

Oznake in izrazi pri čiščenju odpadnih vod

Avtor: prof. dr. Milenko Roš

Založilo: Slovensko društvo za zaščito voda

Odgovorna oseba: dr. Marjetka Levstek

Lektoriranje: Tea Finžgar Plavčak

Cena: brezplačno

© Slovensko društvo za zaščito voda

Vse pravice pridržane.

Kataložni zapis o publikaciji (CIP)

Narodna in univerzitetna knjižnica v Ljubljani

COBISS.SI-ID=21090307

ISBN 978-961-6631-15-0 (pdf)

Predgovor

S prenosom znanja so različni avtorji v Slovenijo prinašali iz tuje literature tudi oznake in izraze s področja čiščenja odpadnih vod. Zaradi različnega prevajanja iz tujih jezikov, največkrat iz nemščine in angleščine, zasledimo v različnih virih različne oznake za iste pomene.

Priročnik ima tri cilje: poenotiti oznake in poimenovanja na področju čiščenja odpadnih vod, zblížati strokovnjake različnih strok, ki se na kakršen koli način ukvarjajo s čiščenjem odpadnih vod, in opozoriti na nepravilne izraze, ki se pri čiščenju odpadnih vod še vedno prepogosto uporabljajo.

Do danes je bil pri nas opravljen le en poskus poenotenja izrazov na področju biološkega čiščenja, in sicer s knjižico *Oznake in poimenovanja na področju biološkega čiščenja odpadnih vod*, ki je izšla leta 1995, v založbi Slovenskega društva za zaščito voda (1). V knjižici so bila obdelana poglavja, ki so bila delno povzeta iz članka P. Graua in sodelavcev, objavljenem leta 1983 (2). Od takrat so se nekateri izrazi delno spremenili, nastali pa so tudi novi izrazi, predvsem z uvajanjem novih postopkov čiščenja.

V letu 2017 je izšel priročnik z naslovom *Izrazi na področju voda* (3), v katerem so po abecednem vrstnem redu naštetih posamezni izrazi, njihovi opisi in nepravilni izrazi, uporabljeni v različnih sredinah, v katerih se ukvarjajo z odpadnimi vodami. V zadnjem delu priročnika sta podana tudi slovensko-angleški in angleško-slovenski slovar vseh opisanih izrazov. Poseben poudarek je bil dan nepravilnim izrazom.

V knjižici smo se osredotočili na osnovne tehnike čiščenja odpadnih vod in najpogosteje uporabljene simbole, količine in njihove dimenzije.

Namen te knjige je predvsem, da bi v vseh naših ustanovah (v šolah in državnih uradih, na čistilnih napravah, v projektivnih pisarnah itd.) uporabljali isto terminologijo in s tem izboljšali komunikacijo med posamezniki, ki še vedno uporabljajo svoje izraze in s tem mnogokrat povzročajo določeno zmedo v stroki.

Naš dodatni prispevek k poenotenju terminologije je tudi v odločitvi, da bo knjiga na spletni strani Slovenskega društva za zaščito voda dostopna vsakomur brezplačno.

Milenko Roš

KAZALO

1	Uvod	4
2	Fizikalne količine in merske enote.....	4
2.1	Zapisi enot fizikalnih količin	7
2.1.1	Znanstveni zapis.....	7
2.1.2	Normalni zapis	8
2.1.3	Zapisi produktov	8
2.1.4	Indeksi (angl. subscripts).....	13
2.1.5	Posebni zaznamki.....	14
2.2	Dopolnitve	14
3	Poimenovanje na področju biološkega čiščenja odpadnih vod.....	15
3.1	Splošno	15
3.2	Kemijski in biokemijski parametri.....	16
3.3	Tehnološki parametri.....	17
3.4	Kinetični parametri.....	19
3.5	Primeri in opombe.....	21
4	Komunalne čistilne naprave.....	21
4.1	Primarno čiščenje	22
4.2	Sekundarno čiščenje	22
4.3	Mikroorganizmi in njihovo delovanje.....	23
4.3.1	Hidroliza	24
4.3.2	Rast bakterij	24
4.3.3	Razpadanje bakterij (bakterijski razpad, razkroj)	25
4.4	Aerobno odstranjevanje organskega ogljika.....	26
4.5	Nitrifikacija.....	26
4.6	Proces denitrifikacije.....	27
4.7	Deamonifikacija	28
4.8	Biološko odstranjevanje fosforja (11)	29
5	Uporabljena literatura.....	30

1 Uvod

Leta 1980 sta bili ustanovljeni *Delovna skupina mednarodnega združenja za raziskave in kontrolo onesnaženja vode* (International Association on Water Pollution Research and Control, IAWPRC) in *Komisija za kakovost voda* pri mednarodni zvezi za čisto in uporabno kemijo (International Union of Pure and Applied Chemistry, IUPAC), da bi pripravili predlog za poenoteno poimenovanje, ki se uporablja pri opisu procesov biološkega čiščenja odpadnih vod. Rezultat te dejavnosti naj bi bil enoten sistem poimenovanja v mednarodnih objavah. Delovna skupina je pregledala revije in knjige v okviru angleške, francoske, nemške in ameriške literature, da bi uvedla količine in določila simbole, ki se najpogosteje uporabljajo za označevanje teh količin. Rezultat komisije je bil leta 1982 objavljeni članek v reviji *Water Research* (4). Leta 1983 je Petr Grau s sodelavci dopolnil nekatera poimenovanja (2). Zadnje dopolnitev je objavil Corominas s sodelavci leta 2010 (5).

Zaradi težav, ki nastajajo pri poimenovanju oz. prevodih tudi pri nas, smo se odločili pripraviti oz. predlagati enotno poimenovanje posameznih kemijskih, tehnoloških in kinetičnih parametrov, ki jih najpogosteje uporabljamo pri čiščenju odpadnih vod. Poleg tega so obdelani nekateri procesi, ki se pojavljajo pri čiščenju odpadnih vod.

2 Fizikalne količine in merske enote

Fizikalna količina (nekateri tehniki uporabljajo izraz *veličina*) je zmnožek številske vrednosti (merskega števila) in fizikalne (merske) enote (Slika 1).

Primer:



Slika 1: Fizikalna količina

Enote so izredno pomembne pri strokovnih zapisih, saj se pri tem naredi veliko napak, ker si posamezniki enote predstavljajo različno. Npr. nekdo zapiše številsko vrednost 300 za volumen. Analitik v kemijskem laboratoriju bo menil, da gre za 300 mL, vinar bo domneval, da gre za 300 litrov, tehnolog na čistilni napravi pa bo prepričan, da se nanaša na 300 m³.

Zato: številska vrednost brez enote ne pomeni nobene fizikalne količine!

Pri pisanju enot uporabljamo mednarodni sistem merskih enot, krajše SI sistem. Mednarodni sistem merskih enot (SI) pozna sedem neodvisnih osnovnih fizikalnih količin in sedem ustreznih enot ter simbolov zanje (Tabela 1).

Tabela 1: Osnovne fizikalne količine sistema SI

Fizikalna količina	Oznaka	Ime osnovne enote SI	Oznaka enote SI
dolžina	<i>l, s, h</i>	meter	m
masa	<i>m</i>	kilogram	kg
čas	<i>t</i>	sekunda	s
električni tok	<i>I</i>	amper	A
temperatura	<i>T</i>	kelvin	K
množina snovi	<i>n</i>	mol	mol
svetilnost	<i>I_V</i>	kandela	cd

Razen osnovnih merskih enot imamo tudi izpeljane merske enote. Izpeljane merske enote so podane v naslednjih tabelah (Tabela 2, Tabela 4, Tabela 5, Tabela 6, Tabela 7).

Tabela 2: Izpeljane merske enote za maso

1 nanogram	ng	10^{-9} kg = 0,000 000 001 kg
1 mikrogram	μ g	10^{-6} g = 0,000 001 g
1 miligram	mg	10^{-3} g = 0,001 g
1 dekagram	dag	10^{-1} g = 0,01 g
1 kilogram	kg	1 g
1 tona	t	1000 g

Tabela 3: Izpeljane merske enote za dolžino

<i>Enota</i>	<i>Simbol</i>	<i>Pretvornik</i>
1 pikometer	pm	10^{-12} m = 0,000 000 000 001 m
1 nanometer	nm	10^{-9} m = 0,000 000 001 m
1 mikrometer	μ m	10^{-6} m = 0,000 001 m
1 milimeter	mm	10^{-3} m = 0,001 m
1 centimeter	cm	10^{-2} m = 0,01 m
1 decimeter	dm	10^{-1} m = 0,1 m
1 meter	m	1 m
1 kilometer	km	1000 m

Tabela 4: Izpeljane merske enote za površino

<i>Enota</i>	<i>Simbol</i>	<i>Pretvornik</i>
1 kvadratni milimeter	mm ²	10 ⁻⁶ m ² = 0,000 001 m ²
1 kvadratni centimeter	cm ²	10 ⁻⁴ m ² = 0,000 1 m ²
1 kvadratni meter	m ²	1 m ²
1 kvadratni kilometer	km ²	1 000 000 m ²
1 ar	a	100 m ²
1 hektar	ha	10 000 m ²

