

ALTERNATIVNI MODEL ZA DIMENZIONIRANJE ČISTILNIH NAPRAV

ALTERNATIVE MODEL FOR THE DESIGN OF WASTE WATER TREATMENT PLANT

prof. dr. Mitja Rismal, univ. dipl. inž. grad.
Barjanska 68, Ljubljana

Strokovni članek
UDK 626:628.32

Povzetek | Članek obravnava dimenzioniranje čistilnih naprav po alternativnem, dopolnjenem modelu glede na model po smernici ATV-A-3. Model vključuje presojo stopnje aerobne stabilizacije in možne proizvodnje bioplina iz razgradljivega primarnega in aerobnega, aktivnega dela biološkega blata v odvisnosti od starosti blata. Obravnavani sta aerobna in anaerobna obdelava blata z energetske bilanco možnega pridobivanja bioplina in električne energije. Podana je ocena energetske bilance čistilnih naprav v kWh/PE, brez sedimentacije in s primarno sedimentacijo, za različne starosti in specifične obremenitve biološkega blata.

Ključne besede: primarno aktivirano blato, stabilizacija blata, energija biološkega plina

Summary | The paper considers an alternative model for waste water treatment plant design to the model in the directive ATV – A – 3. The model includes the assessment of possible biogas production from the biodegradable organic part of the primary and aerobic activated sludge, depending on its age. By differentiation of degradable and undegradable part of the organic aerobic sludge, the possible biogas, electric energy production is evaluated. An assessment of WWTP energy balance, in terms of kWh/PE for with different sludge age and specific load, with and without primary sedimentation, by different age and specific load of the activated sludge, is given.

Key words: primary activated sludge, stabilisation of sludge, biogas energy

1 • UVOD

Obravnavani predlog za dimenzioniranje čistilnih naprav se razlikuje od metode ATV-A-3 (Imhoff, 1999), (Imhoff, 2007)), da namesto predpostavljenega razmerja $0,60 X_{TSS} = X_{nbVSS} + X_{ITSS}$ (Walder, 2011) uporabi v odpadni vodi ločeno meritev usedljivih mineralnih in inertnih organskih delcev z BPK_{50} , kot je predstavljeno na sliki 1.

Z uporabo koeficienta X_d (1/d) (Eckenfelder, 1989) pa za razliko od ATV omogoča tudi presojo stopnje aerobne stabilizacije blata

v $kgO_2/kgVSS.d$, presojo količine bioplina in energije iz anaerobne presnove X_{v0} proizvedenega razgradljivega organskega dela odvečnega biološkega blata.

Rezultati obravnavanega modela so primerjani z ATV-A-3 (Imhoff, 2007) in s podatki empiričnih meritev na čistilnih napravah (Ulrich, 2001).

2 • ZASNOVA MODELA

Model je zasnovan na podatkih (preglednica 1) o lastnostih surove odpadne vode (Imhoff, 2007) in na shematsko predstavljeni biokemični

asimilaciji in disimilaciji organskega onesnaženja v organsko maso heterotrofov (slika 1).

Model obravnava le oksidacijo organskega ogljika, ne pa členov za nitrifikacijo, denitrifikacijo in defosfatizacije efluenta:

$$\theta_{(nitrif.-denitrif.)} = \frac{\theta_{nitrifikacije}}{1 - V_D/V_{TOT}} \ln \frac{NO_3}{BPK_5} = 0,8 \frac{0,75 \cdot O_{2C}}{2,9} \frac{V_D}{V_{TOT}},$$

ki jih je mogoče v model vključiti.

	min.	org.	skupaj	BPK ₅
	(g/m ³)			
Usedljive snovi	100	150	250	100
Neusedljive lebdeče snovi	25	50	75	50
Raztopljene snovi	375	250	625	150
Skupaj	500	450	950	300

Preglednica 1 • Sestava odpadnih voda (Imhoff, 1999)

V aerobnem reaktorju čistilne naprave. (preglednica 1) brez primarnega usedalnika postane 100 g/m³ usedljivih mineralnih in 25 g/m³ lebdečih inertnih snovi iz odpadne vode del proizvedene mase biološkega blata. Organsko onesnaženje 450 g/m³, izraženo s 300 g BPK₅ (porabo kisika v 5 dneh), pa se asimilira kot drugi, biološko aktivni del celotne mase biološkega blata.

