

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ŠTUDIJ MIKROBIOLOGIJE

Tina ZUPANČIČ

**IZBOLJŠAVA FUNKCIONALNOSTI AKTIVNEGA
BLATA V BIOLOŠKI ČISTILNI NAPRAVI Z
ZMANJŠEVANJEM DELEŽA FILAMENTOZNIH
BAKTERIJ**

MAGISTRSKO DELO

Magistrski študij – 2. stopnja Mikrobiologija

Ljubljana, 2015

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ŠTUDIJ MIKROBIOLOGIJE

Tina ZUPANČIČ

**IZBOLJŠAVA FUNKCIONALNOSTI AKTIVNEGA BLATA V
BIOLOŠKI ČISTILNI NAPRAVI Z ZMANJŠEVANJEM DELEŽA
FILAMENTOZNIH BAKTERIJ**

MAGISTRSKO DELO
Magistrski študij – 2. stopnja Mikrobiologija

**IMPROVEMENT OF FUNCTIONALITY OF ACTIVATED SLUDGE
IN BIOLOGICAL WASTEWATER TREATMENT PLANT BY
REDUCING THE NUMBER OF FILAMENTOUS BACTERIA**

M.SC. THESIS
Master Study Programmes – Field Microbiology

Ljubljana, 2015

Magistrsko delo je zaključek magistrskega študija 2. stopnje Mikrobiologija na Biotehniški fakulteti Univerze v Ljubljani. Opravljeno je bilo na Centralni čistilni napravi Ptuj, kjer so bili izvedeni vsi poskusi in kemijske analize.

Komisija za študij 1. in 2. stopnje je za mentorico magistrskega dela imenovala prof. dr. Romano Marinšek Logar, za somentorico dr. Brigito Tepuš, za recenzenta pa prof. dr. Hrvoja Petkovića.

Mentorica: prof. dr. Romana Marinšek Logar

Somentorica: dr. Brigita Tepuš

Recenzent: prof. dr. Hrvoje Petković

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik: prof. dr. David STOPAR
Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za živilstvo

Članica: prof. dr. Romana MARINŠEK LOGAR
Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za zootehniko

Članica: dr. Brigita TEPUŠ
Laboratorij Centralne čistilne naprave Ptuj, Komunalno podjetje Ptuj
d.d.

Član: prof. dr. Hrvoje PETKOVIĆ
Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za živilstvo

Datum zagovora:

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

Tina Zupančič

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

ŠD	Du2
DK	UDK 628.355:579.6+602.4(043)=163.6
KG	filamentozne bakterije/odpadne vode/biološke čistilne naprave/aktivno blato/ napihovanje blata/obdelava s solmi/prepihovanje blata/dodajanje maščob
AV	ZUPANČIČ, Tina, dipl. mikrobiol. (UN)
SA	MARINŠEK LOGAR, Romana (mentorica)/ TEPUŠ, Brigita (somentorica)/ PETKOVIČ, Hrvoje (recenzent)
KZ	SI-1000 Ljubljana, Jamnikarjeva 101
ZA	Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Študij mikrobiologije
LI	2015
IN	IZBOLJŠAVA FUNKCIONALNOSTI AKTIVNEGA BLATA V BIOLOŠKI ČISTILNI NAPRAVI Z ZMANJŠEVANJEM DELEŽA FILAMENTOZNIH BAKTERIJ
TD	Magistrsko delo (Magistrski študij – 2. stopnja Mikrobiologija)
OP	XIII, 88 str., 6 pregl., 63 sl., 2 pril., 60 vir.
IJ	sl
JI	sl/en
AI	V bioloških čistilnih napravah odpadno vodo prečistijo mikroorganizmi v aktivnem blatu, ki se mora za boljšo učinkovitost čiščenja v zadnji fazi procesa pred dekantiranjem iztoka posesti na dno. Na posedanje blata lahko negativno vpliva prisotnost filamentoznih bakterij, ki se pri določenih pogojih namnožijo in zaradi nitaste strukture povzročajo nastanek odprtih flokul in mostov med njimi, kar vpliva na pojav napihovanja in/ali penjenja blata. V nalogi smo na Centralni čistilni napravi (CCN) Ptuj in ČN X zaradi slabe sposobnosti usedanja aktivnega blata preučevali možne rešitve za izboljšanje strukture blata in s tem želeli vplivati na izboljšanje usedljivosti. Za izboljšanje usedljivosti smo testirali štiri različne soli, ki smo jih dodali v aktivno blato: AlCl_3 , $\text{FeCl}_3 \times 16\text{H}_2\text{O}$, $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \times 16\text{H}_2\text{O}$, poli – AlCl_3 in komercialni flokulant Nanofloc A644 (VTA, Avstrija), saj soli zaradi večvalentnega pozitivnega naboja delujejo kot koagulanti in omogočajo povezovanje manjših negativno nabitih delcev (flokul) v večje skupke. Ugotovili smo, da je uporaba soli pri blatu iz CCN Ptuj in ČN X znižala pH vrednost blata, usedljivost blata iz CCN Ptuj se je z višanjem koncentracije soli zmanjšala, najverjetneje zaradi inverzije naboja na površini delcev kot posledica dodatka previsoke koncentracije soli. Na ČN X pa smo z uporabo soli in flokulanta izboljšali usedljivost, pri tem je bil najbolj učinkovit $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \times 16\text{H}_2\text{O}$, s katerim smo pri koncentraciji 15 gAl/kgSS usedljivost izboljšali za 33,5 %. Na morfološko strukturo blata smo poskušali vplivati še z optimizacijo koncentracije raztopljenega kisika (DO), tako da smo simulirali čistilno napravo v treh ločenih bioreaktorjih. V bioreaktorju 1 smo s preprihovanjem vzdrževali koncentracijo DO okoli 1,5 mg/l, v bioreaktorju 2 smo vzdrževali povprečno koncentracijo DO nad 5 mg/l, v bioreaktorju 3 pa smo vzpostavili zgolj mešanje brez prezračevanja. Pri tem poskusu smo bili uspešnejši z aktivnim blatom iz ČN X, kjer je višja koncentracija kisika pripomogla k izboljšanju strukture flokul in zmanjšanju števila filamentoznih bakterij suspendiranih med flokulami, kar je posledično povečalo usedljivost blata. Želeli smo tudi ugotoviti, ali na proliferacijo filamentoznih bakterij v blatu, vpliva povečana količina maščob. Naredili smo poskus z dodajanjem maščob iz maščobnika CCN Ptuj aktivnemu blatu iz CCN Ptuj in ČN X v treh ločenih bioreaktorjih pri enakih pogojih kot v poskusu s preprihovanjem, vendar pri tem nismo opazili povečanja števila filamentoznih bakterij ne pri aktivnem blatu iz CCN Ptuj, ne pri aktivnem blatu iz ČN X.

KEY WORDS DOCUMENTATION

DN Du2
DC UDC 628.355:579.6+602.4(043)=163.6
CX filamentous bacteria/waste water/biological waste water treatment plant/activated sludge/bulking/treatment with salts/aeration/grease addition
AU ZUPANČIČ, Tina
AA MARINŠEK LOGAR, Romana (supervisor)/ TEPUŠ, Brigita (co-supervisor)/ PETKOVIĆ, Hrvoje (reviewer)
PP SI-1000 Ljubljana, Jamnikarjeva 101
PB University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Academic Study in Microbiology
PY 2015
TI IMPROVEMENT OF FUNCTIONALITY OF ACTIVATED SLUDGE IN BIOLOGICAL WASTEWATER TREATMENT PLANT BY REDUCING THE NUMBER OF FILAMENTOUS BACTERIA
DT M. Sc. Thesis (Master Study Programmes: Field Microbiology)
NO XIII, 88 p., 6 tab., 63 fig., 2 ann., 60 ref.
LA sl
AL sl/en
AB During the process of biological waste water treatment organic and anorganic components in waste water are processed by microorganisms in activated sludge. To ensure overall cleaning efficiency in the waste water treatment plant (WWTP) during the last phase of process, activated sludge has to settle down efficiently. It is known that filamentous bacteria present in the sludge can impact the ability of settlement. Overabundance of filamentous bacteria, can interfere with settling of activated sludge by producing diffuse floc structure as a consequence of formation of bridges between them, thus negatively impact the formation of flocs. It was the aim of this study to improve flocculation process by improving microbial culture morphology of activated sludge on WWTP Ptuj, thus improving the ability of sludge's settling rate. Impact of addition of four different inorganic salts for improving the sludge's settlement was evaluated: AlCl_3 , $\text{FeCl}_3 \times 16\text{H}_2\text{O}$, $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \times 16\text{H}_2\text{O}$, poli – AlCl_3 and commercial flocculant Nanofloc A644 were used. We set experiments on activated sludge from two WWTP: WWTP Ptuj and WWTP X. The application of salts in activated sludge from WWTP Ptuj resulted in reduced pH value of the sludge, but didn't improve the rate of settlement. On the other hand, by adding salts we achieved improved settlement of activated sludge from WWTP X. The best settling velocity was achieved with $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \times 16\text{H}_2\text{O}$. Settling velocity has improved by 33,5 % by adding 15 gAl/kgSS. We also attempted to improve floc structure by increasing dissolved oxygen (DO) content. We carried out experiments in the simulated WWTP in three separate bioreactors; in bioreactor 1 DO concentration was around 1,5 mg/l, in bioreactor 2 DO concentration was above 5 mg/l, in bioreactor 3 only mixing without aeration was performed. Interestingly, higher DO value improved floc structure in the activated sludge from WWTP X, as a consequence of reduction of morphologically suspended growth of filamentous bacteria, thus resulting in better ability for settlement. Finally, by applying approach, in which addition of fat from grease separators for burial was tested, we aimed to evaluate the impact of fat on the growth and morphology of filamentous bacteria present in activated sludge. By addition of the fat, number of filamentous bacteria didn't increase neither in activated sludge from WWTP Ptuj, nor from WWTP X.

KAZALO VSEBINE

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA	III
KEY WORDS DOCUMENTATION	IV
KAZALO VSEBINE	V
KAZALO SLIK	VIII
KAZALO PRILOG	XI
OKRAJŠAVE IN SIMBOLI	XII
SLOVARČEK.....	XIII
1 UVOD	1
1.1 NAMEN MAGISTRSKEGA DELA	2
1.2 HIPOTEZE.....	2
2 PREGLED OBJAV.....	3
2.1 DELOVANJE ČISTILNE NAPRAVE S TEHNOLOGIJO SEKVENČNEGA ŠARŽNEGA BIOLOŠKEGA REAKTORJA	3
2.2 PROCES USEDANJA AKTIVNEGA BLATA	6
2.3 NAPIHOVANJE IN PENJENJE AKTIVNEGA BLATA.....	6
2.3.1 Najpogostejši vzroki za razrast filamentoznih bakterij	7
2.3.1.1 Sestava odpadne vode	7
2.3.1.2 Koncentracija dostopnega substrata.....	8
2.3.1.3 Koncentracija raztopljenega kisika	8
2.3.1.4 Zadrževalni čas blata.....	9
2.3.1.5 Pomanjkanje hranil.....	9
2.3.1.6 Temperatura	9
2.3.2 Filamentozne bakterije, ki povzročajo napihovanje aktivnega blata	9
2.3.2.1 Opis najpogostejših filamentoznih bakterij.....	12
2.3.2.1.1 <i>Beggiatoa</i> spp.	12
2.3.2.1.2 <i>Haliscomenobacter hydrossis</i>	12
2.3.2.1.3 <i>Candidatus Microthrix parvicella</i>	13
2.3.2.1.4 ' <i>Nostocoida limicola</i> ' II.....	13
2.3.2.1.5 <i>Mycolata</i>	14
2.3.2.1.6 Bakterija tip 0092	14
2.3.2.1.7 Bakterija tip 0041	14
2.3.2.1.8 Bakterija tip 1851	14
2.4 METODE ZA PREPREČEVANJE NAPIHOVANJA IN PENJENJA BLATA.....	15
2.4.1 Kratkoročne - nespecifične metode	15
2.4.1.1 Uporaba polimerov in flokulantov	15

2.4.1.2	Kloriranje, ozoniranje in dodajanje vodikovega peroksida.....	17
2.4.2	Dolgoročne - specifične metode.....	17
2.4.2.1	Vzdrževanje primerne koncentracije raztopljenega kisika	18
2.4.2.2	Preprečevanje pojava septičnosti vode.....	18
2.4.2.3	Izboljšanje razmerja F/M	19
2.4.2.4	Vzdrževanje ustreznega razmerja hranil	19
2.4.2.5	Uporaba selektorjev	20
3	MATERIALI IN METODE	22
3.1	POSKUS Z DODATKOM IZBRANIH SOLI IN FLOKULANTA V SUSPENZIJI AKTIVNEGA BLATA IZ CČN PTUJ IN ČN X	24
3.2	POSKUS S PREPIHOVANJEM AKTIVNEGA BLATA IZ CČN PTUJ IN ČN X.....	26
3.3	POSKUS Z DODATKOM MAŠČOB AKTIVNEMU BLATU IZ CČN PTUJ IN ČN X.....	29
3.4	MIKROSKOPIRANJE.....	29
3.4.1	Barvanje po Gramu	29
3.4.2	Barvanje po Neisserju.....	29
3.4.3	Identifikacija rodov/tipov filamentoznih bakterij	30
3.4.4	Ocenjevanje števila filamentoznih bakterij	30
3.5	ANALIZE AKTIVNEGA BLATA.....	30
3.5.1	Ugotavljanje koncentracije aktivnega blata – suha snov (SS)	30
3.5.2	Usedljivost blata (UB).....	31
3.5.3	Volumski indeks blata (SVI).....	31
3.5.4	Merjenje koncentracije raztopljenega kisika (DO) in pH vrednosti suspenzije.....	31
3.6	ANALIZE VTOKA IN IZTOKA.....	32
3.6.1	Analiza KPK.....	32
3.6.2	Analiza BPK ₅	32
3.6.3	Analiza TOC in TN.....	33
3.6.4	Analiza skupnega fosforja	33
3.6.5	Analiza NO ₃ -N, NO ₂ -N in PO ₄ -P	33
4	REZULTATI	34
4.1	MORFOLOŠKE ZNAČILNOSTI AKTIVNEGA BLATA IZ CČN PTUJ IN ČN X.....	34
4.1.1	Morfološke značilnosti aktivnega blata CČN Ptuj	34
4.1.2	Morfološke značilnosti blata ČN X	35
4.2	REZULTATI POSKUSA Z DODAJANJEM SOLI AKTIVNEMU BLATU IZ CČN PTUJ.....	37
4.2.1	Dodatek Al ₂ (SO ₄) ₃ ×16H ₂ O.....	37
4.2.2	Dodatek AlCl ₃	37

4.2.3	Dodatek poli- AlCl_3	38
4.2.4	Dodatek $\text{FeCl}_3 \times 16\text{H}_2\text{O}$	39
4.2.5	Dodatek flokulanta Nanofloc A644	40
4.2.6	Vpliv dodatka $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \times 16\text{H}_2\text{O}$, AlCl_3 , $\text{FeCl}_3 \times 16\text{H}_2\text{O}$, poli – AlCl_3 in flokulanta Nanofloc A644 na pH vrednost in SVI suspenzije aktivnega blata	40
4.3	REZULTATI POSKUSA Z DODAJANJEM SOLI AKTIVNEMU BLATU IZ ČN X	42
4.3.1	Dodatek $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \times 16\text{H}_2\text{O}$	42
4.3.2	Dodatek AlCl_3	44
4.3.3	Dodatek poli- AlCl_3	46
4.3.4	Dodatek $\text{FeCl}_3 \times 16\text{H}_2\text{O}$	48
4.3.5	Dodatek flokulanta Nanofloc A644	50
4.3.6	Vpliv dodatka soli in flokulanta na pH vrednost, FI in SVI suspenzije aktivnega blata	52
4.4	REZULTATI POSKUSA S PREPIHOVANJEM AKTIVNEGA BLATA	54
4.4.1	Spreminjanje morfologije aktivnega blata	54
4.4.2	Rezultati dnevnega spremljanja fizikalno-kemijskih lastnosti aktivnega blata	58
4.4.3	Rezultati kemijskih analiz iztoka	64
4.5	REZULTATI POSKUSA Z DODAJANJEM MAŠČOB AKTIVNEMU BLATU	70
5	RAZPRAVA	72
5.1	POSKUS Z DODAJANJEM SOLI AKTIVNEMU BLATU IZ CČN PTUJ IN ČN X	72
5.2	POSKUS S PREPIHOVANJEM AKTIVNEGA BLATA IZ CČN PTUJ IN ČN X	75
5.3	POSKUS Z DODAJANJEM MAŠČOB AKTIVNEMU BLATU IZ CČN PTUJ IN ČN X	78
5.4	IZRAČUN STROŠKOV DODATKA NAJPRIMERNEJŠE SOLI V ČN X	79
6	SKLEPI	80
7	POVZETEK	81
8	VIRI	83
	ZAHVALA	
	PRILOGE	

KAZALO SLIK

Slika 1	Prikaz delovanja SBR bazena znotraj enega zaključenega cikla	4
Slika 2	Panoramska fotografija CČN Ptuj	5
Slika 3	Graf odvisnosti specifične hitrosti rasti od koncentracije substrata za filamentozne bakterije in ostale bakterije, ki tvorijo flokule	8
Slika 4	Spreminjanje volumskega indeksa blata in gostote nitastih bakterij v aktivnem blatu med poskusom z dodajanjem železovih in aluminijevih soli	16
Slika 5	Shematski prikaz poskusov	23
Slika 6	Poskus dodatka posameznih soli $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \times 16\text{H}_2\text{O}$, AlCl_3 , $\text{FeCl}_3 \times 16\text{H}_2\text{O}$, poli – AlCl_3 in flokulanta Nanofloc A644 v aktivno – mešanje blata po dodatku soli na magnetnih mešalih	25
Slika 7	Poskus z dodajanjem izbranih soli in flokulanta v aktivno blato – preizkus usedljivosti blata v litrskih valjih	25
Slika 8	Shema poskusa s prepihovanjem: posoda 1, 2, 3 = bioreaktor 1, 2, 3	27
Slika 9	Poskus s prepihovanjem blata: priprava steklenih bioreaktorjev	28
Slika 10	Poskus s prepihovanjem: polni bioreaktorji v času poskusa - biološki cikel čiščenja	28
Slika 11	Nativni preparat aktivnega blata iz CČN Ptuj	34
Slika 12	Obarvani preparati aktivnega blata iz CČN Ptuj	35
Slika 13	Nativni preparati aktivnega blata iz ČN X	36
Slika 14	Obarvani preparati aktivnega blata iz ČN X	36
Slika 15	Vpliv dodatka različnih koncentracij $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \times 16\text{H}_2\text{O}$ na usedanje aktivnega blata iz CČN Ptuj	37
Slika 16	Vpliv dodatka različnih koncentracij AlCl_3 na usedanje aktivnega blata iz CČN Ptuj	38
Slika 17	Vpliv dodatka različnih koncentracij poli- AlCl_3 na usedanje aktivnega blata iz CČN Ptuj	39
Slika 18	Vpliv dodatka različnih koncentracij $\text{FeCl}_3 \times 16\text{H}_2\text{O}$ na usedanje aktivnega blata iz CČN Ptuj	39
Slika 19	Vpliv dodatka različnih koncentracij flokulanta Nanofloc A644 na usedanje aktivnega blata iz CČN Ptuj	40
Slika 20	Vpliv koncentracije $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \times 16\text{H}_2\text{O}$, AlCl_3 , $\text{FeCl}_3 \times 16\text{H}_2\text{O}$, poli – AlCl_3 in flokulanta Nanofloc A644 na spremembo pH suspenzije aktivnega blata iz CČN Ptuj	41
Slika 21	Vpliv koncentracije $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \times 16\text{H}_2\text{O}$, AlCl_3 , $\text{FeCl}_3 \times 16\text{H}_2\text{O}$, poli – AlCl_3 in flokulanta Nanofloc A644 na spremembo SVI suspenzije aktivnega blata iz CČN Ptuj	41
Slika 22	Vpliv dodatka različnih koncentracij $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \times 16\text{H}_2\text{O}$ na usedanje aktivnega blata iz ČN X	42
Slika 23	40X povečava aktivnega blata iz ČN X po dodatku $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \times 16\text{H}_2\text{O}$	43
Slika 24	100X povečava aktivnega blata iz ČN X po dodatku $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \times 16\text{H}_2\text{O}$	43

Slika 25	Vpliv dodatka različnih koncentracij AlCl_3 na usedanje aktivnega blata iz ČN X	44
Slika 26	40X povečava aktivnega blata iz ČN X po dodatku AlCl_3	45
Slika 27	100X povečava aktivnega blata iz ČN X po dodatku AlCl_3	45
Slika 28	Vpliv dodatka različnih koncentracij poli- AlCl_3 na usedanje aktivnega blata iz ČN X	46
Slika 29	40X povečava aktivnega blata iz ČN X po dodatku poli- AlCl_3	47
Slika 30	100X povečava aktivnega blata iz ČN X po dodatku poli- AlCl_3	47
Slika 31	Vpliv dodatka različnih koncentracij $\text{FeCl}_3 \times 16\text{H}_2\text{O}$ na usedanje aktivnega blata iz ČN X	48
Slika 32	40X povečava aktivnega blata iz ČN X po dodatku $\text{FeCl}_3 \times 16\text{H}_2\text{O}$	49
Slika 33	100X povečava aktivnega blata iz ČN X po dodatku $\text{FeCl}_3 \times 16\text{H}_2\text{O}$	49
Slika 34	Vpliv dodatka različnih koncentracij flokulanta Nanofloc A644 na usedanje aktivnega blata iz ČN X	50
Slika 35	40X povečava aktivnega blata iz ČN X po dodatku flokulanta Nanofloc A644	51
Slika 36	100X povečava aktivnega blata iz ČN X po dodatku flokulanta Nanofloc A644	51
Slika 37	Vpliv koncentracije $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \times 16\text{H}_2\text{O}$, AlCl_3 , $\text{FeCl}_3 \times 16\text{H}_2\text{O}$, poli – AlCl_3 in flokulanta Nanofloc A644 na spremembo pH suspenzije aktivnega blata iz ČN X	53
Slika 38	Vpliv koncentracije $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \times 16\text{H}_2\text{O}$, AlCl_3 , $\text{FeCl}_3 \times 16\text{H}_2\text{O}$, poli – AlCl_3 in flokulanta Nanofloc A644 na spremembo SVI suspenzije aktivnega blata iz ČN X	53
Slika 39	Mikroskopske fotografije nativnih preparatov aktivnega blata iz bioreaktorja 1 razporejene po dnevih od začetka do konca poskusa s prepihovanjem aktivnega blata iz ČN X (40X povečava)	55
Slika 40	Mikroskopske fotografije nativnih preparatov aktivnega blata iz bioreaktorja 1 razporejene po dnevih od začetka do konca poskusa s prepihovanjem aktivnega blata iz ČN X (100X povečava FK)	55
Slika 41	Mikroskopske fotografije nativnih preparatov aktivnega blata iz bioreaktorja 2 razporejene po dnevih od začetka do konca poskusa s prepihovanjem aktivnega blata iz ČN X (40X povečava)	56
Slika 42	Mikroskopske fotografije nativnih preparatov aktivnega blata iz bioreaktorja 2 razporejene po dnevih od začetka do konca poskusa s prepihovanjem aktivnega blata iz ČN X (100X povečava FK)	56
Slika 43	Mikroskopske fotografije nativnih preparatov aktivnega blata iz bioreaktorja 3 razporejene po dnevih od začetka do konca poskusa s prepihovanjem aktivnega blata iz ČN X (40X povečava)	57
Slika 44	Mikroskopske fotografije nativnih preparatov aktivnega blata iz bioreaktorja 3 razporejene po dnevih od začetka do konca poskusa s prepihovanjem aktivnega blata iz ČN X (100X povečava FK)	57
Slika 45	Spreminjanje pH vrednosti suspenzije blata iz ČN X v času pet-dnevnega poskusa v vseh treh bioreaktorjih	58
Slika 46	Spremljanje koncentracije raztopljenega kisika v bioreaktorju 1 v pet-dnevnem poskusu z aktivnim blatom iz ČN X	59

Slika 47	Spremljanje koncentracije raztopljenega kisika v bioreaktorju 2 v pet-dnevnem poskusu z aktivnim blatom iz ČN X	59
Slika 48	Spremljanje koncentracije raztopljenega kisika v bioreaktorju 3 v pet-dnevnem poskusu z aktivnim blatom iz ČN X	60
Slika 49	Spremljanje koncentracije suhe snovi v suspenziji aktivnega blata iz ČN X	61
Slika 50	Spremljanje usedanja aktivnega blata iz ČN X v bioreaktorju 1 v pet-dnevnem poskusu	62
Slika 51	Spremljanje usedanja aktivnega blata iz ČN X v bioreaktorju 2 v pet-dnevnem poskusu	62
Slika 52	Spremljanje usedanja aktivnega blata iz ČN X v bioreaktorju 3 v pet-dnevnem poskusu	63
Slika 53	Spremljanje vrednosti SVI v pet-dnevnem poskusu z aktivnim blatom iz ČN X	63
Slika 54	Spremljanje koncentracije KPK v iztoku vseh treh bioreaktorjev po 23-urnem biološkem čiščenju v pet-dnevnem poskusu z aktivnim blatom iz ČN X	65
Slika 55	Spremljanje koncentracije BPK ₅ v iztoku vseh treh bioreaktorjev po 23-urnem biološkem čiščenju v pet-dnevnem poskusu z aktivnim blatom iz ČN X	65
Slika 56	Spremljanje koncentracije TOC v iztoku vseh treh bioreaktorjev po 23-urnem biološkem čiščenju v pet-dnevnem poskusu z aktivnim blatom iz ČN X	66
Slika 57	Spremljanje koncentracije celotnega fosforja v iztoku vseh treh bioreaktorjev po 23-urnem biološkem čiščenju v pet-dnevnem poskusu z aktivnim blatom iz ČN X	66
Slika 58	Spremljanje koncentracije orto - fosfata v iztoku vseh treh bioreaktorjev po 23-urnem biološkem čiščenju v pet-dnevnem poskusu z aktivnim blatom iz ČN X	67
Slika 59	Spremljanje koncentracije celotnega dušika v iztoku vseh treh bioreaktorjev po 23-urnem biološkem čiščenju v pet-dnevnem poskusu z aktivnim blatom iz ČN X	68
Slika 60	Spremljanje koncentracije nitrata in nitrita v iztoku vseh treh bioreaktorjev po 23-urnem biološkem čiščenju v pet-dnevnem poskusu z aktivnim blatom iz ČN X	68
Slika 61	Spremljanje koncentracije amonija v iztoku vseh treh bioreaktorjev po 23-urnem biološkem čiščenju v pet-dnevnem poskusu z aktivnim blatom iz ČN X	69
Slika 62	Mikroskopske slike, ki prikazujejo vpliv dodatka maščob na aktivno blato iz CCN Ptuj prvi in zadnji dan poskusa (100X povečava, FK)	70
Slika 63	Mikroskopske slike, ki prikazujejo vpliv dodatka maščob na aktivno blato iz ČN X prvi in zadnji dan poskusa (100X povečava, FK)	71

KAZALO PRILOG

Priloga A Dihotomni ključ, ki smo ga uporabili kot pomoč pri identifikaciji nitastih bakterij v aktivnem blatu.

Priloga B Podatki kemijskih analiz iztoka pri pet-dnevnem poskusu s prepihanjem aktivnega blata iz CČN Ptuj

OKRAJŠAVE IN SIMBOLI

BPK ₅ (mg/l)	biokemijska potreba po kisiku v petih dneh
CČN	centralna čistilna naprava
ČN	čistilna naprava
DO (mg/l)	raztopljen kisik (ang. dissolved oxygen)
EPS	zunajcelični polimeri (ang. extracellular polymeric substance)
FI	filamentozni indeks
FK	fazni kontrast
KPK (mg/l)	kemijska potreba po kisiku
LCFA	dolgoveržne maščobne kisline (ang. long-chain fatty acids)
NH ₄ -N (mg/l)	koncentracija dušika v obliki amonija
NO ₃ -N + NO ₂ -N (mg/l)	koncentracija dušika v obliki nitrata in nitrita
N-tot (mg/l)	koncentracija skupnega dušika tj. vsota organsko vezanega N, NO ₃ -N, NO ₂ -N in NH ₄ -N
PO ₄ -P (mg/l)	koncentracija fosforja v obliki orto-fosfata
PHB	poli-hidroksi-butirat
P-tot (mg/l)	koncentracija skupnega fosforja tj. vsota organsko vezanega P, polifosfatov in orto-fosfata
razmerje F/M	razmerje med hrano in mikroorganizmi (ang. food/microorganism ratio)
SBR	sekvenčni šaržni biološki reaktor (ang. sequencing batch reactor)
SRT	zadrževalni čas blata (ang. sludge retention time)
SS (g/l)	suha snov
SSVI (ml/g)	premešani volumski indeks blata (ang. stirred sludge volume index)
SVI (ml/g)	volumski indeks blata (ang. sludge volume index)
TLS	težkohlapne lipofilne snovi

SLOVARČEK

Aktivno blato	biološka masa sestavljena iz bakterij, gliv, praživali, organskih in anorganskih snovi, ki nastane z rastjo mikroorganizmov v aerobnih in anoksičnih pogojih med čiščenjem odpadne vode
Filamentozni indeks	ocena velikosti populacije filamentoznih bakterij z razvrstitvijo v posamezne razrede
Flokulacija	tvorba kosmov z združevanjem manjših delcev; postopek pospešimo na mehanični, fizikalni, kemijski ali biološki način
Flokulant	kemikalija, ki jo dodajamo za pospeševanje kosmičenja ali povečevanje velikosti in trdnosti kosmov
Koagulacija	destabilizacija neraztopljenih snovi in koloidov, s čimer omogočimo kosmičenje
Koagulant	kemikalija, ki destabilizira suspenzijo, običajno so to anorganske soli, ki vsebujejo večvalentne železove, kalicijeve ali aluminijeve katione
Septična voda	‘gnila voda’, ki dolgo potuje po kanalizacijskem kanalu, v kateri prisotni mikroorganizmi proizvajajo pline, predvsem vodikov sulfid (H_2S)

1 UVOD

Biološke čistilne naprave so nepogrešljiv način čiščenja odpadnih vod v novodobnem svetu. Ozaveščanje ljudi o varovanju okolja narašča, posledično se zaostrojuje tudi zakonodaja, ki določa, kakšni izpusti v okolje so dovoljeni. Iztok bioloških čistilnih naprav mora ustrezati vse strožjim kriterijem, s katerimi omejujejo predvsem prevelike obremenitve okolja z organskimi snovmi, virom dušika in fosforja.

Da biološka čistilna naprava ustrezno deluje, mora biti tehnološki proces pravilno zasnovan, ob vzdrževanju ustreznih parametrov pa se v biološkem delu čiščenja razvije zaželeno mikrobna združba, ki omogoča odstranjevanje topnih in koloidnih snovi in jih pretvarja v mikrobno biomaso. Odpadna voda se torej prečisti zaradi delovanja aktivnega blata, kjer se organska snov porabi za rast in razmnoževanje mikroorganizmov. Po čiščenju v aeracijskih bazenih sledi posedanje blata v sekundarnih sedimentacijskih bazenih. V nekaterih novejših sistemih čistilnih naprav je biološko čiščenje osnovano s tehnologijo sekvenčnih šaržnih bioloških reaktorjev (ang. sequencing batch reactor, SBR), kjer poteka biološko čiščenje, usedanje aktivnega blata in izpust očiščenega iztoka v istem bazenu (Roš in Zupančič, 2010).

Za dobro delovanje čistilne naprave je pomembno dobro usedanje aktivnega blata, ki je posledica flokulacije delcev in gravitacijske sedimentacije na dno bazena. S tem pridobimo bister iztok z malo suspendiranih delcev, le – ti se po usedanju na dno v določeni meri vračajo nazaj v bazene, del pa se izloči kot odvečno blato (Jenkins in sod., 2004). Vendar se veliko čistilnih naprav po vsem svetu, med katerimi so tudi čistilne naprave na območju Ptujске regije, srečuje s problemi zmanjšane sposobnosti usedanja aktivnega blata. Vzrok za slabo usedanje je večinoma prekomerna namnožitev filamentoznih bakterij, ki zaradi svoje morfologije povzročajo tvorbo mostičkov med flokulami in nastanek razpršenih flokul, kar opazimo kot napihnjeno blato (Jenkins in sod., 2004). Zaradi slabega usedanja aktivnega blata, se z izpustom iztoka v okolje izloči tudi del suspendiranih delcev (mikrobne biomase), s tem vodotoke obremenimo z dodatno organsko snovjo, kar lahko vpliva na nezaželjene pojave v okolju.

Poznamo več vrst filamentoznih bakterij med katerimi jih mnogo še vedno ni identificiranih in taksonomsko uvrščenih, zato se v stroki večinoma uporablja identifikacija po Eikelboomu, ki temelji na morfoloških značilnostih in različnih barvanjih filamentov, kar opazujemo z mikroskopom (Martins in sod., 2004; Eikelboom, 2000). Na podlagi določitve vrste nitastih bakterij, ki so prisotne v aktivnem blatu, lahko ugotovimo vzroke za njihovo razrast, saj ima vsak posamezen tip bakterije specifične pogoje za razmnoževanje. Najpogostejše težave na čistilnih napravah, ki pospešujejo razmnoževanje nitastih bakterij, so nizka koncentracija raztopljenega kisika v aeracijskih bazenih in pojavljanje anaerobnih con, pomanjkanje dušika in fosforja, prenizko razmerje med

količino substrata in mikroorganizmi (F/M razmerje – ang. food/microorganisms ratio) ter povečana koncentracija maščob in olj v aeracijskih bazenih (Martins in sod., 2004). Na strukturo aktivnega blata vpliva tudi temperatura, zato je razrast filamentoznih bakterij pri večini čistilnih naprav sezonski pojav. Težave se najpogosteje pojavljajo v hladnejšem in prehodnem času zima – pomlad, saj je temperatura vode nizka in ustreza ravnem pogojem nitastih bakterij. V hladnejšem obdobju leta se posledično volumski indeks blata poveča (Lyko in sod., 2012; Lienen in sod., 2014) v poletnem času pa je problemov z napihovanjem blata manj.

Cilj naloge je bil najti rešitve za izboljšanje strukture aktivnega blata, kar bi posledično vplivalo tudi na boljše usedanje blata. Poleg tega smo želeli ugotoviti, če je vzrok za pojav in proliferacijo filamentoznih bakterij povečana količina maščob v aeracijskem bazenu.

1.1 NAMEN MAGISTRSKEGA DELA

Namen tega magistrskega dela je bil najti rešitve za zmanjšanje deleža nitastih bakterij v aktivnem blatu in s tem vplivati na izboljšanje usedljivosti. Z izboljšanjem usedanja aktivnega blata bi dosegli kvalitetnejši iztok, ki bi minimalno bremenil okolje. V ta namen smo preizkusili dva različna načina obdelave blata, prvi je bil uporaba komercialnega flokulanta Nanofloc A644 in aluminijevih ter železovih soli, ki delujejo kot koagulant, saj manjše negativno nabite delce povežejo med seboj v večje in kompaktnije strukture. Drugi način obdelave blata pa je bilo prezračevanje pri različnih koncentracijah kisika, pri zelo nizkih koncentracijah (okoli 0,10 mg/l), pri koncentraciji, ki jo običajno vzdržujejo v aeracijskih bazenih na sami čistilni napravi (1,5 mg/l) in pri visoki koncentraciji kisika, ki se je gibala nad vrednostjo 5 mg/l.

Poleg reševanja problemov z napihovanjem pa smo želeli ugotoviti, če povečana koncentracija maščob v vtoku vpliva na povečanje števila nitastih bakterij, saj smo s tem želeli preizkusiti enega izmed možnih vzrokov za pojav nitastih bakterij v aeracijskih bazenih.

1.2 HIPOTEZE

V magistrski nalogi smo želeli preveriti naslednje hipoteze:

- Višja koncentracija ($>1,5$ mg/l) kisika bo zavrla rast filamentoznih bakterij, nižja koncentracija kisika ($<0,5$ mg/l) bo pospešila rast filamentoznih bakterij.
- Dodatek soli AlCl_3 , $\text{FeCl}_3 \times 16\text{H}_2\text{O}$, $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \times 16\text{H}_2\text{O}$, poli- AlCl_3 in flokulanta Nanofloc A644 bo pri ustreznih koncentracijah izboljšal strukturo flokul in posledično izboljšal usedljivost blata.
- Dodatek maščob kot hranila bo pospešil rast filamentoznih bakterij.

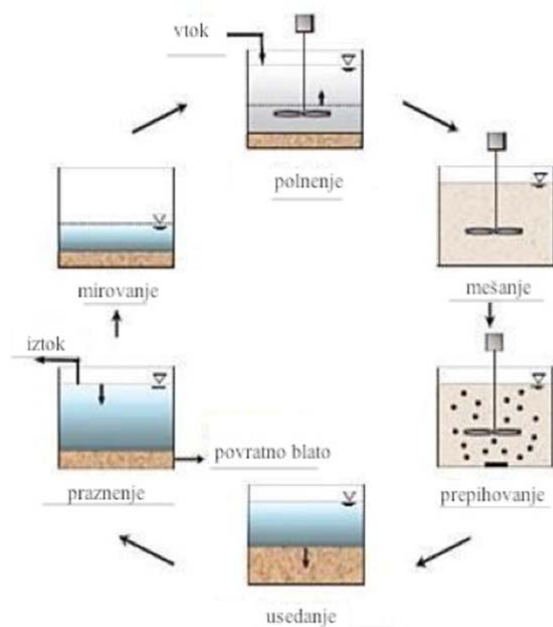
2 PREGLED OBJAV

2.1 DELOVANJE ČISTILNE NAPRAVE S TEHNOLOGIJO SEKVENČNEGA ŠARŽNEGA BIOLOŠKEGA REAKTORJA

Čiščenje odpadne vode na bioloških čistilnih napravah je sestavljeno iz več različnih postopkov čiščenja, od fizikalnih, kemijskih do bioloških (Roš in Zupančič, 2010). Obstaja veliko različic tehnologij čistilnih naprav, ki se razlikujejo po načinu biološkega čiščenja odpadne vode. Centralna čistilna naprava (CČN) Ptuj je zasnovana na principu šaržnega biološkega reaktorja oziroma SBR tehnologije, zato bo nadaljnje opisan sistem čiščenja, kot ga izvajajo na CČN Ptuj.

Razvoj SBR reaktorjev se je začel leta 1970 in se od konvencionalnega sistema razlikuje po tem, da prezračevanje in usedanje blata potekata v istem bazenu, zato ni potreben dodatni sekundarni usedalnik. Proces se začne s polnjenjem bazenov, ki je lahko statično, z dodatnim mešanjem ali z dodatnim prepihanjem. Statično polnjenje zahteva minimalno potrebo po energiji in zagotavlja visoko koncentracijo substrata po končanem polnjenju. Polnjenje z dodatnim mešanjem omogoča denitrifikacijo ob prisotnosti nitratov, pri čemer pride do znižanja kemijske potrebe po kisiku in po energiji ter posledično pojava anoksičnih ali anaerobnih pogojev, ki omogočajo dodatno odstranjevanje fosforja. Polnjenje z dodatnim aeriranjem (kar izvajajo tudi na CČN Ptuj) pa omogoča začetek aerobnih reakcij takoj, kar vpliva na časovno skrajšanje cikla in vzdrževanje nizke koncentracije substrata, to pa je ugodno v primeru, ko so v vtoku prisotne snovi, ki so pri povečanih koncentracijah toksične. Po polnjenju in biološki fazi sledi usedanje aktivnega blata. Čas usedanja je odvisen od debeline usedlega aktivnega blata. Za nastavitve posedanja pogosto upoštevamo pravilo, da se v 10 minutah aktivno blato pri koncentraciji 2 gSS/l posede za en meter (Ketchum, 1997). Prednosti SBR tehnologije so, da je hitro prilagodljiva na kontinuirano spreminjanje koncentracije onesnažil, ni potrebe po velikih površinah, kot v primeru konvencionalnih ČN, večja je operativna fleksibilnost in lažje je reševanje problemov z usedanjem blata oz. filamentoznimi bakterijami (Mace in Mata-Alvarez, 2002).

Z letom 2012 je začela delovati prenovljena CČN Ptuj s kapaciteto 68 000 populacijskih enot, ki je zasnovana kot mehansko-biološka čistilna naprava za skupno čiščenje komunalnih in industrijskih odpadnih vod s štirimi SBR bazeni. Zagotavlja tudi terciarno čiščenje, kar pomeni, da iz odplak odstranjuje vire fosforja in dušika (CČN Ptuj, 2012).



Slika 1: Prikaz delovanja SBR bazena znotraj enega zaključenega cikla (SBR – Sequencing batch reactor, 2014).

Čiščenje odpadne vode na CČN Ptuj se začne z mehansko stopnjo, kjer z grobimi in finimi grabljami odstranimo večje nesuspendirane delce do velikosti 3 mm. Sledi usedanje peska v vzporednih linijah dveh peskolovov, ki hkrati predstavljata maščobnik, saj z vpihovanjem zraka pospešimo posedanje težjih delcev od vode na dno in istočasno naplavljanje delcev lažjih od vode, tj. maščob, na gladino (postopek flotacije). V bazena je vgrajeno mostno strgalo, ki poseden material in plavajoče delce potiska proti vtoku bazena do poglobitve in korita nad črpalko maščob. Tako se še zadnji nesuspendirani delci prečrpajo v rezervoarje, kjer se hranijo do odvoza.

Čiščenje fosforja v vtoku delno poteka s kemijsko precipitacijo pred začetkom biološkega čiščenja z dodajanjem železovega klorida, delno pa s pomočjo mikroorganizmov v SBR bazenih v času prepričevanja.

Sledi biološko čiščenje, ki se začne z dvema vzporednima bazenoma za pred-denitrifikacijo. Tu poteka mešanje dotočne odpadne vode s povratnim blatom pri anoksičnih pogojih. Mešanica vtoka in povratnega blata se nato izliva v štiri SBR bazene, kjer se v vsakem posameznem bazenu izmenjujejo različne faze obdelave odpadne vode. Prva faza je šaržiranje s prezračevanjem, sledi mešanje, nato usedanje ter na koncu dekantiranje očiščene vode. V prvi fazi se bazen napolni in prezračuje z membranskimi prezračevalniki na dnu bazena, ki vzdržujejo primerno koncentracijo raztopljenega kisika (1-2 mg/l) v suspenziji blata in odpadne vode (CČN Ptuj, 2012). Kisik je pomemben za aerobno dihanje mikroorganizmov in tvorbo novih celic, ki pri tem porabljajo organsko snov kot vir energije in celičnih gradnikov. Hkrati se v okolje sproščajo produkti presnove,

kot so voda in CO_2 , sprosti se tudi del energije (Roš in Zupančič, 2010). V tej fazi poleg čiščenja organskega vira ogljika poteče tudi nitrifikacija. Sledi posedanje aktivnega blata. V tej fazi se prezračevanje ustavi, zato nastopijo anoksični pogoji, ki omogočajo denitrifikacijo. Manjši delci se povežejo v večje kosme – flokule, ki se zaradi delovanja gravitacije posedejo na dno bazena. Tako se ločijo od prečiščene vode in omogočijo, da preidemo v zadnjo fazo čiščenja, to je dekantiranje očiščene vode in njen izpust v okolje. V tej fazi se del posedenega blata vrača v pred-denitrifikacijska bazena, del pa se ga izloči v obliki odvečnega blata. Odvečno blato najprej obdelamo v dveh vzporednih gravitacijskih zgoščevalnikih z odcejanjem vode skozi sita, posedeno blato pa nato vodimo v mehansko zgoščevanje z dvema centrifugama za dehidracijo blata. Tu se dodajajo tudi flokulanti, ki izboljšajo ločevanje vode od trdnih delcev. Dehidrirano blato se je na začetku obratovanja CČN Ptuj dodatno sušilo v sušilnih halah, ki pa zaradi smradu trenutno niso v obratovanju. Blato se zato odlaga v skladišču dehidriranega blata in odpelje prevzemniku dehidriranega blata (CČN Ptuj, 2012).



Slika 2: Panoramska fotografija CČN Ptuj (Gojkošek, 2012): (1) mehanski del čiščenja z grobimi in finimi grabljami, (2) pred-denitrifikacijska bazena z vgrajenim maščobnikom in peskolovom, (3) gravitacijski zgoščevalnik in prostor s centrifugama, (4) sušilne hale.

