi, fazni kontrast (levo) in pri 400× povečavi, fazni kontrast (desno).....	66
Slika 33: Manjše poškodbe celic prosto plavajočih filamentov (1000× povečava, imerzija)	67
Slika 34: Mikroskopska slika vzorca C pri 100× povečavi, fazni kontrast (levo) in pri 200× povečavi, fazni kontrast (desno).....	67
Slika 35: Poškodbe celic prosto plavajočih filamentov (1000× povečava, imerzija).....	68
Slika 36: Zažetki na prosto plavajočih filamentih pri 400× povečavi, fazni kontrast (levo) in prelom filamenta pri 1000× povečavi z imerzijo (desno).....	68
Slika 37: Lomljenje filamentov pri 100× povečavi, fazni kontrast (levo) in poškodbe celic filamentov pri 1000× povečavi z imerzijo (desno).....	69
Slika 38: Na več delih poškodovani prosto plavajoči filament (1000× povečava, imerzija).....	70

OKRAJŠAVE IN SIMBOLI

BČN	biološka čistilna naprava
BPK	biokemijska potreba po kisiku
C	koncentracija klora na dozirnem mestu
Ca(OCl) ₂	kalcijev hipoklorit
CČN	centralna čistilna naprava
CO ₂	ogljikov dioksid
ČN	čistilna naprava
EPS	ekstracelularni polimeri
F	pogostost kloriranja
H ₂ S	vodikov sulfid
ISS	anorganske trdne snovi
KČN	komunalna čistilna naprava
KPK	kemijska potreba po kisiku
M	masa klora, ki jo vnesemo v reaktor v 1 dnevu
MČN	mala čistilna naprava
M _d	masa klora na dozirnem mestu
MLSS	masa suspendiranih snovi v mešanici odpadne vode
N	dušik
NaOCl (aq)	raztopina natrijevega hipoklorita
NH ₃	amonijak
NH ₄ ⁺	amonijev ion
NO ₂ ⁻	nitritni ion
NO ₃ ⁻	nitratni ion
ORP	oksidacijsko-redukcijski potencial
P	fosfor
PAK	poli-aluminijev klorid
PE	populacijska enota
RK	raztopljeni kisik
SBR	zaporedni šaržni reaktor
SS	suspendirane snovi
T	lokalni odmerek mase
T _m	skupni odmerek mase
TSS	celotne suspendirane snovi
VIB	volumski indeks blata

V_d	volumen vode na dozirnem mestu [l]
V_r	volumen reaktorja [m^3]
VSS	organske suspendirane snovi
VU	volumen usedenega blata
X	koncentracija aktivnega blata
Θ_x	starost blata

prazna stran

1 UVOD

Poraba vode se zaradi naraščajočega števila prebivalcev povečuje, zato je tudi količina odpadne vode, ki na komunalne čistilne naprave priteka, vedno večja. V današnji razviti družbi, v kateri je tudi potreba po vodi vedno večja, se krepi zavedanje pomena čiščenja odpadnih vod in varovanja vodnih virov. Vendar nastanka odpadnih vod ne moremo preprečiti, lahko ga samo omejimo. Zato današnja družba potrebuje kakovostno in učinkovito delovanje čistilnih naprav, da se zmanjša količina preostalih nečistoč v čiščeni vodi in omeji onesnaženje, ki ga le-te povzročajo v okolju.

Odpadne vode najbolj splošno delimo po nastanku in sicer na tiste, ki nastajajo v urbanih naseljih (komunalne odpadne vode), ob deževju (padavinske odpadne vode), v kmetijstvu (npr. farmske odpadne vode) ali v posameznih industrijskih postopkih (industrijske odpadne vode, hladilne vode) (Roš, 2011). Na komunalno čistilno napravo (KČN) večinoma pritekajo komunalne in padavinske odpadne vode, ki pa so lahko včasih pomešane tudi z industrijskimi odpadnimi vodami, če so na prispevnem območju KČN prisotni industrijski obrati. Vendar delež obremenitve KČN, ki jo povzroča industrijska odpadna voda, ne sme presegati 50 %, merjeno s kemijsko potrebo po kisiku (KPK) (Naprave, 2013).

Za čiščenje odpadnih vod je danes na voljo veliko različnih postopkov. Postopki čiščenja slonijo na fizikalnih, kemijskih in biotskih procesih, ki se lahko uporabljajo posamično ali skupaj, odvisno od vrste in količine odpadne vode ter njene obremenitve. Pred izbiro ustreznega postopka čiščenja, je potrebno dobro poznati sestavo odpadne vode. Glede na tip odpadne vode, se določi vrsta postopka, s katerim se iz nje odstrani okolju škodljive snovi. Potrebno je torej poznati izvor odpadne vode in tehnologijo, kjer je nastala ter šele nato izbrati ustrezen postopek čiščenja.

Na KČN priteka odpadna voda, ki je sestavljena iz organskih in anorganskih snovi. Velik del onesnaženja predstavljajo dušikove (N) in fosforjeve (P) soli. Za čiščenje biotsko razgradljivih ali delno biotsko razgradljivih odpadnih vod so biološki postopki najboljša ekološka rešitev. Ti postopki delujejo po osnovnih zakonitostih kroženja snovi v naravi ter pretoku energije v vodnem okolju, le da so v tehničnih postopkih močno intenzivirani in kontrolirani, zato je tudi čas čiščenja bistveno krajši kot v naravi. Narava je sama poskrbela za svoje samoočiščenje, saj se vse naravno proizvedene snovi lahko razgradijo z mikrobiološko aktivnostjo. To zmožnost naravnega samočiščenja se na KČN posnema tako, da se v bazenih, kjer se zadržuje odpadna voda, vzdržuje visoka koncentracija mikroorganizmov. Z njihovo aktivnostjo se lahko iz odpadne vode odstrani velik del organskih in anorganskih snovi.

Temelj biološkega čiščenja je razgradnja organskih in anorganskih snovi (hranil) s pomočjo mikroorganizmov pri njim ustreznih razmerah. Mikroorganizmi porabljajo v vodi raztopljene snovi kot hrano za rast in razmnoževanje. Pri tem se del organskih snovi in hranil pretvori v novo celično maso. Poznamo dva načina biološkega čiščenja: s pritrjeno in z razpršeno biomaso. V diplomski nalogi sem se posvetila biološkim sistemom z razpršeno biomaso, v katerih biomasa prosto lebdi v prezračevalnem reaktorju. Mešanici odpadne vode in mikroorganizmov pravimo aktivno blato. Danes je konvencionalni sistem čiščenja z aktivnim blatom najbolj razširjena oblika čiščenja komunalnih in industrijskih odpadnih vod.

Za učinkovito čiščenje z aktivnim blatom, morata pravilno delovati dva ključna procesa: prezračevanje in usedanje. Aktivno blato mora biti v dobri kondiciji, da mikroorganizmi iz odpadne vode uspešno odstranjujejo raztopljene snovi (organske spojine in hranila), adsorbirajo koloidne in neraztopljene delce ter odstranjujejo hlapne organske komponente. Za učinkovito biološko čiščenje je potrebno, da se biomasa pravilno kosmiči in useda. Proces kosmičenja ima veliko vlogo pri usedanju aktivnega blata. V normalnih razmerah se mikroorganizmi uspešno povezujejo v kosme, ki so zbir manjših delcev, zbranih v večje, lažje usedljive delce. Pravilno formirani kosmi, ki imajo večjo gostoto od vode, se v naknadnih usedalnikih usedajo na dno ter nato s povratnim tokom blata vračajo nazaj v prezračevalni bazen, kjer ponovno sodelujejo v biološkem čiščenju. Če je proces usedanja aktivnega blata ustrezen, biomasa ne uhaja iz reaktorjev in tudi končni učinek čiščenja je višji.

KČN imajo različne težave z usedanjem aktivnega blata, ki se s časom lahko iz začetnih, manjših zapletov razvijejo v resne motnje delovanja, če se pravočasno ne ukrepa. Zato je pomembno, da smo vsi, ki se z biološkim čiščenjem odpadnih vod tako ali drugače srečujemo, dobro seznanjeni z lastnostmi usedanja aktivnega blata, dejavniki, ki vplivajo nanj ter morebitnimi težavami, ki se v tem procesu lahko pojavijo.

1.1 Namen diplomske naloge

Začetni, teoretični del diplomske naloge, je namenjen kratki predstavitvi osnov biološkega čiščenja ter vlogi mikroorganizmov v njem. V nadaljevanju je podrobneje predstavljen proces usedanja aktivnega blata ter dejavniki, ki nanj vplivajo. Opisane so vrste in vzroki težav usedanja z največjim poudarkom na napihovanju blata. Problematika napihovanja blata mi je vzbudila zanimanje na Centralni čistilni napravi (CČN) Piran, ki se tekom celega leta bori s plavajočimi plastmi napihnjenega blata na površini zaporednih šaržnih reaktorjev (SBR). Zato sem ta pojav podrobneje raziskala ter predstavila nekaj rešitev njegove uspešne kontrole. CČN Piran je podrobneje opisana v zadnjem delu diplomske naloge. Predvideva se, da je njen glavni vzrok napihovanja blata prekomerna rast nitastih bakterij. To smo natančneje preučili z mikroskopskim pregledom vzorca aeracije, ki smo ga odvzeli iz tistega SBR

bazena, ki ima najslabše lastnosti usedanja blata. Iz mikroskopske slike aktivnega blata smo določili njegovo sestavo ter ugotovili, ali je prekomerna rast nitastih bakterij dejanski vzrok napihovanja blata. Opravili smo tudi poskus z raztopino natrijevega hipoklorita (NaOCl (aq)) ter analizirali, ali se sestava aktivnega blata izboljša po dodatku klora.

2 BIOLOŠKO ČIŠČENJE ODPADNIH VOD

Sestavni del pri čiščenju odpadne vode je biološko čiščenje. Osnovni namen tega čiščenja je odstranjevanje suspendiranih snovi in razgradljivih organskih snovi ter hranil (N in P spojin). Po predčiščenju in primarnem čiščenju, torej po koncu mehanskega čiščenja, je v odpadni vodi še vedno prisotna znatna količina koloidnih in raztopljenih snovi, ki se ne izločijo v primarnih usedalnikih in jih je treba odstraniti pred izpustom. Te se odstranijo z biološkim čiščenjem, ki uporablja naravne mikroorganizme za pretvorbo topnih in koloidnih snovi v gosto mikrobno biomaso, ki se od očiščene tekočine ločuje z uporabo konvencionalnih sedimentacijskih procesov. Pri biološkem čiščenju se tako del organskih snovi in hranil pretvori v biološko blato oziroma v novo celično maso (Roš, 2001).

Temelj biološkega čiščenja odpadnih vod je razgradnja organskih in anorganskih snovi s pomočjo mikroorganizmov pri njim ustreznih razmerah. V umetnih sistemih čiščenja odpadnih vod se posnema delovanje naravnih sistemov z razliko, da je v čistilnem sistemu, upravljanem s strani človeka, višja koncentracija mikroorganizmov. Za ustrezno učinkovitost bioloških sistemov je pomembno, da delujejo pri optimalni koncentraciji in starosti biomase, obremenitvi sistema ter optimalnem razmerju ogljika in dušika na vtoku v sistem (Kurbus, 2008).

2.1. Odpadna voda

Sestava odpadnih vod je kompleksna, saj vsebujejo vrsto lahko in težko biorazgradljivih snovi ter biološko nerazgradljive snovi, ki jih je potrebno odstraniti pred izpustom prečiščene vode v okolje.

V biološki reaktor čistilne naprave (ČN) priteka odpadna voda, ki je sestavljena iz organskih in anorganskih snovi. Tako anorganske kot organske snovi v odpadni vodi vsebujejo trdne in raztopljene snovi. Pri trdnih snoveh ločimo suspendirane neusedljive in usedljive snovi. Organske snovi lahko razdelimo na biološko razgradljive in nerazgradljive oz. težje razgradljive. Anorganske trdne snovi (ISS) pa vključujejo suspendirane (neusedljive) in usedljive snovi. Anorganske topne snovi sestavljajo spojine, ki se lahko oborijo in so biološko koristne ter neoborjene in biološko nekoristne snovi (Miklavčič, 2010).

V biološkem reaktorju se vse biorazgradljive snovi lahko uporabijo v metabolizmu heterotrofnih organizmov in se akumulirajo v novo nastalo biomaso, ki postane del organskih suspendiranih snovi

(VSS). Ta biomasa odmrje in zapusti bioreaktor kot biološko nerazgradljiva trdna organska snov, ki je večinoma sestavljena iz težko razgradljivih celičnih sten in jo imenujemo endogeni preostanek. Slednji postane del biomase (VSS) v reaktorju. Težko razgradljive suspendirane in usedljive organske snovi skupaj s heterotrofnimi organizmi in preostankom endogene mase sestavljajo usedljive organske snovi, ki se akumulirajo v biološkem reaktorju. Usedljive in suspendirane anorganske snovi skupaj z oborjenimi topnimi snovmi tvorijo ISS. Biološko dostopne snovi se absorbirajo v biomaso ali pa se pretvorijo v plinasti del, ki zapusti sistem. Neoborjene in biološko nedostopne snovi pa zapustijo reaktor skupaj s prečiščeno odpadno vodo (Miklavčič, 2010).

2.2 Vrste biološkega čiščenja

Razgradnja organskih snovi poteka tako v naravi kot na KČN pri različnih oksidacijskih pogojih. Kinetika razgradnje organskih snovi in odstranjevanja hranil iz odpadne vode je odvisna od pogojev, pri katerih potekajo reakcije z različnimi bakterijskimi vrstami. Zato pri biološkem čiščenju ločimo (Roš in Zupančič, 2010):

- **Aerobne pogoje**, kjer mikroorganizmi porabljajo raztopljeni kisik (RK) kot akceptor elektronov. Aerobni mikroorganizmi potrebujejo RK, koncentracija katerega mora biti v prezračevalniku nad 0,5 mg/l, da bo čiščenje potekalo ustrezno.
- **Anaerobne pogoje**, kjer v sistemu ni raztopljenega kisika, saj ta zavira delovanje anaerobnih mikroorganizmov. Le-ti si kisik pridobijo iz organskih spojin ali iz sulfatnega iona (SO_4^{2-}). Pogoj za normalno delovanje anaerobnega reaktorja je, poleg odsotnosti RK, tudi odsotnost dušika v obliki nitritnih (NO_2^-) in nitratnih ionov (NO_3^-).
- **Anoksične pogoje**, pri katerih mikroorganizmi dobivajo kisik iz NO_2^- in NO_3^- . V teh pogojih poteka biološki proces denitrifikacije.

Katere snovi in do kakšne mere se bodo na KČN odstranile, je odvisno od vrste dejavnikov: oksidacijsko-redukcijskega potenciala (ORP), pogojev v sistemu, sestave odpadne vode (koncentracija organskih snovi, pH, temperatura, prisotnost strupenih snovi, itd.) in konstrukcije ČN. ORP se meri v milivoltih (mV) in pove, v kakšnih pogojih (anaerobnih, aerobnih ali anoksičnih) poteka biološko čiščenje, kar je shematično prikazano v preglednici 1 (Roš, 2005).

Preglednica 1: ORP za posamezne pogoje delovanja ČN (Roš, 2005, str. 23)

ORP	Oksidacijsko-redukcijski pogoji	Vrsta čiščenja
od -300 mV do -50 mV	anaerobni	anaerobno čiščenje
od -50 mV do +50 mV	anoksični	denitrifikacija
od +50 mV do +225 mV	aerobni	razgradnja organskih snovi
od +225 mV do +400 mV	aerobni	nitrifikacija

Z biološko obdelavo odpadne vode se iz nje odstranjujejo organske dušikove in ogljikove spojine, oziroma se njihovo vrednost zniža do stopnje, ki okolju ne škoduje.

Biološko čiščenje lahko poteka v čistilnih napravah s pritrjeno ali z razpršeno biomaso. Oba načina čiščenja simulirata biološke procese čiščenja vode, kot se dogajajo v naravi.

2.3 Biološko čiščenje z razpršeno biomaso

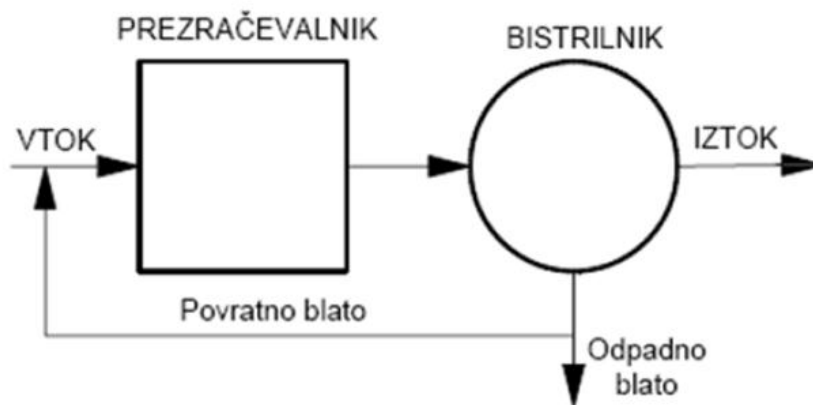
Za sisteme z razpršeno biomaso je značilno, da je biomasa suspendirana v prezračevalnem reaktorju. Mednje uvrščamo:

- **konvencionalni sistem čiščenja z aktivnim blatom**, ki je lahko različnih izvedb (s popolnim premešanjem, s kontaktno stabilizacijo, s postopnim dovajanjem in procesi s cevni tokom vode) in
- **zaporedni šaržni reaktor (ang. SBR)**, ki je sestavljen iz enega reaktorja, v katerem se izvedejo vse stopnje čiščenja.

2.3.1 Konvencionalni sistem čiščenja z aktivnim blatom

Biološki postopek čiščenja z aktivnim blatom sta razvila Arden in Lockett leta 1914. Od takrat se je močno razširil in je danes najbolj razširjena oblika čiščenja komunalnih odpadnih vod. Aktivno blato je združba različnih mikroorganizmov, med katerimi prevladujejo bakterije. Mikroorganizmi porabljajo organske snovi in hranila (N in P spojine) v odpadni vodi kot hrano za rast in razmnoževanje. Rezultat mikrobiološke razgradnje je pretvorba organskih snovi v anorganske ter novo biomaso (Kurbus, 2008).

Osnovni proces čiščenja z aktivnim blatom je konvencionalni biološki način čiščenja odpadnih vod. Ta sistem je sestavljen iz enega ali več prezračevalnih bazenov ter bistrilnika oziroma usedalnega bazena (slika 1). Odpadna voda se dovaja v prezračevalni bazen, v katerem prosto lebdi aktivno blato. Po reakciji v prezračevalniku odteka iz njega odpadna voda gravitacijsko v usedalnik, kjer se suspendirane snovi (SS) usedejo na dno ter tako ločijo od čiščene vode. Koncentrirana suspenzija aktivnega blata, t.i. povratno blato, se vrača nazaj v prezračevalnik. Ker se mikroorganizmi v procesu neprestano razmnožujejo, je potrebno odvečno aktivno blato, t.i. sekundarno oz. biološko blato, redno odstranjevati. Količina in kvaliteta nastalega blata je odvisna od pogojev delovanja sistema (aerobni, anaerobni, anoksični), sestave odpadne vode (vrsta organskih snovi, T, pH, itd.) ter seveda od cilja čiščenja (Roš, 2005).



Slika 1: Enostopenjska aerobna ČN z aktivnim blatom (Roš, 2005, str. 21)

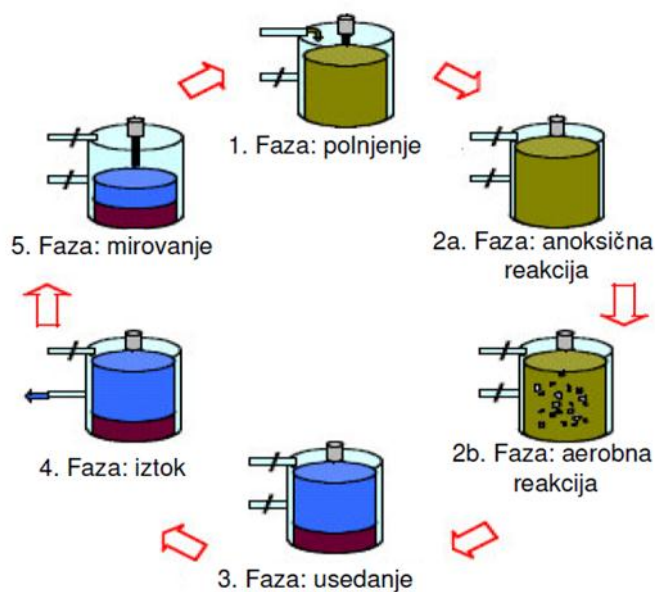
Učinkovitost ČN z aktivnim blatom je odvisna od različnih dejavnikov, in sicer od starosti blata, organske obremenitve odpadne vode, števila, vrste in uspešnosti mikroorganizmov v aktivnem blatu, hidravličnega zadrževalnega časa blata, alkalitete, pH, temperature, koncentracije raztopljenega kisika, hranil, prisotnosti toksičnih snovi, ustrezne tehnike črpanja aktivnega blata in mešanja povratnega blata, kapacitete prezračevanja ter primerne vzdrževanja opreme na ČN (Roš, 2001).

2.3.2 Zaporedni šaržni reaktor (SBR)

Med biološkimi postopki se v zadnjih letih vse več uporablja SBR. Gre za t.i. »napolni in izprazni« sistem z aktivnim blatom, kjer se vse procesne stopnje izvedejo v enem reaktorju. SBR ima običajno pet stopenj: polnjenje, biološka reakcija, usedanje, iztok in mirovanje, ki se kontinuirano ponavljajo v zaporedju, kot je prikazano na sliki 2 (Roš in Vrtovšek, 2004).

SBR tehnologija spada med napredne biološke postopke čiščenja odpadnih vod. Njen sistem čiščenja omogoča odstranjevanje ogljikovih, dušikovih in fosforjevih spojin iz odpadne vode. Za ustrezno

kontrolno delovanje SBR, se v njem priporoča kontinuirano spremljati koncentracijo raztopljenega kisika, ORP in pH vrednost. S temi parametri se lahko predvidi konec procesa nitrifikacije in denitrifikacije v aerobni in anoksični fazi. Poleg tega meritve ORP in pH omogočajo tudi prilagoditev časa posamezne stopnje SBR cikla ter nudijo pomembne informacije o sami stabilnosti procesa čiščenja (Kurbus, 2008).



Slika 2: Prikaz vseh faz, ki se izvedejo v enem ciklu v SBR (Kurbus, 2008, str. 19)

2.4 Mikroorganizmi v aktivnem blatu

V aktivnem blatu so za biološke procese zadolžene bakterije, glive, alge, praživali in mnogoceličarji (Henze s sod., 1995). Katere vrste mikroorganizmov bodo v njem prisotne, je odvisno od pogojev, kot so vrsta substrata, vrsta elektronskega akceptorja, lastnosti usedanja in temperatura. Izvor vseh mikroorganizmov je v odpadni vodi, zraku, tleh ali živalih ob ČN (Miklavčič, 2010).

Bakterije so velika skupina enoceličnih, mikroskopsko majhnih organizmov, ki imajo preprosto celično strukturo brez celičnega jedra in organelov, kot so mitohondriji in kloroplasti (Čepelnik, 2009). Njihova glavna funkcija je razgradnja raztopljenih organskih snovi. Med razgradnjo suspendiranih snovi, imajo bakterije svojo vlogo tudi v proizvodnji ekstracelularnih encimov. Vsebnost bakterij v aktivnem blatu je zelo velika, saj 1 liter odpadne vode vsebuje kar 10^{10} - 10^{12} bakterij. Sestavljene so iz 75-80% vode in 20-25% suhe snovi, kjer je 93% organskih in 7% anorganskih spojin (Miklavčič, 2010).

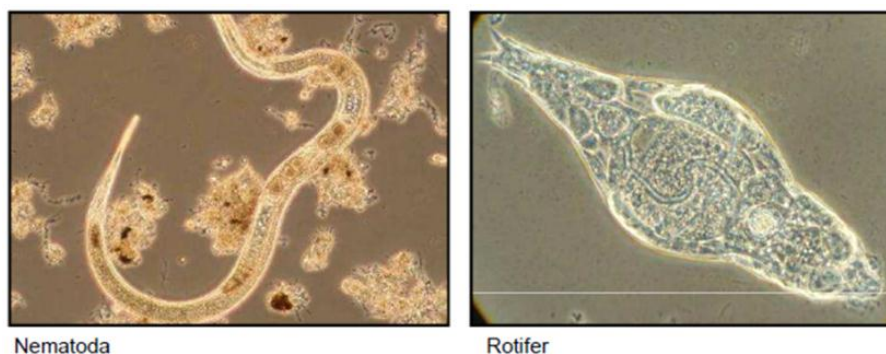
Glive so zelo primitivna oblika življenja na zemlji. Njihova najpomembnejša lastnost je, da si ne morejo same pridelovati hrane. Z bakterijami tekmujejo za hrano, vendar se tekmovanje, predvsem pri

krajših zadrževalnih časih blata, večinoma obrne v prid bakterijam. Na ČN se glive pojavljajo v primeru nizkega pH. Sistemi s pritrjeno biomaso vsebujejo relativno več gliv kot pa sistemi s suspendirano biomaso, saj nudijo glivam več časa za rast (Miklavčič, 2010).

Alge se pojavljajo v razmerah, ko je veliko hrane in svetlobe. Najdemo jih na površinah biofiltru in v lagunah (Miklavčič, 2010).

Praživali (protozoa) so enocelične živali (evkarionti), ki so večinoma vidne le pod mikroskopom. Glede na gibalne organele, ki so lahko bički, migetanke ali panožice, jih delimo na bičkarje, migetalkarje, trosovce in korenonožce (Čarman, 2011). Praživali najdemo tako na biofiltrih kot tudi v aktivnem blatu. V aktivnem blatu prevladujejo predvsem migetalkarji, med katerimi je najbolj poznan paramecij. Delež praživali v aktivnem blatu je odvisen od obremenitve ČN. Nizko obremenjene odpadne vode vsebujejo veliko vrst praživali, ki se prehranjujejo z bakterijami, glivami, algami in organskimi suspendiranimi snovmi. Prisotnost praživali v aktivnem blatu vpliva na boljše usedanje aktivnega blata v naknadnih usedalnikih (Miklavčič, 2010).

Mnogoceličarji (metazoa) so višje živali, ki so sestavljene iz več kot ene celice in imajo diferencirane celice, ki opravljajo točno določene naloge. Večina mnogoceličnih organizmov je vidna s prostim očesom. Pojavljajo se tako v aktivnem blatu, kot tudi na biofiltrih. V aktivnem blatu so prisotni predvsem kotačniki (*Rotifera*) in nematodi, ki so zelo zaželeni v aktivnem blatu in so številčnejši v reaktorjih z nižjimi organskimi obremenitvami ter večjo starostjo blata (Kurbus, 2008). Na sliki 3 je prikazan primer nematoda in kotačnika.



Slika 3: Primer nematoda (levo) in kotačnika (desno) v aktivnem blatu (Čarman, 2011, str. 10)

V literaturi se pogosto uporablja tudi izraz spremljajoča združba, ki je skupno ime za vse praživali in mnogoceličarje, ki so z bakterijami prisotne v aktivnem blatu (Čarman, 2011).

2.4.1 Vloga bakterij v aktivnem blatu

Bakterije so v aktivnem blatu ključne za razgradnjo organskih in anorganskih snov ter so v njem zastopane v največjem deležu. Iz odpadne vode odstranjujejo organske snovi, ki jih pretvorijo v anorganske in novo biomaso ter pri tem rastejo, se razmnožujejo in tvorijo kosme ali granule (Kurbus, 2008). Gre torej za razgradnjo substratov, v kar je vključenih več medsebojno odvisnih procesov. Običajno se proces biološkega čiščenja začne s hidrolizo, pri kateri se večje molekule pretvorijo v manjše, lažje razgradljive. Komunalna odpadna voda je običajno bogata z organskimi spojinami, ki so v sveži odpadni vodi prisotne pretežno v trdni obliki. Da lahko bakterije uporabijo te kompleksne molekule za vir energije, se morajo le-te najprej v procesu hidrolize razgraditi iz večjih molekul v manjše, lažje razgradljive. Ta proces je običajno tudi mejni pogoj, ki določa hitrost biološke razgradnje (Miklavčič, 2010).

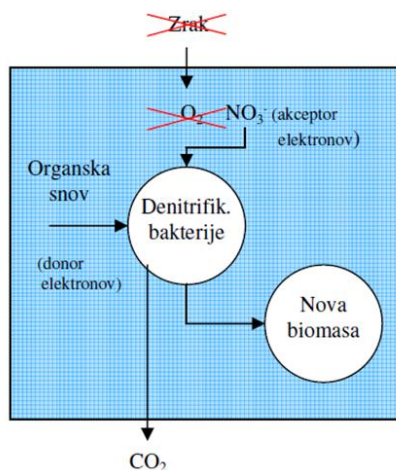
V komunalni odpadni vodi so glavna onesnaževala ogljikove in dušikove spojine, ki so prisotne v različno vezani obliki. Organska snov je pretežno sestavljena iz ogljika, vodika, kisika in v manjši meri tudi dušika. Drugi elementi, kot so žveplo, fosfor in železo, so zastopani le v majhnih količinah. Glavne skupine organskih substanc v komunalni odpadni vodi so: beljakovine (40-60 %), ogljikovi hidrati (25-50 %) ter masti in olja (10 %). Te organske snovi povečujejo potrebo po kisiku v reaktorju, zato se organsko onesnaženje večinoma odstrani z aerobnimi postopki čiščenja. V aerobnih pogojih heterotrofne bakterije oksidirajo organsko snov v ogljikov dioksid (CO_2), amonijev dušik (NH_4^+) ter stranske produkte. Pri tem nastaja nova celična materija teh heterotrofnih bakterij. Energijo za ta proces črpajo bakterije iz kemijsko vezane energije v organski snovi (Miklavčič, 2010).

Anorganske snovi se v komunalni odpadni vodi pojavljajo v obliki raznih soli, fosforne kisline, kalija, kalcija, itd. Za njihovo odstranitev so potrebne avtotrofne bakterije, ki si vir ogljika lahko pridobijo iz anorganske snovi. V komunalni odpadni vodi se v povprečju 60 % dušika pojavlja v organski in 40 % v anorganski obliki. Izvor organskega dušika so aminokisliline, beljakovine in sečnina (urea), izvor anorganskega pa je v NH_4^+ , NO_2^- in NO_3^- (Miklavčič, 2010).