Koncentracija (slika 1) nerazgradljivega anorganskega in inertnega organskega onesnaženja odpadne vode je označena s C_{lin} . Organski del C_{iBPK_5} , ki se, kot rečeno, z eksogeno respiracijo asimilira v organsko maso heterotrofov s koncentracijo $X_{\theta=0}$ (slika 1), v fazi θ (dni) pa se z endogeno respiracijo zmanjša na X_{θ} kgVSS/m³ heterotrofov s koncentracijo biološko razgradljivega dela $X_{v\theta}$ in nerazgradljivega $X_{n\theta}$.

V nadaljevanju pomeni:

C_{TOT} (kgSS/m ³)	koncentracija skupnega organskega in inertnega mineralnega onesnaženja odpadne vode
C_{lin} (kg/m ³)	koncentracija inertnega organskega in mineralnega onesnaženja odpadne vode
C_i (kgBPK ₅ /m ³)	organsko, biološko razgradljivo onesnaženje surove odpadne vode
C (kgBPK ₅ /m ³)	koncentracija BPK ₅ očiščene odpadne vode
$Y = 0,6$ (kgVSS/kgBPK ₅)	koeficient prirasta organske mase heterotrofov biološkega blata v procesu sinteze
$X_{\theta=0}$ (kgVSS/kgBPK ₅)	koncentracija v sintezi proizvedene mase heterotrofov biološkega blata
$X'_d = 0,8$ (kg $X_{v\theta=0}$ /kg $X_{\theta=0}$)	razgradljivi del v sintezi proizvedene celotne organske mase heterotrofov biološkega blata
$X_{v\theta=0}$ (kgVSS/m ³)	koncentracija v sintezi proizvedene razgradljive organske mase biološkega blata
$X_{v\theta}$ (kgVSS/m ³)	koncentracija biološko razgradljive mase biološkega blata po endogeni respiraciji θ_c dni
$X_{n\theta=0}$ (kgVSS/m ³)	koncentracija inertne mase heterotrofov v sintezi proizvedene organske mase biološkega blata
$X'_n = 0,2$ (kg $X_{n\theta=0}$ /kg $X_{\theta=0}$)	nerazgradljivi del $X_{\theta=0}$ v sintezi proizvedene organske mase biološkega blata
X_d	del razgradljivega organskega blata po endogeni respiraciji

$X_{n\theta}$ (kgVSS/m³)

X_{θ} (kgSS/m³)

X_{lin} (kgSS/m³)

X_{TSS} (kg/m³)

$X_{n\theta}$ (kgVSS/m³)

X_{TSS} (kg/m³)

θ (dni)

$k_d = 0,08$ (1/d)

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

T (C°)

O_{2C} (kgO₂/d)

V_{TOT} (m³)

V_N (m³)

V_D (m³)

W_{θ} kgSS

koncentracija nerazgradljivega dela v organskem blatu po endogeni respiraciji

koncentracija razgradljivega in nerazgradljivega biološkega blata po endogeni respiraciji pri starosti blata θ dni.

