

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:

**Miha Prislan**

# **Modeliranje in dimenzioniranje bioloških procesov na osnovi produkcije blata**

**Diplomska naloga št.: 68**

**Mentor:**

izr. prof. dr. Jože Panjan

**Somentor:**

asist. dr. Mario Krzyk

Ljubljana, 26. 10. 2006

## IZJAVE O PREGLEDU NALOGE

Nalogo so si ogledali učitelji konstrukcijske smeri:

## **IZJAVA O AVTORSTVU**

Podpisani **MIHA PRISLAN** izjavljam, da sem avtor diplomske naloge z naslovom:

**»MODELIRANJE IN DIMENZIONIRANJE BIOLOŠKIH PROCESOV NA OSNOVI  
PRODUKCIJE BLATA«.**

Izjavljam, da se odpovedujem vsem materialnim pravicam iz dela za potrebe elektronske  
separatoteke FGG.

Ljubljana, 12.10.2006

## **ZAHVALA**

Za pomoč pri nastajanju diplomske naloge se iskreno zahvaljujem mentorju izr. prof. dr. Jože Panjanu in somentorju asist. dr. Mario Krzyku.

Zahvalil bi se tudi svojim staršema. Ki sta mi skozi vsa leta študija nudila pomoč in mi pomagala vsak dan narediti lepši.

## OKRAJŠAVE IN SIMBOLI

ČN		Čistilna naprava
----	--	------------------

### Okrajšave in simboli po postopku WTPD

Oznaka	Enota	Opis
b	[1/dan]	koeficient endogenega razkroja na osnovi biomase v aeracijski coni
C	[mg/l]	koncentracija obravnavane snovi
C <sub>1</sub>	[-]	konstanta nagiba linije grafa log k <sub>0</sub> v odvisnosti od temperature
C <sub>2</sub>	[-]	konstanta nagiba krivulje grafa log K <sub>s</sub> v odvisnosti od temperature
FB		Feedback control system
FF		Feedforward control system
Indeks e		Oznaka za efluent (iztok)
Indeks o		Oznaka za influent (vtok)
Indeks r		Oznaka za recikliran tok (recycle)
Indeks w		Oznaka za odpadni tok (waste)
K <sub>s</sub>	[kg/m <sup>3</sup> ]	koeficient polovične hitrosti, ali koncentracija substrata, ko ga je porabljena
K <sub>S0</sub>		polovično hitrostna konstanta pri priporočljivi temperaturi
k <sub>0</sub>		konstanta maksimalne porabe substrata pri priporočeni temperaturi
K <sub>ST</sub>		polovično hitrostna konstanta pri temperaturi T
K <sub>T2</sub>		specifična kinetična, stoikiometrična, ali konstanta masnega transferja pri temperaturi T <sub>2</sub>
k <sub>T</sub>		konstanta maksimalne porabe substrata pri temperaturi T
K <sub>T1</sub>		specifična kinetična, stoikiometrična, ali konstanta masnega transferja pri temperaturi T <sub>1</sub>
M	[kg/m <sup>3</sup> ]	Koncentracija suspendiranih snovi v premešani tekočini (MLSS)
N	[kg/m <sup>3</sup> ]	Koncentracija oksidativnega dušika v iztoku
N <sub>o</sub>	[kg/m <sup>3</sup> ]	Koncentracija oksidativnega dušika v pritoku
NO <sub>3</sub>	[kg/m <sup>3</sup> ]	Koncentracija nitratnega dušika v iztoku
P <sub>x</sub>	[kg/dan]	celotna masa aktivnega blata narejenega ali odvrženega na dan
Q	[m <sup>3</sup> /dan]	Pretok
r		hitrost poteka reakcije
R <sub>n</sub>	[kg/dan]	masa kisika na enoto časa, ki je potrebna za potrebo po kisiku med nitrifikacijo
S	[mg/l]	Koncentracija topljivega, biološko razgradljivega substrata
S <sub>e</sub>	[kg/m <sup>3</sup> ]	Koncentracija topljivega, biološko razgradljivega

		substrata na iztoku iz sekundarnega usedalnika
$S_o$	[kg/m <sup>3</sup> ]	Koncentracija topljivega, biološko razgradljivega substrata v pritoču v biološki bazen
$t$	[dan]	hidravlični zadrževalni čas
$u$		povprečna hitrost toka skozi cevni reaktor
$V_R$	[m <sup>3</sup> ]	Prostornina reaktorja
$X$	[mg/l]	Celice, koncentracija aktivne biomase
$Y_{obs}$	[kg/kg]	Opazovan prirastek celic
$Y$	[kg/kg]	dejanski prirast celic
$Z_i$	[mg/l]	Koncentracija nehlapljivih, anorganskih snovi
$Z_n$	[mg/l]	Koncentracija hlapljivih, organskih biološko nerazgradljivih snovi
$Z_b$	[mg/l]	Koncentracija biološko razgradljive snovi
$\alpha$	[-]	cikelj recikliranja ali vračanja blata
$\beta$	[-]	konstanta, 1.00 do 1.04 za ogljikovo BPK odstranjevanje in 1.06 do 1.12 za aeracijske lagune
$\theta_c$	[dan]	zadrževalni čas snovi, starost blata
$\mu_{max}$	[1/dan]	maksimalna stopnja porabe substrata na enoto teže biomase

Okrajšave in simboli po standardu ATV – DVWK – A 131E

Oznaka	Enota	Opis
$C_{xxx}$	[mg/l]	Koncentracija parametra xxx v homogeni obliki
$S_{xxx}$	[mg/l]	Koncentracija parametra xxx v filtriranem vzorcu (0.45 $\mu$ m membranski filter)
$X_{xxx}$	[mg/l]	Koncentracija snovi ki ostanejo na filtru ( $X_{xxx} = C_{xxx} - S_{xxx}$ )
IAT (indeks)		Vzorec merjen na <u>vtoku</u> na ČN, biološkega reaktorja...
EST (indeks)		Vzorec merjen na <u>iztoku</u> iz sekundarnega usedalnika
EAT (indeks)		Vzorec merjen na <u>iztoku</u> iz biološkega reaktorja
$B_{d,BPK5}$	[kg/dan]	Dnevni vnos BPK <sub>5</sub>
$B_{d,XXX}$	[kg/dan]	Dnevni vnos XXX parametra
$B_{d,KPK}$	[kg/dan]	Dnevni vnos KPK parametra
$B_{R,XXX}$	[kg/(m <sup>3</sup> /dan)]	Prostorninski vnos XXX parametra
$B_{SS,XXX}$	[kg/(kg/dan)]	Vnos blata s parametrom XXX
$C_{BPK5}$	[mg/l]	Koncentracija BPK <sub>5</sub> .
$C_{KPK}$	[mg/l]	Koncentracija KPK

$C_N$	[mg/l]	Koncentracija celotnega dušika
$C_P$	[mg/l]	Koncentracija celotnega fosforja
$C_X$	[mg/l]	Koncentracija raztopljenega kisika v aeracijskem bazenu
$C_S$	[mg/l]	Koncentracija nasičenosti kiska glede na T in pritisk.
$f_C$	[-]	Koeficient konice za respiracijo ogljika
$f_N$	[-]	Koeficient konice za oksidacijo dušika
$F_T$	[-]	Faktor za endogeno dihanje
$F_i$	[ha]	Velikost prispevne površine
$\phi_i$	[%]	koeficient odtoka
$M_{SS,AT}$	[kg]	Masa suspediranih snovi v biološkem reaktorju
$OU_{c,BPK5}$	[kg/kg]	Potreba po kisiku pri odstranjevanju C v povezavi z $BPK_5$
$OU_{d,C}$	[kg/dan]	Dnevna potreba po kisiku za odstranjevanje C
$OU_{d,N}$	[kg/dan]	Dnevna potreba po kisiku za nitrifikacijo
$OU_{d,D}$	[kg/dan]	Dnevna potreba po kisiku za denitrifikacijo
$OU_h$	[kg/uro]	Urna potreba po kisiku za odstranjevanje C
$Q_{WS,d}$	[m <sup>3</sup> /dan]	Dnevni pretok odpadnega blata
$Q_{sr}$	[m <sup>3</sup> /dan]	Srednji dnevni pretok
$Q_{min}$	[m <sup>3</sup> /dan]	Minimalni pretok
$Q_{Dw,h}$	[m <sup>3</sup> /h]	Maksimalni urni sušni dotok
$Q_{ww,h}$	[m <sup>3</sup> /h]	$Q_{ww,h} = Q_{Dw,h} + Q$
$Q_i$	[m <sup>3</sup> /h]	Deževni dotok
$q'$	[l/(s*ha)]	Intenziteta gospodarsko enakovrednega naliva
$S_{NO3,D}$	[mg/l]	Koncentracija nitratnega dušika, ki ga je potrebno denitrificirati
$S_{orgN,EST}$	[mg/l]	Koncentracija organskega N na iztoku iz sekundarnega usedalnika
$S_{NH4,EST}$	[mg/l]	Prefiltrirana koncentracija amonijevega N na iztoku i sekundarnega usedalnika

$S_{NO_3}$	[mg/l]	Prefiltrirana koncentracija nitratnega N
$SP_d$	[kg/dan]	Dnevna produkcija aktivnega blata
$SS_{AT}$	[kg/m <sup>3</sup> ]	Koncentracija suspendiranih snovi v biološkem reaktorju
$SS_{WS}$	[kg/m <sup>3</sup> ]	Koncentracija suspendiranih snovi odpadnega blata
$SP_{d,C}$	[kg/dan]	Dnevna produkcija aktivnega blata nastalega pri odstranjevanju C
$SP_{d,P}$	[kg/dan]	Dnevna produkcija aktivnega blata nastalega pri odstranjevanju P
$S_{ALK,EAT}$	Mmol/l	Alkaniteta na iztoku iz biološkega reaktorja
$SS_{RS}$	[kg/m <sup>3</sup> ]	Koncentracija suspendiranih snovi povratnega blata
$SS_{BS}$	[kg/m <sup>3</sup> ]	Koncentracija suspendiranih snovi spodnjega blata v sekundarnem usedalniku
$X_{P,BM}$	[mg/l]	Koncentracija P v biomasi
$X_{P,BioP}$	[mg/l]	Koncentracija biološko odstranjenega P
$X_{P,Prec}$	[mg/l]	Koncentracija odstranjenega P z obarjanjem
$X_{orgN,BM}$	[mg/l]	Koncentracija organskega N vezanega v biomasi
$X_{SS}$	[mg/l]	Koncentracija suspendiranih snovi ostanka filtriranja
$X_{inorgSS}$	[mg/l]	Koncentracija anorganskih suspendiranih snovi
$X_{P,Prec,Fe}$	[mg/l]	Koncentracija odstranjenega P z obarjanjem (Al)
$X_{P,Prec,Al}$	[mg/l]	Koncentracija odstranjenega P s obarjanjem (Fe)
$t_{SS,dim}$	[dan]	Dimenzionirana starost blata
$V_D$	[m <sup>3</sup> ]	Prostornina biološkega reaktorja za denitrifikacijo
$V_{AT}$	[m <sup>3</sup> ]	Prostornina biološkega reaktorja



## KAZALO VSEBINE

<b>1</b>	<b>UVOD</b>	<b>1</b>
1.1	Onesnaženje voda	1
1.2	Ravnanje z odpadnimi vodami	2
1.3	Modeliranje procesov	5
1.4	Standard ATV-DVWK-A 131E	6
1.5	Namen in struktura naloge	6
<b>2</b>	<b>PROCESI V ČN</b>	<b>8</b>
2.1	Uvod	8
2.1.1	Fizikalni in kemijski procesi v naravi	8
2.2	Postopki čiščenja odpadne vode na ČN	8
2.2.1	Primarno in sekundarno čiščenje	9
2.2.2	Oksidacija	9
2.2.3	Odstranjevanje ogljika (C)	10
2.2.4	Odstranjevanje dušika (N)	10
2.2.5	Odstranjevanje fosforja (P)	12
2.3	Sestava odpadne vode	13
2.4	Sestava mikroorganizmov v odpadni vodi	16
2.4.1	Reakcijska območja	16
2.5	Postopek nastanka biološkega blata	17
<b>3</b>	<b>VRSTE REAKTORJEV</b>	<b>19</b>
3.1	Uvod	19
3.2	Popolnoma premešan pretočni reaktor	20
3.3	Zaključeni (sklenjeni) cevni reaktor (Oxidation ditch)	24
3.4	Popolnoma premešan pretočni reaktor na ČN Celje	26
<b>4</b>	<b>MODELIRANJE</b>	<b>27</b>
4.1	Uvod	27
4.2	Problemi pri modeliranju:	29
4.3	Nastajanje modela	30
4.3.1	Modeli za dimenzioniranje	31
4.3.2	Modeli za kontrolo	32
4.3.3	Modeli za analizo	32
4.4	Osnove modeliranja	34
4.4.1	Spremenljivke	34
4.4.2	Operativni in statični prostor (operating and state space)	37
4.5	Razvijanje modela	38
4.5.1	Specifikacija problema	40
4.5.2	Verifikacija modela	40
<b>5</b>	<b>MODELIRANJE BIOLOŠKEGA ČIŠČENJA</b>	<b>41</b>
5.1	Modeliranje ČN po postopku WTPD	41
5.1.1	Uvod	41
5.1.2	Dimenzioniranje procesa pri ogljikovi oksidaciji	44
5.1.3	Aeracijski bazen	49
5.1.4	Blato	52
5.1.5	Potreba po kisiku	52
5.1.6	Kapacitete vračanja blata	52

5.1.7	Dimenzioniranje procesa za nitrifikacijo	53
5.1.8	Temperatura	54
5.1.9	Raztopljeni kisik	55
5.1.10	Nutrienti (hranila)	55
5.1.11	Toksične snovi	56
5.1.12	pH	56
5.2	Dimenzioniranje ČN z aktivnim blatom po smernicah delovnega lista ATV-DWVK-A131E	56
5.2.1	Hidravlična obremenitev	58
5.2.2	Biokemijska obremenitev	59
5.2.3	Določanje zadrževalnega časa snovi (starost blata):	60
5.2.4	Odstranjevanje fosforja	60
5.2.5	Odstranjevanje dušika	61
5.2.6	Produkcija blata	64
5.2.7	Povratno blato in vsebnost suspendiranih snovi v prezračevalnem bazenu	70
5.2.8	Prenos kisika:	72
5.2.9	Alkaniteta	75
<b>6</b>	<b>CELJSKA ČISTILNA NAPRAVA</b>	<b>76</b>
6.1	Kanalizacijski sistem	76
6.2	Lokacija ČN	76
6.3	Postopek čiščenja	77
6.3.1	Mehanska stopnja čiščenja	77
6.3.2	Biološka stopnja čiščenja	78
6.3.3	Naknadni usedalnik in odstranjevanje blata	80
6.4	Analiza podatkov ČN Celje	81
6.4.1	Čistilna naprava Celje	81
6.4.2	Fizikalni parametri	81
6.4.3	Kemijski parametri	82
6.5	Obdelava merjenih podatkov na ČN Celje	83
6.5.1	Analiza podatkov:	84
6.6	Izračun produkcije blata (WTPD)	88
6.6.1	Izračun prostornine biološkega bazena	88
6.6.2	Izračun produkcije blata glede na dane podatke za leto 2005	93
6.7	Računi produkcije blata po standardu ATV – DVWK – A 131E	95
6.7.1	Izračun starosti blata:	95
6.7.2	Hidravlika	96
6.7.3	Odstranjevanje fosforja	96
6.7.4	Odstranjevanje dušika	97
6.7.5	Določitev deleža volumna reaktorja potrebnega za denitrifikacijo	98
6.7.6	Produkcija blata	98
6.7.7	Povratno blato in stopnja recikliranja RC	99
6.7.8	Prenos kisika	100
6.7.9	Analiza rezultatov	100
<b>7</b>	<b>PRIMERJAVA OBEH POSTOPKOV DIMENZIONIRANJA PRODUKCIJE BLATA S PODATKI IZ ČN CELJE</b>	<b>102</b>
7.1	Primerjava rezultatov produkcije odvečnega blata postopkov z dejanskimi podatki	102

<b>8</b>	<b>ZAKLJUČEK</b>	<b>105</b>
	<b>VIRI</b>	<b>106</b>
	<b>PRILOGE</b>	<b>108</b>

## KAZALO SLIK

<b>Slika 3.1:</b> Zadrževalni čas tekočine v reaktorju v odvisnosti od oblike reaktorja (tlorisni pogled) (Plestenjak 2004) .....	20
<b>Slika 3.2:</b> Shematična predstavitev popolnoma premešanega pretočnega reaktorja (Plestenjak, 2004) .....	21
<b>Slika 3.3:</b> Shematična predstavitev zaključenega cevnega reaktorja (Rismal, 1997) .....	25
<b>Slika 4.1:</b> Feedback in Feedforward sistema (WTS, 2001).....	28
<b>Slika 4.2:</b> Potek procesa s spremenljivkami (WTS, 2001).....	35
<b>Slika 4.3:</b> Izvedljiv operativni prostor (WTS, 2001).....	38
<b>Slika 4.4:</b> Stopnje razvijanja modela (WTS, 2001).....	39
<b>Slika 5.1:</b> Predstavitev pretočnega reaktorja v kombinaciji z usedalnikom, ter pripadajočimi parametri (WTPD, 2003) .....	41
<b>Slika 5.2:</b> Sestava aktivnega poživiljenega blata (Eckenfelder, 1986).....	43
<b>Slika 5.3:</b> Učinek zadrževalnega časa snovi $\theta_c$ na proces usedanja aktivnega blata (WTPD, 2003) .....	49
<b>Slika 6.4:</b> Cikel vračanja blata (WTPD, 2003).....	51
<b>Slika 5.5:</b> Shema načrtovanja in dimenzioniranja .....	57
<b>Slika 5.6:</b> Prikazuje spremembo KPK (COD) in filtrirane snovi (X) zaradi biološkega čiščenja. Na levi je sestava snovi pred, na desni pa po biološkem čiščenju. ....	65
<b>Slika 6.1:</b> Shema ČN Celje.....	77
<b>Slika 6.2:</b> Anaerobni bazeni ČN Celje. ....	79
<b>Slika 6.3:</b> Aerobni bazeni ČN Celje. ....	80

## KAZALO PREGLEDNIC-

<b>Preglednica 1.1:</b> Mejne vrednosti parametrov odpadnih vod za nove komunalne ČN in za komunalne ČN v rekonstrukciji so glede na njihovo zmogljivost čiščenja določene (Ur.l. RS, št. 35/1996, 90/1998, 31/2001, 62/2001, 41/2004): .....	4
<b>Preglednica 1.2:</b> Mejne vrednosti za koncentracijo in učinek čiščenja celotnega dušika in celotnega fosforja (Ur.l. RS, št. 35/1996, 90/1998, 31/2001, 62/2001, 41/2004): .....	4
<b>Preglednica 1.3:</b> Mejne vrednosti parametrov odpadnih vod za obstoječe komunalne ČN .....	5
<b>Preglednica 2.1:</b> Sestava komunalnih odpadnih voda (Panjan, 2001) .....	13
<b>Preglednica 2.2:</b> Dnevne količine onesnaženja na prebivalca na dan (Panjan, 2001). .....	14
<b>Preglednica 2.3:</b> Sestava odpadne vode glede na koncentracijo posameznih primesi v mg/l (Panjan, 2001).....	15
<b>Preglednica 4.1:</b> Primer klasifikacije spremenljivk pri preprostem odstranjevanju organskih snovi .....	37
<b>Preglednica 5.1:</b> Tipične kinetične konstante za reaktorje z aktivnim blatom.....	52
<b>Preglednica 5.2:</b> Vrednosti parametrov za dimenzioniranje pri različnem hidravličnem zadrževalnem času. ....	59
<b>Preglednica 5.3:</b> Standardne vrednosti za izračun denitrifikacije (kg nitratnega dušika, ki ga je potrebno denitrificirati, na kg odvedenega organskega onesnaženja $BPK_5$ ).....	63
<b>Preglednica 5.4:</b> Izračunane vrednosti specifične produkcije blata $SP_{C,BPK_5}$ [kg SS/kg $BPK_5$ ] z uporabo enačbe (4.27) za $T=10^{\circ}C$ in $T=12^{\circ}C$ . ....	70
<b>Preglednica 5.5:</b> Določitev SVI glede na proces čiščenja.....	71
<b>Preglednica 5.6:</b> Odvisnot postopka čiščenja glede na čas zgoščevanja.....	71
<b>Preglednica 5.7:</b> Specifična poraba kisika OUC,BOD [kg $O_2$ /kg $BOD_5(BPK_5)$ ], veljavna za $CCOD,IAT/CBOD,IAT \leq 2.2$ .....	73
<b>Preglednica 5.8:</b> Koeficienti konice za porabo kisika (da pokrijemo 2 urno konico v primerjavi z 24 urnim povprečjem) .....	74
<b>Preglednica 6.1:</b> Parametri za dimenzioniranje procesov z aktivnim blatom (WTPD,2003) .	88
<b>Preglednica 6.2a:</b> Koeficienti procesov z aktivnim blatom pri $15^{\circ}C$ (Bisogni in Lawrence, 1971; Metcalf in Eddy, itd.. 1991).....	90
<b>Preglednica 6.2b:</b> Preglednica 6.1 prepisana za lažji pregled (WTPD, 2003).....	90
<b>Preglednica 6.3:</b> Predstavitev rezultatov različnih izračunov prostornine biološkega bazena. ....	92



# 1 UVOD

## 1.1 Onesnaženje voda

Spoznanje, da pitne vode nimamo v neomejenih količinah in da z neskrbnim ravnanjem z vodo režemo vejo na kateri sedimo, usmerja k drugačnim vrednotam in ravnanjem. Sonaravnim in trajnostnim.

Z rastjo in koncentracijo prebivalstva na določenem območju, se pojavlja potreba po večji organizaciji zadovoljevanju njegovih potreb. Primarna potreba oskrbe z živili in predvsem z vodo se izboljšuje, pojavlja pa se problem distribucije in ravnanja z odpadnimi produkti, ki nastanejo pri zadovoljevanju prehrabnih potreb in življenjskih navad prebivalcev. Med odpadne produkte se štejejo odpadki, ki jih odvažamo z mehanskimi napravami na center za ravnanje z odpadki, ter odplake, ki se transportirajo s pomočjo vode na bližnjo čistilno napravo. Če prebivalci nimajo zagotovljenih končnih distribucijskih mest za odpadke, se lahko močno poslabšajo okoljske pogoje in s tem negativno vplivajo na razpoložanje, zdravje ljudi, ter kvaliteto narave same (Panjan, 2001).

Odpadne vode se pojavljajo kot problem na večjih urbanih in vaških naseljih, kjer uporabljajo vodo za transport nezaželenih snovi iz gospodinjstev, industrije, kmetijstva in drugih družbenih dejavnosti (npr. zdravstvo in šolstvo). Snovi, ki jih vsebuje odpadna voda, bi v direktnem izpustu v naravo lahko porušile biološko in kemično ravnovesje. Vsak odvodnik ima svojo samočistilno sposobnost. Produkti razgradljivih snovi v vodi se s kompleksnimi fizikalnimi, kemijskimi in biološkimi procesi vračajo v kroženje. Preobremenitev odvodnika pa pomeni, da odvodnik dodatnih odpadnih snovi sam ne more očistiti in pride do njegovega onesnaženja in porušitve biološkega sistema. Zato je potrebno pred vrnitvijo vode naravi odstraniti oziroma zmanjšati vsebnost nezaželenih snovi na neškodljivo raven. Postopek njihovega odstranjevanja v čistilnih napravah (ČN) je pospešen posnetek procesov, ki se dogajajo v naravi.

## **1.2 Ravnanje z odpadnimi vodami**

Sodobna družba danes zahteva in potrebuje kakovostno in učinkovito delovanje čistilnih naprav, da se zmanjša onesnaženost in obremenitev naravnih vodotokov. Z vključitvijo Slovenije v Evropsko Unijo smo prevzeli okoljsko zakonodajo EU v nacionalno (zakon o varstvu okolja in zakon o vodah), okoljske standarde EU pa smo opredelili z ustreznimi uredbami in odloki.

Odpadne vode v največji meri predstavljajo komunalne in tehnološke odpadne vode. Obstajajo predpisi s strani Evropske unije in Slovenske zakonodaje, ki definirajo kateri parametri so pokazatelj kakovosti. Z zakonodajo so predpisane tudi vrednosti pokazateljev onesnaženosti, ki so še dovoljene v prečiščeni vodi, da ta ne bi obremenjevala okolje. V Sloveniji še vedno poteka posodabljanje in dograjevanje ČN za obremenilna območja, ki presegajo predpisano onesnaženost. Nekateri prehodni roki za ureditev emisij snovi v vode iz tehnoloških objektov so že potekli v letu 1998 in vsi zavezanci, ki niso uskladili emisije s predpisi, so kršilci teh predpisov. V skupino onesnaževalcev voda s komunalnimi odpadnimi vodami so uvrščeni tudi tisti onesnaževalci s tehnološkimi odpadnimi vodami, katerih tehnološka voda je podobna komunalnim. Pri obremenitvi s komunalnimi odpadnimi vodami predstavlja problem velika razpršenost poselitve. Gre za potencialno tveganje, ki ga zmanjšuje ustrezno urejeno kanalizacijsko omrežje in mreža ČN, ki pa je zlasti na območjih podtalnic SV Slovenije še nezadostno. Kanalizacijsko omrežje je omejeno na bližino velikih mest, medtem ko drugje prevladujejo greznice, med njimi tiste z enim in dvema prekatoma, na vzorcu 1000 kmetij pa je bilo ugotovljeno, da je kar petina med njimi brez greznice (Rejec Brancelj, 2001).

Osnovna strateško-programska dokumenta, ki opredelujeta nacionalno okoljsko politiko in glavne cilje posameznih okoljskih sektorjev sta Nacionalni program varstva okolja in Državni razvojni program. Na teh izhodiščih in v skladu z izpogajanimi predhodnimi obdobji za izvedbo pravnega reda EU so bili pripravljene sektorski operativni programi za izvedbo investicijsko zahtevnih direktiv v sektorjih upravljanja z vodami, ravnanja z odpadki in zmanjšanja emisij v zrak. (brošura ČN Celje, Vo-ka)



Za področje odvajanja in čiščenja odpadnih voda je ključna Uredba o emisiji snovi pri odvajanju odpadnih vod iz komunalnih čistilnih naprav. Pri izvedbi se deli na dve fazi:

- Prva faza izvedbe [obdobje 1999-2006] se osredotoča na izgradnjo in dogradnjo kanalskega omrežja ter čistilnih naprav za komunalne odpadne vode območij poselitve z več kot 15.000 PE, na varovanje vodnih virov, namenjenih za oskrbo prebivalstva s pitno vodo, ter na dogradnjo in izgradnjo vodovodnega omrežja na vododeficitarnih območjih. Opremljena je z Operativnim programom odvajanja in čiščenja komunalnih odpadnih voda s programom projektov vodooskrbe, ki ga je vlada sprejela leta 1999.
- Druga faza izvedbe [obdobje med 2002-2015] je opredeljena z Operativnim programom odvajanja in čiščenja komunalnih odpadnih voda območij poselitve od 2000 do 15.000 PE in manj kot 2000 PE, ki ga je vlada sprejela leta 2001.

Večina prednostnih investicijskih projektov operativnega programa prve faze se je začela izvajati v letih 1999-2002, nekateri so že v fazi obratovanja. Leta 2002 se je začela izvajati druga faza, v katero večinoma sodijo čistilne naprave manjših območij poselitve (Brošura ČN Celje Vo-ka).

Preglednice 1.1, 1.2 in 1.3 prikazujejo uredbo o emisiji snovi pri odvajanju odpadnih vod iz komunalnih ČN, ki skupaj s spremembami in dopolnili v 4., 5. in 6. členu navaja mejne vrednosti parametrov odpadnih vod za nove komunalne ČN in za komunalne ČN v rekonstrukciji. (Ur.l. RS, št. 35/1996, 90/1998, 31/2001, 62/2001, 41/2004)

Preglednica 1.1: Mejne vrednosti parametrov odpadnih vod za nove komunalne ČN in za komunalne ČN v rekonstrukciji so glede na njihovo zmogljivost čiščenja določene (Ur.l. RS, št. 35/1996, 90/1998, 31/2001, 62/2001, 41/2004):

Parameter	Enota	Zmogljivost ČN izražena v PE			
		<2000	≥2000 <10.000	≥10.000 <100.000	≥100.000
Neraztopljene snovi	mg/l	-	60	35	35
Amonijev dušik	mg/l	-	10	10	10
KPK	mg/l	150	125	110	100
BPK <sub>5</sub>	mg/l	30	25	20	20

Preglednica 1.2: Mejne vrednosti za koncentracijo in učinek čiščenja celotnega dušika in celotnega fosforja (Ur.l. RS, št. 35/1996, 90/1998, 31/2001, 62/2001, 41/2004):

Parameter	Enota	Zmogljivost ČN izražena v PE			
		<2000	≥2000 <10.000	≥10.000 <100.000	≥100.000
*Celoten dušik	mg/l	-	18	15	10
Učinek čiščenja celotnega dušika	%	-	65	70	80
Celotni fosfor	mg/l	-	3	2	2
Učinek čiščenja celotnega fosforja	%	-	70	80	80

\*Celotni dušik je vsota dušika po Kjeldalhu (Norganski + N-NH<sub>4</sub>), nitratnega dušika (N-NO<sub>3</sub>) in nitritnega dušika (N-NO<sub>2</sub>).“

Preglednica 1.3: Mejne vrednosti parametrov odpadnih vod za obstoječe komunalne ČN

Parameter	Enota	Mejne vrednosti za obstoječe komunalne ČN glede na svojo zmogljivost čiščenja
KPK	mg/l	160
BPK <sub>5</sub>	mg/l	30
Amonijev dušik <sup>(a)</sup>	mg/l	15
Celotni fosfor	mg/l	10

(a) – pri temperaturi odpadne vode 12 °C in več na iztoku aeracijskega bazena.

Mejne vrednosti parametrov podane v preglednici se nanašajo na lastnosti efluentov na ČN. Ti so določeni tako, da ne porušijo samočistilne sposobnosti vodotoka.

### 1.3 Modeliranje procesov

Na delujoči sodobni ČN so modeli vpeti v računalniški programski sistem, ki nadzoruje in odpravlja motnje v sistemu ČN. Modeliranje biološkega čiščenja je eden od ključnih postopkov za uspešno vodenje ČN. Ker je treba upoštevati veliko različnih dejavnikov, ki so med seboj bolj ali manj odvisni je težko predstaviti biološko čiščenje z enim samim matematičnim modelom. Da bi predvideli delovanje procesov zelo pogosto uporabljamo več modelov in jih med seboj primerjamo in uporabimo rezultate, ki nam najbolj ustrezajo. Modeliranje se neprestano nadgrajuje v iskanju bolj natančnih modelov, ki se najbolj približujejo delovanju narave.

Zaradi boljšega razumevanja in natančnejših rezultatov so se modeli specializirali za posamezna področja. Največkrat razvrščamo modele v naslednje skupine:

- Modeli za raziskovanje
- Modeli za dimenzioniranje in oblikovanje
- Modeli za delovanje in nadzor
- Modeli za preverjanje sistemov

Najboljša znana modela v uporabi sta IAWQ (nekdanji IAWPRC) AS model št. 1 (Henze et al. (1987a)) in model IAWQ AS št. 2 (Gujer et al. (1994)). IAWQ (nekdanji IAWPRC) AS model št. 1 (Henze et al. (1987a)) opisuje reakcije za organski ogljik in odstranjevanje nitratov. Poudarek modela je na dogajanje v biološkem reaktorju, medtem ko je dinamika usedanja obravnavana relativno površno. V večini dostopnih modelov je usedalnik obravnavan kot čisti zgoščevalnik, včasih z časovnim zamikom. Ti modeli ponavadi vsebujejo med 10 in 15 konstantnih spremenljivk (state variables) za vsak popolnoma premešan reaktor. AS model št. 1 vsebuje 13 stanj (states), ki opisujejo odstranjevanje ogljika in dušika. Vsako stanje (state) je opredeljeno z nekaj reakcijskih stopenj in stoicizometričnih parametrov. Bolj redek je model IAWQ AS št. 2 (Gujer et al. (1994)), ki doda dinamiko odstranjevanja fosforja. Ta vsebuje 19 stanj (states) za vsak popolnoma premešan reaktor.

## **1.4 Standard ATV-DVWK-A 131E**

Standard se uporablja za dimenzioniranje enostopenjskih ČN z aktivnim blatom. Zaradi posebnosti majhnih ČN je zajet del ATV standardov ATV-A 122E in ATV-A 126E in tudi DIN 4261.

Standard je primeren za odpadno vodo, ki nastane v gospodinjstvih in industriji s komercialnim ali agrikulturnim področjem, ki se da uspešno očistiti z biološkimi procesi.

## **1.5 Namen in struktura naloge**

Diplomska naloga se ukvarja s problemom modeliranja, ki predstavlja osnovo vzdrževanju in projektiranju čistilnih naprav. Najprej se osredotoči na same procese v aeracijskih bazenih in usedalnikih. S tem znanjem se s pomočjo matematičnih postopkov ustvarijo modeli, ki čim bolj natančno zajemajo lastnosti bioloških, kemijskih in fizikalnih procesov. V diplomski

nalogi sta podrobneje predstavljeni metodi dimenzioniranja po priročniku za študente WTPD in po standardu ATV-DVWK-A 131E. Z obema metodama je mogoče ustvariti modele za dimenzioniranje določenega parametra na ČN.

Celjska ČN je bila zgrajena leta 2004, sodobno opremljena nam predstavlja praktične primere modeliranja procesov, ki so zajeti na ČN. Narejena je po vseh evropskih standardih s sofinanciranjem Evropske unije z nepovratnimi sredstvi. Njeno obratovanje je avtomatizirano, za kar skrbi programabilni logični regulator (PLC), ki izvaja avtomatski nadzor celotne ČN. S pomočjo različnih podprogramov (modelov) se izvajajo procesi v sistemu čiščenja. Podatki o stanju na ČN se pošiljajo na operativni center na sedežu podjetja Vodovod – Kanalizacija d.o.o., kar omogoča stalen nadzor nad obratovanjem ČN, tudi izven rednega delovnega časa.

V zadnjem delu diplomske naloge sem analiziral meritve osnovnih in nekaj dodatnih parametrov na ČN Celje v letu 2005 na dotoku in iztoku, ter se osredotočil na samo dogajanje v aeracijskem bazenu, kjer se vrši biološko čiščenje s pomočjo mikroorganizmov. S pomočjo priročnika »suspended growth biological treatment« sem izračunal količino nastalega blata in cikel vračanja na ČN Celje s pomočjo podatkov za leto 2005. Podoben izračun sem naredil še po standardu ATV-DVWK-A 131E. Na koncu sem primerjal rezultate obeh izračunov z dejanskimi podatki s ČN Celje o količini izločenega blata dnevno. Na ta način sem ugotovil kateri izračuni so bližje realnemu dogajanju v biološkem reaktorju in primernejši za napovedovanje rezultatov.

## 2 PROCESI V ČN

### 2.1 Uvod

Odpadno vodo iz gospodinjstva in industrije speljemo po kanalizacijskem sistemu do ČN. Pred vstopom v ČN se pri mešanem sistemu po potrebi zgradijo razbremenilni in zadrževalni objekti. Odpadno vodo na ČN očistimo s kombinacijo primarnega, sekundarnega in terciarnega čiščenja. Nosilec biološkega čiščenja je aktivna biomasa. V teh postopkih razkrojevalci razgrajujejo organske spojine z visoko molekulsko maso do organskih spojin z nizko molekulsko maso in enostavnih anorganskih spojin. Po potrebi se iz odpadne vode odstranjujejo dušik (nitrati  $\text{NO}_3^-$ ), fosfor (ortofosfat  $\text{PO}_4^{3-}$ ), težko razgradljive organske snovi, težke kovine in raztopljene anorganske snovi. Tehnike čiščenja zajemajo fizikalne, kemijske in biološke postopke procesa čiščenja (Panjan J. Čiščenje odpadnih voda).

#### 2.1.1 Fizikalni in kemijski procesi v naravi

Poznamo biološko in nebiološko (fizikalno-kemijski procesi) samoočiščenje. Med fizikalne procese štejemo mešanje, usedanje, plavljenje, redčenje, precejanje in izmenjava plinov (navzemanje kisika iz zraka). H kemijskim procesom pa spadajo oksidacijsko redukcijski procesi v vodi in hidroliza. Ti so odvisni od pH vrednosti in stopnje nasičenosti s kisikom. Končni produkti redukcije so amoniak, vodik, dušik, metan in ogljikov monoksid, končni produkti oksidacije pa ogljikov dioksid in različne spojine N, P in S (nitrati, fosfati, sulfati). Osnova biološkim procesom so mikroorganizmi. Več kot je mikroorganizmov hitrejši in bolj učinkoviti so biološki procesi in večja je samočistilna sposobnost odvodnika. (Plestenjak, 2004)

### 2.2 Postopki čiščenja odpadne vode na ČN

Kanalski sistem je lahko mešan ali ločen. Mešani so cenejši in enostavnejši pomenijo pa, odvajanje odpadne in meteorne vode (vode ki nastane ob deževju, taljenju snega) skupaj. Pri ločenem sistemu pa gre za ločeno odvajanje odpadnih in meteornih voda. Ta sistem je dražji, saj je potrebno graditi dva kanalska sistema, vendar nam omogoča bolj enakomeren pritok

odpadnih vod na čistilno napravo z določeno koncentracijo hranil brez nihanj v koncentraciji, ki bi nam jih povzročalo mešanje z meteornimi vodami. Pred vstopom v čistilno napravo se pri mešanem sistemu po potrebi zgradijo razbremenilni in zadrževalni objekti. Te sestavljajo objekti za razbremenjevanje zadrževanje onesnaženih padavinskih voda, s katerimi bo zagotovljen odtok pretežnega dela (okrog 90%) onesnaženih odpadnih vod (fekalnih in padavinskih) na čistilno napravo.

### **2.2.1 Primarno in sekundarno čiščenje**

Po vstopu odplak v čistilno napravo vodo očistimo s kombinacijo primarnega in sekundarnega čiščenja, ter terciarnega čiščenja, če to zahteva ogroženost odvodnika. H primarnemu čiščenju ali prvi stopnji čiščenja štejemo mehanske postopke. V tej stopnji preprosto odstranimo večje plavajoče delce, delce ki so težji od vode in olja ter masti. To dosežemo z grobimi in finimi grabljami v kombinaciji s peskolovom in lovilcem olj, ter če zahteva postopek čiščenja tudi s primarnim usedalnikom. Sekundarno čiščenje predstavlja biološko odstranitev organskih snovi, predvsem organskega ogljika. To se izvaja v različnih sistemih aeracijskih bazenov in naknadnih usedalnikov. V teh postopkih razkrojevalci razgrajujejo organske spojine z visoko molekulsko maso do organskih spojin z nizko molekulsko maso in enostavnih anorganskih spojin. V terciarnem čiščenju ali tretji stopnji čiščenja se iz odpadne vode odstranjujejo dušik (nitrat  $\text{NO}_3^-$ ), fosfor (ortofosfat  $\text{PO}_4^{3-}$ ), del težko razgradljive organske snovi in raztopljene anorganske snovi. Učinek čiščenja hranil dušika in fosforja v tej stopnji čiščenja odpadnih voda dosega vrednosti od 80-90 odstotkov.

Primarna naloga biološkega čiščenja je odstraniti predvsem ogljikove spojine. Glede na naravne in poltehnične postopke jih bistveno intenziviramo, kontroliramo in reguliramo. Ključni nosilci čiščenja so, tako kot v naravi, mikroorganizmi. Medtem ko imamo širok spekter procesov in opreme, ki sodelujejo pri čiščenju odpadne vode, imamo omejeno število osnovnih mehanizmov. Ti so reakcije hranili, hidravlika, kemijske reakcije, masna bilanca, rast biološkega blata, usedanje in filtracija (Gustaf O. WTS, 2001).

### **2.2.2 Oksidacija**

Vsebnost kisika v vodi je odvisna od temperature, slanosti, zračnega tlaka in gibanja vode. V vodo pride iz atmosfere ali pa po biogeni poti (s pomočjo avtotrofnih organizmov). Njegova

poraba je odvisna od količine hranil v vodi. Ločimo dve stopnji razgradnje. Prva stopnja je oksidacija ogljikovih organskih snovi do končnih produktov vode in ogljikovega dioksida. V tej stopnji gre za hitro porabljanje hranil v vodi s strani mikroorganizmov, kar se odraža z njihovo celično rastjo (eksogeno dihanje). V drugi stopnji pa gre za oksidacijo dušikovitih organskih spojin do amoniaka, nitrata in nitrita. Nitrat in nitrit nastajata, ko organizmi porabljajo izključno celične rezerve snovi, potem ko so porabili v vodi vsa razpoložljiva raztopljena hranila. V obeh primerih gre za porabljanje kisika. Posebnost druge stopnje je le v tem da, nastaja amoniak zaradi razgradnje dušikovitih spojin (celične beljakovine, aminokislina) (Panjan, 2001).