Tabela 5: Izpeljane merske enote za volumen

<i>Enota</i>	<i>Simbol</i>	<i>Pretvornik</i>
1 mikroliter	μL	10 ⁻⁹ m ³ = 0,000 000 001 m ³
1 mililiter	mL	10 ⁻⁶ m ³ = 0,000 001 m ³
1 centiliter	cL	10 ⁻⁵ m ³ = 0,000 01 m ³
1 deciliter	dL	10 ⁻⁴ m ³ = 0,000 1 m ³
1 liter	L	10 ⁻³ m ³ = 0,001 m ³
1 hektoliter	hL	0,1 m ³
1 kubični milimeter	mm ³	10 ⁻⁹ m ³ = 0,000 000 001 m ³
1 kubični centimeter	cm ³	10 ⁻⁶ m ³ = 0,000 001 m ³
1 kubični decimeter	dm ³	10 ⁻³ m ³ = 0,001 m ³
1 kubični meter	m ³	1 m ³
1 kubični kilometer	km ³	1 000 000 000 m ³

Tabela 6: Izpeljana merska enota za maso

<i>Enota</i>	<i>Simbol</i>	<i>Pretvornik</i>
1 nanogram	ng	10 ⁻⁹ kg = 0,000 000 001 kg
1 mikrogram	μg	10 ⁻⁶ g = 0,000 001 g
1 miligram	mg	10 ⁻³ g = 0,001 g
1 dekagram	dag	10 ⁻¹ g = 0,01 g
1 kilogram	kg	1 g
1 tona	t	1000 g

Tabela 7: Izpeljane enote za temperaturo

<i>Enota</i>	<i>Simbol</i>	<i>Pretvornik</i>
Kelvin	K	[K] = [°C] + 273,15
Stopinje Celzija	°C	[°C] = [K] - 273,15

Strokovnjak, ki piše poročilo, članek, knjigo ali kak drug tehniški dokument, mora določiti mersko enoto za vsako količino v okviru mednarodnega sistema enot (SI).

Osnovne fizikalne količine, njihove merske enote in simboli, ki se uporabljajo pri čiščenju odpadnih vod, so prikazani v naslednji tabeli (Tabela 8).

Tabela 8: Osnovne fizikalne količine, dimenzije, merske enote in simboli, ki se uporabljajo pri čiščenju odpadnih vod

<i>Osnovna fizikalna količina</i>	<i>Dimenzija</i>	<i>Osnovna merska enota</i>	<i>Simbol</i>
dolžina	L	meter	m
masa	M	kilogram	kg
čas	T	sekunda	s
termodinamična temperatura	θ	Kelvin	K
množina snovi	n	mol	mol
svetilnost	J	kandela	cd

Poleg osnovnih enot poznamo tako imenovane izvedene količine, ki so izpeljane iz osnovnih enot, npr. hitrost, sila, tlak. Npr. tlak ima dimenzijo $ML^{-1}T^{-2}$ (masa na dolžino na čas²). Tlak lahko izrazimo v pascalih (Pa). Pascal (Pa) je enak enemu newtonu (N) na kvadratni meter ($Pa = Nm^{-2} = kg \cdot m \cdot s^{-2}$).

2.1 Zapisi enot fizikalnih količin

Poznamo dva načina zapisa enot fizikalnih količin:

- znanstveni zapis,
- normalni zapis.

2.1.1 Znanstveni zapis

Število je zapisano v znanstveni obliki, če je na levi strani decimalne vejice ena številka, ki ni nič.

Primer:

2,345

Če je število večje ali manjše, ga zapišemo z 10 na eksponent.

Primer:

$4,567 \times 10^3$ ali $4,567 \times 10^{-3}$ ali $4,567 \cdot 10^{-3}$

Če je eksponent pozitiven, premaknemo decimalno vejico na **desno** za toliko mest, kot to označuje eksponent.

Če je eksponent negativen, premaknemo decimalno vejico na **levo** za toliko mest, kot to označuje eksponent.

V normalnem zapisu je prvo število zapisano tako, da se decimalna vejica premakne za 3 enote na desno ($4,567 \times 10^3 = 4567$) – število pomnožimo s 1000 (10^3), v drugem primeru pa se premakne decimalna vejica na levo ($4,567 \times 10^{-3} = 0,004\ 567$ – število delimo s 1000 ($10^{-3} = 1/1000$)).

Znanstveno zapisujemo največkrat zelo velika ali zelo majhna števila.

Primeri:

Masa sonca je 1 989 000 000 000 000 000 000 000 000 000 kg.

Znanstveni zapis: $1,989 \times 10^{30}$ kg

Planckova konstanta je: 0,000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 662 607 015 Js.

Znanstveni zapis: $6,626\ 070\ 15 \times 10^{-34}$ Js

2.1.2 Normalni zapis

Pri manjših številih običajno ni težave. Pri velikih ali malih številih pa zapišemo števila tako, da zapisujemo po tri številke, ki jih ločimo s presledkom.

Primeri:

veliko število: 123 456 000 000

malo število: 0,000 000 000 123

2.1.3 Zapisi produktov

Kot smo videli v gornjih primerih, se pri zapisih števil in pri enotah srečujemo s produkti dveh ali več vrst zapisov (potenc, enot). To je značilno za znanstveni in navadni zapis ter zapis enačb.

Posamezne člene ločujemo z različnimi znaki: s piko (.), z dvignjeno piko (•) ali z znakom za krat (\times), lahko pa zapišemo tudi brez znaka.

Primeri:

2,34 Nm ali 2,34 N.m ali 2,34 N \times m

Z dvignjeno piko (•) običajno ločujemo posamezne komponente v kemijskih formulah, npr.

aluminijev sulfat heksahidrat zapišemo: $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 16\text{H}_2\text{O}$

Enote, sestavljene iz negativnih eksponentov, lahko zapišemo na različne načine, npr. zapis za hitrost:

– v dimenzijah:

hitrost, $v = LT^{-1}$ ali $L \cdot T^{-1}$ ali L/T (v = hitrost; L = dolžina; T = čas)

– v enotah:

25 ms^{-1} ali $25 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ali $25 \text{ m} \times \text{s}^{-1}$ ali 25 m/s

Podobno je z zapisi enačb.

Primer: izračun učinka čiščenja

Enačba za učinek čiščenja, izražena v odstotkih, je:

$$\eta = \left(1 - \frac{C_{\text{IZTOK}}}{C_{\text{VTOK}}}\right) \times 100 = \left(\frac{C_{\text{VTOK}} - C_{\text{IZTOK}}}{C_{\text{VTOK}}}\right) \times 100$$

Izraz lahko zapišemo v eni vrstici:

$$\eta = ((C_{\text{VTOK}} - C_{\text{IZTOK}})/C_{\text{VTOK}}) \times 100$$

Pri takem zapisu moramo biti pozorni na oklepaje. Če v gornjem primeru pomotoma izpustimo oklepaj, je izračun napačen.

V naslednji tabeli (Tabela 9) so zbrani simboli, količine in njihove dimenzije, ki se pojavljajo pri čiščenju odpadnih vod.

Tabela 9: Simboli, količine in njihove dimenzije

Simbol	Naziv ali ime količine	Dimenzija	Opomba
<i>I. Geometrične dimenzije, količine in koncentracije</i>			
<i>H</i>	višina ali globina	L	
<i>L</i>	dolžina	L	
<i>δ</i>	debelina	L	
<i>d</i>	premer	L	
<i>A</i>	površina	L²	
<i>a</i>	specifična medfazna površina	L⁻¹	
<i>V</i>	volumen (prostornina)	L³	
<i>ϵ</i>	poroznost med granulami ali prazni volumski delež	–	
<i>X</i>	koncentracija trdnih delcev	M_iL⁻³	1, 2

S	koncentracija raztopljenih snovi	$\mathbf{M_iL^{-3}}$	1, 2
C	celotna koncentracija snovi (trdno + raztopljeno)	$\mathbf{M_iL^{-3}}$	1, 2
II. Termodinamični parametri			
T	temperatura	$\mathbf{\theta}$	
p	celotni tlak (tlak v sistemu)	$\mathbf{ML^{-1}T^{-2}}$	
p_p	parcialni (delni) tlak	$\mathbf{ML^{-1}T^{-2}}$	3
R	splošna plinska konstanta	$\mathbf{ML^2T^{-2}\theta^{-1}mol^{-1}}$	
P	moč	$\mathbf{ML^2T^{-3}}$	
III. Fizikalne lastnosti snovi			
D	difuzijski koeficient, koeficient disperzije	$\mathbf{L^2T^{-1}}$	
μ	dinamična viskoznost	$\mathbf{ML^{-1}T^{-1}}$	
ν	kinematična viskoznost	$\mathbf{L^2T^{-1}}$	
σ	površinska napetost	$\mathbf{MT^{-2}}$	
ρ	gostota	$\mathbf{ML^{-3}}$	
IV. Čas, hitrost in pretoki			
t	kronološki ali tekoči čas	\mathbf{T}	
τ	zadrževalni čas (razmerje med volumnom reakcijske faze in volumskim tokom faze v reaktor), $\tau = V/q$	\mathbf{T}	4
τ̄	srednji hidravlični zadrževalni čas	\mathbf{T}	5
τ_S	srednji zadrževalni čas trdnih snovi	\mathbf{T}	3, 6
v	hitrost	$\mathbf{LT^{-1}}$	
v_s	površinska hitrost ($v = q/S$)	$\mathbf{LT^{-1}}$	7
g	gravitacijski pospešek	$\mathbf{LT^{-2}}$	
q	volumski pretok	$\mathbf{L^3T^{-1}}$	
q_G	volumski pretok plina	$\mathbf{L^3T^{-1}}$	3, 4
D	hitrost razredčevanja ($D = l/\tau = q/V$)	$\mathbf{T^{-1}}$	6, 8
R	volumsko razmerje (recikel)	–	8