2.2 PROCES USEDANJA AKTIVNEGA BLATA

Čiščenje odpadnih vod z aktivnim blatom temelji na rasti mikrobne populacije, predvsem bakterij, v obliki flokul. Aktivno blato je heterogena zmes delcev, mikroorganizmov, koloidov, organskih polimerov in kationov, ki se povezujejo v flokule (Jorand in sod., 1995). Flokule so kompleksni agregati, sestavljeni predvsem iz bakterij obdanih s polimerno mrežo oziroma z zunajceličnim polimerom (EPS ang. extracellular polymeric substance). Ene izmed pomembnejših bakterij, ki tvorijo flokule, spadajo v rod *Zoogloea*, katere izločajo veliko zunajceličnih polimerov in tako omogočajo zlepljanje anorganskih in organskih delcev skupaj z bakterijami, ki na koncu tvorijo flokulo (Jenkins in sod., 2004; De Schryver in sod., 2008). EPS predstavlja večinsko organsko frakcijo v aktivnem blatu in je sestavljen iz mešanice izločenih polimerov s strani mikroorganizmov, iz produktov lize in hidrolize ter iz absorbiranega organskega materiala iz odpadne vode (Wien in sod., 2002). EPS ima eno najpomembnejših vlog pri procesu bioflokulacije in usedanja aktivnega blata (Pavoni in sod., 1972; Urbain in sod., 1993), saj s šibkimi silami, kot so elektrostatske, hidrofobne, van der Waalsove in vodikove vezi, povezuje organizme v tridimenzionalnem gelu podobnem matriksu (Garnier in sod., 2005; Noutsopoulos in sod., 2012). Wilen in sodelavci (2003) so v svoji raziskavi pokazali, da glavno frakcijo polimernega materiala v EPS-u predstavljajo beljakovine, ki imajo največji vpliv na površinske lastnosti in zmožnost flokulacije aktivnega blata ter prispevajo negativen naboj. V EPS-u so prisotne še huminske spojine in ogljikovi hidrati, majhen delež predstavljajo še uronična kislina in DNA (deoksiribonukleinska kislina). Podobne rezultate o sestavi EPS so dobili Liao in sodelavci (2001) v svoji raziskavi, kjer so še preverjali, ali zadrževalni čas blata vpliva na lastnosti EPS in ugotovili, da se količina EPS ni spremenila s spreminjanjem zadrževalnega časa, medtem ko sta se hidrofobnost in površinski naboj blata pri daljšem zadrževalnem času znižala.

Najpomembnejši fizikalni parametri, ki vplivajo na ločevanje trdnih delcev (aktivnega blata) od tekočine, so velikost, struktura in kompaktnost flokul. Zaželeno je stanje z velikimi, gostimi flokulami, ki se hitro posedajo in omogočajo bister iztok po usedanju blata. Ker pa se razmere v ČN ves čas spreminjajo, prihaja do nihanja pH, ionske moči, količine surfaktantov, temperature, prisotnosti sulfidov in anaerobnih razmer, lahko to vpliva na poslabšanje stabilnosti flokul (Wilen in sod., 2003).

2.3 NAPIHOVANJE IN PENJENJE AKTIVNEGA BLATA

Napihovanje blata v biološki čistilni napravi je pojav, ko se aktivno blato slabo poseda zaradi različnih vzrokov (Martins in sod., 2004). V naši nalogi se bomo ukvarjali z napihovanjem blata zaradi razrasta filamentoznih bakterij (FB).

FB so pomemben del združbe flokul, saj tvorijo ogrodje, na katero se pritrdijo bakterije, ki sestavljajo flokule. Če so FB prisotne v prevelikem številu, se flokule povežejo med sabo s filamenti v obliki mreže, kar vpliva na bister iztok zaradi povezovanja manjših koloidnih

delcev na površino FB, po drugi strani pa na slabo usedanje aktivnega blata, ki se lahko izplavlja (Madoni in sod., 2000). FB lahko povzročajo nastanek razpršenih flokul, lahko pa štrlijo iz flokul in povzročajo nastanek mostov med njimi (Jenkins in sod., 2004). Pogosto se FB povežejo še z mehurčki plinov in tvorijo plavajoč material na površini bazenov. V takih primerih govorimo o penjenju aktivnega blata (Madoni in sod., 2000). Kaewpipat in Grady sta ugotovila, da je lahko število FB v napihnjenem aktivnem blatu prenizko, da bi jih zaznali z denaturacijsko gradientno gelsko elektroforezo. Ta ugotovitev kaže na to, da FB v večini primerov ne predstavljajo dominantne metabolne skupine bakterij v biološki ČN, vendar lahko še vedno povzročajo napihovanje blata (Kaewpipat in Grady, 2002).

Napihovanje blata je povezano z volumskim indeksom blata (SVI, ang. sludge volume index). To je parameter, kjer določamo razmerje med usedljivostjo blata in maso suhe snovi. Za dobro usedanje mora biti SVI med 70 in 150 ml/g. O napihovanju blata pa govorimo takrat, ko SVI preseže 150 ml/g (Jenkins in sod., 2004; Richard in sod., 2003).

Penjenje aktivnega blata se kot posledica FB pojavlja zaradi prisotnosti bakterij *Candidatus M. parvicella* in *Mycolata*, redkeje zaradi prisotnosti tipa 1863. Te bakterije imajo zelo hidrofobno površino, ki je podvržena agregaciji z zračnimi mehurčki. Agregati zraka in hidrofobnih flokul so lažji od vode, zato splavajo na površino kjer se kopičijo in tvorijo debelo plast rjave pene (Jenkins in sod., 2004; Lienen in sod., 2014b; Rossetti in sod., 2005).

V študiji, ki si jo izvedli Madoni in sodelavci (2000), kjer so preučevali lokalne ČN s problemi z napihovanjem in penjenjem blata, so navedli štiri glavne težave, ki jih ta dva pojava povzročata:

1. poslabšanje kvalitete iztoka zaradi izplavljanja aktivnega blata,
2. težave pri povračanju blata zaradi slabega posedanja,
3. zmanjšan prenos kisika pri nitrifikacijskih blokih,
4. problemi pri vzdrževanju ustrezne koncentracije blata v aeracijskih bazenih.

2.3.1 Najpogostejši vzroki za razrast filamentoznih bakterij

Veliko dejavnikov posamezno ali v kombinaciji z drugimi vpliva na razrast nitastih bakterij in posledično na napihovanje blata. V nadaljevanju so naštet najpogostejši.

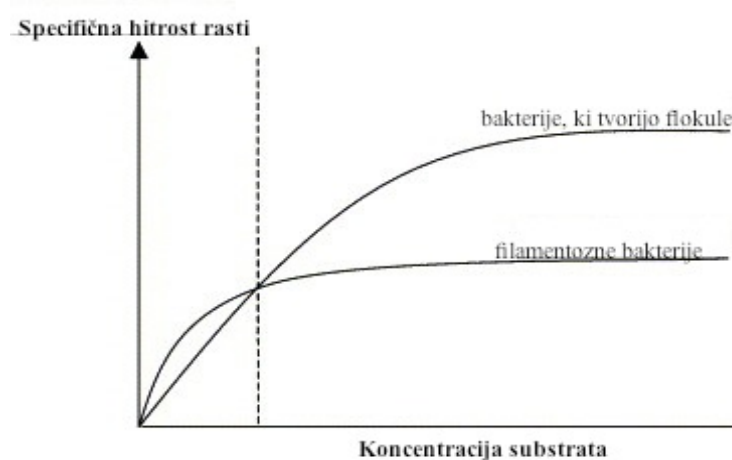
2.3.1.1 Sestava odpadne vode

Znano je, da razgrajene organske snovi na osnovne gradnike kot so glukoza, laktoza, citronska kislina in druge, povzročajo razrast nitastih bakterij (Eckenfelder, 2000; Liu Y. in Liu Q. S., 2006). Veliko nitastih bakterij uporablja organske kisline za rast, nekatere pa tudi vodikov sulfid. Do razrasta FB pogosto prihaja pri koncentracijah organskih kislin >100 mg/l in sulfida >1-2 mg/l. Do povečane koncentracije organskih kislin in vodikovega sulfida pride v septičnih vodah, kjer zaradi pojava anaerobnih pogojev anaerobne bakterije

organski material fermentirajo do organskih kislin (ocetna, propionska, maslena, valerenska kislina) in sulfat reducirajoče bakterije sulfat do vodikovega sulfita (Richard in sod., 2003; Roš in Zupančič, 2010).

2.3.1.2 Koncentracija dostopnega substrata

Nitaste bakterije so počasi rastoče z nizko vrednostjo Monodove afinitetne konstante in nizko maksimalno specifično rastjo v primerjavi z ostalimi bakterijami, ki tvorijo flokule. Chudoba je s sodelavci (1973) razvil teorijo kinetične selekcije, s katero je poskušal opisati vzrok namnoževanja oziroma zaviranja rasti nitastih bakterij. Teorija pravi, da imajo ob nizkih koncentracijah substrata nitaste bakterije višjo specifično hitrost rasti kot druge bakterije, ki tvorijo flokule, in tako porabijo substrat za svojo rast (slika 3). V primeru visokih koncentracij substrata pa je njihova rast počasnejša, zato se bakterije, ki tvorijo flokule, namnožijo, rast nitastih bakterij pa se upočasni (Chudoba in sod., 1973).



Slika 3: Graf odvisnosti specifične hitrosti rasti od koncentracije substrata za filamentozne bakterije in ostale bakterije, ki tvorijo flokule (Liu Y. in Liu Q. S., 2006).

2.3.1.3 Koncentracija raztopljenega kisika

Nizka koncentracija raztopljenega kisika (DO, ang. dissolved oxygen) je eden najpogostejših vzrokov za razrast nitastih bakterij na bioloških čistilnih napravah (Liu Y. in Liu Q. S., 2006). Kisik je potreben za aerobno razgradnjo substrata v aktivnem blatu, zato mora difundirati do bakterij, ki se nahajajo v flokulah. Če je na vtoku prisotna visoka organska obremenitev (visoko F/M razmerje), je posledično potreba po kisiku večja (Eckenfelder, 2000), zato se negativni učinek pomanjkanja kisika še poveča (Martins in sod., 2003). Ker nekatere nitaste bakterije, kot so vrste iz rodu *Sphaerotilus*, *Haliscomenobacter hydrossis*, tip 1851 in *Candidatus Microthrix parvicella*, bolje rastejo pri nižji koncentraciji raztopljenega kisika, se ob takšnih pogojih namnožijo in povzročajo napihovanje blata (Liu Y. in Liu Q. S., 2006; Martins in sod., 2003).

Gaval in Pernelle (2003) sta preučevala vpliv ponavljajočih intervalov pomanjkanja kisika na razrast nitastih bakterij. Ugotovila sta, da ena perioda znižane koncentracije DO ni signifikantno vplivala na pojav napihovanja blata. Prav tako se v poskusu s štirimi periodami, ki so vključevale le delno znižanje koncentracije DO (iz 3 mg/l na 0,7 mg/l), SVI ni spremenil, se je pa pojavilo delno povečanje števila nitastih bakterij. V poskusu z večjim številom intervalov, ki so vključevali večje padce koncentracije DO (iz 1,9 mg/l na 0 mg/l), pa je prišlo tako do povečanega števila nitastih bakterij, kot tudi do povečane vrednosti SVI.

2.3.1.4 Zadrževalni čas blata

Ker nitaste bakterije počasi rastejo, daljši zadrževalni čas blata favorizira njihovo rast v primerjavi z ostalimi bakterijami, ki tvorijo flokule (Liu Y. in Liu QS., 2006). Ena najpogostejših nitastih bakterij *Candidatus Microthrix parvicella*, ima maksimalno specifično hitrost rasti v *in situ* pogojih 0,3 do 1,1 na dan (Rossetti in sod., 2005). Pri starejšem aktivnem blatu, tj. starejše od 15 dni, se najpogosteje namožujejo nitaste bakterije tipa 0092 (Eikelboom, 2000).

2.3.1.5 Pomanjkanje hranil

Ker imajo nitaste bakterije večje razmerje med površino in volumnom kot nefilamentozne bakterije, jim to omogoča boljši prevzem hranil iz okolja v katerem primanjkuje dušika, fosforja in drugih esencialnih elementov (van Loosdrecht in sod., 2008). Pomanjkanje dušika in fosforja nastopi predvsem v industrijskih odpadnih vodah. Za popolno pretvorbo BPK_5 v vtoku je potrebno doseči koncentracijo hranil $BPK_5:N:P$ v razmerju 100:5:1. Poleg dušika in fosforja lahko primanjkuje tudi železa in žvepla in drugih mikroelementov (Richard in sod., 2003; Jenkins in sod., 2004). Guo in sodelavci (2014) so raziskovali vpliv pomanjkanja dušika in fosforja na usedljivost aktivnega blata in ugotovili, da pomanjkanje dušika ni vplivalo na pojav napihnjenega blata kot posledica razrasta nitastih bakterij, medtem ko so se nitaste bakterije namnožile v poskusu s pomanjkanjem fosforja in vplivale na zmanjšano usedljivost aktivnega blata.

2.3.1.6 Temperatura

Temperatura pogosto vpliva na razrast nitastih bakterij. V številnih raziskavah poročajo, da prihaja do napihovanja blata predvsem v hladnejših delih leta in na prehodih med letnimi časi, medtem ko je poleti problemov s prisotnostjo FB manj (Xie in sod., 2006; Mamais in sod., 1998; Lienen in sod., 2014a).

2.3.2 Filamentozne bakterije, ki povzročajo napihovanje aktivnega blata

Čeprav težave z napihovanjem blata veliko raziskujejo in preučujejo, so te še vedno konstantno prisotne pri delovanju ČN. Razloge lahko najdemo v dejstvu, da številne FB niso dostopne v čisti kulturi, kar onemogoča njihovo preučevanje (Martins in sod., 2004).

Identifikacija bakterij lahko poteka z uporabo dihotomnega ključa, ki vsebuje omejeno število lastnosti za opis organizmov in vključuje le 23 najpogostejših FB, ki se pojavljajo v aktivnem blatu. Ker pa se lahko zgodi, da dihotomni ključ ni vedno zanesljiv, zaradi variabilnosti v barvanju in morfologiji filamentov, je priporočljivo, da pri identifikaciji upoštevamo še natančne opise in fotografije posameznih tipov filamentov (Jenkins in sod., 2004). Z razvojem novejših molekularnih metod je tudi na področju preučevanja aktivnega blata prišlo do njihove aplikacije v identifikaciji nitastih bakterij, predvsem se je uveljavila metoda FISH (ang. fluorescence in situ hybridisation – fluorescenčna in situ hibridizacija) (Petrovski in sod., 2011), ki se uporablja v raziskovalne namene. Na čistilnih napravah se zaradi cenovne ugodnosti in enostavne aplikacije večinoma še vedno poslužujejo metode z mikroskopiranjem preparatov in določanjem tipov FB na podlagi morfoloških lastnosti. Ta način identifikacije zadostuje za osnovni pregled morfološke in mikrobiološke strukture aktivnega blata, na podlagi katere se odločimo za nadaljnje ukrepe.

V aktivnem blatu najdemo veliko različnih FB, obstaja pa omejeno število vrst, ki se pogosteje pojavljajo in so navedene v preglednici 1.

Preglednica 1: Rezultati barvanja filamentoznih bakterij, ki se pogosto pojavljajo v aktivnem blatu (Jenkins in sod., 2004; Nielsen in sod., 2009).

Tip filamentozne bakterije	Barvanje po Gramu	Barvanje po Neisserju
<i>Sphaerotilus natans</i>	-	F- G-
Tip 1701	-	F- G-
<i>Haliscomenobacter hydrossis</i> (Bacteroidetes)	-	F- G-
Tip 021N (Gammaproteobacteria)	-	F- G-/+
<i>Thiothrix</i> I (Gammaproteobacteria)	-/+	F- G-/+
<i>Thiothrix</i> II (Gammaproteobacteria)	-/+	F- G-/+
Tip 0914	-/+	F- G-/+
<i>Beggiatoa</i> spp.	-/+	F- G-/+
' <i>Nostocoida limicola</i> ' I (Alphaproteobacteria)	+	F+ G-
' <i>N. limicola</i> ' II, III (Alphaproteobacteria)	-/+	F+/- G-
Tip 0411	-	F- G-
Tip 0961	-	F- G-
Tip 0092 (Chloroflexi)	-	F+ G-
Tip 0581	-	F- G-
Tip 0041 (Chloroflexi)	+V	F- G-/+
Tip 0675	+V	F- G-/+
Tip 1851 (Chloroflexi)	+ šibko	F- G-
Tip 0803	-	F- G-
<i>Candidatus Microthrix parvicella</i> (Actinobacteria)	+	F- G+
<i>Mycolata</i> (Actinobacteria)	+	F- G+
Tip 1863	-	F- G-/+

Legenda:

+	pozitivno
-	negativno
V	variabilno
F	filament
G	granule
-/+ ali +/-	variabilno, prva je pogostejša

2.3.2.1 Opis najpogostejših filamentoznih bakterij

FB lahko mikroskopsko določimo na podlagi enajstih lastnosti, ki so našteje v preglednici 2.

Preglednica 2: Lastnosti in njihove karakteristike, ki so potrebne za določanje filamentoznih bakterij (Eikelboom, 2000).

Lastnost	Izražene značilnosti
Mobilnost	Giblivi/negiblivi filamenti
Razvejanje	Nerazvejanost/prava in neprava razvejanost
Oblika filameta	Raven/ukriviljen/zavrt
Pritrjena rast	Prisotna/odsotna
Premer filameta	<1µm/1-2,5 µm/>2,5 µm
Septe (prečne stene)	Lepo vidne/slabo vidne ali nevidne
Oblika celic	Okrogla/paličasta/spiralna/ukriviljena
Ovoj	Prisoten/odsoten
Granule	Prisotne/odsotne Polifosfatne granule (Neisser)/žveplove granule/poli-beta-hidroksibutirat (PHB)
Rezultat barvanja po Gramu in Neisserju	Pozitivno/negativno

2.3.2.1.1 *Beggiatoa* spp.

Je po Gramu in Neisserju negativna, nerazvejana bakterija sposobna premikanja. Filamenti so ravni do rahlo ukrivljeni in se nahajajo prosto v tekočini med flokulami. Nima prisotne pritrjene rasti, septe so občasno vidne. Celice so kvadratne oblike in imajo sposobnost shranjevanja žvepla, nitrata in polifosfatov. *Beggiatoa* spp. se v aktivnem blatu pojavi ob prisotni veliki koncentraciji reducirane žvepla (predvsem H₂S) in/ali pomanjkanju kisika (Eikelboom, 2000; Brock in Schulz-Vogt, 2011).

2.3.2.1.2 *Haliscomenobacter hydrossis*

Je po Gramu in Neisserju negativna, nerazvejana bakterija. Nima sposobnosti premikanja in izraža iz flokul v obliki ravnih filamentov. Ima ovoj in zelo redko tudi prisotno pritrjeno rast. Septa ni vidna, prav tako nima sposobnosti shranjevanja žvepla. *H. hydrossis* se pogosto pojavlja v aktivnem blatu zaradi različnih vzrokov. Najpogostejši vzroki so prisotnost nizko-molekularnih spojin v vtoku, vtok z visoko koncentracijo dušikovih spojin, nizka koncentracija raztopljenega kisika v aeracijskih bazenih in pomanjkanje fosfata (Eikelboom, 2000; Daligault in sod., 2011). *H. hydrossis* je tudi testni organizem, na katerem so poskusili nov način kontrole nitastih bakterij s pomočjo bakteriofagov. Rezultati so zelo obetajoči, saj so z njihovo uporabo v poskusu znižali SVI iz 155 na 105

ml/g, pri tem pa ni prišlo do poslabšanja sposobnosti čiščenja organskih snovi in dušikov, kar pomeni, da bi lahko z bakteriofagi s specifičnim delovanjem na nitaste bakterije uspešno reševali probleme z napihnjnim blatom (Kotay in sod., 2011).

2.3.2.1.3 *Candidatus Microthrix parvicella*

Je po Gramu pozitivna bakterija s po Neisserju pozitivnimi granulami. Filamenti so ukrivljene do zavite oblike, so nerazvejani, negibljivi in se nahajajo prosto v vodi ali pa okoli flokul. Občasno se pojavi nekaj pritrjene rasti, čeprav nimajo ovoja. Septa ni vidna, ne shranjujejo žvepla, so pa sposobne shranjevanja poli-fosfatne granule, ki jih lahko zamenjamo za septe (Eikelboom, 2000). Je nitasta bakterija z nizko specifično hitrostjo rasti, ki ima sposobnost shranjevanja velike kapacitete snovi in ne potrebuje veliko energije za vzdrževanje procesov, zato ji v aktivnem blatu pomankanje hranil predstavlja prednost za rast. (Noutsopoulos in sod., 2012).

Candidatus M. parvicella zelo pogosto povzroča težave z napihovanjem in penjenjem blata na bioloških čistilnih napravah. Najpogostejši vzroki za njeno razrast so nizka obremenitev aktivnega blata (< 0,2 kg BPK/kg MLSS na dan), visoka koncentracija maščobnih kislin, predvsem oleinske kisline, nizka koncentracija raztopljenega kisika v aeracijskih bazenih ali prisotnost večjih anoksičnih con, temperatura vode pod 15 °C ter dostopnost reduciranih žveplovih in dušikovih komponent (Rossetti in sod., 2005; Xie in sod., 2006). Ugotovili so, da lahko bakterija izrablja dolgoverižne maščobne kisline (LCFA, ang. long-chain fatty acids) kot vir ogljika in energije. Z *in situ* poskusi so dokazali, da lahko LCFA izrablja tako v aerobnih pogojih kot tudi v anaerobnih razmerah, saj lahko za končni akceptor elektronov uporablja nitrat (Rossetti in sod., 2005; Xie in sod., 2007).

2.3.2.1.4 '*Nostocoida limicola*' II

Je po Gramu variabilna in Neisserju pozitivna bakterija, katere glavna morfološka značilnost je ta, da tvori ukrivljene do zelo zavite filamente, ki občasno tvorijo obsežne preplete znotraj ali zunaj flokul. Bakterije so negibljive in nerazvejane, nimajo ovoja zato posledično tudi ni prisotne pritrjene rasti. Septa je lepo vidna, celice so okrogle do diskaste oblike in ne shranjujejo žvepla (Eikelboom, 2000; Blackall in sod., 2000). V novejših molekularnih študijah so ugotovili, da vsi trije tipi bakterij vrste '*Nostocoida limicola*' I, II in III v resnici spadajo v rod *Tetrasphaera*, vendar dokončne filogenetske uvrstitve zaenkrat še ni (Mckenzie in sod., 2006).

'*N. limicola*' II se namnoži ob pogojih, ko je obremenitev aktivnega blata visoka (0,1-0,3 kg BPK/kg MLSS). Predvidevajo, da njeno razrast povzročijo še nizke temperature, pomanjkanje nutrientov in prisotnost lahko razgradljivih spojin v odpadni vodi (Eikelboom, 2000; Blackall in sod., 2000).

2.3.2.1.5 *Mycolata*

Mycolata (včasih *Nocardioforms*) so skupina bakterij, ki so ime dobile zaradi izločanja mikolne kisline. Spadajo med aktinomicete in so po Gramu pozitivno ter po Neisserju negativno ali delno pozitivno (poli-fosfatne granule) obarvane in močno razvejane. V to skupino spada več rodov bakterij kot so *Nocardia*, *Gordona* in *Skermania*, za katere je značilna tipična razvejanost, lahko pa rastejo tudi v posameznih celicah (Jenkins in sod., 2004; Petrovski in sod., 2011). Ker imajo hidrofobno površino, so pogosto prisotne pri pojavu pen na aeracijskih bazenih na čistilnih napravah, tvorbo pen pa lahko povzročijo tako žive bakterije kot tudi odmrle (Petrovski in sod., 2011). Njihovo rast na čistilnih napravah spodbuja prisotnost površinsko aktivnih snovi, maščob ali drugih hidrofobnih snovi v vtoku in temperature višje od 15 °C (Eikelboom, 2000).

2.3.2.1.6 Bakterija tip 0092

Je po Gramu negativna in po Neisserju pozitivna bakterija, ki jo prepoznamo po značilnih ravnihi do rahlo ukrivljenih filamentih, ki štrlijo iz notranjosti flokul. Bakterija ni gibljiva, ne shranjuje žvepla, nima pritrjene rasti in nima vidnih sept. Pogosteje se pojavlja v poletnem času, saj ji za rast ustrezajo višje temperature (>15 °C) ter v starejšem aktivnem blatu (zadrževalni čas blata >15 dni). Ker se filamenta nahajajo večinoma v sredini flokul, manj vplivajo na napihovanje blata in s tem na povečevanje volumskega indeksa blata (Eikelboom, 2000; Speirs in sod., 2009).

2.3.2.1.7 Bakterija tip 0041

Je po Gramu pozitivna in po Neisserju negativna bakterija, ki ima značilno pritrjeno rast zaradi prisotnega ovoja. Je nerazvejana in negibljiva, z ravnimi do rahlo ukrivljenimi filamentami. Celice so kvadratne oblike, septa je vidna predvsem na mestih, kjer ni pritrjene rasti. Tip 0041 se zelo pogosto pojavlja v aktivnem blatu. Najpogostejši vzroki za njen razrast so nizka obremenitev blata (<0,2 kg BPK/kg MLSS na dan) ter mešanje odpadne vode in povratnega blata pred vstopom v aeracijski bazen (Eikelboom, 2000).

2.3.2.1.8 Bakterija tip 1851

Je po Gramu in po Neisserju negativna bakterija in je zelo sorodna bakteriji *Roseiflexus castenholzii* s 84 % podobnostjo v zaporedju 16S rRNA (Beer in sod., 2002). Zaradi prisotnosti ovoja imajo pogosto pritrjeno rast, značilno za to bakterijo pa je tudi, da se lahko povezujejo v snope filamentov. So nerazvejani, negibljivi ravni do rahlo ukrivljeni filamentami, ki se pojavljajo v aktivnem blatu na čistilnih napravah z industrijskimi odplakami, saj rastejo pri nizki obremenitvi blata (<0,15 kg BPK/ kg MLSS) in ob prisotnosti nizkomolekularnih snovi. Redko prevladujejo v aktivnem blatu, se pa lahko pojavljajo v večjih populacijah (Eikelboom, 2000; Jenkins in sod., 2004; Beer in sod., 2002).

2.4 METODE ZA PREPREČEVANJE NAPIHOVANJA IN PENJENJA BLATA

Pri težavah z napihovanjem in penjenjem blata na bioloških ČN je pomembno, da najprej ugotovimo vzrok napihovanja/penjenja. Običajna operativna praksa je, da z mikroskopskim pregledom blata preverimo, ali je napihovanje/penjenje posledica razrasta nitastih bakterij, ali je posredi kakšen drug razlog. V primeru, da so v velikem številu prisotne nitaste bakterije, se lahko reševanja napihnjenosti in/ali penjenja aktivnega blata lotimo z uporabo kratkoročno ali dolgoročno učinkovitih pristopov oziroma metod. V nadaljevanju bodo v vsaki skupini opisane tiste metode, ki se najpogosteje uporabljajo in so tudi najbolj učinkovite (Richard in sod., 2003).

2.4.1 Kratkoročne - nespecifične metode

Med nespecifične metode odpravljanja napihnjenosti blata uvrščamo pristope, kjer s kloriranjem, ozoniranjem ali dodatkom polimerov ter koagulantov vplivamo na izboljšanje strukture aktivnega blata v ČN. S tem ne odstranimo glavnega problema za razrast nitastih bakterij, temveč le kratkoročno izboljšamo stanje (Martins in sod., 2004; Tsang in sod., 2006).

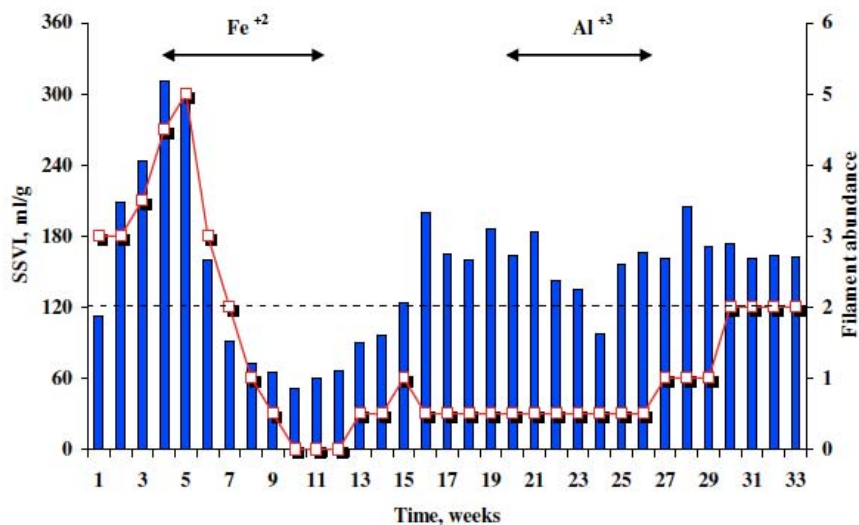
2.4.1.1 Uporaba polimerov in flokulantov

Na splošno za kontrolo napihovanja blata uporabljamo polimere z visoko molekulkso maso in visokim kationskim nabojem, lahko pa jih kombiniramo z anionskimi polimeri. Način delovanja polimerov in flokulantov naj bi temeljil na zmanjšanju površinskega naboja, kar vodi k zniževanju vrednosti SVI. Skupni naboj flokul je negativen zaradi fizikalno-kemijskih interakcij med bakterijami, anorganskimi delci, zunajceličnimi polimeri in večvalentnimi kationi. Ob dodatku soli v blato uvedemo aluminijeve in železove ione (kationske hidrolizirane produkte), ki so pozitivno nabiti in se močno adsorbirajo na negativne dele flokul (Duan in Gregory, 2003). Pri tem nevtralizirajo naboj površine flokul, zato se delci med sabo lahko bolj povežejo. Nasprotno pa se pri visokem negativnem površinskem naboju povečajo elektrostatske interakcije med približajočimi se površinami, kar vodi v slabše povezovanje med flokulami (Agridiotis in sod., 2007). Če se odločimo za uporabo polimerov, je pomembno, da predhodno naredimo t.i. jar-teste, s katerimi določimo primerno koncentracijo polimera, ki jo bomo aplicirali na čistilno napravo, saj lahko s previsoko koncentracijo še dodatno poslabšamo stanje posedanja. Polimer ponavadi dodajamo v sekundarni usedalnik, v primeru SBR tehnologij pa v SBR bazene (Jenkins in sod., 2004).

Med anionskimi koagulantami in flokulanti se največ uporabljata železov klorid in aluminijeve soli (aluminijev sulfat), s pomočjo katerih se ustvarjajo precipitati, ki povzročijo usedanje napihnjenega blata. Rešitev je hitra in omogoča izboljšanje v nekaj dneh, vendar po drugi strani ne zagotavlja dolgotrajnih izboljšav (Jenkins in sod., 2004). Kot primer je poskus Fingerja (1973), ki je na čistilni napravi tri dni dodajal aluminijeve

soli, s katerimi je izboljšano stanje aktivnega blata dosegal še tri tedne po dodatku, nato pa se je usedljivost ponovno začela poslabševati.

Agriodiotis in sodelavci (2007) so z laboratorijskimi poskusi preverjali, ali železove in aluminijeve soli pripomorejo k izboljšanju usedanja aktivnega blata. Uporabili so odpadno vodo iz papirne industrije, za katero je značilno, da pogosto povzroča težave z aktivnim blatom. Uporabili so $\text{FeSO}_4 \times 7\text{H}_2\text{O}$ in AlCl_3 . Poskus je potekal 33 tednov, $\text{FeSO}_4 \times 7\text{H}_2\text{O}$ so dodajali četrti teden, sedem dni zapored in pri tem izboljšali usedljivost blata in SSVI (ang. stirred sludge volume index – premešani volumski indeks blata) za 84 % (slika 4). Po prenehanju dodajanja železa, se je blato ponovno začelo napihovati in doseglo $\text{SSVI} > 120 \text{ ml/g}$ po štirih tednih. Pri tem pa so z mikroskopiranjem opazili, da so prisotnost nitastih bakterij (v njihovem primeru tip 0092 in *Thiothrix*) popolnoma odpravili. AlCl_3 so dodajali v dvajsetem tednu šest dni zapored in pri tem dosegli le začasno izboljšanje, saj je štiri tedne po dodatku aluminija SSVI padel na 100 ml/g , nato pa je nenadoma narastel na 160 ml/g . Z dodatkom aluminija so prav tako zmanjšali število nitastih bakterij, ki so se začele ponovno namnoževati šele 26. teden. Tako $\text{FeSO}_4 \times 7\text{H}_2\text{O}$ kot AlCl_3 sta vplivala na večjo kompaktnost flokul v času doziranja, kar pa je bilo le začasno izboljšanje, saj so se po prenehanju dodajanja soli flokule ponovno razbile na majhne dele nepravilnih oblik (Agriodiotis in sod., 2007).



Slika 4: Spreminjanje volumskega indeksa blata in gostote nitastih bakterij v aktivnem blatu med poskusom z dodajanjem železovih in aluminijevih soli (Agriodiotis in sod., 2007).

Poleg soli obstajajo tudi komercialni pripravki, ki specifično delujejo na aktivno blato in njegovo kosmičenje ter posedanje. V naših poskusih s kemijsko precipitacijo aktivnega blata smo uporabili komercialni flokulant VTA Nanofloc A644. To je flokulant, ki vsebuje železove nanodelce v velikosti $1\text{--}60 \text{ nm}$. Majhni železovi delci imajo veliko površino s katero interagirajo in povežejo posamezne razbite flokule v aktivnem blatu ter povzročijo flokulacijo in posedanje. Proizvajalci kot prednost flokulanta zagovarjajo dejstvo, da se

aktivno blato zaradi boljšega posedanja bolj skoncentrira, posledično je omogočeno povračanje več mikrobne biomase v aeracijske bazene, s čimer dosežemo boljše čiščenje odpadne vode. Nanofloc naj bi po zagotovilih proizvajalca ne imel negativnih učinkov na mikrobno združbo v aktivnem blatu (Righi, 2014). Nedavno so Xu in sodelavci (2014) raziskovali vpliv nano-Fe⁰ na zmanjšanje koncentracije FB v aktivnem blatu. Prišli so do spoznanj, da je dodatek nano-Fe⁰ uspešno vplival na zmanjšanje števila FB in povečal usledljivost blata ter povečal učinek čiščenja fosforja, po drugi strani pa je vplival na inhibicijo nitrifikacije in s tem na poslabšanje kvalitete iztoka.

2.4.1.2 Kloriranje, ozoniranje in dodajanje vodikovega peroksida

Princip delovanja klora, vodikovega peroksida (H₂O₂) in ozoniranja je ta, da so nitaste bakterije, ki se nahajajo zunaj flokul, bolj občutljive na oksidacijo kot bakterije znotraj flokul, kar povzroči njihov razpad (Martins in sod., 2004). S selektivnim uničevanjem nitastih bakterij začasno zmanjšamo probleme z napihovanjem. Med vsemi tremi naštetimi se najpogosteje uporablja kloriranje zaradi ekonomske dostopnosti in enostavne aplikacije (Guo in sod., 2012). Kloriranje se lahko izvaja v tekoči obliki z natrijevim hipokloridom ali s trdnim kalcijevim hipokloridom. Najpogosteje ga dodajamo v aeracijske bazene ali med povratno blato, kjer je pomembno, da se dodani klor in aktivno blato dobro premešata, da ne pride do območij s preveliko koncentracijo klora in območij, ki sploh ne pridejo v stik s klorom. Priporočljive doze klora so 15-20 mgCl₂/l, z namenom, da ne uničimo koristnih bakterij v flokulah (Guo in sod., 2012; Jenkins in sod., 2004). Kloriranje pa ni vedno uspešno, predvsem pri pojavu bakterij *Candidatus M. parvicella* in '*Nostocoida limicola*', ki imata hidrofobno celično steno, zato tudi pri dodajanju višjih koncentracij klorovih spojin teh nitastih bakterij ne odpravimo (Lakay in sod., 1988; Hwang in Tanaka, 1998). Kloriranje veliko uporabljajo v Ameriki, medtem ko je uporaba v Evropi omejena zaradi nevarnosti spuščanja klorovih spojin (halogeniranih organskih snovi) v okolico z iztokom (Martins in sod., 2004), zato je v Nemčiji in Srednji Evropi upravičena le v nujnih primerih (Jenkins in sod., 2004). Problem kloriranja je tudi ta, da lahko ob prevelikih odmerkih prizadane rast nitrifikatorjev, kateri potrebujejo zaradi počasne rasti daljše obdobje za ponovno vzpostavitev zadostnega števila v aktivnem blatu, to pa lahko vpliva na zmanjšano odstranjevanje dušikovih spojin v odpadni vodi in posledično na neprimeren iztok za izpust v okolje (Martins in sod., 2004).

2.4.2 Dolgoročne - specifične metode

To so metode, katerih cilj je spodbuditi rast tistih bakterij, ki tvorijo flokule in zavirati rast nitastih bakterij. Pri iskanju metode je potrebno ugotoviti, katere nitaste bakterije so prisotne v aktivnem blatu, saj se le-te razmnožujejo pri različnih okoljskih razmerah. Če na čistilni napravi uvedemo pravo specifično metodo, s katero odpravimo razrast nitastih bakterij, nam to omogoča trajno kontrolo napihovanja aktivnega blata (Martins in sod., 2004; Mamais in sod., 2011). Spremembe, ki jih najpogosteje uvajamo na biološko čistilno napravo, so povečanje koncentracije raztopljenega kisika, zmanjšanje septičnosti vode in

koncentracije organskih kislin, izboljšanje F/M razmerja, uporaba selektorjev in odpravljanje pomanjkanja hranil (Jenkins in sod., 2004). V preglednici 3 so predstavljene skupine nitastih bakterij glede na pogoje rasti in možni ukrepi za preprečevanje njihovega namnoževanja.

2.4.2.1 Vzdrževanje primerne koncentracije raztopljenega kisika

Na splošno vzdržujemo v aeracijskih bazenih koncentracijo raztopljenega kisika med 1 in 2 mg/l. Pri 1 mg/l odstranimo večinsko obremenitev z organsko snovjo po parametru BPK, pri 2 mg/l pa poteče nitrifikacija, ki je pomembna za odstranjevanje dušikovih spojin. Vendar koncentracija, ki jo izmerimo v suspenziji blata, ni enaka kot koncentracija znotraj flokul. Ker kisik počasi prodira v center flokule in se že vmes porablja, ga je v notranjosti manj, kot ga zaznamo v aeracijskih bazenih. Kisik potuje v notranjost flokul z difuzijo, zato mora biti njegova koncentracija okoli flokul dovolj visoka, da kljub vmesni porabi, še vedno pride v vse predele flokule v zadostni meri (Richard in sod., 2003).

Če želimo ohranjati stanje brez razrasta nitastih bakterij, je potrebno vzdrževati ustrezno koncentracijo kisika. Pri nizkem razmerju F/M ($<0,5$) s koncentracijo kisika 2 mg/l uspešno preprečimo razrast nitastih bakterij. Takoj, ko se F/M vrednost poveča, je tudi potreba po kisiku večja (4 mg/l ali več pri močno obremenjenih vodah). Na primerno koncentracijo kisika lahko vplivamo tako, da povečamo koncentracijo suhe snovi aktivnega blata v aeracijskem bazenu in s tem zmanjšamo razmerje F/M. Reševanja teh problemov se lahko torej lotimo na dva načina: povečamo prepihovanje aeracijskih bazenov ali povečamo koncentracijo suhe snovi aktivnega blata (povečamo zadrževalni čas blata ali pa povečamo vračanje povratnega blata) in tako zmanjšamo razmerje F/M (Jenkins in sod., 2004; Richard in sod., 2003; Palm in sod., 1980).

2.4.2.2 Preprečevanje pojava septičnosti vode

Veliko FB raste ob prisotnosti organskih kislin in vodikovega sulfida, med njimi so tudi bakterije iz rodu *Beggiatoa*, *Thiothrix*, tip 021N in tip 0092. *Thiothrix* in tip 021N bolje rasteta v prisotnosti enostavnih organskih kislin kot so očetna, propionska in maslena, medtem ko tip 0092 uspešno izkorišča kompleksne organske kisline, kot je npr. citronska kislina.

Do pojava septičnosti vode lahko pride pred vstopom odpadne vode na čistilno napravo, kot na primer z iztokom iz tekstilne industrije, ali pa na čistilni napravi v slabo prezračenih in premešanih bazenih, v primarnih in sekundarnih usedalnikih, predvsem kadar se primarni usedalnik uporablja za posedanje blata ali pri vračanju odvečnega aktivnega blata v primarni usedalnik. Septičnost lahko zaznamo preko pH vrednosti odpadne vode ali z uporabo različnih komercialnih kitov, s katerimi zaznamo prisotnost vodikovega sulfida.

Če je odpadna voda septična še pred vstopom na čistilno napravo, jo lahko obdelamo s predhodno aeracijo, kemijsko oksidacijo s klorom, vodikovim peroksidom, kalijevim permanganatom ali s kemijsko precipitacijo z železovim kloridom. V primeru, da septičnosti odpadne vode ne moremo zmanjšati, lahko prilagodimo aeracijski bazen in omogočimo boljše čiščenje organskih kislin in vodikovega sulfida. Najboljši načini so sistemi s popolnim premešanjem in sistemi postopnega dodajanja hranil v bazene, s čimer omogočimo, da čimbolj razporedimo vtok po celotni biomasi in s tem preprečimo hitri dvig koncentracije septičnih spojin, kot so vodikov sulfid in določene organske kisline (Richard in sod., 2004).

2.4.2.3 Izboljšanje razmerja F/M

Težave na čistilni napravi, povezane z razmerjem F/M, se pojavijo, ko le to pade pod 0,15 in omogoči boljše pogoje za rast nitastih bakterij kot so tip 0041, 0675 in 1851. Te bakterije so počasi rastoče in se pojavijo pri daljših zadrževalnih časih aktivnega blata. Pravega pojasnila, zakaj se v takšnih pogojih namnožijo, še ni, domnevajo pa, da uspešno tekmujejo z ostalimi bakterijami zato, ker potrebujejo manj energije za vzdrževanje življenjskih procesov.

Najpogosteje uravnavamo razmerje F/M s spreminjanjem koncentracije suhe snovi (koncentracije aktivnih mikroorganizmov) v aeracijskih bazenih. Če želimo razmerje povečati, moramo zmanjšati koncentracijo suhe snovi, vendar moramo biti pri tem previdni, da ne vplivamo na zmanjšanje nitrifikacije. Po drugi strani pa lahko povečamo koncentracijo substrata dostopnega mikrobnim združbi tako, da razdelimo aeracijske bazene na več manjših delov, izvajamo vmesno dodajanje odpadne vode ali uporabimo selektorje (Richard in sod., 2004).

2.4.2.4 Vzdrževanje ustreznega razmerja hranil

Pri industrijskih odpadnih vodah pogosto pride do pomanjkanja dušika in fosforja, kar vpliva na spremenjeno razmerje $BPK_5:N:P$, ki je v primernih razmerah enako 100:5:1. Ko se to razmerje spremeni, je učinkovitost čiščenja po parametru BPK slabša. Na čistilni napravi lahko pride tudi do pomanjkanja železa in žvepla, vendar redkeje. Pomanjkanje hranil najpreprosteje kontroliramo tako, da nadziramo koncentracijo celotnega raztopljenega dušika in orto-fosfata v iztoku, ki morata v ugodnih razmerah dosegati od 0,5 do 1 mg/l za N-tot in 0,1 do 0,3 mg/l za $P-PO_4$ (Jenkins in sod., 2004), pri tem pa moramo paziti, da višja koncentracija teh dveh parametrov ni posledica izplavljanja aktivnega blata.

Znaki pomanjkanja hranil so napihovanje blata zaradi nitastih bakterij, pojav viskoznega aktivnega blata zaradi izločanja visokih koncentracij polisaharidov oziroma sluzi, prav tako lahko pride do pojava pen na površini aeracijskih bazenov, ki vsebujejo visoko koncentracijo polisaharidov. Če pride do pomanjkanja dušika in fosforja, je potrebno v dotok ali aeracijske bazene dovajati vire dušika kot so amonij, urea in amonijeve soli

$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, NH_4Cl ali NH_4NO_3 in/ali vire fosforja v obliki H_3PO_4 , Na_2PO_4 in $(\text{NH}_4)_2\text{PO}_4$. Pri pomanjkanju dušika pogosto dodajajo mineralna gnojila, ki vsebujejo ureo, amonij in nitrat. Takšna mešanica lahko povzroči dodatne težave, saj je amonij ponavadi prisoten v nizkih koncentracijah, prisotna pa je visoka koncentracija nitratov, ki lahko povzročijo dodatno denitrifikacijo in s tem potrebo po daljšem času za pretvorbo nitratov do dušika. Zato je priporočljivo uporabiti takšna gnojila, ki ne vsebujejo nitratov (Richard in sod., 2004; Jenkins in sod., 2004).