### **2.2.3 Odstranjevanje ogljika (C)**

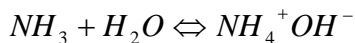
Razgradnja ogljikovih spojin (beljakovine in ogljikovi hidrati) poteka pri aerobnih in anaerobnih pogojih, izvajajo pa jo heterotrofni mikroorganizmi. Nekatere težje topne ogljikove spojine se morajo najprej pretvoriti v topljivo obliko s pomočjo hidrolize, ki se katalizira z encimi, ki jih izloča biomasa. (WTS, 2001) Organski ogljik se ali asimilira v biomaso ali pa se pri disimilaciji pojavi v plinski ( $\text{CO}_2$ ) in topni obliki ( $\text{HCO}_3$ ). Pri bolj kompleksnih (beljakovine in aminokislina) pa se poleg naštetih produktov sproščajo še nitritni, amonijevi, nitratni, sulfatni, fosfatni in kloridni ioni. Ob pomanjkanju kisika je razgradnja počasnejša je pa še vedno lahko popolna, dokler je na voljo kisik vezan v nitritnih, nitratnih in sulfatnih ionov. Če kisika ni (anoksični pogoji) pride do nastajanja nizkomolekularnih razgradljivih snovi, ki so osnova za nastajanje metana.

### **2.2.4 Odstranjevanje dušika (N)**

Dušik imamo pri odpadni vodi v štirih oblikah: kot organski dušik, amonij, nitrit in nitrat. Oblike dušika kažejo na nivo stabilizacije (mineralizacije) organske snovi. Surova odpadna voda ima večjo koncentracijo organskega dušika in amonija kot nitrita in nitrata. Celotnega dušika je v surovi odpadni vodi približno 85 mg/l, od tega 8 do 35 mg/l organskega in 12 do 50 mg/l amonijevega dušika.

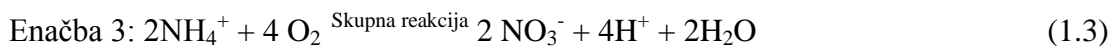
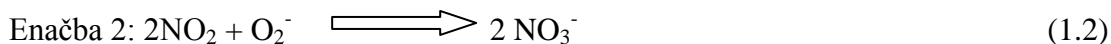
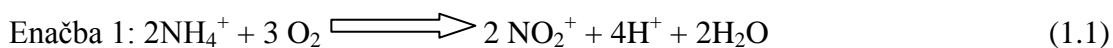


Amonijev dušik se nahaja kot raztopljen plin v vodi in je v ravnotežju z amonijevim ionom ( $NH_4^+$ ) pri določeni temperaturi in pH.

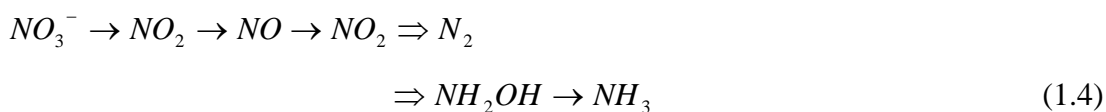


Za odstranjevanje dušika poznamo dva procesa. To sta nitrifikacija in denitrifikacija. V aerobnem okolju poteka nitrifikacija (biološka oksidacija amonija).

Nitrifikacija poteka v dveh delih. Prvi del predstavlja oksidacijo amonija v nitrit ( $NH_4 \rightarrow NO_2^-$ ) in drugi del nitrita v nitrat ( $NO_2^- \rightarrow NO_3^-$ ).



Izvajajo jo nitritne in nitratne avtotrofne bakterije, ki so dejavne le v prisotnosti raztopljenega kisika. Rast avtotrofov je počasnejša od rasti heterotrofov in je tudi bolj občutljiva na okoljske pogoje. V hladnih klimatskih razmerah lahko stopnja rasti upade tako drastično, da se zaustavi proces nitrifikacije. Kadar pride do pomanjkanja kisika (kisik se zniža znatno pod 50%) nastane anoksično okolje in namesto nitrifikacije poteka denitrifikacija, kjer heterotrofne anaerobne bakterije reducirajo nitrite in nitrate do dušikovih oksidov in molekularnega dušika. V stoječih vodah pa se lahko denitrifikacija konča z nastankom amoniaka.



$N_2$  se raztaplja v vodi in po nasičenju uhaja v ozračje. Obstaja pa tudi trden dokaz za istočasno nitrifikacijo in denitrifikacijo v aerobnih pogojih, kjer poteka denitrifikacija v notranjosti flokul biomase (WTS, 2001).

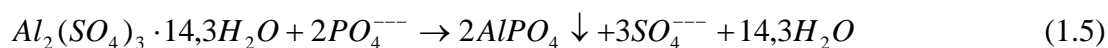
### **2.2.5 Odstranjevanje fosforja (P)**

Fosfor se pojavlja v odpadni vodi v različnih oblikah. Pomemben je, ker je osnovni element za biološko rast in reprodukcijo. V prekomernih količinah povzroča eutrofikacijo in s tem poslabšanje kakovosti odvodnika. V surovi odpadni vodi se nahaja v različnih oblikah (med 2 in 20 mg/l), določamo pa ga kot skupni fosfor (Brošura ČN Celje, Vo-ka).

Biološko odstranjevanje fosforja je zelo kompleksno. Obstaja več načinov, ki se med seboj razlikujejo v različni kombinaciji in zaporedju reaktorjev in postopkov. V odpadni vodi se fosfor nahaja v obliki topnih orto-fosfatov. Iz vode se lahko odstrani samo kot netopna gruča poly-fosfatov v posebnih bio-P organizmih. Čeprav še ni povsem znano delovanje bio-P mehanizma obstajajo neke osnove, ki so jih zapisali pri IAWQ AS Model No 2 (Gujer *et al.* (1994)). Mehanizem je v razmerju med anaerobnim izločanjem in aerobnim navzemanjem fosfata v topni obliki. Med anaerobnim izločanjem bio-P organizmi porabljajo maščobne kisline in jih skladiščijo kot poly-hidroksi-alkanoide medtem, ko so netopni poly-fosfati izločeni kot topni fosfati. Med aerobnim navzemanjem se poly-hidroksi-alkanoidi porabljajo in topni fosfati spreminjajo v netopne poly-fosfatne gruče. Da poteka reakcija optimalno je odvisno od rasti bio-P organizmov, ki se pojavi v aerobnih pogojih, kadar je dovolj shranjenih poly-hidroksi-alkanoidov. Da uspe postopek z bioorganizmi je pomembno anaerobno vrenje topnih organskih ogljikov v maščobne kisline. Vrenje mora potekati v pogojih, ki niso ugodna metanogenim organizmom, ki bi maščobne kisline razgradili do metana (WTS, 2001).

Ponavadi in v praksi pa je bolj pogosto izločanje fosforja s kemijskimi postopki. Tu uporabljamo kot koagulate aluminijeve in železove spojine kot sta aluminijev sulfat in železov klorid. Kemikalije dodamo ponavadi pred usedanjem, saj se po reakciji v netopni obliki usedejo na dno. Ortofosfati se izločajo kemijsko, medtem ko naj bi se polyfosfati in organski fosfati absorbirali v flokule. S pomočjo pH kontroliramo in izboljšujemo reakcije. Na začetku aeracijskega bazena znižan pH pospeši raztapljanje fosforjevih spojin, na koncu bazena pa naraščanje pH povzroči usedanje fosforja in vgraditev v blato. Kemijska sedimentacija poteka tudi s pomočjo organizmov pri procesu denitrifikacije, kjer je okolje alkalno in se pH dviguje. To pa povzroči usedanje netopnih fosfatov (kalcijevega fosfata).

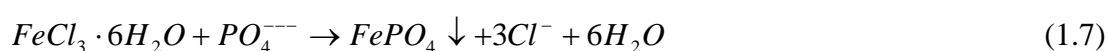
Aluminijevi ioni reagirajo s fosforjevimi ioni kot je prikazano v enačbah 2.5 in 2.6. Puščica navzdol pomeni, da je spojina netopna in se useda na dno (Planinšek M. 2003).



Vzporedno poteka tudi naslednja reakcija:

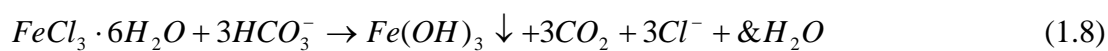


Železo reagira s ortofosfati na naslednji način:



V primerjavi z aluminijem je potrebna večja količina železa v praksi, ne pa kot prikazuje zgornja kemijska reakcija.

Vzporedna reakcija z naravno alkalnostjo:



### 2.3 Sestava odpadne vode

Z letnimi časi se temperatura vode spreminja od 5 – 20 °C za majhne in od 8 – 15 °C za velike kanalizacijske sisteme. Substrat pa se spreminja glede na neenakomerne obremenitve in vsebnosti industrijske odpadne vode. Vode pri izpustih v odvodnike ne smejo preseči temperature višje od 30 °C, ker se poveča poraba kisika in s tem neugodni učinki na odvodnik. Sestava odpadne vode se najprej obravnava glede na to ali je organskega ali anorganskega izvora, glede na možnost čiščenja na usedljive, lebdeče, koloidne in raztopljene snovi. Koloidne in raztopljene snovi dajejo vodi videz motnosti in so izločljive samo z biokemijskimi postopki.

Preglednica 2.1: Sestava komunalnih odpadnih voda (Panjan, 2001)

BPK <sub>5</sub> [g/(PE·dan)]	N [g/(PE·dan)]	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> [g/(PE·dan)]
55	12	3,5

Odpadna voda je lahko sestavljena iz komunalne odpadne vode, ki ji pravimo tudi sušni dotok in meteorne vode, odvisno od kanalizacijskega sistema. Ponavadi imamo mešan kanalizacijski sistem in s tem mešano odpadno vodo. Sušni dotok odpadne vode vsebuje 30 % usedljivih snovi, 70 % neusedljivih, 70 % organskih in 30 % mineralnih snovi. Mešana odpadna voda pa ima 50 % mineralnih snovi, 50 % organskih snovi, 47 % suspendiranih, od katerih je 2/3 usedljivih in 53 % raztopljenih snovi. Pri računanju lahko predpostavimo odstotke organskih in usedljivih snovi z nekaj procenti odstopanja. Za projektiranje čistilne naprave se običajno navedejo naslednji podatki:

- količina vseh primesi
- količina mineralnih primesi
- količina organskih primesi
- količina suspendiranih snovi
- količina usedljivih snovi
- količina lebdečih primesi
- količina raztopljenih primesi
- biokemijska potreba po kisiku v 5 dneh (BPK<sub>5</sub>)

Delež organskih in mineralnih delcev, ki jih imajo koloidne, suspendirane in raztopljene snovi v odpadni vodi izrazimo v enoti mase sušine ali biokemijske potrebe kisika po petih dneh na prebivalca na dan, kot je razvidno iz preglednic 2.2 in 2.3.

Preglednica 2.2: Dnevne količine onesnaženja na prebivalca na dan (Panjan, 2001).

V žarini in žaro izgubi 24 – urnega povprečnega vzorca	Mineralne snovi [g/(PE·dan)]	Organske snovi [g/(PE·dan)]	Skupaj [g/(PE·dan)]	BPK <sub>5</sub> [g/(PE·dan)]
Usedljive snovi	20	30	50	20
Lebdeče s.	5	10	15	10
Raztopljene s.	75	50	125	30
Skupaj	100	90	190	60

Preglednica 2.3: Sestava odpadne vode glede na koncentracijo posameznih primesi v mg/l (Panjan, 2001)

24 – urni povprečni vzorec	Mineralne snovi [mg/l]	Organske snovi [mg/l]	Skupaj [mg/l]	BPK <sub>5</sub> [mg/l]
Usedljive snovi	100	150	250	100
Lebdeče s.	25	50	75	50
Raztopljene s.	375	250	625	150
Skupaj	500	450	950	300

Pri aerobnih procesih biološkega čiščenja v ČN poznamo dva postopka. Prvi deluje s pomočjo biomase, ki je pritrjena na podlago. Skozi podlago se voda preceja in filtrira ali pa se podlaga potaplja v vodo, ki služi le kot medij za hrano. Te postopke opravljamo s precejalniki, biofiltri in potopniki. Drugi način čiščenja je s pomočjo lebdeče biološke ruše ali aktivnega blata. Postopke s poživiljenim blatom imenujemo, ko mikroorganizmi lebdiijo v vodi, se mešajo s hranilom in ga porabljajo. Pri modeliranju se bomo posvetili predvsem postopkom s poživiljenim blatom.

Aerobno odstranjevanje organskih hranil s pomočjo mikroorganizmov lahko ponazorimo z naslednjo enačbo:



V tej enačbi se dogajajo tri osnovne aktivnosti: oksidacija, sinteza in avtooksidacija. Oksidacija je razgradnja organskih snovi v nižje energetske produkte s sproščanjem energije. Sinteza je preobrazba organske snovi, s pomočjo energije pridobljene v procesu oksidacije, v novo biomaso. Avtooksidacija pa je preobrazba nekaj celičnih sestavin v nižje energijske produkte s sprostitvijo nekaj energije (Grady et al., 1999; McCarty, 1972, 1975).

Hrano mikroorganizmom predstavljajo v večini ogljikove in dušikove spojine, medtem ko fosfor pogosto odstranjujemo s kemijskim postopkom. Spojine se v vodi nahajajo v obliki beljakovin, ogljikovih hidratov, maščob in raznih kislin.

## **2.4 Sestava mikroorganizmov v odpadni vodi**

Odpadna voda ima določeno sestavino snovi, temperaturo, pH in že vsebuje številne mikroorganizme. Okolje v reaktorju, kamor priteče odpadna voda, naredimo prijazno mikrobom, da se razmnožijo in tako dobimo želeno populacijo, ki jo selekcioniramo glede na vrsto hranil s katerimi se hranijo in jih želimo odstraniti. Mikroorganizmi se namnožijo v obliko, ki ji pravimo biološko blato. Suspenzija mikroorganizmov je sestavljena iz organske in anorganske frakcije. Organske predstavlja empirična formula  $C_5H_7O_2NP_{0,2}$ , medtem ko med anorganske spadajo kalij, natrij, magnezij, žveplo, kalcij, železo in drugi elementi. Med mikrobi prevladujejo heterotrofni organizmi, ki potrebujejo biološko razgradljive organske snovi za pridobivanje nove energije (disimilacija) ali za sintezo novih celic (asimilacija). Sem spadajo bakterije, glive in nekateri protozoi. Avtotrofne bakterije, vključno s tistimi, ki oksidirajo amonij v nitrit in nitrat, imajo sposobnost uporabljati anorganske snovi za energetske in celično sintezo. Ti organizmi so prisotni v različnih koncentracijah, predvsem pa potrebujejo posebne pogoje za uspešno delovanje. Biološko blato ali biomasa vsebuje razen bakterij, protozojev in gljiv še viruse, metazoe in kvasovke. Virusi ne igrajo posebno vlogo pri odstranjevanju hranil. Protozoi se v večjem številu nahajajo pri aerobnih procesih (5% biomase). Nekateri se hranijo z organskimi snovmi, večina pa jih je predatorjev, ki prežijo na bakterije in druge evkarionte. Določena vrsta protozojev nam služi kot indikator dobrega čiščenja, saj se pojavljajo v območjih z visoko koncentracijo raztopljenega kisika in nizko koncentracijo raztopljenih snovi. Kvasovke in glive niso običajno prisotne pri čistilnih postopkih. Zaradi nizke potrebe po nitratih in sposobnost obstoja pri nizkem pH včasih pomeni uporaba gliv in kvasovk prednost pri predelavi posebne industrijske odpadne vode. Njihova prisotnost pa ponavadi ni koristna, zaradi njihove slabe sedimentacije in jih tako težko ločimo od vode, kar pomeni samo poslabšanje kvalitete iztoka. Metazoi so višja oblika organizmov in so najvišje na položaju prehranske verige. Zaradi tega so v zelo majhnem številu in nimajo posebnega vpliva pri poteku bioloških procesov (WTPD, 2003).

### **2.4.1 Reakcijska območja**

V postopkih biološkega čiščenja srečamo anaerobne, aerobne, oksične in anoksične razmere. Aerobni pogoji pomenijo navzočnost zraka, oksični pa navzočnosti kisika, ki ga ponavadi vsebuje zrak. Oksične razmere so zmeraj aerobne, medtem ko aerobne niso zmeraj oksične.

Ko govorimo o anaerobnih območjih pa govorimo, kadar reakcije niso odvisne od zraka in lahko potekajo brez njega, medtem ko anoksična območja pomenijo odsotnost kisika. Aerobne reakcije mikroorganizmov so hitrejše od anaerobnih. Pri njih ne prihaja do tvorbe vmesnih močno reduciranih produktov, ki so tipični za anaerobne procese (vodikov sulfid, amoniak in metan). Razgradnja proteinov, maščob in ogljikovih hidratov tako poteka s pomočjo mikroorganizmov. Njihova številčnost je veliko večja pri aerobnih procesih, kjer sodelujejo še tudi nekatere vrste rastlin. Tudi raznovrstnost organizmov pri anaerobnih procesih je veliko manjša.

## **2.5 Postopek nastanka biološkega blata**

Če hočemo, da se zgodi biološka reakcija moramo reaktante transportirati do mikroorganizmov in produkte stran od mikroorganizmov. Pomanjkanje reaktantov in prekomernost produktov upočasnjuje biološke reakcije. Najboljši primer za ponazoritev postopka transporta produktov je verjetno vnos kisika do mikroorganizmov. Razgradnja snovi se povečuje z večjo kontaktno površino med vodo in zrakom (kisikom), to dosežemo z majhnimi mehurčki in večjo razliko med površino in prostornino tekočine. Transport znotraj tekočine se nadzoruje s pomočjo mešanja, ki pa ne sme biti preveč sunkovito, da ne bi fizično motilo mikroorganizme. Te predstavljajo bakterije, ki se povezujejo v kosme. Prosto plavajoči kosmi se med seboj povezujejo, zaradi lepljive sluzi s katero so obdane bakterije. Tako nastajajo vedno večje kolonije, ki se še dodatno razmnožujejo in za hrano porabljajo prisotne razgradljive snovi. Čim večji so kosmi, tem hitrejša je njihovo usedanje, hkrati pa želimo čim manjše kosme zaradi večjega učinka čiščenja. Niso pa vse bakterije v kosmih. Veliko je posameznih, ki so razpršene v vodi. V to združbo štejemo še prosto plavajoče migetalkarje, bičkarje in kotačnike. V flokulah ali kosmih naj bi bila takšna koncentracija organizmov, da obstajajo področja kjer bi naj poleg nitrifikacije istočasno potekala denitrifikacija. Reakcijam, ki se vršijo v teh razmerah, sledi druga pomembna vrsta procesa, ki se imenuje separacija. Tu ločimo vodo od biomase, ki jo sestavljajo bakterije in drugi manj razviti organizmi. Pod separacijo spadata procesa flokulacije in sedimentacije. Flokulacija je zbiranje bakterij v flokule, ki se povečujejo tako dolgo dokler se zaradi svoje teže pod vplivom gravitacije ne usedejo na dno. Kopičenje in usedanje bakterij ali flokul na dnu imenujemo sedimentacija. Tem procesom sledi odvzem blata in odtok čiste vode, ki se po potrebi naprej obdeluje.

Vzdrževanje biološke ruše v medsebojnem pravilnem razmerju organizmov v aktivnem, vitalnem stanju je zelo pomembno za uspešno odstranjevanje hranil. To je tudi eden od pogojev za dobro usedanje. Pomanjkljivosti pri teh operacijah so pomanjkanje jasnih meritev, relativna počasna in neskladna rast mikroorganizmov, kompeticija mikroorganizmov... (WTS, 2001).



## 3 VRSTE REAKTORJEV

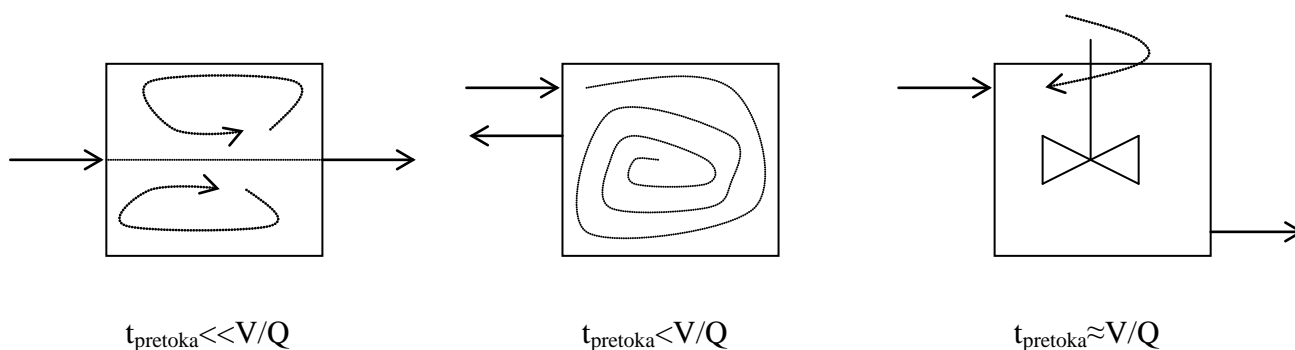
### 3.1 Uvod

Reaktor je sistem v katerem so snovi podvržene kemičnim in biološkim reakcijam. Snovi, ki pritekajo v reaktor so v suspendirani ali raztopljeni obliki. Pri analizi reakcij v reaktorjih pogosto naletimo na izraz masna bilanca, ki predstavlja fizikalne zakonitosti zapisane v obliki za dotok, odtok in reakcije za vsak tip reaktorja posebej.

Bazeni, kjer potekajo procesi s pomočjo aktivnega blata različno dimenzionirani. Lahko jih kategoriziramo na osnovi oblike posode, frekvence polnjenja, vzorcev hranjenja in prezračevanja, tipe aeracije in drugih podobnih kriterijev. Za manjše ČN so oksidacijski bazeni bolj pogosti kot pri večjih, kjer so bolj zaželeni cevni reaktorji (nekateri z prilagodljivimi nastavitvami). Popolnoma premešani reaktorji naj bi bili manj občutljivi na toksične porušitve, vendar ti sistemi vzpodbujajo rast nezaželenih filamentnih mikroorganizmov. Do rasti filamentnih mikroorganizmov pride zaradi nizke koncentracije raztopljenega kisika, nizkega pH, deficita hranil, prisotnost večjih količin olj in maščob. Te bakterije povzročajo motnje pri usedanju aktivnega blata in onemogočajo normalno sedimentacijo. Uporaba cevnih reaktorjev vsebuje fleksibilnost, ki dopušča anaerobno in anoksično cono hkrati v istem sistemu. Te cone omogočimo z različnimi pregradami in zavoji v reaktorju in tako dobimo večnamenski reaktor (WTPD,2004).

Če razvrstimo bazene po obliki, pridemo do definicije popolnoma premešanih, cevnih reaktorjev, oksidacijskih bazenov in aeracijskih lagun. Vsaka od teh naprav ima še podkategorije.

Oblika reaktorjev določa tudi zadrževalni čas tekočine v reaktorju in s tem razpoložljiv čas za potek reakcij. Hidravlični zadrževalni čas tekočine v reaktorju se ponavadi lahko spreminja od nič do neskončno, ustrezno z razmerjem  $V/Q$ .

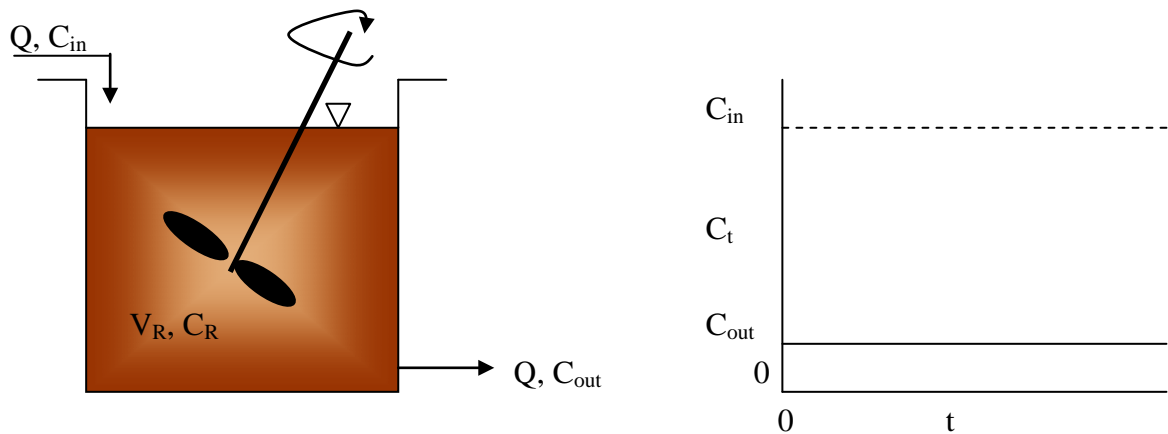


Slika 3.1: Zadrževalni čas tekočine v reaktorju v odvisnosti od oblike reaktorja (tlorisni pogled) (Plestenjak 2004)

Z modeli idealnih reaktorjev se poskušamo približati realnim razmeram. Idealne reaktorje delimo na popolnoma premešane saržne reaktorje, popolnoma premešane pretočne reaktorje in cevni reaktor.

### 3.2 Popolnoma premešan pretočni reaktor

Popolnoma premešan pretočni reaktor v nasprotju s popolnoma premešanim saržnim reaktorjem, vsebuje nenehen (kontinuiran) popolnoma premešan dotok hranil. Takojšna razredčitev dotočnih reaktantov in blaženje dotočnih, s časom spreminjajočih se koncentracij, sta dve osnovni značilnosti popolnoma premešanega reaktorja. To mu omogoča uspešno prenašanje manjših organskih in toksičnih šokov, brez posledic na kakovost iztoka. Zaradi nenehnega pretoka, ob zadostni količini kisika in primerni obremenitvi s hranili, je nastanek filamentnih bakterij v popolnoma premešanih sistemih, omejen.



Slika 3.2: Shematična predstavitev popolnoma premešanega pretočnega reaktorja (Plestenjak, 2004)

Večina procesnih reaktorjev se obnaša podobno kot idealni popolnoma premešan pretočni reaktor. Običajno nastopajo, pri fizikalno kemijskih postopkih čiščenja in se uporabljajo za pripravo pitne in tehnološke vode, v obliki (1) popolnoma premešanih rezervoarjev. Kot (2) aeracijski bazeni pa nastopajo v fazi predčiščenja v industriji in pri komunalni odpadni vodi. V teh bazenih potekajo biološki procesi s pomočjo popolnoma premešanega biološkega blata.

Konfiguracija popolnoma premešanega pretočnega reaktorja je, kljub prvotni uporabi v procesih čiščenja na pravi ČN, uporabna tudi za eksperimente na pilotnih ČN, ki so namenjeni ocenitvi delovanja bioloških procesov.

Popolnoma premešani reaktorji so praviloma kvadratne, valjaste ali pravokotne oblike. Dimenzije tanka lahko kontroliramo z njegovo velikostjo, načinom mešanja in uporabe aeracijske opreme, ter prostorskimi pogoji. Vnos kisika omogočimo z razprševalci zraka in drugimi aeracijskimi napravami. Faktorji ki vplivajo na učinkovitost aeracijskega mehanskega mešanja, vključujejo dimenzijsko razmerje dolžine/širine biološkega reaktorja, moč mešanja in hitrost pretoka odpadne vode skozi reaktor. Ne odvisno od oblike posode in načina prezračevanja lahko, pri realnem zadrževalnem času in normalni intenziteti mešanja, obravnavamo reaktor kot popolnoma premešan. Razmerje med dolžino in širino posode naj bi bilo manjše od 3:1, v primeru dodatne uporabe ovir pa je lahko večje (Plestenjak 2004).

Pri normalno delujočih pogojih so pretočne količine, ki dotekajo in iztekajo iz popolnoma premešanega pretočnega reaktorja enake in je zaradi tega tudi volumen v reaktorju konstanten. Tako kot popolnoma premešani saržni reaktor, je tudi pretočni reaktor popolnoma premešan, zato je koncentracija  $C_R$  po celotnem volumnu reaktorja enaka. Ravno tako pa tudi velja, da je zaradi popolnoma premešanega stanja koncentracija  $C_R$  enaka iztočni koncentraciji  $C_{iztok}$ . Iz tega sledi, da je reakcijski izraz  $r$  ravno tako enak po celotnemu volumnu reaktorja in omejen z iztočno koncentracijo  $C_{iztok}$ .

Masno bilanco snovi lahko splošno zapišemo kot

$$V_R \frac{dC}{dt} = Q \cdot C_{vtok} - Q \cdot C \pm r \cdot V_R \quad (2.1)$$

Prva dva izraza desne strani enačbe (2.1) sta molarna ali masna izraza pretoka sestavin, ki vstopajo in izstopajo iz reaktorja in njuna razlika predstavlja izraz za neto masni ali molarni pretok v reaktorju.

Ob upoštevanju stacionarnih pogojev delovanja ima izraz za akumulacijo ničelno vrednost in enačba (2.1) se pri stacionarnih pogojih zapiše kot:

$$V_R \frac{dC}{dt} = 0 = Q \cdot C_{vtok} - Q \cdot C - r \cdot V_R \quad (2.2)$$

Stacionarno vrednost koncentracije  $C$  lahko izrazimo glede na dotočno koncentracijo  $C_{vtok}$  in z razmerjem:

$$\frac{C}{C_{vtok}} = 1 + r \cdot \frac{V_R}{Q \cdot C_{vtok}} \quad (2.3)$$

Volumen reaktorja, ki je potreben za zagotovitev želene koncentracije  $C$ , pa je iz enačbe (2.3) izražen kot:

$$V_R = -\frac{Q}{r} \cdot (C_{vtok} - C) \quad (2.4)$$

Če enačbo (2.2) delimo s pretokom in upoštevamo, da sta volumen reaktorja in pretok konstantna in da veljajo reakcije I. reda, potem dobimo enačbe oblike:

$$\theta \cdot \frac{dC}{dt} = C_{vtok} - C - k \cdot C \cdot \theta, \quad (2.5)$$

kjer  $\theta = V_R/Q$  predstavlja povprečni hidravlični zadrževalni čas biomase oziroma teoretični zadrževalni čas, ki ga potrebuje tekočinski delček v dotoku, da prepotuje cel reaktor.

Splošen zapis enačbe za povprečni hidravlični zadrževalni čas biomase dobimo, če enačbo (2.4) delimo s pretokom  $Q$  in dobimo izraz:

$$\theta = \frac{V_R}{Q} = -\frac{1}{r} \cdot (C_{vtok} - C) = \frac{-\Delta C}{r} \quad (2.6)$$

Ko poznamo izraz določene reakcije, lahko zapišemo bolj specifično obliko za enačbo (2.6). Če je npr. dana komponenta podvržena reakciji prvega reda,  $r = -k \cdot C_{iztok}$ , se reakcija zapiše kot:

$$\theta = \frac{1}{k} \left[ \left( \frac{C_{vtok}}{C_{iztok}} \right) - 1 \right] \quad (2.7)$$

Iz enačbe (2.7) lahko vidimo, da se pri določeni dotočni koncentraciji potrebni  $\theta$  za doseganje dane iztočne koncentracije povečuje, medtem ko se konstantni izraz zmanjšuje. Pri danem konstantnem izrazu pa se  $\theta$  povečuje, medtem ko se koncentracija iztoka zmanjšuje.

Enačbo (2.7) zapišemo v integracijski obliki:

$$\int_{C_{vtok}}^{C_{iztok}} \frac{dC}{C_{vtok} - C \cdot (1 + k \cdot \theta)} = \int_0^t \frac{1}{\theta} \cdot dt \quad (2.8)$$

Po integraciji dobimo končno rešitev:

$$C_{iztok} = \frac{C_{vtok}}{1 + k \cdot \theta} \cdot \left[ 1 + k \cdot e^{-\frac{t}{\theta} \cdot (k \cdot \theta + 1)} \right] \quad (2.9)$$

Če upoštevam stacionaren režim, potem  $t \rightarrow \infty$  in posledično  $e^{-\frac{t}{\theta} \cdot (k \cdot \theta + 1)} \rightarrow 0$  in enačba (2.9) se poenostavi v:

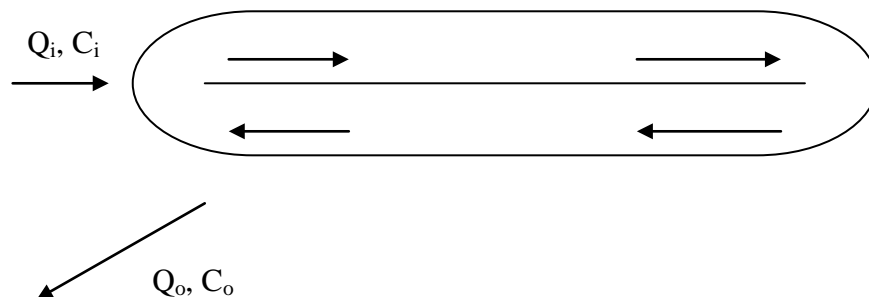
$$C_{iztok} = \frac{C_{vtok}}{1 + k \cdot \theta} \quad (2.10)$$

### 3.3 Zaključeni (sklenjeni) cevni reaktor (Oxidation ditch)

V sklenjenih cevnih reaktorjih se odpadna voda premika po ovalni poti s pomočjo krtač, rotorjev ali drugih mehanskih aeracijskih sistemov ter z različnimi črpalkami, ki so nameščene na eni ali več točkah vzdolž smeri kroženja vode. Najbolj enostavno je uporabiti aerator, ki skrbi za prezračevanje in premikanje vode. Ko gre premešana tekočina skozi aerator, se nivo raztopljenega kisika močno dvigne, potem pa se zmanjšuje ko voda kroži po sistemu. Ti zaključeni cevni reaktorji operirajo v razširjeni aeracijski obliki z dolgim hidravličnim zadrževalnim časom (24 ur) in zadrževalnim časom inertnih snovi (20 do 30 dni). Glede na relativno lokacijo vtoka odpadne vode v sistem in iz sistema, vračanja blata, aeracijske opreme, lahko zaključeni cevni reaktorji dosežejo simultano nitrifikacijo in denitrifikacijo. Za zmanjševanje BPK-ja in doseg nitrifikacije mora biti vtok v reaktor poleg aeratorja in iztok iz njega gorvodno nad vstopom vode (WTPD, 2004).

Zaključeni cevni reaktor je kombinacija cevne in popolnoma premešanega reaktorja, ki ga prikazuje slika 4.3. Popolnoma premešan je zato, ker se koncentracija snovi pri vtoku odpadne vode v reaktor takoj razredči s pomočjo velikega premešanega curka predhodne tekočine in doseže skoraj enako koncentracijo, kot jo ima voda na iztoku iz reaktorja. Globina zaključenih cevnih reaktorjev naj bi bila med 0.9 in 5.5 m in hitrost vode v cevi od 0.24 do 0.37 m/s.

Zaključen cevni reaktor sodi med kontinuirane postopke čiščenja odpadne vode, ki jih že nekaj desetletij uporabljajo za II. stopnjo čiščenja, vendar njihova izvedba omogoča tudi simultano nitrifikacijo in denitrifikacijo, ena za drugo vzpostavita aerobna in anaerobna cona.



Slika 3.3: Shematična predstavitev zaključenega cevne reaktorja (Rismal, 1997)

Za zaključeni cevni reaktor je mogoče ugotoviti naslednje značilnosti:

- s primernim dimenzioniranjem aeratorjev je v enem samem bazenu mogoče zagotoviti nitrifikacijo in denitrifikacijo efluenta ČN,
- pretok zagotavlja že samo gibanje vode v enem reakcijskem bazenu, ki ga vzdržujejo v njem nameščeni aeratorji,
- izgradnja zaključenega cevne reaktorja zahteva manjše število objektov, kar zmanjšuje investicijske stroške, predvsem pa omogoča enostavnejše vodenje tehnološkega postopka in manjša vzdrževalna dela.

### **3.4 Popolnoma premešan pretočni reaktor na ČN Celje**

Na ČN Celje imajo dva tipa popolnoma premešanih pretočnih reaktorjev. Prvi tip sta dva anaerobna bazena, kjer se s pomočjo suspendirane biomase odstranjuje fosfor. V bazena se dodaja tudi povratno blato za boljše biološko odstranjevanje fosforja. Zaradi vzdrževanja aktivnega blata suspenziji in s tem preprečevanja nastanka filamentnih bakterij, sta v bazenih nameščeni dvoje mešal.

Zraven dveh anaerobnih so nameščeni trije aeracijski bazeni, ki si tudi v procesu sledijo v tem zaporedju. V vsakem bazenu so nameščena štiri mešala, ki ustvarjajo kroženje vode po bazenu. Na dnu so nameščena tri puhala za dovajanje stisnjenega zraka v odpadno vodo, s čemer pride do vnosa in raztapljanja kisika. S krožnim pretokom odpadna voda teče preko aerobne in anoksične cone, ki se ustvari s prekinjanjem prezračevanja.

Aeracijski bazeni na ČN Celje so po svoji funkciji podobni popolnoma premešanim reaktorjem, zaradi premešanosti, ter zaključenim cevnim reaktorjem, zaradi kroženja vode po sistemu.



## 4 MODELIRANJE

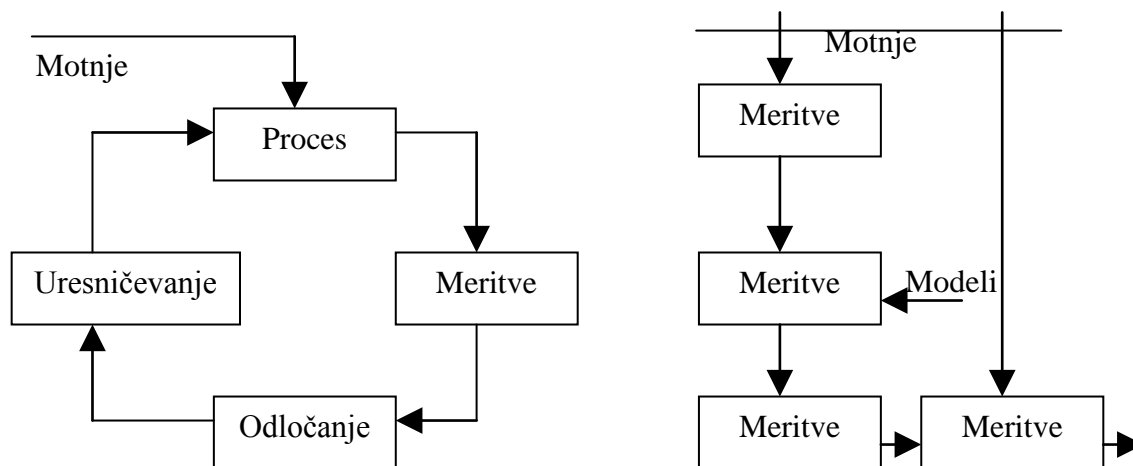
Primarna naloga čistilnih naprav je zagotoviti zmanjšanje hranil, ter sekundarna naloga stabilizirati postopke na čistilni napravi, da dosežemo dobro kakovost iztoka, kljub različnim motnjam v sistemu. Modeliranje in simulacija pa sta ključ za doseganje teh dveh nalog.

### 4.1 Uvod

Model je matematični približek nekega naravnega procesa. Zapleteno dogajanje v naravi poskušamo poenostaviti v model, ki bi nam omogočal predvideti rezultate. Realne zakonitosti okrnimo, poenostavimo in jih prilagodimo v obliki matematičnega modela. Modele prilagajamo okoliščinam glede na vrsto rezultata. Bolj zapleteni procesi zahtevajo bolj zapletene modele, ki so ozko specializirani za želene rezultate in precej natančni. Enostavne modele lažje posplošujemo in jih uporabljamo v različnih postopkih, vendar pa dobivamo manj natančne rezultate.

Poznamo dva osnovna koncepta pri oblikovanju kontrole nad sistemom. Prvi se imenuje »feedback control system«, drugi pa »feedforward control system«. Prvi je bolj klasičen primer reševanja problemov, kjer najprej proučujemo procese, se odločamo glede na zaželeno cilje in proces izpeljemo. Tu si predvsem pomagamo empirično in z metodo ponovnega preizkušanja, s katero na procesu iščemo našo rešitev dokler ta ni najbolj ugodna, ne ozirajoč se na motnje iz okolja. V drugem primeru pri »feedforward control sistem«, pa merimo parametre, ki povzročajo motnje v sistemu. Pri tem si pomagamo z različnimi sodobnimi računalniškimi napravami, zapletenimi kemičnimi analizami in se odločamo na osnovi matematičnih modelov. Klasičen primer »feedback« (FB) sistema je tuširanje pod tušem kjer z odpiranjem pipe za vročo vodo iščemo po občutku nam primerno temperaturo. Pri tej metodi tvegamo lažje opekline, medtem ko pri metodi »feedforward« (FF) najprej izmerimo temperaturo s pripomočki in glede na optimalno temperaturo vode, za tuširanje, odpremo pipo. V drugem primeru preprečimo neugodne posledice nepravilnega ravnanja s pipo. Ponavadi kombiniramo oba koncepta. FF uporabimo v primerih, kjer pričakujemo hitre

odzive na spremembe, FB pa za umerjanje nenatančnih modelov in motenj, ki so težko izmerljive in sicer v primeru, ko so odzivi na spremembe dolgotrajni ali pa z daljšim časovnim razmikom.



