

Univerza  
v Ljubljani  
Fakulteta  
*za gradbeništvo  
in geodezijo*

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



Univerzitetni program Vodarstvo in  
komunalno inženirstvo

Kandidat:

**Iztok Pečjak**

**Simulacija procesov čiščenja odpadne vode in  
možna idejna rešitev posodobitve CČN Škofja  
Loka**

**Diplomska naloga št.: 170**

**Mentor:**

izr. prof. dr. Jože Panjan

**Somentor:**

asist. dr. Mario Krzyk

Ljubljana, 24. 6. 2011

## STRAN ZA POPRAVKE

Stran z napako	Vrstica z napako	Namesto	Naj bo

## **IZJAVA O AVTORSTVU**

Podpisani **Iztok Pečjak** izjavljam, da sem avtor diplomske naloge z naslovom:  
**»Simulacija procesov čiščenja odpadne vode in možna idejna rešitev posodobitve CČN Škofja Loka«**

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

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

Ljubljana, \_\_\_\_\_2011

Iztok Pečjak

---

## **IZJAVE O PREGLEDU NALOGE:**

Nalogo so si ogledali učitelji študija Vodarstva in komunalnega inženirstva:

**BIBLIOGRAFSKO - DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK**

<b>UDK:</b>	<b>628.35:004.94(043.2)</b>
<b>Avtor:</b>	<b>Iztok Pečjak</b>
<b>Mentor:</b>	<b>izr. prof. dr. Jože Panjan</b>
<b>Somentor:</b>	<b>asist. dr. Mario Krzyk</b>
<b>Naslov:</b>	<b>Simulacija procesov čiščenja odpadne vode in možna idejna rešitev posodobitve CČN Škofja Loka</b>
<b>Obseg in oprema:</b>	<b>178 str., 35 pregl., 70 sl., 5 grafik.,</b>
<b>Ključne besede:</b>	<b>simulacija procesov, CČN Škofja Loka, aplikacija AQUIFAS, posobitev ČN</b>

**IZVLEČEK**

Poleg izgradnje novih čistilnih naprav se v zadnjih letih pospešeno odvija tudi posodabljanje obstoječih čistilnih naprav. Potrebe po posodobitvah so v večji meri posledica neizpolnjevanja iztočnih mejnih vrednosti parametrov, kot sta dušik in fosfor. Ena od čistilnih naprav katere posodabljanje s procesi za odstranjevanje hraniv še ni bilo izvedeno je Centralna čistilna naprava Škofja Loka. V diplomskem delu je narejena idejna študija posodobitve CČN Šk. L. s simulacijo procesov z računalniškim programom Aquifas. Modeli so sklopi matematičnih enačb, ki karakterizirajo proces in omogočajo simulacijo procesov. Obravnavani so modeli procesa čiščenja z aktivnim blatom (ASM) med katerimi je ASM2d sestavni del programa Aquifas. Kot del identifikacije možne rešitve posodobitve je narejen pregled procesov in tehnologij za odstranjevanje hraniv in med njimi je, kot ustrezna možna idejna rešitev, izbran proces  $A^2O$ , ki se ga je glede na vtočne vrednosti različnih parametrov na čistilno napravo poskušalo optimizirati s programom. Dobljeni rezultati za iztok iz tako zasnovanega procesa, in po optimizaciji različnih parametrov, so pod predpisnimi mejnimi vrednostmi. V diplomskem delu so predstavljena tudi pomembna vprašanja, ki jih je potrebno upoštevati pri nadgradnji obstoječih objektov, vključno s splošnimi dejavniki izbora, dejavniki načrtovanja in obratovanja in končni izbiri ustrezne tehnologije.

## **BIBLIOGRAPHIC – DOKUMENTALISTIC INFORMATION**

**UDC:** 628.35:004.94(043.2)

**Author:** Iztok Pečjak

**Supervisor:** Assoc. Prof. Jože Panjan, Ph. D.

**Co-supervisor:** Assist. Mario Krzyk, Ph. D.

**Title:** Simulation of wastewater treatment processes and possible idea solution for upgrading CČN Škofja Loka

**Notes:** 178 p., 35 tab., 70 fig., 5 gr.,

**Key words:** process simulation, WWTP Škofja Loka, application AQUIFAS, upgrading existing facilities

## **ABSTRACT**

In addition to building new treatment plants in recent years there is also increasingly taking place the upgrading of existing wastewater treatment plants. Need to upgrade is in larger extent because of failing to comply with effluent nutrient limits for parameters, such as nitrogen and phosphorus. One of the sewage facilities where upgrade of the processes for removal of nutrients has not yet been made is the Central Wastewater Treatment Plant Škofja Loka. This thesis has made preliminary studies of upgrade of WWTP Šk. L. by the simulation with a computer program Aquifas. The models are sets of mathematical equations that characterize the process and enable the simulation process. Activated sludge models (ASM) are being presented, of which ASM2d is a part of Aquifas application. As part of identifying possible solution for upgrading an overview of processes and technologies for the removal of nutrients has been done, and among them, as appropriate outline of possible solutions, the A<sup>2</sup>O process has been selected that I have regarding to the inflow of different parameters to the treatment plant tried to optimize with the program. The results for the effluent obtained from so conceived process and after optimization of various parameters are under regulatory limits. The thesis also presents important issues that need to be considered in upgrading existing facilities, including general selection factors, design and operation factors and the final selection of appropriate technology.

## ZAHVALA

Prisrčna hvala mentorju izr. prof. dr. Jožetu Panjanu in somentorju asist. dr. Mario Krzyku za strokovno pomoč, usmerjanje in prijaznost pri nastajanju diplomske naloge.

Posebna zahvala gre družini, ker mi je omogočila izobraževanje in me vseskozi vzpodbujala ter podpirala. Hvala tudi ostalim, ki so kakorkoli pripomogli k nastanku tega diplomskega dela.

Zahvalil pa se bi rad tudi dipl. inž. kem. tehnol. Mojci Müller, vodji laboratorija na CČN Škofja Loka, ki mi je omogočila voden individualni ogled čistilne naprave in vodji vzdrževanja CČN Škofja Loka, Antonu Ferdinu, za informacije o določenih tehničnih podatkih potrebnih za izdelavo te diplomske naloge.

## KAZALO VSEBINE

<b>1</b>	<b>UVOD .....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>BIOLOŠKO ODSTRANJEVANJE HRANIV .....</b>	<b>3</b>
<b>2.1</b>	<b>BIOLOŠKO ODSTRANJEVANJE DUŠIKA .....</b>	<b>4</b>
2.1.1	Dejavniki za odstranjevanje dušika .....	5
2.1.2	Tehnologije odstranjevanja dušika .....	11
2.1.3	Procesi za odstranjevanje dušika iz povratnega toka .....	32
<b>2.2</b>	<b>PROCESI ODSTRANJEVANJA FOSFORJA .....</b>	<b>40</b>
2.2.1	Biološko odstranjevanje fosforja .....	40
2.2.1.1	Dejavniki biološkega odstranjevanja fosforja .....	41
2.2.2	Kemijsko odstranjevanje fosforja .....	44
2.2.2.1	Dejavniki kemijskega odstranjevanja fosforja .....	46
2.2.3	Tehnologije odstranjevanja fosforja .....	50
2.2.3.1	Tehnologije biološkega odstranjevanja fosforja .....	50
2.2.3.2	Fizikalno-kemijski procesi odstranjevanja fosforja .....	52
<b>2.3</b>	<b>PROCESI ISTOČASNEGA ODSTRANJEVANJA DUŠIKA IN FOSFORJA .....</b>	<b>61</b>
2.3.1	Dejavniki istočasnega odstranjevanja dušika in fosforja .....	61
2.3.2	Tehnologije istočasnega odstranjevanja dušika in fosforja .....	62
<b>3</b>	<b>MODELI PROCESA ČIŠČENJA Z AKTIVNIM BLATOM .....</b>	<b>70</b>
<b>3.1</b>	<b>Razvoj ASM modelov .....</b>	<b>72</b>
<b>3.2</b>	<b>Osnove modela in zapis .....</b>	<b>75</b>
<b>3.3</b>	<b>Model procesa čiščenja z aktivnim blatom št. 1 (ASM1) .....</b>	<b>78</b>
3.3.1	Komponente v ASM1 .....	80
3.3.2	Procesi v ASM1 .....	83
3.3.3	Predpostavke in omejitve ASM1 .....	85
<b>3.4</b>	<b>Model procesa čiščenja z aktivnim blatom št. 2 (ASM2) .....</b>	<b>85</b>
3.4.1	Komponente v ASM2 .....	86
3.4.2	Procesi v ASM2 .....	88
3.4.3	Predpostavke in omejitve ASM2 .....	92
<b>3.5</b>	<b>Model procesa čiščenja z aktivnim blatom št. 2d (ASM2d) .....</b>	<b>93</b>
3.5.1	Komponente v ASM2d .....	93
3.5.2	Procesi v ASM2d .....	93
3.5.3	Predpostavke in omejitve ASM2d .....	97
<b>3.6</b>	<b>Model procesa čiščenja z aktivnim blatom št. 3 (ASM3) .....</b>	<b>98</b>
3.6.1	Komponente v ASM3 .....	98
3.6.2	Procesi v ASM3 .....	99
3.6.3	Predpostavke in omejitve ASM3 .....	103



<b>3.7 Primerjava modelov procesa čiščenja z aktivnim blatom.....</b>	<b>104</b>
<b>3.8 Simulacija procesov .....</b>	<b>108</b>
<b>3.9 AQUIFAS.....</b>	<b>111</b>
3.9.1 Priprava osrednjega dela modela za simulacijo v stacionarnih pogojih.....	113
<b>4 POSODABLJANJE OBSTOJEČIH ČISTILNIH NAPRAV .....</b>	<b>129</b>
<b>4.1 Splošni pristop k procesu posodabljanja ČN .....</b>	<b>129</b>
4.1.1 Kriteriji (merila) uspešnosti .....	129
4.1.2 Načrtovanje naprave .....	130
<b>4.2 Primerne tehnologije.....</b>	<b>131</b>
<b>4.3 Kriteriji (merila) izbire tehnologije.....</b>	<b>132</b>
<b>4.4 Zasnova in dejavniki obratovanja pri odstranjevanju hraniv .....</b>	<b>133</b>
<b>4.5 Dokončanje izbire procesa .....</b>	<b>136</b>
<b>5 CENTRALNA ČISTILNA NAPRAVA ŠKOFJA LOKA.....</b>	<b>140</b>
<b>5.1 Glavne tehnične značilnosti čistilne naprave.....</b>	<b>142</b>
5.1.1 Faze čiščenja čistilne naprave .....	142
5.1.2 Opis tehnologije čiščenja .....	145
5.1.3 Objekti naprave in njihove prostornine.....	146
<b>5.2 Poročilo o obratovalnem monitoringu za KČN Škofja Loka.....</b>	<b>146</b>
5.2.1 Obseg in vrsta meritev in analiz.....	147
5.2.2 Vrednotenje izmerjene emisije.....	149
<b>6 SIMULACIJA PROCESOV Z APLIKACIJO AQUIFAS IN IDEJNA ŠTUDIJA POSODOBITVE CČN ŠKOFJA LOKA .....</b>	<b>151</b>
<b>6.1 Simulacija procesa obstoječega stanja tehnologije čiščenja odpadne vode na CČN Škofja Loka.....</b>	<b>151</b>
6.1.1 Tip simulacije .....	152
6.1.2 Lastnosti vtoka .....	152
6.1.3 Konfiguracija reaktorja .....	156
6.1.4 Parametri reaktorja.....	158
6.1.5 Rezultati .....	159
<b>6.2 Idejna rešitev posodobitve CČN Škofja Loka .....</b>	<b>161</b>
6.2.1 Idejna zasnova posodobitve CČN Šk. L.....	161
<b>6.3 Simulacija idejne rešitve posodobitve z aplikacijo Aquifas .....</b>	<b>164</b>
6.3.1 Tip simulacije .....	165
6.3.2 Lastnosti vtoka .....	165
6.3.3 Konfiguracija reaktorja .....	165

6.3.4 Parametri reaktorja.....	167
6.3.5 Rezultati modela .....	169
<b>7 ZAKLJUČEK .....</b>	<b>174</b>
<b>8 VIRI .....</b>	<b>175</b>

## KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Zapis matrike za rast heterotrofnih bakterij v aerobnem okolju .....	76
Preglednica 2: Vsi parametri s komponentami in procesi ASM1 .....	80
Preglednica 3: Vse procesne stopnje za ASM1 .....	81
Preglednica 4: Komponente modela ASM1.....	82
Preglednica 5: Seznam parametrov v ASM1 .....	83
Preglednica 6: Komponente v ASM2 .....	86
Preglednica 7: Zapis različnih parametrov v ASM2.....	87
Preglednica 8: Enačbe stopenj v ASM2.....	88
Preglednica 9: Stehiometrijski koeficienti procesov hidrolize .....	90
Preglednica 10: Stehiometrijski koeficienti rasti in odmiranja heterotrofnih organizmov .....	90
Preglednica 11: Stehiometrijski koeficienti procesov fosfor akumulacijskih organizmov.....	91
Preglednica 12: Stehiometrijski koeficienti procesov nitrifikacije.....	91
Preglednica 13: Stehiometrijski koeficienti procesov, ki opisujejo simultano precipitacijo in ponovno raztapljanje fosforja.....	91
Preglednica 14: Enačbe stopenj ASM2d.....	94
Preglednica 15: Stehiometrijski koeficienti procesov hidrolize .....	95
Preglednica 16: Stehiometrijski koeficienti rasti in odmiranja heterotrofnih organizmov .....	96
Preglednica 17: Stehiometrijski koeficienti procesov fosfor akumulacijskih procesov .....	96
Preglednica 18: Stehiometrijski koeficienti procesov nitrifikacije.....	97
Preglednica 19: Stehiometrijski koeficienti procesov, ki opisujejo simultano precipitacijo in ponovno raztapljanje fosforja.....	97
Preglednica 20: Komponente v ASM3 .....	99
Preglednica 21: Stehiometrijska matrika $\omega_{j,i}$ .....	100
Preglednica 22: Kompozicijska matrika $l_{k,i}$ .....	101
Preglednica 23: Enačbe stopenj v ASM3.....	101
Preglednica 24: Primerjava po obsežnosti med modelom ASM1 in ASM3.....	105
Preglednica 25: Preglednica 1, kjer se vstavljajo podatki o vrednostih koncentracij parametrov na vtoku za simulacijo v stacionarnih pogojih.....	115
Preglednica 26: Matrika odločitve (1. primer).....	137

Preglednica 27: Matrika odločitve (2. primer) .....	137
Preglednica 28: Odsek preglednice v kateri se določi tip simulacije in enot .....	152
Preglednica 29: Podatki za povprečne letne vrednosti parametrov na vtoku na CČN Šk. L. za leto 2009.....	153
Preglednica 30: Uporabljeni pristop za določevanje parametrov vtoka v reaktor.....	154
Preglednica 31: Povprečne letne vrednosti vtoka v reaktor vstavljene v program Aquifas ...	155
Preglednica 32: Pregled izračunanih razmerij in prikaz ustreznosti le-teh .....	156
Preglednica 33: Rezultati za parametre iztoka pridobljeni s simulacijo pri različnih temperaturah in starostih blata.....	160
Preglednica 34: Odsek preglednice v kateri se določi tip simulacije in enot .....	165
Preglednica 35: Rezultati za iztok in predpisane mejne vrednosti .....	169

## KAZALO SLIK

Slika 1: Shema najbolj pogoste postavitve denitrifikacijskih filtrov.....	12
Slika 2: Biostyr medij brez in z biomaso.....	13
Slika 3: Shema 4-stopenjskega Bardenpho procesa .....	14
Slika 4: Vrsti IFAS sistemov .....	17
Slika 5: Primeri nosilcev biomase .....	18
Slika 6: Linpor <sup>®</sup> - porozni plastično penasti nosilci (medij) .....	18
Slika 7: Cleartec <sup>®</sup> - material za pritrditev biomase .....	19
Slika 8: Prikaz Cleartec <sup>®</sup> modulov v reaktorju.....	19
Slika 9: AccuWeb <sup>®</sup> modul v reaktorju .....	20
Slika 10: Namestitev Ringlace <sup>®</sup> sistema .....	21
Slika 11: Bioweb <sup>™</sup> moduli in prikaz Bioweb <sup>™</sup> mreže.....	21
Slika 12: Primer nosilca v procesu MBBR.....	22
Slika 13: Shema procesa postopnega hranjenja.....	25
Slika 14: Shema Biodenitro procesa.....	26
Slika 15: Shema Schreiber procesa .....	27
Slika 16: Schreiber bazen in vrtljiv most .....	27

Slika 17: Pilotna naprava procesa z granuliranim aktivnim blatom .....	29
Slika 18: Nereda <sup>TM</sup> granule.....	30
Slika 19: Kisikov gradient v granulah.....	31
Slika 20: Shema Nereda <sup>TM</sup> procesa.....	32
Slika 21: Shema Sharon-Anammox procesa.....	36
Slika 22: Anammox granule .....	37
Slika 23: Granulirano aktivno blato v Deamon procesu .....	38
Slika 24: Primerjava med konvencionalno nitrifikacijo/denitrifikacijo in delno nitritacijo anaerobno oksidacijo preostanka amonija z ustvarjenim nitritom.....	39
Slika 25: Deamon proces v naravnem merilu .....	39
Slika 26: Proces fermentacije.....	50
Slika 27: A/O proces oz. Phoredoks proces.....	51
Slika 28: Oksidacijski jarek z anaerobno cono .....	52
Slika 29: DensaDeg <sup>®</sup> procesni diagram .....	53
Slika 30: Actiflo <sup>®</sup> procesni diagram .....	54
Slika 31: CoMag <sup>®</sup> procesni diagram.....	54
Slika 32: DynaSand <sup>®</sup> filter.....	56
Slika 33: Stisljive, sintetične vlaknaste kroglice.....	57
Slika 34: Obratovalni cikli stisljivega, vlaknastega filtrirnega medija .....	57
Slika 35: Lastnosti odstranjevanja posameznih delcev in snovi različnih membranskih sistemov .....	58
Slika 36: Silikatni pesek prevlečen z železovim hidroksidom.....	59
Slika 37: Kremenčevo zrno pod mikroskopom.....	60
Slika 38: Centra-flo filter .....	60
Slika 39: A <sup>2</sup> O proces.....	63
Slika 40: Pet-stopenjski Bardenpho proces.....	64
Slika 41: Proces univerze Cape Town .....	65
Slika 42: Modificiran proces univerze Cape Town .....	66
Slika 43: Virginia Initiative proces .....	67
Slika 44: Johannesburg proces.....	68
Slika 45: BIODENIPHO proces .....	68
Slika 46: Westbank proces.....	69

Slika 47: Shematska predstavitev komponent in procesov v ASM1 in ASM3 .....	105
Slika 48: Odsek delovnega lista tipi simulacij .....	115
Slika 49: Pristop k določevanju parametrov vtoka v reaktor.....	117
Slika 50: Posebna preglednica za preverjanje razmerja KPK/TKN in KPK/TP .....	118
Slika 51: Vnos stopnje reciklov (recirkulacije) in količine dodatnega vira ogljika .....	119
Slika 52: Powerpoint aplikacija za skiciranje zasnove konfiguracije reaktorjev ČN.....	119
Slika 53: Vnos opisa celic, vrednosti in lokacije tokov in reciklov (recirkulacij).....	121
Slika 54: Prikaz preglednic 2, 2a in 2b, kjer se vnašajo dodatni parametri zasnove ali obratovalni parametri.....	123
Slika 55: Shema vrstnega reda preračuna in pridobivanja rešitve modela .....	124
Slika 56: Odsek delovnega lista, kjer so določeni kinetični koeficienti za heterotrofe.....	126
Slika 57: Odsek delovnega lista (konfiguracija usedalnika), na katerem lahko dimenzioniramo usedalnik.....	128
Slika 58: Centralna Čistilna Naprava (CČN) Škofja Loka.....	142
Slika 59: Faze čiščenja čistilne naprave .....	144
Slika 60: Shema postopka pridobivanja bioplina .....	145
Slika 61: Shematični prikaz postavitve celic reaktorja in usedalnika za obstoječe stanje ....	158
Slika 62: Parametri zasnove in obratovanja za reaktor.....	159
Slika 63: Preglednica s profili izračunanih parametrov skozi reaktor.....	161
Slika 64: Shema posodobljene preureditve čistilnega bloka B1 .....	162
Slika 65: Shema posodobljene preureditve čistilnega bloka B2 .....	162
Slika 66: Shema posodobljene preureditve čistilnega bloka B3 .....	163
Slika 67: Obstoječa in nova idejna zasnova konfiguracije reaktorjev.....	164
Slika 68: Shematični prikaz postavitve celic reaktorja ter usedalnika in poteka vseh tokov .....	166
Slika 69: Parametri zasnove in obratovanja za reaktor.....	168
Slika 70: Prikaz preglednice s profili skozi reaktor.....	170

**KAZALO GRAFIKONOV**

Grafikon 1: Monodova in inhibicijska kinetika .....	153
Grafikon 2: Grafikon porabe KPK v MLVSS .....	171
Grafikon 3: Grafikon porabe NH <sub>4</sub> N v MLVSS.....	171
Grafikon 4: Grafikon denitrifikacije v MLVSS.....	172
Grafikon 5: Analiza točke stanja za usedalnik.....	173

**SEZNAM OKRAJŠAV IN SIMBOLOV**

Simbol	Enota	Pomen	Angleški simbol	Angleški izraz
BPK <sub>5</sub>	mg/l	Biološka potreba po kisiku	BOD <sub>5</sub>	Biological oxygen demand
DON	mg/l	Raztopljeni organski dušik	DON	Disolved organic nitrogen
HRT	dan	Hidravlični zadrževalni čas	HRT	Hydraulic retention time
Inertne SS	mg/l	Inertne suspendirane snovi	Inert SS	Inert suspended solids
KPK	mg/l	Kemijska potreba po kisiku	COD	Chemical oxygen demand
MLSS	mg/l	Koncentracija suspendiranih snovi v mešanici odpadne vode	MLSS	Mixed liquor suspended solids
MLVSS	mg/l	Organske (hlapne) suspendirane snovi v suspenziji aktivne biomase	MLVSS	Mixed liquor volatile suspended solids
N <sub>cel</sub> (TN)	mg/l	Celotni (totalni) dušik	TN	Total nitrogen
N <sub>2</sub>	mg/l	Plinski dušik	N <sub>2</sub>	Nitrogen gas
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	mg/l	Amonijski dušik	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Ammonia nitrogen
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	mg/l	Nitritni dušik	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	Nitrite nitrogen
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	Nitratni dušik	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Nitrate nitrogen
P <sub>cel</sub> (TP)	mg/l	Celotni fosfor	TP	Total phosphorus
pH		Negat. log. konc. H ionov	pH	

PKPKnbio	mg/l	Inertna (nebiorazgradljiva partikulatna) KPK	PCODnbio	Inert (Non biodegradable Particulate) COD
PPnbio	mg/l	Inertni (nebiorazgradljivi partikulatni) P	PPnbio	Inert (Non biodegradable) Particulate P
PTN <sub>Kj</sub> nbio	mg/l	Inertni (nebiorazgradljivi partikulatni) TN <sub>Kj</sub>	PTKNnbio	Inert (Non biodegradable Particulate) TKN
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> (OP)	mg/l	Ortofosfat	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> (OP)	Orthophosphate (Ortho Phosphorus)
RK, O <sub>2</sub>	mg/l	Raztopljeni kisik	DO, O <sub>2</sub>	Disolved oxygen
SBPK <sub>5</sub>	mg/l	Raztopljena BPK <sub>5</sub>	SBOD <sub>5</sub>	Soluble BOD <sub>5</sub>
SN <sub>Kj</sub> nbio	mg/l	Inertni (nebiorazgradljivi) SN <sub>Kj</sub>	SKNnbio	Inert (Non biodegradable) SKN
SKPK	mg/l	Raztopljena KPK	SCOD	Soluble COD
SKPKnbio	mg/l	Inertna (nebiorazgradljiva) SKPK	SCODnbio	Inert (Non biodegradable) SCOD
SN <sub>Kj</sub>	mg/l	Raztopljeni dušik po Kjeldahlu	SKN	Soluble Kjeldahl Nitrogen
SRT	dan	Zadrževalni čas aktivne biomase v bioreaktorju, starost blata	SRT	Sludge retention time
T	°C	Temperatura	T	Temperature
TN <sub>Kj</sub>	mg/l	Celotni (totalni) dušik po Kjeldahlu	TKN	Total Kjeldahl nitrogen
TSP	mg/l	Celotni (totalni) raztopljeni fosfor	TSP	Total Soluble Phosphorus
TSPnbio	mg/l	Celotni (totalni) nebiorazgradljivi raztopljeni fosfor	TSPnbio	Inert (Non biodegradable) Total Soluble P
TSS	mg/l	Celotne suspendirane snovi	TSS	Total suspended solids
VFA	mg/l	Hlapne maščobne kisline	VFA	Volatile fatty acids
VSS	mg/l	Organske (hlapne) suspendirane snovi	VSS	Volatile suspended solids





## 1 UVOD

Poleg izgradnje novih čistilnih naprav se v zadnjih letih pospešeno odvija tudi posodabljanje obstoječih čistilnih naprav. Potrebe po posodobitvah so v večji meri posledica neizpolnjevanja iztočnih mejnih vrednosti parametrov, kot sta dušik in fosfor. Ena od čistilnih naprav katere posodabljanje s procesi za odstranjevanje hraniv še ni bilo izvedeno je centralna čistilna naprava Škofja Loka.

Čistilne naprave za čiščenje odpadne vode so kompleksni (zapleteni) tehnološki sistemi, ki so odvisni od številnih bioloških, kemijskih in fizikalnih procesov za doseganje ciljev obdelave. Kot del identifikacije možne rešitve posodobitve bo v diplomskem delu narejen pregled procesov in tehnologij za odstranjevanje hraniv in med njimi bo, kot ustrezna možna idejna rešitev, izbran proces, ki se ga bo glede na vtočne vrednosti različnih parametrov na čistilno napravo poskušalo optimizirati s pomočjo aplikacije oziroma programskega orodja Aquifas. Dobljeni rezultati za iztok iz tako zasnovanega procesa in po optimizaciji različnih parametrov, bodo morali biti pod predpisanimi mejnimi vrednostmi.

Zaradi kompleksnega delovanja procesov in spremenljivosti lastnosti odpadne vode, biološke populacije in zasnove naprave, ni vedno mogoče predvideti kako bo spreminjanje katerekoli spremenljivke vplivalo na kvaliteto iztoka. Poskusi v pilotnem ali naravnem merilu lahko pomagajo ugotoviti vpliv različnih parametrov, vendar so lahko stroški in čas potreben za obdelavo vseh možnosti, ovira. Zato matematični modeli zapolnijo pomembno potrebo z omogočanjem simulacije procesov in oceno vpliva, ki ga bo spreminjanje parametrov imelo na učinkovitost obdelave.

Modeli se lahko uporabljajo v številne namene, vključno z načrtovanjem (zasnovo) novih čistilnih naprav, načrtovanjem preureditve ali posodabljanja obstoječih naprav, določevanjem kako bodo imele spremembe v obratovanju vpliv na koncentracije v iztoku, določevanjem kako se bodo naprave odzivale na spremembe v kvaliteti dotoka ali pretoku in za usposabljanje operaterjev. Vsi modeli ne morejo dosegati vseh teh namenov zato morajo biti modeli izbrani z željeno uporabo. V diplomskem delu bodo obravnavani modeli procesa

čiščenja z aktivnim blatom (ASM) med katerimi je ASM2d model sestavni del programa Aquifas.

Ključni del diplomske naloge bo zasnova idejne študije posodobitve CČN Šk. L., ki bo temeljila na procesu  $A^2O$ , ki spada v najosnovnejši biološki proces istočasnega odstranjevanja hraniv, kot sta dušik in fosfor. Ta del naloge bo obsegal prikaz umestitve procesa v obstoječo razporeditev in kapaciteto bazenov in simulacijo procesa z aplikacijo Aquifas. S simulacijo procesa bodo glede na vhodne podatke za vtok na čistilno napravo in značilno zasnovo  $A^2O$  procesa iskane optimalne rešitve (optimalne vrednosti) za parametre, kot so delež povratnega blata, starost blata in stopnja nitrificirane recirkulacije. Končne vrednosti teh parametrov bodo morale biti znotraj realnih območij. Rezultati iztočnih vrednosti parametrov pridobljeni s simulacijo po optimizaciji pa bodo morali biti takšni, da ne presegajo mejnih vrednosti določenih s predpisi.

V diplomskem delu bodo predstavljena tudi pomembna vprašanja, ki jih je potrebno upoštevati pri nadgradnji obstoječih objektov, vključno s splošnimi dejavniki izbora, dejavniki načrtovanja in obratovanja in končni izbiri ustrezne tehnologije.

## 2 BIOLOŠKO ODSTRANJEVANJE HRANIV

Ena od glavnih skrbi, ki se nanašajo na sestavine v iztoku iz komunalnih čistilnih naprav, je koncentracija hraniv, kot sta dušik in fosfor. Hraniva stimulirajo rast mikroorganizmov (vključno z algami) in vodnih vegetacij v sprejemnih vodah, kar vodi v znižanje ravni kisika. Presežek nutrientov je pomembna zadeva in skrb, ki se nanaša na kakovost vode v mnogih državah in glavni vzrok za neuporabnost vode za določene namene (MNRT, 2008). Industrijske, komunalne in kmetijske odpadne vode predstavljajo večji del onesnaženja površinskih vod, saj vsebujejo snovi bogate z dušikom. Dušik je lahko v različnih oblikah kot so organsko vezani dušik, amonijev dušik ( $\text{NH}_4\text{-N}$ ), nitritni dušik ( $\text{NO}_2\text{-N}$ ) ali nitratni dušik ( $\text{NO}_3\text{-N}$ ). Amoniak je strupen za ribe in druge vodne organizme ter porablja kisik v vodi. Nitrat lahko kontaminira podtalnico in je škodljiv tudi za človeški organizem, predvsem za dojenčke, ker se veže na hemoglobin namesto kisika. Fosfor je v odpadni vodi prisoten kot organski fosfor, polifosfat ali ortofosfat. Odvajanje odpadnih vod, ki vsebujejo dušikove in fosforjeve spojine v okolje lahko vodi do eutrofikacije. To je pojav čezmerne rasti alg, ki povzročajo motnje v ravnotežju rasti vodnih organizmov. Posledica tega pojava je pomanjkanje raztopljenega kisika, sproščanje neprijetnega vonja in pogin občutljivih ribjih vrst (Kurbus, 2008).

Čistilne naprave, ki uporabljajo konvencionalne biološke procese obdelave in so načrtovane za doseg standardov iztoka sekundarne obdelave ponavadi ne dosegajo odstranitve celotnega dušika in celotnega fosforja do te mere, da bi bila zadovoljiva za zaščito določenih sprejemnih voda. Čistilne naprave so vse bolj podvržene zahtevam, da odpravijo te pomankljivosti in zato vključujejo procese obdelave, ki zmanjšujejo koncentracije nutrientov v iztoku do te stopnje, katera se zdi zadosti zaščitna in sprejemljiva za okolje. Takšna posodobitev oziroma nadgradnja običajno vključuje dodatno opremljanje obrata za povečanje procesa biološke obdelave, ali vključitev kemične obdelave za izvršitev precipitacije fosfata. Izziv pri objektih, pa je določiti, katere alternative obdelave bodo najbolj zadovoljile njihove potrebe, tako tehnično in finančno, ter sprejem odločitve, ki je najbolj trajnostna (MNRT, 2008).

Poznamo več različnih tehnik čiščenja, ki zajemajo kemijske, fizikalne in biološke postopke omejevanja ali kontrole količine hraniv v čistilnem procesu. Procesi, ki so se v začetku najbolj

uporabljali so bili biološka nitrifikacija za oksidacijo amonija, biološka denitrifikacija z uporabo metanola za odstranjevanje dušika in kemijska precipitacija za odstranjevanje fosforja. V zadnjih letih je bilo razvitih več čistilnih postopkov za biološko odstranjevanje fosforja samega ali v kombinaciji z dušikom (Roš, 2001).

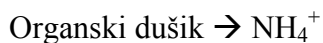
Procesi za biološko odstranjevanje hraniv oziroma nutrientov (dušikovih in fosforjevih spojin) so bili razviti iz modifikacij konvencionalnega sistema z aktivnim blatom. Bistvena razlika med konvencionalnim sistemom in sistemi za odstranjevanje hraniv je v različnih pogojih dela v bioreaktorjih in v starosti blata (Roš, 2001).

Za učinkovito odstranjevanje fosforja se morajo vse oblike fosforja pretvoriti v ortofosfat. Pri odstranjevanju dušika mora najprej potekati nitrifikacija, ki ji sledi denitrifikacija. Pri procesih za odstranjevanje hraniv uporabljamo podobne bioreaktorje kot so prezračevalniki pri aktivnem blatu, v katere so vgrajene pregrade, ki ustvarijo različne pogoje za delovanje oziroma različne cone, kot so: aerobna, anoksična in anaerobna cona (Roš, 2001).

## 2.1 BIOLOŠKO ODSTRANJEVANJE DUŠIKA

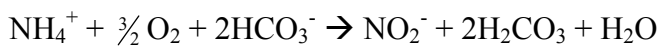
Biološko odstranjevanje dušika se vrši v treh procesnih korakih:

(1) pretvorba organskega dušika v amonij s hidrolizo in mikrobo aktivnostjo – amonifikacija;

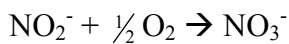


(2) aerobna pretvorba amonija v nitrat pri reakciji amonija s kisikom v procesu nitrifikacije;

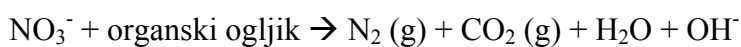
→ Nitrifikacija do nitrita z vrsto *Nitrosomonas* in drugimi rodovi avtotrofnih bakterij:



→ Nitrifikacija do nitrata z vrsto *Nitrobacter* in drugimi rodovi avtotrofnih bakterij:



(3) pretvorba nitrata v plinasti dušik pri reakciji nitrata z organskim ogljikom pri anoksičnih pogojih v procesu imenovanem denitrifikacija:



Poenostavljeno rečeno – denitrifikacija se pojavi takrat, ko ni več raztopljenega kisika za mikroorganizme (MO), zato morajo le ti za svoj vir kisika uporabiti nitrate. Koproduct tega procesa je plinasti dušik (Roš, 2001).

Proces nitrifikacije spremlja izguba alkalitete (npr.: bikarbonat ( $\text{HCO}_3^-$ ) je nevtraliziran v ogljikovo kislino ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ )). Alkaliteta je pridobljena nazaj kot del denitrifikacije s tvorbo hidroksida ( $\text{OH}^-$ ).

Stehiometrija za nitrifikacijo kaže porabo 4,57 gramov kisika na gram amonijevega dušika in porabo 7,14 gramov alkalitete merjene kot kalcijev karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) na gram amonijevega dušika. Stehiometrija za denitrifikacijo kaže vsaj 2,86 grama kemijske potrebe po kisiku (KPK) potrebne na gram nitratnega dušika ali 1,91 gramov metanola na gram nitratnega dušika. To vključuje ogljik, ki je vključen v proizvodnjo biomase. Alkaliteta je ustvarjena kot 3,57 grama na gram denitrificiranega nitratnega dušika.

Nitrifikacija se vrši na amonijevem dušiku in večini celotnega Kjeldahovega dušika ( $\text{TN}_{\text{Kj}}$ ). Spojine raztopljenega organskega dušika (Dissolved Organic Nitrogen - DON) so tipično kompleksne molekule, ki vsebujejo dušik in predstavljajo del  $\text{TN}_{\text{Kj}}$ , in so težko razgradljive. V večini krajev znaša povprečna koncentracija DON 0,5-2 mg/l, lahko pa pride do večjih koncentracij DON na nekaterih lokacijah zaradi industrijskih virov ali naravnih značilnosti v ozadju. Visoke koncentracije DON negativno vplivajo na zmožnost čistilnih naprav pri doseganju nizkih končnih koncentracij celotnega dušika ( $\text{N}_{\text{cel}}$ ), tudi z najboljšimi procesi (tehnologijami) (MNRT, 2008).

### **2.1.1 Dejavniki za odstranjevanje dušika**

#### **→ Vir ogljika**

Količina ogljika, v razmerju z dušikom prisotnim v odpadni vodi, potrebna za zmanjšanje količine dušika, je bila cilj mnogih raziskav. Te so vključevale razmerja kemijske potrebe po kisiku (KPK) proti celotnemu Kjeldahovem dušiku ( $\text{TN}_{\text{Kj}}$ ), razmerje lahko biorazgradljive KPK proti  $\text{TN}_{\text{Kj}}$ , in hlapne maščobne kisline (Volatile Fatty Acids - VFAs). Razmerje biokemijske potrebe po kisiku (BPK) proti  $\text{TN}_{\text{Kj}}$  enako 4 ali več zadostuje, da se opravi biološko odstranjevanje dušika.

Če se ugotovi, da je potreben dodaten vir ogljika za doseganje željene ravni odstranitve dušika, obstajata dve vrsti virov: notranji in zunanji. Notranji viri vključujejo iztok iz primarne obdelave, ki se lahko dodaja v proces z aktivnim blatom po načinu postopnega hranjenja (dovajanja) in fermentacija primarnega blata za pridobivanje hlapnih maščobnih kislin in drugih lahko biorazgradljivih ogljikovih spojin.

Metanol se največkrat uporablja kot zunanji vir ogljika zaradi relativno nizke cene. Vendar pa je metanol koroziven ter vnetljiv in zato zahteva posebno ravnanje. Nekatere čistilne naprave razmišljajo o alternativah metanolu zaradi teh vnetljivih in eksplozivnih lastnosti. Drugi viri ogljika vključujejo etanol, ocatno kislino, glukozo, glicerol, sladkorni in koruzni sirup ter industrijske odpadne produkte.

Prednost uporabe zunanjega vira ogljika je, da je obratovanje neodvisno od narave in volumna vtoka odpadne vode, kar nudi operaterjem veliko več fleksibilnosti. Pomanjkljivost pa je, da bo dodatni vir ogljika zvišal investicijske (kapitalne) stroške zaradi izgradnje skladišča za kemikalije, črpalk in cevi za dodajenje in bo zahteval precejšnje stroške obratovanja in sicer za nakup kemikalij in za ravnanje s presežkom blata ustvarjenim zaradi samega dodajanja. Vir ogljika se običajno doda ločeni stopnji anoksične cone ali denitrifikacijskim filtrom. Količine zunanjega vira ogljika za denitrifikacijske filtre so med 2,5-3 kratne količini nitratnega dušika, ki ga je potrebno odstraniti na osnovi mase (MNRT, 2008).

### → Število anoksičnih con

En anoksični bazen z notranjo recirkulacijo lahko dosega sprejemljive stopnje odstranjevanja celotnega dušika ( $N_{cel}$ ) v območju od 6 do 8 mg/L.

Primer takšnega procesa je MLE proces. Notranja recirkulacija vrača nitrate proizvedene z nitrifikacijo iz aeracijskega bazena v anoksično cono za denitrifikacijo. Z anoksično cono na začetku procesa, dodajanje vira ogljika običajno ni potrebno, ker večina komunalnih odpadnih voda zagotavlja dovolj ogljika za doseganje 65-85 odstotnega odstranjevanja.

Na splošno se stopnja denitrifikacije poveča s povečanjem notranje recirkulacije, ki znaša oziroma naj bi znašala do največ 500 odstotkov. Denitrifikaciji v odpadni vodi z razmerjem  $BPK/TN_{Kj}$  manjšim od 4 proti 1 ali  $KPK/TN_{Kj}$  razmerjem manjšim od 10 proti 1 običajno ne koristi visoka notranja recirkulacija. To je zato, ker ima takšna odpadna voda nezadostno količino ogljika, za omogočanje povišanih stopenj denitrifikacije.

Dve anoksični coni omogočata doseganje nižjih koncentracijih  $N_{cel}$  v iztoku, ker je lahko več nitratov proizvedenih pri nitrifikaciji v aeracijskem bazenu obdelano z notranjo recirkulacijo v prvo anoksično cono ali pa s tokom skozi drugo anoksično cono. Prezračevanje se ponavadi priporoča po drugi anoksični coni za sprostitev (odstranjevanje) dušikovega plina ustvarjenega v anoksični coni in za zmanjšanje možnosti denitrifikacije v sekundarnih usedalnikih. Rezultat je zmanjšanje sproščanja dušikovega plina v sekundarnem usedalniku, kar lahko privede do dvigovanja blata. Poleg tega ohranjanje aerobnih pogojev preprečuje sproščanje fosforja v sekundarnih usedalnikih. Dodajanje vira ogljika drugi anoksični coni lahko še dodatno zviša denitrifikacijo z zagotavljanjem zadostne količine ogljika za potek samega procesa (MNRT, 2008).

### → Temperatura

Temperatura vpliva tako na stopnjo nitrifikacije kot tudi denitrifikacije. Pri nižjih temperaturah se stopnja nitrifikacije in denitrifikacije zmanjša, kar vodi v slabši učinek pozimi, če niso narejene spremembe v obratovanju za kompenzacijo znižanih kinetičnih stopenj. Nitrifikacija lahko poteka pri temperaturah odpadne vode od 4-35°C. Običajne temperature odpadne vode so v območju med 10-25°C. Nitrifikacijska stopnja se podvoji za vsakih 8-10°C dviga temperature, kar pomeni, da na področjih kjer imajo širok razpon temperatur med zimo in poletjem, lahko stopnja nitrifikacije variira za faktor 4 tekom leta. Denitrifikacija je tudi podvržena temperaturi, vendar v manjšem obsegu kot nitrifikacija. Na osnovi razpona temperature od 10-25°C se za denitrifikacijsko stopnjo pričakuje variiranje faktorja le za 1,5 (MNRT, 2008).

### → Alkaliteta in pH

Alkaliteta se porablja kot del nitrifikacijskega procesa, ker se tvorijo vodikovi ioni, ko se amonijev-N pretvori v nitratni-N. Denitrifikacija povrne del alkalitete med pretvorbo nitratnega-N v dušikov plin. Nitrifikacijski proces porabi 7,14 grama alkalitete v obliki kalcijevega karbonata ( $CaCO_3$ ) na gram odstranjenega amonijevega-N. Denitrifikacija proizvede 3,57 g alkalitete v obliki  $CaCO_3$  na gram odstranjenega nitratnega-N. Zato se za pretvorbo 1 g amonijevega-N v 1 gram dušikovega plina, porabi približno 3,6 g alkalitete v obliki  $CaCO_3$ . Nitrifikacija se na splošno lahko odvija pri pH vrednostih med 6,5-8. Priporočena minimalna alkaliteta v sekundarnem iztoku je 50 mg/l (merjenega v  $CaCO_3$ ),



vendar pa so priporočene vrednosti tudi do vrednosti 100 mg/l. Če je alkaliteta pod priporočenimi vrednostmi je potrebno dodajanje kemikalij. Natrijev hidroksid ali apno se dodaja na nekaterih čistilnih napravah za vzdrževanje sprejemljive alkalitete in pH nivojev (MNRT, 2008).

### → Zadrževalni čas trdnih snovi (starost blata) (Solid Retention Time – SRT)

SRT mora biti zadosti dolg za vzdrževanje nitrifikacije. Mikroorganizmi odgovorni za nitrifikacijo imajo mnogo počasnejšo stopnjo rasti kot druge heterotrofne bakterije. Zato traja podvojitev nitrifikacijskih organizmov 10-20 krat dlje kot pri drugih heterotrofnih bakterijah. Ohranjanje daljšega SRT lahko zmanjša tudi količino energije potrebne za mešanje, če se lahko zmanjša velikost bazena in volumen tekočine. Dodatno se lahko prihrani z energijo, če se lahko doseže denitrifikacijo v načinu simultane nitrifikacije-denitrifikacije (SND). Nekatero naprave z mehanskimi aeratorji in/ali koncentričnimi jarki, ki obratujejo z istim SRT, imajo nižje razmerje aeracijske energije proti volumnu. Nižje potreba po energiji je zaradi načina SND, katere rezultat je manjša potreba po kisiku. Npr.: Nekatero raziskave prikazujejo, da je bila količina energije za prezračevanje znižana za več kot polovico, ko je bil SRT podaljšan iz 8 na 24 dni. Hkrati pa se je stopnja SND povišala iz 30 procentov pri 8 dnevnem SRT na 70 procentov pri 24 dnevnem SRT. Optimalni SRT za določeno čistilno napravo je odvisen od številnih dejavnikov:

- temperatura odpadne vode
- koncentracija raztopljenega kisika v aerobni coni
- pH, alkaliteta
- inhibicija zaradi kemikalij
- nihanje v hidravličnem pretoku in organski obremenitvi

Nasplošno so denitrifikacijski organizmi relativno počasi rastoči in so lahko podvrženi odplavljanju pri visokih pretokih v bioreaktorju ali usedalniku. Zato je tako načrtovan sekundarni usedalnik, ki zagotavlja maksimalno zadrževanje počasneje rastočih mikroorganizmov lahko kritičen za vzdrževanje zanesljivega učinka odstranjevanja dušika (MNRT, 2008).

### → Hidravlični zadrževalni čas (Hidraulic Retention Time – HRT)

HRT vpliva tako na nitrifikacijo kot tudi na denitrifikacijo. Aerobna cona posameznega nitrifikacijskega-denitrifikacijskega procesa mora biti zadosti velika da se omogoči poraba večjega dela ogljikovega BPK preden se začne nitrifikacija. Velikost anoksičnih(e) con(e) mora biti zadostna za omogočanje poteka denitrifikacije ne da bi porabili celoten vir ogljika, ki bi bil lahko potreben za biološko odstranjevanje fosforja. Anoksične cone so, kar se tiče volumna, običajno velike od 35-50 procentov sekundarnega procesa obdelave. Zaradi negotovosti pri potrebnem volumnu, so nekatere naprave načrtovane s prehodnimi conami, ki lahko delujejo v anoksičnem ali aerobnem načinu. Na splošno lahko prehodne cone obratujejo aerobno med poletjem in anoksično med zimo, ko nizke temperature znižujejo stopnjo denitrifikacije. Vendar pa mora biti zagotovljen ustrezen aerobni zadrževalni čas za zadostno nitrifikacijo (MNRT, 2008).

### → Raztopljeni kisik (RK)

Nitrifikacija potrebuje prisotnost zadostne koncentracije raztopljenega kisika in stopnja nitrifikacije je lahko omejena, takrat ko je koncentracija RK prenizka za vzdrževanje zadosti visoke stopnje prenosa kisika. V komunalnih sistemih z aktivnim blatom s HRT 6-8 ur je nitrifikacijska stopnja maksimalna, ko je koncentracija RK enaka ali večja kot 2 mg/l. Sistemi s pritrjeno biomaso kot sta MBBR ali IFAS naj bi potrebovala višje koncentracije RK za preprečevanje, da bi biomasa pritrjena na medij postala anaerobna, kar bi lahko vodilo v slabše delovanje sistema. Prisotnost RK zavira nekatere zaželjene biološke procese, zlasti denitrifikacijo. Koncentracije RK enake ali večje kot 0,2 mg/l zmanjšajo stopnjo denitrifikacije v anoksični coni. To je zaradi tega, ker je energija potrebna za razpad  $\text{NO}_3$  za pridobivanje kisika večja od tiste, katere uporaba je molekularni kisik, zato večina mikroorganizmov rajši kot  $\text{NO}_3$  uporabijo RK, ko je le-ta na voljo.

Denitrifikacija je izvedena najučinkoviteje takrat, ko je obdržan nizek RK skozi celotno anoksično cono. Zato lahko nizki nivoji RK v notranji recirkulaciji ali liniji povratnega blata učinkovito zmanjšajo potreben HRT anoksične cone. Priporočeno je, da so koncentracije RK v povratnem toku omejene na okoli 1 mg/l (MNRT, 2008).

### → Dodatna pozornost pri načrtovanju odstranjevanja dušika

Dodatno pozornost pri načrtovanju, kar lahko kasneje pripomore k lažjemu obratovanju naprave, zahteva ocena in vračunanje povratnega toka in obremenitve, kot tudi zunanje obremenitve, v osnovah načrtovanja, vključevanje nadzornih kontrol in sistema zajemanja podatkov (SCADA) ter drugih »on-line« monitoringov procesa in vključevanje tolerance pri fleksibilnosti v načrtu obratovanja. Če je povratni tok in obremenitev od stranskega toka kot je povratno spiranje filtrov ali obdelave blata vključena in všteta v osnovah načrta bo naprava zmožna obdelave obremenitve, ki ga bo proces sprejel, namesto potrebe po delu standardnega načrtovanega varnostnega faktorja za vštetje teh povratnih tokov. Poleg tega, če naprava sprejema gnojnice, izcedne vode ali podobne dovedene ali neposredne odpadne tokove je potrebno te obremenitve všteti in vključiti v osnovah načrtovanja. Vključevanje vseh teh obremenitev lahko vodi v večje velikosti bazenov, vpihovalnikov ali skladišč za kemikalije.

»On-line« spremljanje omogoča snemanje in shranjevanje procesnih informacij v realnem času, ki jih lahko uporabimo za sprejemanje odločitev pri obratovanju. SCADA omogoča avtomatsko kontrolo procesa v povezavi z »on-line« monitoringom. Sistem SCADA lahko pomaga pri optimizaciji procesa, kar lahko rezultira v prihrankih pri obratovanju v situacijah kjer je preveč dodanega zraka z avtomatsko prilagoditvijo količine dovedenega zraka v proces.

Fleksibilnost obratovanja se lahko pridobi z namestitvijo prehodnih con v pričakovanju negotovosti pri karakteristikah odpadne vode v prihodnosti in obratovalnih pogojih. Prehodne cone je potrebno opremiti tako z mešalniki kot tudi prezračevalnimi napravami in lahko obratujejo bodisi kot anoksična ali aerobna cona, odvisno od razmer na napravi, ki lahko variirajo tako sezonsko kot tudi dnevno med nočnimi in dnevnimi urami. Prehodne cone se uporabljajo za izboljševanje učinkovitosti kot tudi za prihranjevanje elektrike, ko so mešalci uporabljeni namesto aeratorjev med obdobjem nizkega pretoka. Fleksibilnost v načrtovanju povečuje stroške vendar lahko prispeva k dolgoročni skladnosti in trajnosti biološkega odstranjevanja nutrientov saj se bodo lastnosti odpadne vode in pretoka na napravi spreminjale v prihodnosti (MNRT, 2008).

## 2.1.2 Tehnologije odstranjevanja dušika

### ➤ NITRIFIKACIJA/DENITRIFIKACIJA

Za nekatere čistilne naprave se zahteva, da se odstrani samo amonijev-N ali celotni dušik po Kjeldahlu ( $TN_{Kj}$ ), brez trenutnih zahtev za odstranjevanje nitratov in nitritov. V takšnih primerih je biološka pretvorba amonija (ali  $TN_{Kj}$ ) v nitrat zlahka dosežena s podaljšanjem zadrževalnega časa trdnih snovi (Solid Retention Time – SRT) oziroma starosti blata v biološkem sistemu, podaljšanjem hidravličnega zadrževalnega časa (Hidravlic Retention Time – HRT), in zagotavljanjem zadostnega prezračevanja za izvršitev pretvorbe. Dizajn sistemov v preteklosti je vključeval strategijo dveh reaktorjev z aktivnim blatom: v prvem reaktorju je bil odstranjen BPK, kateremu je sledil bistrilnik, in nato je sledil drugi reaktor z aktivnim blatom v katerem se je vršila nitrifikacija. Sedanja praksa je združitev procesov odstranjevanja BPK in nitrifikacije v enoten sistem z aktivnim blatom še posebej v situacijah preurejanja naprave, saj se s tem prihrani prostor, ki bi ga sicer rabili za nov set sekundarnih usedalnikov in poenostavi obratovanje ter kontrola procesa. Pričakujemo lahko tudi pomemben prihranek energije v enotnem sistemu aktivnega blata zaradi zmanjšanja volumna odpadne vode, ki potrebuje prezračevanje. Med prednosti enostopenjskega sistema pa spada tudi nastajanje manjših količin odpadnega blata in izboljšanje usedljivosti s povečanjem starosti blata (MNRT, 2008).

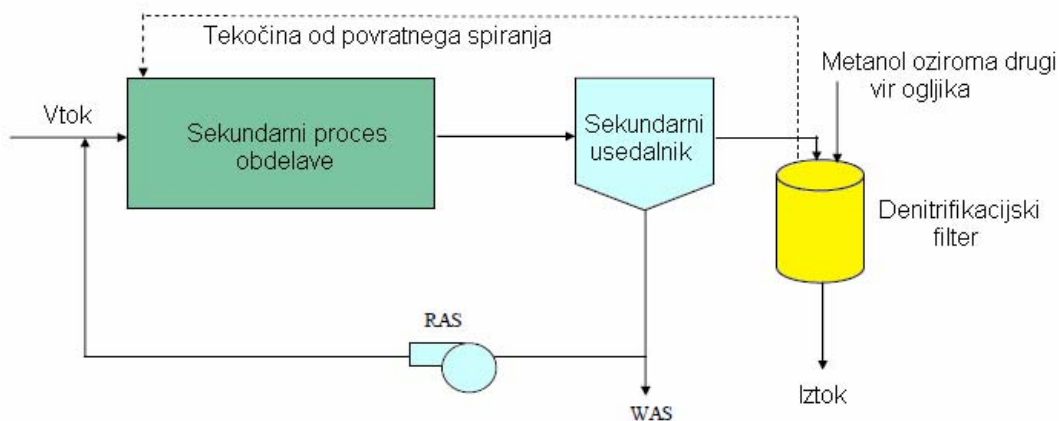
### ➤ DENITRIFIKACIJSKI FILTRI (DF)

DF so ponavadi postavljeni za procesom sekundarne obdelave. Ena od njihovih prednosti poleg odstranjevanja dušika je tudi ta, da delujejo kot filter vode. DF zavzemajo manjšo, bolj kompaktno površino v primerjavi z drugimi denitrifikacijskimi procesi. Filtri lahko delujejo v konfiguraciji z vtokom na vrhu (s tokom navzdol) ali z vtokom na dnu (s tokom navzgor). Ker se proces denitrifikacije izvaja potem, ko je bila večina BPK odstranjene iz odpadne vode, se mora dodati vir ogljika, kot je metanol. Shema najbolj pogoste postavitve denitrifikacijskih filtrov je prikazana na sliki 1. Obstajata dva splošna tipa DF.

Prvi je prilagojen konvencionalni globoko plastni filter (proizvajalca in dobavitelja podjetja Leopold Co. in Severn-Trent). Pri tem se za polnilo uporablja pesek, gramoz, antracit ali pa kateri drugi filterni medij v nekaterih kombinacijah, v višinah od 2,4-3,6 metra. Tipično delujejo z vtokom na vrhu (s tokom navzdol). To pomeni, da je dušikov plin, ustvarjen v

mediju, lahko ujet med zrnji. Zato filter potrebuje periodično povratni sunek, med katerim sta voda ali pa zrak usmerjena navzgor. To sprosti ujet dušikov plin. Manj pogosto se izvaja polno povratno spiranje za odstranitev akumuliranih trdnih delcev. Vodo od povratnega spiranja se ponavadi vrača na začetek naprave ali pa na proces sekundarne obdelave. Obstoječi peščeni filtri se lahko preuredijo, tako da postanejo DF, če obstaja dovolj prostora za povečanje globine sloja filtra. Konvencionalni DF so ponavadi obremenjeni od 80 do 120 litrov/min/m<sup>2</sup>, z odstranitvijo nitratnega dušika do koncentracij 1-2 mg/l.

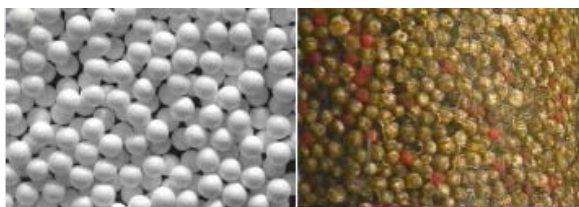
Za primer drugega splošnega tipa DF lahko navedemo sistem Biofor od proizvajalca Infilco/Degremont in sistem Biostyr od proizvajalca Kruger/Veolia. Delujejo z vtokom na dnu (s tokom navzgor) in uporabljajo plastično sredstvo (medij) za nosilce biomase (pritrjevanje biomase). Biostyr medij brez in z biomaso je prikazan na sliki 2. Te vrste filtrov so pogosto združeni (povezani) z biološko aktivnimi filtri (Biological Activated Filters - BAFs), ki izvršujejo odstranitev BPK in nitrifikacijo. Ker delujejo po načinu toka navzgor, je potrebna črpalka, kar poviša stroške obratovanja. Plastični nosilci so lahko hidravlično obremenjeni s 325 do 365 litri/min/m<sup>2</sup>, z odstranitvijo nitratnega dušika do koncentracij 1-1,5 mg/l. Vendar pa plastični nosilci niso tako učinkoviti pri zadrževanju trdnih delcev kot konvencionalni zrnasti medij.



*Slika 1: Shema najbolj pogoste postavitve denitrifikacijskih filtrov*

Prednost obeh tipov DF je v tem, da lahko dosežejo popolno odstranjevanje nitrata z majhno potrebo po prostoru za objekt, in verjetno brez dodatne potrebe po prostoru, če lahko preuredimo star obstoječ konvencionalni filter. Slabost tega sistema je v tem da je ponavadi

potreben dodatni vir ogljika (metanol), kar je povezano s povečano proizvodnjo blata. V določenih primerih so potrebni dodatni stroški za črpanje in elektriko (MNRT, 2008).



*Slika 2: Biostyr medij brez in z biomaso.*

➤ **MODIFICIRAN LUDZACK-ETTINGER PROCES (MLE proces)**

MLE proces je sestavljen iz anoksičnega bazena, ki se nahaja pred aerobno cono. Recirkulacija oziroma notranji tok (interni recikel) prenaša nitrato ustvarjene med procesom nitrifikacije v aerobni coni skupaj s suspenzijo aktivnega blata v anoksično cono za denitrifikacijo. Povratno aktivno blato (Return Activated Sludge – RAS) se zmeša z vtokom v anoksični coni. Obseg denitrifikacije je vezan na recirkulacijo suspenzije aktivnega blata; višja stopnja recirkulacije poveča denitrifikacijo. Ker ima samo recirkuliran nitrat priložnost biti denitrificiran, MLE proces sam ne more dosežati zelo nizkih končnih koncentracij dušika. Maksimalni denitrifikacijski potencial je približno 82% pri 500% stopnji recirkulacije. Koncentracije  $N_{cel}$  v iztoku tipično segajo od 5 do 8 mg/l. Dejanska denitrifikacija je lahko omejena tudi z drugimi dejavniki, kot so razpoložljivost vira ogljika, kinetika procesa in velikosti anoksičnih ali aerobnih con. Poleg tega lahko recikuliran kisik iz aerobne cone negativno vpliva na stopnjo denitrifikacije v anoksični coni (MNRT, 2008).

➤ **CIKLIČNO AERIRANO AKTIVNO BLATO (Cyclically Aerated Activated Sludge – CAAS)**

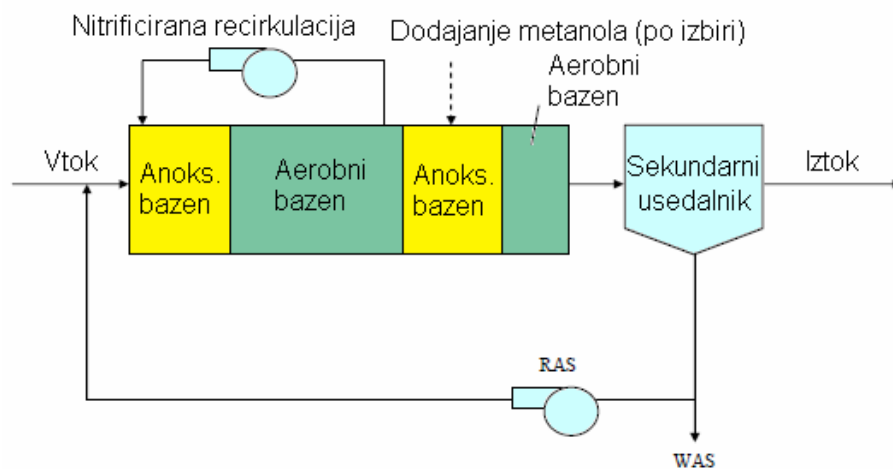
V sistemu ciklično aerirano aktivno blato je aeracijski sistem programiran tako, da se periodično ugaša, kar omogoča pojav denitrifikacije (DN) in nitrifikacije v istem bazenu. Takšno preoblikovanje sistema je na ta način enostavno doseči z malo ali brez potrebnih investicijskih stroškov. Sistem CAAS lahko uporabimo za preureditev obstoječih naprav, če lahko vzdržujemo zadosten zadrževalni čas trdnih snovi (starosti blata) (SRT) za omogočanje pojava nitrifikacije. Dolžina cikla je odvisna od stopnje obremenitve in željene ciljne koncentracije s hidravličnim zadrževalnim časom (HRT), ki je 2-4 kratni čas cikla. Če je aerobni SRT zadosten za dosego nitrifikacije, lahko ciklični proces zmanjša koncentracijo

celotnega dušika ( $N_{cel}$ ) v iztoku. Aeracija je lahko zagotovljena z difuzorji ali pa s površinskimi aeratorji. Šaržni biološki reaktorji (SBR) in oksidacijski jarki lahko delujejo oziroma so projektirani, da delujejo kot sistemi CAAS (MNRT, 2008).

#### ➤ ŠTIRI STOPENJSKI BARDENPHO PROCES

Štiristopenjski Bardenpho proces vključuje anoksično cono, kateri sledi aerobna cona (z notranjo recirkulacijo v prvo anoksično cono), nato sledi druga anoksična cona in majhna aerobna cona. Prva dva bazena sta podobna MLE procesu. S črpalkami in velikostjo con običajno dovolj velikimi za doseganje 400% notranje recirkulacije, prva anoksična cona zagotavlja in ustvarja večji del denitrifikacije. Druga anoksična cona odstranjuje nitrato iz prve aerobne cone, ki niso recirkulirani nazaj v prvo anoksično cono. Vir ogljika, kot je metanol, je morda potrebno dodati drugi anoksični coni za doseganje dobre denitrifikacije. S tem pa je povezano ustvarjanje dodatnega blata in povečani stroški obratovanja in vzdrževanja. Druga aerobna cona odstranjuje dušikov plin iz odpadne vode preden le-ta vstopi v sekundarne usedalnike. S prezračevanjem je možnost denitrifikacije v usedalniku onemogočena. Usedljivost blata je boljša in splošno delovanje sekundarnega usedalnika je izboljšano. Shema 4-stopenjskega Bardenpho procesa je prikazana na sliki 3.

Proces Bardenpho je bil uporabljen v številnih osnovnih konfiguracijah, vključno s cevnimi reaktorji, reaktorjih s procesom popolnega premešanja in reaktorjih kot so oksidacijski jarki. Nekaterne konfiguracije uporabljajo obstoječe oksidacijske jarke za prva dva reaktorja in dodatno konstruirane bazene za sekundarna reaktorja.