2.4.2.5 Uporaba selektorjev

Selektorji so premešani bazeni ali kanali, v katerih se odpadna voda in povratno blato združita pred začetkom čiščenja v aeracijskem bazenu. Poznamo aerobne (prisotnost kisika), anaerobne (odsotnost kisika in kisikovih spojin) in anoksične (odsotnost kisika, prisotnost kisikovih spojin) selektorje in njihova glavna vloga je, da omogočijo razrast bakterij, ki tvorijo flokule in zavirajo rast filamentoznih bakterij. V selektorju se mikroorganizmi nahajajo v okolju z visoko koncentracijo hranil, zato lahko višek hranil shranijo v znotrajceličnih produktih. Sledi biološko čiščenje v aeracijskih bazenih, kjer bakterije založne snovi porabijo in se kljub nižji koncentraciji hranil v okolici uspešno razmnožujejo (Martins in sod., 2004). Ker imajo bakterije, ki tvorijo flokule, pri višji organski obremenitvi vode višjo afiniteto do substrata kot filamentozne bakterije, se selektivno namnoži le zaželjena mikrobiota, medtem ko ustvarimo neprimerne pogoje za razrast nitastih bakterij. Koristne bakterije, ki tvorijo flokule, imajo visoko stopnjo prevzema raztopljenega substrata in veliko kapaciteto kopičenja hranil, za razliko od filamentoznih bakterij, pri katerih teh lastnosti niso odkrili (Jenkins in sod., 2004). Pri vpeljevanju selektorja je zelo pomembna njegova velikost, ki mora omogočati hiter prevzem raztopljenega substrata, zato je priporočljivo predhodno narediti pilotne poskuse in nato preiti na realno velikost (Martins in sod., 2004). Prav tako pa moramo v aeracijskem bazenu vzpostaviti takšne pogoje, ki omogočajo bakterijam porabo založnih hranil. Če ta pogoj ni izpolnjen, pride do nasičenja nakopičenih hranil v celicah in v nekaj ciklih bi substrat preko selektorjev ponovno začel prehajati v aeracijske bazene (Jenkins in sod., 2004).

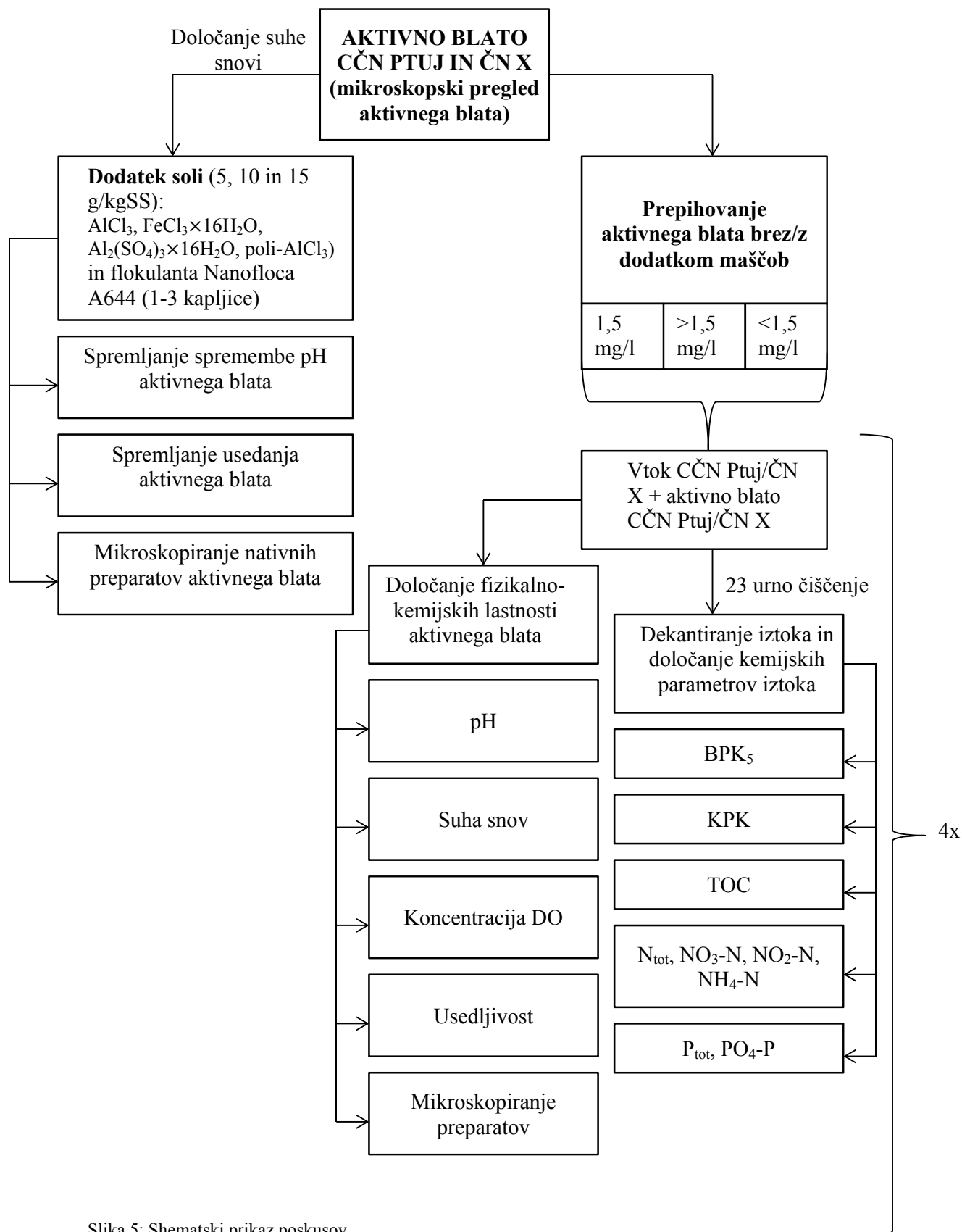
Kljub temu pa selektorji niso vedno učinkoviti v boju proti nitastim bakterijam. Noben tip selektorja ni učinkovit proti namnoževanju nitastih bakterij, ki so posledica nizke vrednosti pH, septičnosti vode, prisotnosti sulfidov ali pomanjkanja hranil (predvsem dušika in fosforja) (Jenkins in sod., 2004).

Preglednica 3: Predlagane skupine morfotipov filamentoznih bakterij (Martins in sod., 2004)

Mikroorganizem	Lastnosti	Nadzor
<u>Skupina I:</u> rast v aerobnih conah z nizko koncentracijo raztopljenega kisika (DO) – <i>S. natans</i> , tip 1701, <i>H. hydrossis</i>	Uporabljajo biorazgradljiv substrat, dobro rastejo pri nizki DO, rastejo pri širokem razponu zadrževalnega časa blata (SRT)	Aerobni, anoksični ali anaerobni selektor, povečanje koncentracije DO v aeracijskem bazenu (>1,5 mg/l)
<u>Skupina II:</u> miksotrofna rast v aerobnih conah – <i>Thiothrix</i> sp., tip 021N	Uporabljajo biorazgradljiv substrat, predvsem organske kisline z nizko molekulsko maso, prisotne pri srednjem do visokem SRT-ju, sposobne oksidirati sulfid in shranjevanja sulfatnih granul, imajo visoko stopnjo prevzema hranil pri pomanjkanju hrane	Aerobni, anoksični ali anaerobni selektor, dodajanje hranil, odstranjevanje sulfida in/ali odstranjevanje visokih koncentracij organskih kislin
<u>Skupina III:</u> rast v aerobnih conah – tip 1851, <i>N. limicola</i> spp.	Uporabljajo biorazgradljiv substrat, prisotne pri srednjem do visokem SRT-ju	Aerobni, anoksični, anaerobni selektor, znižanje SRT-ja
<u>Skupina IV:</u> rast v aerobnih, anoksičnih in anaerobnih conah – <i>Candidatus</i> M. parvicella, tip 0092, tip 0041/0675	Razrastejo se v anaerobno-anoksično-aerobnih sistemih, prisotne pri visokem SRT-ju, sposobne hidrolizirati določene substrate	Namestitev posnemovalca določenih vrst substratov, vzdrževanje visoke koncentracije DO v aeracijskih bazenih (1,5 mg/l) in nizke koncentracije NH ₄ (<1 mg N/l)

3 MATERIALI IN METODE

Po pregledu literature o reševanju problemov z nitastimi bakterijami smo se na CČN Ptuj odločili za dva načina tretiranja aktivnega blata, s katerima smo poskušali zmanjšati število FB. Odločali smo se tudi na podlagi realnih možnosti izvedbe posameznega poskusa v laboratoriju. Opravili smo poskus z dodajanjem različnih soli, ki na aktivno blato delujejo kot koagulanti. V drugem poskusu smo preizkušali različne koncentracije raztopljenega kisika v suspenziji, poskus smo izvedli v intervalu štirih dni. Poleg tega smo preverili, ali dodatek maščob iz maščobnika v aerobnem delu čiščenja vpliva na povečanje števila nitastih bakterij v aktivnem blatu. Poskuse smo izvedli z aktivnim blatom iz dveh čistilnih naprav: CČN Ptuj in ČN X, z velikostjo 2300 populacijskih enot, ki se nahaja v bližini CČN Ptuj in je imela v obdobju eksperimentalnega dela magistrske naloge velike probleme s penjenjem in napihovanjem blata zaradi razrasta nitastih bakterij. Vedno smo vzorčili isti aeracijski bazen (na CČN Ptuj bazen SBR1, na ČN X pa levi bazen). Ker so poskusi skupaj časovno potekali dva meseca, se je tudi združba v aeracijskih bazenih od začetka do konca spreminjala zaradi sprememb v temperaturi ozračja na posamezni ČN. Poleg tega so na CČN Ptuj zaradi prehoda na poletni režim biološkega čiščenja postopno zniževali sušine v aeracijskih bazenih, kar je vplivalo na volumski indeks blata in posledično na usedljivost blata.



Slika 5: Shematski prikaz poskusov.

3.1 POSKUS Z DODATKOM IZBRANIH SOLI IN FLOKULANTA V SUSPENZIJI AKTIVNEGA BLATA IZ ČČN PTUJ IN ČN X

V tem poskusu smo uporabili štiri različne soli: AlCl_3 (Sigma – Aldrich, Nemčija), $\text{FeCl}_3 \times 16\text{H}_2\text{O}$ (Merck, Nemčija), $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \times 16\text{H}_2\text{O}$ (Sigma – Aldrich, Nemčija), poli- AlCl_3 Kemclar 200 (Kemira KTM d.o.o., Slovenija) in flokulant Nanofloc A644 (VTA, Avstrija). Količino dodane soli na liter aktivnega blata smo preračunali glede na suho snov v homogeni zmesi blata in tekočine. Ker je sol sestavljena iz več elementov, smo morali preračunati maso soli, pri kateri smo dodali željeno maso aktivnega elementa aluminija ali železa. Uporabili smo tri različne koncentracije aluminija/železa: 5 g/kgSS, 10 g/kgSS, 15 g/kgSS. Pri flokulantu Nanofloc A644 smo dozirali v kapljicah od ene kapljice do treh (v primeru ČN X do štirih kapljic), kjer je imela ena kapljica povprečen volumen $0,057 \pm 0,004$ ml. Za izbrane koncentracije soli smo se odločili na podlagi literature (Mamais in sod., 2011), pri doziranju flokulanta Nanofloc A644 pa smo upoštevali priporočila proizvajalca. Pri izračunu količine dodane soli smo potrebovali naslednje podatke: molsko maso soli, molsko maso Al/Fe in maso suhe snovi na liter suspenzije.

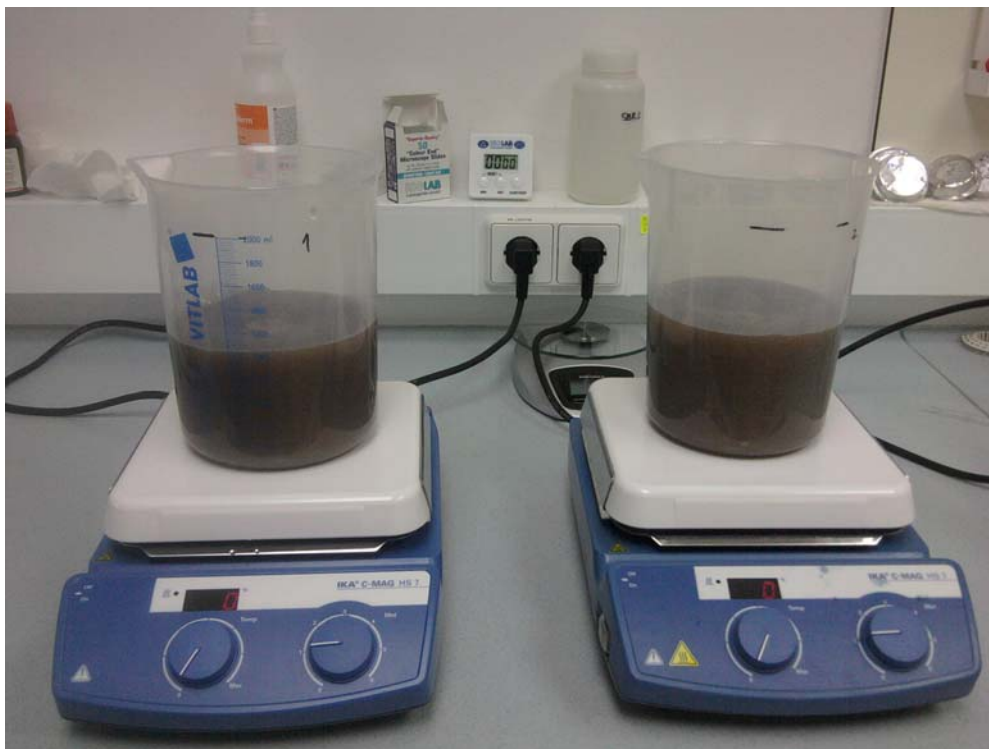
Primer izračuna za $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \times 16\text{H}_2\text{O}$:

Potrebni podatki	
Molska masa $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \times 16\text{H}_2\text{O}$	630,49 g/mol
Molska masa Al^{3+}	26,98 g/mol
Suha snov (SS)	0,0055 kg/l

Izračun za 5 g Al^{3+} /kgSS:

$$\text{Masa } \text{Al}^{3+} \text{ potrebna za } 0,0055 \text{ kgSS/l} = 5 \text{ gAl}^{3+}/\text{kgSS} \times 0,0055 \text{ kg/l} = 0,0275 \text{ g Al}^{3+}/\text{l} \dots(1)$$

$$\text{Masa } \text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \times 16\text{H}_2\text{O} = \frac{630,49 \frac{\text{g}}{\text{mol}} \times 0,0275 \text{ g Al}^{3+}}{2 \text{ mol} \times 26,98 \frac{\text{g}}{\text{mol}}} = 0,3213 \text{ g Al}_2(\text{SO}_4)_3 \times 16\text{H}_2\text{O}/\text{l} \dots(2)$$



Slika 6: Poskus dodatka posameznih soli $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \times 16\text{H}_2\text{O}$, AlCl_3 , $\text{FeCl}_3 \times 16\text{H}_2\text{O}$, poli – AlCl_3 in flokulanta Nanofloc A644 v aktivno – mešanje blata po dodatku soli na magnetnih mešalnih.



Slika 7: Poskus z dodajanjem izbranih soli in flokulanta v aktivno blato – preizkus usedljivosti blata v litrskih valjih.

Aktivno blato smo vzorčili en dan prej, da smo lahko pridobili podatke o koncentraciji suhe snovi v homogeni suspenziji blata. Shranili smo ga preko noči pri temperaturi 4 °C, kar nam je omogočilo, da se je mikrobna združba minimalno spremenila. Na dan poskusa smo aktivno blato temperirali na sobno temperaturo. Poskus smo izvajali z litrom aktivnega blata v dveh paralelnih ponovitvah za negativno kontrolo in za vsako koncentracijo soli. Po dodatku soli smo 5 minut mešali na magnetnih mešalnih C-MAG HS 7 (IKA-Werke GmbH & Co. KG, Nemčija) pri enaki stopnji mešanja ter po petih minutah vsebino suspenzije iz vsake posode prelili v literske valje in spremljali usedanje aktivnega blata na vsakih 5 minut v skupnem času 30 minut (sliki 6 in 7). Zaradi vpliva mešanja na usedanje blata smo za negativno kontrolo uporabili aktivno blato brez dodatka soli, katerega smo 5 minut mešali. Pri poskusu smo spremljali še vpliv dodatka soli na pH vrednost aktivnega blata. Izmerili smo pH vrednost homogene suspenzije pred in po dodatku soli.

S tem poskusom smo želeli preveriti hipotezo, da dodatek optimalne količine soli oziroma flokulanta izboljša strukturo aktivnega blata in posledično njegovo usedljivost.

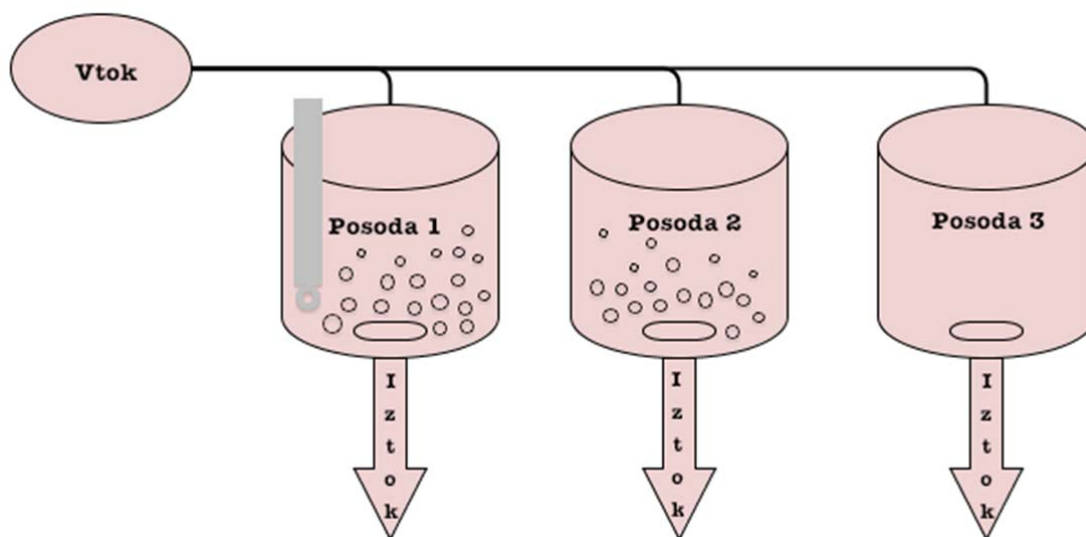
3.2 POSKUS S PREPIHOVANJEM AKTIVNEGA BLATA IZ CČN PTUJ IN ČN X

Poskus je potekal v treh petlitrskih steklenih bioreaktorjih z delovnim volumnom 3 litre pri sobni temperaturi. Poskus smo izvedli s tremi različnimi koncentracijami raztopljenega kisika v suspenziji aktivnega blata. V bioreaktorju 1 smo vzdrževali DO okoli 1,5 mg/l, v bioreaktorju 2 smo imeli višji DO, ki se je gibal nad 1,5 mg/l in je povprečno dosegal 5-6 mg/l. V bioreaktorju 3 smo vzdrževali DO pod 1,5 mg/l in se je gibal okoli 0,10 mg/l. Prepihanje blata je potekalo z akvarijskimi črpalkami, pri katerih smo z reducirnim ventilom regulirali pretok zraka. V bioreaktorju 1 smo koncentracijo raztopljenega kisika dodatno regulirali še s kisikovo sondo, ki je on-line regulirala prepihanje, v bioreaktorju 3 pa kisika nismo dovajali, ampak smo vzpostavili le mešanje z magnetnim mešalom, da se blato ni posedlo (slika 8). Tudi v bioreaktorju 1 in 2 smo imeli poleg prepihanja vzpostavljeno mešanje z magnetnim mešalom, saj samo prepihanje ni omogočalo dovolj homogenega mešanja. Poskus je potekal štiri dni (od ponedeljka do petka). Aktivno blato iz čistilne naprave smo vzorčili v ponedeljek na začetku poskusa in ga v vsak bioreaktor nalili dva litra. V posamezni bioreaktor smo nato dodali še en liter vtoka iz CČN Ptuj oziroma ČN X, ki je bilo shranjeno v zamrzovalni skrinji (-21 °C) in je bilo pred dodatkom v bioreaktorje odtaljeno in temperirano na sobno temperaturo. V vsak liter vtoka smo vedno dodali še 0,5 g D(+) glukoze (Merck, Nemčija), ki nam je služila kot dodatno hranilo za mikroorganizme, saj smo pri poskusu v bioreaktorjih čas čiščenja podaljšali iz štirih ur (na realni čistilni napravi) na 23 ur. To smo naredili zaradi omejenega delovnega časa, ki smo ga imeli za izvedbo vseh potrebnih postopkov.

Poskus se je začel, ko smo imeli v bioreaktorjih dodano aktivno blato, vtok z raztopljeno glukozo in vzpostavljeno mešanje in prepihanje. Sledilo je 23 urno biološko čiščenje,

nato smo blato eno uro posedali ter po posedanju oddekantirali liter prečiščene odpadne vode s pomočjo merilne pipete z volumnom 100 ml. Iztok smo shranili in analizirali, v vse tri bioreaktorje pa smo ponovno nalili liter odtaljenega vtoka z dodano glukozo in zopet vključili prepihovanje in/ali mešanje. Cikel smo ponovili še trikrat, kar pomeni, da smo na koncu pridobili iztok štirih ciklov biološkega čiščenja. Vsak dan smo spremljali spreminjanje združbe blata s pomočjo mikroskopiranja, izvajali meritve koncentracije suhe snovi, spremljali usedanje blata, pH vrednost suspenzije in koncentracijo raztopljenega kisika. V iztoku smo analizirali naslednje parametre: kemijsko potrebo po kisiku (KPK), biološko potrebo po kisiku v petih dneh (BPK₅), celotni organski ogljik (ang. total organic carbon, TOC), celotni dušik (ang. total nitrogen, N_{tot}), celotni fosfor (ang. total phosphorus, P_{tot}), nitratni dušik (NO₃-N), nitritni dušik (NO₂-N), amonijski dušik (NH₄-N) in fosfat (P-PO₄).

Ko smo delali poskus s CČN Ptuj, smo zaradi časovnega zamika v povračanju posednega blata vzorčili aktivno blato iz bazena SBR2 in ne SBR1 kot v poskusih z dodajanjem soli. Ker smo odvzeli povratno blato z višjo sušino, smo dosegli podobno sušino, kot je bila v bazenu SBR1, z dodatkom enega litra vtoka. V primeru ČN X nismo mogli vzorčiti povratnega blata, zato smo aktivno blato vzorčili iz SBR bazena v času prepihovanja, ga v laboratoriju posedli in oddekantirali toliko zgornje tekoče faze, da smo ponovno dosegli željeno koncentracijo aktivnega blata v aeracijskem delu čiščenja.



Slika 8: Shema poskusa s prepihovanjem. Posoda 1, 2, 3 = Bioreaktor 1, 2, 3.



Slika 9: Poskus s prepihanjem blata: priprava bioreaktorskih posod: bioreaktor 1 (prvi levo) z nameščeno sondo, akvarijsko črpalko in magnetnim mešalom, bioreaktor 2 (drugi z leve) z nameščeno akvarijsko črpalko in magnetnim mešalom ter bioreaktor 3, ki ima nameščeno samo magnetno mešalo.



Slika 10: Poskus s prepihanjem blata: polni bioreaktorji v času poskusa - biološki cikel čiščenja.

3.3 POSKUS Z DODATKOM MAŠČOB AKTIVNEMU BLATU IZ CČN PTUJ IN ČN X

Poskus je bil zasnovan enako kot poskus s prepihanjem z edino razliko, da smo v vtok poleg glukoze dodali še 10 g maščob, ki smo jih pobrali iz površine maščobnika na CČN Ptuj. Kot negativno kontrolo smo uporabili rezultate poskusa s prepihanjem aktivnega blata, kjer nismo dodali maščob kot dodatno hranilo.

3.4 MIKROSKOPIRANJE

Vse preparate aktivnega blata smo pregledali z mikroskopom Nikon Eclipse 50i (Nikon, Japonska) in slikali s kamero Nikon DS-Fi1 (Nikon, Japonska). Preparato smo pripravili tako, da smo v 5 mililitrsko pasterko odvzeli 1-2 ml homogenega vzorca aktivnega blata ter z njo kanili kapljico blata na objektno stekelce ter pokrili s krovnim stekelcem. Ko smo mikroskopirali obarvane preparate po Gramu ali Neisserju, smo suspenzijo aktivnega blata na objektnem stekelcu posušili na zraku, pobarvali, ponovno počakali, da se je preparat posušil, in nato mikroskopirali. Nativne preparate smo opazovali pri povečavah 40X, 100X in 1000X, pobarvane preparate pa samo pri 1000X povečavi. Nativne preparate smo pri povečavah 100X in 1000X opazovali s faznim kontrastom, pri 40X povečavi in pri opazovanju pobarvanih preparatov smo uporabili običajno svetlobno mikroskopijo.

3.4.1 Barvanje po Gramu

Barvanje po Gramu smo izvedli s komercialnim kompletom Merck Gram-color Modified (Merck, Nemčija), ki vsebuje vse potrebne reagentne. Barvali smo po navodilih proizvajalca.

3.4.2 Barvanje po Neisserju

Pripravili smo sveže raztopine reagentov:

Raztopina 1 je sestavljena iz raztopine A in B v razmerju 2:1.

Raztopina A: - 0,5 g metilenskega modrila (Merck, Nemčija)
- 5 ml 95% etanola (Sigma - Aldrich, Nemčija)
- 5 ml glacialne očetne kisline (Sigma - Aldrich, Nemčija)
- 100 ml destilirane vode

Raztopina B: - 3,3 ml kristal vijoličnega (10% w/v v 95% etanolu) (Merck, Nemčija)
- 6,7 ml 95% etanola
- 100 ml destilirane vode

Raztopina 2 je sestavljena iz 33,3 ml barvila bismarck brown (1% w/v) (Sigma - Aldrich, Nemčija) in 66,7 ml destilirane vode. Pripravljene raztopine so obstojne največ šest mesecev.

Postopek barvanja: pred barvanjem smo preparat le posušili na zraku brez fikiranja nad ognjem. Z raztopino 1 smo barvali 30 sekund, spirali 1 sekundo z vodo. Nato smo barvali z raztopino 2 1 minuto in dobro sprali z vodo ter posušili na zraku (Jenkins in sod., 2004).

3.4.3 Identifikacija rodov/tipov filamentoznih bakterij

Nitaste bakterije smo identificirali na podlagi morfoloških lastnosti, ki smo jih opazovali z mikroskopom. Za identifikacijo smo uporabili dihonomni ključ po Jenkinsu (priloga A) ter si pomagali še s podrobnejšimi opisi morfoloških lastnosti in slikami nativnega preparata ter barvanja po Gramu in Neisserju (Jenkins in sod., 2004; Eikelboom, 2000). Za potrditev pravilne identifikacije različnih rodov/vrst/tipov FB smo se posvetovali z gospo Ireno Čarman iz ČN Novo mesto, ki deluje v okviru podjetja Krka. Gospa Čarman je pregledala native in pobarvane preparate aktivnega blata iz CCN Ptuj in na osnovi svoje dolgoletne eksperizije potrdila, da smo identificirali prave rodove/tipe FB.

3.4.4 Ocenjevanje števila filamentoznih bakterij

Pri ugotavljanju števila filamentov v aktivnem blatu smo se poslužili poenostavljene metode po Eikelboomu, kjer smo ocenili približno število nitastih bakterij in jih razporedili v štiri razrede filamentoznega indeksa (FI): pri FI=1 je prisotno nekaj filamentov (do 10), ki štrlijo iz flokul; pri FI=2 je prisotno več filamentov (do 30), ki so še omejeni na območje okoli flokul; pri FI=3 je opazno povečano število nitastih bakterij, ki se pojavljajo tako na obrobju flokul kot tudi suspendirano med njimi; pri FI=4 pa je število filamentov zelo povečano in se med sabo prepletajo tako na obrobju kot med flokulami (Eikelboom, 2000).

3.5 ANALIZE AKTIVNEGA BLATA

Da smo okarakterizirali glavne lastnosti aktivnega blata, smo testirali koncentracijo aktivnega blata v obliki suhe snovi, usedljivost blata in volumski indeks blata. Te lastnosti smo spremljali pri obeh poskusih in sicer smo pri poskusu 1 ugotavljali koncentracijo aktivnega blata zato, da smo lahko izračunali potrebno količino soli, ki smo jo dodali.

3.5.1 Ugotavljanje koncentracije aktivnega blata – suha snov (SS)

Dobro premešano suspenzijo aktivnega blata in vode iz ČN smo prenesli v 50 ml merilni valj in prelili v predhodno očiščeno, v sušilniku sušeno (najmanj 1,5 h pri 105 °C) in v eksikatorju hranjeno ter stehano izparilnico. Pri tem smo suspenzijo, ki je ostala na površini valja, sprali z destilirano vodo, da nismo izgubljali mase. Izparilnico smo nato prenesli v sušilnik, kjer smo suspenzijo sušili, dokler se ni teža izparilnice ustalila. Po sušenju smo jo prenesli v eksikator, kjer se je ohladila ter jo nato stehali. Suho snov smo nato izračunali iz podatkov mase prazne in suhe izparilnice ter volumna prenesene suspenzije aktivnega blata (Clescerl in sod., 1999).

Enačba:

$$KABs = \frac{(A-B) \cdot 1000}{V} \left(\frac{g}{l} \right) \quad \dots(3)$$

KABs – koncentracija aktivnega blata podana kot sušina

A – masa izparilnice s suspenzijo po sušenju in hlajenju v eksikatorju (g)

B – masa same izparilnice po sušenju in hlajenju v eksikatorju (g)

V – volumen vzorca (ml)

3.5.2 Usedljivost blata (UB)

Suspenzijo aktivnega blata smo prenesli v 1000 ml merilni valj. Po tridesetih minutah smo odčitali volumen usedlega blata. Rezultate usedljivosti smo podali v ml/l suspenzije. Spremljali smo tudi usedanje v časovnem obdobju vsakih 5 minut z merjenjem višino posedlega blata in na koncu izrisali grafikon spreminjanja posedanja aktivnega blata v času (Clescerl in sod., 1999).

3.5.3 Volumski indeks blata (SVI)

To je razmerje med volumnom posednega blata v 30 minutah in koncentracijo blata, ki je izražena kot suha snov (SS) (Clescerl in sod., 1999). Izražamo ga v ml/g. Za dobro delovanje ČN mora biti indeks v določenih mejah, najboljše od 70 – 150 ml/g (Jenkins in sod., 2004; Richard in sod., 2003), saj višje vrednosti nakazujejo na slabše usedanje blata oziroma na njegovo napihovanje.

Enačba:

$$SVI = \frac{UB}{KABs} \left(\frac{ml}{g} \right) \quad \dots(4)$$

3.5.4 Merjenje koncentracije raztopljenega kisika (DO) in pH vrednosti suspenzije

Koncentracijo DO smo merili s sondo Hach LDO (Hach Lange, Nemčija), pH pa s sondo Hach PHC 101 (Hach Lange, Nemčija). Ko smo sondo potopili v aktivno blato smo počakali, da se nam je vrednost ustalila, ter jo nato zabeležili. Merili smo trenutno koncentracijo DO in vrednost pH, saj nismo imeli možnosti online zapisov, zato smo koncentracijo kisika pomerili trikrat na dan (razen prvi in zadnji dan poskusa, ko smo pomerili dvakrat), vrednost pH pa dvakrat na dan. V bioreaktorju 1 smo imeli še dodatno sondo FDO 700 IQ (WTW, Nemčija), ki je bila priključena na merilnik WTW DIQ/S 182 (WTW, Nemčija) in nam je služila za regulacijo koncentracije DO okoli vrednosti 1,5 mg/l. Nastavitve sonde so bile nastavljene tako, da se je ob padcu DO pod 1,5 mg/l vključilo prepihanje z akvarijsko črpalko, pri povišani vrednosti DO nad 1,6 mg/l pa se je prepihanje ustavilo. Kjub temu, da smo s to sondo lahko spremljali koncentracijo kisika v bioreaktorju 1, smo vseeno ob vsakodnevnih meritvah tudi v bioreaktorju 1

pomerili koncentracijo s sondo Hach LDO, ki je bolj odzivna in nam je dala bolj reprezentativne rezultate.

3.6 ANALIZE VTOKA IN IZTOKA

Kemijske analize vzorcev so potekale pri poskusu s prepihovanjem, kjer smo morali izmeriti parametre vtoka (ki je bil skozi 4-dnevni cikel za vsak posamezen poskus enak) in parametre iztoka. Vtok iz ČČN Ptuj smo vzorčili v času zajemanja vzorca za izvajanje monitoringa na ČN, ki poteka dvakrat mesečno, pri ČN X pa smo vzeli trenutni vzorec z vzorčevalno posodo. Vzorec smo po končanem vzorčenju dobro premešali, ga po 3 litre prelili v štiri petlitrne plastične posode in shranili v zamrzovalni skrinji pri $-21\text{ }^{\circ}\text{C}$ do začetka poskusa.

Iztok smo zajemali iz bioreaktorjev, v katerih je potekal poskus. Po vsakem usedanju blata smo oddekantirali liter iztoka iz vsakega bioreaktorja in ga s 100 ml pipeto prenesli v literske platenke. Del posameznega iztoka smo prelili v stekleno epruveto, ki smo jo uporabili v analizi TOC in TN, dvakrat po 100 ml smo prelili v manjše plastične posodice in konzervirali vzorce s HCl in H_2SO_4 ter jih shranili v hladilniku do analiz, preostanek pa smo pustili v prvotni platenki ter zamrznili za analizo BPK_5 .

3.6.1 Analiza KPK

Uporabili smo komercialno dostopne kite Lange LCI 500 (Hach Lange, Nemčija), ki so že pripravljene za uporabo za območje kemijske potrebe po kisiku od 0 do 150 mg/l. Kadar smo pričakovali višjo vrednost KPK, smo vzorec ustrezno razredčili tako, da je bila koncentracija znotraj dovoljenega koncentracijskega območja. Analize smo izvedli po navodilih proizvajalca.

V epruvete smo s polnilno pipeto odpipetirali 2,0 ml dobro homogeniziranega vzorca, ki smo ga med pipetiranjem mešali na magnetnem mešalu. Izvedli smo tudi analizo ničelnega vzorca, tako, da smo za vsak set analiz namesto vzorca v eno epruveto odpipetirali destilirano vodo. Ko smo dodali vzorec, smo epruvete nežno premešali in jih postavili za $2\text{h} \pm 10\text{ minut}$ v segret termoblok pri $150\text{ }^{\circ}\text{C}$. Preden smo izvedli meritev absorbance na fotometru HACH LANGE DR 2800 pri valovni dolžini 440 nm, smo epruvete ohladili na sobno temperaturo.

3.6.2 Analiza BPK_5

V steklenice za merjenje BPK_5 smo nalili ustrezen volumen homogenega vzorca vode - odvisno od pričakovanega BPK_5 s temperaturo $20 \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$, dodali ustrezen volumen fosfatnega pufra, MgSO_4 , CaCl_2 , FeCl_3 , cepilne vode in alitiouree. Pričakovan BPK_5 smo ocenili preko KPK vrednosti vzorca (BPK_5 vzorcev je približno $2/3$ KPK vrednosti). V steklenice smo dodali magnetna mešala in tulce, v katere smo dali 3 zrna NaOH. Nato smo

steklenice zaprli z OXI TOP manometričnimi glavicami (WTW, Nemčija) in jih postavili v termostatsko omaro. Po 45 minutah smo merilne glave aktivirali. Po petih dneh smo odčitali vrednost BPK_5 v mg/l. Analizo smo izvedli po navodilih proizvajalca merilnih glav.

3.6.3 Analiza TOC in TN

Aparat TOC-V_{CPH/CPN} Total Organic Carbon Analyzer (Shimadzu corporation, Japonska), ki smo ga uporabili, meri koncentracijo TOC in TN sočasno. Po zakisanju vzorca do vrednosti pH=2-3, smo ga prepicali z zrakom brez ogljikovodikov, s čimer smo odstranili frakcijo hlapnega ogljika. Posodice z vzorci smo nato vstavili v aparat, ki avtomatsko jemlje posamezne vzorce in jih analizira. Vzorec potuje po cevki v cev za izgorevanje, ki je napolnjena z oksidacijskim katalizatorjem in je segreta na 720 °C, kjer zgori v CO₂ in NO. Nosilni plin nato ponese produkte zgorevanja na elektronski sušilnik, kjer se NO in CO₂ posušita in ohladita. Nato gre izgorjeni vzorec skozi halogenski izmenjevalec, da se odstrani klor in drugi halogeni. Temu sledi potovanje do NDIR (non-dispersive infrared) plinskega analizatorja, kjer se detektira CO₂. Detektor generira signal, katerega velikost je premosorazmerna s koncentracijo TOC v vzorcu.

3.6.4 Analiza skupnega fosforja

Pred analizo celotnega fosforja smo vzorce konzervirali z železovo (VI) kislino v razmerju 100:1. Nato smo v epruveto odpipetirali 40 ml vzorca, dodali 4 ml kalijevega peroksodisulfata in segrevali 45 minut pri 200 °C v termobloku Labo (Labo d.o.o., Slovenija). 15 minut pred koncem segrevanja smo dvignili hladilnike in tako omogočili, da je del vode izparel. Vzorce smo ohladili in prilagodili pH na 3-10 z natrijevim hidroksidom ali žveplovo (VI) kislino, jih prenesli v bučko ter redčili do 40 ml. Za razvoj barve smo dodali še 1 ml askorbinske kisline in 2 ml kisle raztopine molibdata II. Po 10 minutah, ko se je barva razvila, smo izmerili absorbanco pri 880 nm na spektrofotometru Cary 50 (Varian, Avstrija).

3.6.5 Analiza NO₃-N, NO₂-N in PO₄-P

Analize smo izvedli z ionskim kromatografom Dionex DX 100 (Dionex, Teksas), ki vsebuje prevodnostni detektor AS12A. Vzorec smo pred injiciranjem filtrirali skozi filter z velikostjo por 0,45 µm, da smo preprečili absorbcijo anionov na delce ali pretvorbo anionov zaradi presnove bakterij. Pred analizo smo vzorcu dodali koncentrirani eluent v razmerju 1 del koncentrata na 100 delov vzorca. Vzorec smo vbrizgali na kolono z nosilnim plinom dušikom in mobilno fazo Na₂CO₃ in NaHCO₃ pri pretoku 1,5 ml/min. Nadaljnji postopki so bili izvedeni po navodilu proizvajalca kromatografa.

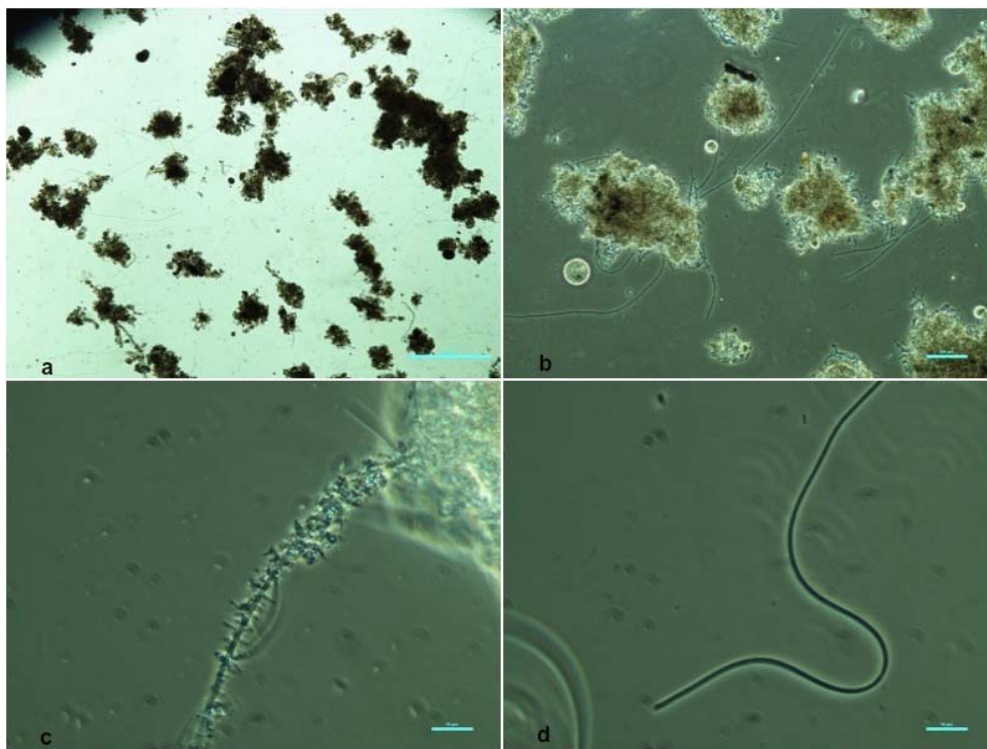
4 REZULTATI

4.1 MORFOLOŠKE ZNAČILNOSTI AKTIVNEGA BLATA IZ CČN PTUJ in ČN X

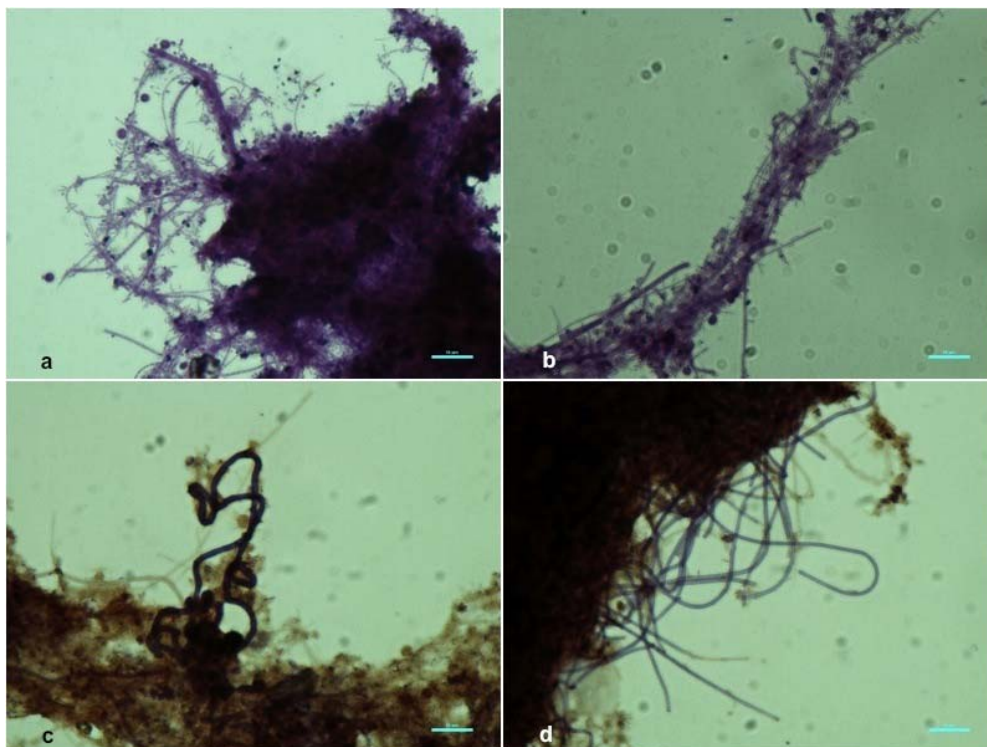
4.1.1 Morfološke značilnosti aktivnega blata CČN Ptuj

Mikrobno združbo in lastnosti aktivnega blata iz CČN Ptuj smo spremljali od druge polovice marca do konca junija 2014. Spremljali smo strukturo flokul in prisotnost nitastih bakterij. V tem obdobju so bile flokule nesimetrične s premerom od 100 do 300 μm . Zaradi prisotnosti FB so bile posamezne flokule odprte ter nekompaktne, na določenih mestih so se ustvarjali mostovi med flokulami zaradi dolgih štrlečih filamentov. FB so se v večini nahajale znotraj flokul in na njihovih robovih. Pri nativnem preparatu smo opazili štrleče konce na robu flokul, pri barvanih preparatih pa smo zaradi boljšega kontrasta opazili tudi tiste nitaste bakterije, ki so se nahajale znotraj flokul. Filamentni indeks aktivnega blata v času poskusov je bil v povprečju FI=2.