NH_4^+ , NO_2^- in NO_3^- so anorganske dušikove spojine. Komunalna odpadna voda običajno vsebuje na vtoku na KČN od 15 do 30 mg/l NH_4^+ . Dušikove soli so v odpadni vodi hrana za številne bakterije. Za odstranjevanje dušikovih spojin sta specializirani dve skupini bakterij (Miklavčič, 2010):

- **kemolitotrofne**, ki oksidirajo NH_4^+ in NO_2^- do NO_3^- ter
- **heterotrofne**, ki jim NO_3^- služi kot akceptor elektronov, da ga lahko v anoksičnih pogojih pretvorijo v elementarni dušik (slika 4).

Kemolitotrofne bakterije nastopajo v procesu nitrifikacije, zato jim pravimo tudi nitrifikacijske bakterije ali nitrifikatorji. Heterotrofne bakterije pa v procesu denitrifikacije pretvarjajo NO_3^- v atmosferski dušik (N_2), kisik pa uporabijo za svoje dihanje, zato so poznane tudi kot denitrifikacijske bakterije ali denitrifikatorji. S tema dvema ključnima skupinama bakterij se dušikov plin odstrani iz vode, sprosti v ozračje in tako se dušikov cikel ne zaključi.



Slika 4: Potek odstranjevanja dušikovih spojin s heterotrofnimi (denitrifikacijskimi) bakterijami (Kurbus, 2008, str.7)

Ogljikove in dušikove spojine se iz komunalne odpadne vode lahko odstranjujejo zaporedno ali sočasno. Pri zaporednem biološkem čiščenju se iz odpadne vode najprej odstranijo ogljikove ter nato dušikove spojine. Sočasno odstranjevanje ogljikovih in dušikovih spojin pa je primer procesa pred-denitrifikacije in nitrifikacije. V pred-denitrifikaciji se odstranijo ogljikove spojine kot NO_3^- , v procesu nitrifikacije pa se NH_4^+ oksidira do NO_3^- (Miklavčič, 2010).

Za uspešno delovanje biološke čistilne naprave (BČN) je pomembno, da je v sistemu taka mešanica substrata, ki zagotavlja učinkovito rast mikroorganizmov. Če je v sistemu le en vir substrata ali prenizka koncentracija substrata, imajo mikroorganizmi omejen vir hrane, kar se kaže tudi v manjši prirasti biomase (Kurbus, 2008). Roš (2005) navaja, da je največja prirast biomase pri aerobnem čiščenju, najmanjša pa pri anaerobnem. Na koeficient bakterijske sinteze (prirasti) vplivajo še drugi pogoji, kot so SS, organske razgradljive snovi, pH, T, prisotnost toksičnih substanc in predvsem zadrževalni časi odpadne vode v posameznih reaktorjih. V biološkem reaktorju se priporoča zagotoviti take pogoje, da je v njej prisotnih čim več različnih mikroorganizmov, saj se z večjo raznolikostjo aktivnega blata, večja tudi njegova odpornost na zunanje vplive (toksične snovi, kloride, itd.).

Katere bakterije bodo v sistemu biološkega čiščenja prevladovali, je odvisno od substrata, oz. odpadne vode, razmer (aerobne, anoksične, anaerobne), hitrosti rasti bakterij, starosti, oz. zadrževalnega časa blata, sposobnosti usedanja blata in temperature (Kurbus, 2008).

3 USE DANJE AKTIVNEGA BLATA

Za sisteme čiščenja z aktivnim blatom je zelo pomembno, da je proces usedanja biomase ustrezen. To se doseže pri optimalnih razmerah delovanja, ko se mikroorganizmi med seboj združujejo v večje kosme, ki se tudi hitreje usedajo. Blato tako ne izhaja iz reaktorja. Za boljšo kvaliteto iztoka se lahko odpadna voda po biološkemu čiščenju obdela še z membransko tehnologijo, ki iz nje odstrani še tisti del suspendiranih snovi, ki s čiščeno vodo uidejo iz reaktorja. Membranska tehnologija temelji na filtraciji, kamor uvrščamo mikrofiltracijo, ultrafiltracijo in reverzno osmozo (Kurbus, 2008).

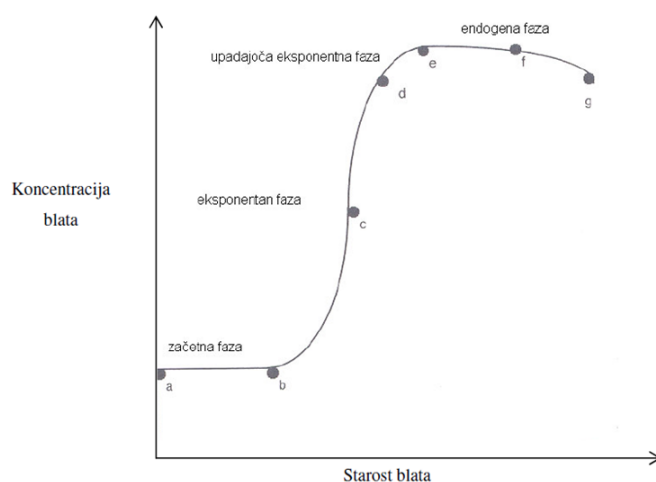
3.1 Proces kosmičenja

V procesu kosmičenja imajo glavno vlogo heterotrofne bakterije, kot so npr. bakterije vrste *Pseudomonas*, *Achromobacter*, *Flavobacter*, *Alcaligenes*, *Arthrobacter*, *Citromonas* in *Zooglea*. Glive, praživali in mnogoceličarji imajo v tem procesu manjše vloge in so zato tudi v reaktorju zastopane v veliko manjšem številu kot bakterije (Dynamac Corporation, 1987). Za učinkovito razgradnjo organskih snovi, je potrebno čimvečje število in raznolikost bakterij v aktivnem blatu. Za vzdrževanje velikega števila raznovrstnih bakterij, se morajo oblikovati večji, bolj trdni in gosti kosmi, ki se hitreje usedajo. Pravilen proces kosmičenja ima veliko vlogo v procesu čiščenja z aktivnim blatom, saj se z oblikovanjem večjih kosmov, blato hitreje useda in tako ne uhaja iz reaktorja. Iz odpadne vode se tako odstrani velik del organskih in suspendiranih snovi. Raznolikost bakterij pripomore tudi k višji stopnji odstranjevanja dušikovih spojin, ki prinaša večjo učinkovitost čiščenja. Rast bakterij je premosorazmerna količini substrata v reaktorju, saj več substrata kot je, večji kosmi se oblikujejo in hitreje se usedajo (Kurbus, 2008).

Pri kosmičenju ima pomembno vlogo hidrofobnost bakterijskih površin, ki se veča z višanjem starosti blata. Tvorba kosmov se začne, ko je hidrofobnost bakterij dovolj visoka, da se začnejo med seboj sprijemati v plasti. Veliko vlogo imajo tudi ekstracelularni polimeri (EPS), ki omogočajo, da je kosem dovolj čvrst in, da ne razpada. EPS torej vplivajo, da so deli kosma medsebojno bolj povezani. Pravilno formiran kosem je porozen ter vsebuje kanale in votla mesta, skozi katera se prenašata hranilo in kisik, ki ju mikroorganizmi potrebujejo za rast in razvoj. V notranjem sloju kosma so bakterije, ki sodelujejo pri tvorbi kosmov ter lipidi in proteini, ki jih proizvedejo bakterije, praživali in mnogoceličarji. V notranjosti kosma so tudi koloidni delci, težke kovine, olja in maščobe, ki jih najdemo tako v komunalnih kot tudi v industrijskih odpadnih vodah. Vse te sestavine pripomorejo k večanju kosmov, ko se starost blata viša. Zunanja plast kosma pa je sestavljena predvsem iz nitastih bakterij, gliv in praživali (Kurbus, 2008).

Proces kosmičenja v aktivnem blatu je postopen in močno odvisen od temperature. Z višanjem temperature se poveča biološka aktivnost mikroorganizmov, kar pospeši tvorbo kosmov. Pri temperaturi pod 12°C kosmi nastanejo po več kot štirih tednih, nad to temperaturo pa se formirajo že po dveh do štirih tednih. V aktivnem blatu se z nastajanjem kosmov zgodi vrsta sprememb, ki so povezane z njihovo velikostjo, obliko in jakostjo ter količino praživali, kotačnikov in nematodov. Te spremembe nastanejo z višanjem starosti blata. Na sliki 5 je prikazan model nastajanja kosmov, ki sovpada z bakterijsko rastjo. Krivulja bakterijske rasti ima štiri faze, ki so pomembne za dobro razumevanje procesa kosmičenja (Kurbus, 2008):

- **Začetna, oz. mirujoča faza** (od »a« do »b«): v aktivnem blatu so že prisotne aktivne bakterije, ki pa še ne proizvajajo encimov, ki so potrebni za razgradnjo organskih snovi in sintezo nove biomase.
- **Eksponentna faza** (od »b« do »d«): se začne z bakterijsko proizvodnjo encimov, zato se v tej fazi prične tudi razgradnja organskih snovi (od »b« do »c«) in sinteza nove biomase (od »c« do »d«).
- **Upadajoča eksponentna faza** (od »d« do »e«): se pojavi, ko v sistemu zmanjka hrane, kar zmanjša stopnjo bakterijske rasti. V tej fazi je število bakterij maksimalno in le-te začnejo proizvajati celična vlakna, polisaharide in EPS, ki so potrebni za tvorbo kosmov. Začne se torej proces kosmičenja, vlakna različnih bakterij se medsebojno povezujejo, prav tako se povezujejo tudi netopni polisaharidi in EPS, ki se nahajajo med bakterijskimi celicami in pripomorejo k boljši povezanosti celic.
- **Endogena, oz. stacionarna faza** (od »e« do »g«): se prične z višanjem starosti blata, ko se pojavi tudi rast nitastih bakterij, ki so bile do te faze prisotne le kot posamezne celice v kosmih, ki so nastali v upadajoči eksponentni fazi. Nitaste bakterije se pričnejo povezovati v polisaharidne nitaste ovojnice in kosmi se večajo. V endogeni fazi je premer srednje velikih kosmov od 150 do 500 µm, premer velikih kosmov pa je večji od 500 µm. Velik del energije, ki je nastala pri razgradnji organskih snovi, se porabi za vzdrževanje celične aktivnosti, zato se v tej fazi ne sintetizira nova biomasa, oziroma se sintetizira le v majhnih količinah. Med endogeno fazo se porabijo skladiščena hranila. Ko bakterije porabijo vse rezerve, izčrpajo še svojo citoplazmo ali celično vsebino. Poraba citoplazme je prikazana kot celična respiracija (od »f« do »g«). V tej fazi se število bakterij zmanjšuje.



Slika 5: Model nastajanja kosmov, ki sovпада z bakterijsko rastjo (Kurbus, 2008, str. 12)

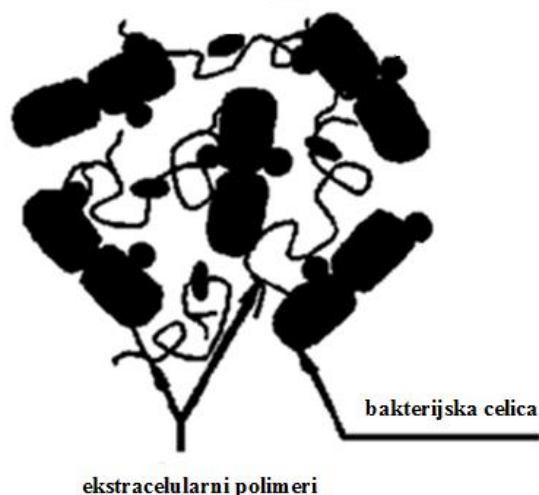
3.1.1 Vloga nitastih mikroorganizmov v procesu kosmičenja

Kot je bilo že omenjeno, je za pravilen proces usedanja pomembno, da se v sistemu formirajo dovolj velike in ustrezno zgrajene flokule. Struktura pravilno zgrajene flokule, oz. kosma, se deli na dva dela (Dynamac Corporation, 1987):

- **mikrostruktura**, ki je ključna za nastanek kosma in jo sestavljajo bakterije, ki se zlepijo ena na drugo v procesu mikrobiološke agregacije in bioflokulacije,
- **makrostruktura**, ki jo sestavljajo nitasti (filamentozni) mikroorganizmi in nudi veliko površino, na katero se bakterije iz mikrostrukture lahko povežejo.

V biološkem reaktorju je ugodno imeti določen delež nitastih mikroorganizmov, ki pa ne sme biti prevelik. Nitasti mikroorganizmi imajo svoj del vloge v procesu usedanja aktivnega blata, saj s tvorbo trdnih, polisaharidnih nitastih ovojníc omogočajo kosmom, da so večji, trdnjši in odpornejši na zunanje vplive. Zunanja plast kosma, t.i. makrostruktura, je tako sestavljena predvsem iz nitastih bakterij ter tudi gliv in praživali, če so v aktivnem blatu prisotne. Kot je bilo že omenjeno, se s procesom kosmičenja zgodi vrsta sprememb v aktivnem blatu. Spremembe se pojavijo z višanjem starosti blata. Po začetni in eksponentni fazi, ko bakterije razgradijo organsko snov in sintetizirajo novo biomaso, zmanjka hrane in populacije bakterij se zmanjšujejo. Bakterije, ki proizvajajo celična vlakna, polisaharide¹ in EPS, postanejo zelo aktivne in prične se tvorba kosmov. EPS so pomembna komponenta v kosmih aktivnega blata in imajo veliko vlogo v procesu kosmičenja in usedanja blata. EPS tvorijo mostove med bakterijskimi celicami (slika 6), bakterije se povezujejo in kosmi se večajo.

¹ Polisaharidi so polimerne strukture ogljikovih hidratov, kjer so posamezne enote (mono- ali di-saharidi) povezane z glikozidno vezjo (Polisaharid, 2013).



Slika 6: Povezovanje bakterijskih celic z ekstracelularnimi polimeri (Dan, 2001, str. 47)

Če se zadrževalni čas blata v reaktorju še povečuje, sledi t.i. endogena, oz. stacionarna faza rasti. V tej fazi se prične rast nitastih bakterij, ki so v prejšnjih fazah bile prisotne kot posamezne celice v kosmih. Nitaste bakterije se začnejo združevati v polisaharidne nitaste ovojnice in kosmi se večajo. Večji kosmi med usedanjem mehanično ujamejo tudi manjše delce, ki so razpršeni v usedalniku, kar viša kvaliteto iztoka čiščene vode, ki ima manjšo motnost. Večji kosmi so nepravilnih oblik za razliko od manjših, ki so okrogli (Kurbus, 2008; Dynamac Corporation, 1987).

Če pa je starost blata prevelika, postanejo nitaste bakterije dominantne, kar povzroči na čistilni napravi številne težave zaradi nepravilnega usedanja biomase. Zato je za pravilen proces usedanja potrebno imeti v usedalnem bazenu ustrezno bilanco med nitastimi in drugimi mikroorganizmi, ki pri usedanju sodelujejo. Ustrezno razmerje omogoča, da se formirajo stabilne flokule, ki ohranjajo svojo integriteto v prezračevalnem bazenu in se usedajo v usedalniku. V primeru popolne odsotnosti nitastih mikroorganizmov, se formirajo manjše flokule, ki se slabo usedajo v usedalniku. Zato je z odsotnostjo nitastih mikroorganizmov povezano večje izpiranje biomase iz reaktorja in posledično tudi večja motnost iztoka čiščene vode (Lesson 8 ..., 2013; Lefebvre in Moletta, 2006).

3.2 Problematika usedanja aktivnega blata

Na KČN predstavlja velik problem razpadanje kosmov v aktivnem blatu, kar slabša usedljivost blata in povzroči izhajanje le-tega iz reaktorja. To predstavlja za KČN izgubo pomembne biomase in nižji učinek čiščenja. Pomembno je, da biološki sistem deluje pri optimalnih razmerah, saj se tako lahko izognemo morebitnim zapletom. Na razpad kosmov vplivajo naslednji dejavniki (Kurbus, 2008):

- **pH vrednost:** optimalna pH vrednost v sistemu z aktivnim blatom je od 6.5 do 8.5. Prenizka ali previsoka pH vrednost zmanjša trdnost kosmov, saj se bakterije ne morejo medsebojno

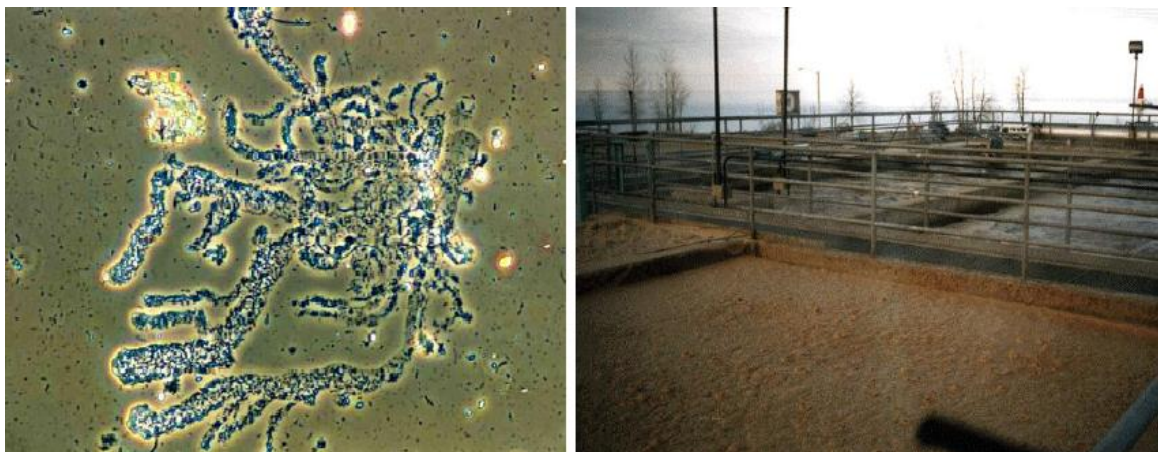
pravilno povezovati. To se lahko zgodi v primeru, ko dotekajo v sistem kisle ali alkalne odpadne vode. Prenizek pH je lahko povezan tudi s procesom nitrifikacije, ki v sistemu zmanjšuje alkaliteto. V aktivnem blatu izgine večina praživali pri pH vrednosti med 6.0 in 6.8, ostanejo le amebe. Pri nizkih pH vrednostih začnejo kosmi razpadati in tudi proces nitrifikacije je oslavljen. Z nizkim pH je povezana tudi prekomerna rast nitastih (filamentoznih) bakterij, ki zelo poslabša usedanje blata.

- **Temperatura (T):** ima velik vpliv na aktivnost bakterij in posledično tudi na tvorbo kosmov. Pri nizki temperaturi (<8°C) je sinteza in aktivnost bakterij nizka. Hitrejši nastanek kosmov in učinkovitejše odstranjevanje organskih snovi se prične pri temperaturi nad 12°C. Aktivnost praživali se poveča pri temperaturi nad 4°C in zmanjša nad 32°C. Optimalna T za proces usedanja je od 18 do 22°C. Pri zelo visokih T odpadne vode (>38°C) je aktivnost bakterij zelo zmanjšana, kar vpliva na slabšo usedljivost blata.
- **Oksidacijsko-redukcijski potencial (ORP):** ko je v prezračevalnem sistemu z aktivnim blatom ORP nižji od -150 mV, se lahko biološko proizvedejo sulfidni ioni (HS⁻). V sistemu lahko nastanejo enostavne, topne kisline in alkoholi, ki vplivajo na pospešeno rast nitastih bakterij, nepravilno usedanje in uhajanje biomase iz reaktorja.
- **Raztopljeni kisik (RK):** v prenizkih koncentracijah vpliva na prekomerno rast nitastih bakterij. Kosmi začnejo razpadati pri koncentraciji RK pod 1 mg/l in iztok čiščene vode je dosti bolj moten, saj vsebuje veliko suspendiranih snovi, ki se iz sistema odvajajo s čiščeno vodo. Pri prenizkem pH se zmanjša tudi količina praživali v aktivnem blatu, predvsem migetalkarjev, kar zmanjša odstranjevanje suspendiranih in koloidnih delcev ter poveča motnost iztoka.
- **Starost blata (Θx):** ko je v sistemu t.i. mlado blato, se tvorijo manjši in bolj šibki kosmi, ki se ne usedajo dobro in izhajajo iz reaktorja. V sistemu se organske snovi ne razgradijo dovolj dobro, zato tudi iztok čiščene vode vsebuje več organskih snovi in suspendiranih delcev. S to težavo se srečujejo KČN predvsem na začetku delovanja, saj se mora mlado blato najprej adaptirati na razmere v okolju, da se lahko doseže ustrezno usedanje in želeni učinek čiščenja.
- **Nitaste (filamentozne) bakterije:** njihovo prekomerno rast v aktivnem blatu povzročajo različni dejavniki kot so prenizka T, nizka koncentracija raztopljenega kisika, premajhna obremenitev sistema s hranili, prenizka oziroma previsoka pH vrednost in visoka starost blata. S prekomerno rastjo nitastih bakterij se srečuje veliko KČN, ki imajo zaradi nepravilnega usedanja blata, težave z napihovanjem in penjenjem blata na površini bazenov.

3.2.1 Vrste in vzroki težav usedanja aktivnega blata

Čistilne naprave se srečujejo z različnimi težavami nepravilnega usedanja aktivnega blata, ki zmanjšujejo učinkovitost biološkega procesa čiščenja. Nekatere težave se kažejo le kot manjše motnje v procesu separacije trdne snovi iz odpadne vode, ki pa se s časom lahko razvijejo v resne zaplete, če se ne ukrepa pravočasno. Najpogostejše težave procesa usedanja aktivnega blata so (Dynamac Corporation, 1987):

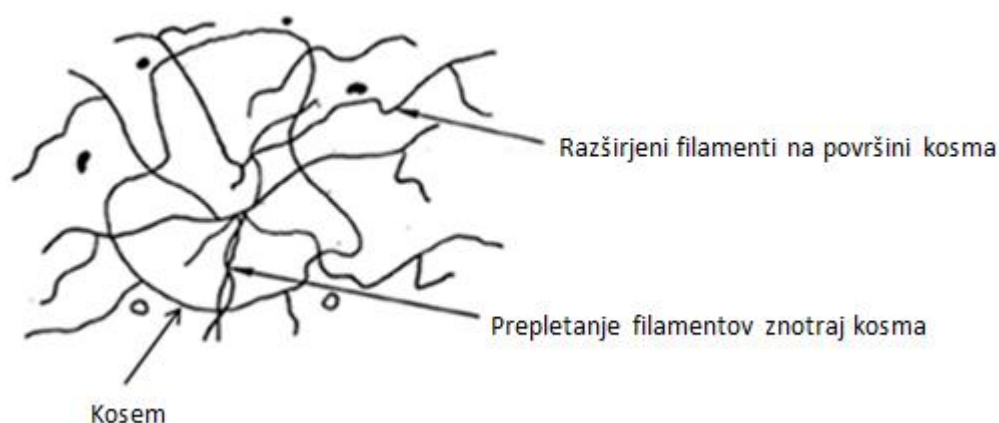
- **Dispergirana (razpršena) rast:** mikroorganizmi se ne povezujejo uspešno v flokule, ampak ostajajo razpršeni v usedalnem bazenu. Velikost razpršenih delcev je od 10-20 μm . Stopnja sedimentacije je prenizka za gravitacijsko posedanje delcev, delci prosto plavajo v bazenu in uhajajo iz sistema, zato je tudi iztok čiščene vode moten. Ta težava običajno nastopi zaradi majhne produkcije ekstracelularnih polimerov, ki se pojavi v primeru visoke koncentracije lahko razgradljivega substrata ali prisotnosti določenih inhibitornih komponent (Almshawit, 2013).
- **Viskozno napihovanje:** je lahko velik problem v delovanju KČN z aktivnim blatom. Vzrok težave ni v filamentoznih bakterijah, zato ga v literaturi tudi pogosto zasledimo pod ang. izrazom »non - filamentous bulking«. V sistemu se lahko pojavi zaradi prekomerne produkcije ekstracelularnih polisaharidov, prenizke koncentracije nutrientov (N in P spojini), prenizke koncentracije raztopljenega kisika ali prisotnosti toksičnih substanc. Pogost vzrok viskoznega napihovanja je prekomerna rast bakterijske vrste *Zoogloea* (slika 7), ki jo v stroki imenujejo »animal glue glue«. Ta bakterija se v aktivnem blatu pojavi v primeru velikih količin lahko razgradljivega substrata, predolgega anoksičnega cikla ter nizkega pH. Njena prekomerna rast je lahko tudi indikator pomanjkanja nutrientov v sistemu (prenizko razmerje F/M, t.j. hrana/biomasa). Na KČN jo običajno najdemo v selektorju, saj njeno rast spodbujajo pretirano anoksična okolja. Ta vrsta bakterij ima poleg svoje vloge pri tvorbi kosmov, saj je v normalnih pogojih aktivna bakterija v mikrostrukturi flokul, tudi sposobnost denitrifikacije. Njen pretiran delež v aktivnem blatu se kaže v nastanku bele pene na površini prezračevalnega bazena. Lahko se pojavi tudi sluzast beli ali sivo-beli film na zidovih in površini bistrilnega bazena. Na KČN se težave z viskoznim napihovanjem blata kažejo v nepravilnem usedanju biomase v usedalnem bazenu, slabši kompakciji biomase, večji koncentraciji biokemijske potrebe po kisiku (BPK) v iztoku, lepljivem aktivnem blatu ter razredčenem povratnem blatu. V ekstremnih primerih se z iztokom čiščene vode odplavlja cela plast blata iz usedalnika, ker v procesu usedanja ni prišlo do pravilne separacije trdne snovi iz odpadne vode. Na površini usedalnih bazenov se pojavi želatinasta plast blata (Wagoner, 2010; Almshawit, 2013).



Slika 7: Bakterijska vrsta *Zoogloea* (levo) in viskozno napihovanje blata zaradi pomanjkanja hranil (desno) (What is going ..., 2013)

- **Mikro flokule:** po procesu usedanja, je v usedalnem bazenu še vedno prisoten določen del manjših flokul, ki so prelahke, da bi se lahko gravitacijsko posedle. Te mikro flokule so skoraj okrogle oblike, velikosti do 75 μm in so zelo neodporne na zunanje vplive, zato se v prezračevalnem bazenu zaradi številnih trkov med delci, zlahka razbijejo še na manjše delce. Te flokule sestavlja le mikrostruktura bakterij, makrostruktura nitastih bakterij v njih ni prisotna. Nekatero mikro flokule se lahko sicer hitro posedejo, vendar še vedno ostane v usedalnem bazenu veliko delcev suspendiranih, ki odteka s čiščeno vodo. Sestava mikro flokule nam potrjuje, da je določen delež nitastih bakterij zelo pomemben za nastanek flokul z dobrimi lastnostmi, ki so potrebne za pravilno delovanje sistema z aktivnim blatom ter dosego želene kvalitete čiščene vode. Na KČN se vpliv mikro flokul kaže kot nizek volumski indeks blata (VIB) ter moten iztok čiščene vode. V literaturi najdemo mikro flokule večinoma pod ang. izrazom »pinpoint« flokule (Dynamac Corporation, 1987; Seviour in Nielsen, 2010).
- **Napihnjeno blato (ang. bulking sludge):** je pojav, ko blato postane zelo lahko, poveča se njegov volumen in se ne useda pravilno. Običajni razlog za njegov nastanek je prekomerna rast nitastih mikroorganizmov, zato ga v literaturi pogosto zasledimo tudi pod ang. izrazom »filamentous bulking«. Včasih je lahko vzrok napihovanja blata tudi majhna starost blata, saj se mlado blato ne useda pravilno in posledično se na površini bazenov nabirajo plavajoče plasti blata. S težavo mladega blata se srečujejo KČN predvsem na začetku delovanja in jo običajno tudi rešijo po določenem času, ko se starost blata dovolj poveča. Resnejše zaplete na KČN povzroča prekomerna rast nitastih mikroorganizmov, ki postanejo dominantni pri preveliki starosti blata in se zato blato ne useda pravilno, ampak se nabira v plasteh na površini bazenov. V tem primeru se filamenty širijo na kosmih aktivnega blata (slika 8) in v medprostoru med njimi ter ovirajo pravilno usedanje blata. Preden se ugotovi in odpravi

glavni vzrok napihovanja, se priporoča redno odstranjevanje plavajočih plasti blata, saj se na ta način izogne večjemu padcu učinka čiščenja in resnejšim zapletom v samem obratovanju KČN. Plavajoče plasti blata so sestavljene predvsem iz nitastih bakterij, ki imajo zelo hidrofobno površino svojih celic. To pospeši na njihovi površini adsorbcijo zraka in dušikovih mehurčkov, ki pripomorejo k dviganju blata na površino usedalnika. Barva napihnjenega blata se giblje med svetlo rjavo in sivo. Poleg prevelike starosti blata, povzročajo prekomerno rast nitastih bakterij tudi drugi dejavniki, kot npr. prenizka koncentracija raztopljenega kisika v reaktorju, prenizka oziroma previsoka pH vrednost, prenizka T, premajhna obremenitev blata (nizko razmerje F/M), visoka koncentracija sulfida, itd. (Lesson 8 ..., 2013). V sistemu se vpliv napihnjenega blata kaže kot visok VIB, ki se običajno dvigne nad 150, slab proces usedanja, zelo čisti supernatant ter nizka koncentracija trdnih snovi v povratnem blatu. Tak sistem je hidravlično preobremenjen. KČN izgublja zalogo pomembne biomase, saj iz sistema blato uhaja s čiščeno vodo, ki je zato tudi slabše kvalitete (Dynamac Corporation, 1987; Activated sludge introduction, 1993).