V. Parametri za masni pretok, masno obremenitev in toplotni masni prenos			
<i>F</i>	snovni prenos	$\mathbf{M}_i\mathbf{T}^{-1}$	1
<i>N_X</i>	obremenitev s trdnimi snovmi na enoto površine	$\mathbf{M}_X\mathbf{L}^{-2}\mathbf{T}^{-1}$	1, 3, 6
<i>B_A</i>	snovni pretok na enoto površine	$\mathbf{M}_X\mathbf{L}^{-2}\mathbf{T}^{-1}$	1, 3, 6
<i>B_V</i>	snovni pretok na enoto volumna (= volumska obremenitev)	$\mathbf{M}_i\mathbf{L}^{-2}\mathbf{T}^{-1}$	1, 3, 6
<i>B_B</i>	snovna obremenitev na enoto blata (= obremenitev blata)	$\mathbf{M}_i\mathbf{M}_X^{-1}\mathbf{T}^{-1}$	1, 3, 6
<i>k</i>	koeficient snovnega prenosa	$\mathbf{L}\mathbf{T}^{-1}$	9
<i>K</i>	splošni koeficient snovnega prenosa	$\mathbf{L}\mathbf{T}^{-1}$	9
<i>α</i>	relativni delež prenosa kisika	–	6
<i>β</i>	relativni delež nasičenja kisika	–	6
VI. Reakcijske hitrosti in stehiometrija			
<i>r_A</i>	reakcijska hitrost na enoto površine	$\mathbf{M}_i\mathbf{L}^{-2}\mathbf{T}^{-1}$	1, 3, 10
<i>r_V</i>	reakcijska hitrost na enoto volumna	$\mathbf{M}_i\mathbf{L}^{-3}\mathbf{T}^{-1}$	1, 3, 10
<i>r_X</i>	reakcijska hitrost na enoto biomase	$\mathbf{M}_i\mathbf{M}_X^{-1}\mathbf{T}^{-1}$	1, 3, 10
<i>μ</i>	specifična hitrost rasti biomase	\mathbf{T}^{-1} (iz $\mathbf{M}_X\mathbf{M}_X^{-1}\mathbf{T}^{-1}$)	1
<i>μ_{max}</i>	maksimalna specifična hitrost rasti biomase	\mathbf{T}^{-1} (iz $\mathbf{M}_X\mathbf{M}_X^{-1}\mathbf{T}^{-1}$)	1, 3
<i>μ_{obs}</i>	opazovana ali neto specifična hitrost rasti biomase	\mathbf{T}^{-1} (iz $\mathbf{M}_X\mathbf{M}_X^{-1}\mathbf{T}^{-1}$)	1, 3
<i>b</i>	specifična hitrost izgube biomase	\mathbf{T}^{-1} (iz $\mathbf{M}_X\mathbf{M}_X^{-1}\mathbf{T}^{-1}$)	1, 11
<i>Y</i>	koeficient prirasti biomase	$\mathbf{M}_X\mathbf{M}_X^{-1}$	1
<i>Y_{obs}</i>	opazovani ali neto koeficient prirasti biomase	$\mathbf{M}_X\mathbf{M}_X^{-1}$	1, 3
<i>v</i>	stehiometrični koeficient	$\mathbf{n}_X\mathbf{n}_i^{-1}$	1
VII. Parametri za reakcijske hitrosti in pretvorbe (konverzije)			
<i>n</i>	red reakcije (<i>cⁿ</i>)	–	
<i>k</i>	koeficient reakcijske hitrosti	dimenzija je odvisna od kinetike	8, 10, 12

K_S	konstanta nasičenja, Michaelis-Mentenova konstanta	$M_i L^{-3}$	1, 3
K_t	konstanta inhibicije	dimenzija je odvisna od kinetike	3
E	aktivacijska energija reakcije	$ML^2 T^{-2} n^{-1}$	13
κ	temperaturni koeficient	θ^{-1}	14
E	izkoristek postopka	–	8
η	učinek naprave	–	8

Opombe

1. Indeksa i in j se nanašata na spojine ali snovi, ki jih označi avtor. Indeks X se posebej nanaša na trdne snovi, ki jih označi avtor (npr. suspendirane snovi, hlapne suspendirane snovi, koncentracija aktivnega blata).
2. Vsota koncentracije trdnih snovi in koncentracije raztopljenih snovi je enaka skupni koncentraciji snovi ($C = X + S$). Če je snov raztopljena, se uporablja simbol S .
3. Indeks, ki se tu uporablja, je pripadajoči del simbola.
4. Za pline je treba opredeliti temperaturo in tlak.
5. Vrednost $\bar{\tau}$ mora biti izračunana iz porazdelitvene funkcije zadrževalnega časa.
6. Avtor mora količino posebej definirati z enačbo.
7. Ta količina in ustrezeni simbol predstavljata hidravlično obremenitev biološkega reaktorja (precejalnika, rotirajočega biološkega kontaktorja, fluidiziranega sloja itd., preplavljanje usedalnika itd).
8. Simbol se uporabi le, če ni uporabljen drug simbol. Če bi lahko prišlo do zmede, se uporabi indeks (npr. uporabi D za hitrost razredčevanja, D_{ax} pa aksialni disperzijski koeficient).
9. Pri k in K je treba uporabiti ustrezeni indeks (npr. k_L , k_G , K_L in K_G). Indeksi so pripadajoči deli simbola.
10. Uporaba dS/dt , dC/dt , dX/dt kot splošne definicije reakcijske hitrosti (r) velja le za šaržne reaktorje.
11. Simbol b se lahko nanaša na mehanizme, kot so razpad, endogeni mehanizem, odmiranje itd., le-ti se lahko razložijo z indeksom, ki ga definira avtor. Tak indeks postane pripadajoči del simbola.
12. Tip in red reakcije lahko označimo z indeksom, če je to potrebno.
13. Arrheniusov temperaturni koeficient reakcijske hitrosti, ki je uporabljen v enačbi, je:

$$k = k_0 e^{E_i/RT}$$

14. Temperaturni koeficient, kot je uporabljen v enačbi:

$$\frac{k_{T1}}{k_{T2}} = e^{(T1-T2)}$$

Tehniki uporabljajo naslednjo enačbo, ki dimenzijsko ni homogena (θ je temperaturni koeficient).

$$\frac{k_{T1}}{k_{T2}} = \theta^{(T1-T2)}$$

2.1.4 Indeksi (angl. subscripts)

Informacija, ki vsebuje indeks, je urejena na naslednji način, *stopnjo* ali *zaporedje*.

1. Indeksi kot pripadajoči deli simbola, kot so označeni v seznamu simbolov (npr. θ_x in μ_{max}), so obvezni.
2. Abecedni indeksi, ki predstavljajo skupino spojine ali snovi, so potrebni samo takrat, ko avtor predstavlja s simboli več kot eno vrsto spojine ali snovi.
3. Okrajšave, uporabljene kot indeks, definirajo avtorji sami in so lahko osnovane na jeziku, v katerem je pisan prispevek (članek, referat, poročilo idr.). Primeri:

S_{BPK} – koncentracija BPK (slovensko)

S_{BOD} – BSB concentration (angleško)

S_{BSB} – BSB konzentration (nemško)

B_{V,TBPK} – volumska obremenitev, izražena kot celotna BPK (slovensko)

B_{V,TBOD} – Total BOD volumetric loading rate (angleško)

B_{V,TBSB} – Raumbelastung mit totalem BSB (nemško)

4. Številčni indeksi določajo lokacijo, na katero se simbol nanaša. Taki indeksi so potrebni samo takrat, ko se simboli uporabljajo zato, da bi predstavljali spojine ali snovi na različnih položajih v tabeli.

Mesto, na katero se nanaša simbol, naj bo označeno s pozitivnim celim številom, ki ne sme biti nič (**0**). Oštevilčeno mesto mora avtor definirati z diagramom poteka ali seznamom.

5. Indeks označuje različne informacije, kot so temperatura, statistične lastnosti itd. Primeri:

$$K_{T1} = \text{reakcijska hitrost pri temperaturi } T_1$$

$$Y_M = \text{srednji koeficient prirasti biomase}$$

Opomba: Indeksi, ki pripadajo različnim skupinam, morajo biti ločeni z vejico.

2.1.5 Posebni zaznamki

Čas je lahko označen v oklepaju za simbolom. Primera:

$$c(t) = \text{celotna snovna koncentracija ob času } t$$

$$c(5) = \text{celotna snovna koncentracija ob času 5 minut (ali ur itd.)}$$

2.2 Dopolnitve

Leta 2010 je Corominas s sodelavci (5) dopolnil standardizirane zapise za modeliranje čiščenja odpadnih vod. Uporablja se predvsem pri modelih za biološko čiščenje odpadnih vod z aktivnim blatom, ki jih je razvila strokovna skupina za matematično modeliranje, dimenzioniranje in vodenje biološkega čiščenja odpadnih vod (6). Razlike so le v izrazih, ki so jih uvedli pri modeliranju, konvencionalne oznake niso spremenjene (Tabela 10).