Slika 4.1: Feedback in Feedforward sistema (WTS, 2001)

Na sliki 4.1 sta dva primera matematičnega modeliranja procesov. Drugače pa pri dimenzioniranju sodelujejo še drugi tipi modelov, ki jih delimo glede na (WTS, 2001):

#### 1. vir in obliko strukture:

- Fizikalni modeli
- Matematični
- grey-box modeli
- konceptualni

Fizikalni modeli so osnovani na podlagi resničnih fizičnih, kemijskih in mikrobioloških sistemih, prenesenih v geometrijsko pomanjšane fizične modele v laboratorije. Rezultate meritev v laboratoriju lahko primerjamo z rezultati pri pojavih v naravi.

Matematični modeli nastajajo s pomočjo meritev naravnih fizikalnih, kemičnih in bioloških pojavov, ki jih predelamo v matematične funkcije, drugače jim rečemo black-box ali input-output modeli. Grey-box modeli predstavljajo oba zgornja mehanizma, vendar so bližje matematičnim modelom. Konceptualni modeli pa so poenostavljena aproksimacija natančnega realnega dogajanja. Temeljijo na fizikalnih, bioloških in kemijskih procesih, ki so

opisani bolj ali manj detajlno, odvisno od modela. Mehanizem delovanja konceptualnih modelov je jasen, enostavnejši od realnega dogajanja vendar odgovarja realnim procesom (Plestenjak, 2004).

2. lastnosti vhodnih in izhodnih procesov (mehanizem modela):

- deterministični
- stohastični

Deterministični modeli imajo točno določene vhodne in izhodne podatke, ki izločijo vsako negotovost. Stohastični modeli imajo prav tako vhodne in izhodne podatke, le da so nekatera empirična merjenja negotova. Če odstranimo negotovost postane model determinističen.

3. časovno komponento:

- statični
- dinamični

Statični modeli ne upoštevajo časovne komponente in so vse spremenljivke stalne, medtem ko dinamični modeli upoštevajo časovno dinamiko pojavov.

## **4.2 Problemi pri modeliranju:**

Modeliranje bioloških procesov v ČN, je samo razumevanje bioloških procesov, ki se dogajajo v naravi. Poleg potrebnega razumevanja bioloških procesov, moramo pri ČN upoštevati tudi motnje, ki jih povzroča npr. nihanje pritoka odpadne vode. Realno je težko doseči situacijo, da bi imeli dotok na čistilno napravo konstanten z konstantno sestavo snovi. V nekaterih predelih sveta je nihanje pritoka, glede na količino pretoka in hranil, ki jih vsebuje, od 2 do 10 kratno. To pomeni da se lahko vsebnost hranil v parih dneh 10 krat poveča ali zmanjša. Najpogostejša pa so tedenska in letna nihanja. Problematične so tudi hidravlične motnje znotraj ČN, ki jih lahko povzročamo s spiranjem biološkega filtra ali z motnjami v delovanju črpalke, ki s svojim črpanjem skrbi za stalen pretok. Pomembni so tudi nepredvidljivi pojavi kot so: nevihte, taljenje snega, toksična razlitja... Te motnje prizadenejo predvsem procese mikroorganizmov, ki so ključni za uspešno delovanje ČN. Dolgoročno pa lahko pride do motenj zaradi napačnega dimenzioniranja ČN na prirast prebivalstva in s tem

komunalnih priključkov, ter na nepričakovan razvoj industrije. Vse te motnje se upoštevajo v modelu v poenostavljeni obliki za lažje in preglednejše delovanje modela.

Primarna naloga ČN je doseči določeno stopnjo odstranitve hranil in sekundarna naloga zagotoviti čim manj nihanj in motenj, ki preprečujejo nemoteno delovanje čistilnih procesov.

### **4.3 Nastajanje modela**

Za razumevanje in matematično umerjanje procesov aktivnega blata ne moremo uporabiti samo en model, ampak moramo uporabiti spekter modelov.

Poznamo različne modele glede na njihovo obravnavano področje (WTS, 2001):

- ❖ Modeli za raziskovanje (research): Raziskujejo posledice novih spoznanj v znanosti.
- ❖ Modeli za dimenzioniranje in oblikovanje (design): Raziskujejo vpliv različnih podatkovno vnesenih motenj in sprememb parametrov glede na zelene končne cilje
- ❖ Modeli za delovanje in nadzor (operation and control): Z njimi želimo vzpostaviti kontrolo delovanja procesov da dosežemo zelene učinke, neodvisno na zunanje in notranje motnje.
- ❖ Modeli za preverjanje sistemov (diagnosis): Omogočajo razlago vzorcev pri dobljenih podatkih; z njimi prepoznavamo motnje in odkrivamo vzroke teh motenj.

Ključna značilnost modela je sposobnost napovedi obnašanja na ČN. Tukaj je zelo pomemben časovni interval napovedi. Če napovedujemo za nekaj tednov naprej, potem so na primer biološki pojavi zelo pomembni. Če napovedujemo za nekaj ur naprej, potem lahko rast mikroorganizmov preprosto zanemarimo. Če hočemo kontrolirati ravnotežje mase blata v sistemu, moramo imeti primerno napoved proizvodnje blata za nekaj ur naprej. Organizme lahko pobijemo v zelo kratkem času (kloriranje), medtem ko njihova rast in razvoj lahko traja tedne.

### 4.3.1 Modeli za dimenzioniranje

Modeli za dimenzioniranje ne morejo biti popolno veljavni, dokler ni zgrajena čistilna naprava. Takšni modeli običajno opisujejo vse pomembne masne bilance v sistemu, na osnovi katerih ustrezno dimenzioniramo volumne in pretoke sistema. Da natančno opišemo procese aktivnega blata, moramo upoštevati veliko število parametrov, ki pri tem sodelujejo. Ti so (WTS, 2001):

- ✓ Značilnosti vtočne vode
- ✓ Hidravlika vsakega reaktorja posebej
- ✓ Hidroliza različnih substratov v odpadni vodi
- ✓ Mehanizmi odstranjevanja dušika, ogljika in fosforja
- ✓ Rast in umrljivost organizmov
- ✓ Bistrenje in mehanizmi zgoščevanja

Odpadna vode med seboj ločujemo po njihovi vsebnosti kompozitov, ne samo po organskem ogljiku, nitratnih in fosfatnih frakcijah, ampak tudi po topnih, netopnih, biorazgradljivih in bionerazgradljivih frakcijah. Biološka plat procesov aktivnega blata je bila predmet številnih raziskav. Organizmi so zastopani v vsaj eni vrsti heterotrofov in eni ali dveh vrstah nitratnih avtotrofnih organizmov. Glavne reakcije se vnašajo v matematični model za vsako vrsto organizma in vsako vrsto razpoložljivega substrata.

Najboljši znani model za dimenzioniranje je verjetno IAWQ (nekdanji IAWPRC) AS model št. 1 (Henze et al. (1987a)). Opisuje reakcije za organski ogljik in odstranjevanje nitratov. Poudarek modela je na dogajanje v biološkem reaktorju, medtem ko je dinamika usedanja obravnavana relativno površno. V večini dostopnih modelov je usedalnik obravnavan kot čisti zgoščevalnik, včasih z časovnim zamikom. Ti modeli ponavadi vsebujejo med 10 in 15 konstantnih spremenljivk (state variables) za vsak popolnoma premešan reaktor. AS model št. 1 vsebuje 13 stanj (states), ki opisujejo odstranjevanje ogljika in dušika. Vsako stanje (state) je opredeljeno z nekaj reakcijskih stopenj in stoicizometričnih parametrov. Bolj redek je model IAWQ AS št. 2 (Gujer et al. (1994), ki doda dinamiko odstranjevanja fosforja. Ta vsebuje 19 stanj (states) za vsak popolnoma premešan reaktor.

#### **4.3.2 Modeli za kontrolo**

Modeli za kontrolo vsebujejo različne nadzorne funkcije. Njihova sestava je določena z dvema ključnima faktorjema:

- Učinkovitost kontrole
- Preverljivost, dokazljivost

Obravnavamo torej zanesljivost napovedovanja in kontrole. V prvem primeru model uporabimo, da predvidimo merjene ali ocenjene spremenljivke v nekem času. Kontrolorju v modelu potem podamo takšno vrednost, da se bo preračunana vrednost približala čim bližji predvideni vrednosti. Čas opazovanja modela mora bit enak času, v katerem lahko vnesene spremenljivke opazno vplivajo na proces. Pomembno je, da spreminjanje vhodnih spremenljivk vpliva na vrednosti izhodnih spremenljivk. Če to velja, da se pri majhni spremembi parametra, pokažejo velika odstopanja rezultata, je model občutljiv na ta parameter. Iz tega seveda sledi, da je model neobčutljiv na ta parameter, če se pri veliki spremembi vhodnega parametra, končni rezultati bistveno ne spremenijo.

Delovanje in kontrola zmanjšajo navidezno kompleksnost ČN. Če vzamemo za primer raztopljeni kisik. Brez kontrole zaprte zanke bi koncentracija raztopljenega kisika neprestano nihala zaradi njegovega spreminjajočega vnosa. To bi v modelu povzročalo nastanek različnih mikroorganizmov. Če pa ohranimo koncentracijo raztopljenega kisika konstantno kljub nihanjem vnosa, so tvorbe mikroorganizmov bolj predvidljive. Temu sledi, da lahko enačbo za dinamiko raztopljenega kisika preprosto odstranimo iz sistema modela, saj smo povezavo med dinamiko raztopljenega kisika in biologijo procesa močno zmanjšali.

V pravi ČN se parametri vezani na čas spreminjajo, zaradi spreminjanja sestave in količine odpadne vode in pričakovanega prirastka prebivalstva, ter načrtovanega razvoja industrije. Zato ima vsaka čistilna naprava za uspešno delovanje možnost, nadgrajevanja parametrov v modelu.

#### **4.3.3 Modeli za analizo**

Ideja modelov za analizo, je najti v kontroliranih procesih indikatorje, ki postanejo preprosta slika realnosti in nam s tem omogoči realen pregled dogajanja na določenem področju. Njihov

namen je dobiti racionalne osnove za sklepanje odločitev. Orodje modelov za analizo je opazovanje in merjenje.

Pri čiščenju odpadnih vod imamo pri modelih za analizo nekaj stalnih spremenljivk (state variables), kot so koncentracija različnih substratov in vrsta mikroorganizmov. Ponavadi jih ne moremo direktno izmeriti, ker se neprestano spreminjajo. Namesto tega proces opazujemo z meritvami, ki so približek stalnim spremenljivkam.

Za analizo moramo imeti čistilno napravo polno opremljeno. Preprosti indikatorji nas bodo opozorili, če kakšen motor ne deluje ali je pritisk prenizek oziroma previsok. Alarmi, ki spremljajo spremembe v mehanizaciji ČN ali spremembe v osnovnih fizikalnih parametrih (pretok, pritisk, pH,...), so pomemben vir informacij. Po drugi strani se biološki procesi spreminjajo počasi. Flokulacija in sedimentacija slonita poleg drugih stvari predvsem na vrsti mikroorganizma. Pomembno je zaznati prve znake spremembe pri postopku sedimentacije. Če pride do penitve in zgoščevanja, kar povzroča posebna vrsta filamentne bakterije, se biološko blato ne useda, ampak plava in moti postopek kristaliziranja oziroma sedimentacije. V takšnem primeru se nam je sistem že porušil, zato so alarm in podatki ob prvih spremembah v takšnem primeru ključnega pomena za vzdrževanja ČN v operativnem stanju. S pomočjo analize, podobno kot v medicini, raziskujemo vzroke pojava, ki poteka po verižni reakciji, dokler ne pridemo do osnovnega ključnega vzroka za nastanek motnje.

Kadar je mogoče, lahko v nekaterih primerih naredimo zapletene enačbe na osnovi meritev in s tem model procesa z namenom, da za nazaj izračunamo spremenljivke, ki jih je sproti težko meriti. Tak postopek imenujemo ocenjevanje (estimation). Na žalost pa tudi najzapletenejši modeli kot so IAWO AS št. 1 in 2 ne morejo predvideti nastanka penjenja in plavanja blata. Še vedno obstajajo neznanke pri biološkem dogajanju v procesu sedimentacije, zato se lahko zanašamo samo na matematične zaključke modelov, ki temeljijo na do sedaj znanih empiričnih podatkih.

Splošno gledano so procesi aktivnega blata kompleksni. Imamo veliko podatkov, pridobljenih z meritvami, vendar so informacije teh podatkov preskope. Obstajata dva različna popisa procesov. Prvi se imenuje popis podatkov (data description), drugi pa popis modela (process

description). Popis podatkov so vsi izhodni podatki (outputs from computer), ki jih pridobimo pri simulaciji modela, medtem ko so popis procesa vse enačbe, ki sestavljajo model in s tem ustvarjajo podatke. Informacije, ki jih potrebujemo za popis procesa so manj obsežne kot informacije, ki jih pridobimo iz popisa podatkov. Dober model lahko proizvede veliko podatkovnih informacij z malo količino procesnih informacij.

Normalno je, da med ustvarjanjem procesov na ČN uporabljamo več sto ali tisoč konstantnih spremenljivk (state variables), medtem ko se za kontrolo uporablja samo okoli deset konstantnih spremenljivk. Dimenzionerji in kontrolerji morajo biti za uspešno delovanje ČN med seboj usklajeni z modeli. Prvi morajo razviti modele, da se lažje določi vsebnost objektov ČN. Razvili bodo izhodiščno točko za podobne modele objektov z manjšo kompleksnostjo, ki bodo odsevali samo tiste poglede na obnašanje naprave, katere kompleksnost se bo uspešno ujemala z izvedljivim dizajnom kontrolerjev. Kontrolerji morajo najti tiste modele, ki so preverljivi s pomočjo podatkov s ČN.

## 4.4 Osnove modeliranja

Z boljšim spoznavanjem procesov so se razvijali in izboljševali tudi modeli. Odkrivanje novih parametrov, ki delno ali časovno vplivajo na procese, je povečalo število robnih pogojev, ki definirajo nek postopek. To je motiviralo razvijanje novih modelov, ki različno uporabljajo robne pogoje in vhodne podatke za splošno ali specializirano področje.

### 4.4.1 Spremenljivke

Podatki:

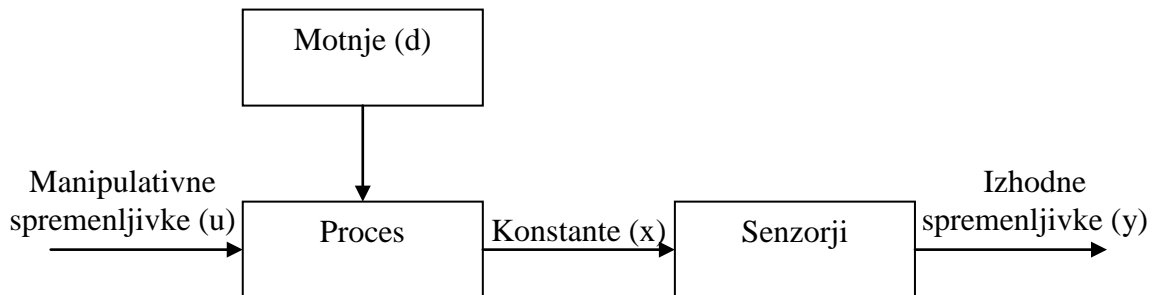
Vhodne spremenljivke (input variables):

1. Manipulativne spremenljivke (manipulated variables) (če imamo kontrolo nad njimi)  $u_i$
2. Spremenljivke motenj (disturbance variables) (če nimamo kontrole nad njimi)  $d_i$
3. Konstantne vrednosti (state variables)  $x_i$ , so skupek neodvisnih spremenljivk, ki se težko merijo sproti v procesu. So konstantne in ponavadi njihovo vrednost določimo.



4. Izhodne spremenljivke (output variables)  $y_i$ , so merjene in jih je moč opazovati skozi proces. Podobne so konstantnim vrednostim.

Ključ za določitev teh spremenljivk je, da določimo mejo med njimi. Mehanizma, ki potekata pri procesu aktivnega blata, sta prehod kisika iz zraka (plinastega stanja) v vodo raztopljen kisik in poraba raztopljenega kisika pri oksidaciji substrata. Če je naše interesno področje raztopljen kisik, je vrednost vnesenega zraka v vodo vhodna spremenljivka, konstantna vrednost in izhodna spremenljivka pa koncentracija raztopljenega kisika. Če nas zanima oksidacija substrata pa je vhodna spremenljivka raztopljen kisik. Torej sta vhodna in izhodna spremenljivka relativen pojem.



Slika 4.2: Potek procesa s spremenljivkami (WTS, 2001)

Povezava teh spremenljivk se matematično zapiše,

$$\frac{dx}{dt} = f(x, u, d, p)$$

$$y = g(x, u, d, p)$$

kjer je  $p$  vektor parametrov v sistemu. Vektorsko enačbo zapišemo kot matriko:

$$\begin{bmatrix} \frac{dx_1}{dt} \\ \frac{dx_2}{dt} \\ \vdots \\ \frac{dx_n}{dt} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_1(x_1, \dots, x_n, u_1, \dots, u_r, d_1, \dots, d_s, p_1, \dots, p_t) \\ f_2(x_1, \dots, x_n, u_1, \dots, u_r, d_1, \dots, d_s, p_1, \dots, p_t) \\ \vdots \\ f_n(x_1, \dots, x_n, u_1, \dots, u_r, d_1, \dots, d_s, p_1, \dots, p_t) \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} g_{11}(x_1, \dots, x_n, u_1, \dots, u_r, d_1, \dots, d_s, p_1, \dots, p_t) \\ g_2(x_1, \dots, x_n, u_1, \dots, u_r, d_1, \dots, d_s, p_1, \dots, p_t) \\ \vdots \\ g_m(x_1, \dots, x_n, u_1, \dots, u_r, d_1, \dots, d_s, p_1, \dots, p_t) \end{bmatrix}$$

Ponavadi se soočamo z modeli, ki imajo naslednje lastnosti:

- Število izhodov (meritev) je veliko manj kot konstant  
 $\Rightarrow$  sistem ni mogoče opazovati (ne moremo določiti konstante sistema s pomočjo meritev)
- Število manipulativnih spremenljivk je manjše od števila izhodov, ki pa je manjše od konstant  
 $\Rightarrow$  sistema ni mogoče kontrolirati (ne moremo upravljati konstant sistema za dosego želenih vrednosti s pomočjo manipulativnih spremenljivk)

V preglednici 4.1 so prikazani primeri spremenljivk pri enostavnih procesih čiščenja odpadne vode (WTS – Wastewater Treatment System, 2001)

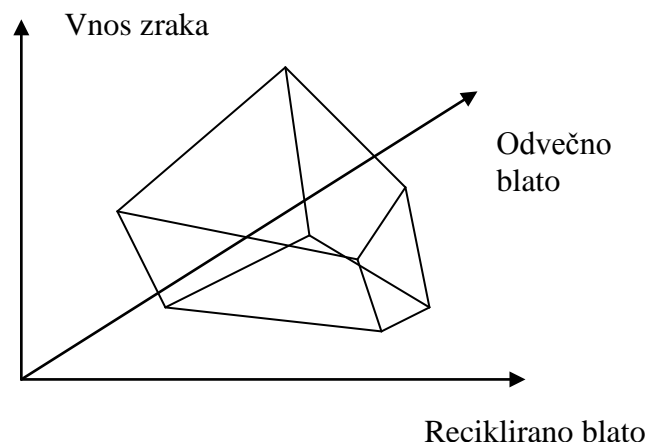
Preglednica 4.1: Primer klasifikacije spremenljivk pri preprostem odstranjevanju organskih snovi

Kategorija	Bioreaktor	Usedalnik
Manipulativne sprem.	-Vnos kisika	-Reciklaža blata -Odstranitev blata
Spremenljivke motenj	-Vtok vode -KPK vtoka	
Stalne (konstantne vrednosti) spremenljivke	-KPK v bioreaktorju -Raztopljen kisik v bioreaktorju -Suspendirane snovi v bioreaktroju	-KPK iztoka -Raztopljen kisik iztoka -Suspendirane snovi v iztoku -KPK blata -Raztopljen kisik blata -Suspendirane snovi v blatu
Izhodne spremenljivke	-Raztopljen kisik bioreaktorja	-KPK iztoka -Suspendirane snovi v iztoku -Suspendirane snovi v blatu
Parametri	-Prostornina bioreaktorja -Parametri prenosa kisika -Stokiometrični in kinetični parametri	-Prostornina usedalnika -Površina usedalnika

#### 4.4.2 Operativni in statični prostor (operating and state space)

V terminologiji procesnih sistemov je delovni (operativni) (operating space) prostor določen z manipulativnimi spremenljivkami. Izvedljiv delovni prostor (feasible operating space) pa določajo medsebojno delujoči procesi. Ovire (constraints), ki opredeljujejo izvedljiv operativni prostor, so ponavadi procesno povezane (npr. biomasa potrebuje kisik), opremsko

povezane (maksimalna stopnja črpanja) ali varnostno povezane (predpisane zahteve kakovosti iztoka). Ponavadi si želimo veliko prostora v katerem je mogoče opravljati, vendar so bile že zgrajene naprave, kjer operativnega prostora sploh ni. Pri procesih z več manipulativnih spremenljivk, je veliko težje oblikovati operativni prostor.

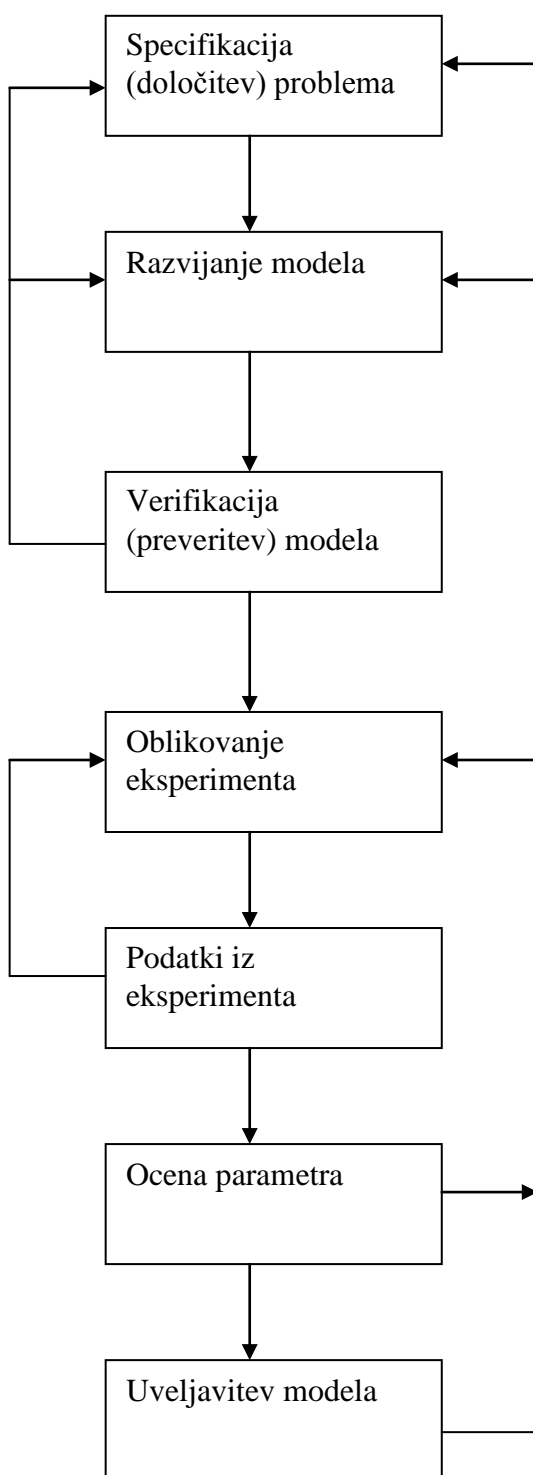


Slika 4.3: Izvedljiv operativni prostor (WTS, 2001)

Izvedljiv operativni prostor določajo točke stalnih konstant (steady states). Če je sistem dobro delujoč potem je v vsaki točki izvedljivega operativnega prostora stalna konstanta. Če je proces nestabilen, potem ni točk stalnih konstant. Če proces ni kontroliran potem obstaja za vsako točko v operativnem prostoru več stalnih konstant. Ponavadi pride do pojava stalnih konstant pri procesih aktivnega blata, kadar ustavimo delovanje ČN. Izraz stalne konstante se uporablja v primeru operiranja s povprečnimi konstantami v nekem delu procesa ali kadar se njihova vrednost ne spreminja veliko in govorimo o povprečnih stalnih vrednostih.

## 4.5 Razvijanje modela

Model se razvija po določenih stopnjah (slika 4.4). Specifikacija problema je prva in zelo pomembna stopnja, vendar dostikrat zanemarjena. V tej stopnji določimo pogoje in kriterije na osnovi katerih se pozneje model razvija. Z razvojnimi procesi in primernimi predpostavkami oblikujemo enačbe, ki jih poimenujemo model. Verifikacija (preveritev) modela je prvo testiranje modela glede na naše zahteve.



Slika 4.4: Stopnje razvijanja modela (WTS, 2001)

#### **4.5.1 Specifikacija problema**

Začetek razvoja modela je zelo pomemben. Če znamo opredeliti naše želje in definirati problem smo naredili že velik korak pri razvoju. Pomembnost te faze je v tem, da je prva in iz nje se oblikujejo ostale faze. Če problem ni natančno definiran ne moremo pričakovati zanesljivega modela kot končnega rezultata.

V tej fazi specifikacije določamo interesno operativno območje modela in natančnost, ki je potrebna v tem območju. Za dinamične modele mora območje vsebovati dimenzije časa kot tudi pomembne vhodne in izhodne spremenljivke.

Kvantitativna definicija območja in natančnosti je seveda povezano z namerno uporabo modela, kot je načrtovanje naprav, optimizacija procesov, kontrola na osnovi modela ali diagnoza. V vseh teh primerih bodo določene vrednosti odvisne od potrebne natančnosti napovedi modela. Pripravljalni načrti modelov ne bodo zahtevali samo 20-30% natančnosti ampak lahko detajlni načrti zahtevajo okoli 5-10% natančnosti. Pri dinamičnih modelih moramo specificirati (določiti) čas trajanja in nihanje natančnosti v povezavi s časom. Zaradi »feedback« metode je natančnost pri odstranjevanju hranil zaradi preprečevanja motenj samo 30-50 % na 10-20 min. Drugače povedano, daljši kot je čas opazovanja, večja natančnost napovedovanja se zahteva (WTS, 2001).

#### **4.5.2 Verifikacija modela**

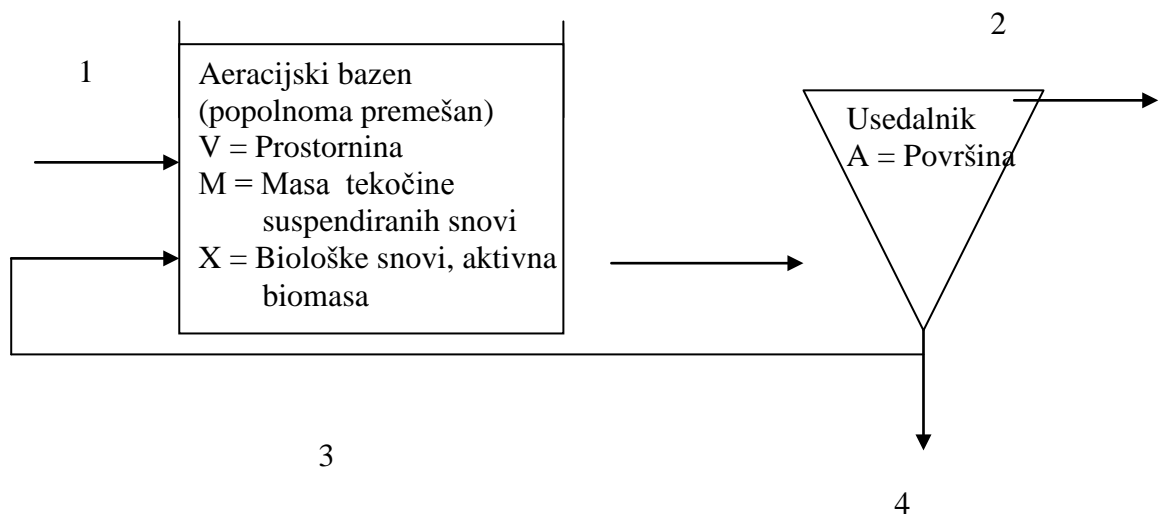
Po razvoju osnov modela na podlagi določitve problema sledi verifikacija. To je prva faza pri vrednotenju oziroma ocenitvi modela. V tej fazi preverimo model če ustreza našim potrebam. Če ne ustreza se vrnemo na fazo razvoja modela in poskušamo odkriti napako. Če nam še to ne pomaga smo očitno napačno definirali problem. Večkrat ko ponovimo ta proces krajše in cenejše bodo faze oblikovanja eksperimenta, vrednotenja parametrov in potrditve modela.

## 5 MODELIRANJE BIOLOŠKEGA ČIŠČENJA

### 5.1 Modeliranje ČN po postopku WTPD

#### 5.1.1 Uvod

Najbolj enostavni proces na ČN zajema pritek odpadne vode v aeracijski bazen, nadalje v usedalnik (bistrlinik), kjer se gravitacijsko ločijo suspendirane snovi od vode. Ostanek sedimentiranih snovi recikliramo v aeracijski bazen in s tem ohranjamo koncentracijo mikrobov, potrebno za nemoteno odstranjevanje snovi v odpadni vodi. Ta postopek se imenuje vračanje biološkega blata. Osnovni sistem aktivnega blata, ponavadi ga uporabljamo za odstranjevanje BPK ogljika, lahko dimenzioniramo tudi za doseganje nitrifikacije in fosforizacije.



Slika 5.1: Predstavitev pretočnega reaktorja v kombinaciji z usedalnikom, ter pripadajočimi parametri (WTPD, 2003)

### 1. Pritok

$Q$  = Pretok [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ] [l/s]

$S_o$  = Koncentracija biološko razgradljivega substrata [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ] [mg/l]

$X_o$  = Koncentracija aktivne biomase [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ] [mg/l]

$Z_{io}$  = Koncentracija anorganske snovi (nehlapljive) [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]

$Z_{no}$  = Koncentracija organske biološko nerazgradljive snovi (hlapljive) [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]

$Z_{bo}$  = Koncentracija biološko razgradljive snovi [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]

$M_o$  = Koncentracija vseh suspendiranih snovi [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]

### 2. Iztok

$Q_e$  = Pretok [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]

$X_e$  = Vse celice, koncentracija aktivne biomase [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]

$Z_{ie}$  = Inertne, koncentracija anorganske snovi [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]

$S_e$  = Koncentracija topljenega, biološko razgradljivega substrata [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]

$M_e$  = Koncentracija vseh suspendiranih snovi [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]

### 3. Reciklaža blata

$Q_r$  = Koncentracija pretoka recikliranega blata [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]

$S_r$  = Koncentracija toplivega, biološko razgradljivega substrata [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]

$Z_{ir}$  = Koncentracija inertne snovi, anorganske [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]

$X_r$  = Koncentracija biološke snovi, aktivne biomase [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]

$M_r$  = Koncentracija vseh suspendiranih snovi (zapišemo tudi kot  $Y_r$ ) [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]

### 4. Odpad

$Q_w$  = Koncentracija pretoka blata, ki ga zavržemo ali predelamo [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]

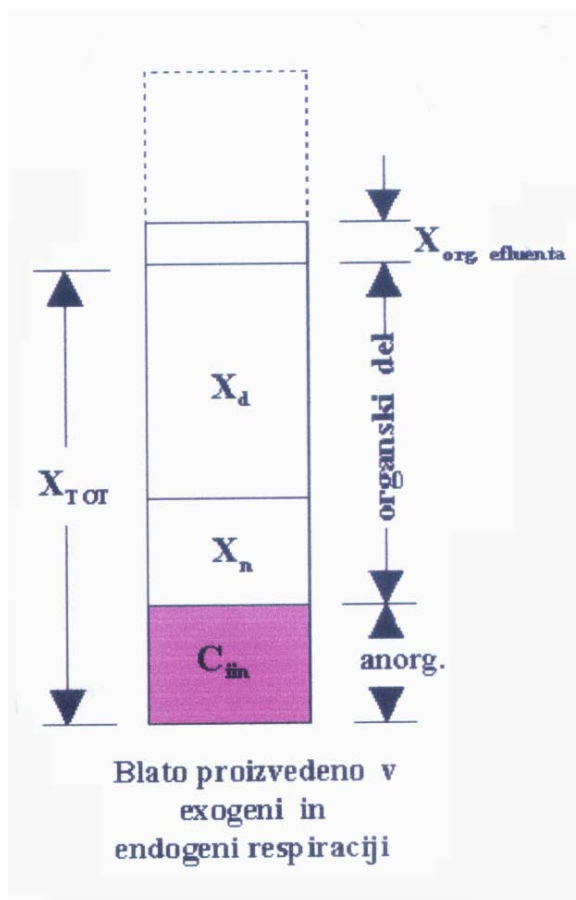
$X_w$  = Koncentracija vseh celic, aktivne biomase [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]

$Z_{iw}$  = Koncentracija inertne anorganske snovi [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]

$S_w$  = Koncentracija topljivega, biološko razgradljivega substrata [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]

$M_w$  = Koncentracija vseh suspendiranih snovi [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]





Slika 5.2: Sestava aktivnega poživiljenega blata (Eckenfelder, 1986)

Odpadna voda na dotoku je sestavljena iz hlapljivih (voda) in nehlapljivih snovi (sušine), ki predstavljajo organske in anorganske snovi. Biološko nerazgradljivih organskih snovi je okrog 40 %. Biološko razgradljive organske snovi lahko ponavadi zanemarimo v enačbah, saj se sklepa da se pogostoma absorbirajo v biomaso in počasi hidrolizirajo. Drugače pa lahko počasna hidroliza močno vpliva na kinetiko sistema in ravnotežje biomase. Anorganske snovi dobimo z razliko suspendiranih snovi in organskih.

Pomemben vpliv na dimenzioniranje ČN ima hidravlika in karakteristika dotoka. Količina in lastnosti pritoka nihajo sezonsko, tedensko dnevno in urno. Če pri ČN ne predvidimo ta nihanja lahko to močno vpliva na njeno delovanje. Še posebej je na to občutljiva kombinacija aeracijskega tanka in usedalnika. Povečani hidravlični šok, v obliki povečanega pretoka, prenesejo snovi aeracijskega bazena v usedalnik, katerega dimenzije ne prenesejo to vrstne

obremenitve in delovanje ČN odpove. Prevelike količine organskih snovi povzročijo motnje v usedanju suspendiranih snovi in posledično slabo kvaliteto iztoka. Pomemben dejavnik je tudi tempreturno nihanje, ki povzroča motnje delovanja usedalnika. Med pomembnimi pojavi je tudi vnos toksičnih snovi, ki povzroča motnje v biološki aktivnosti in slabo kakovost iztočne vode. Te nevsječnosti lahko odpravimo z ukrepi, ki so se razvijali v tej stroki desetletja. Del ukrepov so razbremenilniki, predimenzionirani usedalniki, različni alternativni vzorci hranjenja v aeracijskem bazenu in vračanje velike količine aktivnega biološkega blata v primerjavi s tistim količinam, ki ji potrebujemo pri normalnem pretoku. Te modifikacije povečujejo ceno končne izgradnje sistema za ceno njegovega uspešnega delovanja. Novo dimenzijo upravljanja ČN pa je prinesla doba računalništva, ki omogoča dinamično simulacijo, ki s pomočjo senzorjev in drugo opremo, napovedovanje in preprečevanje motenj, ter omogoča zaželen kakovost iztoka.

### **5.1.2 Dimenzioniranje procesa pri ogljikovi oksidaciji**

Ključni kriteriji za dimenzioniranje ČN so hidravlični zadrževalni čas, zadrževalni čas snovi (starost blata) in  $BPK_5$  ( Biološka potreba po kisiku v petih dneh). Ko jih določimo se lotimo dimenzioniranja.

Za dimenzioniranje sistema moramo določiti naslednje parametre:

- Prostornina aeracijskega bazena ( $V$ )
- Proizvodnja odpadnega blata ( $P_x$ )
- Skupna potreba po kisiku ( $R_c+R_n$ )
- Recikliranje blata
- Velikost naknadnega usedalnika

Za dimenzioniranje procesa bomo uporabili osnovne Lawrence & McCarty – jeve enačbe. (Lawrence and McCarty, 1970).

Hidravlični zadrževalni čas je:

$$t = \frac{V}{Q}, \quad [\text{ura}] \quad (3.1)$$

kjer je: - t hidravlični zadrževalni čas [dan]  
 - V je prostornina [m<sup>3</sup>]  
 - Q pretok [m<sup>3</sup>/dan]

Zadrževalni čas snovi ali starost blata izrazimo kot:

$$\theta_c = \frac{VX}{Q_w X_w} = \frac{VX}{Q_w X_r} = \frac{VM}{Q_w M_r}, \quad [\text{dan}] \quad (3.2)$$

kjer je  $\theta_c$  = zadrževalni čas snovi [dan]

X = koncentracija snovi v reaktorju [g/m<sup>3</sup>]

V = prostornina reaktorja [m<sup>3</sup>]

Q<sub>w</sub> = pretok odpadnega blata [m<sup>3</sup>/dan]

X<sub>w</sub> = koncentracija odpadnega blata, snovi [g/m<sup>3</sup>]

V enačbi (3.2) nam števec predstavlja maso snovi v reaktorju, imenovalc pa odstranitev snovi dnevno. S to enačbo lahko izračunamo tudi starost blata v n-dneh. Enkrat uporabimo v imenovalcu odpadno biološko maso, drugič reciklirano biološko maso ali pa namesto z biološkimi suspendiranimi snovmi računamo z vsemi suspendiranimi snovmi, odvisno od poteka procesa in zelenega rezultata.

Za popolnoma premešane aeracijske bazene, je zadrževalni čas snovi povezan z osnovno enačbo za računanje rasti biomase (Enačba (3.3) je najbolj primerna za izračun količine nastalega blata, saj upošteva tudi nežive anorganske snovi, ki predstavljajo znaten delež odpadnega blata):

$$\frac{1}{\theta_c} = \frac{Y\mu_{\max}S_e}{K_s + S_0} - b, \quad (3.3)$$

kjer je:  $\theta_c$  = zadrževalni čas snovi, starost blata [dan]

$Y$  = dejanski prirast celic [kg/kg]

$\mu_{\max}$  = maksimalna stopnja porabe substrata na enoto teže biomase [1/dan]

$S_e$  = iztočni raztopljeni substrat [mg/l] [kg/m<sup>3</sup>]

$K_s$  = koeficient polovične hitrosti, ali koncentracija substrata, ko ga je porabljena polovica [kg/m<sup>3</sup>]

$S_o$  = biološko razgradljiv raztopljeni substrat v pritoku [kg/m<sup>3</sup>]

$b$  = koeficient endogenega razkroja na osnovi biomase v aeracijski coni [-]

Skupna biomasa (upoštevamo da so vse suspendirane snovi samo živa biomasa) v aeracijskem bazenu se izračuna kot:

$$XV = \theta_c QY \frac{S_o - S_e}{1 + b\theta_c}, \quad [\text{kg}] \quad (3.4)$$

kjer je:  $Q$  = pritok vode [m<sup>3</sup>/dan]

$S_o$  = biološko razgradljiv raztopljeni substrat v pritoku [kg/m<sup>3</sup>]

$X$  = koncentracija biomase.