Slika 8: Širjenje filamentov na kosmih aktivnega blata (Dynamac Corporation, 1987, str.7)

- »**Blanket rising**«: vzrok težave je v procesu denitrifikacije, ko nastaja v vodi slabo topen dušikov plin (N_2), ki se v usedalnem bazenu veže na flokule aktivnega blata in povzroči plavljenje le-teh na površino sekundarnega usedalnika (Dynamac Corporation, 1987).
- **Penjenje blata**: je pojav, ko se na površini prezračevalnega in usedalnega bazena pojavi peneča plast (slika 9), ki ovira delovanje KČN. Lažja oblika pene, ki se pojavi na začetku delovanja KČN, je normalen pojav, ki izgine, ko postane sistem stabilen in aktivno blato doseže ustrezno kondicijo. Veliko bolj problematična je rjavkasta pena, ki se akumulira na površini aeracijskega bazena med normalnim delovanjem KČN in se seli tudi v usedalni bazen, iz katerega se odplavlja v iztok čiščene vode. Plast pena lahko postane tako debela, da prestopi usedalni bazen (slika 9). Glavni razlog za penjenje blata je enak kot za napihovanje in

sicer prekomerna rast nitastih mikroorganizmov. V številnih primerih je vzrok prevelika aktivnost specifičnih vrst nitastih bakterij *Nocardia spp.* in *Microthrix parvicella*. Nastala pena je zelo odporna in jo je težko mehanično odstranjevati. Penjenje blata se lahko pojavi tudi v primeru, ko so v odpadni vodi prisotni nerazgradljivi tenzidi². Odpadna voda jih vsebuje predvsem takrat, ko so na prispevnem območju KČN prisotni tekstilni obrati. Velika količina trdnih delcev se ujame v penečo plast blata in skupaj s peno plava na površini bazena. Če se vzrok nastanka penjenja pravočasno ne ugotovi in odpravi, se na površini bazenov kopiči vedno več pene, ki s časom povzroči resne za plete v delovanju KČN (Dynamac Corporation, 1987).



Slika 9: Penjenje blata na površini bazena (levo) in uhajanje pene iz usedalnega bazena (desno) (Foaming, 2013; Wastewater Operator Training, 2010)

Iz zgoraj pojasnenih vrst in vzrokov težav usedanja blata je razvidno, da je v aktivnem blatu dobro imeti ustrezno bilanco med nitastimi in drugimi mikroorganizmi, ki so vključeni v proces kosmičenja. Ustrezna mešanica mikroorganizmov v aktivnem blatu vpliva na boljše usedanje blata in tudi na kvaliteten iztok čiščene vode, ki ne vsebuje veliko suspendiranih snovi. Prenizek delež nitastih mikroorganizmov se kaže v težavah z mikro flokulami in posledično v slabi kvaliteti iztoka čiščene vode. V primeru prevelike količine nitastih mikroorganizmov, pa se na KČN pojavlja napihovanje in penjenje blata.

² Tenzidi so površinsko zelo aktivne snovi, ki se v tekstilni industriji uporabljajo kot egalizirana in tudi pralna sredstva (Surfaktant, 2013).

3.2.2 Določitev lastnosti usedanja aktivnega blata s kvantitativnimi parametri

Za opis kosmov aktivnega blata se uporabljajo naslednji kvantitativni parametri (Dynamac Corporation, 1987; Panjan, 2005):

- **Masa suspendiranih snovi v mešanici odpadne vode (MLSS):** je masa vseh delcev aktiviranih in neaktiviranih mikroorganizmov ter ostalih trdnih organskih in anorganskih snovi, ki so razpršene v prezračevalnem bazenu, oziroma v reaktorju. MLSS se izračuna po naslednji enačbi:

$$MLSS = X \times V_r$$

MLSS.... masa suspendiranih snovi v mešanici odpadne vode [g]

X..... koncentracija aktivnega blata [g/l]

V_r..... volumen reaktorja [l]

- **Volumski indeks blata (VIB):** je volumen (v ml) enega grama blata po 30 minutnem usedanju. Ta parameter meri lastnosti usedanja kosmov (blata) in pomaga določiti, ali je v sistemu potrebna kakšna sprememba delovanja. Določi se ga tako, da se iz prezračevalnega bazena na reprezentativnem mestu (običajno v bližini iztoka) odvzame 1 liter mešanice odpadne vode in blata, ki se jo nato v merilnem valju pusti za 30 min posedati. VIB se izračuna po naslednji enačbi:

$$VIB = \frac{VU}{X}$$

VIB..... volumski indeks blata [ml/g]

VU..... usedljivost blata [ml/l]

X..... koncentracija aktivnega blata [g/l]

Aktivno blato z dobrimi lastnostmi usedanja ima nižje vrednosti VIB. Če pa je VIB prenizek (<70 ml/g), se v sistemu formirajo mikro flokule, če pa je previsok (>150 ml/g), se blato slabo useda, se napihuje in plava na površini bazenov.

- **Starost blata (Θ_x):** je povprečno število dni, ki se delci trdnih snovi, oz. celice blata (biomase) zadržijo v reaktorju. Izračuna se z uporabo znanih parametrov delovanja sistema po spodnji enačbi:

$$\Theta_x = \frac{V_r \times X}{Q_w \times X_w}$$

Θ_xstarost blata [dni]

V_r volumen reaktorja [m^3]

X koncentracija aktivnega blata v reaktorju [mg/l]

Q_w pretok odvečnega blata [m^3 /dan]

X_w koncentracija aktivnega blata v odvečnem blatu [mg/l]

Izračun starosti blata pomaga upravljavcem KČN, da se v aktivnem blatu vzdržuje ustrezna populacija mikroorganizmov. Na KČN z aktivnim blatom je običajna starost blata od 3 do 15 dni. Optimalna starost blata večinoma sezonsko niha, saj se biološka aktivnost mikrobne flore poleti poveča in pozimi zmanjša. Zato je potrebno starost blata prilagajati vsaj dvakrat letno, da se zagotovi višjo starost blata v zimskem času ter nižjo v poletnem času. Prevelika starost blata v reaktorju pomeni, da je v njem preveč trdnih snovi in običajno povzroči nastanek mikro flokul ter moten iztok čiščene vode. Prenizka starost blata pa povzroči neustrezen proces usedanja aktivnega blata, saj nastajajo lahke in puhaste flokule, ki se počasi usedajo ter iz sistema zlahka uidejo s čiščeno vodo.

- **Raztopljeni kisik (RK):** je potrebno na KČN skrbno meriti, saj pove količino kisika, ki ga imajo mikroorganizmi na razpolago v sistemu. V prezračevalnem bazenu je potrebno zagotoviti vsaj 0.5 mg/l kisika, njegova optimalna koncentracija pa je od 1.5 do 2 mg/l. Količina RK vpliva na delovanje KČN, zato se priporoča neprekinjeno meriti njegovo koncentracijo na več točkah prezračevalnega bazena.
- **Obremenitev blata (F/M):** je breme polutantov, ki vstopajo v proces biološkega čiščenja na enoto mase aktivnega blata ali hlapnih suspendiranih snovi. Razmerje F/M pove količino hrane, ki vstopa v sistem na celotno maso mikroorganizmov, ki so aerirani v prezračevalniku. Obremenitev blata se izračuna po naslednji enačbi:

$$\frac{F}{M} = \frac{\text{dnevna količina BPK v prezračevalnem bazenu}}{X \text{ v prezračevalnem bazenu}}$$

Na KČN je normalen razpon F/M od 0.15 do 0.5.

3.2.2.1 Vpliv količine nitastih mikroorganizmov na kvantitativne parametre usedanja

VIB je parameter, ki je povezan tudi s številom nitastih mikroorganizmov v aktivnem blatu. V sistemu, v katerem se formirajo mikro flokule, je premalo nitastih mikroorganizmov in VIB je običajno nižji od 70 ml/g. Napihnjeno blato je običajno povezano s prevelikim deležem nitastih mikroorganizmov v aktivnem blatu in VIB je višji od 150 ml/g (Dynamac Corporation, 1987).

Količina nitastih mikroorganizmov vpliva tudi na količino SS v iztoku čiščene vode. Aktivno blato, ki ima premalo nitastih mikroorganizmov, ima zelo moten iztok čiščene vode, saj je v njem veliko SS. Nasprotno pa velja za aktivno blato, v katerem je preveč nitastih mikroorganizmov in ima zelo bister iztok. V tem primeru nastopi težava pri pretakanju efluenta skozi sistem za dezinfekcijo, saj s čiščeno vodo iz reaktorja uhajajo plavajoče plasti blata in pene ter povzročajo zaplete pri dezinfekciji.

3.2.3 Napihnjeno blato

Na KČN z aktivnim blatom so problemi z napihnjnim blatom zelo pogosti. Kot je bilo že omenjeno, se v tem primeru v usedalnem bazenu formirajo lahke flokule, ki se nepravilno usedajo in so iz sistema zlahka odplavljene s čiščeno vodo. Iztok je sicer zelo čist in bister, vendar se zapleti pojavijo pri dezinfekciji. VIB napihnjnega blata je višji od 150 ml/g. Gostota tega blata je precej nižja od »idealne« gostote blata, zato tudi povratni tok blata vsebuje nižjo koncentracijo mikroorganizmov. Zaradi tega je tudi v prezračevalnem bazenu manj mikroorganizmov, ki so potrebni za uspešno razgradnjo organskega onesnaženja. Vse te posledice napihnjnega blata zmanjšajo učinkovitost čiščenja na KČN (Dynamac Corporation, 1987).

3.2.3.1 Parametri, ki vplivajo na rast specifičnih vrst nitastih mikroorganizmov

Dosedanje raziskave kažejo, da obstaja korelacija med vzroki napihovanja blata in specifičnimi vrstami nitastih mikroorganizmov. Določeni okoljski pogoji na KČN favorizirajo rast določene vrste nitastega mikroorganizma. Preglednica 2 prikazuje parametre, ki vplivajo na rast specifične vrste nitastega mikroorganizma. Te korelacije so lahko uporabno orodje pri določitvi najverjetnejšega vzroka napihnjnega blata, pod pogojem, da se predhodno opravi identifikacija dominantne vrste mikroorganizma v napihnjnem blatu. S prepoznavanjem dejanskega problema ter z njegovo ustrezno kontrolo se lahko na KČN reši težave z napihnjnim blatom ter izboljša usedanje aktivnega blata (Dynamac Corporation, 1987; Čarman, 2011).

Preglednica 2: Parametri, ki vplivajo na rast specifičnih vrst nitastih bakterij (Čarman, 2011, str.31)

Vzrok pojava	Tip filamenta	Kontrola
nizek RK	tip 1701; <i>S. natans</i> ; <i>H. hydrossis</i>	kontrola: koncentracije kisika, F/M
nizek F/M	<i>M. parvicella</i> ; <i>H. hydrossis</i> ; <i>Nocardia sp</i> ; tip 021, 0041, 0675, 0092, 1803, 1851,	povečati: povratno blato, odvzem blata
Veliko lahko razgradljivih substratov (npr. enostavne org. kisline)	<i>Thiothrix I, II</i> ; tip 021, 0914, 0411, 0961	selektor (aeroben, anoksičen, aeroben), dodajanje odstraniti sulfid
prisotnost sulfida	<i>Thiothrix sp</i> ; <i>Beggiatoa</i> ; tip 021, 0914	pred aeracijska stopnja
pomanjkanje nutrientov	tip 021, 0041	dodajanje nutrientov glede na BPK
P	<i>S. natans</i> ; <i>H. hydrossis</i> ; <i>N. limicola III</i>	dodajanje nutrientov glede na BPK
N	<i>Thiothrix sp</i>	dodajanje nutrientov glede na BPK
nizek pH	glive	dvig pH
veliko masti/olj	<i>Nocardia sp</i> ; <i>M. parvicella</i> ; tip 1863	optimiranje primarne stopnje, bioaugmentacija

Glive se običajno na KČN razmnožijo zaradi nizkega pH. Za optimalno delovanje sistema z aktivnim blatom se priporoča vzdrževati pH med 7.0 in 7.5. Prisotnost gliv v aktivnem blatu kaže na alkalnost (kislost) odpadne vode. V tem primeru je pH v prezračevalnem bazenu pod 6.0 (Dynamac Corporation, 1987).

Nizke koncentracije RK v prezračevalniku pospešijo rast nitaste bakterije vrste *S. natans* ter bakterije tipa 1701. Če je v sistemu poleg nizke koncentracije RK tudi nizka obremenitev blata (nizek F/M), so pogoji ustrezni za rast bakterije *H. hydrossis*. Opravljene raziskave kažejo, da je v sistemu potrebno vzdrževati ustrezno razmerje F/M pri zadostni količini RK, saj se tako prepreči prekomerna rast tistih nitastih mikroorganizmov, ki so značilni za nizke koncentracije RK. Večje kot je razmerje F/M, višja

mora biti tudi koncentracija RK, da se prepreči napihovanje blata zaradi pomanjkanja RK (Dynamac Corporation, 1987).

Septične odpadne vode, ki vsebujejo veliko sulfidov, pospešijo rast bakterije *Thiothrix sp.* ter tipa 021. Te filamentozne bakterije lahko rastejo ob prisotnosti anorganskih reduciranih žveplovih komponent in organskih kislinah, ki nastajajo med fermentacijo septičnih odpadkov. V takih pogojih proizvajajo te bakterije intracelularne fosforjeve granulate, ki so dobra identifikacija stanja (Dynamac Corporation, 1987).

Prav tako je rast bakterij *Thiothrix spp.* ter tipa 021 pospešena zaradi premalo fosforjevih ali dušikovih spojin (nutrientov) v reaktorju. V takih pogojih te bakterije ne proizvajajo intracelularnih fosforjevih granulotov, ampak vsebujejo druge intracelularne granulate. Ko mikroskopski pregled blata potrdi prekomerno rast nitastih bakterij *Thiothrix spp.* in tipa 021, kar pomeni, da je v sistemu premalo hranil, se priporoča kontrola BPK in KPK na vtoku odpadne vode. V splošnem velja, da je v sistemu zadostna količina nutrientov, ko vtok odpadne vode vsebuje razmerje $BPK_5/N/P$, ki je enako 100/5/1. To razmerje hranil je lahko tudi nižje, ko je v sistemu starejše blato, saj lahko dovolj staro blato uspešno čisti tudi pri nižjih deležih hranil, saj se hranila v tem primeru porabljajo pri endogenem razpadu. Razmerje $BPK_5/N/P$ je koristno orodje pri ugotavljanju pomanjkanja hranil v sistemu, vendar je pri tem potrebno upoštevati naslednje ugotovitve (Dynamac Corporation, 1987):

- Razpoložljivost dušika in fosforja na vtoku odpadne vode mora biti zadostna, saj se ta dva elementa porabljata v metabolizmu heterotrofov.
- V vseh delih prezračevalnega bazena je potrebno zagotoviti ustrezno količino hranil za mikroorganizme, ki so potrebni predvsem pri večjih organskih obremenitvah.
- Vsak sistem čiščenja z aktivnim blatom ima svojo potrebo po hranilih, zato se priporoča kontrola razmerja $BPK_5/N/P$ na iztoku iz sistema tako, da se meri koncentracijo raztopljenih ortofosfatov, amonijaka (NH_3) in NO_3^- .
- NH_4^+ in NO_3^- so vir dušika, ki ga za rast potrebujejo mikroorganizmi aktivnega blata. Tisti NH_3 , ki se umetno doda v nitrifikacijski sistem kot dodatek nutrientov, se bo prav tako uspešno pretvoril v NO_3^- ter služil mikroorganizmom kot razpoložljivi vir dušika.

4 KONTROLA NAPIHJENEGA BLATA

Za uspešno usedanje blata je potrebno v sistemu vzdrževati ustrezno količino nitastih mikroorganizmov. Kljub temu, da je vsak sistem čiščenja edinstven in je zato najbolje iskati vzroke za napihovanje blata za vsak sistem posebej, obstajajo določene rešitve napihovanja, ki so splošne in se jih v tehnologiji čiščenja odpadnih voda pogosto uporablja. Tako se prekomerno rast nitastih mikroorganizmov lahko preprečuje s (Čarman, 2011):

- **Specifičnimi metodami**, kjer je najprej potrebno identificirati vrsto glavnega filamentoznega mikroorganizma, ki povzroča napihovanje blata. Te metode so nekoliko bolj zamudne in rezultati so vidni šele po določenem času.
- **Nespecifičnimi metodami**, ki so hitre, agresivne ter učinkovite za vse tipe nitastih mikroorganizmov, zato ni potrebna identifikacija filameta. Rezultati so vidni takoj po njihovi izvedbi.

Napihneno blata se priporoča analizirati in kontrolirati po naslednjih korakih (Dynamac Corporation, 1987):

- 1) Identificirati glavni nitasti mikroorganizem, ki je v določenem sistemu vzrok napihovanja blata.
- 2) Pred določitvijo glavnega vzroka napihovanja blata se dobro seznaniti z vsemi pogoji, ki povzročajo prekomerno rast specifične vrste nitastega mikroorganizma (preglednica 4). Pri tem pa je potrebno dosledno spremljati obratovalne pogoje čistilne naprave in glavni razlog napihovanja blata smiselno določiti.
- 3) Ugotoviti, ali se lahko glavni vzrok napihovanja blata odpravi takoj po uvedbi ustrezne kontrole, kot npr. takoj po uvedbi predkloriranja septičnih odpadnih vod, dodajanju manjkajočih nutrientov ali drugih prilagoditev obratovalnih parametrov KČN.
- 4) Ugotoviti, ali čistilni obrat zahteva večje spremembe v delovanju, ki bodo potrebovale več časa za izvedbo, kot npr. sprememba kapacitete prezračevalnika. V tem primeru se bo tudi proces usedanja stabiliziral šele po določenem času, saj bo zadrževalni čas blata v reaktorju daljši. Običajno se pričakuje, da se boljše usedanje razvije po vsaj treh zadrževalnih časih blata v reaktorju.

4.1 Specifične metode preprečevanja napihovanja blata

Pri teh metodah se poskuša ugotoviti glavni razlog, ki pospešuje rast nitastih mikroorganizmov na KČN. Potrebno je identificirati glavno vrsto nitastega mikroorganizma, ki povzroča napihovanje blata. Zato je potrebno redno spremljati kvaliteto aktivnega blata, da se ugotovi dejansko stanje in najverjetnejši razlog za ta pojav. Kvalitetna kontrola napihnjenega blata zahteva vsakodnevno opazovati aktivno blato pod mikroskopom, redno spremljati obratovalne pogoje KČN ter določiti tiste, ki so vzrok za rast specifičnega nitastega mikroorganizma (ali več njih). V naslednjem koraku se opravi tehniko barvanja (Gram, Neisser) ter na osnovi nebarvanih in barvanih preparatov se identificira, katera je dominantna vrsta nitastega mikroorganizma. Šele za tem, ko je glavna vrsta filamenta določena, se lahko prične s konkretnim iskanjem rešitve. Potrebno je torej najprej določiti glavni vzrok prekomerne rasti identificiranega filamenta ter šele za tem načrtovati primerno rešitev in pri tem seveda upoštevati tudi tehnične možnosti, ki jih na KČN imamo (Čarman, 2011).

Aktivno blato lahko opazujemo na različne načine (Čarman, 2011):

- **velikost/značilnost flokule:** 100× povečava; fazni kontrast
- **značilnosti filamenta:** 1000× povečava; imerzija
- **barvani preparati Gram ±, Neisser:** 1000× povečava; direktno brez faznega kontrasta

Pravilna identifikacija dominantnih vrst nitastih bakterij v aktivnem blatu zahteva veliko delovnih izkušenj na tem področju. Nitaste bakterije, ki so po Gram ± in Neisser barvanju vidne na mikroskopski sliki, se priporoča določevati s pomočjo knjige Jenkinsa in sod. (2004), saj so v njej shematično prikazani primeri vseh glavnih vrst nitastih bakterij, ki se v aktivnem blatu najpogosteje pojavljajo (Čarman, 2011).

4.1.1 Diferencialno barvanje

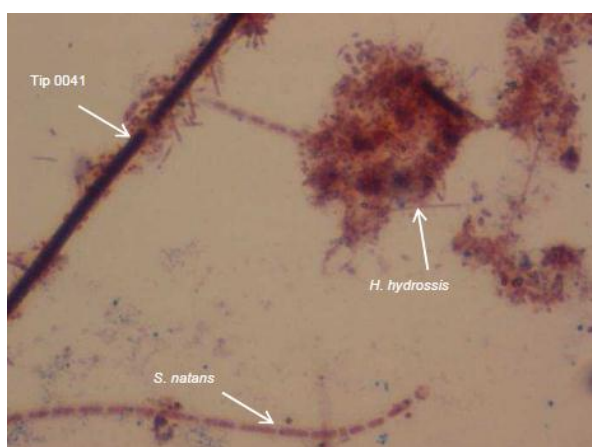
4.1.1.1 Barvanje po Gramu

Postopek diferencialnega barvanja po Gramu se izvrši po naslednjih korakih (Čarman, 2011):

- 1) Na objektno steklo nanesemo tanko plast vzorca, ki jo posušimo na zraku in ne na vročini.
- 2) Nanesemo barvilo kristal vijolično in počakamo 1 min.
- 3) Nanesemo jod in počakamo 1 min.
- 4) Speremo z 95% etanolom po kapljicah in ne s curkom ter osušimo z papirnato brisačo.
- 5) Nanesemo barvilo safranin in počakamo 1 min ter nato vse skupaj dobro speremo z destilirano vodo in na koncu osušimo s papirnato brisačo:

- 6) Uporabimo mikroskop s 1000× povečavo z imerzijo ter preučimo dobljeno mikroskopsko sliko, na kateri določimo vrste nitastih mikroorganizmov.

Na sliki 10 je prikazan primer mikroskopske slike aktivnega blata po Gram barvanju pri 1000× povečavi z imerzijo. S puščicami so označene vrste nitastih bakterij *H. hydrossis*, *S. natans* in tip 0041, ki so bile identificirane v aktivnem blatu. S pomočjo preglednice 2 lahko določimo, da so najverjetnejši vzroki za pojav identificiranih vrst: nizka koncentracija RK, nizek F/M ali prenizka koncentracija fosforjevih spojin. KČN s tako mikroskopsko sliko aktivnega blata bi priporočila kontrolo teh obratovalnih parametrov.



Slika 10: Mikroskopska slika aktivnega blata po Gram barvanju, 1000× povečava z imerzijo (Čarman, 2011, str.30)

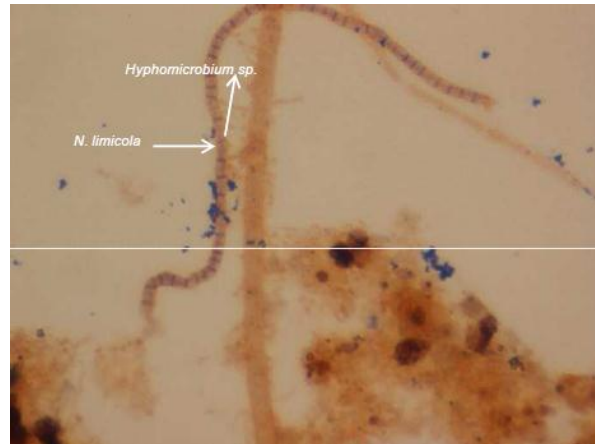
4.1.1.2 Neisser barvanje

Postopek diferencialnega Neisser barvanja se izvrši po naslednjih korakih (Čarman, 2011):

- 1) Na objektno steklo nanese tanko plast vzorca, ki jo posušimo na zraku in ne na vročini.
- 2) Nanesemo barvilo metilen modro in počakamo 30 s ter nato speremo z destilirano vodo.
- 3) Nanesemo barvilo Bismarck rjavo in počakamo 1 min ter nato dobro speremo z vodo (po kapljicah).
- 4) Uporabimo mikroskop s 1000× povečavo (imerzija) ter preučimo mikroskopsko sliko, na kateri določimo vrste nitastih mikroorganizmov (slika12).

Na sliki 11 je prikazan primer mikroskopske slike aktivnega blata po Neisser barvanju pri 1000× povečavi z imerzijo. Puščici označujeta dve dominantni vrsti nitastih bakterij *Hyphomicrobium sp.* ter *N. limicola*, ki sta bili identificirani v aktivnem blatu. V literaturi, ki sem jo preučila, nisem zasledila

veliko o nitasti bakteriji *Hyphomicrobium sp.* Iz preglednice 2 sem tako določila le najverjetnejši razlog za prekomerno rast vrste *N. limicola*, ki se večinoma pojavlja v okoljskih pogojih s premalo fosforjevih spojin. Zato bi KČN s tako mikroskopsko sliko aktivnega blata priporočila kontrolo nutrientov, predvsem fosforjevih spojin.



Slika 11: Mikroskopska slika aktivnega blata po Neisser barvanju, 1000× povečava z imerzijo (Čarman, 2011, str.30)

4.2 Nespecifične metode preprečevanja napihovanja blata

Te metode zmanjšajo rast nitastih mikroorganizmov v aktivnem blatu, vendar ne odpravijo vzroka napihovanja blata. Pri nespecifičnih metodah ni potrebna identifikacija filamenta, zaradi katerega se blato na KČN napihuje, saj so te metode hitre, agresivne ter učinkovite za vse tipe nitastih mikroorganizmov (Čarman, 2011). V praksi se te metode običajno izvaja tako, da se v sistem z aktivnim blatom vnaša določen odmerek močnega oksidanta, kot je npr. klor, vodikov peroksid ali ozon. Te kemikalije povzročijo odmiranje nitastih mikroorganizmov ter omejijo njihovo rast. Nitasti mikroorganizmi imajo večjo specifično površino na enoto svoje mase, zato so tudi bolj izpostavljeni oksidativnemu delovanju kemikalije kot drugi mikroorganizmi v aktivnem blatu. Na številnih čistilnih napravah so z dodajanjem močnih oksidantov v sistem biološkega čiščenja dosegli zadovoljive rezultate ter zmanjšali količino nitastih mikroorganizmov in omilili pojav napihnjene blata (Leeuwen, 1992).

Pri uporabi nespecifičnih metod se je potrebno zavedati, da se z njimi ne odpravi vzroka napihovanja blata, saj ta ostane neznan. Zato se tudi po prenehanju vnašanja oksidanta v aktivno blato, rast filamentov običajno ponovno poveča in težave z napihovanjem blata običajno ponovno pojavijo. Nespecifične metode je najbolje uporabiti le kot začasno rešitev, dokler se ne doseže rešitev s specifičnimi metodami. Slednje namreč zahtevajo veliko več časa, saj je potrebno dominantni nitasti mikroorganizem v aktivnem blatu najprej identificirati, nato ugotoviti vzrok njegove prekomerne rasti

ter izboljšati tiste pogoje, ki vplivajo na njegovo rast. Med tem časom se uporabi npr. kloriranje, ki na KČN začasno izboljša stanje (Lakay in sod., 1988).

4.2.1 Uporaba kemikalij

4.2.1.1 Kloriranje

Kloriranje se uporablja za kontrolo napihovanja blata že več kot pol stoletja. To metodo je populariziral predvsem Jenkins in sod. (2004). Preučevali so vpliv različnih koncentracij klora na napihnjeno blato. Klor so vnašali v sistem na različnih dozirnih mestih in sicer:

- v povratno blato,
- neposredno v prezračevalni bazen,
- pred prezračevalnim bazenom,
- med prezračevalnim in usedalnim bazenom.

Čeprav so Jenkins in sod. (2004) veliki zagovorniki te metode, ima le-ta tudi svoje pomanjkljivosti. Kloriranje je namreč zelo agresivna metoda, ki vpliva tudi na druge mikroorganizme, ki so v aktivnem blatu potrebni za pravilno kosmičenje in usedanje biomase. Uporaba klora vodi do nekaterih motenj kakovosti čiščene vode, saj klor (Leeuwen, 1992):

- vpliva na proces nitrifikacije,
- povečuje motnost in KPK čiščene vode,
- zmanjša biološko odstranjevanje fosfatov.

Zato je potrebno biti pri uporabi kloriranja, dobro seznanjen z lastnostmi in reaktivnostjo klora, upoštevati ustrezna navodila in poskrbeti za varnost pri doziranju te močne kemikalije v sistem, biti zelo previden pri določanju dozirnih koncentracij, aktivno blato tekom kloriranja mikroskopsko opazovati ter pravočasno zaznati morebitne spremembe, ki jih klor lahko v aktivnem blatu povzroči, spremljati obratovalne parametre KČN ter učinkovitost odstranjevanja organskih snovi in hranil, spremljati kvaliteto iztoka, itd. Dozirna koncentracija klora mora biti skrbno določena, saj ne sme biti prenizka, kot tudi ne previsoka. Klor more delovati čimbolj ciljno na filamente in pri tem ne škodovati drugim organizmom aktivnega blata. Šele tako se lahko razvije tudi boljše usedanje blata. V nadaljevanju je podrobneje opisan klor, njegove lastnosti, reaktivnost in uporaba ter nazadnje še postopek kloriranja, kjer so navedena vsa potrebna navodila, ki so pri uporabi te metode pomembna.

4.2.1.1.1 Lastnosti in reaktivnost klora

Gostota klora je 2.5 krat večja od gostote zraka, zato se klor zadržuje pri tleh. Je zelo dobro topen v vodi, saj se v 1 l vode raztopi kar 2.5 l klora pri temperaturi 20°C, vendar njegova topnost pada s temperaturo. Tališče ima pri -101°C, vrelišče pa že pri -34.7°C. Klor je nevenetljiv. Njegova molekula je dvoatomna (Cl₂), kjer sta atoma povezana z nepolarno kovalentno vezjo (Makarovič in sod., 2013).

Klor tvori spojine načeloma z vsemi elementi, razen z žlahtnimi plini, saj je premalo elektronegativen, da bi bil z njimi sposoben tvoriti spojine (Klorid, 2013). Zaradi svoje izredne reaktivnosti, se v naravi nahaja le v obliki spojin, nekaj prostega klora lahko najdemo le v vulkanskih plinih. V zemeljski skorji (vključno z morjem) je zastopan samo v 0.2% in sicer največ v obliki kloridov (Makarovič in sod., 2013).

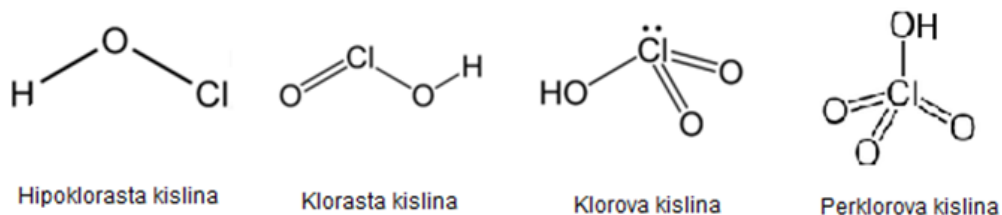
Klor v reakcijah s kovinami (npr. Na⁺) tvori soli, ki jih imenujemo kloridi. Najbolj poznana klorida sta natrijev klorid (NaCl) in magnezijev klorid (MgCl₂). Oba sta brezbarvna in močno vodotopna sol (Klor, 2013).