Slika 3: Shema 4-stopenjskega Bardenpho procesa

#### ➤ OKSIDACIJSKI JAREK

V oksidacijskem jarku teče mešana tekočina v kanalu v obliki zanke za zagotavljanje stalnega kroženja odpadne vode in aktivnega blata. Površinski ali potopljeni prezračevalniki zagotavljajo aeracijo in anoksične cone so omogočene z ustrezno postavitvijo prezračevalnikov. To je zelo ugodno, saj se lahko za izmenjavo poteka nitrifikacije in denitrifikacije vzpostavi aerobna in anoksična cona, ena za drugo (MNRT, 2008). Oksidacijski jarki imajo za prezračevanje krtače, diskaste prezračevalnike, površinske prezračevalnike, prezračevalnike s curkom (jet aerator), ki prezračuje tekočino in jo sočasno poganja po jarku. Uporablja se tudi kombinacija globinskega prezračevanja z difuzorji in pripravo za črpanje (Roš, 2001)

Kot je omenjeno že prej lahko oksidacijski jarki delujejo kot sistemi CAAS (ciklično aeriranega aktivnega blata). Kot alternativa notranjim anoksičnim conam, so lahko anoksični bazeni zgrajeni pred ali pa za obstoječim jarkom. Če so aerobne cone dolvodno od anoksičnih con, bi bilo treba urediti notranjo recirkulacijo ali pa zunanji anoksični bazen, da se omogoči denitrifikacijo vseh preostalih nitratov (MNRT, 2008).

#### ➤ SISTEMI S PRITRJENO (FIKSIRANO) BIOMASO

Sistemi s pritrjenim biofilmom so možna alternativa procesom z razpršenim (suspendiranim) aktivnim blatom za odstranjevanje hraniv. Nosilci biomase so lahko v kompaktni izvedbi, kot so precejalniki ali suspendirani, kot v sistemih integriranega procesa suspendiranega aktivnega blata in na prosto plavajoče nosilce pritrjenega biofilma (Integrated Fixed-Film Activated Sludge – IFAS) ali le z biofilmom na prosto plavajočih nosilcih (Moving-Bed Biofilm Reactor – MBBR). Priraščen biofilm nudi prednost za počasi rastoče bakterije, kot so tiste vključene v procese nitrifikacije in denitrifikacije, ker priraščenost daje tem organizmom daljše zadrževalne čase v reaktorju. Sistemi s pritrjenim biofilmom so tudi manj nagnjeni k izpiranju in vplivom toksičnosti. Precejalniki se lahko uporabljajo kot dodatni proces za opravljanje nitrifikacije. Uporaba nosilcev za pritrditev biofilma dovoljuje dodatno rast biomase v primerjavi s podobno velikimi sistemi s suspendiranim aktivnim blatom, kar lahko povzroči povečano nitrifikacijo in denitrifikacijo v danem volumnu. Nosilci biomase so lahko naknadno vgrajeni v obstoječ sistem s suspendiranim aktivnim blatom, pod pogojem, da je zagotovljen zadosten volumen v reaktorju. Ločene aerobne in anoksične cone so lahko potrebne, če sta zaželeni nitrifikacija kot tudi denitrifikacija (MNRT, 2008).



➤ **INTEGRIRANA PROCESA SUSPENDIRANEGA AKTIVNEGA BLATA IN PRITRJENEGA BIOFILMA (Integrated Fixed-Film Activated Sludge –IFAS)**

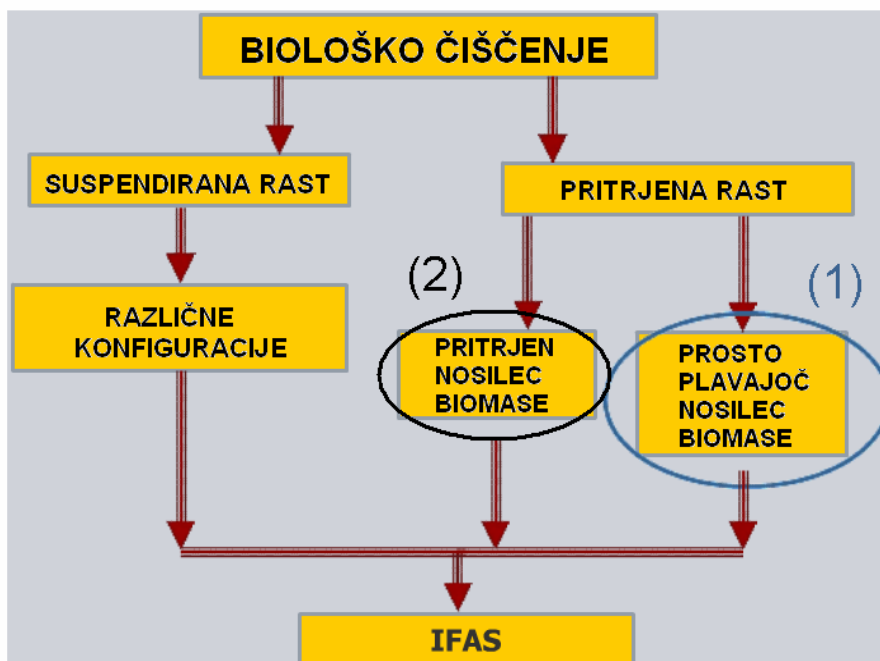
Cilj tega procesa obdelave je povečanje biomase v sistemu brez povečanja površine bazena za doseganje višje stopnje obdelave. Hibridni proces IFAS vključuje vsak sistem z aktivnim blatom, ki ima neko vrsto nosilca za pritrjevanje biofilma v reaktorju z razpršenim aktivnim blatom za povečanje količine razpoložljive biomase za obdelavo.

Obstajata dve glavni vrsti IFAS (slika 4): (1) prostoplavajoč (suspendiran) oz lebdeč nosilec za biomaso (biofilm) v sistemu z aktivnim blatom in (2) pritrjen nosilec za biomaso (biofilm) v sistemu z aktivnim blatom (Emerg. Tech., 2008). Fiksirani medij vključuje vrv ali katere druge podobne materiale (primeri blagovnih znamk vključujejo Ringlace<sup>®</sup> in Bioweb<sup>®</sup>). Prostoplavajoči (lebdeči) nosilci lahko vključujejo gobast oziroma spužvast material (Captor<sup>®</sup>, Linpor<sup>®</sup>) ali pa plastične nosilce podobne tistim, ki se uporabljajo v MBBR (Agar<sup>®</sup>, Kaldnes<sup>®</sup>, Hydroxyl<sup>®</sup>, Bioprotz<sup>®</sup>). Prostoplavajoči medij je lahko zadržan v reaktorju (bazenu) z zaprtjem v kletko ali z vgradnjo sit.

Sistemi IFAS imajo ponavadi višjo stopnjo obdelave in ustvarjajo blato z boljšimi lastnostmi (karakteristikami) usedanja in manjšo maso, kot sistemi z aktivnim blatom. Sistem IFAS ima tudi povečano odpornost na šok (povečane) obremenitve in občutno poveča zmogljivost obstoječih usedalnikov. Ker se lahko nosilce biomase zadržuje v conah znotraj celotnega bazena, obstaja možnost pojava nitrifikacije in denitrifikacije v istem bazenu v ločenih anoksičnih in aerobnih conah. Za doseganje zelo nizkih koncentracij dušika v iztoku bi bilo potrebno zagotoviti dve različni anoksični coni tako da je ena uporabljena za končno poliranje. Alternativno pa so lahko ločene cone izločene s strogo kontrolo raztopljenega kisika (RK).

Sistem IFAS znatno zmanjša potrebo po prostoru, z omogočanjem dodatne površine za priraščanje biomase znotraj istega bazena v primerjavi s procesom z aktivnim blatom. Kot tak sistem preureditve je IFAS pogostokrat alternativa dodajanju kapacitete z dodatnim bazenom k sistemu z aktivnim blatom. Fino sito ali grablje (2-3 mm) je priporočljiv dodatek pred sekundarnim procesom za preprečevanje materialu kot so lasje, da ovira površino nosilcev. Za pospeševanje nitrifikacije in denitrifikacije so potrebne višje koncentracije RK v aerobnih conah v primerjavi s procesom podaljšanega prezračevanja. Višek kisika je potreben za penetracijo (preboj) v pritrjeno biomaso na nosilcu, tako da ne postane anaerobna. Prezračevanje je pogostokrat izvedeno z difuznim zrakom (fini ali večji mehurčki), ker bi

mehanska aeracija lahko vplivala na pritrjeno biomaso na nosilcu. Višja stopnja povratnega aktivnega blata (RAS) ponavadi vpliva na boljše odstranjevanje celotnega dušika ( $N_{cel}$ ) (MNRT, 2008).



Slika 4: Vrsti IFAS sistemov

**(1) prostoplavajoč (suspendiran) nosilec za biomaso (biofilm) v sistemu z aktivnim blatom**

Proces AGAR<sup>®</sup> (Attached Growth Airlift Reactor – reaktor z na nosilce pritrjeno biomaso in zračnim mešanjem) od Siemens je proces s prostoplavajočimi (suspendiranimi) nosilci za pritrjevanje biomase, ki uporablja na tisoče posebnih suspendiranih nosilcev biomase načrtovanih za ustvarjanje ogromne površine za rast biofilma. Nosilci so majhni perforirani nosilci z velikostjo 2 cm v premeru ali manj in izdelani iz togega materiala, ki je odporen na stres ali poškodbe. Primeri nosilcev biomase so prikazani na sliki 5.



*Slika 5: Primeri prostoplavajočih nosilcev biomase*  
*<http://www.water.siemens.com>*

Postopek CAPTOR<sup>®</sup> uporablja nosilce iz poliuretanske pene kot dodatek k procesu z aktivnim blatom, kar dvigne ekvivalentno koncentracijo biomase (aktivnega blata) (X; angl.: MLSS). LINPOR<sup>®</sup> je proces z aktivnim blatom in je bil razvit pred 30 leti. Komercialno je bil predstavljen (uveden) v Evropi v zgodnjih 80-ih. LINPOR<sup>®</sup> uporablja suspendiran porozni plastično penast medij (slika 6) v kombinaciji s prosto suspendiranim deležem aktivnega blata, kar omogoča vzdrževanje precej višje koncentracije učinkovne celotne biomase v biološkem reaktorju (Emerg. Tech., 2008).



*Slika 6: LINPOR<sup>®</sup> - porozni plastično penasti nosilci (medij)*

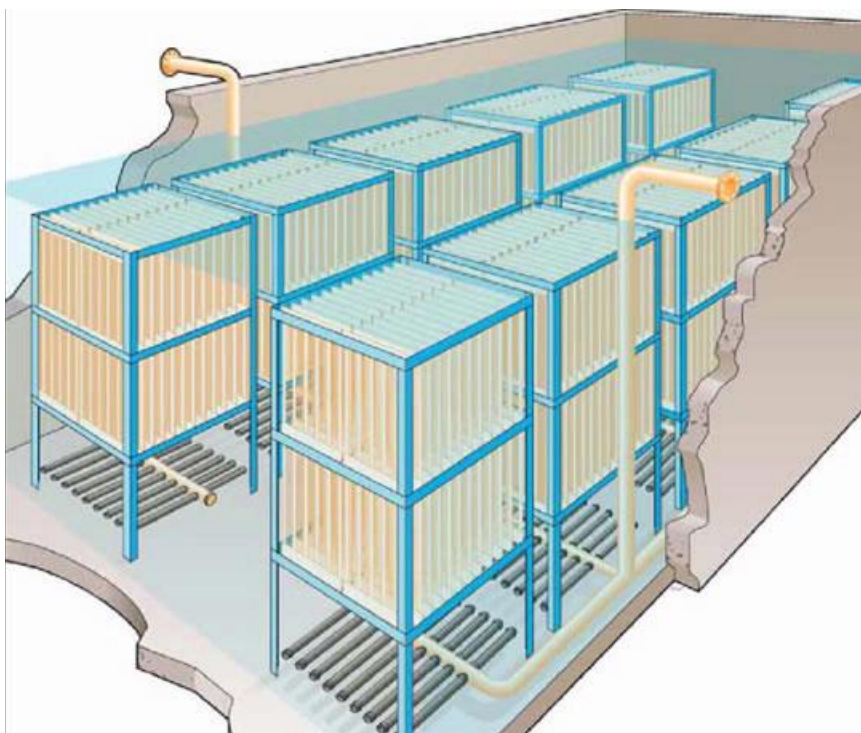
## **(2) pritrjen nosilec za biomaso (biofilm) v sistemu z aktivnim blatom**

Sistem CLEARTEC<sup>®</sup> uporablja material razporejen v plahte znotraj trdnega okvirja, kot pritrjen nosilec za biomaso. Pritrjen nosilec je narejen iz polietilena in predstavlja množico votlih kanalov, vsak z razmakom 5 centimetrov. Material za pritržitev biomase brez in s priraščeno biomaso je prikazan na sliki 7. Odprtine kanalov pritrjenih nosilcev se lahko spreminjajo in so izražene v kvadratnih metrih [m<sup>2</sup>] površine za pritržitev na kubični meter

nosilcev. Ta faktor je lahko v razponu od 150-200 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup> in če je potrebno tudi do 300 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup> nosilcev. Odpadna voda teče v kaskadah skozi posamezne module bioreaktorja in odpadne snovi so minerilizirane s pomočjo imobilizirane biomase. Moduli v reaktorju so prikazani na sliki 8.



Slika 7: Cleartec<sup>®</sup> - material za pritrditev biomase brez in s priraščeno biomaso (biofilmom)  
[http://www.esi.info/documents/Eimco\\_Cleartec\\_ML.pdf](http://www.esi.info/documents/Eimco_Cleartec_ML.pdf)



Slika 8: Prikaz Cleartec<sup>®</sup> modulov v reaktorju  
[http://www.esi.info/documents/Eimco\\_Cleartec\\_ML.pdf](http://www.esi.info/documents/Eimco_Cleartec_ML.pdf)

ACCUWEB<sup>®</sup> uporablja module pritrjenih nosilcev. Standardni moduli vključujejo AccuWeb nosilec iz poliestra nameščen na strukturne okvirje s podporniki nosilcev in napenjalnimi palicami (slika 9). Nosilec je stkan iz poliesterskih vlaken z majhnimi heksagonalnimi odprtinami manjšimi od 2 centimetrov v premeru. Moduli se lahko sestavijo v različnih dimenzijah za prilagoditev velikostim aeracijskega bazena in združijo za različne obremenitve.



*Slika 9: AccuWeb<sup>®</sup> modul v reaktorju  
<http://www.brentw.com>*

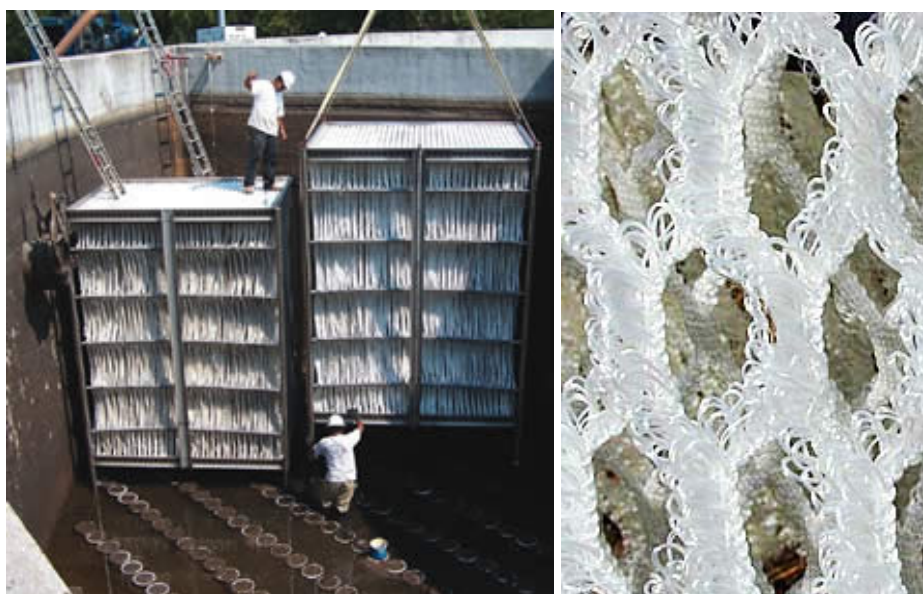
RINGLACE<sup>®</sup> je elastični vrvi podoben nosilec oblikovan kot linearni trakovi za pritrjevanje biomase. Nosilci so lahko vgrajeni v različne okvirje, tako da se lahko prilagodi dimenzijam specifičnega aeracijskega bazena (slika 10). Ringlace bionosilci so bili razviti na Japonskem v 1970 letih. Podjetje Ringlace Products, Inc., si lasti več kot 400 Ringlace inštalacij svojega produkta v naprave širom sveta.

BIOMATRIX<sup>™</sup> je podoben RINGLACE<sup>®</sup> v tem, da je nosilec izdelek iz zankaste vrvi v mnogostranskih oblikah. Ta vrvi podoben nosilec za pritrjevanje biomase je obešen na kovinske nosilce. Okvirji so modularni in so potopljeni v aerobno cono bioreaktorja. Nosilec je izdelan iz PVC (polivinilklorida) vlaken stkanih v vrvem podobne konopce s štrlečimi 5 mm zankami. To zagotavlja površino na katerih lahko mikroorganizmi rastejo in učinkovito povečajo zadrževalni čas blata v sistemu z aktivnim blatom.



*Slika 10: Namestitev RINGLACE® sistema*

BIOWEB™ je bil zasnovan za optimizacijo procesa in odpravljanje skrbi zaradi integritete. Bioweb™ struktura je ekstremno močna zaradi trdno spete (spojene) sataste zasnove z natezno močjo večjo kot  $0,5\text{kg}/\text{cm}^2$  (slika 11). Uporablja zakonsko zaščiteno proces pletenja, ki je samo natezajoč med nameščanjem in preprečuje obrabljanje in razparanje četudi je pretrgan. Dobavlja se v dolgih rolah, kar omogoča preproste izdelave okvirjev in namestitev. Zagotavlja odlično distribucijo in difuzijo substrata in kisika (Emerg. Tech., 2008).

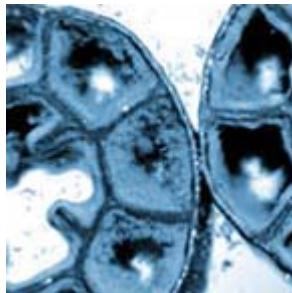


*Slika 11: Nameščanje Bioweb™ modulov in prikaz Bioweb™ mreže iz poliesterskih vlaken*  
<http://www.entexinc.com>

➤ **BIOREAKTORJI Z BIOMASO PRITRJENO NA (PROSTO) PLAVAJOČIH (NEPRITRJENIH) NOSILCIH (Moving-Bed Biofilm Reactor - MBBR)**

Cilj procesa je odstranjevanje BPK, nitrifikacija in denitrifikacija. Stopnja razvoja procesa je inovativna.

Proces MBBR vključuje majhne cilindrične polietilenske nosilne elemente (slika 12) v aeriranih ali neaeriranih bazenih za pritrnitev (rast) biofilma (Emerg. Tech., 2008). Nosilni elementi od večine proizvajalcev so oblikovani kot cilindri (imajo cilindrično obliko) ali kolesa z notranjimi in zunanji zarezami. Ta oblika zagotavlja veliko površino na enoto volumna, ki je zaščiten pred strižnimi silami, kar omogoča boljšo razrast biofilma (MNRT, 2008).



*Slika 12: Primer nosilca v procesu MBBR*  
<http://www.headworksusa.com/products/mbbr.cfm>

Mešala v sistemu neprekinjeno vzdržujejo elemente v premikanju (kroženju) (Emerg. Tech., 2008). Potopljena mešala s počasno hitrostjo so uporabljena v anoksičnih conah; zrak je dovajan v aerobnih conah z difuzorji, ki ustvarjajo večje mehurčke, ker so fini mehurčki nagnjeni k združevanju v plastičnem nosilcu. Sito (ločevalnik) se uporablja za zadrževanje nosilcev v določenem bazenu (MNRT, 2008). Usedalnik (bistrilnik) se uporablja za usedanje odpadlega (odluščenega) biofilma.

Proces je definiran (opredeljen) kot hibridni sistem saj ga je mogoče zlahka preurediti (vključiti) v obstoječem bazenu z aktivnim blatom. Kljub podobnosti s sistemom IFAS, je ta tehnologija drugačna, saj proces ne vključuje povratnega toka (recikla) aktivnega blata. KALDNES<sup>®</sup>-HYBAS<sup>™</sup>/ActiveCell<sup>™</sup>, Hyrdoxyl-F3R, GeoReactor<sup>®</sup> sistemi so primeri procesa MBBR.

Proces z biofilmom pritrjenim na posebne plavajoče nosilce se pogosto uporablja za nadgradnjo obstoječih naprav, zlasti kadar se soočamo s problemom omejitev razpoložljivega

prostora. Sistemi z visoko stopnjo aktivnosti biofilma, kot so tisti navedeni, so zelo učinkoviti pri odstranjevanju raztopljenih organskih in dušikovih obremenitev (Emerg. Tech., 2008).

➤ **MEMBRANSKI BIOLOŠKI REAKTOR (Membrane BioReactor - MBR)**

Cilj je obdelava s filtracijo biomase za visoko kakovostni iztok, z manjšo potrebo po prostoru. Različni modeli so bili razviti in izboljšani. Nekateri membranski moduli so inovativni, medtem ko so nekateri moduli že priznani na trgu.

MBR je biološki reaktor, ki uporablja membrane za ločevanje trdnih snovi (delcev) iz tekočin namesto konvencionalnih usedalnikov (bistrlinikov). V MBR so fine pore membran uporabljene (namenjene) za filtracijo vode iz procesa z aktivnim blatom. Ta prefiltrirana voda izteka kot sekundarni iztok medtem ko trdni delci ostanejo v reaktorju kot koncentracija aktivnega blata (MLSS) z nekaj trdnimi snovmi občasno izločenimi kot odvišno (odvečno) blato. Uporaba membran namesto usedalnikov (bistrlinikov) omogoča sistem z visoko koncentracijo aktivnega blata (MLSS) s čimer se zmanjša potreben volumen bioreaktorja, za željeni zadrževalni čas trdnih snovi (SRT). Sistemi MBR lahko delujejo pri koncentracijah aktivnega blata z 20000 mg/l ali višje. Daljši zadrževalni čas trdnih snovi (SRT) omogoča razvoj počasi rastočih mikroorganizmov, kot so nitrifikatorji.

Membrane, ki se uporabljajo v MBR so izdelane (sestavljene) iz dveh osnovnih materialov: (1) organskih polimerov in (2) anorganskih snovi, kot je keramika. Membrane na osnovi organskih polimerov se najpogosteje uporabljajo za obdelavo komunalnih odpadnih voda in so oblikovane bodisi iz modificiranih naravnih celulozno acetatnih materialov ali sintetičnih materialov. Membrane so modularne enote. Moduli so različnih tipov, odvisno od zahtev(ane) uporabe. Nekateri MBR sistemi so zasnovani tako, da so membrane potopljene v reaktorjih z aktivnim blatom. Pri drugih aplikacijah se membrane nameščajo v ločenih stopnjah ali predelih. Vsaka od mnogih različnih tipov (vrst) membran se lahko uporabljajo v obeh primerih (načinih) uporabe. Mašenje filtrirnega medija z biomaso je tipično največji (najvplivnejši) obratovalni problem. Mašenje membran je sistematično zbiranje suspendiranih trdnih snovi, koloidov, usedlin in makromolekul na površini membrane ali znotraj por, kar povzroča zmanjšanje prepustnosti membrane. Najpogosteje uporabljene strategije za nadzor mašenja vključujejo kemično pranje in čiščenje, kot tudi zračno čiščenje in povratni pulzirajoči tok tekočine, da se prepreči formacija plasti (Emerg. Tech., 2008). Nekateri proizvajalci nudijo časovni razpored za obdobje povratnih tokov za zmanjševanje razraščanja



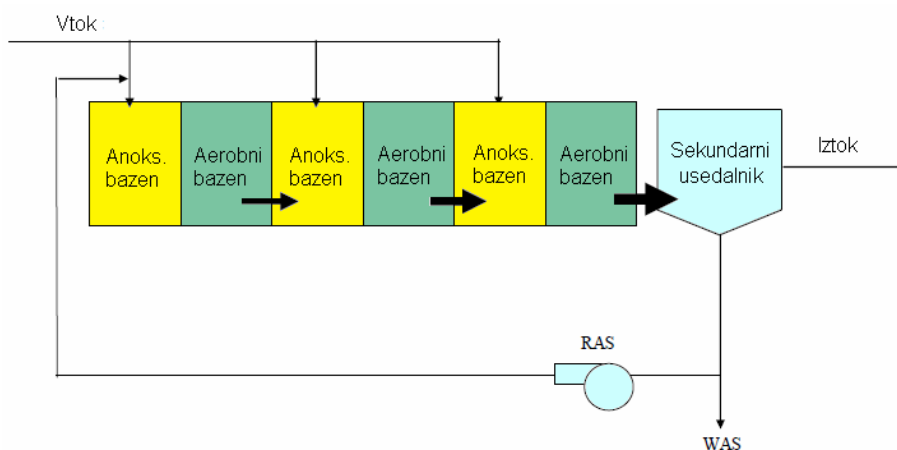
(priraščanja) biomase. Membrane morajo biti čiščene periodično (štirikrat–dvakrat letno) z uporabo citronske kisline ali natrijevega hiperklorata, odvisno od vrste (tipa) zamašitve in priporočil proizvajalca za posamezen sistem (MNRT, 2008).

**PRIMERJAVA S PRIZNANIMI (UVELJAVLJENIMI) TEHNOLOGIJAMI:** Prednosti sistemov MBR v primerjavi s konvencionalnimi biološkimi sistemi vključujejo boljše kvaliteto (kakovost) iztoka, manjše zahteve po prostoru in manjšo proizvodnjo blata. Ker MBR deluje kot filter in ločuje vodo od trdnih snovi (MLSS) lahko le-ta v iztoku doseže celotne količine suspendiranih trdnih snovi (TSS) manjše od 1 mg/l in BPK manjši od 1,5 mg/l. MBR zahtevajo majhno potrebo po prostoru, zato je odlična možnost (rešitev) za razširitev obstoječe naprave z zelo omejenim prostorom (ki imajo na voljo omejen prostor). MBR sistemi zagotavljajo (nudijo) operativno fleksibilnost v zvezi s pretokom in sposobnost za hitro dodajanje ali odvzemanje modularnih enot, če (ko) je to potrebno. Vendar pa potopljene membrane običajno zahtevajo da se nivo vode ohranja na razmeroma stalnem nivoju, tako da ostanejo mokre. Omejitve pretoka so potrebne zaradi fizičnih lastnosti membrane katere rezultat izhaja v dejstvo, da načrtovani maksimalni pretok ne sme biti večji od 1,5-2 kratnega povprečnega načrtovanega pretoka. MBR so uporabljeni v sistemih biološkega odstranjevanja hraniv (nutrientov) (BNR) in lahko dosežajo vrednosti celotnega dušika ( $N_{cel}$ ) v iztoku pod 4 mg/l in vrednosti celotnega fosforja manjše od 0,5 mg/l (Emerg. Tech., 2008).

#### ➤ **POSTOPNO HRANJENJE (AKTIVNEGA BLATA)**

Težave z izvedbo popolne nitrifikacije in denitrifikacije z zaporedjem aerobnih in anoksičnih reaktorjev je ta da je malo ogljika na voljo za vzdrževanje mikrobne populacije v sekundarnih reaktorjih. Ta problem je mogoče odpraviti z dodajanjem dodatnega (vira) ogljika. Alternativno, se lahko odpadna voda in s tem vir ogljika (hrana) dovaja neposredno (direktno) v vsako anoksično cono za zagotavljanje, da je na voljo dovolj ogljika. Shema procesa postopnega hranjenja je prikazana na sliki 13. Biomasa se vzdržuje prednostno bolj v prvem delu in nato manj v drugem delu in naslednjih delih v sorazmerju z deljenim pretokom, ki gre v posamezni del. Zadnji del (odsek) reaktorja vzdržuje najmanjši delež biomase v obratnem sorazmerju s pretokom in je zato koncentracija aktivnega blata najnižja. Stopnja obremenitve bistrilnika z trdnimi snovmi bo tako (zato) najnižja za pretok. Mikroorganizmi v poznejših

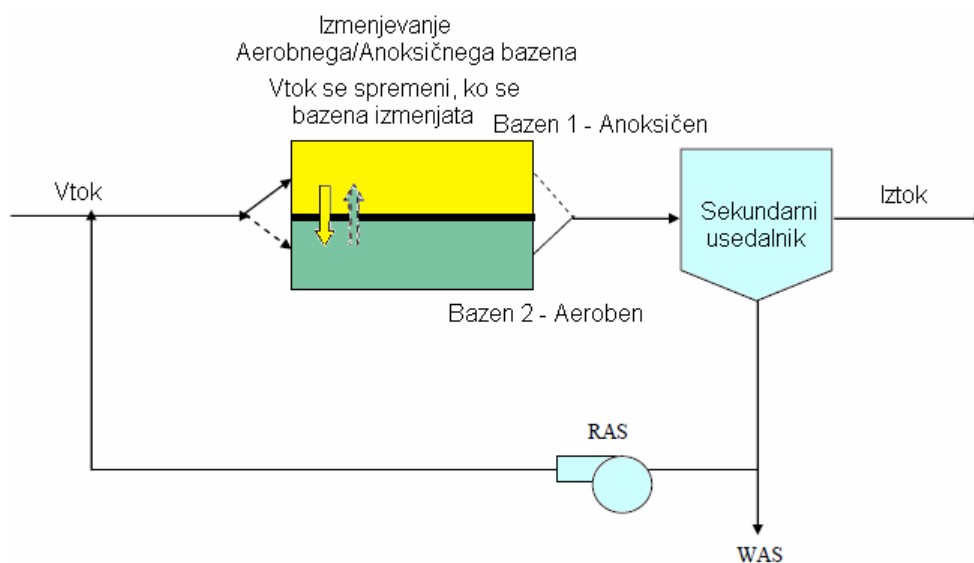
stopnjah ne obdelujejo samo surove odpadne vode vendar tudi vse kar pride iz predhodnih (gorvodnih) con (MNRT, 2008).



Slika 13: Shema procesa postopnega hranjenja

#### ➤ BIODENITRO PROCES

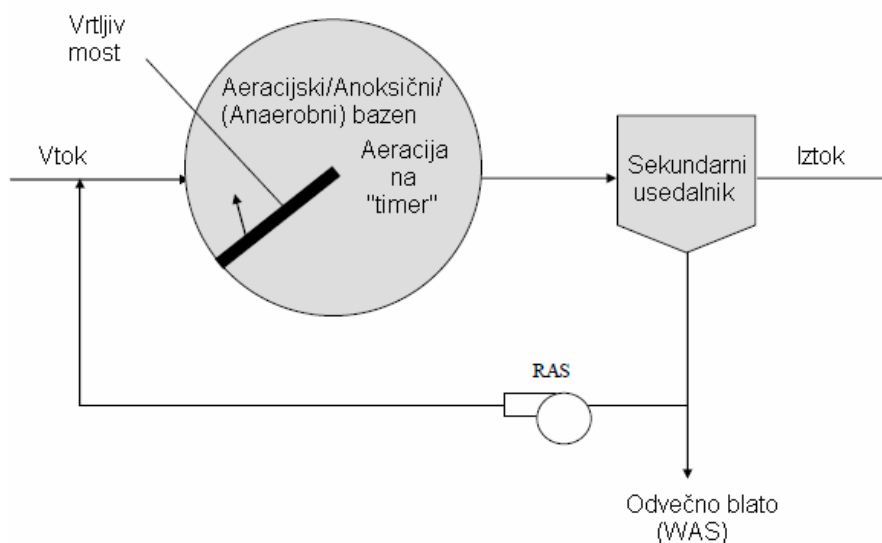
Biodenitro proces, različica (varianta) oksidacijskega jarka, je sestavljen iz dveh oksidacijskih jarkov, ki sta drug zraven drugega. Dotok se izmenično dovaja v jarke, kar omogoča tvorbo anoksičnih in aerobnih con (potrebni) za nitrifikacijo in denitrifikacijo. Jarka sta izmenično aerirana in neaerirana in mešanje je vzdrževano z vtokom v jarke. Jarki periodično izmenjujejo način, ko sta in nista aerirana in skupni rezultat je, da voda prehaja skozi več aerobnih in anoksičnih con pred izpustom (slika 14). Ker oksidacijski jarki zahtevajo veliko prostora pomeni da več oksidacijskih jarkov zahteva veliko zemljišča. Črpanje in črpalke so potrebne odvisno od hidravličnega profila. Ker se vtok konstantno izmenjuje je potreba po dodatni hrani običajno zmanjšana ali odpravljena. Za doseganje nizkih koncentracij dušika v iztoku bi bila mogoče potrebna ločena (zunanja) anoksična cona, ki bi sledila oksidacijskemu jarku (MNRT, 2008).



Slika 14: Shema Biodenitro procesa

#### ➤ SCHREIBER PROCES

Patentirani Schreiber protitočni aeracijski proces lahko zagotovi nitrifikacijo in denitrifikacijo v enem bazenu. Odpadna voda vstopi v krožni bazen opremljen z vrtljivim mostom, ki zagotavlja (omogoča) mešanje. Prezračevanje (aeracijo) zagotavljajo (omogočajo) difuzorji s finimi mehurčki pritrjeni na most. Če se zahteva izmenjava (zaporednost) med aerobnimi in anoksičnimi pogoji, se lahko aeracija izklopi med tem ko most še naprej meša bazen (izvaja mešanje v bazenu). Shema Schreiber procesa je prikazana na sliki 15. Potreben prostor sistema je približno enak konvencionalnemu sistemu z aktivnim blatom, vendar z vgrajeno dodatno opremo. Ker vključuje izmenjajoče aerobne in anoksične pogoje v enem bazenu, je mogoče dosegati zelo nizke koncentracije celotnega dušika ( $N_{cel}$ ) v iztoku, ko je sistem optimiziran. Učinkovitost se lahko nadalje poveča z dodatnimi anoksičnimi conami dolvodno od primarnega reaktorja. V standardni Schreiber konfiguraciji je potreba po dodatni hrani običajno zmanjšana ali odpravljena zaradi tega ker je vse opravljeno (izvedeno) v enem bazenu (MNRT, 2008).



*Slika 15: Shema Schreiber procesa*



*Slika 16: Schreiber bazen in vrtljivi most*

➤ **ŠARŽNI BIOLOŠKI REAKTOR (SBR – Sequencing Batch Reactor)**

Čistilne naprave z majhnim ali občasnim (v)tokom bi lahko imele korist od uporabe SBR. Takšni reaktorji se napolnijo v določenem času in nato je vsebina (predelana) obdelana pod pogoji, ki so potrebni za doseganje zahtevane (željene) stopnje obdelave. V primeru odstranjevanja dušika pogoji vključujejo tako aerobni kot anoksični čas. Več enot SBR omogoča konstantno polnjenje z odpadno vodo in serije obdelav. SBR imajo običajno 4 faze: faza polnjenja, med katero je vzdrževano mešanje; reakcijska faza z izmenjajočimi se aerobnimi in anoksičnimi cikli; faza usedanja, med katero je mešanje izklopljeno zato, da se lahko mikroorganizmi posedejo; in faza praznjenja, med katero se vrši iztok iz reaktorja. V odvisnosti od dolžine časa potrebnega za polnjenje, reakcijo in praznjenje, omogoča več SBR enot konstantno sprejemanje odpadne vode. Površina potrebna za SBR je lahko majhna in je odvisna od potrebnega števila reakcijskih bazenov. Potreba po dodatni hrani je običajno

majhna, ker se vse odvija v enem bazenu. Zelo nizek iztok dušika se lahko dosega z uporabo večjega števila aeracijskih in anoksičnih korakov, z dodatkom hrane če je (to) potrebno (MNRT, 2008).

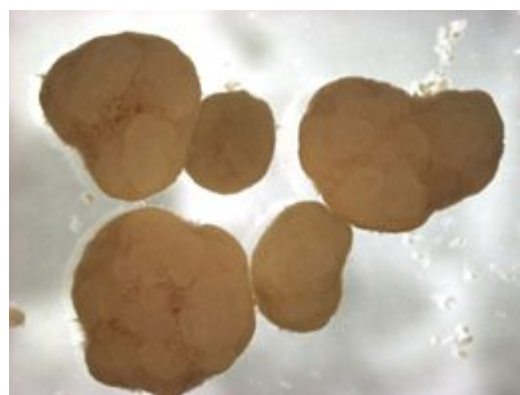
➤ **AEROBNI PROCES Z GRANULIRANIM (ZRNAVIM) BLATOM (Aerobic Granular Sludge Proces (AGSP))**

AGSP ima sposobnost zagotavljanja primerljive učinkovitosti obdelave kot s konvencionalnim aktivnim blatom z nižjimi stroški s kompaktno tehnologijo aerobnega granuliranega (zrnavega) blata. Stopnja razvoja procesa je embrionalna.

Dokazano je da ima granulirano (zrnavo) blato izboljšane lastnosti usedanja, kar omogoča učinkovitejše ločevanje trdnih snovi iz tekočine. Z visokim zadrževanjem biomase in biološko aktivnostjo lahko reaktor z granuliranim blatom obratuje pri visokih nivojih volumenske obremenitve. AGSP reaktor obratuje kot šaržni biološki reaktor (SBR), kar je nujno za doseganje procesnih pogojev za oblikovanje (formacijo) aerobnega granuliranega blata. Podobno kot pri konvencionalni uporabi SBR koncepta ima en cikel obdelave v AGSP reaktorju štiri značilne dobro definirane faze. To so polnjenje, mešanje/aeracija, usedanje in praznjenje. Šaržno polnjenje reaktorja povzroči visoko koncentracijo substrata na začetku cikla obdelave. Zaradi visoke koncentracije, lahko substrat difundira (prodre) globoko v granule, kar prepreči stradanje bakterij znotraj granul. Z nezadostnim hranjenjem (difuzijski gradient), bodo bakterije v centru (središču) granul stradale in se oslabile, kar bo sčasoma vodilo k razpadu granule. V splošnem bo velikost granul naraščala dokler ni formacija (oblikovanje) stabilnih granul omejena z difuzijo substrata. Manj stabilne granule so občutljive na strižne sile in se bodo zmanjšale ali razpadle (zdrobile). Oslabljen biomasa v centru granule bo zmanjšala tudi gostoto granule in zavirala procese usedanja, kar bo povzročilo (vodilo v) izpiranje. Tako bo na koncu doseženo dinamično ravnovesje med koncentracijo substrata in povprečnim premerom granule. Opaženo je bilo, da visoke strižne sile v pogojih turbulentnega toka dajo selektivno prednost formaciji (oblikovanju) stabilnih granul. Raziskave kažejo, da so stopnje odstranjevanja dušika višje kot 80%, izvedljive. Med tem ko nitrifikacija poteka v zunanjem, aerobnem sloju granul, se bo denitrifikacija pojavila (zgodila) v anoksičnem jedru granul s potrebnim virom ogljika, ki je zagotovljen z difuzijo substrata v granule (Emerg. Tech., 2008).

**PRIMERJAVA S PRIZNANIMI (UVELJAVLJENIMI) TEHNOLOGIJAMI:** V preteklosti je bilo granulirano blato uporabljeno kot del koncepta dizajna anaerobnega procesa obdelave. Vendar pa so nedavne raziskave pokazale da je lahko granulirano blato pridobljeno tudi pod aerobnimi procesnimi pogoji. Z razliko od bakterij najdenih v anaerobnem granuliranem blatu, aerobne bakterije v splošnem naravno ne tvorijo granul. Da bi dosegli granulacijo pod (z) aerobnimi pogoji procesa, so izbrani (uporabljeni) kratki časi usedanja za ustvarjanje močnih selektivnih prednosti za dobro usedljive granule blata. Slabo usedljiva biomasa bo izprana pod takimi pogoji. Zato so izbrani ustrezni časi usedanja in praznjenja v vsakem ciklu obdelave. V pilotnih preizkusih (slika 17), obratuje AGSP reaktor pri časih usedanja, ki ustrezajo povprečni hitrosti usedanja okoli 16-24 km/h (4,44-6,67 m/s). Te razmeroma visoke hitrosti usedanja omogočajo visoke volumenske obremenitve reaktorja, kar rezultira v kompaktno obliko reaktorja.

Nadaljnji razvoj tehnologije aerobnega granuliranega blata ima lahko za posledico kompakten dizajn (obliko) sekundarne in terciarne enote obdelave z majhno potrebo po prostoru, ter zato zagotavlja prihranke pri stroških zaradi zmanjšanja prostorskih zahtev (Emerg. Tech., 2008).

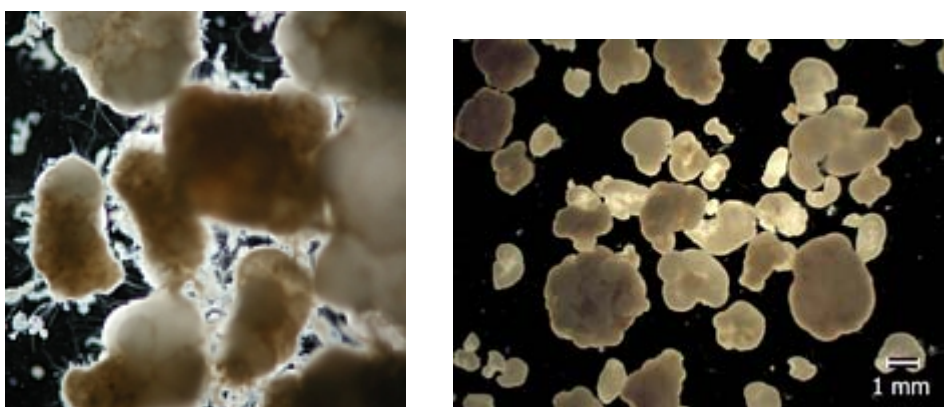


*Slika 17: Pilotna naprava procesa z granuliranim aktivnim blatom in granulirano blato  
[http://en.wikipedia.org/wiki/Aerobic\\_granulation](http://en.wikipedia.org/wiki/Aerobic_granulation)*

Aerobni proces z granuliranim blatom je poznan tudi pod imenom **NEREDA™**. Cilj procesa Nereda™ je obdelava komunalnih ali industrijskih odpadnih voda s pomočjo aerobnih granul (zrn). To vključuje odstranjevanje KPK, N in P. Stopnja razvoja procesa je embrionalna.

Proces NEREDA™ temelji na gojenju aerobnih bakterij v pogojih, ki povzročajo da bakterije tvorijo lepljivo (sprijemljivo) snov, ki veže bakterije v koncentrirane granule (slika 18). Lepljiva snov in pogoji, ki jo proizvajajo niso razkrite od proizvajalca. Trditev proizvajalcev NEREDA procesa je da tvorba kroglic omogoča višje koncentracije bakterij v manjšem prostoru kot pri (v) konvencionalnem aktivnem blatu, kjer so bakterije bolj razpršene in manj koncentrirane. Granule so tudi lažje usedljive v bistrilniku (usedalniku) zaradi njihove višje gostote. Bakterije v granulah so zmožne enake razgradnje odpadne vode, kot razpršene bakterije v konvencionalnem aktivnem blatu; vendar prednost višjih koncentracij in boljše usedljivosti lahko zmanjšajo stroške aeracijskih bazenov in usedalnikov. Granule so tudi manj nagnjene k napihovanju blata in pojavljanju primerov slabe usedljivosti trdnih snovi (Emerg. Tech., 2008).

**PRIMERJAVA S PRIZNANIMI (UVELJAVLJENIMI) TEHNOLOGIJAMI:** Proces NEREDA™ nudi pomembne prednosti v primerjavi s konvencionalnimi postopki čiščenja vode. Vsi procesi se lahko odvijajo v enem reaktorju (bazenu); zato ta proces odpravlja potrebo po bistrilniku (usedalniku). Shema procesa je prikazana na sliki 20. Ta proces potrebuje le četrtno prostora, ki jih zahtevajo običajne naprave (Emerg. Tech., 2008).

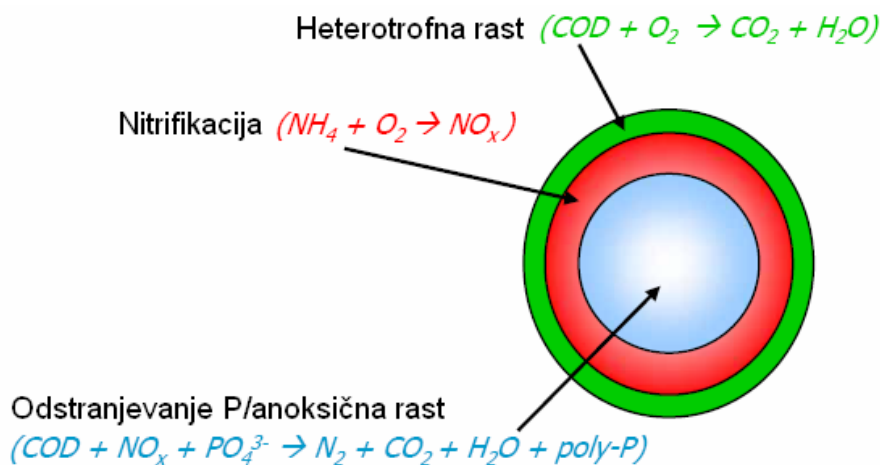


*Slika 18: NEREDA™ granule*  
*<http://www.nereda.net>*

Lastnosti aerobnih granul:

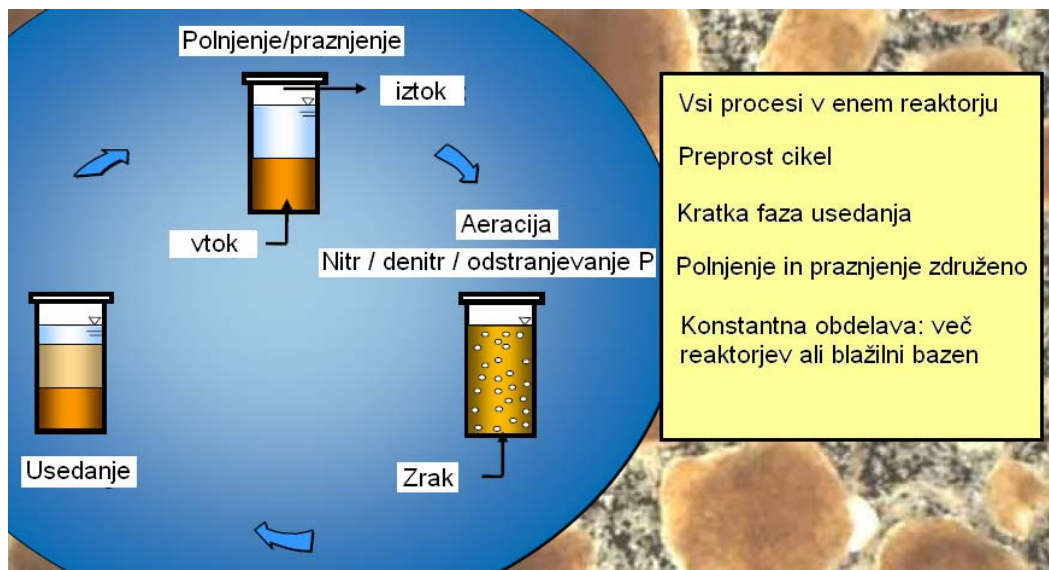
- Odlične lastnosti usedanja
- Čista biomasa; brez potrebe po nosilcih
- Visoke koncentracije bime
- Simultano obsežno/znatno odstranjevanje N in P (slika 19)
- Preprost koncept z enojnim bazenom (brez usedalnikov)
- Majhna potreba po prostoru → 75% manjša poraba prostora: visoke koncentracije biomase; brez selektorjev, anaerobnih bazenov, usedalnikov
- Preprosto in lahko obratovanje
- Trajnostna tehnologija → povečana trajnost: manjša poraba energije; izboljšana kvaliteta vode; znatno odstranjevanje hraniv; manj konstrukcijskega materiala; brez kemikalij; manjša poraba prostora
- Nizki stroški → >25-35% prihranka pri energiji: manj opreme; učinkovita aeracija  
→ nižji konstrukcijski in obratovalni stroški

([www.i-sup2008.org/presentations/Conference\\_2/Giesen\\_A.pdf](http://www.i-sup2008.org/presentations/Conference_2/Giesen_A.pdf))



Slika 19: Kisikov gradient v granulah omogoča simultano odstranjevanje KPK, N in P  
[http://www.i-sup2008.org/presentations/Conference\\_2/Giesen\\_A.pdf](http://www.i-sup2008.org/presentations/Conference_2/Giesen_A.pdf)





Slika 20: Shema Nereda<sup>TM</sup> (SBR) procesa  
[http://i-sup2008.org/presentations/Conference\\_2/Giesen\\_A.pdf](http://i-sup2008.org/presentations/Conference_2/Giesen_A.pdf)

### 2.1.3 Procesni za odstranjevanje dušika iz povratnega toka

Eno od bistvenih vprašanj (zadev), ki zahtevajo posebno pozornost in odločitve na čistilnih napravah pri katerih je zahtevan nizek celotni dušik ( $N_{cel}$ ) v iztoku je ali in kako obdelati z dušikom obremenjeni (recirkuliran) povratni tok, ki prihaja iz obdelave blata in drugih aktivnostih in odločitev ali naj se vključi posebno ločeno obdelavo teh tokov. Ti tokovi običajno vsebujejo visoke koncentracije amonijevega-N, ki bi povzročili težje upravljanje procesa v glavnem biološkem sistemu obdelave, ko bi se v njih iz procesov za ravnanje z blatom pošiljale te z amonijem visoko obremenjene pretoke.

Tipična rešitev za visoke obremenitve stranskega toka bi bila izravnava (izenačenje) → dnevni nadzor (kontrola) pretoka stranskega toka tako da je doveden (vključen) med obdobjem nižje obremenitve glavnega toka; ali nameniti en del, ki obdeluje glavni tok za obdelavo stranskega toka. Pogostokrat je boljša rešitev obdelava stranskega toka pred recirkulacijo (vračanjem v glavni tok). Naslednji sistemi so bili predlagani za obdelavo takšnih stranskih tokov in tudi izvedeni na nekaterih lokacijah v Evropi in ZDA (MNRT, 2008).

➤ **INNITRI PROCES – NITRIFIKACIJA**

Z amonijem obremenjena voda je obdelana v ločenem posebnem nitrifikacijskem reaktorju preden je recirkulirana (vrnjena) na začetek naprave. To torej zmanjša obremenitev z amonijevim-N v recirkuliranem toku. Recirkuliran tok nato zagotavlja vir (izvor – seme) nitrifikacijskih bakterij za glavni reaktor. Takšna oskrba (dopolnitev) pa pogosto ni na voljo v glavnem toku zaradi vzdrževanja prenizkega zadrževalnega časa trdnih snovi (SRT), tako da so nitrifikatorji odplavljeni iz sistema. Ta stalna oskrba z nitrifikatorji je torej koristna za naprave, ki morajo nitrificirati ali dosežati nizke koncentracije iztoka skozi celo leto. Ta stranski reaktor je lahko majhen in lahko obratuje pri povišani temperaturi v primerjavi z glavnim reaktorjem. Z obogatitvijo (oskrbo, dopolnjevanjem) glavnega sistema z nitrifikatorji je lahko glavni SRT zmanjšan, kar lahko zmanjša skupne stroške investicije (kapitalne stroške) in stroške obratovanja in vzdrževanja (MNRT, 2008).

➤ **BIO-(O)BOGATENJE (BIO-AUGMENTATION)**

Bio-(o)bogatenje in SBR intenzivirana – NITRIFIKACIJA (Bio-Augmentation Batch Enhanced (BABE) – NITRIFICATION)

Proces BABE je variacija (varianta) procesa InNitri. V BABE je reaktor sistem, ki je (na)polnjen z določeno količino povratnega blata iz glavnega sistema z aktivnim blatom skupaj s stranskim tokom (tokom tekočine) od obdelave blata. Ta šaržni reaktor obratuje tako aerobno kot anoksično in zato nitrificira in denitrificira stranski tok. To pomeni da bo alkaliteta zgubljena med nitrifikacijskim procesom delno povrnjena med denitrifikacijo in stranski tok ne bo potrebno nevtralizirati preden bo uveden v glavni tok. Iztok iz šaržnega reaktorja vsebuje nitrifikatorje, kar bo povečalo populacijo v glavnem toku. Testiranja v naravnem (polnem) merilu so bila izvedena na Nizozemskem.

Obstajajo številne druge vrste procesov biološkega (o)bogatenja, ki so bili razviti v Evropi in drugje. Primeri vključujejo naslednje procese : MAUREEN (Mainstream AUtotrophic Recycle Enabling Enhanced N-removal), BAR (Bio-augmentation R (regeneration)), AT-3 (Aeration Tank 3) in BASIN (Biofilm Activated Sludge Innovative Nitrification). Proces BAR in AT-3 sta bila dokazana v demonstracijskem (predstavitvenem) merilu medtem ko drugi kažejo perspektivnost (obetavnost) v prihodnosti (MNRT, 2008).

➤ **NITRITACIJA – DENITRITACIJA**

Nedavno razvita alternativa konvencionalni nitrifikaciji/denitrifikaciji je proces nitritacije, kjer se aerobno proizvaja le nitrit. Ta proces je znan in pod lastnim (lastniškim) imenom SHARON (Single-reactor High-activity Ammonia Removal over Nitrit) oziroma visoko aktivno odstranjevanje amonija preko nitrita v enem reaktorju. Proces poteka pri povišanih temperaturah (30-35°C), pri nižjem zadrževalnem času trdnih snovi (SRT), kar daje prednost (je naklonjeno) rasti (gojenju, razvoju kulture) amonijevih oksidantov (kot je vrsta Nitrosomonas) pred oksidanti nitrita (nitritnimi oksidanti) (kot je vrsta Nitrobacter). Denitrifikatorji so nato spodbujeni, da pretvorijo nitrit v dušikov plin. Brez oksidacije vse do nitrata je zmanjšana poraba kisika in energije. Če je potrebno se lahko za denitrifikacijo uporabi metanol. Proces se uporablja na različnih lokacijah v Evropi in od leta 2007 je nameščen tudi v ZDA (MNRT, 2008).

Drug proces za pretvarjanje (pretvorbo) amonija v nitrit uporablja na novo odkrito skupino avtotrofnih mikroorganizmov, ki lahko anaerobno oksidirajo amonij z uporabo (s pomočjo) nitrita. Imenuje se ANAMMOX (ANaerobic AMMonia OXidation) proces, za anaerobno oksidacijo amonija. Ti mikroorganizmi so naklonjeni visokim temperaturam (nad 35°C) in rastejo zelo počasi. V tem primeru je strategija za pridobitev nitrita uporaba SHARON procesa, kot prvi korak, za proizvodnjo nitrita in nato oksidacija mimo preusmerjenega toka amonija z nitritom. Sistemi ANAMMOX so bili uporabljeni v Evropi, zlasti v Rotterdamu. Dva procesa s pritrjeno biomaso in podobnima strategijama kot pri SHARON in ANAMMOX – OLAND (Oxygen Limited Aerobic Nitrification-Denitrification) s kisikom omejena aerobna nitrifikacija-denitrifikacija in CANON (Completely Autotrophic Nitrogen Removal Over Nitrit) popolnoma avtotrofno odstranjevanje dušika preko nitrita, sta v razvoju (MNRT, 2008).

➤ **SHARON (Single reactor High-activity Ammonia Removal Over Nitrite → visoko-aktivno odstranjevanje amonija preko nitrita v enem reaktorju)**

Cilj procesa je odstranjevanje dušika iz povratnega toka tekočine od procesiranja (obdelave) presnovljenega blata. Stopnja razvoja je embrionalna.

SHARON je proces stranskega toka, ki je bil razvit za biološko odstranjevanje dušika iz povratnega (recikliranega) toka od anaerobno presnovljenih trdnih snovi. Proces SHARON se

odvija v preprostem popolnoma premešanem reaktorju brez zadrževanja biomase. V primerjavi s konvencionalno pretvorbo amonija preko nitrifikacije/denitrifikacije, proces SHARON pretvarja amonijev dušik v nitritni dušik, ki je nato pretvorjen v dušikov plin. Oksidacija amonija je ustavljena pri nitritu z ustvarjanjem ugodnih pogojev za nitrifikacijske bakterije. Nadaljnja oksidacija nitrita je preprečena, saj pri višjih temperaturah oksidanti amonija, kot so Nitrosomonas, rastejo precej hitreje, kot nitrit(ne) oksidativne bakterije, kot so Nitrobacter. To je uporabljeno v načrtu procesa SHARON, ki je karakteriziran z odsotnostjo zadrževanja blata. Z izbiro zadosti kratkega hidravličnega zadrževalnega časa so počasi rastoči nitritni oksidanti odplavljeni (izprani) iz sistema in oksidacija amonija je ustavljena pri nitritu. Mikrobiološka aktivnost v SHARON reaktorju povzroča (rezultira v) znatno ustvarjanje toplote, kar povzroča dvig temperature za okoli 5-8 stopinj celzija(°C). Zaradi visokih procesnih temperatur med 30-40 °C, se lahko realizirajo relativno kratki zadrževalni časi. Ker se lahko pričakuje, da je dotekajoča odpadna voda od sušenja blata, relativno topla je dodatno ogrevanje potrebno le po zimi (Emerg. Tech., 2008).

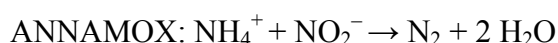
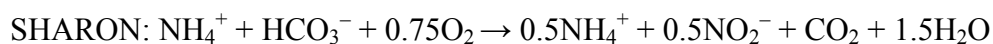
**PRIMERJAVA S PRIZNANIMI (UVELJAVLJENIMI) TEHNOLOGIJAMI:** Učinkovitost odstranjevanja je močno odvisna od koncentracije amonija v dotoku in hidravličnega zadrževalnega časa (HRT). Na splošno se učinkovitost odstranjevanja poveča z višjo koncentracijo dotoka in daljšim hidravličnim zadrževalnim časom. Poroča se o precejšnjih prihrankih pri viru ogljika in zmogljivosti aeracije, ko se SHARON proces primerja s konvencionalno pretvorbo dušika v okviru splošnega odstranjevanja dušika. Na podlagi evropskih podatkov je učinkovitost odstranjevanja dušika v razponu od 80 do 90 odstotkov. V povprečju je 70% obremenitev z dušikom pretvorjena preko nitrita. pH je potrebno skrbno nadzorovati zaradi visokih koncentracij in intenzivnih reakcij prisotnih pri procesu. Bikarbonat v tekočini od blata in denitrifikacijski proces kompenzirata zakislitveni efekt nitrifikacije. V procesu mora biti odstranjevanje CO<sub>2</sub> zadostno (dovolj veliko) za omogočanje (po)polne porabe (uporabe) bikarbonata. Proces je zelo dinamičen in mora biti zasnovan za hiter odziv (Emerg. Tech., 2008).

➤ **SHARON-ANAMMOX (ANerobic AMMonia OXidation → anaerobna oksidacija amonija)**

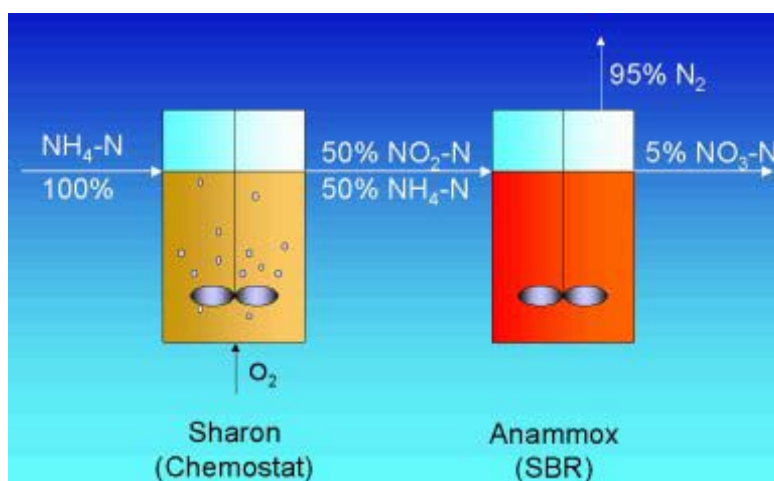
Cilj procesa je odstranjevanje amonija, nitrifikacija in denitrifikacija, Stopnja razvoja je embrionalna. Pilotne in laboratorijske študije so bile izvedene po vsem svetu. V Združenih državah in Evropi se izvajajo obsežne raziskave. Tehnologija še ni na voljo komercialno.

Ta proces je modifikacija SHARON procesa. Proces odstrani amonij iz odpadne vode. Princip teh kombiniranih procesov je da je  $\text{NH}_4\text{-N}$  v tekočini od presnove blata oksidiran v SHARON reaktorju do  $\text{NO}_2\text{-N}$  za le 50%  $\text{NH}_4\text{-N}$ . Mešanica nitrita in amonija je idealno primerna kot vtok v ANAMMOX proces in amonij in nitrit so anaerobno pretvorjena v dušikov plin in vodo (Emerg. Tech., 2008). Shema Sharon-Anammox procesa je prikazana na sliki 21.

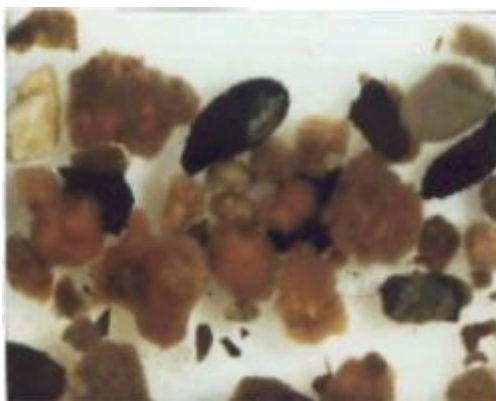
Reakcije vključene pri tej pretvorbi:



PRIMERJAVA S PRIZNANIMI (UVELJAVLJENIMI) TEHNOLOGIJAMI: SHARON-ANAMMOX proces omogoča do 60% znižanje potrebe po kisiku in energiji v primerjavi s tradicionalno nitrifikacijsko/denitrifikacijsko potjo preko nitrata. Kombinacija procesov ne potrebuje (zahteva) prisotnost organske KPK za denitrifikacijo. Šteje se za bolj trajnostno kot konvencionalna obdelava zaradi zmanjšanja emisije  $\text{CO}_2$  povezane z prihrankom energije. Splošno učinkovitost odstranjevanja dušika od 90 do 95 odstotkov se lahko dosega (doseže) glede na procesne pogoje in karakteristike (lastnosti, značilnosti) vtoka odpadne vode (Emerg. Tech., 2008).