Tabela 10: Primerjava prejšnjih in novih zapisov za ASM2d. Krepko (angl. bold) v novem zapisu pomeni predlagano spremembo imena spremenljivke stanja

Opis	Stari zapis	Novi zapis
Organske snovi, ki fermentirajo	S_F	S_F
Fermentacijski produkti, kot acetat	S_A	S_{VFA}
Topne nerazgradljive organske snovi	S_I	S_U
Koncentracija raztopljenega kisika	S_{O2}	S_{O2}
Počasi biorazgradljivi substrati ⁽¹⁾	X_S	X_{CB}
Trdne nerazgradljive organske snovi ⁽²⁾	X_I	X_U
Amonijak in amonijeve snovi	S_{NH3}	S_{NHx}
Nitratni in nitritni dušik ⁽³⁾	S_{NO3}	S_{NOx}
Raztopljeni dušikov plin	S_{N2}	S_{N2}
Topni anorganski fosfor	S_{PO4}	S_{PO4}
Navadni heterotrofni organizmi	X_H	X_{OHO}
Avtotrofni nitrifikacijski organizmi	X_{OUT}	X_{ANO}
Fosfor akumulacijski organizmi	X_{PAO}	X_{PAO}
Notranji produkt v celicah fosfor akumulacijskih organizmov	X_{PHA}	$X_{PAO,Stor}$
Shranjeni polifosfati v fosfor akumulacijskih organizmih ⁽⁴⁾	X_{PP}	$X_{PAO,PP}$

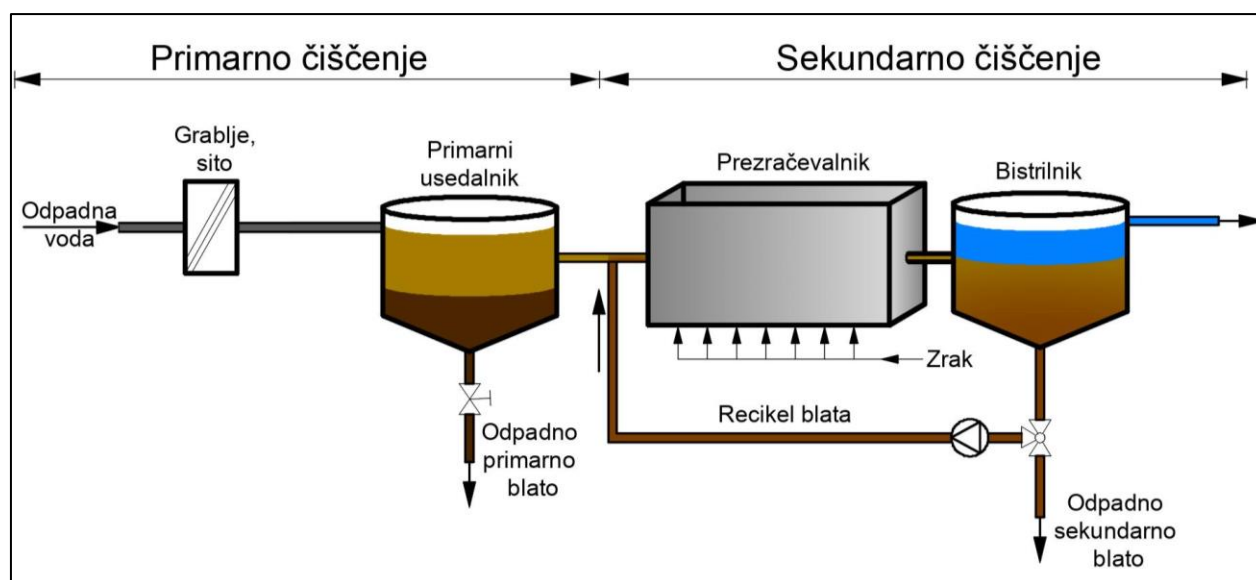
Kovinski hidroksidi	X_{MeOH}	X_{MeOH}
Kovinski fosfati	X_{MeP}	X_{MeP}
Alkaliniteta	S_{ALK}	S_{ALK}
Celotne suspendirane snovi	X_{TSS}	X_{TSS}

- (1) V definicijah ASM2d XS vključuje koloidne substrate
(2) XI ne vključuje koloidnih substratov.
(3) Običajno NO_3 pomeni samo nitrat.
(4) XPHA ni neposredno izmerjena, PHA (PHA = polihidroksialkanoati).

Najpogosteje uporabljeno čiščenje je biološko čiščenje odpadne vode z aktivnim blatom.

3 Poimenovanje na področju biološkega čiščenja odpadnih vod

Ob natančnem ogledu konvencionalne biološke čistilne naprave ugotovimo, da je čiščenje sestavljeno iz dveh stopenj: primarnega čiščenja, ki bi mu lahko rekli fizikalno čiščenje, in sekundarnega ali biološkega čiščenja (Slika 2).



Slika 2: Konvencionalno biološko čiščenje z aktivnim blatom

Pri poimenovanju posameznih komponent, ki se nanašajo na čiščenje, moramo upoštevati vrsto parametrov, kot so kemijski, biokemijski, tehnološki in kinetični parametri.

3.1 Splošno

Pri pisanju simbolov stremimo k temu, da so preprosti. Če je le mogoče, upoštevamo naslednje:

- izogibamo se grškim črkam, če niso v mednarodni rabi;
- izogibamo se indeksom;

- po potrebi naj bodo indeksi ločeni z vejico;
- okrajšave naj bodo načelno slovenske, uporabljamo pa lahko nekatere ustaljene mednarodne, največkrat angleške okrajšave.

3.2 Kemijski in biokemijski parametri

Pri biološkem čiščenju odpadnih vod pogosto uporabljamo kemijske in biokemijske parametre, ki nam služijo predvsem za opis čiščenja in izračun učinka čiščenja oz. odstranjevanja posameznih komponent iz odpadne vode. Najpogosteje se uporabljajo naslednji parametri:

- **Biokemijska potreba po kisiku (BPK)** – v odvisnosti od časa zapišemo: BPK_t , kjer je $t = 1, 2, 3 \dots, k$ dni. Tako BPK v odvisnosti od časa zapišemo: $BPK_1, BPK_2 \dots, BPK_5 \dots, BPK_k$. BPK_k je končni BPK (angl. ultimate, BOD_u). Enota za BPK je mg/L.
- **Kemijska potreba po kisiku (KPK)**, enota je mg/L.
- **N** je koncentracija dušikovih spojin, preračunano na dušik, z enoto mg/L, ki nastopa v različnih valenčnih stanjih oz. spojinah:
 - N_{Kj} – Kjeldahlov dušik ali TKN (totalni Kjeldahlov dušik),
 - NH_4-N – amonijev dušik,
 - NO_2-N – nitritni dušik,
 - NO_3-N – nitratni dušik.
- **P** je celotna koncentracija fosforja, enota je mg/L.
- **P-orto** je koncentracija fosforja v obliki PO_4^{3-} (ortofosfatni fosfor), enota je mg/L.
- V elaboratih in publikacijah pišemo $Mg^{2+}, Cr^{6+}, Cl^-, SO_4^{2-}$ itd., enota je mg/L.
- V tehničnih poročilih in projektih pišemo tudi: magnezij, krom(VI), klorid, sulfat itd.
- **TOC** je koncentracija celotnega organskega ogljika, enota je mg/L. Kratica izhaja iz angleščine (**T**otal **O**rganic **C**arbon) in je v mednarodnem merilu uveljavljena, zato je ne prevajamo v slovenščino.
- **Biomasa** (angl. biomass, mass) je hlapni (volatilni) del ali žarilna izguba (aktivnega) blata. Simbol je X_V , enota pa mg/L ali g/L, redkeje kg/m^3 .
- Za **koncentracijo aktivnega blata** ("suha snov" ali "sušina") je simbol **X**, okrajšava SS – suspendirane (trdne) snovi (Angleži in Američani največkrat uporabljajo kratico MLSS – **M**ixed **L**iquor **S**uspended **S**olids), enota je mg/L.
- **CSRT** – popolnoma premešani reaktor s kontinuiranim pretokom (angl. **C**ompletely **S**tirred **T**ank **R**eactor). Okrajšava je mednarodno ustaljena.
- **RBC** – rotirajoči biološki kontaktor, biodisk (angl. **R**otating **B**iological **C**ontactor). Opomba: *biodisk* je zaščiteno ime, zato ga ne smemo uporabljati v javnih objavah namesto RBC!

- **MBBR** – membranski reaktor s plavajočim nosilcem biomase (angl. **M**oving **B**ed **B**iofilm **R**eactor). Okrajšava je mednarodno ustaljena.
- **MBR** – membranski bioreaktor (angl. **M**embrane **B**iological **R**eactor). Okrajšava je mednarodno ustaljena.
- **UASB** – anaerobni reaktor z granulirano biomaso (angl. **U**pflow **A**naerobic **S**ludge **B**lanket). Okrajšava je mednarodno ustaljena in se je ne da dobesedno prevesti.