Proizvod opazovanih snovi v sistemu z aktivno biomaso lahko ocenimo iz naslednje enačbe:

$$Y_{\text{obs}} = \frac{Y}{1 + b\theta_c}, \quad [\text{kg/kg}] \quad (3.5)$$

kjer je:  $Y_{\text{obs}}$  = opazovan prirastek celic [kg/kg]

Vsota vseh suspendiranih snovi v premešani vodi v aeracijskem bazenu se izračuna kot (upoštevamo vse suspendirane snovi):

$$M = \frac{\theta_c}{t} \left\{ \left[ \frac{Y(S_o - S_e)}{1 + b\theta_c} \right] + Z_{io} + Z_{no} \right\}, \quad [\text{kg/m}^3] \quad (3.6)$$

kjer je:  $M$  = seštevek suspendiranih snovi v premešani tekočini [ $\text{kg/m}^3$ ]

$t$  = hidravlični zadrževalni čas [dan]

$Z_{io}$  = nehlapljive, anorganske suspendirane snovi v pritoku [ $\text{kg/m}^3$ ]

$Z_{no}$  = hlapljive, organske biološko nerazgradljive suspendirane snovi v pritoku  
( $\text{kg/m}^3$ )

Produkcija presežka blata (aktivnega odpadnega blata) se izračuna kot:

$$P_x = Q \left\{ \left[ \frac{Y(S_o - S_e)}{1 + b\theta_c} \right] + Z_{io} + Z_{no} \right\}, \quad [\text{kg/dan}] \quad (3.7)$$

kjer je:  $P_x$  = celotna masa aktivnega blata narejenega ali odvrženega na dan [ $\text{kg/dan}$ ]

Recikel vračanja odvečnega blata je:

$$\alpha = \frac{Q_r}{Q} = \frac{X}{X_r - X} = \frac{M}{M_r - M}, \quad [-] \quad (3.8)$$

kjer je:  $\alpha$  = cikel recikliranja ali vračanja blata [-]

$X$  = biološke snovi v reaktorju [ $\text{kg/m}^3$ ]

$X_r$  = reciklirani pretok bioloških snovi, blata [ $\text{kg/m}^3$ ]

$M$  = seštevek vseh suspendiranih snovi v premešani tekočini [ $\text{kg/m}^3$ ]

$M_r$  = seštevek vseh suspendiranih snovi v recikliranem ali povratnem pretoku  
[ $\text{kg/m}^3$ ]

V enačbi (3.8) lahko uporabimo tako biomaso kot vsoto vseh suspendiranih za izračun ciklaj vračanja.

Potrebna masa kisika na časovno enoto, ki zadovolji potrebo za oksidacijo ogljika se izračuna po naslednji enačbi:

$$R_c = \frac{Q(S_o - S_e)(1 + b\theta_c - BY)}{1 + b\theta_c}, \quad [\text{kg/dan}] \quad (3.9)$$

kjer je  $R_c$  = masa kisika na enoto časa, ki je potrebna za oksidacijo ogljika (kg/dan)

Potreba po kisiku pri nitrifikaciji pa izračunamo kot:

$$R_n = 4.57Q(N_o - N) - 2.86Q(N_o - N - NO_3), \quad [\text{kg/dan}] \quad (3.10)$$

kjer je:  $R_n$  = masa kisika na enoto časa, ki je potrebna za potrebo po kisiku med nitrifikacijo  
(kg/dan)

$N_o$  = oksidativni dušik v pritoku ( $\text{kg/m}^3$ )

$N$  = oksidativni dušik v iztoku ( $\text{kg/m}^3$ )

$NO_3$  = nitratni dušik v iztoku ( $\text{kg/m}^3$ )

Pri računanju moramo upoštevati do 20 % suspendiranih snovi, ki so v usedalniku in jih je potrebno odstraniti zaradi ravnotežja. V ta namen dodamo v (3.2) enačbo izraz, ki to dejstvo upošteva  $Q_e X_e$  (kjer je  $Q_e$  = iztok in  $X_e$  = suspendirane snovi v iztoku):

$$\theta_c = \frac{VX}{Q_w X_r + Q_e X_e} \quad [\text{dan}] \quad (3.11)$$

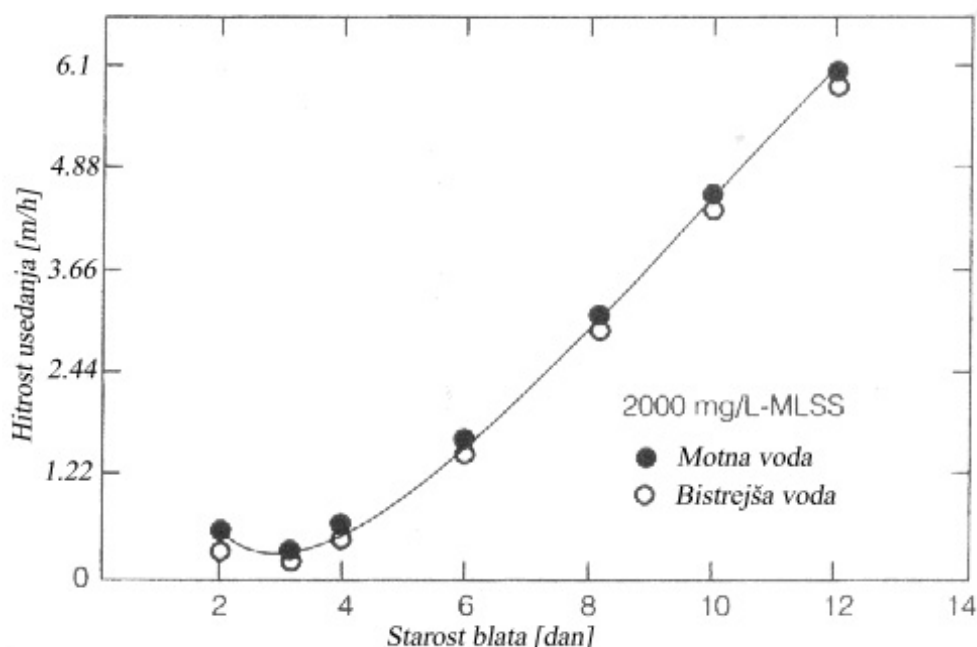
Z spremenjeno enačbo (3.11) moramo modificirati tudi druge izraze.

Pri razvijanju enačb so se strokovnjaki opirali na trditev, da so vse aktivne snovi (biomasa) v aeracijskem bazenu. Dejstvo je da je ključna količina aktivnega blata v končnem usedalniku. V čistem oksidacijskem sistemu je lahko okoli 50 % snovi v usedalnikih, kar moramo upoštevati ko računamo skupno maso snovi v sistemu aktivnega blata.

### 5.1.3 Aeracijski bazen

Procesi v aeracijskem bazenu strmijo k temu, da nimamo v iztoku več raztopljenih snovi oz. biološko razgradljivega substrata, torej  $S_e = 0$ . Izkušnje kažejo, da je vrednost  $S_e$  nepredvidljiva. Ni priporočljivo, da bi z zmanjšanjem prostornine aeracijskega bazena dosegli večjo vrednost  $S_e$ , saj zakonsko predpisane vrednosti ki so dovoljene v iztoku temeljijo na vrednosti BPK in KPK, ki že vsebujejo vrednosti organskih snovi in so merilo onesnaženosti.

Te enačbe niso dobro podprte s podatki pridobljenimi iz sistema aktivnega blata. Zaradi tega povezava med  $S_e$  in  $\theta_c$  ni v uporabi za dimenzioniranje. Kadar pa uporabimo starost blata  $\theta_c$ , jo lahko predpostavimo kot nerealno nizko in jo povečamo z varnostnim faktorjem, tako da je realna vrednost primerljiva z operativnimi izkušnjami. (Dague, 1983; Grady e tal., 1999; Lawrence and McCarty, 1970; Watter research Commission, 1984). Torej izbira starosti blata  $\theta_c$  za sisteme odstranjevanja ogljikovega BPK (druga stopnja čiščenja) ne temelji na kinetičnih zaključkih, ampak na eksperimentalnih. Sistem dimenzioniramo na osnovi dovolj velike vrednosti  $\theta_c$ , ki omogoča odlično flokulacijo bakterij in dobro sedimentacijo blata.



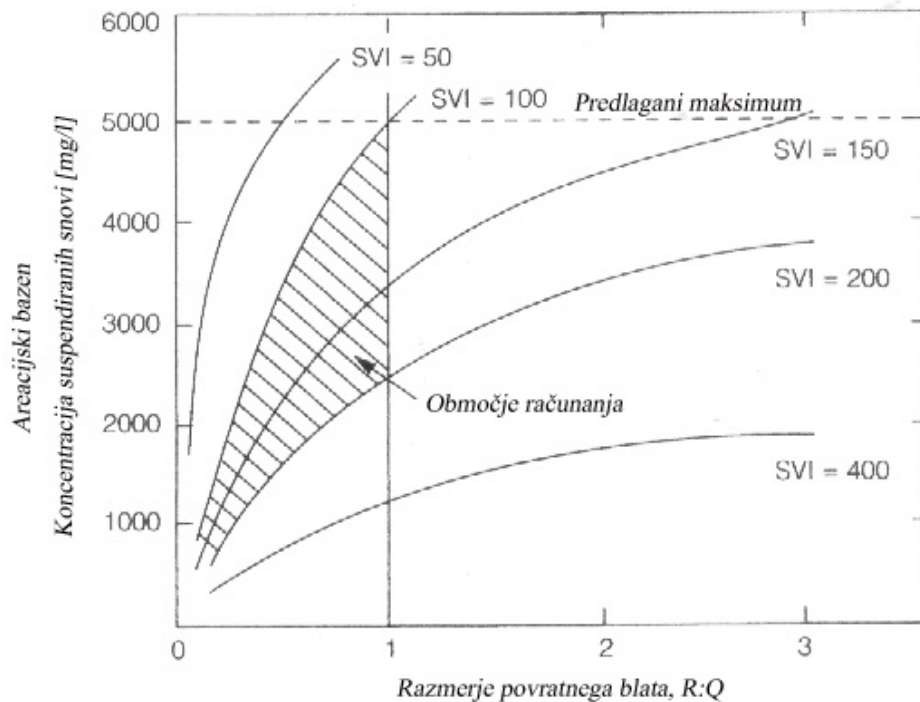
Slika 5.3: Učinek zadrževalnega časa snovi  $\theta_c$  na proces usedanja aktivnega blata (WTPD, 2003)

S slike 6.3 ugotovimo, da je minimalna vrednost  $\theta_c$  približno 3 dni. V praksi uporabimo vrednost 1 do 5 dni v času toplega vremena in do 15 dni med hladnim obdobjem. V tem času je mogoč pojav nitrifikacije, ki se mora upoštevati v računanju. Na območjih s toplimi klimatskimi razmerami uporabimo vrednost  $\theta_c$  od 1 do 2 dni. Velike vrednosti uporabimo tudi v primerih, ko imamo sekundarne pogoje, ki zahtevajo aerobno stabilizacijo in minimilizacijo količine proizvedenega blata.

Ko izberemo vrednost  $\theta_c$ , uporabimo enačbo (3.4) za izračun prostornine aeracijskega tanka. Ta enačba vsebuje vrednost  $X$ , ki se nanaša samo na koncentracijo biomase v premešani tekočini. Določimo jo na podlagi poizkusov in napak s katerimi jo optimiziramo na osnovi naslednjih pogojev: optimiziranje aeracijskega bazena in usedalnika na osnovi  $\theta_c$ , limitacija transferja kisika, karakteristike usedanja flokul in prenos dovoljene vrednosti snovi v sekundarni usedalnik. Najpogosteje dimenzioniramo na 1500 do 3000 mg/l suspendiranih snovi in uporabimo vrednosti 2500 mg/l suspendiranih snovi in okoli 2000 mg/l suspendiranih organskih (hlapljivih) snovi. Možno pa je te sisteme prilagoditi za višje koncentracije.

Selekcijo pri izbiri vrednosti suspendiranih snovi naredimo na osnovi usedanja in zgoščevanja flokul. Sisteme z uporabo vrednosti suspendiranih snovi, ki so večje od 5000 mg/l, ni ekonomično dimenzionirati.





Slika 6.4: Cikel vračanja blata (WTPD, 2003)

Slika 6.4 prikazuje predlagane vrednosti kot funkcije indeksa (prostornine) blata in temperature. Indeks blata nam pove kako dobro se blato sedimentira. Določimo ga eksperimentalno in sicer vzorec premešane odpadne vode damo v literski cilinder in opazujemo do katere meje se biološko blato usede v 30 minutah. Izračunamo ga po naslednji enačbi (zaželen je nizek indeks <100 ali pa vsaj v meji med 100 do 250):

$$I_b(\text{SVI}) = (\text{prostornina blata v ml po 30 min}) / \text{konecentracija MLSS} \quad (3.12)$$

Izbira koeficientov  $Y$  in  $b$  (pri enačbi (3.4)) je lahko na osnovi izkušenj strokovnjakov, študij in načrtovanj čistilnih naprav ali vrednosti najdenih v literaturi. Konstanta  $b$  se zmanjšuje s povečevanjem zadrževalnega časa snovi, saj se frakcija aktivne biomase v premešani tekočini suspendiranih snovi zmanjšuje in na ta račun poveča frakcija inertnih organskih in anorganskih snovi. To je posebno opazno pri manjši napravah brez primarne obdelave. Tipične vrednosti kinetičnih koeficientov so podane v preglednici 6.1 (WTPD, 2003).

Preglednica 5.1: V preglednici so podane konstante, ki jih uporabimo v enačbi (5.4) (WTPD, 2003)

Preglednica 5.1: Tipične kinetične konstante za reaktorje z aktivnim blatom.

Koeficient	Osnova	Območje	Tipična vrednost
$\mu_{\max}$	$d^{-1}$	0.3 - 3.0	1.0
$K_{sn}$	NH <sub>4</sub> -N [mg/l]	0.2 – 5.0	1.4
$Y_n$	NH <sub>4</sub> -N [mg org.snovi/ NH <sub>3</sub> -N]	0.04 – 0.29	0.15
$b_n$	$d^{-1}$	0.03 – 0.06	0.05

#### 5.1.4 Blato

Za izračun količine nastalega blata si pomagamo z enačbo (3.7), vendar moramo upoštevati da celotna masa predstavlja anorganske in organske raztopljene ter organske biološko neraztopljene snovi. Pri odstranjevanju fosforja moramo v masi upoštevati dodane železove in aluminijeve soli.

#### 5.1.5 Potreba po kisiku

Potreba po kisiku se spreminja prostorsko in časovno. Časovno potrebo lahko ocenimo s statističnimi analizami podatkov pritoka (BPK ogljika in nitrata). Prostorska potreba, pa temelji na kinetični povezavi med vzorci rasti biomase in odstranjevanja substrata, ter koncentraciji raztopljenega kisika. Odvisna je tudi od režima pretoka in hidravličnega zadrževalnega časa procesa. Celotna poraba kisika se računa na maksimalen pretok, pričakovan v predvidenem letu. Kot minimum, za navaden sistem, računamo na osnovi 24 urne potrebe povprečnega dne v mesecu, kateri predstavlja maksimum v letu.

#### 5.1.6 Kapacitete vračanja blata

Potrebe po vračanju blata izračunamo iz enačbe (3.8). Razmerje recikliranja blata ( $\alpha$ ) potrebuje posebno pozornost, saj vpliva na dimenzije končnih usedalnikov, brez da bi vplival na velikost aeracijskega tanka. Generalno se ne da določiti koeficienta, saj je ta odvisen od lastnosti usedanja in zgoščevanja blata. Obstaja pa priporočljiva meja med 20 in 100 % za običajne sisteme, medtem ko se za razne podaljšane sisteme meja dvigne do 150 %.

### 5.1.7 Dimenzioniranje procesa za nitrifikacijo

Dušik se nahaja v surovi odpadni vodi pretežno v organskih spojinah in v obliki amonija. V literaturi je zasledeno, da je količina dušika med 20 in 85mg/l z mediano 40 mg/l. Približno 40 % ga je v organski obliki in 60 % v obliki amonija. Manj kot 1 % ga je v nitritih in nitratih, razen če na njihovo količino vplivajo industrijski odpadki (WTPD, 2003).

Rast novih celic odstrani nekaj dušika v pritoku. Ta se akumulira v biomasi in predstavlja 11 do 12 % delež suhe teže suspendiranih organskih snovi. Nekaj dušika se odstrani skozi endogeno respiracijo. Če imamo podatke o zadrževalnem času snovi in BPK, se odstranjevanje dušika s pomočjo asimilacije oceni iz enačbe 3.3, kar predstavlja 8 do 20 % celotne količine dušika v pritoku. To območje kaže na odvisnost zadrževalnega časa snovi in endogenega razpada na kopičenje dušika v biomasi.

Asimilacija dušika se spreminja z razmerjem med BPK in dušika v pritoku, ter je pomembna v sistemih z veliko koncentracijo BPK, zato je zaželeno da, nimamo primarnega usedalnika.

Amoniak oksidira do nitrata z autotrofnimi bakterijami *Nitrosomonas* in *Nitrobacter*. Vsak gram amoniaka oksidiran v nitrat predstavlja porabo 4.57 g kisika, 7.1 g zmanjšanje alkalnosti (uničenje kalcijevega karbonata) in prirast 0.15 g novih celic.

Stopnja biološke nitrifikacije je pogojena z dovoljeno maso nitrifikacijskih organizmov v sistemu. Pri računanju sta ključna koeficienta  $t$  in  $\theta_c$ . Če dimenzioniramo enostopenjski sistem v povezavi z nitrifikacijo je ta odvisen od zadrževalnega časa snovi. Pri dvostopenjskem sistemu pa je, z razliko od enostopenjskega, omogočeno nekaj separacije ogljikovega in dušikovega oksidacijskega procesa. V prvi fazi dvostopenjskega sistema (aeracijski tank skupaj z usedanjem in reciklažo blata) prevladuje odstranjevanje ogljikovega BPK<sub>5</sub>, medtem ko je nitrifikacija omejena. Druga faza (aeracijski bazen in usedalnik vsak posebej z reciklažo blata) vsebuje bolj ugodne pogoje za nitrifikacijo. Dvostopenjski sistemi so danes dražji in se redko v uporabi v ZDA.

### 5.1.8 Temperatura

Temperatura vpliva na reakcijsko stopnjo, stohiometrične konstante (kvantitativno razmerje med reaktanti in produkti pri kemični reakciji) in količino raztopljenega kisika. Večino temperaturnih korektur pri bioloških postopkih dimenzioniranja se nanaša na modificirano van't Hoff-Arrhenius enačbo:

$$K_{T1} = K_{T2} \beta^{(T2-T1)}, \quad [-] \quad (3.13)$$

kjer je:  $K_{T1}$  = specifična kinetična, stohiometrična konstanta, ali konstanta masnega transferja pri temperaturi  $T_1$  [-]

$K_{T2}$  = specifična kinetična, stohiometrična konstanta, ali konstanta masnega transferja pri temperaturi  $T_2$  [-]

$\beta$  = konstanta, 1.00 do 1.04 za ogljikovo BPK odstranjevanje in 1.06 do 1.12 za aeracijske lagune [-]

Novak (1974) je prikazal, da sta  $k$ , koeficient maksimalne porabe substrata in  $K_s$ , koncentracija substrata, ko ga je bila porabljena že polovica, odvisna od temperature po tej enačbi:

$$k_T = k_0 e^{C_1 T} \quad (3.14)$$

$$K_{ST} = k_{S0} e^{C_2 T}, \quad (3.15)$$

kjer je:  $k_T$  = konstanta maksimalne porabe substrata pri temperaturi  $T$  [-]

$k_0$  = konstanta maksimalne porabe substrata pri priporočeni temperaturi [-]

$C_1$  = konstanta nagiba linije grafa  $\log k$  v odvisnosti od temperature [-]

$K_{ST}$  = polovično hitrostna konstanta pri temperaturi  $T$  [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]

$K_{S0}$  = polovično hitrostna konstanta pri priporočljivi temperaturi [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]

$C_2$  = konstanta nagiba krivulje grafa  $\log K_s$  v odvisnosti od temperature [-]

Za aerobne sisteme velja da se  $k$  in  $K_s$  povečujeta z rastjo temperature. Pri anaerobnih sistemih pa  $k$  raste, medtem ko  $K_s$  pada z rastjo temperature. S povezavo enačbe (3.13) v enačbo (3.14) in zanemaritvijo konstante razpada, dobimo naslednjo enačbo:

$$\frac{1}{\theta_c} = \frac{Y(k_0 e^{C_1 T}) \cdot S}{k_{s0} e^{C_2 T} + S} \quad (3.16)$$

Iz enačbe (3.16) ugotovimo, da je učinkovitost odstranjevanje substrata odvisna tako od časa zadrževanja snovi, kot tudi od temperature. Če temperaturo znižujemo od normalnih vrednosti se pri kratkem zadrževalnem času snovi učinkovitost odstranjevanja substrata zmanjšuje. Pri hladnih klimatskih razmerah (nizke temperature) je priporočeno nastaviti dolg zadrževalni čas snovi za učinkovito odstranjevanje substrata.

### 5.1.9 Raztopljeni kisik

Pri dimenzioniranju sistemov za odstranjevanje organskih snovi je minimalna koncentracija raztopljenega kisika v povprečnem aeracijskem tanku 0.5 mg/l pod ekstremnimi pogoji in 2.0 mg/l pri povprečnih pogojih. Z uporabo nizkih vrednosti se poveča učinkovitost transporta kisika, vendar pa lahko pride do pojava filamentnih bakterij in slabe sedimentacije. Pri nitrifikacijskih sistemih se uporablja pod vsemi pogoji minimum raztopljenega kisika pri povprečnem 2.0 mg/l.

### 5.1.10 Nutrienti (hranila)

Skladno razmerje hranil je potrebno za učinkovito sedimentacijo aktivne biomase. Potrebe po hranilih so odvisne od razmerja  $BPK_5$ /nitratov/fosfatov (C:N:P) približno 100:5:1. Sistemi z višjimi vrednostmi  $\theta_c$  potrebujejo manj hranil zaradi reciklaže, ki izvira iz autooksidacije biomase. Ker potrebe hranil temeljijo na zadrževalnem času snovi  $\theta_c$ , nekateri strokovnjaki računajo potrebe po hranilih na osnovi odpada hlapljivih suspendiranih snovi (odpadno blato). Minimalna zahteva po nitratih naj bi bila 12 % od sušine suspendiranega blata in zahteva fosfatov naj bi bila 2 % od sušine suspendiranega blata.

### **5.1.11 Toksične snovi**

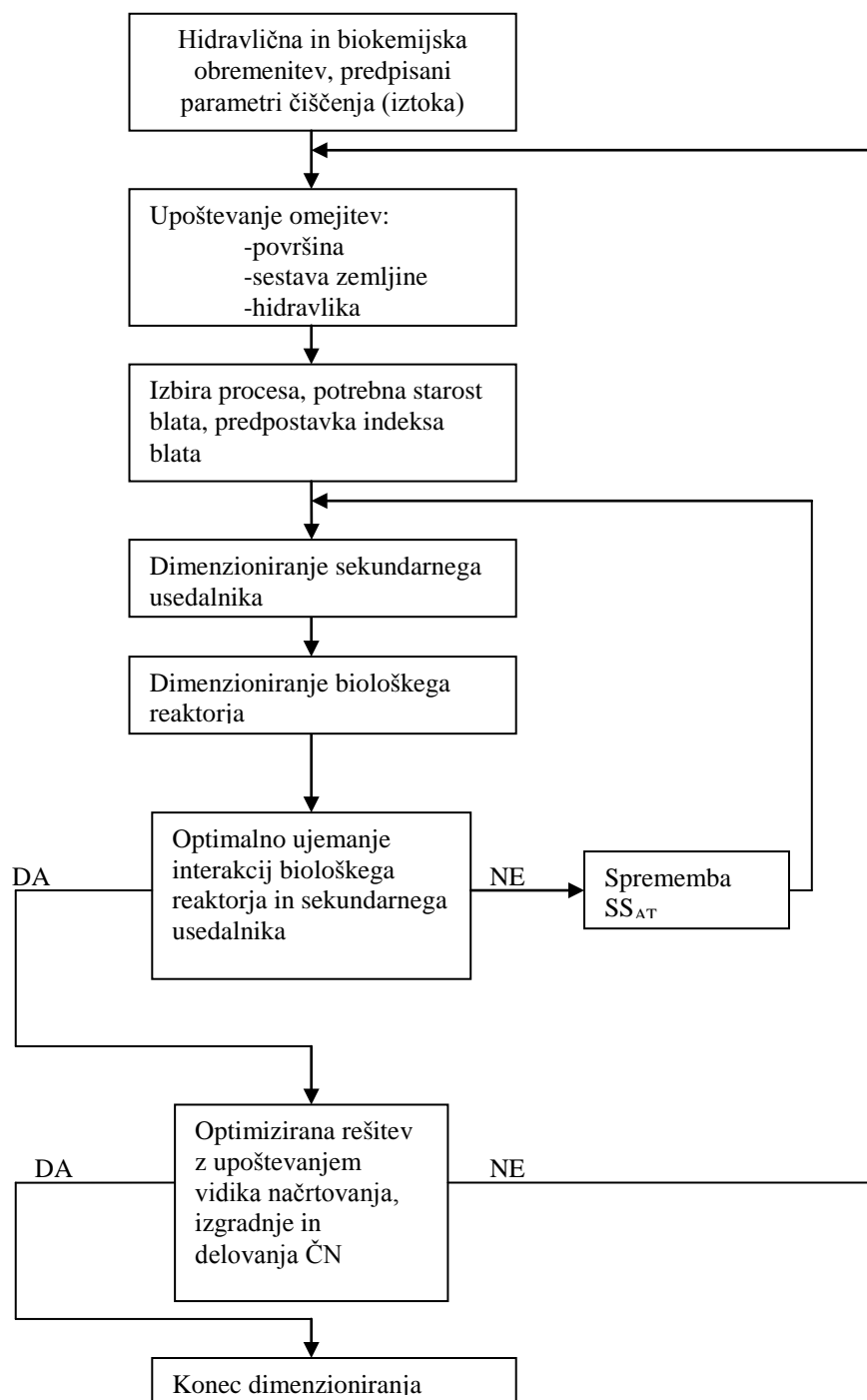
Prisotnost toksičnih organskih in anorganskih snovi lahko poruši ravnotežje aktivno bioloških procesov. Še posebej so na toksične šoke občutljivi nitrifikacijski procesi.

### **5.1.12 pH**

Za odstranjevanje ogljika in dušika je najbolj primeren pH v območju 6.5 do 7.5, kjer je optimum za rast celic. Sistemi s vnosom čistega kisika bolj zmanjšujejo pH od zračno vnosnih sistemov, saj pri zračnem vnosu dušikovi plini izpodrivajo CO<sub>2</sub> in s tem zmanjšujejo tvorjenja HCO<sub>3</sub> kisline. Pojav nitrifikacije pa zmanjšuje alkalnost. Zaradi nastajanja in uhajanja CO<sub>2</sub>, je potrebno pri obeh sistemih tako s čistim kisikom kot z vpihovanjem zraka, dodati najmanj 60 mg/l kalcijevega karbonata, da preprečimo zniževanje pH in ga stabiliziramo. Delovanje s 50 mg/l je rizično, višje vrednosti v območju 80 do 100 mg/l pa dajejo večjo vsakodnevno zaščito.

## **5.2 Dimenzioniranje ČN z aktivnim blatom po smernicah delovnega lista ATV- DWVK-A131E**

Dimenzioniranje ČN z aktivnim blatom po smernicah poteka po določenih korakih. Ker so parametri med seboj odvisni moramo izračun večkrat ponoviti z novimi predpostavkami. Potek dimenzioniranja poteka po spodnji shemi (slika 5.5).



Slika 5.5: Shema načrtovanja in dimenzioniranja

### 5.2.1 Hidravlična obremenitev

Najprej hidravlično dimenzioniramo ČN. Najpomembnejša sta:

- maksimalni sušni urni dotok na ČN ( $Q_{DW,h}$ ) za dimenzioniranje anaerobnega selektorja in interne recirkulacije
- maksimalni urni dotok na ČN v deževnem vremenu ( $Q_{ww,h}$ ) za dimenzioniranje sekundarnega usedalnika

Za sušni maksimalni urni dotok računamo:

$$Q_{DW,h} = \frac{1}{10} \text{ do } \frac{1}{18} \cdot Q_d \quad [\text{m}^3/\text{dan}] \quad (4.1)$$

$Q_d$ ...dnevni dotok odpadne vode [ $\text{m}^3/\text{dan}$ ]

Za določitev maksimalnega urnega dotoka na ČN v deževnem vremenu ( $Q_{ww,h}$ ) so odločilne padavine in sicer kratkotrajni nalivi z veliko intenziteto. Pogostnost in intenziteto nalivov izberemo na podlagi tako imenovanih gospodarsko enakovrednih nalivov, ki so znani (statistično določeni za daljše časovno obdobje) za osem različnih padavinskih območij v Sloveniji (Macarel B., 2004).

$$Q_{ww,h} = Q_{DW,h} + Q_i \quad [\text{m}^3/\text{h}] \quad (4.2)$$

$$Q_i = q' \cdot F_i \cdot \varphi_i \quad [\text{m}^3/\text{h}] \quad (4.3)$$

$q'$ ...intenziteta gospodarsko enakovrednega naliva [ $\text{l}/(\text{s} \cdot \text{ha})$ ]

$F_i$ ...velikost prispevne površine [ha]

$\varphi_i$ ...koeficient odtoka [%]

Pomembna sta še srednji dnevni dotok ( $Q_{sr}$ ) in minimalni dotok ( $Q_{min}$ ).

$$Q_{sr} = \frac{1}{24} Q_d \quad (4.4)$$

$$Q_{min} = \frac{1}{37} \text{ do } \frac{1}{57} Q_d \quad (4.5)$$



## 5.2.2 Biokemijska obremenitev

Pri določitvi biokemijske obremenitve so pomembni naslednji parametri:

- ustrezna najvišja in najnižja temperatura odpadne vode
- ustrezna organska obremenitev ( $B_{d,BPK5}$ ,  $B_{d,KPK}$ ),
- ustrezna obremenitev z neraztopljenimi snovmi ( $B_{d,SS}$ )
- ustrezna obremenitev s fosforjem ( $B_{d,P}$ ), za določitev produkta blata in s tem določitev prostornine biološkega reaktorja za izbrano temperaturo
- ustrezna organska obremenitev in obremenitev z dušikovimi spojinami pri najvišji pričakovani temperaturi odpadne vode za dimenzioniranje prezračevalnega sistema
- ustrezna koncentracija dušika ( $C_N$ ) in sorodnih organskih substanc ( $C_{BPK5}$ ,  $C_{KPK}$ ) za določitev količine nitratov, ki jih je potrebno denitrificirati
- ustrezna koncentracija fosforja ( $C_P$ ) za določitev koncentracije fosforja, ki jo je potrebno odstraniti

Če podatkov nimamo dovolj oz. so raziskave predrage, lahko izhajamo iz obremenitev za podobna naselja, ki se nanašajo na priključenega prebivalca (Preglednica 5.2). Biokemijsko obremenitev dobimo tako, da število PE pomnožimo z vrednostjo iz preglednice (Macarel B., 2004).

Preglednica 5.2: Vrednosti parametrov za dimenzioniranje pri različnem hidravličnem zadrževalnem času.

Parameter	Surova odpadna voda [g/l · dan]	Hidravlični zadrževalni čas v primarnem usedalniku	
		0,5 do 1,0 [h]	1,5 do 2,0 [h]
BPK <sub>5</sub>	60	45	40
KPK	120	90	80
DS	70	35	25
TKN	11	10	10
P	1,8	1,6	1,6

### 5.2.3 Določanje zadrževalnega časa snovi (starost blata):

Predpisana starost blata pri ČN z aerobno stabilizacijo je  $t_{SS,dim} \geq 20$  dni.

Če je potrebna počasnejša denitrifikacija, potem je starost blata  $t_{SS,dim} \geq 25$  dni. Kadar je temperatura v biološkem reaktorju v dvotedenskem obdobju vedno višja od 12°C lahko zmanjšamo starost blata z enačbo (ATV-DVWK-A 131E, 2000):

$$t_{SS,dim} \geq 25 \cdot 1,072^{(12 - T)} \quad [\text{dan}] \quad (4.6)$$

Kjer je:  $t_{SS,dim}$  = starost blata [dan]

$T$  = temperatura v biološkem reaktorju [°C]

### 5.2.4 Odstranjevanje fosforja

Fosfor odstranjujemo biološko ali kemijsko z dodajanjem železovih ali aluminijevih koagulantov.

Anaerobne premešane bazene za biološko odstranjevanje fosforja, dimenzioniramo za minimalen kontaktni čas okoli 0,5 do 0,75 ur, ki se nanaša na maksimalen sušni dotok in dotok povratnega blata ( $Q_{DW,h} + Q_{RS}$ ). Stopnja odstranjevanja fosforja pa je še odvisna od razmerja med koncentracijo biološko razgradljivih snovi in koncentracije fosforja (ATV-DVWK-A 131E, 2000).

Ravnotežna masna enačba fosforja:

$$X_{P,Pre} = C_{P,IAT} - C_{P,EST} - X_{P,BM} - X_{P,BioP} \quad [\text{mg/l}] \quad (4.7)$$

Kjer je:  $C_{P,IAT}$  = koncentracija celotnega fosforja v pritoku na biološki reaktor [mg/l]

$C_{P,EST}$  = predpisana koncentracija fosforja na iztoku [mg/l]

$X_{P,BM}$  = koncentracija fosforja vgrajena v biomaso [mg/l]

$X_{P,BioP}$  = koncentracija biološko odstranjenega fosforja [mg/l]

$C_{P,EST} = 0,6-0,7 C_{P,ER}$ .  $C_{P,ER}$  je z zakonom predpisana koncentracija v iztoku.  $X_{P,BM}$  je kot  $0,01 \cdot C_{BPK5,IAT}$  ali kot  $0,005 C_{KPK,IAT}$ . Pri običajni mestni odpadni vodi lahko predvidimo  $X_{P,BioP}$  kot (ATV-DVWK-A 131E, 2000):

- $X_{P,BioP} = 0,01$  do  $0,015 \cdot C_{BPK5,IAT}$  ali kot  $0,005$  do  $0,007 \cdot C_{KPK,IAT}$ , posamično z gorvodnimi anaerobnimi bazeni.
- pri nizkih temperaturah  $S_{NO3,EST}$  naraste na  $\geq 15$  mg/l, iz česa lahko sklepamo:  $X_{P,BioP} = 0,005$  do  $0,01 \cdot C_{BPK5,IAT}$  ali kot  $0,0025$  do  $0,005 \cdot C_{KPK,IAT}$ , posamično z gorvodnimi anaerobnimi bazeni.
- na ČN, kjer imamo pre – anoksično cono z denitrifikacijo ali step – feed denitrifikacijo, vendar brez anaerobnih bazenov, lahko predvidimo  $X_{P,BioP} \leq 0,005 \cdot C_{BOD,IAT}$  ali kot  $0,002 C_{COD,IAT}$  posamično.
- Če, pri nizkih temperaturah speljemo recirkulacijo pre – anoksično cono denitrifikacije v anaerobni tank, lahko izračunamo  $X_{P,BioP} \leq 0,005 \cdot C_{BPK5,IAT}$  ali kot  $0,002 C_{KPK,IAT}$  posamično.

Potreba za povprečno obarjenje se lahko izračuna kot  $1,5 \text{ mol Me}^{+3}/\text{mol } X_{P,Prec}$ . Če vrednosti zapišemo v drugo obliko:

- obarjenje z uporabo železa 2,7 kg Fe/kg  $X_{P,Prec}$
- obarjenje z uporabo aluminija 1,3 kg Al/kg  $X_{P,Prec}$

Kadar pri sedimentaciji uporabimo apno, kot pravilo upoštevamo, da apneno mleko dodajamo v pritok na sekundarni usedalnik, da bi s tem zvišali pH in s tem dosegli sedimentacijo. Primarno se apno dodaja zaradi povečanja alkalnosti.

### 5.2.5 Odstranjevanje dušika

Količina nitrata, ki mora biti denitrificiran, se določi po enačbi:

$$S_{NO3,D} = C_{N,IAT} - S_{orgN,EST} - S_{NH4,EST} - X_{orgN,BM} \quad [\text{mg/l}] \quad (4.8)$$

$C_{N,IAT}$  = koncentracija dušika na vtoku

Koncentracija nitrata na vtoku ( $S_{NO_3,IAT}$ ) je običajno zanemarljivo majhna, vendar jo je potrebno v primeru velikih količin infiltrirane vode (podtalnica, ki vsebuje nitrato) ali pri vtoku odpadne vode iz nekaterih industrijskih in trgovinskih dejavnosti, vključiti tudi v  $C_{N,IAT}$ ; tudi blatenic mora biti vključena v koncentraciji v vtoku ( $C_{N,IAT}$ ) (ATV-DVWK-A 131E, 2000).

$S_{orgN,EST} = 2 \text{ mg/l}$  predpostavljena koncentracija organskega dušika na iztoku

$S_{NH_4,EST} = 0 \text{ mg/l}$  predpostavljena vrednost (smo na varni strani); predpisan pa je tudi z zakonodajo

$X_{orgN,BM} = 0,04-0,05 \cdot C_{BOD,IAT}$  poenostavljen upoštevan dušik, ki je vezan v organski masi

$S_{NO_3,EST} = 0,8-0,6 \cdot S_{inorgN,ER}$  tako se upošteva v praksi (manjšo vrednost se upošteva pri napravah z večjimi spremembami (nihanji) v obremenitvi vtoka

### **Določitev deleža volumna reaktorja potrebnega za denitrifikacijo**

Pri čiščenju komunalne odpadne vode z nitrifikacijo in denitrifikacijo je velikost denitrifikacijskega deleža volumna reaktorja odvisna predvsem od:

- količine dušika ki jo je potrebno odstraniti
- razmerja med nitratnim dušikom, ki ga je potrebno denitrificirati in  $BPK_5$  na vtoku v biološki reaktor
- starost blata
- vsebnost suhe substance v biološkem reaktorju
- temperature odpadne vode.

Za simultan in prekinjajoč proces denitrifikacije izračunamo  $V_D/V_{AT}$  po enačbi:

$$\frac{S_{NO3,D}}{C_{BPK5,IAT}} = \frac{0,75 \cdot OU_{C,BPK5}}{2,9} \cdot \frac{V_D}{V_{AT}} \quad [\text{mg N/mg BPK}_5] \quad (4.9)$$

$C_{BPK5,IAT}$  = koncentracija organskega onesnaženja ( $BPK_5$ ) na vtoku v biološki reaktor [mg/l]

$OU_{c,BPK}$  = količina kisika potrebnega za oksidacijo  $BPK_5$  [kg  $O_2$ /kg  $BPK_5$ ]

Iz masne bilance kisika v denitrifikacijski coni popolnoma premešanega reaktorja dobimo naslednjo enačbo:

$$\frac{Q_d \cdot 2,9 \cdot S_{NO3,D}}{1000} = 0,75 \cdot OU_{d,C} \cdot \frac{V_D}{V_{AT}} \quad [\text{kg/dan}] \quad (4.10)$$

$OU_{d,C}$  = dnevna poraba kisika potrebna za oksidacijo ogljikovih spojin [kg  $O_2$ /dan]

Leva stran enačbe (4.10) predstavlja dnevno količino kisika, ki izvira iz nitratov v fazi denitrifikacije, desna pa dnevno porabo kisika v denitrifikacijski coni. Faktor 0.75 kaže na počasnejše navzemanje kisika iz nitratov, v primerjavi s hitrostjo navzemanja kisika raztopljenega v odpadni vodi.

Izračun razmerja  $V_D/V_{AT}$  za različna razmerja obremenitve  $S_{NO3,D}/C_{BPK5,IAT}$  in temperaturo odpadne vode od 10-12° C je prikazan v preglednici 5.3.

Preglednica 5.3: Standardne vrednosti za izračun denitrifikacije (kg nitratnega dušika, ki ga je potrebno denitrificirati, na kg odvedenega organskega onesnaženja  $BPK_5$ )

$V_D/V_{AT}$	$S_{NO3,D}/C_{BPK5,IAT}$	
	PREDHODNA DENITRIFIKACIJA	SIMULTANA IN PREKINJAJOČA DENITRIFIKACIJA
0,2	0,11	0,06
0,3	0,13	0,09
0,4	0,14	0,12
0,5	0,15	0,15

Iz preglednice 5.3 je razvidno da prostornin manjših od  $V_D/V_{AT} = 0.2$  oziroma večjih od  $V_D/V_{AT} = 0.5$  ne dimenzioniramo. Vidimo tudi, da večja koncentracija organskega onesnaženja ( $C_{BPK5,IAT}$ ) na vtoku izboljšuje redukcijo nitrata oziroma nam daje manjši potrebni volumen  $V_D$ . Zato je pomembno, da pri čistilnih napravah s tretjo stopnjo čiščenja ni primarnih usedalnikov, pri katerih pride do cca. 30% redukcije organskega onesnaženja, temveč je odpadna voda iz peskolova in maščobnika direktno vodena v biološki bazen. Možno je tudi, da odpadni vodi dodajamo dodatni ogljik kot npr. v obliki metanola ali etanola (Macarel B., 2004).