V reakcijah z vodikom tvori klor vodikov klorid (HCl), ki je pri sobni temperaturi brezbarven, jedek plin. HCl (g) je zelo koroziven. Ob prisotnosti vlage v zraku, klor z njo zelo hitro reagira in tako nastane bela para klorovodikove kisline HCl (aq). Vodne raztopine HCl (aq) so zelo močne kisline, ki so prisotne tudi v človeškem telesu, saj sodelujejo pri prebavljanju hrane v želodcu (Halogen, 2013).

Klor tvori naslednje vrste t.i. oksokislin (Halogen, 2013):

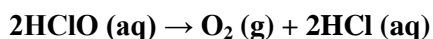
- HClO: klorova (I) ali hipoklorasta kislina,
- HClO₂: klorova (III) ali klorasta kislina,
- HClO₃: klorova (V) ali klorova kislina,
- HClO₄: klorova (VII) ali perklorova kislina.

Kemijska struktura klorovih oksokislin je prikazana na sliki 12.



Slika 12: Kemijska struktura klorovih kislin (Halogen, 2013)

Pri raztapljanju klora v vodi nastane raztopina zelenkaste barve z značilnim vonjem po kloru, ki jo imenujemo klorovica. Klorovica je kislina in močno oksidativna. Klor z vodo le delno reagira, v reakciji nastane zmes klorovodikove (HCl) in hipoklorove kisline (HClO). Hipoklorova kislina se nato razcepi na HCl in kisik, kjer je kisik glavni nosilec dezinfekcijskega učinka (Makarovič in sod., 2013):



Klor se v vodi lahko pojavlja kot (Forms of chlorine ..., 2013):

- **Prosti klor:** v vodi ga najdemo v obliki raztopljenega plina (Cl_2), hipoklorove kisline (HOCl) in/ali hipoklorovega iona (OCl^-).
- **Vezani klor:** nastane v vodi, ko prosti klor reagira z onesnaževali (NH_3 ter organskimi amini) in ga najdemo tako v naravnih vodnih okoljih kot tudi v onesnaženih vodah.

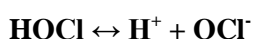
Skupni klor je vsota prostega in vezanega klora v vodi.

4.2.1.1.2 Uporaba klora

Klor je zelo učinkovito dezinfekcijsko sredstvo. Dezinfekcijska sredstva na bazi klora so močni oksidanti, ki so zelo toksični in zato v vodi povzročijo odmiranje potencialno škodljivih mikroorganizmov. Poznamo različne oblike dezinfekcijskih sredstev, ki se razlikujejo v protibakterijskemu učinku. Največji dezinfekcijski učinek ima prosti klor, ki je bistveno večji od vezanega klora. Prosti klor ima v primerjavi z vezanim klorom večji vpliv na mikroorganizme in bolj oksidira onesnaževala. Zato se za večji učinek kloriranja, v vodo običajno dodaja prosti klor. Slednji se v vodo lahko vnaša v obliki raztopljenega plina (Cl_2), ki v visokih koncentracijah izpodrine druge pline, v obliki vodne NaOCl (aq) ali pa v trdni obliki kalcijevega hipoklorita ($\text{Ca}(\text{OCl})_2$). Prosti klor se veže z vodo, dokler se ne doseže naslednje sorazmerje (Hach disinfection series ..., 2013):



Klor se v vodi lahko pojavlja v obliki asociirane hipoklorove kisline (HOCl) ali pa v obliki disociiranega iona vodika (H^+) in hipoklorovega iona (OCl^-). HOCl je zelo šibka kislina, ki hitro disociira na vodikov ion (H^+) in hipoklorov ion (OCl^-) (Hach disinfection series ..., 2013):



4.2.1.1.3 Kriteriji za uspešno kontrolo napihnjjenega blata s kloriranjem

Za učinkovito kontrolo napihnjjenega blata s kloriranjem priporočajo Jenkins in sod. (2004) upoštevati naslednja navodila:

- 1) Določiti ciljno vrednost usedanja blata, ki jo želimo doseči. Običajno se za kontrolni parameter upošteva VIB. S kloriranjem se zaključí takoj, ko je ta vrednost dosežena.
- 2) Kloriranje se uporabi samo takrat, ko je ciljna vrednost prekoračena.
- 3) Dozirne koncentracije klora morajo biti skrbno nadzorovane ter v sistem dozirane na mestu, kjer je mešanje učinkovito. Če je mešanje neustrezno, bodo nekateri deli sistema bili predozirani, drugi pa premalo klorirani. Neustrezno doziranje klora v sistem se kaže v motnem iztoku čiščene vode, zmanjšani učinkovitosti čiščenja ter porabi velike količine klora brez dosege zelenih rezultatov.
- 4) Klor se v sistem dozira na mestu, kjer je potreba po kloru minimalna, to je na mestih najnižje koncentracije organskih spojin. Prosti klor namreč zelo hitro reagira predvsem z NH_3 ter drugimi organskimi spojinami in v tem primeru se zmanjša njegov učinek na ciljne (filamentozne) mikroorganizme.
- 5) Klor se dozira v tiste dele sistema, kjer so izpolnjene priporočene vrednosti parametrov, ki so opisani v nadaljevanju.
- 6) Za oceno učinkovitosti kloriranja je potrebno opravljati zanesljive teste, v katerih se meri stopnjo usedanja blata, ki se jo običajno izrazi z VIB ter motnost končnega iztoka čiščene vode. Aktivno blato je med kloriranjem priporočeno tudi mikroskopsko opazovati, saj se tako lahko spremlja postopno spreminjanje filamentov ter pravočasno odkrije znake predoziranja, ki jih v mikroskopski sliki blata prepoznamo kot popolno odsotnost filamentoznih mikroorganizmov ali pa kot pojav poškodovanih, nepravilno sestavljenih flokul.
- 7) Jenkins in sod. (2004) poudarjajo pomen naslednjih parametrov pri uporabi kloriranja za kontrolo napihnjjenega blata:

- **Skupni odmerek mase T_m (ang. Overall mass dose rate):**

$$T_m = \frac{M}{MLSS} = \frac{M}{V_r \times X}$$

T_m skupni odmerek mase [g Cl_2 /kg MLSS dan]

M masa klora, ki jo vnesemo v reaktor v 1 dnevu [g]

V_r volumen reaktorja [m^3]

X koncentracija aktivnega blata [mg/l]

Ta parameter temelji na celotni masi suspendiranih snovi v mešanici odpadne vode (MLSS) in pove količino klora, ki jo je potrebno vnesti v reaktor z volumnom V_r , ne pove pa pogostosti kloriranja (F) ter koncentracije klora na dozirnem mestu (C).

- **Koncentracija klora na dozirnem mestu (C) (ang. chlorine concentration at the dose point):**

$$C = \frac{M_d}{V_d}$$

C koncentracija klora na dozirnem mestu [mg Cl_2 /l]

M_d masa klora na dozirnem mestu [mg]

V_dvolumen vode na dozirnem mestu [l]

- **Lokalni odmerek mase (T) (ang. local mass dose at the dose point):**

$$T = \frac{M_d}{MLSS_d}$$

T lokalni odmerek mase [g Cl_2 /kg MLSS]

M_d masa klora na dozirnem mestu [mg]

$MLSS_d$ masa aktivnega blata na dozirnem mestu [g]

Ta parameter pove količino klora, ki mora biti vnesena v določeni točki sistema za učinkovito kontrolo rasti nitastih mikroorganizmov. Dozirna koncentracija klora ne sme biti previsoka, saj tako en del blata ni izpostavljen pretirano visokim koncentracijam klora. Če se v sistem

vnaša previsoko koncentracijo klora, ima to škodljivi vpliv na flokule blata, ki so potrebne za pravilno usedanje biomase. Klor nanje škodljivo vpliva, saj jih lahko tudi popolnoma uniči in v tem primeru ne deluje na plavajoče plasti napihnjnega blata. Zato je potrebno, da se lokalni odmerek mase pravilno določi.

- **Pogostost kloriranja F (ang. frequency of exposure of activated sludge to chlorine dose):**

$$F = \frac{T_m}{T}$$

F..... pogostost kloriranja [dan^{-1}]

T_m skupni odmerek mase [$\text{g Cl}_2/\text{kg MLSS dan}$]

T..... lokalni odmerek mase [$\text{g Cl}_2/\text{kg MLSS}$]

Ta parameter pove, kolikokrat je aktivno blato v enem dnevu izpostavljeno kloru. V splošnem se priporoča, da je blato več kot enkrat dnevno izpostavljeno dozi klora.

Neethling in sod. (1985) so preučevali pomen zgoraj naštetih parametrov, ki vplivajo na učinkovitost kloriranja. Ugotovili so, da je pogostost kloriranja (F) odvisna od:

- različne stopnje rasti nitastih ter drugih mikroorganizmov v aktivnem blatu (t.i. potencial napihovanja blata),
- relativnega deleža nitastih ter drugih mikroorganizmov v aktivnem blatu in
- relativne stopnje preživetja nitastih ter drugih mikroorganizmov po kloriranju (t.i. razmerje preživelih mikroorganizmov)

Neethling in sod. (1985) so raziskali, da je pri kloriranju s prostim klorom, razmerje preživelih mikroorganizmov, ki so ga določili kot stopnjo porabe kisika v modelu, odvisno od dozirne koncentracije klora in koncentracije MLSS ter neodvisno od časa. Zato se pri kloriranju s prostim klorom priporoča za kontrolni parameter upoštevati lokalni odmerek mase (T).

Neethling in sod. (1985) so dokazali tudi, da prosti klor zelo hitro reagira z dušikovimi spojinami, zato ne more vplivati na rast nitastih mikroorganizmov, dokler niso oksidirane vse dušikove spojine v sistemu. To je predvsem pomembno, ko proces nitrifikacije in denitrifikacije v sistemu ni kompleten in odpadna voda še vedno vsebuje določen delež dušikovih spojin. V tem primeru se priporoča v

sistem dodajati NH_3 na tistih mestih, kjer tok klorirane vode ne teče, saj se na ta način fizično prepreči reagiranje prostega klora z NH_3 .

4.2.1.1.4 Dozirne koncentracije klora

Dozirne koncentracije klora temeljijo na skupnem odmerku mase (T_m), saj je za učinkovito kontrolo rasti nitastih mikroorganizmov, v sistem potrebno vnesti primerno količino oksidanta. Pri izbiri mesta doziranja se za kontrolni parameter upošteva koncentracija klora na dozirnem mestu (C), lokalni odmerek mase (T) in pogostost kloriranja (F). Pri doziranju klora v sistem biološkega čiščenja se priporoča upoštevati naslednja navodila (Jenkins in sod. 2004):

- 1) Na dozirnem mestu naj se v sistem vnaša od 1 do 15 g Cl_2 /(kg MLSS dan), kjer se skupni odmerek mase (T_m) dvigne nad 5 g Cl_2 /(kg MLSS dan) šele takrat, ko je v sistemu proces nitrifikacije kompleten. Na KČN se priporoča postopek kloriranja prilagoditi glede na učinkovitosti nitrifikacije, saj klor ne sme škodljivo vplivati na biološki proces odstranjevanja dušikovih spojin.
- 2) Pogostost kloriranja (F) naj bo večja od 2.5/dan.
- 3) Lokalna koncentracija klora (C) naj ne preseže 35 mg Cl_2 /l

Aktivno blato je potrebno postopoma navajati na klor. Predvsem takrat, ko se na KČN kloriranje prvič uporablja za kontrolo napihovanja blata, se priporoča začeti z nižjimi skupnimi odmerki mase T_m (2-3 g Cl_2 /kg MLSS dan), ki se jih viša postopoma. Če nizek odmerek klora ne izboljša lastnosti usedanja blata v roku 3 do 4 dni, se v naslednjih 3 do 4 dneh T_m počasi poviša na 4-5 g Cl_2 /(kg MLSS dan) ter nato na 5-6 g Cl_2 /(kg MLSS dan). T_m naj se nekoliko zniža, ko se usedanje blata izboljša do zelene stopnje. Med kloriranjem je potrebno dosledno spremljati lastnosti usedanja blata ter opazovati, pri katerem odmerku se razvije boljše usedanje. Pri tem naj se kot merilo za učinkovitost kloriranja upošteva ciljna vrednost kontrolnega parametra, ki je bil določen za oceno lastnosti posedanja (običajno VIB). Ko je ciljna vrednost kontrolnega parametra dosežena, se s kloriranjem preneha. Na KČN, kjer se problemi z napihovanjem blata rešujejo s kloriranjem, so s časom potrebni vedno manjši odmerki klora za dosego zelenega rezultata. Pri tem pa je zelo pomembno, da se kloriranje uporabi samo takrat, ko je ciljna vrednost kontrolnega parametra prekoračena (Lakay in sod., 1988).

4.2.1.2 Vodikov peroksid (H_2O_2)

H_2O_2 se je izkazal kot učinkovita kemikalija za kontrolo napihovanja blata na številnih KČN z aktivnim blatom. Ta kemikalija vpliva na nitaste mikroorganizme, uničuje njihovo obliko in jih postopoma deformira. H_2O_2 se lahko dozira (Dynamac Corporation, 1987):

- neposredno v prezračevalni bazen,
- v povratno blato, ki se iz usedalnega bazena vrača nazaj v prezračevalni bazen,
- v mešanico tekočine, ki teče med prezračevalnim in usedalnim bazenom.

Tudi pri uporabi H_2O_2 je potrebno zagotoviti ustrezno mešanje, saj se na ta način omogoči ustrezen stik med vneseno kemikalijo in ciljnim mikroorganizmi. Včasih so za doseg želenega rezultata potrebni višji odmerki H_2O_2 ter daljši kontaktni časi kot pri kloriranju, kar zahteva tudi višje stroške pri uporabi te kemikalije. Vendar ima H_2O_2 v primerjavi s klorom prednost, da v sistemu ne povzroči nobenih strupenih stranskih produktov, saj se na koncu pretvori le v vodo in kisik (Dynamac Corporation, 1987).

H_2O_2 ne vpliva na koristne mikroorganizme, ki so v aktivnem blatu odgovorni za odstranjevanje organskega onesnaženja ter hranil, saj imajo le-ti manjšo specifično površino od nitastih bakterij. Torej ustrezno določeni odmerki H_2O_2 , ki seveda ne smejo biti previsoki, oksidirajo najprej tiste organizme, ki imajo večjo specifično površino, torej filamente. Zato so koristne bakterije v prednosti pri vnašanju te kemikalije v sistem. To je potrdil tudi Leeuwen (1992), ki je preučeval vpliv H_2O_2 tako na koristne, kot tudi na nitaste mikroorganizme. Ugotovil je, da ta kemikalija nima škodljivega vpliva na koristne mikroorganizme, saj so le-ti ostali neprizadeti tudi pri zelo visokih koncentracijah H_2O_2 (preko 100 g/kg MLSS·dan), medtem ko so na nitaste mikroorganizme vplivali že veliko nižji odmerki. Delež nitastih mikroorganizmov se je zmanjšal že pri koncentraciji 8 g H_2O_2 /kg MLSS·dan. Ta odmerek je v sistemu zmanjšal VIB iz preko 200 ml/g na 140 ml/g.

Pri uporabi H_2O_2 se lahko včasih zgodi, da se v sistemu med uničevanjem filamentoznih mikroorganizmov porabi veliko razpoložljivega kisika. To lahko v določenih primerih celo izboljša obratovalne pogoje KČN, predvsem takrat, ko je napihnjeno blato posledica nizke potrebe po kisiku. Vsekakor pa je za doseg želenih rezultatov potrebno, da H_2O_2 deluje na ciljne (nitaste) mikroorganizme, ki jih oksidira ter šele za tem se lahko tudi sam sebe reducira (Dynamac Corporation, 1987).

4.2.1.3 Ozon

Ozon je alternativni oksidant, ki se za dezinfekcijo vode uporablja na številnih obratih za čiščenje tako odpadne, kot tudi pitne vode. Je močnejši oksidant od klora, ki vodi ne viša slanosti ter v sistemu ne pušča strupenih ostankov. V študiji Leeuwena (1992) se je ozon izkazal kot učinkoviti oksidant pri kontroli napihnjnega blata, poleg tega je njegova uporaba izboljšala tudi kakovost iztoka čiščene vode.

Leeuwen (1988a) je na pilotni napravi v enem zadrževalnem času blata dosegel zmanjšanje VIB iz 180 ml/g na manj kot 100 ml/g pri koncentraciji ozona 2 g/kg MLSS·dan. Ozon ni vplival na proces odstranjevanja hranil, saj v sistemu ni povzročil večjih posledic niti pri višjih odmerkih (30 g/kg MLSS·dan).

4.2.1.4 Poli-aluminijev klorid (PAK)

V zadnjih letih se je kot potencialna rešitev napihovanja blata razširila uporaba PAK-a. Ta metoda se je najprej uveljavila v Holandiji, kjer so ugotovili, da tiste KČN, ki v aktivnem blatu vsebujejo določeno koncentracijo aluminija, imajo zelo redko težave z napihovanjem blata. Sledile so številne raziskave o vplivu PAK-a na aktivno blato. Njegova uporaba je zelo preprosta, saj na KČN od opreme zahteva le dozirno črpalko ter posodo za njegovo shranjevanje. PAK se običajno vnaša v povratno blato. Prednost te kemikalije je, da vpliva samo na ciljne (nitaste) mikroorganizme in ne škoduje ostali mikrobnii flori, ki iz odpadne vode odstranjuje organske spojine in hranila. Polni učinek PAK-a se ne doseže takoj po njegovem vnosu v aktivno blato, ampak dva do štiri tedne za tem. Poleg tega, da PAK zmanjša napihovanje blata, vpliva tudi na učinkovitejše odstranjevanje fosforjevih spojin (Hansen in Smith, 2009).

Hansen in Smith (2009) sta predstavila nekaj KČN, ki jim je uporaba PAK-a izboljšala proces usedanja ter zmanjšala napihovanje blata do sprejemljivih stopenj. Na vseh čistilnih napravah je bilo napihovanje blata posledica prekomerne rasti nitastih mikroorganizmov, predvsem vrste *M. parvicella* ter tipa 021N. Z dodajanjem PAK-a so uspešno reducirali rast filamentov. V splošnem se priporoča vnašati 2-3 g Al/kg MLSS·d v sistem, ki pa za dosego polnega učinka more presežati 40-50 mg Al/kg MLSS·d. Uporaba PAK-a prinaša največje rezultate, če se njen odmerek prilagodi za vsak sistem čiščenja zase, kar velja tudi pri uporabi drugih kemikalij.

Vnašanje PAK-a ima dva vpliva na aktivno blato (Hansen in Smith, 2009):

- 1) Takoj po njegovem vnosu v sistem, se spremenijo površinske lastnosti flokul zaradi elektrostatičnih sil, ki jih povzročijo aluminij. Lastnosti aktivnega blata se izboljšujejo, saj so flokule vse kompaktnjše in se bolje usedajo.
- 2) Številne vrste nitastih mikroorganizmov živijo na dolgih verigah maščobnih kislin. Aluminij lahko bolje obori te maščobne kisline kot npr. železo, zato jih je tudi v sistemu po vnosu PAK-a vedno manj. Več maščobnih kislin kot jih aluminij obori, manj hrane bodo imeli nitasti mikroorganizmi in težje bodo rastle. Predvideva se, da aluminij reagira z maščobnimi kislinami ali kar direktno z encimi, ki jih proizvajajo nitasti mikroorganizmi. Na ta način je razgradnja maščobnih kislin prekinjena in nitasti mikroorganizmi so prizadeti že po nekaj tednih doziranja PAK-a.

Uporaba PAK-a se je v številnih primerih izkazala kot učinkovita metoda kontrole prekomerne rasti nitastih mikroorganizmov ter zmanjšala težave z napihnjem blatom. Vendar pa razlog za njegov uspeh še vedno ni dokončno raziskan. Predvideva se, da sta zgoraj opisana vpliva aluminijeve soli na aktivno blato, najverjetnejše teoretično ozadje posledicam, ki jih uporaba te kemikalije povzroči v sistemu (Hansen in Smith, 2009).

4.2.2 Preventivne metode preprečevanja napihovanja blata

4.2.2.1 Selektor

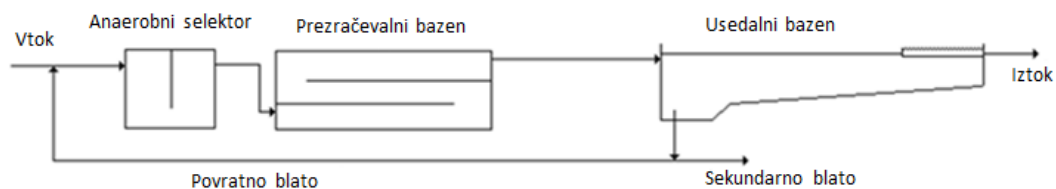
Uvedba selektorja v sistem biološkega čiščenja je preventivna metoda zmanjševanja rasti nitastih mikroorganizmov. Selektor omogoči srečanje povratnega blata s svežo odpadno vodo in tako izboljša potek biološkega čiščenja ter zagotovi biološko selekcijo tistih mikroorganizmov, ki so potrebni za pravilno kosmičenje biomase. V selektorju se razgradljiva organska frakcija hitro odstrani iz odpadne vode, saj se z encimskimi mehanizmi hitro pretvori v intracelularne produkte. Poleg tega selektor omogoča tudi selekcijo polifosfatnih mikroorganizmov (Kleva Švagelj, 2012a).

Z različnimi zasnovami in obratovalni pogoji KČN lahko vplivamo na selekcijo koristnih in nekoristnih mikroorganizmov. Z dobrim poznavanjem fizioloških in fizičnih lastnosti mikroorganizmov, lahko pospešimo ali pa omejimo rast določenih vrst. Kot je bilo že omenjeno, imajo nekateri mikroorganizmi, predvsem bakterije, v procesu biološkega čiščenja pomembno vlogo, saj iz odpadne vode odstranjujejo organsko onesnaženje ter pri tem rastejo in se povezujejo v kosme, ki se večajo in usedajo. Te bakterije so koristne, zato so na KČN zaželeni v čimvečjih količinah. Nasprotno pa velja za nitaste bakterije, ki imajo manjšo vlogo v procesu biološkega čiščenja, zato jim je potrebno

čimbolj omejit pogoje za rast, saj na KČN niso zaželeni v prevelikih količinah. Uvedba t.i. mikrobiološkega selektorja je tako ena izmed možnih metod selekcioniranja bakterij (Understanding ..., 2013a).

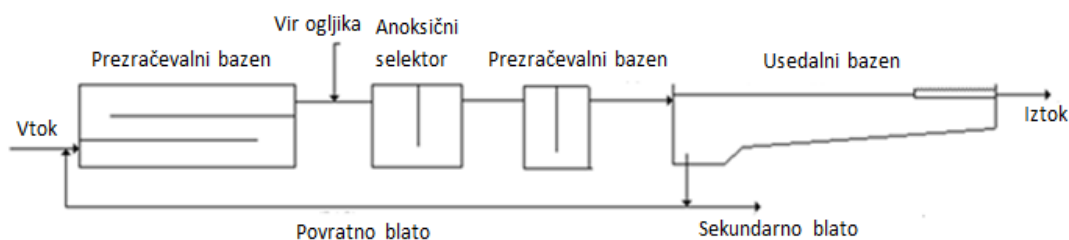
Selektorji lahko obratujejo pri aerobnih, anaerobnih ali anoksičnih pogojih. Razlikujejo se glede na koncentracijo raztopljenega kisika v njih. Poznamo naslednje vrste selektorjev (Understanding ..., 2013a):

- **Aerobne:** v vseh delih selektorja je koncentracija raztopljenega kisika večja od 2 mg/l. Mikroorganizmi porabljajo za oksidacijo organskega onesnaženja lahko dosegljivi vir kisika, ki ga pretvorijo v energijo, vodo in CO₂. Pri tem nastaja tudi nova biomasa ter koncentracija BPK se v selektorju niža.
- **Anaerobne:** v selektorju ni nobenega vira kisika, saj ni ne prostega ne raztopljenega kisika, kot tudi ne vezanega kisika v NO₂⁻ in NO₃⁻. Na sliki 13 je prikazana shema delovanja enostopenjske ČN z aktivnim blatom, ki ima pred prezračevalnim bazenom nameščen anaerobni selektor.



Slika 13: Shema enostopenjske ČN z anaerobnim selektorjem (Understanding ..., 2013b)

- **Anoksične:** v njih ni raztopljenega kisika, vendar je kisik prisoten v kemijsko vezani obliki, npr. v NO₂⁻ in NO₃⁻. Na sliki 14 je prikazana shema delovanja ČN z aktivnim blatom, ki ima med prvim in drugim prezračevalnim bazenom nameščen anoksični selektor za denitrifikacijo. Pred anoksičnim selektorjem se priporoča dodajati vir C, saj se tako optimizira delovanje selektorja.



Slika 14: Shema ČN z anoksičnim selektorjem (Understanding ..., 2013b)

Kateri selektor izbrati je odvisno od cilja, ki ga želimo doseči. Na KČN se selektorje v glavnem uporablja za (Understanding ..., 2013a):

- kontrolo napihovanja blata,
- redukcijo dušikovih (predvsem NO_3^-) in fosforjevih spojin iz odpadne vode.

Ker so nitaste bakterije večinoma striktni aerobni organizmi, se za kontrolo njihove prekomerne rasti običajno uporabljajo anoksični in anaerobni selektorji, saj so v njih pogoji optimalnejši za razvoj koristnih bakterij (Mangrum, 1998). Na KČN se lahko anaerobni in anoksični selektor tudi hkrati uporabita.

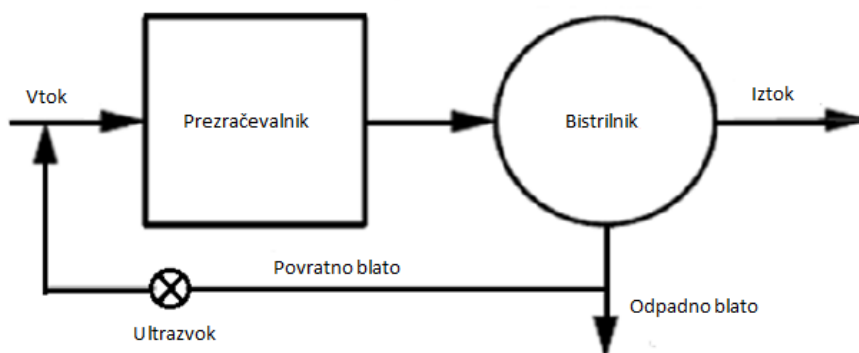
Glavni cilj selektorja je asimilacija in/ali adsorbpcija čimvečje količine topnih in netopnih organskih snovi v, oz. na površino mikroorganizmov v čimkrajšem možnem času, saj se tako počasi rastočim nitastim mikroorganizmom omeji vir hrane v prezračevalnem bazenu, oz. se omogoči rast hitreje rastočih, kompaktnjših bakterij. V selektorju se v metabolizmu mikroorganizmov najprej uporabijo hlapne maščobne kisline ter druge oblike lažje razgradljivega organskega onesnaženja. Večja kot je BPK v selektorju, bolj bodo koristne bakterije bile uspešne v kompeticiji za hrano z nitastimi bakterijami. Zato so selektorji običajno načrtovani za visoko stopnjo organske obremenitve, saj v takih pogojih koristne (kompaktne in zato tudi lažje usedljive) bakterije rastejo hitreje kot nitaste bakterije. Višja kot je torej BPK v selektorju, hitreje se bodo koristne bakterije razvijale. Nasprotno pa velja za nizke stopnje biološke obremenitve, ki izpodbudijo rast nitastih bakterij. Zato so za rast koristnih bakterij in redukcijo nitastih bakterij, potrebni manjši, bolj obremenjeni reaktorji. Takrat so aktivnejše koristne bakterije, ki tudi topne organske snovi hitreje pretvarjajo v intracelularne produkte. Visoka stopnja mikrobiološke presnove ter hitra tvorba intracelularnih produktov sta ključna mehanizma, ki koristnim bakterijam omogočata hitrejši vnos substrata (Mangrum, 1998; Understanding..., 2013a).

Povzamem lahko, da je biološki izbor, ki v selektorju poteka na osnovi različne kinetike rasti koristnih in nekoristnih (nitastih) bakterij, učinkovita preventivna metoda preprečevanja napihovanja in penjenja blata. Na ta način se omeji rast nitastih mikroorganizmov, ki so pri večjih organskih obremenitvah manj uspešne v boju za hrano od koristnih mikroorganizmov. Selektor torej pospeši pogoje za rast koristnih bakterij ter omeji pogoje za rast nitastih bakterij, kar se kaže v izboljšani strukturi aktivnega blata, ki se tudi bolje useda in ima manj pogoste težave z napihovanjem.

4.2.3 Fizikalno-mehanski postopki

4.2.3.1 Uporaba ultrazvoka

Plavajoče plasti napihnjnega blata na površini bazenov KČN imajo nitkasto, razvejano strukturo, v katero se ujame veliko plinskih mehurčkov, ki pospešijo dviganje blata na površje. Ena izmed novejših tehnik kontrole teh dolgih mrež filamentov je uporaba ultrazvoka. Za razbitje nitaste strukture napihnjnega blata je potrebno le malo vnesene energije. V praksi se z ultrazvokom obseva običajno tok povratnega blata, ki se vrača iz sekundarnega usedalnika, oz. bistrilnika nazaj v proces biološkega čiščenja, kot je prikazano na sliki 15. Na ta način se zmanjša količina plavajočih plasti blata, ki povzročajo zaplete tudi v iztoku čiščene vode iz sekundarnega usedalnika. Na KČN, kjer se povratno blato obseva z ultrazvokom, večinoma ni potrebna uporaba kemikalij, kot je npr. klor, vodikov peroksid in ozon. Te močne oksidante se v proces biološkega čiščenja vnaša le v skrajnih primerih, ko je napihnjeno blato toliko razvito, da ga je težko uspešno kontrolirati samo z ultrazvokom (Wünsch in sod., 2002).