3.3 Tehnološki parametri

Fizikalne količine in tehnološki parametri, ki se najpogosteje uporabljajo pri biološkem čiščenju odpadnih vod, so prikazani v naslednjih tabelah (Tabela 11, Tabela 12, Tabela 13 in Tabela 14). Nekateri opisi, ki spadajo v to poglavje, so podani že v prejšnji tabeli (Tabela 9).

Tabela 11: Fizikalne količine in njihove enote

Okrajšava	Naziv	Enota
<i>Geometrijske dimenzije</i>		
H	višina ali globina	mm; cm; dm; m
L	dolžina	mm; cm; dm; m
D	debelina ali širina	mm; cm; dm; m
d	premer	mm; cm; dm; m
A	površina	dm ² ; m ²
V	volumen oz. prostornina	mL; L; dm ³ ; m ³
<i>Termodinamični parametri</i>		
T	temperatura	°C; K
p	tlak	bar; Pa; kg m ⁻¹ s ⁻²
R	splošna plinska konstanta*	kg m ² s ⁻² K ⁻¹ mol ⁻¹
<i>Ostali fizikalni parametri</i>		
t	čas	ura (h); dan (d)
v	hitrost	m s ⁻¹
μ	dinamična viskoznost	Pa s = kg m ⁻¹ s ⁻¹
ν	kinematična viskoznost	m ² s ⁻¹
σ	površinska napetost	kg s ⁻²
D	difuzivnost	m ² s ⁻¹
ρ	gostota	g cm ⁻³ ; kg m ⁻³

* R = 8,314 459 8 kg m²s⁻² K⁻¹ mol⁻¹(= J K⁻¹ mol⁻¹)

Tabela 12: Tehnološki parametri

Št.	Parameter	Simbol	Enota	Opis, ostale oznake, pripombe
1	koncentracija blata	X	mg L ⁻¹	uporablja se pri biološkem čiščenju z aktivnim blatom; SS, MLSS
2	koncentracija biomase	X _V	mg L ⁻¹	organski del v aktivnem blatu, VSS, MLVSS
3	volumski indeks blata	VIB	mL g ⁻¹	specifični volumski indeks VIB = (usedljivo v 30')/X
4	koncentracija substrata	S	mg L ⁻¹ ; g m ⁻³	označuje raztopljeni in lebdeči del onesnaženja, brez usedljivih delcev
5	koncentracija onesnaženja	c	mg L ⁻¹ g L ⁻¹	celotna koncentracija onesnaženja katere koli komponente
6	hidravlični pretok	Q	L s ⁻¹ ; m ³ h ⁻¹ ; m ³ d ⁻¹	pretok odpadne vode na čistilno napravo
7	zadrževalni čas	τ	h; d	po potrebi tudi hidravlični zadrževalni čas
8	srednji zadrževalni čas	$\bar{\tau}$	h; d	po potrebi tudi srednji hidravlični zadrževalni čas
9	zadrževalni čas blata	τ _X	h; d	srednji zadrževalni čas blata v reaktorju = starost blata
10	zadrževalni čas biomase	τ _M	h; d	srednji zadrževalni čas biomase v reaktorju
11	hitrost razredčevanja	D	h ⁻¹ ; d ⁻¹	D = 1/t _M ; angl. dilution rate
12	povratno razmerje	R	–	recikel pri premešanem reaktorju, reflux pri precejalniku ali RBC
13	pretok onesnaženja ali breme onesnaženja	L	kg h ⁻¹ ; kg d ⁻¹	je analogen masnemu pretoku; lahko tudi ton/dan; L = c x Q)
14	površinska hitrost	v _S	m h ⁻¹	m ³ (m ² h); pri usedalnikih je to površinska obremenitev
15	volumska obremenitev	O _V	m h ⁻¹ ; m d ⁻¹	tudi površinska (hidravlična) obremenitev; pri precejalniku in RBC; m ³ m ⁻² d ⁻¹
16	hidravlična obremenitev	O _H	h ⁻¹ ; d ⁻¹	m ³ /(m ³ h); uporablja se pri sistemih z aktivnim blatom
17	biološka obremenitev	O _A	g m ⁻² ; d ⁻¹	sinonim za masni pretok na površino; uporablja se pri RBC
18	biološka obremenitev	O _M	d ⁻¹	gBPK/(gXv.d); g g ⁻¹ d ⁻¹ ; uporablja se pri postopkih z aktivnim blatom; F/M

19	obremenitev blata	B_X	d^{-1}	$gBPK/(gX.d)$; $g g^{-1}d^{-1}$; uporablja se pri postopkih z aktivnim blatom; B_{TS}
20	volumska obremenitev	B_V	$g L^{-1}d^{-1}$; $kg m^{-3}d^{-1}$	$g BPK/(V.d)$; V je volumen prezračevalnika

3.4 Kinetični parametri

Tabela 13: Laboratorijski model, snovna bilanca

Št.	Parameter	Simbol	Enota	Opis, ostale oznake
1	reakcijska hitrost pretvorbe substrata	r_S	h^{-1} ; d^{-1}	$\frac{dS}{dt} \cdot \frac{1}{X}$ oz. $\frac{dS}{dt} \cdot \frac{1}{X_V}$; U; q
2	specifična hitrost rasti biomase	μ	h^{-1} ; d^{-1}	$\frac{dS}{dt} \cdot \frac{1}{X}$ oz. $\frac{dS}{dt} \cdot \frac{1}{X_V}$
3	maksimalna specifična hitrost rasti biomase	μ_{max}	h^{-1} ; d^{-1}	analogno kot pri 2
4	dejanska (opazovana) specifična hitrost rasti biomase	μ_o	h^{-1} ; d^{-1}	analogno kot pri 2 in 3
5	specifična hitrost odmiranja biomase	b	h^{-1} ; d^{-1}	$\frac{mg}{mg \cdot d}$; loss rate; decay
6	koeficient prirasti biomase	Y	–	mg/mg
7	koeficient dejanske (opazovane) prirasti biomase	Y_o	–	mg/mg
8	stehiometrični koeficient	v	–	mol/mol
9	red reakcije	n	–	v poštevek pridejo: multipli ničelni red, 1. red in pogojno 2. red
10	reakcijska konstanta	k	d^{-1}	
11	Michaelis-Mentenova konstanta	K_S	$mg L^{-1}$	konstanta nasičenja pri Monodovem in Michaelis-Mentenovem modelu
12	razgradljivi del aktivnega blata	f	–	X; biodegradable fraction
13	nerazgradljivi del substrata	S_n	$mg L^{-1}$	N – nerazgradljivo (nondegradable)
14	koncentracija substrata v odpadni vodi	S_i	$mg L^{-1}$	vtok (i – influent)

15	koncentracija substrata v prezračevalniku	S_0	mg L^{-1}	s to koncentracijo izračunavamo obremenitev biološkega dela ČN
16	koncentracija substrata v iztoku	S_e	mg L^{-1}	iztok (e – effluent)
17	pretok surove odpadne vode na ČN	Q_i	$\text{L d}^{-1} \text{ m}^3 \text{d}^{-1}$	
18	pretok odpadne vode v prezračevalnik	Q_o	$\text{L d}^{-1} \text{ m}^3 \text{d}^{-1}$	$Q_o = Q_i + Q_r = Q_i(1 + r)$; r – recikel
19	iztok iz dna usedalnika	Q_u	$\text{L d}^{-1} \text{ m}^3 \text{d}^{-1}$	$Q_u = Q_w + Q_r$; u – usedalnik (underflow)
20	pretok suspenzije odvečnega blata*	Q_w	$\text{L d}^{-1} \text{ m}^3 \text{d}^{-1}$	odpadek, odpadno blato w – wastage, waste sludge
21	pretok suspenzije povratnega blata (recikel)	Q_r	$\text{L d}^{-1} \text{ m}^3 \text{d}^{-1}$	r – recikel (recycle)
22	prirast biomase	ΔX_V	kg d^{-1}	
23	prirast blata	ΔX	kg d^{-1}	

* odvečno blato = odpadno blato

Tabela 14: Respirimetrični parametri

Št.	Parameter	Simbol	Enota	Opis, ostale oznake
1	koncentracija raztopljenega kisika	C_{O_2}	mg L^{-1}	mg/L O_2
2	topnost kisika pri konstantni temperaturi	C_s	mg L^{-1}	mg/L O_2
3	topnost kisika pri delovnih razmerah	C_s	mg L^{-1}	mg/L O_2 ; delovne razmere: $dC/dt = 0$; $Q = \text{konst.}$
4	koncentracija raztopljenega kisika pri standardnih pogojih	C_{ST}	mg L^{-1}	mg/L O_2
5	specifična hitrost porabe kisika – eksogeni del	R_e	d^{-1}	$\text{g O}_2/(\text{g VSS.d})$ oz. $\text{g O}_2/(\text{g X}_V.\text{d})$; e – eksogena
6	specifična hitrost porabe kisika – endogeni del	R_i	d^{-1}	$\text{g O}_2/(\text{g VSS.d})$ oz. $\text{g O}_2/(\text{g X}_V.\text{d})$; i – indirektna (endogena)
7	celotna hitrost porabe kisika	R_t	d^{-1}	$\text{g O}_2/(\text{g VSS.d})$ oz. $\text{g O}_2/(\text{g X}_V.\text{d})$; t – totalna (celotna)
8	hitrost porabe kisika – eksogeni del	r_e	$\text{mg L}^{-1}\text{h}^{-1}$	$\text{mg O}_2/(\text{L.h})$ ali $\text{mg O}_2/(\text{L.min})$