V aktivnem blatu iz CČN Ptuj smo ugotovili prisotnost naslednjih nitastih bakterij: tip 0041, tip 1851, tip 0092, *H. hydrossis*, *Beggiatoa*, *Candidatus M. parvicella* in '*N. limicola*' II. Prevladujoč je bil tip 0041, ki je bil prisoten v skoraj vsaki flokuli, medtem ko so bili drugi tipi bakterij opaženi občasno v manjšem številu ali pa le na določenih mestih kot žarišča (sliki 11 in 12).



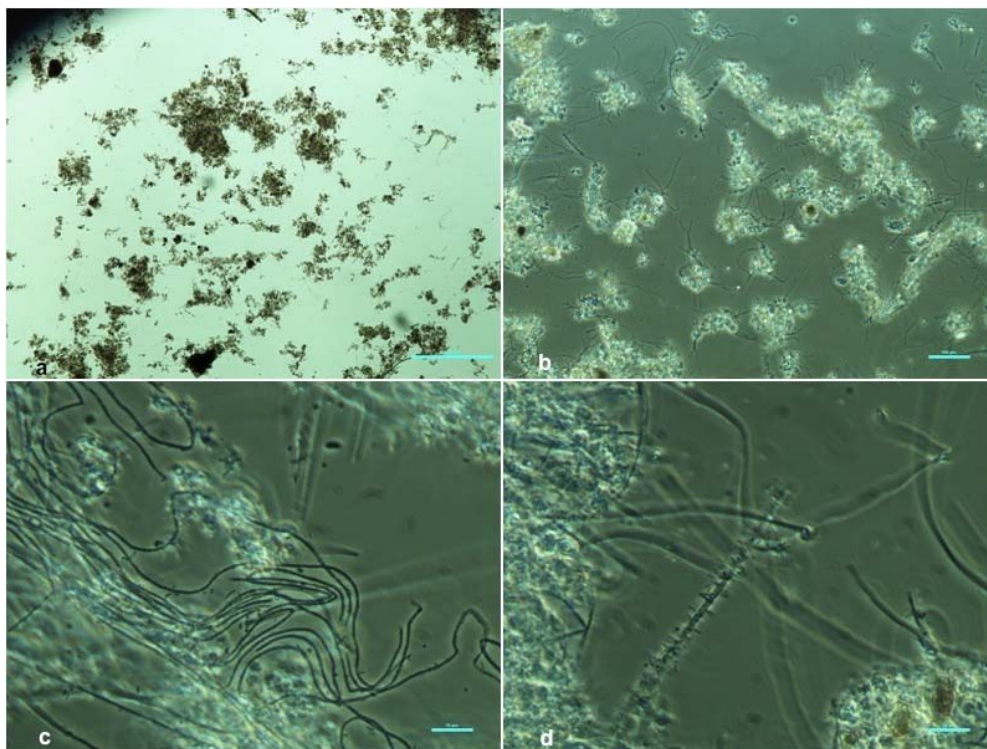
Slika 11: Nativni preparat aktivnega blata iz CČN Ptuj, a) 40X povečava, b) 100X povečava fazni kontrast (FK), c) 1000X povečava FK, tip 0041 in d) 1000X povečava FK, *Beggiatoa*.



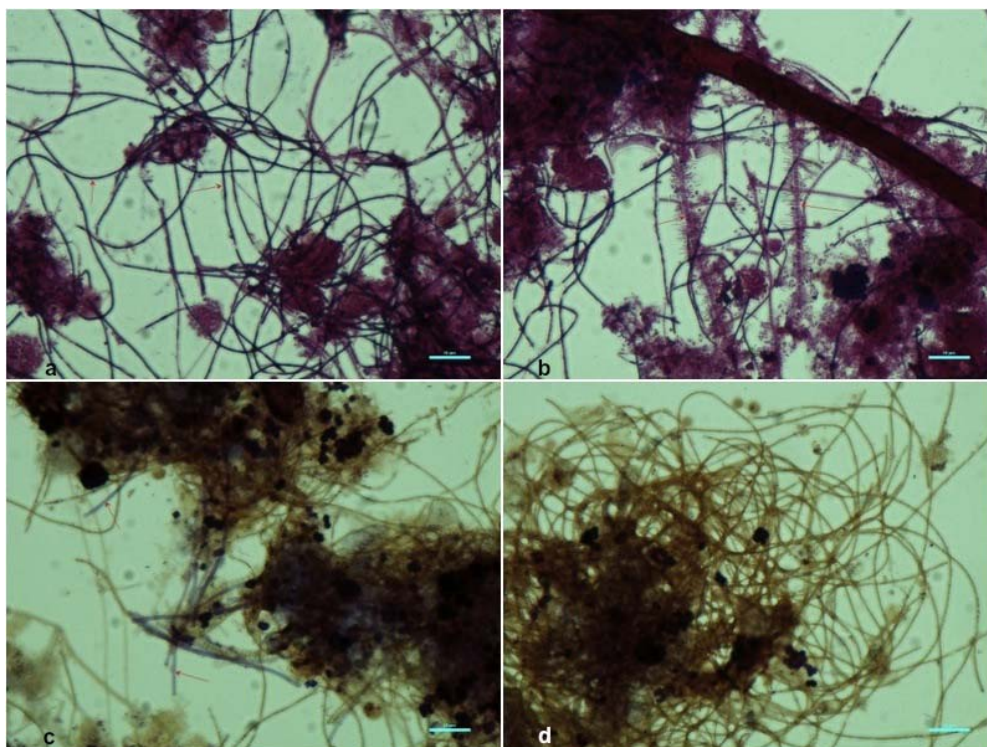
Slika 12: Obarvani preparati aktivnega blata iz ČČN Ptuj (1000X): a) barvanje po Gramu, filamenti s pritrjeno rastjo – tip 0041 in 1851, b) barvanje po Gramu, šop filamentov tipa 1851 s pritrjeno rastjo, c) barvanje po Neisserju, '*Nostocoida limicola*' II in d) barvanje po Neisserju, tip 0092.

4.1.2 Morfološke značilnosti blata ČN X

Aktivno blato iz ČN X smo prvič mikroskopirali aprila pred začetkom poskusov in ugotovili, da so bile flokule zelo razdrobljene in nekompaktne, med njimi so se prepletale nitke FB, med katerimi je prevladovala *Candidatus M. parvicella*, ki se je nahajala tako znotraj flokul kot tudi suspendirano med njimi. Iz flokul so štrleli tudi drugi tipi filamentov, to so bili tip 0041, tip 0092 in *H. hydrossis* (sliki 13 in 14). Filamentni indeks aktivnega blata je bil na začetku višji FI=4, proti koncu poskusov pa se je število nitastih bakterij nekoliko zmanjšalo in je bil FI=3. Flokule so bile zelo razpršene in med seboj povezane s filamenti. Posledično je bilo tudi posedanje blata zelo slabo in je dosegalo na začetku 850 ml/l, proti koncu opravljanja poskusov pa več kot 900 ml/l, saj se je povečala koncentracija aktivnega blata iz 3,4 gSS/l na 5,5 gSS/l kot posledica prepolnih zalogovnikov odvečnega blata in prehajanja blata nazaj v aeracijske bazene.



Slika 13: Nativni preparat aktivnega blata iz ČN X, a) 40X povečava, b) 100X povečava FK, c) 1000X povečava FK, *Candidatus M. parvicella* in d) 1000X povečava FK, tip 0041.

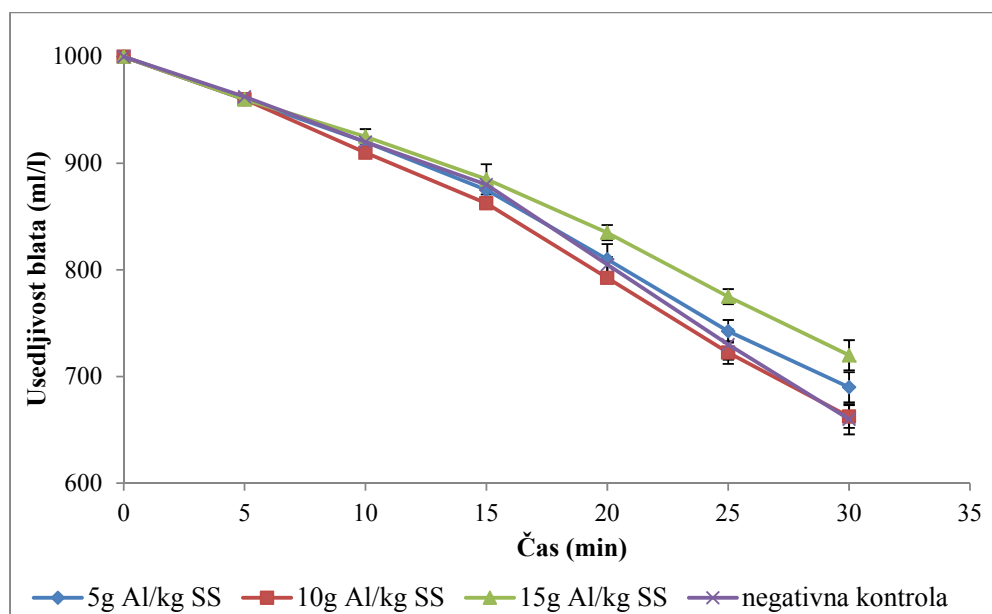


Slika 14: Obarvani preparati aktivnega blata iz ČN X (1000X): a) barvanje po Gramu, *Candidatus M. parvicella*, b) barvanje po Gramu, filamenti tipa 0041 s pritrjeno rastjo, c) barvanje po Neisserju, tip 0092 in d) barvanje po Neisserju, *Candidatus M. parvicella*.

4.2 REZULTATI POSKUSA Z DODAJANJEM SOLI AKTIVNEMU BLATU IZ CČN PTUJ

4.2.1 Dodatek $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \times 16\text{H}_2\text{O}$

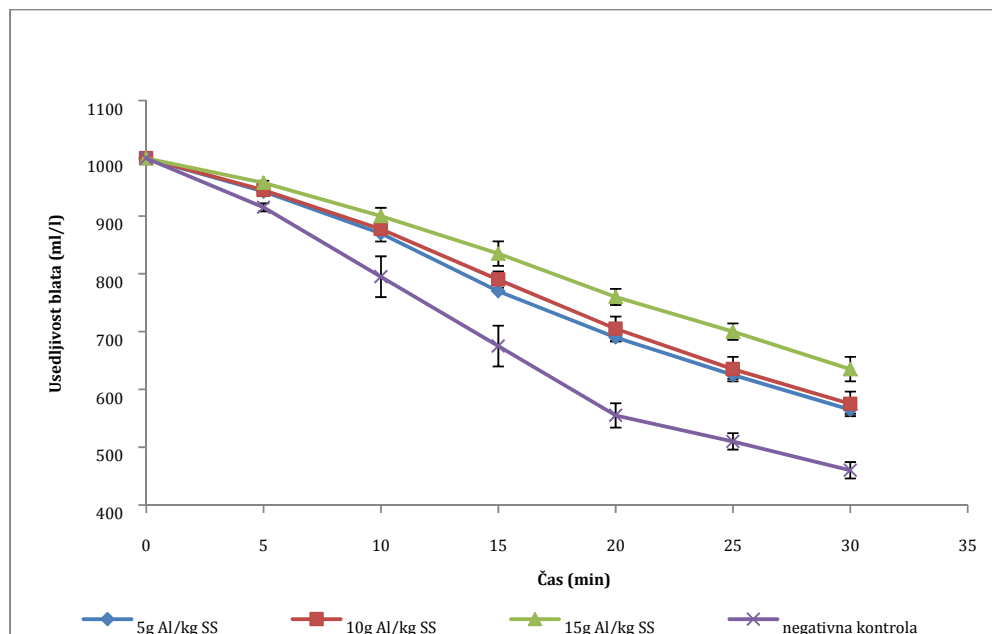
Dodatek $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \times 16\text{H}_2\text{O}$ ni izboljšal usedanja aktivnega blata in morfološke strukture flokul, zato mikroskopskih slik nismo vključili med rezultate (to velja za vse dodane soli in flokulant v aktivno blato iz CČN Ptuj). Z višanjem koncentracije soli se usedljivost blata povečuje, kar pomeni, da se nam je v 30 minutah nivo posedlega blata dvignil in ne znižal (slika 15). Prvih 15 minut je posedanje pri negativni kontroli in različnih koncentracijah soli zelo primerljivo, nato se krivulje ločijo, vendar zaradi prekrivanja standardnih odklonov ne moremo govoriti o signifikantni razliki v usedljivosti v času t_{30} . Razvidno pa je, se je blato najmanj posedlo pri najvišji koncentraciji soli (15 gAl/kgSS), medtem ko je blato ob dodatku nižje koncentracije soli pokazalo usedljivost pod 700 ml/l (pri 5 gAl/kgSS 690 ml/l, pri 10 gAl/kgSS pa okoli 660 ml/l).



Slika 15: Vpliv dodatka različnih koncentracij $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \times 16\text{H}_2\text{O}$ na usedanje aktivnega blata iz CČN Ptuj; SS = 6,0 g/l.

4.2.2 Dodatek AlCl_3

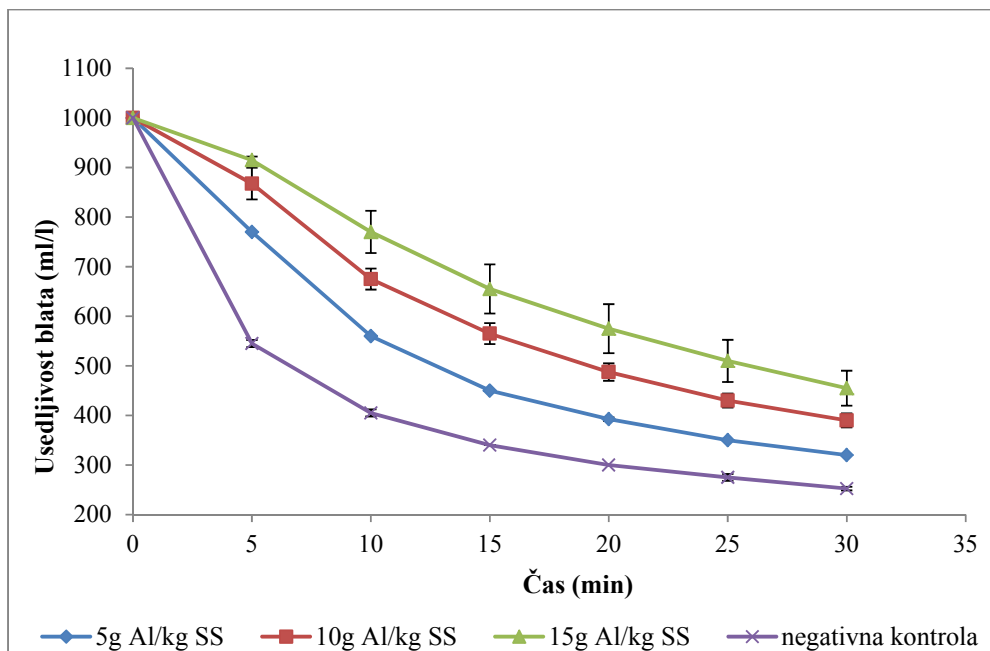
Blato se je najbolj posedlo, ko nismo dodali soli. Z večanjem koncentracije soli AlCl_3 se je usedljivost blata začela manjšati. Pri koncentraciji 5 in 10 gAl/kgSS je bilo usedanje skoraj enako, če upoštevamo še standardne odklone. Najmanj se je blato usedalo pri najvišji koncentraciji AlCl_3 (15 gAl/kgSS), kjer se je posedlo do 635 ml/l. Rezultate prikazuje slika 16.



Slika 16: Vpliv dodatka različnih koncentracij AlCl_3 na usedanje aktivnega blata iz CČN Ptuj; SS = 4,1 g/l.

4.2.3 Dodatek poli- AlCl_3

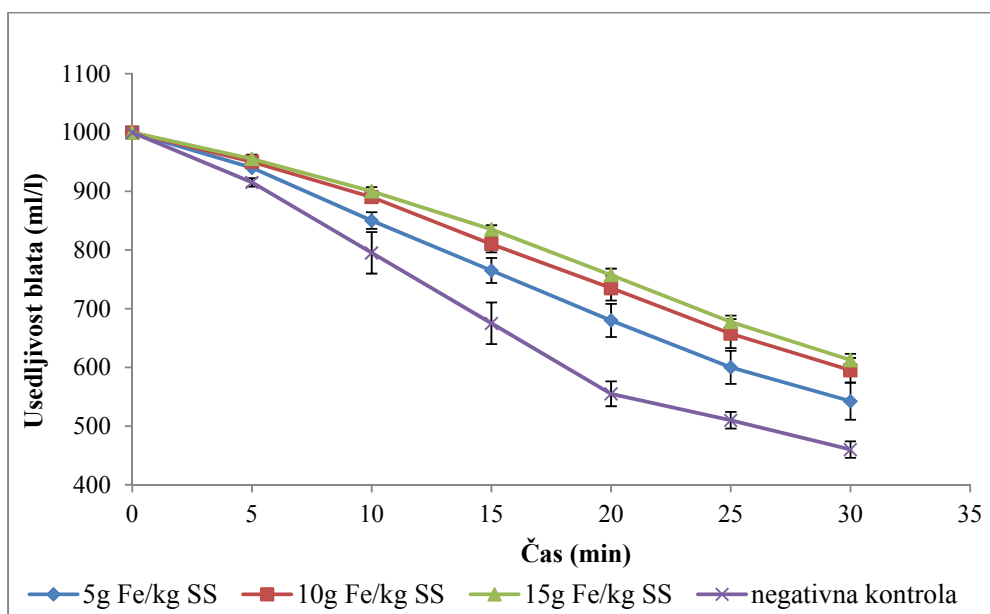
Usedljivost aktivnega blata je bila brez dodanega poli- AlCl_3 nižja (pod 300 ml/l) zaradi znižanja sušine v aeracijskih bazenih, saj smo poskus izvedli nekaj tednov kasneje kot z ostalimi solmi (AlCl_3 , $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \times 16\text{H}_2\text{O}$ in $\text{FeCl}_3 \times 16\text{H}_2\text{O}$). Koncentracija suhe snovi se je znižala od začetne 6,0 gSS/l na 3,3 gSS/l. Kljub temu je še vedno prišlo do zmanjšanja usedanja aktivnega blata s povečevanjem koncentracije poli- AlCl_3 (slika 17).



Slika 17: Vpliv dodatka različnih koncentracij poli- AlCl_3 na usedanje aktivnega blata iz CČN Ptuj; SS = 3,3 g/l.

4.2.4 Dodatek $\text{FeCl}_3 \times 16\text{H}_2\text{O}$

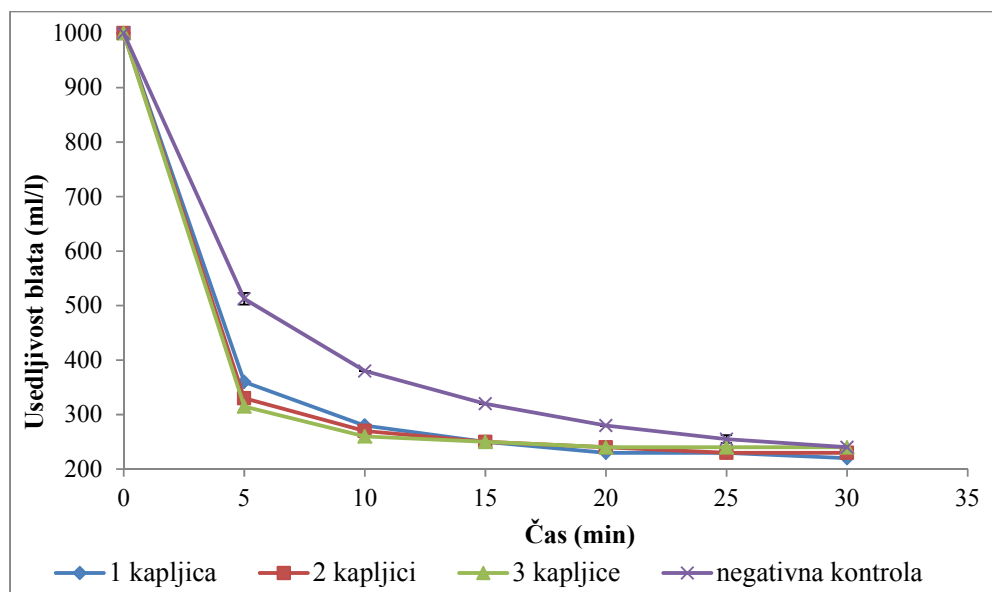
Dodatek $\text{FeCl}_3 \times 16\text{H}_2\text{O}$ je tako kot vse dosedaj opisane soli zmanjšal usedljivost aktivnega blata iz CČN Ptuj (slika 18). Ponovno smo opazili zmanjšanje usedanja blata pri povečani koncentraciji $\text{FeCl}_3 \times 16\text{H}_2\text{O}$.



Slika 18: Vpliv dodatka različnih koncentracij $\text{FeCl}_3 \times 16\text{H}_2\text{O}$ na usedanje aktivnega blata iz CČN Ptuj; SS = 4,1 g/l.

4.2.5 Dodatek flokulanta Nanofloc A644

Najbolj obetajoče rezultate smo dobili z dodajanjem flokulanta Nanofloc A644. Ker pa smo poskus izvedli v obdobju, ko so sušino na CČN Ptuj zelo znižali, je bila usedljivost aktivnega blata že brez dodatka flokulanta zelo dobra (240 ml/l). Povečanje koncentracije flokulanta ni zmanjšalo usedljivosti, kot v primeru dodatka soli, aktivno blato se je posedalo hitreje v primerjavi z negativno kontrolo, vendar se na koncu (po 30 minutah) usedljivost negativne kontrole in blata z dodatkom različnih koncentracij flokulanta Nanofloc signifikantno ne razlikuje (slika 19).



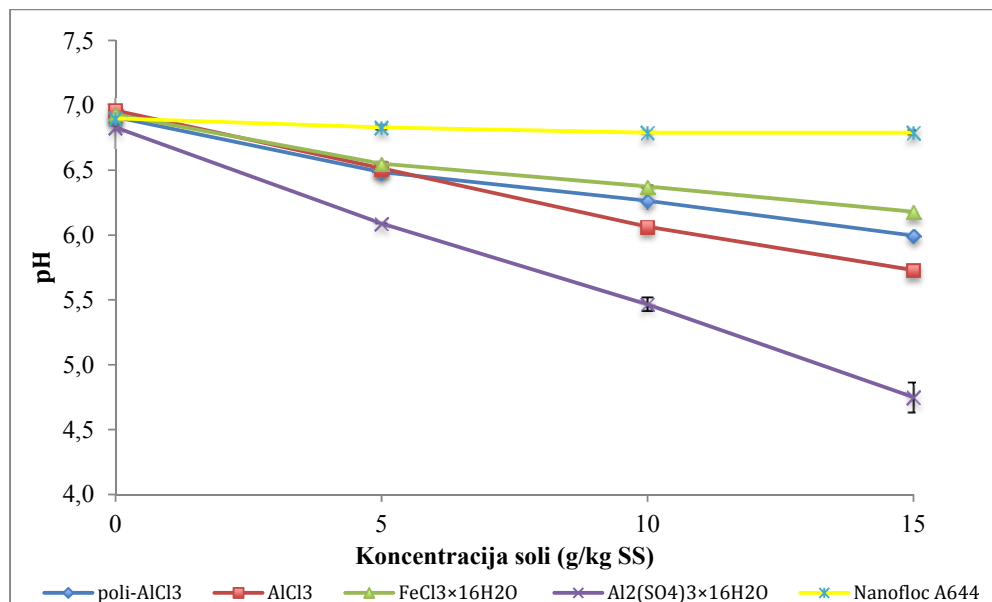
Slika 19: Vpliv dodatka različnih koncentracij flokulanta Nanofloc A644 na usedanje aktivnega blata iz CČN Ptuj; SS = 3,3 g/l.

4.2.6 Vpliv dodatka $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \times 16\text{H}_2\text{O}$, AlCl_3 , $\text{FeCl}_3 \times 16\text{H}_2\text{O}$, poli – AlCl_3 in flokulanta Nanofloc A644 na pH vrednost in SVI suspenzije aktivnega blata

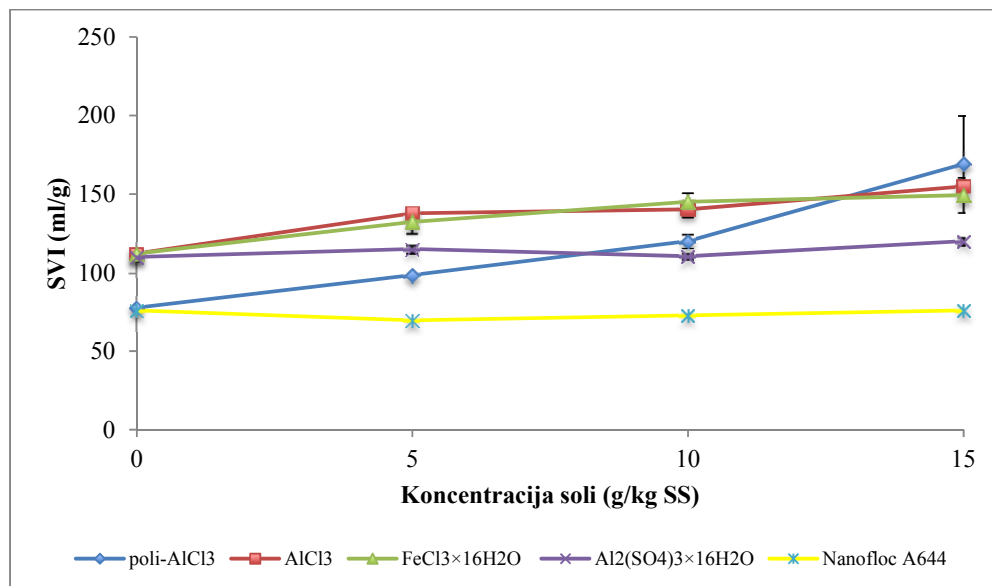
Dodatek $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \times 16\text{H}_2\text{O}$ je najbolj vplival na znižanje vrednosti pH suspenzije aktivnega blata, ki se je pri najvišji koncentraciji soli znižal do pH=4,75. Dodatek AlCl_3 je tudi vplival na znižanje pH vrednosti in se je pri koncentraciji soli 15 gAl/kgSS znižal na vrednost 5,73, kar pomeni, da je prišlo do manjšega znižanja pH vrednosti kot po dodatku $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \times 16\text{H}_2\text{O}$. Prav tako se je znižala vrednost pH s povečevanjem koncentracije poli – AlCl_3 , ki pa se je znižala le malo pod vrednost 6 (5,99). Vrednost pH se tudi s povečevanjem koncentracije $\text{FeCl}_3 \times 16\text{H}_2\text{O}$ zmanjšuje, vendar padec ni tako drastičen, saj se pri najvišji koncentraciji soli ustali pri vrednosti 6,18. Dodatek Nanofloca A644 je najmanj vplival na spremembo pH, pH vrednost se je znižala iz začetne vrednosti 6,90 na 6,79 pri najvišji koncentraciji.

Rezultati SVI aktivnega blata po dodatku soli in flokulanta sovpadajo z rezultati usedanja aktivnega blata, saj se volumski indeks blata povečuje s povečevanjem koncentracije soli,

trend upadanja je prisoten le po dodatku flokulanta Nanofloc A644 in po dodatku 10 gAl/kgSS za $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \times 16\text{H}_2\text{O}$ (slika 21). Začetne vrednosti SVI v točki 0, ki prikazuje negativno kontrolo, odstopajo, saj so se, kot smo že omenili, sušine tekom naših poskusov zniževale in posledično se je znižala tudi vrednost SVI (pri dodatku flokulanta Nanofloc A644 in poli – AlCl_3).



Slika 20: Vpliv koncentracije $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \times 16\text{H}_2\text{O}$, AlCl_3 , $\text{FeCl}_3 \times 16\text{H}_2\text{O}$, poli – AlCl_3 in flokulanta Nanofloc A644 (x-skala za flokulant je od 0 – 3 kapljic) na spremembo pH vrednosti suspenzije aktivnega blata iz CCN Ptuj.

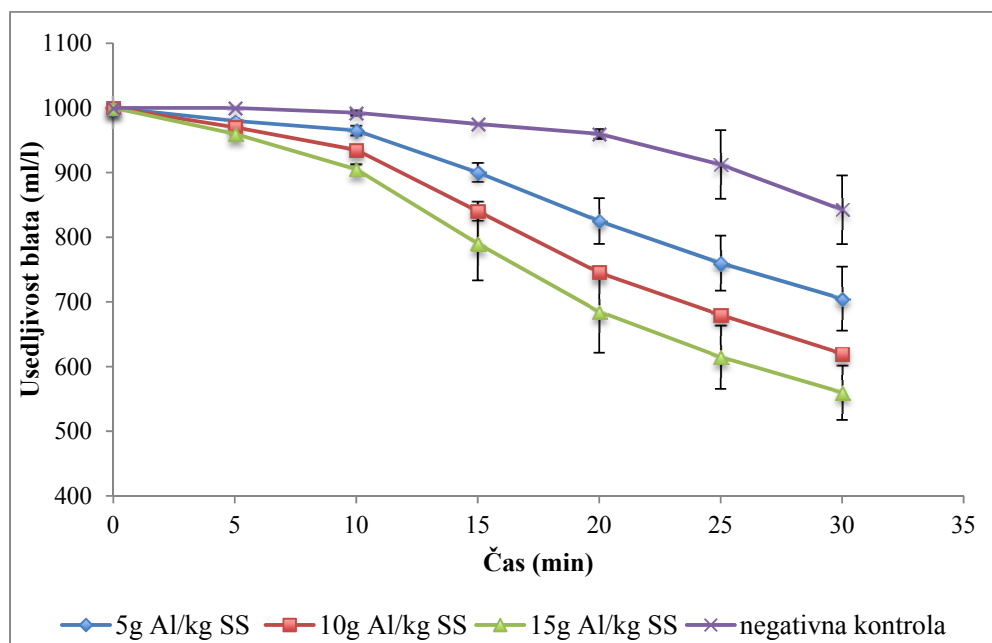


Slika 21: Vpliv koncentracije $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \times 16\text{H}_2\text{O}$, AlCl_3 , $\text{FeCl}_3 \times 16\text{H}_2\text{O}$, poli – AlCl_3 in flokulanta Nanofloc A644 (x-skala za flokulant je od 0 – 3 kapljic) na spremembo vrednosti SVI suspenzije aktivnega blata iz CCN Ptuj.

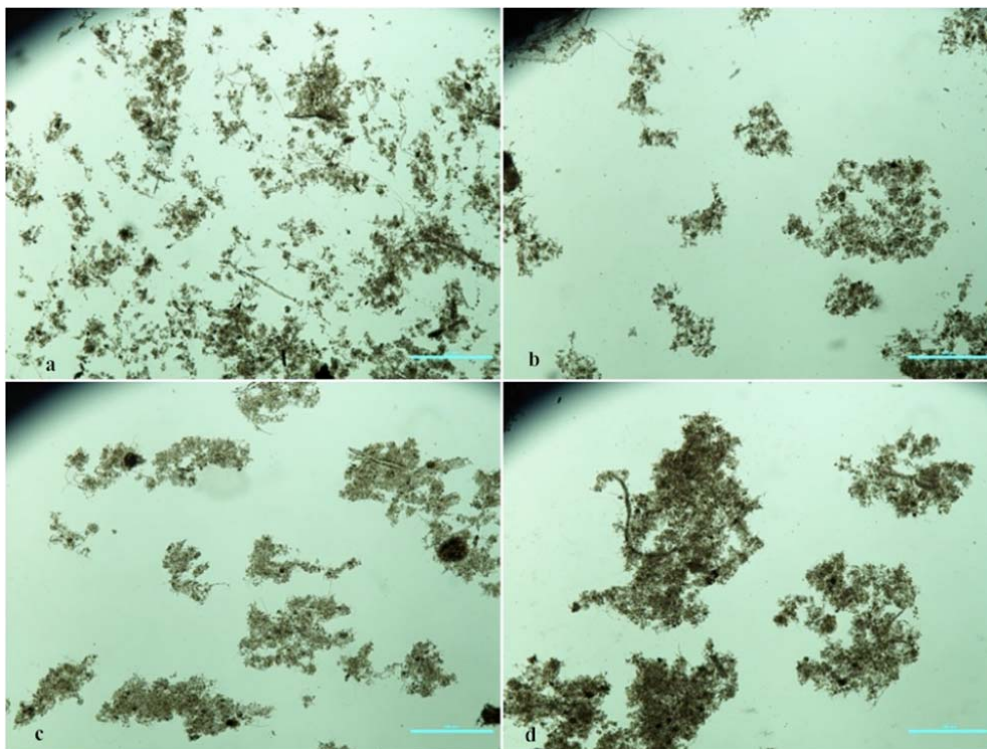
4.3 REZULTATI POSKUSA Z DODAJANJEM SOLI AKTIVNEMU BLATU IZ ČN X

4.3.1 Dodatek $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \times 16\text{H}_2\text{O}$

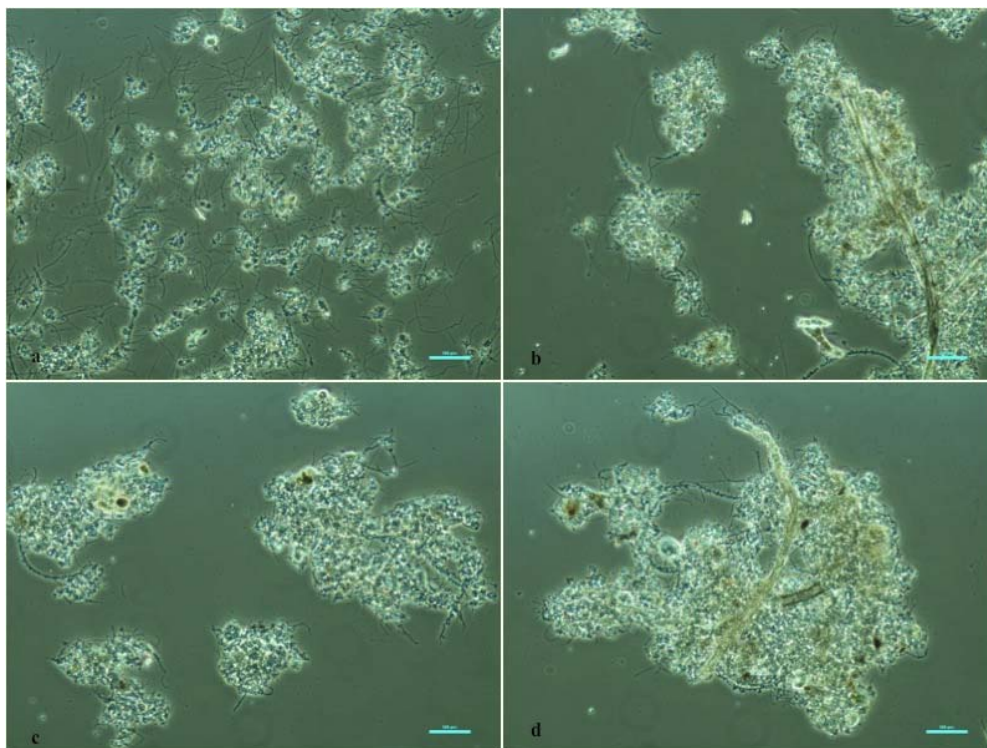
Po dodatku $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \times 16\text{H}_2\text{O}$ v aktivno blato iz ČN X se je s povečevanjem koncentracije soli usedljivost blata povečala, kar je razvidno iz slike 22. Največje usedanje blata smo dosegli po dodatku 15 gAl/kgSS, kjer se je usedanje povečalo v primerjavi z negativno kontrolo za 33,5 %. Morfologija flokul se je zelo spreminjala s povečevanjem koncentracije $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \times 16\text{H}_2\text{O}$ (sliki 23 in 24). Flokule so se povečevale, vedno bolj kompaktirale in zgoščevale. To opazimo po notranjosti flokule, ki ima pri negativni kontroli veliko praznih prostorov, s povečevanjem koncentracije soli pa se notranjost flokule zapolnjuje, saj aluminij omogoči boljše povezovanje delcev. Prisotnost nitastih bakterij, ki se pri negativni kontroli nahajajo med flokulami v velikem številu, se je po dodatku soli močno zmanjšana, prisotne so le tiste FB, ki štrlijo iz flokul, vendar se je tudi njihov delež glede na velikost flokule zmanjšal v primerjavi z negativno kontrolo.



Slika 22: Vpliv dodatka različnih koncentracij $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \times 16\text{H}_2\text{O}$ na usedanje aktivnega blata iz ČN X; SS = 3,4 g/l.



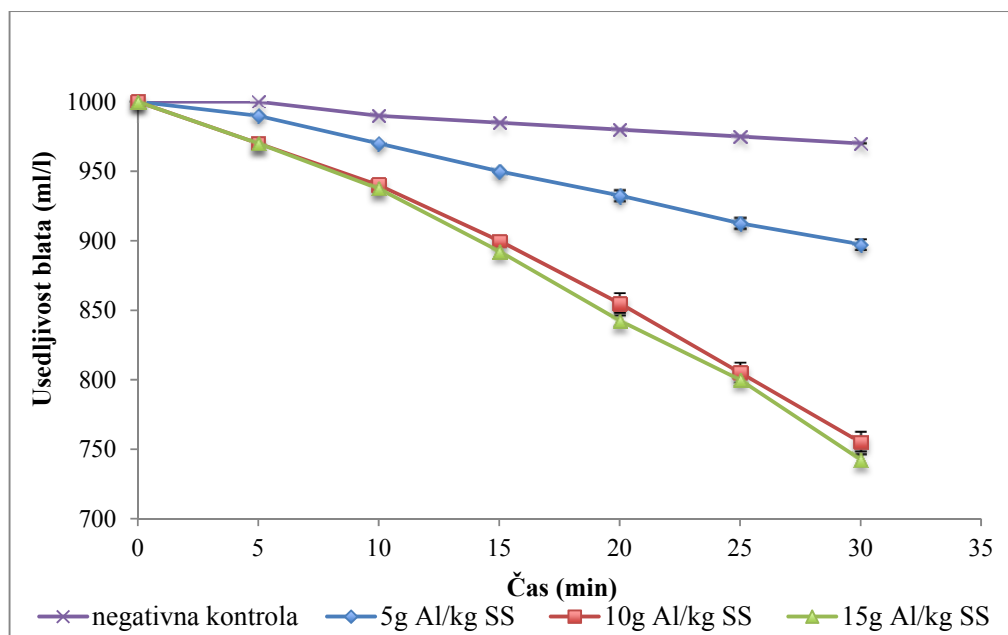
Slika 23: 40X povečava aktivnega blata iz ČN X po dodatku $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \times 16\text{H}_2\text{O}$: a) brez dodatka soli, b) 5 gAl/kgSS, c) 10 gAl/kgSS, d) 15 gAl/kgSS.



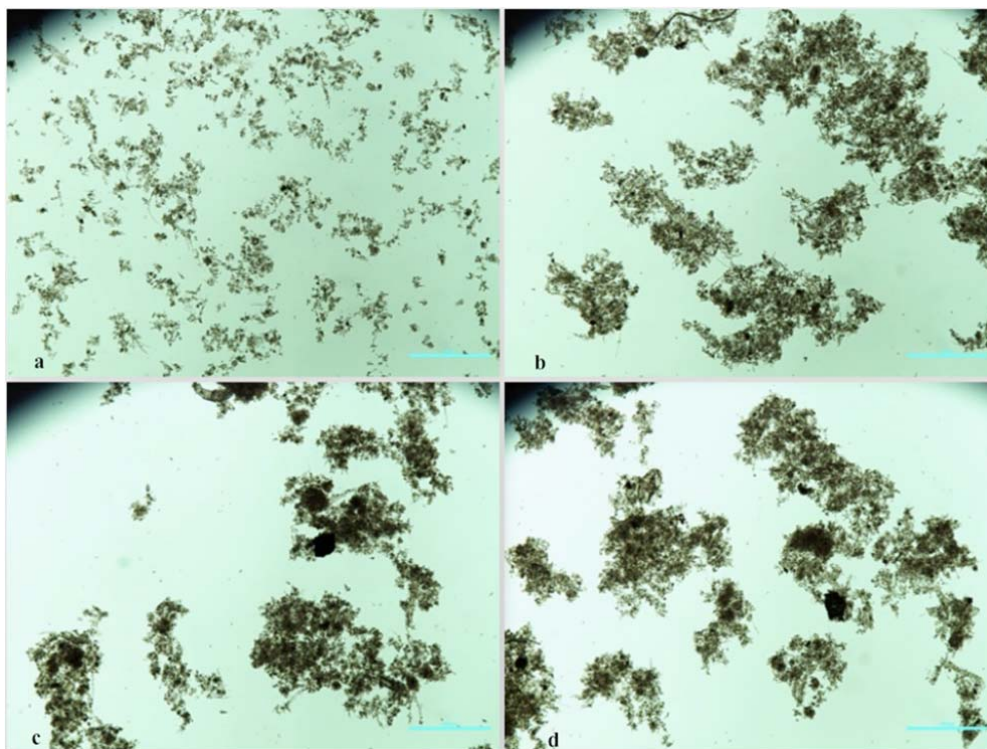
Slika 24: 100X povečava aktivnega blata iz ČN X po dodatku $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \times 16\text{H}_2\text{O}$: a) brez dodatka soli (FI=4), b) 5 gAl/kgSS (FI=2), c) 10 gAl/kgSS (FI=1), d) 15 gAl/kgSS (FI=1).

4.3.2 Dodatek AlCl_3

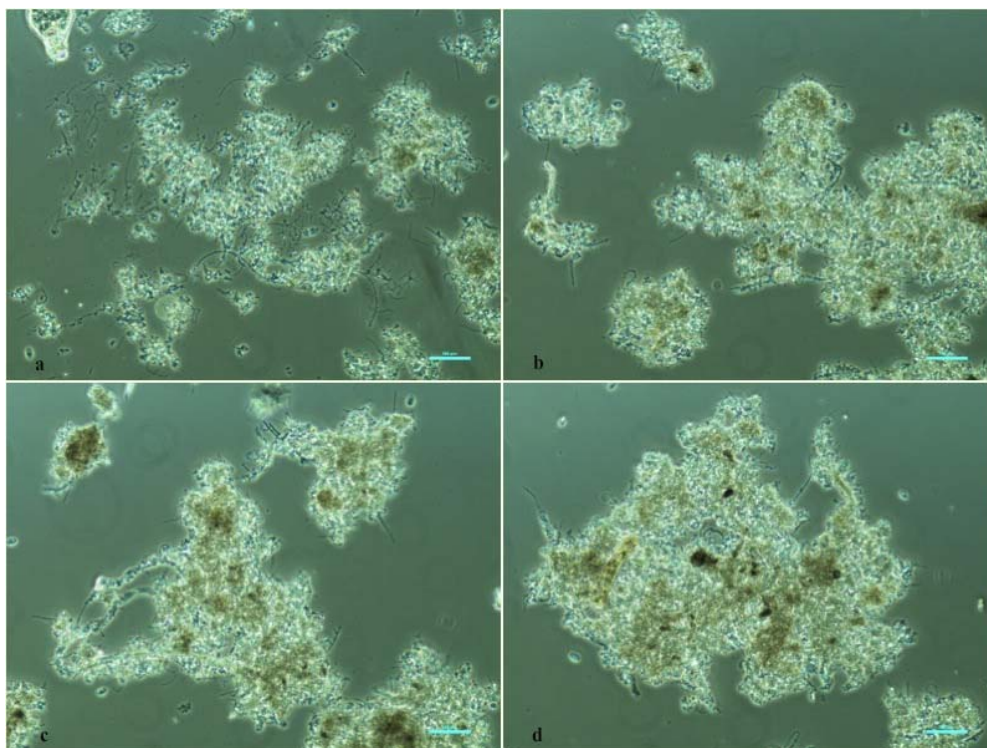
Usedljivost aktivnega blata se je s povečevanjem koncentracije AlCl_3 povečala. Usedanje po dodatku 10 in 15 gAl/kgSS se signifikantno ne razlikuje, saj se standardni odkloni med seboj prekrivajo. Največjo usedljivost smo dobili že pri srednji koncentraciji soli (slika 25), ko se je povečala za okoli 228 ml/l v primerjavi z negativno kontrolo. Morfološka struktura flokul se med aktivnim blatom negativne kontrole in z dodatkom soli zelo razlikuje, saj so se flokule po dodatku soli povečale in postale bolj zgoščene, prav tako se je število FB okoli flokul zreduciralo, številčno se je zmanjšala prisotnost FB, ki štrlijo iz flokul (sliki 26 in 27).