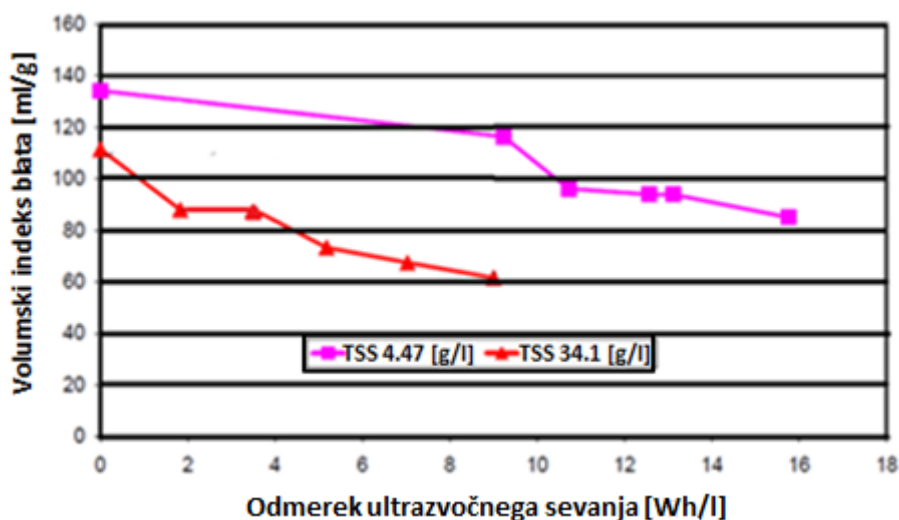
Slika 15: Shematični prikaz uporabe ultrazvoka na KČN z aktivnim blatom

Nizko frekvenčni ultrazvočni valovi povzročijo nastanek visokih lokalnih strižnih napetosti, ki razbijejo dolge mreže nitastih mikroorganizmov. V tekočini se s kavitacijo ustvarijo močni tokovi, ki v njej zvišajo mehanske strižne napetosti, poleg tega se osvobodijo tudi zračni mehurčki, ki so ujete v mrežo filamentov. Dolge verige filamentov so zaradi svoje velike specifične površine bolj izpostavljene strižnim silam kot flokule. Nanje deluje ultrazvočno sevanje, ki jih razbija na manjše dele. Pri tem se spreminjajo tudi mehanske lastnosti flokul, ki se manjšajo in postajajo bolj kompaktne. Njihovo usedanje je boljše, saj niso več ujete v dolge verige nitastih mikroorganizmov. Flokule so po ultrazvočnem sevanju manjše in kompaktnejše, kar izboljša lastnosti usedanja blata. Ultrazvok torej izboljša strukturo aktivnega blata, saj se pri ustrezni frekvenci in času izpostavitve, delež nitastih mikroorganizmov v sistemu zmanjšuje in mehanske lastnosti flokul izboljšujejo, kar se kaže v boljši flokulaciji in usedanju biomase (Wünsch in sod., 2002).

King in Forster (1990) sta preučevala vpliv ultrazvočnega sevanja na lastnosti aktivnega blata. VIB se je v njuni študiji zmanjševal med višanjem ultrazvočne energije na 25 Wh/l. VIB se je pri 15 Wh/l zmanjšal za 40% glede na začetno vrednost. Pri hitrem dvigu ultrazvočne energije iz 15 na 25 Wh/l, se je VIB stabiliziral in tudi mikroskopska slika blata je pokazala veliko več prostih mikroorganizmov.

Tudi Jørgensen in Kristensen (1996) sta potrdila ultrazvok za potencialno metodo kontrole rasti nitastih mikroorganizmov. V laboratorijskih poskusih sta dokazala, da je učinek ultrazvoka na opazovano nitasto bakterijo vrste *Microthrix parvicella* velik, saj se je le-ta po ultrazvočni obdelavi z 0.5 Wh/l in času izpostavitve 2 s, pojavljala v veliko manjših količinah in dolžinah. Nitasta bakterija tipa 021N pa se je bila v študiji odpornejša na ultrazvočne valove, saj je za doseg enakovrednih rezultatov kot *Microthrix parvicella*, zahtevala višji odmerek ultrazvoka in daljši čas izpostavitve. Mikroskopska slika filamenta tipa 021N je pokazala, da je veliko debelejši in robustnejši v primerjavi s filamentom vrste *Microthrix parvicella*, kar je najverjetnejši vzrok za različno ultrazvočno odpornost teh dveh opazovanih vrst mikroorganizmov. Za doseg ustreznih rezultatov je na vsaki KČN potrebno odmerke in čas ultrazvočnega sevanja prilagoditi morfološkim in mehanskim lastnostim filamentov (Wünsch in sod., 2002)

Wünsch in sod. (2002) so se fokusirali na zasnovo optimalne ultrazvočne konfiguracije sistema, ki bo na trajnostni način rešila ali pa vsaj zmanjšala prekomerno rast nitastih mikroorganizmov. Ultrazvok se uporablja s ciljem, da se mreže filamentov razbijejo z najnižjo možno energijo. Zagotoviti je potrebno, da tok povratnega blata ne povzroči v prezračevalnem bazenu ponovne rasti nitastih mikroorganizmov, zato se tok povratnega blata ultrazvočno obdela. Wünsch in sod. (2002) so za laboratorijske poskuse uporabili ultrazvok z odmerki sevanja od 2.6 do 15 Wh/l. Čas izpostavitve blata ultrazvočnemu sevanju se je gibal med 10 in 90 s. Vpliv ultrazvočnega sevanja na blato so mikroskopsko preučevali, lastnosti usedanja blata pa kontrolirali z VIB. Graf na sliki 16 prikazuje VIB pri različnih odmerkih ultrazvočnega sevanja. Iz njega je razvidno, da so bili pri odmerku sevanja 9 Wh/l najboljši rezultati doseženi na aktivnem blatu s koncentracijo celotnih suspendiranih snovi (TSS) 34 g/l. Pri tem odmerku se je VIB znižal iz 111 ml/g na 62 ml/g.



Slika 16: Odvisnost VIB od odmerka ultrazvočnega sevanja (Wusch in sod., 2002, str. 207)

Z ultrazvokom se lahko uspešno kontrolira prekomerno rast nitastih mikroorganizmov. Večja kot je koncentracija TSS v aktivnem blatu, bolj je ta metoda učinkovita in nižji odmerki sevanja so potrebni za izboljšanje usedanja blata. Zgoraj predstavljeni rezultati laboratorijskih analiz se lahko razlikujejo od dejanske uporabe v praksi, saj so za izboljšanje stanja v praksi običajno potrebni višji odmerki ultrazvočnega sevanja kot v laboratorijskih modelih. Odmerke ultrazvočnega sevanja je najbolje prilagoditi vsakemu sistemu zase ter pri tem aktivno blato mikroskopsko opazovati in ugotoviti, kdaj se razvije boljše usedanje. Mikroskopska slika aktivnega blata je najprimernejše orodje za oceno vpliva, ki ga ima ultrazvok na mikroorganizme, saj daje natančnejše informacije o strukturi aktivnega blata, kot jih dajejo kvantitativni parametri usedanja (VIB).

4.2.3.2 Posnemanje plavajočih plasti napihnjene blata

Plasti plavajočega napihnjene blata, ki ga sestavljajo dolge mreže filamentov, med katere se ujamejo tudi zračni mehurčki in druge SS, so stabilne in ustvarjajo idealne pogoje za še dodatni razvoj filamentov. Lahko dostopni vir hrane in septični pogoji v njih so idealni pogoji za še dodatno rast nitastih mikroorganizmov, zato se stanje samo še poslabšuje, če se pravočasno ne ukrepa. Eden izmed možnih ukrepov za zmanjšanje pojava napihnjene blata je tudi njegovo fizično odstranjevanje. Plavajoče plasti je dobro redno odstranjevati, kar omogoča tudi nemoten potek dezinfekcije iztoka. Napihnjeno blato, ki iz sistema izhaja s čiščeno vodo, zmanjša namreč učinkovitost dezinfekcije, oziroma jo lahko tudi popolnoma onemogoči. Plavajoče plasti filamentoznega blata, ki se peni in zadržuje na površini, je torej potrebno čimbolj v celoti redno odstranjevati. Na tržišču je veliko različnih proizvodov, ki omogočajo posnemanje filamentozne pene iz površine bazenov. Kot primer naprave, ki posnema napihnjeno blato, je v nadaljevanju opisana naprava Corgin Scum Harvester, ki je leta 1998 dobila Ernst Kuntz-ovo nagrado za optimizacijo procesa čiščenja odpadnih vod.

4.2.3.2.1 Corgin Scum Harvester

Corgin Scum Harvester je nemški proizvod, ki se po Evropi uporablja že več kot 10 let. Naprava je oblikovana tako, da omogoča selektivno odstranjevanje plasti napihnjnega blata. Izpopolnjena zasnova naprave omogoča njeno optimalno delovanje ter izboljšuje učinkovitost čiščenja. Poleg tega je tudi njena inštalacija in uporaba zelo preprosta in ne zahteva visokih stroškov (Corgin Scum Harvester, 2013).

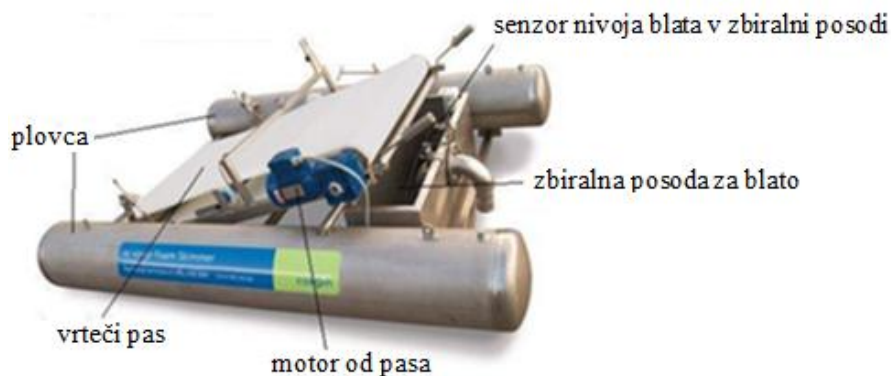
Gre torej za učinkovito avtomatično napravo, ki odstranjuje peno in plavajoče plasti napihnjnega blata iz površine bazenov ČN. Naprava ima na sredini posebno oblikovani pas, ki med vrtenjem posnema iz površja plavajoče plasti. Pas poganja motor, ki ima možnost nastavitve hitrosti vrtenja, kar omogoča prilagoditev hitrosti posnemanja glede na lastnosti plavajočih plasti. Tok vode se mora gibati v nasprotni smeri, kot se pas vrti. Pas je na vsaki strani podprt s plavajočim plovcem, ki je zgrajen iz kvalitetnega nerjavečega jekla. Naprava je tako zasnovana, da se med vrtenjem pasu, blatu odstranjuje voda (slika 17), kar olajša njegovo nadaljnjo obdelavo. Naprava ima kapaciteto predelati tudi do 80 m³ zgoščenega blata na dan. Zgoščeno blato, ki je sestavljeno iz filamentov, odmrlih celic, beljakovin, ipd., pade iz najvišje točke pasu preko prelivnega robu v zbiralno posodo. Ta posoda je opremljena s senzorjem, ki meri nivo posnetega blata in zazna, ko je posoda polna. Posoda se avtomatično izprazni in nadaljuje z odstranjevanjem plavajočih plasti. Napravo kontrolira zelo prefinjeni elektronski nadzorni sistem, kar pa ne otežuje njene preprostosti za uporabo. Omogoča tudi nadzor na daljavo (Corgin Scum Harvester, 2013).



Slika 17: Plavajoča naprava Corgin Scum Harvester (levo) in odstranjevanje vode na vrtečem pasu (desno) (Corgin Scum Harvester, 2013)

Glavni sestavni deli naprave so torej pas, ki se vrti v nasprotni smeri gibanja vode, motor, dva plovca, zbiralna posoda in senzor nivoja zbrane mase v posodi. Sestavni deli naprave so prikazani na sliki 18. Zmogljivost naprave se lahko tudi spreminja glede na želeni učinek. Ima nameščen tudi sistem za

pravočasno odkrivanje napak, ki je zelo občutljiv in zagotavlja, da se naprava ustavi, ko se pojavi kakšna večja motnja. Corgin Scum Harvester deluje pri napetosti trifaznega toka 415 V (Corgin Scum Harvester, 2013).



Slika 18: Sestavni deli naprave Corgin Scum Harvester (Beneficial ..., 2009, str. 5)

Na ČN lahko Corgin Scum Harvester posnema blato iz površine prezračevalnih bazenov, bistrilnikov ali SBR bazenov. Uporablja se ga tudi v procesih čiščenja pitne vode, kot tudi v oksidacijskih jarkih, lagunah, razplinjevalnih kanalih, itd. Njegova uporaba se na ČN priporoča zaradi naslednjih koristi (Corgin Scum Harvester, 2013):

- manjši VIB, saj se blato bolje in hitreje useda,
- kvalitetnejši iztok čiščene vode,
- povečan prenos kisika in manjša potreba po prezračevanju bazenov,
- višji učinek čiščenja,
- energijsko varčna naprava,
- manj nitastih mikroorganizmov v sistemu,
- nižji stroški odstranjevanja odpadnega blata,
- boljša kvaliteta biomase,
- manj težav z okvarami opreme, ki nastanejo zaradi napihnjnega blata,
- manjša potreba po dodajanju kemikalij v sistem,
- manj filamentov v povratnem blatu → prekinjeno je kroženje nitastih mikroorganizmov (iz povratnega blata nazaj v bazene).

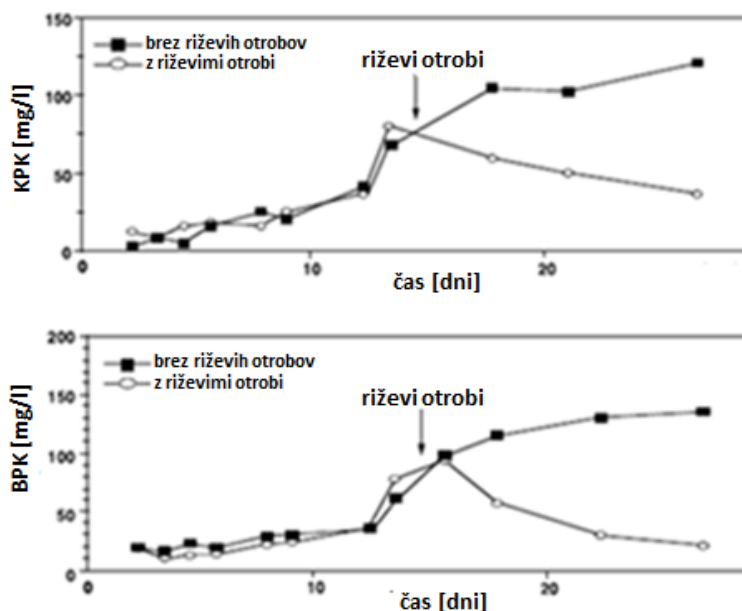
Corgin Scum Harvester je znanstveno dokazan izdelek, ki je sestavni del modernega in uspešnega delovanja ČN. V praksi dosega izjemne rezultate in njegova uporaba se je iz Evrope razširila po celem svetu. Predvsem v Avstraliji je zelo priznan in pogosto uporabljen proizvod, ki uspešno rešuje težave z napihnjnim blatom na obratih za čiščenje odpadnih vod.

4.2.4 Alternativne rešitve za borbo pred napihnjnim blatom

4.2.4.1 Uporaba riževih otrobov

Ta metoda mi je zelo pritegnila pozornost, saj je naravi prijazna metoda, ki zmanjša napihovanje blata brez dodajanja nobene kemikalije, ki bi lahko imela škodljivi vpliv na vodne ekosisteme, zato je uporaba te metode za okolje popolnoma neškodljiva.

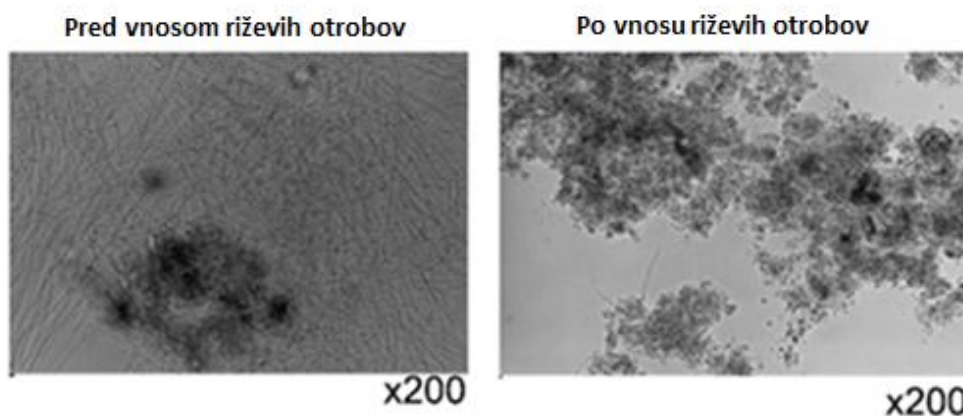
Adachi in sod. (2005) so dokazali, da je dodajanje riževih otrobov v prezračevalni bazen učinkovita metoda kontrole napihnjnega blata. Raziskovalci so riževe otrobe vnašali v prezračevalni sistem, ko je mikroskopska slika aktivnega blata potrdila, da je v sistemu vzrok napihovanja blata prevelika količina nitastih mikroorganizmov, kar je potrdil tudi nadpovprečno visok VIB. V nekaj dneh po vnosu riževih otrobov, se je VIB postopoma izboljšal iz začetnih 300 do 400 ml/g na približno 90 ml/g. Spremenila sta se tudi BPK in KPK v končnem iztoku čiščene vode, ki sta se po vnosu riževih otrobov zmanjšala v primerjavi s kontrolnim modelom, ki ni imel dodanih riževih otrobov. KPK se je po vnosu riževih otrobov zmanjšala na slabih 50 mg/l, BPK pa na 20 mg/l, kar je razvidno tudi iz grafa na sliki 19, ki prikazuje spreminjanje KPK in BPK pred in po vnosu.



Slika 19: Spreminjanje KPK (zgoraj) in BPK (spodaj) v iztoku čiščene vode brez riževih otrobov in z riževimi otrobi (Adachi in sod., 2005, str. 553)

V študiji so tudi ugotovili, da riževi otrobi nimajo škodljivega vpliva na pH in količino SS. Meritve obeh parametrov v iztoku, ki je imel dodane riževe otrobe, so kazale manjša nihanja pH in SS, kot so jih kazale meritve kontrolnega modela. Preučevali so tudi vpliv riževih otrobov na koncentracijo

MLSS. Po vnosu se je MLSS postopoma zvišala iz 3300 na 4000 mg/l. Glede na dobljeni rezultat so postavili hipotezo, da riževi otrobi v sistemu pospešijo rast koristnih bakterij ter to preverili še z laboratorijskimi mikroskopskimi poskusi. Mikroskopska slika aktivnega blata je potrdila hipotezo, da riževi otrobi pospešijo rast koristnih mikroorganizmov, kar izboljša usedanje aktivnega blata. Aktivno blato je po vnosu riževih otrobov vsebovalo tudi veliko manj nitastih mikroorganizmov. Na sliki 20 je prikazana mikroskopska slika aktivnega blata pred in po vnosu riževih otrobov. Iz nje je razvidno, da so bili po vnosu kosmi večji, kompaktnější ter so vsebovali veliko manj nitastih mikroorganizmov. Sestava aktivnega blata se je po vnosu riževih otrobov izboljšala.



Slika 20: Mikroskopska slika aktivnega blata pred (levo) in po (desno) vnosu riževih otrobov (Adachi in sod., 2005, str. 554)

Riževi otrobi vsebujejo, predvsem v semenu, določen del fitinske, oz. fitinske kisline, ki je v številnih rastlinskih tkivih poglavitna zaloga fosforja. Nishikawa in Kuriyama (1974) sta dokazala, da v normalnih pogojih aktivno blato vsebuje precejšen delež fitinske kisline, ki izboljšuje njegove lastnosti. Riževa zrna so bogata s fitinsko kislino in so tudi velik vir esencialnih mineralov ter proteinov. Adachi in sod. (2005) so raziskali še vpliv fitinske kisline na aktivno blato. S kolorimetrično metodo so ugotovili, da riževi otrobi vsebujejo kar 3-4% te kisline. Preučili so še vpliv fitinske kisline na aktivno blato, ki je kazalo znake napihovanja. Po vnosu kisline se je stanje aktivnega blata izboljšalo približno enako kot po vnosu riževih otrobov: KPK in BPK sta se zmanjšala v primerjavi s kontrolnim modelom in mikroskopska slika aktivnega blata je že tretji dan po vnosu kazala veliko manj dolgih mrež filamentov. Šesti dan po vnosu, so pod mikroskopom opazili pojav bakterijske vrste *Zoothamnium*, ki pa je v aktivnem blatu koristna. Adachi in sod. (2005) so tako ugotovili, da ima pri uporabi riževih otrobov ravno fitinska kislina največjo zaslugo za uspešno kontrolo napihnjjenega blata.

Dodajanje riževih otrobov v proces biološkega čiščenja je učinkovita naravna metoda kontrole napihnjjenega blata. Riževi otrobi so poleg učinkovitosti tudi zelo ekonomični, saj je njihova cena

približno stokrat nižja od cen drugih komercialnih sintetičnih polimerov. Riževi otrobi so odpadni produkt v proizvodnji belega riža. Nastajajo pri brušenju rjavega riža, ko mu odstranjujejo tanko semensko ovojnico. Tako vsakodnevno nastane velika količina riževih otrobov, ki jih je škoda zavreči kot odpadni produkt, če jih lahko na KČN koristno uporabimo. Vsak upravljavec KČN si zagotovo želi, da bi lahko z minimalnimi stroški rešil težave z napihnjnim blatom, zato se le splača poskusiti, ali je ta naravna metoda res tako učinkovita tudi v praksi.

5 CENTRALNA ČISTILNA NAPRAVA (CČN) PIRAN

Centralne čistilne naprave so namenjene prečiščevanju odpadnih vod iz večjih mest. V Sloveniji so z njimi opremljena predvsem večja mesta, med drugimi tudi mesto Piran. CČN Piran je osrednja ČN občine Piran, na katero doteka mešanica komunalne in padavinske vode iz naselij: Piran, Portorož, Lucija, Seča, Parecag, Fiesa, Strunjan, Malija in Mala Seva (Občina Izola). V občini Piran ni večjih industrijskih obratov, zato se tudi delež industrijske vode, ki na CČN Piran doteka, giblje do 2% odpadne vode. CČN Piran je torej KČN, saj prečiščuje predvsem mešanico komunalne in padavinske vode, zato ji lahko rečemo tudi CKČN (Centralna komunalna čistilna naprava) (Kleva Švagelj, 2012a).

Na stari CČN Piran so bili vsi objekti in naprave v celoti dotrajani, zato se je občina Piran odločila za rekonstrukcijo in povečanje naprave. Poleg tega je stara CČN Piran obsegala samo primarno čiščenje, zato je tudi izpust čiščene vode še vedno vseboval določen delež hranil. Ker je obalno morje po slovenski zakonodaji prepoznano kot občutljivo območje, so novo CČN Piran dopolnili še s terciarno stopnjo čiščenja za odstranitev dušikovih in fosforjevih spojin. Kvaliteto iztoka čiščene vode so izboljšali še s sistemom za dezinfekcijo (Vodopivec, 2009).

Rekonstruirana in povečana CČN Piran je pričela obratovati junija 2009. Poskusno obratovanje naprave je trajalo od konca avgusta 2009 do maja 2010. Poskusno obratovanje je čas, v katerem se ugotavlja morebitne pomanjkljivosti in odpravlja napake v delovanju ČN. Doba poskusnega obratovanja je namenjena tudi strokovnemu izpopolnjevanju in usposabljanju kadra za upravljanje zahtevnega objekta. Po preteku poskusnega obratovanja, je CČN Piran pridobila uporabno dovoljenje ter od takrat naprava obratuje in dosega bistveno višji učinek čiščenja, kot ga je stara ČN. Danes je nanjo priključenih okoli 14.000 prebivalcev, vendar je naprava dimenzionirana za dvojno število stalnih prebivalcev, saj se njena obremenitev v poletnih mesecih zaradi intenzivne turistične in počitniške dejavnosti poveča na 28.000 prebivalcev. Zmogljivost naprave je tako 33.000 populacijskih enot (PE). Upravljavec CČN Piran je Javno podjetje Okolje Piran d.o.o, ki ima sedež v občini Piran (Kleva Švagelj, 2012a; Može in Škerbec Turk, 2009).

CČN Piran je koncipirana kot BČN s suspenzijo biološkega blata v štirih sekvenčnih bazenih, aerobno stabilizacijo blata, nitrifikacijo, denitrifikacijo, biološko-kemičnim čiščenjem fosforja ter dodatnim čiščenjem z UV dezinfekcijo iztoka. Naprava je locirana na dveh platojih, ki sta prikazana na sliki 21. Višinska razlika med njima je približno 20 m. Na spodnjem platoju so peskolov stare ČN preuredili v objekte za mehansko predčiščenje, vhodno črpališče ter zadrževalni bazen z razbremenilnikom deževnih vod. Dostop do spodnjega platoja je po isti cesti, ki je omogočala dostop že na staro ČN. Objekti na zgornjem platoju ter dostopna pot do njega pa so bili v celoti na novo zgrajeni. Na novo zgrajena (zgornja) dostopna pot služi tudi za dovoz gošč iz greznic in blata iz MČM, odvoz peska, maščob in strojno zgoščenega presežnega blata. Na zgornjem platoju so zgradili tudi novo tipsko transformatorsko postajo, ki napaja celotno CČN ter elektroagregat, ki sekundarno napaja prioritete električne porabnike. Peskolov je izveden kot klasičen statičen dvojni peskolov, ki je prigraven sekvenčnim bazenom. Nad njim je pokrit objekt, v katerem se nahaja pralnik peska, puhalo za prezračevanje peskolova in oprema za obarjanje fosforja. Zraven peskolova so zgradili objekt za sprejem gošč iz greznic in presežnega blata iz malih čistilnih naprav (MČN). Biološka stopnja čiščenja se odvija v štirih sekvenčnih bazenih, ki imajo na vtočnem delu vgrajene selektorje. Iz sekvenčnih bazenov se očiščena voda preliva preko prelivnikov v merilnik pretoka ter nato se izteka skozi cevno UV dezinfekcijo v morje. Presežno blato se odvaja v zgoščevalec in zalogovnik blata, kjer se zgošča ter nato dodatno strojno zgošča v centrifugi (Vodopivec, 2009). Postopek čiščenja je podrobneje opisan v poglavju 5.2.2.



Slika 21: Zgornji (levo) in spodnji (desno) plato CČN Piran (Vodopivec, 2009)

5.1 Kanalizacijski sistem

Večji del kanalizacijskega sistema je mešan, kjer je 17% kanalizacijskega sistema samo padavinskega. Kanalizacijski sistem poteka po izredno razgibanem terenu in tudi pod morsk gladino. Zato na CČN Piran večji del komunalne odpadne vode ne more pritekati gravitacijsko, temveč preko črpališč. V

črpališčih so črpalke, ki dvignejo komunalno odpadno vodo na višjo nadmorsko višino. Na kanalizacijskem sistemu je 12 črpališč (Kleva Švagelj, 2012a):

- črpališče Seča,
- črpališče avtokamp Lucija,
- črpališče Bučko v Luciji, črpališče Metropol,
- črpališče Skladišče soli v Portorožu, črpališče Bernardin,
- črpališče Punta v Piranu,
- črpališče Pomol v Piranu,
- črpališče Strunjan 1,
- črpališče Salinera v Strunjanu,
- črpališče Fiesa,
- meteorno črpališče Portorož.

5.2 Delovanje CCN Piran

5.2.2 Opis postopka čiščenja

Na CCN se izvaja (Kleva Švagelj, 2012a):

- predčiščenje in primarno čiščenje,
- sekundarno ali biološko čiščenje,
- terciarno čiščenje.

Tehnološka shema CCN Piran je prikazana v prilogi A1.

5.2.2.1 Primarno čiščenje

Odpadni vodi, ki priteka na CCN Piran po dotočni kineti, je potrebno najprej odstraniti neraztopljene snovi, ki se izločijo s fizikalnimi postopki čiščenja. Tako se predčiščenje prične že v **dotočni kineti**, ki ima vgrajene **dvojne fine elektromotorne grablje**, ki iz odpadne vode izločijo večje plavajoče delce. Te nečistoče se iz grabelj transportirajo po spiralnem kompaktorju v zabojnik. Sledi prelivanje odpadne vode iz dotočne kinete v **vhodno črpališče**, ki poteka s pomočjo štirih potopnih centrifugalnih črpalk. V primeru prevelikega dotoka padavinske in morske vode, se voda iz črpališča prelije v **zadrževalni bazen**. Ko je zadrževalni bazen napolnjen, gre presežek vode v prelivno črpališče, oz. črpališče meteornih vod. Zadrževalni bazen je na dnu opremljen s spiralnim transporterjem, ki usedljive snovi transportira proti poglobljenemu delu bazena, kjer je nameščena potopna črpalka za črpanje usedlih snovi in vode v vhodno črpališče. Onesnažen zrak iz preurejenega

mehanskega predčiščenja se odsesava v zračni biofilter mehanskega predčiščenja (Kleva Švagelj, 2012a; Vodopivec, 2009).

Odpadna voda se nato po tlačnem cevovodu potisne s črpalkami do **peskolova**, ki je opremljen z **lovilcem maščob**. Tlačni cevovod ima vgrajen cevni merilnik pretoka. V peskolovu se težji delci (pesek) usedejo na dno, lažji delci, ki so pomešani z maščobami, pa izplavajo na površino. Pesek se iz dna peskolova skupaj z vodo črpa z dvema centrifugalnima potopnima črpalkama v ločevalec peska, kjer se pesek, ki se loči od odpadne vode, transportira v zabojnik za pesek. Peskolov ima za lažje izločanje maščob vgrajen prezračevalni sistem, ki se stransko linijsko prezračuje skozi perforirane cevi. Maščobe se preko lamelne potopne stene odvajajo do lovilca maščob, v katerem sta vgrajena elektromotorna verižna posnemala, ki plavajoče snovi posnemata v jašek za maščobe. Ta jašek se občasno prazni preko hitre spojke. Peskolov je pokrit, iz njega se zrak odsesava v **zračni biofilter biološkega čiščenja**.