Slika 21: Shema SHARON-ANAMMOX procesa



*Slika 22: Annamox granule (zrna)*

Prednosti (dobre lastnosti) lahko strnemo v naslednja dejstva:

- visoko odstranjevanje dušika;
- do 90% zmanjšanje emisij CO<sub>2</sub> (v primerjavi s konvencionalno nitrifikacijo-denitrifikacijo);
- več kot 50% manjša poraba (potreba) prostora;
- do 60% zmanjšanje porabe energije (v primerjavi s konvencionalno nitrifikacijo - denitrifikacijo);
- brez (u)porabe metanola;
- minimalna proizvodnja presežka blata.

➤ **DEAMONIFIKACIJA (DEamMONification → DEMON)**

Cilj DEAMON procesa je biološko odstranjevanje amonija iz visoko-koncentriranih tokov (npr.: iz blata odstranjene tekočine - supernatant, izcedne vode z odlagališč). Stopnja razvoja je embrionalna. Sistem v naravnem merilu je bil tri leta v obratovanju v Avstriji in Švici. Obsežne raziskave študij pilotnih meril so bile izvedene v ZDA in Evropi. Tehnologija je na voljo komercialno.

Deamonifikacijo sestavljata dva koraka avtotrofnih reakcij: (1) delna nitritacija (aerobna oksidacija okoli 50% amonija do nitrita); in (2) anaerobna oksidacija preostanka amonija z ustvarjenim nitritom. DEMON proces obratuje v SBR sistemu z enotnim blatom, kjer je zagotovljena postopna aeracija. Glavni razlog uspešnosti DAEMON procesa je spretno prilagojen kontrolni sistem učinkovitosti procesa. Proces je voden s tremi kontrolnimi mehanizmi – pH, kontrola raztopljenega kisika (RK) in čas. Kontrola (nadzor) aeracije temelji na osnovi pH signala, ki se nanaša na (ustreza) proizvodnjo(i) (vmesnega) nitrita in omogoča

optimalno interakcijo obeh procesnih korakov. Zelo specializirano aktivno blato (slika 23) raste ekstremno počasi in je zelo občutljivo na toksične snovi, še posebej na nitrit. To velja še posebej v začetni fazi dokler se ne prilagodi na stabilne pogoje (Emerg. Tech., 2008).

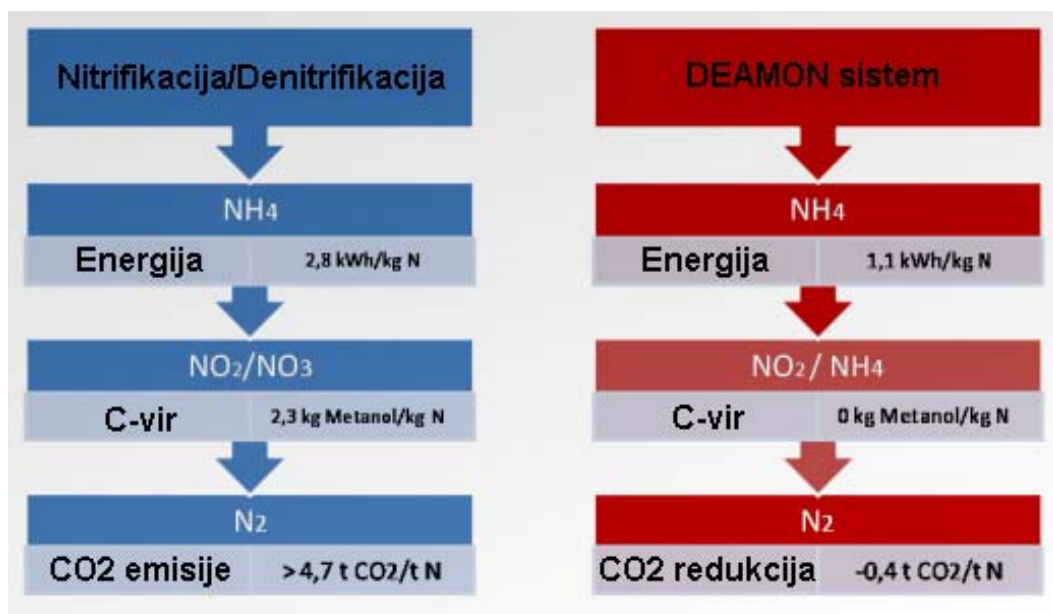
PRIMERJAVA S PRIZNANIMI (UVELJAVLJENIMI) TEHNOLOGIJAMI: DEMON, kot izključno avtotrofni proces, ne potrebuje (zahteva) organskega ogljika in bistveno manj energije za aeracijo (kot) v primerjavi s konvencionalnimi nitrifikacijskimi denitrifikacijskimi sistemi (slika 24). Patentirani sistem kontrole (nadzora) zagotavlja stabilno obratovanje procesa (90% odstranjevanje amonija) pri različnih obremenitvah. Suspendirano rastoča biomasa sestavljena iz anaerobnih amonijevih oksidantov se lahko preprosto prenese iz ene naprave na drugo za pospešitev zagona naprave (Emerg. Tech., 2008).

Uporablja se za obdelavo:

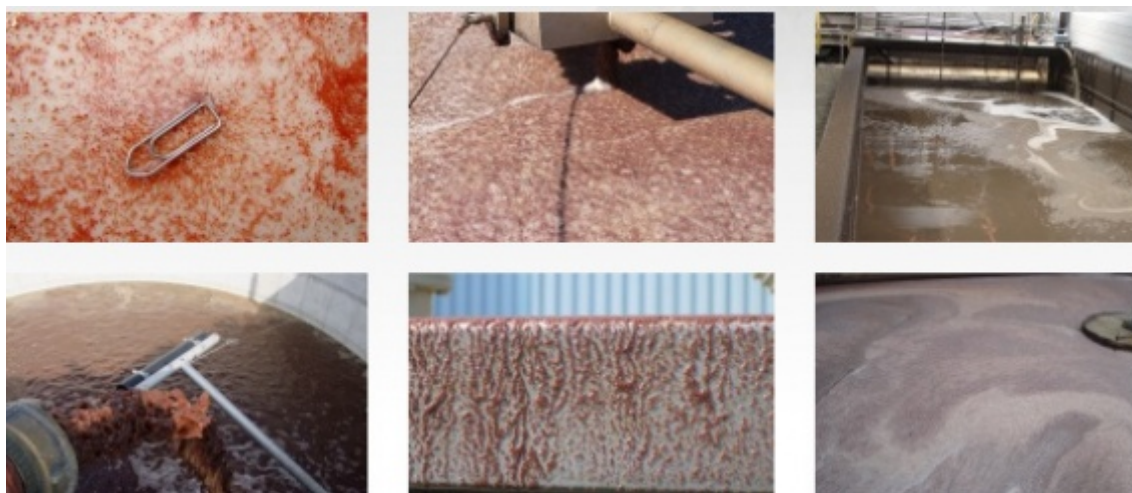
- odpadna voda iz anaerobne presnove blata
- izcedne vode iz odlagališč
- gnojnica
- industrija kvasa
- petrokemijska industrija
- industrija gnojiv
- prehranska industrija



Slika 23: Granulirano aktivno blato v DEAMON procesu  
<http://www.cyklar.ch>



Slika 24: Primerjava med konvencionalno nitrifikacijo/denitrifikacijo in delno nitritacijo anaerobno oksidacijo preostanka amonija z ustvarjenim nitritom  
<http://www.cyklar.ch>



Slika 25: Deamon proces v naravnem merilu  
<http://www.cyklar.ch>



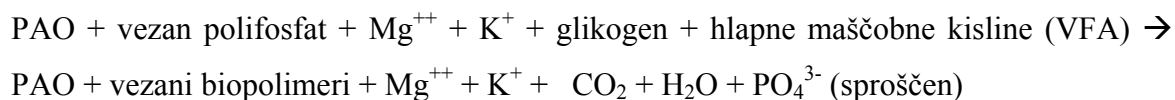
## 2.2 PROCESI ODSTRANJEVANJA FOSFORJA

Fosfor se iz odpadne vode lahko odstranjuje z biološkim privzemom z mikroorganizmi in z kemijsko precipitacijo z kovinskim kationom. Glede na ciljno koncentracijo lahko proces na čistilni napravi uporabi obe tehnologiji. Takšen kombiniran pristop je lahko še posebej ugoden, če je ciljna koncentracija zelo nizka in začetna koncentracija visoka. V takšnem primeru je biološko odstranjevanje uporabljeno za odstranitev večjega dela fosforja kateremu sledi kemijsko poliranje za doseganje končne koncentracije; takšen pristop je usmerjen k zmanjšanju proizvodnje blata (MNRT, 2008).

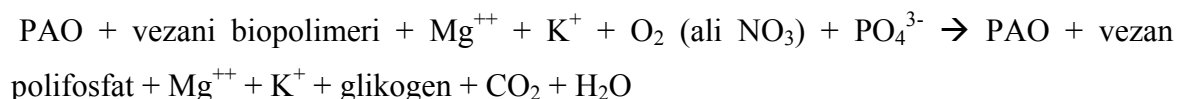
### 2.2.1 Biološko odstranjevanje fosforja

Reakcije vključene (udeležene) v biološko odstranjevanje fosforja so sledeče:

1. Anaerobno biološko sproščanje vezanega fosforja s fosfat akumulacijskimi organizmi (PAO – Phosphate Accumulating Organisms); *Acinetobacter*, *Pseudomonas*, *Moraxella*:



2. Aerobni biološki privzem fosforja s PAO



Biološko odstranjevanje fosforja deluje s spodbujanjem rasti fosfat akumulacijskih organizmov, ki so nato podvrženi najprej anaerobnim pogojem in nato aerobnim pogojem. Pod anaerobnimi pogoji, mikrobi pretrgajo visoko-energijske vezi v notranje vezanem (nakopičenem) (internaly accumulated) polifosfatu, česar rezultat je sproščanje fosfata ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) in poraba organske snovi v obliki hlapnih maščobnih kislin (VFA) oziroma ostalih lahko razgradljivih organskih spojin. VFA vključujejo kratko verižne karboksilne kisline, kot so očetne ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ), proprionske ( $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COOH}$ ), masléne ( $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_2\text{COOH}$ ) in valerianske kisline ( $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_3\text{COOH}$  -  $\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}_2$ ) med drugimi. Ko so nato mikrobi izpostavljeni aerobnim pogojem, privzemajo fosfat in oblikujejo notranje polifosfatne

molekule. Rezultat tega bogatega privzema (obilne (čezmerne) porabe) je v tem, da je več fosfata vključenega v celice, kot ga je bilo sproščenega v anaerobni coni, tako da je celotna koncentracija fosfata v raztopini zmanjšana. Ko so mikroorganizmi odstranjeni, je odstranjen tudi vsebovan fosfat.

Poleg bogatega privzema fosfata mikroorganizmi odstranjujejo fosfat tudi kot del njihovega normalnega (običajnega) odstranjevanja biokemijske potrebe po kisiku (BPK). Majhen del fosforja je odstranjenega v konvencionalnem procesu z aktivnim blatom med odstranjevanjem BPK. Ta količina je običajno 1,5-2 procenta glede na suho težo.

Ko so ti organizmi obogateni s polifosfatom odstranjeni, je odstranjen tudi vsebovan fosfat. PAO ki so izpostavljeni anaerobnemu okolju, kateremu sledi aerobna cona lahko dosegajo nivoje odstranjevanja fosforja 2,5-4 kratno višje, kot so tisti pri konvencionalnem sistemu z aktivnim blatom. Tako je lahko delež fosforja v odstranjenih suhih trdnih snoveh najmanj 8 procentov.

Zadostna preskrba z VFA je ključnega pomena za biološko odstranjevanje fosforja. Ker so bile meje dovoljenega fosforja v izpustu znižane v zadnjih letih je postalo kemijsko poliranje velikokrat kombinirano z boljšimi procesi filtriranja nujno potrebno. Sledijo diskusije o pomembnih dejavnikih, ki vplivajo na procese odstranjevanja fosforja (MNRT, 2008).

#### 2.2.1.1 Dejavniki biološkega odstranjevanja fosforja

##### → **Razpoložljivost hlapnih maščobnih kislin (VFA) v odpadni vodi**

Ključni dejavnik pri določevanju stroškovne učinkovitosti biološkega odstranjevanja fosforja je relativna količina organske snovi, ki je lahko PAO uporabijo. To je zaradi tega, če VFA ali lahko biorazgradljive ogljikove biokemijska potrebe po kisiku (IbCBPK) ni prisotne v zadostnem razmerju proti ortofosforju, proces postane manj zanesljiv in odstranjevanje fosforja se lahko zmanjša.

Literatura navaja, da so razmerja  $KPK:P_{cel}$  enaka 45 in  $BPK:P_{cel}$  enaka 20, minimalne vrednosti potrebne za doseganje mejne vrednosti koncentracije 1 mg/l  $P_{cel}$ . Opaženo je bilo

dobro biološko odstranjevanje fosforja pri razmerju  $lbCBPK:P_{cel}$  enakem 15. Ugotovljeno je bilo, da je minimalno razmerje  $VFA:P_{cel}$  v vrednosti najmanj 4 priporočeno za doseganje dobrega biološkega odstranjevanja fosforja.

Proizvodnja hlapnih maščobnih kislin (VFA) na sami napravi je pri obstoječih napravah možna na različne načine – dodatek novega fermenterja (za primarno ali povratno aktivno blato (RAS)), adaptacija oziroma preoblikovanje zgoščevalca blata ali vračanje supernatanta iz obstoječih anaerobnih digestorev. Fermenterji so lahko enostopenjski ali dvostopenjski. Optimizirani so z dodatkom mešalca, ki omogoča hlapnim maščobnim kislinam v trdnih snoveh neposredno vstopanje v anaerobno cono. Vir razredčevalne vode kot je primarni iztok ali končni iztok je dodan v fermenter, da izpere (splakne) ven proizvedene VFA in jih pošlje v anaerobno cono. Proizvednja VFA s fermentacijo primarnega blata tipično ustvari (daje) od 0,066 do 0,15 g VFA/g celotnih trdnih snovi (oba izražena kot KPK), čeprav se poroča tudi o vrednostih do 0,3 g VFA/g trdnih snovi. Popolnoma premešani fermenterji so tipično načrtovani s 6 do 12 urnim hidravličnim zadrževalnim časom, 4 do 8 dnevnim zadrževalnim časom trdnih snovi in koncentracijo trdnih snovi med 1 in 2 procenti (MNRT, 2008).

### → Temperatura

Čeprav na proces biološkega odstranjevanja fosforja temperatura nima občutnega vpliva je proces fermentacije počasnejši pri nižji temperaturi. Zato se lahko zgodi manjše odstranjevanje fosforja v zimskem času zaradi zmanjšane proizvodnje hlapnih maščobnih kislin (VFA) pri/v napravah, ki uporabljajo fermentacijo. Poroča se da je temperaturni efekt neposredno vplival na starost blata potrebno za zadostno tvorbo VFA. Pri 24°C je bila zadostna starost blata en dan. Štiri dnevna starost blata je bila potrebna za proizvodnjo zadostne količine VFA pri temperaturi 14°C.

Na zgornji meji temperaturnega razpona je učinek fosfat akumulirajočih organizmov (PAO) kazal na zmanjšano aktivnost privzema fosforja pri temperaturi nad 30°C in resno inhibicijo aktivnosti pri 40°C. Pri temperaturah nad 30°C so poročali o glikogen akumulacijskih organizmih, kot škodnimi za intenzivno (napredno) biološko odstranjevanje fosforja (MNRT, 2008).

### → Zadrževalni čas trdnih snovi (Solid retention time – SRT)

Poročalo se je o zelo dobrem učinku biološkega odstranjevanja fosforja, ko so bili zagotovljeni zadrževalni časi trdnih snovi (SRT) 16 in 12 dni za odpadno vodo pri temperaturah 5 in 10°C. Učinek sistema ni bil prizadet, ko je SRT variiral med 16 in 24 dni pri 5°C. Podobno za variiranje SRT med 12 in 17 dni pri 10°C ni vplivalo na biološko odstranjevanje fosforja (MNRT, 2008).

### → Sekundarno sproščanje fosforja

Sekundarno sproščanje je pomembna skrb v napravah z intenzivnim (okrepljenim, poudarjenim, povečanim) biološkim odstranjevanjem fosforja. Biološko odstranjevanje fosforja se dogaja v procesu v dveh korakih, v katerih je v anaerobni coni fosfor sproščen z pomočjo fosfat akumulirajočih organizmov (PAO) in nato privzet s pomočjo istih PAO v aerobni coni. Mikroorganizmi zaželeni (podpirani) v anaerobni coni so zmožni absorbirati več fosforja v aerobni coni, kot ga je bilo sproščenega v anaerobni coni, kar vodi v neto zmanjšanje fosforja, ko so ti mikroorganizmi odstranjeni iz procesa preko usedanja in nadaljnje odstranitve (odvečno blato - WAS). Vendar pa če so PAO podvrženi anaerobnim pogojem po privzemu fosforja se bo zgodilo nezaželeno sekundarno sproščanje fosforja. Anaerobni pogoji lahko nastanejo v sekundarnih usedalnikih z dolgim zadrževalnim časom trdnih snovi (SRT), znotraj terciarnih filtrov in v nekaterih obratih (procesih) za ravnanje z blatom. Poleg tega lahko nastanejo anaerobni pogoji v enotah z aktivnim blatom, če ni aeracija vzdrževana na dovolj velikem nivoju ali pa če je upadanje stopnje kisika skozi sistem cevnega reaktorja preveč veliko. Sproščen fosfor je pogostokrat vrnjen na začetek sekundarnega procesa preko povratnega aktivnega blata (RAS) iz sekundarnih usedalnikov ali preko supernatanta/filtrata iz procesov za ravnanje z blatom. Recirkuliran fosfor tako povzroča povečanje obremenitve v sekundarnem procesu in zmanjša celotno biološko odstranjevanje fosforja, ki bi se ga lahko dosegalo. Sekundarno sproščanje fosforja se lahko zmanjša z minimiziranjem dolžine časa zadrževanja mešanice tekočine ali povratnega aktivnega blata preden je ta recirkuliran, zmanjšanjem povratnih tokov iz procesov za ravnanje z blatom in obdelavo povratnih tokov iz procesov za obdelavo blata preden je vrnjen v sekundarni proces. V nekaterih primerih je terciarnim filtrom dodana manjša količina (doza) galunovca za minimiziranje sekundarnega sproščanja. Obdelava stranskega toka je bila predlagana za nekatere velike naprave (MNRT, 2008).

### → Nitrati v povratnih tokovih

Nitrati v povratnih tokovih, kot so RAS ali notranje linije recirkulacije lahko negativno vplivajo na biološko odstranjevanje fosforja. Nitrati povzročajo porabo VFA potrebnih za biološko odstranjevanje fosforja in uvajajo vir kisika, ki je uporabljen pred sproščanjem fosforja, kar zmanjša količino fosforja, ki je lahko biološko odstranjen. Ker je 1 mg/l  $\text{NO}_3\text{-N}$  enako 2,86 mg/l raztopljenega kisika (RK) in nitrati nimajo maksimalne koncentracije kot RK, ima nitrat potencial za povzročanje še večje motnje pri biološkem odstranjevanju fosforja kot RK. V sistemu s postopnim hranjenjem je določeno da je bilo 6 mg/l nitratnega dušika zgornja tolerirana meja za uspešno intenzivno biološko odstranjevanje fosforja (EBPR) pri določenem obratovanju v polnem merilu. Če je zagotovljeno (na voljo) dovolj lahko biorazgradljive ogljikove biokemijske potrebe po kisiku (lbCBPK), bi se morda lahko tolerirale možne višje koncentracije nitrata v povratnem toku za zadostno (ustrezno) odstranjevanje fosforja (MNRT, 2008).

### → Raztopljeni kisik (RK) v povratnih tokovih

Podobno kot nitrati, RK, ki vstopa v anaerobno cono negativno vpliva na biološko odstranjevanje fosforja. Povratni (reciklirani) RK pravzaprav (vbistvu) zmanjša anaerobni hidravlični zadrževalni čas (HRT), zato ker mora biti le-ta zmanjšan na ničlo preden se lahko odvijejo (zgodijo) anaerobne metabolične aktivnosti za biološko odstranjevanje fosforja. Ker so PAO fakultativni aerobi bodo uporabili ves prisoten razpoložljiv kisik v anaerobni coni za aerobno presnovo hlapnih maščobnih kislin (VFA). Rezultat tega je zmanjšano anaerobno sproščanje fosforja in zato posledično zmanjšan privzem fosforja v aerobni coni. Poleg tega bodo heterotrofni aerobni organizmi prisotni v anaerobni coni tekmovali za VFA, kar bo še nadalje zmanjšalo anaerobno presnovo PAO. Če vir RK v povratnem toku ne more biti minimiziran, je potreben dodatek VFA (MNRT, 2008).

## 2.2.2 Kemijsko odstranjevanje fosforja

Kemijsko obarjanje za odstranjevanje fosforja je zanesljiva in preverjena metoda za obdelavo odpadne vode, ki se ni drastično spremenila skozi leta. Za doseganje odstranjevanja so odpadni vodi dodani različni koagulantni, ki reagirajo z raztopljenimi (topnimi) fosfati in

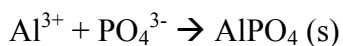
tvorijo oborine. Precipitati so odstranjeni z uporabo procesa ločevanja trdnih snovi med katerimi je najpogostejši usedanje. Dodajanje polimerov in drugih substanc lahko še dodatno povečajo tvorbo kosmov in usedanje trdnih snovi. Upravljalci čistilnih naprav lahko uporabijo obstoječe sekundarne usedalnike ali preuredijo primarne usedalnike za njihovo specifično uporabo.

Trenutna zasnova kemijskega odstranjevanja fosforja temelji na ravnotežni (ravnovesni) teoriji obarjanja (precipitacije). Kemijsko obarjanje orto-fosforja je izvedeno z obdelavo s trivalentnim kovinskim kationom, ki je običajno železov ( $\text{Fe}^{3+}$ ) ali aluminijev ion ( $\text{Al}^{3+}$ ). Železov ion je običajno zastopan (dobavljen) v obliki železovega klorida ( $\text{FeCl}_3$ ). Aluminij pa je zagotovljen v obliki aluminijevega sulfata ( $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ). Ko je na voljo vir, kot je odpadno lužilo se lahko železov ion ( $\text{Fe}^{2+}$ ) uporabi kot kovinski kation. Reakcija obarjanja je odvisna od vrst fosforja (npr.:  $\text{H}_2\text{PO}_4^{1-}$ ,  $\text{HPO}_4^{2-}$ ), ki se pretvarja v  $\text{PO}_4^{3-}$ , s porabo alkalitete (ali  $\text{OH}^-$ , hidroksidni ion). To pomeni da mora biti prisotna zadostna količina alkalitete za zagotovitev dokončanja reakcije kemijskega obarjanja (MNRT, 2008).

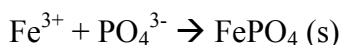
1. Pretvorba vrst fosfata v fosfatni ion.



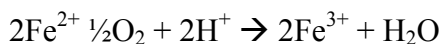
2. Kemijsko odstranjevanje fosforja z galunovcem (aluminijevim sulfatom)



3. Kemijsko odstranjevanje fosforja z železovim kloridom



4. Pretvorba železastega iona v železov ion



Dodajanje kemikalij se odvija v primarnih usedalnikih (ko je prisoten) ali v sekundarnih procesih, v aeracijskem bazenu ali pred sekundarnim usedalnikom ali v terciarnih filtrih ali drugih procesih obdelave. Dodajanje kemikalij v primarni usedalnik ponavadi (običajno) zahteva količinsko manj kemikalij kot njihovo dodajanje v sekundarne ali terciarne procesa. Rezultat dodajanja kemikalij tako v primarne kot sekundarne usedalnike je v manjši porabi

kemikalij kot njihovo dodajanje le v sekundarni proces, ker se tako omogoči, da se nekaj fosforja odstrani v primarnih usedalnikih in nato se vrši še poliranje v sekundarnem procesu. Nedavne raziskave prikazujejo (kažejo na to), da je poleg ravnovesne (ravnotežne) teorije obarjanja, absorpcija prevladujoč fenomen. Dejavniki ki pomagajo pri povečanju (pospeševanju) absorpcije, kot so karakteristike absorbenta, variabilna stehiometrija, alkaliteta, mešanje na točki vnosa, difuzija in kinetika na osnovi časa so procesi na katere je potrebno misliti pri načrtovanju sistema za doseganje nizkih koncentracij celotnega fosforja (MNRT, 2008).

#### 2.2.2.1 Dejavniki kemijskega odstranjevanja fosforja

##### → Vrste fosforja na mestu uporabe (aplikacije)

Fosfor se v surovi odpadni vodi nahaja v treh oblikah: organsko vezan fosfor, polifosfat in ortofosfat. Organsko vezan fosfor se lahko usede v primarnih usedalnikih ali pa pretvori v ortofosfat s pomočjo mikroorganizmov v sekundarnem procesu. Polifosfati so raztopljeni in gredo (potujejo) skozi primarne usedalnike. V sekundarnem procesu so polifosfati biološko pretvorjeni v ortofosfate. Ortofosfati so tudi raztopljeni in bodo prešli v končni iztok, če ne bodo odstranjeni biološko ali kemično. Ortofosfati lahko tvorijo oborino, če dodamo kovinske soli, kar tvori kosme, ki so lahko posedeni (usedeni) ali prefiltrirani iz vode (MNRT, 2008).

##### → Razmerje kovine proti fosforju (kovina fosfor)

V splošnem molarno razmerje kovine proti vtočni koncentraciji fosforja narašča v kolikor se željena končna koncentracija fosforja v iztoku zmanjšuje. Krivulja je bolj sploščena pri višjih koncentracijah fosforja v iztoku, vendar postane posebno strma, če se željena končna koncentracija spusti pod 0,5 mg/l. Za določeno količino odstranjenega fosforja je količina kemikalij potrebnih za dodajanje nižja za naprave, ki uporabljajo terciarno kemično obdelavo, ki sledi biološkemu odstranjevanju fosforja v primerjavi z napravami, ki uporabljajo eno ali dvo točkovna mesta kemijskega odstranjevanja fosforja. Ko se prakticira simultano obarjanje bo suspenzija aktivnega blata (MLSS) vsebovala visoke koncentracije fosforja in bodo lahko presegle koncentracije za (EBPR) blato intenzivnega biološkega odstranjevanja fosforja (MNRT, 2008).

### → Izbira kemikalij

Galunovec (aluminij - aluminijev sulfat) in železov klorid so pogostokrat uporabljena za kemijsko odstranjevanje fosforja. Izbira katere kemikalije naj bodo uporabljene naj bo narejena na podlagi testa (jar testing) in cene kemikalij. Naslednji dejavnik katerega moramo upoštevati je vpliv na dolvodne procese. Blato ustvarjeno z galunovcem (aluminijevim sulfatom) se lahko težje zgoščuje in iz njega odstrani vodo kot blato ustvarjeno z železovim kloridom. Železov klorid je bolj koroziven in zahteva (potrebuje) posebne cevi. Poleg tega lahko železov klorid povzroča probleme pri ultravijolični dezinfekciji. Železov sulfat je možna alternativa, če je mogoč (na voljo) vir le-tega. Prisotnost drugih kovin ali vrst, ki reagirajo z fosfatom lahko povzročijo simultano obarjanje večjega števila kovinskih fosfatov ali kompleksne učinke zaradi katerih bi potrebovali višje aluminijeve ali železove doze (količine) kot jih pričakujemo (MNRT, 2008).

### → Lokacija mesta dodajanja

Kemikalije za odstranjevanje fosforja se lahko dodajajo v primarni usedalnik, v sistem sekundarne obdelave (ali v aeracijski bazen ali pred sekundarnim usedalnikom) ali v proces terciarne obdelave. Kemikalije morajo biti dobro zmešane z odpadno vodo na lokaciji mesta dodajanja za oblikovanje (tvorbo) dobrih kosmov. Če niso kemikalije dodane na dobro mešanem mestu, potrebujemo notranji statični mešalnik.

Fosfor je mikrohranivo (nutrient) in ga mikroorganizmi v aeracijskem bazenu potrebujejo za odstranjevanje BPK in dušika. Paziti moramo, da ne odstranimo preveč fosforja v primarnih usedalnikih. Splošno pravilo je, da mora biti fosforja v vtoku v bazen z aktivnim blatom 1-1,5 procenta količine BPK, ki mora biti odstranjen. Na primer, če mora biti v aeracijskem bazenu odstranjenega 200 mg/l BPK potrebujemo najmanj 2-3 mg/l fosforja v primarnem iztoku. Vendar lahko razmerje variira (niha) glede na starost blata in dodatka kemikalij. Če je preveč fosforja odstranjenega v primarnih usedalnikih, lahko to negativno vpliva na obratovanje aeracijskega bazena (MNRT, 2008).

### → Število mest dodajanja

Galunovec (aluminijev sulfat) ali železov klorid se lahko dodaja na enem, dveh ali več mestih na napravi. Eno točkovni vnos deluje dobro pri napravah, ki morajo dosegati srednje (zmerno) odstranjevanje koncentracij fosforja (približno 0,5 mg/l). Dvo točkovni vnosi, ki se lahko



vršijo v primarni in sekundarni usedalnik ali pa v sekundarni usedalnik in terciarno obdelavo, lahko dosegajo nižje koncentracije fosforja in lahko porabijo manjše količine kemikalij, kot dodajanje (doziranje) samo na enem mestu. Veliko terciarnih procesov obdelave obratuje bolj učinkoviteje, če je koncentracija celotnega fosforja ( $P_{\text{cel}}$ ) v sekundarnem iztoku manjša od 1 mg/l. Za naprave, ki nimajo možnosti (zmožnosti) odstranjevanja fosforja biološko, so potrebna dva mesta za dodajanje, ker terciarni proces obdelave običajno potrebuje galunovec ali železov klorid za tvorjenje kosmov pred odstranjevanjem. Tri mesta za dodajanje so potrebna za naprave, ki imajo relativno visoke koncentracije  $P_{\text{cel}}$  v vtoku (višje kot 6 mg/l), kar se lahko dogaja v krajih z velikim številom industrijskih obratov in trgovinsko dejavnostjo (MNRT, 2008).

### → Zahteve po mešanju

Hitro mešanje je potrebno, ko so odpadni vodi dodane kemikalije, za omogočanje molekulam, da reagirajo. Poleg tega je gostota in viskoznost kovinskih soli večja od odpadne vode, kar omogoča kemikalijam, da se usedejo na dno. Če hitri (intenzivni) mešalni pogoji na mestu vnosa ne obstajajo, je potreben notranji statični mešalnik.

Po začetnem hitrem (intenzivnem) mešanju sledi nato počasno mešanje za omogočanje tvorbe večjih kosmov. Ponavadi je gibanje odpadne vode skozi napravo obdelave zadostna za tvorbo kosmov. Vendar pa lahko turbulentna območja naprave razlomijo kosem, kar bi zmanjšalo odstranjevanje fosforja z usedanjem ali filtracijo (MNRT, 2008).

### → pH

Topnost fosforja se razlikuje med železovimi in aluminijevimi ioni. Teoretično je najnižja možna koncentracija fosforja (0,07 mg/l) v iztoku dosegljiva z uporabo železovih soli, pri pH približno 6,9-7,0. Nedavni laboratorijski rezultati nakazujejo da se lahko dogajajo (zgodijo) nespremenljive (konstantno) visoke stopnje odstranitve pri pH vrednostih med 5,5 in 7. Aluminijeve soli lahko teoretično dosegajo koncentracije fosforja v iztoku tudi do 0,01 mg/l v pH območju 6,6-7,2. Dejansko dosegljive koncentracije fosforja v iztoku v optimalnem pH območju so odvisne od same (vrste) naprave (samih okoliščin) zaradi drugih kemijskih reakcij, ki se dogajajo v odpadni vodi. Nedavne raziskave nakazujejo da se največja učinkovitost odstranjevanja fosforja odvija pri pH med 5,5-7. Kakorkoli pH odpadne vode nima pomembnega učinka na kemijsko odstranjevanje fosforja. Galunovec in železov klorid

sta kislila (imata kislinske lastnosti) in zato sposobna znižanja pH v tekočini. Če ni zagotovljene zadostne alkalitete za uravnavanje odpadne vode je potrebna prilagoditev pH-ja (MNRT, 2008).

#### → **Odstranjevanje suspendiranih trdnih snovi**

Zadrževanje kosmov formiranih (izoblikovanih) med kemijskim obarjanjem igra ključno vlogo pri odstranjevanju fosforja. Blato na čistilnih napravah, ki uporabljajo biološko odstranjevanje fosforja, vsebuje 4,5 procenta fosforja na osnovi suhe teže v primerjavi z 1,5 procenta fosforja pri napravah, ki uporabljajo kemikalije (kemijske snovi). Fosfor v suspendiranih trdnih snoveh v iztoku bo potreboval dodatno odstranjevanje celotnih trdnih snovi (TSS) v končnem iztoku pri doseganju nizkih mej fosforja. Terciarni procesi, kot so usedalniki (bistilniki) ali filtri so bolj učinkoviti pri lovljenju (zadrževanju) trdnih snovi. Dodatek kovinskih soli v kombinaciji s terciarnim procesom izboljšuje odstranjevanje (MNRT, 2008).

#### → **Ravnanje z blatom**

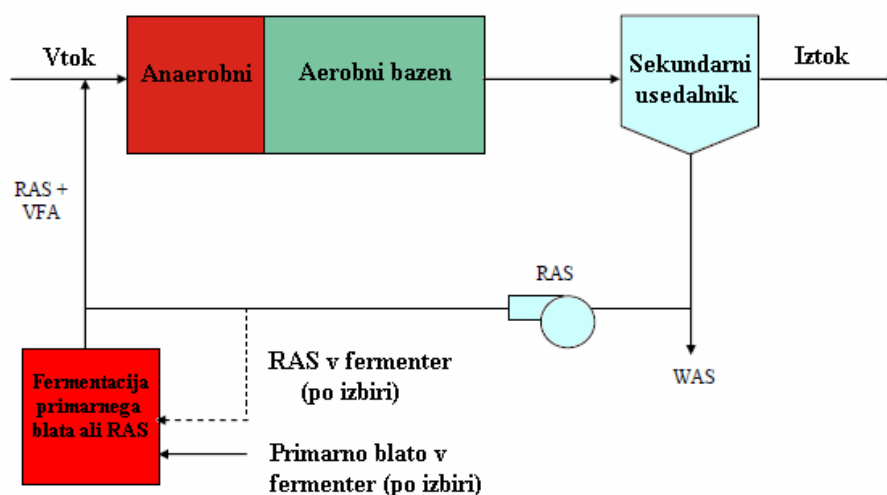
Ravnanje z blatom in njegova proizvodnja veljajo kot slabe strani dodajanja kemikalij. Kemijsko odstranjevanje fosforja ustvarja dodatno količino blata. Fosfor se lahko sprošča iz kemijskega blata, če je blato izpostavljeno ali skladiščeno v anaerobnih pogojih (okolju). Povratni tokovi, kot je supernatant ali tekočina od dehidriranja blata, lahko vsebujejo visoke koncentracije fosforja. Vzdrževanje aerobnih pogojev v blatu je priporočeno. Če to ni možno (izvedljivo), je treba premisliti o obdelavi povratnih blatnih tokov. Nedavne analize obarjanja fosforja predlagajo možne termodinamične in kinetične dejavnike za doseganje ekstremno nizke koncentracije fosfata v iztoku. Ti dejavniki vključujejo pH, kovine (aluminij ali železo) uporabljene za obarjanje, pristotnost dodatnih kovin, snovi, ki lahko vplivajo na fosfat, kot je KPK in TSS, alkaliteta, stopnja (intenzivnost) mešanja in procesni čas (MNRT, 2008).

## 2.2.3 Tehnologije odstranjevanja fosforja

### 2.2.3.1 Tehnologije biološkega odstranjevanja fosforja

#### ➤ Fermentacija

Če je zaželeno biološko odstranjevanje fosforja, je proces izveden pod anaerobnimi pogoji s hlapnimi maščobnimi kislinami (volatile fatty acids – VFA), ki zagotavljajo vir ogljika za mikroorganizme. Če ima vtok premajhno koncentracijo VFA za zadostno odstranjevanje fosforja, je potrebno koncentracijo povešati. VFA se lahko dovaja iz zunanega vira ali pa se jih lahko ustvarja z fermentacijo primarnega blata ali povratnega blata na kraju samem. Fermentacija blata za proizvodnjo VFA ima še eno dodatno prednost in to je zmanjševanje količine blata, ki ga je potrebno odstraniti. Proces fermentacije je prikazan na sliki 26. Fermentacija primarnega blata je bolj zaželjena, kot uporaba sekundarnega blata, ker tako zmanjšamo količino fosfata, sproščenega iz blata. Fermentacija je še posebej v pomoč pri velikih napravah v mrzlih klimatskih razmerah in pri napravah, kjer je obremenitev odpadne vode ponavadi nizka. V nekaterih primerih se fermentacija pojavi tudi v zbiralnem sistemu, kot tudi anaerobni coni (MNRT, 2008).

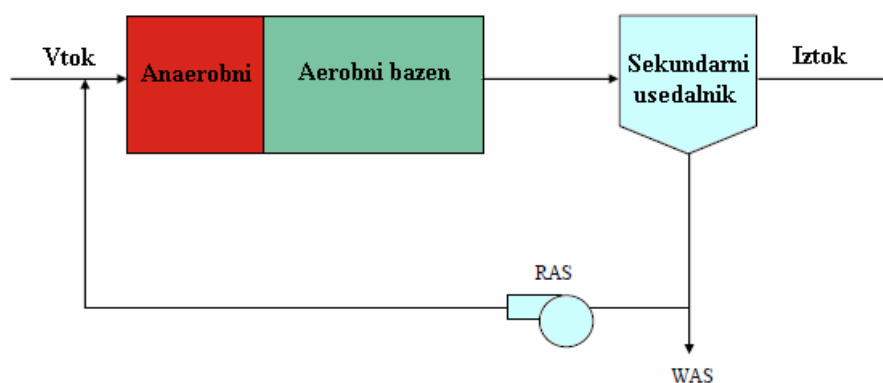


Slika 26: Proces fermentacije

#### ➤ A/O oziroma Phoredox proces

Anaerobni/Oksični (A/O) proces je sestavljen iz anaerobne cone, ki se nahaja pred aerobno cono. RAS vstopa na začetku anaerobne cone skupaj z vtokom odpadne vode. V anaerobni coni fosfat akumulacijski organizmi sproščajo fosfor, ki je nato privzet v aerobni coni. Shema

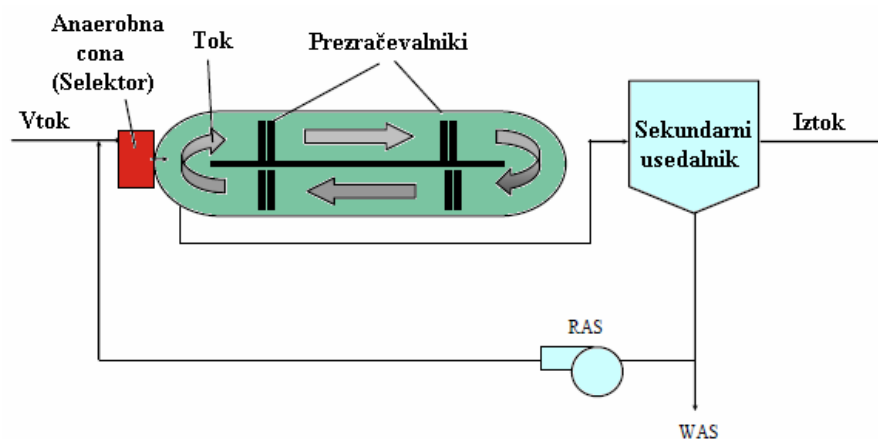
A/O (Phoredoks) procesa je prikazana na sliki 27. Eden od potencialnih problemov za obratovanje A/O procesa je da vsi nitrati recirkulirani iz aerobne cone stranskih tokov lahko zavirajo anaerobno rast (selekcijo) fosfat akumulacijskih organizmov. Za zmanjševanje tega efekta je anaerobna cona velikokrat razdeljena v anoksično celico za denitrifikacijo nitrata in serijo anaerobnih con za sproščanje fosforja. Proces ima srednjo potrebo po prostoru in se ga lahko relativno preprosto preuredi v obstoječem bazenu z vgradnjo ločevalnih zidov in mešalcev za ustvarjanje anaerobnih con (MNRT, 2008).



Slika 27: A/O proces oziroma Phoredoks proces

➤ **Oksidacijski jarek z anaerobno cono**

Zasnova in delovanje oksidacijskega jarka za odstranjevanje fosforja je zelo podobno, kot pri odstranjevanju dušika le z to zahtevo da se vzpostavi anaerobna cona. Anaerobna cona (včasih poimenovana tudi kot selektor) se lahko vzpostavi znotraj oksidacijskega jarka ali pa kot zunanji bazen pred oksidacijskim jarkom. Oksidacijski jarek z anaerobno cono je prikazan na sliki 28. Ni nujno, da oksidacijski jarek obratuje z anoksičnimi conami, čeprav bi se s tem pripomoglo k delni obnovitvi alkalitete. Kot pri A/O procesu, je potreben dodatni ogljik v obliki VFA le v primeru če ta že ni prisoten v obliki lahko biorazgradljive ogljikove potrebe po kisiku (readily biodegradable carbonaceous oxygen demand – rbCOD). Nižje koncentracije celotnega fosforja se lahko dosega z strogim nadzorom in regulacijo pretoka anaerobne cone in nivojev raztopljenega kisika (MNRT, 2008).



Slika 28: Oksidacijski jarek z anaerobno cono

### 2.2.3.2 Fizikalno-kemijski procesi odstranjevanja fosforja

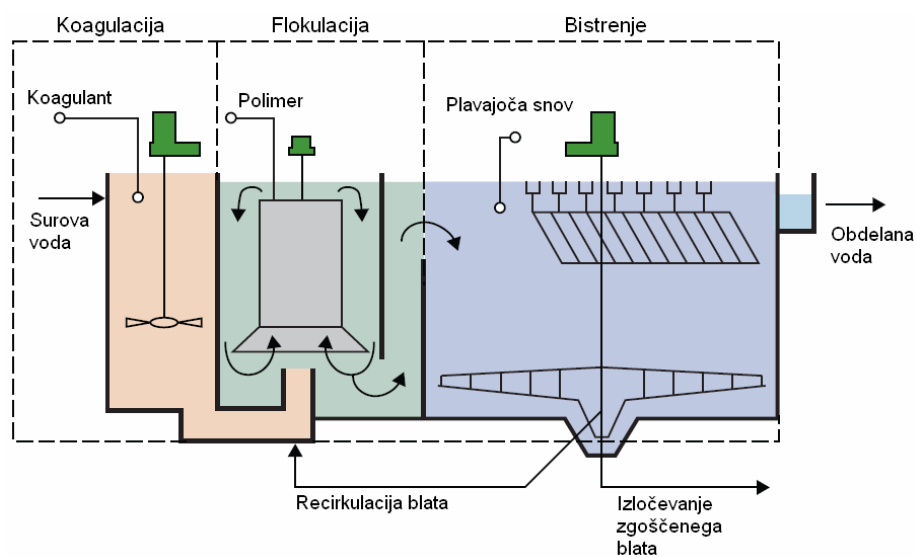
Fizikalni in kemijski procesi obdelave so opredeljeni (definirani) kot tehnologije obdelave, ki ne vključujejo nobene biomase v procesu za doseganje cilja obdelave. Fizikalni procesi odstranjujejo trdne snovi iz odpadne vode z tokom skozi grablje, sita in filtrni medij ali pa so odstranjene z gravitacijskim usedanjem (sedimentacijo) in plavljenjem (flotacijo). Kemikalije se uporabljajo pri obdelavi odpadne vode za ustvarjanje sprememb v snoveh, kar zvišuje zmožnost njihove odstranitve. Spremembe lahko vključujejo oblikovanje (formacijo) kosmov ali težjih delcev za izboljšanje odstranitve z fizikalnimi procesi. Kot posledica tega so dodajanje kemikalij in fizikalni procesi običajno nameščeni skupaj za zagotovitev obdelave. Rezultat dodajanja kemikalij je omejitev investicijskih stroškov (naložb) na začetku, vendar stroški (cena) kemikalij in proizvodnja dodatne količine blata povečujejo stroške obratovanja in vzdrževanja procesa.

Učinkovitost odstranjevanja fosforja s pomočjo dodajanja kemikalij je zelo odvisna od procesa ločevanja trdnih snovi, ki sledi kemijski precipitaciji. Dva običajna terciarna procesa sta bistrenje (usedanje) in filtracija. Pristopa se lahko uporabita ločeno ali v kombinaciji.

Tipi usedalnikov (bistrilnikov) uporabljenih za terciarne procese vključujejo konvencionalne, visoko stopenjske, balastno visoko stopenjske (Ballasted High Rate Clarification – BHRC).

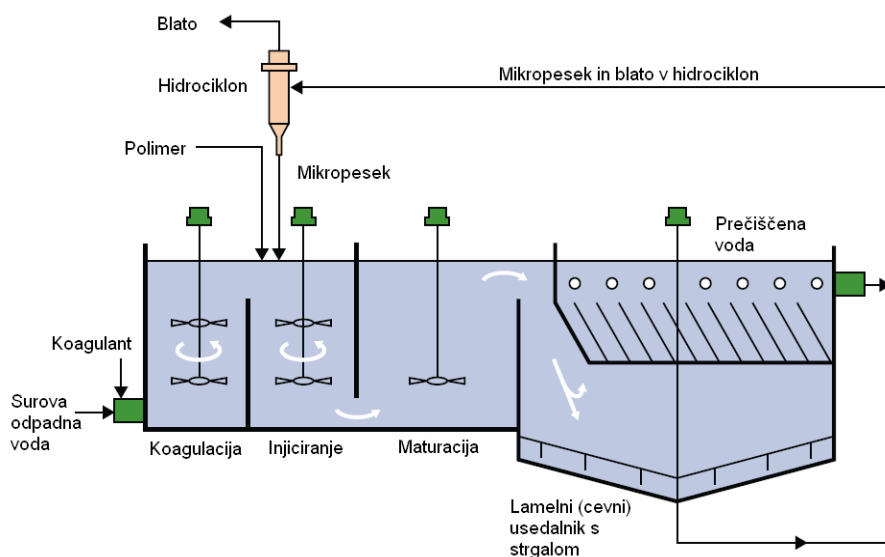
Nekaj patentiranih BHRC, ki uporabljajo različno vrsto balasta, kot je reciklirano blato, mikropesek in magnetni balast je bilo razvitih v preteklih letih. Prednosti visoko stopenjskega bistrenja (usedanja) so te, da imajo usedalniki manjšo površino in so sposobni obdelave velikih količin odpadne vode v krajšem časovnem obdobju. Naslednji patentirani procesi so primeri visoko stopenjskega bistrenja s pomočjo balastnih delcev:

→ **DensaDeg®** uporablja koagulant v intenzivno mešajočem bazenu za destabilizacijo suspendiranih trdnih snovi. Voda nato teče v naslednji bazen, kjer sta dodani polimer (za pomoč pri flokulaciji) in blato. Blato deluje kot zemetek (»seme«) za oblikovanje kosma z visoko gostoto. Ti kosmi so odstranjeni v lamelnem usedalniku. Glavne prednosti tega procesa so manjša potreba po prostoru in gostejše blato, kateremu se lažje odstrani voda (www.degremont-technologies.com, 2011). Shema Densadeg® procesnega diagrama je prikazana na sliki 29.



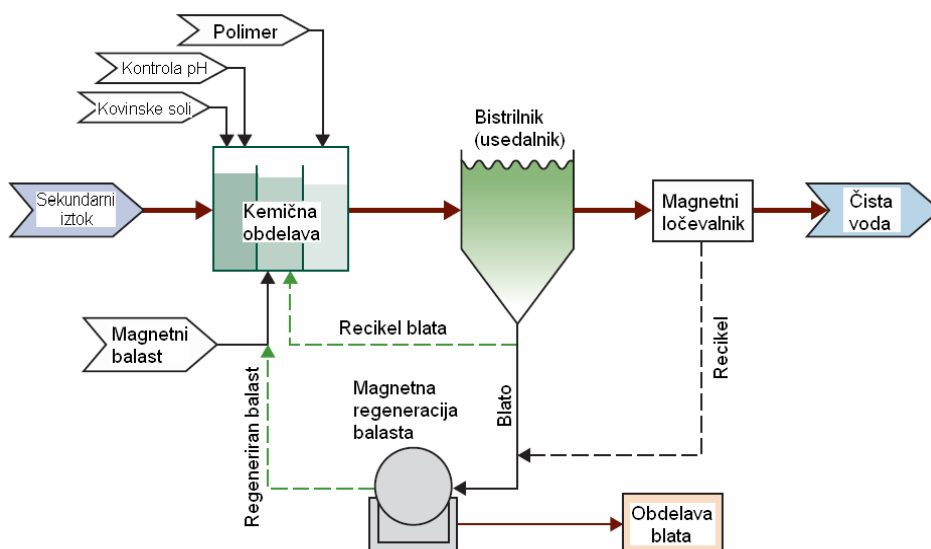
Slika 29: DensaDeg® procesni diagram (Emerg. Tech., 2008)

→ **Actiflo®** uporablja koagulant v intenzivno mešajočem bazenu za destabilizacijo suspendiranih trdnih snovi. Voda nato teče v naslednji bazen, kjer sta dodani polimer (za pomoč pri flokulaciji) in mikropesek. Mikropesek zagotavlja veliko površino na katero se suspendirane trdne snovi pritrdijo, kar ustvari kosom z veliko gostoto, ki se hitro useda. Lamelni usedalnik pomaga pri bistrenju (www.krugerusa.com, 2011). Shema Actiflo® procesnega diagrama je prikazana na sliki 30.



Slika 30: Actiflo® procesni diagram (Emerg. Tech., 2008).

→ CoMag™ proces uporablja dodatek magnetnega balasta s kovinskimi solmi za pomoč pri oblikovanju kosmov. Usedanju sledi visoko gradientno magnetno ločevanje za poliranje iztoka in povrnitev magnetnega balasta (www.cambridgewater.com, 2011). Shema CoMag™ procesnega diagrama toka je prikazana na sliki 31.



Slika 31: CoMag® procesni diagram toka (Emerg. Tech., 2008).

Filtracija v kombinaciji z kemijsko precipitacijo se lahko uporablja za odstranjevanje fosforja do zelo nizkih nivojev ( $< 0,1$  mg/l). Filtracija se lahko uporablja tudi za odstranjevanje raztopljenega organskega dušika, ki ni odstranjen pri biološki obdelavi in usedanju. Široka množica različnih vrst tipov filtrov se uporablja za obdelavo odpadne vode.

→ **Konvencionalni filtri z vtokom na vrhu (s tokom navzdol) – Gravitacijski filtri**

Te filtre sestavlja sloj določenega medija, ki seže do globin približno enega metra in so podobni filtrom uporabljenim za obdelavo pitne vode. Medij je lahko sestavljen iz ene vrste (pesek ali antracit), dveh vrst (kombinacija peska in antracita) ali pa iz več različnih vrst (vključuje sloj granata ali ilmenita) slojev. Tok v teh filtrih je gravitacijski, od zgoraj navzdol. Večino odstranjevanja se zgodi v zgornjih desetih centimetrih medija. Filter je potrebno periodično vzeti iz obratovanja zaradi povratnega spiranja filtra za preprečevanje zamašitve in previsoke izgube pritiska (MNRT, 2008).

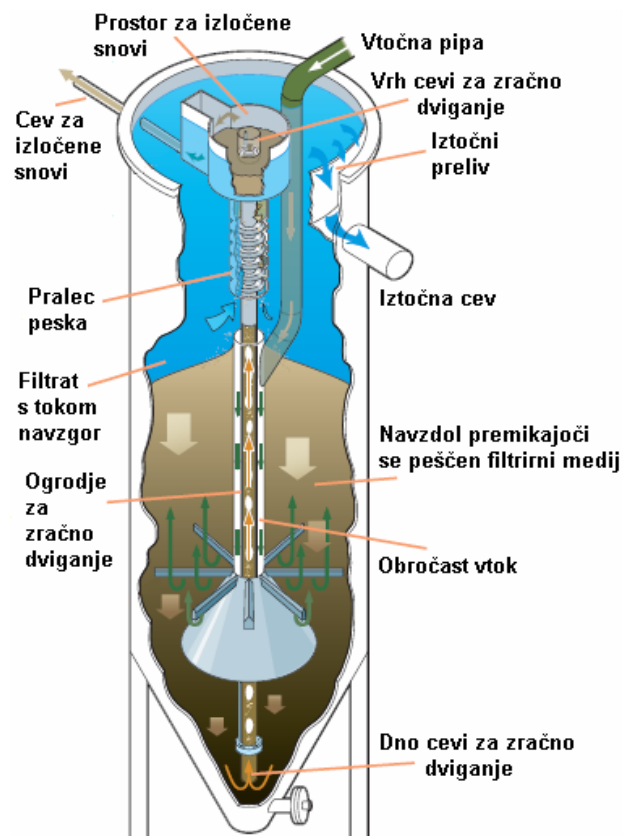
→ **Filtri z globokim slojem in z vtokom na vrhu (s tokom navzdol)**

Ti filtri so podobni konvencionalnim filtrom z vtokom na vrhu, vendar imajo globlji sloj in večjo velikost medija. To daje prednost daljšega obratovanja preden je potrebno povratno spiranje. Velikost medija je omejena z zmožnostjo povratnega spiranja filtra. Ker je te filtre težje povratno spirati je potrebno zračno izpiranje za popolno očiščenje sloja filtra (MNRT, 2008).

→ **Peščeni filtri s konstantnim spiranjem dela (deleža) sloja filtrirnega medija z vtokom na dnu**

Med obratovanjem te vrste filtra je voda dovedena na dnu globokega peščenega sloja. Voda teče navzgor skozi peščeni sloj. Pesek in ujete trdne snovi potujejo navzdol skozi filter in so povlečene v zračno sesalno cev v centru filtra. Ko potuje pesek navzgor po cevi, energija od zraka čisti delce in ločuje pesek od filtriranih trdnih snovi. Na vrhu cevi se čisti pesek usede nazaj na vrh filtra in trdne snovi so izločene. Filtri imajo prednost, da nimajo nobenih premikajočih delov, razen zračnega kompresorja in potrebujejo manj energije in vzdrževanja kot tradicionalni filtri s povratnim spiranjem (MNRT, 2008). Primer filtra s konstantnim spiranjem dela (deleža) sloja filtrirnega medija je DynaSand<sup>®</sup> filter (slika 32).





Slika 32: Primer filtra s konstantnim spiranjem dela (deleža) sloja filtrirnega medija je DynaSand® filter. (<http://www.parkson.com/files/Brochures/DynaSand-Filter.pdf>, 2011)

#### → Filtri s pulzirajočim slojem (Pulsed-Bed Filters)

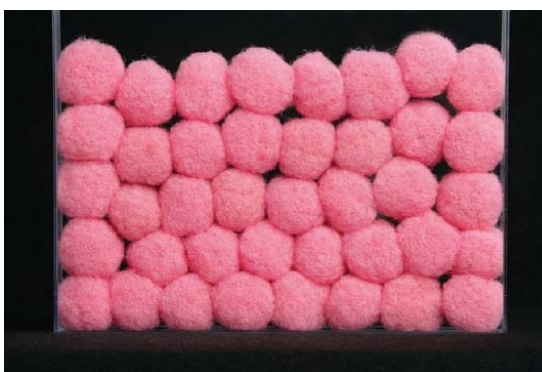
Filtri s pulzirajočim slojem so plitki filtri z neslojevitim finim peščenim medijem. Sunek zraka razrahlja medij in omogoči penetracijo trdnih snovi v sloj medija, kar omogoča da je celotni sloj filtra uporabljen za odstranjevanje trdnih snovi. Sunek je načrtovan, da podaljša obratovanje filtra in zmanjša število ciklov povratnega spiranja (MNRT, 2008).

#### → Filtri s potujočim mostom (Traveling-Bridge Filters)

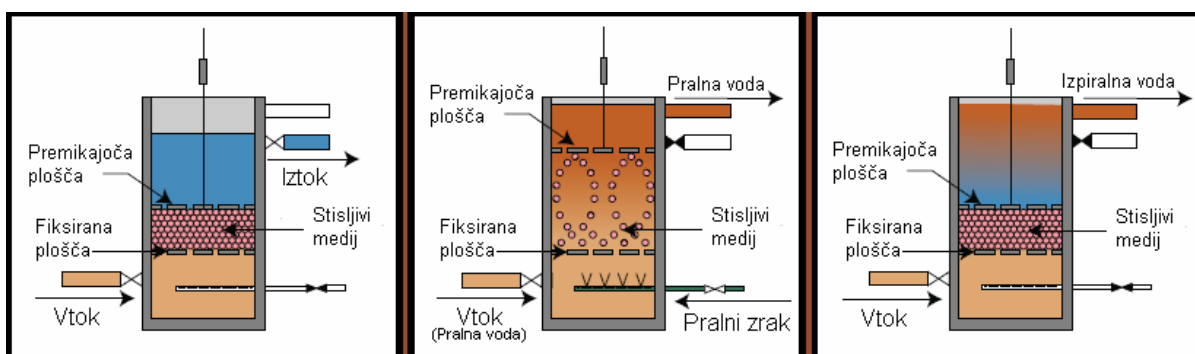
Filter je sestavljen iz dolgih plitkih slojev granuliranega medija. Odpadna voda je dovedena na vrhu medija in potuje navzdol. Vsaka celica je individualno povratno spirana s pomočjo potujočega mosta, medtem ko druge celice še naprej obratujejo. Most uporablja prefiltrirano vodo za povratno spiranje filtrov (MNRT, 2008).

### → Filtri s stisljivim slojem medija (Compressible Media Filtration – Fuzzy Filters)

Filtri s stisljivim slojem medija uporablja sintetični medij, ki je zelo porozen (slika 33). Učinkovita filtracija, pri kateri se lahko prilagodi poroznost sloja medija je glavna značilnost te tehnologije. Voda ne teče le okrog medija, vendar tudi skozi njega, kar omogoča višjo stopnjo filtracije. Medij drži na mestu kovinska plošča in tok poteka iz dna sloja navzgor. Filter se povratno spira z dvigovanjem plošče in dovajanjem zraka (MNRT, 2008). Slika obratovalnih ciklov stisljivega vlaknastega filtrirnega medija je prikazan na sliki 34.



Slika 33: Stisljive, sintetične vlaknaste kroglice, ki sestavljajo filtrirni medij so malo večje od ping-pong žogic. (www.schreiberwater.com, 2011)



Slika 34: Obratovalni cikli stisljivega vlaknastega filtrirnega medija. (www.schreiberwater.com, 2011)

### → Disk filtri (Discfilters)

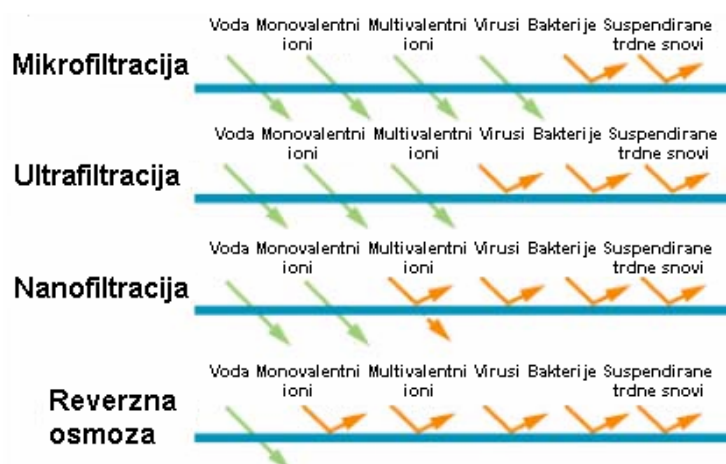
Vrsta vzporedno nameščenih diskov uporabljenih za podporo filtrirnega medija iz tkanine sestavlja ta filter. Voda vstopa v centralno cev in teče ven med dvema slojema tkanine na vsakem disku. Diski se obračajo in so običajno potopljeni 60-70 procentov. Del nad vodo je povratno spran z uporabo pršnih šob (MNRT, 2008).

### → Filtri iz tkanine

Filtri iz tkanin, kot pove že samo ime uporablja posebej izdelano tkanino za filtriranje odpadne vode, namesto peska ali drugega granuliranega medija. Plošče iz tkanin so nameščene vertikalno znotraj kovinskega ali betonskega bazena. Odpadna voda preplavlja plošče iz tkanine in potuje horizontalno skozi njih. Trdne snovi se kopičijo na zunanji strani plošč iz tkanin, medtem ko je prefiltrirana voda zbrana na zunanji strani plošč in usmerjena v iztočno komoro. Trdne snovi na zunanji strani tkanine tvorijo zaporo (sloj) in nivo vode v filtru naraste. Ko voda doseže vnaprej določen nivo se filter povratno spira s sesanjem tekočine (MNRT, 2008).

### → Membrane

Membranski sistemi uporabljajo pritisk za poganjanje vode preko prepustne membrane. Membranski filtri so običajno klasificirani glede na njihovo velikost por, kar posledično določa velikost delcev, ki jih izločijo. Mikrofiltracija, ultrafiltracija, nanofiltracija in reverzna osmoza odstranjujejo vse manjše delce. Lastnosti odstranjevanja posameznih delcev in snovi različnih membranskih sistemov je prikazana na sliki 35.



Slika 35: Lastnosti odstranjevanja posameznih delcev in snovi različnih membranskih sistemov.

Strošek energije za ustvarjanje pritiska in potreba po zamenjavi membran uvršča membransko filtracijo med dražje tehnologije. Vendar pa dosega zelo nizke koncentracije hraniv in drugih onesnažil in je skupna projektom ponovne uporabe vode. Membrane so lahko konfigurirane na številne načine: votlo vlakenske, ploščate, tubularne,... Membrane se lahko mašijo zaradi organskih snovi, biološke aktivnosti ali kovin v odpadni vodi. Običajno mora biti voda

predhodno obdelana pred uporabo membran. Predobdelava lahko vključuje konvencionalne filtre ali membranske filtre z večjo velikostjo por (MNRT, 2008).