Slika 25: Vpliv dodatka različnih koncentracij AlCl_3 na usedanje aktivnega blata iz ČN X; SS = 5,6 g/l.



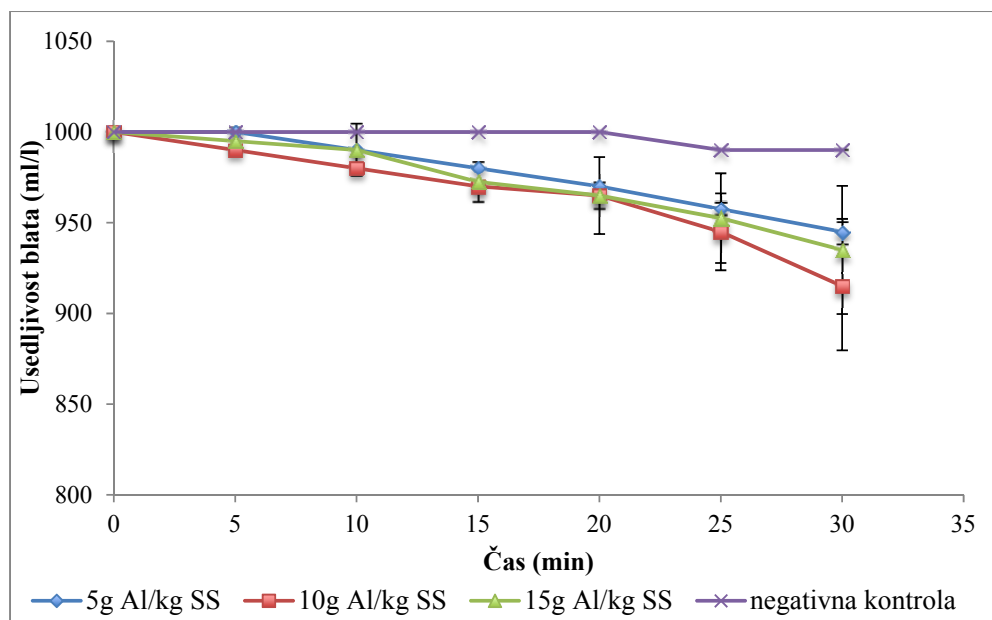
Slika 26: 40X povečava aktivnega blata iz ČN X po dodatku AlCl_3 : a) brez dodatka soli, b) 5 gAl/kgSS, c) 10 gAl/kgSS, d) 15 gAl/kgSS.



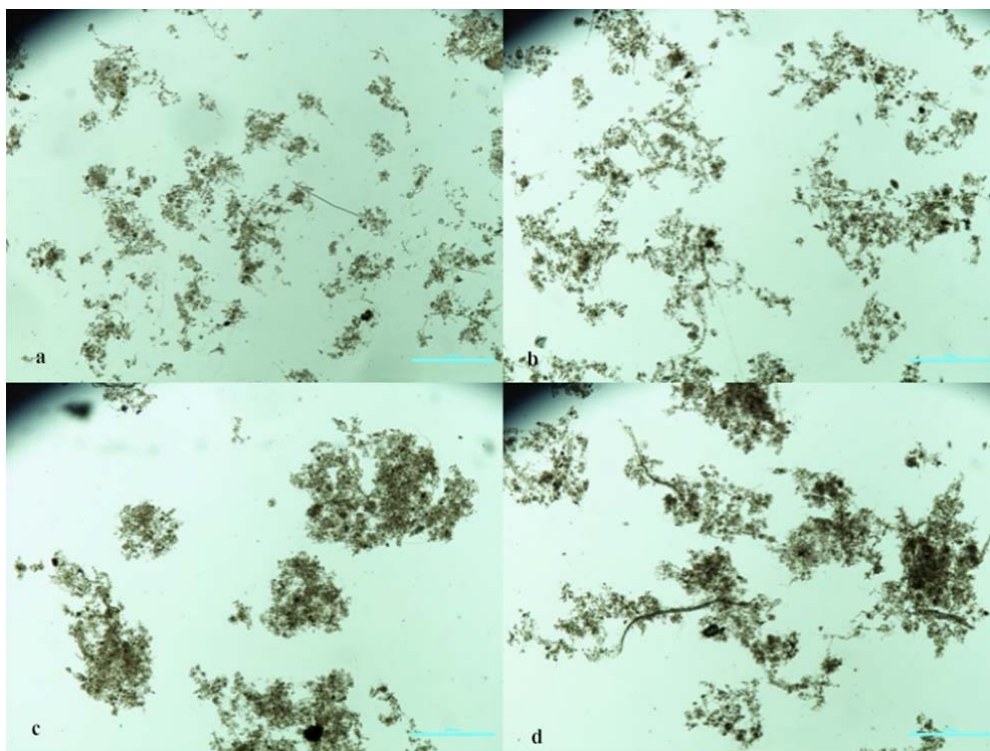
Slika 27: 100X povečava aktivnega blata iz ČN X po dodatku AlCl_3 : a) brez dodatka soli (FI=3), b) 5 gAl/kgSS (FI=1), c) 10 gAl/kgSS (FI=1), d) 15 gAl/kgSS (FI=1).

4.3.3 Dodatek poli- AlCl_3

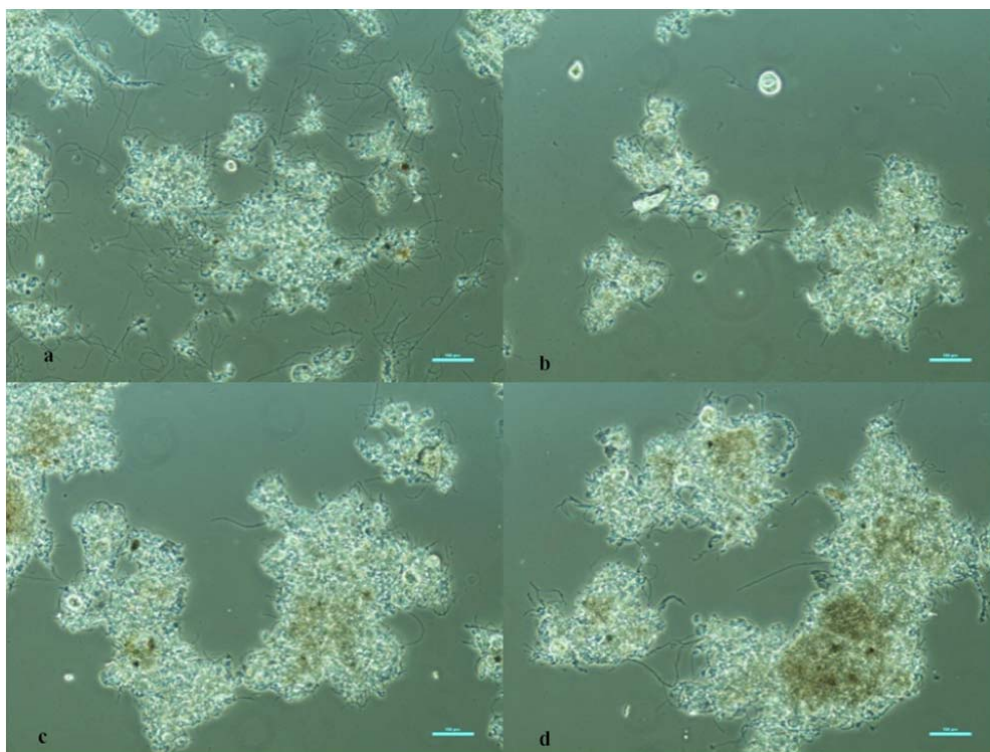
Dodatek poli- AlCl_3 ni znatno povečal usedljivosti aktivnega blata iz ČN X. Posedanje blata po dodatku soli je bilo sicer večje kot pri negativni kontroli, vendar so bile napake znotraj paralelk zelo velike, zato večjega izboljšanja usedljivosti nismo dosegli (slika 28). Med posameznimi koncentracijami soli ni signifikantnih razlik. Struktura flokul se je po dodatku soli izboljšala. Pri 40X povečavi pa opaznejše razlike z bolj kompaktnimi flokulami opazimo šele po dodatku 10 in 15 gAl/kgSS. Pregled mikroskopskih slik vseeno nakazuje, da prihaja do tvorbe večjih skupkov, ki pa očitno niso vplivali na večje izboljšanje posedanja blata (sliki 29 in 30).



Slika 28: Vpliv dodatka različnih koncentracij poli- AlCl_3 na usedanje aktivnega blata iz ČN X; SS = 4,7 g/l.



Slika 29: 40X povečava aktivnega blata iz ČN X po dodatku poli-AlCl₃: a) brez dodatka soli, b) 5 gAl/kgSS, c) 10 gAl/kgSS, d) 15 gAl/kgSS.

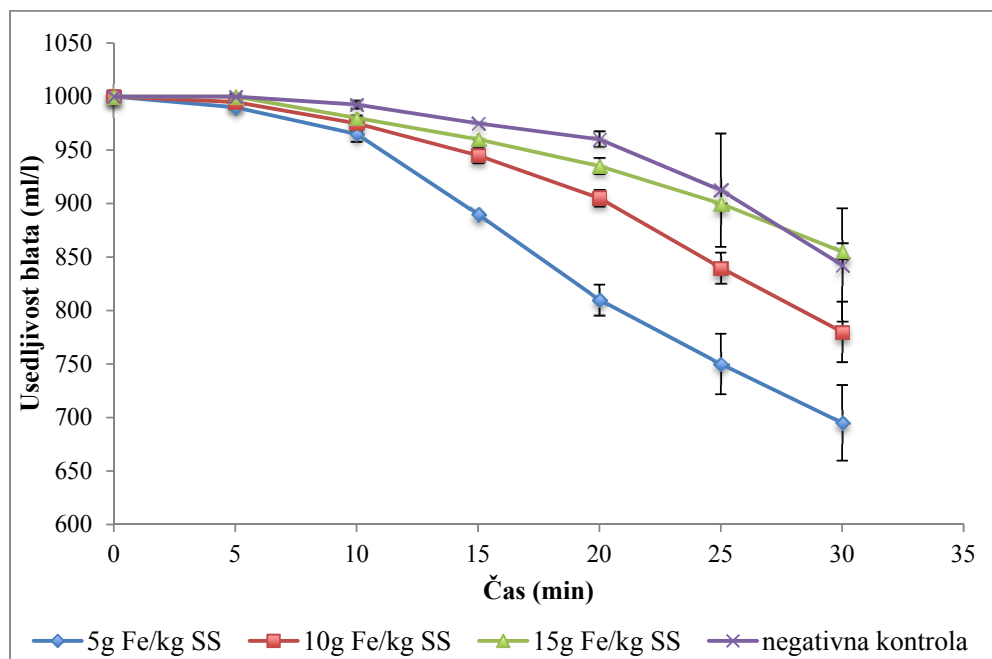


Slika 30: 100X povečava aktivnega blata iz ČN X po dodatku poli-AlCl₃: a) brez dodatka soli (FI=4), b) 5 gAl/kgSS (FI=2), c) 10 gAl/kgSS (FI=1), d) 15 gAl/kgSS (FI=1).

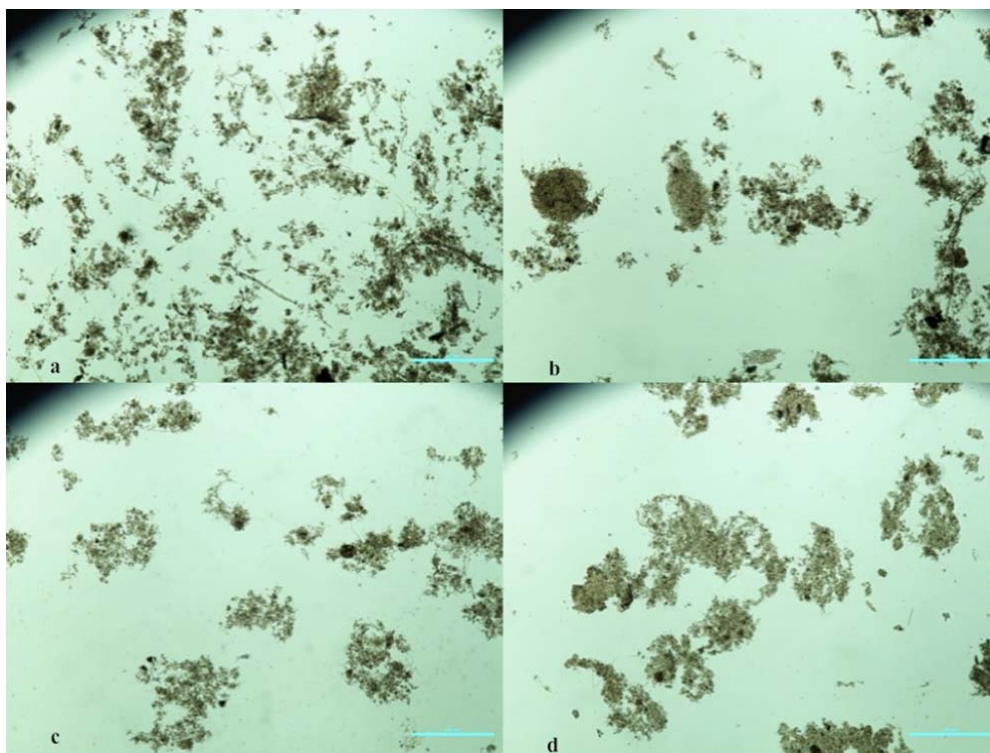
4.3.4 Dodatek $\text{FeCl}_3 \times 16\text{H}_2\text{O}$

Po dodatku različnih koncentracij $\text{FeCl}_3 \times 16\text{H}_2\text{O}$ smo največjo usedljivost blata dosegli z najnižjo koncentracijo soli (5 gFe/kgSS), z višanjem koncentracije pa se je usedljivost zniževala in pri najvišji koncentraciji dosegla približno enako vrednost kot negativna kontrola (slika 31). Signifikantna razlika usedanja v primerjavi z negativno kontrolo je le po dodatku 5 gFe/kgSS, pri ostalih treh krivuljah pa o significantnih razlikah v usedljivosti po 25 in 30 minutah posedanja ne moremo govoriti, saj se standardni odkloni vseh treh krivulj prekrivajo zaradi velikih razlik med paralelkama.

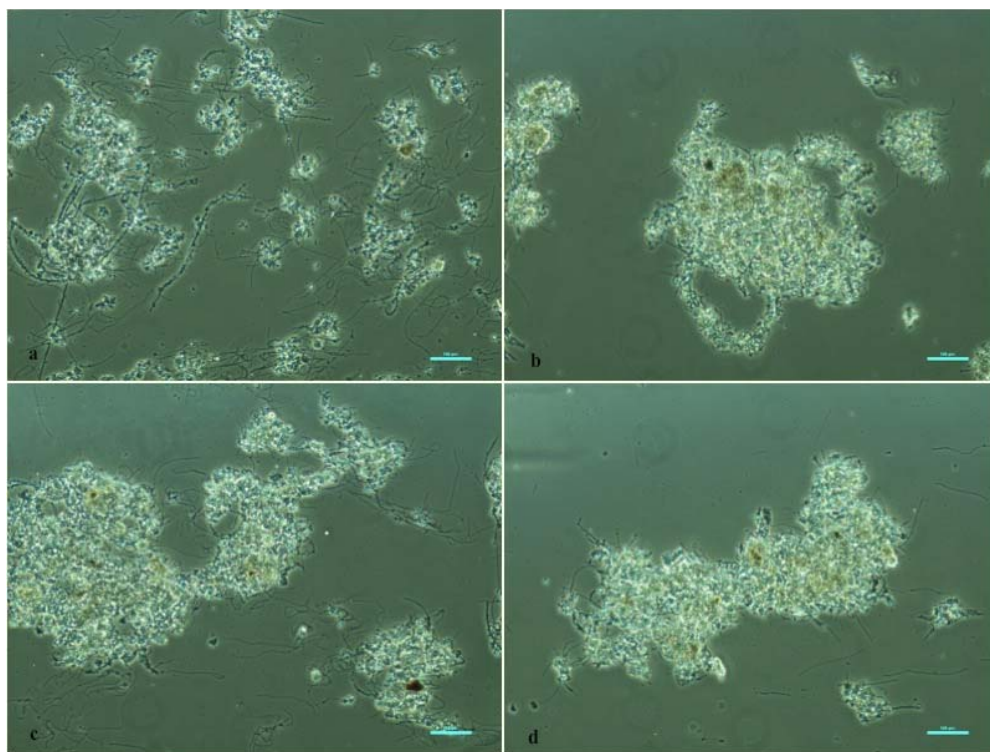
Struktura flokul se je po dodatku $\text{FeCl}_3 \times 16\text{H}_2\text{O}$ spremenila, majhne razbite flokule so se skompaktirale v večje skupke, ki imajo bolj kompaktno in zgoščeno strukturo (slika 32 in 33). Pri 40X povečavi znatnih morfoloških razlik med flokulami po dodatku različnih koncentracij soli ni, pri 100X povečavi pa je razvidno, da sta bili struktura in velikost flokul po dodatku različnih koncentracij Fe^{3+} primerljivi. Po dodatku 10 gFe/kgSS so bila okoli flokul še vedno prisotna žarišča s povečanim številom prostih suspendiranih nitastih bakterij.



Slika 31: Vpliv dodatka različnih koncentracij $\text{FeCl}_3 \times 16\text{H}_2\text{O}$ na usedanje aktivnega blata iz ČN X; SS = 3,4 g/l.



Slika 32: 40X povečava aktivnega blata iz ČN X po dodatku $\text{FeCl}_3 \times 16\text{H}_2\text{O}$: a) brez dodatka soli, b) 5 gFe/kgSS, c) 10 gFe/kgSS, d) 15 gFe/kgSS.

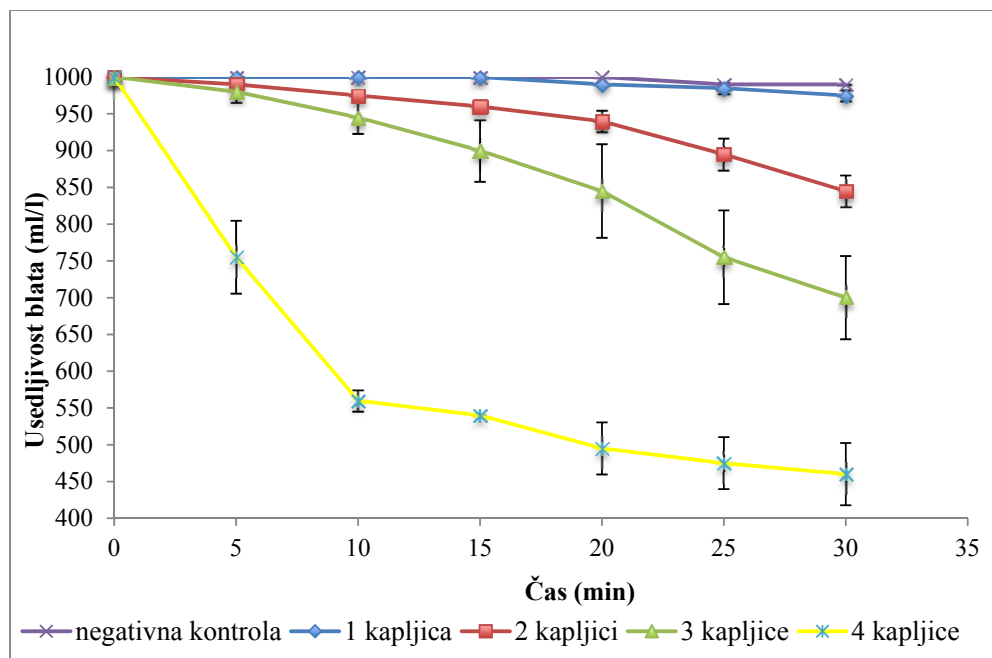


Slika 33: 100X povečava aktivnega blata iz ČN X po dodatku $\text{FeCl}_3 \times 16\text{H}_2\text{O}$, a) brez dodatka soli (FI=4), b) 5 gFekgSS (FI=1), c) 10 gFe/kgSS (FI=3), d) 15 gFe/kgSS (FI=1).

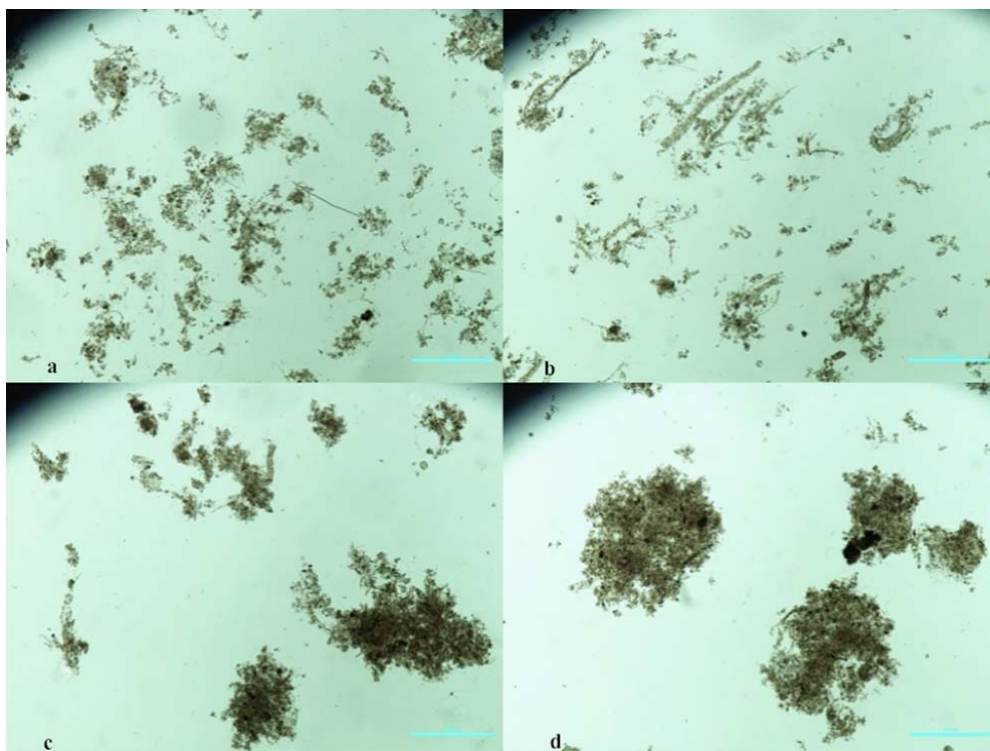
4.3.5 Dodatek flokulanta Nanofloc A644

Dodatek flokulanta Nanofloc A644 je vplival na povečanje usedanja aktivnega blata iz ČN X (slika 34). Zaradi enostavnega apliciranja flokulanta, smo v poskusu uporabili štiri koncentracije (1-4 kapljice) na liter suspenzije aktivnega blata in ugotovili, da najnižja koncentracija ni povečala usedljivosti, s povečevanjem koncentracije flokulanta pa se je usedljivost signifikantno povečala. Usedljivost je bila največja po dodatku štirih kapljic flokulanta Nanofloc, vendar je med merjenjem usedljivosti del blata splavalo na površje. Najboljše rezultate smo dobili po dodatku treh kapljic Nanofloca, saj se nam je usedljivost povečala za okoli 290 ml/l, pri tem pa nam blato ni splavljalo na površje merilnega valja.

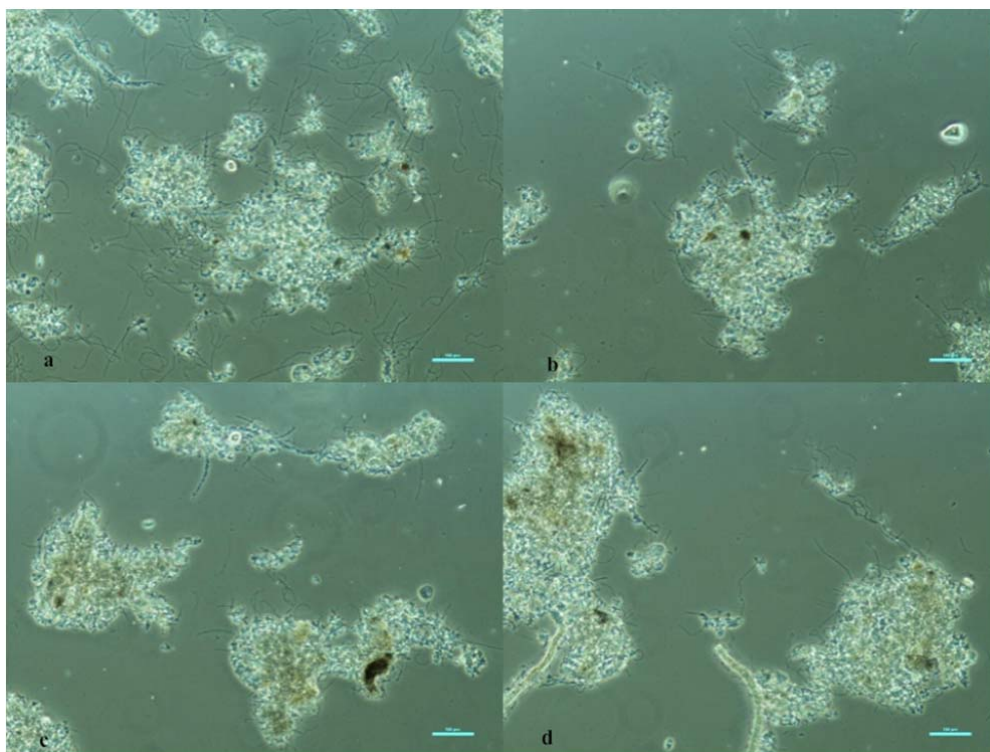
Morfologija flokul se je po dodatku dveh do štirih kapljic flokulanta močno spremenila (sliki 35 in 36). Pri 40X povečavi je razvidno, da se po dodatku ene kapljice flokulanta morfologija ni spremenila, saj so bile flokule še vedno razdrobljene in majhne, kar se sklada z rezultati usedanja aktivnega blata, kljub temu lahko pri 100X povečavi opazimo, da je po dodatku ene kapljice flokulanta Nanofloc precej manj nitastih bakterij razpršenih okoli flokul. S povečevanjem koncentracije flokulanta do štirih kapljic se je velikost in struktura flokul spremenila, povečal se je premer flokul po dodatku dveh in treh kapljic, flokule so bolj zgoščene in bolj simetričnih oblik (slika 35, 40X povečava), pri 100X povečavi (slika 36) pa je razvidno znižanje števila nitastih bakterij, tako tistih, ki se nahajajo okoli flokul, kot tistih, ki štrlijo ven iz njih.



Slika 34: Vpliv dodatka različnih koncentracij flokulanta Nanofloc A644 na usedanje aktivnega blata iz ČN X, SS = 4,7 g/l.



Slika 35: 40X povečava aktivnega blata iz ČN X po dodatku flokulanta Nanofloc A644, a) brez dodatka soli, b) 1 kapljica, c) 2 kapljici, d) 3 kapljice.



Slika 36: 100X povečava aktivnega blata iz ČN X po dodatku flokulanta Nanofloc A644, a) brez dodatka soli (FI=4), b) 1 kapljica (FI=2), c) 2 kapljici (FI=1), d) 3 kapljice (FI=1).

4.3.6 Vpliv dodatka soli in flokulanta na pH vrednost, FI in SVI suspenzije aktivnega blata

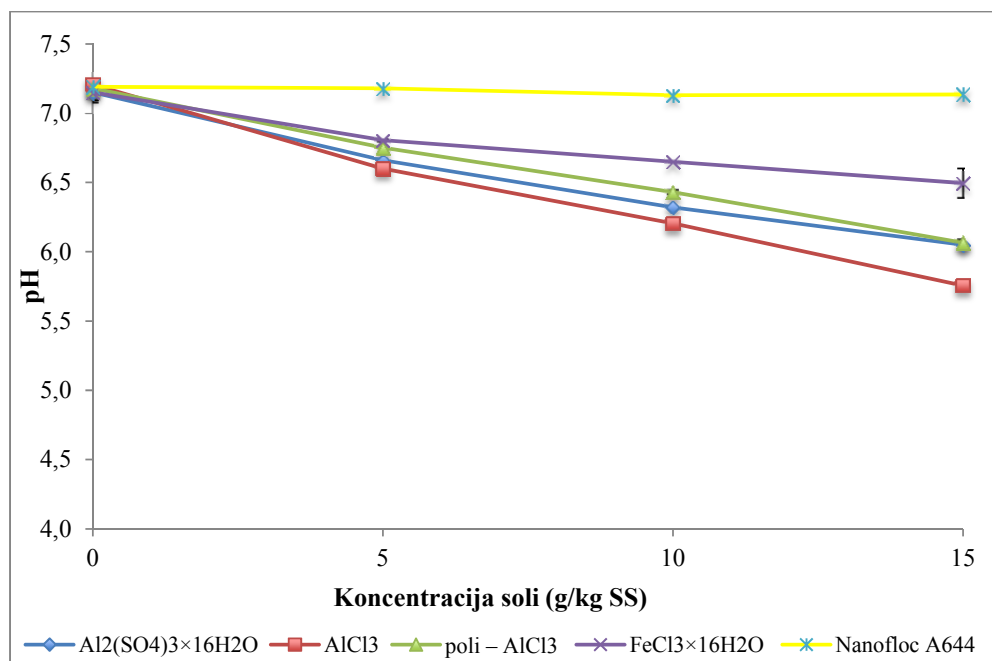
Po dodatku soli in flokulanta v aktivno blato iz ČN X je bilo znižanje pH vrednosti manjše, v primerjavi z aktivnim blatom iz CČN Ptuj. Manjše znižanje pH vrednosti aktivnega blata je bilo po aplikaciji $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \times 16\text{H}_2\text{O}$, ko se je po dodatku najvišje koncentracije soli pH ustalil pri vrednosti 6,05. AlCl_3 je izmed vseh soli pri poskusu z aktivnim blatom iz ČN X najbolj znižal pH, saj se je pri koncentraciji 15 gAl/kgSS pH znižal na vrednost 5,76. Po dodatku poli- AlCl_3 se je pri najvišji koncentraciji pH vrednost ustalila pri 6,07. Dodatek $\text{FeCl}_3 \times 16\text{H}_2\text{O}$ je med solmi najmanj vplival na znižanje pH suspenzije aktivnega blata, saj se je pri najvišji koncentraciji pH vrednost znižala na 6,50. Po dodatku flokulanta Nanofloc 644 v aktivno blato iz ČN X se je pH vrednost minimalno spremenil in se je pri najvišji koncentraciji flokulanta znižal iz začetne vrednosti 7,18 na pH 7,08 (1,4 %). Dodatek koagulantov/flokulantov je vplival na zmanjšanje vrednosti FI (preglednica 4). Vrednost FI se je zmanjšala že po dodatku najnižje koncentracije soli/flokulanta. Po dodatku 10 g/kgSS oz. 2 kapljic je bilo prisotnih le še nekaj štrlečih filamentov okoli flokul, z izjemo po dodatku 10 gFe/kgSS, ko se je FI povečal na FI=3. Vrednost SVI se je po dodatku vseh soli, z izjemo FeCl_3 , s povečevanjem koncentracije zmanjševala (slika 38). Pri dodatku poli- AlCl_3 se je vrednost SVI zniževala do koncentracije 10 gAl/kgSS, nato je začela naraščati. Do največjega zmanjšanja vrednosti SVI je prišlo po dodatku $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \times 16\text{H}_2\text{O}$ in flokulanta Nanofloc A644 (dodatek četrte kapljice ni prikazan na grafikonu), kjer se je vrednost SVI znižala za 33,5 % ter 29,3 % (preglednica 5).

Preglednica 4: Vpliv koncentracij koagulanta/flokulanta na FI aktivnega blata.

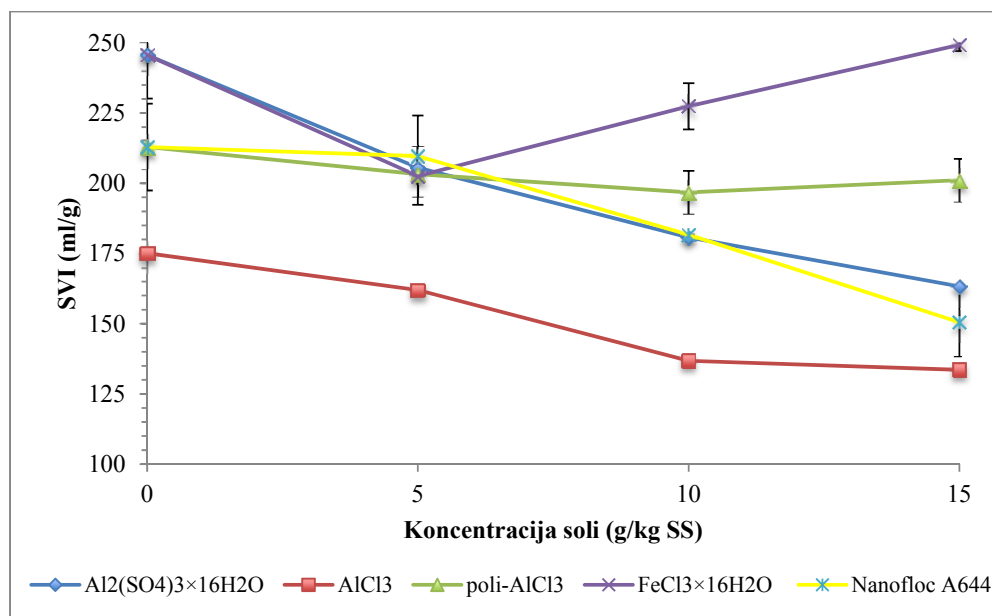
Koagulant/flokulant	Koncentracija (g/kgSS oz. kapljice 0-3)			
	0	5	10	15
$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \times 16\text{H}_2\text{O}$	4	2	1	1
AlCl_3	3	1	1	1
poli – AlCl_3	4	2	1	1
$\text{FeCl}_3 \times 16\text{H}_2\text{O}$	4	1	3	1
Nanofloc A644	4	2	1	1

Preglednica 5: Predstavitev izboljšanja vrednosti SVI po aplikaciji posameznih soli in flokulanta v aktivno blato iz ČN X.

	$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \times 16\text{H}_2\text{O}$	AlCl_3	poli- AlCl_3	$\text{FeCl}_3 \times 16\text{H}_2\text{O}$	Nanofloc A644
Razlika v vrednosti SVI (ml/g)	82,4	41,5	16,1	43,0	62,4
Izboljšanje začetne vrednosti SVI (%)	33,5	23,7	7,6	17,5	29,3



Slika 37: Vpliv koncentracije $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 16\text{H}_2\text{O}$, AlCl_3 , $\text{FeCl}_3 \cdot 16\text{H}_2\text{O}$, poli- AlCl_3 in flokulanta Nanofloc A644 (x-skala za flokulant je od 0 – 3 kapljic) na spremembo pH vrednosti suspenzije aktivnega blata iz ČN X.



Slika 38: Vpliv koncentracije $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 16\text{H}_2\text{O}$, AlCl_3 , $\text{FeCl}_3 \cdot 16\text{H}_2\text{O}$, poli- AlCl_3 in flokulanta Nanofloc A644 (x-skala za flokulant je od 0 – 3 kapljic) na spremembo vrednosti SVI suspenzije aktivnega blata iz ČN X.

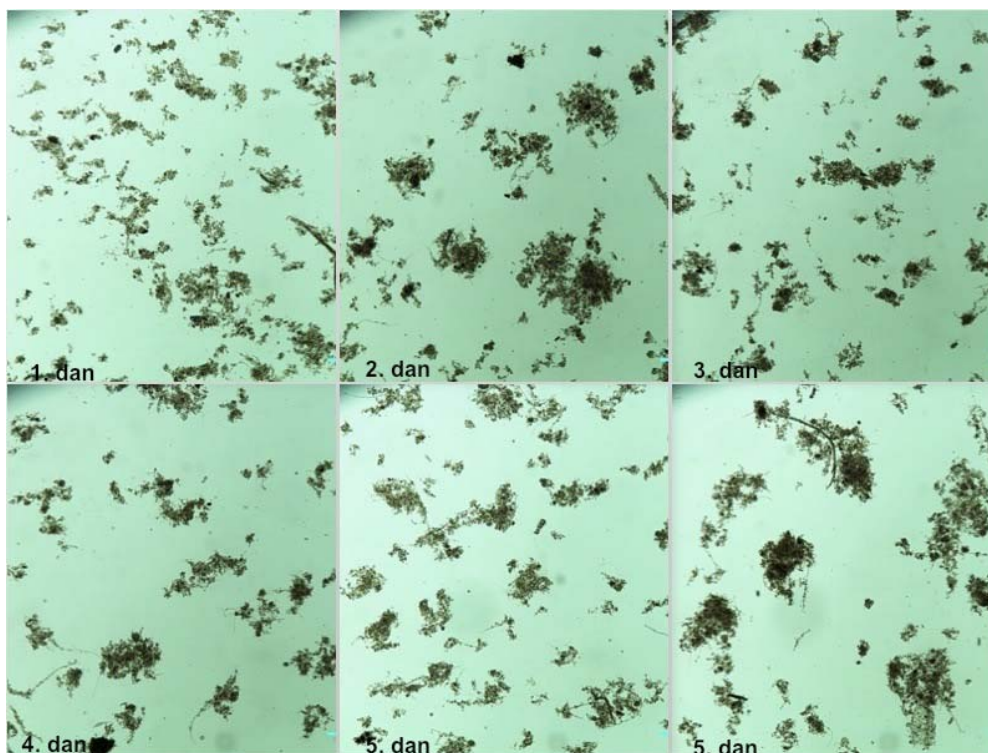
4.4 REZULTATI POSKUSA S PREPIHOVANJEM AKTIVNEGA BLATA

Poskus smo izvedli tako z aktivnim blatom iz CČN Ptuj kot z blatom iz ČN X, vendar pri poskusu z blatom iz CČN Ptuj nismo zaznali izboljšanja strukture aktivnega blata. Po drugi strani pa rezultati kemijskih analiz iztoka iz poskusa z blatom CČN Ptuj močno sovpadajo z rezultati učinkov čiščenja ogljika, virov dušika in fosforja pri poskusu z aktivnim blatom iz ČN X v posameznih bioreaktorjih, zato smo se odločili, da med rezultate vključimo le poskus z aktivnim blatom iz ČN X, rezultati poskusa s CČN Ptuj pa so prikazani v prilogi B.

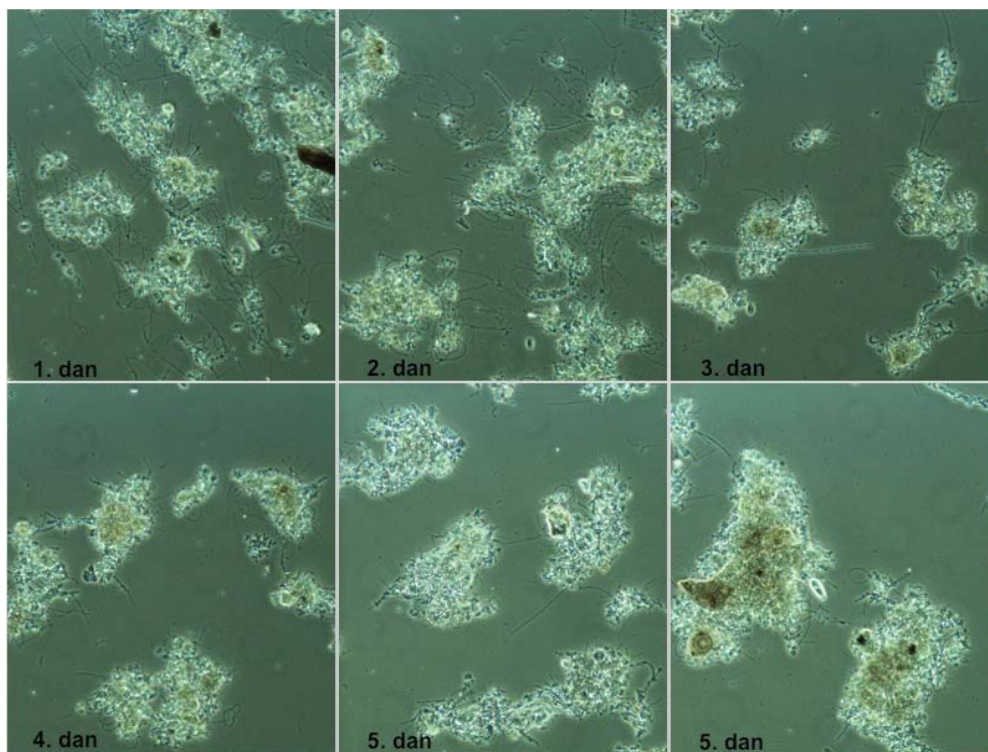
4.4.1 Spreminjanje morfologije aktivnega blata

V času poskusa s prepihanjem aktivnega blata iz ČN X smo vsak dan odvzeli 1-2 mililitra vzorca suspenzije ter ga mikroskopirali. Pregledali smo tako native preparate kot pobarvane po Gramu in Neisserju. Na slikah 39 in 40 je predstavljen komplet fotografij nativnih preparatov aktivnega blata iz bioreaktorja 1 po posameznih dnevih pri povečavi 40X in 100X. Pri 40X povečavi je razvidno, da je prepihanje aktivnega blata in vzdrževanje koncentracije DO okoli 1,5 mg/l vplivalo na pojav bolj definiranih flokul sferičnih oblik, vendar te še vedno nimajo pravilne oblike. Med flokulami je manj mostov (kot posledica prisotnosti FB) od drugega dneva naprej, prav tako je večje število flokul z bolj kompaktno strukturo, kar opazimo kot temnejše rjavo obarvane centre. Pri 100X povečavi so razlike po dnevih veliko bolj opazne. Prvi in drugi dan poskusa so prisotne številne FB, ki štrlijo iz flokul ali pa se nahajajo med njimi in jih povezujejo med seboj (slika 40). Tretji dan je prisotnih le nekaj FB, ki štrlijo iz flokul. Takšno stanje se nadaljuje vse do zaključka poskusa na peti dan, ko so flokule v centru še bolj skompaktirale. FI se je iz začetnega stanja FI=4 zmanjšal na vrednost 1.

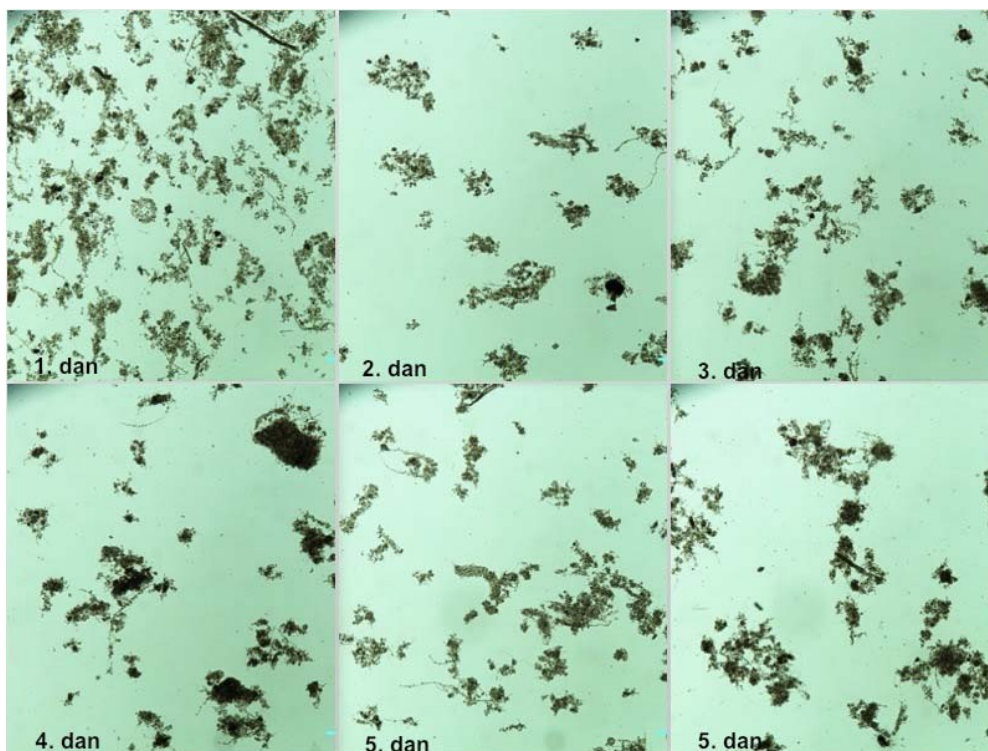
Pri aktivnem blatu iz bioreaktorja 2 je morfologija flokul v pet-dnevnem poskusu podobna aktivnemu blatu iz bioreaktorja 1, s tem, da se zmanjša število suspendiranih nitastih bakterij že na drugi dan poskusa (sliki 41 in 42). FI se je prav tako, kot v bioreaktorju 1 zmanjšal na FI=1. V aktivnem blatu iz bioreaktorja 3, kjer nismo dodajali kisika, se z dnevi delno zmanjšuje delež suspendiranih nitastih bakterij, ki pa so do zadnjega dneva poskusa prisotne v delno zmanjšanem številu, še vedno pa je veliko FB, ki štrlijo iz flokul (sliki 43 in 44). FI je bil na zadnji dan poskusa visok, okoli 3. Oblika in struktura flokul se med poskusom ni spremenila, flokule so ostale majhne, nepravilnih oblik, nekompaktne in v številnih predelih povezane med seboj s filamenti.