koncentracija mineralnih in biološko nerazgradljivih snovi v biološkem blatu

totalna količina suspendiranih snovi v odpadni vodi na vtok v čistilno napravo

inertne organske snovi heterotrofov nad 0,45 μ m koncentracija inertne mineralne snovi nad 0,45 μ m

starost biološkega blata

koeficient razgradnje v endogeni respiraciji, v eksogeni respiraciji – sintezi proizvedenega razgradljivega in nerazgradljivega organskega dela biološkega blata

temperaturni koeficient korekcije poteka reakcij

temperatura vode v aerobnem reaktorju

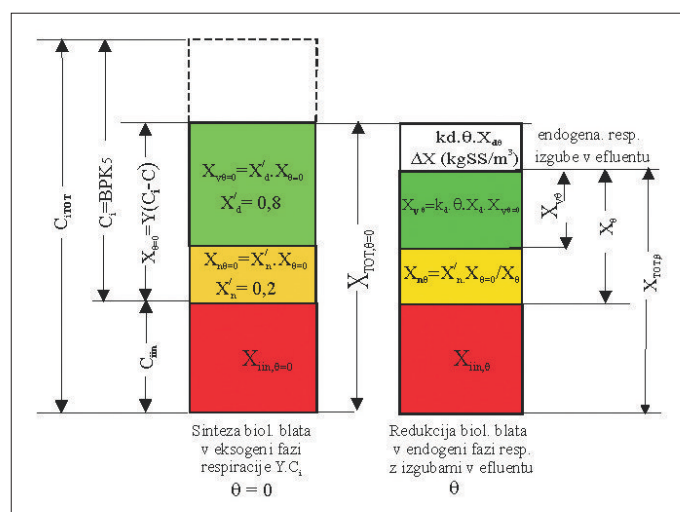
poraba kisika za oksidacijo organskega ogljika

prostornina aerobnega reaktorja

prostornina aerobnega reaktorja za nitrifikacijo

prostornina reaktorja za denitrifikacijo

količina celotne mase biološkega blata v reaktorju



Slika 1 • Shema količine (obarvane površine) in koncentracij (X) asimilirane onesnaženja odpadne vode v fazah biokemične sinteze in endogene respiracije biološkega blata v aerobnem reaktorju pri starosti blata θ (dni)

Pri starosti biološkega blata v aerobnem reaktorju θ (dni) se iz odpadne vode v biološkem blatu akumulira vsa količina nerazgradljivih organskih in mineralnih snovi s koncentracijo $X_{lin,\theta}=0$.

Koncentracija razgradljivega dela iz organskega onesnaženja asimilirane organske mase heterotrofov $X_{\theta=0}$ pa se med endogeno respiracijo zmanjša na $X_{v\theta}$, koncentracija celotne organske mase heterotrofov pa na X_{θ} .

Koeficient zmanjšanja X_d (Eckenfelder, 1989) je določen po enačbah 1, 2 in 3:

$$X'_{n,\theta=0} * X_{\theta=0} = X_{n\theta} * X_{\theta} \quad (1)$$

$$X_d' + X_n' = 1 \quad ; \quad X_{d\theta} + X_{n\theta} = 1 \quad ; \quad X_{n\theta} = 1 - X_{d\theta} \quad (2)$$

$$X_n' \cdot X_{\theta=0} = X_{n\theta} \cdot X_{\theta} \rightarrow \rightarrow X_n = X_n' \frac{X_{\theta=0}}{X_{\theta}} \rightarrow \rightarrow X_{\theta=0} \cdot X_d' - k_d \cdot X_d \cdot X_{\theta} \cdot \theta_c \cdot F = X_n \cdot X_{\theta}$$

$$X_d = \frac{X_d'}{1 + k_d \cdot X_n' \cdot \theta_c \cdot F} \left(\text{kgVSS}_d / \text{kgVSS} \right) \quad (3)$$

3 • MASNA BILANCA ASIMILIRANEGA ORGANSKEGA DELA (HETEROTROFOV) BIOLOŠKEGA BLATA

Masna bilanca heterotrofov – organskega dela biološkega blata – pri obremenitvi aerobnega reaktorja L (kgBPK₅/kgVSS.d) je določena po enačbah od 3 do 6 in po enačbi 7:

$$V \cdot \frac{dX_{\theta}}{dt} = \eta \cdot Y \cdot L - k_d \cdot X_d \cdot X_{\theta v} \cdot V \cdot F \quad (4)$$