5.2.2.2 Biološko in terciarno čiščenje

Iz peskolova odteka odpadna voda v **štiri SBR bazene**, kjer se ogljikove in dušikove spojine iz odpadne vode odstranijo z biološkimi postopki čiščenja. Biološko in terciarno čiščenje potekata v SBR bazenih, ki se izmenično polnijo in praznijo. V vsakem SBR bazenu je aktivno blato suspendirano in ob ustrezni količini vnesenega zraka, simultano poteka biološka nitrifikacija in denitrifikacija, poraba fosforja ter delna aerobna stabilizacija blata. Posamezen obratovalni cikel SBR sistema traja štiri ure in zajema:

- fazo polnjenja in prezračevanja (2h), v kateri poteka redukcija koncentracije ogljikovih spojin iz odpadne vode ter biološki proces nitrifikacije,
- fazo bistrenja (1h), v kateri se biološko blato poseda ter
- fazo praznjenja (1h), ko se iz sistema odvaja čiščena voda.

Posamezen obratovalni cikel enega od štirih SBR bazenov se prične, ko se odpre elektromotorni zasun na dovodnem cevovodu. Ko se zapornica odpre, se prične faza polnjenja in prezračevanja, ki traja dve uri. Sledi faza bistrenja, oz. usedanja blata, ki traja eno uro. Vsak obratovalni cikel se zaključi s fazo praznjenja, ki traja prav tako 1 uro.

Dotočni del sekvenčnih bazenov je opremljen s **selektorji**, ki obratujejo od anoksičnih do anaerobnih pogojev. Zaradi vgrajenih selektorjev ni potrebno v SBR ciklu zagotoviti anoksične faze mešanja, v kateri ni prezračevanja. Selektor poenostavi potek procesa ter zagotovi biološko selekcijo tistih mikroorganizmov, ki večinoma lahko tvorijo flokule pri vseh obremenitvah, predvsem pa pri

obremenitvah, ki so manjše od projektirane. Dodatna prednost vgrajenega selektorja je, da omogoča potek procesa ob krajših časovnih ciklih kot jih drugi SBR sistemi. Zato so potrebni tudi manjši bazeni, ki za ČN pomenijo tudi nižje stroške obratovanja. V selektorju se lahko razgradljiva organska frakcija hitro odstrani iz odpadne vode z encimskimi mehanizmi. Z njihovo pomočjo se te topne organske snovi, predvsem acetati, hitro pretvorijo v intracelularne produkte. Poleg tega poteka v selektorju tudi selekcija polifosfatnih mikroorganizmov. Kombinacija štiriurnega cikla in recirkulacija aktivnega blata nazaj v selektor nudita optimalne pogoje za razvoj mikroorganizmov, ki so pomembni pri tvorbi flokul ter mikroorganizmov, ki akumulirajo fosfat. Tako je lahko uvedba selektorja v sistem biološkega čiščenja tudi učinkovita metoda zmanjševanja rasti nitastih mikroorganizmov. Cevna mešala na dnu selektorja omogočajo občasno mešanje in odvajanje aktivnega blata, ki se posede na dnu selektorja. Dovod stisnjenga zraka v prezračevala selektorja poteka preko elektromotornih loput, ki iz sistema cevovoda dovajajo zrak tudi v SBR bazene. Odpadna voda se iz selektorjev preliva v glavni del sekvenčnih bazenov, kjer poteka simultana nitrifikacija in denitrifikacija. Obratovanje sekvenčnih bazenov uravnava računalniški program, ki vodi delovanje celotne naprave.

Vodna gladina v SBR bazenih ciklično niha, kot se polnijo in praznijo bazeni. V vsakem SBR bazenu je nameščena po ena potopna centrifugalna črpalka, ki obratuje med fazo polnjenja in praznjenja posameznega SBR bazena ter omogoča recirkulacijo suspenzije vode in blata po tlačnem cevovodu nazaj v selektor. Na ta način se omogoči srečanje sveže odpadne vode s povratnim tokom blata, ki se iz vsakega SBR recirkulira v svoj selektor.

Za referenčno veličino prezračevanja, ki se vrši preko puhal, se upošteva koncentracijo kisika, ki se mora gibati od 1.5 do 3.5 mg/l odpadne vode. Ustrezen vnos zraka v SBR bazene omogoča mreža difuzorjev, ki so postavljeni po dnu bazenov. Polnjenje SBR bazenov regulira merilnik nivoja vode, ki bazen napolni z odpadno vodo do zgornje meje, ki znaša 6.7 m.

Po koncu faze polnjenja in praznjenja, se prezračevanje bazena in recirkulacija aktivnega blata ustavi. Sledi faza usedanja, v kateri ni več mešanja, zato se tudi suspenzija blata in vode umiri in blato se lahko usede na dno bazena. Po enourni fazi usedanja, se iz bazena prazni voda in presežno blato. Praznjenje se izvaja s pomočjo prelivnika, t.i. dekanterja, ki ima elektromotorni pogon. Faza praznjenja se začne tako, da se dekanter spusti do nivoja vode v bazenu in čiščena voda se preko njega prelije v **iztočno kineto**. Globina potopitve dekanterja je prav tako uravnavana z računalniškim programom. Ko se vsa čiščena voda prelije iz bazena, se nivo vode spusti na najnižji nivo, dekanter se dvigne v zgornjo lego (slika 22) in ciklus SBR čiščenja se ponovi. Za črpanje usedenega blata je vsak sekvenčni bazen na dnu opremljen s po eno potopno centrifugalno črpalko, ki po cevovodu črpa blato v **zgoščevalec in zalogovnik blata**. Sekvenčni bazeni so armiranobetonsko prekriti, onesnažen zrak pa se odsesava v **zračni biofilter biološkega čiščenja**, v katerega se odsesava tudi zrak iz peskolova,

sprejema gošč iz greznic, presežnega blata iz MČN ter vseh ostalih sklopov linije blata (Kleva Švagelj, 2012a; Vodopivec, 2009).

Projektne parametre SBR bazenov in selektorjev ter lastnosti aktivnega blata in prezračevalnega sistema bazenov prikazuje priloga A2.



Slika 22: Dvignjen dekanter med fazo polnjenja in prezračevanja SBR

5.2.3 Ravnanje z blatom in odpadki

Iz vseh štirih SBR se presežno blato izmenično črpa v razdelilno komoro zgoščevalca in zalogovnika, nato pa se preko dveh elektromotornih zasunov preliva v zgoščevalec in zalogovnik blata. Zgoščevalec in zalogovnik blata sta armiranobetonsko prekrita bazena pravokotne oblike. Blato se v enem zgoščevalcu zgosti na približno 2.5% SS, voda pa se prečrpa preko internega črpališča nazaj v selektorje. Med tem časom se zgoščevalec polni z blatom, nato pa se njuni vlogi zamenjata. Vmesna voda se izloči preko elektromotornega prelivnika. Tako zgoščevalec kot zalogovnik ima nameščeno po eno elektromotorno horizontalno potopno mešalo in aerator za dovod zraka. Z vgradnjo aeratorja v zalogovnik in zgoščevalec blata so na CČN Piran rešili težavo izhajanja vodikovega sulfida (H_2S). Preden je bil aerator vgrajen, je ta plin izhajal iz zgoščevalca in zalogovnika blata ter pri tem širil neprijeten vonj. Blato se z vijačno ekscentrično črpalko črpa po tlačnem cevovodu do centrifuge horizontalnega tipa, ki ga strojno zgosti. V tlačni cevovod, ki dovaja blato v centrifugo, se z dozirno črpalko črpa tudi raztopina polielektrolita (SUPERFLOC C 498). Iz centrifuge izteka centrat v interno črpališče ter nato v selektor, zgoščeno blato pa pada v zabojujnik blata (Kleva Švagelj, 2012a).

Na CČN Piran nastajajo pri čiščenju odpadne vode, poleg zgoščenega blata, tudi drugi odpadki. Ostanke na grabljah in sitih, odpadke iz peskolovov, mulje iz ČN komunalnih odpadnih vod, masti in oljne mešanice iz naprav za ločevanje olja ter zgoščeno blato iz zabojujnika blata se predaja v nadaljnje ravnanje podjetju Saubermacher Slovenija d.o.o, ki je bilo izbrano z javnim naročilom.

5.2.4 Odvajanje odpadne vode iz naprave

Po koncu biološkega in terciarnega čiščenja, se čiščena voda iz posameznega SBR prelije s pomočjo dekanterja v iztočno kineto, ki je opremljena s **cevno UV napravo za dezinfekcijo vode** ter s **cevnim induktivnim merilnikom pretoka** (slika 23). Dezinfekcija iztoka deluje le v poletnem času, ko je kopalna sezona (Kleva Švagelj, 2012a).



Slika 23: Mesto vgraditve cevne UV naprave za dezinfekcijo vode (levo) in cevni induktivni merilnik pretoka (desno)

Iztočna kineta se nadaljuje v **dva podmorska izpusta**, ki sta na koncu opremljena z difuzorskim sistemom. Starejši izpust obratuje od junija 1976, novejši pa od leta 1987. Celotna cev starejšega izpusta je dolga 3450 m (Φ 630) in ima na koncu 108 m dolg difuzor z enajstimi odprtinami. Novejši izpust pa je sestavljen iz 3600 m dolge cevi (Φ 400) in ima na koncu 185 m dolg difuzor z dvanajstimi odprtinami. Novejši izpust leži desno od starejšega, eden od drugega pa sta oddaljena od 148 do 180 m. Končni odprtini obeh difuzorjev se nahajata v vodoravni legi in sta locirani 1 m nad morskim dnom na globini 20.7 m. Zgradba difuzorja je taka, da omogoča intenzivno redčenje čiščene vode pri prehodu v morje (Kleva Švagelj, 2012a).

5.3 Merjenje in vrednotenje pravičnega delovanja tehnologije čiščenja

5.3.1 Kontrola učinka delovanja CČN Piran

Na CČN Piran se meritve v okviru Obratovalnega monitoringa odpadnih vod iz KČN izvaja dvanajstkrat na leto. Reprezentativen vzorec se vsakodnevno odvzema na:

- dotoku odpadne vode v dovodnem kanalu pred peskolovom,
- iztoku odpadne vode v iztočni kineti.

Iz rezultatov merjenih parametrov se določi mesečno povprečje. Preglednica v prilogi A3 prikazuje mesečna povprečja merjenih parametrov za leto 2012. V njej so podane tudi mejne dovoljene vrednosti za te parametre, saj mora iztok čiščene vode ustrezati zahtevam, ki jih določa Uredba o emisiji snovi pri odvajanju odpadnih vod iz KČN, Uredba o emisiji snovi in toplote pri odvajanju odpadnih vod v vode in javno kanalizacijo ter Okoljevarstveno dovoljenje. Obratovalni monitoring odpadne vode opravlja Zavod za zdravstveno varstvo Koper (Kleva Švagelj, 2012a).

Iz podatkov iz priloge A3 sem izračunala minimalne, maksimalne in povprečne vrednosti glavnih parametrov vtoka in iztoka odpadne vode, ki prikazujejo, kakšna je bila obremenitev ter učinek čiščenja CČN Piran v letu 2012. V prilogi A4 so predstavljeni minimalni, maksimalni in povprečni parametri vtoka odpadne vode. V prilogi A5 pa so prikazani minimalni, maksimalni in povprečni parametri iztoka čiščene vode ter povprečni učinki odstranjevanja KPK, BPK, TN, TP.

5.3.2 Kontrola tehnologije čiščenja

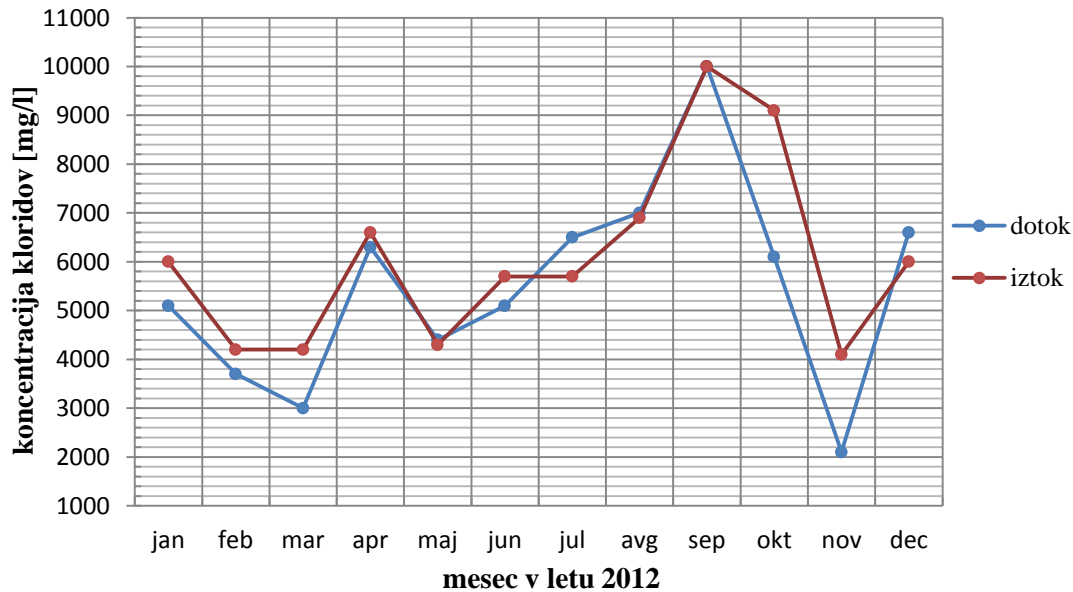
Cevni merilnik pretoka (PROMAG 10, ENDRES + HAUSER) in merilnik prevodnosti (Hach Lange), ki sta nameščena takoj po vhodnem črpališču ČN, omogočata neprekinjeno merjenje trenutnega pretoka, skupne količine odpadne vode ter prevodnosti. Prav tako je cevni merilnik pretoka nameščen tudi v iztočni kineti in meri trenutni pretok ter skupno količino prečiščene odpadne vode. Koncentracijo NO_3^- , NH_4^- in ortofosfata se meri on-line. Vsi podatki se shranjujejo v računalniku nadzornega centra. V vsakem SBR bazenu se vsakih 10 dni določi usedljivost, suho snov in VIB (Kleva Švagelj, 2012a).

5.4 Težave CČN Piran

5.4.1 Povišana koncentracija kloridov v odpadni vodi

Na CČN Piran se tekom celega leta srečujejo s težavami, ki jih povzročajo visoke koncentracije kloridov v odpadni vodi. Grafikon 1 prikazuje nihanje koncentracij kloridov na dotoku in iztoku ČN za leto 2012, iz katerega je razvidno, da so na CČN Piran težave s povišano slanostjo tekom celega leta. Vzrok povišane slanosti so pogosti vdori morske vode v kanalizacijski sistem, ki povzročajo, da na ČN vsakodnevno priteka odpadna voda z visoko vsebnostjo morske vode. Glavni izvor te vode je iz mesta Piran, ki je tipično obmorsko mesto s speljano kanalizacijo v globinah, na katere vpliva bibavica. Ker je kanalizacijski sistem star in iztrošen ter vodotesnost cevi ni ustrezna, se morska voda infiltrira vanj. Vsebnost morske vode sledi plimovanju in zato je tudi prevodnost odpadne vode na dotoku v ČN v povprečju okrog 40 mS/cm, kar je približno enako 11.000 mg/l kloridov. Koncentracije kloridov se gibljejo od 8.000 do 15.000 mg/l, kar presega mejo običajne vrednosti, ki znaša 2.000 mg/l (Kleva Švagelj, 2012a). To koncentracijo je naročnik in upravljavec CČN Piran nameraval doseči že

pred pričetkom obratovanja rekonstruirane CČN Piran, saj je bila tudi določena v Razpisni dokumentaciji predvidenih vrednosti, vendar zaradi omejenih finančnih sredstev, mu to ni uspelo (Vodopivec, 2009). Sanacija kanalizacijskega sistema ni bila izvedena od začetka delovanja ČN pa vse do danes, zato so še vedno pogosto prisotni vdori morske vode v kanalizacije cevi na prispevnem področju CČN Piran. Glede na to, da je finančna sposobnost občine Piran omejena, se sanacija kanalizacije tudi v prihodnjih letih ne predvideva (Ivančič, 2013).



Grafikon 1: Nihanje slanosti na CČN Piran v letu 2012 (Priloga A3)

Zaradi vdorov morske vode v kanalizacijski sistem, je KČN Piran dodatno hidravlično (tuje vode) ter kvalitativno obremenjena (sol, kloridi). To ima velik vpliv na mikrobovo populacijo aktivnega blata in posledično tudi na sam proces biološkega čiščenja. Poleg bioloških omejitev, ki jih povzročata visoka slanost, se vpliv kloridov odraža tudi v tehnoloških procesih, ki ne morejo potekati pravilno ter tudi strojna oprema se hitro obrablja in kvari. Stroški vzdrževanja ČN so zato dosti višji kot bi bili v primeru, ko bi bile koncentracije kloridov znotraj običajnih meja (Ivančič, 2013).

5.4.1.1 Rešitev čiščenja zasoljenih odpadnih vod

Danes dosega biološko čiščenje na CČN Piran zadovoljive učinke kljub nihanju slanosti. Mikroorganizmi aktivnega blata so se uspešno prilagodili na življenje v slanem okolju. Le-ti so občutljivi predvsem na slanostne šoke, ki se jih na CČN Piran prepreči tako, da se v biološkem reaktorju vzdržuje konstantna slanost. Tako se z zagotavljanjem dnevne izravnave slanosti omogoči mikroorganizmom, da se lahko prilagodijo na spremenjene ionske razmere v okolju ter dosegajo

visoke učinke čiščenja kljub povišani koncentraciji kloridov. Konstantno slanost se v SBR zagotavlja z naslednjima mehanizmoma (Kleva Švagelj, 2012b):

- **Manjša stopnja volumske izmenjave** omogoča, da se voda v SBR bazenih ne zamenja v celoti, ampak postopno.
- **Rezervoar morske vode** omogoča črpanje vode iz njega, ko pade koncentracija kloridov v biološkem reaktorju pod tisto mejo, ki je za biološko aktivnost potrebna.

Na ta način je koncentracija kloridov v vseh štirih SBR bazenih več ali manj konstanta. Mikroorganizmi ne občutijo v polni meri skokovitega spreminjanja koncentracije kloridov in se lahko uspešno prilagodijo na določeno stopnjo slanosti v biološkem reaktorju.

5.5 Težave z napihnjanim blatom

Na CČN Piran se aktivno blato ne useda pravilno. Na površini vseh štirih SBR bazenov se tekom celega leta pojavljajo plavajoče plasti napihnjene blata (slika 24), ki so najizrazitejše v poletnem času. Poleti so te plasti debelejšje, saj se njihova debelina giblje med 15 in 20 cm. Tudi njihova barva je v poletnem času svetlejša, saj so poleti krem barve, pozimi pa rjave barve. V zimskem delu leta je njihova debelina ocenjena na 3 do 5 cm. Predvideva se, da se ta pojav pojavlja zaradi prekomerne količine nitastih bakterij v aktivnem blatu, kar pa ni dokončno potrjeno (Kleva Švagelj, 2012b).

Napihnjeno blato predstavlja velik problem za CČN Piran, predvsem v poletnem času. Debele, plavajoče plasti pene namreč uhajajo preko dekanterja v iztočno kineto, kjer ovirajo predvsem UV dezinfekcijo iztoka, ki mora biti ravno v poletnem času zagotovljena zaradi kopalne sezone (Kleva Švagelj, 2012b).



Slika 24: Napihnjeno blato na površini SBR bazenov CČN Piran

Na CČN Piran je dejanski vzrok napihovanja blata še neraziskan. Potrebno je torej najti primerno rešitev, ki bo izboljšala stanje. Zato smo mikroskopsko preučili sestavo aktivnega blata, saj smo želeli dokončno potrditi, da je nepravilno usedanja blata posledica prekomerne rasti nitastih bakterij. Želeli smo najti tudi potencialno rešitev, ki bi v čim krajšem času izboljšala stanje. V Občini Piran ni na razpolago dovolj sredstev za raziskovanje tega zapletenega pojava, saj je finančna sposobnost občine omejena. Ker je kontrola napihnjnega blata s specifičnimi metodami draga in dolgotrajna, smo iskali rešitev med nespecifičnimi metodami, ki so hitrejše in učinkovite za vse tipe nitastih mikroorganizmov. Izmed vseh metod smo izbrali kloriranje, ker zahteva najmanj stroškov. V ta namen smo opravili poskus z NaOCl (aq), v katerem smo analizirali, ali se sestava aktivnega blata izboljša po vnosu določene koncentracije klora.

6 EKSPERIMENTALNI DEL

6.1 Cilj eksperimentalnega dela

Cilj eksperimentalnega dela je bil mikroskopsko preučiti strukturo aktivnega blata iz CČN Piran ter ugotoviti, ali je napihnjeno blato posledica prekomerne rasti nitastih bakterij. Določili smo tudi glavne tehnološke parametre, ki so pomembni pri analiziranju procesa usedanja. V drugem delu eksperimentalnega dela smo opravili poskus z NaOCl (aq), da bi ugotovili, ali se lahko z vnosom določenih koncentracij klora zmanjša težave napihovanja blata ter izboljša usedanje biomase na CČN Piran.

V eksperimentalnem delu smo si zastavili naslednje delovne hipoteze:

1. SBR 4 ima najslabše lastnosti usedanja izmed vseh štirih SBR bazenov.
2. Slabo usedanje aktivnega blata ter plavajoče plasti napihnjnega blata na površini SBR bazenov so posledica prekomerne rasti nitastih bakterij.
3. Po dodatku NaOCl (aq) se bo sestava aktivnega blata izboljšala, saj se bodo filamentni lomili in količina nitastih bakterij se bo zmanjšala.
4. Različni odmerki NaOCl (aq) dosežejo različno stopnjo razbitja celic nitastih bakterij.
5. Prosti klor bo deloval tudi na koristne mikroorganizme spremljajoče združbe ter na bakterije v kosmih.

6. S skrbno določenimi odmerki klora se lahko uspešno kontrolira prekomerno rast nitastih bakterij ter zmanjša težave z napihovanjem blata, vendar je kloriranje smiselno uporabiti le kot začasno rešitev.

6.2 Vzorčenje

Na CČN Piran smo odvzeli vzorec aeracije iz dveh SBR bazenov med fazo prezračevanja, saj je takrat suspenzija odpadne vode in blata dobro premešana. Vzorčno mesto smo skrbno izbrali, saj smo za nadaljnje preiskave potrebovali reprezentativen vzorec, v katerem je mikrobna združba čimbolj podobna dejanski v SBR bazenih. Zato smo vzorec mešanice odpadne vode in blata, t.j. vzorec aeracije, odvzeli na dobro premešanem mestu. Vzorčno posodo smo potopili za dobrih 30 cm pod površino, da smo preprečili uhajanje plavajočih plasti napihnjene blata v vzorec. Vzorec aeracije smo odvzeli iz SBR 2, ki kaže izmed vseh bazenov znake najboljšega usedanja, ter iz SBR 4, ki kaže na najslabše lastnosti usedanja ter za oba vzorca določili tehnološke parametre. Dobljene rezultate tehnoloških parametrov smo medsebojno primerjali ter za nadaljnje preiskave izbrali tisti vzorec, ki je imel slabše usedanje. Vzorčenje za določitev tehnoloških parametrov je potekalo 15.4.2013 in sicer v dveh delih, saj smo morali počakati na fazo prezračevanja za vsak SBR posebej. Vzorčenje aeracije (slika 25) za mikroskopski pregled aktivnega blata ter poskus z NaOCl (aq) pa je potekalo 16.4.2013, saj zaradi časovne omejitve ni bilo mogoče izpeljati vseh poskusov v enem dnevu. Pri tem smo predpostavili, da se tehnološki parametri X, volumen usedenega blata (VU) in VIB, ki smo jih določili 15.4., bistveno ne spremenijo v 24 urah. Mikroskopski pregled blata in poskus z NaOCl (aq) smo opravili le na tistem vzorcu, ki smo mu s tehnološkimi parametri določili slabše lastnosti usedanja.



Slika 25: Prikaz vzorčenja aeracije

6.3 Določitev tehnoloških parametrov

Tehnološke parametre smo določili za SBR 2 in SBR 4, da bi ugotovili, kateri bazen ima slabše lastnosti usedanja.

1) Koncentracija aktivnega blata (X)

Vzorec aeracije volumna 1 l smo prefiltrirali skozi filtrirni papir z oznako »črni trak«, ki smo ga najprej posušili do konstante teže v peči na 105°C ter stehali. Nato smo filtrirni papir s SS dali v peč in pustili sušiti dobre 3 ure na 105°C. Po sušenju smo vzorec ponovno stehali. Iz razlike tež praznega filter papirja ter filter papirja s posušeni SS, smo izračunali maso SS ter nato še koncentracijo SS, oz. koncentracijo aktivnega blata X. Vedeti je potrebno, da samo del izmerjene koncentracije predstavlja aktivno biomaso. Rezultate smo podali v g/l (Zagorc-Končan in sod. 2004).

2) Masa vseh suspendiranih snovi v reaktorju (MLSS)

Masa suspendiranih snovi v reaktorju je masa vseh delcev aktivnih in neaktivnih mikroorganizmov ter ostalih trdnih organskih in anorganskih snovi, ki so prisotne v določenem volumnu reaktorja. Iz on-line meritev smo odčitali višino vode h v času, ko smo iz SBR bazena odvzeli vzorec ter iz nje izračunali takratni volumen aeracije (V) v bazenu. Nato smo izračunali maso MLSS tako, da smo koncentracijo aktivnega blata (X) v vzorcu, pomnožili s celotnim volumnom (V) aeracije. Pri tem smo predpostavili, da je X v vzorcu enaka X v SBR bazenu. MLSS smo podali v g (preglednica 3), oz. kg (preglednica 4).

3) Usedljivost blata (VU) in volumski indeks blata (VIB)

Z usedljivostjo blata se določi lastnosti usedanja kosmov aktivnega blata v reaktorju. Za njeno določanje smo uporabili merilni valj volumna 1 l. Vzorec smo najprej dobro premešali ter nato prelili v merilni valj. Po 30 min smo odčitali volumen usedenega blata. Usedljivost blata smo podali v ml/l (Zagorc-Končan in sod. 2004).

Iz razmerja med usedljivostjo blata in koncentracijo aktivnega blata smo izračunali VIB:

$$\text{VIB} = \frac{\text{VU}}{\text{X}}$$

VIB volumski indeks blata [ml/g]

VU usedljivost blata, oz. volumen usedenega blata [ml/l]

X koncentracija aktivnega blata [g/l]

6.4 Mikroskopske metode

6.4.1 Opis poteka mikroskopiranja

Iz SBR bazena z slabšimi lastnostmi usedanja smo odvzeli 10 l aeracije, saj smo za mikroskopiranje in poskus z NaOCl (aq) potrebovali večjo količino vzorca kot smo jo potrebovali za določitev tehnoloških parametrov. Po vzorčenju smo aeracijo prelili v plastične posode, da smo jo lažje prevažali do CČN Domžale-Kamnik, kjer je potekalo nadaljnje delo. Plastične posode nismo v celoti napolnili z aeracijo, saj smo tako zagotovili v njih še nekaj kisika, da bi omilili odmiranje mikroorganizmov. Želeli smo, da mikrobna združba ostane čimbolj podobna dejanski združbi v SBR bazenu.

V laboratoriju CČN Domžale-Kamnik smo najprej opravili poskus z NaOCl (aq). Iz več plastičnih posod smo aeracijo prelili v veliko posodo, v katero smo postavili akvarijsko črpalko ter pustili 15 min, da se mešanica odpadne vode in blata dobro homogenizira. Dobro premešano aeracijo smo nato prelili v 6 čas volumna 1 l. Vsaka čaša je imela svojo manjšo akvarijsko črpalko, ki je vzorec mešala in prezračevala tekom celega poskusa. Sledilo je dodajanje različnih odmerkov NaOCl (aq). Pri tem smo uporabili navadno varikino, ki se uporablja v gospodinjstvu. 1 l te raztopine vsebuje okoli 50 mg prostega klora. Zaradi laboratorijskega dela z močno kemikalijo, smo poskrbeli tudi za ustrezno varnost pri delu in si nadeli zaščitna očala, haljo in rokavice.

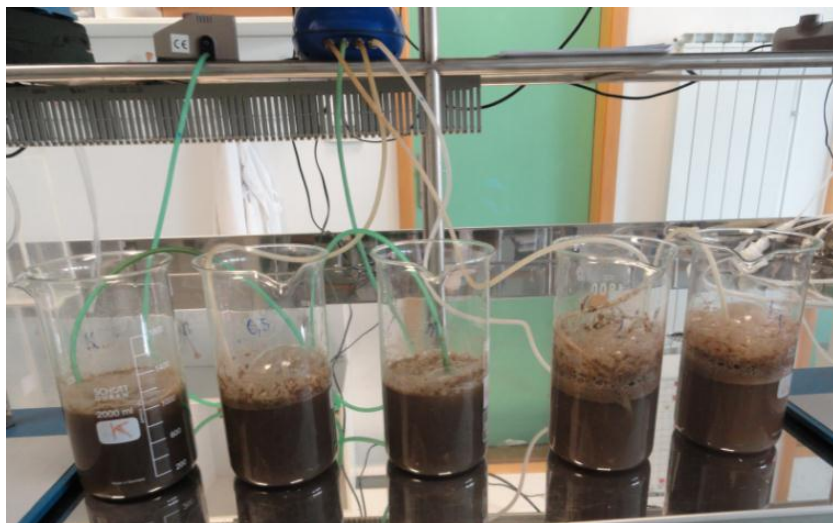
Čaša A je bila kontrolna, saj je vsebovala le surovo aeracijo brez dodane varikine. V ostalih pet čaš smo s pipeto odmerili določen odmerek NaOCl (aq). Preglednica 3 prikazuje odmerke NaOCl (aq), ki smo jih dodali vzorcem. V njej so prikazani tudi drugi parametri vzorcev, kot je V, MLSS, X ter masa in koncentracija klora Cl₂, ki jo je posamezen vzorec vseboval. V zadnjih dveh stolpcih preglednice je izračunan še lokalni odmerek mase T, ki ga Jenkins in sod. (2004) poudarjajo kot pomemben parameter pri kontroli napihovanja blata s kloriranjem.