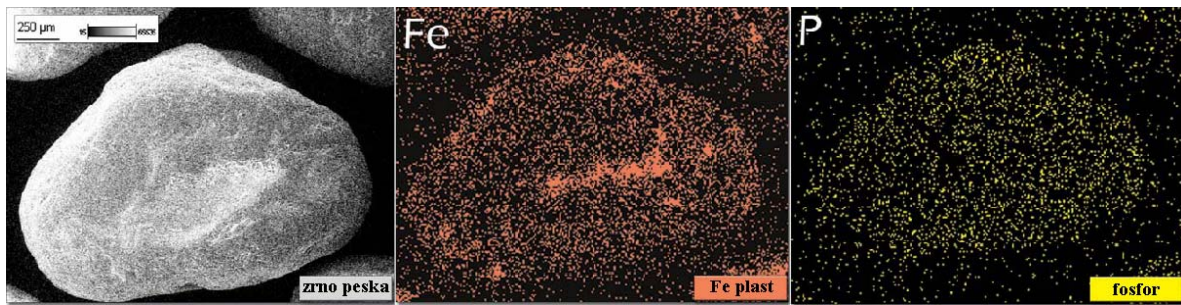
### → Blue PRO™ proces

Blue PRO™ proces uporablja Centra-flo konstantno spirajoč filter (slika 38), ki je načrtovan za odstranjevanje fosforja. Blue PRO proces je sestavljen iz dodajanja kemikalij, običajno železovega klorida za tvorbo oborine železovega fosfata. Temu koraku sledi pred reakcijska cona in filter s konstantnim spiranjem dela (deleža) sloja medija. Za razliko od ostalih (večine) filtrov, ki temeljijo na zadrževanju trdnih snovi med delci medija za odstranjevanje fosforja, vsebuje Blue PRO filtracijski sistem sloj medija prevlečenega z železovim oksidom v katerem se železov fosfat in druga onesnaževala pre(od)filtrirajo. Z železovim hidroksidom prevlečeni peščeni medij (slika 36 in 37) opravlja odstranjevanje fosforja z adsorpcijo namesto s koagulacijo in filtracijo. Ta proces ne zahteva zamenjave medija saj ima konstantno (stalno) regeneracijo s pomočjo patentiranega procesa in deluje z neprekinjenim tokom, brez potrebe po spiranju. Po adsorpciji, sta železo in fosfor (p)ostrgana od zrn peska. Abrazija peščenih delcev med seboj v delu konstantnega spiranja dela (deleža) sloja filtra izpostavlja (tvorijo) nove adsorpcijske površine na (v) mediju. Železo in fosfor prehajata ven z odpadnim tokom medtem ko je pesek ohranjen (zadržan) v sistemu (www.blueh2o.net, 2011).

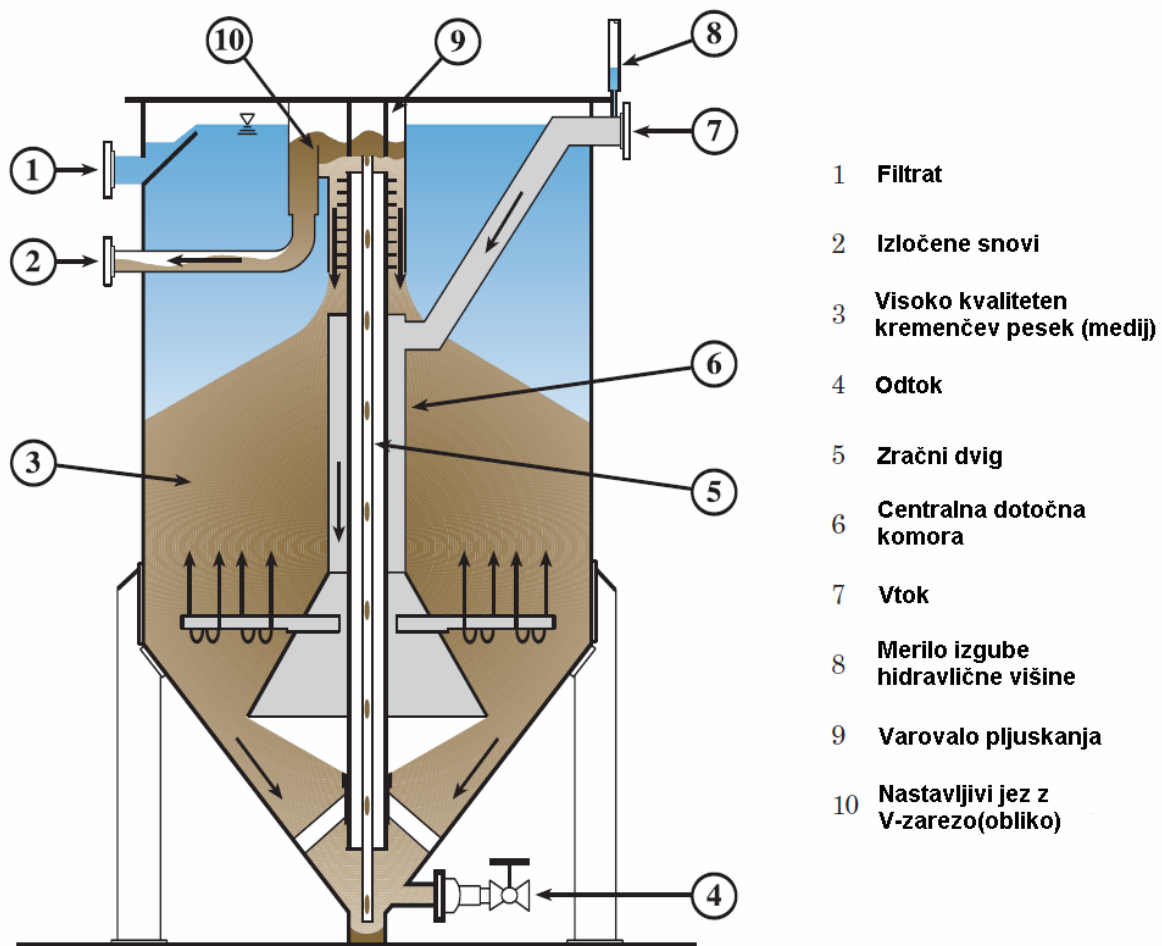


*Slika 36: Silikatni pesek prevlečen z železovim hidroksidom (desno) in brez (levo).*

*(www.blueh2o.net, 2011)*



Slika 37: Kremenčevo zrno brez prevleke, z Fe prevleko in adsorbiran fosfor na površini pod mikroskopom. (www.blueh2o.net, 2011)



Slika 38: Centra-flo filter s konstantnim spiranjem dela (deleža) sloja medija. (www.blueh2o.net, 2011)

## 2.3 PROCESI ISTOČASNEGA ODSTRANJEVANJA DUŠIKA IN FOSFORJA

### 2.3.1 Dejavniki istočasnega odstranjevanja dušika in fosforja

Dejavniki odstranjevanja za procese s katerimi dosegamo odstranitev tako dušika kot fosforja so kombinacija dejavnikov odstranjevanja za procese katerih cilj je odstranjevanje le enega od hranil.

Uravnoteženje različnih dejavnikov je nujno za doseganje zadostnega odstranjevanja  $N_{cel}$  in  $P_{cel}$ . Na primer, nitrate v povratnem aktivnem blatu (RAS) bi bilo treba čimbolj zmanjšati za spodbujanje biološkega odstranjevanja fosforja v anaerobni coni. To je bolj verjetno, da bo problem na napravah z eno anoksično cono, ker nitrate ustvarjeni po nitrifikaciji v prezračevalni coni nimajo možnosti za denitrifikacijo. Za izogibanje temu problemu lahko povratno aktivno blato (RAS) hranimo v izravnalnem bazenu (equalization tank) preden ga vrnemo v anaerobno cono. Izravnalna cona lahko zmanjša tudi raztopljeni kisik (RK) v RAS, kar bo nadalje izboljšalo učinkovitost anaerobne cone. Vendar pa bi zadrževalni čas moral biti omejen za preprečitev sekundarnega sproščanja fosforja. Druga možnost pa je da se RAS lahko preusmeri v anoksično cono raje kot v anaerobno cono.

Naprave, ki dosegajo odstranjevanje tako dušika kot fosforja morajo biti zasnovane (načrtovane) in obratovane za preprečitev sproščanja fosfata brez prisotnosti tako hlapnih maščobnih kislin, ali nitratov. Anaerobne ali anoksične cone, ki so prevelike, odstranjujejo ogljik in nitrate, česar rezultat je sproščanje fosfata, ki ni privzet v aerobni coni. Podobno, če je bilo povečano odstranjevanje nitratov ne obstaja nobenega načina za preprečitev sproščanja fosforja v nižjih delih ali globoko v sloju blata v sekundarnem usedalniku. Če se to zgodi v blatu sproščanje morda ne bo takoj vplivala na iztok neposredno, vendar je lahko rezultat tega kopičenje fosforja v sistemu sekundarne obdelave, kar bo sčasoma dvignilo koncentracijo fosforja v iztoku. Ta izmenjava med odstranjevanjem nitratov in biološkim odstranjevanjem fosforja zahteva dobro premišljeno zasnovo (načrtovanje), analizo in kontrolo procesa. Kot alternativa je lahko odstranjevanje nitratov narejeno ekstremno učinkovito v sekundarnem procesu in kemijsko obarjenje in filtracija se lahko uporablja naknadno za odstranjevanje fosforja do ekstremno nizkih nivojev.

Obstaja tudi več drugih dejavnikov, ki se jih je potrebno zavedati v kombiniranem sistemu. V splošnem, razmerje  $KPK : TN_{Kj}$  določa katere cone morejo biti velike in katere morajo biti majhne. Kisik v vtoku v anaerobno ali anoksično cono mora biti minimiziran, ker bo inhibiral te reakcije. Temperatura lahko tudi vpliva na proces. Pri pogojih z nizkimi temperaturami, fermentacija morda ne bo zagotavljala zadosti hlapnih maščobnih kislin za temperaturno manj občutljive reakcije privzema fosfata in denitrifikacija je lahko upočasnjena. Rezultat bo zmanjšano odstranjevanje fosforja in dušika. Ker odstranjevanje fosfata in nitrifikacija porabljajo alkaliteto medtem, ko denitrifikacija ustvarja (zagotavlja) alkaliteto je mogoče, da bo potrebno nekaj alkalitete dovajati za omogočanje normalnega nadaljevanja vseh procesov. Poleg tega je fosfor potrebno hranilo za mikrobo rast. Če je TP zmanjšan na prenizek nivo pred biološkim procesom kot je denitrifikacija, se lahko inhibira rast mikroorganizmov in zatorej se pojavi potreba po dodajanju dodatnega (nadomestnega) fosforja.

Biološko odstranjevanje fosforja in dušika tekmuje za razpoložljivi ogljik pri/na določenih napravah z dvema anoksičnima conama, kot je to v pet-stopenjskem Bardenpho procesu. Razpoložljiv ogljik v vtoku ali stranskemu povratnemu toku, se lahko uporabi za biološko odstranjevanje fosforja in nitrifikacijo. Vendar nekatere naprave morda zahtevajo metanol ali alternativni vir ogljika, ki ga je potrebno dodati drugi anoksični coni. Pri napravah za katere se zahteva doseganje nizkih omejitev fosforja v iztoku (manj kot 0,1mg/l) bo verjetno potreben alternativni vir ogljika in terciarna filtracija (MNRT, 2008).

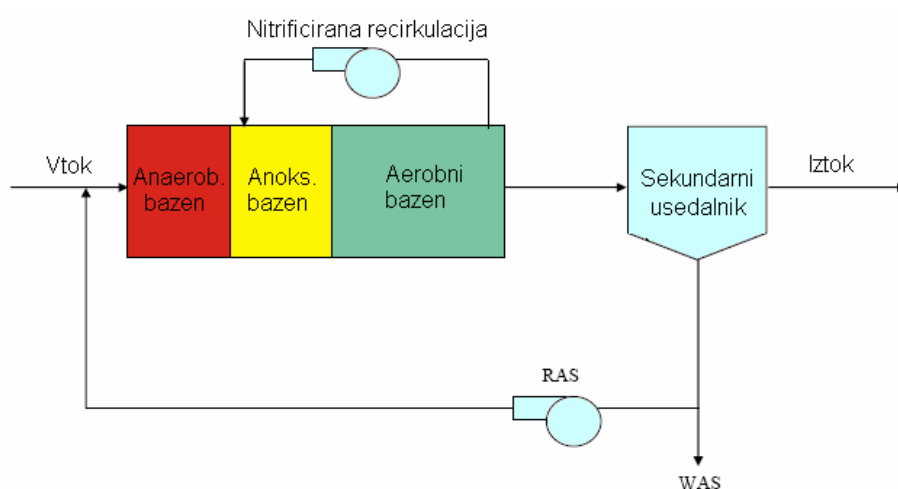
### 2.3.2 Tehnologije istočasnega odstranjevanja dušika in fosforja

Razvita in patentirana je bila vrsta procesov za odstranjevanje hraniv

#### ➤ ANAEROBNA/ANOKSIČNA/AEROBNA (Anaerobic-Anoxic-Oxic → A<sup>2</sup>O)

A<sup>2</sup>O proces (slika 39) je sestavljen iz anaerobne cone, anoksične cone in aerobne cone. Notranji recirkulacijski tok vrača nitrate iz aerobne cone v anoksično cono kot v MLE procesu. Povratno aktivno blato (RAS) je vrnjeno na začetek anaerobne cone. Ta proces na ta način omogoča simultano odstranjevanje dušika in fosforja. Z vključitvijo anoksične cone je zmanjšana koncentracija nitratov v povratnem blatu (v primerjavi z A/O procesom) kar pomeni, da je anaerobni proces bolj učinkovit. Obstoječi bazen z aktivnim blatom je lahko

modificiran z vključitvijo anaerobne in anoksične cone predvidoma, da ostane zadosti prostora v aerobni coni za izvajanje nitrifikacije. Z le eno anoksično cono in, če je zadosti hlapnih maščobnih kislin morda ne bo potrebno dodajanje ogljika. Z  $A^2O$ , kot tudi z vsemi kombiniranimi dušik-fosfor biološkimi sistemi, je nekaj fosforja privzetega v anoksični coni s pomočjo fosfat akumulirajočimi organizmi. Zadrževalni čas blata v vsaki coni mora biti zadosten za omogočanje popolnega sproščanja ali privzema fosfata. Obratovati morajo tudi usedalniki za redno odstranjevanje trdnih snovi, za izogibanje sproščanja fosfata z endogeno respiracijo fosfat akumulirajočih organizmov (MNRT, 2008).

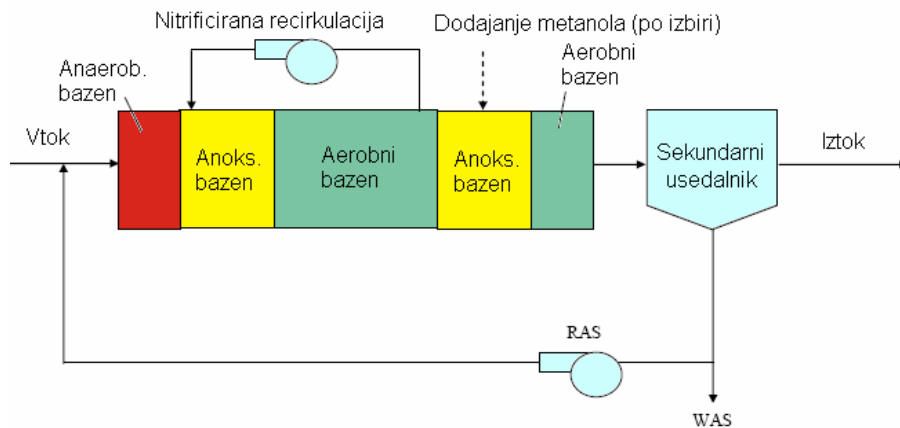


Slika 39:  $A^2O$  proces

#### ➤ 5-STOPENJSKI BARDENPHO PROCES

5-stopenjski Bardenpho proces (slika 40) je podoben 4-stopenjskemu Bardenpho procesu z izjemo, da je dodana anaerobna cona pred 4-stopenjskim sistemom. Notranja recirkualcija iz prve aerobne cone v prvo anoksično cono ostane taka kot je pri 4-stopenjskem Bardenpho procesu. Povratno aktivno blato (RAS) se vrača na začetek anaerobne cone. Morda je potrebno dodajanje metanola v drugo anoksično cono za zagotavljanje vira ogljika za denitrifikacijo. Kot pri 4-stopenjskem Bardenpho procesu je potreba po prostoru velika in notranja konstrukcija je potrebna med preurejanjem za ločevanje con. Druga anoksična cona lahko zahteva dodatni ogljik v obliki metanola ali v obliki hlapnih maščobnih kislin, če se le-te dodajajo kot podpora za privzem fosforja. Za ekstremno nizke koncentracije fosforja se lahko uporabi dodajanje kemikalij (MNRT, 2008).

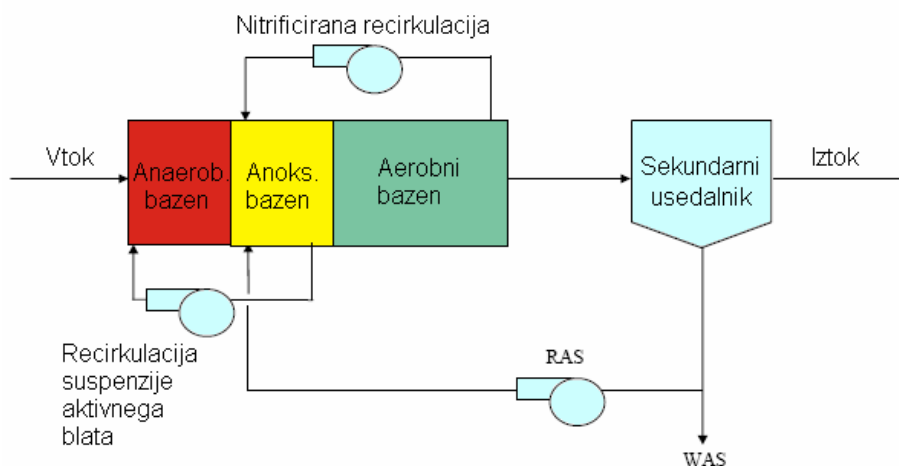




Slika 40: Pet-stopenjski Bardenpho proces.

### ➤ PROCES UNIVERZE CAPE TOWN (UCT)

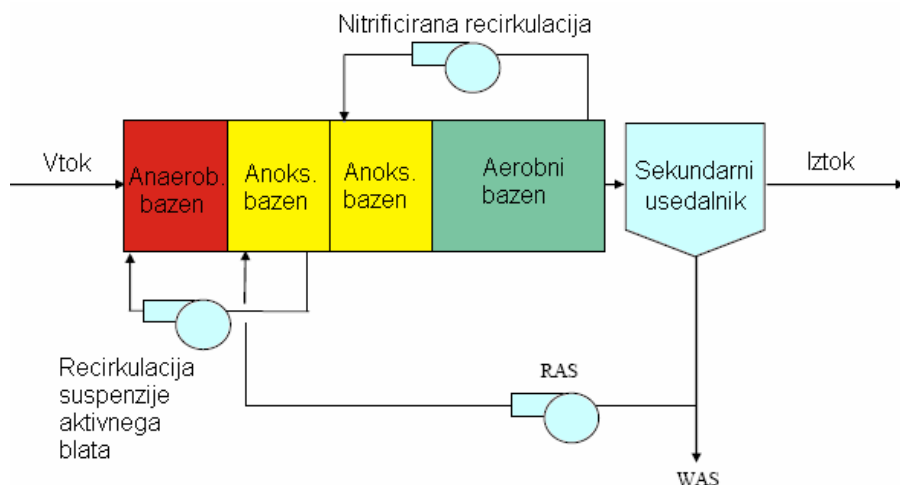
Proces UCT (slika 41), različica phoredox procesa, je sestavljen iz anaerobne, anoksične in aerobne cone. Notranja recirkulacija vrača nitrate iz aerobne cone na začetek anoksične cone. Druga notranja recirkulacija vrača odpadno vodo iz anoksične cone na začetek anaerobne cone. Povratno aktivno blato (RAS) je usmerjeno v začetek anoksične cone, za zmanjševanje količine nitratov, ki vstopajo v anaerobno cono. Namen zasnove je vzdrževanje visokih koncentracij hlapnih maščobnih kislin (VFA) in fosfat akumulacijskih reakcij na visokem nivoju, brez tekmovanja z denitrifikacijskimi reakcijami pri uporabi in porabi VFA. Proces ima srednje veliko potrebo po prostoru in je lahko vzpostavljen v obstoječem bazenu, odvisno od volumna, ki je na voljo. Kot pri drugih procesih v tem delu ni potrebna dodatna hidravlična višina, vendar bodo potrebni obsežni cevovodi in črpanje za povratne/recirkulacijske tokove. Če je prisotno zadosti hlapnih maščobnih kislin (VFA), ni potrebnih dodatnih virov ogljika. Za doseganje zelo nizkih koncentracij fosfata se zahteva dolvodno kemijsko obarjanje in filtracija (MNRT, 2008).



Slika 41: Proces univerze Cape Town.

#### ➤ MODIFICIRAN PROCES UNIVERZE CAPE TOWN (UCT PROCES)

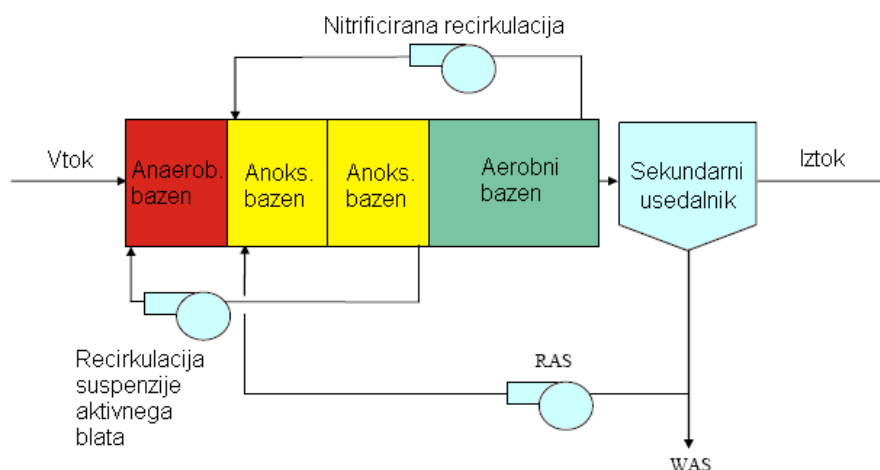
Modificiran UCT proces (slika 42), še ena različica (varianta) Phoredox procesa. Ima anaerobno cono, kateri sledita dve anoksični coni in aerobna cona pred sekundarnim usedalnikom. Dve anoksični coni zaporedno sta zasnovani da obratujejo tako, da se ne vrača v anaerobno cono nobenih nitratov. Nitrati iz aerobne cone so vrnjeni na začetek druge anoksične cone medtem ko druga notranja recirkulacija vrača tok od konca prve anoksične cone na začetek anaerobne cone. Povratno aktivno blato (RAS) je usmerjeno na začetek prve anoksične cone. Ta proces ima srednje veliko potrebo po prostoru in je lahko vzpostavljen v obstoječem bazenu, če je na voljo zadosti prostornine. Če je na voljo zadosti hlapnih maščobnih kislin, niso potrebni dodatni viri ogljika. Za doseganje zelo nizkih koncentracij fosfata se zahteva dolvodno kemijsko obarjanje in filtracija (MNRT, 2008).



Slika 42: Modificiran proces univerze Cape Town.

#### ➤ VIRGINIA INITIATIVE PROCES (VIP)

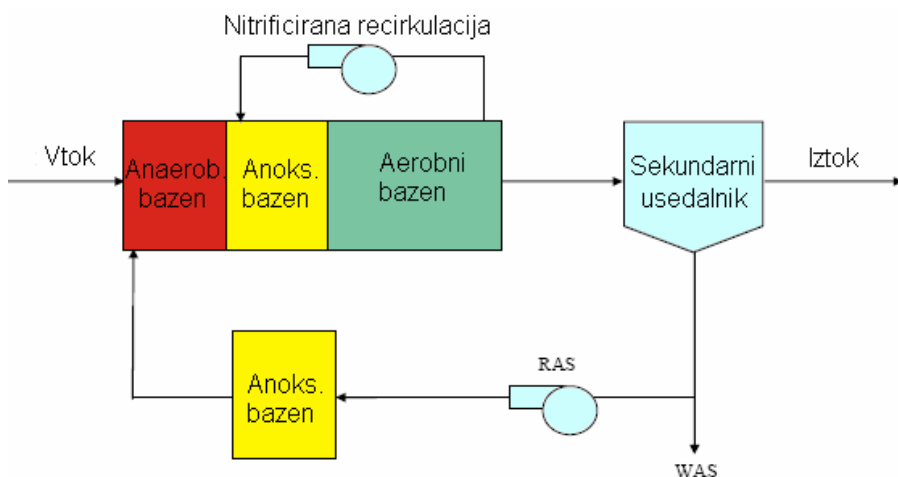
VIP (slika 43) je podoben modificiranemu UCT procesu in je še ena različica (variacija) Phoredox procesa. Nitrati iz aerobne cone so vrnjeni na začetek prve anoksične cone namesto v drugo anoksično cono, kot je to izvedeno pri modificiranemu UCT procesu. Druga recirkulacija je od konca druge anoksične cone na začetek anaerobne cone. Povratno aktivno blato (RAS) vstopa na začetku prve anoksične cone. VIP proces omogoča dodatno denitrifikacijo in s tem zmanjšuje vnos nitratov v anaerobno cono. Nitrati v anaerobni coni bi vplivali na sproščanje fosforja in tako bi se zmanjšala možnost za nadaljnji privzem fosforja v aerobni coni. VIP proces deluje v visoko stopenjskem načinu, kar omogoča manjše volumne bazenov, ki zavzemajo manj prostora kot pri podobnih procesih. Ta proces ima srednje veliko potrebo po prostoru in je lahko vzpostavljen v obstoječem bazenu. Kot pri drugih procesih, če je prisotno zadosti hlapnih maščobnih kislin, niso potrebni nobeni dodatni viri ogljika. Za doseganje zelo nizkih koncentracij fosfata potrebujemo dolvodno kemijsko obarjanje in filtracijo (MNRT, 2008).



Slika 43: Virginia Initiative proces.

#### ➤ JOHANNESBURG PROCES

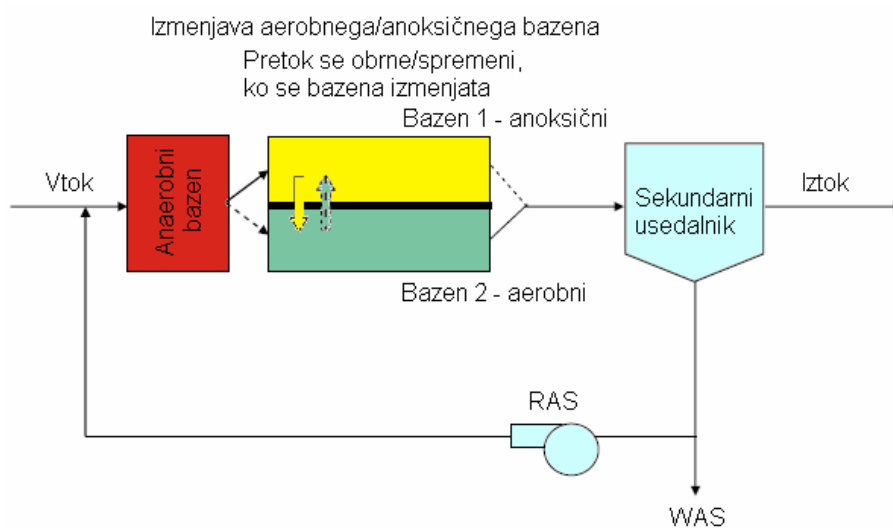
Johannesburg proces (slika 44), še ena različica (variacija) Phoredox procesa je sestavljen iz anaerobnega, anoksičnega in aerobnega bazena, ki so nameščeni zaporedno. Notranja recirkulacija vrača nitrato iz konca aerobne cone na začetek anoksične cone. Anoksična cona na liniji povratnega aktivnega blata (RAS) omogoča pojav denitrifikacije in s tem zmanjša količino nitrato, ki vstopajo v anaerobno cono. Denitrifikacija v anoksičnem bazenu na RAS liniji je lahko omejena s pomanjkanjem ogljika, kar je mogoče rešiti tako, da blato iz konca anaerobne cone prenesemo v anoksično cono RAS linije. Namenska anoksična cona omogoča manjšo potrebo po prostoru, kot pri nekaterih drugih sistemih. Če je prisotnih dovolj hlapnih maščobnih kislin ne potrebujemo nobenega dodatnega vira ogljika. Za doseganje zelo nizkih koncentracij fosfata je potrebno dolvodno kemijsko obarjanje (MNRT, 2008).



Slika 44: Johannesburg proces.

### ➤ BIODENIPHO PROCES

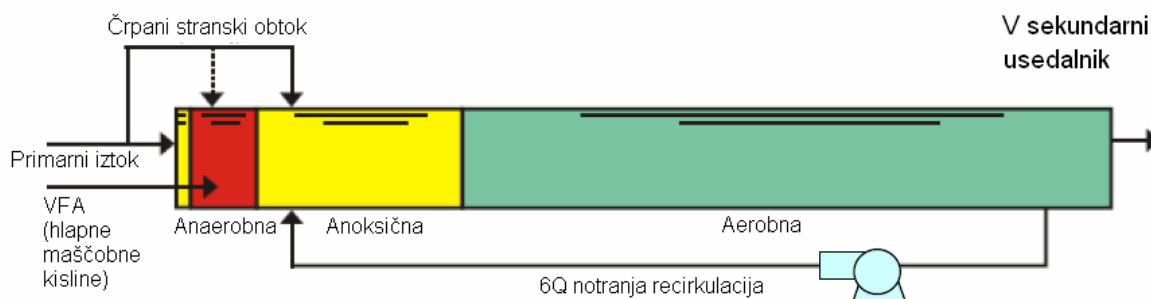
Biodenipho proces (slika 45) je podoben procesu Biodenitro s to izjemo, da je nameščen anaerobni bazen pred dvema oksidacijskima jarkoma, ki obratujeta na izmenični način za spodbujanje denitrifikacije in nitrifikacije. Rezultat izmeničnosti je da se organski ogljik v odpadni vodi uporablja in porablja tako za denitrifikacijo kot biološko odstranjevanje fosforja. Če je prisotno zadosti ogljika ne potrebujemo nobenega dodatnega vira. Povratno aktivno blato (RAS) je usmerjeno v anaerobno cono. Kot pri Biodenitro procesu je potreba po prostoru sistema lahko velika. Doseganje zelo nizkih koncentracij fosfata bi lahko zahtevalo dolvodno kemijsko precipitacijo in filtracijo (MNRT, 2008).



Slika 45: Biodenipho proces.

### ➤ WESTBANK PROCES

Westbank proces (slika 46) je modifikacija 5-stopenjskega Bardenpho procesa, z eliminacijo druge anoksične cone in cone reareacije. Proces uporablja razporeditev za postopno hranjenje pri distribuciji primarnega iztoka in supernatanta iz fermenterja (obogaten z hlapnimi maščobnimi kislinami (VFA)) v anaerobno in anoksično cono. Proces je sestavljen iz majhne predanoksične cone, kateri sledi anaerobna, anoksična in aerobna cona. Predanoksična cona zmanjša raztopljeni kisik (RK) in nitrate, ki vstopajo v anaerobno cono, in s tem poveča sproščanje fosforja. Povratno aktivno blato (RAS) se dovaja v anoksično cono. Primarni iztok je razdeljen med pred-anoksično cono (za denitrifikacijo povratnega aktivnega blata (RAS)), anaerobno cono (za stimulacijo sproščanja fosforja) in anoksično cono (za stimuliranje denitrifikacije). Neposredno dovajanje primarnega iztoka v anoksično cono povišuje stopnjo denitrifikacije in s tem zmanjša potrebno velikost anoksične cone v primerjavi s tisto v 5-stopenjskem Bardenpho sistemu. Supernatant iz fermenterja, ki vsebuje hlapne maščobne kisline se dovaja neposredno v anaerobno cono. Notranja recirkulacija z razmerjem pretoka do 600 procentov vrača nitrate iz aerobne cone v anoksično cono za denitrifikacijo (MNRT, 2008).



Slika 46: Westbank proces.

### Postopki za odstranjevanje hraniv v reaktorjih s pritrjeno biomaso

V zadnjem času zelo intenzivno razvijajo postopke za odstranjevanje hraniv (spojin fosforja in dušika), ki imajo biomaso pritrjeno na posebne nosilce. Večina procesov je zaščitena, ker gre običajno za specialne nosilce biomase ali pa za posebne porazdelitve vodnih tokov v reaktorjih (recirkulacija vode, spiranje nosilcev biomase, itd.). Najbolj znani so naslednji reaktorji: Biocarbon, Biostyr, Biopur, Biofor.

### 3 MODELI PROCESA ČIŠČENJA Z AKTIVNIM BLATOM

V literaturi obstaja nekaj nesoglasij pri uporabi izraza model. Nekateri uporabljajo izraz v pomenu sklopa matematičnih enačb, ki karakterizirajo proces, drugi kot računalniški program (software), ki se uporablja za reševanje teh enačb.

Modeli so sklopi enačb. Običajno temeljijo na teoriji in so osnovani na empiričnih podatkih, ki predstavljajo proces obdelave odpadne vode. Vsaka enota procesa je predstavljena s svojim lastnim modelom. Enačbe modela za procese kot so bistrenje in usedanje so dobro poznane in dokaj preproste. Modeliranje bioloških procesov obdelave odpadne vode, kot je aktivno blato, pa je veliko bolj zapleteno. Prvi niz modelov za procese z aktivnim blatom je sestavila International Water Association (IWA). Prvi model je bil razvit leta 1986 in je bil imenovan model procesa čiščenja z aktivnim blatom (Activated Sludge Model - ASM), pozneje znan kot ASM1. Ta model je lahko modeliral biološko oksidacijo ogljika, nitrifikacijo in denitrifikacijo.

Čeprav je imel ASM model omejitve je pridobil široko vrsto uporabnikov. Zato da bi izboljšali model je IWA razvila še štiri druge ASM modele; ASM2, ASM2d, ASM3 in ASM3 z BioP. ASM2 in ASM2d sta bila namenjena za dodatek biološkega odstranjevanja fosforja. ASM3 modela sta bila namenjena za odpravljanje omejitev ASM1. Poleg tega so bili drugi modeli razviti, da si prizadevajo za izboljšanje na osnovi ASM modelov.

Na voljo obstajajo številne aplikacije oziroma računalniški programi (simulatorji), ki vključujejo kombinacije različnih modelov. Aplikacije imajo običajno grafični vmesnik, ki omogoča uporabniku določiti procesne enote vključene v napravo. Večina aplikacij omogoča izbiro med številnimi modeli ustreznimi za predstavljene (zastopane) procesne enote. Različne aplikacije poganjajo različne sklope modelov, zato je izbira pravilne aplikacije pomembna. Poleg izbire potrebnih (zahtevanih) procesov, uporabnik prav tako določi stopnje pretokov, vključno z povratnimi (pre)toki in lastnosti vtoka odpadne vode. Parametri, kot so kinetične konstante za biološko rast in stehiometrijske konstante za reakcije so lahko določeni s strani uporabnika ali pa lahko uporabnik izbere privzete vrednosti. Glede na načrt (zasnovo)

procesa, vhodne parametre in izbranega modela, aplikacija reši sistem enačb za napoved lastnosti odpadne vode skozi celotno napravo.

Aplikacije oziroma računalniški programi (simulatorji), ki so trenutno na voljo so poznani pod naslednjimi imeni: GPS-X, EFOR, STOAT, BioWin, ASIM, SIMBA, WEST, AQUASIM in **AQUIFAS**. Aplikacije se razlikujejo v modelih, ki jih lahko poganjajo, stopnji znanja in spretnosti potrebni za obvladovanje aplikacije, uporabniškim vmesnikom in ceni. Nekateri modeli omogočajo visoko stopnjo prilagajanja, vendar bodo zahtevali večje poznavanje (znanje) uporabnika o modelih. Drugi so bolj prijazni uporabnikom za manj izkušene uporabnike, vendar v takih primerih omejitve modelov uporabniku niso tako očitne.

Parametri modela so vhodne spremenljivke, ki jih vnese uporabnik in sodijo v tri kategorije:

- parametri, ki določajo reakcije v procesu
- lastnosti odpadne vode
- vhodni podatki za procese

Parametri, ki določajo (opredeljujejo) reakcije so izbrane, ko uporabnik izbere model. V nekaterih primerih si morda uporabnik želi spremeniti privzete vrednosti modela. Vhodni podatki za proces vključujejo pretoke za vsak tok, povratne (pre)toke in velikost procesov. Ti vnosi so običajno parametri načrtovanja ali pa so znane vrednosti v primeru obstoječe naprave. Lastnosti odpadne vode vključujejo koncentracije BPK ali KPK, dušika in fosforja v vtoku, skupaj s temperaturo in pH. Večina modelov zahteva popolno razčlenitev teh parametrov.

Ker modeli niso točen opis procesa in zato ker merjenje parametrov ni natančno je potrebno vsak model kalibrirati. Model je kalibriran s poganjanjem aplikacije in primerjanjem predvidevanih vrednosti komponent odpadne vode z merjenimi vrednostmi skozi napravo ali preko podobne naprave. Parametri modela so nato prilagojeni za pridobitev najboljše primerjave med rezultati aplikacije in podatki z naprave.



### 3.1 Razvoj ASM modelov

Modeliranje procesov z aktivnim blatom je postalo običajni del načrtovanja in obratovanja čistilnih naprav za odpadno vodo. Danes se modeli uporabljajo za projektiranje, nadzor, kontrolo, poučevanje in raziskave.

V letu 1982 je International Association on Water Pollution Research and Control (IAWPRC - mednarodno združenje za raziskave in kontrolo onesnaževanja vode), kot se je takrat imenovala, ustanovila projektno (delovno) skupino, ki se bo ukvarjala z matematičnim modeliranjem za načrtovanje in delovanje procesov z aktivnim blatom. Takrat je bilo modeliranje procesov z aktivnim blatom stroka (veda) že okrog 15 let. Raziskovalna skupina, ki jo je vodil profesor G.v.R. Marais je bila najbolj opazna na tem področju in je raziskave na najvišjem nivoju izvajala na univerzi v Cape Townu, Južna Afrika. Različni modeli, ki so bili razviti v tistem času so imeli le manjšo uporabnost, delno zaradi pomanjkanja zaupanja v modele, delno zaradi omejene moči računalnikov in delno zaradi zapletenega načina na katerega so morali biti ti modeli predstavljeni v pisni obliki.

Cilj projektne skupine je bil ustvariti skupno platformo, ki bi se lahko uporabljala za prihodnji razvoj modelov za odstranjevanje dušika s procesom z aktivnim blatom. Namen je bil razvoj najmanj kompleksnega modela. Rezultat je bil model procesa čiščenja z aktivnim blatom št. 1 (Activated Sludge Model No.1 – ASM1).

Osnutek modela je bil obravnavan na IAWPRC specializiranem seminarju v Kollokole, Danska v letu 1985 in objavljen leta 1987 v njegovi končni obliki v IAWPRC Scientific and Technical Report Series kot STR No.1. Pet let uporabljenih za razvoj modela je bilo porabljenih za razprave s številnimi raziskovalci in praktiki z namenom pridobitve zanesljive platforme za delo. Kar je bilo predstavljeno ni bil samo model vendar tudi smernice za karakterizacijo odpadne vode in razvoj računalniških kod, plus nabor privzetih vrednosti, ki so od takrat zagotavljale realistične rezultate modela z le manjšimi spremembami parametrov. ASM1 je bil dobro sprejet in se je nato uporabljal kot podlaga (osnova) za nadaljnji razvoj modela.

Zapis v obliki matrike, ki je bil predstavljen skupaj z ASM1 je še posebej olajšalo povezavo kompleksnih modelov in je omogočal osredotočenost razprav na bistvene vidike biokinetičnega modeliranja.

V času objave ASM1 je bilo biološko odstranjevanje fosforja že v uporabi na (v omejenem številu) nekaterih čistilnih napravah v naravnem merilu. Teoretični status procesov je bil takšen, da projektna skupina v tistem času še ni šla v modeliranje le tega. Vendar je od sredine 1980 do sredine 1990 postalo biološko odstranjevanje fosforja zelo popularno in hkrati se je povečalo razumevanje osnovnih pojavov v procesu. Tako je bil leta 1995 izdan model procesa čiščenja z aktivnim blatom št. 2 (Activated Sludge Model No.2). Ta model je vključeval odstranjevanje dušika in biološko odstranjevanje fosforja. Leta 1994, ko je bil ASM2 dokončan, je bila vloga denitrifikacije v povezavi z biološkim odstranjevanje fosforja še vedno nejasna, zato je bilo odločeno, da se ne vključi tega elementa. Vendar je bil razvoj v raziskavah hiter in denitrifikacijske PAO (fosfor akumulacijske bakterije) so bili potrebne za simulacijo številnih rezultatov iz raziskav in prakse. Zaradi tega je bil ASM2 model razširjen v letu 1999 v ASM2d model, kjer so bili vključeni denitrifikacijski PAO.

Čeprav modeli morda niso bili močno potrebni za procese odstranjevanja dušika je kompleksnost združenih procesov odstranjevanja dušika in fosforja naredila modele pomembne za načrtovanje in namene kontrole.

Modeli so skozi leta postajali vse bolj kompleksni od ASM1, ki je vključeval procese odstranjevanja dušika, do ASM2, ki je vključeval procese biološkega odstranjevanja fosforja in do ASM2d, ki je vključeval denitrifikacijske PAO. V letu 1998 se je projektna skupina odločila za razvoj nove platforme za modeliranje, ASM3, z namenom ustvarjanja orodja za uporabo v naslednji generaciji modelov procesa čiščenja z aktivnim blatom. ASM3 je temeljil na nedavnih napredkih pri razumevanju procesov z aktivnim blatom, med katerimi so možnosti sledenja notranjega skladiščenja snovi, ki imajo pomembno vlogo pri metabolizmu organizmov.

Glavni najpomembnejši vpliv družine ASM modelov je bil na podlagi treh dejstev. Prvi je skupni jezik, ki ga uporabljajo modelatorji, ko uporabljajo koncepte, nomenklaturu in

matrični zapis. To je povzročilo močan razvoj modela v zadnjih 15 letih, kar pa se lahko ne bi zgodilo v primeru, če bi modelatorji uporabljali vsak svoj koncept, zapis in platforme.

Drugi je organizacijski vpliv pri delu z modelom. To je pomagalo raziskovalcem dosegati učinkovitejše eksperimentalne načrte (zasnove) in je pomagalo obratovalcem čistilnih naprav bolje razumeti in organizirati informacije, ki so na voljo na njihovih napravah in v mnogih primerih zaslediti napake v razpoložljivih informacijah. Kot tretje pa je to, da so modeli služili kot smernice za raziskave. Z usmerjanjem kjer so bile raziskave potrebne je bil poudarek dan na določene detalje in podrobnosti, na primer karakterizacija odpadne vode iz katere se je razvilo veliko zanimivih raziskav.

ASM1 in ASM2 modeli ali modeli, ki temeljijo na ASM so vključeni v večino današnjih komercialnih in nekomercialnih simulacijskih programov. Na ta način se lahko dostopa in uporablja modele za različne namene.

ASM3 ni končni ali »generalni model« procesa čiščenja z aktivnim blatom. Kot ASM1 je struktura in platforma za nadaljnji razvoj. Veliko modelatorjev išče »ultimativni generalni model« za sisteme z aktivnim blatom. Izkušnje iz zadnjih 15 let kažejo da nov razvoj pride hitro in da imajo »generalni modeli« kratko življensko dobo (uporabe) (Henze in sod., 2000).

Procesi s pritrjeno biomaso, kot so IFAS, so vedno bolj priljubljeni pri odstranjevanju hraniv. Modeliranje teh procesov je bolj zapleteno zaradi dodane dimenzije difuzije v in iz biofilma. Modeli enakovredni ASM modelom za procese s pritrjeno biomaso ne obstajajo. Vendar pa je IWA izdala publikacijo leta 2006 (Wanner in sod., 2006) v katerem navaja vse razpoložljive enačbe modela za procese s pritrjenim biofilmom. Ti modeli sodijo v tri kategorije: semi-empirični modeli, eno-dimenzionalni modeli in dvo-dimenzionalni modeli. Tri-dimenzionalni modeli obstajajo, vendar ne dajejo bistveno boljših rezultatov. Semi-empirične modele je mogoče rešiti analitično, so najhitrejši in zahtevajo več predpostavk o omejitvenih dejavnikih v reaktorju in biofilmu. Eno-dimenzionalni in dvo-dimenzionalni modeli morajo biti rešeni numerično. Semi-empirične vrednosti za kinetične konstante, odstranjevanje ogljika, nitrifikacijo, denitrifikacijo in rast biomase lahko pospešijo hitrost računanja. Publikacija navaja tudi metode za reševanje sklopa enačb, ki upravljajo procese s pritrjenim biofilmom. Metode rešitev se razlikujejo od analitičnih rešitev za bolj poenostavljene sklope enačb do

numeričnih rešitev za bolj zapletene enačbe modela. Veliko računalniških programov lahko sedaj prav tako upošteva te nove enačbe.

### 3.2 Osnove modela in zapis

Simulacija delovanja sistema z aktivnim blatom vključuje veliko število reakcij med velikim številom komponent. Reakcije morajo biti reprezentativne za najpomembnejše osnovne procese, ki se odvijajo znotraj sistema. V tem kontekstu izraz proces pomeni določen pojav, ki deluje na eno ali več komponent sistema. Modeli procesa čiščenja z aktivnim blatom (ASM) opisujejo biološke procese v čistilni napravi. Fizikalne osnove za modele so enačbe masnih bilanc. Te enačbe veljajo v določeni domeni, na primer bazen čistilne naprave, in imajo splošno obliko.

$$\text{Vhod} - \text{izhod} + \text{reakcija} = \text{akumulacija (sprememba zaloge)} \quad (3.1)$$

V tej enačbi so vhodi in izhodi tako imenovani transportni termini (transport terms), ki so odvisni od fizikalnih karakteristik sistema. Izraz reakcija predstavlja vse kemijske in biološke procese v sistemu. V situaciji stacionarnih razmer se za izraz akumulacija predpostavlja, da je nič.

Vsi štirje modeli aktivnega blata, ki jih je predstavila projektna skupina IAWQ uporabljajo zapis v obliki matrike. Projektna skupina je zaključila, da matrična oblika za predstavitev modela, na podlagi dela Petersona (1965), nudi najboljšo priložnost za premagovanje problemov, kot so težavnost sledenja medsebojnega vpliva komponent sistema in težavnost sledenja razvoja avtorjevih idej. Poleg tega se jim je zdelo dobro, da naj bi se uporabil zapis, ki ga je priporočala predhodna projektna skupina (Grau in sod., 1982).

Za razumevanje zapisa v obliki matrike bo obravnavan manjši primer. Zato si predstavljajmo heterotrofne bakterije, ki rastejo v aerobnem okolju z uporabo topnega (raztopljenega) ogljikovega substrata in kisika. Substrat je splošen izraz za (organsko) snov, ki se lahko transformira z biološkim procesom.

Dva osnovna procesa za ta primer sta rast in odmiranje (razkroj) bakterij (povečanje in zmanjšanje biomase). Obravnavati je potrebno tudi pojav porabe kisika in odstranjevanje substrata, ker se oba uporabljata za rast bakterij. To takoj (posledično) pomeni, da se morajo koncentracije substrata in kisika zmanjšati. Model predstavljen tukaj mora vsebovati najmanj (naslednje) komponente: biomasa (bakterije), substrat in raztopljeni kisik. V preglednici 1 se nahaja matrični zapis za model aerobne rasti heterotrofnih bakterij. Pod matriko je podana podrobna razlaga.

*Preglednica 1: Zapis matrike za rast heterotrofnih bakterij v aerobnem okolju. Definicija parametrov  $Y$ ,  $\mu$ ,  $K_S$ ,  $b$  je podana v preglednici.  $M(KPK)$  je oznaka za maso, masa snovi je izražena v smislu masa kemijske potrebe po kisiku (KPK). KPK je pojasnjen v besedilu.  $L$  je enota za dolžino.  $L^3$  predstavlja volumen.  $T$  je oznaka za čas.*

Komponenta (i) → Proces (j) ↓	1	2	3	Procesna stopnja $\rho_j$ [ $ML^{-3}T^{-1}$ ]
1. Rast	1	$-\frac{1}{Y}$	$-\frac{1-Y}{Y}$	$\left(\frac{\mu S_S}{K_S + S_S}\right) X_B$
2. Odmiranje	-1		-1	$bX_B$
Opazovane stopnje pretvorbe [ $ML^{-3}T^{-1}$ ]	$r_i = \sum_j v_{ij} \rho_j$			
Stehiometrijski parametri: - Dejanski doprinos, $Y$	Biomasa $\left[\frac{M(KPK)}{L^3}\right]$	Substrat $\left[\frac{M(KPK)}{L^3}\right]$	Kisik $\left[\frac{M(-KPK)}{L^3}\right]$ (negativni KPK)	Kinetični parametri: - maksimalna specifična stopnja rasti, $\mu$ - konstanta nasičenja s substratom $K_S$ - specifična hitrost odmiranja, $b$

V prvi vrsti preglednice 1 lahko najdemo komponente modela. X je oznaka za neraztopljene (netopne) (delce) elemente in S je oznaka za raztopljene (topne) elemente. Z uporabo podpisa so navedene vse posamezne komponente, v tem primeru je B biomasa, S je substrat in O je kisik. Vsem komponentam je dan indeks  $i$  v tej predstavitvi modela. Biološki procesi, z indeksom  $j$  so predstavljeni v prvem stolpcu preglednice. V tem primeru so ti procesi rast biomase in izguba biomase zaradi odmiranja (razpada).

Zapisi z indeksoma  $i$  in  $j$  so bistveni del zapisa matrike. V matriki indeksi določajo natančno določen element v matriki. Na primer, če je v matriki  $5 \times 5$  z realnimi števili  $i, j = 2, 3$ , potem je s tem mišljen element v drugi vrsti in tretjem stolpcu matrike. To velja tudi za zapis matrike v preglednici 1, vendar je tukaj matrika izpolnjena s parametri in predstavlja biološki model. Kinetični izrazi (ali stopenjske enačbe) za vsak proces v modelu so navedeni v zadnjem (najbolj desnem) stolpcu preglednice. Te stopnje procesov so označene z  $\rho_j$ , z  $j$  kot številom procesa na katerega se nanaša. Stopnje v preglednici 1 so definirane (opredeljene) z uporabo preprostega Monodovega modela. Monodov model rasti je empirični model, ki opisuje mikrobiološko rast. Model povezuje stopnjo rasti in koncentracijo omejenega hraniva (element v substratu). Model je podan z enačbo:

$$\frac{dX}{dt} = X\mu_m \frac{S_s}{K_s + S_s}, \quad (3.2)$$

Kjer je  $X$  biomasa in  $S$  omejen substrat.  $\mu_m$  je maksimalna specifična stopnja rasti in  $K_s$  je koncentracija substrata, ki podpira polovico maksimalne stopnje rasti (ali konstanta stopnje nasičenja substrata, koncentracija substrata pri  $\mu_m/2$ ). V preglednici 1 je razvidna uporaba monodovega modela v enačbah stopenj.

Elementi v matriki so stehiometrijski koeficienti  $v_{ij}$ . Podajajo (določajo) masna razmerja med komponentami v posameznih procesih v modelu. Koeficienti so zelo poenostavljeni. Če je koeficient pozitiven to pomeni proizvodnjo snovi. Če pa je koeficient v matriki negativen potem govorimo o porabi (potrošnji). V preglednici 1 vidimo, da se rast biomase ( $\rho_{11} = +1$ ) odvija ob porabi substrata ( $\rho_{12} = -\frac{1}{Y}$ ) in kisika ( $\rho_{13} = -\frac{1-Y}{Y}$ ).

S pomočjo matrike v preglednici 1 lahko določimo (izpeljemo) enačbe masnih bilanc. Matrika daje reakcijske izraze za model. Te izraze je mogoče najti z uporabo naslednje formule,

$$r_i = \sum_j v_{ij} \rho_j, \text{ za vsako komponento } i. \quad (3.3)$$

Na primer reakcijski izraz za masno bilanco biomase ( $X_B$ ) je  $r_{X_B} = \frac{\mu S_s}{K_s + S_s} X_B - bX_B$ .

Torej lahko za vsako komponento v modelu najdemo reakcijski izraz v enačbi masne bilance s seštevanjem po stolpcu matrike. Stehiometrijski parameter je pomnožen s pripadajočo enačbo stopnje. Potem se izvede skupni seštevek vseh izrazov.

Sedaj pa si pogledjmo preprost model, podan v matriki. Upoštevajmo heterotrofne bakterije (biomasa). Predpostavimo, da v bazenu ni vtoka in iztoka, tako da sta v enačbi (3.1) vtok in iztok nič. Kar preostane sta izraza akumulacija in reakcija. Celotna (skupna) enačba za koncentracijo biomase postane

$$\frac{dX_B}{dt} = \left[ \mu \frac{S_S}{K_S + S_S} - b \right] X_B . \quad (3.4)$$

Na podoben način dobimo enačbe za koncentracijo substrata in kisika, ki so podane kot (še vedno brez vtoka in iztoka)

$$\frac{dS_S}{dt} = - \frac{\mu}{Y} \frac{S_S}{K_S + S_S} X_B , \quad (3.5)$$

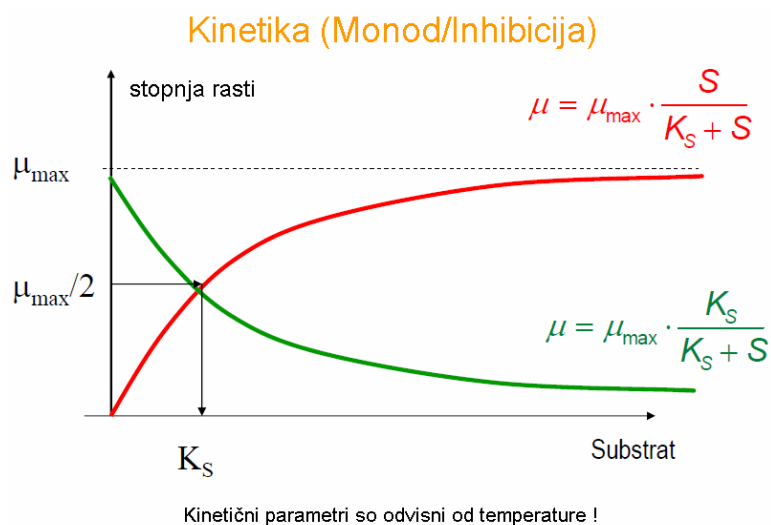
$$\frac{dS_O}{dt} = \left[ - \mu \frac{1-Y}{Y} \frac{S_S}{K_S + S_S} - b \right] X_B . \quad (3.6)$$

Preprost model podan v preglednici 1 torej vsebuje tri enačbe, ki opisujejo rast in odmiranje heterotrofne biomase.

Še zadnja opomba o zapisu matrike je dejstvo, da se da kontinuiteto modela lahko preprosto preveriti. Če so za elemente v matriki uporabljene skladne (ujemajoče) enote, potem mora biti vsota preko vseh stehiometrijskih koeficientov ( $v_{ij}$ ) enega procesa enaka nič. Torej mora seštevek elementov v eni vrstici matrike biti enak nič. Moramo se zavedati, da se lahko predznak parametra spremeni glede na proizvodnjo in porabo (Henze in sod., 1987).

### 3.3 Model procesa čiščenja z aktivnim blatom št. 1 (ASM1)

Prvi model za modeliranje procesov v čistilni napravi (za odpadno vodo) je model procesa čiščenja z aktivnim blatom št. 1 (ASM1). Preden si ogledamo matriko ASM1 je najprej predstavljen koncept preklopne funkcije. Preklopne funkcije so osnova Monodovega modela. Monodova in inhibicijska kinetika sta predstavljeni na grafikonu 1.



*Grafikon 1: Monodova in inhibicijska kinetika*

Te funkcije so uporabljene v enačbah procesnih stopenj in so jih sposobne vključiti in izključiti, če se spremenijo pogoji v okolju. Osredotočimo se na primer na bakterije za nitrifikacijo. Rastejo pod aerobnim pogoji, vendar pa če se količina raztopljenega kisika približa ničli, biomasa preneha rasti. Uvedena je naslednja preklopna funkcija:

$$\frac{S_o}{K_o + S_o} \quad (3.7)$$

kjer je  $S_o$  koncentracija raztopljenega kisika in  $K_o$  konstanta polovične maksimalne stopnje rasti (koncentracija raztopljenega kisika pri  $\mu_m/2$ ). Če je  $K_o$  skoraj enako nič je preklopna funkcija skoraj 1 in če se količina raztopljenega kisika približuje ničli postane tudi funkcija nič. Če kisika sploh ni se lahko uporabi naslednja preklopna funkcija

$$\frac{K_o}{K_o + S_o} \quad (3.8)$$

Obe funkciji sta kontinualni kar pomaga pri eliminiranju problemov z numerično nestabilnostjo. Celotni model procesa čiščenja z aktivnim blatom št. 1 (ASM1) lahko najdemo v preglednicah 2 in 3, kjer je uporabljen zapis v obliki matrike. V tem delu je ASM1 tudi opisan (Henze in sod., 1987).



### 3.3.1 Komponente v ASM1

V ASM1 so lahko vse masne bilance narejene z uporabo kemijske potrebe po kisiku (KPK). Vsa organska snov je lahko izražena v enotah KPK. KPK je indirektno merilo (za količino) organskih snovi v odpadni vodi. Meri potrebo po kisiku, ki se porabi (ga potrebujemo) za oksidacijo, hidrolizo in fermentacijo organskih snovi v vodi. V ASM1 lahko organske snovi razdelimo v več kategorij. Najprej je tu nerazgradljiva snov, ki je deljena na topno (raztopljeno) ( $S_I$ ) in netopno (partikulatno) ( $X_I$ ) inertno organsko snov. Potem je tu še biološko razgradljiva snov ali substrat. Ta je spet razdeljen na hitro (lahko) biorazgradljivi substrat ( $S_S$ ) in počasi (težje) biorazgradljiv substrat ( $X_S$ ), ki se obravnava kot partikulatna snov. Proces hidrolize pretvarja počasi (težje) biorazgradljivi substrat v hitro (lahko) biorazgradljivega.

*Preglednica 2: Vsi parametri s komponentami in procesi modela procesa čiščenja z aktivnim blatom št. 1. Pripadajoče stopnje procesov lahko najdemo v preglednici 3.*

Komponenta $i \rightarrow$ Proces $j \downarrow$	1 $S_I$	2 $S_S$	3 $X_I$	4 $X_S$	5 $X_{B,H}$	6 $X_{B,A}$	7 $X_P$	8 $S_O$	nadaljevanje
1. Aerobna rast heterotrofi		$-\frac{1}{Y_H}$			$I$			$-\frac{1-Y_H}{Y_H}$	...
2. Anoksična rast heterotrofi		$-\frac{1}{Y_H}$			$I$				
3. Aerobna rast avtotrofi						$I$		$-\frac{4,57-Y_A}{Y_A}$	nadaljevanje
4. Odmiranje heterotrofov				$I-f_p$	$-I$		$f_p$		...
5. Odmiranje avtotrofov				$I-f_p$		$-I$	$f_p$		
6. Amonifikacija topnega organskega dušika									
7. Hidroliza vezanih organskih snovi		$I$		$-I$					
8. Hidroliza vezanega organskega dušika									

nadaljevanje...

nadaljevanje...

Komponenta $i \rightarrow$ Proces $j \downarrow$	9 $S_{NO}$	10 $S_{NH}$	11 $S_{ND}$	12 $X_{ND}$	13 $S_{ALK}$	$\rho_j$
1. Aerobna rast heterotrofi		$-i_{XB}$			$-\frac{i_{XB}}{14}$	$\rho_1$
2. Anoksična rast heterotrofi	$-\frac{1-Y_H}{2,86Y_H}$	$-i_{XB}$			$\frac{1-Y_H}{14 \cdot 2,86Y_H} - \frac{i_{XB}}{14}$	$\rho_2$
3. Aerobna rast avtotrofi	$\frac{1}{Y_A}$	$-i_{XB} - \frac{1}{Y_A}$			$-\frac{i_{XB}}{14} - \frac{1}{7Y_A}$	$\rho_3$
4. Odmiranje heterotrofov				$i_{XB} - f_p i_{XP}$		$\rho_4$
5. Odmiranje avtotrofov				$i_{XB} - f_p i_{XP}$		$\rho_5$
6. Amonifikacija topnega organskega dušika		$l$	$-l$		$\frac{1}{14}$	$\rho_6$
7. Hidroliza vezanih organskih snovi						$\rho_7$
8. Hidroliza vezanega organskega dušika			$l$	$-l$		$\rho_8$

Preglednica 3: Vse procesne stopnje za ASMI.

Stopnja procesa [ $ML^{-3}T^{-1}$ ]	Enačba
$\rho_1$	$\mu_H \left( \frac{S_S}{K_S + S_S} \right) \cdot \left( \frac{S_O}{K_{O,H} + S_O} \right) X_{B,H}$
$\rho_2$	$\mu_H \left( \frac{S_S}{K_S + S_S} \right) \cdot \left( \frac{K_{O,H}}{K_{O,H} + S_O} \right) \cdot \left( \frac{S_{NO}}{K_{NO} + S_{NO}} \right) \eta_g X_{B,H}$
$\rho_3$	$\mu_A \left( \frac{S_{NH}}{K_{NH} + S_{NH}} \right) \cdot \left( \frac{S_O}{K_{O,A} + S_O} \right) X_{B,A}$
$\rho_4$	$b_H X_{B,H}$
$\rho_5$	$b_A X_{B,A}$
$\rho_6$	$k_d S_{ND} X_{B,H}$
$\rho_7$	$k_h \frac{X_S / X_{B,H}}{K_X + (X_S / X_{B,H})} \cdot \left[ \left( \frac{S_O}{K_{O,H} + S_O} \right) + \eta_h \left( \frac{K_{O,H}}{K_{O,H} + S_O} \right) \cdot \left( \frac{S_{NO}}{K_{NO} + S_{NO}} \right) \right] X_{B,H}$
$\rho_8$	$\rho_7 \left( \frac{X_{ND}}{X_S} \right)$

ASM1 vsebuje tudi dušikove snovi. Tudi ta je razdeljena na biorazgradljive in biološko nerazgradljive snovi. Biološko nerazgradljiva snov je razdeljena na topne in netopne (partikulatne) snovi. Ker pa je delež biološko nerazgradljivega topnega dušika majhen, le-ta ni vključen v modelu. Biološko nerazgradljiv netopen (partikulatni) dušik je tudi povezan z biološko nerazgradljivim netopnim (partikulatnim) KPK. Biorazgradljiva snov je sestavljena iz amonija NH ( $S_{NH}$ ), nitratnega dušika NO ( $S_{NO}$ ), topnega (raztopljenega) organskega dušika ( $S_{ND}$ ) in netopnega (neraztopljenega, partikulatnega) organskega dušika ( $X_{ND}$ ).

ASM1 vsebuje seveda tudi biomaso. V modelu je biomasa razdeljena v dve skupini in to sta heterotrofna ( $X_{B,H}$ ) in avtotrofna ( $X_{B,A}$ ) biomasa. Heterotrofna biomasa so organizmi, kot bakterije, ki za rast uporabljajo organski ogljik. Avtotrofno biomaso lahko obravnavamo kot nasprotje heterotrofni biomasi. Ti organizmi so sposobni uporabljati vire energije za proizvodnjo organskega substrata iz anorganske snovi. Biomasa se izgublja zaradi odmiranja (npr.: smrt, plenjenje, razpad). V tem primeru se predpostavlja, da se biomasa pretvori v počasi (težko) biorazgradljiv substrat ( $X_S$ ) in partikulatne produkte ( $X_P$ ). Zadnja dva elementa uporabljena v ASM1 sta raztopljeni kisik ( $S_O$ ) in alkaliteta odpadne vode, označena s  $S_{ALK}$ . Alkaliteta vode vsebuje informacijo o pH vrednosti in ionskih nabojih. Za primerjavo komponent ASM1 z drugimi modeli je podan seznam komponent v preglednici 4.