$$\underbrace{V \cdot \frac{dX_{\theta}}{dt}}_{\text{Neto prirast}} = \underbrace{\frac{dW_{\theta}}{dt}}_{\text{asimilacija}} = \underbrace{\eta \cdot Y \cdot L - k_d \frac{X_d'}{1 + k_d \cdot X_n' \cdot \theta_c \cdot F} X_{\theta v} \cdot V \cdot F}_{\text{in disimilacija heterotrofov}} : (X_{\theta v} \cdot V) = (5)$$

$$\frac{dX_{\theta} \cdot V}{dt \cdot V \cdot X_{\theta}} = \frac{1}{\theta} = Y \cdot \eta \cdot \frac{L}{V \cdot X_{\theta v}} - \frac{k_d \cdot X_d' \cdot F}{1 + k_d \cdot X_n' \cdot \theta_c \cdot F} \quad (6)$$

$L_{sv} = \frac{L}{V \cdot X_{\theta v}}$ – specifična obremenitev organske mase iz enačbe 6 pa:

$$L_{sv} = \frac{1 + k_d \cdot \theta_c \cdot F}{\eta \cdot Y \cdot \theta_c \cdot (1 + k_d \cdot X_n' \cdot \theta_c \cdot F)} \left(\text{kgBPK}_5 / \text{kgVSS} \right) \quad (7)$$

Prirast Y_{obs} organske mase biološkega blata – heterotrofov – pri starosti biološkega blata θ iz zgornje enačbe 7 pa je:

$$Y_{vobs} = \frac{1}{L_{sv} \cdot \theta} = \frac{\eta \cdot Y \cdot (1 + k_d \cdot X_n' \cdot \theta_c \cdot F)}{1 + k_d \cdot \theta_c \cdot F} \left(\text{kgSS}_{org} / \text{kgBPK}_5 \right) \quad (8)$$

Pri dnevni obremenitvi aerobnega reaktorja

$$L_{TOT} = \eta \cdot Q \cdot C_i \left(\text{kgBPK}_5 / \text{d} \right) \quad (9)$$

Pri specifični obremenitvi LSV organskega dela biološkega blata s starostjo θ (dni) in koncentracijo X_{θ} (slika 1) znaša celotna masa W_{θ} (kgVSS) biološko aktivnega blata heterotrofov v reaktorju:

$$W_{\theta} = \frac{L_{TOT}}{L_{sv}} \left(\text{kgVSS} \right) \text{ s koncentracijo organskega dela blata – heterotrofov:} \quad (10)$$

$$X_{\theta} = W_{\theta} / V \left(\text{kgVSS} / \text{m}^3 \right) \quad (11)$$

4 • SKUPNA MASNA BILANCA ORGANSKEGA IN NERAZGRADLJIVEGA INERTNEGA DELA BLATA

Celotna akumulirana količina inertnega onesnaženja mineralnega izvora v reaktorju v θ dneh je:

$$W_{iin} = \theta \cdot Q \cdot C_{in} \quad \text{s koncentracijo:} \quad (12)$$

$$X_{iin} = W_{iin} / V \text{ (kg/m}^3\text{)} \quad \text{inertnega onesnaženja} \quad (13)$$

Skupna masa organskih in mineralnih snovi biološkega blata v reaktorju pa je:

$$W_{TOT} = W_{\theta V} + W_{iin} \text{ (kgSS)} = Q \cdot C_i / L_{SV} + \theta \cdot Q \cdot C_{in} \text{ (kgSS)} \quad (14)$$

Specifična obremenitev biološkega blata L_{TOT} (organskega in mineralnega dela) z upoštevanjem enačb 7, 10, 12, 13 in 14 pa:

$$L_{TOT} = \frac{W_{TOT}}{V} = \frac{1}{\frac{1}{L_{SV}} + \theta \frac{C_{iin}}{C_i}} \text{ (kgBPK}_5\text{/kgSS)} \quad (15)$$