Preglednica 3: Shematični prikaz lastnosti vzorcev

Parameter	V	MLSS	X	NaOCl (aq)	M _d	C	T
Enota	[l]	[g]	[g/l]	[ml]	[mg Cl ₂]	[mg Cl ₂ /l]	[g Cl ₂ /kg MLSS]
A	1	3,6	3,6	0	0	0	0,00
B	1	3,6	3,6	0,5	0,025	0,025	0,01
C	1	3,6	3,6	1	0,05	0,05	0,01
D	1	3,6	3,6	2	0,1	0,1	0,03
E	1	3,6	3,6	4	0,2	0,2	0,06
F	1	3,6	3,6	10	0,5	0,5	0,14

- V..... volumen vzorca [l]
 MLSS..... masa vseh suspendiranih snovi v vzorcu [g]
 X..... koncentracija aktivnega blata (biomase) v vzorcu [g/l]
 NaOCl (aq)..... odmerek raztopine natrijevega hipoklorita [ml]
 M_d masa prostega klora na dozirnem mestu [mg Cl₂]
 C..... koncentracija prostega klora na dozirnem mestu [mg Cl₂/l]
 T..... lokalni odmerek mase [g Cl₂/g MLSS]

Po vnosu določenega odmerka NaOCl (aq), smo vzorce pustili na laboratorijskemu pultu za 30 min, da je prosti klor deloval na mikroorganizme. Vzorce smo prezračevali z akvarijsko črpalko (slika 26) tekom celega poskusa. Na ta način smo zagotovili ustrezen stik med prostim klorom in biomaso. Med prezračevanjem so se tisti vzorci, ki smo jim dodali varikino, penili sorazmerno z njenim odmerkom. Na sliki 26 so prikazani vzorci A, B, C, D in E. Iz nje je razvidno, da se ni penil kontrolni vzorec A, ki ni imel dodane varikine. Penjenje je bilo najmanj izrazito v vzorcu B, saj je vseboval le 0.5 ml NaOCl (aq). V ostalih vzorcih se je penjenje stopnjevalo sorazmerno z odmerkom NaOCl (aq). Najbolj bujna reakcija je bila v vzorcu F, ki je vseboval najvišjo, udarno dozo varikine (10 ml). Med prezračevanjem se je ta vzorec najbolj izrazito penil, saj je pena uhajala tudi ven iz čaše (slika 27). Penjenje vzorcev je pokazatelj razpada biomase, kar pomeni, da je prosti klor deloval na mikroorganizme. Med prezračevanjem vzorcev je iz njih izhajal tudi značilen vonj po kloru, kar je še dodatna potrditev, da je klor deloval.



Slika 26: Prezračevanje vzorcev z akvarijskimi črpalkami



Slika 27: Penjenje vzorca F med prezračevanjem

Po 30 min smo vzorce prelili v manjše čašice volumna 50 ml (slika 28) ter na njih skrbno označili posamezen odmerek NaOCl (aq). Nato smo vsak vzorec najprej dobro premešali s palčko ter s kapalko iz njega odvzeli nekaj vzorčnih kapljic ter jih kanili na objektno steklo. Na pripravljen mokri preparat smo položili pokrivno steklo približno pod kotom 45° ter ga počasi spustili. Morebitne zračne mehurčke v preparatu smo odstranili tako, da smo po pokrivnem steklu narahlo potolkli. Vse vzorce smo na ta način pripravili za mikroskopiranje.



Slika 28: Priprava vzorcev na mikroskopiranje

Za mikroskopiranje smo uporabili mikroskop Nikon Eclipse 80i (slika 29), ki omogoča svetlobno in tudi fluorescenčno mikroskopiranje za pregled barvanih razmazov oziroma IFA stekelc. Fluorescenčno mikroskopiranje bi prišlo v poštev pri diferencialnem barvanju vzorcev (Gram, Neisser), kar pa v sklopu eksperimentalnega dela nismo opravili zaradi visokih stroškov uporabe barvanih preparatov.



Slika 29: Mikroskop Nikon Eclipse 80i

6.5 Dobljeni rezultati

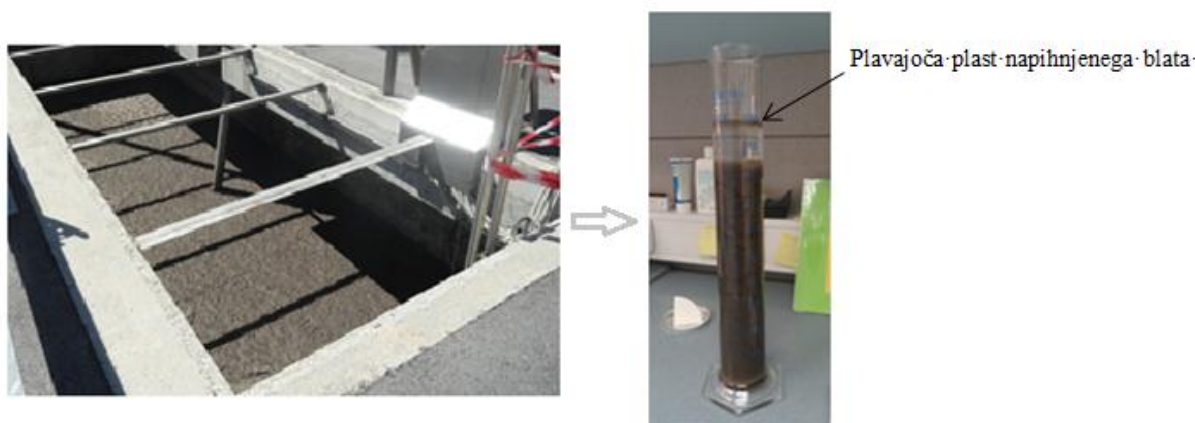
6.5.1 Rezultati tehnoloških parametrov

Rezultati tehnoloških parametrov so prikazani v preglednici 4. V obeh vzorcih je bila nizka koncentracija aktivnega blata (X). Rezultati usedljivosti blata so potrdili, da je usedanje aktivnega blata veliko slabše v SBR 4 kot v SBR 2. V 30 min se je v vzorcu A posedlo 350 ml blata, v vzorcu B pa 900 ml. Dobljeni rezultati kažejo na slabo usedanje blata v obeh bazenih, ki pa je veliko slabše v SBR 4. Iz slike 30 je razvidno, da je na površini SBR 4 veliko plavajočega napihnjnega blata, ki je zagotovo tudi povezan s slabo usedljivostjo. Že med določevanjem usedljivosti blata, se je v merilnem valju formirala plavajoča plast napihnjnega blata, ki je bila debelejša v vzorcu iz SBR 4. Ta plavajoča plast napihnjnega blata v merilnem valju je na sliki 30 označena s puščico. Oba izračunana VIB presegata 150 ml/g, kar kaže na slabe lastnosti usedanja blata ter težave z napihnjnim blatom v sistemu.

Preglednica 4: Rezultati tehnoloških parametrov

	vzorec A (SBR 2)	vzorec B (SBR 4)
X [g/l]	1,8	3,6
VU [ml/l]	350	900
VIB [ml/g]	194	250
h [m]	5,370	5,155
S [m ²]	316,4	319,4
V [m ³]	1699	1647
$MLSS$ [kg]	3058	5927

Glede na teoretična ozadja napihnjenege blata, ki so bila predstavljena v prejšnjih poglavjih, se predvideva, da ima CČN Piran resne težave z napihovanjem blata zaradi prekomerne rasti nitastih bakterij, ki slabšajo lastnosti usedanja biomase, povzročajo plavljenje blata na površino SBR bazenov ter slabšajo kvaliteto iztoka čiščene odpadne vode. Če se ne bo ukrepalo pravočasno, se bo stanje le še poslabševalo, kar lahko vodi tudi do resnejših zapletov delovanja ČN. Vzorec aeracije iz SBR 4 smo še mikroskopsko pregledali, saj se iz mikroskopske slike najatančneje določi kvaliteto aktivnega blata ter ugotovi, ali je napihnjeno blato res posledica prekomerne rasti filamentov.

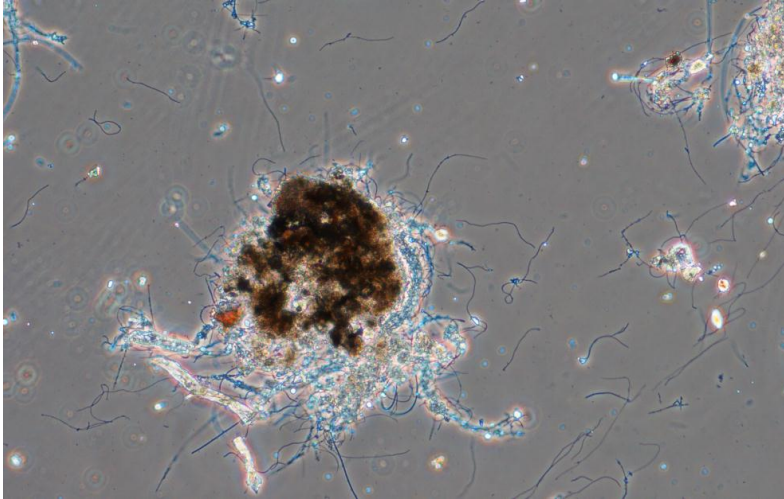


Slika 30: Slika plavajočih plasti napihnjenege blata v SBR 4 (levo) ter slaba usedljivosti blata v merilnem valju (desno)

6.5.2 Rezultati mikroskopskega pregleda vzorcev

1) Vzorec A (kontrolni)

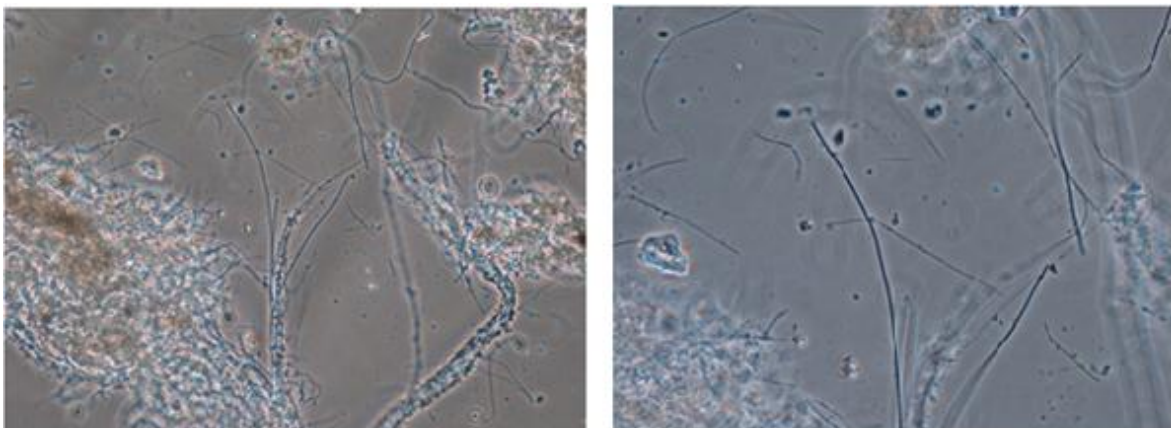
Najprej smo opravili mikroskopski pregled vzorca A, ki je dokončno potrdil, da je napihnjeno blato na CČN Piran posledica prekomerne rasti nitastih bakterij. Iz slike 31 je razvidno, da je obseg pojava filamentov v združbi aktivnega blata prekomeren. Nitaste bakterije so najštevilčnejše v makrostrukturi kosmov, saj se zelo množično pojavljajo na njihovi površini. Pojavljajo se tudi kot prosto plavajoči filamentni med kosmi aktivnega blata. V notranjosti kosma, torej v njegovi mikrostrukturi, so sicer prisotne tudi druge bakterije, vendar jih filamentni prepletajo že znotraj kosma. Zgradba kosmov aktivnega blata je neustrezna, saj so nepravilnih oblik, imajo razpršeno in odprto strukturo ter slabo integriteto. Poleg bakterij je v aktivnem blatu prisotna tudi spremljajoča združba, ki je v dobri kondiciji ter tudi zelo raznolika. Od praživali prevladujejo migetalkarji (*Aspidisca*, *Paramecium*), od bičkarjev pa smo zaznali le vrsto *Bodo s.p.* ter nekaj ameb in evglen. Mnogoceličarjev, torej kotalčnikov in nematodov, v spremljajoči združbi nismo opazili, vendar se le-ti v aktivnem blatu običajno pojavljajo le v majhnem številu, zato jih tudi pod mikroskopom toliko težje ujamemo.



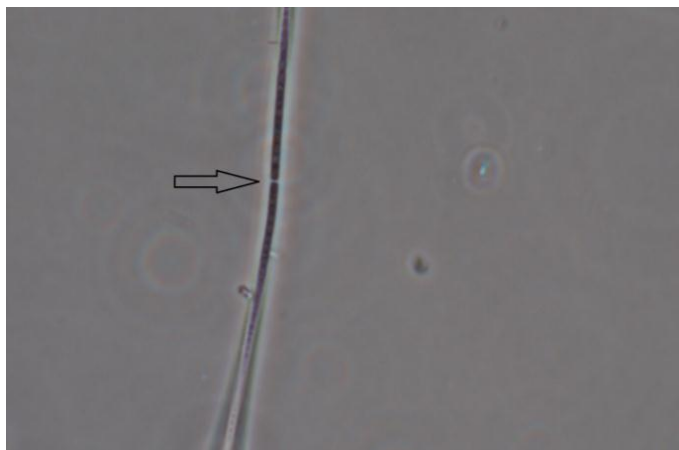
Slika 31: Mikroskopska slika kontrolnega vzorca A (100× povečava, fazni kontrast)

2) Vzorec B

Na mikroskopski sliki vzorca B, ki je vseboval le 0,5 ml NaOCl (aq), nismo zaznali večjih sprememb. Na sliki 32 je prikazana njegova mikroskopska slika pri 200× (levo) in 400× povečavi (desno). Pri obeh povečavah nismo opazili nobene poškodbe na filamentih. Spremljajoča združba aktivnega blata je bila enaka kot v kontrolnem modelu, tudi njena aktivnost se ni nič zmanjšala. Vzorec B smo pregledali še pod 1000× povečavo, saj smo želeli natančneje preveriti, če je na filamentih prišlo do kakšnih sprememb. Pri najvišji, 1000× povečavi, je objektiv mikroskopa načrtovan za opazovanje s kapljico olja med čelno lečo in krovnim stekelcem, zato smo najprej kanili kapljico olja na potrebno mesto in šele nato nadaljevali z mikroskopiranjem. Ta postopek imenujemo homogena imerzija. Mikroskopski pregled vzorca B pri 1000× povečavi z imerzijo je pokazal manjše poškodbe v celicah prosto plavajočih filamentov, ki jih označuje puščica na sliki 33. Poškodbe so bile sicer zelo majhne, vendar je bil tudi odmerek NaOCl (aq) nizek. Z rezultatom smo bili zadovoljni, saj je nakazoval, da prosti klor v NaOCl (aq) deluje na ciljne (nitaste) mikroorganizme.



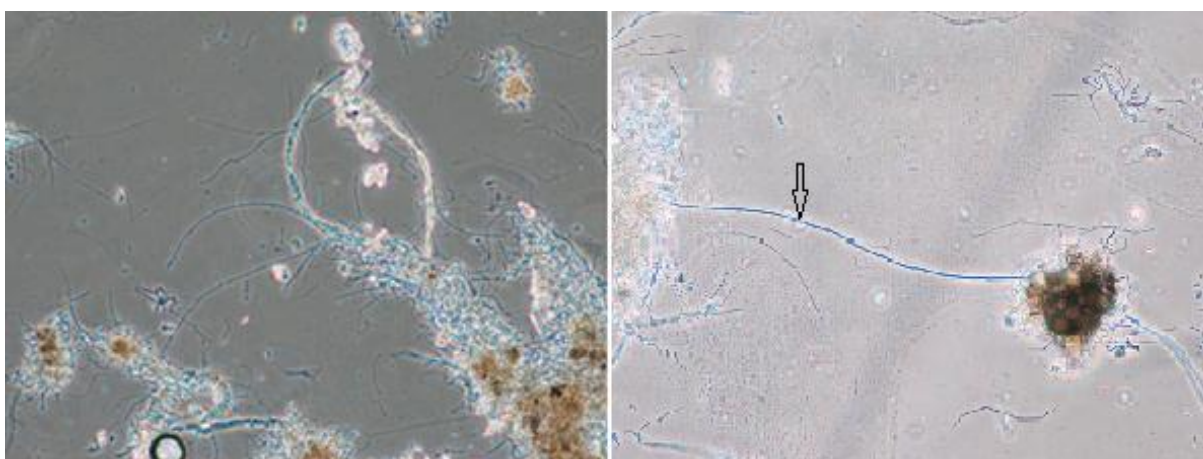
Slika 32: Mikroskopska slika vzorca B pri 200× povečavi, fazni kontrast (levo) in pri 400× povečavi, fazni kontrast (desno)



Slika 33: Manjše poškodbe celic prosto plavajočih filamentov (1000× povečava, imerzija)

3) Vzorec C

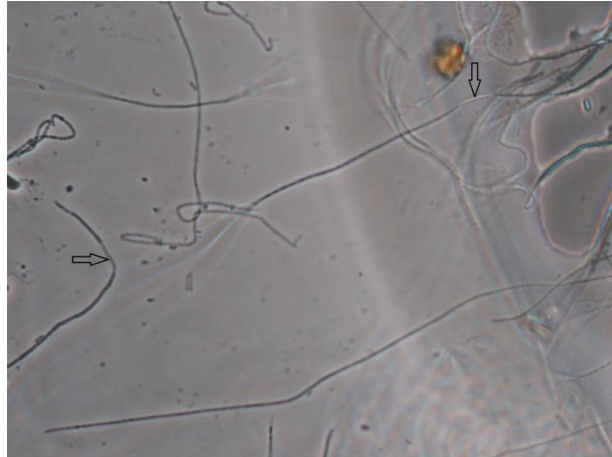
Mikroskopska slika vzorca C, ki je vseboval 1 ml NaOCl (aq), je pri 100× in 200× povečavi (slika 34) pokazala enake značilnosti aktivnega blata kot pri vzorcu A in B. Na filamentih torej ni bilo opaženih nobenih sprememb, v aktivnem blatu so se filamenti še vedno pojavljali v prekomerni količini, tako prosto plavajoči, kot tudi pritrjeni na kosme. Pod mikroskopom smo našli zanimiv primer, ko se nitaste bakterije povezujejo z mostovi med kosmi aktivnega blata, kar je na sliki 34 (desno) označeno s puščico. Pri tem odmerku NaOCl (aq) je bila aktivnosti in raznolikost spremljajoče združbe manjša, saj smo pod mikroskopom opazili le nekaj migetalkarjev, ki so bili v veliko slabši kondiciji kot v prvih dveh vzorcih. To je nakazovalo na vpliv prostega klora tudi na mikroorganizme, ki so v združbi aktivnega blata zaželeni.



Slika 34: Mikroskopska slika vzorca C pri 100× povečavi, fazni kontrast (levo) in pri 200× povečavi, fazni kontrast (desno)

Na mikroskopski sliki vzorca C pri maksimalni, 1000×povečavi (imerzija) so vidne spremembe v strukturi filamentov. Na prosto plavajočih filamentih so vidne večje poškodbe celic, saj so nekateri

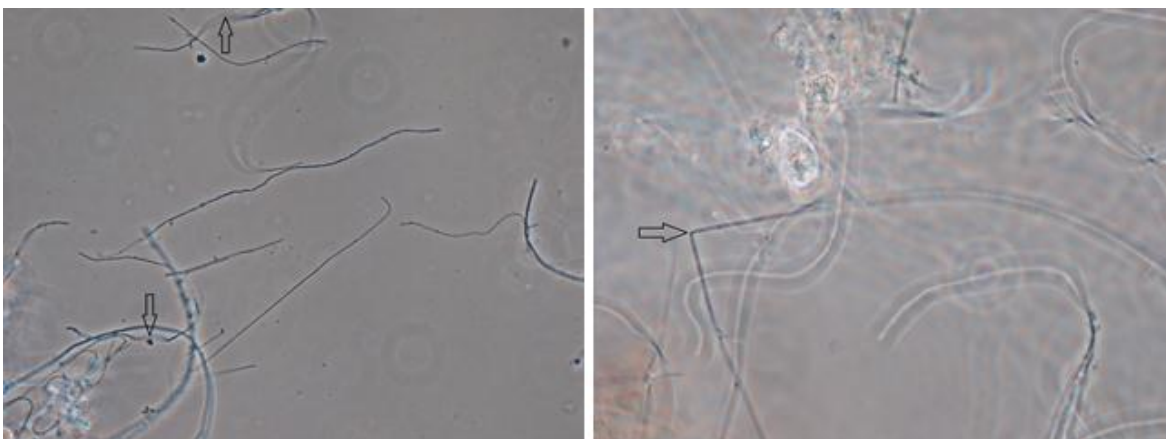
deli filamenta brez celic. Večje poškodbe so na sliki 35 označene s puščico. Na nitastih bakterijah, ki so pritrjene na kosme, nismo opazili nobenih sprememb.



Slika 35: Poškodbe celic prosto plavajočih filamentov (1000× povečava, imerzija)

4) Vzorec D

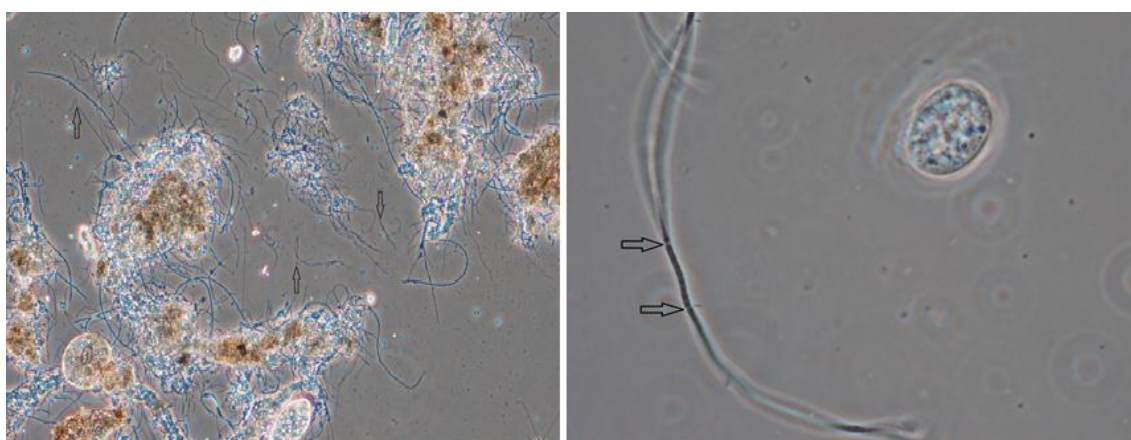
Odmerek 2 ml NaOCl (aq), ki ga je vseboval vzorec D, je imel večji vpliv na strukturo prosto plavajočih filamentov. Pri 400× povečavi so na filamentih vidni zažetki, ki so na sliki 36 (levo) označeni s puščico. Veliko delov prosto plavajočih filamentov je brez celic. Prosti klor je zelo vplival na spremljajočo združbo aktivnega blata, ki pri tem odmerku varikine, ni bila več prisotna. Pri večji, 1000× povečavi z imerzijo je vidno tudi lomljenje prosto plavajočih filamentov. Tipičen primer preloma filamenta je prikazan na sliki 36 (desno).



Slika 36: Zažetki na prosto plavajočih filamentih pri 400× povečavi, fazni kontrast (levo) in prelom filamenta pri 1000× povečavi z imerzijo (desno)

5) Vzorec E

V vzorcu E, ki je vseboval 4 ml NaOCl (aq), je bilo lomljenje filamentov še izrazitejše. Prelomi prosto plavajočih filamentov, ki so na sliki 37 (levo) označeni s puščicami, so vidni tudi pri nižji, 100× povečavi. Klor je deloval le na mikroorganizme v medprostoru med kosmi aktivnega blata, saj na filamentih, ki so pritrjeni na kosme, nismo zaznali nobenih sprememb. Mikrostruktura in makrostruktura kosmov je bila nepoškodovana. Mikroorganizmi spremljajoče združbe niso bili prisotni. Na sliki 37 (desno) so prikazane poškodovane celice filamentov, ki so posledica klorovega delovanja na njih.



Slika 37: Lomljenje filamentov pri 100× povečavi, fazni kontrast (levo) in poškodbe celic filamentov pri 1000× povečavi z imerzijo (desno)

6) Vzorec F

Kljub temu, da smo v vzorec F odmerili najvišjo, udarno dozo NaOCl (aq), se rezultati mikroskopskega pregleda tega vzorca bistveno ne razlikujejo od ostalih. Višji odmerek NaOCl (aq) je deloval le na večje število prosto plavajočih filamentov ter jih tudi v večji meri poškodoval. Opazili smo, da je več delov prosto plavajočih filamentov brez celic (slika 38). Nitaste bakterije v kosmih so ostale nepoškodovane, zato se tudi struktura kosmov ni izboljšala. Spremljajoča združba ni bila prisotna.



Slika 38: Na več delih poškodovani prosto plavajoči filamenti (1000× povečava, imerzija)

6.7 Diskusija rezultatov

Tehnološki parametri, ki smo jih določili za SBR 2 in SBR 4, so potrdili prvo delovno hipotezo, saj prikazujejo, da ima SBR 4 slabše lastnosti usedanja. Oba VIB sta sicer presegala vrednost 150 ml/g, ki je tudi teoretično določena kot meja, nad katero se pojavljajo težave z napihovanjem blata, vendar je VIB bil višji v SBR 4 (250 ml/g). Aktivno blato s tako visokim VIB je zelo lahko, voluminozno in se ne useda pravilno. To potrdijo tudi plavajoče plasti napihnjene blata, ki jih na CCN Piran lahko vidimo na površini vseh štirih SBR bazenov. Najdebelejša plast plavajočega blata se pojavlja v SBR 4, ki iz reaktorja izgublja tudi največ biomase, kar potrjuje tudi njegov visok VIB. Blato se peni in zadržuje na površju tudi v ostalih SBR bazenih.

Visok VIB blata nakazuje na težave z nitastimi mikroorganizmi v sistemu. Za natančno diagnozo napihnjene blata smo sestavo aktivnega blata še mikroskopsko preučili. Mikroskopska slika vzorca A je potrdila drugo delovno hipotezo, da je v aktivnem blatu prisotno prekomerno število nitastih bakterij. Največ filamentov smo opazili v medprostoru med kosmi. Nekaj jih je tudi znotraj kosmov, vendar jih je veliko več pritrjenih na njegovo površino. V določenih delih se filamenti povezujejo kar z mostovi med kosmi. V aktivnem blatu ni ustrezne bilance med nitastimi in drugimi mikroorganizmi, kar negativno vpliva na proces usedanja blata.

V drugem delu eksperimentalnega dela smo opravili poskus z NaOCl (aq) ter preučili, ali se sestava aktivnega blata izboljša po dodatku določene koncentracije klor. Vzorce smo takoj po vnosu varikine prezračevali 30 min, da bi na ta način čimbolj simulirali dejanske razmere, ki potekajo med fazo prezračevanja v SBR ter pospešili tudi stik kemikalije s klorom. Že med prezračevanjem vzorcev smo opazili, da se drugače odnašajo tisti, ki so imeli dodano NaOCl (aq). Vzorce so se penili sorazmerno z dodano kemikalijo. Iz njih je izhajal tudi značilen vonj po kloru, ki je bil najizrazitejši iz vzorca F, ki

je vsebovala tudi najvišji odmerek varikine. Iz njega je izhajalo tudi največ pene. Penjenje je pokazatelj razpada biomase, kar pomeni, da je klor deloval na mikroorganizme aktivnega blata.

Vse vzorce smo pregledali tudi pod mikroskopom pri različnih povečavah, da bi določili, kakšen je vpliv klora na sestavo aktivnega blata. Že pri zelo nizkih koncentracijah klora smo opazili rahle spremembe na nitastih bakterijah, ki pa so bile tako minimalne, da so bile vidne le pri največji, 1000× povečavi. V vzorcih, ki so vsebovali višje odmerke NaOCl (aq), so bile poškodbe filamentov večje in izrazitejše, zato so bile vidne tudi pri manjših povečavah. Klor je deloval na prosto plavajoče filamente v medprostoru med kosmi aktivnega blata. Ker so bile koncentracije klora nizke ter kontaktni časi relativno kratki (30 min), je klor deloval le na tistih mestih, kjer je kemikalija prišla v stik z organizmi, torej v medprostoru med kosmi. Enako velja za organizme spremljajoče združbe, ki plavajo in lovijo hrano med kosmi aktivnega blata. Le-ti organizmi so se hitro srečali s prostim klorom, saj imajo tudi večjo specifično površino kot bakterije. Nanje je klor deloval že pri nizkih odmerkih NaOCl (aq) ter jim najprej znižal le aktivnost. Za spremljajočo združbo je bil usoden odmerek 2 ml NaOCl (aq), saj v vzorcu D ni bila več prisotna. To je slabost pri uporabi klora za kontrolo napihovanja blata, saj ni selektiven in deluje tako na koristne, kot tudi na nekoristne (nitaste) mikroorganizme.

Po dodatku klora se je sestava aktivnega blata le malo izboljšala, saj je klor poškodoval le filamente v medprostoru med kosmi. Le-ti so se lomili ter veliko njihovih delov je bilo brez celic. Tudi njihova količina se je zmanjševala sorazmerno z višanjem odmerka NaOCl (aq). Če bi opravili daljši poskus z varikino in pustili kemikalijo več časa delovati v vzorcih, bi bil tudi vpliv klora na nitaste bakterije večji. Višji odmerki kemikalije ter daljši kontaktni časi bi sestavo aktivnega blata bolj izboljšali. V tem primeru bi klor deloval tudi na filamente, ki so pritrjeni na kosme. Vendar moramo biti pri doziranju klora zelo previdni ter dozirne koncentracije skrbno določevati. Zato smo v našem poskusu uporabili nekoliko nižje odmerke NaOCl (aq), kot jih priporoča teorija, saj smo se želeli najprej prepričati, kakšen bo odziv biomase na dodano kemikalijo. Že 2 ml varikine, ki vsebujeta le 0,1 mg Cl₂, sta v vzorcu D povzročila odsotnost spremljajoče združbe. Z višanjem odmerka kemikalije smo se ustavili, ko smo videli reakcijo vzorca F na 10 ml NaOCl (aq). Izrazito penjenje in močan vonj po kloru med prezračevanjem je nakazovalo, da je v njih klor deloval na biomaso, zato smo bili tudi prepričani, da bo mikroskopski pregled vzorcev pokazal večje spremembe v sestavi aktivnega blata kot jih je.