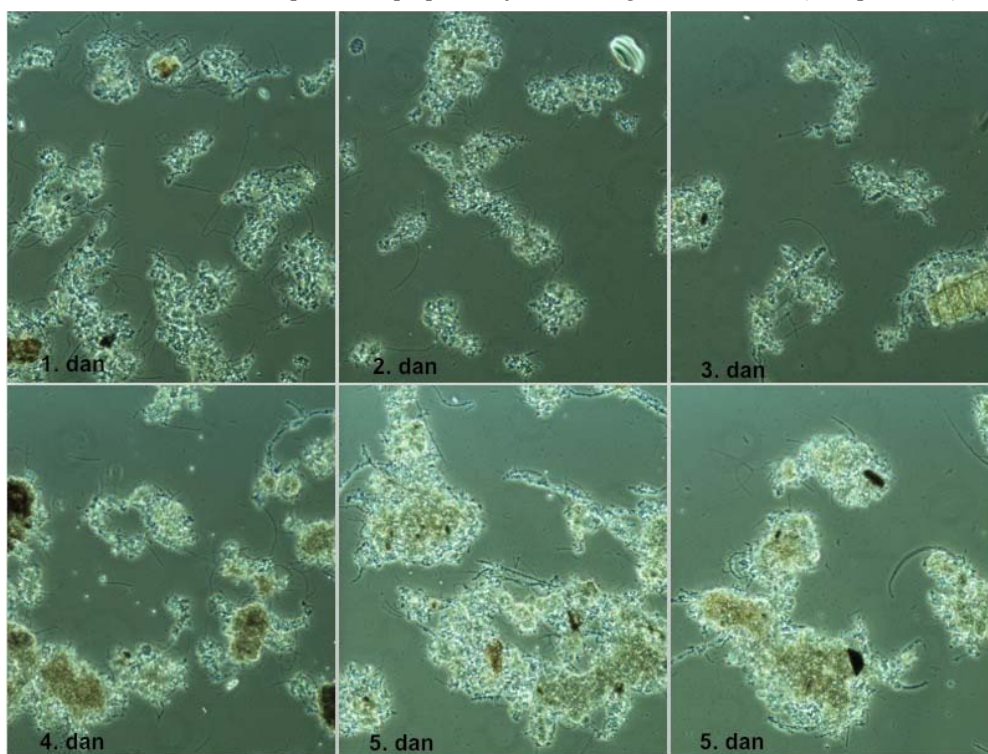
Slika 39: Mikroskopske fotografije nativnih preparatov aktivnega blata iz bioreaktorja 1 razporejene po dnevih od začetka do konca poskusa s prepihanjem aktivnega blata iz ČN X (40X povečava).



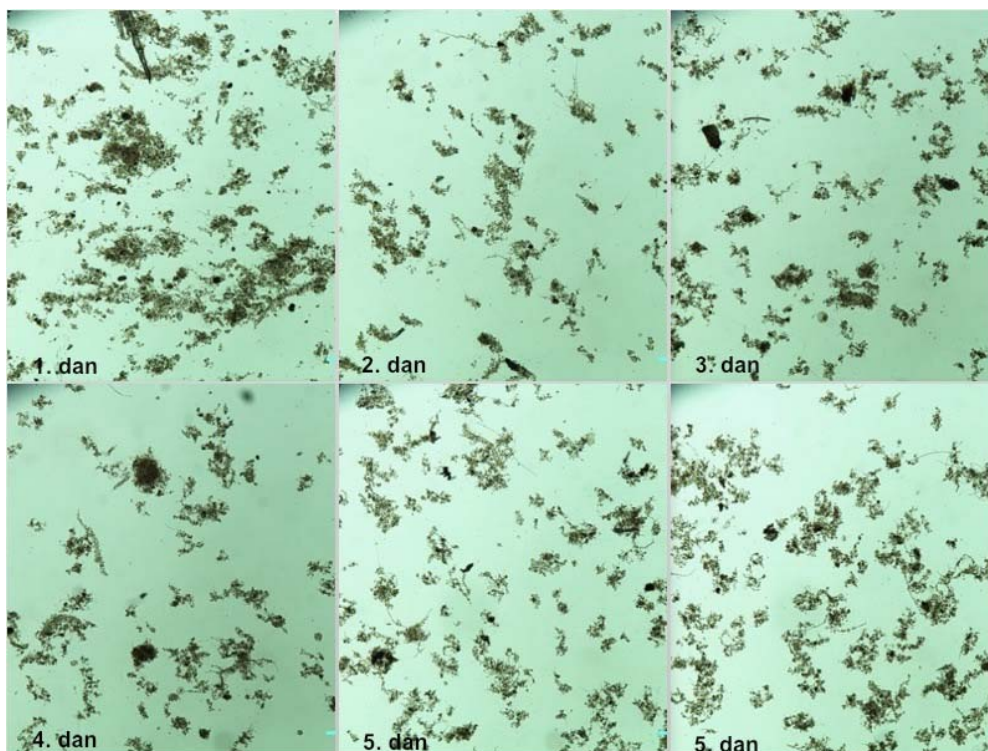
Slika 40: Mikroskopske fotografije nativnih preparatov aktivnega blata iz bioreaktorja 1 razporejene po dnevih od začetka do konca poskusa s prepihanjem aktivnega blata iz ČN X (100X povečava FK).



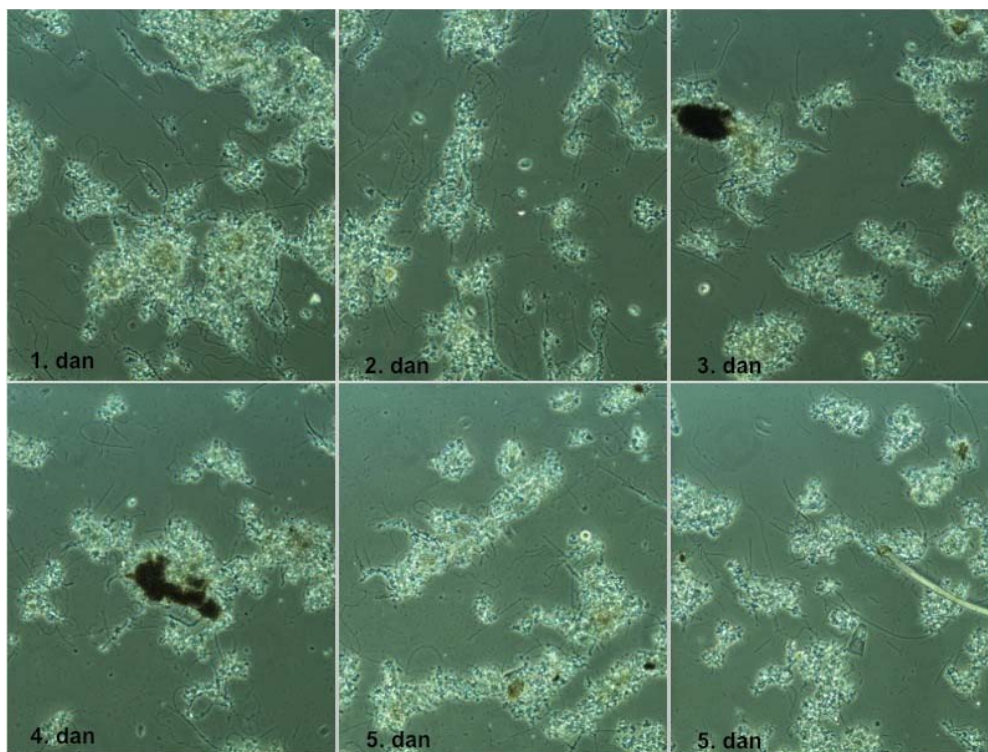
Slika 41: Mikroskopske fotografije nativnih preparatov aktivnega blata iz bioreaktorja 2 razporejene po dnevih od začetka do konca poskusa s prepihanjem aktivnega blata iz ČN X (40X povečava).



Slika 42: Mikroskopske fotografije nativnih preparatov aktivnega blata iz bioreaktorja 2 razporejene po dnevih od začetka do konca poskusa s prepihanjem aktivnega blata iz ČN X (100X povečava FK).



Slika 43: Mikroskopske fotografije nativnih preparatov aktivnega blata iz bioreaktorja 3 razporejene po dnevih od začetka do konca poskusa s prepihovanjem aktivnega blata iz ČN X (40X povečava).

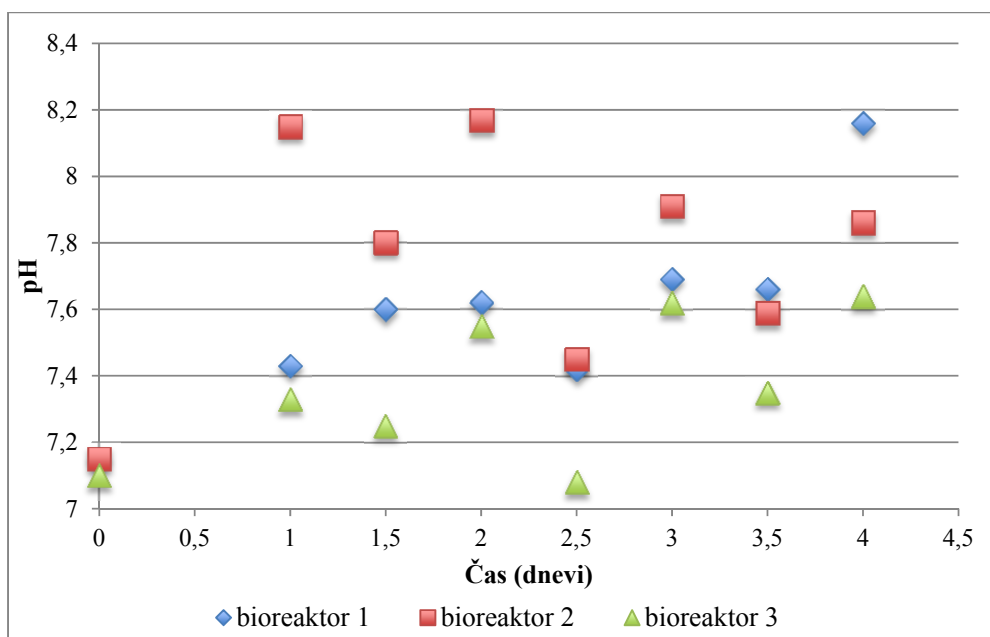


Slika 44: Mikroskopske fotografije nativnih preparatov aktivnega blata iz bioreaktorja 3 razporejene po dnevih od začetka do konca poskusa s prepihovanjem aktivnega blata iz ČN X (100X povečava FK).

4.4.2 Rezultati dnevnega spremljanja fizikalno-kemijskih lastnosti aktivnega blata

Vsakodnevno smo spremljali sledeče parametre v aktivnem blatu: pH vrednost, koncentracijo raztopljenega kisika, koncentracijo suhe snovi in usedanje aktivnega blata.

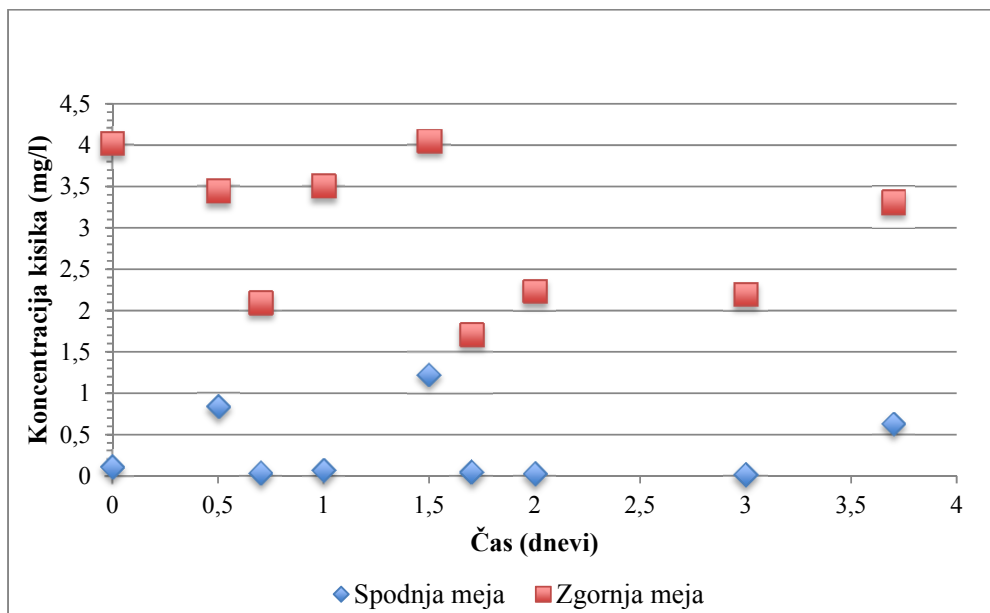
Vrednost pH suspenzije blata je nihala v vseh treh bioreaktorjih (slika 45). pH smo merili dvakrat na dan, pred začetkom posedanja (po 23 urnem biološkem čiščenju) in po dodatku novega substrata. Meritve ob polnih dnevih (1, 2, 3, 4) predstavljajo vrednost pH po 23 urnem čiščenju, meritve ob polovičnih dnevih (1,5; 2,5...) pa po dodatku novega substrata. V času biološke aktivnosti se vrednost pH poveča, po dodatku svežega substrata pa se spet zniža, vendar se nikoli ne približa začetni pH vrednosti. To se zgodi le v bioreaktorju 3, kjer se po dveh dneh poskusa pH vrednost po dodatku substrata zniža pod začetno vrednost. Vrednost pH se je skozi celotni poskus v vseh treh bioreaktorjih gibala od 7,1 do 8,2. Najmanjše nihanje oziroma najmanjše povečanje pH vrednosti po 23 urnem čiščenju je prisotno pri bioreaktorju 3, kjer smo vzdrževali nizko koncentracijo raztopljenega kisika.



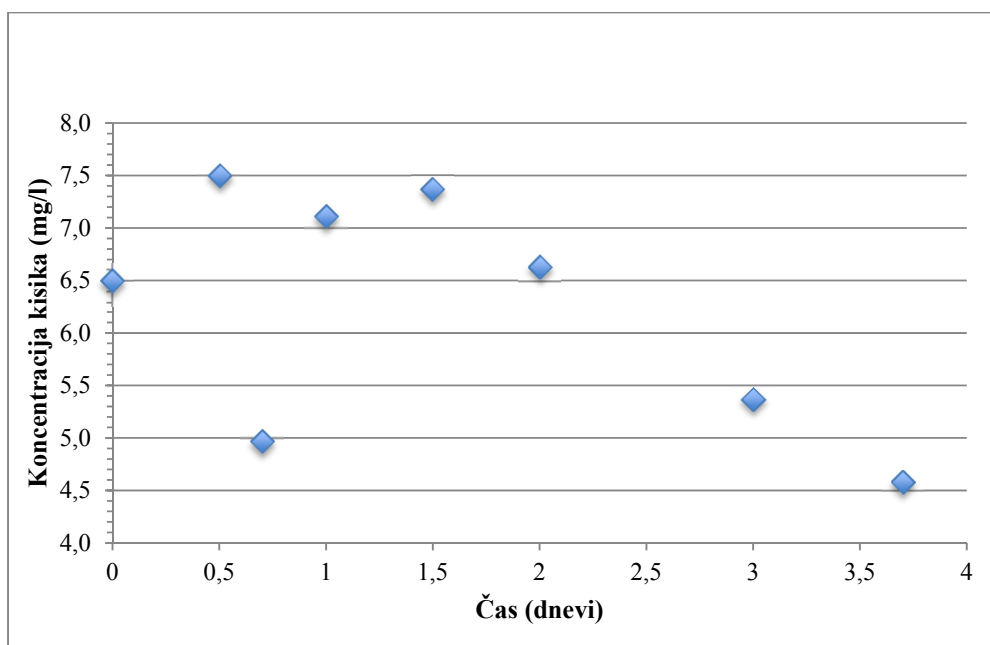
Slika 45: Spreminjanje pH vrednosti suspenzije blata iz ČN X v času pet-dnevnega poskusa v vseh treh bioreaktorjih.

Koncentracijo DO smo merili trikrat dnevno, zjutraj, takoj po dodatku substrata in 3 - 4 ure po dodatku substrata. Koncentracija DO drugi dan poskusa zaradi tehničnih težav ni bila izmerjena. V bioreaktorju 1 je razpon med zgornjo in spodnjo mejo velik, vendar je koncentracija v tem območju ves čas nihala in to nihanje je trajalo največ 5 minut, kar pomeni, da je koncentracija hitro padla po prekinitvi prepihanja in se ob ponovnem vklopu hitro dvignila. V bioreaktorju 2 je povprečna koncentracija DO dosegala vrednost $5,9 \pm 1,6$ mg/l zaradi konstantnega prepihanja. Padci v koncentraciji DO so se pojavili

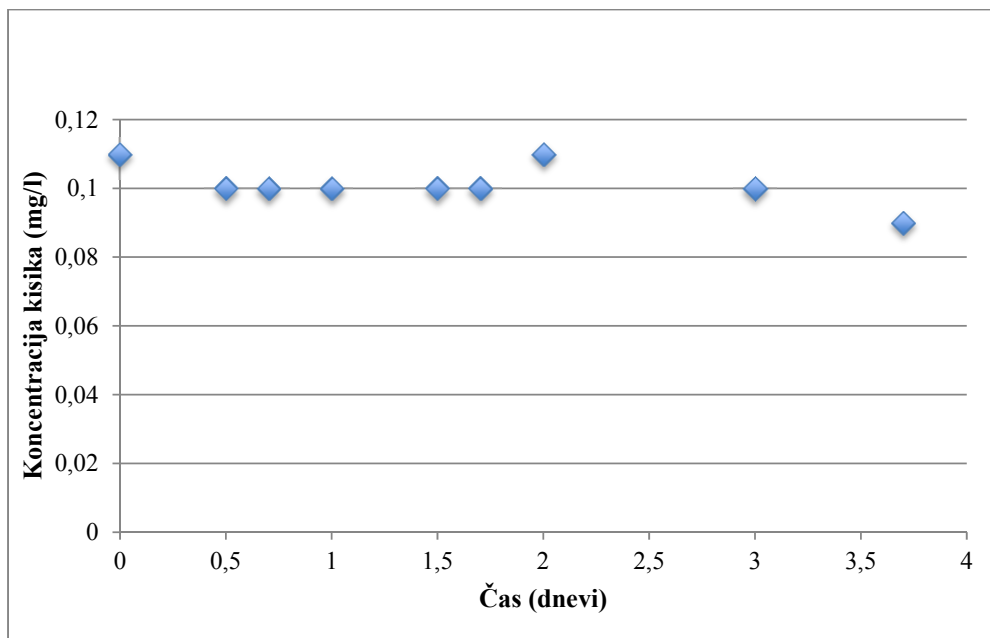
takoj po dodatku substrata. V bioreaktorju 3 se je vrednost DO gibala okoli 0,1 mg/l, nihanje je manjše v primerjavi z bioreaktorjem 1 in 2, niso pa se ustvarili popolnoma anaerobni pogoji.



Slika 46: Spremljanje koncentracije raztopljenega kisika v bioreaktorju 1 v pet-dnevem poskusu z aktivnim blatom iz CN X. Prikazano je območje, v katerem se je gibala koncentracija raztopljenega kisika v bioreaktorju 1, kjer smo s sondo uravnavali kisik okoli vrednosti 1,5 mg/l.

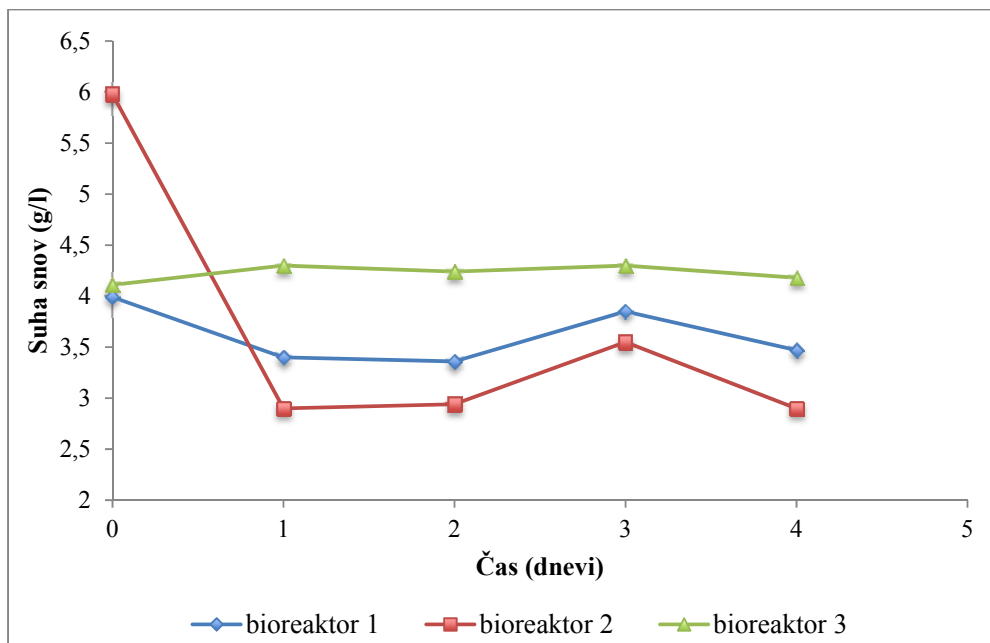


Slika 47: Spremljanje koncentracije raztopljenega kisika v bioreaktorju 2 v pet-dnevem poskusu z aktivnim blatom iz CN X.



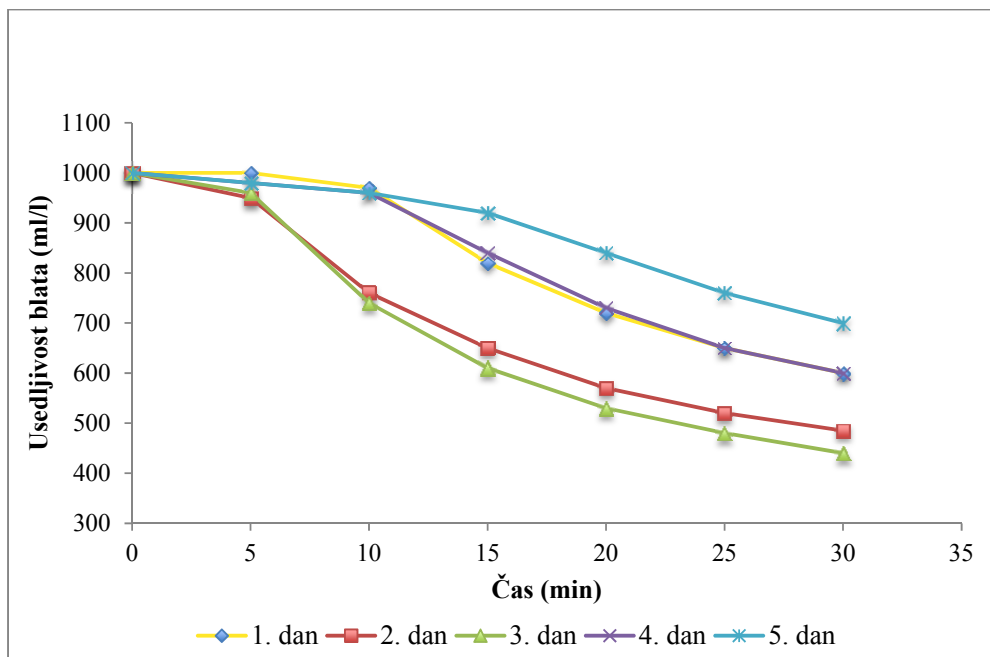
Slika 48: Spremljanje koncentracije raztopljenega kisika v bioreaktorju 3 v pet-dnevem poskusu z aktivnim blatom iz ČN X.

Aktivno blato smo za analizo koncentracije suhe snovi vsak dan vzorčili po dodatku novega substrata, razen zadnji dan zaključevanja poskusa, ko smo vzorčili pred zadnjim posedanjem aktivnega blata. Kljub temu, da smo poskus začeli z aktivnim blatom z enako koncentracijo suhe snovi, je pri bioreaktorju 2 na prvi dan poskusa večje odstopanje navzgor (6 gSS/kg), kar je posledica zajetja dela pene s površine, kjer se je aktivno blato bolj skoncentriralo. V bioreaktorju 2 se je drugi in tretji dan povečala koncentracije SS, četrti dan pa se je znižala tako kot v bioreaktorju 1 in 3. V bioreaktorju 1 se je koncentracija SS do drugega dneva zmanjševala, tretji dan pa se je povečala, tako kot v bioreaktorju 2.

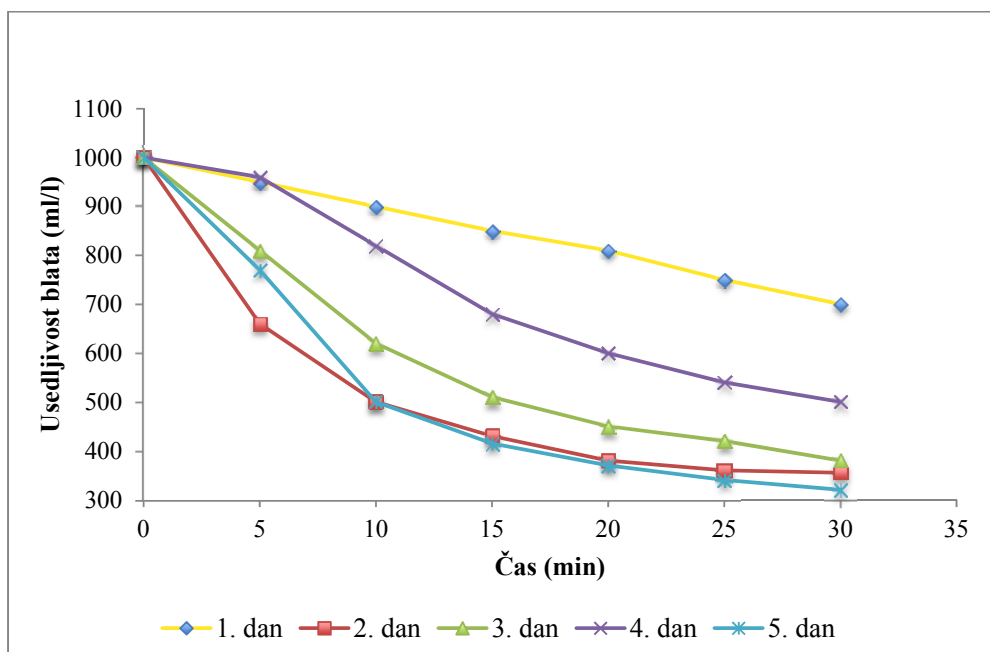


Slika 49: Spremljanje koncentracije suhe snovi v suspenziji aktivnega blata iz ČN X v vseh treh bioreaktorjih v pet-dnevem poskusu z aktivnim blatom iz ČN X.

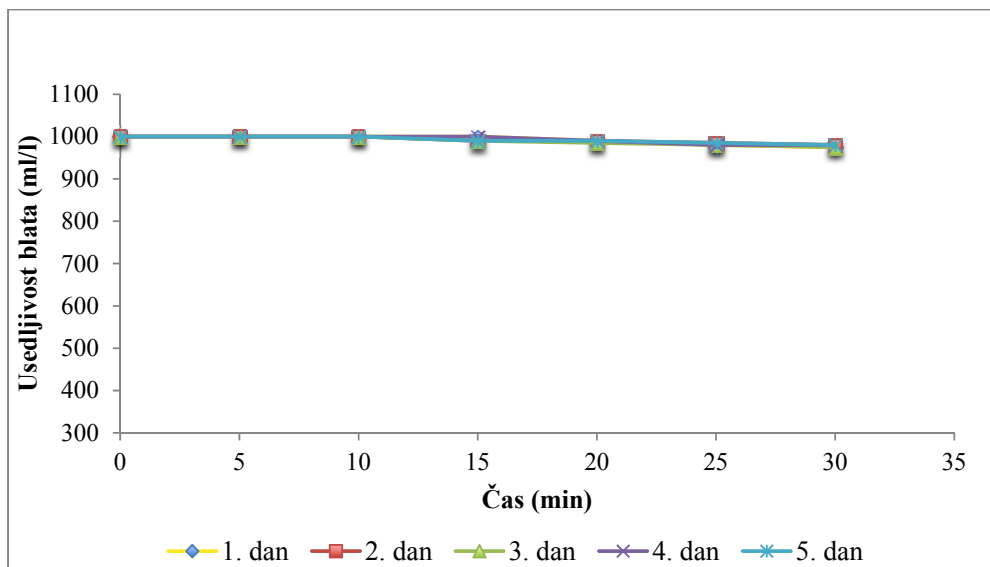
Usedanje v bioreaktorju 1 se je povečevalo do tretjega dneva poskusa, četrti dan je bila usedljivost enaka kot prvi dan poskusa, zadnji dan pa se je usedljivost zmanjšala (700 ml/l po 30 minutah) (slika 50). V bioreaktorju 2 (slika 51) se je usedanje skozi poskus bolj spreminjalo, drugi dan se je usedljivost v primerjavi s prvim dnem povečala za 345 ml/l, tretji in četrti dan se je usedljivost zmanjšala, peti dan pa se je blato ponovno posedlo pod 400 ml/l (320 ml/l). Pri bioreaktorju 3 (slika 52) je bila usedljivost blata skozi celoten poskus nizka in je bila v času poskusa ves čas konstantna, blato se je posedlo do 980 ml/l.



Slika 50: Spremljanje usedanja aktivnega blata iz ČN X v bioreaktorju 1 v pet-dnevnem poskusu.

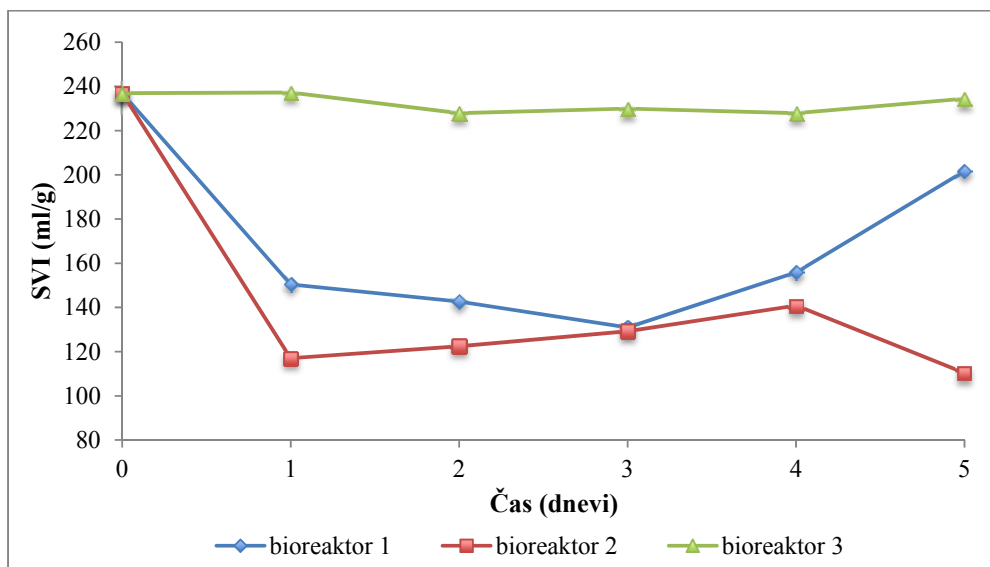


Slika 51: Spremljanje usedanja aktivnega blata iz ČN X v bioreaktorju 2 v pet-dnevnem poskusu.



Slika 52: Spremljanje usedanja aktivnega blata iz ČN X v bioreaktorju 3 v pet-dnevem poskusu.

Volumski indeks blata se je v bioreaktorjih 1 in 2, kjer je bila prisotna višja koncentracija DO, že po prvem dnevu znižal (slika 53). V bioreaktorju 3 se vrednost SVI skozi celotni poskus ni občutno spremenila in je ves čas ostajala zelo visoka, medtem ko se je pri višji koncentraciji DO blato bolje posedalo, vendar je tudi proti koncu poskusa volumski indeks začel naraščati.



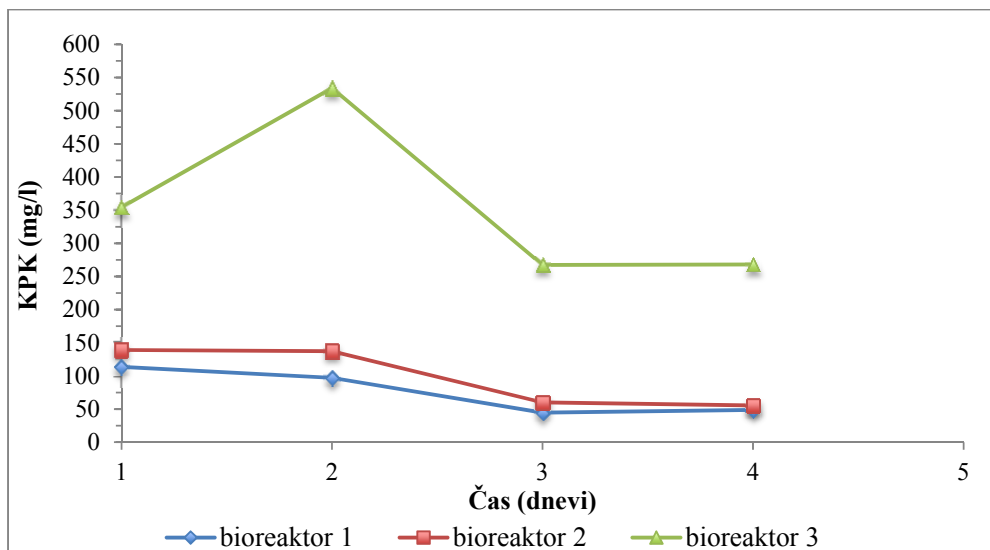
Slika 53: Spreminjanje vrednosti SVI v vseh treh bioreaktorjih v pet-dnevem poskusu z aktivnim blatom iz ČN X.

4.4.3 Rezultati kemijskih analiz iztoka

Preglednica 6: Lastnosti vtoka, uporabljenega v poskusu z aktivnim blatom ČN X.

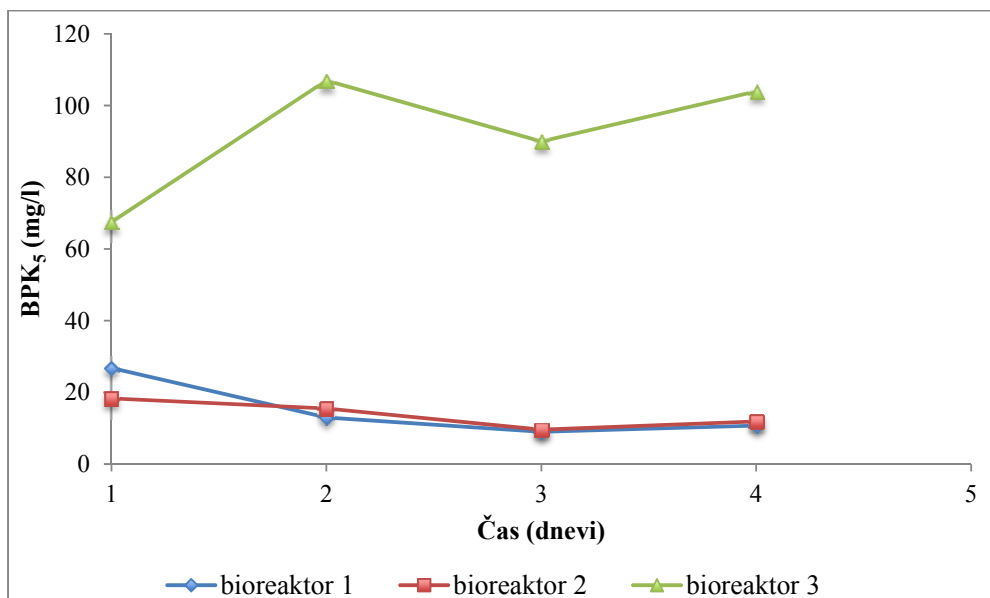
Parameter	Vrednost
pH	7,71
Neraztopljene snovi (mg/l)	206
Usedljive snovi (mg/l)	8
KPK (mg/l)	610
BPK ₅ (mg/l)	265
TOC (mg/l)	161
TLS (mg/l)	46,4
NH ₄ -N (mg/l)	55,4
NO ₃ -N (mg/l)	<0,4
NO ₂ -N (mg/l)	<0,30
orto PO ₄ -P (mg/l)	3,9
N _{tot} (mg/l)	69,7
P _{tot} (mg/l)	9,4
KPK po dodatku 0,5 g glukoze (mg/l)	1154

S kemijskimi analizami iztoka smo želeli preveriti, kako učinkovito je bilo biološko čiščenje v vseh treh bioreaktorjih. V preglednici 6 so prikazani rezultati vtoka, ki smo ga dodajali kot hranilo, na podlagi katerih lahko ocenimo učinek čiščenja posameznih parametrov med poskusom v posameznih bioreaktorjih. Najvišja vrednost KPK iztoka je bila prisotna v bioreaktorju 3, kjer smo vzdrževali nizko koncentracijo DO. Se pa tekom poskusa KPK vrednost v bioreaktorju 3 zmanjša. V bioreaktorjih 1 in 2 je podoben trend padanja KPK iztoka skozi celoten poskus. Čiščenje je boljše v bioreaktorju 1. Zakonsko določeno mejo KPK pod 125 mg/l smo pri bioreaktorju 1 dosegli že drugi dan, pri bioreaktorju 2 pa tretji dan. Rezultati so prikazani na sliki 54.

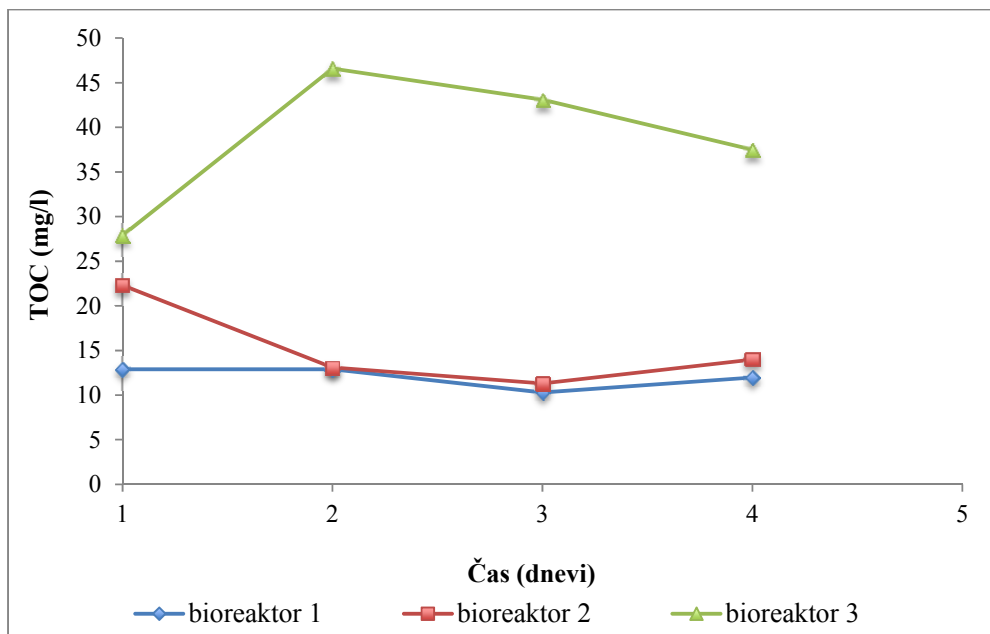


Slika 54: Spremljanje koncentracije KPK v iztoku vseh treh bioreaktorjev po 23-urnem biološkem čiščenju v pet-dnevem poskusu z aktivnim blatom iz ČN X.

Rezultati analize BPK_5 (slika 55) in TOC (slika 56) v iztoku zelo soupadajo z rezultati KPK. V bioreaktorju 3 je bila vrednost BPK_5 iztoka visoka. Vrednost TOC se v bioreaktorju 3 povečuje do drugega dneva, nato pa se do konca poskusa postopoma zmanjšuje. V iztoku bioreaktorjev 1 in 2 je koncentracija BPK_5 in TOC nizka in se tekom poskusa do tretjega dneva zmanjšuje, četrti dan pa se v obeh bioreaktorjih malo poveča.

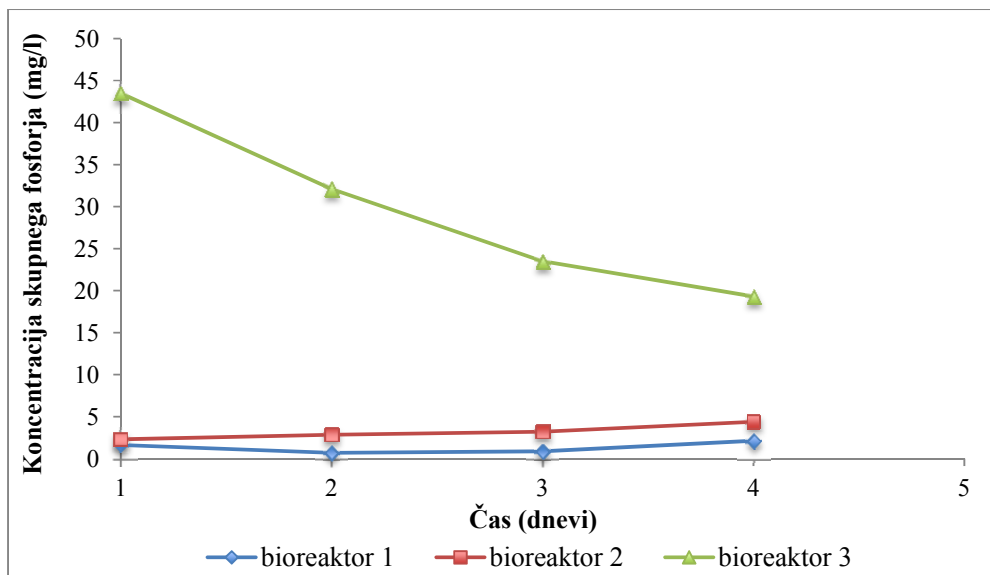


Slika 55: Spremljanje koncentracije BPK_5 v iztoku vseh treh bioreaktorjev po 23-urnem biološkem čiščenju v pet-dnevem poskusu z aktivnim blatom iz ČN X.

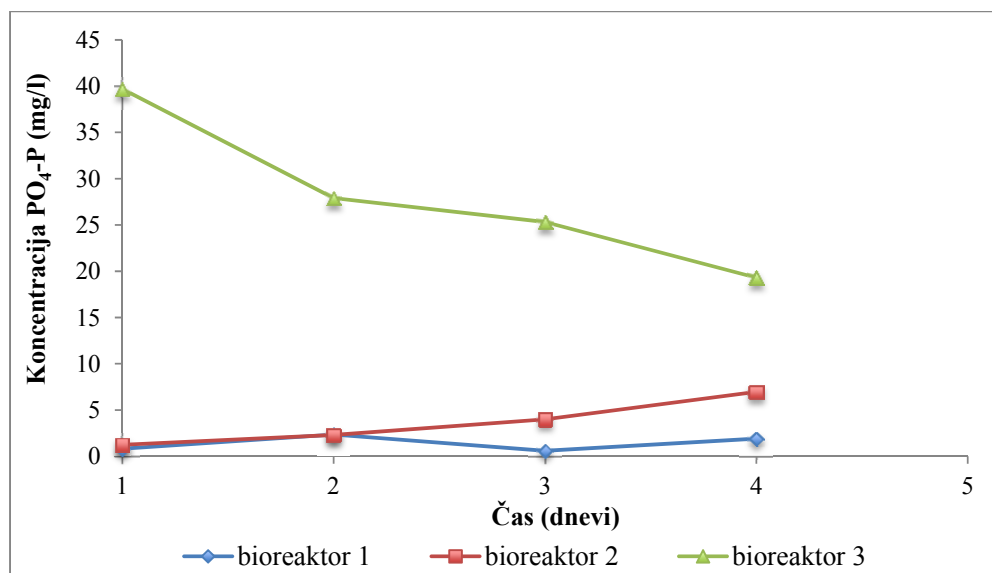


Slika 56: Spremljanje koncentracije TOC v iztoku vseh treh bioreaktorjev po 23-urnem biološkem čiščenju v pet-dnevnem poskusu z aktivnim blatom iz ČN X.