Vsi procesi v ASM1 so odvisni od določenih parametrov. Te parametre lahko najdemo v matriki ASM1, kjer so od njih odvisni koeficienti in enačbe stopenj. V preglednici 5 je podan seznam parametrov. Parametri določajo na primer količino (in hitrost) rasti in odmiranja biomase. Drugi parametri določajo polovično hitrost nasičenja določene komponente v odpadni vodi (Henze in sod., 1987).

*Preglednica 4: Komponente modela ASM1.  $M(.)$  označuje maso v smislu omenjene snovi.  $L$  označuje enoto dolžine (na primer metri  $m$ ). Vse zapise lahko torej vidimo kot koncentracijo.*

Oznaka	Komponenta	Enota
$S_{ALK}$	Alkaliteta odpadne vode	$\text{mol}(\text{HCO}_3^-)\text{L}^{-3}$
$S_I$	Topna inertna organska snov (material)	$M(\text{KPK})\text{L}^{-3}$
$S_{ND}$	Topni biorazgradljivi organski dušik	$M(\text{N})\text{L}^{-3}$
$S_{NH}$	Topni amonij in amonijski dušik	$M(\text{N})\text{L}^{-3}$
$S_{NO}$	Nitratni in nitritni dušik	$M(\text{N})\text{L}^{-3}$
$S_O$	Kisik	$M(-\text{KPK})\text{L}^{-3}$
$S_S$	Hitro biorazgradljivi substrat (snov/material)	$M(\text{KPK})\text{L}^{-3}$
$X_{B,A}$	Aktivna avtotrofna biomasa	$M(\text{KPK})\text{L}^{-3}$
$X_{B,H}$	Aktivna heterotrofna biomasa	$M(\text{KPK})\text{L}^{-3}$

$X_I$	Inertna partikulatna organska snov (material)	$M(KPK)L^{-3}$
$X_{ND}$	Partikulatni biorazgradljivi organski dušik	$M(N)L^{-3}$
$X_P$	Partikulatni produkti iz odmiranja biokulture	$M(KPK)L^{-3}$
$X_S$	Počasi biorazgradljivi substrat (snov/material)	$M(KPK)L^{-3}$

Preglednica 5: Seznam parametrov v ASM1.  $M(\dots)$  označuje maso (v gramih) v smislu omenjene snovi.

Parameter	Definicija	Enota
$Y_A$	Koeficient doprinosa avtotrofne biokulture (biomase)	$M(KPK_{celic})/M(N)$
$Y_H$	Koeficient doprinosa heterotrofne biokulture	$M(KPK_{celic})/M(KPK)$
$f_p$	Delež biomase, ki vodi v posamezne produkte	
$i_{XB}$	Masa dušika na maso KPK v biomasi	$M(N)/M(KPK)$
$i_{XP}$	Masa dušika na maso KPK v produktih biomase	$M(N)/M(KPK)$
$\mu_x$	Maksimalna specifična stopnja rasti za avtotrofno ( $x = A$ ) in heterotrofno ( $x = B$ ) biomaso	$dan^{-1}$
$b_x$	Koeficient specifične hitrosti odmiranja za avtotrofno ( $x = A$ ) in heterotrofno ( $x = B$ ) biomaso	$dan^{-1}$
$K_{O,H}$	Konstanta zasičenja kisika za heterotrofno biokulturo (saturacijski koeficient)	$M(O_2)/m^3$
$K_{O,A}$	Konstanta zasičenja kisika za avtotrofno biokulturo	$M(O_2)/m^3$
$K_{NO}$	Konstanta zasičenja nitrata za denitrifikacijsko heterotrofno biokulturo	$M(N)/m^3$
$K_{NH}$	Konstanta zasičenja za amonijski dušik za avtotrofno biokulturo	$M(N)/m^3$
$K_S$	Konstanta nasičenja s substratom za heterotrofno biokulturo	$M(KPK)/m^3$
$K_X$	Konstanta zasičenja za hidrolizo počasi biorazgradljivega substrata	$M(KPK)/M(KPK_{celic})$
$\eta_g$	Korekcijski faktor za $\mu_H$ pod anoksičnimi pogoji	
$\eta_h$	Korekcijski faktor za hidrolizo pod anoksičnimi pogoji	
$k_h$	Maksimalna specifična stopnja hidrolize	$\frac{M(KPK)}{M(KPK_{celic}) \cdot dan}$
$k_a$	Stopnja amonifikacije	$m^3 \cdot KPK / (M \cdot dan)$

### 3.3.2 Procesi v ASM1

ASM1 je model za oksidacijo ogljika, nitrifikacijo in denitrifikacijo v čistilnih napravah za odpadno vodo. Procese v modelu lahko najdemo v preglednicah 2 in 3. Obstajajo približno

štiri procesi, ki jih je potrebno omeniti. Prvi je rast biomase. Ta je razdeljen v aerobno rast heterotrofov, anoksično rast heterotrofov in aerobno rast avtotrofov. Izraza aerobno in anoksično dajejo nekaj informacij o tipu rasti in okolju v katerem rast poteka. Aerobna rast pomeni, da organizmi rastejo v okolju z raztopljenim kisikom. Ta kisik se uporablja tudi za rast. Po drugi strani pa imamo anoksično rast. V tem primeru ni kisika v okolju. Za rast biomase se uporabljajo drugi elementi, kot je nitrat.

Kot naslednjo se obravnava odmiranje biomase. Ta je zopet razdeljena na odmiranje heterotrofov in avtotrofov. Tretji proces v ASM1 je amonifikacija topnega (raztopljenega) organskega dušika. Amonifikacija je proces, kjer se organski dušik pretvori v amonijev dušik. Natančno reakcijo lahko najdemo v šesti vrsti matrike v preglednicah 2 in 3.

In na koncu je tukaj še hidroliza neraztopljenega (partikulatnega) materiala. Ta je razdeljena na hidrolizo ujetih organskih snovi in hidrolizo v biokosem ujetega organskega dušika. V ASM1 reakcije hidrolize pretvarjajo počasi (težje) biorazgradljivo snov v lahko (hitro) biorazgradljivo snov. Predvideva se, da je počasi biorazgradljiva snov takoj odstranjena iz suspenzije v biokosme (kosme biomase) v odpadni vodi. V teh biokosmih jo encimske reakcije pretvorijo v lahko (hitro) biorazgradljivo snov.

Procese oksidacije ogljika, nitrifikacije in denitrifikacije ne moremo videti neposredno v preglednicah 2 in 3. Ti procesi so v modelu indirektno, na primer v rasti in odmiranju biomase ali procesu amonifikacije. Ti procesi uporabljajo na primer organski substrat v odpadni vodi za rast biomase v aktivnem blatu. Na ta način se voda očisti, ker je organska snov potrebna za rast biomase s tem odstranjena iz odpadne vode.

ASM1 je podan v matričnem zapisu. Za nudenje vpogleda v model je ta del sklenjen s primerom enačbe iz modela. Če vzamemo heterotrofno biomaso  $X_{B,H}$ . Na biomaso vpliva aerobna rast, anoksična rast in odmiranje. Predvidevamo, da je vtok (vnos) in iztok biomase zaradi pretoka nič. Dinamika koncentracije heterotrofne biomase je sedaj podana z enačbo 3.9 (Henze in sod., 1987).

$$\frac{dX_{B,H}}{dt} = \left( \hat{\mu}_H \frac{S_S}{K_S + S_S} \left[ \frac{S_O}{K_{O,H} + S_O} + \eta_g \frac{K_{O,H}}{K_{O,H} + S_O} \cdot \frac{S_{NO}}{S_{NO} + K_{NO}} \right] - b_H \right) X_{B,H} \quad (3.9)$$

### 3.3.3 Predpostavke in omejitve ASM1

Ker je ASM1 preprost model realne čistilne naprave, obstajajo nekatere omejitve. Sistem obratuje pri konstantni temperaturi in pH-ju, ki je blizu neutralnega. Model je razvit le za komunalno odpadno vodo, industrijske odpadne vode se ne da modelirati z ASM1. Prav tako se predpostavlja, da so vrednosti parametrov v enačbah stopenj in koeficienti za proces nitrifikacije konstantni. Prav tako so v modelu konstantni tudi korekcijski faktorji denitrifikacije ( $\eta_g$  in  $\eta_h$ ).

Poleg tega se predpostavlja, da je heterotrofna biomasa homogena in se ne spreminja v raznolikosti vrst. Predvideva se da je ujetje partikulatnih (netopnih, neraztopljenih) organskih delcev takojšnje (zgodí v trenutku). Prav tako se istočasno v modelu zgodí hidroliza organske snovi in organskega dušika, z enako stopnjo (hitrostjo) reakcije. In kot zadnje se predvideva, da tip akceptorja elektronov ne vpliva na izgubo biomase z odmiranjem.

Pri uporabi ASM1 obstaja tudi nekaj restrikcij. Neto stopnja rasti biomase mora biti v območju, ki omogoča razvoj kosmičaste biomase (biomase v kosmih). Kosmičasta biomasa je rezultat flokulacijskega procesa (procesa kosmičenja). V tem procesu se delci v suspenziji zlepijo skupaj in tvorijo kosem. Torej je kosmičasta biomasa v obliki kosma.

Neaerirani del volumna reaktorja v modelu ne sme presegati 50 procentov, sicer se lahko lastnosti usedanja poslabšajo (Henze in sod., 1987).

### 3.4 Model procesa čiščenja z aktivnim blatom št. 2 (ASM2)

ASM2 je naslednik ASM1. Med tem ko ASM1 modelira kombinirana (združena) procesa za odstranjevanje kemijske potrebe po kisiku (KPK) in dušika (N), ASM2 v model doda še biološki proces za odstranjevanje fosforja (P). Predstavljen je bil leta 1995 s strani projektne (delovne) skupine IAWQ.

Model ostaja orodje (pripomoček) za raziskave, poučevanje, optimizacijo procesov ter odpravljanje težav v obstoječih čistilnih napravah za odpadno vodo in za načrtovanje čistilnih naprav. Model je kompromis med kompleksnostjo in enostavnostjo. Na primer, kinetika in stehiometrija sta izbrani čim bolj preprosto, kot tudi v ASM1. Ena od glavnih razlik med obema modeloma je ta, da ima biomasa sedaj tudi notranjo celično strukturo. To pomeni, da

so lahko nekateri elementi v odpadni vodi shranjeni v celice organizma. V ASM1 se predpostavlja, da to ni možno. To pomeni tudi, da koncentracija ne more biti opisana z  $X_{B,H}$  in  $X_{B,A}$ . Potrebna je dodatna komponenta za shranjevanje (hrambo) snovi v celici. ASM2 je mogoče poenostaviti z odpravo teh komponent, ki nimajo prevladujočega vpliva na kinetiko ali učinkovitost procesa (Henze in sod., 1995).

### 3.4.1 Komponente v ASM2

V tem delu so obravnavane vse komponente ASM2. Tudi tokrat se uporablja oznaka  $S_?$  za topni (raztopljen) element in  $X_?$  pomeni partikulatni (neraztopljeni, netopni) element. Poleg tega se predvideva, da je partikulatni material nevtralen, medtem ko lahko raztopljeni (topni) material nosi ionske naboje. Prav tako se predvideva, da so vse komponente homogene in popolnoma porazdeljene po obravnavanem sistemu. V preglednici 6 lahko najdemo vse komponente ASM2.

Tako kot pri ASM1 je tudi ASM2 sestavljen iz številnih parametrov, ki določajo količino in hitrost rasti in odmiranja biomase. Toda tudi prirast nekaterih komponent in različne deleže in razmerja med komponentami. Celotni seznam skupaj s tipičnimi vrednostmi lahko najdemo v Henze in sod., 1995. V preglednici 7 je podan le kratek povzetek zapisa.

*Preglednica 6: Komponente v ASM2.*

Zapis	Komponenta	Enota
$S_A$	Produkti fermentacije, acetat	$M(KPK)L^{-3}$
$S_{ALK}$	Alkaliteta odpadne vode	$mol(HCO_3^-)L^{-3}$
$S_F$	Fermentabilen lahko biorazgradljivi organski substrat	$M(KPK)L^{-3}$
$S_I$	Inertni topni organski material (snov)	$M(KPK)L^{-3}$
$S_{N_2}$	Dušikov plin, $N_2$	$M(N)L^{-3}$
$S_{NH_4}$	Amonij in amonijev dušik	$M(N)L^{-3}$
$S_{NO_3}$	Nitratni in nitritni dušik	$M(N)L^{-3}$
$S_{O_2}$	Raztopljeni kisik	$M(O_2)L^{-3}$
$S_{PO_4}$	Inorganski topni fosfor, predvsem ortofosfat	$M(P)L^{-3}$
$S_S$	Lahko biorazgradljivi substrat, $S_F + S_A$	$M(KPK)L^{-3}$
$X_{AUT}$	Nitrifikacijski organizmi	$M(KPK)L^{-3}$
$X_H$	Heterotrofni organizmi	$M(KPK)L^{-3}$
$X_I$	Inertni suspendirani (neraztopljeni) material (snov)	$M(KPK)L^{-3}$
$X_{MeOH}$	Kovinski hidroksid, Me = neka kovina (npr.: Fe)	$M(TSS)L^{-3}$
$X_{MeP}$	Kovinski fosfat, $MePO_4$	$M(TSS)L^{-3}$

$X_{PAO}$	Fosfat akumulacijski organizmi (PAO)	$M(KPK)L^{-3}$
$X_{PHA}$	Produkt notranje celične (s)hrambe (shranjevanja) PAO	$M(KPK)L^{-3}$
$X_{PP}$	Polifosfat	$M(P)L^{-3}$
$X_S$	Počasi (težko) biorazgradljivi substrat	$M(KPK)L^{-3}$
$X_{TSS}$	Celotne suspendirane trdne snovi	$M(TSS)L^{-3}$

*Preglednica 7: Zapis različnih parametrov v ASM2. Celotni seznam lahko najdemo v Henze in sod., 1995.*

Zapis	Definicija
$i_x$	Faktor pretvorbe, ki definira vsebnost določene komponente v drugi komponenti v modelu. Npr: $i_{NS_i}$ je vsebnost N v $S_i$ . Koncentracija N v $S_i$ .
$f_x$	Delež materiala (snovi). x označuje katera komponenta je to.
$Y_x$	Koeficient prirasta. Tudi tu indeks x označuje komponento v modelu
$K_x$	Koeficient zasičenja (saturacijski koeficient) za ustrezno komponento
$\eta_x$	Korekcijski faktor za rast
$\mu_x$	Maksimalna stopnja rasti. x je komponenta
$b_x$	Stopenjska konstanta za razpad (stopnja odmiranja). x označuje komponento
$k_x$	Stopenjska konstant
$q_x$	Stopenjska konstanta

ASM2 je predstavljen z uporabo istega zapisa v obliki matrike, kot ASM1. Tako je uporabljen naslednji zapis:

- indeks  $i$ , komponente v modelu, vrsta v matriki
- indeks  $j$ , procesi v modelu, stolpec v matriki
- $v_{ij}$ , stehiometrijski elementi matrike
- $\rho_{ij}$ , enačbe procesnih stopenj.

Spet je stopnja proizvodnje za izraz reakcije v masni bilanci podana z enačbo 3.3. Pripadajoča matrika za ASM2 je prevelika za predstavitev v eni preglednici. Zato je matrika podana v nekaj manjših preglednicah. Obravnavane so v naslednjem delu (podpoglavju). V ASM2 stehiometrija temelji na kontinuitetnih enačbah. Za KPK, električni naboj in dušik se lahko to primerja z ASM1. ASM2 doda kontinuitetne enačbe za fosfor in enačbo pretvorbe merskih enot komponent trdnih snovi v celotne suspendirane trdne snovi (Henze in sod., 1995).



### 3.4.2 Procesi v ASM2

Opis bioloških procesov ASM2 temelji na običajnem obnašanju različnih mikroorganizmov. Kot je navedeno zgoraj ASM2 ni podan v eni veliki matriki, vendar nekaj manjših preglednicah. Te preglednice so lahko združene v eno veliko matriko, ki bi predstavljala kompletni ASM2 model. V preglednici 8 lahko najdemo vse enačbe stopenj ASM2. Vsi procesi so obravnavani posamezno v manjših preglednicah. Vse preglednice skupaj predstavljajo zapis matrike, kot smo to videli pri ASM1.

Preglednica 8: Enačbe stopenj ASM2.

<b>Procesi hidrolize</b>	
1. Aerobna hidroliza :	$K_h \cdot \frac{S_{O_2}}{K_{O_2} + S_{O_2}} \cdot \frac{X_S/X_H}{K_X + X_S/X_H} \cdot X_H$
2. Anoksična hidroliza :	$K_h \cdot \eta_{NO_3} \cdot \frac{K_{O_2}}{K_{O_2} + S_{O_2}} \cdot \frac{S_{NO_3}}{K_{NO_3} + S_{NO_3}} \cdot \frac{X_S/X_H}{K_X + X_S/X_H} \cdot X_H$
3. Anaerobna hidroliza :	$K_h \cdot \eta_{fe} \cdot \frac{K_{O_2}}{K_{O_2} + S_{O_2}} \cdot \frac{K_{NO_3}}{K_{NO_3} + S_{NO_3}} \cdot \frac{X_S/X_H}{K_X + X_S/X_H} \cdot X_H$
<b>Heterotrofni organizmi</b>	
4. Rast z $S_F$ :	$\mu_H \cdot \frac{S_{O_2}}{K_{O_2} + S_{O_2}} \cdot \frac{S_F}{K_F + S_F} \cdot \frac{S_F}{S_F + S_A} \cdot \frac{S_{NH_4}}{K_{NH_4} + S_{NH_4}} \cdot \frac{S_{PO_4}}{K_P + S_{PO_4}} \cdot \frac{S_{ALK}}{K_{ALK} + S_{ALK}} \cdot X_H$
5. Rast z $S_A$ :	$\mu_H \cdot \frac{S_{O_2}}{K_{O_2} + S_{O_2}} \cdot \frac{S_A}{K_A + S_A} \cdot \frac{S_A}{S_F + S_A} \cdot \frac{S_{NH_4}}{K_{NH_4} + S_{NH_4}} \cdot \frac{S_{PO_4}}{K_P + S_{PO_4}} \cdot \frac{S_{ALK}}{K_{ALK} + S_{ALK}} \cdot X_H$
6. Denitrifikacija z $S_F$ :	$\mu_H \cdot \eta_{NO_3} \cdot \frac{K_{O_2}}{K_{O_2} + S_{O_2}} \cdot \frac{S_F}{K_F + S_F} \cdot \frac{S_F}{S_F + S_A} \cdot \frac{S_{NH_4}}{K_{NH_4} + S_{NH_4}} \cdot \frac{S_{NO_3}}{K_{NO_3} + S_{NO_3}} \cdot \frac{S_{PO_4}}{K_P + S_{PO_4}} \cdot \frac{S_{ALK}}{K_{ALK} + S_{ALK}} \cdot X_H$
7. Denitrifikacija z $S_A$ :	$\mu_H \cdot \eta_{NO_3} \cdot \frac{K_{O_2}}{K_{O_2} + S_{O_2}} \cdot \frac{S_A}{K_A + S_A} \cdot \frac{S_A}{S_F + S_A} \cdot \frac{S_{NH_4}}{K_{NH_4} + S_{NH_4}} \cdot \frac{S_{NO_3}}{K_{NO_3} + S_{NO_3}} \cdot \frac{S_{PO_4}}{K_P + S_{PO_4}} \cdot \frac{S_{ALK}}{K_{ALK} + S_{ALK}} \cdot X_H$
8. Fermentacija :	$q_{fe} \cdot \frac{K_{O_2}}{K_{O_2} + S_{O_2}} \cdot \frac{K_{NO_3}}{K_{NO_3} + S_{NO_3}} \cdot \frac{S_F}{K_{fe} + S_F} \cdot \frac{S_{ALK}}{K_{ALK} + S_{ALK}} \cdot X_H$
9. Razpad :	$b_H \cdot X_H$

<b>Fosfor akumulacijski organizmi (PAO): <math>X_{PAO}</math></b>
10. Hramba $X_{PHA}$ : $q_{PHA} \cdot \frac{S_A}{K_A + S_A} \cdot \frac{S_{ALK}}{K_{ALK} + S_{ALK}} \cdot \frac{X_{PP}/X_{PAO}}{K_{PP} + X_{PP}/X_{PAO}} \cdot X_{PAO}$
11. Hramba $X_{PP}$ : $q_{PP} \cdot \frac{S_{O_2}}{K_{O_2} + S_{O_2}} \cdot \frac{S_{PO_4}}{K_{PS} + S_{PO_4}} \cdot \frac{S_{ALK}}{K_{ALK} + S_{ALK}} \cdot \frac{X_{PHA}/X_{PAO}}{K_{PHA} + X_{PHA}/X_{PAO}} \cdot \frac{K_{MAX} - X_{PP}/X_{PAO}}{K_{PP} + K_{MAX} - X_{PP}/X_{PAO}} \cdot X_{PAO}$
12. Aerobna rast na $X_{PHA}$ : $\mu_{PAO} \cdot \frac{S_{O_2}}{K_{O_2} + S_{O_2}} \cdot \frac{S_{NH_4}}{K_{NH_4} + S_{NH_4}} \cdot \frac{S_{PO_4}}{K_P + S_{PO_4}} \cdot \frac{S_{ALK}}{K_{ALK} + S_{ALK}} \cdot \frac{X_{PHA}/X_{PAO}}{K_{PHA} + X_{PHA}/X_{PAO}} \cdot X_{PAO}$
13. Razpad $X_{PAO}$ : $b_{PAO} \cdot \frac{S_{ALK}}{K_{ALK} + S_{ALK}} \cdot X_{PAO}$
14. Razpad $X_{PP}$ : $b_{PP} \cdot \frac{S_{ALK}}{K_{ALK} + S_{ALK}} \cdot X_{PP}$
15. Razpad $X_{PHA}$ : $b_{PHA} \cdot \frac{S_{ALK}}{K_{ALK} + S_{ALK}} \cdot X_{PHA}$
<b>Nitrifikacijski organizmi</b>
16. Rast : $\mu_{AUT} \cdot \frac{S_{O_2}}{K_{O_2} + S_{O_2}} \cdot \frac{S_{NH_4}}{K_{NH_4} + S_{NH_4}} \cdot \frac{S_{PO_4}}{K_P + S_{PO_4}} \cdot \frac{S_{ALK}}{K_{ALK} + S_{ALK}} \cdot X_{AUT}$
17. Razpad : $b_{AUT} \cdot X_{AUT}$
<b>Precipitacija fosforja</b>
18. Precipitacija : $k_{PRE} \cdot S_{PO_4} \cdot X_{MeOH}$
19. Ponovna raztopitev : $k_{RED} \cdot \frac{S_{ALK}}{K_{ALK} + S_{ALK}} \cdot X_{MeP}$

Najprej upoštevajmo procese hidrolize, encimske reakcije celice. Obstajajo trije tipi procesov. Najprej je tu aerobna hidroliza počasi (težko) biorazgradljivega substrata, ki karakterizira hidrolizo pod aerobnimi pogoji (značilna za hidrolizo v aerobnih razmerah), tako da je  $S_{O_2} > 0$ . Nato je tu še anoksična hidroliza, kjer veljajo anoksični pogoji  $S_{O_2} \approx 0$  in  $S_{NO_3} > 0$ . Kot zadnja je tu še anaerobna hidroliza. To je hidroliza počasi (težko) biorazgradljivega substrata pod pogoji, da je  $S_{O_2} \approx 0$  in  $S_{NO_3} \approx 0$ . Anaerobno pomeni, da v okolju ni prisotnega kisika. Pomeni pa tudi, da v tem procesu ni (u)porabljenega nič kisika. Hitrost procesa je verjetno počasnejša kot aerobna hidroliza. V preglednici 9 lahko najdemo te procese skupaj s stehiometrijskimi parametri.

*Preglednica 9: Stehiometrijski koeficienti procesov hidrolize.*

j	Proces	S <sub>F</sub>	S <sub>NH<sub>4</sub></sub>	S <sub>PO<sub>4</sub></sub>	S <sub>I</sub>	S <sub>ALK</sub>	X <sub>S</sub>	X <sub>TSS</sub>
1	Aerobna hidroliza	1-f <sub>SI</sub>	v <sub>1,NH<sub>4</sub></sub>	v <sub>1,PO<sub>4</sub></sub>	f <sub>SI</sub>	v <sub>1,ALK</sub>	-1	v <sub>1,TSS</sub>
2	Anoksična hidroliza	1-f <sub>SI</sub>	v <sub>2,NH<sub>4</sub></sub>	v <sub>2,PO<sub>4</sub></sub>	f <sub>SI</sub>	v <sub>2,ALK</sub>	-1	v <sub>2,TSS</sub>
3	Anaerobna hidroliza	1-f <sub>SI</sub>	v <sub>3,NH<sub>4</sub></sub>	v <sub>3,PO<sub>4</sub></sub>	f <sub>SI</sub>	v <sub>3,ALK</sub>	-1	v <sub>3,TSS</sub>

Kot naslednji so obravnavani procesi heterotrofnih organizmov. Procese vključno z njihovimi stehiometrijskimi koeficienti lahko najdemo v preglednici 10. Ponovno lahko ustrezne enačbe stopenj najdemo v preglednici 8. Vsebujejo aerobno rast heterotrofnih organizmov in anoksično rast organizmov (denitrifikacija). V ASM2 so tudi fermentacija in razpad heterotrofnih organizmov. Fermentacija je proces proizvodnje (produkcije) energije v celici pod anaerobnimi pogoji, torej brez kisika. Energija se sprošča pri oksidaciji organskega materiala z uporabo celičnega notranjega akceptorja elektronov.

*Preglednica 10: Stehiometrijski koeficienti rasti in odmiranja heterotrofnih organizmov. Y<sub>H</sub> je fiksni (določen) koeficient doprinosa (donosa).*

j	Proces	S <sub>O<sub>2</sub></sub>	S <sub>F</sub>	S <sub>A</sub>	S <sub>NO<sub>3</sub></sub>	S <sub>N<sub>2</sub></sub>	X <sub>I</sub>	X <sub>S</sub>	X <sub>H</sub>
4	Aerobna rast na S <sub>F</sub>	$1 - \frac{1}{Y_H}$	$-\frac{1}{Y_H}$						1
5	Aerobna rast na S <sub>A</sub>	$1 - \frac{1}{Y_H}$		$-\frac{1}{Y_H}$					1
6	Anoksična rast na S <sub>F</sub>		$-\frac{1}{Y_H}$		$-\frac{1 - Y_H}{2.86Y_H}$	$\frac{1 - Y_H}{2.86Y_H}$			1
7	Anoksična rast S <sub>A</sub>			$-\frac{1}{Y_H}$	$-\frac{1 - Y_H}{2.86Y_H}$	$\frac{1 - Y_H}{2.86Y_H}$			1
8	Fermentacija		-1	1					
9	Razpad, razkroj						f <sub>XI</sub>	1-f <sub>XI</sub>	-1

Novo v modelu procesa čiščenja z aktivnim blatom je obravnavanje odstranjevanja fosforja. Eden od vključenih procesov je shranjevanje fosfor akumulacijskih organizmov in polifosfata. Drugi procesi so aerobna rast in razpad fosfor akumulacijskih organizmov, razpad polifosfata in notranja celična hramba produktov PAO. Stehiometrijske koeficiente za te procese lahko najdemo v preglednici 11, med tem ko so enačbe stopenj zopet v preglednici 8.

*Preglednica 11: Stehiometrijski koeficienti procesov fosfor akumulacijskih organizmov.*

j	Proces	S <sub>O2</sub>	S <sub>A</sub>	S <sub>PO4</sub>	X <sub>I</sub>	X <sub>S</sub>	X <sub>PAO</sub>	X <sub>PP</sub>	X <sub>PHA</sub>
10	Hramba X <sub>PHA</sub>		-1	Y <sub>PO4</sub>				-Y <sub>PO4</sub>	1
11	Hramba X <sub>PP</sub>	-Y <sub>PHA</sub>		-1				1	-Y <sub>PHA</sub>
12	Aerobna rast X <sub>PAO</sub>	$1 - \frac{1}{Y_H}$		-i <sub>P,BM</sub>			1		$-\frac{1}{Y_H}$
13	Razkroj, razpad X <sub>PAO</sub>			v <sub>13,PO4</sub>	f <sub>XI</sub>	1-f <sub>XI</sub>	-1		
14	Razkroj, razpad X <sub>PP</sub>			1				-1	
15	Razkroj, razpad X <sub>PHA</sub>		1						-1

Naslednji proces v ASM2 je aerobna rast nitrifikacijskih organizmov. Stehiometrijo lahko skupaj z razkrojem (razpadom) nitrifikacijskih organizmov najdemo v preglednici 12.

*Preglednica 12: Stehiometrijski koeficienti procesov nitrifikacije.*

j	Proces	S <sub>O2</sub>	S <sub>NH4</sub>	S <sub>NO3</sub>	S <sub>PO4</sub>	X <sub>I</sub>	X <sub>S</sub>	X <sub>AUT</sub>
16	Aerobna rast X <sub>AUT</sub>	$-\frac{4.57 - Y_A}{Y_A}$	$-i_{N,BM} - \frac{1}{Y_A}$	$\frac{1}{Y_A}$	-i <sub>P,BM</sub>			1
17	Razkroj (razpad)		v <sub>17,NH4</sub>		v <sub>17,PO4</sub>	f <sub>XI</sub>	1 - f <sub>XI</sub>	-1

Zadnja dva procesa v modelu sta kemijska precipitacija (obarjanje) in ponovna raztopitev fosfata. Ponovno lahko stehiometrijo najdemo v preglednici 13 in enačbe stopenj v preglednici 8. Kemijska precipitacija je proces, kjer se v raztopini tvori trdna snov. Ta tvorba je lahko posledica kemijske reakcije ali difuzije. V ASM2 se predvideva, da je ponovno raztopitev obraten proces, kot precipitacija. V situaciji stacionarnih pogojev bi to vodilo v ravnovesje (Henze in sod., 1995).

*Preglednica 13: Stehiometrijski koeficienti procesov, ki opisujejo simultano precipitacijo in ponovno raztapljanje fosforja. Vrednosti v preglednici temeljijo na predpostavki, da je kovina Me železo (Fe).*

j	Proces	S <sub>PO4</sub>	S <sub>ALK</sub>	X <sub>MeOH</sub>	X <sub>MeP</sub>	X <sub>TSS</sub>
18	Precipitacija (obarjanje)	-1	v <sub>19,ALK</sub>	-3.45	4.87	1.42
19	Ponovna raztopitev	1	v <sub>20,ALK</sub>	3.45	-4.87	-1.42

### 3.4.3 Predpostavke in omejitve ASM2

ASM2 temelji na enakih predpostavkah in omejitvah kot ASM1. To je zaradi dejstva da ASM2 temelji na ASM1. Določeni procesi so bolj ali manj enaki v obeh modelih. To tudi pomeni, da se za veliko vrednosti v ASM2, kot so temperatura, pH in koeficienti v enačbah stopenj predvideva, da so konstantne, kot tudi v ASM1. Vendar pa obstajajo tudi nekatere razširjene predpostavke. Predpostavlja se, da sta heterotrofna in fosfor akumulacijska biomasa homogeni. Biomasa se s časom ne spreminja. Domneva se tudi, da je hidroliza organske snovi, organskega dušika in organskega fosforja združena in se odvija simultano.

Poleg zgoraj omenjenih predpostavk obstajajo nekatere nove predpostavke v ASM2 glede fosfat akumulacijskih organizmov. Predpostavlja se da so produkti fermentacije edini organski substrat, ki ga lahko privzamejo PAO (fosfor akumulacijski organizmi). Prav tako lahko PAO rastejo aerobno le z skladiščenimi (shranjenimi) PHA (Poli-Hidroksi-Alkanoati), ki predstavljajo vso ogljikovo shranjeno (skladiščeno) snov v PAO celicah. Poleg tega se domneva, da PAO nimajo nobenih denitrifikacijskih sposobnosti. Model ne vsebuje ločene biomase za delež heterotrofov, ki shranjujejo PHA. In kot zadnje, se predpostavlja, da heterotrofi rastejo aerobno, denitrificirajo anoksično in fermentirajo anaerobno.

ASM2 ima nekatere omejitve zaradi strukture modela. Lahko se obravnava le z nizkimi koncentracijami fosfata in amonijaka. Za deleže organskega substrata se predpostavlja, da so homogeni in njihova narava se naj ne bi spreminjala. Omejitve kovinskega kalija in magnezija se ne obravnavajo pri biološkem odstranjevanju fosforja. Kot tudi vpliv  $\text{NO}_2^-$  in NO na proces odstranjevanja.

Kot ASM1 je tudi ASM2 primeren le za gospodinjsko (komunalno) odpadno vodo. Vrednost pH naj bi bila blizu nevtralnega, tako da so vrednosti med 6,3 in 7,8. Temperatura mora biti omejena na 10-25°C. To lahko razumemo kot nasprotje predpostavki, da morata biti temperatura in pH konstantna. Uporaba modela zahteva konstantne vrednosti za oba vendar so za različno temperaturo in pH vsi parametri nekoliko različni. Model velja le za konstantne vrednosti izbrane znotraj omenjenih območij temperature in pH (Henze in sod., 1995).

### **3.5 Model procesa čiščenja z aktivnim blatom št. 2d (ASM2d)**

Tretji model predstavljena s strani projektne (delovne) skupine IAWQ je model procesa čiščenja z aktivnim blatom št. 2d. Model je manjša razširitev ASM2 in vključuje dva dodatna procesa modeliranja fosfat akumulacijskih organizmov (PAO), ki uporabljajo notranje shranjene organske snovi za denitrifikacijo. Vse opombe in omejitve ASM2 veljajo tudi za ASM2d (Henze in sod., 1999).

#### **3.5.1 Komponente v ASM2d**

Komponente v ASM2d so enake kot v ASM2. Vse te komponente lahko najdemo v preglednici 6. V modelu so prav tako enaki tudi parametri. Raztopljena snov lahko nosi ionske naboje. Predpostavlja se da je partikulatna (neraztopljena) snov povezana z aktivnim blatom (flokuliranim) in mora biti električno nevtralna. Poleg tega se predpostavlja da so vse komponente homogene in porazdeljene po celotnem obravnavanem sistemu.

Kot pri ASM1 in ASM2 je projektna skupina predstavila ASM2d z uporabo prej razloženega zapisa v obliki matrike. Enak zapis je uporabljen tudi tukaj. Enačbe za ohranjanje (ohranitvene enačbe) so v modelu matematično ekvivalentne načelom kemijskih reakcij, kemijskim elementom in elektronom (Henze in sod., 1999).

#### **3.5.2 Procesi v ASM2d**

Kot je že omenjeno je ASM2d manjša razširitev ASM2. Večina procesov je predstavljenih v ASM2 in so enaki kot v ASM2d. Mikroorganizmi v sistemu aktivnega blata imajo kompleksno (zapleteno) notranjo celično strukturo. Prav tako se s prilagoditvijo te notranje strukture, odzivajo na različne okoljske razmere (pogoje). ASM2d je model kjer vsak biološki proces predstavlja veliko število pod-procesov, ki delujejo (učinkujejo) na različne snovi (substance) v odpadni vodi.

Eni od teh bioloških procesov so procesi hidrolize. V ASM2d so ti popolnoma enaki kot v ASM2. Stehiometrijske koeficiente lahko najdemo v preglednici 15. Prav tako so enake tudi

enačbe stopenj. Izvedene so s hiperbolnimi preklopnimi funkcijami. Enačbe stopenj za ASM2d lahko najdemo v preglednici 14.

Preglednica 14: Enačbe stopenj ASM2d.

<b>Procesi hidrolize</b>	
1. Aerobna hidroliza :	$K_h \cdot \frac{S_{O_2}}{K_{O_2} + S_{O_2}} \cdot \frac{X_S/X_H}{K_X + X_S/X_H} \cdot X_H$
2. Anoksična hidroliza :	$K_h \cdot \eta_{NO_3} \cdot \frac{K_{O_2}}{K_{O_2} + S_{O_2}} \cdot \frac{S_{NO_3}}{K_{NO_3} + S_{NO_3}} \cdot \frac{X_S/X_H}{K_X + X_S/X_H} \cdot X_H$
3. Anaerobna hidroliza :	$K_h \cdot \eta_{fe} \cdot \frac{K_{O_2}}{K_{O_2} + S_{O_2}} \cdot \frac{K_{NO_3}}{K_{NO_3} + S_{NO_3}} \cdot \frac{X_S/X_H}{K_X + X_S/X_H} \cdot X_H$
<b>Heterotrofni organizmi</b>	
4. Rast z S <sub>F</sub> :	$\mu_H \cdot \frac{S_{O_2}}{K_{O_2} + S_{O_2}} \cdot \frac{S_F}{K_F + S_F} \cdot \frac{S_F}{S_F + S_A} \cdot \frac{S_{NH_4}}{K_{NH_4} + S_{NH_4}} \cdot \frac{S_{PO_4}}{K_P + S_{PO_4}} \cdot \frac{S_{ALK}}{K_{ALK} + S_{ALK}} \cdot X_H$
5. Rast z S <sub>A</sub> :	$\mu_H \cdot \frac{S_{O_2}}{K_{O_2} + S_{O_2}} \cdot \frac{S_A}{K_A + S_A} \cdot \frac{S_A}{S_F + S_A} \cdot \frac{S_{NH_4}}{K_{NH_4} + S_{NH_4}} \cdot \frac{S_{PO_4}}{K_P + S_{PO_4}} \cdot \frac{S_{ALK}}{K_{ALK} + S_{ALK}} \cdot X_H$
6. Denitrifikacija z S <sub>F</sub> :	$\mu_H \cdot \eta_{NO_3} \cdot \frac{K_{O_2}}{K_{O_2} + S_{O_2}} \cdot \frac{S_F}{K_F + S_F} \cdot \frac{S_F}{S_F + S_A} \cdot \frac{S_{NH_4}}{K_{NH_4} + S_{NH_4}} \cdot \frac{S_{NO_3}}{K_{NO_3} + S_{NO_3}} \cdot \frac{S_{PO_4}}{K_P + S_{PO_4}} \cdot \frac{S_{ALK}}{K_{ALK} + S_{ALK}} \cdot X_H$
7. Denitrifikacija z S <sub>A</sub> :	$\mu_H \cdot \eta_{NO_3} \cdot \frac{K_{O_2}}{K_{O_2} + S_{O_2}} \cdot \frac{S_A}{K_A + S_A} \cdot \frac{S_A}{S_F + S_A} \cdot \frac{S_{NH_4}}{K_{NH_4} + S_{NH_4}} \cdot \frac{S_{NO_3}}{K_{NO_3} + S_{NO_3}} \cdot \frac{S_{PO_4}}{K_P + S_{PO_4}} \cdot \frac{S_{ALK}}{K_{ALK} + S_{ALK}} \cdot X_H$
8. Fermentacija :	$q_{fe} \cdot \frac{K_{O_2}}{K_{O_2} + S_{O_2}} \cdot \frac{K_{NO_3}}{K_{NO_3} + S_{NO_3}} \cdot \frac{S_F}{K_{fe} + S_F} \cdot \frac{S_{ALK}}{K_{ALK} + S_{ALK}} \cdot X_H$
9. Razpad :	$b_H \cdot X_H$
<b>Fosfor akumulacijski organizmi (PAO): X<sub>PAO</sub></b>	
10. Hramba X <sub>PHA</sub> :	$q_{PHA} \cdot \frac{S_A}{K_A + S_A} \cdot \frac{S_{ALK}}{K_{ALK} + S_{ALK}} \cdot \frac{X_{PP}/X_{PAO}}{K_{PP} + X_{PP}/X_{PAO}} \cdot X_{PAO}$
11. Aerobna hramba X <sub>PP</sub> :	$q_{PP} \cdot \frac{S_{O_2}}{K_{O_2} + S_{O_2}} \cdot \frac{S_{PO_4}}{K_{PS} + S_{PO_4}} \cdot \frac{S_{ALK}}{K_{ALK} + S_{ALK}} \cdot \frac{X_{PHA}/X_{PAO}}{K_{PHA} + X_{PHA}/X_{PAO}} \cdot \frac{K_{MAX} - X_{PP}/X_{PAO}}{K_{PP} + K_{MAX} - X_{PP}/X_{PAO}} \cdot X_{PAO}$

12. Anoksična hramba $X_{PP}$ : $\rho_{12} = \rho_{11} \cdot \eta_{NO_3} \cdot \frac{K_{O_2}}{S_{O_2}} \cdot \frac{S_{NO_3}}{K_{NO_3} + S_{NO_3}}$
13. Aerobna rast na $X_{PHA}$ : $\mu_{PAO} \cdot \frac{S_{O_2}}{K_{O_2} + S_{O_2}} \cdot \frac{S_{NH_4}}{K_{NH_4} + S_{NH_4}} \cdot \frac{S_{PO_4}}{K_P + S_{PO_4}} \cdot \frac{S_{ALK}}{K_{ALK} + S_{ALK}} \cdot \frac{X_{PHA}/X_{PAO}}{K_{PHA} + X_{PHA}/X_{PAO}} \cdot X_{PAO}$
14. Anoksična rast z $X_{PHA}$ : $\rho_{14} = \rho_{13} \cdot \eta_{NO_3} \cdot \frac{K_{O_2}}{S_{O_2}} \cdot \frac{S_{NO_3}}{K_{NO_3} + S_{NO_3}}$
15. Razpad $X_{PAO}$ : $b_{PAO} \cdot \frac{S_{ALK}}{K_{ALK} + S_{ALK}} \cdot X_{PAO}$
16. Razpad $X_{PP}$ : $b_{PP} \cdot \frac{S_{ALK}}{K_{ALK} + S_{ALK}} \cdot X_{PP}$
17. Razpad $X_{PHA}$ : $b_{PHA} \cdot \frac{S_{ALK}}{K_{ALK} + S_{ALK}} \cdot X_{PHA}$
<b>Nitrifikacijski organizmi</b>
18. Rast : $\mu_{AUT} \cdot \frac{S_{O_2}}{K_{O_2} + S_{O_2}} \cdot \frac{S_{NH_4}}{K_{NH_4} + S_{NH_4}} \cdot \frac{S_{PO_4}}{K_P + S_{PO_4}} \cdot \frac{S_{ALK}}{K_{ALK} + S_{ALK}} \cdot X_{AUT}$
19. Razpad : $b_{AUT} \cdot X_{AUT}$
<b>Precipitacija fosforja</b>
20. Precipitacija : $k_{PRE} \cdot S_{PO_4} \cdot X_{MeOH}$
21. Ponovna raztopitev : $k_{RED} \cdot \frac{S_{ALK}}{K_{ALK} + S_{ALK}} \cdot X_{MeP}$

Procesi heterotrofnih organizmov so skoraj enaki v ASM2d v primerjavi z ASM2. V stehiometrijskih koeficientih je dodaten znak minus za anoksično rast (glej preglednico 16).

*Preglednica 15: Stehiometrijski koeficienti procesov hidrolize.*

j	Proces	$S_F$	$S_{NH_4}$	$S_{PO_4}$	$S_I$	$S_{ALK}$	$X_S$	$X_{TSS}$
1	Aerobna hidroliza	$1-f_{SI}$	$v_{1,NH_4}$	$v_{1,PO_4}$	$f_{SI}$	$v_{1,ALK}$	-1	$v_{1,TSS}$
2	Anoksična hidroliza	$1-f_{SI}$	$v_{2,NH_4}$	$v_{2,PO_4}$	$f_{SI}$	$v_{2,ALK}$	-1	$v_{2,TSS}$
3	Anaerobna hidroliza	$1-f_{SI}$	$v_{3,NH_4}$	$v_{3,PO_4}$	$f_{SI}$	$v_{3,ALK}$	-1	$v_{3,TSS}$





V ASM2d se za nitrifikacijske procese predpostavlja, da je proces enostopenjski. Tako se v modelu  $S_{NH_4}$  takoj pretvori v  $S_{NO_3}$ . Nitrit med to pretvorbo v modelu ni na voljo. Spet lahko stehiometrijske koeficiente najdemo v preglednici 18 in enačbe stopenj so v preglednici 14.

*Preglednica 18: Stehiometrijski koeficienti procesov nitrifikacije.*

j	Proces	$S_{O_2}$	$S_{NH_4}$	$S_{NO_3}$	$S_{PO_4}$	$X_I$	$X_S$	$X_{AUT}$
18	Aerobna rast $X_{AUT}$	$-\frac{4.57 - Y_A}{Y_A}$	$v_{18, NH_4}$	$\frac{1}{Y_A}$	$-i_{P, BM}$			1
19	Razkroj, razpad(Lysis)		$v_{19, NH_4}$		$v_{19, PO_4}$	$f_{XI}$	$1 - f_{XI}$	-1

Tako kot v ASM2 sta zadnja dva procesa v ASM2d kemijska precipitacija in ponovno raztapljanje. Zopet se predpostavlja da se ti procesi odvijajo simultano. Stehiometrijo lahko najdemo v preglednici 19. Predpostavlja se da je kovina v teh procesih železo (Henze in sod., 1999).

*Preglednica 19: Stehiometrijski koeficienti procesov, ki opisujejo simultano precipitacijo (obarjanje) in ponovno raztapljanje fosforja. Vrednosti v tej preglednici temeljijo na predpostavki, da je kovina Me železo (Fe).*

j	Proces	$S_{PO_4}$	$S_{ALK}$	$X_{MeOH}$	$X_{MeP}$	$X_{TSS}$
20	Precipitacija (obarjanje)	-1	$v_{20, ALK}$	-3.45	4.87	1.42
21	Ponovna raztopitev	1	$v_{21, ALK}$	3.45	-4.87	-1.42

### 3.5.3 Predpostavke in omejitve ASM2d

Predpostavke in omejitve ASM2d so enakovredne tistim od ASM2. Tako je model veljaven le za komunalno odpadno vodo. Procese s presežkom (obiljem) acetata ( $S_A$ ), v aeracijskih bazenih komunalne čistilne naprave, se ne da modelirati. Poleg tega se predpostavlja da je v odpadni vodi dovolj magnezija in kalija. Tudi v ASM2d naj bi bil pH skoraj nevtralen. Temperatura mora biti v območju od 10 do 25 stopinj celzija.

ASM2d naj bi bil uporabljen kot podlaga (osnova) za modeliranje simultane biološkega privzema fosforja, nitrifikacije in denitrifikacije. V primerjavi z ASM2 daje ta model bolj točnejše rezultate pri modeliranju dinamik nitrata in fosfata (Henze in sod 1999).

### 3.6 Model procesa čiščenja z aktivnim blatom št. 3 (ASM3)

Ko je bil leta 1987 predstavljen model procesa čiščenja z aktivnim blatom št. 1, je postal pomembna referenca za veliko znanstvenih in praktičnih projektov. Danes so matematični modeli povezani z ASM1 vključeni v različnih računalniških kodah za simulacijo obnašanja sistemov z aktivnim blatom, ki obdelujejo komunalno odpadno vodo predvsem gospodinjskega izvora. Vendar pa obstajajo nekatere pomankljivosti v modelu. Da bi popravili nekatere od teh napak, je bil v letu 1999 s strani projektne skupine IAWQ predstavljen model procesa čiščenja z aktivnim blatom št. 3. Spodaj je seznam nekaterih pomankljivosti ASM1, ki so odpravljene v ASM3.

- ASM1 ne vključuje kinetičnih izrazov, ki se ukvarjajo z omejitvami dušika in alkalitete heterotrofnih organizmov.
- V ASM1 so uporabljene komponente biorazgradljivi raztopljeni (topni) in partikulatni (neraztopljeni, netopni) organski dušik. Te so precej težko izmerljive na čistilnih napravah.
- Kinetika amonifikacije ne more biti izmerjena (kvantificirana). To pomeni da ASM1 ne vsebuje natančnih enačb za proces amonifikacije.
- ASM1 deli inertne partikulatne (netopne, neraztopljene) organske snovi glede na njihov izvor. To v resnici ni možno.
- Dodelitev (določitev) vrednosti parametrov v modelu je težko. Prav tako je težko določanje kinetičnih parametrov.
- ASM1 ne vsebuje procesov za hrambo (shranjevanje) PHA (poli-hidroksi-alkanoatov) v aerobnih in anoksičnih pogojih.

ASM3 modelira porabo kisika, proizvodnjo blata, nitrifikacijo in denitrifikacijo za čistilne naprave za odpadno vodo (Gujer in sod., 1999).

#### 3.6.1 Komponente v ASM3

Tudi tukaj si najprej oglejmo komponente v modelu. Vse komponente lahko najdemo v preglednici 20. Pomembna razlika, v primerjavi z ASM1 in ASM2 je ta da so lahko v ASM3 raztopljene in partikulatne (netopne, neraztopljene) snovi bolje ločene z 0,45 mikrometrskimi

filtri. Raztopljeni elementi lahko nosijo ionske naboje, medtem ko so v modelu partikulatni (netopni, neraztopljeni) elementi nevtralni. Novo v ASM3 je komponenta za notranje shranjene produkte (Gujer in sod., 1999).

*Preglednica 20: Komponente v ASM3.*

Zapis	Komponenta	Enota
S <sub>O</sub>	Raztopljeni kisik, O <sub>2</sub>	M(O <sub>2</sub> )L <sup>-3</sup>
S <sub>I</sub>	Inertna topna organska snov (material)	M(KPK)L <sup>-3</sup>
S <sub>S</sub>	Hitro biorazgradljivi organski substrati (snov/material)	M(KPK)L <sup>-3</sup>
S <sub>NH</sub>	Amonijak in amonijev dušik	M(N)L <sup>-3</sup>
S <sub>N2</sub>	Dušik, N <sub>2</sub>	M(N)L <sup>-3</sup>
S <sub>NO</sub>	Nitratni in nitritni dušik	M(N)L <sup>-3</sup>
S <sub>ALK</sub>	Alkaliteta odpadne vode	mol(HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )L <sup>-3</sup>
X <sub>I</sub>	Inertni partikulatni organski material (snov)	M(KPK)L <sup>-3</sup>
X <sub>S</sub>	Počasi biorazgradljivi substrat (snov/material)	M(KPK)L <sup>-3</sup>
X <sub>H</sub>	Heterotrofni organizmi	M(KPK)L <sup>-3</sup>
X <sub>STO</sub>	Hranjeni material (snov) v heterotrofnih mikroorganizmih	M(KPK)L <sup>-3</sup>
X <sub>A</sub>	Nitrifikacijski organizmi	M(KPK)L <sup>-3</sup>
X <sub>TS</sub>	Celotne suspendirane trdne snovi	M(TSS)L <sup>-3</sup>

### 3.6.2 Procesi v ASM3

V ASM3 so vključeni samo procesi mikrobiološke transformacije (pretvorbe). V modelu se ne pojavljajo kemijski procesi. V ASM2 je vključen kemijski proces pri odstranjevanju fosforja. Procesi z njihovimi stehiometrijskimi in enačbami stopenj lahko najdemo v preglednicah 21, 22 in 23. Proces hidrolize je nekoliko drugačen v primerjavi z ASM1 in je manj prevladujoč. ASM3 vsebuje procese za aerobno in anoksično hrambo lahko (hitro) biorazgradljivega substrata, kar ni bilo na voljo v ASM1.

Preglednica 21: Stehiometrijska matrika  $\omega_{j,i}$ . Več informacij lahko najdemo v Gujer in sod., 1999.

Komponenta $i \rightarrow$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
$j$ Proces $\downarrow$	$S_O$	$S_I$	$S_S$	$S_{NH}$	$S_{N2}$	$S_{NO}$	$S_{HCO}$	$X_I$	$X_S$	$X_H$	$X_{STO}$	$X_A$	$X_{TS}$
1. Hidroliza		$f_{SI}$	$x_I$	$y_I$			$z_I$		$-I$				$-i_{XS}$
<b>Heterotrofni mikroorganizmi, aerobna in denitrifikacijska aktivnost</b>													
2. Aerobna hramba $S_S$ (KPK)	$x_2$		$-I$	$y_2$			$z_2$				$Y_{STO,O_2}$		$t_2$
3. Anoksična hramba $S_S$ (KPK)			$-I$	$y_3$	$-x_3$	$x_3$	$z_3$				$Y_{STO,NO}$		$t_3$
4. Aerobna rast ( $X_H$ )	$x_4$			$y_4$			$z_4$			$I$	$-I/Y_{H,O_2}$		$t_4$
5. Anoksična rast (denitrif.)				$y_5$	$-x_5$	$x_5$	$z_5$			$I$	$-I/Y_{H,NO}$		$t_5$
6. Aerobna endogena respiracija	$x_6$			$y_6$			$z_6$	$f_{XI}$		$-I$			$t_6$
7. Anoksična endogena respiracija				$y_7$	$-x_7$	$x_7$	$z_7$	$f_{XI}$		$-I$			$t_7$
8. Aerobna respiracija $X_{STO}$	$x_8$										$I$		$t_8$
9. Anoksična respiracija $X_{STO}$					$-x_9$	$x_9$	$z_9$				$I$		$t_9$
<b>Avtotrofni mikroorganizmi, nitrifikacijska aktivnost</b>													
10. Aerobna rast	$x_{10}$			$y_{10}$		$I/Y_A$	$z_{10}$					$I$	$t_{10}$
11. Aerobna endogena respiracija	$x_{11}$			$y_{11}$			$z_{11}$					$-I$	$t_{11}$
12. Anoksična endogena respiracija				$y_{12}$	$-x_{12}$	$x_{12}$	$z_{12}$					$-I$	$t_{12}$

Preglednica 22: Kompozicijska matrika  $l_{k,i}$ . Tukaj so KPK, dušik in ionski naboj konservativke in TSS je opazovanka. Matrika je uporabljena skupaj s stehiometrijsko matriko ASM3 v preglednici 21.

k ↓ i →	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1. KPK (ThOD)	-1	1	1		-1.71	-4,57		1	1	1	1	1
2. Dušik		$i_{N,Sf}$	$i_{N,SS}$	1	1	1		$i_{N,Xf}$	$i_{N,XS}$	$i_{N,BM}$		$i_{N,BM}$
3. Ionski naboj				1/14		-1/14	-1					
4. TSS								$i_{TS,Xf}$	$i_{TS,XS}$	$i_{TS,BM}$	0.60	$i_{TS,BM}$

ThOD pomeni teoretično potrebo po kisiku (enota mgO<sub>2</sub>/L), ki je v mnogih primerih (organske spojine) enaka standardni KPK (kemijska potreba po kisiku) analizi. V resnici za komunalno odpadno vodo KPK pokriva le 95 % vrednosti ThOD, čeprav model ASM1 in ASM3 opisuje, da je 1g KPK = 1g ThOD. Primeri ThOD:

za SO<sub>2</sub> → - 1 g ThOD/gO<sub>2</sub>

za SNO → - 4.57 g ThOD/g N-NO<sub>3</sub>

za SN<sub>2</sub> → - 1.71 g ThOD/g N<sub>2</sub>

Preglednica 23: Enačbe stopenj v ASM3. Podroben opis in primeri vrednosti parametrov lahko najdemo v članku Gujer in sod., 1999.

Proces j	Enačbe stopenj $\rho_j$ , vsi $\rho_j \geq 0$
1. Hidroliza :	$K_X \cdot \frac{X_S/X_H}{K_H + X_S/X_H} \cdot X_H$
<b>Heterotrofni organizmi, denitrifikacija</b>	
2. Aerobna hramba KPK :	$k_{STO} \cdot \frac{S_O}{K_O + S_O} \cdot \frac{S_S}{K_S + S_S} \cdot X_H$
3. Anoksična hramba KPK :	$k_{STO} \cdot \eta_{NO} \cdot \frac{K_O}{K_O + S_O} \cdot \frac{S_{NO}}{K_{NO} + S_{NO}} \cdot \frac{S_S}{K_S + S_S} \cdot X_H$

4. Aerobna rast :	$\mu_H \cdot \frac{S_O}{K_O + S_O} \cdot \frac{S_{NH}}{K_{NH} + S_{NH}} \cdot \frac{S_{HCO}}{K_{HCO} + S_{HCO}} \cdot \frac{X_{STO}/X_H}{K_{STO} + X_{STO}/X_H} \cdot X_H$
5. Anoksična rast :	$\mu_H \cdot \eta_{NO} \cdot \frac{K_O}{K_O + S_O} \cdot \frac{S_{NO}}{K_{NO} + S_{NO}} \cdot \frac{S_{NH}}{K_{NH} + S_{NH}} \cdot \frac{S_{HCO}}{K_{HCO} + S_{HCO}} \cdot \frac{X_{STO}/X_H}{K_{STO} + X_{STO}/X_H} \cdot X_H$
6. Aerobna respiracija :	$b_{H,O_2} \cdot \frac{S_O}{K_O + S_O} \cdot X_H$
7. Anoksična respiracija :	$b_{H,NO} \cdot \frac{K_O}{K_O + S_O} \cdot \frac{S_{NO}}{K_{NO} + S_{NO}} \cdot X_H$
8. Aerobna respiracija $X_{STO}$ :	$b_{STO,O_2} \cdot \frac{S_O}{K_O + S_O} \cdot X_{STO} \quad z \quad b_{STO,O_2} \geq b_{H,O_2}$
9. Anoksična respiracija $X_{STO}$ :	$b_{STO,NO} \cdot \frac{K_O}{K_O + S_O} \cdot \frac{S_{NO}}{K_{NO} + S_{NO}} \cdot X_{STO} \quad z \quad b_{STO,NO} \geq b_{H,NO}$
<b>Avtotrofni organizmi, nitrifikacija</b>	
10. Nitrifikacija :	$\mu_A \cdot \frac{S_O}{K_{A,O} + S_O} \cdot \frac{S_{NH}}{K_{A,NH} + S_{NH}} \cdot \frac{S_{HCO}}{K_{A,HCO} + S_{HCO}} \cdot X_A$
11. Aerobna respiracija :	$b_{A,O_2} \cdot \frac{S_O}{K_O + S_O} \cdot X_A$
12. Anoksična respiracija :	$b_{A,NO} \cdot \frac{K_O}{K_O + S_O} \cdot \frac{S_{NO}}{K_{NO} + S_{NO}} \cdot X_A$

Drugi procesi v ASM3 so aerobna in anoksična rast heterotrofov. Druga velika razlika v primerjavi z ASM1 sta aerobna in anoksična endogena respiracija. Ti procesi opisujejo vse oblike izgube biomase in zahteve po energiji (energetske zahteve), ki niso povezane z rastjo. V ASM1 je bil proces odmiranja povezan s procesom rasti. Ena opomba je ta, da je anoksična endogena respiracija na splošno počasnejša od aerobne endogene respiracije. Zadnja dva procesa v ASM3 sta aerobna in anoksična respiracija shranjenih (skladiščenih) produktov, ki sta analogna endogeni respiraciji.

ASM3 vsebuje bolj podroben opis celičnih notranjih procesov, kot je shranjevanje (hramba) snovi. Prav tako deluje bolje, če pogledamo na prilagoditev procesov odmiranja pod različnimi okoljskimi pogoji.

Kot je bilo rečeno prej, je ASM3 podan v treh preglednicah. V prvih dveh preglednicah 21 in 22 so stehiometrijske komponente ( $v_{j,i}$ ) podane skupaj s kompozicijsko matriko. Slednja ni splošno znana. Stehiometrijska matrika vsebuje kontinuitetne enačbe (seštevek preko vrstice matrike), kot smo to videli v ASM1. Da lahko damo vsem elementom iz stehiometrijske matrike enake enote v kontinuitetni enačbi, je uvedena kompozicijska matrika. To vodi do naslednje formule za kontinuitetne enačbe.

$$\sum_i v_{j,i} \cdot I_{k,i} = 0, \text{ za } i = 1, \dots, 12. \quad (3.10)$$

Stehiometrijske koeficiente za opazovanko  $X_{TS}$  lahko dobimo iz kompozicijske enačbe 3.11. Ta enačba je podana kot

$$v_{j,13} = \sum_i v_{j,i} \cdot I_{4,i}, \text{ za } i = 8, \dots, 12. \quad (3.11)$$

V tretji preglednici (23) modela, lahko najdemo enačbe procesnih stopenj. Tako kot pri prejšnjih modelih procesa čiščenja z aktivnim blatom, temelji kinetika na kombinaciji preprostih preklopnih funkcij, skupaj z dodatnimi konstantami stopenj. Ena od teh konstant je kinetični parameter  $k$ . Ti parametri so odvisni od temperature odpadne vode. Za različne temperature je priporočeno interpolirat parameter z naslednjo enačbo

$$k(T) = k(20) \exp(\Theta_T \cdot (T - 20)) \quad (3.12)$$

z  $T$  kot temperaturo v stopinjah celzija in

$$\Theta_T = \frac{\ln(k(T_1)/k(T_2))}{T_1 - T_2}, \quad (3.13)$$

kjer je  $k(T_i)$  poznana vrednost parametra pri temperaturi  $T_i$  z  $i = 1, 2$ .

Temperaturna odvisnost kinetičnih parametrov je bila prvič predstavljena v članku za ASM3. V prejšnjih modelih ta temperaturna odvisnost ni omenjena (Gujer in sod., 1999).

### 3.6.3 Predpostavke in omejitve ASM3

Kompleksnost (zapletenost) modela procesa čiščenja z aktivnim blatom št. 3 je primerljiva s kompleksnostjo ASM1. Model na žalost ni testiran s široko raznolikostjo eksperimentalnih podatkov. Zato je še vedno potrebno ugotoviti, če so bile vse omejitve ASM1 uspešno odpravljene. ASM3 ima tudi nekatere omejitve. Model velja samo za temperature od 8 do 23°C. Prav tako mora biti pH odpadne vode blizu nevtralnega v območju od 6,5 do 7,5.



ASM3 tako kot ASM1 ne vsebuje nobenega procesa, ki opisuje obnašanje biomase v anaerobnem okolju. Simulacija sistemov z velikimi deleži volumnov anaerobnega reaktorja lahko vodi do velikih napak pri rešitvi modela. ASM3 nam ne pove ničesar o inhibiciji nitrita. Tako kot ASM1 se lahko ASM3 uporablja le za komunalno odpadno vodo. Visoke koncentracije organskih snovi v odpadni vodi lahko omejujejo rezultate modela (Gujer in sod., 1999).

### **3.7 Primerjava modelov procesa čiščenja z aktivnim blatom**

V predhodnih poglavjih so predstavljeni vsi štirje modeli procesov čiščenja z aktivnim blatom. V tem delu je narejena primerjava med modeli. Najprej si oglejmo modela ASM1 in ASM3.