5 • PRIMERJAVA PRIRASTA BIOLOŠKEGA BLATA V AEROBNEM REAKTORJU PO ALTERNATIVNEM IN ATV-MODELU

Skupni prirast organske in anorganske mase biološkega blata Y_{TOT} določimo z enačbo:

$$Y_{TOT} = \frac{1}{\theta \cdot L_{TOT}} \text{ (kgSS/kgBPK}_5\text{.d)} \quad (16)$$

Vrednosti Y_{TOT} v preglednicah 3 in 4 alternativnega modela in ATV-A-3-modela za proizvodnjo odvečnega blata pri enaki starosti biološkega blata θ dni in enaki obremenitvi biološkega blata v reaktorju L_{TOT} (kgBPK₅/kgSS.d) so praktično enaki.

0,6.($X_{TS,ZB}/C_{BSB5}$) C_{iin}/C_i	Y_{TOT} (kgSS/kgBPK ₅)					
	(dni) starost biol. blata					
	4	8	10	15	20	25
0,24	0,75	0,69	0,67	0,62	0,59	0,56
0,36	0,85	0,79	0,77	0,72	0,69	0,66
0,48	0,97	0,91	0,89	0,84	0,81	0,78
0,6	1,09	1,03	1,01	0,96	0,93	0,90
0,72	1,21	1,15	1,13	1,08	1,05	1,02

Preglednica 3 • Prirast biološkega blata Y_{TOT} po alternativni metodi

$X_{TS,ZB}/C_{BSB5}$	Y_{TOT} (kgSS/kgBPK ₅)					
	(dni) starost biološkega blata					
	4	8	10	15	20	25
0,24	0,79	0,69	0,65	0,59	0,56	0,53
0,36	0,91	0,81	0,77	0,71	0,68	0,65
0,48	1,03	0,93	0,89	0,83	0,80	0,77
0,6	1,15	1,05	1,01	0,95	0,92	0,89
0,72	1,27	1,17	1,13	1,07	1,04	1,01

Preglednica 4 • Prirast biološkega blata Y_{TOT} po ATV-A-3 (Imhoff, 2007)

6 • PRIMERJAVA VELIKOSTI AEROBNIH REAKTORJEV PO ALTERNATIVNEM IN ATV-MODELU

Po enačbi 17 je za enako obremenitev reaktorja $L_{TOT} = 1000$ kg BPK₅/d z enako izbrano koncentracijo blata $X_{TOT} = 5,0$ (kgSS/m³), kot kaže preglednica 5, tudi prostornina aerobnega reaktorja po obeh metodah praktično enaka.

Potrebna velikost reaktorja, to je aeracijskega bazena, pa je:

$$V = \frac{L_{TOT}}{L_{STOT} \cdot X_{TOT}} \text{ (m}^3\text{)} \quad (17)$$

Starost b.b.	$V(m^3)$	$V(m^3)$	$V(m^3)$	$V(m^3)$	$V(m^3)$
θ_c	$ATV = 1,2X_{TS}/kgBPK_5$	$ATV = 1,0X_{TS}/BPK_5$	$ATV = 0,8X_{TS}/BPK_5$	$ATV = 0,6X_{TS}/BPK_5$	$ATV = 0,4X_{TS}/BPK_5$
dni	$C_{iin}/C_i = 0,72$	$C_{iin}/C_i = 0,6$	$C_{iin}/C_i = 0,48$	$C_{iin}/C_i = 0,36$	$C_{iin}/C_i = 0,24$
4	762	690	618	546	474
8	1.404	1.260	1.116	972	828
10	1.695	1.515	1.335	1.155	975
15	2.408	2.138	1.868	1.598	1.328
20	3.120	2.760	2.400	2.040	1.680
25	3.788	3.338	2.888	2.438	1.988

Preglednica 5 • Velikost aerobnih reaktorjev $V(m^3)$ po ATV za X_{TS}/BPK_5 pri obremenitvi aeracijskega reaktorja z 10.000 PE (600 kgBPK₅/d) in koncentraciji biološkega blata 5,00 kgSS/m³ s pripadajočimi vrednostmi odpadne vode C_{iin}/C_i