Dozirne koncentracije klora je torej potrebno skrbno določiti. Pri kloriranju se priporoča začeti z nižjimi lokalnimi odmerki mase (T), ki se jih postopoma viša, saj se tako aktivno blato postopoma izpostavlja kloru. Zavedati se moramo, da lahko s predoziranjem klora, povzročimo na KČN veliko škodo. Previsoke koncentracije klora lahko bistveno zmanjšajo učinek biološkega čiščenja, saj v

aktivnem blatu vplivajo tudi na koristne mikroorganizme ter povzročijo njihovo odmiranje. Zato ne smejo biti dozirne koncentracije klora previsoke. Najbolje je aktivno blato tekom kloriranja mikroskopsko opazovati, saj se tako najnatančneje ugotovi, ali kemikalija deluje na ciljne (nitaste) bakterije. Za uspešno kontrolo napihovanja blata s kloriranjem je namreč potrebno, da je klor čim bolj ciljen na nitaste bakterije in čimmanj na ostale, koristne mikroorganizme. Previsoki odmerki klora lahko na KČN povzročijo resne zaplete in motnje njenega delovanja, ki lahko zahtevajo veliko časa, da se biomasa ponovno opomore.

V sistem biološkega čiščenja se klor vnaša le v skrajnih primerih, ko ni druge rešitve za kontrolo napihnjene blata. Kloriranje je najbolje uporabiti le kot začasno rešitev. Za KČN predstavlja dodajanje kemikalije tudi velik strošek čiščenja, zato si ne moremo privoščiti, da bi klor uporabljali v nedogled. Poleg tega je cilj biološkega čiščenja, da se organsko onesnaženje razgradi s pomočjo mikroorganizmov na naraven način, zato ni trajnostno, da se v sistem vnaša kemikalije. Napihnjeno blato je najbolje podrobneje preučiti, ugotoviti dejanski vzrok prekomerne rasti nitastih bakterij ter poskusiti, ali se stanje morda lahko izboljša s spremembo obratovalnih parametrov.

V eksperimentalnem delu diplomske naloge, smo potrdili skoraj vse delovne hipoteze. Pričakovali smo nekoliko večji učinek klora na sestavo aktivnega blata, kot smo ga dobili v poskusu z varikino. Klor je deloval le na organizme v medprostoru med kosmi ter ni bistveno izboljšal sestave aktivnega blata, saj je bila v aktivnem blatu še vedno prisotna velika količina filamentov, ki pa so bili najštevilnejši na površini kosmov. V aktivnem blatu se je zmanjšala le količina prosto plavajočih filamentov ter organizmov spremljajoče združbe. Nanje je klor najhitreje deloval, ker imajo veliko specifično površino in je lahko kemikalija hitro delovala na njihove celice. Nitaste bakterije na površini kosmov so ostale nepoškodovane. Predvidevamo, da bi višje koncentracije klora delovale tudi na tiste filamente, ki so vezani na površino kosmov. Sestava aktivnega blata se bi bolj izboljšala, če bi bili odmerki in kontaktni časi kemikalije večji.

Kljub temu, da smo v poskusu z NaOCl (aq) uporabili aeracijo iz SBR bazena, se mi zdi na CČN Piran primerneje, da bi se klor doziral v povratni tok blata, saj je v njem višja koncentracija nitastih bakterij. Z dodajanjem klora v povratno blato bi preprečili tudi penjenje v SBR bazenih, ki bi se pojavilo med prezračevanjem bazena, če bi vanje dozirali klor. Vendar doziranje klora v povratno blato zahteva toliko večjo previdnost, saj je v njem visoka koncentracija tudi ostalih mikroorganizmov, ki so pomembni pri čiščenju odpadne vode in so zato tudi posledice nepravilno določenih odmerkov veliko večje. Dozirne koncentracije klora morajo biti takšne, da klor vpliva le na tiste bakterije, ki imajo večjo specifično površino, torej na ciljne (nitaste) bakterije.

Kloriranje je potencialna rešitev napihnjnega blata na CČN Piran, ki pa jo priporočam le kot začasno rešitev. Začetni lokalni odmerki mase (T) naj ne presegajo 0,20 g Cl₂/kg MLSS, kar je malo višji T, kot ga je vseboval vzorec F. Klor naj se na začetku dozira le v en SBR bazen, saj se lahko na ta način opazuje njegove posledice v dejanskih razmerah. Priporočam, da se sestavo aktivnega blata med kloriranjem mikroskopsko opazuje ter redno določa tudi usedljivost blata, saj se tako najnatančneje določi učinkovitost kloriranja. Kloriranje naj se v ostalih bazenih uporabi šele takrat, ko se izboljša usedanje blata v tistem bazenu, ki ima dodan klor. Na ta način se zmanjša morebitno škodo, ki bi nastala pri doziranju previsokih koncentracij klora. Pomembno je tudi, da se s kloriranjem preneha takoj, ko se usedanje aktivnega blata izboljša do zelene stopnje.

7 ZAKLJUČEK

Na vsaki KČN je zelo pomembno, da se aktivno blato pravilno useda, saj tako iz reaktorjev ne uhaja zaloga pomembne biomase in tudi učinkovitost čiščenja je večja. Kvaliteto aktivnega blata je najbolje redno opazovati z določanjem tehnoloških parametrov usedanja (X, VU, VIB) ter mikroskopskim opazovanjem. Na ta način lahko pravočasno zaznamo spremembe v sestavi aktivnega blata ter lažje ugotovimo tudi vzrok teh sprememb.

Poznamo različne težave usedanja aktivnega blata, med katerimi je najpogostejše napihovanje blata, ki je v Sloveniji precej neraziskano področje. Ta pojav je običajno povezan s prekomernim razmnoževanjem nitastih bakterij v aktivnem blatu. Le-te imajo večjo specifično površino kot ostali organizmi aktivnega blata in so zato tudi v boju za hrano običajno uspešnejše. Rast filamentov lahko zaustavimo na različne načine, tako s kratkoročnimi (nespecifičnimi), kot tudi s dolgoročnimi (specifičnimi) metodami. Nespecifične metode so hitre in učinkovite za vse tipe nitastih bakterij, zato pri njih ni potrebna identifikacija filameta. Za uporabo teh metod se odloča veliko KČN, saj zahtevajo nižje stroške. Kloriranje spada med kratkoročne rešitve in je tudi najpogostejša kontrola napihjenega blata. Uporablja se predvsem v ZDA ter tudi v Italiji. V številnih primerih se je dodajanje klora v sistem biološkega čiščenja izkazalo kot učinkovita metoda kontrole rasti dolgih mrež filamentov, ki pa ima tudi veliko pomanjkljivosti. Klor deluje tako na koristne, kot tudi na nekoristne mikroorganizme, zato se kloriranje uporabi le v skrajnih primerih, ko je potrebno količino nitastih bakterij na hitro zmanjšati.

V diplomski nalogi smo dokazali, da ima CČN Piran težave z napihjenim blatom. Mikroskopska slika aktivnega blata je potrdila, da so plavajoče plasti napihjenega blata na površini SBR bazenov posledica prekomerne rasti nitastih bakterij. Preučili smo tudi vpliv klora na sestavo aktivnega blata in ugotovili, da je kloriranje učinkovita metoda zmanjševanja količine nitastih mikroorganizmov v sistemu. Klor je zelo močan oksidant, ki pa žal ni selektiven, saj povzroči odmiranje vseh mikroorganizmov, ki pridejo v stik z njim. Zato je potrebno biti pri uporabi klora na KČN zelo previden in pri doziranju te močne kemikalije upoštevati vsa navodila.

Trajnostno reševanje problematike napihjenega blata zahteva uporabo specifičnih metod. Za dolgoročno rešitev napihjenega blata na CČN Piran bi bilo potrebno dominantno vrsto nitaste bakterije najprej identificirati ter nato prepoznati tiste dejavnike, ki izpodbudijo njeno rast. Šele na to bi lahko začeli z iskanjem konkretne rešitve, ki bi na CČN Piran dolgoročno izboljšala sestavo aktivnega blata in vplivala na učinkovitejše posedanje biomase. Žal pa živimo v časih, ko ni pomembno, kaj je najbolje, ampak le kako v čimkrajšem času odpraviti težavo z minimalnimi stroški.

VIRI

Activated sludge introduction. 1993. Study guide. Wisconsin, Wisconsin department of natural resources bureau of science services: 29 str.

<http://www.warws.com/documents/ActivatedSludgeintro.pdf> (Pridobljeno 17. 2. 2013.)

Adachi, A., Yatani, Y., Okano, T. 2005. Utilization of rice bran to prevent bulking in the activated sludge process. J. Health Sci. 51, 5: 549-556.

[http://jhs.pharm.or.jp/data/51\(5\)/51_549.pdf](http://jhs.pharm.or.jp/data/51(5)/51_549.pdf) (Pridobljeno 15. 3. 2013.)

Almshawit, H. 2013. Separation of activated sludge problems. Written case study on water treatment problems: 21 str.

http://www.unidue.de/imperia/md/content/waterscience/separation_of_activated_sludge_problems.pdf

(Pridobljeno 18. 2. 2013.)

Beneficial effects following installation of a Corgin Scum Skimmer at the Epsom Water reclamation plant. 2009. Report/case study. Bendigo, Waterform technologies: 15 str.

<http://www.waterform.com.au/File.axd?id=2c359d4e-4a3d-4eaf-996f-ca731e0d7622> (Pridobljeno 19. 3. 2013.)

Corgin Scum Harvester. 2013. Waterform Technologies.

http://www.waterform.com.au/Products/10007/Scum_Harvesting.aspx (Pridobljeno 19. 3. 2013.)

Čarman, I. 2011. Operativno spremljanje kvalitete aktivnega blata s poudarkom na nitastih bakterijah. Novo mesto, Krka d.d. Elektronsko sporočilo od: Brajer Humar, B. 13. 2. 2013. Osebna komunikacija.

Čepelnik, 2009. 2009. Primerjava biofiltracijskega reaktorja in ČN s podaljšano aeracijo. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba P. Čepelnik): 102 str.

http://drugg.fgg.uni-lj.si/150/1/VKI_0131_Cepelnik.pdf (Pridobljeno 5. 2. 2013.)

Dan, N.P. 2001. Biological treatment of high salinity wastewater using yeast and bacterial systems. Doktorska dizertacija. Bangkok, Asian Institute of Technology, School of Environment, Resources and Development (samozaložba N.P. Dan): 109 str.

<http://www.faculty.ait.asia/visu/data/AITThesis/Doctoral%20Thesis%20final/Dan%20Thesis%20%20pdf%202002.pdf> (Pridobljeno 5. 12. 2012.)

Dynamac Corporation. 1987. The Causes and Control of Activated Sludge Bulking and Foaming. Summary report. U.S. Environmental Protection Agency, Center for Environmental Research Information: 100 str.

<http://nepis.epa.gov/Exe/ZyNET.exe/30004EKH.txt?ZyActionD=ZyDocument&Client=EPA&Index=1986%20Thru%201990&Docs=&Query=&Time=&EndTime=&SearchMethod=1&TocRestrict=n&Toc=&TocEntry=&QField=&QFieldYear=&QFieldMonth=&QFieldDay=&UseQField=&IntQFieldOp=0&ExtQFieldOp=0&XmlQuery=&File=D%3A%5CZYFILES%5CINDEX%20DATA%5C86THRU90%5CTXT%5C0000001%5C30004EKH.txt&User=ANONYMOUS&Password=anonymous&SortMethod=h%7C-&MaximumDocuments=1&FuzzyDegree=0&ImageQuality=r75g8/r75g8/x150y150g16/i425&Display=p%7Cf&DefSeekPage=x&SearchBack=ZyActionL&Back=ZyActionS&BackDesc=Results%20page&MaximumPages=1&ZyEntry=1&SeekPage=x#> (Pridobljeno 10. 2. 2013.)

Foaming. 2013. MicrobeWiki.

<http://microbewiki.kenyon.edu/index.php/File:Foaming.jpg> (Pridobljeno 8. 5. 2013.)

Forms of Chlorine in Water. 2013. Hydro Instruments.

http://www.hydroinstruments.com/page.aspx?page_id=104 (Pridobljeno 6. 3. 2013.)

Hach disinfection series - Step 2. 2013. Hach Company.

<http://www.hach.com/DisinfectionSeries02> (Pridobljeno 6. 3. 2013.)

Halogen. 2013. Wikipedia.

<http://sl.wikipedia.org/wiki/Halogen> (Pridobljeno 6. 3. 2013.)

Hansen, B., Smith, G. 2009. Bulking sludge control by simultaneous flocculation with polyaluminum chloride. Švica. Kemira Kemi AB, Kemwater, Box 902: 4 str.

<http://www.ewisa.co.za/literature/files/1998%20-%2046.pdf> (Pridobljeno 10. 2. 2013.)

Ivančič, P. 2013. Biološko čiščenje zasoljenih odpadnih vod. Seminarska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba P. Ivančič): 79 str.

Jenkins, D., Richard, M.G., Daigger, G.T. 2004. Manual on the causes and control of activated sludge bulking, foaming and other solids separation problems. 3rd ed.. London, CRC Press: 190 str.

http://books.google.si/books?id=1UO5_bmHOEQC&pg=PA77&dq=Manual+on+the+Causes+and+Control+of+Activated+Sludge+Bulking,+Foaming+and+Other+Solids+Separation+Problems&hl=sl&sa=X&ei=ieNeUZbeL-Og4gS63YEo&ved=0CC0Q6AEwAA (Pridobljeno 15. 2. 2013.)

Jørgensen, P.E., Kristensen, G.H. 1996. Sonication on activated sludge – increased settleability through breakup of filaments. Conference Preprint Book 2. Singapore, IAWQ 18th Biennial International Conference, Water Quality International '96: 70-77.

King, R.O., Forster, C.F. 1990. Effects of sonication on activated sludge. *Enzyme Microb. Tech.* 12, 2:109-115.

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0141022990900822> (Pridobljeno 10. 3. 2013.)

Kleva Švagelj, D. 2012a. Poslovnik za obratovanje CČN Piran. JP Okolje Piran. Elektronsko sporočilo od: Kleva Švagelj, D. 18. 12. 2012. Osebna komunikacija.

Kleva Švagelj, D. 2012b. Težave CČN Piran s povišano slanostjo in napihovanjem blata. Osebna komunikacija.

Klor. 2013. Wikipedia.

<http://sl.wikipedia.org/wiki/Klor> (Pridobljeno 10. 4. 2013.)

Klorid. 2013. Wikipedia.

<http://sl.wikipedia.org/wiki/Klorid> (Pridobljeno 10. 4. 2013.)

Kurbus, T. 2008. Razvoj visoko učinkovitega postopka čiščenja odpadnih vod v šaržnem biološkem reaktorju. Doktorska disertacija. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za kemijo in kemijsko tehnologijo (samozaložba T. Kurbus): 117 str.

http://www.pif.si/dokumenti%5C29%5C2%5C2009%5CDoktorska_disertacija-Tanja_Kurbus_363.pdf (Pridobljeno 15. 12. 2012.)

Lakay, M.T., Wentzel, M.C., Ekama, G.A., Marais, G.R. 1988. Bulking control with chlorination in a nutrient removal activated sludge system. *Water SA* 14, 1: 35-42.

http://www.wrc.org.za/Knowledge%20Hub%20Documents/Water%20SA%20Journals/Manuscripts/1988/01/WaterSA_1988_01_476.PDF (Pridobljeno 3. 3. 2013.)

Leeuwen, J. 1992. A review of the potential application of non-specific activated sludge bulking control. *Water SA* 18, 2: 101-106.

http://www.wrc.org.za/Knowledge%20Hub%20Documents/Water%20SA%20Journals/Manuscripts/1992/WaterSA_1992_18_0685.PDF (Pridobljeno 20. 2. 2013.)

Leeuwen, J. 1988a. Bulking control with ozonation in a nutrient removal activated sludge system. *Water SA* 14, 3: 119-124.

http://www.wrc.org.za/Knowledge%20Hub%20Documents/Water%20SA%20Journals/Manuscripts/1988/03/WaterSA_1988_03_473.PDF (Pridobljeno 24. 2. 2013.)

Lefebvre, O., Moletta, R. 2006. Treatment of organic pollution in industrial saline wastewater. *Water Res.* 40, 20: 3671–3682.

<http://moletta-methanisation.fr/articles/divers/LefebvreMoletta-WR2006.pdf> (Pridobljeno 15. 1. 2013.)

Lesson 8: Filamentous bacteria. 2013. Mountain Empire Community College, Water/Wastewater Distance Learning Website.

http://water.me.vccs.edu/courses/ENV108/lesson8_2.htm (Pridobljeno 17. 2. 2013.)

Makarovič, K., Lozar, L., Vižin, N., Lozar, T. 2013. Klor. Raziskovalna naloga. Nova Gorica, Gimnazija Nova Gorica.

<http://www.kemija.org/index.php/kemija-mainmenu-38/24-kemijacat/189-klor-raziskovalna-naloga-yse-akr-rabite-vedeti-o-kloru> (Pridobljeno 7. 3. 2013.)

Mangrum, C.R.L. 1998. The effect of anoxic selectors on the control of activated sludge bulking and foaming. Masters thesis. Virginia, Faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University; 70 str.

<http://scholar.lib.vt.edu/theses/available/etd-10198-1456/unrestricted/etd.pdf> (Pridobljeno 20. 3. 2013.)

Miklavčič, J. 2010. Primernost aktivnega blata kot vira ogljika za denitrifikacijo. Magistrska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta (samozaložba J. Miklavčič): 103 str.

http://www.digitalna-knjiznica.bf.uni-lj.si/md_miklavcic_jana.pdf (Pridobljeno 10. 12. 2012.)

Može, V., Škerbec Turk, D. 2009. Poskusno obratovanje centralne čistilne naprave je čisto resno. Javno podjetje Komunala Koper d.o.o., *Marjetica* 13: 10 str.

http://marjetica.komunalakoper.si/nimages/dokumenti/marjetica_feb09_net.pdf (Pridobljeno 15. 11. 2012.)

Naprave. 2013. Agencija Republike Slovenije za okolje.

http://okolje.arso.gov.si/onesnazevanje_voda/vsebine/naprave (Pridobljeno 7. 4. 2013.)

Neethling, JB, Jenkins, D, Johnson, KM. 1985. Chemistry, microbiology, and modelling of chlorination for activated sludge bulking control. *J. Water Pollut. Control Fed.* 57, 8: 882-889.

Nishikawa, S., Kuriyama, M. 1974. Phytic acid as a component of mucilage in activated sludge. *J. Ferment. Technol.* 52: 339-342.

Panjan, J. 2005. Čiščenje odpadnih voda. Študijsko gradivo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 169 str.

Polisaharid. 2013. Wikipedia.

<http://sl.wikipedia.org/wiki/Polisaharid> (Pridobljeno 17. 2. 2013.)

Roš, M., Zupančič, G.D. 2010. Čiščenje odpadnih voda. Velenje, Visoka šola za varstvo okolja: 330 str.

Roš, M. 2005. Sistemi čiščenja s problematiko odpadnega blata. V: Zbornik referatov. Vodni dnevi 2005, Portorož, organizator Slovensko društvo za zaščito voda v sodelovanju s Kemijskim inštitutom, Ljubljana, Laboratorij za kemijo, biologijo in tehnologijo voda ... [in drugi]: 18-26.

http://www.sdzv-drustvo.si/si/vodni_dnevi/2005/referati/03-Ros.pdf (Pridobljeno 15. 2. 2013.)

Roš, M., Vrtovšek, J. 2004. The study of nutrient balance in sequencing batch reactor wastewater treatment. *Acta Chim. Slov.* 51, 4: 779-785.

<http://acta.chem-soc.si/51/51-4-779b.pdf> (Pridobljeno 15. 2. 2013.)

Roš, M. 2001. Biološko čiščenje odpadne vode. Ljubljana, GV založba: 243 str.

Seviour, R. (ur.), Nielsen, P.H. (ur.). 2010. Microbial ecology of activated sludge. London, IWA Publishing: 335 str.

http://books.google.si/books?id=z9ohFDYcAsgC&pg=PA140&lpg=PA140&dq=mikro+floc&source=bl&ots=RMTGJAZWEQ&sig=laBHpZNH7adzDq6kZWSg2wwFQPk&hl=sl&sa=X&ei=vBsiUY71MY_gtQayqYDgAw&ved=0CH8Q6AEwCQ#v=onepage&q=mikro%20floc&f=false (Pridobljeno 18. 2. 2013.)

Surfaktant. 2013. Wikipedia.

<http://bs.wikipedia.org/wiki/Surfaktant> (Pridobljeno 18. 2. 2013.)

Vodopivec, R. 2009. Rekonstrukcija in povečanje CČN Piran. Ekolist 6: 26-28.

<http://www.ekolist.si/documents/s052-rekonstrukcija-in-povecanje-ccn-piran.pdf> (Pridobljeno 15. 12. 2012.)

Understanding activated sludge »selectors« - Part 1. 2013a. Wright's training.

<http://www.wrights-trainingsite.com/SELECTORS,PT1.html> (Pridobljeno 16. 3. 2013.)

Understanding activated sludge »selectors« - Part 2. 2013b. Wright's training.

<http://www.wrights-trainingsite.com>Selectors,%20Pt2.html> (Pridobljeno 17. 3. 2013.)

Wagoner, D. 2010. Troubleshooting the causes of bulking sludge. New Bern, HDR Engineering Inc. of the Carolinas: 23 str.

<http://www.ncsafewater.org/Pics/Training/SpringFling/SC2010/SC10Presentations/WW.Monday.PM.0130.Wagoner.pdf> (Pridobljeno 10. 2. 2013.)

Wastewater Operator Training. 2010. D Hill Environmental.

<http://www.dhillenvironmental.com/Links.htm> (Pridobljeno 8. 5. 2013.)

What is going on in my system? There is all this slime in my clarifier and in my sludge dewatering system?. 2013. Environmental Leverage.

<http://www.environmentalleverage.com/newsletters/zooglea.pdf> (Pridobljeno 18. 2. 2013.)

Wünsch, B., Heine, W., Neis, U. (ur.). 2002. Combatting bulking sludge with ultrasound. Reports on Sanitary Engineering 35. Hamburg, Technical University Hamburg-Harburg, Department of Sanitary and Environmental Engineering, : 201-212 str.

<http://ultrawaves.de/downloads/Ultrawaves-Combatting-Bulking-Sludge.pdf> (Pridobljeno 10. 3. 2013.)

Zagorc-Končan, J., Žgajnar Gotvajn, A., Roš, M., Drolc, A. 2007. Vaje iz ekološkega inženirstva, 3. razširjena izdaja 2001. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za kemijo in kemijsko tehnologijo, Katedra za kemijsko, biokemijsko in ekološko inženirstvo: 66 str.

KAZALO PRILOG

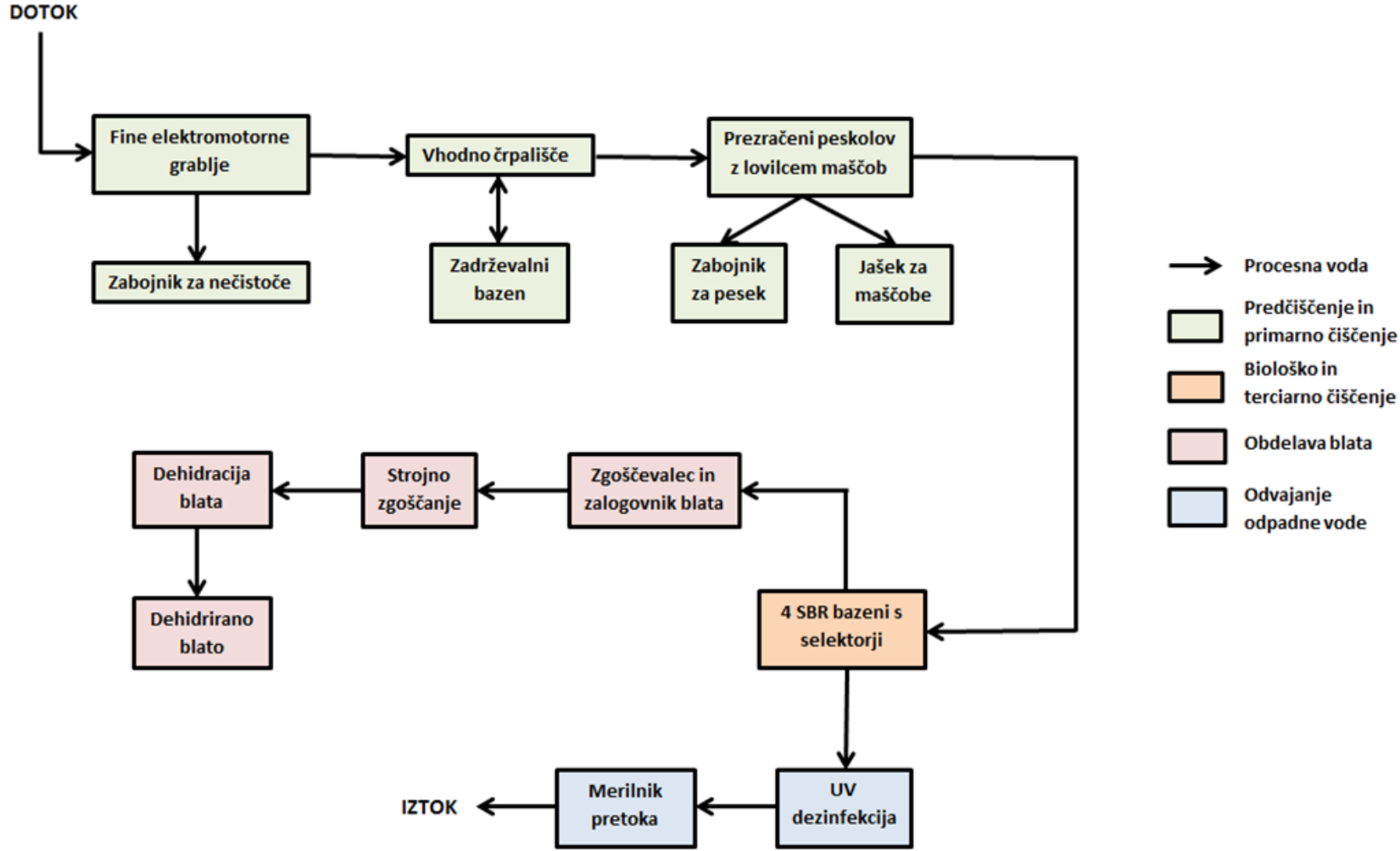
Priloga A1: Tehnološka shema CČN Piran.

Priloga A2: Projektni parametri SBR bazenov na CČN Piran.

Priloga A3: Mesečna povprečja meritev na vtoku in iztoku CČN Piran v letu 2012.

Priloga A4: Minimalni, maksimalni in povprečni parametri vtoka odpadne vode v letu 2012.

Priloga A5: Minimalni, maksimalni in povprečni parametri iztoka odpadne vode v letu 2012.



PRILOGA A2: Projektni parametri SBR bazenov na CCN Piran

Tehnološki parameter SBR	enota	
Število bazenov	kosov	4
Potrebna prostornina	m ³	$1,980/(0,07 \times 5) = 5,657$
Potrebna akumulacija	m ³	$2 \times 801 = 1,602$
Skupna potrebna prostornina	m ³	7,259
Dejanska prostornina	m ³	8,656
Površina vseh SBR	m ²	$4 \times 9,50 \times 34,00 = 1292$
Največja globina vode v bazenih	m	6,7
Višina nihanja vode v bazenih	m	2,48
Najmanjša globina vode v bazenu	m	4,22
Srednja globina vode v bazenu	m	5,29
Aktivno blato		
Obremenitev blata pri min prostornini	(kg BPK ₅)/(kg SS dan)	0,07
Obremenitev blata pri max prostornini	(kg BPK ₅)/(kg SS dan)	0,042
Srednja obremenitev blata	(kg BPK ₅)/(kg SS dan)	0,056
Koncentracija blata	(kg TS)/m ³	5
Število črpalk presežnega blata	kosov	4
Zmogljivost črpalke presežnega blata	l/s	5
Max masna proizvodnja presežnega blata	(kg SS)/d ₇	cca 2,020
Selektorji		
Prostornina selektorja	m ³	$4 \times 458/2 = 916$
Suha snov blata	(kg SS)/m ³	cca 9
Skupna max volumska proizvodnja blata	m ³ /d ₇	cca 224
Število črpalk povratnega blata	kosov	4
Zmogljivost črpalke povratnega blata	l/s	20
Višina črpanja povratnega blata	m	2,5
Prezračevalni sistem SBR		
Srednja globina vpihavanja zraka	m	5,31
OC load	(kg O ₂)/(kg BPK ₅)	2,3
Potreba po kisiku pri S.P.	(kg O ₂)/d ₇	4,554
Alfa faktor		0,65
Specifičen vnos kisika v vodo	(kg O ₂)/(Nmm)	0,019
Potrebna dnevna količina zraka	(N m ³)/d	$4,554/(0,019 \times 5,31 \times 0,65) = 69,443$
Potrebna povprečna urna količina na bazen	(N m ³)/h	$69,443/(4 \times 12) = 1,447$
Število puhal	kosov	4+1
Zmogljivost puhal	(N m ³)/h	$5 \times 800 = 4000$
Tlak puhal	bar	0,77

PRILOGA A4: Minimalni, maksimalni in povprečni parametri vtoka odpadne vode v letu 2012

Param.	T	pH	SS	KPK	BPK	TP	TN	NH ₄ ⁺
Enota	°C		[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]
Povpr.	17,35	7,72	169	308	126,33	4,29	31,99	19,43
Min	6,90	7,5	42	54	21	1,13	14,10	2,00
Max	25,30	7,9	390	530	240	7,30	47,70	33,20

	Povprečje v letu 2012
KPK [mg/l]	308
BPK [mg/l]	126,33
TN [mg/l]	31,99
TP [mg/l]	4,29

PRILOGA A5: Minimalni, maksimalni in povprečni parametri iztoka odpadne vode v letu 2012

Param.	T	pH	SS	KPK	BPK	TP	TN	NH ₄ ⁺
Enota	°C		[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]
Mejna vr.	30	6,5-9,0	35	110	20	2	15	10
Povpr.	19,26	7,13	71	112	21,67	2,66	9,59	2,08
Min	11,80	7	6	10	10	1,06	5,70	2,00
Max	26,70	7,3	239	320	66	6,78	18,40	2,60

	Povprečje v letu 2012
KPK [mg/l]	112
BPK [mg/l]	21,67
TN [mg/l]	9,59
TP [mg/l]	2,66

	Povprečni učinek čiščenja
KPK [%]	58
BPK [%]	74
TN [%]	66
TP [%]	27