Ker je ASM3 model nadgradnja modela ASM1, so glavne razlike med njima sledeče:

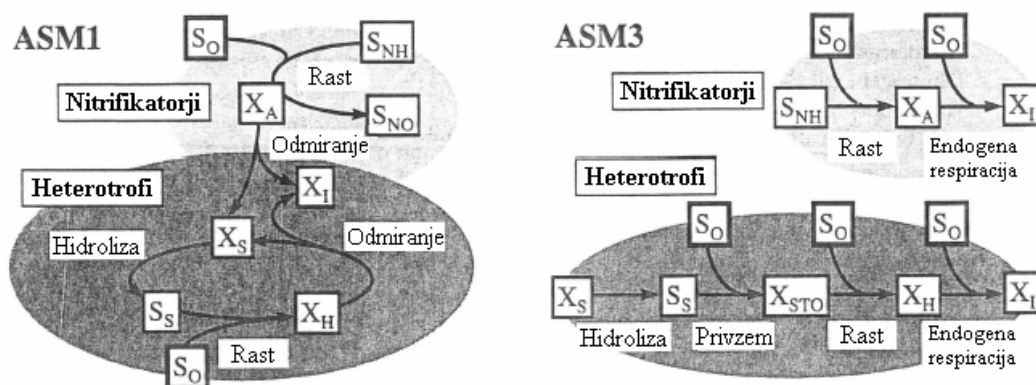
1. V modelu ASM1 so vrednosti stehiometrijskih in kinetičnih konstant neodvisne od pogojev okolja (aerobno, anoksično) medtem, ko se v modelu ASM3 ter vrednosti med seboj že razlikujejo (predvsem prirast in odmiranje biomase).
2. Model ASM3 se od modela ASM1 razlikuje ne samo po večjem številu upoštevanih osnovnih procesov temveč posledično tudi po večjem številu kinetičnih in stehiometrijskih parametrov. Primerjava je prikazana v preglednici 24.
3. Stehiometrijski del matrike se mora v modelu ASM3 izračunati preko kompozicijske matrike.
4. Koncentracija dušikovih spojin se preko pretvorbenih faktorjev preračuna iz koncentracije organskih spojin.

*Preglednica 24: Primerjava po obsežnosti med modelom ASM1 in ASM3 glede na število osnovnih procesov, procesnih spremenljivk in parametrov.*

	ASM1 (Izidaje 1987)	ASM3 (Izidaje 1999)
Procesi (j):	8	12
za heterotrofe	6	9
za avtotrofe	2	3
Procesne spremenljivke (i)	13	13
Parametri:	19	36
kinetični	5	21
stehiometrijski	14	15

V preglednici 24 lahko vidimo, da ima ASM3 model kar 12 procesov s 13 procesnimi spremenljivkami in 36 parametri.

Iz tega lahko sklepamo, da model ASM3 že bolj natančno opisuje procese razgradnje odpadne vode. Poudarek so naredili na poti razgradnje organskega ogljika, kar je prikazano na shematski predstavitvi za oba modela na sliki 47.



*Slika 47: Shematska predstavitev komponent in procesov v ASM1 in ASM3.*

**ASM1:**

- V ASM1 modelu heterotrofni mikroorganizmi porabljajo KPK v ciklični shemi.
- Z razpadom biomase nastanejo razpadli produkti, ki v sistem ponovno vnesejo KPK ( $X_S$ ). Le ta se po teoriji ASM1 ne razlikuje od vhodnega KPK.

- Odmiranje nitrifikatorjev tako pospešuje rast heterotrofov, ker v sistem dovaja dodaten vir ogljika ( $X_S$ ).
- Rasti in odmiranja heterotrofnih mikroorganizmov ne moremo ločiti od avtotrofnih mikroorganizmov.
- Obstajata le dve vstopni točki kisika ( $S_O$ ) – respiracije.

### ASM3:

- Rast in odmiranje avtotrofov in heterotrofov sta med seboj popolnoma ločena procesa, med njima ni nobene izmenjave KPK
- Obstajajo številne točke vnosa kisika ( $S_O$ ).
- V model rasti heterotrofne biomase so vključili novo funkcijsko spojino  $X_{STO}$ , ki jo zahteva model in ni direktno kemijsko določljiva.
- Odmiranje je nadomestil proces endogene respiracije, ki tudi porablja kisik.
- V modelu se tako pojavijo 4 procesi razpada – endogene respiracije heterotrofne biomase ( $X_H$ ) ter hranjenih produktov ( $X_{STO}$ ) v aerobnih in anoksičnih pogojih.
- Kinetika rasti heterotrofne biomase v anoksičnem in aerobnem okolju pa je odvisna od razmerja med  $X_{STO} / X_H$ .

Ena od velikih razlik med modeloma je ta, da so nitrifikatorji (oziroma avtotrofi) in heterotrofi strogo ločeni v ASM3. V ASM1 so povezani z nitrifikatorji, ki prispevajo k heterotrofni rasti. Prav tako sta v modelu le dve vstopni točki kisika. V ASM3 je skupno pet točk v procesu, kjer je vstop raztopljenega kisika v modelu. Prav tako ASM3 vsebuje informacijo o celičnem notranjem privzemu snovi. V ASM1 to ni obravnavano.

Zaradi zgoraj opisanih razlik sta si modela med seboj precej različna. Vse komponente niso iste. V ASM3 so komponente, ki predstavljajo notranji privzem. Tudi enačbe stopenj se med obema modeloma precej razlikujejo. Osnove teh enačb so konstantni parametri (stopnje pretvorbe oz. kinetični parametri) in preklopne funkcije. Za nekatere procese v ASM3 je uporabljenih več preklopnih funkcij v primerjavi z ASM1, ker je nekaj procesov v ASM3 odvisno od večjega števila komponent modela v primerjavi z ASM1.

Pomanjkljivosti izražene v modelu ASM1 so tako nadgradili na sledeči način:

1. **Pomanjkanje dušika in alkalitete za heterotrofe:** vključene so v hitrostno enačbo rasti heterotrofov.

2. **Topni in partikulatni organski dušik:** se v masnih bilancah kot procesni spremenljivki ne pojavljata več, temveč vstopata v proces preko stehiometrijskih faktorjev kot delež dušika na KPK ( $i_{N,S1}$ ,  $i_{N,SS}$ ,  $i_{N,XS}$ ...). Razgradnja topnega in partikulatnega dušika je vgrajena v proces hidrolize, razpada in rasti biomase.
3. **Proces amonifikacije:** Proces amonifikacije ni več. Preko zgoraj omenjenih stehiometrijskih faktorjev s procesom hidrolize pride do pretvorbe organskega dušika (izračunanega preko deleža glede na KPK) v amonijski dušik, ki nato vstopa v nadaljnje procese.
4. **Inertne spremenljivke:** z novim modelom poti KPK se izognemo pojavu inertnega KPK, ki nastane z razpadom biomase in se ne združi z vstopnim inertnim KPK.
5. **Hidroliza:** Prevladujoč vpliv hidrolize so odstranili z novim modelom poti KPK, kjer je rast heterotrofov odvisna od hranjenih produktov  $X_{STO}$  in ne direktno od  $X_S$  in njene hidrolize.
6. **Endogena respiracija:** je le del celotnega odmiranja biomase in je različna od okolja (aerobno, anoksično).
7. **Hranjeni material:** zajeli so ga v modelu poti KPK kot vmesno stopnjo med  $X_S$  in  $X_H$ .
8. **Različne kinetične konstante:** določili so različne kinetične konstante za hitrost odmiranja glede na okolje ter različne stehiometrične konstante – priraste.
9. **MLSS:** model dovoljuje direktni vnos koncentracije v enotah KPK ali MLSS preko pretvorbenih faktorjev
10. **Prirast (Yield):** ostaja enak način določitve z respirometrijo.

Največja razlika med ASM1 in ASM3 in obeh ASM2 in 2d modeloma je ta, da slednja vsebujejo procese za odstranjevanje fosforja. Zato se število komponent v modelu poveča na 20 v ASM2. Prav tako je v ASM2, v primerjavi z ASM1, povečano število procesov iz 8 na 19. Model številka 2d ima celo dva dodatna procesa, zaradi česa jih je skupno 21. Tako ASM2 kot ASM2d sta bolj zapletena za uporabo v praksi, saj sta veliko večja v primerjavi z ASM1. Zato pa dajeta boljše predstavitev (prikaz) za čistilne naprave. ASM2 in ASM2d se nekoliko razlikujeta, saj se v ASM2d predpostavlja, da lahko organizmi, ki odstranjujejo fosfat, opravljajo tudi denitrifikacijo.

ASM2 in ASM2d sta, kot tudi drugi modeli, predstavljena v matričnem zapisu s stehiometrijskimi parametri in enačbami stopenj. Čeprav so modeli precej različni so temelji (osnove) modelov isti. Torej enačbe sestavljajo iz (konstantnih) parametrov in preklonih

funkcij. ASM2 in ASM2d sta bolj kompleksna zaradi dejstva, da model vsebuje več komponent in procesov. Več je tudi povezav med procesi v modelu, česar rezultat so enačbe stopenj z več izrazi.

Vsi štirje modeli uporabljajo kontinuitetne preklopne funkcije v enačbah stopenj. Te kontinuitetne funkcije imajo splošno obliko

$$\frac{S_x}{K_x + S_x} \quad (3.14)$$

in

$$\frac{K_x}{S_x + K_x} \quad (3.15)$$

$S_x$  je raztopljena (topna) komponenta modela, kjer  $x$  označuje točno določen element. Npr.:  $S_x$  je enako kot raztopljeni kisik  $S_{O_2}$ . Parameter  $K_x$  je kinetični parameter odvisen od komponente modela. V večini primerov je to koncentracija komponente  $x$  za katero je dosežena polovična maksimalna specifična stopnja rasti v odpadni vodi.

Kot že rečeno so preklopne funkcije uvedene za vklop in izklop procesov v modelih. Če se v preklopni funkciji 3.14 koncentracija  $S_x$  približa 0 je navezujoč proces izklopljen, ker vrednost funkcije postane nič. Če se  $S_x$  približuje nič in je uporabljena funkcija 3.15 je proces vključen, ker se vrednost preklopne funkcije približuje 1. Skupaj s stehiometrijskimi parametri lahko modeliramo rast (in druge procese pri obdelavi odpadne vode) pod različnimi okoljskimi pogoji z uporabo teh preklopnih funkcij (Henze in sod., 2000).

### 3.8 Simulacija procesov

#### Ideja o »Simulaciji«

*Kopiranje sistema z njihovimi dinamičnimi procesi v model združljiv za eksperimentiranje, da bi pridobili novo poznavanje in razumevanje sistema, ki je prenosljivo v realnost (VDI Guideline 3633).*

Simulacija procesov se uporablja za načrtovanje, razvoj, analize in optimizacijo tehničnih (industrijskih) procesov. Simulacija procesa so na osnovi modela predstavljeni kemijski, fizikalni, biološki in drugi tehnični procesi ter delovanje (obratovanje) enot v software-ju.

Osnovni predpogoji so temeljito poznavanje kemijskih in fizikalnih lastnosti komponent in mešanic, reakcij in matematičnih modelov, ki omogočajo izračun procesov na računalnikih.

Računalniška programska oprema (Software) za simulacijo procesov opisuje procese z diagrami toka kjer so procesne enote nameščene in povezane s tokovi produktov in izločkov. Software mora rešiti masne in energijske bilance, da najde stabilno točko obratovanja. Cilj simulacije procesa je iskanje optimalnih pogojev za obravnavan proces. To je v bistvu problem optimizacije, ki mora biti rešen v iterativnem procesu (procesu iteracije).

Simulacija procesov vedno uporablja modele, ki vpeljujejo približke in predpostavke vendar omogočajo opis lastnosti preko širokega razpona spremenljivk (temperatura, tlak,...), ki mogoče niso pokriti z realnimi podatki. Modeli prav tako omogočajo interpolacijo in ekstrapolacijo – znotraj določenih mej – in omogočajo iskanje pogojev izven območja (razpona) poznanih lastnosti.

Razvoj modelov za boljši prikaz (opis) realnih procesov je bistvo nadaljnjega razvoja simulacijske programske opreme. Simulacija procesa je eno od redkih področij, kjer znanstveniki s področja kemije, fizike, računalniške znanosti, matematike in posameznih inženirskih področij delajo skupaj.

Veliko truda je narejeno za razvoj novih in izboljšanih modelov.

Razlikujemo lahko dva glavna različna tipa modelov:

1. dokaj preproste enačbe in korelacije, kjer so parametri prilagojeni eksperimentalnim podatkom
2. metode predvidevanja parametrov, kjer so njihove lastnosti ocenjene

Enačbe in korelacije se ponavadi bolj zaželjene, ker (skoraj) natančno opisujejo lastnosti. Za pridobivanje zanesljivih parametrov je potrebno imeti eksperimentalne podatke, ki so ponavadi pridobljeni iz dejanskih baz podatkov, ali če niso podatki javno dostopni (dosegljivi), iz meritev.

Uporaba metode predvidevanja je mnogo bolj cenejše kot eksperimentalno delo in prav tako kot podatki iz baz podatkov. Kljub velikim prednostim so predvidevane lastnosti običajno uporabljene pri začetnih korakih zasnove (načrtovanja) procesa za iskanje prvih približnih rešitev in za izločanje napačnih poti, ker te metode predvidevanja ponavadi vpeljejo višje napake, kot korelacije pridobljene iz realnih podatkov.

Sprva je bila simulacija procesa uporabljena za stacionarne pogoje. Modeli v stacionarnih pogojih opravljajo masne in energijske bilance stacionarnega procesa (proces v stanju ravnovesja), vendar je potrebno prezreti vse spremembe skozi čas.

Dinamična simulacija je razširitev procesa v stacionarnih pogojih (stacionarnem stanju) pri čemer je časovna odvisnost vgrajena v model preko izpeljanih izrazov (akumulacija mase in energije) in časovne spremembe količin. Pojav dinamična simulacija pomeni, da je opis časovne odvisnosti, predvidevanje in kontrola realnih procesov v realnem času, postalo možno.

Dinamične simulacije zahtevajo daljši čas računanja in so matematično bolj kompleksne, kot simulacije v stacionarnih pogojih. To je mogoče razumeti, kot večkrat ponovljena simulacija v stacionarnem stanju (na podlagi določenega časovnega koraka) z nenehno spreminjajočimi se parametri.

Zgodovina simulacije procesa je močno povezana z razvojem računalništva, računalniške strojne opreme in programskih jezikov. Prva delujoča enostavna implementacija delnih vidikov kemijskih procesov je bila narejena v 1970, ko je bila prvič na voljo ustrezna strojna in programska oprema.

Komponente simulacije:

- Transportni procesi: Shema toka, aeracija, sekundarni usedalnik, izločanje blata
  - Biokinetični model: Definicija sestavin modela za karakterizacijo odpadne vode in biomase, procesi pretvorbe, stehiometrija, kinetika
- Družina ASM je mednarodno priznana kot osnova za simulacijo procesov z aktivnim blatom.
- Vplivne funkcije: Variiranje obremenitve, dotok, onesnaževala, temperatura
  - Strategije obratovanja: Kontrola procesa
  - Software (programska oprema)
  - Identifikacija parametrov: Podatki za kalibracijo in preverjanje
  - Analiza občutljivosti

### 3.9 AQUIFAS

Ta aplikacija je namenjena za obratovalce naprav in izbrano skupino inženirjev in upraviteljev naprav. Zasnovan je za tiste, ki želijo razumeti in izboljšati gospodarnost, zanesljivost in delovanje njihovih obratov. Pomagal bo projektantom in inženirjem procesa in upravljalcem delati v timu in razumeti, kaj dela in kaj ne, kot je pričakovano, razlogi zakaj, in ugotoviti, kako izboljšati napravo.

Ta izdaja je ena od številnih aplikacij, ki so bile razvite ali so načrtovane. Analizo bioloških procesov je mogoče uporabiti za razumevanje zanesljivosti procesne opreme in obratno.

Obstajajo štiri vrste uporabnikov, ki jim ta aplikacija koristna:

- obratovalci naprave, ki jo upravljajo za različne ravni odstranjevanja nutrientov in želijo najti boljše poti (bolj stroškovno učinkovito) pri njenem obratovanju
- inženirji, ki pristopijo k načrtovanju naprave iz stališča izboljšanja njene operativnosti in razumevanja kako sta zasnova in obratovanje povezana
- upravljalci naprave, ki morajo najti boljše metode za obratovanje pri omejenih proračunih in omejitvenih dovoljenjih, lahko zagotovijo njihovim obratovalcem in procesnim inženirjem orodje za sprejemanje odločitev
- dobavitelji opreme, ki želijo razumeti kako je lahko njihova tehnologija testirana pod dejanskimi pogoji obratovanja na čistilni napravi za odpadno vodo, jo lahko uporabijo za izboljšanje njihovih izdelkov.

**AquaNET (AqNET)** je simulator celotne naprave, ki se lahko uporablja za procese z aktivnim blatom in biofilmom in njihovih kombinacij. Sestavljen je iz .NET aplikacijo v ospredju in Excel-Visual Basic aplikacijo v ozadju. Ima letno plačilo licence.

**Aquifas** je Excel-Visual Basic aplikacija, ki vključuje nekatere komponente AquaNET. Ponuja se brez letnega plačila licence.

Model se lahko uporabi za konvencionalne sisteme z aktivnim blatom (Conventional Activated Sludge – CAS) in sisteme biološkega odstranjevanja hraniv (BNR – Biological Nutrient Removal), membranske bioreaktorje (votlo vlakenske in ravne), IFAS, MBBR in biološko aerirane filtre (BAFs – Biological aerated filters). Aplikacija vključuje predobdelavo (predčiščenje); sekundarno obdelavo za odstranjevanje BPK in biološko odstranjevanje



hraniv; terciarno obdelavo za nitrifikacijo in denitrifikacijo; obdelavo stranskega toka recikla od dehidracije trdnih snovi.

Model se lahko upravlja (obratuje) z različnimi količinami nosilnih elementov biofilma in srednjimi zadrževalnimi časi (celic) (MCRT – Mean Cell Residence Time) suspendiranih snovi v mešanici odpadne vode. (MLSS – Mixed liquor suspended solids). Kjer ni biofilma (količina medija je nič), model simulira proces z aktivnim blatom. Enačbe in pristop k modeliranju aktivnega blata temelji na IWA modelu procesa čiščenja z aktivnim blatom (ASM2d model), kot je bil objavljen v Scientific and Technical Report No. 9 (2000). Ta model je lahko uporabljen tudi za modeliranje membranskih bioreaktorjev. Ko je nosilni medij biofilma dodan v bazen z aktivnim blatom odstranjevanje v biofilmu nadomešča odstranjevanje v suspendiranih snoveh in model začne simulirati integriran proces z aktivnim blatom in biofilmom pritrjenim na nosilne elemente (nosilce biomase) (IFAS proces). Ker se količina medija poveča se lahko MCRT suspenzije aktivne biokulture (MCRT MLSS) zmanjša. Na koncu, ko se MCRT MLSS približuje nominalnemu HRT bazena z aktivnim blatom, model začne simulirati bioreaktor samo z biomaso pritrjeno na (prosto) plavajočih nosilcih (MBBR). Če so specifična površina medija (nosilcev) in delež polnjena povečana še naprej dokler medij več ni mobilni model simulira biološke aerirane (in anoksične) filtre (BAF).

Model lahko deluje z eno do 12 celic v nizu (seriji). Vsaka celica je simulirana kot popolnoma premešan bazen, ki lahko obratuje aerobno, anoksično (pred ali po) ali anaerobno. Medij se lahko vstavi v vsako celico. Znotraj vsake celice model izračuna aerobni in anoksični privzem KPK, nitrifikacijo, raztopljeni kisik (RK), privzem oksidiranega dušika, kemijski in biološki privzem fosforja in proizvodnjo (ustvarjanje) biomase. To se naredi za heterotrofe in nitrifikatorje v biofilmu in v organskih suspendiranih snoveh v suspenziji aktivne biokulture (MLVSS – Mixed Liquor Volatile Suspended Solids).

Biofilm je simuliran z dvema različnimi metodami, med katerimi sta bili obe kalibrirani na pilotno napravo s konstantnim pretokom in študijam v naravnih velikostih (tri recenzirani dokumenti, Sen in Randal, Water Env Research, maj 2008, junij 2008). V semi-empirični metodi za modeliranje biofilma je biofilm simuliran kot en sloj, kateremu karakteristike se

spreminjajo s pogoji (razmerami) v obdelovani tekočini. V mehanični metodi za modeliranje biofilma v Aquifas BFD je biofilm simuliran kot 12 koncentričnih slojev plus mirujoča plast tekočine zunaj biofilma. Mehanski pristop vključuje enačbe za difuzijo, (po)rabo substrata in elektronskih akceptorjev, ustvarjanje organskih suspendiranih snovi (VSS – Volatile Suspended Solids) in inertnih snovi in transport med sloji. Semi-empirični model vključuje tudi matriko podatkov od večjega števila zagonov difuzijskega modela. Prednost dvojnega pristopa modeliranja je ta da dosega višjo natančnost in je hitrejši kot večina IFAS modelov. Model se lahko »požene« za stacionarne pogoje in za dinamično simulacijo. Pri dinamični simulaciji lahko obremenitve (BPK, KPK, TKN, TP), temperatura, RK, MCRT MLSS, itd., variirajo med časovnimi koraki. Znotraj dinamične simulacije obstajata dva dela. Običajno je prvi del uporabljen za 15 minutne ali urne simulacije v 24 urnem obdobju. Drugi del se uporablja za dnevne simulacije (24 urni časovni intervali) v 31 dnevnem obdobju in v 2,5 letnem obdobju.

Večina kode modela je odprtega tipa. To omogoča uporabnikom modela dodajanje funkcij, sodelovanje z drugimi razvijalci, ga prilagoditi in deliti svoje znanje o bioloških procesih.

### **3.9.1 Priprava osrednjega dela modela za simulacijo v stacionarnih pogojih**

To poglavje obravnava in predstavi osnovne značilnosti Excell-Visual Basic aplikacije Aquifas in opisuje kako pripraviti model v njegovi najpreprostejši obliki za načrtovanje reaktorjev in sekundarnih usedalnikov (poganjanje modela v stacionarnih pogojih).

Za Aquifas 3 vstavljamo podatke le na štiri delovne liste, ki so navedeni spodaj in uporabljamo delovni list preračun (Converge), da izračunamo rešitev določenega modela.

- A. Tipi simulacij (R Types of Simulation)
- B. Vtok in iztok za stacionarne pogoje (R Inf Eff)
- C. Konfiguracija reaktorja (R Reactor Config)
- D. Parametri reaktorja (R Reactor Parameters)

Prav tako je potrebno, da smo seznanjeni z naslednjimi listi:

- E. Osnovna navodila (Basic Instructions)
- F. Grafični vmesnik (Graphical interface)

G. Izračun (Converge)

H. Listi z rezultati (Results Sheets)

→ **Delovni list: Osnovna navodila (Basic Instruction)**

- **Obarvanost celic:** v modelu mora uporabnik v celice osenčene ali obarvane zeleno vstaviti podatke za pripravo modela za novo napravo. Uporabniku ni potrebno vstaviti podatkov v celice osenčene rumeno, razen če uporabnik želi spremeniti privzete vrednosti. Celice osenčene ali obarvane modro zagotavljajo povratne informacije izračuna. Celice osenčene ali obarvane vijolično vsebujejo podatke, ki so vstavljeni v naslednji izračun.
- **Imena listov:** uporabnik mora vstaviti podatke v delovne liste, katerih imena se začnejo R (npr.: R Types of Simulation). Vstavljanje podatkov v liste, ki se začnejo z o so po izbiri oziroma po želji (npr.: o Kinetics). Vstavljanje podatkov ni potrebno v liste, katerih imena se začnejo z x.

→ **Delovni list: Grafični vmesnik (Graphical Interface)**

- Na zgornjem delu lista je procesni diagram naprave z hiperpovezavami (Hyperlinks). Te povezave lahko uporabljamo za navigacijo do delovnih listov.
- Drugi del tega lista vsebuje preglednico, razdeljeno v različne odseke. Prvi odsek preglednice vključuje hiperpovezave do delovnih listov in posameznih delov teh delovnih listov, kjer je potrebno vstaviti podatke. Ostali odseki preglednice vključujejo hiperpovezave do posameznih delov delovnih listov, ki so pomembni za preračun ali pa vključujejo določene dobljene rezultate simulacije.

→ **Delovni list: Tipi simulacij (R Types of Simulation)**

- Uporabnik mora vnesti vrednosti, ki so značilne za napravo, v celice osenčene zeleno. Uporabnik ima izbiro, da pusti privzete vrednosti v celicah osenčene rumeno. Na tem listu uporabnik izbere vrste oziroma tipe simulacije iz serije padajočih menijev. Uporabnik lahko izbere različne možnosti za zagon modela. V 5 vrstici izberamo med simulacijo v stacionarnih pogojih ali dinamično simulacijo. V 7 vrstici izbiramo med metričnimi ali Angleško-US enotami. Ostale privzete vrednosti, pomembne za simulacijo, pustimo nespremenjene. Za naš primer in naše potrebe za simulacije, ki se bodo opravile v okviru te diplomske naloge so pomembne le vrednosti oziroma možnosti izbire v vrsticah 5 in 7 zato ne bom nadaljeval opisa možnosti izbire za

ostale opcije, ki se nahajajo na tem delovnem listu. Del delovnega lista tipi simulacij je prikazan na sliki 48.

1	<b>R Types of Simulation</b>	Run Sheet	Plant Name		Process	Configuration
2	Fill cells in green to identify the plant and process		Ready to Set Up		MLE	Act Sludge
3	<b>Table 1</b>					
4	Simulation					
5	#S	Select Steady State or Dynamic			Steady State	
6						
7	#S	Units			Metric	
8	<b>Table 2</b>					
9	Method of computation for biofilm fluxes					
10	#S	Semi- Empirical or Biofilm Diffusion	Default = Semi-empirical		Semi-Empirical	
11						
12						
13						
14	<b>Table 3</b> The long term influent data needs to be updated before turning this feature on					
15	#S	Is Long Term Simulation ON or OFF?	Default = OFF		OFF	
16						

Slika 48: Delovni list tipi simulacij

➔ **Delovni list: Vtok in iztok (R Inf Eff) – vstavi podatke za simulacijo v stacionarnih pogojih**

- Osnovni podatki za vtok v reaktor se vstavljajo v preglednico 1 na delovnem listu, ki je predstavljena v preglednici 25: V preglednici 1a na tem delovnem listu uporabnik vnese povprečne vrednosti koncentracij parametrov na vtoku v reaktor (to je primarni iztok ali surovi vtok plus recikelni tok iz obdelave blata). Ne vključuje RAS, nitratni recikel ali notranje recirkulacije. Te informacije so potrebne za poganjanje modela v načinu stacionarnih pogojev.

Preglednica 25: Preglednica 1, na delovnem listu vtok in iztok, kjer se vstavljajo podatki o vrednostih koncentracij parametrov na vtoku za simulacijo v stacionarnih pogojih.

Table 1	Data Required for Steady State Run			
Table 1a	Reactor Influent (Average Values)			
	Flow	Enter in Cell D59, Sheet Reactor Parameters	m3/d	Flow
		<b>IWA ASM Definitions</b>		
V	TSS		mg/L	130
V	VSS	$X_S * i_{TSSXS}$	mg/L	115
V	Inert SS	$X_I * i_{TSSXI}$	mg/L	10
V	SBOD5		mg/L	125
V	BOD5		mg/L	175
V	VFA as SCOD	$S_A$ , Volatile Fatty Acids	mg/L	25

V	SCODflocculated	Flocculated and filtered: $S_A + S_F + S_I$	mg/L	150
V	SCOD	Filtered - analytically soluble	mg/L	200
V	COD	Total COD: $S_A + S_F + S_I + X_I + X_S$	mg/L	300
V	SCODnbio	$S_I$ , Inert (Non biodegradable) SCOD,	mg/L	10
V	PCODnbio	$X_I$ , Inert (Non biodegradable Particulate) COD	mg/L	20
V	NH4N	$S_{NH4}$	mg/L	20
V	SKN	$S_{TKN} = S_{NH4} + S_F * i_{NSF} + S_I * i_{NSI}$	mg/L	25
V	TKN	$X_{TKN} + S_{TKN}$	mg/L	35
V	NO2N	$S_{NO2}$	mg/L	0
V	NO3N	$S_{NO3}$	mg/L	0
V	SKNnbio	Inert (Non biodegradable) SKN: $S_I * i_{NSI}$	mg/L	0,5
V	PTKNnbio	Inert (Non biodegradable Particulate) TKN: $X_I * i_{NXI}$	mg/L	0,25
V	OP	$S_{PO4}$	mg/L	2
V	TSP	$S_{TP} = S_{PO4} + S_F * i_{PSF} + S_I * i_{PSI}$	mg/L	3
V	TP	$X_{TP} + S_{TP}$	mg/L	4
V	TSPnbio	Inert (Non biodegradable) Total Soluble P: $S_F * i_{PSF}$	mg/L	0,02
V	PPnbio	Inert (Non biodegradable) Particulate P: $X_I * i_{PXI}$	mg/L	0,02
V	Alkalinity	mg/L as $CaCO_3$	mg/L	140
V	DO		mg/L	1
oV	Ca - sol	Soluble Calcium	mg/L	50
oV	Mg - sol	Soluble Magnesium	mg/L	50
oV	Fraction SCODb fe max	Max fraction of $S_F$ fermentable	Fraction	1
oV	Fraction PCODb fe max	Max fraction of $X_S$ fermentable	Fraction	1
oV	Fraction of Particulate COD (PCOD) that is enmeshed		Fraction	0,8

- Vrednosti nekaterih parametrov, ki jih ne moremo dobiti iz obratovalnih monitoringov posamezne čistilne naprave in so potrebni za simulacijo, lahko približne vrednosti letih pridobimo s pomočjo preglednice pristop k določevanju parametrov vtoka v reaktor (slika 49), ki jo avtor aplikacije Aquifas nudi za pomoč pri izračunu teh vrednosti iz znanih podatkov. Tako lahko iz znanih podatkov parametrov  $BPK_5$  in TSS in pomanjkanju ostalih podatkov za določeno čistilno napravo določimo približne okvirne vrednosti ostalih parametrov potrebnih za simulacijo.

Table: Approaches to filling out Reactor Influent Data					
Method 1: Data is available on Priority 1 parameters BOD5 and TSS					
Parameter			Value (mg/L)		Priority for Analysis
BOD5			160	as BOD5	1
TSS			150	as TSS	1
Computed Values	Typical formula	Multiplier in formula	Value (mg/L)		Priority for Analysis
<b>Solids</b>					
VSS	0.8 TSS	0.8	120	as VSS	2
<b>Organics</b>					
SBOD5	BOD5 - 0.5 VSS	0.5	100	as BOD5	
COD	2 x BOD5	2	320	as COD	2
SCOD	COD - VSS	1	200	as COD	4
SCODfloc	0.75 SCOD	0.75	150	as COD	
PCOD	COD - SCOD		120	as COD	
VFA	0.25 SBOD5	0.25	25	as COD	
SCODnbio	10% of SCOD	0.1	20	as COD	4
PCODnbio	20% of PCOD	0.2	24	as COD	
<b>Nitrogen Series</b>					
TKN	10% of COD	0.1	32	as N	2
SKN	TKN - 0.1 VSS	0.1	20	as N	
NH4N	0.8 SKN	0.8	16	as N	2
PTKN	TKN - SKN		12	as N	
SKNnbio	2.5% of SKN	0.025	0.5	as N	3
PTKNnbio	5% of PTKN	0.05	0.6	as N	3
NO2N	close to 0		0	as N	4
NO3N	close to 0		0	as N	4
<b>Phosphorus Series</b>					
TP	1.5% of COD	0.015	4.8	as P	2
TSP	TP - 0.015 VSS	0.015	3	as P	
OP	0.8 TSP	0.8	2.4	as P	2
PP	TP - PP		1.8	as P	
TSPnbio	1% of TSP	0.01	0.03	as P	
PPnbio	2% of PP	0.02	0.036	as P	
<b>Inerts VSS</b>					
	0.75 * PCODnbio	0.75	18	as SS	
<b>Others</b>					
Alkalinity	BOD5	1	160	as CaCO3	2
	1.5 x BOD5	1.5	240	as CaCO3	
Calcium	BOD5	1	160		
Magnesium	0.5 x BOD5	0.5	80		
Potassium	0.25 x BOD5	0.25	40		

Slika 49: Pristop k določevanju parametrov vtoka v reaktor

- Pod preglednico 1 na delovnem listu se nahaja posebna preglednica z funkcijo za preverjanje oziroma spremljanje razmerja KPK/TKN in KPK/TP, da se prepreči stradanje zaradi pomanjkanja hraniv (slika 50). Da se to prepreči morajo biti razmerja KPK, TKN in TP naslednja: razmerje KPK/TKN  $< 20$  omogoča zadosti dušika za heterotrofno rast; razmerje KPK/TP  $< 100$  omogoča zadosti fosforja za heterotrofno rast. Ko pritisnemo gumb preračun lista (Run Sheet) preverimo, če smo zadostili tem pogojem. V vrstici 56 morajo biti izpisane vrednosti »v redu« (»OK«).

48							
49	Check	Check data by pressing Run Sheet button					Check influent characteristics fr
50							If COD/TKN of $< 20$ , COD/TP $<$
51							If COD/(TKN+NOxN) $< 5$ , influen
52							
53		Run Sheet					Press Run Sheet to check whet
54							COD/TKN COD/TP COD/TN
55							8,57 75,00 8,57
56							OK OK OK
57							

Slika 50: Posebna preglednica za preverjanje razmeja KPK/TKN in KPK/TP, da se prepreči stradanje zaradi pomanjkanja hraniv

### → Delovni list: Konfiguracija reaktorja (R Reactor Config)

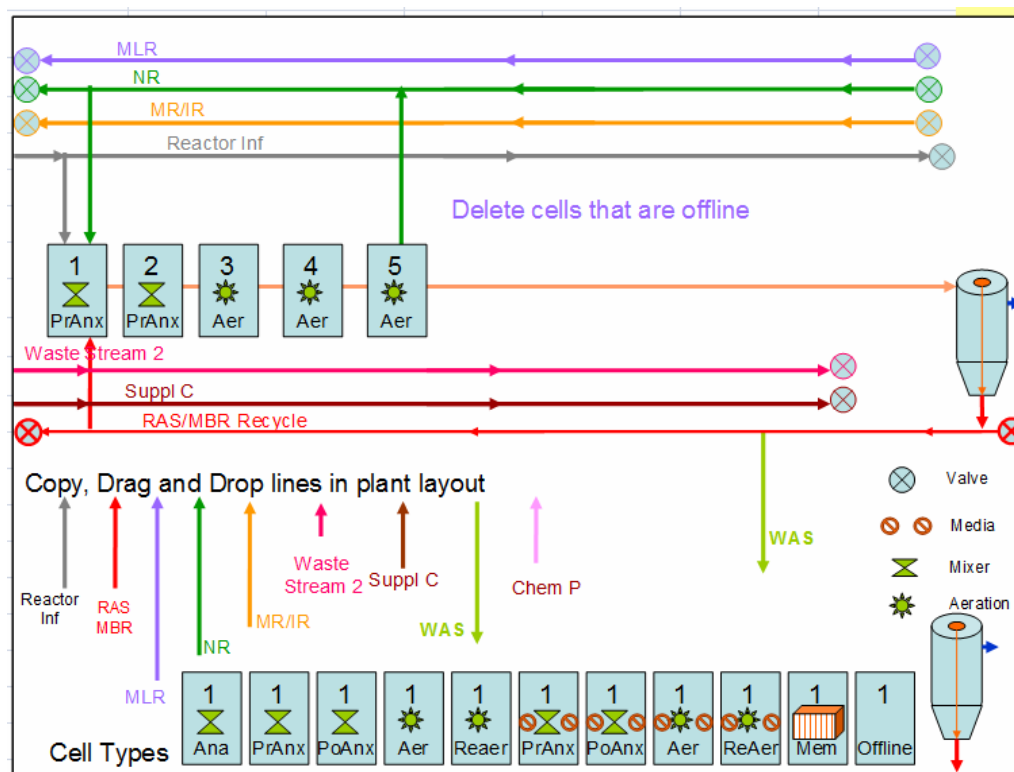
- Na tem delovnem listu uporabnik določi konfiguracijo reaktorja. Opomba, ki se nanaša na ta list je, da moramo pred izhodom iz tega delovnega lista pritisniti gumb preračun lista (Run Sheet), saj ga s tem posodobimo in posledično preverimo za morebitne napake, ki se nam izpišejo na določenih delih delovnega lista.
- V preglednico 1 na delovnem listu (slika 51) se vnaša stopnje reciklov, recirkulacij in količino dodatnega vira ogljika. Obstaja večje število reciklov, ki jih lahko uravnava model. Ti recikli so naslednji: RAS (povratno aktivno blato) ali MBR recikel (recikel iz membranske biološke celice); MLR recikel (mešanica suspenzije odpadne vode in aktivnega blata – Mixed Liquor) iz anoksične v aerobno celico – le-ta se uporablja tudi za vzpostavitev dveh vzporednih procesnih linij čiščenja odpadne vode; Nitratni recikel (Nitrate Recycle), ki se imenuje tudi anoksični recikel (iz aerobne v anoksično celico); sistem recikla medija (nosilcev biomase – biofilma → IFAS; Media Recycle), kjer je medij recikliran iz konca aerobne cone na začetek aerobne cone; notranji recikel (Internal Recycle), kot je ta prisoten v oksidacijskih jarkih – to se lahko določi

v isti vrstici, kot recikel medija (tipični notranji recikli so lahko 10 do 20Q). Dodajanje dodatnega vira ogljika (metanol, etanol, acetat) se vnaša kot mg/l KPK (Suppl Carbon).

	A	B	C	D
1	<b>Reactor Config</b>		Run Sheet	
2	<b>Table 1</b>			
3			as Ratio	
4		Reactor Influent	1	
5	V	RAS / MBRrecycle	0,5	Enter all flow ratios to the Influent for BAF MBBRs, ente
6	V	ML Recycle	0	
7	V	Nitrate Recycle	2,5	
8	V	Media or Int Recycle	0	
9	V	Waste Stream 2	0	
10			mg/L COD	
11	V	Suppl Carbon	0	0 L/d

Slika 51: Vnos stopnje reciklov (recirkulacije) in količine dodatnega vira ogljika

- Skiciranje zasnove konfiguracije reaktorjev omogoča v Excell vstavljena powerpoint aplikacija (slika 52). Navodila za skiciranje zasnove postavitve reaktorjev in usedalnikov ali membran so navedena v stolpcu O.



Slika 52: Powerpoint aplikacija za skiciranje zasnove konfiguracije reaktorjev čistilne naprav



- Vnos opisa celic, vrednosti in lokacij tokov in reciklov (recirkulacij) v preglednici 2 (slika 53) je najpomembnejša naloga na tem delovnem listu. Opis celic mora biti izbran v vrstici opis celic (Cell Descriptor) iz padajočega menija. Opomba: če je katerakoli celica na začetku, vmes ali na koncu nedelujoča (offline), mora biti tudi vnešena kot nedelujoča (offline). Izbiramo lahko med možnostjo anaerobne, aerobne, anoksične, membranske celice in nedelujoča. Vtok v reaktor je lahko dodan eni ali več celicam. Skupna vsota posameznih deležev vtoka v te celice mora biti enaka 1. Celica v katero je določen recikel vnešen je določen kot »noter« (IN) in celica iz katere je recikel črpan je določen kot »ven« (OUT). Vrednost v drugih celicah je določen kot »nič« (NONE). Ko je ta preglednica posodobljena pritisnemo gumb preračun lista (Run Sheet) za preverjanje možnih neravnovesij (imbalances) ali napak pri vnosu (input error). Neravnovesja se lahko pojavijo, če skupna vsota pretoka vtoka ni enaka 1, če je recikel črpan iz celice in ni vnešen nazaj noter, če se recikel dovaja ali črpa iz več kot ene celice in preglednica 4 ni nastavljena, če je dodatni vir ogljika prikazan oziroma vnešen v preglednico 1 in ni dodan v preglednico 2 na tem delovnem listu.

**Table 2**

Cell Number	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Clar Filter	Check on
24														
25	Pre Anoxic	Pre Anoxic	Aerobic	Aerobic	Aerobic	Membrane Cell	Offline	Offline	Offline	Offline	Offline	Offline		Table 2
26	INSTRUCTION: For reactor influent, sum of fractions must equal 1; For Waste Stream 2 and Suppl Carbon, enter one IN per row.													
27	For recycle streams RAS, MLR, NR, MR/R, enter IN for cell where recycle is pumped in to, enter OUT for cell from which recycle is pumped out of.													
28	Reactor Influent	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	OK
29	RAS / MBR Recycle	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	OK
30	MLR Recycle	IN	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	OK
31	Nitrate Recycle	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	OK
32	Media or Int Recycle	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	OK
33	Waste Stream 2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	OK
34	Suppl Carbon	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	OK
35	NPW from plant effluent/PW addition													
36														
37														
38														
39														

Šlika 53: Vnos opisa celic, vrednosti in lokacij tokov in reciklov (recirkulacij) v tabeli 2

- Vnos lokacij odstranjevanja odvečnega blata (WAS) in vnos kemikalij za odstranjevanje fosforja se opravi v preglednici 3 na tem delovnem listu.
- V preglednici 4 na delovnem listu je omogočena razdelitev vnosa recikla med več celic in črpanje recikla iz večjega števila celic.
- Trenutna verzija aplikacije Aquifas omogoča postavitev dveh ali treh vzporednih procesnih linij čiščenja.

➔ **Delovni list parametri reaktorja (R Reactor Parameters)**

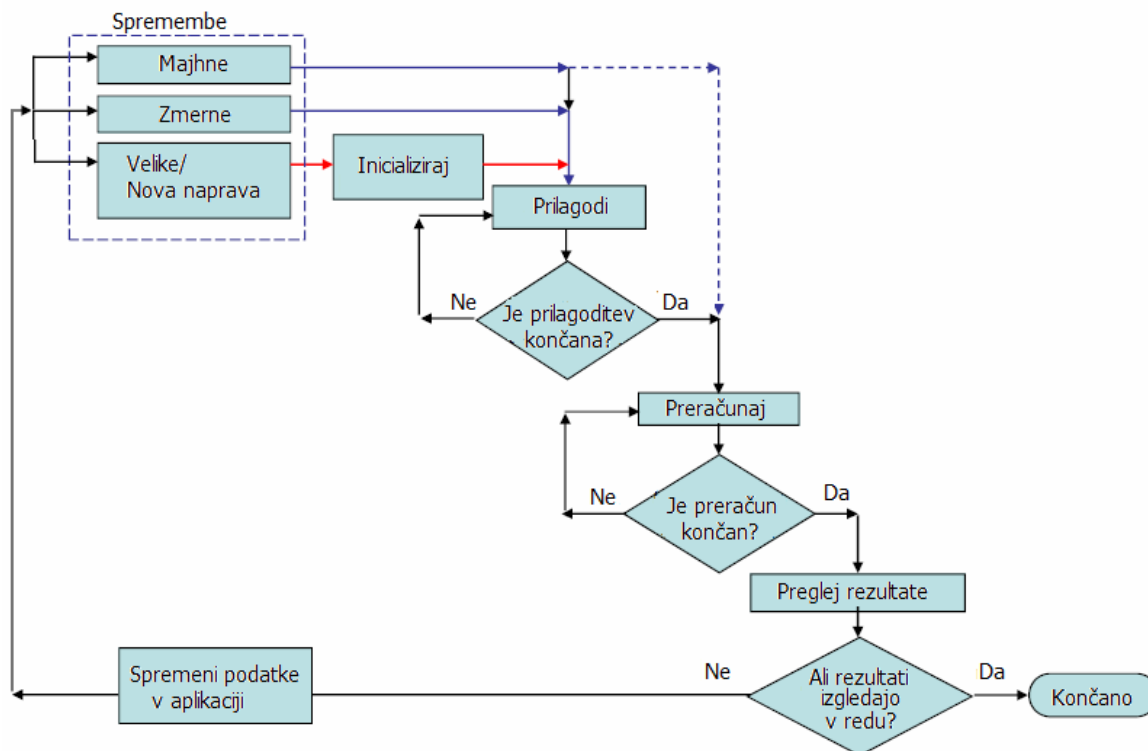
- Na delovnem listu se vnašajo dodatni parametri zasnove ali obratovalni parametri za reaktor. Za potrebe te diplomske naloge je na tem delovnem listu pomemben vnos podatkov v preglednice 2, 2a (celotni volumen vseh bazenov (Total Volume) in volumen posameznih bazenov (Cell Volume), koncentracija raztopljenega kisika v posameznem bazenu (DO Set Point Specified), tip difuzorjev (Type of diffusers), globina posameznega bazena (Depth of Tank),...) in 2b (pretok v m<sup>3</sup>/dan (Flow), starost blata v dnevih (MLSS MCRT) in temperatura odpadne vode (Temperature)) (slika 54).

Cell Number	Cell Description	1	2	3	4	5	6	7	8
		Pre Anoxic	Pre Anoxic	Aerobic	Aerobic	Aerobic	Offline	Offline	Offline
27	<b>VOLUME &amp; PARAMETERS</b>								
28	Units (selected in Types of Simulation)								
29	Total Volume	1,321 MGD	6,00	h					
30	Cell Volume %, Shift F9 to verify	14,00%	14,00%	24,00%	24,00%	24,00%	0,00%	0,00%	0,00%
31	Computed Cell Volume	700,00	700,00	1200,00	1200,00	1200,00	0,00	0,00	0,00
32	DO Set Point Specified	0,3	0,05	3	4	5	3	3	3
33	Lower Limit of DO instrument reading, mg/L								
34	Type of Aeration, non Membrane Cells								
35	Depth of Cell in Tank	3,66	3,66	3,66	3,66	3,66	3,66	3,66	3,66
36	Height of diffusers above floor	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24
37	SOTE at 12 feet or 3.65 m tank depth 20 C (fraction)	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24
38	Diffuser fouling or wear; surface aerator blade wear	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95
39	Alpha	0,55	0,55	0,55	0,60	0,65	0,65	0,65	0,65
40	Beta								
41	Is Cell Covered?	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
42	Chemical Dosing								
43	Biofilm SSA applied	0	0	0	0	0	0	0	0
44	Maximum Biofilm SSA 100% Fill	500	500	500	500	500	500	500	500
45	BVF at 100% Fill	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
46	Mixing Shear Coefficient	1	1	2	2	2	2	2	2
47	Media Surface Coefficient	1	1	1	1	1	1	1	1
48	For MBBR & BAF WAS sludge								
49	FLOW, MLSS MCRT, T								
50	Flow	5,2835 MGD	20000	m3/d	20000	Enter Reactor Influent (PE + recycles to PE) flow in L			
51	Mixed Liquor MCRT	4,00							
52	Mixed Liquor Temperature	12,00							

Slika 54: Prikaz tabel 2, 2a in 2b, kjer se vnašajo dodatni parametri zasnove ali obratovnlani parametri za reaktor

### ➔ Delovni list: Zagon in preračun modela (Converge (RUN Model))

- Na sliki 55 je prikazana shema vrstnega reda preračuna in pridobivanja rešitve modela, ki se izvaja na tem delovnem listu.



Slika 55: Shema vrstnega reda preračuna in pridobivanja rešitve modela

- To je nov list, ki je bil dodan za avtomatizacijo prilagoditve in preračuna ter poganjanja simulacije celotne naprave. Vsebuje večje število makrov. Makro gumbi so razporejeni kot je to prikazano na sliki 55. To omogoča uporabniku, da gre skozi zaporedje za inicilizacijo (Initialization), prilagoditvijo (Scale up) in preračunom (Convergence). Celotna razlaga posameznih delov postopka na tem delovnem listu, ki vodijo do končnega izračuna rezultatov in njihovi pomeni ter razlage so podrobneje opisani v priročniku za uporabo aplikacije Aquifas in v tem delu niso obravnavani, saj je obseg prevelik za umestitev v to diplomsko delo.

### ➔ Delovni list: Rezultati (Results) za stacionarne pogoje

- Na delovnih listoma rezultati (Results) in povzetek rezultatov (Result Summary) so podani rezultati modela oziroma simulacije, ki so podani tako tabelarično kot tudi v obliki grafikonov za določene parametre. Med pomembnejšimi rezultati so v sklopi te

diplomske naloge uporabljeni rezultati za profile parametrov skozi reaktor (KPK, N oblike, P oblike, RK), parametri reaktorja (MLSS, MLVSS, WAS, itd.) in določeni grafikoni.

V nadaljevanju se bomo seznavali še z delovnim listoma konfiguracija sekundarnega usedalnika (o Clarifier Config) in delovnim listom kinetika (o Kinetics). Vrednosti na delovnem listu kinetika se za potrebe te diplomske naloge niso spreminjale in so puščene kot privzete. Na delovnem listu konfiguracija sekundarnega usedalnika lahko zasnovamo usedalnik, ki bo ustrezal pretoku in obremenitvi.

#### → Delovni list: Kinetika (o Kinetics)

- Delovni list kinetika, ki ga uporabimo po želji oziroma po potrebi, vsebuje več preglednic za vnos vrednosti kinetičnih koeficientov za IWA ASM2d model (Henze in sod., 200) in model za biofilm. Skupno obstaja 14 preglednic. Omenili bomo le prvih osem, saj se ostale nanašajo na biofilm. Za vsak koeficient lahko uporabnik določi vrednost. Privzete vrednosti so navedene, kot smernice.
- V preglednici 1 (1a, 1b, 1c) na delovnem listu je določena kinetika za heterotrofe v MLVSS na osnovi IWA ASM2d modela. Privzete vrednosti so prikazane v stolpcu H. Te služijo, kot smernice. Spremenjene so lahko le vrednosti v tistih celicah, ki so osenčene rumeno. **Funkcija zaščite delovnega lista mora biti vključena. S tem se izognemo slučajnim (nehotenim) spremembam vrednosti v drugih celicah.** Slika 56 prikazuje odsek delovnega lista kjer so določeni kinetični koeficienti za heterotrofe. Stopnje doprinosa in odmiranja biomase, ki so določene, so za IWA ASM model. Obstajata dve vrsti kinetike denitrifikacije. Prva je z ogljikom v surovi odpadni vodi. Druga je z zunanjim virom ogljika.
- V preglednici 2 na delovnem listu kinetika so prikazani kinetični koeficienti za avtotrofe v MLVSS.
- V preglednici 3 na delovnem listu so vključeni koeficienti za fermentacijo in v preglednici 4 za fosfor akumulacijske organizme (PAO).
- V preglednici 5 na delovnem listu so obravnavane stopnje hidrolize MLSS.
- V preglednici 6, 7 in 8 na delovnem listu so vključeni stehiometrijski koeficienti.

A	B	C	D	E	F	G	H	I	
1	Unhide Index of Tables	Structure of Activated Sludge Model is equivalent to IWA ASM2d Model for Activated Sludge Systems							
11	Hide Index of Tables	Structure of Activated Sludge Model is equivalent to IWA ASM2d Model for Activated Sludge Systems							IWA ASM2d
12	Kinetics Coefficients	ASM2d Symbol	Symbol in Paper	Definition	Units	NU = Not Used	Input Values	Default Values	
13									
14									
15	Table 1	Heterotrophs, Kinetics Coefficients	ASM2d Symbol	Symbol in Paper	In Suspended Solids	Units	Values	Default Values	
16	17	Aerobic, MLSS							
18	Table 1a	Recommended inhibition from earlier sheet							
19	oV	umHaer before inhibition	μH		For full scale plants, there can be some inhibition of umHaer compared to pilot scale reactors.	day <sup>-1</sup>	0%	0%	
20					Aerobic Max growth rate for Heterotrophs at T specified below for qmH	day <sup>-1</sup>	5,00	5,00	
21	oV	YHaer	Y <sub>H</sub>	Y <sub>Haer</sub>	Aerobic Heterotrophic Yield (for MLSS and biofilm)	mg COD-VSS/mg COD uptake at	0,61	0,6	
22		umHaer after inhibition	μH	μ <sub>m,H,aer,SS</sub>	Aerobic Max growth rate for Heterotrophs at T specified below, after % inh day <sup>-1</sup>	day <sup>-1</sup>	5,00	5,00	
23					mg MLVSS generated/mg COD utilized aerobically/day				
24		qmHaer	q <sub>m,H,aer,SS</sub>	q <sub>m,H,aer,SS</sub>	Aerobic Max substrate utilization rate, umHaer/YHaer at T specified below day <sup>-1</sup>	day <sup>-1</sup>	8,20	8,33	
25					mg COD utilized aerobically/mg Cell COD MLVSS/d				
26									
27	oV	Ts			Temperature at which the above values of umHaer and qmHaer are specific C		20	20	
28	oV	theta umHaer and qmHaer			Arrhenius coefficient to adjust umaer and qmaer for temperature (Arrhenius coefficient)		1,03	1,03	
29									
30	oV	Ks Haer	K <sub>S</sub> , K <sub>A</sub>	K <sub>S,H,aer,SS</sub>	Aerobic Half Saturation Constant for COD Utilization at T specified below	mg/L	60	60	
31	oV	Ts			Temperature for above value for KsHaer	C	20	20	
32	oV	theta KsHaer			Temperature coefficient for KsHaer		1,03	1,03	
33		bHaer LM			Aerobic Decay rate for heterotrophs (set to 1/3 of IWA decay rate)	day <sup>-1</sup>	0,067	0,067	
34	oV	b Haer (IWA)	b <sub>H</sub>	k <sub>dHaer,SS</sub>	Aerobic Decay rate for heterotrophs	day <sup>-1</sup>	0,2	0,2	
35	oV	Ts			Temperature at which the above value of kdHaer is specified	C	20	20	
36	oV	theta b Haer			Coefficient to adjust kdHaer for temperature (Arrhenius equation)		1,055	1,055	
37									
38	oV	K O2 ss	K <sub>O2</sub>	K <sub>H,DO,aer,SS</sub>	Half saturation constant for DO for MLSS	mg/L	1	1	
39	oV	Ts			Temperature at which above value of KdoSS is specified	C	20	20	
40	oV	theta K O2 ss			Coefficient to adjust K O2 SS for temperature (Arrhenius equation)		1	1	

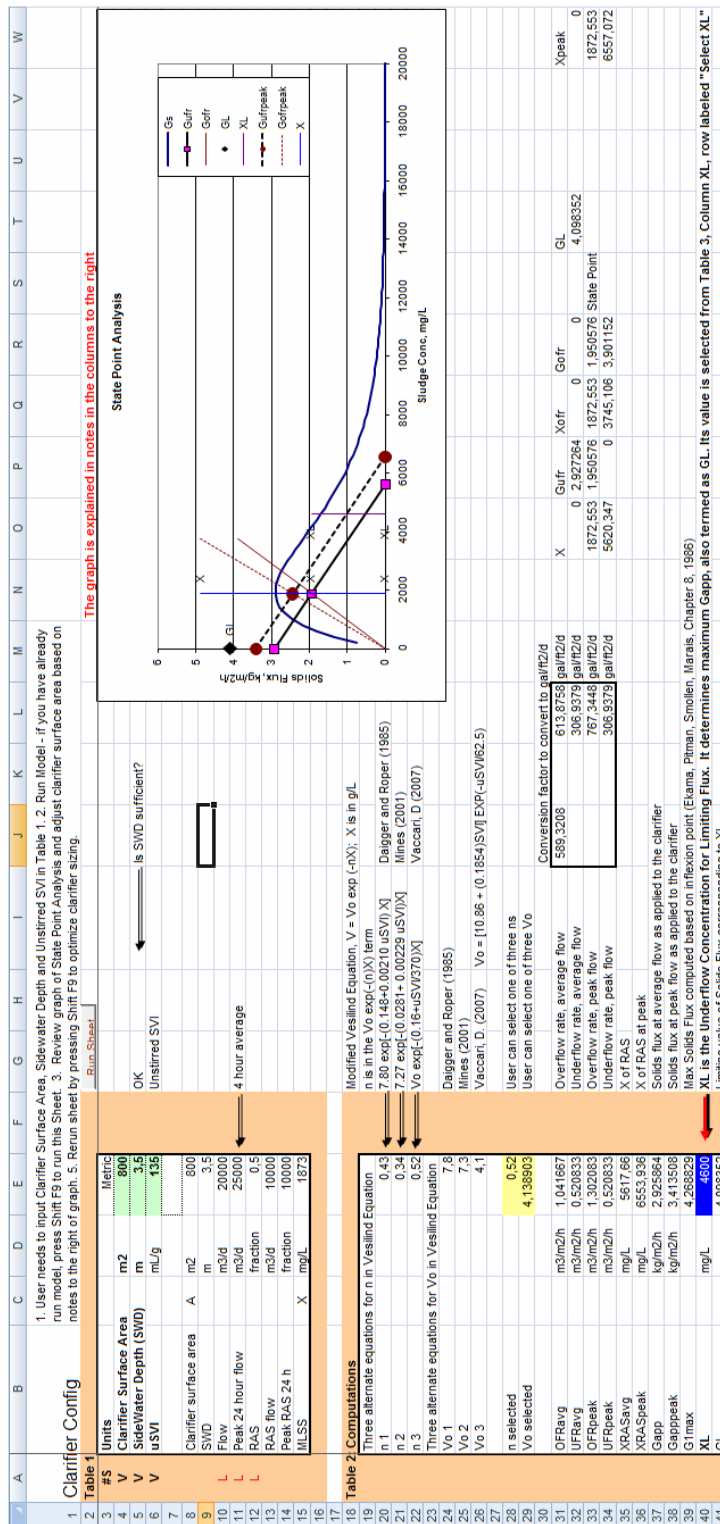
Slika 56: Odsek delovnega lista, kjer so določeni kinetični koeficienti za heterotrofe.

➔ **Delovni list: Konfiguracija sekundarnega usedalnika (o Clarifier Config)**

- Na tem delovnem listu model izvaja analizo točke stanja (State Point Analysis) usedalnika, da se ugotovi ali je iztok iz usedalnika in obremenitev s trdnimi snovmi v okviru kapacitete usedalnika. Analiza točke stanja je izvedena pri povprečnem pretoku in urni konici pretoka. Uporabnik izbere enote (Units) v celici E3, vnese površino usedalnika (Surface Area) v celico E4, globino usedalnika (Side Water Depth – SWD) v celico E5 in VIB - volumenski indeks aktivne biokulture (unstired SVI – Sludge Volume Indeks ) v celico E6. Površina je uporabljena pri analizi točke stanja. V trenutni verziji je globina primerjana z minimalno priporočeno globino za aktivno blato (3,5 m).
- Uporabnik modela lahko izbira eno od treh enačb za izračun hitrosti usedanja z uporabo Vesilind enačbe v preglednici 2 na delovnem listu, ki so povzete po naslednjih avtorjih: Daigger, G. T. (1985) / Mines, Jr. R. O. in sod. (2001) / Vaccari, D. A. (2007). Kot privzeta vrednost hitrosti usedanja je uporabljena vrednost izračunana po Vaccariju.
- Preglednica 3 na delovnem listu je uporabljena za določitev XL (XL je koncentracija blata, ki se odvaja, pri katerem je stopnja iztoka (pretoka) (G) najnižja – to določa maksimalno količino iztoka (pretoka), ki je lahko uporabljen –  $G_{app} = GL$ )
- Model uporabi informacije iz preglednic 1, 2 in 3 na tem delovnem listu za izdelavo grafikona za analizo točke stanja. Ta grafikon prikazuje ali je usedalnik preobremenjen. Ko je preobremenjen, je lahko usedalnik neuspešen (neustrezen) zaradi nezadostne površine za bistrenje in/ali zgoščevanje. Ta dva načina neuspeha (bistrenje, zgoščevanje) se lahko analizira v grafikonu za analizo točke stanja. Ta grafikon prikazuje pogoje za povprečni pretok in štiri urno povprečje za konico pretoka. Opomba glede podatkov za pogoje pri konici pretoka je ta da le-ti izhajajo iz dela za dinamično simulacijo.
- Ko je točka stanja (prikazana, kot rjav krogec za konico pretoka in rozast kvadrateg za povprečen pretok) izven ovoja modre krivulje, je usedalnik neuspešen glede bistrenja (nezadostna površina za gravitacijsko usedanje) in zgoščevanja. Točka stanja je na sečišču linije pretoka iztoka vode iz usedalnika (overflow line – ofr), linije pretoka odvoda blata (underflow line – ufr) in linije MLSS (X-X) pri katerem obratuje. Ko linija pretoka odvoda blata seka ovoj modre krivulje na dveh točkah na njenem



padajočem delu, je usedalnik neuspešen glede zgoščevanja (blato se ne more odstranjevati zadosti hitro). V obeh teh primerih se lahko sistem popravi z znižanjem MLSS, povečanjem površine in zmanjšanjem volumenskega indeksa blata (VIB).



Slika 57: Odsek delovnega lista (konfiguracija usedalnika) na katerem lahko dimenzioniramo usedalnik

## **4 POSODABLJANJE OBSTOJEČIH ČISTILNIH NAPRAV**

Mnoge od obstoječih čistilnih naprav (ČN) je potrebno nadgraditi za povečanje zmogljivosti in izboljšanje učinkovitosti obdelave (Emerg. Tech., 2008). Posodabljanje oziroma nadgradnja obstoječih naprav je vedno bolj pomembna, saj veliko komunalnih čistilnih naprav (KČN) razmišlja o dodajanju tehnologij za odstranjevanje hraniv. Ker mora vse več krajev (mest) izpolnjevati vse strožje omejitve obremenitve z hranivi za zaščito sprejemnih vodnih teles je nadgradnja obstoječih naprav z trajnostno tehnologijo pomemben izziv, kot tudi priložnost (MNRT, 2008). Izboljšave in nadgradnje procesov obdelave, ki najbolj ustrezajo obstoječim tehnologijam na posameznih ČN so izbrane na podlagi zahtev dovoljenja za obratovanje in njihovih stroškovno učinkovitih tehnik uporabljenih za doseganje ustrezne kvalitete vode in varovanje javnega zdravja. Takšne izboljšave in nadgradnje so pogostokrat priložnost za uporabo in namestitev nastajajočih se ali priznanih tehnologij na nov in izboljšan način (Emerg. Tech., 2008).

To poglavje predstavlja pomembna vprašanja, ki jih je potrebno upoštevati pri nadgradnji obstoječih objektov, vključno s splošnimi dejavniki izbora, dejavniki načrtovanja in obratovanja in končna izbira ustrezne tehnologije z uporabo metodologije matrike odločitev (MNRT, 2008).

### **4.1 Splošni pristop k procesu posodabljanja ČN**

#### **4.1.1 Kriteriji (merila) uspešnosti**

Ena od ključnih nalog projektne skupine sestavljene iz strokovnjakov, ki ocenjuje nadgradnjo naprave je vzpostavitev kriterijev uspešnosti za projekt v zgodnji fazi načrtovanja. Pri tem mora skupina zbrati prispevke in predloge vseh zainteresiranih strani povezanih s projektom. Zainteresirana stran lahko vključuje izvoljene uradnike, javne upravitelje in predstavnike obratovanja, vzdrževanja in tehničnih storitev in pomoči na napravi. Vključujejo lahko tudi

predstavnik iz okoljskih organizacij, skupine državljanov in javnost. Kriteriji izbora vključujejo:

- trajnost
- stroškovna učinkovitost
- preprostost obratovanja in vzdrževanja
- časovni plan in program načrtovanja projekta
- in prostorske ter krajevne zahteve (zahtev določenega prostora)

Trajnost pomeni hkratni poudarek na gospodarskem, ekonomskem, družbenem in okoljskem učinku. Tehnologija izbrana na podlagi trajnosti ima zanesljivo manjšo porabo energije, manjšo proizvodnjo blata in porabo dodanih kemikalij in splošno nižjo porabo virov v primerjavi z drugimi tehnologijami.