Starost b.b.	$V(m^3)$	$V(m^3)$	$V(m^3)$	$V(m^3)$	$V(m^3)$
θ_c	$ATV = 1,2X_{TS}/BPK_5$	$ATV = 1,0X_{TS}/kgBPK_5$	$ATV = 0,8X_{TS}/BPK_5$	$ATV = 0,6X_{TS}/BPK_5$	$ATV = 0,4X_{TS}/BPK_5$
dni	$C_{iin}/C_i = 0,72$	$C_{iin}/C_i = 0,6$	$C_{iin}/C_i = 0,48$	$C_{iin}/C_i = 0,36$	$C_{iin}/C_i = 0,24$
4	724	652	580	508	436
8	1.378	1.234	1.090	946	802
10	1.688	1.508	1.328	1.148	968
15	2.432	2.162	1.892	1.622	1.352
20	3.144	2.784	2.424	2.064	1.704
25	3.836	3.386	2.936	2.486	2.036

Preglednica 6 • Velikost aerobnega reaktorja $V(m^3)$, po alternativni metodi, za C_{iin}/C_i , pri obremenitvi aeracijskega reaktorja z 10.000 PE (600 kgBPK₅/d) in koncentraciji biološkega blata 4,00 kgSS/m³ s pripadajočimi vrednostmi odpadne vode po ATV za X_{TS}/BPK_5

7 • PRIMERJAVA PORABE KISIKA PO ALTERNATIVNEM IN ATV-MODELU

Skupna poraba kisika za eksogeno in endogeno respiracijo biološkega blata na enoto eliminiranega onesnaženja odpadne vode $\Delta L = kgBPK_5/d$ pa znaša:

$$\frac{O_{2c}}{L_{TOT}} = \frac{O_2}{\eta * L_{TOT}} = a + \frac{b * Y * X'_d * \theta * F}{1 + k_d * X'_n * \theta * F} \quad (kgO_2 / kgBPK_5) \quad (18)$$

V preglednicah 3 do 9 podani rezultati enačb obravnavanega modela 1 do 26 za temperaturo 10 °C v aerobnem reaktorju se praktično ujemajo s podatki za specifično proizvodnjo odvečnega blata (kgSS/kgBPK₅) ATV–A–3 preglednici štev. 29 (Imhoff, 2007) pri temperaturi vode 10 ° do 12 °C.

Pri tem upoštevamo, da je v alternativnem modelu pod C_{iin} upoštevana v surovi odpadni vodi skupna koncentracija usedljivih nerazgradljivih organskih in mineralnih snovi proti po ATV določenih ($X_{TS,ZB}/C_{BSB}$) na membranskem filtru 0,45 mm zadržanih snovi: $C_{iin}/C_i = 0,6$. ($X_{TS,ZB}/C_{BSB}$).

Ocena možne pridobitve bioplina po obravnavanem modelu v preglednici 8 je znotraj z meritvami ugotovljenih vrednosti v preglednici 9. Enako s podatki (Imhoff, 2007) na strani 331.

Razlike v porabi kisika v preglednicah 8 in 9 niso velike. Nastanejo pa, ker alternativni model upošteva le porabo kisika od razgradljivega dela, ne pa od celotne organske mase heterotrofov v proizvedenem odvečnem blatu aerobnega reaktorja.

temperatura	θ (dni) starost biol. blata					
T °C	4	8	10	15	20	25
10	0,75	0,85	0,93	0,99	1,13	1,23
12	0,78	0,88	0,97	1,04	1,18	1,27
15	0,83	0,94	1,03	1,11	1,25	1,34
18	0,89	1,01	1,10	1,18	1,32	1,41
20	0,93	1,05	1,15	1,23	1,36	1,45