Koncentracija fosforja se v iztoku bioreaktorja 3 močno poveča po prvem dnevu poskusa ter se nato konstantno zmanjšuje vse do konca poskusa. V iztoku iz bioreaktorjev 1 in 2 koncentracija fosforja ni dosegla tako visokih vrednosti kot v bioreaktorju 3, saj je bila koncentracija ves čas pod 5 mg/l, se pa je počasi povečevala v pet-dnevnem poskusu (slika 57). Podobno kot koncentracija fosforja se je spreminjala tudi koncentracija fosfata v iztoku vseh treh bioreaktorjev (slika 58).

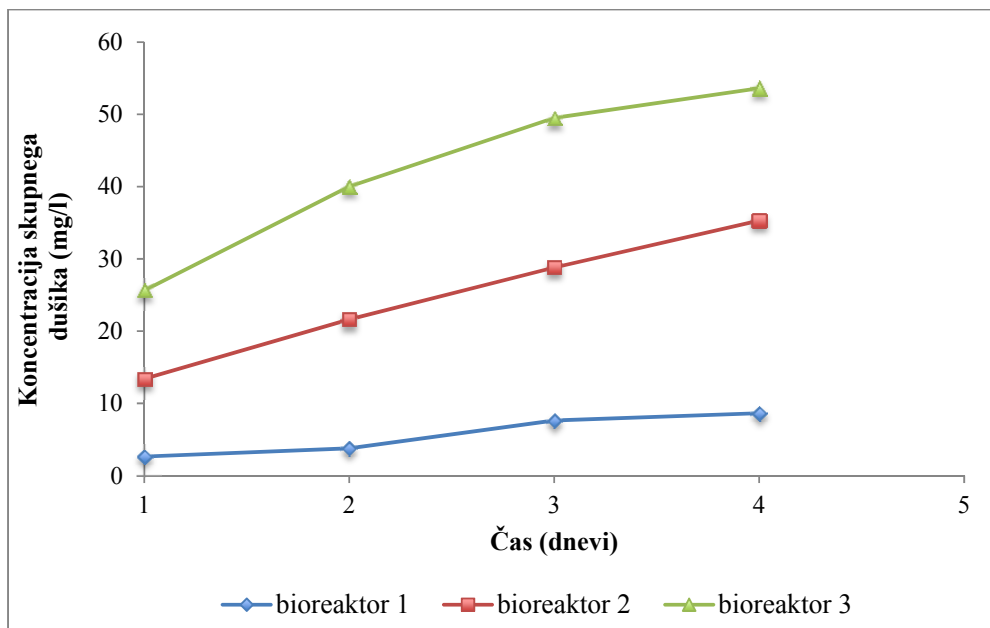


Slika 57: Spremljanje koncentracije skupnega fosforja v iztoku vseh treh bioreaktorjev po 23-urnem biološkem čiščenju v pet-dnevnem poskusu z aktivnim blatom iz ČN X.

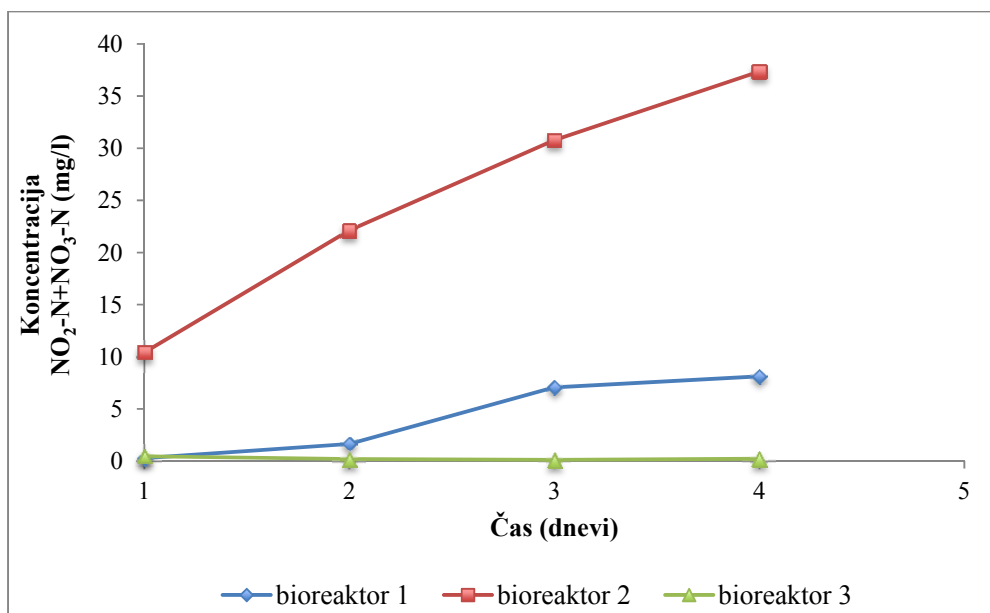


Slika 58: Spremljanje koncentracije orto - fosfata v iztoku vseh treh bioreaktorjev po 23-urnem biološkem čiščenju v pet-dnevnem poskusu z aktivnim blatom iz ČN X.

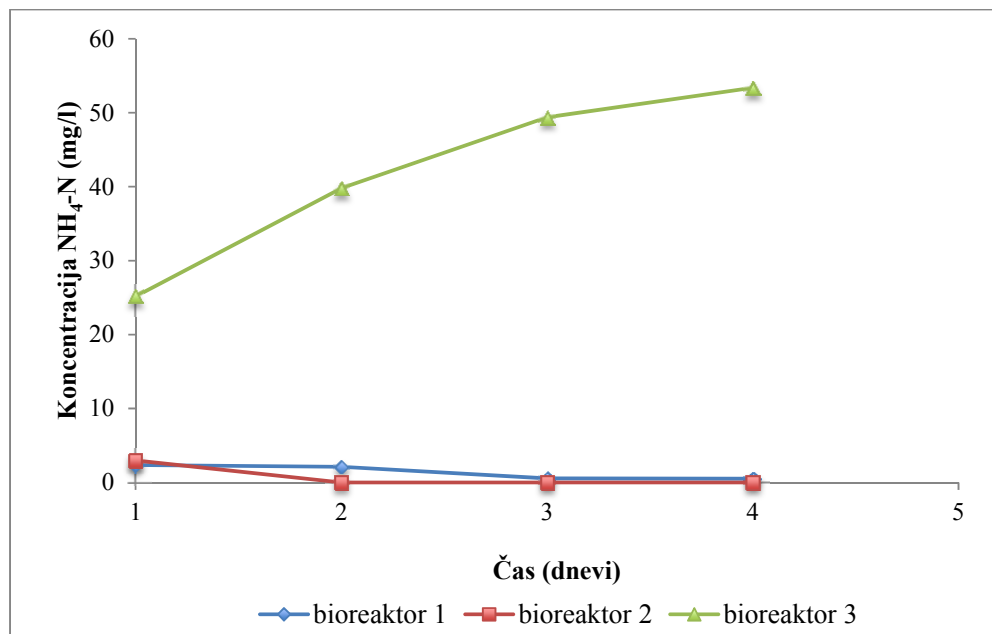
V iztoku vseh treh bioreaktorjev se je koncentracija dušika povečevala, najvišja koncentracija je bila v iztoku bioreaktorja 3, najnižja pa v iztoku bioreaktorja 1 (slika 59). Koncentracija nitratov in nitritov je bila najvišja v bioreaktorju 2 in se je v pet-dnevnem poskusu povečevala. V bioreaktorju 3 nitratov in nitritov z izbrano analizo nismo dokazali, v bioreaktorju 1 pa je bila skupna koncentracija nitratov in nitritov ves čas pod 10 mg/l in se je v pet-dnevnem poskusu povečevala (slika 60). V iztoku bioreaktorjev 1 in 2 $\text{NH}_4\text{-N}_2$ po drugem dnevu poskusa nismo več detektirali, medtem ko je bila koncentracija $\text{NH}_4\text{-N}_2$ v bioreaktorju 3 zelo visoka in se je v poskusu povečevala.



Slika 59: Spremljanje koncentracije skupnega dušika v iztoku vseh treh bioreaktorjev po 23-urnem biološkem čiščenju v pet-dnevnem poskusu z aktivnim blatom iz ČN X.



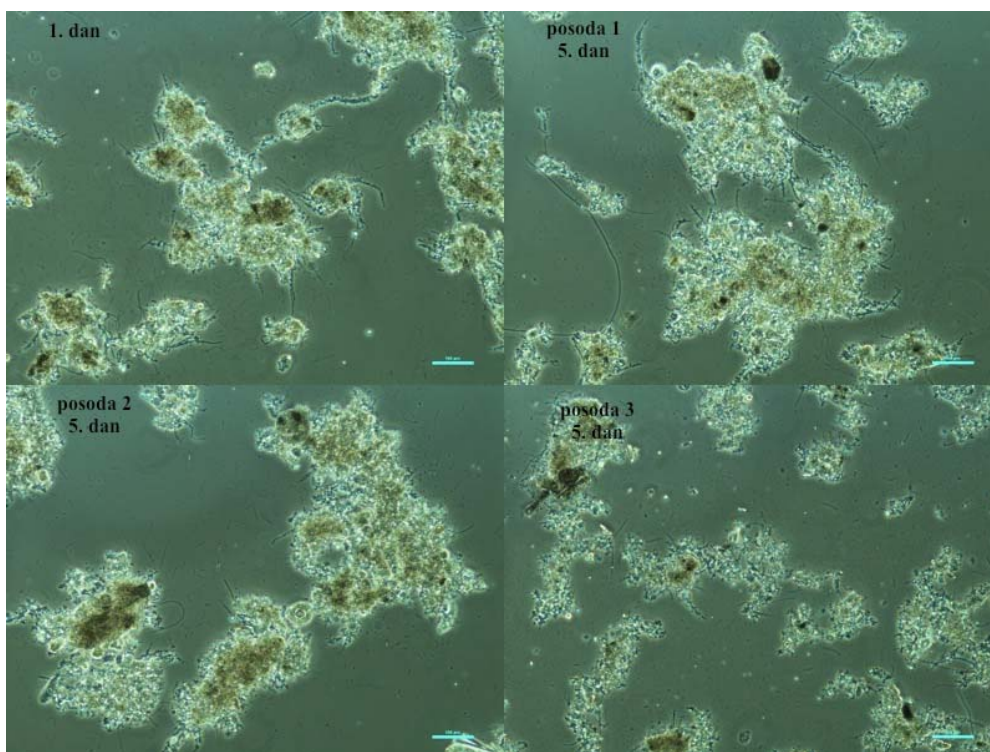
Slika 60: Spremljanje koncentracije nitrata in nitrita v iztoku vseh treh bioreaktorjev po 23-urnem biološkem čiščenju v pet-dnevnem poskusu z aktivnim blatom iz ČN X.



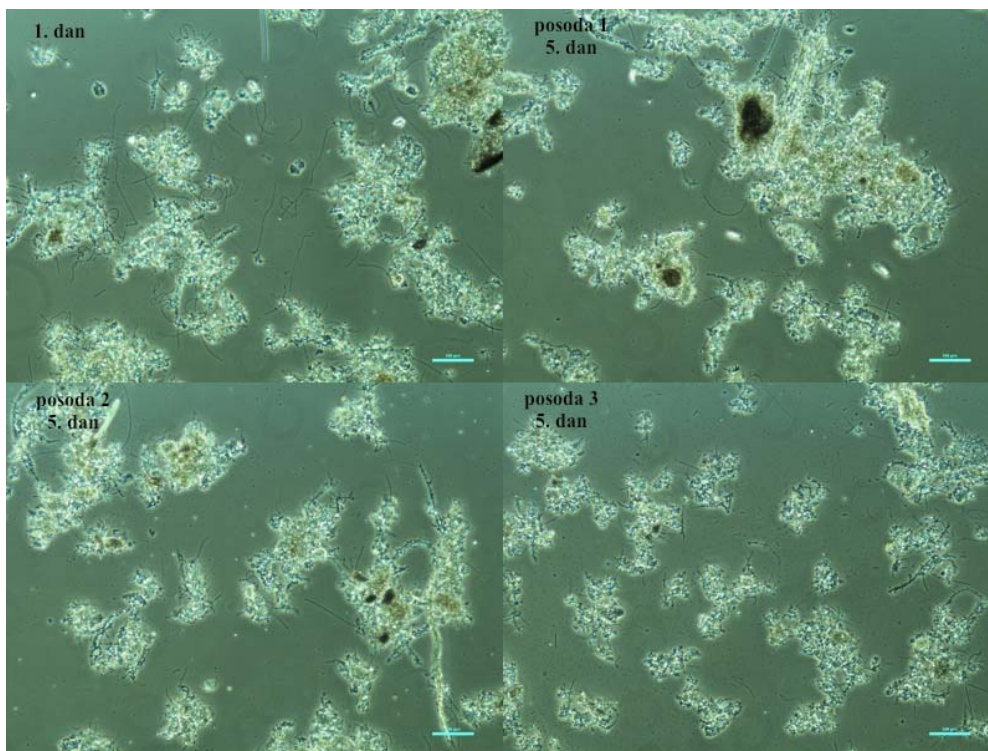
Slika 61: Spremljanje koncentracije amonija v iztoku v vseh treh bioreaktorjev po 23-urnem biološkem čiščenju v pet-dnevnem poskusu z aktivnim blatom iz ČN X.

4.5 REZULTATI POSKUSA Z DODAJANJEM MAŠČOB AKTIVNEMU BLATU

Opravili smo poskuse z dodajanjem maščob iz maščobnika na CČN Ptuj tako na aktivnem blatu iz CČN Ptuj kot iz ČN X, vendar po končanem poskusu ni bilo vidnih sprememb v morfologiji aktivnega blata in pri FI. Po dodatku maščob se struktura blata CČN Ptuj ni spremenila, medtem ko se je struktura aktivnega blata iz ČN X izboljšala pri bioreaktorju 1 in 2, saj so flokule postale bolj kompaktne, število suspendiranih nitastih bakterij pa se je zmanjšalo (sliki 62 in 63). Peti dan poskusa je v bioreaktorju 3 prišlo do začetka propadanja flokul in pojava suspendiranih mikrobnih celic med flokulami tako v aktivnem blatu iz CČN Ptuj kot iz ČN X.



Slika 62: Mikroskopske slike, ki prikazujejo vpliv dodatka maščob na aktivno blato iz CČN Ptuj prvi in zadnji dan poskusa (100X povečava, FK).



Slika 63: Mikroskopske slike, ki prikazujejo vpliv dodatka maščob na aktivno blato iz ČN X prvi in zadnji dan poskusa (100X povečava, FK).

5 RAZPRAVA

V teoretičnem delu naloge smo v poglavju 2.4 opisali najpogostejše uporabljene metode za nadzor napihovanja in penjenja aktivnega blata in med njimi smo se odločili za tiste, ki bi jih lahko najbolj preprosto uporabili na čistilni napravi in preizkusili na laboratorijskem nivoju. Ker sta tako CČN Ptuj in ČN X novejša projekta, bi bilo nesmiselno in neekonomično spreminjati tehnološko shemo čiščenja z uvedbo selektorjev, zato smo se odločili za kratkoročno metodo z dodajanjem flokulantov in eno dolgoročno metodo z vzpostavitvijo ustrezne koncentracije kisika.

Pri reševanju težav z napihovanjem ali penjenjem aktivnega blata se kot že omenjeno stroški obratovanja povečajo zaradi dodajanja flokulantov, hranil, povečevanja preprihovanja ali investicij v gradnjo selektorjev. Pri naših izbranih metodah pri dodajanju flokulantov predstavljajo velik strošek soli, medtem ko pri uravnavanju ustrezne koncentracije kisika s povečevanjem preprihovanja povečamo stroške električne energije zaradi večje obremenitve črpalk. Zato je zelo pomembno redno spremljanje strukture aktivnega blata, s katerim preprečimo, da bi se stanje tako poslabšalo, da bi morali posledice odpravljati daljši čas. Pri redni kontroli blata lahko že pri manjšem poslabšanju strukture blata najdemo vzrok in ga hitro ter z malo stroški odpravimo. Aktivno blato, ki se napihuje in po možnosti že izplavlja, pa lahko saniramo več mesecev, dokler se stanje ne izboljša, prav tako s tem močno povečamo stroške. Kot primer Richard in sodelavci trdijo, da pri preventivnem povečanju koncentracije kisika vložimo manj sredstev, kot če moramo odpravljati posledice napihnjenega blata zaradi pomanjkanja kisika, kjer se potreba po kisiku med časom sanacije bistveno poveča (Richard in sod., 2003).

Ker imajo na CČN Ptuj na vtoku prisotne velike količine maščob, ki pridejo z odplakami iz Perutnine Ptuj, smo predvidevali, da je lahko to eden izmed možnih vzrokov za prisotnost nitastih bakterij v aktivnem blatu, saj bi lahko le-te prehajale v aeracijske bazene. Zato smo naredili poskus, pri katerem smo simulirali čistilno napravo in dodali poleg vtoka določen delež maščob, ki smo jih posneli iz maščobnika in nato spremljali mikrobno združbo v petdnevnem poskusu. Čeprav je prisotnost maščob pogost povod za razrast nitastih bakterij, pa to z našim poskusom nismo uspeli potrditi. Iz literature je znano, da je v veliko primerih za pojav napihovanja blata posredi več kot le ne vzrok, zato sklepamo, da v CČN Ptuj in ČN X rast in razmnoževanje nitastih bakterij povzročajo drugi dejavniki, ali pa pogoji poskusa niso omogočali razrasta pričakovanih nitastih bakterij.

5.1 POSKUS Z DODAJANJEM SOLI AKTIVNEMU BLATU IZ CČN PTUJ IN ČN X

Za železove in aluminijeve soli je znano, da delujejo kot koagulanti in jih uporabljajo pri odstranjevanju nečistoč v obliki koloidnih delcev in raztopljenih organskih snovi v vodi, med drugim pa so primerne tudi za izboljševanje posedanja aktivnega blata (Philips in sod., 2003; Duan in Gregory, 2003). V več študijah zasledimo, da so z dodatkom soli v

čistilnih napravah odpravili napihovanje blata in s tem ponovno vzpostavili pravilno delovanje čistilne naprave (Jonsson, 2005; Agridiotis in sod., 2006; Philips in sod., 2003). Naš poskus smo izvedli na laboratorijskem nivoju kot preliminarni test pred pilotnim poskusom in aplikacijo na čistilni napravi, saj smo želeli preveriti, če bi s to metodo dosegli željene rezultate.

Tako pri aktivnem blatu iz CČN Ptuj kot iz ČN X je po dodatku soli prišlo do hitrega znižanja pH suspenzije (slike 20 in 37). Višja je bila koncentracija soli, bolj nizka je bila vrednost pH. Padec pH-ja je najverjetneje povzročila tvorba aluminijevih in železovih hidroksidov, zaradi katerih je prišlo do sprostitve vodikovih protonov v suspenzijo. Iz literature vemo, da se po dodatku železovih soli pH vrednost hitro in znatno zniža, vendar le za kratek čas (Philips in sod., 2003), pri tem pa pride do vezave kationskih hidroliziranih produktov na negativno nabite delce in posledično do njihove destabilizacije. Znano je, da se hidrolizirani kationski delci, kot je na primer $\text{Al}(\text{OH})^{2+}$, močneje vežejo na negativne delce v primerjavi s prostimi, hidriranimi kovinskimi ioni (Duan in Gregory, 2003). Ker se negativni delci nevtralizirajo, pride do koagulacije oziroma njihovega povezovanja med seboj. Koagulacijo smo v našem poskusu opazili po dodatku soli aktivnemu blatu iz ČN X (slike 24, 27, 30, 33 in 36), kjer so se flokule vidno združile v večje skupke, tudi nitaste bakterije so se skupaj z ostalimi delci povezale in niso več vplivale na povezovanje flokul med seboj. Nitaste bakterije, ki so bile prej suspendirane med flokulami, so se skrile v njihovo notranjost, opazili smo lahko le še nekaj štrlečih filamentov, ki so bili prisotni na zunanji površini flokul (slike 24, 27, 30, 33 in 36). Izboljšanje flokulacije se je odražalo tudi na izboljšanju usedljivosti in vrednosti SVI (slike 22, 25, 28, 31, 34 in 38), ki med sabo močno korelirata. Nasprotno pa se pri aktivnem blatu iz CČN Ptuj ob dodatku enakih koncentracij soli glede na suho snov suspenzije, kot v primeru ČN X, struktura flokul ni spremenila. Aktivno blato se je ob povečevanju koncentracije soli celo slabše posedalo (slike 15-18). Možno je, da pride ob presežku dodatka železovih ali aluminijevih soli do inverzije naboja površine delcev, ki se nabije pozitivno, posledično se odbojne sile med njimi ponovno povečajo, zato pride do stabilizacije oziroma razbitja večjih delcev na manjše. Slabše usedanje je vplivalo tudi na povečan volumski indeks blata (slika 21).

Pri dodajanju soli v aktivno blato iz CČN Ptuj se je volumski indeks pri različnih soleh različno spreminjal (slika 21). Ob dodatku $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \times 16\text{H}_2\text{O}$ je prišlo do najmanjšega povečanja vrednosti SVI, ki se je zvišala iz 110 na 120 ml/g pri največji koncentraciji. Največje poslabšanje vrednosti SVI opazimo ob dodatku poli – AlCl_3 , kjer se je volumski indeks povečal iz začetne vrednosti 78 ml/g na 169 ml/g. Poli – AlCl_3 je pripravljen kot raztopina in je že hidrolizirana sol, kar pomeni, da so v raztopini že prisotni hidrolizirani produkti aluminija. Zanimiva je povezava med zmanjšanjem pH vrednosti in naraščanjem vrednosti SVI (slike 20 in 21). Pri uporabi $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \times 16\text{H}_2\text{O}$, ki je minimalno vplival na povečanje vrednosti SVI, je bil padec pH največji (iz pH 6,8 na 4,6), po drugi strani pa se je po dodatku poli- AlCl_3 pH znižal iz začetne vrednosti 6,9 na 6,0. Sklepamo, da je pri dodatku vseh štirih soli prišlo do inverzije naboja na površini flokul, med njimi pa se je

površina delcev najbolj pozitivno nabila po dodatku poli – AlCl_3 . Največjo uporabnost je pokazal komercialni flokulant Nanofloc A644, ki sicer ni izboljšal vrednosti SVI, vendar iz grafa spremljanja usedanja po času opazimo, da se je blato v prvih 15-ih minutah hitreje posedalo kot pri negativni kontroli. Vzrok za to, da se usedljivost po 30 minutah ni izboljšala, je najbrž tudi ta, da so bile sušine blata v času poskusa nižje in s tem je bilo boljše tudi posedanje.

Željene rezultate pa smo dobili pri poskusu z blatom iz ČN X. Že struktura aktivnega blata brez dodatkov se je zelo razlikovala od blata iz CČN Ptuj, saj so bile flokule veliko bolj razpršene, filamentni indeks je bil večji (v primeru CČN Ptuj je bil povprečni FI=2, pri ČN X je bil FI=4), prisotna je bila bakterija *Candidatus M. parvicella*, ki se je nahajala tudi prosto med flokulami. Posledično sta bila usedanje in vrednost SVI aktivnega blata brez dodatkov zelo slaba (nad 200 ml/g). Najboljše usedanje smo dobili po dodatku 15 gAl/kgSS $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \times 16\text{H}_2\text{O}$, kjer se nam je vrednost SVI iz začetne vrednosti 255 ml/g izboljšala na 163 ml/g (slika 38, preglednica 5). Čeprav to še vedno ni zadovoljiva stopnja posedanja, (zaželjena vrednost SVI je pod 150 ml/g), pa je rezultat zelo obetaven, saj bi z večkratnim dodajanjem $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \times 16\text{H}_2\text{O}$ najverjetneje to vrednost še znižali. V našem poskusu smo izvedli le enkratni dodatek soli in spremljali trenutne spremembe, kar vpliva na rezultate, ki bi bili verjetno boljši, če bi poskus izvedli na pilotnem nivoju, ki bi nam omogočal, da bi sol dodajali dalj časa, s čimer bi še dodatno povečali koagulacijo, s tem pa dosegli večjo kompaktnost flokul in hitrejšo usedanje aktivnega blata. V literaturi je navedeno, da je potrebno dodajati soli v aeracijske bazene ali povratno blato daljše časovno obdobje (nekaj tednov), če želimo priti do željenega učinka (Agridiotis in sod., 2007). Poleg $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \times 16\text{H}_2\text{O}$ je na aktivno blato pozitivno deloval tudi Nanofloc A644, pri katerem smo z dodatkom le treh kapljic flokulanta (približno 170 μl) vrednost SVI znižali iz 213 ml/g na 151 ml/g (preglednica 5), ugodno je deloval tudi na spremembo pH, saj je bilo znižanje pH-ja v primerjavi z ostalimi solmi minimalno (iz pH 7,19 na 7,08), kar je primerno za ostalo mikrobno združbo, ki sodeluje v bioloških procesih odstranjevanja organskih snovi iz odpadne vode (slika 37). Največje znižanje pH vrednosti je bilo prisotno po dodatku aluminijevih soli, to so AlCl_3 (iz pH 7,21 na 5,76) $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \times 16\text{H}_2\text{O}$ (iz pH 7,15 na 6,05) in poli – AlCl_3 (iz pH 7,18 na 6,07). FeCl_3 je pripomogel k izboljšanju posedanja le pri koncentraciji 5 gFe/kgSS, pri povečevanju koncentracije pa se je usedljivost začela slabšati, kar bi ponovno lahko obrazložili s teorijo, da je prišlo do inverzije naboja površine delcev. Vrednost FI se je po dodatku vseh koagulantov/flokulantov znižala iz FI=4 pri negativni kontroli na FI=1 po dodatku najvišje koncentracije soli ali flokulanta (preglednica 4). Tudi Agridiotis in sodelavci (2007) so v svojem raziskovalnem delu po daljšem apliciranju železovih soli dosegli obsežno izboljšanje strukture blata, saj se je gostota filamentov (v tem primeru govorimo o FA ali ang. filament abundance) po sedmih tednih zmanjšala iz vrednosti 5 na 1, torej iz obsežno preraščene strukture z nitastimi bakterijami do stanja z zelo malo prisotnih filamentov.

Iz rezultatov lahko ugotovimo, da je uspešnost uporabe koagulantov najverjetneje odvisna od strukture blata, predvsem od lastnosti površine delcev, na katere soli delujejo. Zaradi lažje primerjave rezultatov smo v aktivno blato obeh čistilnih naprav dodali enake koncentracije soli in flokulanta. V primeru ČN X smo uporabili primerne koncentracije soli na maso suhe snovi, saj smo izboljšali usedljivost. Pri CČN Ptuj pa je lahko vzrok slabšega posedanja prav predoziranje soli in bi bili rezultati, če bi dodali nižje koncentracije, boljši. S tem poskusom smo po drugi strani demonstrirali, da je za uspešno delovanje soli zelo pomembno, da dodamo primerno koncentracijo aktivne snovi, zato je tudi priporočljivo pred reševanjem težav z napihovanjem blata na čistilni napravi opraviti vsaj laboratorijske poskuse, ter tako določiti koncentracijsko območje ugodnega delovanja soli ter izbrati najprimernejši koagulant oziroma flokulant.

5.2 POSKUS S PREPIHOVANJEM AKTIVNEGA BLATA IZ CČN PTUJ IN ČN X

Ta poskus smo izvedli tako, da smo 5 dni simulirali čistilno napravo pri različni koncentraciji raztopljenega kisika. V pregledu literature smo že predstavili probleme prenizke koncentracije DO, ki zelo pogosto nastopijo na čistilnih napravah. Najpogosteje takšni pogoji omogočijo razrast določenih tipov nitastih bakterij, ki povzročajo napihovanje aktivnega blata. Tako kot pri poskusu s solmi, tudi tu nismo bistveno izboljšali strukture blata iz CČN Ptuj, smo pa vidne spremembe opazili v strukturi blata iz ČN X, katere rezultate smo predstavili v nalogi. Ker smo želeli preveriti, ali je naša simulirana čistilna naprava tudi uspešno delovala, smo si poskus zastavili malo širše, tako da smo dodatno preverili učinkovitost čiščenja odpadne vode po vsakem ciklu biološkega čiščenja.

Pri poskusu s prepilovanjem aktivnega blata ČN X smo že po enem (bioreaktor 2) oziroma dveh dneh (bioreaktor 1) opazili izboljšanje strukture flokul, ki so se zaradi višje koncentracije DO povečale in kompaktirale (sliki 40 in 42). Tudi Wilen in Balmer (1998), ki sta v svoji študiji preučevala vpliv koncentracije DO na velikost in strukturo flokul, sta ugotovila, da so se pri višji koncentraciji DO (2 mg/l) flokule povečale in postale bolj simetrične, medtem ko so pri nižji koncentraciji (1 in 0,5 mg/l) postale asimetrične in porozne. FI se je v našem poskusu pri višji koncentraciji kisika (bioreaktor 1 in 2) znižal iz FI 4 na FI 1, pri bioreaktorju 3, kjer je bila zelo nizka koncentracija DO, pa so filament ostali prisotni tako na obrobju flokul kot tudi med njimi ter so še vedno vplivali na napihovanje blata, saj se vrednost SVI čez celotni poskus ni spustila pod 220 ml/g (slika 44). Martins in sodelavci (2003) so v svojih raziskavah preverjali vpliv koncentracije DO na usedljivost aktivnega blata, ki je vsebovalo nitaste bakterije in so pri visoki koncentraciji kisika (>2,5 mg/l) dosegli zelo hitro izboljšanje usedljivosti, enake rezultate smo dosegli tudi v našem poskusu, saj se je vrednost SVI že po enem dnevu izboljšala iz 237 ml/g na 150 ml/g v bioreaktorju 1 in na 117 ml/g v bioreaktorju 2 (slika 53). V bioreaktorju 2 je bila zelo nizka vrednost SVI po enem dnevu poskusa delno posledica

nehomogenega vzorca, ki smo ga odvzeli za izračun koncentracije SS, saj smo zajeli del naplavljenega blata, vendar je bil padec vrednosti SVI zagotovo tudi posledica boljše usedljivosti aktivnega blata zaradi boljše strukture flokul. Penjenje blata, ki se je pojavilo v bioreaktorjih 1 in 2, bi lahko povzročilo vpihovanje zraka, ki se je vezal na hidrofobno površino bakterije *Candidatus M. parvicella*, ki je skupaj z ostalimi vezanimi delci izplavljala na površino. V bioreaktorju 1 in 2, se je na površini nabrala 1-2 cm debela plast pene, ki je prekrivala tri četrtine gladine. Zaradi tega se je naslednji dan v prvih dveh bioreaktorjih sušina znižala, medtem ko je bila v bioreaktorju 3 sušina ves čas konstantna in skozi celoten poskus najvišja, najnižjo koncentracijo SS pa smo dosegali v bioreaktorju 2, kjer se je tvorilo največ pen. Vrednost SVI je v bioreaktorjih 1 in 2 ostala nizka skozi celotni poskus, z izjemo zadnji dan poskusa, ko se je v bioreaktorju 1 ponovno povečala.

Vsakodnevno smo spremljali še učinek biološkega čiščenja odpadne vode po 23 urah. Spremljali smo KPK, BPK₅, TOC, P_{tot}, N_{tot}, N-NO₃+N-NO₂ in P-PO₄. Rezultati KPK, BPK₅ in TOC predstavljajo organsko obremenitev iztoka in kot pričakovano med sabo kolerirajo (slike 54-56). V bioreaktorju 3 je po pričakovanjih učinek čiščenja zelo nizek, prvi in drugi dan poskusa je bilo čiščenje najslabše (drugi dan poskusa je bil učinek čiščenja KPK 54 %), nato pa sta se vrednosti KPK in TOC vse do konca poskusa zniževali (učinek čiščenja na zadni dan poskusa je bil 77 %), kar bi lahko bila posledica prilagoditve mikrobne združbe na zelo nizko koncentracijo DO. V bioreaktorjih 1 in 2 je bilo biološko čiščenje veliko boljše, saj smo uspeli znižati KPK pod 150 mg/l že prvi dan poskusa. Zadnji dan je bil učinek čiščenja KPK največji, v bioreaktorju 1 je bil 96 %, v bioreaktorju 2 pa 95 %. Vrednost BPK₅ je bila v bioreaktorju 1 znotraj dovoljenih območij (BPK₅ < 20 mg/l) skozi celoten poskus, v bioreaktorju 2 pa je dosegala dovoljeno mejo po drugem dnevu poskusa. Učinek čiščenja je bil dober zaradi zadostne koncentracije DO, ki je aerobnim heterotrofom omogočila izkoriščanje organskih snovi kot vir energije. Tudi rezultati, kjer smo spremljali odstranjevanje fosforja in dušika, so v skladu s pričakovanji (slike 57-61). Biološko čiščenje fosforja je kompleksen metabolni proces. V anaerobnih razmerah bakterije prevzemajo maščobne kisline in jih shranijo v obliki poli-hidroksi-butirata (PHB), medtem pa energijo dobijo z razgradnjo založnih polifosfatov in glikogena. Ko nastopijo anoksični oziroma aerobni pogoji, PHB oksidirajo za pridobivanje energije, ki jo porabijo za rast, vzdrževanje, prevzem fosforja in tvorbo glikogena. Do odstranjevanja fosforja iz odpadne vode torej pride, če prevzem pri aerobnih razmerah presega sproščanje fosforja pri anaerobnih razmerah (Brdjanovic in sod., 1998). V skladu s teorijo se je v bioreaktorju 3 po prvem dnevu čiščenja v iztoku zelo povečala koncentracija celotnega fosforja iz začetne koncentracije 9,4 mg/l v vtoku na 43,5 mg/l. Povišanje koncentracije je bila posledica prisotnosti anaerobnih razmer v aktivnem blatu in sproščanja fosforja v okolico. Ker smo po vsakem biološkem ciklu en liter iztoka oddekantirali in dodali nov liter vtoka z nižjo koncentracijo fosforja, smo iztok na tak način z vsakim dnem razredčili in posledica tega je bilo postopno znižanje koncentracije fosforja proti koncu poskusa. V bioreaktorjih 1 in 2 se je koncentracija fosforja znižala glede na začetno vrednost in se je skozi celotni poskus gibala okoli vrednosti 5 mg/l. Glede

na zakonodajo je ta vrednost previsoka za izpust v okolje, saj bi morala biti koncentracija P_{tot} pod 2 mg/l (Uredba o emisiji snovi..., 2007). Ker pa je biološko odstranjevanje fosforja velikokrat problem, na številnih čistilnih napravah (tudi na CCN Ptuj) poleg biološkega čiščenja izvajajo še kemijsko precipitacijo z FeCl_3 , ki omogoča, da se fosfor obori in skupaj z aktivnim blatom usede na dno bazena ter tako ostaja in se izloča z odvišnim blatom. Tako, kot za čiščenje fosforja, so tudi za odstranjevanje dušika potrebni aerobni in anoksični pogoji. Na začetku biološkega procesa čiščenja dušika poteče nitrifikacija pri aerobnih pogojih, ko se N-NH_4 oksidira do N-NO_2 in ta naprej do N-NO_3 ob prisotnosti kisika kot končni elektronski akceptor. V anoksičnih pogojih pa denitrifikatorji NO_x uporabijo kot elektronski prejemnik in ga reducirajo v N_2 , ki se v plinasti obliki izloči v ozračje (Mulder in sod., 1995). Glede na fizikalne razmere, ki smo jih imeli v posameznem bioreaktorju, smo dobili pričakovane rezultate tudi pri učinkih čiščenja dušika. V bioreaktorju 1 je koncentracija kisika zaradi regulacije s kisikovo sondo zelo nihala in je obsegala območje od $<0,1$ mg/l do >4 mg/l, zato predvidevamo, da so se vzpostavili pogoji, kjer je lahko potekla in nitrifikacija in denitrifikacija. Posledično je bilo v bioreaktorju 1 najbolj učinkovito čiščenje dušika, ki je bil v iztoku prisoten v koncentraciji <10 mg/l, kar ustreza normativom uredbe o emisiji snovi ($\text{N}_{\text{tot}} < 10$ mg/l) (Uredba o emisiji snovi..., 2007). Učinek čiščenja je bil najboljši prvi dan poskusa (96 %) in se je do zadnjega dneva zniževal (88 %). V bioreaktorju 2 smo konstantno izvajali prepihanje, zato so bili ves čas poskusa prisotni aerobni pogoji z visoko koncentracijo DO. Ti pogoji so omogočili, da se je amonijski dušik pretvoril v nitrate in nitrite, ti pa so se v iztoku koncentrirali, saj zaradi odsotnosti anoksičnih pogojev denitrifikatorji niso mogli pretvoriti nitrata in nitrita v plinasti dušik. V bioreaktorju 3 pa je bila onemogočena že prva stopnja čiščenja dušika – nitrifikacija zaradi odsotnosti kisika, kar je vplivalo na konstantno povečevanje koncentracije amonija v iztoku.

S poskusi smo demonstrirali, da je bila mikrobna združba aktivna in sposobna opravljati osnovne biološke procese, ki so omogočali boljše in slabše čiščenje odpadne vode v posameznem bioreaktorju. Glede na rezultate je bilo biološko čiščenje najbolj učinkovito v bioreaktorju 1, najbrž tudi zato, ker so bile razmere najbolj podobne razmeram na pravi čistilni napravi zaradi izmenjave aerobnih in anoksičnih pogojev (ki so bili posledica slabše odzivnosti regulacijske sonde). Strukturo aktivnega blata smo najhitreje izboljšali v bioreaktorju 2, kjer je potekalo intenzivno prepihanje, kar je vplivalo tudi na najboljšo vrednost SVI. V bioreaktorju 3, kjer smo želeli dokazati, da nizka koncentracija kisika vpliva na poslabšanje morfološke strukture blata, smo tudi potrdili pričakovanja. Struktura blata se sicer ni slabšala, vendar je ostala podobna kot prvi dan poskusa, posledično se vrednost SVI blata ni izboljšala in je odražala stanje napihnenosti blata.

Ker smo naredili poskuse na dveh različnih aktivnih blatih, ki sta se razlikovala tako po morfološki strukturi flokul kot tudi po prisotnosti različnih nitastih bakterij, opazimo velike razlike v vplivu posameznih metod na spremembe aktivnega blata. Glede na rezultate je razvidno, da je pri odpravljanju nitastih bakterij in s tem napihnenosti blata,

zelo pomembna izbira ustrezne metode, saj pri aktivnem blatu iz CČN Ptuj nismo bili uspešni z nobeno izbrano metodo, pri ČN X pa se nam je usedanje izboljšalo tako po dodatku soli kot pri povečanju koncentracije raztopljenega kisika v suspenziji aktivnega blata.

5.3 POSKUS Z DODAJANJEM MAŠČOB AKTIVNEMU BLATU IZ CČN PTUJ IN ČN X

Z dodajanjem maščob nismo dosegli željenega učinka. Pričakovali smo, da se bodo v aktivnem blatu iz CČN Ptuj in ČN X začele namnoževati nitaste bakterije, med njimi predvsem *Candidatus M. parvicella*, za katero je znano, da se lahko namnoži ob prisotnosti maščobnih kislin, vendar do tega ni prišlo. Povečano količino maščob smo dokazali tako, da smo naredili analizo težkohlapih lipofilnih snovi (TLS) v vtoku z dodano maščobo iz maščobnika. V primeru CČN Ptuj smo koncentracijo TLS povečali za 4,4-krat, pri ČN X pa za 27-krat. Takšna razlika je lahko posledica različne strukture maščobe iz maščobnika, ki se je v času posameznega poskusa razlikovala, smo pa s primerjavo dokazali, da je količina maščob v vtoku zelo presegala običajno koncentracijo.

Ko smo izvedli poskus z aktivnim blatom iz CČN Ptuj, do zadnjega dneva ni prišlo do znatnih sprememb v strukturi flokul v bioreaktorjih 1 in 2, prav tako je ostal FI enak (sliki 62 in 63). Pri ČN X pa se je struktura blata v bioreaktorjih 1 in 2 izboljšala zaradi povečane koncentracije DO, kar smo dokazali že v poskusu s prepihovanjem. V bioreaktorju 3 je pri CČN Ptuj in ČN X prišlo do anaerobnih procesov zaradi zelo visoke organske obremenitve blata in nizke koncentracije kisika, kar smo opazili s pojavom smrada in motnega iztoka. Sklepamo, da je prišlo tudi do odmiranja dela mikrobne biomase.

V literaturi je velikokrat omenjeno (Rossetti in sod., 2005), da *Candidatus M. parvicella* v aktivnem blatu zelo uspešno raste ob prisotnosti maščobnih kislin, predvsem oleinske kisline v hladnem obdobju leta. Sklepamo lahko, da s poskusom nismo spodbudili rasti nitastih bakterij, ker dodana maščoba ni vsebovala primernih maščobnih kislin, ali pa smo poskus prehitro zaključili, saj se nitaste bakterije pogosto pojavijo v aktivnem blatu z daljšim zadrževalnim časom (Liu Y. in Liu Q. S., 2006).

5.4 IZRAČUN STROŠKOV DODATKA NAJPRIMERNEJŠE SOLI V ČN X

Zaradi slabega usedanja aktivnega blata na ČN X, bi glede na opravljene poskuse kratkoročno dodajali sol z namenom izboljšati morfološko strukturo flokul. S poskusi smo ugotovili, da se je usedljivost aktivnega blata najbolj povečala po dodatku $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \times 16\text{H}_2\text{O}$ pri koncentraciji $15 \text{ gAl}^{3+}/\text{kgSS}$. V nadaljevanju so izračuni stroškov za 30 dnevno dodajanje $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \times 16\text{H}_2\text{O}$ v eden SBR bazen.

Podatki za ČN X:

SBR bazen z velikostjo 300 m^3 ima delovni volumen 200 m^3 . Koncentracija aktivnega blata v bazenu je v povprečju 6 g/l .

Izračun mase $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \times 16\text{H}_2\text{O}$ za enkratno aplikacijo v aeracijski bazen v koncentraciji 15 gAl/kgSS :

$$\text{Masa Al}^{3+} \text{ potrebna za } 0,006 \text{ kgSS/l} = 15 \text{ gAl}^{3+}/\text{kgSS} \times 0,006 \text{ kg/l} = 0,09 \text{ gAl}^{3+}/\text{l} \quad \dots(5)$$

$$\text{Masa Al}_2(\text{SO}_4)_3 \times 16\text{H}_2\text{O} = \frac{630,49 \frac{\text{g}}{\text{mol}} \times 0,09 \text{ g Al}^{3+}}{2 \text{ mol} \times 26,98 \frac{\text{g}}{\text{mol}}} = 1,05 \text{ g Al}_2(\text{SO}_4)_3 \times 16\text{H}_2\text{O}/\text{l} \quad \dots(6)$$

$$\begin{aligned} \text{Masa Al}_2(\text{SO}_4)_3 \times 16\text{H}_2\text{O} \text{ potrebna za } 200 \text{ l aktivnega blata} = & \dots(7) \\ 1,05 \text{ g Al}_2(\text{SO}_4)_3 \times 16\text{H}_2\text{O}/\text{l} \times 200 \text{ l} = 210 \text{ g} = 2,1 \text{ kg} \end{aligned}$$

Če bi sol v aeracijski bazen dodajali trikrat na dan, bi potrebovali $6,3 \text{ kg Al}_2(\text{SO}_4)_3 \times 16\text{H}_2\text{O}$. Ker po dodatku soli del aktivnega elementa (Al^{3+}) ostane nevezanega, bi sčasoma lahko zmanjšali koncentracijo dodane soli, zato bi 15 dni dodajali $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \times 16\text{H}_2\text{O}$ trikrat na dan, naslednjih 15 dni pa le enkrat na dan. Skupna masa $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \times 16\text{H}_2\text{O}$, ki bi jo dodali v aktivno blato, bi bila 126 kg .