9	hitrost porabe kisika – endogeni del	r_i	$\text{mg L}^{-1}\text{h}^{-1}$	$\text{mg O}_2/(\text{L.h})$ ali $\text{mg O}_2/(\text{L.min})$
10	celotna hitrost porabe kisika	r_t	$\text{mg L}^{-1}\text{h}^{-1}$	$\text{mg O}_2/(\text{L.h})$ ali $\text{mg O}_2/(\text{L.min})$
11	povprečni koeficient prenosa kisika	$K_L a$	$\text{min}^{-1}; \text{h}^{-1}$	
12	poraba kisika	PK	$\text{g d}^{-1}; \text{kg d}^{-1}$	
13	razmerje prenosa kisika	α	–	Oxygen transfer ratio $\alpha = (K_L a \text{ odp. vode} / K_L a \text{ vode})$
14	razmerje nasičenosti kisika	β	–	Oxygen saturation ratio $\beta = (c_s \text{ odp. vode} / c_s \text{ vode})$
15	kapaciteta kisika na breme	OC/L	–	Oxygen Capacity/Load

3.5 Primeri in opombe

1. Med površinsko hitrostjo u in hidravlično obremenitvijo O_A razlikujemo samo v tehniki, pri objavah uporabljamo u namesto O_A .
2. Običajno uporabljamo recipročno vrednost $\frac{1}{O_A} = t_z$ ($t_z =$ zadrževalni čas).
3. F , B_A , B_B , B_X in B_V lahko izražamo s parametri BPK, KPK oz. TOC. Po potrebi in da ne pride do zamenjav, pišemo dvojni indeks, ločen z vejico, npr.:

$F_{BPK}, F_{KPK}, F_{TOC}$ z enoto kg/h ali kg/d

$B_{A,BPK}, B_{A,KPK}, B_{A,TOC}$ z enoto kg/h ali kg/d

$B_{V,BPK}, B_{V,KPK}, B_{V,TOC}$ z enoto kg/h ali kg/d itd.

4. Dimenzija reakcijske konstante je odvisna od reda reakcije. Po potrebi lahko z indeksom n označimo red reakcije, npr.:

multi ničelni red: k_0 , dimenzija: $1 \text{ mg}^{-1}\text{d}^{-1}$

prvi red: k_1 , dimenzija: d^{-1}

Tudi k lahko izrazimo na osnovi BPK, KPK ali TOC. Po potrebi pišemo dvojni indeks, ločen z vejico, npr.: $k_{BPK}, k_{KPK}, k_{TOC}$ itd.

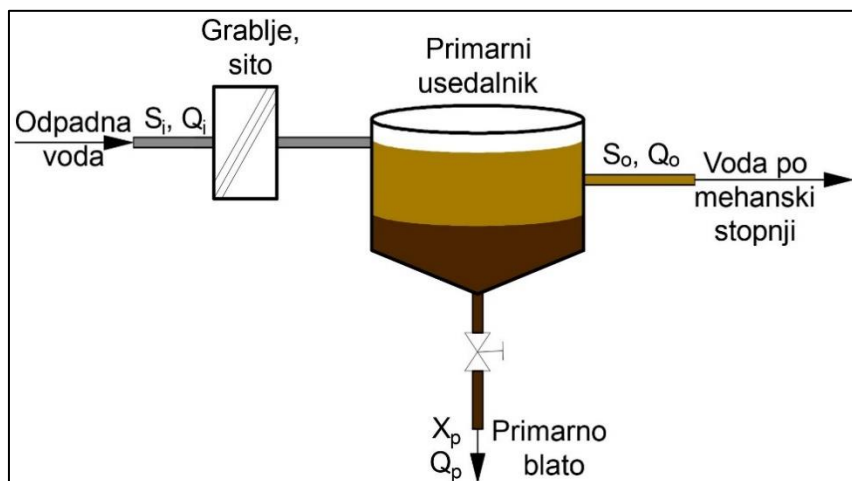
4 Komunalne čistilne naprave

Najpogostejši način biološkega čiščenja zasledimo ravno pri čiščenju komunalnih odpadnih vod. V njih lahko poteka cela vrsta postopkov, kot so primarno, sekundarno in terciarno čiščenje, razen tega pa zasledimo vrsto modifikacij biološkega čiščenja, kot so npr. MBBR, MBR, SBR in

RBC. Ker zahteva vsak postopek specifično poimenovanje, si bomo ogledali posamezne postopke.

4.1 Primarno čiščenje

Pri primarnem čiščenju običajno govorimo o odstranjevanju večjih grobih delcev in hitro usedljivih snoveh. To se dogaja v peskolovih, grabljah, sitih in primarnem usedalniku. Več podatkov o primarnem čiščenju najdemo v knjigi *Sodobni postopki čiščenja odpadnih vod (7)*.



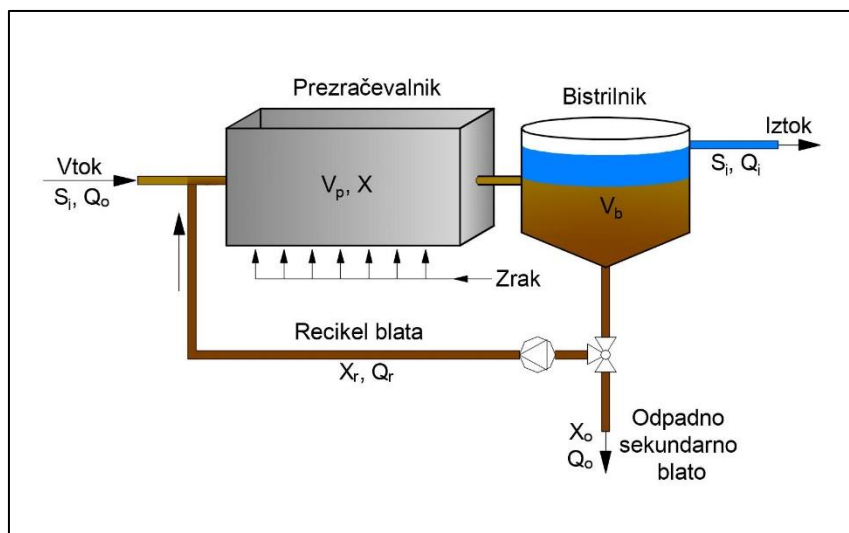
Slika 3: Primarno čiščenje

Pomembni so podatki o koncentracijah in pretokih na posameznih vzorčnih mestih.

Tako ima odpadna voda, ki doteka na čistilno napravo (vtok), simbol i (substrat – S_i , pretok – Q_i). Delno prečiščena odpadna voda, ki zapušča primarni usedalnik, ima simbol o (substrat – S_o , pretok – Q_o), pomemben pa je del blata, ki ga odstranjujemo iz primarnega usedalnika, označujemo ga s simbolom p (koncentracija odstranjenega blata – X_p , pretok odstranjenega blata – Q_p). Pomemben parameter je tudi volumen primarnega usedalnika.

4.2 Sekundarno čiščenje

Za sekundarno ali biološko čiščenje odpadne vode je značilno, da je sestavljeno iz dveh ločenih reaktorjev, in sicer iz prezračevalnika, v katerem poteka najpomembnejši proces odstranjevanja razgradljivih organskih snovi v prisotnosti aktivnega blata, in bistrilnika, katerega starejši naziv je sekundarni usedalnik, v katerem se ločita suspenzija aktivnega blata in prečiščena voda.



Slika 4: Sekundarno ali biološko čiščenje

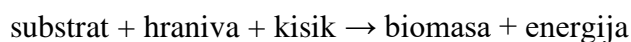
Pomembni parametri pri sekundarnem čiščenju so prikazani v naslednji tabeli (Tabela 15).

Tabela 15: Značilni parametri pri sekundarnem čiščenju

Parameter	Simbol
Koncentracija substrata, ki doteka v prezračevalnik	S_o
Pretok odpadne vode, ki doteka v prezračevalnik	Q_o
Volumen prezračevalnika	V_p
Koncentracija aktivnega blata v prezračevalniku	X
Volumen bistrlinika	V_b
Koncentracija substrata, ki teče iz čistilne naprave	S_i
Pretok odpadne vode, ki teče iz čistilne naprave	Q_i
Koncentracija odpadnega blata, ki gre iz bistrlinika	X_o
Pretok odpadnega blata, ki gre iz bistrlinika	Q_o
Koncentracija blata recikla	X_r
Pretok recikla	Q_r