Preglednica 8 • Poraba kgO₂/BPK₅ po ATV – A – 3

Temperatura	θ (dni) starost biol. blata					
T °C	4	8	10	15	20	25
10	0,85	0,99	1,04	1,13	1,13	1,22
12	0,78	0,88	0,97	1,04	1,18	1,24
15	0,83	0,94	1,03	1,11	1,25	1,27
8	0,89	1,01	1,10	1,18	1,32	1,30
20	0,93	1,05	1,15	1,23	1,36	1,32

Preglednica 9 • Poraba kg O₂/kgBPK₅ po alternativni metodi

8 • PRESOJA STABILIZACIJE AEROBNEGA BIOLOŠKEGA BLATA

Poraba kisika za endogeno respiracijo na enoto teže razgradljivega dela organskega dela biološkega blata $X_{v\theta}$ je (slika 1):

$$O_2 = X_{v\theta} \cdot b \cdot F (\text{kgO}_2 / \text{kgVSSd}) \quad (19)$$

Stopnja aerobne stabilizacije blata, izražena s porabo $\text{kgO}_2/\text{kgVSS}$ - ($X_{v\theta}$ slika 1) – organskega dela blata (slika 1), ki naj bo manjša od $0,1 \text{ kgO}_2/\text{kgVSS}$ (Imhoff, 2007), je odvisna od starosti in temperature blata θ dni) po enačbi:

$$O_2/X_{v\theta} = X_{v\theta} \cdot b \cdot F / X_{v\theta} (\text{kgO}_2/\text{kgVSS.d}) \leq 0,1 (\text{kg O}_2/\text{kgSS}) \quad (20)$$

θ	$\text{kgO}_2/\text{kgVSS}$	$\text{kgO}_2/\text{kgVSS}$	$\text{kgO}_2/\text{kgVSS}$
dni	$T = 10^\circ\text{C}$	$T = 15^\circ\text{C}$	$T = 20^\circ\text{C}$
1	0,13	0,19	0,27
4	0,13	0,18	0,25
6	0,13	0,18	0,24
8	0,12	0,17	0,23
10	0,12	0,17	0,22
15	0,12	0,15	0,20
20	0,11	0,15	0,19
25	0,11	0,14	0,17
35	0,10	0,12	0,15
40	0,09	0,12	0,14
50	0,09	0,11	0,13

Preglednica 7 • Poraba kisika na 1 kg organskega dela aerobnega biološkega blata pri starosti blata θ dni

Poraba kisika v preglednici 7 kaže na vpliv temperature, ki se med letom spreminja, na stabilizacijo aerobnega blata. Endogena respiracija blata kot merilo za doseženo stabilnost je bolj odvisna od temperature kot od specifične obremenitve oziroma starosti blata.

Uspešno in ceneno dodatno stabilizacijo in higienizacijo blata za sezonsko uporabo blata na poljih je mogoče doseči že v enostavnih depojskih bazenih. To je pred leti, poleg drugih primerov, z analizami aerobnega in na depojskem bazenu stabiliziranega blata na čistilni napravi Žalca v Kasazah potrdil tudi prof. dr. Amon. To je za načrtovanje čistilnih naprav, kjer je dovolj kmetijskih površin, primerna rešitev.

9 • BIOPLIN IZ ANAEROBNEGA REAKTORJA IN ELEKTRIČNA ENERGIJA ČISTILNE NAPRAVE BREZ PRIMARNE SEDIMENTACIJE ODPADNE VODE IN Z NJO

Oceno proizvodnje bioplina v anaerobnem reaktorju iz odvečnega biološko razgradljivega blata aerobnega reaktorja v preglednici 11 smo opravili za 3 primere:

- za čistilno napravo brez primerne usadalnika,
- za čistilno napravo z velikim usadalnikom, zaradi katerega odpade od 60 g BPK₅/PE na aeracijski reaktor le 35 g BPK₅/PE onesnaženja, 25 g BPK₅/PE pa odpade na anaerobni reaktor in
- aerobni reaktor prevzame 48 g BPK₅/PE, 12 g BPK₅/PE pa odpade na anaerobni reaktor.