Za učinek denitrifikacije so ugodni naslednji dejavniki:

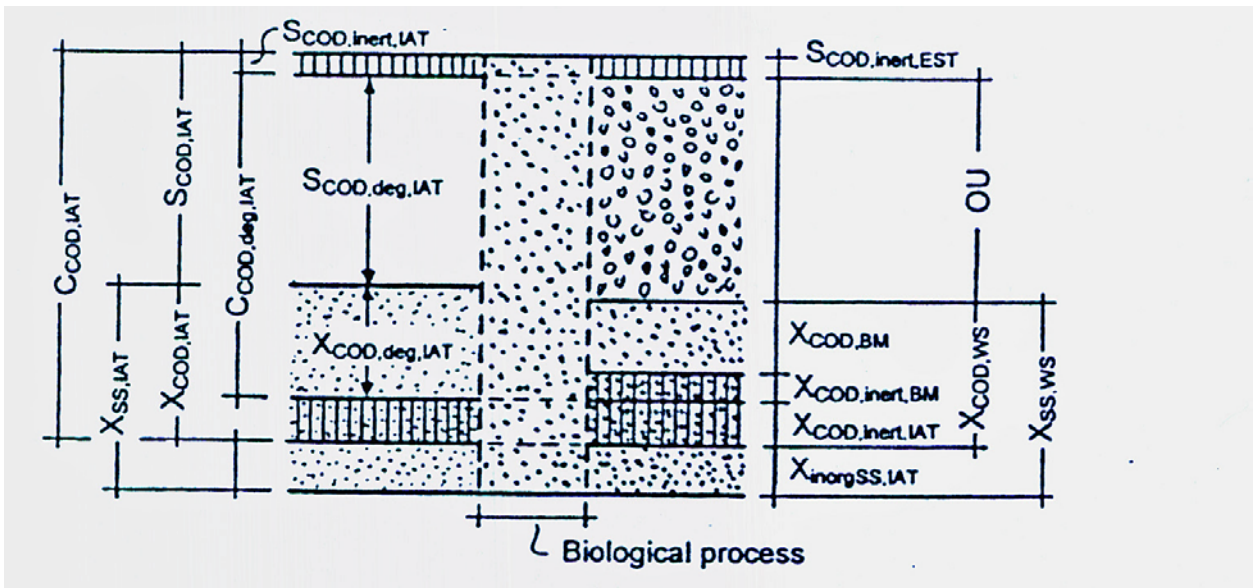
- če je razmerje  $S_{NO3,D}/C_{BPK5,IAT}$  manjše od 0.15
- če nimamo predhodnega čiščenja
- če povratni tok nitrata iz aerobnega dela bazena v anoksično cono, vsebuje čim manj raztopljenega kisika
- če je odplaka predhodno okisana

## 5.2.6 Produkcija blata

### Principi dimenzioniranja

Za računanje procesov v biološkem reaktorju potrebujemo naslednje parametre:

- $C_{KPK,IAT}$  kemijska potreba po kisiku
- $S_{KPK,IAT}$  raztopljeni del frakcije KPK, ki se prefiltrira skozi 0,45  $\mu\text{m}$  filtrsko membrano (KPK raztopljenih snovi)
- $X_{KPK,IAT}$  KPK snovi, ki ostane po filtriranju skozi 0,45  $\mu\text{m}$  filtrsko membrano (KPK neraztopljenih snovi)
- $X_{SS,IAT}$  snovi, ki ostanejo po filtriranju odpadne vode (suspendirane snovi)
- $X_{inorgSS,IAT}$  anorganski del suspendiranih snovi



Slika 5.6: Prikazuje spremembo KPK (COD) in filtrirane snovi (X) zaradi biološkega čiščenja. Na levi je sestava snovi pred, na desni pa po biološkem čiščenju.

Ravnotežje KPK lahko v pritoku v biološki bazen razdelimo na raztopljeno in neraztopljeno frakcijo.

$$C_{KPK,IAT} = S_{KPK,IAT} + X_{KPK,IAT} \quad [\text{mg/l}] \quad (4.11)$$

Vsaka frakcija je sestavljena iz biološko razgradljivih in inertnih snovi:

$$C_{KPK,IAT} = S_{KPK,deg,IAT} + S_{KPK,inert,IAT} + X_{KPK,deg,IAT} + X_{KPK,inert,IAT} \quad [\text{mg/l}] \quad (4.12)$$

Raztopljene inertne snovi pri vtoku (IAT) na reaktor lahko enačimo z raztopljenimi inertnimi snovmi v iztoku (EST) iz biološkega reaktorja:

$$S_{KPK,inert,IAT} = S_{KPK,inert,EST} \quad [\text{mg/l}] \quad (4.13)$$

$S_{KPK,inert,IAT}$  ima vrednost med 0.05 in 0.1  $C_{KPK,IAT}$ . Za navadno mestno odpadno vodo se priporoča vrednost  $S_{KPK,inert,IAT} = 0.05 \cdot C_{KPK,IAT}$ .

Inertni del suspendiranih snovi KPK lahko izračunamo tudi kot:

$$X_{KPK,inert,IAT} = A \cdot X_{KPK,IAT} = A \cdot (C_{KPK,IAT} - S_{KPK,IAT}) \quad [\text{mg/l}] \quad (4.14)$$

Glede na tip odpadne vode, zadrževalnega časa v primarnem usedalniku, ima lahko A vrednost med 0.2 in 0.35. Za mesto odpadno vodo računamo  $A=0.25$ .

Biološko razgradljiv KPK ( $C_{KPK,deg,IAT}$ ) lahko izračunamo kot:

$$C_{KPK,deg,IAT} = C_{KPK,IAT} - S_{KPK,inert,EST} - X_{KPK,inert,IAT} \quad [mg/l] \quad (4.15)$$

Če dodajamo apno moramo to prišteti vrednosti  $S_{KPK,deg,IAT}$ . Če dodamo manj kot 10 mg/l, vrednost zanemarimo.

Suspendirane snovi v pritoku na ČN so sestavljene iz organskih in anorganskih frakcij, zadnje navedene niso del  $C_{KPK,IAT}$ :

$$X_{SS,IAT} = X_{orgSS,IAT} + X_{inorgSS,IAT} \quad [mg/l] \quad (4.16)$$

ali

$$X_{inorg,SS,IAT} = B \cdot X_{SS,IAT} \quad [mg/l]$$

Vrednost B je med 0.2 in 0.3 (70% do 80% organsko). Če ni meritev, se priporoča vrednost 0.3 ali če imamo primarni usedalnik 0.2.

Po več meritvah ugotovimo, da ima organska suha snov v pritoku 1.45 g KPK/g org SS. S tem lahko naredimo naslednjo korelacijo:

$$X_{KPK,IAT} = C_{KPK,IAT} - S_{KPK,IAT} = X_{SS,IAT} \cdot 1,45 \cdot (1 - B) \quad (4.17)$$

Kot rezultat čiščenja imamo iz sekundarnega usedalnika iztok (raztopljen inerten KPK in KPK suspendiranih snovi) in aktivno blato, ki se meri kot KPK ( $X_{KPK,SP}$ ). Če ignoriramo biološko nerazgradljiv, raztopljen biološko razgradljiv KPK v iztoku in sklepamo, da so suspendirane snovi aktivno blato, ki je ušlo čiščenju računamo:

$$C_{KPK,IAT} = S_{KPK,inert,EST} + X_{KPK,SP} + OU \quad (4.18)$$

OU predstavlja kisik potreben za respiracijo (enačba (4.18)).

Če na ČN uporabljamo podaljšano aeracijo in s tem večjo starost blata, lahko sklepamo da pride do popolne preobrazbe obeh biološko razgradljivih substanc ( $X_{KPK,deg,IAT}$  in  $S_{KPK,deg,IAT}$ ).



Rahlo povečanje inertnih raztopljenih KPK kot tudi anorganskih snovi, kot rezultat bioloških procesov se zanemari.

Aktivno blato, ki ga merimo s KPK, ( $X_{KPK,SP}$ ) je sestavljeno iz suspendiranih snovi KPK, biomasa ( $X_{KPK,BM}$ ) in inertnih snovi ( $X_{KPK,inert,BM}$ ), ki ostanejo od endogenega razpada biomase.

$$X_{KPK,SP} = X_{KPK,inert,IAT} + X_{KPK,BM} + X_{KPK,inert,BM} \quad [\text{mg/l}] \quad (4.19)$$

Zaradi tvorbe in endogenega razpada biomase sledi naslednja korelacija:

$$X_{KPK,BM} = C_{KPK,deg,IAT} \cdot Y - X_{KPK,BM} \cdot t_{SS} \cdot b \cdot F_T \quad [\text{mg/l}] \quad (4.20)$$

$$X_{KPK,BM} = C_{KPK,deg,IAT} \cdot Y \cdot \frac{1}{1 + t_{SS} \cdot b \cdot F_T} \quad [\text{mg/l}] \quad (4.21)$$

$$F_T = 1,072^{(T-15)} \quad [-] \quad (4.22)$$

Koeficient prirasta biomase  $Y = 0.67 \text{ g KPK}/(\text{g KPK}_{deg})$  in koeficient razpada  $b = 0.17 \text{ d}^{-1}$  pri  $15^\circ \text{ C}$  sta oba ustrezna Modelu aktivnega blata Št. 1.

Inertna snov, ki ostane od endogenega razpada je približno 20% od razpada biomase:

$$X_{KPK,inert,BM} = 0,2 \cdot X_{KPK,BM} \cdot t_{SS} \cdot b \cdot F_T \quad [\text{mg/l}]$$

$X_{KPK,SP}$  je 80% organski. Če računamo z  $1.45 \text{ g KPK}/(\text{g SS})$  in vzamemo v vednost anorgansko frakcijo suspendiranih snovi pri vtoku, dobimo naslednjo enačbo:

$$SP_{d,C} = Q_d \cdot \left( \frac{X_{KPK,SP}}{0,8 \cdot 1,45} + X_{inorgSS,IAT} \right) / 1000 \quad [\text{kg SS/dan}] \quad (4.23)$$

ali

$$SP_{d,C} = Q_d \cdot \left( \frac{X_{KPK,SP}}{0,8 \cdot 1,45} + B \cdot X_{SS,IAT} \right) / 1000 \quad [\text{kg SS/dan}] \quad (4.24)$$

Na ČN v biološkem bazenu z aktivnimi procesi pridobimo biološko blato, ki nastane pri procesih za odstranjevanje ogljika in pri procesih odstranjevanja fosforja. Enačba se zapiše kot:

$$SP_d = SP_{d,C} + SP_{d,P} \quad [\text{kg/dan}] \quad (4.25)$$

Povezava med produkcijo blata in njegovo starostjo je:

$$t_{SS} = \frac{M_{SS,AT}}{SP_d} = \frac{V_{AT} \cdot SS_{AT}}{SP_d} = \frac{V_{AT} \cdot SS_{AT}}{Q_{WS,d} \cdot SS_{WS} + Q_d \cdot X_{SS,EST}} \quad [\text{dan}] \quad (4.26)$$

Kjer je:  $M_{SS,AT}$  = masa suspendiranih snovi v biološkem reaktorju [kg]  
 $SP_d$  = dnevna količina nastalega blata [kg/dan]  
 $V_{AT}$  = prostornina biološkega reaktorja [ $\text{m}^3$ ]  
 $SS_{AT}$  = koncentracija suspendiranih snovi v biološkem reaktorju [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]  
 $Q_{WS,d}$  = dnevni pretok proizvedenega blata [ $\text{m}^3/\text{dan}$ ]  
 $SS_{WS}$  = koncentracija suspendiranih snovi v proizvedenem blatu [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]  
 $Q_d$  = dnevni pritok na ČN [ $\text{m}^3/\text{dan}$ ]  
 $X_{SS,EST}$  = koncentracija suspendiranih snovi v iztoku iz sekundarnega Usedalnika [mg/l]

Vidimo, da je ta enačba (4.26) ista kot enačba ki sem jo uporabljal za izračun starosti blata v poglavju 6.1.2, enačba (3.2).

Ponavadi v praksi zanemarimo člen ( $Q_d + X_{SS,EST}$ ) v enačbi (4.26), ki predstavlja maso suspendiranih snovi v iztoku. Iz tega sledi da je  $SP_d = Q_{WS,d} \cdot SS_{WS}$ , torej da je produkcija blata enaka samo dnevno proizvedenemu blatu.

## Produkcija blata

Za izračun aktivnega blata nastalega pri odstranjevanju ogljika je primerna enačba:

$$SP_{d,C} = B_{d,BPK5} \cdot \left( 0,75 + 0,6 \cdot \frac{X_{SS,IAT}}{C_{BPK5,IAT}} - \frac{(1-0,2) \cdot 0,17 \cdot 0,75 \cdot t_{SS} \cdot F_T}{1 + 0,17 \cdot t_{SS} \cdot F_T} \right) \text{ [kg/dan]} \quad (4.27)$$

Kjer je:  $B_{d,BPK5}$  = dnevni vnos  $BPK_5$  [kg/dan]

$X_{SS,IAT}$  = koncentracija suspendiranih snovi na pritoku na ČN [mg/l]

$C_{BPK5,IAT}$  = koncentracija  $BPK_5$  v homogenem vzorcu pritoka na ČN [mg/l]

$F_T$  = faktor temperature za endogeno respiracijo [-]

Faktor temperature za endogeno respiracijo je:

$$F_T = 1,072^{(T-15)}$$

Če dodajamo zaradi izboljšane nitrifikacije apno, potem moramo v enačbi (4.27) povečati  $B_{d,BOD}$  za vrednost  $Q_d \cdot 0,5 \cdot S_{COD,Ext}$  (v tem primeru  $S_{COD,Ext} \geq 10$  mg/l)/1000, ter povečati  $C_{BOD,IAT}$  za vrednost  $0,5 \cdot S_{COD,Ext}$ . V primeru  $S_{COD,Ext} \leq 10$  mg/l se zanemari dodatna produkcija blata.

Spodnja Preglednica 5.4 nam prikazuje izračunane vrednosti z uporabo enačbe x.x za  $T=10^\circ\text{C}$  in  $T=12^\circ\text{C}$ .

Preglednica 5.4: Izračunane vrednosti specifične produkcije blata  $SP_{C,BPK5}$  [kg SS/kg BPK<sub>5</sub>] z uporabo enačbe (4.27) za  $T=10^{\circ}\text{C}$  in  $T=12^{\circ}\text{C}$ .

$X_{SS,IAT}/$ $C_{BPK5,IAT}$	Starost blata v dnevih					
	4	8	10	15	20	25
0,4	0,79	0,69	0,65	0,59	0,56	0,53
0,6	0,91	0,81	0,77	0,71	0,68	0,65
0,8	1,03	0,93	0,89	0,83	0,80	0,77
1,0	1,15	1,05	1,01	0,95	0,92	0,89
1,2	1,27	1,17	1,13	1,07	1,04	1,01

Produkcija blata pri odstranjevanju fosforja se izračuna:

$$SP_{d,P} = \frac{Q_d \cdot (3 \cdot X_{P,BioP} + 6,8 \cdot X_{P,Pr ec,Fe} + 5,3 \cdot X_{P,Pr ec,Al})}{1000} \quad [\text{kg/dan}] \quad (4.28)$$

Kjer je:  $X_{P,BioP}$  = koncentracija fosforja, ki je bila odstranjena biološko [mg/l]  
 $X_{P,Pr ec,Fe}$  = koncentracija odstranjenega fosforja s pomočjo Fe pri simultani sedimentaciji [mg/l]  
 $X_{P,Pr ec,Al}$  = koncentracija odstranjenega fosforja s pomočjo Al pri simultani sedimentaciji [mg/l]

Za  $X_{P,BioP}$  računamo 3 g SS na g biološko odstranjenega fosforja. Prav tako računamo tudi za produkcijo blata 2,5 kg SS na kg vnosa Fe in 4 kg SS na kg vnosa Al.

V primeru uporabe apna za boljšo sedimentacijo računamo z 1,35 kg SS na kg kalcijevega hidroksida ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ). Več je razloženo v standardu ATV Standard ATV – A 202.

### 5.2.7 Povratno blato in vsebnost suspendiranih snovi v prezračevalnem bazenu

Glede na proces čiščenja s katerim imamo opravka izpišemo priporočljive vrednosti za SVI in čas zgoščevanja blata ( $t_{Th}$ ) iz preglednic 5.5 in 5.6.

Preglednica 5.5: Določitev SVI glede na proces čiščenja.

Postopek čiščenja	Vpliv odpadne vode iz industrijske/trgovinske dejavnosti SVI [l/kg]	
	Favoriziran	Nefavoriziran
Brez nitrifikacije	100-150	120-180
Z nitrifikacijo (in denitrifikacijo)	100-150	120-180
Stabilizacija blata	75-120	100-150

Preglednica 5.6: Odvisnot postopka čiščenja glede na čas zgoščevanja

Postopek čiščenja	Čas zgoščevanja $t_{Th}$ [h]
Naprave z aktivnim blatom brez nitrifikacije	1,5-2,0
Naprave z aktivnim blatom z nitrifikacijo	1,0-1,5
Naprave z aktivnim blatom z denitrifikacijo	2,0-(2,5)

Izbrati moramo tudi tip naprave za odstranjevanje odvečnega blata iz sekundarnega usedalnika:

- S - strgalo
- Sn - sesalna naprava

Glede na to se izpiše tipična vrednost za  $SS_{RS}$ , ki se poenostavljeno oceni kot:

- pri strgalih:  $SS_{RS} \sim 0,7 \cdot SS_{BS}$
- pri sesalnih napravah:  $SS_{RS} \sim 0,5-0,7 \cdot SS_{BS}$

Temu ustrezno izberemo %  $SS_{BS}$ .

Izberemo še razmerje povratnega blata – RS (ki ga kasneje pri dimenzioniranju sekundarnega usedalnika kontroliramo), ostale količine pa izračunajo po naslednjih enačbah:

$$SS_{BS} = \frac{1000}{SVI} \cdot \sqrt[3]{t_{Th}} \quad [\text{kg/m}^3] \quad (4.29)$$

$$SS_{AT} = \frac{RS \cdot SS_{RS}}{1 + RS} \quad [\text{kg/m}^3] \quad (4.30)$$

Prostornina biološkega reaktorja:

Masa blata, ki jo potrebujemo v biološkem reaktorju je:

$$M_{SS,AT} = t_{SS,Dim} \cdot SP_d \quad [\text{kg}] \quad (4.31)$$

Prostornina biološkega reaktorja pa se izračuna kot:

$$V_{AT} = \frac{M_{SS,AT}}{SS_{AT}} \quad [\text{m}^3] \quad (4.32)$$

Prostorninski vnos BPK<sub>5</sub> (B<sub>R</sub>) in prostorninski vnos blata (B<sub>SS</sub>) se izračunata kot:

$$B_R = \frac{B_{d,BPK5}}{V_{AT}} \quad [\text{kg BPK}_5/(\text{m}^3 \cdot \text{dan})] \quad (4.34)$$

$$B_{SS} = \frac{B_R}{SS_{AT}} \quad [\text{kg BPK}_5/(\text{kg SS} \cdot \text{dan})] \quad (4.35)$$

### 5.2.8 Prenos kisika:

$$OU = C_{KPK,IAT} - S_{KPK,inert,EST} - X_{KPK,SP} \quad [\text{mg/l}] \quad (4.36)$$

Kisik potrebujemo pri odstranjevanju ogljika in dušika, pri nitrifikaciji. Dnevno potrebo po kisiku za odstranjevanje ogljika izračunamo kot:

$$OU_{d,C} = Q_d \cdot (C_{KPK,IAT} S_{KPK,inert,EST} - X_{KPK,SP}) / 1000 \quad [\text{kg O}_2/\text{dan}] \quad (4.37)$$

$$OU_{d,C} = B_{d,BPK5} \cdot \left( 0,56 + \frac{0,15 \cdot t_{SS} \cdot F_T}{1 + 0,17 \cdot t_{SS} \cdot F_T} \right) \quad [\text{kg O}_2/\text{dan}] \quad (4.38)$$

Nekatere izračunane vrednosti porabe kisika so predstavljene v preglednici 6.7.

Preglednica 5.7: Specifična poraba kisika OUC,BOD [kg O<sub>2</sub>/kg BOD<sub>5</sub>(BPK<sub>5</sub>)], veljavna za CCOD,IAT/CBOD,IAT ≤ 2.2

T [° C]	Starost blata [dan]					
	4	8	10	15	20	25
10	0,85	0,99	1,04	1,13	1,18	1,22
12	0,87	1,02	1,07	1,15	1,21	1,24
15	0,92	1,07	1,12	1,19	1,24	1,27
18	0,96	1,11	1,16	1,23	1,27	1,30
20	0,99	1,14	1,18	1,25	1,29	1,32

Koeficienti v tej enačbi veljajo če  $C_{KPK,IAT}/C_{BPK5,IAT} \leq 2.2$ . Če je izmerjeno večje razmerje, si pri dimenzioniranju pomagamo s KPK.

Za nitrifikacijo predvidimo 4.3 kg O<sub>2</sub> na kg oksidiranega nitroгена. Če uporabljamo denitrifikacijo računamo odstranjevanje ogljika z 2.9 kg O<sub>2</sub> na kg denitrificiranega nitratnega nitroгена.

$$OU_{d,N} = Q_d \cdot 4,3 \cdot (S_{NO_3,D} - S_{NO_3,IAT} + S_{NO_3,EST}) / 1000 \quad [\text{kg O}_2/\text{dan}] \quad (4.39)$$

$$OU_{d,D} = Q_d \cdot 2,9 \cdot S_{NO_3,D} / 1000 \quad [\text{kg O}_2/\text{dan}] \quad (4.40)$$

Za potrebo po kisiku ob konici dneva uporabimo naslednjo enačbo:

$$OU_h = \frac{f_C \cdot (OU_{d,C} - OU_{d,D}) + f_N \cdot OU_{d,N}}{24} \quad [\text{kg O}_2/\text{uro}] \quad (4.41)$$

Koeficient konice  $f_C$  predstavlja razmerje med porabo kisika za odstranjevanje ogljika ob dnevni konici in povprečno dnevno porabo kisika. Koeficient konice  $f_N$  pa predstavlja razmerje obremenitve s skupnim dušikom v 2 urni konici in povprečni obremenitvi TN v 24 urah.

Ker nastopi konica porabe kisika za nitrifikacijo prej kot se pojavi konica porabe kisika za odstranjevanje ogljika (pravilo), dobimo iz enačbe (4.41) dva izračuna. Prvi izračun se naredi

z  $f_C = 1$  ko je  $f_N$  določena ali predvidena in druga ko je  $f_N = 1$ , ter je  $f_C$  določena ali predvidena. Pri normalni pogojih pritoka na ČN lahko razberemo  $f_N$  in  $f_C$  iz spodnje preglednice 6.8.

Preglednica 5.8: Koeficienti konice za porabo kisika (da pokrijemo 2 urno konico v primerjavi z 24 urnim povprečjem)

Koeficienti	Starost blata [dan]					
	4	6	8	10	15	25
$f_C$	1,3	1,25	1,2	1,2	1,15	1,1
$f_N$ za $B_{d,BOD,I} \leq 12000$ kg/d	-	-	-	2,5	2,0	1,5
$f_N$ za $B_{d,BOD,I} \leq 6000$ kg/d			2,0	1,8	1,5	-

Prenos kisika za neprekinjeno aerirane bazene sledi enačba:

$$req.\alpha OC = \frac{C_s}{C_s - C_x} \cdot OV_h \quad [\text{kg O}_2/\text{h}] \quad (4.42)$$

Za bazene, kjer se prezračuje izmenično, je potrebno upoštevati čas med prezračevanjem:

$$req.\alpha OC = \frac{C_s}{C_s - C_x} \cdot OV_h \cdot \frac{1}{1 - V_D/V_{AT}} \quad [\text{kg O}_2/\text{h}] \quad (4.43)$$

Za dimenzioniranje prezračevalnih naprav uporabimo koncentracijo raztopljenega kisika v aeriranih območjih prezračevalnega bazena z uporabo  $C_x = 2$  mg/l. Kadar nam tok kroži po prezračevalnem bazenu računamo z  $C_x = 0.5$  mg/l za simultano denitrifikacijo zaradi zobatega profila koncentracije kisika v bazenu. V praksi se pojavi da imamo opravka z drugačnimi koncentracijami raztopljenega kisika kot tistimi, ki smo jih uporabili kot osnovo za dimenzioniranje.

Kadar govorimo o prenosu kisika moramo upoštevati vse pogoje, ki na to vplivajo. Kadar v letu nimamo periodičnih valovanj sestave odpadne vode, ki priteče na ČN, je največja poraba kisika poleti. Poleti je dovoljeno operirati z manjšo starostjo blata in s tem manjšimi koncentracijami suspendiranih snovi v biološkem reaktorju, nakar moramo to seveda



upoštevati pri računanju v enačbah. Če nimamo merjenih rezultatov za računanje se uporabijo razpoložljivi izračuni za  $T=20^{\circ}\text{C}$ . Če ČN poleti deluje z reducirano prostornino za denitrifikacijo, posledično to pomeni večje koncentracije nitrata pri iztoku. Če nimamo podatkov o temperaturi računamo z  $T=10^{\circ}\text{C}$  za zimske razmere (ATV-DVWK-A 131E, 2000).

### 5.2.9 Alkaniteta

Alkalnost se zmanjša z nitrifikacijo kot tudi z soli kovin ( $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$ ) pri odstranjevanju fosforja. To posledično pomeni tudi zmanjšanje pH.

Alkalnost v odpadni vodi, ki priteče na ČN, je rezultat alkalnosti pitne vode (trda voda) in alkalnosti zaradi amonifikacije seča in organskih nitratov.

Alkalnost, na katero vplivajo nitrifikacija (vključno z denitrifikacijo) in odstranjevanje fosforja, se zmanjša kot je prikazano v enačbi:

$$S_{\text{ALK,EAT}} = S_{\text{ALK,IAT}} - [0.07 \cdot (S_{\text{NH}_4,\text{IAT}} - S_{\text{NH}_4,\text{EST}} + S_{\text{NO}_3,\text{EST}} - S_{\text{NO}_3,\text{IAT}}) + 0.06 \cdot S_{\text{Fe}_3} + 0.04 \cdot S_{\text{Fe}_2} + 0.11 \cdot S_{\text{Al}_3} - 0.03 \cdot X_{\text{P,Prec}}] \text{ [mmol/l]} \quad (4.44)$$

V tej enačbi moramo alkalne vrednosti vnesti v mmol/l druge koncentracije pa v mg/l.

Alkalnost se ne sme zmanjšati pod  $S_{\text{ALK,EAT}}=1.5$  mmol/l, drugače dodamo apneno mleko.

Pri globokih prezračevalnih bazenih ( $\geq 6\text{m}$ ) z visokim navzemanjem kisika, kljub zadovoljivi alkalnosti prihaja do zniževanja pH pod 6.6, ker se biološko nastali  $\text{CO}_2$  ne izloča dovolj dobro iz vode.

## 6 CELJSKA ČISTILNA NAPRAVA

Celjska ČN mehansko in biološko čisti odpadno vodo, ki priteče z mesta Celja in bližnjih naselij s okoli 85.000 PE. Cilj čiščenja je odstranjevanje organskih snovi ter dušikovih in fosforjevih spojin z istočasno aerobno stabilizacijo blata in dehidracijo blata. S tem razbremenjuje površinski odvodnik reko Savinjo, v katero se je pred izgradnjo izlivala neobdelana odpadna voda (Vo-Ka, 2003).

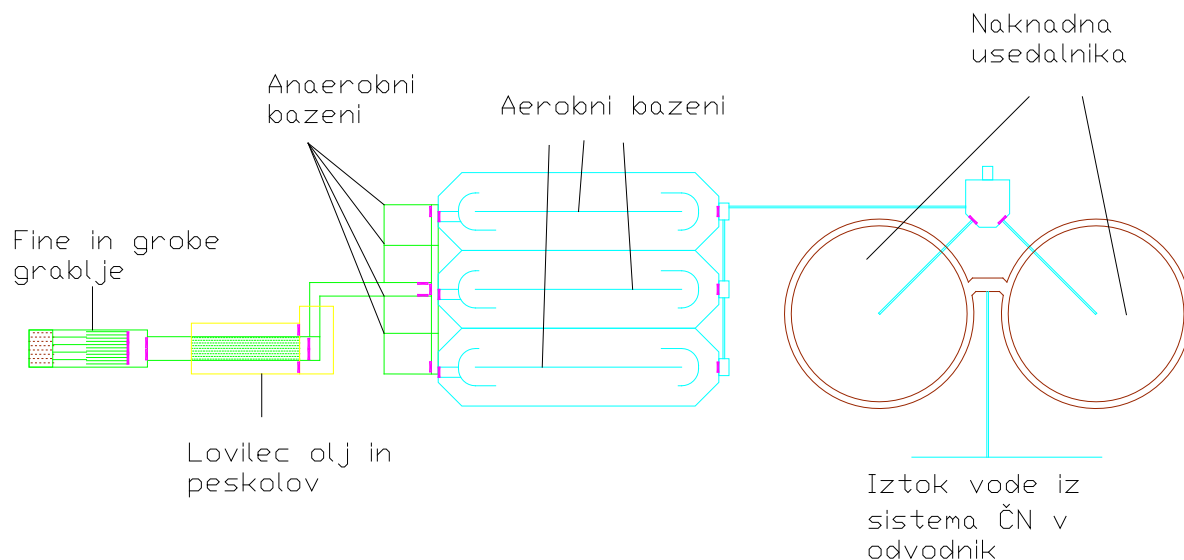
### 6.1 Kanalizacijski sistem

Obstoječe kanalsko omrežje v Mestni občini Celje sestavlja sistem približno 160 km kanalov s pripadajočimi revizijskimi jaški, zadrževalnimi bazeni, razbremenilniki, sifoni in črpališči. Glavni zbiralniki so trije. Na GZ-1 in GZ-2 so priključeni posamezni rajonski zbiralniki RZ, prek katerih se zbira in odvaja odplake. Po združitvi obeh glavnih zbiralnikov v združitvenem objektu na platoju sotočja Savinje in Voglajne se vodijo odplake po tretjem glavnem zbiralniku GZ-0. V rajonskih zbiralnikih se preko sekundarne kanalizacije zbirajo pretežno mešane odplake. Območja z novimi gradnjami, industrijo in z urejanjem kanalizacije pa izvajajo odvajanje odplak po ločenem kanalizacijskem sistemu.

### 6.2 Lokacija ČN

ČN se nahaja severovzhodno 450 m zračne črte od naselja Tremarje. Zgrajena je na območju 26.000 m<sup>2</sup> tik pred stičiščem železniške proge Zidani Most-Celje in lokalne ceste na levi strani Savinje pod vznožjem Vipote. Kota platoja ČN je 232,50 m. Vsi objekti imajo sorazmerno nizko višino, del objekta je pod površjem, kar pomeni da ČN ne izstopa. Gabariti so nizki, obenem pa so volumenska razmerja in bližina objekta železniške proge v merilu okolice.

## 6.3 Postopek čiščenja



Slika 6.1: Shema ČN Celje.

Pri vtoku odpadne vode na ČN se ta najprej s črpanjem dvigne na nivo grabelj, potem pa gravitacijsko teče skozi postopke čiščenja do iztoka v Savinjo. V liniji vode se odpadna voda mehansko in biološko očisti. Pri biološkem čiščenju, kot posledica rasti in razmnoževanja mikroorganizmov nastaja biološko blato. Linija blata se prične v naknadnih usedalnikih, kjer se blato loči od očiščene vode in se delno vrača nazaj v anaerobne bazene kot povratno blato. Na ta način se vzdržuje potrebna koncentracija aktivne biomase v biološkem delu. Ostali del blata pa se kot odvečno blato obdeluje na napravah za zgoščevanja blata. Končni produkt je dehidrirano in po potrebi higenizirano blato, ki se v kontejnerjih odvaža na odlagališče komunalnih odpadkov.

### 6.3.1 Mehanska stopnja čiščenja

Prva stopnja čiščenja odpadne vode, mehanska stopnja se prične z lovilec gramoza. To je konusno poglobljeni bazen v katerem se zaradi zaščite črpalk v vhodnem črpališču usedejo večji in težji delci gramoza. Usedene delce občasno odstranimo iz bazena z žerjavom v

kovinski kontejner. Iz lovilca gramoza voda nadaljuje pot čez betonski preliv v vhodno črpališče. V vhodnem črpališču imamo nameščene tri potopne črpalke. Potopne črpalke se krmilijo z merilnikom nivoja vode in frekvenčno regulacijo. Vsaka črpalka ima svoj tlačni cevovod. Vodo tukaj prečrpamo na koto grabelj, kjer gre skozi sistem dveh elektromotornih verižnih grabelj. V primeru okvar elektromotornih grabelj vodo speljemo po obtočnem kanalu skozi sistem ročnih paličastih grabelj. V tem delu ČN se zadržujejo veje, koščki kovin, krpe in podobno. Te odpadke z grabljami strojno odstranimo na polžni transporter–kompaktor. Kompaktor iz odpadkov iztisne vodo, transportni trak pa odpadke transportira do izmeta odpadkov v kolesni zabojnik. Iztisnjena voda se vrača v čiščenje. Za grabljami sledi ozračevani peskolov. Na dotoku v ozračeni peskolov je nameščen avtomatski vzorčevalnik za odvzem vzorcev odpadne vode. Prav tako so tukaj nameščeni instrumenti za on–line merjenje pH vrednosti, temperature in elektroprevodnosti, ki merjene podatke avtomatično prenašajo na centralni računalnik v komandni sobi. V prezračevalnem peskolovu in maščobniku se odstranjujejo specifično težje organske in anorganske snovi v odpadni vodi, ki ne razpadajo in se ne razgrajujejo, prav tako pa jih ne odstranimo z grabljami. Te snovi so predvsem pesek, prodec, jajčne lupine, kavne usedline in druge hitro usedljive snovi. Peskolov in maščobnik sta dvostezna, vzdolžna in prezračena, s pomičnim mostom na katerem sta nameščeni strgali za pesek in posnemali za maščobe ki se naberejo na površini odpadne vode. Pesek se na dnu potiska v poglobljeni del peskolova, kjer ga prečrpamo do klasifikatorja peska. Klasifikator peska je polžni transporter, ki loči pesek od vode. Peskolov prezračujemo, da ostanejo lažji organski delci v suspenziji, hkrati pa zrak potiska maščobo med lamelami, ki ločuje peskolov in maščobnik v maščobnik. Nastalo maščobo posnemalo potiska v smeri toka vode iz maščobnika v rezervoar maščob (Brošura ČN Celje, Vo-ka 2004).

### **6.3.2 Biološka stopnja čiščenja**

Sledi druga stopnja čiščenja, biološko čiščenje. Poteka s postopkom lebdeče biomase v anaerobnem in aerobnem reaktorju. Pri oksidaciji, nitrifikaciji in denitrifikaciji s kombinacijo aerobnih in anaerobnih con odstranjujemo ogljik, dušik in fosfor. Biološko čiščenje se izvaja v dveh paralelnih anaerobnih bazenih in treh paralelnih prezračevanih-aeracijskih bazenih.

Mehansko očiščena odpadna voda priteče najprej v dva paralelna anaerobna bazena. Tu pridejo kosmi bakterij v stik z organskimi snovmi iz odpadne vode. V anaerobne bazene se vodi tudi povratno blato. Ti bazeni so namenjeni predvsem odstranjevanju fosforja, zato za povečanje učinkovitosti njegovega odstranjevanja dodajamo v bazene železov triklorid ( $\text{FeCl}_3$ ). Skupna dolžina in širina anaerobnih bazenov znaša 11.6 in 40.5 metra, ter skupni volumen  $2400 \text{ m}^3$ . S pomočjo mešanja se v bazenih preprečuje usedanje blata na dno in zagotavlja čim boljši stik mikroorganizmov z odpadno vodo. Drugi pozitivni učinek mešanja v anaerobnih bazenih je zaviranje rasti mikroorganizmov (filamentne bakterij), ki gradijo dolge verige in se ne usedajo niti v naknadnih usedalnikih. Bakterije v okolju brez raztopljenega kisika vežejo kisik iz nitratov, ki pridejo v anaerobne bazene kot povratno blato iz aeracijskih bazenov, kjer denitrifikacija ni popolnoma končana. S tem je omogočeno biološko odstranjevanje fosforja.



Slika 6.2: Anaerobni bazeni ČN Celje.

Iz anaerobnih bazenov teče odpadna voda, ki že vsebuje aktivno blato v tri vzporedne aeracijske bazene. Skupna prostornina aerobnih bazenov znaša  $17900 \text{ m}^3$ . V vsakem bazenu so nameščena štiri mešala (banana mikserji), ki ustvarijo kroženje vode. Na dnu vsakega bazena so nameščene štiri enote membranskih aeratorjev. Troje puhal, nameščenih v objektu predčiščenja, dovaja stisnjen zrak do membranskih reaktorjev. Ti razpršijo stisnjen zrak v obliki drobnih mehurčkov v odpadno vodo, s čimer pride do vnosa in raztapljanja kisika. S krožnim pretokom odpadna voda teče preko aerobne in anoksične cone, ki ju je možno ustvariti tudi s prekinjanjem in prezračevanjem. Vsebnost raztopljenega kisika se meri v vsakem bazenu posebej s pomočjo kisikovih sond. Bistveni del procesa v aeracijskem bazenu

(proces podaljšane aeracije) poteka aerobno, kjer gre predvsem za odstranjevanja ogljika in njegovo vezavo v biomaso. Pri tem procesu se sprošča CO<sub>2</sub> in porablja raztopljeni kisik, ki ga dovajamo z vpihovanjem zraka. Biološko blato tako nastaja kot rast celične mase mikroorganizmov pri porabljanju ogljikovih spojin in obarjanju fosforja. Dušik odstranjujemo z nitrifikacijskimi in denitrifikacijskimi bakterijami v aeracijskem bazenu z menjavo aerobnih in anaerobnih con pri ustrezni starosti blata (15 dni) (Brošura ČN Celje, Vo-ka 2004).



Slika 6.3: Aerobni bazeni ČN Celje.

### 6.3.3 Naknadni usedalnik in odstranjevanje blata

Iz biološkega bazena se mešanica biološko očiščene vode in aktivnega blata v razdelilnem objektu preko preliwa razdeli na dva enaka dela in preko povezovalnih cevi teče v dva naknadna usedalnika. Na vsaki povezovalni cevi je nameščena ročno krmiljena zapornica. Premer in globina naknadnih usedalnikov znašata 40 in 5 metrov, kar pomeni da ima vsak prostornino 6283.2 m<sup>3</sup>.

V naknadnih usedalnikih se aktivno blato gravitacijsko loči od očiščene odpadne vode. ČN ima dva naknadna usedalnika okrogle oblike z ravnim dnom in s horizontalnim iztokom. Na vsakem naknadnem usedalniku je nameščen pomični most s krožnim strgalom, sesalnimi cevmi ter posnemalom plavajočega blata. Blato se posede na dno bazena, kjer ga krožno strgalo postrga nakar ga s sesalnimi cevmi po principu natege posesamo preko sifona v zbirni jašek v osi. Iz zbirnega jaška teče po cevovodu v črpališče povratnega blata. Črpalke za

povratno blato so vodene prek frekvenčnega regulatorja in merilca pretoka povratnega blata, kar omogoča določanje zelene količine povratnega blata.

Očiščena odpadna voda preko perforiranih horizontalnih odtočnih cevi odteka v odtočni kanal. Perforirane cevi so nameščene pod gladino vode. Preko preлива se očiščena voda izliva v odvodno cev.

Na iztoku iz ČN je na poglobljenem delu iztočnega cevovoda nameščen magnetni induktivni merilnik pretoka. Pred iztokom očiščene odpadne vode v reko Savinjo je nameščen avtomatski vzorčevalnik za odvzem vzorcev na iztoku ter on-line merilne postaje za merjenje pH vrednosti, amonijevega dušika, nitratnega dušika in BPK<sub>5</sub>. Rezultati meritev se prikazujejo na centralnem računalniku v kontrolni sobi.

## **6.4 Analiza podatkov ČN Celje**

### **6.4.1 Čistilna naprava Celje**

Sestava odpadne vode, ki priteče na ČN občasno niha z letnimi časi in dnevno nočnim režimom, zaradi padavin in manj odplak ponoči. Glede na maksimalni dnevni sušni dotok (brez meteornih vod) se dimenzionira čistilna naprava. Njeno delovanje pa kontrolirajo avtomatični merilniki, ki posredujejo podatke o sestavi odpadne vode do centralnega računalnika, ki jih obdela in ustrezno ukrepa.

### **6.4.2 Fizikalni parametri**

#### Temperatura

Opadna voda teče po podzemnih kanalih, pri čemer se temperatura vode približa temperaturi zemlje. Poletne temperature vode presegajo zimske. Srednje letne temperature znašajo nekje med 10 in 20 °C. Kadar pride do kratkotrajnega povečanja temperature, kaže na prisotnost industrijskih izpustov. Zaznaven padec temperature pa ponavadi povzroča vdor padavinske vode.

### Barva

Normalna barva sveže odpadne vode je siva. Drugače pa je barva odvisna od količine in vrste raztopljenih, suspendiranih in koloidnih snovi v odpadni vodi. Kadar primanjkuje kisika v odpadni vodi postane ta temnejša. Ostale barve kažejo na prisotnost industrijskih izpustov.

### Vonj

Vonj sveže odpadne vode je običajno zatohel. Ostali neobičajni vonji po nafti ali raztopljenih so lahko posledica industrijskega razlitja.

### Motnost

Motnost kaže na prisotnost suspendiranih snovi, ni pa v sorazmerju z njo. Motnost je lahko večja tudi zaradi večje velikosti delcev.