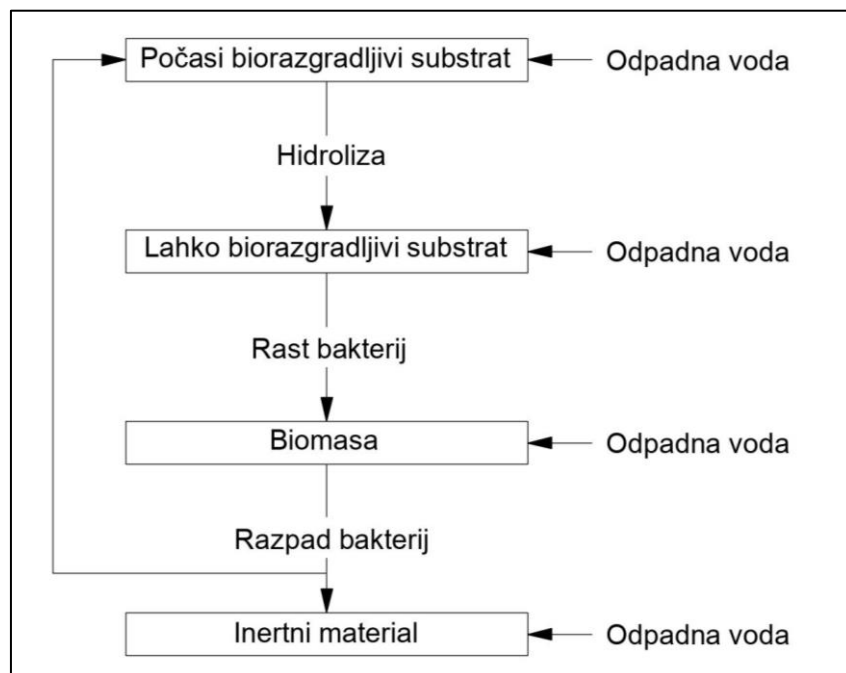
4.3 Mikroorganizmi in njihovo delovanje

Osnovni namen sekundarnega čiščenja odpadnih vod je odstranjevanje razgradljivih organskih snovi, pri čemer so nosilci čiščenja različne vrste bakterij. Bakterije potrebujejo za svojo rast poleg organskih snovi (substrata) še kisik in hraniva (dušikove in fosforjeve spojine). To lahko ponazorimo s preprosto enačbo:



Pretežni del bakterij v aktivnem blatu (heterotrofne bakterije) uporablja ogljik iz manjših organskih molekul kot substrat, nekatere bakterije (avtotrofne bakterije), ki so ključne za biološko odstranjevanje hraniv, uporabljajo kot substrat anorganski ogljik. Ko bakterije

razpadejo, se organski ogljik bakterij delno ponovno uporabi. Cikel biomase lahko poenostavljeno prikažemo na naslednji sliki (Slika 5).



Slika 5: Življenjski cikel biomase – ponovna uporaba in produkcija biomase v aktivnem blatu (8)

4.3.1 Hidroliza

Hidroliza je encimsko pospešen proces, ki večje organske molekule, vključno s topnimi snovmi in delci organskih snovi, pretvori v manjše biološko razgradljive molekule. Hitrost procesa hidrolize je nižja v primerjavi s hitrostjo rasti biomase, je omejitveni faktor za rast biomase, če vsebuje substrat v surovi odpadni vodi pretežno večje organske molekule. Ker je hidroliza splošen izraz za veliko število različnih biokemijskih procesov, je hitrost celotnega procesa običajno podana kot kinetični izraz prvega reda:

$$\frac{dS_h}{dt} = k_h \cdot S_h$$

Pri tem sta:

S_h – koncentracija počasi biorazgradljivih organskih snovi

k_h – časovna konstanta procesa

4.3.2 Rast bakterij

Za lahko biorazgradljivi substrat velja samo substrat za rast biomase. Hitro biorazgradljivi substrat vsebuje organske molekule, kot so npr. očetna kislina, metanol, etanol, propionska

kislina in glukoza. Hitrost rasti biomase in vpliv omejitve hraniv ali substrata lahko modeliramo z uporabo Monodove kinetike, ki jo opišemo z naslednjo enačbo:

$$\frac{dX_B}{dt} = \mu_{max} \frac{S_n}{S_n + K_S} \cdot X_B$$

Pri tem so:

S_n – koncentracija omejitvenega hraniva ali substrata

X_B – koncentracija aktivne biomase

μ_{max} – maksimalna specifična hitrost rasti biomase

K_S – ustrezna konstanta polovičnega nasičenja

Gornja enačba kaže, da je Monodova kinetika približno ničelnega reda, če velja, da je $S_n \gg K_S$, in prvega reda, če je $S_n \ll K_S$.

Prirast biomase je razmerje med deležem proizvedene biomase, ΔX_B , in odstranjenim hranivom oz. substratom, $-\Delta S$. Imenuje se opazovani koeficient prirasti biomase, Y_{obs} :

$$Y_{obs} = -\frac{\Delta X_B}{\Delta S}$$

Omejitvena koncentracija hraniva S_n je podana z naslednjo enačbo:

$$\frac{dS_n}{dt} = -\frac{\mu_{max}}{Y_{obs}} \cdot \frac{S_n}{S_n + K_S} \cdot X_B$$

4.3.3 Razpadanje bakterij (bakterijski razpad, razkroj)

Biomasa, ki se izgublja, vključuje veliko število mehanizmov, vključno z endogenim metabolizmom, smrtjo, plenilstvom in lizo (npr. hidrolizo). Razpad bakterij je pretvorba aktivne biomase v počasi biorazgradljiv substrat (Slika 5). Del razpada bakterij je inerten, ker je proces hidrolize prepočasen glede na starost blata v čistilni napravi. Razpad biomase opišemo kot proces kinetike prve stopnje:

$$\frac{dX_B}{dt} = -b \cdot X_B$$

Pri tem sta:

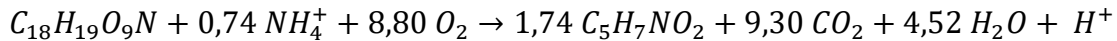
X_B – koncentracija aktivne biomase

b – hitrost rasti ($b > 0$)

Predpostavljamo, da je hitrost razpada neodvisen od okoljskih dejavnikov, tj. temperature, koncentracije raztopljenega kisika, hraniv in substrata.

4.4 Aerobno odstranjevanje organskega ogljika

Organske snovi v surovi odpadni vodi pogosto delimo v številne podskupine (Slika 5). Najbolj razširjena podskupina so lahko biorazgradljive snovi. V praksi je aerobna heterotrofna prirast biomase v območju 0,5–0,6 g KPK biomase na g KPK substrata, zaradi česar bakterije zelo hitro rastejo. Tvorbo značilne spojine biomase ($C_5H_7NO_2$) iz značilnega substrata ($C_{18}H_{19}O_9N$) s tipičnim koeficientom rasti lahko zapišemo z naslednjo enačbo:



Končni produkti na desni strani biokemijske enačbe so očitno neškodljivi za okolje.

Odstranjevanje hitro biorazgradljivega substrata pri anaerobnih razmerah brez drugih omejitev rasti kot hitro razgradljivi substrat lahko zapišemo z naslednjo Monodovo kinetično enačbo:

$$\frac{dS_S}{dt} = \frac{\mu_{max,H}}{Y_{obs,S}} \cdot \frac{S_S}{S_S + K_S} \cdot \frac{S_{O_2}}{S_{O_2} + K_{O_2}} \cdot X_{B,H}$$

Pri tem so:

S_S – koncentracija hitro razgradljivega substrata

S_{O_2} – koncentracija raztopljenega kisika

$X_{B,H}$ – koncentracija aktivnih heterotrofnih bakterij

$\mu_{max,H}$ – maksimalna specifična hitrost rasti heterotrofnih bakterij

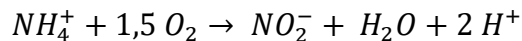
$Y_{obs,S}$ – koeficient opazovane hitrosti rasti biomase substrata

K_S, K_{O_2} – ustrezne konstante polnasičenja

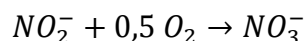
V primeru, da odredjajo omejitev hraniva, je treba desno stran Monodove enačbe popraviti.

4.5 Nitrifikacija

Nitrifikacija je dvostopenjski mikrobiološki proces, ki pretvarja amonij v nitrit in nato v nitrat. Topni amonijev dušik služi kot vir energije za rast biomase posebni skupini bakterij, ki jih imenujemo *nitrifikatorji*. Če se amonij uporablja samo kot vir energije, je prva stopnja oksidacije amonija pretvorba v nitrit (*nitritacija*):



Druga stopnja je oksidacija nitrita v nitrat (*nitratacija*):

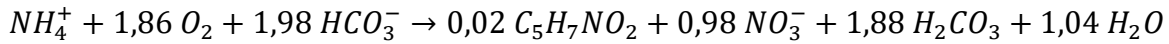


Najznačilnejša bakterija prve stopnje je rod *Nitrosomonas*, druge stopnje pa rod *Nitrobacter*.

Ker proces nitrifikacije (nitritacija in nitratacija) dajeta majhno energijo, je za nitrifikacijo značilen majhen prirast bakterij. To je tudi bistvena težava za nitrifikacijski proces pri biološkem

odstranjevanju dušika, zato je potreben daljši čas za razvoj nitrifikacijskih bakterij oz. nižja obremenitev blata.

Avtotrofno rast bakterij lahko ponazorimo z naslednjo enačbo:



HCO_3^- je v obliki topnega ogljikovega dioksida pri vrednosti pH med 5 in 9.