Za tehnologije odstranjevanja hraniv je pri izboru upoštevana poraba energije in kemikalij in proizvodnja bioloških trdnih snovi. Projektna skupina lahko vzpostavi ocenitveno (vrednotno) formulo s katero se vsakemu dejavniku dodeli utežni faktor. Končno oceno in rezultat je tako mogoče dobiti za vsako proučeno in ocenjeno alternativo (MNRT, 2008).

#### 4.1.2 Načrtovanje naprave

Projektna skupina ima za izvesti tri glavne naloge:

1. Oceniti obstoječo napravo in njeno sposobnost izpolnjevanja zahtev, ki jih predpisuje dovoljenje za obratovanje (zakonsko predpisanih zahtev čiščenja)
2. Določiti in identificirati potrebne posodobitve
3. Razvoj in vrednotenje izvedljivih alternativ

**Alternative pri nadgradnji naprave lahko vključujejo spremembo oziroma modifikacijo obstoječih objektov, vzporedno ali zaporedno dodajanje novih procesov ali zamenjava obstoječih procesov z novimi.** Kritična poglavja oziroma vprašanja, ki jih je potrebno preučiti s strani projektne skupine vključujejo:

- dogovor o načrtovani obremenitvi za planirano obdobje na podlagi masne bilance in energijske bilance (po potrebi),
- stopnja fleksibilnosti zaradi prihodnje negotovosti pri predpisih (zakonodaja) ali karakteristiki vtoka odpadne vode (ali obeh),

- obratovanje med gradnjo,
- začasno dovoljenje za skladnost,
- in uvajanje razvojne stopnje gradnje v prihodnosti.

Sorodna projektna vprašanja vključujejo razpored, varnost, zahteve prostora (območja), potencialni smrad (vonjave) in cena (strošek) alternativ.

Projektna skupina običajno predstavi odobritveni (presojevalni) oblasti priporočljiv izvedbeni načrt na podlagi predhodno dogovorjenih meril za izbor. Skupina lahko povabi javnost, da sodeluje pri ocenjevanju (vrednotenju) (MNRT, 2008).

## 4.2 Primerne tehnologije

Razni priročniki za načrtovanje KČN **določajo** (definirajo) integriran proces, kot metodo, ki združuje biološke in kemijske ali fizikalne obratovalne enote za zmanjšanje koncentracij dušika in fosforja v iztoku naprave pod nivoje, ki bi se dosegali le v običajni sekundarni napravi za obdelavo odpadne vode. Vključujejo smernice za načrtovanje. Identificirajo tudi omejitve povezane z biološkimi procesi, ki izhajajo iz spremenljivk, kot so lastnosti vtoka odpadne vode, metod ravnanja s trdnimi snovmi in dinamike biološke populacije mešanih kultur znotraj določenega obrata za obdelavo.

Projektna skupina lahko obravnava tehnologije na podlagi zahtevane oziroma željene ciljne koncentracije v iztoku. Potem ko projektna skupina identificira procese, ki so sposobni doseganja željenega cilja koncentracij v iztoku za dušik, fosfor ali obeh lahko pregleda opise in sheme procesov. Nato se lahko oceni investicijske stroške in stroške obratovanja in vzdrževanja, kriterije izbire tehnologije, dejavnike načrtovanja in obratovanja pri odstranjevanju hraniv. Z uporabo vseh teh informacij in razmer v posameznem obratu lahko projektna skupina nato zoži seznam procesov, ki jih je potrebno oceniti za izvajanje in nato izvedejo vrednotenje, kot je to opisano v poglavju 4.5 (MNRT, 2008).

### 4.3 Kriteriji (merila) izbire tehnologije

Pri razvoju alternativnih tehnologij bi morala projektna skupina upoštevati ustrezne dejavnike za oblikovanje in obratovanje. Ti vključujejo prostorske omejitve, zanesljivost tehnologije, investicijski stroški in stroški obratovanja in vzdrževanja in trajnost, vključno s porabo energije, porabo kemikalij in dodatno zaščito blata. To poglavje predstavlja dejavnike izbire procesa, katere naj projektna skupina prouči.

Dejavniki izbire, katere je potrebno upoštevati za doseganje odstranjevanja dušika in fosforja, kot za oba skupaj so:

→ potreba po prostoru – se nanaša na relativno količino prostora, ki ga proces potrebuje oziroma zahteva, kar je odvisno od števila bazenov in zahtevane velikosti vsakega procesa.

→ potreba po objektu – označuje ali naj bo proces nameščen v stavbo za preprečevanje problemov obratovanja pri nizkih temperaturah.

→ namestitev v obstoječ prezračevalni bazen – obstoječ prezračevalni bazen bi lahko zahteval modifikacije (rekonstrukcijo) za izvedbo procesa. Več procesov zahteva posebno razmerje anaerobne, anoksične in aerobne cone za pravilno delovanje. Namestitev znotraj obstoječega prezračevalnega bazena bi vključevala izgradnjo zidov oziroma pregrad, loput ali obeh za ustvarjanje takšnih con. Zamenjava prezračevalnih naprav z mešalci bi bilo potrebno v anaerobnih in anoksičnih conah.

→ cevovodi in črpanje (črpalke) – se nanaša na to ali proces vključuje povratne linije, potrebuje več kot eno dovajalno linijo (na primer v primeru postopnega hranjenja) ali pa je potrebna dodatna oprema za črpanje ali oboje. Cevovodi in črpanje (črpalke) sta potrebna pri vseh procesih, ki vključujejo nove notranje povratne tokove (recirkulacijo).

→ potreba po dodatni hidravlični višini – hidravlika za predlagani proces mora biti vedno preučena, da se preveri, če odpadna voda teče skozi napravo, kot je načrtovano. Posamezni procesi zahtevajo dodatno hidravlično višino, katero je verjetno treba zagotoviti s črpalkami, da odpadna voda vstopi in gre skozi proces in zato je potreben dodatni prostor. Procesni ki zahtevajo dodatne biološke bazene verjetno ne potrebujejo dodatne hidravlične višine, medtem ko dodani procesi lahko zahtevajo črpanje (črpalke).

→ povratni tokovi sekundarnih procesov – identifikacija procesov, ki imajo notranje povratne tokove in potrebujejo oziroma zahtevajo dodatni prostor. Za doseganje nizkih koncentracij iztoka odpadne vode so običajno potrebne notranje povratne linije za denitrifikacijo nitratov

ustvarjenih med nitrifikacijo. Tehnologije odstranjevanja fosforja imajo običajno (razen, če niso združene z procesi odstranjevanja dušika) le linije povratnega aktivnega blata (RAS).

→ potrebe po dodatnem viru ogljika – nekateri procesi zahtevajo dodatni vir ogljika za delovanje. Zadostna količina ogljika je potrebna za biološko odstranjevanje hranil.

→ dodatna elektrika – povečanje porabe električne energije se pričakuje v primerih kjer nadgradnja zahteva dodatne črpalke zaradi povišane hidravlične višine, dodatni volumen reaktorja (za prezračevanje ali zagotovitev mešanja) ali nove ali povišane stopnje povratnih tokov.

→ potreba po kemikalijah – to je vključeno pod dejavnike obratovanja in poudarja stroške povezane z dodajanjem kemikalij. Če so VFA ustvarjene z uporabo fermentatorja na mestu samem, se ne pričakuje nobenih dodatnih stroškov kemikalij na napravi, čeprav bi se pa zato lahko nekoliko povečala poraba elektrike zaradi potrebne moči za obratovanje mešalcev. Druge kemikalije, ki bi bile potencialno potrebne vključujejo kavstično sodo ali apno za kontrolo alkalitete in kovinske soli, kot so aluminij ali železov klorid za odstranjevanje fosforja.

→ dodatno blato – dodatna proizvodnja blata je običajno povezana z dodajanjem kemikalij. Če proces ali specifični prostorski pogoji na napravi, ki se preurejajo zahtevajo dodajanje kemikalij bo proizvedeno dodatno blato v primerjavi s količino ustvarjeno z obstoječim procesom. Naprave, ki ne potrebujejo dodajanje kemikalij verjetno ne bodo proizvedle znatne dodatne količine blata, razen če je izvedena razširitev v povezavi z nadgradnjo obrata. Vso dodatno blato bo običajno povzročilo dodatne stroške odstranjevanja (MNRT, 2008).

#### **4.4 Zasnova in dejavniki obratovanja pri odstranjevanju hraniv**

Naslednji dejavniki so ključnega pomena pri ocenjevanju obstoječih objektov in razvoju izvedljivih alternativ:

- karakteristike vtoka odpadne vode
- viri biorazgradljivega ogljika
- vpliv deževnega pretoka
- upravljanje procesov ravnanja z blatom
- povratni tokovi

- nadzor kontrole in zahteve zajemanja podatkov (SCADA) in sensorji
- zahteve po osebjju
- potrebe po usposabljanju
- pilotno testiranje

Člani projektne skupine so spodbujeni, da upoštevajo vse te dejavnike in jih vključijo v razvoj izvedljivih alternativ tehnologij.

Upoštevati je potrebno lastnosti odpadne vode, ker tehnologija za katero se je odločilo mogoče ne bo delovala pravilno, če se zaradi neugodnih lastnosti odpadne vode ne da zagotoviti potrebnih pogojev zahtevanih za to posamezno vrsto tehnologije.

Predpisane (dovoljene) mejne vrednosti za iztok dušika, fosforja ali obeh se mora zagotoviti v času suhih in deževnih vremenskih pogojev. Pretoki v času dežja so lahko bistveno višji od povprečnih suhih pretokov pri napravah z mešanim kanalizacijskim sistemom, ki imajo visoke stopnje priliva in infiltracije. Biološki sistemi lahko izgubijo trdne snovi (biomasa) v obdobju povišanega vtoka na napravo. Biološki procesi se zanašajo na zadostno količino biomase za odstranjevanje dušika, fosforja ali obeh. Kemijski in fizikalni procesi so tudi manj zanesljivi pod povišanimi pretoki. Razmišljanja o alternativnih strategijah obratovanja v času povišanih pretokov bodo zmanjšali verjetnost preseganja dovoljenih omejitev.

Povratni tokovi iz procesov obdelave blata lahko vsebujejo znatne količine dušika in fosforja, ki lahko organsko preobremenijo proces odstranjevanja in povzročijo slabo učinkovitost in možnost, da bodo predpisane omejitve presežene. Pregled metod za zmanjšanje ali obdelavo povratnega dušika in fosforja in njihovo vključitev v načrt naprave bo izboljšal obratovanje izbranega procesa. Poleg tega povratni tokovi iz drugih procesov, kot je notranji recikel (notranja recirkulacija), povratno aktivno blato (RAS) in povratno spiranje filtra lahko tudi vplivajo na proces odstranjevanja dušika in fosforja, zlasti če je bilo izbrano biološko odstranjevanje.

Delovanje izbranega procesa se lahko optimizira z vključitvijo SCADA in senzorjev obratovanja, ki so lahko programirani, da izvajajo spremembe z uporabo analize v realnem času. Optimizacija lahko vključuje urne variacije v dotekajoči odpadni vodi ali občasne spremembe v karakteristikah vtoka odpadne vode. Če je obratovalna strategija programirana se lahko naprava odziva na spremembe veliko hitreje, namesto da se čaka na rezultate iz laboratorija, ki so lahko stari ure ali dneve.

Nadgrajena naprava z zagotavljanjem odstranjevanja hraniv ne more delovati pravilno brez zadostnega števila osebja za upravljanje procesov in vzdrževanja. Poleg tega je pomembno da je osebje usposobljeno za pravilno upravljanje posodobljenih procesov.

Pilotno testiranje določenega števila alternativ nadgradnje procesa je zelo priporočljivo, da se potrdi, da bo proces obratoval kot je pričakovano za odpadno vodo na določeni lokaciji. Veliko procesov je odvisno od ustreznih (primernih) lastnosti vtoka odpadne vode in kemijskih lastnosti vode za zagotavljanje predvidenih koncentracij fosforja in dušika. Z vključitvijo pilotnega testiranja v fazi izbire ali načrtovanja se lahko naredijo prilagoditve na spremenjene lastnosti vtoka odpadne vode, če je to potrebno.

Ključno poglavje je razumevanje medsebojne povezave med obdelavo tekočine in procesi ravnanja s trdnimi snovmi in pravilno določanje količin in velikosti vseh procesnih enot. Masna in energijska bilanca morajo vključevati vse obremenitve povratnih tokov (reciklov) za izbrano tehnologijo. Priprava masnih bilanc med fazo načrtovanja lahko veliko prispeva k uspešnosti projekta nadgradnje. Masne bilance morajo vključevati vse vhodne in izhodne vrednosti količin hraniv za vsako procesno enoto. Povratni tokovi iz procesov ravnanja z blatom in povratnega spiranja filtrov, ki so določeni kot del masne bilance so lahko nato vključeni v osnove modela za nadgrajeno napravo. Takšen pristop bo zagotovil, da so procesi pravilno načrtovani za ravnanje z obremenitvami hraniv iz teh virov.

Drugo ključno poglavje je kako upoštevati negotovosti v prihodnosti – spreminjajoči predpisi in zahteva po bolj strožjemu odstranjevanju hraniv, spreminjajoče karakteristike odpadne vode in soočanje z rastjo prebivalstva na področju zagotavljanja storitve v prihodnosti. Fleksibilnost zasnove bi bila potrebna v pričakovanju negotovosti v prihodnosti. Lahko se vključi z načrtovanjem in izgradnjo dodatnih procesnih bazenov ali prehodnih območij v sekundarnem procesu. Prehodne cone so lahko med anaerobno in anoksično cono, anaerobno in aerobno cono ali med anoksično in aerobno cono odvisno od izbranega sekundarnega procesa (MNRT, 2008).



## 4.5 Dokončanje izbire procesa

Zadnji korak projektne skupine je ocena izvedljivih alternativ in določevanje primernega načrta. Projektna skupina lahko primerja potencialne alternative in izbere najboljši proces v skladu z kriteriji uspešnosti osnovanimi na začetku projekta.

Natančnost ocene stroškov se bo razlikovala glede na stopnjo zagotavljenih podrobnosti pri oceni. Če ocena stroškov temelji na stroškovnih krivuljah ali stroških od podobnih naprav ali tehnologij z zelo majhnim upoštevanjem lokalnih pogojev bo ocena stroškov lahko natančna le znotraj približno 50 procentov. Če se pripravi bolj podrobnejše študije, kot so vrtine v zemljo, predhodni načrti tehničnega projektiranja in osnutek specifikacij, bo ocena bolj natančna. Ne-stroškovna merila morajo vključevati tiste elemente, ki javnost najbolj skrbijo. Minimalni okoljski vplivi, kot so smrad, hrup, emisije v zrak, kakovost vode, poseganje v mokrišča in druge vplive na okolje je potrebno oceniti.

V nadaljevanju sta prikazana dva primera. Oba primera vključujeta utežne faktorje, ki označujejo relativno pomembnost vsakega merila, ki se obravnava. V preglednici 26 so alternativam dodeljene vrednosti od 1 do 4 (obstajajo štiri alternative), s številom 1 je označena najboljša ocenjena alternativa za določen kriterij. Zato je najbolj zaželeno alternativa tista z najnižjim seštevkom na dnu preglednice. Ko je osnovno ocenjevanje zaključeno se lahko izvede analizo občutljivosti s spreminjanjem utežnih faktorjev za enega ali več kriterijev na primer povečevanje stroška energije za faktor 50 ali 100 odstotkov. Proces se lahko ponovi za drug parameter, kot so zahteve predpisov ali ravnanje z biološkimi trdnimi snovmi. Novo ocenjevanje in razvrstitev se lahko primerja med temi alternativami.

Preglednica 26: Matrika odločitve (1. primer).

Kriteriji za primerjavo	Utežni faktor	Alternative			
		A	B	C	D
Stroški (kapitalni ter obrat. in vzdrž.)	1	2	1	4	3
Zanesljivost	1	3	1	2	4
Učinkovitost	1	1	2	4	3
Razširljivost	1	2	3	1	4
Preprostost obrat. in vzdrž.	2	3	1	4	2
Okoljski vplivi-(u)poraba kemikalij	3	4	1	3	2
Učinkovita poraba prostora	1	2	1	4	3
Poraba energije	2	2	1	4	3
Zahteve predpisov v prihodnosti	1	4	3	2	1
Zdravje in varnost zaposlenih in javnosti	2	2	3	4	1
Stabilnost tržišča za ponovno uporabo ali odlaganje bioloških trdnih snovi	1	1	4	2	3
SKUPAJ	--	41	28	52	39

V drugem primeru je uporabljena nadomestna lestvica za oceno alternativ. Temelji na dodelitvi števila od 1 do 10 za vsak kriterij, kjer je število 1 najmanj in 10 najbolj zaželeno. Utežni faktor je pomnožen z oceno za določitev skupnih točk. Preglednica 27 prikazuje zgled iz drugega primera. Rezultati na koncu se nato primerjajo za izbiro priporočene alternative. Po tej metodi je najboljša alternativa tista z najvišjim rezultatom. Isto analizo občutljivosti, kot je opisana za prvi primer se lahko izvede za stroške energije ali druge parametre po želji in se nato ponovno izvede primerjava.

Preglednica 27: Matrika odločitve (2. primer).

Kriterij	Utež	1. možnost		2. možnost		3. možnost	
		Točke	Rezultat	Točke	Rezultat	Točke	Rezultat
Prostorske zahteve	8	5	40	5	40	4	32
Kapitalni stroški	6	3	18	5	30	4	24
Stroški obrat. in vzdrž.	6	3	18	4	24	4	24
Zanesljivost	8	4	32	5	40	5	40
Fleksibilnost	10	3	30	4	40	3	30
Uporaba obst. obj.	6	3	18	4	24	4	24
Proizvodnja blata	8	2	16	3	24	3	24
Zaznavanje javnosti	7	3	21	3	21	3	21
Skupni rezultat			193		243		219
Položaj			3		1		2

Projektna skupina se lahko odloči, katero metodo uporabiti in kriterije, ki jih je potrebno vključiti pri sprejemanju končnega izbora tehnologije.

Ko je tehnologija izbrana je naslednji korak pripraviti idejni načrt. Zasnova mora vključevati:

- načrt rušenja
- načrt prostora z glavnimi cevovodi in napravami (objekti)
- hidravlični profil
- procesni tok in masno bilanco
- splošni načrti z objekti (napravami) in glavnimi prostorskimi zahtevami opreme
- načrt elektrike
- osnovna instrumentacija in način kontrole (nadzora) in diagramsko zasnovo
- arhitekturna predstavitev

Pripraviti je potrebno tudi urnik gradnje za zagotavljanje da lahko obstoječa naprava še naprej deluje in izpolnjuje predpisane omejitve mejnih vrednosti za iztok dokler nadgradnja ni vključena v obratovanje. Priporočen načrt se nato predstavi za javno odobritev in izvršitev.

V tem poglavju so predstavljeni splošni pristopi k nadgradnji obstoječih naprav, razloženo je, kako se določi merila uspešnosti za nadgradnjo in ponuja preglednice, katere se lahko uporabi za selekcioniranje izvedljivih tehnologij skupaj z dejavniki izbira, ter načrtovalnimi in obratovalnimi dejavniki, ki lahko pripomorejo pri izbiri prave tehnologije za posamezen kraj. Načrtovanje posodobitve procesa vključuje predvidevanje prihodnjih bremen, ocenjevanje obstoječih zmogljivosti, priprava masne bilance, ki vključuje vse povratne tokove in recikelne tokove in obremenitve, razvijanje potrebnih razširitev in nadgradnjo, ki bi morala vsebovati prilagodljivost delovanja naprave zaradi upoštevanja prihodnjih negotovosti, ocena izvedljivih tehnologij in izbiro priporočenega načrta.

Razvije se lahko seznam tehnologij, ki so lahko izpolnjujejo željen cilj mejnih vrednosti iztoka za dušik in fosfor. Dejavnike izbora tehnologije se nato pregleda za vsako posamezno alternativo.

Naslednji korak je identifikacija in ocena možnih tehnologij na osnovi dejavnikov načrtovanja in obratovanja in stroškovnih dejavnikov.

Pomembni premisleki vključujejo kako vključiti fleksibilnost v pričakovanju negotovosti in spreminjajočih se pogojev pri lastnostih odpadne vode in predpisih. Dejavniki potrebni

premisleka vključujejo ekvalizacijo (izravnavo) pretoka, število prehodnih con, alternativne načine delovanja in varnostne faktorje.

Projektna skupina mora izbrati priporočeni proces v skladu z uveljavljenimi kriteriji uspešnosti.

Priporočeno možnost procesa mora spremljati načrt izvedbe, ki vključuje splošni raspored, financiranje, operativni in gradbeni načrt, stroške in zagonsko proceduro. Uspešnost nadgradnje bo zagotovitev popolne skladnosti z novimi predpisi z dobro zanesljivostjo na najbolj trajnostni način (poraba energije in kemikalij, ter recikliranje bioloških trdnih snovi) (MNRT, 2008).

## 5 CENTRALNA ČISTILNA NAPRAVA ŠKOFJA LOKA

Centralna Čistilna Naprava (CČN) Škofja Loka (slika 58) je mehansko-biološka čistilna naprava z anaerobno stabilizacijo blata in izkoriščanjem bioplina za proizvodnjo elektrike in toplote. Njena kapaciteta (zmogljivost) je 85000 populacijskih enot. Locirana je ob reki Sori, v naselju Suha in deluje od leta 1974 dalje. V letih 1981 in 1991 je bila tudi dograjena in s tem povečana na današnjo velikost in zmogljivost (85000 PE). Zgrajena in dograjena pa je bila po posameznih stopnjah (leta 1981 je bila dograjena druga, leta 1991 pa tretja biološka stopnja).

Lastnica čistilne naprave je občina Škofja Loka, v skladu s koncesijsko pogodbo pa jo upravlja Loška komunala d.d. Škofja Loka. Občina Škofja Loka odloča in vodi postopke o investicijah in investicijskem vzdrževanju.

Na CČN Škofja Loka doteka odpadna voda iz gospodinjstev, industrije in negospodarskih dejavnosti iz mesta Škofja Loka in naselij v okolici Škofje Loke. Na čistilni napravi poteka čiščenje komunalnih odpadnih vod iz naselij, padavinskih in industrijskih (tehnoloških) odpadnih vod iz podjetij v Škofji Loki (Gorenjska Predilnica, Šešir, Klavnica, KGZ - Mlekarna, Mlinotest Peks, TCG Unitech Lth-ol, Viator & Vektor, Knauf Insulation, EGP, Obdelava tekstilij Šinkovec, Pralnica avtomobilov OMV).

Trenutno je na javno kanalizacijo priključenih cca. 15800 prebivalcev, ostalo obremenitev CČN ŠKL pa predstavlja onesnažena padavinska in komunalna ter industrijska odpadna voda gospodarske in negospodarske dejavnosti.

Odpadne vode pritekajo po mešanem kanalizacijskem sistemu. Delež industrijskih (tehnoloških) odpadnih vod v skupni količini ne presega 40 %, ostalo količino vod predstavljajo gospodinjstva in negospodarske dejavnosti. Čistilna naprava Škofja Loka se glede na odstotek obremenitve z industrijskimi (tehnološkimi) vodami uvršča med komunalne čistilne naprave.

Kljub temu, da je zmogljivost CČN Škofja Loka velika, pa je iz analiz odpadne vode na dotoku na CČN Škofja Loka razvidno, da je občasno obremenjena tudi več kot 100%. Konice predstavljajo nedovoljeni saržni izpusti prekomerno obremenjene vode, ki pred izpustom v

javno kanalizacijo ni ustrezno pred-očiščena v skladu z veljavno zakonodajo, kar v tehnološkem procesu čiščenja na CČN ŠKL predstavlja velike probleme in zahteva veliko regulacij, da je tudi v takih primerih voda na izpustu v reko Soro očiščena v skladu s predpisi. Tehnološki proces je pod stalnim internim (24 ur dnevno, 365 dni na leto) in eksternim nadzorom. O vseh rezultatih terenskih meritev in laboratorijskih preiskav, s pripadajočim poročilom pooblaščenega izvajalca, so sproti direktno obveščeni: Občina Škofja Loka (lastnica CČN ŠKL), Loška komunala (upravljavec CČN ŠKL) in Okoljski inšpektorat, OE Kranj. Poleg vzorčenja in analiz odpadne vode se izvaja tudi monitoring blata iz CČN ŠKL in pridobi oceno odpadkov za odlaganje (iz grabelj in maščobnika), kar je prav tako zahteva veljavne zakonodaje. V sklopu upravljanja CČN ŠKL je sicer potrebno opravljati še veliko drugih meritev v skladu s predpisi.

**Glede na to, da CČN ŠKL deluje neprekinjeno že od leta 1974, da so nekateri objekti in oprema že dotrajani in zastareli, ter, da se je zakonodaja za izpust očiščene odpadne vode v vodotok bistveno dopolnila in zaostрила, je posodobitev CČN ŠKL NUJNA. V sklopu posodobitve je predvidena tudi izgradnja fekalne postaje za sprejem blata iz greznic (grezničnih vsebin) in iz malih komunalnih čistilnih naprav. Vse aktivnosti v zvezi s tem vodi lastnica CČN ŠKL – Občina Škofja Loka, pristojna za investicije in investicijsko vzdrževanje, ki je obnovo in dograditev CČN ŠKL, vključila v projekt, ki je vezan na sofinanciranje iz evropskih sredstev.**

Občina Škofja Loka (lastnica CČN in investitorica) je pomladi 2005 pridobila veljavno gradbeno dovoljenje za rekonstrukcijo predčiščenja in izgradnjo fekalne postaje za sprejem grezničnih vod. Občina Škofja Loka (kot lastnica CČN Škofja Loka in pristojna za investicije) je pridobila odločbo SVRL za EU sredstva za rekonstrukcijo CČN Škofja Loka, saj le-ta ni zgrajena za odstranjevanje celotnega dušika in tudi ne za odstranjevanje celotnega fosforja, katerih ustrezno čiščenje je predpisano najpozneje do 31.12.2015.



*Slika 58: Centralna Čistilna Naprava (CČN) Škofja Loka ([www.loska-komunala.si](http://www.loska-komunala.si))*

## 5.1 Glavne tehnične značilnosti čistilne naprave

### 5.1.1 Faze čiščenja čistilne naprave

Po dotoku na čistilno napravo gre odpadna voda skozi naslednje faze čiščenja (slika 59):

#### 1. Predčiščenje na MEHANSKI STOPNJI

grobe grablje, peskolov, fine grablje, maščobolovilec

#### 2. in 3. Čiščenje na ČISTILNIH BLOKIH (B1; B2)

primarni usedalnik odstrani usedljive delce iz vode

prezračevalnik – tu se odpadna voda pomeša z mikroorganizmi, ki ob prisotnosti kisika očistijo iz vode neusedljive nečistoče

sekundarni usedalnik – tu se mikroorganizmi, ki so svojo nalogo opravili usedajo, črpalke jih vrnejo v prezračevalnik, že čistejša voda pa odteče v naslednjo čistilno enoto

#### **4. Čiščenje na ČISTILNEM BLOKU (B3)**

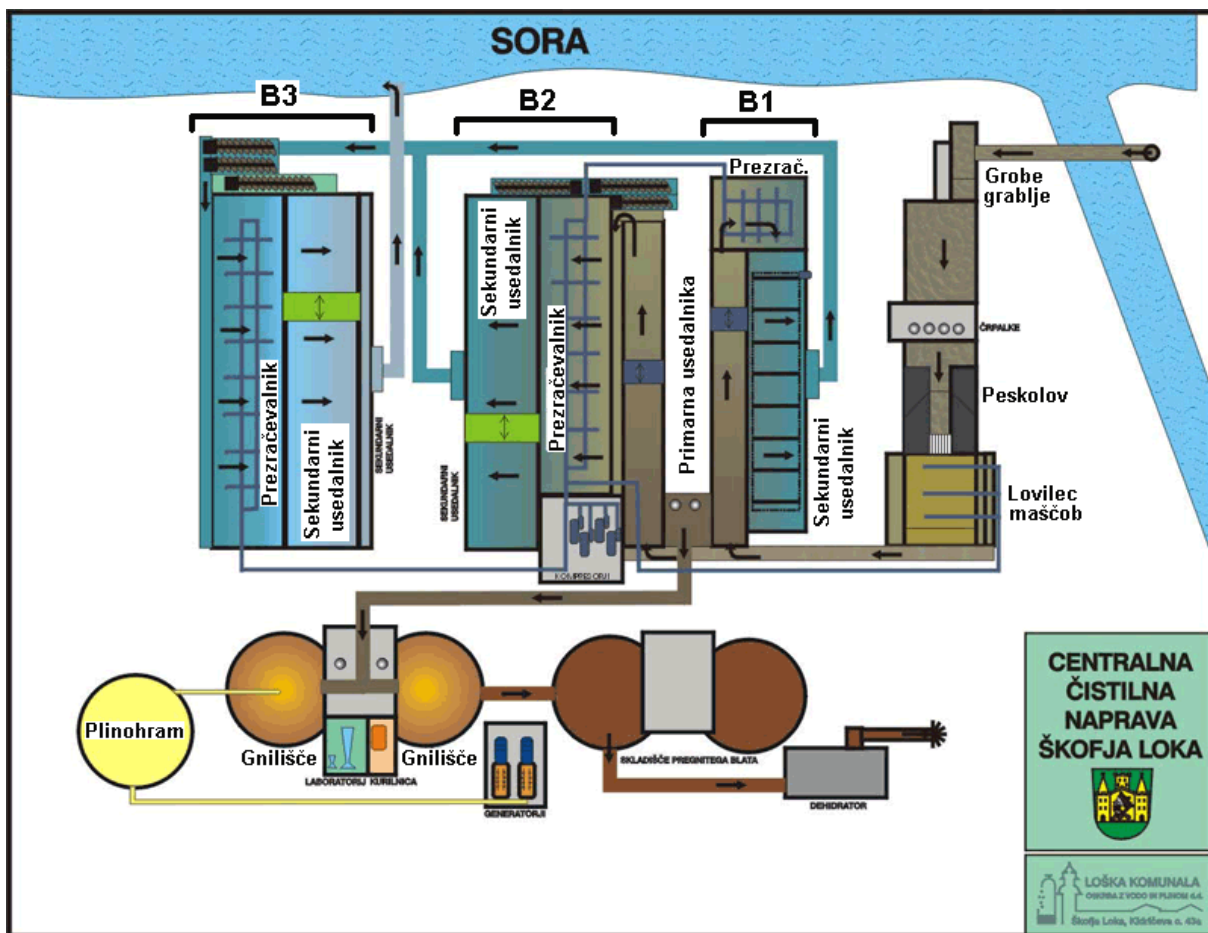
prezračevalnik – s pomočjo mikroorganizmov in kisika se tu odstranijo še preostale nečistoče iz odpadne vode

sekundarni usedalnik – mikroorganizmi, ki skupaj z vodo pritečejo v ta bazen, se tu usedejo, s pomočjo črpalk pa se vrnejo v prezračevalnik.

**5. Usedline iz primarnih usedalnikov in presežke mikroorganizmov** iz prezračevalnikov se prečrpavajo v GNILIŠČA, kjer se pridobiva bioplin in pregnito blato. **Bioplin se shranjuje v PLINOHRAMU** (slika 60), uporablja pa se ga za proizvodnjo električne energije ter dogrevanje gnilišč, saj kogenerator na CČN Škofja Loka proizvaja električno energijo in toploto. Vso proizvedeno električno energijo se porabi, preostalo potrebno za tehnološki proces pa se odvzema iz omrežja.

**6. Pregnito blato se skladišči v skladišču pregnitega blata, nato pa vodi skozi napravo za dehidracijo blata.** Odpadna voda, ki pri tem nastaja se vodi nazaj na dotok čistilne naprave, dehidrirano (osušeno) pregnito blato pa se odda v končno oskrbo po pooblaščenem prevzemniku.





Slika 59: Faze čiščenja čistilne naprave ([www.loska-komunala.si](http://www.loska-komunala.si))



Slika 60: Shema postopka pridobivanja bioplina ([www.loska-komunala.si](http://www.loska-komunala.si))

### 5.1.2 Opis tehnologije čiščenja

CČN Škofja Loka se je začela graditi leta 1972, zgrajena je bila v posameznih stopnjah. Leta 1981 je bila dograjena druga biološka stopnja in povečana zmogljivost na 55.000 PE, leta 1991 je bila dograjena še tretja biološka stopnja in povečana zmogljivost.

Čiščenje odpadne vode se začne z dvojnimi ročnimi grabljami (groba in fina razporeditev). Preko črpalk se nato vodi v peskolov in ozračen maščobnik. Tok odpadne vode se razdeli na dva vzporedna tokova v čistilni enoti B1 in B2. Posamezna enota je sestavljena iz primarnega usedalnika, aeracije in sekundarnega usedalnika.

Od junija 2000 je sistem vpihovanja dopolnjen tako, da se količina potrebnega zraka v aeraciji prilagaja dejanskim potrebam (3 kompresorji). V letu 2003 se je vpihovanje avtomatiziralo preko treh on-line merilnih sond za kisik in s frekvenčnimi regulatorji na puhalih. Po iztoku iz sekundarnih usedalnikov se tokova združita in voda teče v čistilno enoto B3. Ta enota je

sestavljena iz aeracije in sekundarnega usedalnika. Po iztoku iz sekundarnega usedalnika prečiščena voda odteka v reko Soro.

Anaerobno stabilizirano in dehidrirano blato iz CČN se je v letu 2009 uporabilo za prekrivko v okviru načrta neizvedenih del na zaprtem odlagališču Draga.

Dehidrirano blato iz gnilišč se je v preteklih letih uporabljalo za prekrivni material na odlagališču nenevarnih odpadkov v Dragi. Tako ravnanje z blatom ni več mogoče, zato je bilo potrebno poiskati drugo končno obdelavo blata, ki je stranski produkt čiščenja odpadne vode.

### 5.1.3 Objekti naprave in njihove prostornine

Posamezni objekti - faze čiščenja so sledeči:

- **predčiščenje:** grablje, zadrževalni bazen deževnih vod  $V=98$  m<sup>3</sup>, črpališče, peskolov in maščobnik  $V=350$  m<sup>3</sup>
- **čistilni blok B1:** primarni usedalnik  $V=350$  m<sup>3</sup>, ozračevalni bazen z Messnerjevimi blazinami  $V=520$  m<sup>3</sup>, sekundarni usedalnik  $V=750$  m<sup>3</sup>
- **čistilni blok B2:** primarni usedalnik  $V=500$  m<sup>3</sup>, ozračevalni bazen z Messnerjevimi blazinami  $V=1500$  m<sup>3</sup>, sekundarni usedalnik  $V=850$  m<sup>3</sup>
- **čistilni blok B3:** ozračevalni bazen z Messnerjevimi blazinami  $V=1800$  m<sup>3</sup>, sekundarni usedalnik  $V=1050$  m<sup>3</sup>.
- **gnilišče** (odprto in zaprto)  $V=2950$  m<sup>3</sup>

## 5.2 Poročilo o obratovalnem monitoringu za KČN Škofja Loka

### Osnova za izdelavo poročila o obratovalnem monitoringu:

Pravilnik o prvih meritvah in obratovalnem monitoringu odpadnih vod ter o pogojih za njegovo izvajanje (Ur. l. RS, št. 74/07).

Odredba o obliki poročila o občasni ali trajni meritvah v okviru obratovalnega monitoringa odpadnih vod (Ur. l. RS, št. 1/01, 106/01 in 13/04)

Predpisani obratovalni monitoring obsega 24 vzorčenj odpadne vode letno, na dotoku in iztoku iz CČN ŠKL, ter nato analizo v pooblaščenem laboratoriju. **O vseh rezultatih laboratorijskih preiskav odpadne vode iz CČN ŠKL, s pripadajočim poročilom o vzorčenju in vrednotenju, so sproti direktno obveščeni: Občina Škofja Loka (lastnica CČN ŠKL), Loška komunala (upravljavec CČN ŠKL) in Okoljski inšpektorat, OE Kranj.** Poleg tega se na CČN ŠKL izvaja tudi monitoring blata in vse ostale predpisane meritve in umerjanja. Loška komunala, kot upravljavec CČN ŠKL, mora zagotavljati tudi **redni dnevni monitoring** odpadne vode, vse dni v letu, na dotoku in iztoku iz CČN ŠKL, zaradi česar je opremila laboratorij na CČN ŠKL, da se lahko v njem izvajajo analize odpadne vode na parametre, ki jih za komunalne čistilne naprave določa veljavna zakonodaja, opravljajo pa se še nekatere druge meritve, ki so potrebne za obvladovanje tehnološkega procesa čiščenja odpadne vode in pridobivanje bioplina.

V letu 2009 se je na čistilni napravi očistilo 1.840.000 m<sup>3</sup> odpadne vode, dehidriralo 3011,96 m<sup>3</sup> blata in proizvedlo 153.260 m<sup>3</sup> plina. Letni povprečni učinek čiščenja v letu 2009 je po: KPK 96,2% in BPK5 98,9%, kar je odlično. CČN Škofja Loka pa v veliki večini opravljenih analiz ne dosega mejne vrednosti za celotni dušik in celotni fosfor, ker v ta namen ni bila zgrajena, kajti to so **zahteve zakonodaje, uveljavljene v letih 2007 in 2009**, katerim **se mora CČN Škofja Loka prilagoditi najpozneje 31.12.2015.**

V letu 2009 ni bilo zastojev v delovanju celotne CČN, je pa naprava kar 32 dni delovala z zmanjšano močjo, zaradi različnih okvar v tehnologiji CČN Škofja Loka, katerih odprava je trajala od nekaj ur do več dni. Najdlje je trajala odprava okvare na verižnem strgalu B1, kar 26 dni. En dan je trajal izpad primarnega usedalnika B2, zaradi okvare na mostu, skupno 5 dni v letu 2009 pa so bili zaustavljeni mostovi zaradi sneženja ali žledu (če se seštejejo ure zaustavitev v sedmih dneh).

### 5.2.1 Obseg in vrsta meritev in analiz

CČN Škofja Loka ima nazivno kapaciteto (zmogljivost) čiščenja 85.000 PE tako, da je potrebna pogostost meritev 24-krat/leto. Na dotoku oziroma iztoku na/iz CČN so se tako v letu 2009 opravila vsa predpisana vzorčenja. Vzorec za kemijsko analizo se je vsakokrat

pridobil z 24 h vzorčenjem dotoka ali iztoka, kar je v skladu z zakonodajo (časovno proporcionalni vzorci). Pri izvajanju vzorčenj so se na podlagi pričakovane količine vode smiselno upoštevali predvideni zadrževalni čas na napravi.

Na dotoku in iztoku na/iz CČN so se analize opravile na osnovne parametre za komunalne čistilne naprave (**neraztopljene snovi, KPK in BPK5**) ter v skladu z Uredbo o emisiji snovi pri odvajanju odpadne vode iz komunalnih čistilnih naprav (Ur. l. RS, št. 45/07 in 63/09) - novi 6.a člen še parametre **amonijev dušik, celotni dušik**, ki je vsota nitratnega-N, nitritnega-N in **dušika po Kjeldahlu** (N-organski + N-NH<sub>4</sub>), in celotni fosfor. Analiza na parameter **usedljive snovi** se je opravila na podlagi dogovora za namen spremljanja kakovosti vstopne odpadne vode in delovanja CČN.

Meritve količin odpadnih vod na dotoku na CČN se ne izvajajo (pretoka ni mogoče meriti brez vpliva recikla). Pretok se trajno meri na iztoku iz CČN.

Mesto in čas vzorčenja in analiz

→ Zaporedna številka: 1

Naziv mernega mesta: DOTOK NA ČN ŠKOFJA LOKA

Gauss-Krüger koordinata dotoka: X=113486 Y=447967

→ Zaporedna številka: 2

Naziv mernega mesta: IZTOK IZ ČN ŠKOFJA LOKA

Gauss-Krüger koordinata iztoka: X=113441 Y=448016

Iztok v vode: DA (Sora)

Čas vzorčenja in analiz je razviden iz preglednice v prilogi A: Podatki o meritvah na vtoku in iztoku, v kateri je naveden datum in čas začetka posameznega vzorčenja v letu 2009.

Pri izvajanju vzorčenj na dotoku/iztoku se je upošteval zadrževalni čas 24 h, ki predstavlja dejanski povprečni zadrževalni čas glede na količino obdelane odpadne vode in sam skupni volumen bazenov CČN.

### Letni povprečni učinek čiščenja ČN za leto 2009

Po KPK	96,2
Po BPK <sub>5</sub>	98,9
Po celotnem fosforju	60,2
Po celotnem dušiku	53,3

#### 5.2.2 Vrednotenje izmerjene emisije

- **Vrednotenje po 13. členu Uredbe o emisiji snovi in toplote pri odvajanju odpadnih vod v vode in javno kanalizacijo (preseganje mejnih vrednosti)**

Vrednotenje emisije snovi in ugotavljanje čezmerne obremenitve okolja za KČN: 13. in 14. Člen, Uredbe o emisiji snovi in toplote pri odvajanju odpadnih vod v vode in javno kanalizacijo (Ur. l. RS, št. 47/05, 45/07 in 79/09).

Mejne vrednosti so povzete po Uredbi o emisiji snovi pri odvajanju odpadne vode iz komunalnih čistilnih naprav (Ur. l. RS, št. 41/07 in 63/09) - **novi 6.a člen: za KČN  $\geq 10.000 < 100.000$  PE, vodno območje Donave, terciarno čiščenje**. Celotni dušik je vsota dušika po Kjeldahlu (N-organski + N-NH<sub>4</sub>), nitratnega dušika (N-NO<sub>3</sub>) in nitritnega dušika (N-NO<sub>2</sub>). Mejna vrednost za amonijev in celotni dušik se uporablja pri temperaturi odpadne vode 12 st. C in več na iztoku areacijskega bazena.

- **Vrednotenje po 14. členu Uredbe o emisiji snovi in toplote pri odvajanju odpadnih vod v vode in javno kanalizacijo (ugotavljanje čezmerne obremenitve)**

Z uveljavitvijo Uredbe o spremembah Uredbe o emisiji snovi pri odvajanju odpadne vode iz komunalnih čistilnih, Ur. l. RS, št. 63/09, 07.08.2009, je za območje poselitve Škofja Loka in s tem za CČN Škofja Loka zahtevana zagotovitev terciarnega čiščenja, kar pomeni dodatno odstranjevanje dušika in fosforja. Uredba tudi določa prehodne roke:

*»(prehodni roki za čiščenje komunalne odpadne vode na vodnem območju Donave)*

*(1) Ne glede na novi 6.a člen uredbe mora biti za odpadno vodo z območij poselitve z obremenitvijo, enako ali večjo od 10.000 PE, ki se odvaja po javni kanalizaciji, pred*

*posrednim ali neposrednim odvajanjem v vode na vodnem območju Donave na območjih, ki niso prispevno območje občutljivih območij, zagotovljeno terciarno čiščenje najpozneje do 31. decembra 2015.*

*(2) Ne glede na prejšnji odstavek mora upravljavec obstoječe komunalne ali skupne čistilne naprave zagotoviti, da se obratovanje čistilne naprave prilagodi zahtevam, ki veljajo za odvajanje komunalne odpadne vode na vodnem območju Donave na območjih, ki niso prispevno območje občutljivih območij, najpozneje sedem let po uveljavitvi te uredbe.«*

**Preseganje mejne vrednosti** je bilo zaznati pri parametrih:

- ~ amonijev dušik pri samo eni občasni meritvi, zgolj za 14 % mejne vrednosti,
- ~ celotni dušik pri 58 % predpisanih občasnih meritvah; pri 6 meritvah je izmerjena vrednost presegala mejno za več kot 100% (15 mg/l po novem 6.a členu),
- ~ celotni fosfor pri 7 meritvah je izmerjena vrednost presegala mejno za več kot 100% (2 mg/l po novem 6.a členu).

**Glede na izmerjene rezultate je potrebno v prehodnem obdobju do 31.12.2015 na obstoječi ČN izvesti rekonstrukcijo ČN tako, da bo zagotavljala tretjo stopnjo čiščenja, to je odstranjevanje celotnega dušika in celotnega fosforja skladno z Uredbo.**

**KČN povzroča čezmerno obremenitev okolja, če je pri več kot 20 % občasnih meritev ugotovljeno preseganje mejne vrednosti ali ena od izmerjenih vrednosti katerega koli parametra presega mejno vrednost za več kot 100 % oz. je letna povprečna vrednost učinka čiščenja manjša od mejne vrednosti za letni povprečni učinek čiščenja KČN.**

Odvajanje odpadne vode iz CČN Škofja Loka ni na prispevnem območju občutljivih območij, določenih v 7. členu navedene Uredbe: zaradi eutrofikacije in kopalnih vod.

## **6 SIMULACIJA PROCESOV Z APLIKACIJO AQUIFAS IN IDEJNA ŠTUDIJA POSODOBITVE CČN ŠKOFJA LOKA**

V tem poglavju je izvedena simulacija procesa obstoječega stanja tehnologije oziroma sistema procesov čiščenja odpadne vode na CČN Šk. L. s pomočjo aplikacije Aquifas. Ta korak je narejen oziroma izveden z namenom pridobivanja vpogleda v delovanje aplikacije Aquifas in preverjanja realnosti izhodnih rezultatov, ki nam jih aplikacija izračuna na podlagi določene zasnove procesa in parametrov vtoka. Glede na povprečne letne vrednosti parametrov na vtoku na čistilno napravo uporabljenimi za simulacijo bo narejena primerjava med izračunanimi iztočnimi vrednostmi s simulacijo z aplikacijo Aquifas in znanimi povprečnimi letnimi vrednostmi parametrov na iztoku.

Ključni del v tem poglavju bo zasnovati idejno študijo posodobitve CČN Šk. L., ki bo temeljila na procesu  $A^2O$ , ki spada v najosnovnejši biološki proces istočasnega odstranjevanja hraniv, kot sta dušik in fosfor. Ta del naloge bo obsegal prikaz umestitve procesa v obstoječo razporeditev in kapaciteto bazenov in simulacijo procesa z aplikacijo Aquifas. S simulacijo procesa bodo glede na vhodne podatke za vtok na čistilno napravo in značilno zasnovo  $A^2O$  procesa iskane optimalne rešitve (optimalne vrednosti) za parametre, kot so delež povratnega blata, starost blata in stopnja nitrificirane recirkulacije. Končne vrednosti teh parametrov bodo morale biti znotraj realnih območij. Rezultati iztočnih vrednosti parametrov pridobljeni s simulacijo po optimizaciji pa bodo morali biti takšni, da ne presegajo mejnih vrednosti določenih s predpisi.

### **6.1 Simulacija procesa obstoječega stanja tehnologije čiščenja odpadne vode na CČN Škofja Loka**

Simulacija obstoječega stanja na CČN Škofja Loka je simuliran z osrednjim delom aplikacije Aquifas. Podatki, ki sem jih vstavil v aplikacijo so prikazani po poglavjih, kot so le-ti razdeljeni po delovnih listih. Podatki za parametre vtoka na čistilno napravo (kot so koncentracije KPK, BPK<sub>5</sub>, N, P, TSS, temperatura odpadne vode, povprečni dnevni pretok,...) in lastnosti reaktorjev (kot so volumni reaktorjev in sekundarnih usedalnikov,...),



ki so potrebni za preračun z aplikacijo Aquifas, so pridobljeni iz obratovalnega monitoringa CČN Šk. L. za leto 2009 (Priloga A). Ostali podatki (kot so starost blata, stopnja povratnega aktivnega blata, globina bazenov, koncentracije raztopljenega kisika v prezračevalnih bazenih,...) pridobljeni s strani vodje vzdrževanja CČN Šk.L. Antona Ferdina in vodje laboratorija na čistilni napravi dipl. inž. kem. tehn. Mojce Müller. V nadaljevanju so predstavljeni tip simulacije, lastnosti vtoka, konfiguracija reaktorja ter njegovi parametri ter rezultati, ki so podani tako v tabelarični kakor tudi v obliki grafikonov.

### 6.1.1 Tip simulacije

Na delovnem listu tip simulacij so izbrani stacionarni pogoji oziroma razmere, saj uporabljamo povprečne letne vrednosti parametrov vtoka na napravo. Enote v katerih vnašamo parametre so metrične. Ostalih nastavitvev na tem delovnem listu ne spreminjamo, ker jih za ta primer ni potrebno. Preglednica 28 prikazuje odsek delovnega lista v katerega so vnešene te nastavitve.

*Preglednica 28: Odsek preglednice v kateri se določi tip simulacije in enot*

<b>Simulation</b>				
Select Steady State or Dynamic				<b>Steady State</b>
Units				<b>Metric</b>

### 6.1.2 Lastnosti vtoka

Lastnosti vtoka v biološki del čistilne naprave morajo biti merjene na vtoku obravnavane čistilne naprave ali pa (ob pomanjkanju merjenih) morajo biti izračunane njihove približne vrednosti iz ostalih znanih vrednosti koncentracij snovi v odpadni vodi. Pri stacionarnih pogojih oziroma razmerah morajo biti vrednosti blizu povprečnim vrednostim za 24 ur ter prav tako povprečju, merjenem za daljše obdobje. Vrednosti, ki sem jih uporabil v tem primeru so povprečne letne vrednosti odpadne vode na vtoku v ČN Škofja Loka. Podatki so vzeti iz obratovalnega monitoringa za leto 2009 (preglednica 29). Aplikacija ne omogoča simulacije primarne obdelave in predčiščenja zato je potrebno podatke za vtok na čistilno

napravo ustrezno zmanjšati saj se določen delež nekaterih snovi (koncentracija teh snovi) s temi procesi odstrani. S tem je mišljeno predvsem na koncentracije neraztopljenih snovi in BPK<sub>5</sub>. Ker so vrednosti izmerjene na vtoku pred primarno obdelavo sem upošteval zmanjšanje dveh parametrov in sicer BPK<sub>5</sub> za 25 procentov (literatura navaja 20 do 35 procentno zmanjšanje (Roš, 2001)) in suspendirane snovi za 55 procentov (literatura navaja 50 do 65 procentno zmanjšanje (Roš, 2001)).

*Preglednica 29: Podatki za povprečne letne vrednosti parametrov na vtoku na CČN Šk. L. za leto 2009*

Zap. št. param.	Naziv parametra		Mejna vrednost	Povprečna vrednost	Preračunana vrednost
200	Q v času vzor. (m <sup>3</sup> )	dotok	/	5167,4	
		iztok	/	5167,4	
1	Temperatura	dotok	/	16,3	
		iztok		15,8	
2	pH	dotok	/	8,2	
		iztok	-	7,0	
53	Neraztop. Sn. (mg/l)	dotok	/	596,3	298
		iztok	35	7,1	
26	Amonijev dušik (mg/l)	dotok	/	30,68	
		iztok	10*	1,81	
38	KPK (mg/l)	dotok	/	1367	954
		iztok	110	48	
		(%)	učinek	80	96,18
39	BPK <sub>5</sub> (mg/l)	dotok	/	636	477
		iztok	20	7	
		(%)	učinek	90	98,89
33	Celotni fosfor (mg/l)	dotok	/	13,3	
		iztok	2	4,96	
		(%)	učinek	80	60,18
60	Celotni dušik (mg/l)	dotok	/	68,4	
		iztok	15*	31,8	
		(%)	učinek	70	53,26
28	Nitratni dušik (mg/l)	dotok	/	0,08	
		iztok	-	27,43	
27	Nitritni dušik (mg/l)	dotok	/	0,08	
		iztok	-	0,27	
61	Kjeldahlov dušik (mg/l)	dotok	/	68,13	
		iztok	-	4,22	
4	Usedljive sn. (ml/l)	dotok	/	30,38	
		iztok	-	0,35	

Manjkajoče vrednosti nekaterih parametrov, katerih vnos zahteva aplikacija Aquifas, sem izračunal s pomočjo excellove preglednice za karakterizacijo vtoka (preglednica 30), ki jo avtor programa ponuja skupaj z aplikacijo. Vrednost parametra KPK je izračunana iz vrednosti parametra BPK5, ki je bil pred tem zmanjšan za 25% procentov, zaradi upoštevanja primarne obdelave. Znale vrednosti ostalih parametrov so za izračun manjkajočih vrednosti parametrov puščene nespremenjene.

*Preglednica 30: Uporabljeni pristop za določevanje manjkajočih parametrov vtoka v reaktor*

<b>Method 1: Data is available on Priority 1 parameters BOD5 and TSS</b>									
Parameter			Your Value (mg/L)		Priority for Analysis				
BOD5			477	as BOD5	1				
TSS			298	as TSS	1				
Computed Values	Typical formula	Multiplier in formula	Value (mg/L)		Priority for Analysis				
<b>Solids</b>									
VSS	0.8 TSS	0,8	238,4	as VSS		2			
<b>Organics</b>									
SBOD5	BOD5 - 0.5 VSS	0,5	357,8	as BOD5					
COD	2 x BOD5	2	954	as COD		2			
SCOD	COD - VSS	1	715,6	as COD				4	
SCODfloc	0.75 SCOD	0,75	536,7	as COD					
PCOD	COD - SCOD		238,4	as COD					
VFA	0.25 SBOD5	0,25	89,45	as COD					
SCODnbio	10% of SCOD	0,1	71,56	as COD				4	
PCODnbio	20% of PCOD	0,2	47,68	as COD					
<b>Nitrogen Series</b>									
TKN	10% of COD	0,1	68	as N		2			
SKN	TKN - 0.1 VSS	0,1	44,16	as N					
NH4N	0.8 SKN	0,8	31	as N		2			
PTKN	TKN - SKN		23,84	as N					
SKNnbio	2.5% of SKN	0,025	1,104	as N			3		
PTKNnbio	5% of PTKN	0,05	1,192	as N			3		
NO2N	close to 0		0	as N				4	
NO3N	close to 0		0	as N				4	
<b>Phosphorus Series</b>									
TP	1.5% of COD	0,015	13,3	as P		2			
TSP	TP - 0.015 VSS	0,015	9,724	as P					
OP	0.8 TSP	0,8	7,8	as P		2			
PP	TP - PP		3,576	as P					
TSPnbio	1% of TSP	0,01	0,09724	as P					
PPnbio	2% of PP	0,02	0,07152	as P					

<b>Inerts VSS</b>									
	0.75 * PCODnbio	0,75	35,76	as SS					
<b>Others</b>									
Alkalinity	BOD5	1	477	as CaCO3	2				
	1.5 x BOD5	1,5	715,5	as CaCO3					
Calcium	BOD5	1	477						
Magnesium	0.5 x BOD5	0,5	238,5						
Potassium	0.25 x BOD5	0,25	119,25						

V preglednici 31 so prikazane v delovni list lastnosti vtoka vstavljene znane dejanske povprečne letne vrednosti parametrov na vtoku na CČN Šl. L. in iz znanih vrednosti teh parametrov izračunane ostale vrednosti parametrov, katerih vnos zahteva aplikacija Aquifas .

*Preglednica 31: Povprečne letne vrednosti vtoka v reaktor vstavljene v program Aquifas*

<b>Reactor Influent (Average Values)</b>			
Flow	Enter in Cell D59, Sheet Reactor Parameters	m3/d	<b>5167</b>
<b>IWA ASM Definitions</b>			
TSS		mg/L	<b>298</b>
VSS	$X_S * i_{TSSXS}$	mg/L	<b>238</b>
Inert SS	$X_I * i_{TSSXI}$	mg/L	<b>36</b>
SBOD5		mg/L	<b>358</b>
BOD5		mg/L	<b>477</b>
VFA as SCOD	$S_A$ , Volatile Fatty Acids	mg/L	<b>89</b>
SCODflocculated	Flocculated and filtered: $S_A + S_F + S_I$	mg/L	<b>537</b>
SCOD	Filtered - analytically soluble	mg/L	<b>716</b>
COD	Total COD: $S_A + S_F + S_I + X_I + X_S$	mg/L	<b>954</b>
SCODnbio	$S_I$ , Inert (Non biodegradable) SCOD,	mg/L	<b>72</b>
PCODnbio	$X_I$ , Inert (Non biodegradable Particulate) COD	mg/L	<b>48</b>
NH4N	$S_{NH4}$	mg/L	<b>31</b>
SKN	$S_{TKN} = S_{NH4} + S_F * i_{NSF} + S_I * i_{NSI}$	mg/L	<b>44</b>
TKN	$X_{TKN} + S_{TKN}$	mg/L	<b>68</b>
NO2N	$S_{NO2}$	mg/L	<b>0</b>
NO3N	$S_{NO3}$	mg/L	<b>0</b>
SKNnbio	Inert (Non biodegradable) SKN: $S_I * i_{NSI}$	mg/L	<b>1,1</b>
PTKNnbio	Inert (Non biodegradable Particulate) TKN: $X_I * i_{NXI}$	mg/L	<b>1,2</b>

OP	$S_{PO_4}$	mg/L	7,8
TSP	$S_{TP} = S_{PO_4} + S_F * i_{PSF} + S_I * i_{PSI}$	mg/L	9,7
TP	$X_{TP} + S_{TP}$	mg/L	13,3
TSPnbio	Inert (Non biodegradable) Total Soluble P: $S_F * i_{PSF}$	mg/L	0,097
PPnbio	Inert (Non biodegradable) Particulate P: $X_I * i_{PXI}$	mg/L	0,071
Alkalinity	mg/L as $CaCO_3$	mg/L	477
DO		mg/L	1
Ca - sol	Soluble Calcium	mg/L	477
Mg - sol	Soluble Magnesium	mg/L	238
Fraction SCODb fe max	Max fraction of $S_F$ fermentable	Fraction	1
Fraction PCODb fe max	Max fraction of $X_S$ fermentable	Fraction	1
Fraction of Particulate COD (PCOD) that is enmeshed		Fraction	0,8

V modelu so dodani tudi varnosti računi, ki opozarjajo na razmerja med snovmi v vtoku. Ti izračuni opozarjajo, da v primeru razmerja KPK/TKN manjšega od 20 ter razmerja KPK/TP manjšega 100, vodi primanjkuje potrebnih nutrientov. V primeru da je razmerje  $KPK/(TKN+NO_x-N)$  manjše od 5, pa to pomeni, da vtok nima zadostne količine KPK za denitrifikacijo. V tem primeru so razmerja ustrezna kar je razvidno iz preglednice 32.

*Preglednica 32: Pregled izračunanih razmerij in prikaz ustreznosti le-teh.*

COD/TKN	COD/TP	COD/TN
14,03	71,73	14,03
OK	OK	OK

### 6.1.3 Konfiguracija reaktorja

Obstoječa tehnologija čiščenja odpadne vode na CČN Šk. L. je opisana v poglavju 5.1.2, objekti naprave in njihove prostornine pa so navedene v poglavju 5.1.3. Konfiguracija reaktorjev in sekundarnih usedalnikov na CČN Šk. L. je za simulacijo v aplikaciji Aquifas zelo neugodna saj le-ta ne omogoča simulacije takšne zasnove toka skozi napravo, kjer se izmenjujejo reaktorji in sekundarni usedalniki zaporedno.

Zato bi bilo potrebno opraviti simulacijo procesov trikrat in sicer posebej za čistilna bloka B1 in B2, v katera doteka surova odpadna voda po primarni obdelavi oziroma čiščenju in nato za

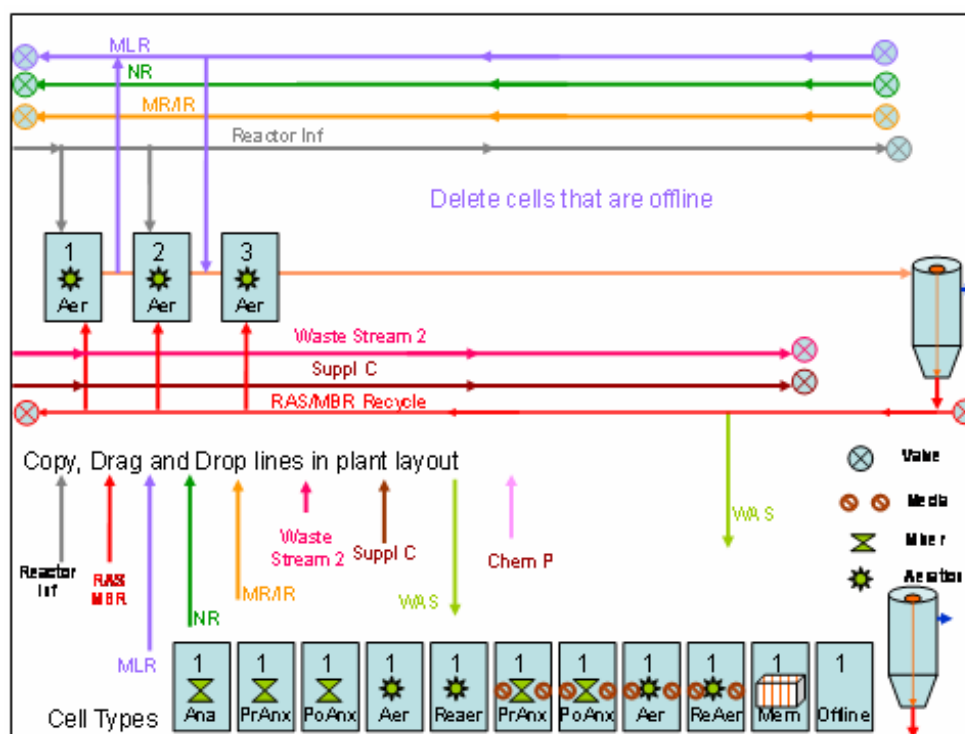
del naprave, ki vsebuje čistilni blok B3, v katerega doteka združen iztok iz čistilnih blokov B1 in B2 v katerih se je izvršila delna sekundarna obdelava (izvršilo delno sekundarno čiščenje). Lastnosti vtoka v čistilni blok B3 bi dobili s simulacijo procesov skozi čistilna bloka B1 in B2, ki nam bi dala različne vrednosti parametrov iztoka. Povprečne vrednosti parametrov vtoka v čistilni blok B3 bi morali izračunati iz deležev pretoka in vrednosti posameznih parametrov odpadne vode, ki bi jih dobili s posamezno simulacijo za vsakega od čistilnih blokov.

Zaradi poenostavitve simulacije obstoječe konfiguracije reaktorjev in sekundarnih usedalnikov poteka simulacija toka odpadne vode skozi napravo po sledečem načinu. Surova odpadna voda se razdeli na dva dela in sicer teče v prezračevalnik čistilnega bloka B1 s prostornino 520 m<sup>3</sup> 40% surove odpadne vode, kar znaša 2067 m<sup>3</sup>. V čistilni blok B2 s prostornino 1500 m<sup>3</sup> priteče 60% surove odpadne vode, kar znaša 3100 m<sup>3</sup>. Ta del konfiguracije sledi realnemu stanju na obstoječi napravi.