### Prevodnost

Prevodnost je posledica prisotnosti suspendiranih snovi. Povečanje prevodnosti je lahko znak nenormalnih izpustov, ponavadi industrijskih.

### Usedljivost

Usedljivost nam pove kakšna je količina usedljivih snovi v odpadni vodi. Ta se giblje med 10 do 20 ml/l snovi.

## **6.4.3 Kemijski parametri**

### pH

Surova odpadna voda ima približno vrednost 8. Drugače je optimalen pH za mikroorganizme med 6,5 in 9.

### Trdne snovi

Trdne snovi delimo na suspendirane in raztopljene. Prisotnost trdnih snovi je masa snovi, ki ostane na filtru po izparevanju odpadne vode pri 103 °C do konstantne teže.



### KPK, TOC, BPK<sub>5</sub>

Določanje KPK nam hitro zagotovi oceno c celotne [razgradljive in nerazgradljive] organske snovi v odpadni vodi. Razmerje KPK/BPK<sub>5</sub> v vodi je običajno 2:1. TOC je alternativni parameter za oceno BPK<sub>5</sub>. Z njim določamo količino organsko vezanega ogljika v odpadni vodi.

## **6.5 Obdelava merjenih podatkov na ČN Celje**

Na Celjski ČN se izvaja monitoring v skladu z zakonodajo (Pravilnik o prvih meritvah in obratovalnem monitoringu odpadnih vod ter o pogojih za njegovo izvajanje (Ur.l. RS, št. 35/1996, 29/2000, 106/2001)). Ta pravilnik določa vrste parametrov odpadnih vod, ki so predmet prvih meritev in obratovalnega monitoringa odpadnih vod (v nadaljnjem besedilu: emisijski monitoring), metodologijo vzorčenja in merjenja parametrov in količin odpadnih vod, vsebino poročila o prvih meritvah in emisijskem monitoringu, ter način in obliko sporočanja podatkov ministrstvu, pristojnemu za varstvo okolja. Pravilnik določa tudi pogoje, ki jih mora izpolnjevati oseba, ki izvaja prve meritve ali emisijski monitoring. Meritve so bile opravljene samo v času sušnega dotoka na ČN Celje.

V diplomski nalogi sem se osredotočil predvsem na dogajanje v biološkem reaktorju, konkretnije v biološkem reaktorju na ČN Celje.

Zaradi samokontrole čistilne naprave, se opazuje več parametrov kot je to predpisano. Poleg merjenja osnovnih parametrov odpadne vode, ki so temperatura, pH-vrednost, neraztopljene in usedljive snovi, KPK in BPK<sub>5</sub> ter za komunalne ali skupne čistilne naprave neraztopljene snovi, KPK in BPK<sub>5</sub>, se dodatno meri še celotni fosfor, celotni dušik, nitritni dušik, nitratni dušik, ter amonij.

V prilogi 1.1 imamo prikazano 24 meritev v letu 2005 na Celjski čistilni napravi za podane parametre. 24 meritev je enakomerno porazdeljeno skozi celo leto. Prva meritev se začne s 12.01.2005, zadnja meritev pa se opravi 19.12.2005.

Parametri, ki so bili merjeni so:

- pretok ( $Q_d$ ) [ $m^3/dan$ ]
- koncentracija  $BPK_5$  na vtoku in iztoku [mg/l]
- koncentracija neraztopljenih suspendiranih snovi SS [mg/l]
- temperatura  $T$  [ $^{\circ}C$ ]
- pH [-]
- koncentracija amonijevega dušika [mg/l]
- koncentracija KPK [mg/l]
- koncentracija celotnega fosforja  $C_P$  [mg/l]
- koncentracija celotnega dušika  $C_N$  [mg/l]
- koncentracija nitratnega dušika [mg/l]
- koncentracija nitritnega dušika [mg/l]

### **6.5.1 Analiza podatkov:**

Podatke 24 meritev sem pretvoril v grafe za lažjo analizo in so prikazani v prilogah 1.

#### Pretok

V prilogi 1.2 je podan graf pretokov v letu 2005. Z grafa je razvidno, da so najmanjši pretoki v zimskem času (vzorec 1, 2, 3), potem se marca in aprila povečajo (vzorec 6, 7), nakar se pretok stabilizira do septembra (vzorec 17) in ponovno poviša oktobra (vzorec 18). Količina pretoka na ČN je odvisna od časa v katerem je bil vzorec narejen. Sušni pretok se lahko spreminja tekom dneva, zaradi kakšnega izpusta industrijske vode. Drugače pa na nihanje pretoka dnevno prebivalstvo nima vpliva, saj je kanalizacijski sistem tako razvejan, da prihaja odpadna voda z 4 urnim zamikom na ČN, od trenutka ko je bila izpuščena v kanalizacijo.

#### SS

V prilogi 1.3 je graf neraztopljenih suspendiranih snovi na pritoku in iztoku iz ČN Celje. Graf prikazuje nihanje koncentracije suspendiranih neraztopljenih snovi v pritoku in na iztoku iz ČN. Največji vrh v pritoku doseže vzorec 6 in 8, ki sovpadata z marcem in aprilom. V času poletja je izmerjenih neraztopljenih suspendiranih snovi manj.

Krivulja iztočnih SS snovi prikazuje odlično čistilno sposobnost, saj koncentracija preseže dovoljeno vrednost (35 mg/l) samo pri 16 vzorčenju.

### Temperatura

Priloga 1.4 v grafu prikazuje vrednost temperatur na vtoku in iztoku iz ČN Celje. Na grafu vidimo dve liniji, ki prikazujeta izmerjeno temperaturo na dotoku in iztoku. Temperaturna nihanja dotoka in iztoka sovpadata z letnim nihanjem temperatur. Iztočna temperatura je v večih vzorcih večja ali pa sovpada z dotočno. Temperatura vode, ki priteče na ČN je skozi celo leto konstantna oz. odvisno koliko časa teče po zbirnih kanalih, kjer se ohladi na podzemno temperaturo. Razlika vtočne in iztočne temperature vode je opazna predvsem v času poletja in času zime. Zaradi odprtih in nadzemnih območij ČN se pokaže iztočna razlika temperatur in sicer je veliko višja od vtočne poleti in nižja od vtočne pozimi.

### pH

V prilogi 1.5 je prikazan graf nihanja pH na dotoku in iztoku iz ČN Celje. Iztočni pH je malenkost višji od dotočnega. Ta razlika je verjetno posledica dodajanja apna v biološkem bazenu, za boljši potek anaerobnih in aerobnih reakcij.

### KPK

Priloga 1.6 vsebuje graf nihanja KPK z merilnimi mesti na dotoku in iztoku iz ČN Celje. Nihanje KPK je skozi vse leto enako. Ekstremna nihanja so opazna v poletnem času, medtem ko je nihanje pozimi bolj umirjeno.

Učinek čiščenja je odličen in v nobenem primeru ne presega predpisano vrednost 110 mg/l.

### BPK<sub>5</sub>

Priloga 1.7 vsebuje graf nihanja BPK<sub>5</sub> na dotoku in iztoku skozi celo leto 2005 na ČN. Vrednosti BPK<sub>5</sub> nihajo zelo nepredvidljivo skozi celo leto. Največjo vrednost v dotoku doseže BPK<sub>5</sub> v 12 vzorcu ki predstavlja poletje (20.06), medtem ko se že pri 15 vzorcu (08.08) spusti na najnižjo letno raven. Območje Celja ima dosti industrije, ki se ukvarja s prehrabnimi proizvodi in s tem pripomore h konstantnemu dovajanju organskega onesnaženja na ČN, kar je za delovanje ČN dobro. Glede na razvejanost in dolžino

kanalizacijskega sistema potrebuje odpadna voda približno 4 ure da naredi pot od proizvajalca do ČN. Zaradi konstantne industrijske odpadne vode in 4 urnega zamika, navade prebivalcev nimajo posebnega vpliva na dnevno ali letno nihanje onesnaženosti z BPK<sub>5</sub>.

Nestanoviten dotok BPK<sub>5</sub>, na ČN zahteva dobro usklajeno delovanje naprav za doseg predpisanega iztočnega BPK<sub>5</sub>. Na odlično delovanje ČN Celje predstavlja prav krivulja iztočnega BPK<sub>5</sub>, ki je v skladu s predpisi, saj nikjer ne presega predpisane meje 10 mg/l.

### Amonij

V prilogi 1.8 je podan graf vzročevanja amonija na dotoku in iztoku skozi celo leto 2005. Največje vrednosti vzorcev amonija so izmerjene v času z nizkimi temperaturami, medtem ko so najnižje v poletnem obdobju.

Njegovo odstranjevanje je uspešno. Rahla manjša učinkovitost odstranjevanja amonija se vidi pri vzorcema 23 in 24, ki sta bila narejena v zimskem času. Verjetno so tukaj razlog nizke temperature, ki motijo proces nitrifikacije in denitrifikacije.

### Celotni fosfor

Priloga 1.9 prikazuje graf nihanja celokupnega fosforja na ČN skozi celo leto 2005. Najnižje vrednosti CP pri dotoku so izmerjene v prehodu iz poletja v jesen. Vrhunci pa so v zimskem (vzorec 22 in 1) in poletnem (vzorec 12) obdobju. Njegovo odstranjevanje je dokaj uspešno. Motnje čiščenja se pojavijo v poletnem času, kjer izmerjena vrednost pri vzorcih 10, 11, 12 presega predpisano vrednost. Pri vzorcu 13 se vrednost spet zmanjša pod predpisano mejo. Opazno pa se izmerjena vrednost v iztoku zmanjša pri vzorcu 24 (pozimi).

Iz krivulje iztočnega CP je razvidno, da ima ČN težave z odstranjevanjem CP predvsem v poletnem času, ki se začnejo pri 10 vzorcu (27.05) in trajajo nekje do 19 vzorca (18.10). Sklepamo lahko, da prihaja do motenj pri delovanju anaerobnih bazenov, ki so namenjeni predvsem odstranjevanju fosforja.

### Celotni dušik

Priloga 1.10 nam prikazuje graf nihanja celokupnega dušika na dotoku in iztoku ČN v letu 2005. Graf je podoben grafu amonija na sliki 6.10. Najnižje vrednosti so od sredine poletja do jeseni.

Z razliko od amonija je odstranjevanje celotnega dušika znotraj predpisanih mej (15 mg/l).

### Učinki čiščenja

V prilogi 1.11 je podan graf učinkov čiščenja BPK<sub>5</sub>, KPK, CP in CN v letu 2005 na ČN Celje. Iz grafa je razvidno, da ima ČN največji učinek čiščenja za BPK<sub>5</sub>. Krivulja BPK<sub>5</sub> (zelene barve) je tudi najbolj umirjena, kar pomeni da ČN opravlja delo brezhibno in dobro stabilizira šoke nihajoče koncentracije BPK<sub>5</sub> na dotoku na ČN. Učinek čiščenja BPK<sub>5</sub> se giblje okoli 97%.

Drug parameter, ki tudi predstavlja visok učinek čiščenja (94%), katerega krivulja (rumena barva) pa je malo bolj nihajoča od prejšnje (predvsem okoli vzorca 16, ki predstavlja avgust) je KPK. Učinek čiščenja za celotni dušik je v povprečju (mediana) 84%.

Krivulja CN je precej nihajoča, z najnižjo točko v 5 (17.0.3), 15 (08.08), 18 (10.10), 23 (12.12) in 24 vzorcu (19.12). Kljub vsem tem padcem, ki so lahko posledica manjše razlike med pritokom na ČN in neko nihajočo konstantno vrednost čiščenja pri iztoku, je čiščenje še vedno zadovoljivo.

Krivulja, ki predstavlja učinek čiščenja celotnega fosforja je v primerjavi z ostalimi najbolj razvejana. Medtem ko je na začetku leta bolj stabilna se v poletnem času močno razveja. Povprečni učinek čiščenja CP je okoli 75% (mediana). Vzorec 24, kjer je najnižji padeč in je učinek čiščenja samo 6%, je primer kjer je že dotočna koncentracija nižja od predpisane iztočne. Razlika med merjeno vrednostjo dotočne in iztočne koncentracije (obe sta pod predpisano vrednost) je tako mala, da predstavlja samo 6% učinek čiščenja. Statistično gledano bi ti procenti pomenili zelo zaskrbljujoč podatek, vendar v tem primeru statistika zavaja. ČN mora ne glede na to kakšne so vrednosti parametrov na njenem dotoku, očistiti odpadno vodo na predpisane vrednosti na iztoku. Podatek o učinku čiščenja kot sam ni

primeren, če nimamo pregleda nad dejanskim dogajanjem pri odstranjevanju snovi na ČN, ki ga predstavljajo slike 6.5 – 6.13.

Če pride do kakšnega nezakonitega izlita v kanalizacijski sistem, ki lahko ogrozi delovanje in učinek čiščenja ČN, se to opazi na ČN šele po 4 urah in je zato težko iskati odgovornega za to dejanje.

## 6.6 Izračun produkcije blata (WTPD)

### 6.6.1 Izračun prostornine biološkega bazena

Imamo 70.000 PE na območju Celja z okolico. Zgrajena čistilna naprava je zmožna operirati do 85.000. Povprečna vrednost BPK<sub>5</sub> na pritoku ČN je 172,5 mg/l, na iztoku pa 6 mg/l. Maksimalni sušni pritok na ČN je 29.000 m<sup>3</sup>/dan, povprečni pretok iz 24 vzorcev pa je 21.135 m<sup>3</sup>/dan. Predpostavimo dnevno količino onesnaženja na dan 60 g BPK<sub>5</sub>/(dan PE). Iz preglednice 6.2 izberemo prostorsko snovno obremenitev za podaljšano aeracijo Bp (povp.) = 0,28 kg/m<sup>3</sup>. Izberemo povprečno starost blata 20 dni in koncentracijo vseh snovi v aeracijskem bazenu 3500 mg/l. Želimo izračunati prostornino aeracijskega bazena in potrebno količino vpihovanega zraka za njegovo uspešno delovanje po metodi WTPD.

Preglednica 6.1: Parametri za dimenzioniranje procesov z aktivnim blatom (WTPD,2003)

Tip procesa	$\theta_c$ (dan)	Prostorska snovna obremenitev (kg/(m <sup>3</sup> ·dan))	Konc. premeš. snovi (mg/l)	V/Q (ura)	Q <sub>r</sub> /Q
Konvencionalen	5-15	0,32-0,64	1500-3000	4-8	0,25-0,75
Popolnoma premešan	5-15	0,8-1,92	2500-4000	3-5	0,25-1
»Step feed«	5-15	0,64-0,96	2000-3500	3-5	0,25-0,75
Sekvenčni reaktor	NA	0,08-0,24	1500-5000	12-50	NA
Enostopenjska nitrifikacija	8-20	0,08-0,32	2000-3500	6-15	0,5-1,5

Podaljšana aeracija	20-30	0,16-0,4	3000-6000	18-36	0,5-1,5
Sklenjen cevni reaktor	10-30	0,08-0,48	2000-5000	1-3	0,25-0,5

$$Q = 21135 \text{ m}^3/\text{dan}$$

$$B_p = 0,28 \text{ kg}/(\text{m}^3 \text{ dan})$$

1. način izračuna prostornine prezračevalnega bazena:

$$A = 85000 \text{ PE}$$

$$G = 60 \text{ gBPK}_5/(\text{dan PE})$$

$$Q = 21135 \text{ m}^3/\text{dan}$$

$$B_p = 0,28 \text{ kg}/(\text{m}^3 \text{ dan})$$

Izračunamo obremenitev s  $\text{BPK}_5$ :

$$G = A \cdot g = 85000 \text{ PE} \cdot 60 \frac{\text{gBPK}_5}{\text{dan} \cdot \text{PE}} = 5100 \frac{\text{kgBPK}_5}{\text{dan}}$$

$$G' = \frac{G}{Q} = \frac{5100 \frac{\text{kg}}{\text{dan}}}{21135 \frac{\text{m}^3}{\text{dan}}} = 0,2413058 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \Rightarrow S(\text{BPK}_5 \text{ vtoka}) = 241,3 \frac{\text{mg}}{\text{l}}$$

Izračunamo prostornino prezračevalnega bazena z izračunanim  $\text{BPK}_5$  pri dotoku.

$$V = \frac{G' \cdot Q}{B_p} = \frac{0,2413058 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 21135 \frac{\text{m}^3}{\text{dan}}}{0,28 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3 \cdot \text{dan}}} = 18214,285 \text{ m}^3$$

2. način izračuna prostornine prezračevalnega bazena:

$$G' = \text{BPK}_5 = 172,5$$

$$B_p = 0,28 \text{ kg}/(\text{m}^3 \text{ dan})$$

Izračunamo prostornino prezračevalnega bazena s mediano 24 izmerjenih vzorcev  $\text{BPK}_5$  pri dotoku ( $\text{BPK}_5 = 172,5 \text{ mg/l}$ ).

$$V = \frac{0,1725 \cdot 21135}{0,28} = 13020,67 \text{ m}^3$$

### 3. način izračuna prostornine prezračevalnega bazena:

Preglednici 7.2a in 7.2b vsebujeta podatke potrebne pri računanju. V preglednici 7.2a predstavlja nadpisani indeks a samo tiste koeficiente prirasta celic, kjer se v celično maso veže primarni biološko razgradljivi substrat efluenta. V tem primeru mora koeficient Y (celokupni prirast celic vsebovati anorganske in suspendirane snovi ki zapustijo sistem.

Nadpisani indeks b pa označuje vrednosti pridobljene s 15 primarnih inženirskih svetovalnih podjetij ZDA okrog leta 1989.

Preglednica 6.2a: Koeficienti procesov z aktivnim blatom pri 15°C (Bisogni in Lawrence, 1971; Metcalf in Eddy, itd.. 1991).

Koeficient	Osnova	Območje <sup>b</sup>	Tipična vrednost <sup>b</sup>
$Y^a$	Organ. Suspen. Snovi [g] / BPK <sub>5</sub> [g]	0.4 – 0.8 (0.6 – 0.84)	0.6 (0.71)
$Y^b$	Organ. Suspen. Snovi [g] / KPK [g]	0.25 – 0.4	0.4
b	$d^{-1}$	0.004 – 0.075 (0.02 – 0.10)	0.06 (0.064)

Preglednica 6.2b: Preglednica 6.1 prepisana za lažji pregled (WTPD, 2003).

Koeficient	Osnova	Območje	Tipična vrednost
$\mu_{max}$	$d^{-1}$	0.3 - 3.0	1.0
$K_{sn}$	NH <sub>4</sub> -N [mg/l]	0.2 – 5.0	1.4
$Y_n$	NH <sub>4</sub> -N [mg org.snovi/ NH <sub>3</sub> -N]	0.04 – 0.29	0.15
$b_n$	$d^{-1}$	0.03 – 0.06	0.05

$Q_{povp}$ (mediana)	= 21135 m <sup>3</sup> /d
BPK <sub>5</sub> , pritoka (mediana)	= 172,5 mg/l
BPK <sub>5</sub> iztoka (mediana)	= 6 mg/l
SS (suspendirane snovi v pritoku)	= 203 mg/l
T (mediana)	= 15°C
$X_r$ (povratno blato)	= 10,000 mg/l
MLVSS (iz preglednice x.x)	= 3500mg/l



$\theta_c$ (iz preglednice x.x)	= 20 dni
Suspendirane organske snovi v pritoku	= 80%
Suspendirane organske nerazgradljive snovi v pritoku	= 40%
TKN (celokupni dušik)(mediana)	= 31,45 mg/l
TP (celokupni fosfor)(mediana)	= 5,25 mg/l
Y (rast celic)	= 0,6 kg/kg
B (koeficient razpada)	= 0,06 d <sup>-1</sup>

Postopek reševanja:

Uporabimo enačbo (3.4)  $XV = \theta_c QY \frac{S_0 - S_e}{1 + b_T \theta_c}$ , za izračun potrebne biomase, da dosežemo

6 mg/l BPK<sub>5</sub> v efluentu. Pri tej enačbi upoštevamo še anorganske in biološko nerazgradljive snovi.

$$b_T = b (1,04)^{(T-15)} = 0,06 \quad (4.45)$$

$$Z_{io} = (\text{vtočni SS}) \cdot (\text{anorganska frakcija}) = 40,6 \text{ mg/l}$$

$$Z_{no} = (\text{vtočni SS}) \cdot (\text{organska frakcija}) \cdot (\text{organska bionerazgradljiva frakcija}) = 64,96 \text{ mg/l}$$

$$\text{Povečanje snovi zaradi rasti} = \left[ \frac{Y(S_0 - S_e)}{1 + b_T \cdot \theta_c} \right] = \left[ \frac{0,6 \cdot (172,5 - 6)}{1 + 0,06 \cdot 20} \right] = 45,4 \text{ mg/l}$$

$$XV = Q\theta_c \left\{ \left[ \frac{Y(S_0 - S_e)}{1 + b_T \cdot \theta_c} \right] + Z_{io} + Z_{no} \right\} = 63814,63 \text{ kg}$$

$$X = \text{MLSS (mixed liquor suspended solids)} = 3500 \text{ mg/l}$$

$$V = \frac{XV}{X} = \frac{63814,63}{3500} \cdot 1000 = 18232,75 \text{ m}^3$$

Preglednica 6.3: Predstavitev rezultatov različnih izračunov prostornine biološkega bazena.

Načini za izračun prostornine a. bazena	1.način (izračunani BPK)	2.način (izmerjeni BPK)	3.način (uporaba WTPD enačb)	Zgrajen Volumen
Prostornina (m <sup>3</sup> )	18214,285	13020,67	18232,75	17900

$T = \text{hidravlični zadrževalni čas} = Q/V = 1,159 \text{ dni} = 28 \text{ ur}$

$\alpha = (\text{cikel recikliranja}) \text{ recycle rate} = X/(X_r - X) = 3500 / (10000 - 3500) = 0,5385$

Izračunana kvantiteta blata, ki ga odstranimo vsak dan:

$$Y_{obs} = \frac{Y}{(1 + b_T \cdot \theta_c)} = \frac{0,6}{1 + 0,06 \cdot 20} = 0,2727 \text{ kg/kg}$$

$$P_x = Q \left\{ \left[ \frac{Y_{obs} (S_0 - S_e)}{1 + b \cdot \theta_c} \right] + Z_{io} + Z_{no} \right\} =$$

$$= 21135 \left\{ \left[ \frac{0,2727(172,5 - 6)}{1 + 0,06 \cdot 20} \right] + 40,6 + 64,96 \right\} \cdot 0,001 = 2667,25 \text{ kg/dan}$$

$P_x = \text{produkcije blata} = 2667,25 \text{ kg/dan}$

Potreba po kisiku:

$$R_c = \frac{Q(S_0 - S_e)(1 + b\theta_c - BY)}{1 + b\theta_c}$$

$$R_c = \frac{21135 \cdot (172,5 - 6) \cdot 0,001 \cdot (1 + 0,06 \cdot 20 - 1,42 \cdot 0,2727)}{1 + 0,06 \cdot 20} = 2899,52 \text{ kg/dan}$$

$R_n$  (potreba po kisiku zaradi nitrifikacije) = 4,57 Q (N-N) – 2,86 Q (N-N-NO)

$$R_n = (4,57 * 21135 * 31,45 - 2,86 * 21135 * 31,45) * 0,001 = 1136,63 \text{ kg/dan}$$

$$R_{skupna} = R_c + R_n = 4036,15 \text{ kg/dan}$$

Prostorska snovna obremenitev =  $(S_0 Q/V)$

Prostorska snovna obremenitev =  $(172,5 \cdot 21135) / (15954 \cdot 1000) = 0,23 \text{ kg BPK}_5 / \text{m}^3 \cdot \text{dan}$

#### Izračun potrebnega zraka:

Učinkovitost prenosa kisika = 8%

Potrebna količina kisika za uspešen 8% vnos =  $(4036,15 \text{ kg/dan} \cdot 100) / 8 = 50451,875 \text{ kg/dan}$

Specifična teža zraka =  $1,2 \text{ kg/m}^3$

Prostornina kisika v zraku = 23,2 %

Potreba po zraku/dan =  $(50451,875 \text{ kg/dan}) / (0,232 \cdot 1,2) = 181220,815 \text{ m}^3/\text{dan}$

Potreba po zraku/min =  $125,85 \text{ m}^3/\text{min}$

#### Analiza rezultatov

V tem podpoglavju je prikazan primer, kako se računa po enačbah WTPD. Pri treh različnih rezultatih prostornine ugotovimo, da so razlike predvsem zaradi različnih privzetih parametrov. Pri izračunu po WTPD vidimo da je prostornina V odvisna od koncentracije biološkega blata X v biološkem bazenu, ki pa v našem primeru podaljšane aeracije (po podatkih iz preglednice 7.1) niha med 3000 do 6000 mg/l.

#### **6.6.2 Izračun produkcije blata glede na dane podatke za leto 2005**

Imamo podane meritve 24 vzorcev, ki so enakomerno porazdeljeni skozi celo leto 2005 (2 meritvi na mesec) v Prilogi 1. Z enačbami predstavljenimi v 6.1 poglavju računamo koliko odvečnega blata na dan moramo odstraniti. Odpadna voda, ki priteče na ČN predstavlja hranilo za biološko blato v obliki  $\text{BPK}_5$ . Medtem ko imamo delež blata, ki neprestano kroži po sistemu, je potrebno novonastalo blato, vsak dan odstraniti.

V izračunu sem uporabil konstanten volumen prezračevalnih bazenov  $17900 \text{ m}^3$ , kot je tudi dejanski volumen. Zadrževalni čas blata sem privzel iz preglednice 7.1 za postopek podaljšane aeracije, in sicer 20 dni za celo leto. Koeficient razpada  $b = 0.06$  in prirasta  $y = 0.6$  sem izbral iz preglednice 7.2a. Za koncentracijo suhe snovi povratnega blata sem privzel 10

g/l. Medtem ko imam pretok,  $BPK_5$  vtoka in iztoka, temperaturo in neraztopljene suspendirane snovi podane, sem izračunal naslednje koeficiente:

- $b_t$  (koeficient razpada, ki je odvisen od temperature)
- $y_{obs}$  (opazovani prirast, ki je odvisen od  $b_t$ )
- $Z_{io}$  (predstavlja anorganske suspendirane snovi na vtoku)
- $Z_{no}$  (predstavlja organske biološko nerazgradljive snovi na vtoku)
- $X$  (biomasa v biološkem bazenu)
- $P_x$  (produkcija blata)
- $RC$  (razmerje recikliranja blata)

Najprej sem opravil izračun produkcije blata brez upoštevanja izmerjenega  $BPK_5$  iztoka in dobil rezultate prikazane v prilogi 2.1. V drugem primeru sem upošteval rezultate iztočnega  $BPK_5$  in rezultati so podani v prilogi 2.2. Primerjalni graf med obema primeroma je v prilogi 2.3.

Potreba po kisiku za odstranjevanja ogljika (z in brez upoštevanja koncentracije iztoka  $BPK_5$ ) in nitrifikacijo je za posamezne vzorce predstavljena v prilogah 2.4, 2.5 in 2.6.

### Analiza rezultatov

V prilogi 2.3 imamo graf primerjave produkcije blata v primeru, ko upoštevamo in v primeru, ko ne upoštevamo koncentracije iztoka. Računanje po WTPD postopku namreč omogoča računanje potrebne prostornine aeracijskega bazena in količine nastalega blata, glede na iztočno koncentracijo  $BPK_5$ . Z grafa je mogoče razbrati, da se produkcija blata v primerih med seboj skoraj nič ne razlikujeta. Kadar upoštevamo iztočno koncentracijo  $BPK_5$ , proizvedemo manj blata na dan, ker ga je potrebno več reciklirati ali ker ne računamo na odstranitev celotnega onesnaženja z  $BPK_5$ . Razlike med primeroma so okoli 50 kg/dan. Podobna situacija je v primeru potrebne količine kisika za odstranjevanje ogljika. Kadar upoštevamo iztočno koncentracijo  $BPK_5$  je potrebno vnesti malo manj kisika. Razlika se giblje okoli 70 kg  $O_2$ /dan. Tako kot pri produkciji blata tudi tukaj potrebujemo manjše količine kisika pri upoštevanju iztočne koncentracije  $BPK_5$ , ker enačba obravnava, da ni

potrebno odstraniti celotne količine  $BPK_5$  na pritoku. Pri računanju skupne potrebne količine kisika pri procesu nisem upošteval iztočne koncentracije  $BPK_5$  in sem s tem na varni strani, saj bi ob upoštevanju iztočnega  $BPK_5$  potreboval manjšo količino kisika. Pri računanju potrebne količine kisika za nitrifikacijo, enačba ne upošteva vrednosti iztočnega  $BPK_5$ .

Graf produkcije blata v prilogi 2.1 in 2.2 prikazuje izračune količine blata, ki nastanejo v določenem dnevu. Največ blata nam po izračunih nastane pri vzorcu 6, 8 in 9. Če primerjamo merjene podatke, ki jih uporabimo za izračun blata ugotovimo, da graf produkcije blata najbolj sovпада z grafom o merjenih količinah neraztopljenih suspendiranih snovi in grafom vtočnega  $BPK_5$ . Konice grafa neraztopljenih suspendiranih snovi so podobno kot pri grafu produkcije blata pri vzorcu 6, 8 in 9. Tudi ostali vzorci grafa neraztopljenih suspendiranih snovi sledijo krivulji grafa produkcije blata. Če primerjamo merjene podatke  $BPK_5$  pa ugotovimo, da so konice produkcije blata v območju povišanega dela krivulje  $BPK_5$  (od 6 do 10 vzorca). Delno pa sovпада tudi zmanjšanje  $BPK_5$  pri vzorcih od 13 do 24 s krivuljo produkcije blata. S tega lahko sklepamo, da ima količina  $BPK_5$  in koncentracija suspendiranih snovi na pritoku na ČN pomembno vlogo, pri ugotavljanju konic in količine odvečnega blata dnevno.

## **6.7 Računi produkcije blata po standardu ATV – DVWK – A 131E**

Pri računanju po standardu sem se držal opornih točk in zaporedje dimenzioniranja kot je predstavljeno v standardu.

### **6.7.1 Izračun starosti blata:**

Na ČN Celje uporabljajo podaljšano aeracijo z stabilizacijo blata, kar pomeni da mora biti zadrževalni čas vsaj  $t_{SS,dim} \geq 20$  dni. Če upoštevamo da poteka v biološkem bazenu proces denitrifikacije in nitrifikacije moramo upoštevati starost blata  $t_{SS,dim} \geq 25$  dni z občasnim zmanjšanjem zaradi temperaturnih nihanj.

Pri računanju  $t_{SS,dim}$  sem uporabil enačbo (4.6) in upošteval, da je temperatura vode na dotoku na ČN enaka temperaturi v biološkem bazenu. Rezultati so prikazani v prilogi 3.1.

## 6.7.2 Hidravlika

Za sušni maksimalni urni dotok računamo:

$$Q_{DW,h} = \frac{1}{10} do \frac{1}{18} \cdot Q_d$$

$$Q_{DW,h} = \frac{1}{14} \cdot 21134,5 = 1509,6 \frac{m^3}{uro}$$

## 6.7.3 Odstranjevanje fosforja

Prostornina anaerobnega bazena je (upoštevajoč od 0,5 do 0,75 minimalni kontaktni čas)

In maksimalen sušni pretok odpadne vode ( $Q_{d,max} = 29000 \text{ m}^3/\text{dan}$ ) (brošura ČN Celje, Vo-ka 2004):

$$V_p = 29000 \frac{m^3}{dan} \cdot 0,6 = 1208,3 \frac{m^3}{h} \cdot 0,6 = 725 m^3$$

Za izračun koncentracije fosforja (enačba (4.7)), ki ga odstranimo z simultano sedimentacijo ( $X_{P,Pre c}$ ) privzamem:

$$X_{P,Pre c} = C_{P,IAT} - C_{P,EST} - X_{P,BM} - X_{P,BioP}$$

- $C_{P,EST} = 0,6-0,7 C_{P,ER} = 0,65 \cdot 2 \text{ mg/l} = 1,3 \text{ mg/l}$
- $X_{P,BM} = 0,01 \cdot \text{BPK}_5$  (povprečni v mg/l)
- $X_{P,BioP} = 0,0125 \cdot \text{BPK}_5$  ker gre za nameščen anaerobni bazen

Sledi enačba za izračun povprečja:

$$X_{P,Pre c} = C_{P,IAT} - C_{P,EST} - X_{P,BM} - X_{P,BioP}$$

$$X_{P,Pre c} = 5,25 \frac{mg}{l} - 1,3 \frac{mg}{l} - (0,01 \cdot 172,5) \frac{mg}{l} - (0,0125 \cdot 172,5) \frac{mg}{l}$$

$$X_{P,Pre c} \geq 5,25 - 1,3 - 1,725 - 2,156 \geq 0,069 \frac{mg}{l}$$

Ugotovimo, da je v povprečju potrebno odstraniti z simultano sedimentacijo, glede na izmerjeno koncentracijo fosforja pri dotoku na ČN, 0,069 mg/l ali več fosforja.

Če obarjamo s pomočjo Fe potrebujemo v povprečju dnevno:

$$2,7 \text{ kg Fe} \cdot \left(21134,5 \frac{\text{m}^3}{\text{dan}} \cdot 0,000069 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right) = 4 \text{ kg Fe}$$

V primeru obarjanja z aluminijem pa v povprečju dnevno:

$$1,3 \text{ kg Al} \cdot \left(21134,5 \frac{\text{m}^3}{\text{dan}} \cdot 0,000069 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right) = 1,9 \text{ kg Al}$$

Izračunamo potrebno količino fosforja, ki ga je potrebno odstraniti z obarjanjem ( $X_{P, \text{Prec}}$ ), pri tem izračunamo potrebno količino Fe ali Al za obarjanje.

.

Podrobnejši izračuni za posamezne meritve so v prilogi 3.2.

Če pogledamo rezultate ugotovimo, da pri večini vzorcev obarjanje sploh ni potrebno, saj je že biološko odstranjevanje fosforja zadovoljivo.

#### 6.7.4 Odstranjevanje dušika

Najprej izračunamo koliko nitrata se mora denitrificirati (enačba (4.8)):

$$S_{NO3,D} = C_{N,IAT} - S_{orgN,EST} - S_{NH4,EST} - S_{NO3,EST} - X_{orgN,BM}$$

Privzamem vrednosti:

- $C_{N,IAT} = 31.45 \text{ mg/l}$  (mediana CP v letu 2005)
- $S_{orgN,EST} = 2 \text{ mg/l}$  (organskega dušika na iztoku)
- $S_{NH4,EST} = 0 \text{ mg/l}$  (predpisana koncentracija dušika na iztoku, 0 mg/l da smo na varni strani)
- $S_{NO3,EST} = 0.7 \cdot S_{inorgN,ER} = 0.7 \cdot (S_{NO3} + S_{NO2} + S_{NH4})$  (izmerjeni v iztoku) =  
 $0.7 \cdot (2.62 + 0.12 + 0.7) = 2.408 \text{ mg/l}$
- $X_{orgN,BM} = 0.045 \cdot 172.5 \text{ mg/l} = 7,7625 \text{ mg/l}$

Vstavimo vrednosti v enačbo in v povprečju dobimo:

$$S_{NO3,D} = 31,45 - 2 - 0 - 2,408 - 7,7625 = 19,3 \frac{\text{mg}}{\text{l}}$$

Odpadni vodi, ki priteče na ČN je potrebno denitrificirati v povprečju 19.3 mg/l dušika da s tem zmanjšamo onesnaženost z N.

Če računamo za posamezne vzorce je postopek podoben. Razlika je pri izračunu  $S_{NO_3,EST}$ , kjer privzamem vrednost  $S_{NO_3,EST}$  iz podatkov ČN Celje o  $S_{NO_3}$  na iztoku, ki mi dejansko povedo koliko  $S_{NO_3}$  je ušlo denitrifikaciji. Rezultati so podani v prilogi 3.3.

### 6.7.5 Določitev deleža volumna reaktorja potrebnega za denitrifikacijo

Delež volumna reaktorja potrebnega za denitrifikacijo izračunamo z enačbo (4.9):

$$\frac{Q_d \cdot 2,9 \cdot S_{NO_3,D}}{1000} = 0,75 \cdot OU_{d,C} \cdot \frac{V_D}{V_{AT}}$$

Za izračun te enačbe potrebujemo tudi ( $OU_{d,C}$ ) dnevno porabo kisika potrebnega za oksidacijo ogljikovih spojin [kg  $O_2$ /dan], ki jo izračunamo iz enačbe (4.38):

$$OU_{d,C} = B_{d,BPK5} \cdot \left( 0,56 + \frac{0,15 \cdot t_{SS} \cdot F_T}{1 + 0,17 \cdot t_{SS} \cdot F_T} \right) \text{ [kg } O_2/\text{dan]}$$

Potrebujemo tudi vrednost koeficienta  $F_T$ , ki ga izračunamo z enačbo (4.22):

$$F_T = 1,072^{(T-15)}$$

Rezultati so prikazani v prilogi 3.4.

### 6.7.6 Produkcija blata

Produkcijo blata sem izračunal za odstranjevanje ogljika in fosforja posebej in sicer z enačbama (4.27) in (4.28):

$$SP_{d,C} = B_{d,BPK5} \cdot \left( 0,75 + 0,6 \cdot \frac{X_{SS,IAT}}{C_{BPK5,IAT}} - \frac{(1-0,2) \cdot 0,17 \cdot 0,75 \cdot t_{SS} \cdot F_T}{1 + 0,17 \cdot t_{SS} \cdot F_T} \right) \text{ [kg/dan]}$$

$$SP_{d,P} = \frac{Q_d \cdot (3 \cdot X_{P,BioP} + 6,8 \cdot X_{P,Pre c,Fe} + 5,3 \cdot X_{P,Pre c,Al})}{1000} \text{ [kg/dan]}$$



Kjer je :

$$X_{P,BioP} = 0.0125 \cdot C_{BPK5,IAT}$$

Upoštevamo samo  $X_{P,Prec,Fe}$ , ker dodajamo  $FeCl_3$ . Obarjanje z Al ne upoštevamo zato  $X_{P,Prec,Al}$  zanemarimo.

Rezultati so prikazani v prilogi 3.5 za nastanek blata pri odstranjevanju ogljika in 3.6 za nastanek blata pri odstranjevanju fosforja. Skupna produkcija blata je v prilogi 3.7.

### 6.7.7 Povratno blato in stopnja recikliranja RC

Najprej je bilo potrebno izračunati sušino povratnega blata. Izberemo indeks blata ( $SVI = 150$ ) iz preglednice 6.5 in čas zgoščevanja ( $t_{Th} = 2.5$  ur) iz preglednice 6.6 kjer upoštevamo, da imamo postopek z denitrifikacijo. To vnesemo v enačbo (4.29):

$$SS_{BS} = \frac{1000}{SVI} \cdot \sqrt[3]{t_{Th}} \quad [kg/m^3]$$

$$SVI = 150$$

$$t_{Th} = 2$$

$$SS_{BS} = \frac{1000}{150} \cdot \sqrt[3]{2,5} = 9 \text{ mg/l}$$

Sušina povratnega blata nam torej znaša 9 mg/l.

$$SS_{RS} = SS_{BS} = 9 \text{ mg/l}$$

Nato izračunamo sušino suspendiranih snovi v biološkem bazenu z izpeljanko iz enačbe (4.26). Za produkcijo blata vzamemo skupni seštevek blata, ki nastane pri odstranjevanju fosforja in ogljika.

$$t_{SS} = \frac{M_{SS,AT}}{SP_d} = \frac{V_{AT} \cdot SS_{AT}}{SP_d} = \frac{V_{AT} \cdot SS_{AT}}{Q_{WS,d} \cdot SS_{WS} + Q_d \cdot X_{SS,EST}} \quad [\text{dan}]$$

Z enačbo (4.30) na koncu izračunamo RC:

$$SS_{AT} = \frac{RS \cdot SS_{RS}}{1 + RS} \quad [\text{kg/m}^3]$$

Rezultati so podani v prilogi 4.

### 6.7.8 Prenos kisika

Potrebno količino kisika za procese izračunamo posebej za odstranjevanje ogljika, potek nitrifikacije in procese denitrifikacije. Pri tem uporabimo enačbe (4.38), (4.39) in (4.40):

$$OU_{d,C} = B_{d,BPK5} \cdot \left( 0,56 + \frac{0,15 \cdot t_{SS} \cdot F_T}{1 + 0,17 \cdot t_{SS} \cdot F_T} \right) \quad [\text{kg O}_2/\text{dan}]$$

$$OU_{d,N} = Q_d \cdot 4,3 \cdot (S_{NO3,D} - S_{NO3,IAT} + S_{NO3,EST}) / 1000 \quad [\text{kg O}_2/\text{dan}]$$

$$OU_{d,D} = Q_d \cdot 2,9 \cdot S_{NO3,D} / 1000 \quad [\text{kg O}_2/\text{dan}]$$

Rezultati so prikazani v prilogah 5.1, 5.2, 5.3 in skupna potreba po kisiku v prilogi 5.4.