Odstranjevanje amonija z nitrifikacijo lahko izrazimo z naslednjo enačbo:

$$\frac{dS_{NH_4^+}}{dt} = - \frac{\mu_{max,A}}{Y_{obs,NH_4^+}} \cdot \frac{S_{NH_4^+}}{S_{NH_4^+} + K_{NH_4^+}} \cdot \frac{S_{O_2}}{S_{O_2} + K_{O_2}} \cdot X_{B,A}$$

Pri tem so:

$S_{NH_4^+}$ – koncentracija NH_4^+

S_{O_2} – koncentracija raztopljenega kisika

$X_{B,A}$ – koncentracija aktivne avtotrofne biomase

Y_{obs,NH_4^+} – koeficient opazovane specifične rasti amonija

$K_{NH_4^+}$ – ustrezna konstanta polnasičenja

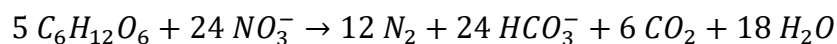
Za sočasno tvorbo nitrata velja podobna enačba:

$$\frac{dS_{NO_3^-}}{dt} = - \frac{\mu_{max,A}}{Y_{obs,NO_3^-}} \cdot \frac{S_{NH_4^+}}{S_{NH_4^+} + K_{NH_4^+}} \cdot \frac{S_{O_2}}{S_{O_2} + K_{O_2}} \cdot X_{B,A}$$

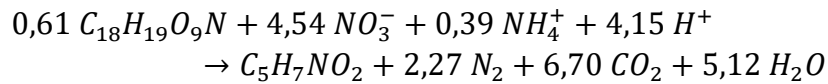
Vodenje čistilne naprave zahteva posebno pozornost za proces nitrifikacije, ker je počasna hitrost rasti nitrifikatorjev občutljivejša za inhibicijo, spremembe v vodenju naprave in sestavo odpadne vode.

4.6 Proces denitrifikacije

Denitrifikacija je heterotrofni mikrobiološki proces pretvorbe nitrata v dušikov plin, ob uporabi nitrata kisika kot oksidacijskega sredstva. Razmere, ki se pojavijo v tem procesu, imenujemo anoksične razmere, ker ni prisoten kisik. Določene bakterije so sposobne uporabljati nitrat za oksidacijo. Večina heterotrofnih bakterij je fakultativnih (lahko delujejo v različnih razmerah), energija porabe nitrata je manjša kot v primeru, če bakterije uporabljajo kisik. V praksi poteka denitrifikacija samo pri nizkih koncentracijah raztopljenega kisika ali brez njega. Mehanizem lahko opišemo z značilno mikrobno reakcijo saharida z nitratom:



Nižja energija rasti heterotrofnih bakterij pri anoksičnih razmerah odraža tudi nižji koeficient prirasti biomase. Opazovani koeficient bakterijske rasti je 0,47 g biomase na g substrata, kar lahko opišemo v naslednji enačbi:



Tu se izgubi del alkalitete (trdote), ki je nastala med nitrifikacijo.

Kinetiko za odstranjevanje nitrata z denitrifikacijo lahko zapišemo:

$$\frac{dS_{NO_3^-}}{dt} = - \frac{\mu_{max,H}}{Y_{obs,NO_3^-}} \cdot \frac{S_S}{S_S + K_S} \cdot \frac{S_{NO_3^-}}{S_{NO_3^-} + K_{NO_3^-}} \cdot X_{B,H}$$

Pri tem so:

$S_{NO_3^-}$ – koncentracija NO_3^-

S_S – koncentracija hitro biorazgradljivega substrata

$X_{B,H}$ – koncentracija aktivne heterotrofne biomase

$\mu_{max,H}$ – maksimalna specifična hitrost rasti heterotrofnih bakterij

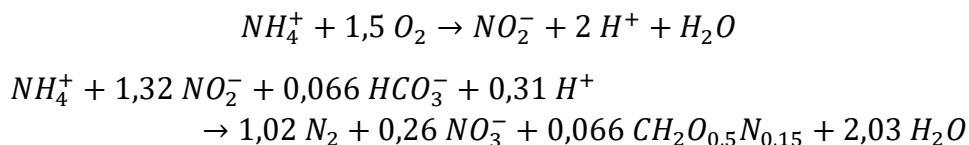
Y_{obs,NO_3^-} – opazovani koeficient prirasti biomase iz nitrata

$K_S, K_{NO_3^-}$ – ustrezni konstanti polnasičenja

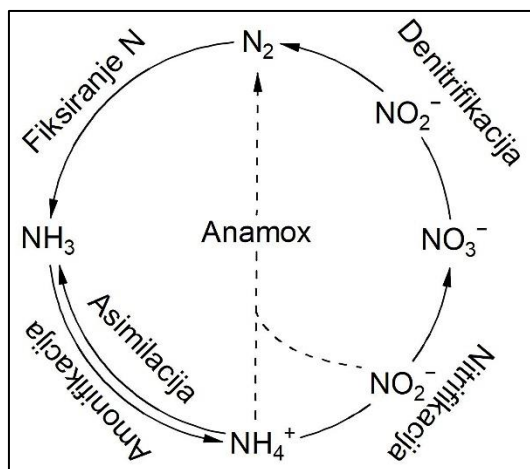
Zelo pomemben parameter za denitrifikacijo je razmerje med ogljikom in dušikom (razmerje C/N) v surovi odpadni vodi, ki ima pomembno vlogo pri dimenzioniranju čistilne naprave. V praksi je razmerje CN vsaj 8–9 g KPK na g N, pri relativno veliki hitrosti denitrifikacije.

4.7 Deamonifikacija

Proces deamonifikacije (9) je izvorna pot za obdelavo odpadne vode, bogate z amonijevim dušikom, z uporabo delne nitritacije, povezane z anaerobno oksidacijo amonija (angl. Anammox). Postopek poteka v dveh stopnjah. V prvi stopnji pol NH_4^+ oksidira v NO_2^- , preostali NH_4^+ in nastali NO_2^- pa se uporabita za proizvodnjo elementarnega dušika (N_2) s pomočjo anaerobnih amonij oksidirajočih bakterij (10).



Dušikov cikel, ki vsebuje tudi deamonifikacijo, lahko ponazorimo z naslednjo sliko (Slika 6).



Slika 6: Poenostavljeni dušikov cikel

4.8 Biološko odstranjevanje fosforja (11)

Nekatere heterotrofne bakterije so sposobne akumulirati fosfat, najpomembnejša med njimi je *acinetobacter*. Ta bakterija je sposobna akumulacije fosfata pri aerobnih razmerah. Pri anaerobnih razmerah se nakopičeni fosfat v bakterijah sprosti kot ortofosfat, ki je uporaben za rast celic v anaerobnih oz. aerobnih razmerah. Hitrost rasti heterotrofnih fosfat akumulirajočih bakterij, tj. prirast biomase, je 0,5–0,6 g biomase na g KPK.

Porabo fosfata med aerobnimi razmerami lahko zapišemo v obliki Monodove enačbe:

$$\frac{dS_{PO_4^{3-}}}{dt} = - \frac{\mu_{max,P}}{Y_{obs,PO_4^{3-}}} \cdot \frac{S_{PO_4^{3-}}}{S_{PO_4^{3-}} + K_{PO_4^{3-}}} \cdot X_{B,P}$$

Pri tem so:

$S_{PO_4^{3-}}$ – koncentracija PO_4^{3-}

$X_{B,P}$ – koncentracija aktivnega fosfata, akumuliranega v bakterijah

$\mu_{max,P}$ – maksimalna specifična hitrost rasti fosfat akumulirajočih bakterij

$Y_{obs,PO_4^{3-}}$ – opazovani koeficient prirasti biomase fosfata

$K_{PO_4^{3-}}$ – ustrezni konstanti polnasičenja

Sproščanje fosfata med anaerobnimi pogoji je običajno omejeno s koncentracijo lahko razgradljivega substrata (predvsem v obliki acetata oz. oetne kisline).

5 Uporabljena literatura

1. Roš M. Oznake in poimenovanja na področju biološkega čiščenja odpadnih vod. Ljubljana: Slovensko društvo za zaščito voda; 1995.
2. Grau P, Sutton PM, Elmaleh S, Grady CPL, Gujer W, Henze M, et al. Recommended notation for use in the description of biological wastewater treatment processes (Provisional). *Pure and Applied Chemistry*. 1983;55(6):1035–40.
3. Roš M, Toman MJ. Izrazi na področju voda. media F, editor. Celje: Fit media; 2017.
4. IAWPRC Wg. Recommended notation for use in the description of biological wastewater treatment processes. *Water Research*. 1982;16(11):1501–5.
5. Corominas LL, Rieger L, Takacs I, Ekama G, Hauduc H, Vanrolleghem PA, et al. New framework for standardized notation in wastewater treatment modelling. *Water Sci Technol*. 2010;61(4):841–57.
6. Henze M, Gujer W, Mino T, van Loosdrecht M. Activated sludge models ASM1, ASM2, ASM2d, ASM3. London: IWA Publishing; 2002.
7. Roš M. Sodobni postopki čiščenja odpadnih vod. media F, editor. Celje: Fit media; 2015.
8. Carstensen NJ. Identification of wastewater processes: Technical University of Denmark (DTU); 1994.
9. Sultana R. PARTIAL NITRITATION/ANAMMOX PROCESS IN A MOVING BED BIOFILM REACTOR OPERATED AT LOW TEMPERATURES. Stockholm: Royal Institute of Technology; 2014.
10. van Niftrik L, Jetten MSM. Anaerobic Ammonium-Oxidizing Bacteria: Unique Microorganisms with Exceptional Properties. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*. 2012;76(3):585–96.
11. Carnsten NJ. Identification of Wastewater Processes. Lingby: DTU Library; 1994.