Izračun stroškov:

Če bi v aktivno blato na čistilni napravi aplicirali $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \times 16\text{H}_2\text{O}$ (Fluka, Sigma Aldrich) s čistostjo $>95 \%$, kot smo ga uporabili v laboratorijskih poskusih, bi bila cena na kilogram 31 evrov . Strošek za 126 kg soli bi bil torej 3906 evrov . Ker pa je to zelo visoka finančna obremenitev za čistilno napravo, smo na trgu poiskali cenejšo ponudbo za že pripravljen $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ v raztopini s čistostjo 30% (Kemclar KTM d.o.o., Slovenija), kjer bi za primerljivo učinkovitost potrebovali trikrat večjo količino raztopine, torej bi potrebovali okoli 380 kg raztopine $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$. Cena produkta je 200 evrov na tono, za potrebno količino bi bil strošek okoli 80 evrov .

6 SKLEPI

Z rezultati, ki smo jih dobili pri izvedenih poskusih, lahko zaključimo, da smo potrdili dve zastavljeni hipotezi v zvezi s povečanjem usedljivosti aktivnega blata:

- Dodatek vseh anorganskih soli in flokulanta je vplival na izboljšanje morfološke strukture flokul in usedljivosti aktivnega blata iz ČN X, pri tem se je usedljivost najbolj povečala po dodatku $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \times 16\text{H}_2\text{O}$.
- Povečanje koncentracije raztopljenega kisika je prav tako izboljšalo strukturo flokul in usedljivost blata iz ČN X, največje znižanje vrednosti SVI smo dosegli v bioreaktorju 2, kjer smo vzdrževali najvišjo koncentracijo kisika.

Hipotezi smo potrdili le pri poskusih z aktivnim blatom ČN X, medtem ko rezultati poskusov z aktivnim blatom iz CČN Ptuj niso v skladu z zastavljenima hipotezama.

Tretje hipoteze o vplivu maščob na morfološko strukturo aktivnega blata nismo potrdili, saj v nobenem poskusu z aktivnim blatom ni prišlo do opaznega povečanja števila nitastih bakterij.

Rezultati učinkov čiščenja odpadne vode pri poskusu s prepihanjem so v skladu s pričakovanji.

7 POVZETEK

Čiščenje odpadne vode na bioloških čistilnih napravah je kompleksen proces, pri katerem ima eno glavnih vlog aktivno blato. Aktivno blato je heterogena zmes mikroorganizmov, koloidov, organskih polimerov in kationov, ki se povezujejo v flokule. Pomembna je tako mikrobiološka kot morfološka struktura aktivnega blata, prva zato, ker heterogena združba omogoča kompletno čiščenje organskih onesnažil in virov dušika ter fosforja, druga pa zato, ker morfologija flokul vpliva na posedanje aktivnega blata. Posedanje je ključni proces v zadnji fazi čiščenja, ko se mora blato ločiti od očiščene odpadne vode. Boljše je posedanje aktivnega blata, boljša je kvaliteta iztoka. Razrast filamentoznih bakterij v aktivnem blatu lahko povzroči napihovanje in penjenje blata, s tem pa vpliva na poslabšanje kvalitete iztoka. Obstaja veliko načinov odpravljanja težav z napihnjenim blatom, ki imajo kratkoročni (nespecifične metode) ali dolgoročni učinek (specifične metode). V tej nalogi smo z aktivnim blatom iz CČN Ptuj in ČN X preizkusili dva načina, ki se uporabljata pri odpravljanju nitastih bakterij. Med nespecifičnimi metodami smo izbrali dodajanje soli in flokulanta v aktivno blato, med specifičnimi pa povečanje koncentracije DO oz. prepihovanja aktivnega blata. Poleg tega smo preverili tudi, ali povišana koncentracija maščob v vtoku vpliva na razrast nitastih bakterij.

V poskusu s koagulant in flokulantom smo v aktivno blato dodali posamezne soli AlCl_3 , $\text{FeCl}_3 \times 16\text{H}_2\text{O}$, $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \times 16\text{H}_2\text{O}$, poli- AlCl_3 in flokulant Nanofloc A644 ter spremljali njihov vpliv na pH, usedljivost in morfološko strukturo aktivnega blata. Pri poskusu s prepihovanjem smo poleg usedljivosti in morfološke strukture aktivnega blata spremljali še učinkovitost čiščenja organskega ogljika, dušika in fosforja. Ugotovili smo, da dodatek koagulantov in flokulantov ni vplival na izboljšanje morfološke strukture in usedanje aktivnega blata iz CČN Ptuj, medtem ko so se flokule po dodatku soli in flokulanta v aktivno blato ČN X povečale, postale bolj kompaktne in omogočile boljše posedanje. Nitaste bakterije v okolici flokule so se povezale s suspendiranimi delci in so se skrile v notranjost flokul, posledično se je FI po dodatku vseh soli zmanjšal iz vrednosti $\text{FI}=3-4$ na $\text{FI}=1$. Najboljše posedanje aktivnega blata iz ČN X smo dosegli po dodatku $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \times 16\text{H}_2\text{O}$ (za 33,5 %). Dodatek soli je povzročil znižanje pH vrednosti suspenzije aktivnega blata po dodatku v aktivno blato iz CČN Ptuj in iz ČN X. Najmanjši vpliv na pH vrednost je imel flokulant Nanofloc A644. Pred dodatkom soli v aeracijske bazene na ČN je zelo pomembno, da z laboratorijskimi testi preverimo, pri kateri koncentraciji in s katero snovjo najbolj izboljšamo usedljivost. Tudi v tej nalogi se je izkazalo, da z laboratorijskimi poskusi pridobimo pomembne informacije o vplivu koagulantov/flokulantov na morfologijo aktivnega blata in posledično na njegovo usedljivost. Ker se aktivno blato iz različnih ČN razlikuje po morfološki strukturi, FI in kemijski sestavi, vse to vpliva na učinkovitost delovanja koagulantov/flokulantov. Kljub temu, da smo soli v aktivno blato iz ČN X in CČN Ptuj dodajali v istih koncentracijah, je dodatek soli v blato iz CČN Ptuj poslabšal usedljivost, zato sklepamo, da smo uporabili previsoko koncentracijo soli in s tem vplivali na inverzijo naboja na površini suspendiranih delcev. Pri poskusu s

prepihovanjem aktivnega blata smo na izboljšanje usedljivosti in morfološke strukture flokul vplivali le pri aktivnem blatu iz ČN X. V bioreaktorju 2, kjer smo vzdrževali najvišjo koncentracijo kisika, smo izboljšali SVI vrednost, ki je ostala nizka (pod 150 g/ml) v celotnem pet-dnevnem poskusu. V bioreaktorju 1 se je vrednost SVI tudi znižala, vendar manj kot v bioreaktorju 2 in je zadnji dan poskusa narastla nad 200 ml/g. FI se je v obeh bioreaktorjih znižal iz FI=4 na FI=1. V bioreaktorju 3, kjer smo vzdrževali nizko koncentracijo kisika, pa je bila vrednost SVI ves čas zelo visoka, prav tako se morfologija flokul ni spremenila, vrednost FI na zadnji dan poskusa je bila še vedno FI=3. Rezultati kemijskih analiz iztoka bioreaktorjev po 23 urnem čiščenju so v skladu s pričakovanji in razmerami, ki so bile prisotne v vsakem bioreaktorju. Najboljši učinek čiščenja ogljika, dušika in fosforja smo dosegli v bioreaktorju 1, kjer so bile razmere najbolj podobne tistim na čistilni napravi. Najslabši učinek čiščenja je bil v bioreaktorju 3, saj sta bili zaradi nizke koncentracije DO onemogočeni nitrifikacija in aerobna razgradnja organskih snovi s strani heterotrofnih bakterij. V poskusu z dodajanjem maščob kot dodatnim virom hranil nismo v nobenem aktivnem blatu (ne iz CČN Ptuj, ne iz ČN X) vplivali na povečanje števila nitastih bakterij. Sklepamo, da bi lahko bili vzroki, da se število FB ni povečalo, neprimerna sestava maščob ali pa previsoka temperatura za razmnoževanje FB, predvsem bakterije *Candidatus M. parvicella*.

Z našimi poskusi smo demonstrirali, da z izbranimi metodami, ki se že uporabljajo pri sanaciji napihnenega blata, lahko vplivamo na izboljšanje usedljivosti in s tem na kvalitetnejši iztok. Ker je aplikacija koagulatnov/flokulantov dodatna finančna obremenitev, je pomembno, da z laboratorijskimi ali pilotnimi poskusi preverimo vpliv dodatka soli na aktivno blato in tako ugotovimo, katera in pri kakšni koncentraciji ima najboljši učinek. Tudi prepihovanje aktivnega blata poveča obratovalne stroške zaradi povečane porabe električne energije, zato bi bilo potrebno izbrati več koncentracijskih območij DO v aktivnem blatu, kot smo jih preverili v našem poskusu in s tem določiti finančno najbolj ugodno rešitev, ki bi še vedno pripomogla k izboljšanju strukture aktivnega blata in posledično njegovega posedanja.

8 VIRI

- Agriodiotis V., Forster C. F., Carliell-Marquet C. 2007. Addition of Al and Fe salts during treatment of paper mill effluents to improve activated sludge settlement characteristics. *Bioresource Technology*, 98, 15: 2926–2934
- Beer M., Seviour E., Kong Y., Cunningham M., Blackall L., Seviour R. 2002. Phylogeny of the filamentous bacterium Eikelboom type 1851, and design and application of a 16S rRNA targeted oligonucleotide probe for its fluorescence in situ identification in activated sludge. *FEMS Microbiology Letters*, 207, 2: 179–183
- Blackall L., Seviour E., Bradford D., Rossetti S., Tandoi V., Seviour R. 2000. ‘*Candidatus Nostocoida limicola*’, a filamentous bacterium from activated sludge. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 50, 2: 703–709
- Brdjanovic D., Slamet A., van Loosdrecht M. C., Hooijmans C. M., Alaerts G. J., Heijnen J. J. 1998. Impact of excessive aeration on biological phosphorus removal from wastewater. *Water Research*, 32, 1: 200–208
- Brock J., Schulz-Vogt H. 2011. Sulfide induces phosphate release from polyphosphate in cultures of a marine *Beggiatoa* strain. *The ISME Journal*, 5, 3: 497–506
- CČN Ptuj. 2012. Poslovnik za obratovanje Čistilne naprave Ptuj. Ptuj, Komunalno podjetje Ptuj d.d. (interno gradivo)
- Chudoba J., Grau P., Ottová V. 1973. Control of activated-sludge filamentous bulking–II. selection of microorganisms by means of a selector. *Water Research*, 7, 10: 1389–1406
- Clescerl L. S., Greenbreg A.E., Eaton A. D. 1999. Standard methods for examination of water and wastewater. 20th ed. NW Washington. Public Health Association: 1325 str.
- Daligault H., Lapidus A., Zeytun A., Nolan M., Lucas S., Del Rio T. G., Tice H., Cheng J. F., Tapia R., Han C., Goodwin L., Pitluck S., Liolios K., Pagani I., Ivanova N., Huntemann M., Mavromatis K., Mikhailova N., Pati A., Chen A., Palaniappan K., Land M., Hauser L., Brambilla E. M., Rohde M., Verbarg S., Göker M., Bristow J., Eisen J. A., Markowitz V., Hugenholtz P., Kyrpides N. C., Klenk H. P., Woyke T. 2011. Complete genome sequence of *Haliscomenobacter hydrossis* type strain (O). *Standards in Genomic Sciences*, 4, 3: 352–360

- De Schryver P., Crab R., Defoirdt T., Boon N., Verstraete W. 2008. The basics of bio-flocs technology: the added value for aquaculture. *Aquaculture*, 277, 3–4: 125–137
- Duan J. M., Gregory J. 2003. Coagulation by hydrolysing metal salts. *Advances in Colloid and Interface Science*, 100: 475–502
- Eckenfelder W. W. 2000. Industrial water pollution control. 3rd ed. Singapore, McGraw-Hill: 600 str.
- Eikelboom D. H. 2000. Process control of activated sludge plants by microscopic investigation. London, IWA Publishing: 156 str.
- Finger R. E. 1973. Solid control in activated sludge plants with alum. *Journal of the Water Pollution Control Federation*, 45, 8: 1654-1662
- Gaval G., Pernelle J. J. 2003. Impact of the repetition of oxygen deficiencies on the filamentous bacteria proliferation in activated sludge, 37, 9: 1991-2000
- Garnier C., Görner T., Lartiges B., Abdelouhab S., de Donato P. 2005. Characterization of activated sludge exopolymers from various origins: A combined size-exclusion chromatography and infrared microscopy study. *Water Research*, 39, 13: 3044–3054
- Gojkošek D. 2012. Panoramska fotografija CCN Ptuj. Ptuj, CCN Ptuj (osebni vir, 2012)
- Guo J., Peng Y., Wang Z., Yuan Z., Yang X., Wang S. 2012. Control filamentous bulking caused by chlorine-resistant Type 021N bacteria through adding a biocide CTAB. *Water Research*, 46, 19: 6531-6542
- Guo J., Peng Y., Wang S., Yang X., Yuan Z., 2014. Filamentous and non-filamentous bulking of activated sludge encountered under nutrients limitation of deficiency conditions. *Chemical Engineering Journal*, 255: 453-461
- Hwang Y., Tanaka T. 1998. Control of *Microthrix parvicella* foaming in activated sludge.” *Water Research*, 32, 5: 1678–1686
- 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, 4th ed. Florida, CRC Press: 190 str.
- Jonsson L. 2005. Control of sludge bulking in an SBR-plant treating slaughterhouse wastewater. Magistrsko delo. Uppsala, Univerza Uppsala. Področje okoljskega in vodnega inženiringa: 52 str.

- Jorand F., Zartarian F., Thomas F., Block J. C., Bottero J. Y., Villemin G., Urbain V., Manem J. 1995. Chemical and structural (2d) linkage between bacteria within activated-sludge flocs. *Water Research*, 29, 7: 1639–1647
- Kaewpipat K., Grady C. P. L. 2002. Microbial population dynamics in laboratory-scale activated sludge reactors. *Water Science and Technology: A Journal of the International Association on Water Pollution Research*, 46, 1-2: 19–27
- Ketchum L. H. 1997. Design and physical features of sequencing batch reactors. *Water Science and Technology*, 35, 1: 11–18
- Kotay S., Datta T., Choi J., Goel R. 2011. Biocontrol of biomass bulking caused by *Haliscomenobacter hydrossis* using a newly isolated lytic bacteriophage. *Water Research*, 45, 2: 694–704
- Lakay T. M., Wentzel M. C., Ekama G. A., Marais G. V. R. 1988. Bulking control with chlorination in a nutrient removal activated sludge system. *Water S. A.* 14: 35–42
- Liao B. Q., Allen D. G., Droppo I. G., Leppard G. G., Liss S. N. 2001. Surface properties of sludge and their role in bioflocculation and settleability. *Water Research*, 35, 2: 339–350
- Lienen T., Kleyböcker A., Verstraete W., Würdemann H. 2014a. Moderate temperature increase leads to disintegration of floating sludge and lower abundance of filamentous bacterium *Microthrix parvicella* in anaerobic digesters. *Water Research*, 65: 203–212
- Lienen T., Kleyböcker A., Verstraete W., Würdemann H. 2014b. Foam formation in a downstream digester of a cascade running full-scale biogas plant: influence of fat, oil and grease addition and abundance of the filamentous bacterium *Microthrix parvicella*. *Bioresource Technology*, 153: 1–7
- Liu Y., Liu Q. S. 2006. Causes and control of filamentous growth in aerobic granular sludge sequencing batch reactors. *Biotechnology Advances*, 24, 1: 115–127
- Lyko S., Teichgräber B., Kraft A. 2012. Bulking control by low-dose ozonation of returned activated sludge in a full-scale wastewater treatment plant. *Water Science and Technology: A Journal of the International Association on Water Pollution Research*, 65, 9: 1654–1659
- Mace S., Mata-Alvarez J. 2002. Utilization of SBR technology for wastewater treatment: □ an overview. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 41, 23: 5539–5553

- Madoni P., Davoli D., Gibin G. 2000. Survey of filamentous microorganisms from bulking and foaming activated-sludge plants in Italy. *Water Research*, 34, 6: 1767–1772
- Mamais D., Andreadakis A., Noutsopoulos C., Kalergis C. 1998. Causes of, and control strategies for, *Microthrix parvicella* bulking and foaming in nutrient removal activated sludge systems. *Water Science and Technology*, 37, 4-5: 9-17
- Mamais D., Kalaitzi E., Andreadakis A. 2011. Foaming control in activated sludge treatment plants by coagulants addition. *International Journal of Global Nest*, 13, 3: 237-245
- Martins A. M. P., Heijnen J., van Loosdrecht M. 2003. Effect of dissolved oxygen concentration on sludge settleability. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 62, 5–6: 586–593
- Martins A. M. P., Pagilla K., Heijnen J. J., van Loosdrecht M. C. M. 2004. Filamentous bulking sludge—a critical review. *Water Research*, 38, 4: 793–817
- McKenzie C., Seviour E., Schumann P., Maszenan A., Liu J. R., Webb R., Monis P., Saint C., Steiner U., Seviour R. 2006. Isolates of ‘*Candidatus Nostocoida limicola*’ Blackall et al. 2000 should be described as three novel species of the genus *Tetrasphaera*, as *Tetrasphaera jenkinsii* Sp. Nov., *Tetrasphaera vanveenii* Sp. Nov. and *Tetrasphaera veronensis* Sp. Nov. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 56, 10: 2279–2290
- Mulder A., van de Graaf A. A., Robertson L. A., Kuenen J. G. 1995. Anaerobic ammonium oxidation discovered in a denitrifying fluidized bed reactor. *FEMS Microbiology Ecology*, 16, 3: 177–83
- Nielsen H., Kragelund C., Seviour R., Nielsen J. P. 2009. Identity and ecophysiology of filamentous bacteria in activated sludge. *FEMS Microbiology Reviews*, 33, 6: 969–998
- Noutsopoulos C., Mamais D., Andreadakis A. 2012. A hypothesis on *Microthrix parvicella* proliferation in biological nutrient removal activated sludge systems with selector tanks. *FEMS Microbiology Ecology*, 80, 2: 380–389
- Palm J., Jenkins D. 1980. Relationship between organic loading, dissolved oxygen concentration and sludge settleability in the completely-mixed activated sludge process. *Journal of the Water Pollution Control Federation*, 52, 10: 2484–2506

- Pavoni J. L., Tenney M. W., Echelberger W. F. 1972. Bacterial extracellular polymers and biological flocculation. *Journal of the Water Pollution Control Federation*, 44, 3: 414-431
- Petrovski S., Dyson Z., Quill E., McIlroy S., Tillett D., Seviour R. 2011. An examination of the mechanisms for stable foam formation in activated sludge systems. *Water Research*, 45, 5: 2146–2154
- Philips S., Rabaey K, Verstraete W. 2003. Impact of iron salts on activated sludge and interaction with nitrite or nitrate. *Bioresource Technology*, 88, 3: 229–239
- Richard M., Brown S., Collins F., 2003. Activated sludge microbiology problems and their control. Presented on the 20th Annual USEPA National Operator Trainers Conference Buffalo. Albany, New York State Department of Environmental Conservation: 21 str.
<http://www.dec.ny.gov/chemical/34373.html> (april, 2014)
- Righi A., 2014. Lastnosti flokulanta VTA Nanofloc A644. Avstrija, VTA GmbH, a.righi@vta.cc (osebni vir, 23. maj 2014)
- Rossetti S., Tomei M. C., Nielsen P. H., Tandoi V. 2005. “*Microthrix parvicella*”, a filamentous bacterium causing bulking and foaming in activated sludge systems: a review of current knowledge. *FEMS Microbiology Reviews*, 29, 1: 49–64
- Roš M., Zupančič G., 2010. Čiščenje odpadnih voda. Velenje, Visoka šola za varstvo okolja: 330 str.
- SBR – Sequencing batch reactor. 2014. Padova, T&D Water Technologies and Development: 1 str.
<http://www.t-and-d-italy.com/products/wastewater/sbr-plants/> (junij, 2014)
- Speirs L., Nittami T., McIlroy S., Schroeder S., Seviour R. 2009. Filamentous bacterium Eikelboom type 0092 in activated sludge plants in Australia is a member of the phylum *Chloroflexi*. *Applied and Environmental Microbiology*, 75, 8: 2446–2452
- Tsang Y. F., Chua H., Sin S., Tam C. 2006. A novel technology for bulking control in biological wastewater treatment plant for pulp and paper making industry. *Biochemical Engineering Journal*, 32, 3: 127–134
- Urbain V., Block J. C., Manem J. 1993. Bioflocculation in activated sludge: an analytic approach. *Water Research*, 27, 5: 829-838

- Uredba o emisiji snovi pri odvajanju odpadne vode iz komunalnih čistilnih naprav. 2007.
Uradni list Republike Slovenije, 07, 45: 6170-6240
- van Loosdrecht M. C. M., Martins A. M., Ekama G. A. 2008. Bulking sludge. V:
Biological wastewater treatment: principles, modelling and design. Henze M. (ed.).
London, IWA Publishing: 291-309
- Wilén B. M., Balmer P. 1999. The effect of dissolved oxygen concentration on the
structure, size and size distribution of activated sludge flocs. Water Research, 33, 2:
391–400
- Wilén B. M., Jin B., Lant P. 2003. The influence of key chemical constituents in activated
sludge on surface and flocculating properties. Water Research, 37, 9: 2127–2139
- Xie B., Dai X., Xu Y. 2007. Cause and pre-alarm control of bulking and foaming by
Microthrix parvicella—a case study in triple oxidation ditch at a wastewater
treatment plant. Journal of Hazardous Materials, 143, 1–2: 184–191
- Xu S., Sun M., Zhang C., Surampalli R., Hu Z. 2014. Filamentous sludge bulking control
by nano zero-valent iron in activated sludge treatment plant. Environmental Science
Processes and Impacts, 16: 2721-2728

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorici prof. Romani Marinšek Logar in recenzentu prof. Hrvoju Petkoviću za napotila in popravke naloge.

Hvala laboratoriju Komunalnega podjetja Ptuj, ki mi je omogočilo izvajanje poskusov in kemijskih analiz v sklopu praktičnega dela. Zahvala gre Brigiti, ki me je v času praktičnega dela ves čas usmerjala in spodbujala ter vsem v laboratoriju, ki so mi bili vedno pripravljeni pomagati. Hvala tudi Daniju, ki mi je omogočil spremljanje aktualnih problemov na čistilnih napravah.

Hvala Ga. Ireni Čarman za pomoč pri mikroskopiranju.

Hvala Emilu in Vandi za prijaznost v času bivanja na Ptuj.

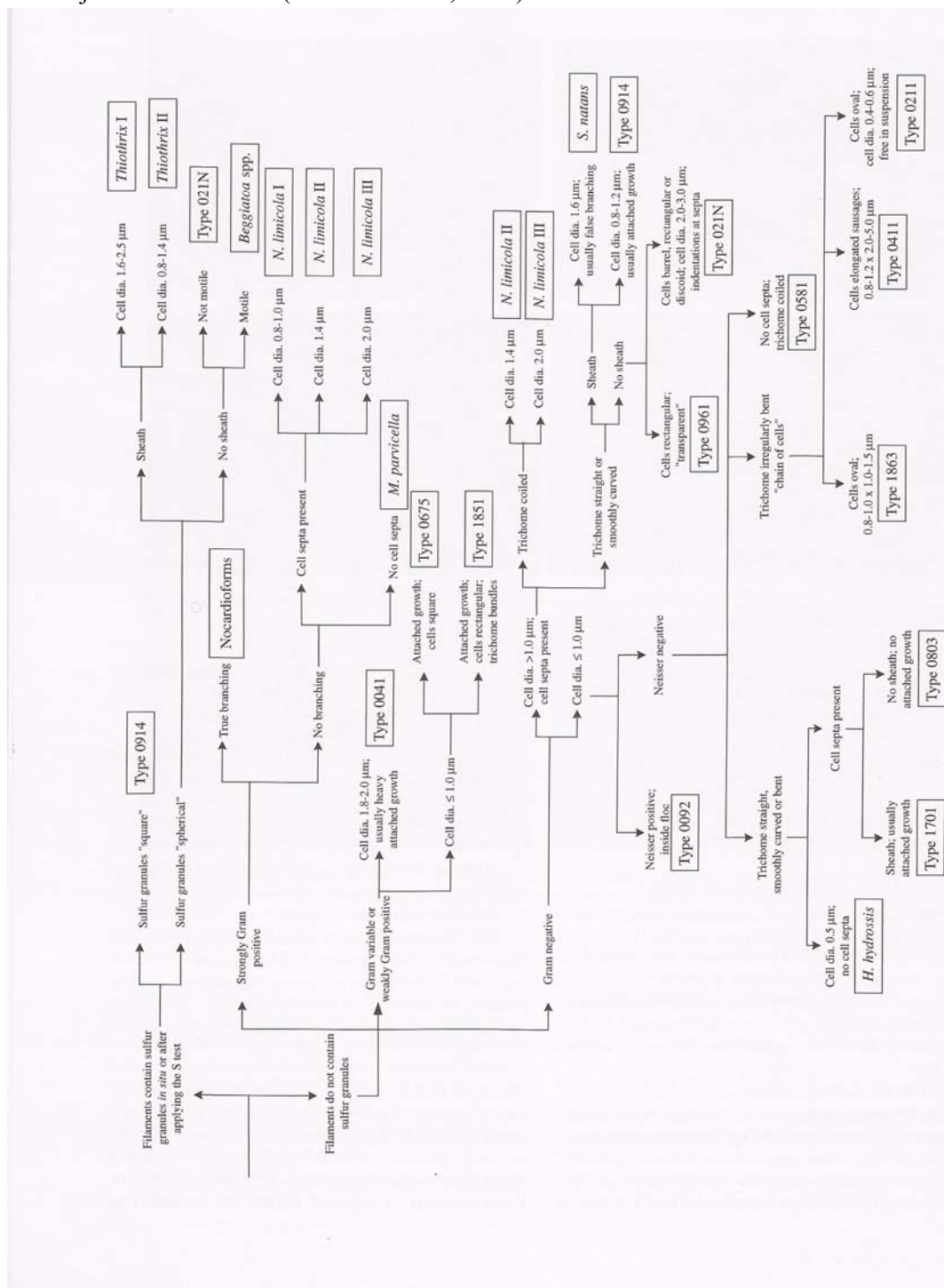
Hvala Tilnu za podporo. Hvala, da ves čas verjameš vame in mi polepšaš vsakdan.

Posebna zahvala gre moji družini, da mi je omogočila brezskrbni študij in me spodbujala pri vseh odločitvah.

Hvala tudi sošolkam Andreji, Mateji in Tamari za lepa, sproščena in zabavna študentska leta.

PRILOGE

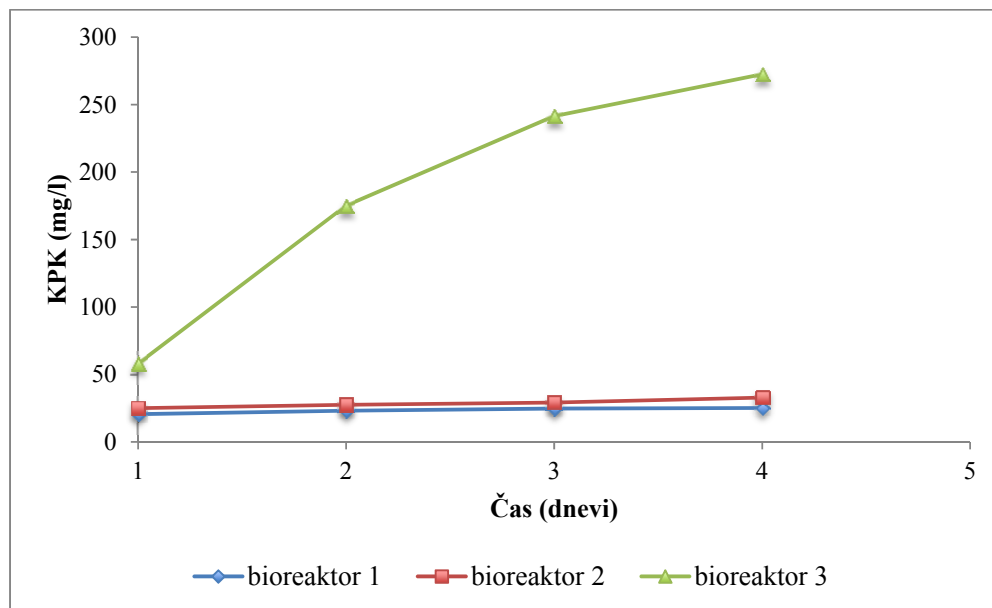
Priloga A: Dihotomni ključ, ki smo ga uporabili kot pomoč pri identifikaciji nitastih bakterij v aktivnem blatu (Jenkins in sod., 2004).



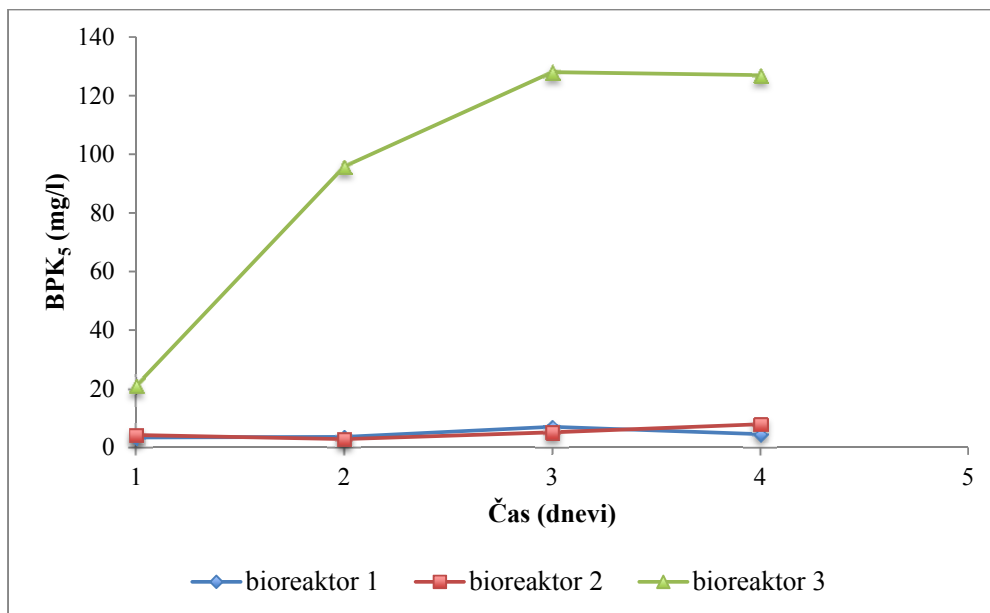
Priloga B: Podatki kemijskih analiz iztoka pri pet-dnevem poskusu s prepihovanjem aktivnega blata iz CČN Ptuj

Priloga B1: Lastnosti vtoka, uporabljenega v poskusu z aktivnim blatom CČN Ptuj.

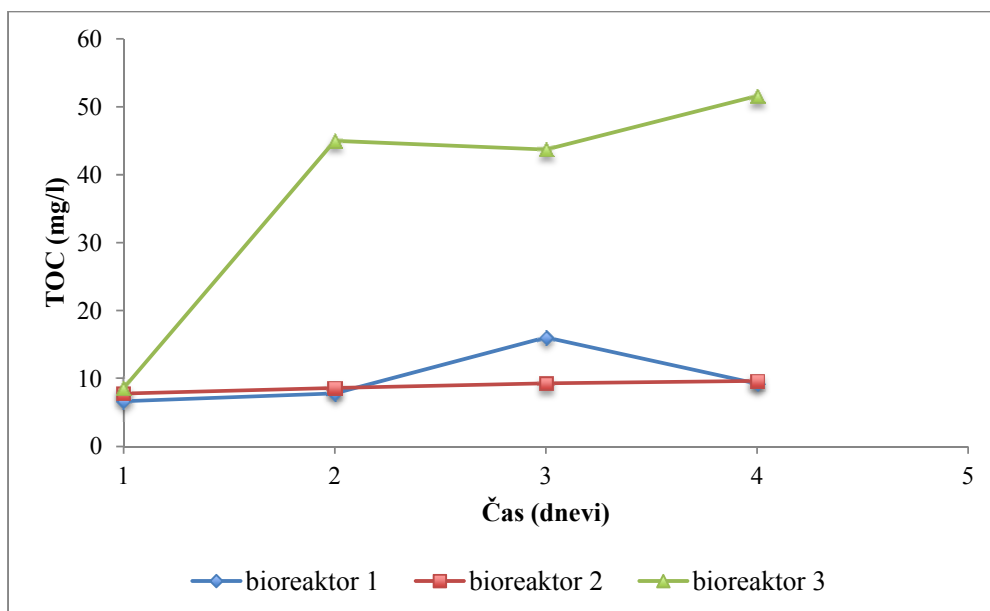
Parameter	Rezultat
pH	7,43
KPK (mg/l)	921
BPK ₅ (mg/l)	403
TOC (mg/l)	203
TLS (mg/l)	112
NH ₄ -N (mg/l)	18,9
NO ₃ -N (mg/l)	<0,45
NO ₂ -N (mg/l)	<0,30
orto-PO ₄ -P (mg/l)	2,7
N _{tot} (mg/l)	41,8
P _{tot} (mg/l)	6,7
KPK po dodatku 0,500 g glukoze (mg/l)	1300



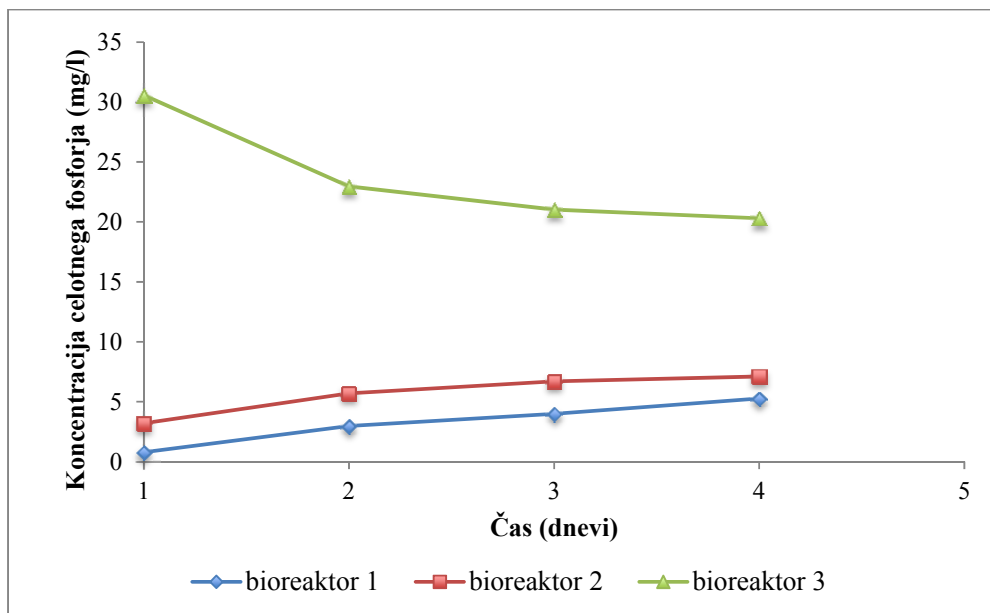
Priloga B2: Spremljanje koncentracije KPK v iztoku vseh treh bioreaktorjev po 23-urnem biološkem čiščenju v pet-dnevem poskusu z aktivnim blatom iz CČN Ptuj.



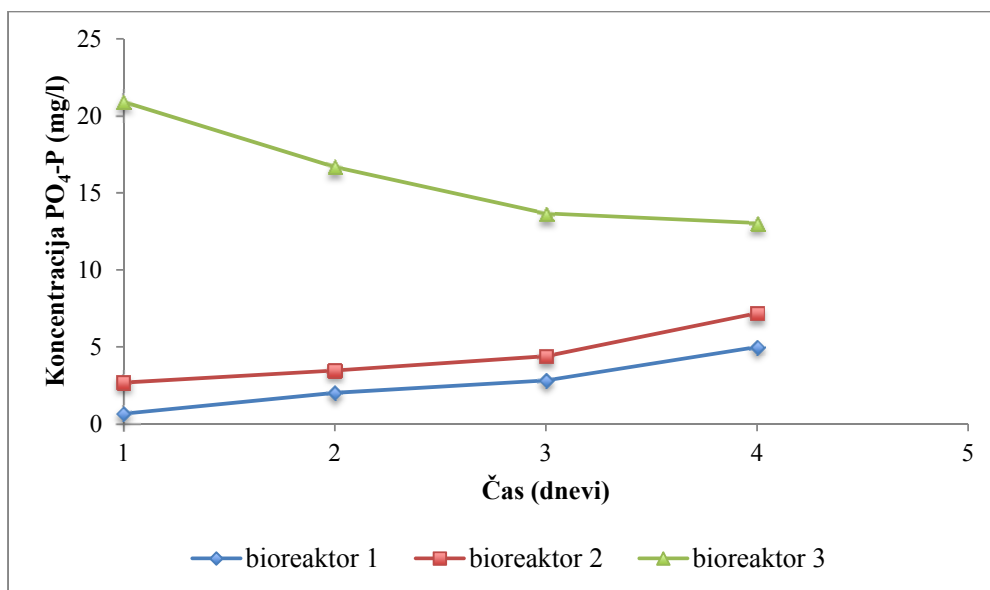
Priloga B3: Spremljanje koncentracije BPK_5 v iztoku vseh treh bioreaktorjev po 23-urnem biološkem čiščenju v pet-dnevem poskusu z aktivnim blatom iz CČN Ptuj.



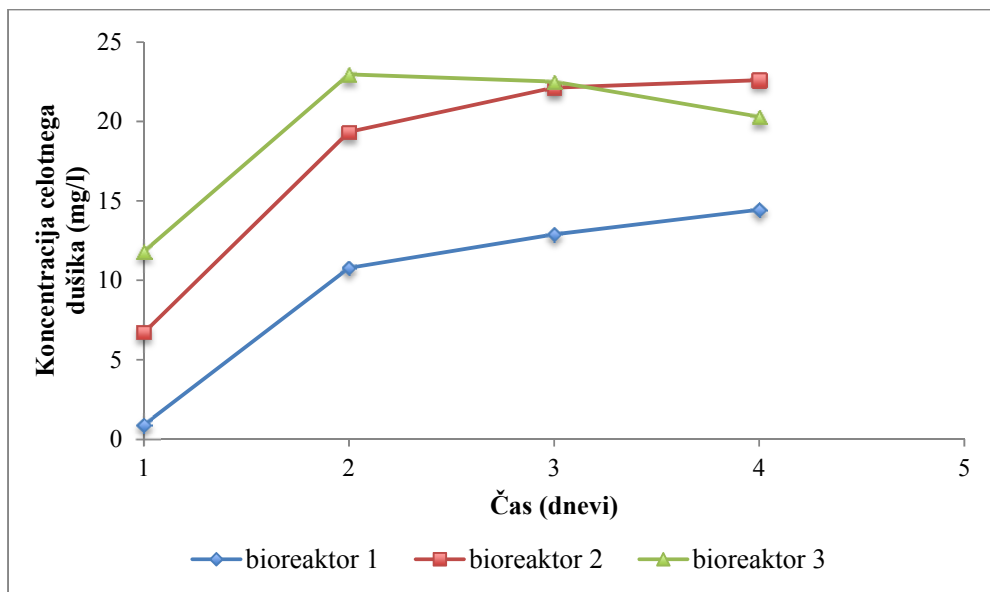
Priloga B4: Spremljanje koncentracije TOC v iztoku vseh treh bioreaktorjev po 23-urnem biološkem čiščenju v pet-dnevem poskusu z aktivnim blatom iz CČN Ptuj.



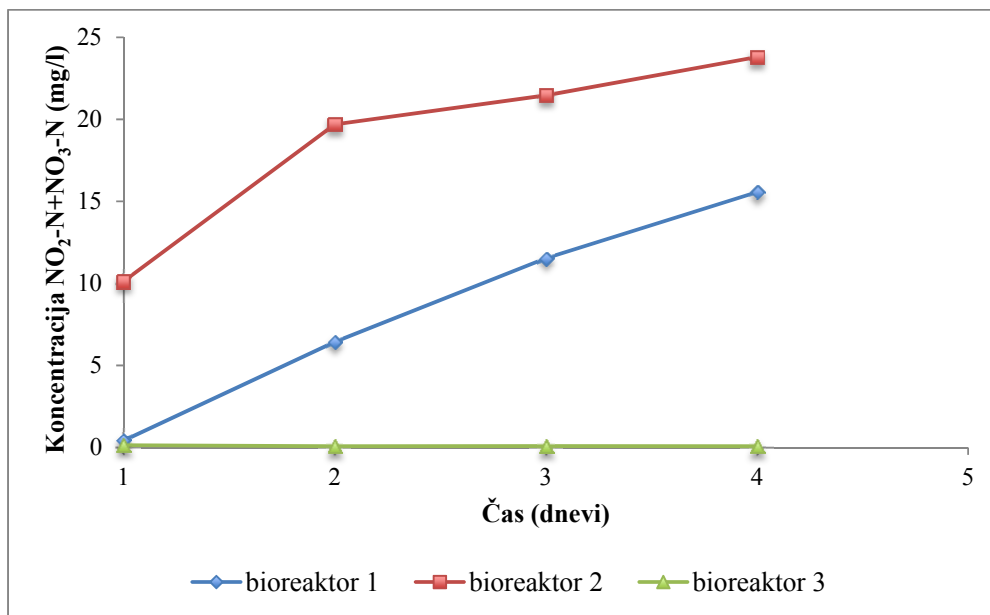
Priloga B5: Spremljanje koncentracije skupnega fosforja v iztoku vseh treh bioreaktorjev po 23-urnem biološkem čiščenju v pet-dnevnem poskusu z aktivnim blatom iz CČN Ptuj.



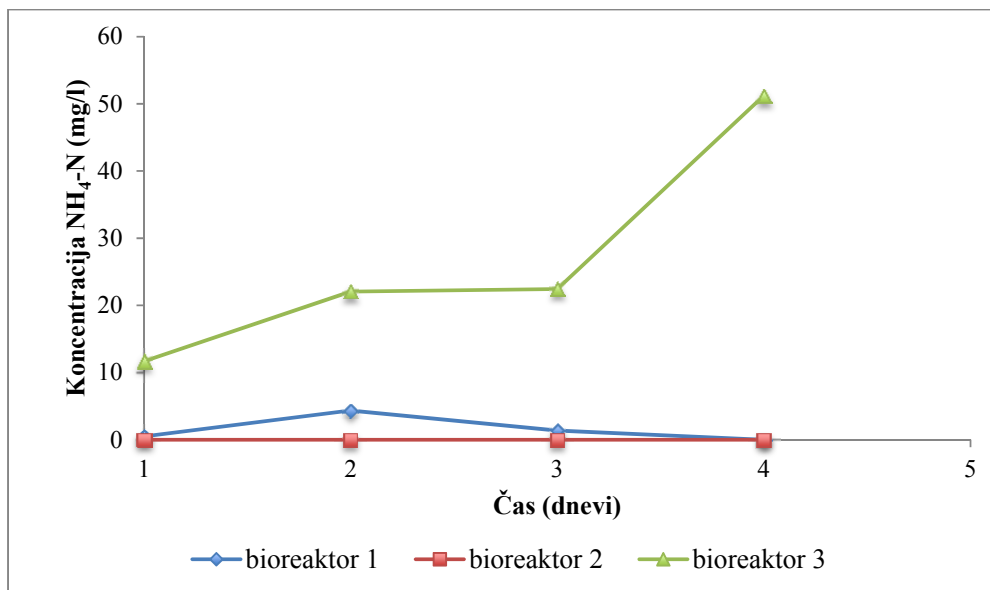
Priloga B6: Spremljanje koncentracije orto - fosfata v iztoku vseh treh bioreaktorjev po 23-urnem biološkem čiščenju v pet-dnevnem poskusu z aktivnim blatom iz CČN Ptuj.



Priloga B7: Spremljanje koncentracije skupnega dušika v iztoku vseh treh bioreaktorjev po 23-urnem biološkem čiščenju v pet-dnevnem poskusu z aktivnim blatom iz CČN Ptuj.



Priloga B8: Spremljanje koncentracije nitrata in nitrita v iztoku vseh treh bioreaktorjev po 23-urnem biološkem čiščenju v pet-dnevnem poskusu z aktivnim blatom iz CČN Ptuj.



Priloga B9: Spremljanje koncentracije amonijevega dušika v iztoku vseh treh bioreaktorjev po 23-urnem biološkem čiščenju v pet-dnevnem poskusu z aktivnim blatom iz CČN Ptuj.