### 6.7.9 Analiza rezultatov

Pri računanju po standardu ATV – DVWK – A 131E sem upošteval navodila kolikor se je le dalo. Najprej sem izračunal starost blata za postopek podaljšane aeracije in stabilizacijo blata, ki se uporablja tudi na ČN Celje. V primeru temperatur višjih od 12°C se po enačbi (4.6) zmanjša tudi zadrževalni čas snovi. Sledi izračun potrebne količine fosforja, ki ga je potrebno odstraniti z obarjanjem ( $X_{P, \text{Prec}}$ ). Na ČN Celje je uspešna že biološka odstranitev fosforja, obarjanje je po rezultatih potrebno samo pri vzorcu 1, 3, 13, 17, 19, 20 in 22 (priloga 3.2). Pri odstranjevanju N izračunamo količino N, ki ga je potrebno denitrificirati ( $S_{NO3,d}$ ). Po standardu ATV – DVWK – A 131E je potrebno določiti tudi delež volumna reaktorja potrebnega za denitrifikacijo ( $V_D/V_{AT}$ ).  $V_D/V_{AT}$ , ki so manjši od 0.2 in večji od 0.5 ni priporočljivo dimenzionirati. V tem primeru lahko v prilogi 3.4 ugotovimo, da so vzorci 1, 4, 6, 7, 8, 11, 17 in 19 niso v tem optimalnem območju. Ko računamo produkcijo blata upoštevamo, da biološko blato nastane posebej, pri odstranjevanju fosforja v anaerobnih

bazenih in posebej pri odstranjevanju ogljika v aerobnih bazenih. Pri rezultatih v prilogah 3.5 in 3.6 je razvidno, da več biološkega blata nastane pri odstranjevanju ogljika v aerobnih bazenih. Stopnjo recikliranja blata sem določil s privzetimi vrednostmi iz priročnika ATV – DVWK – A 131E za indeks blata SVI in za čas zgoščevanja  $t_{Th}$ . Indeks blata se ponavadi določi eksperimentalno.

Pri računanju potrebne količine kisika za biološke procese na ČN upoštevamo, skupno količino kisika za odstranjevanje ogljika in količina kisika za nitrifikacijo. Vir količine kisika potrebnega za denitrifikacijo se nahaja vezan v nitritih in nitratih in se ne šteje kot delež dnevne potrebe kisika, ki ga vnašamo v odpadno vodo.

## **7 PRIMERJAVA OBEH POSTOPKOV DIMENZIONIRANJA PRODUKCIJE BLATA S PODATKI IZ ČN CELJE**

### **7.1 Primerjava rezultatov produkcije odvečnega blata postopkov z dejanskimi podatki**

Uporabili smo torej dva načina izračuna, da smo prišli do produkcije odvečnega blata oziroma do vrednosti blata, ki ga moramo na dan izločiti iz sistema ČN. V prilogah 6.1 in 6.2 imamo podane vrednosti in graf, ki nam prikazuje krivulji dnevne odstranitve blata za oba izračunana načina (WTPD in po standardu) in krivuljo merjene količine blata, ki so ga odstranili na ČN Celje na dan, ko so bili vzorci vzeti. V sistemu ČN neprestano kroži neka količina blata, ki po določenem času mineralizira, sočasno pa nastaja novo blato pri odstranjevanju organskih snovi. Zato velja nenapisano pravilo na ČN, da je dnevna količina odstranjenega blata v razmerju s koncentracijo  $BPK_5$ , ki priteče na ČN. Tako ohranjamo ravnotežje povratnega blata z dotekajočo organsko onesnaženostjo na ČN.

Če primerjamo krivulji dveh načinov izračuna količine odvečnega blata (po sistemu WTPD in standardu ATV-DVWK-A 131E), ugotovimo da sta zelo podobni (priloga 6.2). Razlika je samo v količini blata, medtem ko so nihanja, vzponi in padci podobni. V obeh primerih prikazujeta krivulji produkcijo blata pri odstranjevanju ogljika, medtem ko predstavlja ena krivulja še seštevek produkcije blata za odstranjevanje ogljika in fosforja. Ta seštevek je bil narejen po standardu ATV-DVWK-A 131E, medtem ko po WTPD ni bilo podano kako izračunati produkcijo blata pri procesih odstranjevanja fosforja. Razlika med enačbama (3.7) in (4.27) s katerima izračunamo produkcijo blata pri odstranjevanju C je tudi v neraztopljenih suspendiranih snovi. Medtem ko sem pri računanju po standardu ATV- DVWK – A 131E upošteval celotno koncentracijo neraztopljenih suspendiranih snovi na pritoku, sem pri računanju po WTPD upošteval samo anorgansko frakcijo neraztopljenih suspendiranih snovi ( $Z_{io}$ ) in organsko frakcijo biološko nerazgradljivih snovi neraztopljenih suspendiranih snovi ( $Z_{no}$ ). Zato pride pri računanju po WTPD manjša vrednost količine odvečnega blata, kljub popolnoma enakemu nihanju krivulj.

Merjeno količino odvečnega nastalega blata sem izračunal z zmnožkom merjene prostornine ( $m^3/dan$ ) in koncentracijo suhe snovi odvečnega blata (g/l). Za vzorce (29.3.), 18 (10.10.), 22 (14.11.), 23 (12.12.) in 24 (19.12.) ni bilo podatkov, zato je tudi krivulja merjenih količin odvečnega blata na teh mestih prekinjena (priloga 6.2). Prav tako ni bilo podatkov za sušino blata pri vzorcih 11 (8.6.), 13 (18.7.), 14 (27.7.), 17 (9.6.) in 21 (9.11.), medtem ko so bili podatki o prostornini podani. Za te vzorce sem predpostavil, da je njihova sušina enaka sušini povratnega blata, za katero je podatek obstajal. Primerjava sušin povratnega in odvečnega blata je pokazala, da je koncentracija suhe snovi povratnega blata v večini primerov večja od koncentracije suhe snovi odvečnega blata. Zato so vrednosti vzorcev, kjer je privzeta sušina blata večji v povprečju 100 kg/dan.

Če primerjamo tri krivulje: po postopku WTPD, po standardu ATV-DVWK-A 131E in merjeno krivuljo količine nastalega odvečnega blata ugotovimo, da je v prvih petih vzorcih potek krivulj zelo podoben. Medtem, ko se merjena krivulja zelo približa krivulji po postopku WTPD v vzrocu 3 (17.2.), se pri 4 vzorcu (24.3.), bolj približa krivulji po standardu ATV-DVWK-A 131E. Pri vzorcu 6 (29.3.) za katerega nimamo merjenih podatkov dosežejo izračunani krivulji najvišji vrh v letu. Od vzorca 7 (14.4.) do vzorca 13 (18.7.) merjena krivulja podobno zaniha kot izračunani krivulji, le da se njena vrednost giblje v spodnjem območju, ki ga med seboj ustvarjata izračunani krivulji. Ostali del merjene krivulje, za katero imamo podatke in dobro sledi izračunanim krivuljam, tako v nihanju in vrednostim, je pri vzorcih 15 (8.8.), 16 (29.8.), 17 (6.9.), 20 (26.10.) in 23 (12.12.). Zelo odstopajoči pa so vzorci 14 (27.7.), 19 (18.10.), 21 (9.11.), in 24 (19.12.). Glede na merjene vhodne podatke, ni moč ugotoviti pravega vzroka, zakaj ti vzorci tako odstopajo od merjenih vrednosti, medtem ko velik del merjene krivulje dobro sovпада z dvema izračunanima krivuljama. Lahko da so se na ČN odločili, za povečan odvzem biološkega blata kot bi bilo potrebno ali pa je po drugi strani prišlo do toksičnega šoka, kar bi pomorilo mikroorganizme in bi bilo potrebno vračati več povratnega blata za vzpostavitev ravnotežja. Tam kjer nimamo merjenih podatkov lahko samo sklepamo, da krivulja merjenih podatkov, sledi izračunanimi vrednostim kot v večini primerov vzorcev.

Če izvzamem 4 prej naštete merjenim vzorce, ki odstopajo od izračunanih in sklepam, da merjeni vzorci za katere nimam podatkov, sledijo izračunanim vrednostim, ugotovim, da sta postopka po katerih sem računal produkcijo blata ustrezna in nam podata neko oprijemljivo sliko o dogajanju na ČN. Izračunani krivulji nam tvorita neko območje v katerem se gibajo merjeni podatki. Če bi imeli več matematičnih modelov, bi lahko bolj ozko določili to območje in s tem dobili natančnejšo simulacijo dnevnega presežka blata.

## 8 ZAKLJUČEK

Cilj diplomske naloge je ugotoviti ali so izračuni po standardu ATV- DVWK – A 131E in po priročniku WTPD za študente dovolj natančni pri določanju količine biološkega blata na ČN. Za praktični primer sem vzel podatke s ČN Celje in jih primerjal z izračuni. Tako sem dobil izračunano količino biološkega blata na osnovi meritev pritoka odpadne vode na ČN Celje. Te izračunane podatke sem nato primerjal s merjeno količino dnevno nastalega blata na ČN Celje.

Na sodobnih ČN so nam znani vstopni in končni parametri (vsebnost raztopljenega kisika, zadrževalni čas snovi, količina nastalega blata, količina povratnega blata, koncentracija odpadnih snovi, itd...), ki jih največkrat pridobimo z meritvami. Samo dogajanje pri medceličnih reakcijah, je zaradi nepredvidljivosti mikroorganizmov in nešteto zunanjih vplivnih faktorjev, ki so nam morda še neznana, zelo kompleksno. Zato se razvijajo ozko specializirani modeli, ki se poskušajo čim bolj približati kompleksnosti narave na mikrobiološki ravni a so uporabni le za prav tako peščico podatkov.

Kljub neznankam znotraj procesov je uspešnost čistilnih naprav zelo velika. Različne kombinacije in vrstni red postopkov čiščenja zmanjšajo BPK<sub>5</sub> tudi do 95 %, kar že zelo opazno vpliva na kakovost okolja.

Razvoj čistilnih naprav in s tem modeliranja strmi k čim boljšim učinkom čiščenja v čim krajšem času in s čim manj stroški. Nasproti si stojita kapitalizem in ekologija. Prvi strmi k čim cenejši in hitrejši raznovrstni ponudbi, ki se prilagaja potrošniku. Ekologija pa temelji na prilagajanje naravi in vračanje okolja, ki ga človek izkorišča, v prvotno stanje ali vsaj v stanje, kjer si narava lahko še sama opomore. Po zaslugi višje ekološke zavesti ljudi in predvsem direktive Evropske unije, poteka razvoj čistilnih naprav v kompromisu med kapitalizmom in ekologijo, kar daje še dovolj prostora za manevriranje strokovnjakov, da izboljšajo okolje in omogočijo naslednjim generacijam lepo prihodnost.

## VIRI

Panjan J. 2001. Čiščenje odpadnih voda (Študijsko gradivo). Ljubljana, Univerza v Ljubljani Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, 170 strani.

Panjan J. 2001. Osnove čiščenja voda-sedimentacija, koagulacija, adsorbpcija (študijsko gradivo). Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, 140 strani.

Olsson G. Newell B. 2001. Wastewater Treatment Systems. Modeling, Diagnosis and Control, Chapter 1 – 4, 1 – 69 strani.

P. Arane Vesilind, Wastewater treatment plant design, Chapter 6 Suspended – Growth Biological Treatment, 2003, 50 strani.

Panjan J. 1999. Osnove zaščite voda. Ljubljana. Univerza v Ljubljani.

Planinšek M. 2003. Idejna zasnova ČN Poljčane. Diplomaska naloga. Celje, Univerza v Mariboru.

Vlada Republike Slovenije, Uradni list RS, št. 32/93, 44/95, 9/99, 56/99 in 22/00, U R E D B A o spremembah in dopolnitvah uredbe o emisiji snovi... (<http://www.uradni-list.si/1/objava.jsp?urlid=199635&stevilka=2293>)

Sedimentation Facilities for the Activated-Sludge Process... , (<http://web.deu.edu.tr/atiksu/toprak/ani4091.html>)

[http://72.14.203.104/search?q=cache:oGUvH0sc7YgJ:www.kostak.si/razno/delavnica/martin\\_020404.ppt+evtrofikacija+definicija&hl=sl&ct=clnk&cd=1](http://72.14.203.104/search?q=cache:oGUvH0sc7YgJ:www.kostak.si/razno/delavnica/martin_020404.ppt+evtrofikacija+definicija&hl=sl&ct=clnk&cd=1) (Direktiva EU 91/271/EEC)

<http://72.14.203.104/search?q=cache:IWgMiSV2jp0J:public.carnet.hr/~vvukadin/rijecnik.pdf+heterotrofni+organizmi+definicija&hl=sl&ct=clnk&cd=9> (Riječnik stručnih izraza o tlu)



<http://www.minet.si/sola/slovarcek.php?section=2&id=2094> (peskolov)

<http://www.bf.uni-lj.si/zt/meso/vaja3/mascobe.htm>

[http://64.233.179.104/search?q=cache:9Epa3q-j3KEJ:www.farmadrustvo.si/gradivo\\_i/4.%2520letnik/Izbirni%2520predmeti/ORGANSKE%2520REAKCIJE.doc+avtooksidacija&hl=en&ct=clnk&cd=8&lr=lang\\_sl](http://64.233.179.104/search?q=cache:9Epa3q-j3KEJ:www.farmadrustvo.si/gradivo_i/4.%2520letnik/Izbirni%2520predmeti/ORGANSKE%2520REAKCIJE.doc+avtooksidacija&hl=en&ct=clnk&cd=8&lr=lang_sl)

Čistilna naprava Celje, brošura, Vodovod-Kanalizacija

Čistilna naprava Celje, Vodovod-Kanalizacija, Poročilo o obratovalnem monitoringu odpadnih vod 2005, Urša Drugovič.

Čistilna naprava Celje, Vodovod-Kanalizacija, Letno poročilo monitoringa biološkega blata 2005, Urša Drugovič.

Vlada Republike Slovenije, Uradni list RS, št. 35/1996, 29/2000, 106/2001, Pravilnik o prvih meritvah in obratovalnem monitoringu odpadnih vod ter o pogojih za njegovo izvajanje

German ATV – DVWK – STANDARDS, STANDARD ATV – DVWK – A 131E, Dimensioning of Single – Stage Activated Sludge Plants, May 2000

Macarol B. 2004. Idejni projekt za ČN za 10000 PE. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani.

Gruden D. Zaščita voda in aplikacija ekoloških modelov. Seminarska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani.

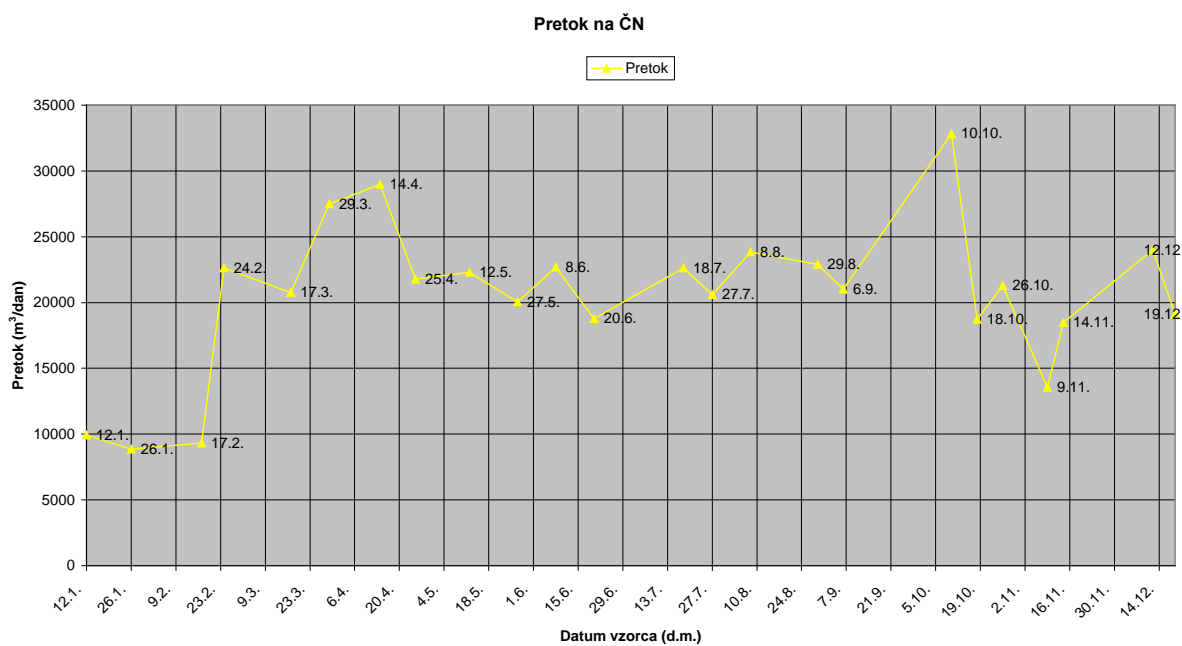
108 Prislán, M. 2006. Modeliranje in dimenzioniranje bioloških procesov na osnovi produkcije blata.  
Dipl. nal. – UNI. Ljubljana, UL, FGG, Študij vodarstva in komunalnega inženirstva.

## **PRILOGE**

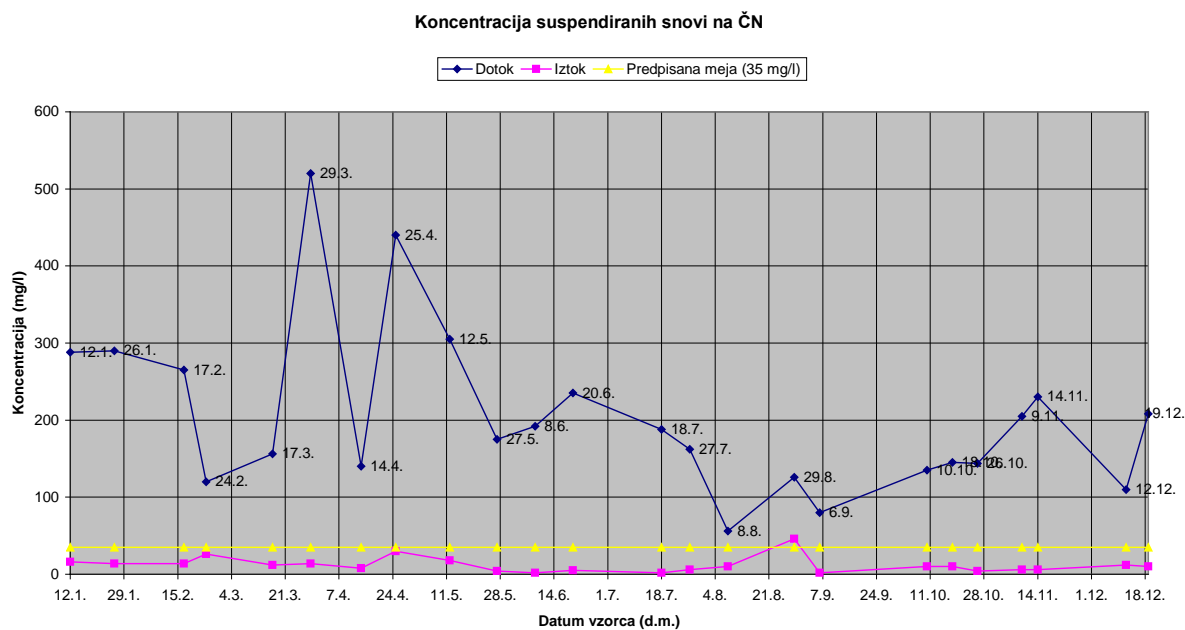
PRILOGE 1: Obdelava merjenih podatkov na ČN Celje.



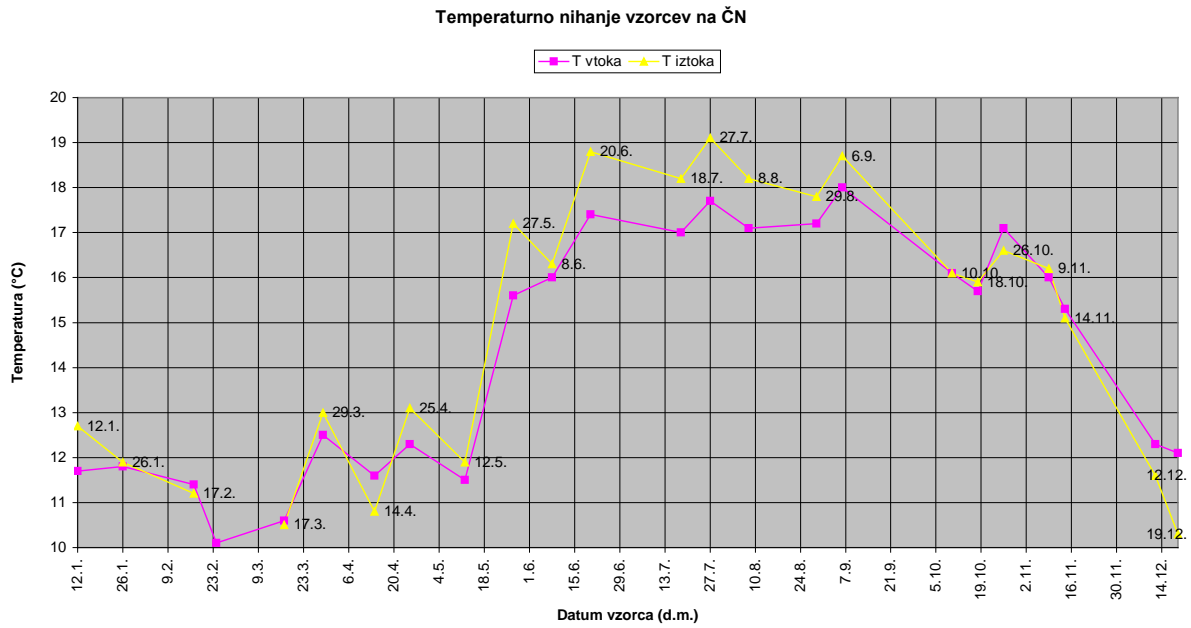
Priloga 1.2: Graf pretokov na ČN Celje v letu 2005.



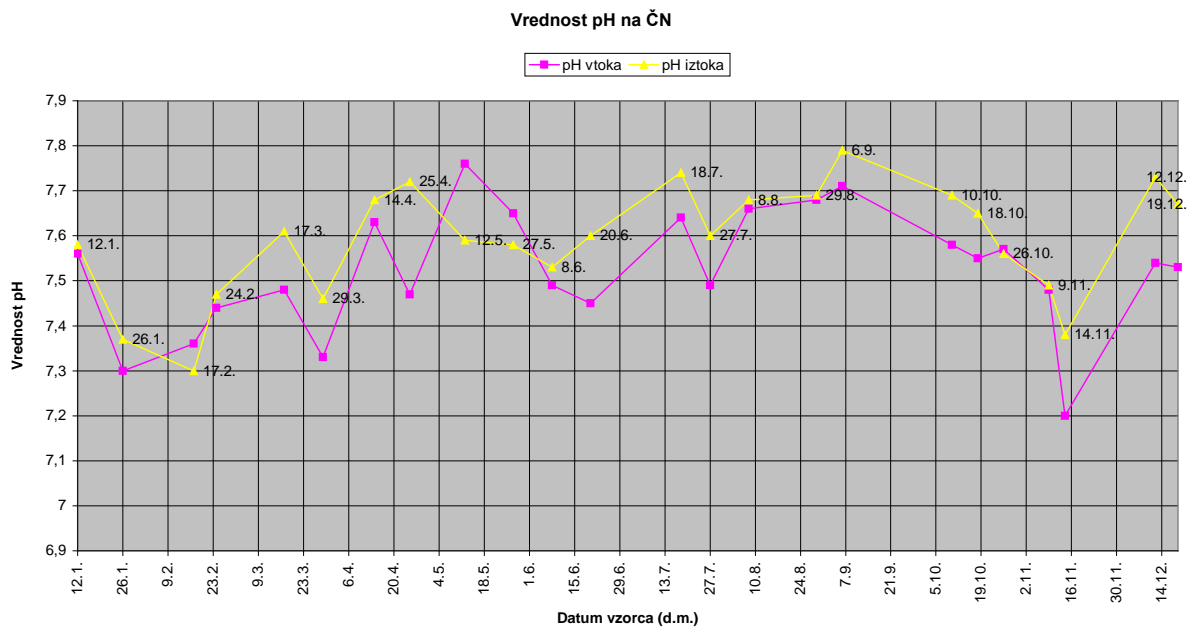
Priloga 1.3: Graf neraztopljenih suspendiranih snovi na ČN Celje v letu 2005.



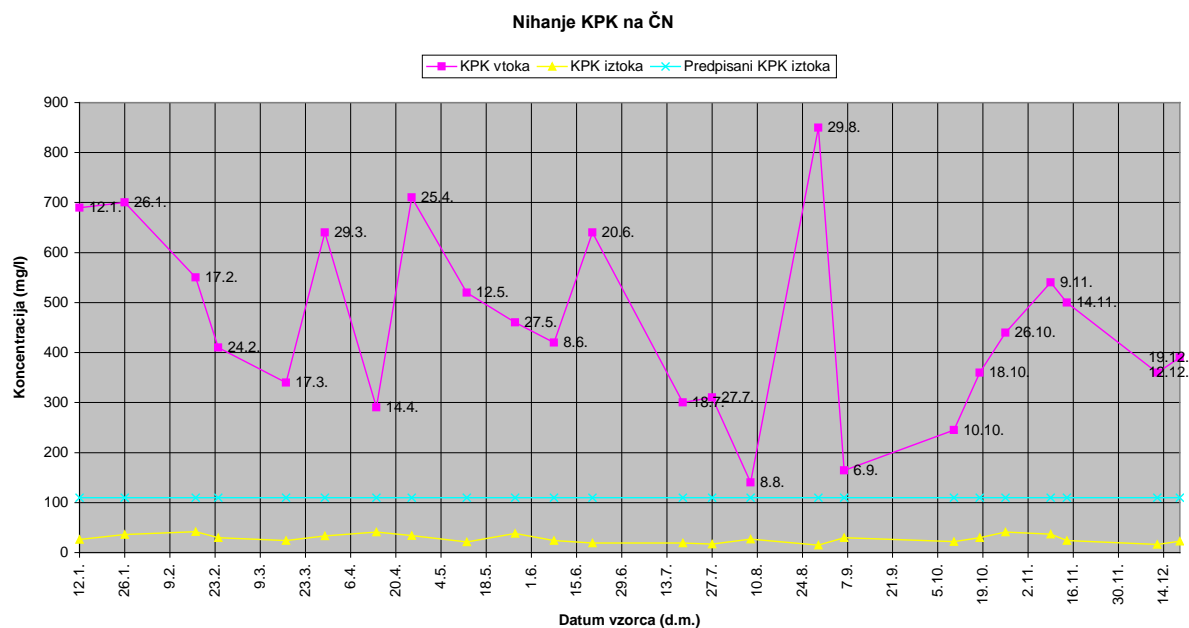
Priloga 1.4: Graf vrednosti temperatur na ČN Celje v letu 2005.



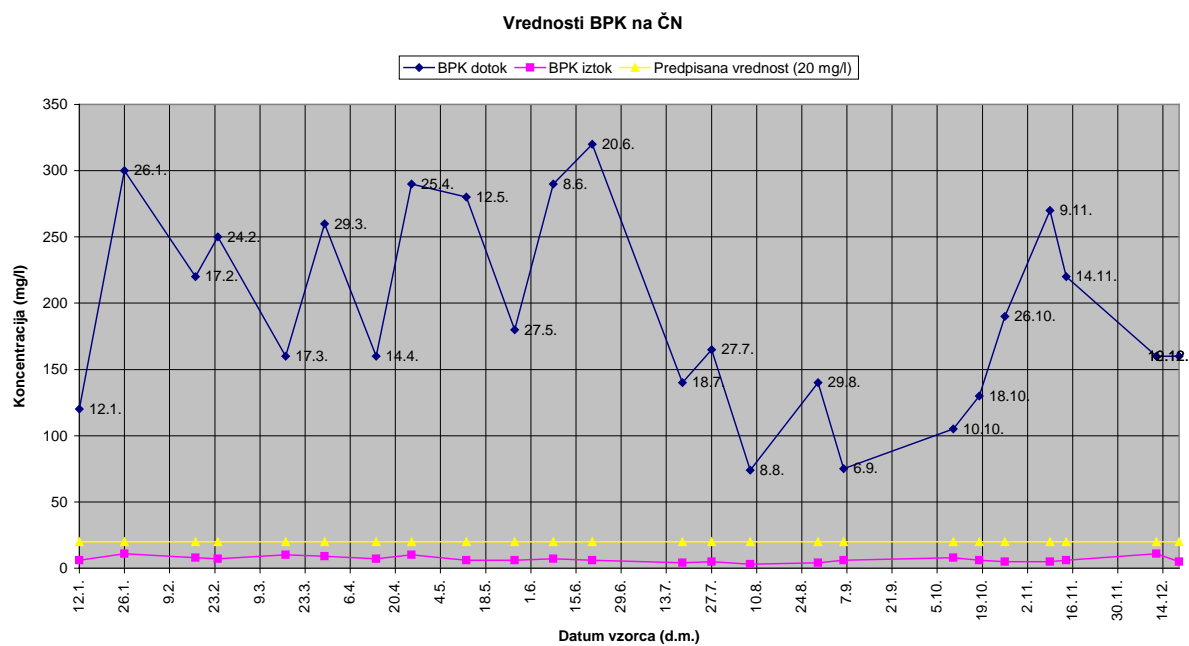
Priloga 1.5: Graf vrednosti pH na ČN Celje v letu 2005.



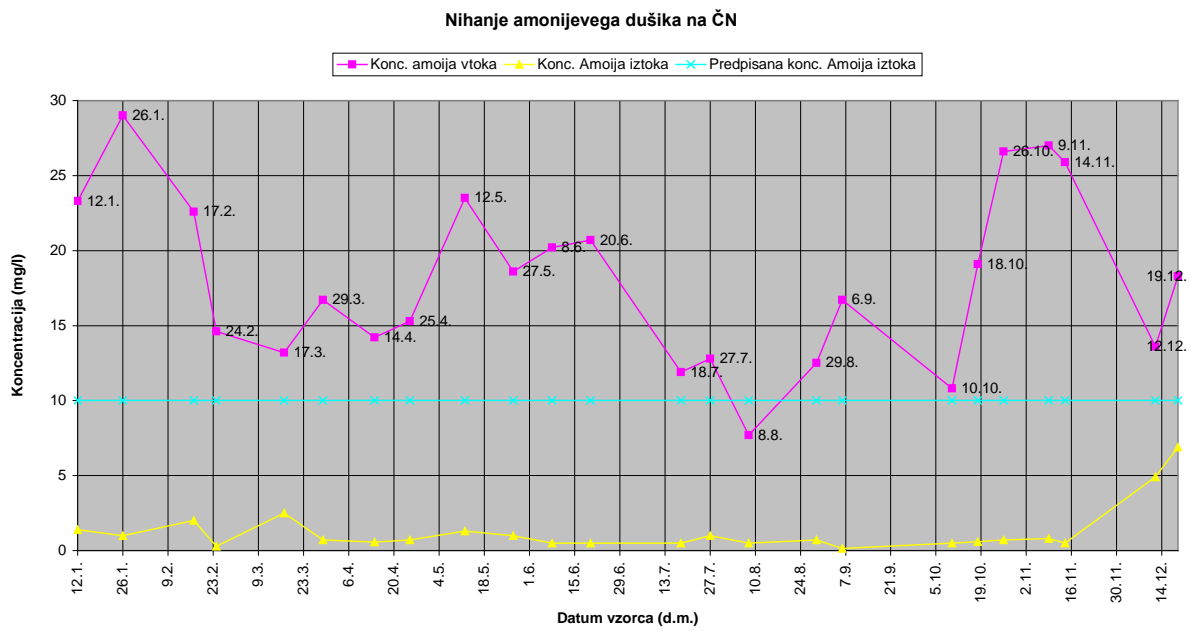
Priloga 1.6: Graf vrednosti KPK na ČN Celje v letu 2005.



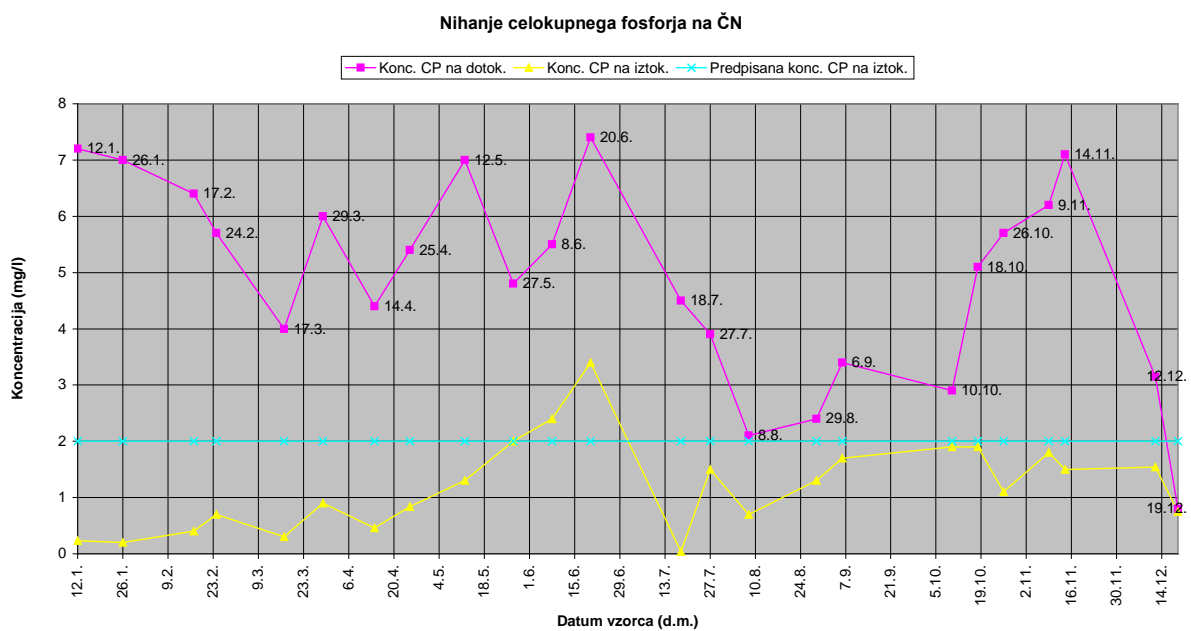
Priloga 1.7: Graf vrednosti BPK<sub>5</sub> na ČN Celje v letu 2005.



Priloga 1.8: Graf vrednosti Amonijevega dušika na ČN Celje v letu 2005.

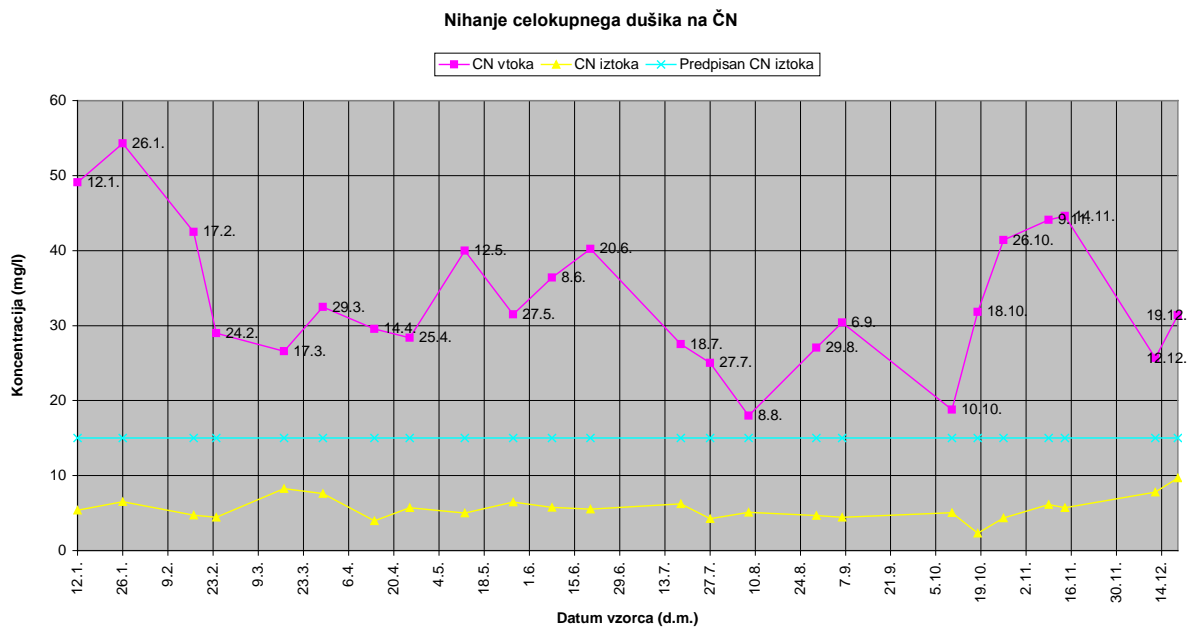


Priloga 1.9: Graf vrednosti Celotnega fosforja na ČN Celje v letu 2005.

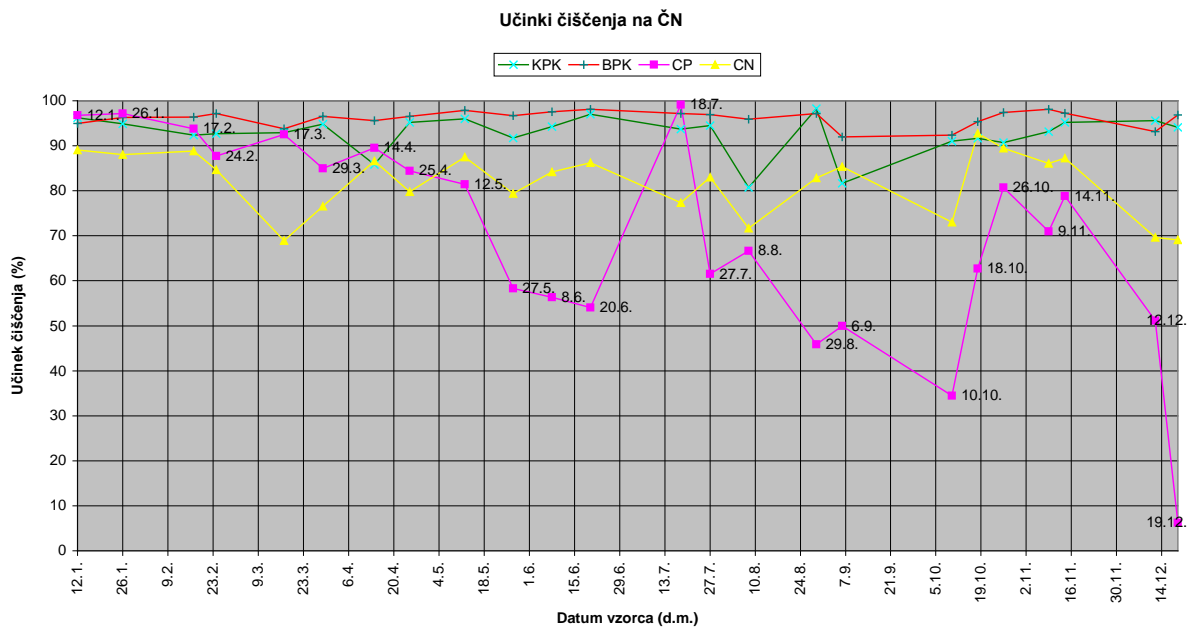




Priloga 1.10: Graf vrednosti Celotnega dušika na ČN Celje v letu 2005.



Priloga 1.11: Graf učinkov čiščenja BPK<sub>5</sub>, KPK, CP in CN na ČN Celje v letu 2005.



PRILOGE 2: Izračun produkcije blata po WTPD enačbah.