Aplikacija Aquifas nam omogoča postavitev dveh zaporednih čistilnih enot. Taka postavitev je izvedena tudi v tem primeru, tako da iztok iz prvega prezračevalnega bazena ne teče skozi drugega ampak je preusmerjen mimo, čprav so v konfiguraciji postavljena zaporedno. To je izvedeno z določitvijo MLR toka, ki se izračuna na naslednji način.

Vtok surove odpadne vode v prvi prezračevalni bazen je  $0,4 \times Q$ . Celotna količina povratnega aktivnega blata je  $0,5 \times Q$  in od tega gre v prvi prezračevalni bazen 14%. Tako znaša količina MLR pretoka  $0,4 \times Q + 0,14 \times 0,5 \times Q = 0,47 \times Q$ .

Iztoka iz prezračevalnikov čistilnega bloka B1 in B2 se združita in tečeta v prezračevalnik čistilnega bloka B3 s prostornino 1800 m<sup>3</sup>. Vsi tri sekundarni usedalniki so združeni v eno enoto, ki je v simulaciji nameščena na koncu, kar je edina možnost v aplikaciji Aquifas. Volumen te enote znaša 2650 m<sup>3</sup>. Povratno aktivno blato se glede na volumen posameznega prezračevalnega bazena razdeli na tri dele in sicer prejema prvi bazen 14%, drugi 40% in tretji 46% celotne količine povratnega aktivnega blata (RAS). Celotno konfiguracijo shematsko prikazuje slika 61.



Slika 61: Shematični prikaz postavitve celic reaktorja in usedalnika za obstoječe stanje

#### 6.1.4 Parametri reaktorja

Skupni volumen vseh treh prezračevalnih bazenov je  $3820 \text{ m}^3$ . Volumen prezračevalnika enote B1 je  $520 \text{ m}^3$  kar znaša približno 14% celotnega volumna. Volumen prezračevalnika enote B2 je  $1500 \text{ m}^3$  kar znaša približno 40% celotnega volumna. Volumen prezračevalnika enote B3 je  $1800 \text{ m}^3$  kar znaša približno 46% celotnega volumna. Po podatkih, ki sem jih dobil od dipl. inž. kem. tehnol. Mojce Müller znaša povprečna koncentracija raztopljenega kisika v prezračevalnikih  $2 \text{ mg/l}$ . Od vodje vzdrževanja g. Antona Ferdina sem pridobil podatke o globinah posameznega prezračevalnika, ki znaša  $4 \text{ m}$  za prezračevalnik enote B1,  $5 \text{ m}$  za prezračevalnik enote B2 in  $6,5 \text{ m}$  za prezračevalnik enote B3. Globine sekundarnih usedalnikov se ujemajo z globinami prezračevalnikov za vsak čistilni blok. Ker so se za potrebe simulacije vsi tri sekundarni usedalniki združili je uporabljena približno povprečna globina, ki znaša  $5 \text{ m}$ . Za globino usedalnika sem uporabil vrednost  $5 \text{ m}$  iz katere je izračunana tudi površina usedalnika, ki znaša  $530 \text{ m}^2$ . Od g Antona Ferdina sem prav tako pridobil podatke za starost blata, ki se giblje od  $2$  do  $8$  dni in je odvisna od pretoka in

razredčenosti surove odpadne vode. Povprečna letna temperatura odpadne vode na vtoku je 16°C. Ta podatek je naveden v obratovalnem monitoringu. Za simulacijo je uporabljena tudi temperatura 12°C. Narejene so štiri simulacije in sicer sem za temperaturo 16°C uporabil starost blata 4 in 8 dni. Prav tako je pri istih starostih blata uporabljena temperatura 12°C. Na sliki 62 je prikazana preglednica, kjer so vstavljeni parametri zasnove in obratovanja za reaktor.

26	Cell Number		1	2	3	4	5		
27	Cell Description		Aerobic	Aerobic	Aerobic	Offline	Offline		
28	<b>Table 2a</b>	<b>VOLUME &amp; PARAMETERS</b>							
29		Units (selected in Types of Simulation)							
33	V	Total Volume	m3	3820	1,009 MGD	HRT	17,74 h		
35	V & Verify	Cell Volume %, Shift F9 to verify	OK	100,00%	14,00%	40,00%	46,00%	0,00%	0,00%
36		Computed Cell Volume	m3	534,80	1528,00	1757,20	0,00	0,00	
37	IO	DO Set Point Specified	mg/L	2	2	2	4	5	
39	V	Lower Limit of DO instrument reading, mg/L		0,025	default = 0.1 mg/L				
40	V	Type of Aeration, non Membrane Cells		Diffusers	Select from Dropdown Menu				
41				Aerobic	Aerobic	Aerobic	Offline	Offline	
42	IO	Depth of Cell in Tank	m	4,00	5,00	6,50	3,66	3,66	
43	IO	Height of diffusers above floor	m	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	
44	IO	SOTE at 12 feet or 3.65 m tank depth 20 C (fraction)		0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	
45	IO	Diffuser fouling or wear; surface aerator blade wear		0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	
46	IO	Alpha		0,55	0,55	0,55	0,60	0,65	
47	V	Beta		0,975					
48	V	Is Cell Covered?		NO	NO	NO	NO	NO	
49		Chemical Dosing		Chemical Addition					
51	IO	Biofilm SSA applied	m2/m3	0	0	0	0	0	
52	IO	Maximum Biofilm SSA 100% Fill	m2/m3	500	500	500	500	500	
53	IO	BVF at 100% Fill		0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	
54	V	Mixing Shear Coefficient		1	1	2	2	2	
55	V	Media Surface Coefficient		1	1	1	1	1	
56	V	For MBBR & BAF WAS sludge	mg/L MLVSS	10000					
58	<b>Table 2b</b>	<b>FLOW, MLSS MCRT, T</b>							
59	V	Flow	m3/d	5167	1,3650 MGD	20000	m3/d	Enter Reactor	
60	V	Mixed Liquor MCRT	d	4,00					
61	V	Mixed Liquor Temperature	C	16,00					

Slika 62: Parametri zasnove in obratovanja za reaktor

### 6.1.5 Rezultati

Razultati simulacije obstoječega stanja tehnologije čiščenja odpadne vode na CČN Šk. L. so za posamezne parametre podani v preglednici 33. Za primerjavo so vključene tudi dejansko izmerjene povprečne letne vrednosti teh parametrov na iztoku iz čistilne naprave. Če primerjamo rezultate iztočnih vrednosti parametrov pridobljenih s simulacijo in dejansko izmerjenih povprečnih letnih vrednosti na iztoku iz CČN Šk. L. lahko opazimo podobnost, ki govori v prid aplikacije Aquifas, saj smo dobili dobre rezultate. Simulacija pri starosti blata osem dni nam daje boljše rezultate.



*Preglednica 33: Rezultati za parametre iztoka pridobljeni s simulacijo pri različnih temperaturah in starostih blata.*

Effluent Quality			Flow Weighted Average				Dejanske povprečne letne vrednosti iztoka
			T = 12°C SRT = 4 dni	T = 12°C SRT = 8 dni	T = 16°C SRT = 4 dni	T = 16°C SRT = 8 dni	
TSS		mg/L	5,0	5,0	5,0	5,0	7,1
VSS		mg/L	4,0	4,0	4,0	4,0	
SBOD5		mg/L	1,5	1,1	1,7	1,3	
BOD5		mg/L	3,5	3,1	3,7	3,3	7,0
SCOD <sub>bio</sub>		mg/L	2,2	1,6	2,5	2,0	
SCOD		mg/L	74,2	73,6	74,5	74,0	
COD		mg/L	79,9	79,3	80,2	79,6	48,0
NH <sub>4</sub> N		mg/L	13,3	2,0	7,5	1,1	1,8
SKN		mg/L	14,5	3,1	8,6	2,2	
TKN		mg/L	14,9	3,5	9,0	2,6	4,2
NO <sub>x</sub> N		mg/L	11,5	23,0	16,9	24,3	27,4
TN		mg/L	26,4	26,5	25,9	26,9	31,8
OP		mg/L	8,5	9,1	8,6	9,3	
TSP		mg/L	8,6	9,2	8,7	9,4	
TP		mg/L	8,6	9,2	8,8	9,5	5,0

Na sliki 63 so podane koncentracije posameznih snovi za posamezno celico. Prikazani so profili pri temperaturi 12°C in starosti blata osem dni.

1	RESULTS	Update Sheet	Adjust the magnification of					
2	Cell Number of Reactor		1	2	3	4	5	6
3	Cell Number of Reactor, corrected for offline cells		1	2	3	3	3	3
4	Condition		Aerobic	Aerobic	Aerobic	Offline	Offline	Offline
5	Volume of Cell	m <sup>3</sup>	534,8	1528	1757,2	0	0	0
6	<b>Table 1: Profiles under Average Daily Flow Conditions</b>		Software License has expired Softwar					
7	CODbio	unassimilated mg/L	38,8	9,7	1,6	1,6	1,6	1,6
8	Particulate CODbio	unassimilated mg/L	6,7	1,5	0,0	0,0	0,0	0,0
9	SCODbio	mg/L	32,1	8,3	1,6	1,6	1,6	1,6
10	UnoxNbio (unassimilated TKNbio)	mg/L	22,7	8,4	2,0	2,0	2,0	2,0
11	Particulate TKNbio + SorgNbio	mg/L	2,4	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0
12	NH4N	mg/L	20,3	8,0	2,0	2,0	2,0	2,0
13	NO2N	mg/L						
14	NO3N	mg/L	2,3	15,3	23,0	23,0	23,0	23,0
15	OP	mg/L	8,23	8,71	9,09	9,09	9,09	9,0865
16	Total Soluble P bio	mg/L	8,34	8,73	9,09	9,09	9,09	9,09
17	Total P bio (unassimilated)	mg/L	8,38	8,74	9,09	9,09	9,09	9,09
18	Alkalinity	mg/L	431	340	291	291	291	291
19	DO	mg/L	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
20	Oxygen required to maintain set point	kg/d	987	1984	977	0	0	0

Slika 63: Preglednica s profili izračunanih parametrov skozi reaktor

## 6.2 Idejna rešitev posodobitve CČN Škofja Loka

Za preračun v programu Aquifas so bili pridobljeni podatki za povprečne letne vrednosti parametrov iz obratovalnega monitoringa CČN Škofja Loka za leto 2009 (Priloga A). Obstoječa CČN je mehansko-biološka čistilna naprava z anaerobno stabilizacijo blata. Njena nazivna zmogljivost znaša 85000 PE. Potrebna je posodobitev obstoječe tehnologije, saj ne zagotavlja predpisano stopnjo odstranjevanja hraniv. S pomočjo simulacije s programom Aquifas bo pokazana sprememba na iztoku, v kolikor se izbere proces A<sup>2</sup>O (Anaerobic-Anoxic-Oxic), ki predstavlja najosnovnejši proces za biološko odstranjevanje hraniv. Posodobitev s tem procesom vključuje spremembo namembnosti nekaterih objektov.

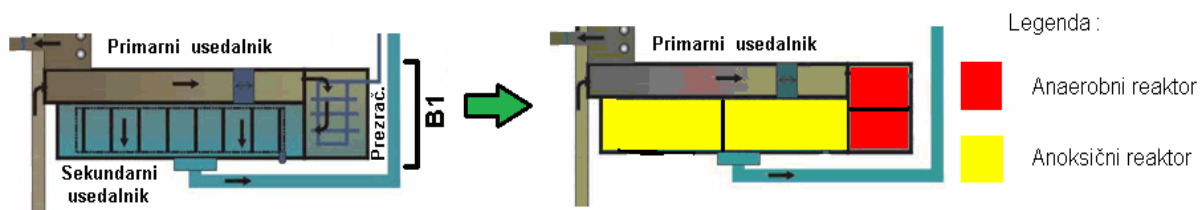
### 6.2.1 Idejna zasnova posodobitve CČN Šk. L.

Za posamezne dele bioreaktorja sem iz obstoječih objektov uporabil dane prostornine. Idejna zasnova vključuje spremembo namembnosti nekaterih objektov - faze čiščenja bi bili sledeči:

**Čistilni blok B1** bi se preuredil tako da bi se ozračevalni bazen s prostornino 520 m<sup>3</sup> preoblikoval v dve anaerobni celici, obe s prostornino 260 m<sup>3</sup>. Sekundarni usedalnik s

prostornino  $750 \text{ m}^3$  bi se preoblikoval v dve anoksični coni s prostorninama  $375 \text{ m}^3$  (slika 64). Čistilni blok B1 bi tako postal prva linija čiščenja odpadne vode v katero bi se preusmerilo 40 procentov vtoka odpadne vode na čistilno napravo.

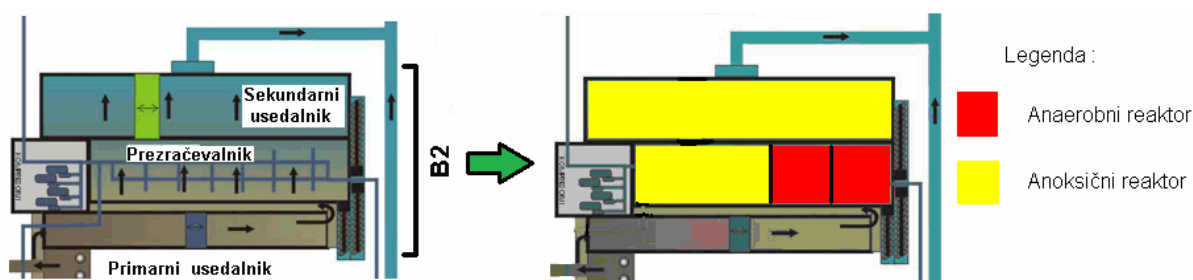
- **čistilni blok B1:** primarni usedalnik  $V=350 \text{ m}^3$ , ozračevalni bazen z Messnerjevimi blazinami  $V=520 \text{ m}^3$  → (dva anaerobna bazena;  $2 \times 260 \text{ m}^3$ ), sekundarni usedalnik  $V=750 \text{ m}^3$  → (dva anoksična bazena;  $2 \times 375 \text{ m}^3$ )



Slika 64: Shema posodobljene preureditve čistilnega bloka B1.

Čistilni blok B2 na katerega bi bilo preusmerjenega 60 procentov vtoka se bi preuredil tako da bi se ozračevalni bazen preoblikoval v tri cone. Prve dve bi predstavljali dve anaerobni coni s prostorninama  $400 \text{ m}^3$ , tretja pa v prvo anoksično cono s prostornino  $700 \text{ m}^3$ . Sekundarni usedalnik z volumnom  $850 \text{ m}^3$  bi postal druga anoksična cona (slika 65). Ta del bi predstavljal drugo linijo čiščenja odpadne vode.

- **čistilni blok B2:** primarni usedalnik  $V=500 \text{ m}^3$ , ozračevalni bazen z Messnerjevimi blazinami  $V=1500 \text{ m}^3$  → (dva anaerobna bazena;  $2 \times 400 \text{ m}^3$  + en anoksičen bazen;  $700 \text{ m}^3$ ), sekundarni usedalnik  $V=850 \text{ m}^3$  → (anoksični bazen;  $850 \text{ m}^3$ )

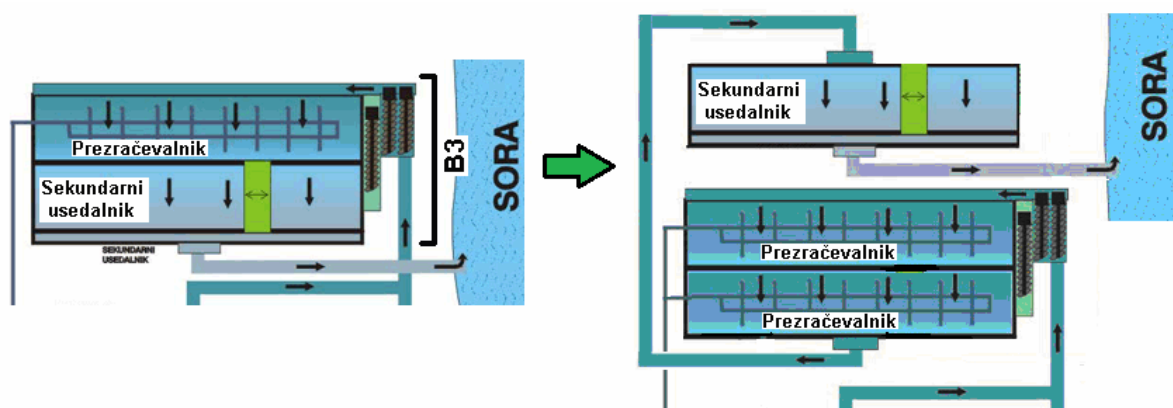


Slika 65: Shema posodobljene preureditve čistilnega bloka B2.

Iztoka iz prve in druge linije se bi združila in zmešana vstopila v nadaljnji proces čiščenja. Ta bi vključeval tri aerobni celici in sicer bi prve dve predstavljal ozračevalni bazen bloka B3 s prostornino  $1800 \text{ m}^3$ , ki bi se razdelil na polovico, tako da bi obe celici imeli prostornino  $900$

$\text{m}^3$ . Tretja aerobna celica pa bi bil preurejen sekundarni usedalnik čistilnega bloka B3 s prostornino  $1050 \text{ m}^3$  (slika).

- **čistilni blok B3:** ozračevalni bazen z Messnerjevimi blazinami  $V=1800 \text{ m}^3 \rightarrow$  (dva ozračevalna bazena;  $2 \times 900 \text{ m}^3$ ), sekundarni usedalnik  $V=1050 \text{ m}^3 \rightarrow$  (ozračevalni bazen:  $1050 \text{ m}^3$ ).

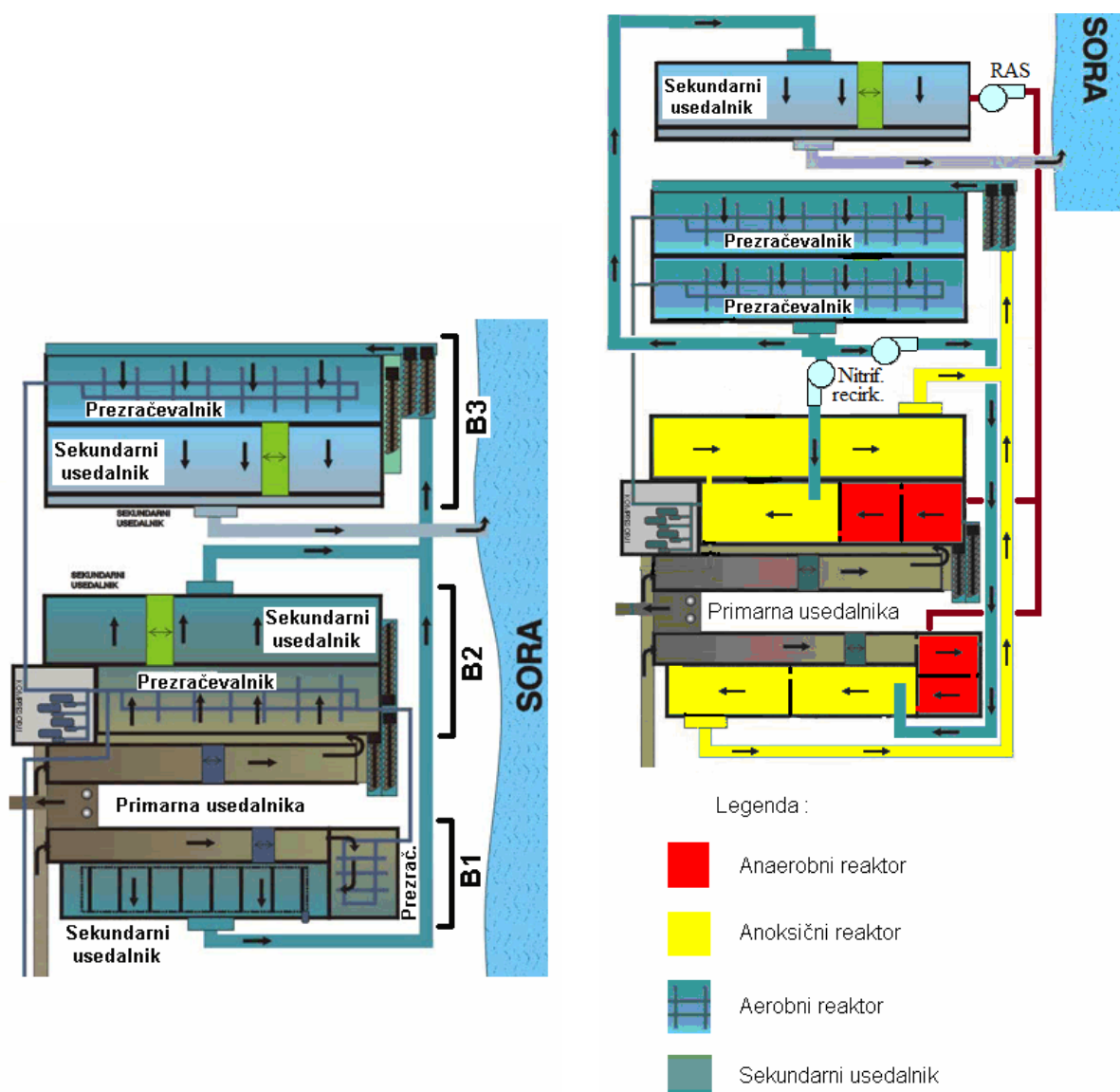


Slika 66: Shema posodobljene preureditve čistilnega bloka B3

Ker bi vsi sekundarni usedalniki spremenili namembnost bi bila potrebna izgradnja **novega sekundarnega usedalnika** in sicer sem predvidel pravokotni usedalnik s površino  $400 \text{ m}^2$  in globino  $4 \text{ m}$ . Volumen takega usedalnika bi znašal  $1600 \text{ m}^3$ .

+ dodatno zgrajen sekundarni usedalnik  $V=1600 \text{ m}^3$

Shema obstoječe in idejne konfiguracije reaktorjev je prikazana na sliki 67.



Slika 67: Obstoječa (levo) in nova idejna zasnova konfiguracije (desno) reaktorjev

### 6.3 Simulacija idejne rešitve posodobitve z aplikacijo Aquifas

Primer idejne rešitve posodobitve ČN Škofja Loka je simuliran z osrednjim delom modela Aquifas. Podatki, ki sem jih vstavil v program so prikazani po poglavjih, kot so le-ti razdeljeni po delovnih listih. V nadaljevanju so predstavljeni tip simulacije, lastnosti vtoka, konfiguracija reaktorja ter njegovi parametri ter rezultati, ki so podani tako v preglednicah kakor tudi v obliki grafikonov.

### 6.3.1 Tip simulacije

Na delovnem listu tip simulacij so izbrani stacionarni pogoji oziroma razmere, saj uporabljamo povprečne letne vrednosti parametrov vtoka na napravo. Enote v katerih vnašamo parametre so metrične. Ostalih nastavitvev na tem delovnem listu ne spreminjamo, ker jih za ta primer ni potrebno. Preglednica 34 prikazuje odsek delovnega lista v katerega so vnešene te nastavitve.

*Preglednica 34: Odsek preglednice v kateri se določi tip simulacije in enot*

<b>Simulation</b>				
Select Steady State or Dynamic				<b>Steady State</b>
Units				<b>Metric</b>

### 6.3.2 Lastnosti vtoka

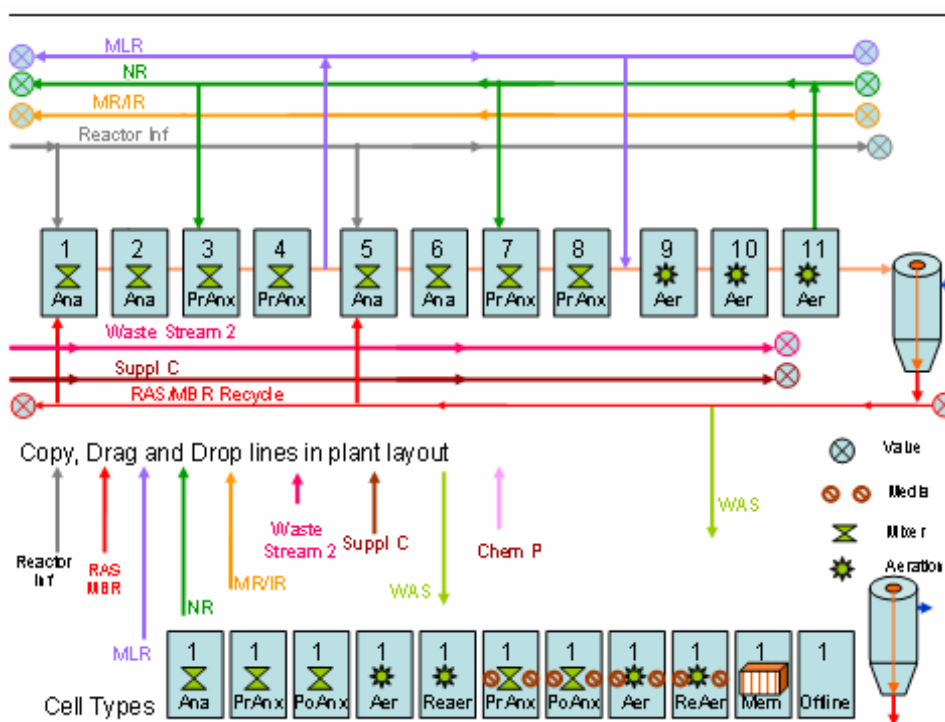
Lastnosti vtoka so obravnavane v poglavju 6.1.2 in so za simulacijo idejne rešitve posodobitve ostale nespremenjene.

### 6.3.3 Konfiguracija reaktorja

Tudi v tem primeru je izvedena postavitvev vzporednih čistilnih enot B1 in B2. S tem preusmerimo pretok iz čistilnega bloka B1, da ne teče skozi čistilni blok B2, čeprav so v konfiguraciji reaktorjev čistilna bloka postavljena zaporedno. Obravnavani sistem A<sup>2</sup>O torej vsebuje dve vzporedni ločeni liniji čiščenja odpadne vode B1 in B2, ki se združita preden odpadna voda vstopi v prezračevalnik oziroma prvo aerobno celico. Prva linija vključuje dve anaerobni in anoksični celici (preurejen čistilni blok B1). Druga linija vsebuje dve anaerobni coni in dve anoksični celici (preurejen čistilni blok B2). Razdelitev vtoka je 40 procentov v prvo linijo in 60 procentov v drugo. Ti dve liniji se združita preden odpadna voda vstopi v prvo aerobno celico. Prvi aerobni celici sledi še druga in tretja aerobna celica iz koder se voda steka v sekundarni usedalnik.

Razmerje nitrificirane recirkulacije iz tretje aerobne cone je glede na celotni vtok surove odpadne vode določeno na  $3,5 \times Q$ . Nitrificirana recirkulacija se deli tako da 40 procentov

vstopa v prvo anoksično cono prve linije in 60 procentov v prvo anoksično cono druge linije. Povratno aktivno blato je prav tako deljeno tako da 40 procentov vstopa v prvo anaerobno celico prve linije in 60 procentov v prvo anaerobno celico druge linije. Celotno konfiguracijo shematsko prikazuje slika 68.



Slika 68: Shematični prikaz postavitve celic reaktorja ter usedalnika in poteka vseh tokov.

Zasnova zgoraj opisanih dveh vzporednih linij čiščenja čistilnih blokov B1 in B2 je izvedena z določitvijo MLR toka, ki se izračuna na naslednji način.

Vtok surove odpadne vode v prvo anaerobno celico čistilnega bloka B1 je  $0,4 \times Q$ . Celotna količina povratnega aktivnega blata je  $0,5 \times Q$  in od tega gre v prvo anaerobno celico čistilnega bloka B1 40%. Nitrificirana recirkulacija znaša  $3,5 \times Q$  od tega gre v prvo anoksično celico čistilnega bloka B1 40%. Tako znaša količina MLR pretoka:

$$0,4 \times Q + 0,4 \times 0,5 \times Q + 0,4 \times 3,5 \times Q = 2 \times Q.$$

### 6.3.4 Parametri reaktorja

Skupni volumen vseh bazenov je 6470 m<sup>3</sup>. Globina za bazene v prvi liniji čiščenja (preurejen čistilni blok B1) je 4 m, saj so take globine dejansko tudi v obstoječem stanju. Ostale globine bazenov (preurejena čistilna bloka B2 in B3) so tudi določene in vnešene glede na trenutno dejansko obstoječe stanje globin bazenov na CČN Šk. L. Za koncentracijo kisika v prezračevalnih bazenih je izbrana vrednost 2 mg/l. V biološki del reaktorja doteka povprečno 5167 m<sup>3</sup>/dan odpadne vode njena temperatura pa je 16 °C.

Pri procesu optimizacije se je poskušalo s simulacijami pri različnih starostih blata najti tisto vrednost, ki bo dala željene rezultate parametrov na iztoku in tako je kot najugodnejšo vrednost za starost blata izbrana vrednost 12 dni. Parametri posameznih celic so natančneje predstavljeni v preglednici 32.



Cell Number	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Cell Description	Anaerobic	Anaerobic	Pre Anoxic	Pre Anoxic	Anaerobic	Anaerobic	Pre Anoxic	Pre Anoxic	Anaerobic	Anaerobic	Anaerobic	Offline	
26	VOLUME & PARAMETERS												
27	Units selected in Types of Simul												
28	Metric	6470											
29	Press "Run Sheet Button" or Shift F9: both before and after updating this sheet. Check dimensions and warnings, if any.												
30	Total Volume	1,709 MGD	HRT	30,05									
31	Cell Volume	4,00%	5,80%	5,80%	6,20%	6,20%	10,80%	13,15%	13,90%	13,90%	16,25%	0,00%	
32	Computed Cell Volume	236,60	375,26	375,26	401,14	401,14	636,16	650,61	659,33	659,33	1051,36	0,00	
33	DO Set Point Specified	0,1	0,05	0,2	0,05	0,1	0,2	0,05	0,2	0,2	0,2	3	
34	Lower Limit of DO instrument read	default = 0.1 mg/L											
35	Type of Aeration, non Membrane Diffusers	Select from Dropdown Menu											
36	Anaerobic	Anaerobic	Pre Anoxic	Pre Anoxic	Anaerobic	Anaerobic	Pre Anoxic	Pre Anoxic	Anaerobic	Anaerobic	Anaerobic	Offline	
37	4,00	4,00	4,00	4,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	6,50	6,50	3,66	
38	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	
39	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	
40	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	
41	0,55	0,55	0,55	0,60	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	
42	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	
43	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	
44	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
45	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	
46	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	
47	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
48	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
49	10000												
50	FLOW, MLSS MCRT, T												
51	Flow	1,3650 MGD	5167	m3/d	Enter Reactor Influent (PE + recycles to PE) flow in D59							PE flow = 5167,00	m3/d
52	Mixed Liquor MCRT	12,00											
53	Mixed Liquor Temperature	16,00											

Slika 69: Parametri zasnove in obratovanja za reaktor

### 6.3.5 Rezultati modela

Izvedeno je bilo torej dimenzioniranje in simulacija čistilne naprave s tehnologijo A<sup>2</sup>O. Po simulacijah z različnimi vrednostmi parametrov (starost blata, nitrificirana recirkulacija, različni volumni reaktorjev...) in njihovi uspešni določitvi sem dobil ustrezne (željene) rezultate za iztok iz čistilne naprave. V rezultatih modela sem izračunane vrednosti za model podal tako v preglednicah kot tudi v grafikonih. V preglednici 35 so izračunane iztočne vrednosti iz čistilne naprave, ki v vseh zahtevanih parametrih dosegajo predpisane mejne vrednosti.

*Preglednica 35: Rezultati za iztok in mejne predpisane vrednosti.*

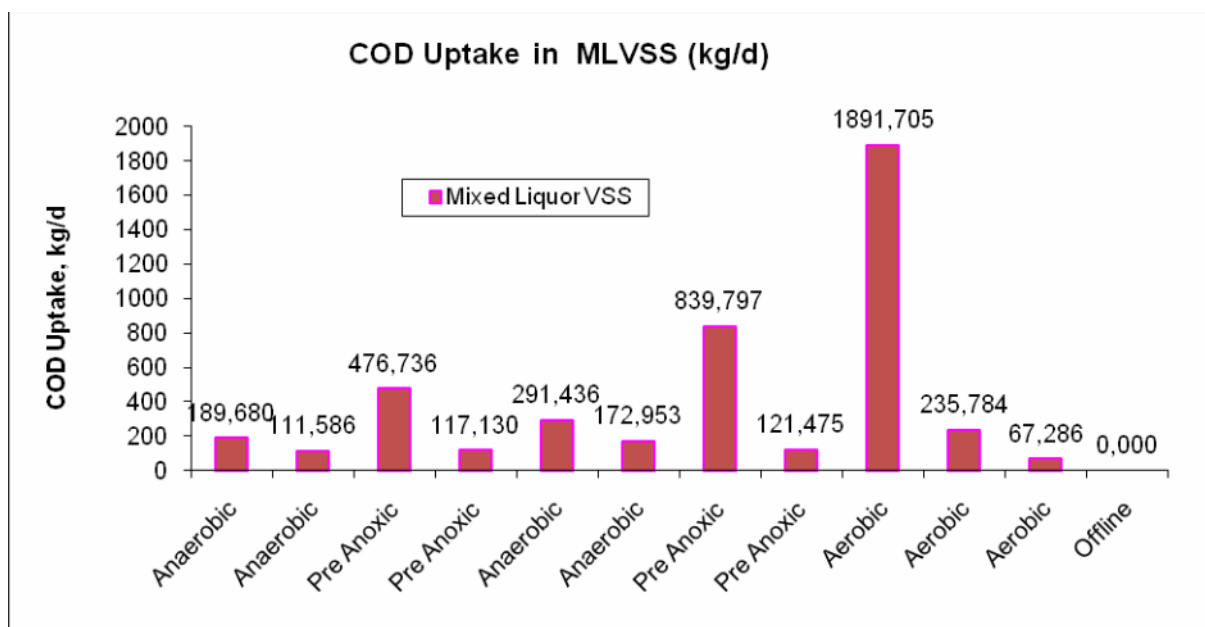
Effluent Quality		Flow Weighted Average	Mejne predpisane vrednosti
		Clar	
TSS	mg/L	5,0	35
VSS	mg/L	4,0	
SBOD5	mg/L	1,3	
BOD5	mg/L	3,3	20
SCODbio	mg/L	1,9	
SCOD	mg/L	73,9	
COD	mg/L	79,6	110
NH4N	mg/L	2,8	10
SKN	mg/L	3,9	
TKN	mg/L	4,3	
NOxN	mg/L	6,4	
TN	mg/L	10,7	15
OP	mg/L	1,12	
TSP	mg/L	1,22	
TP	mg/L	1,47	2

Na sliki 70 je prikaz preglednice s profili izračunanih parametrov skozi reaktor, kjer so podane koncentracije snovi za posamezno celico. Opazno je ustrezno zmanjševanje koncentracij določene snovi v posameznem reaktorju, ki opravlja določen proces čiščenja (odstranjevanja) posameznih snovi.

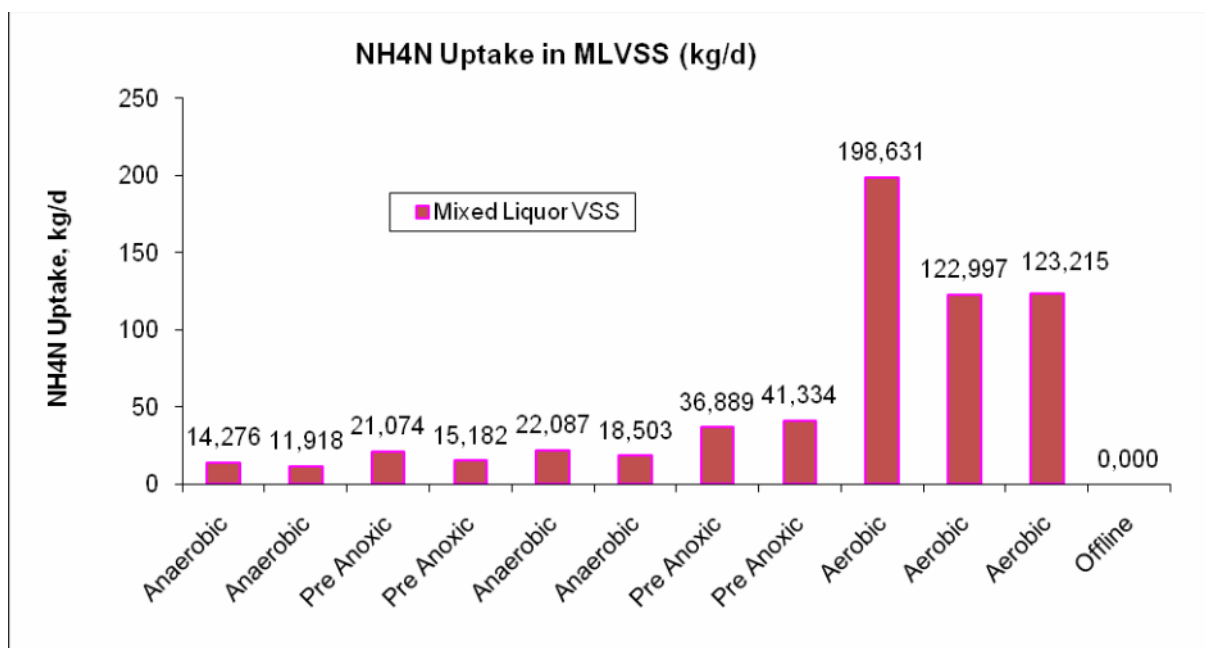
3	Cell Number of Reactor, corrected for offline cells	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	11	11	SC
4	Condition	Anaerobic	Anaerobic	Pre Anoxic	Pre Anoxic	Anaerobic	Anaerobic	Pre Anoxic	Pre Anoxic	Aerobic	Aerobic	Aerobic	Aerobic	Aerobic	Clar
5	Volume of Cell	258,8	258,8	375,26	375,26	401,14	401,14	698,76	850,805	899,33	899,33	1051,375	1051,375	0	0
6	<b>Table 1: Profiles under Average Daily Flow Conditions</b>														
7	CODbio	485,7	459,6	106,5	95,8	494,2	456,8	98,5	76,9	11,4	2,8	2,0	2,0	1,9	1,9
8	Particulate CODbio	106,7	15,1	0,6	0,1	102,3	13,0	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
9	SCODbio	389,0	444,5	105,9	95,7	391,9	443,8	98,0	76,8	11,4	2,8	2,0	2,0	2,0	2,0
10	UnoxNbio (unassimilated TKNbio)	43,5	42,3	13,7	13,3	43,5	42,2	13,2	12,8	7,5	5,0	2,8	2,8	2,8	2,8
11	Particulate TKNbio + SorgNbio	16,1	8,4	0,8	0,2	15,8	7,9	0,6	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
12	NH4N	27,4	33,8	12,8	13,1	27,7	34,3	12,6	12,7	7,5	5,0	2,8	2,8	2,8	2,8
13	NO2N														
14	NO3N	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,7	4,0	6,4	6,4	6,4	6,4
15	OP	104,94	192,37	85,58	113,72	7,96	7,4767	3,3122	2,67	7,33	1,10	2,68	2,68	1,74	1,74
16	Total Soluble P bio	106,37	192,91	85,61	113,72	9,37	7,95	3,33	2,67	7,33	1,10	2,68	2,68	1,74	1,74
17	Total P bio (unassimilated)	106,94	192,94	83,80	114,36	9,59	8,15	3,11	3,42	7,03	0,33	0,10	0,10	1,17	1,17
18	Alkalinity	526	560	522	528	528	563	530	537	509	492	475	475	475	475
19	DO	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	0,00
20	Oxygen required to maintain set point	0	0	0	0	0	0	0	0	1854	685	636	636	0	0

Slika 70: Prikaz preglednice s profili parametrov skozi reaktor

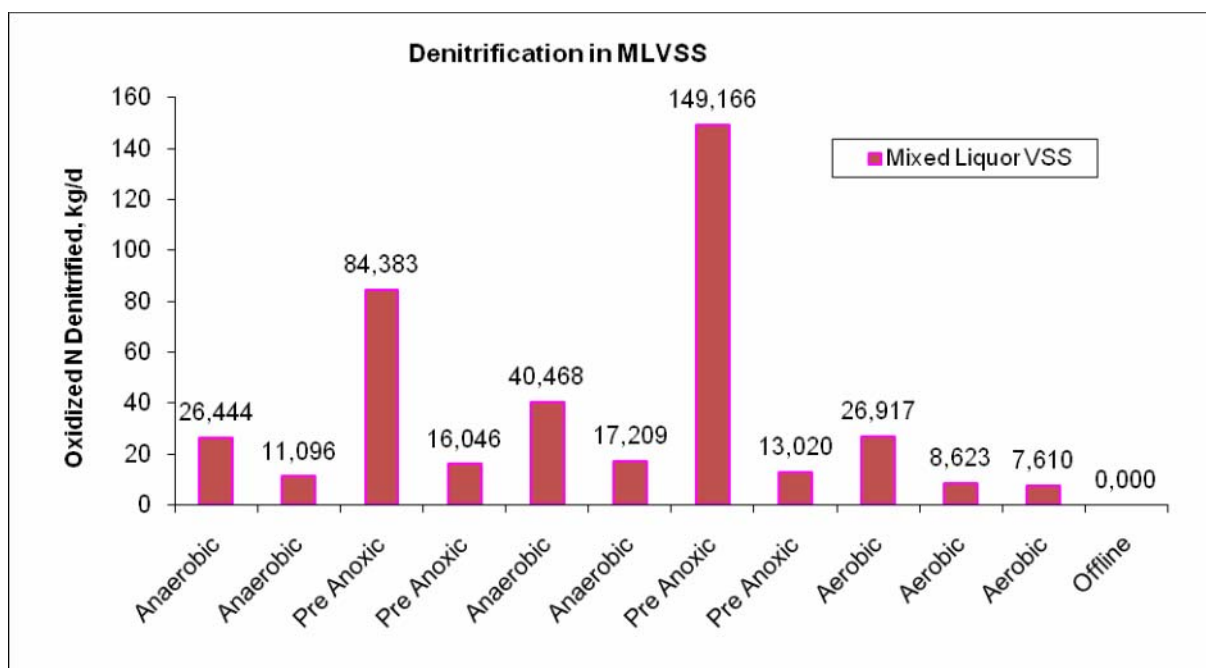
Naslednji tri grafikoni prikazujejo porabo KPK,  $\text{NH}_4\text{N}$  in denitrifikacijo v MLVSS za vsako celico (bazen).



Grafikon 2: Grafikon porabe KPK v MLVSS (kg/d)

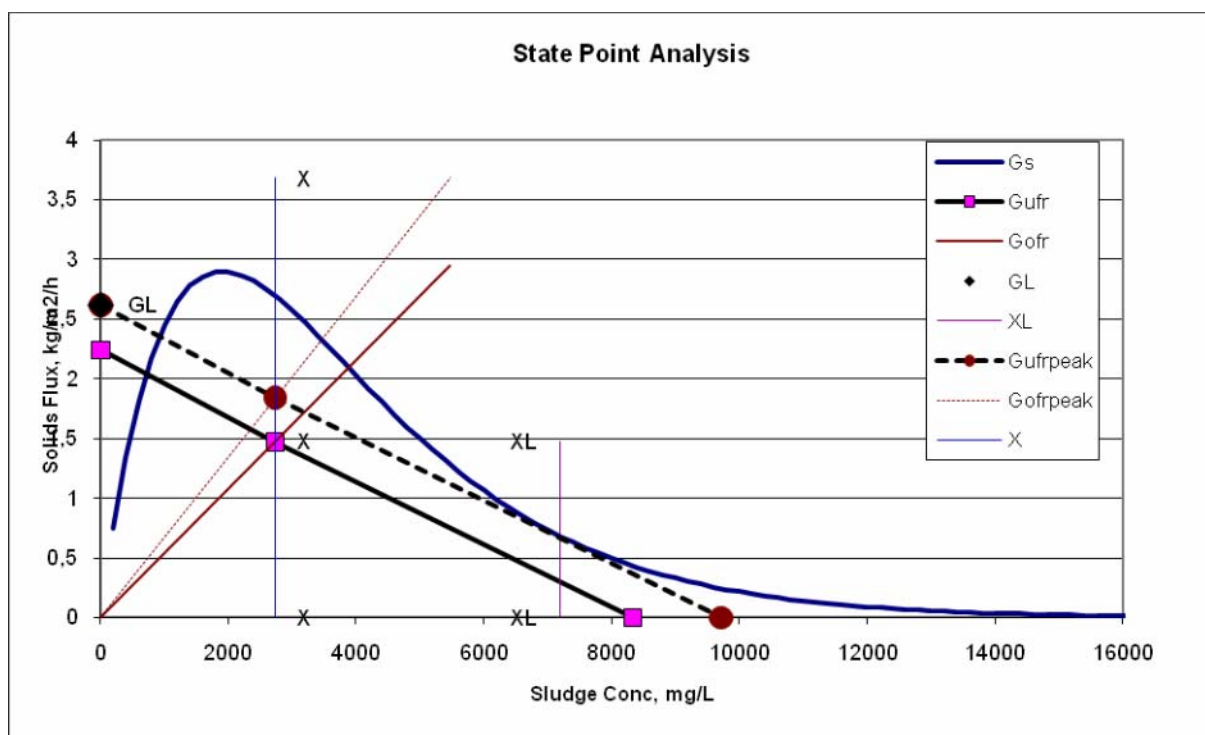


Grafikon 3: Grafikon porabe  $\text{NH}_4\text{N}$  v MLVSS (kg/d)



Grafikon 4: Grafikon denitrifikacije v MLVSS

Po izvedeni simulaciji se je preverilo tudi ali je iztok iz usedalnika in obremenitev s trdnimi snovmi v okviru zasnovane kapacitete novega usedalnika. Grafikon, ki kaže analizo točke stanja, nam pove ali je usedalnik preobremenjen (grafikon 5). Ko je preobremenjen, je lahko usedalnik neuspešen (neustrezen) zaradi nezadostne površine za bistrenje in/ali zgoščevanja. Ta dva načina neuspeha (bistrenje, zgoščevanje) se lahko analizira v grafikonu za analizo točke stanja. Ko je točka stanja (prikazana, kot rjav krogec za konico pretoka in rozast kvadrantek za povprečen pretok) izven ovoja modre krivulje, je usedalnik neuspešen glede bistrenja (nezadostna površina za gravitacijsko usedanje) in zgoščevanja. Točka stanja je na sečišču linije pretoka iztoka vode iz usedalnika (overflow line – ofr), linije pretoka odvoda blata (underflow line – ufr) in linije MLSS (X-X) pri katerem obratuje. Ko linija pretoka odvoda blata seka ovoj modre krivulje na dveh točkah na njenem padajočem delu, je usedalnik neuspešen glede zgoščevanja (blato se ne more odstranjevati zadosti hitro). Ko pogledamo grafikon 5 lahko ugotovimo, da sta oba pogoja zadoščena in da usedalnik deluje ustrezno.



Grafikon 5: Analiza točke stanja

## 7 ZAKLJUČEK

Poleg izgradnje novih čistilnih naprav se v zadnjih letih pospešeno odvija tudi posodabljanje obstoječih čistilnih naprav. Potrebe po posodobitvah so v večji meri posledica neizpolnjevanja iztočnih mejnih vrednosti parametrov, kot sta dušik in fosfor. Ena od čistilnih naprav katere posodabljanje s procesi za odstranjevanje hraniv še ni bilo izvedeno je Centralna čistilna naprava Škofja Loka. V diplomskem delu je narejena idejna študija zasnove posodobitve CČN Šk. L. s simulacijo procesov z računalniškim programom Aquifas. Obravnavani so modeli procesa čiščenja z aktivnim blatom (ASM) med katerimi je ASM2d sestavni del programa Aquifas. Kot del identifikacije možne rešitve posodobitve je narejen pregled procesov in tehnologij za odstranjevanje hraniv in med njimi je, kot ustrezna možna idejna rešitev, izbran proces  $A^2O$  (Anaerobno/Anoksično/Oksično-(Aerobno)). S simulacijo procesov so se glede na vhodne podatke za vtok na čistilno napravo in značilno zasnovo  $A^2O$  procesa iskale optimalne rešitve (optimalne vrednosti) za parametre, kot so delež povratnega blata, starost blata in stopnja nitrificirane recirkulacije. Končne vrednosti teh parametrov so znotraj realnih območij. Dobljeni rezultati za iztok iz tako zasnovanega procesa, in po optimizaciji različnih parametrov, so pod predpisanimi mejnimi vrednostmi. Idejna zasnova možne rešitve posodobitve je s programom dokazana, kot ustrezna in bi v realnosti lahko delovala v skladu s pričakovanji. Posodobitev bi morala vključevati tudi izgradnjo novega sekundarnega usedalnika, saj bi se z nadgradnjo s procesom  $A^2O$  porabila vsa razpoložljiva kapaciteta obstoječih bazenov in sekundarnih usedalnikov. Izbrane dimenzije novega usedalnika so zadovoljive, saj usedalnik ni preobremenjen.

V diplomskem delu so predstavljena tudi pomembna vprašanja, ki jih je potrebno upoštevati pri nadgradnji obstoječih objektov, vključno s splošnimi dejavniki izbora, dejavniki načrtovanja in obratovanja in končni izbiri ustrezne tehnologije.

## 8 VIRI

Gujer, W., Henze, M., Mino, T., Van Loosdrecht, M.C.M. (1999). *Activated sludge model ASM3*. Water Science & Technology 39, 1, 183-193.

Henze, M., Gujer, W., Mino, T., Van Loosdrecht, M. (2000). *Activated sludge models ASM1, ASM2, ASM2d and ASM3*. London : IWA Publishing. 121 str.

Henze, M., Grady, C., P., L., Gujer, W., Marais, G. v. R., Matsuo, T. (1987). *Activated sludge model No. 1*, IAWPRC Scientific and Technical Report No. 1, IAWPRC Task Group on Mathematical Modelling for Design and Operation of Biological Wastewater Treatment, England.

Henze, M., Gujer, W., Mino, T., Matsuo, T., Wentzel, M. C., Marais, G.v R. (1995). *Activated sludge model No 2*, IAWQ Scientific and Technical Report No. 3, IAWQ Task Group on Mathematical Modelling for Design and Operation of Biological Wastewater Treatment, England.

Henze, M., Gujer, W., Mino, T., Matsuo, T., Wentzel, M.C., Marais, G.v.R. Van Loosdrecht, M.C.M. (1999). *Activated Sludge Model No. 2D*, ASM2D. Water Science & Technology 39, 1, 165-182.

Kang, S. J., Olmstead, K., Takacs, K., Collins, J. (2008). **Municipal Nutrient Removal Technologies (MNRT)**., Reference Document, Volume 1, EPA 832-R-08-006. [www.epa.gov/owm](http://www.epa.gov/owm). (22.1.2010)

Emerging Technologies for Wastewater Treatment and In-Plant Wet Weather Management (Emerg. Tech.). (2008), EPA 832-R-06-006. [www.epa.gov/owm](http://www.epa.gov/owm). (15.1.2010)



Kurbus, T. (2008). Razvoj visoko učinkovitega postopka čiščenja odpadnih vod v šaržnem biološkem reaktorju. Doktorska disertacija. Ljubljana. 117 str.

[http://en.wikipedia.org/wiki/Process\\_simulation#cite\\_ref-4](http://en.wikipedia.org/wiki/Process_simulation#cite_ref-4) (1.4.2011).

[http://www.i-sup2008.org/presentations/Conference\\_2/Giesen\\_A.pdf](http://www.i-sup2008.org/presentations/Conference_2/Giesen_A.pdf) (22.1.2011).

Roš, M. (2001). *Biološko čiščenje odpadne vode*, Ljubljana : GV Založba. 243 str.

Sen, D. (2010). USER MANUAL Part B for AquaNET (AqNET) & Aqiufas.

Nutrient Control Design Manual (NCDM). (2009), State of Technology Review Report, EPA/600/R-09/012.

[www.epa.gov/nrmrl](http://www.epa.gov/nrmrl). (15.1.2011)

PRILOGE

Priloga A: Obratovalni monitoring odpadnih vod komunalne centralne čistilne naprave Škofja Loka za leto 2009. Podatki o meritvah na vtoku in iztoku CČN Šk. L.

8. Podatki o meritvah na vtoku in iztoku komunalne ali skupne čistilne naprave		CČN ŠKOFJA LOKA													
Čas vzorčenja reprezentativnega vzorca (ure):		24 Skupna letna količina odpadne vode na ČN (1000 m <sup>3</sup> )													
Ali se izvajajo trajne meritve pretoka:		SORA													
Stevilo dni obratovanja čistilne naprave (dni):		365 Velikost naprave (PE): 85000													
Po katerem členu uredbe KČN se vrednoti iztok odpadne vode:		6													
Zap. št.	Naziv parametra	Mejna vrednost		Št. vzorčenja											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
		4 OV	18 OV	58 OV	114 OV	175 OV	266 OV	328 OV	395 OV	450 OV	550 OV	633 OV	743 OV		
	identifikacija vzorca	5 OV	19 OV	65 OV	119 OV	180 OV	274 OV	331 OV	402 OV	456 OV	556 OV	636 OV	748 OV		
	datum vzorč.	12.01.09	20.01.09	03.02.09	16.02.09	03.03.09	18.03.09	06.04.09	15.04.09	04.05.09	18.05.09	02.06.09	17.06.09		
	(dd.mm.ll)	13.01.09	21.01.09	04.02.09	17.02.09	04.03.09	19.03.09	07.04.09	16.04.09	05.05.09	19.05.09	03.06.09	18.06.09		
	čas vzorč.	08:30	08:30	08:00	09:00	08:30	08:30	08:30	08:00	08:00	08:00	08:30	08:00		
	(hh:mm)	08:30	08:30	08:00	09:00	08:30	08:30	08:30	08:00	08:00	08:00	08:30	08:00		
200	Q v času vzor.	5.617	5.957	6.664	6.045	6.482	5.470	5.190	6.550	4.764	4.504	3.917	4.143		
	(m <sup>3</sup> )	5.617	5.957	6.664	6.045	6.482	5.470	5.190	6.550	4.764	4.504	3.917	4.143		
1	Temperatura	9,0	9,9	12,9	12,4	12,9	13,9	12,9	13,5	14,4	16,3	19,8	19,2		
		7,1	8,8	9,9	8,9	11,7	11,5	11,6	14,4	14,3	19,0	19,0	20,2		
2	pH	8,3	7,5	8,4	8,3	8,8	8,5	8,7	8,5	8,3	8,7	7,7	8,3		
		6,8	6,8	6,9	7,0	7,0	7,1	6,9	6,9	6,9	7,1	6,9	6,9		
3	Neraztop. Sn.	490,0	170,0	610,0	230,0	770,0	1340,0	220,0	270,0	410,0	1600,0	810,0	160,0		
	(mg/l)	20,0	6,4	5,0	10,0	9,3	5,0	5,0	5,0	14,0	11,0	11,0	5,0		
26	Amonijev dušik	41,8	4,0	18,6	22,7	28,2	22,8	41,0	44,6	23,6	41,6	30,8	25,7		
	(mg/l)	7,50	4,98	2,29	LOD	9,01	1,00	1,20	LOD	0,62	LOD	LOD	LOD		
38	KPK	1556	249	1572	850	1147	1387	640	679	954	2598	2828	568		
	(mg/l)	78	48	49	53	66	56	42	42	64	56	56	30		
	učinek	95	81	97	94	94	96	93	94	93	98	98	95		
39	BPK <sub>5</sub>	735	123	600	540	600	735	360	420	580	1100	780	380		
	(mg/l)	14	LOD	7	12	12	6	5	7	LOD	12	6	5		
	učinek	98	99	99	98	98	99	99	98	100	99	99	99		
33	Celotni fosfor														
	(mg/l)														
	učinek														
60	Celotni dušik	99,00	17,52	53,00	56,00	81,00	74,00	56,00	68,00	59,00	112,00	64,00	43,00		
	(mg/l)	40,00	17,52	22,01	27,76	39,90	32,30	24,40	40,22	23,20	42,20	45,20	33,20		
	učinek	60	0	58	50	51	56	56	41	61	62	29	23		
28	Nitratri dušik	LOD	0,47	LOD	LOD	LOD	LOD	LOD	LOD	LOD	LOD	LOD	LOD		
	(mg/l)	27,00	9,30	17,00	23,00	24,00	29,00	22,00	38,00	20,00	39,00	42,00	31,00		
27	Mitrtni dušik	LOD	0,48	LOD	LOD	LOD	LOD	LOD	LOD	LOD	LOD	LOD	LOD		
	(mg/l)														
61	Kjeldahov dušik	1,00	0,66	0,61	0,66	1,90	0,56	LOD	0,22	LOD	LOD	LOD	LOD		
	(mg/l)	99,00	16,00	53,00	56,00	81,00	74,00	56,00	68,00	59,00	112,00	64,00	43,00		
	učinek	12,00	8,10	4,40	4,10	14,00	2,70	2,40	2,00	3,20	3,20	3,20	2,20		
4	Usedljive sn.	24,0	4,5	43,0	8,0	33,0	50,0	11,0	11,0	32,0	87,0	41,0	10,0		
	(ml/l)	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1		

nadaljevanje...

Zap. št. param.	Naziv parametra	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	Povprečna vrednost	Minim. vrednost	Maks. vrednost
	identifikacija vzorca	785 OV	804 OV	840 OV	948 OV	994 OV	1041 OV	1119 OV	1229 OV	1332 OV	1392 OV	1511 OV	1672 OV	/	/	/
	identifikacija vzorca	801 OV	811 OV	866 OV	950 OV	998 OV	1047 OV	1121 OV	1240 OV	1340 OV	1396 OV	1519 OV	1679 OV	/	/	/
	datum vzorč. (dd.mm.ll)	01.07.09	05.07.09	14.07.09	11.08.09	23.08.09	02.09.09	15.09.09	05.10.09	21.10.09	02.11.09	18.11.09	08.12.09	/	/	/
	čas vzorč. (hh:mm)	02.07.09	06.07.09	15.07.09	12.08.09	24.08.09	03.09.09	16.09.09	06.10.09	22.10.09	03.11.09	17.11.09	09.12.09	/	/	/
	Q v času vzor. (m <sup>3</sup> )	08:10	08:00	07:30	08:00	08:00	08:10	08:30	10:10	09:20	10:00	08:30	08:50	/	/	/
200		4.717	5.010	5.867	3.257	2.893	4.193	6.299	3.428	5.408	4.703	6.267	6.673	5167,4	/	/
		4.717	5.010	5.867	3.257	2.893	4.193	6.299	3.428	5.408	4.703	6.267	6.673	5167,4	/	/
1	Temperatura	19,3	20,6	19,8	19,8	21,2	21,6	17,7	22,2	18,3	12,5	17,1	13,6	16,3	9,0	22,2
		20,5	20,5	20,1	21,4	22,2	22,5	18,6	19,8	17,0	13,9	15,2	12,0	15,8	7,1	22,5
2	pH	8,2	7,7	8,2	7,9	8,0	8,2	8,1	8,0	7,8	8,4	8,6	8,3	8,2	7,5	8,8
		7,2	6,9	7,0	6,9	7,0	7,0	7,0	7,0	7,1	7,1	7,2	7,0	7,0	6,8	7,2
3	Neraztop. Sn. (mg/l)	450,0	740,0	220,0	1900,0	470,0	290,0	240,0	920,0	530,0	570,0	750,0	150,0	596,3	150,0	1900,0
		5,0	LOD	5,0	5,0	5,2	6,5	7,3	LOD	13,0	9,9	10,0	6,9	7,1	5,0	20,0
26	Amonijev dušik (mg/l)	37,9	41,4	28,4	44,7	39,8	44,9	28,2	37,6	36,7	16,3	31,7	3,4	30,68	3,40	44,90
		1,12	1,00	LOD	LOD	LOD	LOD	LOD	LOD	LOD	0,67	<b>11,40</b>	1,00	1,81	0,62	11,40
		745	3933	723	3310	2039	1048	849	1124	1435	971	1339	266	1367	249	3933
38	KPK (mg/l)	45	40	30	39	31	43	49	42	50	52	55	39	48	30	78
		94	99	96	99	98	96	94	96	97	95	96	85	96,18	80,7	99,0
39	BPK <sub>5</sub> (mg/l)	580	1050	320	1400	890	720	535	560	920	620	620	100	636	100	1400
		8	5	6	9	5	10	6	6	6	5	6	5	7	5	14
		99	100	98	99	100	99	99	99	99	99	99	97	98,89	96,7	99,9
33	Celotni fosfor (mg/l)				18,40	18,80	15,60	7,80	11,60	15,20	8,20	10,80	1,93	0,00	1,93	18,80
					5,50	<b>6,30</b>	<b>4,40</b>	<b>4,20</b>	<b>5,90</b>	<b>4,60</b>	<b>4,50</b>	<b>4,30</b>	1,93	0,00	1,93	6,30
					70	66	72	46	49	70	45	60	0	60,18	0,0	71,8
60	Celotni dušik (mg/l)	51,00	97,00	59,00	102,50	86,30	76,50	61,20	83,90	90,80	51,70	82,20	15,99	68,4	16,0	112,0
		<b>25,47</b>	<b>32,90</b>	24,60	<b>38,80</b>	<b>36,47</b>	<b>34,46</b>	<b>35,00</b>	<b>42,13</b>	<b>30,24</b>	<b>31,41</b>	<b>28,50</b>	15,99	31,8	16,0	45,2
		50	66	58	62	58	55	43	50	67	39	65	0	53,26	0,0	66,7
28	Nitratni dušik (mg/l)	LOD	LOD	LOD	LOD	LOD	LOD	LOD	LOD	LOD	LOD	LOD	LOD	1,30	0,08	1,30
		22,60	31,00	22,50	36,00	34,00	32,00	32,00	40,00	28,00	29,00	14,00	16,00	27,43	9,30	42,00
27	Nitritni dušik (mg/l)	LOD	LOD	LOD	LOD	LOD	LOD	LOD	LOD	LOD	LOD	LOD	LOD	0,08	0,48	0,69
		0,21	LOD	LOD	LOD	0,29	LOD	LOD	LOD	LOD	LOD	LOD	LOD	0,27	0,21	1,90
61	Kjeldahlov dušik (mg/l)	51,00	97,00	59,00	102,50	86,30	76,50	60,70	83,90	90,80	51,00	82,20	13,10	68,13	13,10	112,00
		2,60	1,90	2,10	2,80	2,18	2,46	2,96	2,13	2,24	2,41	14,50	1,57	4,22	1,57	14,50
4	Usedljive sn. (ml/l)	20,0	38,0	9,5	118,0	15,0	18,0	10,0	55,0	25,0	19,0	42,0	5,0	30,38	4,50	118,00
		0,1	0,1	0,1	LOD	0,1	0,1	0,1	6,7	0,7	LOD	0,1	0,1	0,35	0,10	6,70