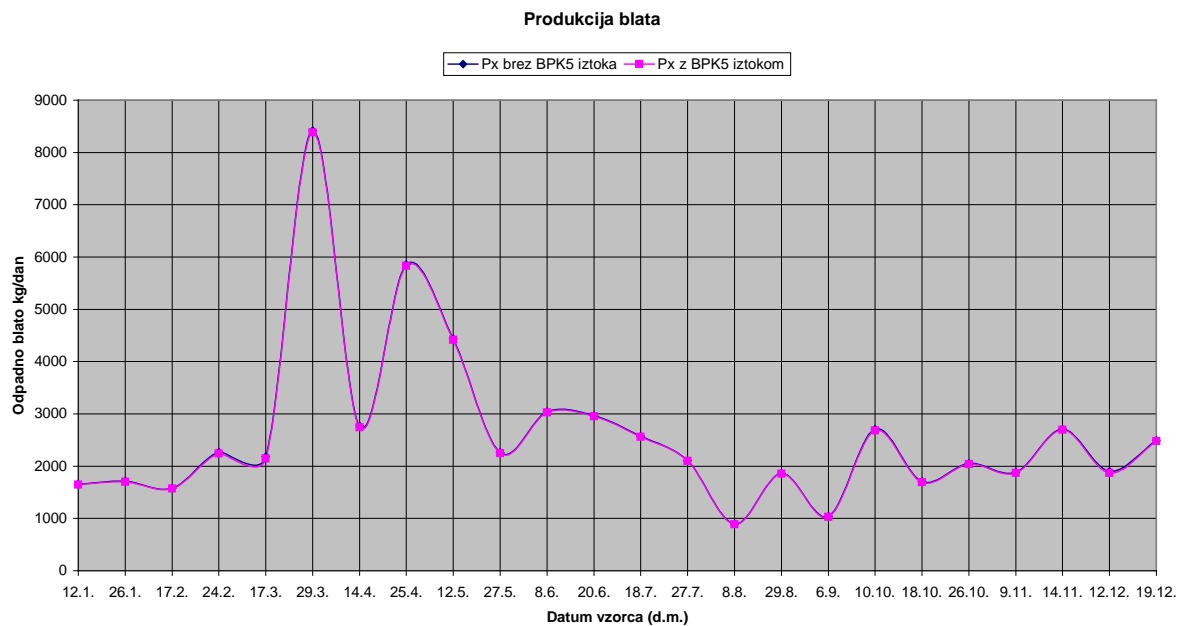
Priloga 2.1: Izračun produkcije blata (Px) brez upoštevanja podanega BPK<sub>5</sub> iztoka.

št. vzorca	Datum vzorca	Q	θ <sub>c</sub>	BPK vtok	T	bt	X <sub>SS</sub>	Z <sub>io</sub>	Z <sub>no</sub>	Y <sub>obs</sub>	Px	X	RC
[-]	[d.m.]	[m <sup>3</sup> /dan]	[dan]	[mg/l]	[° C]	[1/dan]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[-]	[kg/dan]	[mg/l]	[-]
povp	povp	21134,5	20	172,5	15,45	0,061069	181,5	36,3	58,08	0,270104	2219,637	3057,796	0,42316
1	12.1.	9914	20	120	11,8	0,052923	288	57,6	92,16	0,29148	1653,18	2046,356	0,257285
2	26.1.	8863	20	300	11,8	0,052923	290	58	92,8	0,29148	1713,043	2359,281	0,308777
3	17.2.	9320	20	220	11,4	0,052099	265	53	84,8	0,293832	1579,339	2108,122	0,267125
4	24.2.	22618	20	250	10,1	0,049509	120	24	38,4	0,301479	2267,922	3481,649	0,53413
5	17.3.	20769	20	160	10,6	0,05049	156	31,2	49,92	0,298537	2178,389	2990,875	0,426712
6	29.3.	27500	20	260	12,5	0,054396	520	104	166,4	0,287367	8420,076	10604,11	-17,5534
7	14.4.	28968	20	160	11,6	0,05251	140	28	44,8	0,292656	2770,48	3871,838	0,631811
8	25.4.	21772	20	290	12,3	0,053971	440	88	140,8	0,288542	5857,551	7601,398	3,169096
9	12.5.	22308	20	280	11,5	0,052304	305	61	97,6	0,293244	4433,259	5999,687	1,499804
10	27.5.	20053	20	180	15,6	0,061429	175	35	56	0,26923	2260,886	3124,716	0,454485
11	8.6.	22669	20	290	16	0,0624	192	38,4	61,44	0,266904	3043,802	4489,276	0,814644
12	20.6.	18777	20	320	17,4	0,065922	235	47	75,2	0,258794	2965,259	4301,175	0,754748
13	18.7.	22622	20	140	17	0,064896	188	37,6	60,16	0,261106	2571,392	3394,938	0,51399
14	27.7.	20585	20	165	17,7	0,066702	162	32,4	51,84	0,257064	2108,162	2913,079	0,41105
15	8.8.	23834	20	74	17,1	0,065151	56	11,2	17,92	0,260527	893,5651	1288,874	0,147957
16	29.8.	22914	20	140	17,2	0,065407	126	25,2	40,32	0,259949	1862,615	2609,199	0,353033
17	6.9.	21000	20	75	18	0,067492	80	16	25,6	0,255337	1044,742	1425,425	0,166239
18	10.10.	32824	20	105	16,1	0,062645	135	27	43,2	0,266323	2711,669	3600,147	0,562536
19	18.10.	18712	20	130	15,7	0,06167	145	29	46,4	0,268648	1703,489	2306,579	0,299812
20	26.10.	21269	20	190	17,1	0,065151	144	28,8	46,08	0,260527	2049,77	2955,802	0,419608
21	9.11.	13560	20	270	16	0,0624	205	41	65,6	0,266904	1880,188	2706,91	0,371161
22	14.11.	18480	20	220	15,3	0,06071	230	46	73,6	0,270978	2707,763	3700,442	0,587413
23	12.12.	24002	20	160	12,3	0,053971	110	22	35,2	0,288542	1905,799	2772,075	0,383523
24	19.12.	19099	20	160	12,1	0,053549	208	41,6	66,56	0,289717	2493,239	3297,292	0,491934

Priloga 2.2: Izračun produkcije blata (Px) z upoštevanjem iztočnega BPK<sub>5</sub>.

št. vzorca	Datum vzorca	Q	$\theta_c$	BPK vtok	T	BPK iztok	bt	X <sub>SS</sub>	Z <sub>io</sub>	Z <sub>no</sub>	Y <sub>obs</sub>	X	Px	RC
[-]	[d.m.]	[m <sup>3</sup> /dan]	[dan]	[mg/l]	[° C]	[mg/l]	[1/dan]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[-]	[mg/l]	[kg/dan]	[-]
povp	povp	21134,5	20	172,5	15,45	6	0,061069	181,5	36,3	58,08	0,270104	3006,684	2195,738	0,413072
1	12.1.	9914	20	120	11,7	6	0,052716	288	57,6	92,16	0,292068	2026,983	1644,758	0,25423
2	26.1.	8863	20	300	11,8	11	0,052923	290	58	92,8	0,29148	2327,53	1699,238	0,303361
3	17.2.	9320	20	220	11,4	8	0,052099	265	53	84,8	0,293832	2083,643	1568,61	0,263207
4	24.2.	22618	20	250	10,1	7	0,049509	120	24	38,4	0,301479	3428,317	2243,938	0,52168
5	17.3.	20769	20	160	10,6	10	0,05049	156	31,2	49,92	0,298537	2921,598	2147,539	0,412748
6	29.3.	27500	20	260	12,5	9	0,054396	520	104	166,4	0,287367	10524,64	8386,012	-20,0608
7	14.4.	28968	20	160	11,6	7	0,05251	140	28	44,8	0,292656	3805,532	2741,534	0,614344
8	25.4.	21772	20	290	12,3	10	0,053971	440	88	140,8	0,288542	7531,207	5827,34	3,050562
9	12.5.	22308	20	280	11,5	6	0,052304	305	61	97,6	0,293244	5955,832	4414,076	1,472697
10	27.5.	20053	20	180	15,6	6	0,061429	175	35	56	0,26923	3088,523	2246,35	0,446869
11	8.6.	22669	20	290	16	7	0,0624	192	38,4	61,44	0,266904	4441,954	3024,962	0,799193
12	20.6.	18777	20	320	17,4	6	0,065922	235	47	75,2	0,258794	4268,598	2952,683	0,744774
13	18.7.	22622	20	140	17	4	0,064896	188	37,6	60,16	0,261106	3368,539	2561,111	0,507963
14	27.7.	20585	20	165	17,7	5	0,066702	162	32,4	51,84	0,257064	2883,516	2096,827	0,405188
15	8.8.	23834	20	74	17,1	3	0,065151	56	11,2	17,92	0,260527	1268,061	885,4765	0,145221
16	29.8.	22914	20	140	17,2	4	0,065407	126	25,2	40,32	0,259949	2582,577	1852,292	0,348177
17	6.9.	21000	20	75	18	6	0,067492	80	16	25,6	0,255337	1389,478	1031,051	0,16137
18	10.10.	32824	20	105	16,1	8	0,062645	135	27	43,2	0,266323	3522,009	2680,627	0,543688
19	18.10.	18712	20	130	15,7	6	0,06167	145	29	46,4	0,268648	2272,879	1689,985	0,294143
20	26.10.	21269	20	190	17,1	5	0,065151	144	28,8	46,08	0,260527	2924,846	2037,74	0,413397
21	9.11.	13560	20	270	16	5	0,0624	205	41	65,6	0,266904	2686,691	1872,139	0,36737
22	14.11.	18480	20	220	15,3	6	0,06071	230	46	73,6	0,270978	3666,871	2694,193	0,578998
23	12.12.	24002	20	160	12,3	11	0,053971	110	22	35,2	0,288542	2686,956	1869,163	0,36742
24	19.12.	19099	20	160	12,1	5	0,053549	208	41,6	66,56	0,289717	3266,379	2479,88	0,485085

Priloga 2.3: Primerjava produkcije blata z upoštevanjem in brez upoštevanja koncentracije BPK<sub>5</sub> v iztoku.



Priloga 2.4: Potrebna količina kisika (Rc) za odstranjevanje C brez upoštevanje iztoka BPK<sub>5</sub>.

št. vzorca	Datum vzorca	BPK vtok	T	bt	Yobs	θc	Rc
[-]	[d.m.]	[mg/l]	[° C]	[1/dan]	[-]	[dan]	[kg/dan]
povp	povp	172,5	15,45	0,061069	0,270104	20	2929,154
1	12.1.	120	11,8	0,052923	0,29148	20	950,467
2	26.1.	300	11,8	0,052923	0,29148	20	2124,266
3	17.2.	220	11,4	0,052099	0,293832	20	1631,439
4	24.2.	250	10,1	0,049509	0,301479	20	4438,187
5	17.3.	160	10,6	0,05049	0,298537	20	2622,117
6	29.3.	260	12,5	0,054396	0,287367	20	5752,612
7	14.4.	160	11,6	0,05251	0,292656	20	3695,395
8	25.4.	290	12,3	0,053971	0,288542	20	5069,793
9	12.5.	280	11,5	0,052304	0,293244	20	4975,041
10	27.5.	180	15,6	0,061429	0,26923	20	2990,331
11	8.6.	290	16	0,0624	0,266904	20	5465,659
12	20.6.	320	17,4	0,065922	0,258794	20	5056,232
13	18.7.	140	17	0,064896	0,261106	20	2656,071
14	27.7.	165	17,7	0,066702	0,257064	20	2865,329
15	8.8.	74	17,1	0,065151	0,260527	20	1480,399
16	29.8.	140	17,2	0,065407	0,259949	20	2694,929
17	6.9.	75	18	0,067492	0,255337	20	1331,978
18	10.10.	105	16,1	0,062645	0,266323	20	2867,978
19	18.10.	130	15,7	0,06167	0,268648	20	2017,062
20	26.10.	190	17,1	0,065151	0,260527	20	3391,961
21	9.11.	270	16	0,0624	0,266904	20	3043,937
22	14.11.	220	15,3	0,06071	0,270978	20	3359,072
23	12.12.	160	12,3	0,053971	0,288542	20	3083,623
24	19.12.	160	12,1	0,053549	0,289717	20	2448,803

Priloga 2.5: Potrebna količina kisika (Rc) za odstranjevanje C z upoštevanjem iztoka BPK<sub>5</sub>.

št. vzorca	Datum vzorca	BPK vtok	T	BPK iztok	bt	Yobs	Rc
[-]	[d.m.]	[mg/l]	[° C]	[mg/l]	[1/dan]	[-]	[kg/dan]
povp	povp	172,5	15,45	6	0,061069	0,270104	2825,062
1	12.1.	120	11,8	6	0,052923	0,29148	902,9436
2	26.1.	300	11,8	11	0,052923	0,29148	2046,376
3	17.2.	220	11,4	8	0,052099	0,293832	1572,114
4	24.2.	250	10,1	7	0,049509	0,301479	4313,918
5	17.3.	160	10,6	10	0,05049	0,298537	2458,235
6	29.3.	260	12,5	9	0,054396	0,287367	5553,483
7	14.4.	160	11,6	7	0,05251	0,292656	3533,721
8	25.4.	290	12,3	10	0,053971	0,288542	4894,973
9	12.5.	280	11,5	6	0,052304	0,293244	4868,433
10	27.5.	180	15,6	6	0,061429	0,26923	2890,653
11	8.6.	290	16	7	0,0624	0,266904	5333,729
12	20.6.	320	17,4	6	0,065922	0,258794	4961,428
13	18.7.	140	17	4	0,064896	0,261106	2580,183
14	27.7.	165	17,7	5	0,066702	0,257064	2778,501
15	8.8.	74	17,1	3	0,065151	0,260527	1420,383
16	29.8.	140	17,2	4	0,065407	0,259949	2617,931
17	6.9.	75	18	6	0,067492	0,255337	1225,42
18	10.10.	105	16,1	8	0,062645	0,266323	2649,465
19	18.10.	130	15,7	6	0,06167	0,268648	1923,966
20	26.10.	190	17,1	5	0,065151	0,260527	3302,698
21	9.11.	270	16	5	0,0624	0,266904	2987,568
22	14.11.	220	15,3	6	0,06071	0,270978	3267,461
23	12.12.	160	12,3	11	0,053971	0,288542	2871,624
24	19.12.	160	12,1	5	0,053549	0,289717	2372,278

Priloga 2.6: Količina kisika potrebna za nitrifikacijo (Rn), odstranjevanje C (Rc) in skupna potreba po kisiku.

št. vzorca	Datum vzorca	NH3 vtok	NH3 iztok	NO3 iztok	Rn	Rc	Rskupn
[-]	[d.m.]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[kg/dan]	[kg/dan]	[kg/dan]
povp	povp	5,25	1,2	2,62	294,53	2929,15	3205,82
1	12.1.	7,2	0,23	2,28	182,81	950,47	1133,28
2	26.1.	7	0,2	5	229,80	2124,27	2354,07
3	17.2.	6,4	0,4	2,14	152,67	1631,44	1784,10
4	24.2.	5,7	0,7	2,16	333,11	4438,19	4771,30
5	17.3.	4	0,3	3,17	319,70	2622,12	2941,82
6	29.3.	6	0,9	5,19	648,02	5752,61	6400,63
7	14.4.	4,4	0,46	1,65	331,87	3695,39	4027,26
8	25.4.	5,4	0,84	3,49	387,08	5069,79	5456,88
9	12.5.	7	1,3	2,58	382,04	4975,04	5357,08
10	27.5.	4,8	2	4,14	333,45	2990,33	3323,78
11	8.6.	5,5	2,4	3,95	376,26	5465,66	5841,92
12	20.6.	7,4	3,4	3,31	306,19	5056,23	5362,42
13	18.7.	4,5	0,04	3,4	392,51	2656,07	3048,58
14	27.7.	3,9	1,5	2,04	204,58	2865,33	3069,91
15	8.8.	2,1	0,7	2,83	249,97	1480,40	1730,37
16	29.8.	2,4	1,3	2,45	203,66	2694,93	2898,59
17	6.9.	3,4	1,7	2,66	220,81	1331,98	1552,79
18	10.10.	2,9	1,9	3,16	352,78	2867,98	3220,76
19	18.10.	5,1	1,9	0,62	135,57	2017,06	2152,63
20	26.10.	5,7	1,1	1,9	282,88	3391,96	3674,84
21	9.11.	6,2	1,8	2,58	202,08	3043,94	3246,02
22	14.11.	7,1	1,5	3,28	350,32	3359,07	3709,39
23	12.12.	3,15	1,54	0,6	107,27	3083,62	3190,89
24	19.12.	0,8	0,75	0,9	50,79	2448,80	2499,60

PRILOGE 3: Izračuni produkcije blata po standardu ATV – DVWK – A 131E.

Priloga 3.1: Izračun starosti blata ( $t_{SS,dim}$ ).

Št. vzorca	Datum vzorca	T (°C)	$t_{SS,dim}$
[-]	[d.m.]	[° C]	[dan]
1	12.1.	11,7	25
2	26.1.	11,8	25
3	17.2.	11,4	25
4	24.2.	10,1	25
5	17.3.	10,6	25
6	29.3.	12,5	25
7	14.4.	11,6	25
8	25.4.	12,3	25
9	12.5.	11,5	25
10	27.5.	15,6	20
11	8.6.	16	19
12	20.6.	17,4	18
13	18.7.	17	18
14	27.7.	17,7	17
15	8.8.	17,1	18
16	29.8.	17,2	18
17	6.9.	18	17
18	10.10.	16,1	19
19	18.10.	15,7	20
20	26.10.	17,1	18
21	9.11.	16	19
22	14.11.	15,3	20
23	12.12.	12,3	25
24	19.12.	12,1	25



Priloga 3.2: Odstranjevanje fosforja

Št. vzorca	Datum vzorca	$C_{BPK5}$	$Q_d$	$C_{P,IAT}$	$C_{P,EST}$	$X_{P,BM}$	$X_{P,BioP}$	$X_{P,Pre c}$	$X_{P,Pre c}$ dej	$X_{P,Pre c}$ Fe	$X_{P,Pre c}$ Al
[-]	[d.m.]	[mg/l]	[m <sup>3</sup> /dan]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[kg/dan]	[kg/dan]
1	12.1.	120	9914	7,2	1,3	1,2	1,5	3,2	3,2	85,7	41,2
2	26.1.	300	8863	7	1,3	3	3,75	-1,05	0	0,0	0,0
3	17.2.	220	9320	6,4	1,3	2,2	2,75	0,15	0,15	3,8	1,8
4	24.2.	250	22618	5,7	1,3	2,5	3,125	-1,225	0	0,0	0,0
5	17.3.	160	20769	4	1,3	1,6	2	-0,9	0	0,0	0,0
6	29.3.	260	27500	6	1,3	2,6	3,25	-1,15	0	0,0	0,0
7	14.4.	160	28968	4,4	1,3	1,6	2	-0,5	0	0,0	0,0
8	25.4.	290	21772	5,4	1,3	2,9	3,625	-2,425	0	0,0	0,0
9	12.5.	280	22308	7	1,3	2,8	3,5	-0,6	0	0,0	0,0
10	27.5.	180	20053	4,8	1,3	1,8	2,25	-0,55	0	0,0	0,0
11	8.6.	290	22669	5,5	1,3	2,9	3,625	-2,325	0	0,0	0,0
12	20.6.	320	18777	7,4	1,3	3,2	4	-1,1	0	0,0	0,0
13	18.7.	140	22622	4,5	1,3	1,4	1,75	0,05	0,05	3,1	1,5
14	27.7.	165	20585	3,9	1,3	1,65	2,0625	-1,1125	0	0,0	0,0
15	8.8.	74	23834	2,1	1,3	0,74	0,925	-0,865	0	0,0	0,0
16	29.8.	140	22914	2,4	1,3	1,4	1,75	-2,05	0	0,0	0,0
17	6.9.	75	21000	3,4	1,3	0,75	0,9375	0,4125	0,4125	23,4	11,3
18	10.10.	105	32824	2,9	1,3	1,05	1,3125	-0,7625	0	0,0	0,0
19	18.10.	130	18712	5,1	1,3	1,3	1,625	0,875	0,875	44,2	21,3
20	26.10.	190	21269	5,7	1,3	1,9	2,375	0,125	0,125	7,2	3,5
21	9.11.	270	13560	6,2	1,3	2,7	3,375	-1,175	0	0,0	0,0
22	14.11.	220	18480	7,1	1,3	2,2	2,75	0,85	0,85	42,4	20,4
23	12.12.	160	24002	3,15	1,3	1,6	2	-1,75	0	0,0	0,0
24	19.12.	160	19099	0,8	1,3	1,6	2	-4,1	0	0,0	0,0

Priloga 3.3: Koncentracija N, ki ga je potrebno denitrificirati ( $S_{NO3,d}$ ).

Št. vzorca	Datum vzorca	$S_{NO3,d}$	$C_{N,IAT}$	$S_{orgN,EST}$	$S_{NH4,EST}$	$X_{orgN,BM}$	$S_{NO3,EST}$
[-]	[d.m.]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]
1	12.1.	39,42	49,1	2	0	5,4	2,28
2	26.1.	33,8	54,3	2	0	13,5	5
3	17.2.	28,46	42,5	2	0	9,9	2,14
4	24.2.	13,59	29	2	0	11,25	2,16
5	17.3.	14,23	26,6	2	0	7,2	3,17
6	29.3.	13,61	32,5	2	0	11,7	5,19
7	14.4.	18,71	29,56	2	0	7,2	1,65
8	25.4.	9,84	28,38	2	0	13,05	3,49
9	12.5.	22,8	39,98	2	0	12,6	2,58
10	27.5.	17,26	31,5	2	0	8,1	4,14
11	8.6.	17,4	36,4	2	0	13,05	3,95
12	20.6.	20,49	40,2	2	0	14,4	3,31
13	18.7.	15,8	27,5	2	0	6,3	3,4
14	27.7.	13,535	25	2	0	7,425	2,04
15	8.8.	9,84	18	2	0	3,33	2,83
16	29.8.	16,3	27,05	2	0	6,3	2,45
17	6.9.	22,365	30,4	2	0	3,375	2,66
18	10.10.	8,885	18,77	2	0	4,725	3,16
19	18.10.	23,33	31,8	2	0	5,85	0,62
20	26.10.	28,95	41,4	2	0	8,55	1,9
21	9.11.	27,37	44,1	2	0	12,15	2,58
22	14.11.	29,42	44,6	2	0	9,9	3,28
23	12.12.	15,9	25,7	2	0	7,2	0,6
24	19.12.	21,3	31,4	2	0	7,2	0,9

Priloga 3.4: Izračun deleža volumna reaktorja potrebnega za denitrifikacijo ( $V_D/V_{AT}$ )

Št. vzorca	Datum vzorca	$O_{u,d,C}$	$B_{d,BPK5}$	$C_{BPK5,IAT}$	$Q_d$	$t_{SS}$	$F_T$	T	$V_D/V_{AT}$
[-]	[d.m.]	[kg O <sub>2</sub> /dan]	[kg/dan]	[mg/l]	[m <sup>3</sup> /dan]	[dan]	[-]	[° C]	[-]
1	12.1.	1476,20424	1189,68	120	9914	25	0,794982	11,7	1,023660204
2	26.1.	3302,14231	2658,9	300	8863	25	0,800528	11,8	0,350782887
3	17.2.	2537,5338	2050,4	220	9320	25	0,778572	11,4	0,404180825
4	24.2.	6915,59173	5654,5	250	22618	25	0,711288	10,1	0,171862468
5	17.3.	4083,03093	3323,04	160	20769	25	0,736449	10,6	0,279881731
6	29.3.	8932,91733	7150	260	27500	25	0,840452	12,5	0,162007171
7	14.4.	5746,13111	4634,88	160	28968	25	0,789474	11,6	0,364714897
8	25.4.	7875,01351	6313,88	290	21772	25	0,828846	12,3	0,105191065
9	12.5.	7737,03728	6246,24	280	22308	25	0,784004	11,5	0,254189454
10	27.5.	4505,45941	3609,54	180	20053	20	1,042598	15,6	0,297041957
11	8.6.	8182,20645	6574,01	290	22669	19	1,072	16	0,18640086
12	20.6.	7517,94027	6008,64	320	18777	18	1,181592	17,4	0,19788188
13	18.7.	3949,32016	3167,08	140	22622	18	1,149184	17	0,349947163
14	27.7.	4231,03931	3396,525	165	20585	17	1,206496	17,7	0,254623689
15	8.8.	2201,19951	1763,716	74	23834	18	1,157202	17,1	0,411973575
16	29.8.	4007,05594	3207,96	140	22914	18	1,165275	17,2	0,360412498
17	6.9.	1966,96346	1575	75	21000	17	1,231925	18	0,92326982
18	10.10.	4293,30945	3446,52	105	32824	19	1,079479	16,1	0,262659721
19	18.10.	3038,89871	2432,56	130	18712	20	1,049872	15,7	0,555463411
20	26.10.	5043,49303	4041,11	190	21269	18	1,157202	17,1	0,472064073
21	9.11.	4556,83734	3661,2	270	13560	19	1,072	16	0,314925404
22	14.11.	5061,80163	4065,6	220	18480	20	1,021077	15,3	0,415313692
23	12.12.	4789,85535	3840,32	160	24002	25	0,828846	12,3	0,308076727
24	19.12.	3804,92722	3055,84	160	19099	25	0,817401	12,1	0,413409653

Priloga 3.5: Produkcija blata pri odstranjevanju C ( $SP_{d,C}$ ).

Št. vzorca	Datum vzorca	$B_{d,BPK5}$	$C_{BPK5,IAT}$	$Q_d$	$t_{ss}$	$F_T$	T	$X_{SS,IAT}$	$SP_{d,C}$
[-]	[d.m.]	[kg/dan]	[mg/l]	[m <sup>3</sup> /dan]	[dan]	[-]	[° C]	[mg/l]	[kg/dan]
1	12.1.	1189,68	120	9914	25	0,794982	11,7	288	2054,610459
2	26.1.	2658,9	300	8863	25	0,800528	11,8	290	2303,389349
3	17.2.	2050,4	220	9320	25	0,778572	11,4	265	2074,949334
4	24.2.	5654,5	250	22618	25	0,711288	10,1	120	3320,002225
5	17.3.	3323,04	160	20769	25	0,736449	10,6	156	2925,211001
6	29.3.	7150	260	27500	25	0,840452	12,5	520	10590,83622
7	14.4.	4634,88	160	28968	25	0,789474	11,6	140	3767,065151
8	25.4.	6313,88	290	21772	25	0,828846	12,3	440	7532,534316
9	12.5.	6246,24	280	22308	25	0,784004	11,5	305	5884,426841
10	27.5.	3609,54	180	20053	20	1,042598	15,6	175	3123,520433
11	8.6.	6574,01	290	22669	19	1,072	16	192	4481,45892
12	20.6.	6008,64	320	18777	18	1,181592	17,4	235	4329,927727
13	18.7.	3167,08	140	22622	18	1,149184	17	188	3447,557956
14	27.7.	3396,525	165	20585	17	1,206496	17,7	162	2964,545738
15	8.8.	1763,716	74	23834	18	1,157202	17,1	56	1298,416787
16	29.8.	3207,96	140	22914	18	1,165275	17,2	126	2635,061527
17	6.9.	1575	75	21000	17	1,231925	18	80	1451,474846
18	10.10.	3446,52	105	32824	19	1,079479	16,1	135	3636,618392
19	18.10.	2432,56	130	18712	20	1,049872	15,7	145	2312,231723
20	26.10.	4041,11	190	21269	18	1,157202	17,1	144	2977,75353
21	9.11.	3661,2	270	13560	19	1,072	16	205	2709,315566
22	14.11.	4065,6	220	18480	20	1,021077	15,3	230	3705,595373
23	12.12.	3840,32	160	24002	25	0,828846	12,3	110	2669,664219
24	19.12.	3055,84	160	19099	25	0,817401	12,1	208	3251,748564

Priloga 3.6: Produkcija blata pri odstranjevanju fosforja ( $SP_{d,P}$ ).

Št. vzorca	Datum vzorca	$Q_d$	$X_{P,BioP}$	$XP, Prec Fe$	$SP_{d,P}$
[-]	[d.m.]	[m <sup>3</sup> /dan]	[mg/l]	[mg/l]	[kg/dan]
1	12.1.	9914	1,5	8,64	627,0803
2	26.1.	8863	3,75	0	99,70875
3	17.2.	9320	2,75	0,405	102,5573
4	24.2.	22618	3,125	0	212,0438
5	17.3.	20769	2	0	124,614
6	29.3.	27500	3,25	0	268,125
7	14.4.	28968	2	0	173,808
8	25.4.	21772	3,625	0	236,7705
9	12.5.	22308	3,5	0	234,234
10	27.5.	20053	2,25	0	135,3578
11	8.6.	22669	3,625	0	246,5254
12	20.6.	18777	4	0	225,324
13	18.7.	22622	1,75	0,135	139,5325
14	27.7.	20585	2,0625	0	127,3697
15	8.8.	23834	0,925	0	66,13935
16	29.8.	22914	1,75	0	120,2985
17	6.9.	21000	0,9375	1,11375	218,106
18	10.10.	32824	1,3125	0	129,2445
19	18.10.	18712	1,625	2,3625	391,8293
20	26.10.	21269	2,375	0,3375	200,354
21	9.11.	13560	3,375	0	137,295
22	14.11.	18480	2,75	2,295	440,8589
23	12.12.	24002	2	0	144,012
24	19.12.	19099	2	0	114,594

Priloga 3.7: Skupna produkcija blata ( $SP_{d,skupna}$ ).

Št. vzorca	Datum vzorca	$SP_{d,skupna}$	$SP_{d,C}$	$SP_{d,P}$
[-]	[d.m.]	[kg/dan]	[kg/dan]	[kg/dan]
1	12.1.	2681,69	2054,61	627,08
2	26.1.	2403,10	2303,39	99,71
3	17.2.	2177,51	2074,95	102,56
4	24.2.	3532,05	3320,00	212,04
5	17.3.	3049,83	2925,21	124,61
6	29.3.	10858,96	10590,84	268,13
7	14.4.	3940,87	3767,07	173,81
8	25.4.	7769,30	7532,53	236,77
9	12.5.	6118,66	5884,43	234,23
10	27.5.	3258,88	3123,52	135,36
11	8.6.	4727,98	4481,46	246,53
12	20.6.	4555,25	4329,93	225,32
13	18.7.	3587,09	3447,56	139,53
14	27.7.	3091,92	2964,55	127,37
15	8.8.	1364,56	1298,42	66,14
16	29.8.	2755,36	2635,06	120,30
17	6.9.	1669,58	1451,47	218,11
18	10.10.	3765,86	3636,62	129,24
19	18.10.	2704,06	2312,23	391,83
20	26.10.	3178,11	2977,75	200,35
21	9.11.	2846,61	2709,32	137,30
22	14.11.	4146,45	3705,60	440,86
23	12.12.	2813,68	2669,66	144,01
24	19.12.	3366,34	3251,75	114,59

PRILOGE 4: Povratno blato in stopnja recikliranja (RS).

Št. vzorca	Datum vzorca	SPd	$t_{SS}$	$V_{AT}$	$SS_{AT}$	$SS_{RS}$	RS
[-]	[d.m.]	[kg/dan]	[dan]	[m <sup>3</sup> ]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[-]
1	12.1.	2681,691	25	17900	3,745378	9	0,713
2	26.1.	2403,098	25	17900	3,356282	9	0,595
3	17.2.	2177,507	25	17900	3,04121	9	0,510
4	24.2.	3532,046	25	17900	4,933025	9	1,213
5	17.3.	3049,825	25	17900	4,259532	9	0,899
6	29.3.	10858,96	25	17900	15,16615	9	-2,460
7	14.4.	3940,873	25	17900	5,504013	9	1,574
8	25.4.	7769,305	25	17900	10,85098	9	-5,862
9	12.5.	6118,661	25	17900	8,545616	9	18,807
10	27.5.	3258,878	20	17900	3,641205	9	0,679
11	8.6.	4727,984	19	17900	5,018531	9	1,260
12	20.6.	4555,252	18	17900	4,5807	9	1,037
13	18.7.	3587,09	18	17900	3,60713	9	0,669
14	27.7.	3091,915	17	17900	2,936456	9	0,484
15	8.8.	1364,556	18	17900	1,372179	9	0,180
16	29.8.	2755,36	18	17900	2,770753	9	0,445
17	6.9.	1669,581	17	17900	1,585635	9	0,214
18	10.10.	3765,863	19	17900	3,997285	9	0,799
19	18.10.	2704,061	20	17900	3,021297	9	0,505
20	26.10.	3178,108	18	17900	3,195862	9	0,551
21	9.11.	2846,611	19	17900	3,021542	9	0,505
22	14.11.	4146,454	20	17900	4,63291	9	1,061
23	12.12.	2813,676	25	17900	3,929715	9	0,775
24	19.12.	3366,343	25	17900	4,701596	9	1,094

PRILOGE 5: Potrebna količina kisika za procese v biološkem bazenu.

Priloga 5.1: Potrebna količina kisika za procese odstranjevanja ogljika ( $O_{u,d,C}$ ).

Št. Vzorca	$O_{u,d,C}$	$B_{d,BPK5}$	$C_{BPK5,IAT}$	$Q_d$	$t_{ss}$	$F_T$	T
[-]	[kg O <sub>2</sub> /dan]	[kg/dan]	[mg/l]	[m <sup>3</sup> /dan]	[dan]	[-]	[° C]
1	1476,20	1189,68	120	9914	25	0,794982	11,7
2	3302,14	2658,9	300	8863	25	0,800528	11,8
3	2537,53	2050,4	220	9320	25	0,778572	11,4
4	6915,59	5654,5	250	22618	25	0,711288	10,1
5	4083,03	3323,04	160	20769	25	0,736449	10,6
6	8932,92	7150	260	27500	25	0,840452	12,5
7	5746,13	4634,88	160	28968	25	0,789474	11,6
8	7875,01	6313,88	290	21772	25	0,828846	12,3
9	7737,04	6246,24	280	22308	25	0,784004	11,5
10	4505,46	3609,54	180	20053	20	1,042598	15,6
11	8182,21	6574,01	290	22669	19	1,072	16
12	7517,94	6008,64	320	18777	18	1,181592	17,4
13	3949,32	3167,08	140	22622	18	1,149184	17
14	4231,04	3396,525	165	20585	17	1,206496	17,7
15	2201,20	1763,716	74	23834	18	1,157202	17,1
16	4007,06	3207,96	140	22914	18	1,165275	17,2
17	1966,96	1575	75	21000	17	1,231925	18
18	4293,31	3446,52	105	32824	19	1,079479	16,1
19	3038,90	2432,56	130	18712	20	1,049872	15,7
20	5043,49	4041,11	190	21269	18	1,157202	17,1
21	4556,84	3661,2	270	13560	19	1,072	16
22	5061,80	4065,6	220	18480	20	1,021077	15,3
23	4789,86	3840,32	160	24002	25	0,828846	12,3
24	3804,93	3055,84	160	19099	25	0,817401	12,1



Priloga 5.2: Potrebna količina kisika za nitrifikacijo ( $O_{u,d,N}$ ).

Št. vzorca	Datum vzorca	$O_{u,d,N}$	$S_{NO_3,d}$	$S_{NO_3,IAT}$	$S_{NO_3,EST}$
[-]	[d.m.]	[kg O <sub>2</sub> /dan]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]
1	12.1.	1581,41	35,316	0,5	2,28
2	26.1.	1406,90	32,416	0,5	5
3	17.2.	1036,21	24,216	0,5	2,14
4	24.2.	1072,36	9,366	0,5	2,16
5	17.3.	1222,25	11,016	0,5	3,17
6	29.3.	2022,78	12,416	0,5	5,19
7	14.4.	1739,64	13,976	1,66	1,65
8	25.4.	930,20	6,946	0,5	3,49
9	12.5.	2021,70	18,996	0,5	2,58
10	27.5.	1608,67	15,016	0,5	4,14
11	8.6.	1795,13	14,966	0,5	3,95
12	20.6.	1633,07	17,416	0,5	3,31
13	18.7.	1528,77	12,816	0,5	3,4
14	27.7.	949,86	9,191	0,5	2,04
15	8.8.	805,13	6,286	1,26	2,83
16	29.8.	1410,56	12,366	0,5	2,45
17	6.9.	1833,18	18,641	1	2,66
18	10.10.	1174,45	5,661	0,5	3,16
19	18.10.	1423,04	17,566	0,5	0,62
20	26.10.	2365,62	24,466	0,5	1,9
21	9.11.	1495,37	23,566	0,5	2,58
22	14.11.	2312,08	26,316	0,5	3,28
23	12.12.	1054,38	10,116	0,5	0,6
24	19.12.	1331,75	15,816	0,5	0,9

Priloga 5.3: Potrebna količina kisika v obliki nitratov in nitritov za denitrifikacijo ( $O_{u,d}$ ).

Št. vzorca	Datum vzorca	$O_{u,d}$	$S_{NO_3,d}$
[-]	[d.m.]	[kg O <sub>2</sub> /dan]	[mg/l]
1	12.1.	1015,356	35,316
2	26.1.	833,1787	32,416
3	17.2.	654,51	24,216
4	24.2.	614,3365	9,366
5	17.3.	663,4948	11,016
6	29.3.	990,176	12,416
7	14.4.	1174,085	13,976
8	25.4.	438,5621	6,946
9	12.5.	1228,912	18,996
10	27.5.	873,236	15,016
11	8.6.	983,8663	14,966
12	20.6.	948,3587	17,416
13	18.7.	840,7783	12,816
14	27.7.	548,6705	9,191
15	8.8.	434,4795	6,286
16	29.8.	821,7281	12,366
17	6.9.	1135,237	18,641
18	10.10.	538,8683	5,661
19	18.10.	953,2155	17,566
20	26.10.	1509,065	24,466
21	9.11.	926,7094	23,566
22	14.11.	1410,327	26,316
23	12.12.	704,1323	10,116
24	19.12.	876,0024	15,816

Priloga 5.4: Potrebna količina kiska za procese v aeracijskem bazenu ( $O_{u, \text{dskupna}}$ ).

Št. vzorca	Datum vzorca	$O_{u, \text{dskupna}}$	$O_{u, C}$	$O_{u, N}$
[-]	[d.m.]	[kg O <sub>2</sub> /dan]	[kg O <sub>2</sub> /dan]	[kg O <sub>2</sub> /dan]
1	12.1.	3057,61	1476,20	1581,41
2	26.1.	4709,04	3302,14	1406,90
3	17.2.	3573,74	2537,53	1036,21
4	24.2.	7987,95	6915,59	1072,36
5	17.3.	5305,28	4083,03	1222,25
6	29.3.	10955,70	8932,92	2022,78
7	14.4.	7485,77	5746,13	1739,64
8	25.4.	8805,22	7875,01	930,20
9	12.5.	9758,74	7737,04	2021,70
10	27.5.	6114,13	4505,46	1608,67
11	8.6.	9977,34	8182,21	1795,13
12	20.6.	9151,01	7517,94	1633,07
13	18.7.	5478,09	3949,32	1528,77
14	27.7.	5180,90	4231,04	949,86
15	8.8.	3006,33	2201,20	805,13
16	29.8.	5417,61	4007,06	1410,56
17	6.9.	3800,14	1966,96	1833,18
18	10.10.	5467,76	4293,31	1174,45
19	18.10.	4461,94	3038,90	1423,04
20	26.10.	7409,11	5043,49	2365,62
21	9.11.	6052,20	4556,84	1495,37
22	14.11.	7373,89	5061,80	2312,08
23	12.12.	5844,23	4789,86	1054,38
24	19.12.	5136,68	3804,93	1331,75

PRILOGE 6: Primerjava produkcije blata po WTPD in standardu ATV – DVWK – A131E, ter meritev na ČN Celje.

Priloga 6.1: Izračuni produkcije blata po WTPD in standardu ATV – DVWK – A131E, ter meritev na ČN Celje.

št. Vzorca	Datum vzorca	P <sub>x</sub> (WTPD)	SP <sub>c+p</sub> (Standard)	SP <sub>d,c</sub> (standard)	Meritve ČN Celje
[-]	[d.m.]	[kg/dan]	[kg/dan]	[kg/dan]	[kg/dan]
povp	povp	2219,63742	3218,492846	3050,636981	2634,995
1	12.1.	1653,861	2681,690787	2054,610459	2425,482
2	26.1.	1713,043	2403,098099	2303,389349	1969,628
3	17.2.	1579,339	2177,506614	2074,949334	1733,568
4	24.2.	2267,922	3532,045975	3320,002225	3508,174
5	17.3.	2178,389	3049,825001	2925,211001	3468,053
6	29.3.	8420,076	10858,96122	10590,83622	
7	14.4.	2770,480	3940,873151	3767,065151	4114,498
8	25.4.	5857,551	7769,304816	7532,534316	3455,379
9	12.5.	4433,259	6118,660841	5884,426841	2382,252
10	27.5.	2260,886	3258,878183	3123,520433	2766,4
11	8.6.	3043,802	4727,984295	4481,45892	3339,5616
12	20.6.	2965,259	4555,251727	4329,927727	3133,824
13	18.7.	2571,392	3587,090452	3447,557956	1847,7443
14	27.7.	2108,162	3091,915425	2964,545738	5927,04
15	8.8.	893,565	1364,556137	1298,416787	2107,082
16	29.8.	1862,615	2755,360027	2635,061527	1811,639
17	6.9.	1044,742	1669,580846	1451,474846	704,2285
18	10.10.	2711,669	3765,862892	3636,618392	
19	18.10.	1703,489	2704,061003	2312,231723	7488
20	26.10.	2049,770	3178,10751	2977,75353	3462,576
21	9.11.	1880,188	2846,610566	2709,315566	714,211
22	14.11.	2707,763	4146,454253	3705,595373	
23	12.12.	1905,799	2813,676219	2669,664219	2634,995
24	19.12.	2493,239	3366,342564	3251,748564	1216,5328

Priloga 6.2 Graf produkcije blata po WTPD in standardu ATV – DVWK – A131E, ter meritev na ČN Celje.