1. Ocena bioplina iz odvečnega razgradljivega organskega dela blata aerobnega reaktorja

Na populacijsko enoto 1 PE (60 g BPK₅) odpadne vode se asimilira

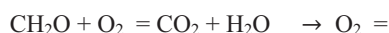
$$\frac{0,060 \cdot X_d}{L_{sv}} \left(\frac{\text{kgVSS}}{\text{PE}} \right)$$

razgradljive organske mase odvečnega aerobnega blata $X_{v\theta}$ (slika 1). Pri poenostavitvi za $1,0 \text{ kgVSS} = 1,0 \text{ kgCH}_2\text{O}$ z molekularno maso 30 g/mol nastane za $22,4 \text{ l/mol}$ pri anaerobni razgradnji iz 1 kgVSS $745 \text{ l} (\text{CH}_4 + \text{CO}_2)$ in na 1 PE:

$$\frac{I(\text{bioplina})}{\text{PE} \cdot d} = \frac{0,06 \left(\frac{\text{gBPK}_5}{\text{PE}} \right) \cdot X_d \left(\frac{\text{kgVSS}_d}{\text{kgVSS}} \right) \cdot 746,667 \left(\frac{\text{l bioplina}}{\text{kgVSS}} \right)}{L_{sv} \left(\frac{\text{kgVSS}}{\text{kgBPK}_5} \right) \cdot \theta(d)} \quad (21)$$

2. Ocena proizvodnje bioplina v anaerobnem reaktorju iz blata primarnega usedalnika z obremenitvijo 35 g BPK₅/PE (pri velikem primernem usedalniku) in 12 g BPK₅/PE (pri manjšem usedalniku). Količino proizvedenega bioplina za obe obremenitvi smo ocenili po naslednjih relacijah:

Enota onesnaženja BPK₅ (mgO₂/l) odpadne vode je le 68,4 % porabe kisika BPK (mgO₂/l) za razgradnjo celotnega organskega onesnaženja:



$$= \text{BPK}(\text{mgO}_2/\text{l}) = 1,46 \text{ BPK}_5 (\text{mgO}_2/\text{l})$$

$$\text{CH}_2\text{O} (\text{molov}) = \text{O}_2(\text{molov}) \text{ BPK} \cong 1,46 \text{ BPK}_5 \quad (22)$$

Po navedenih relacijah med BPK₅, BPK in CH₂O z molekularno težo 30 g/mol

Iz anaerobnega reaktorja je mogoče po poenostavljeni oceni pridobiti na 1 PE naslednje količine bioplina:

– pri obremenitvi reaktorja s 35 % kgBPK₅ od celotne obremenitve čistilne naprave:

$$(60-25)/60 \cdot 1,46 \cdot 22,4 = 19,08 \text{ l/PE bioplina (CH}_4 + \text{CO}_2) \quad (23)$$

– če je reaktor obremenjen z 12 % kgBPK₅ celotne obremenitve čistilne naprave:

$$(60-48)/60 \cdot 1,46 \cdot 22,4 = 6,54 \text{ l/PE bioplina (CH}_4 + \text{CO}_2) \quad (24)$$

Rezultati proizvedenega bioplina in energije s poenostavitvijo organskega onesnaženja z CH₂O so podani v preglednici 10. Po izračunu količine bioplina na 1 PE sta prostornini CH₄ in CO₂ iz odvečnega aerobnega blata v anaerobnih reaktorjih in iz primarnega usedalnika enaki.

Organski del blata v anaerobnih reaktorjih so kompleksni polimeri z drugačnim razmerjem med ogljikom

C in vodikom H od v računu privzetega razmerja 50 % : 50 %. To razmerje je 70 % : 30 %. Zato smo v računu upoštevali energetska moč pridobljenega bioplina le 5,0 kWh/m³, kar ustreza izmerjeni vrednosti bioplina 7,0 kWh/m³ s ca. 70 % metana in ca. 30 % CO₂.

starost biol. blata	60 g (BPK ₅ /PEd) v aerobni reaktor			25 g(BPK ₅ /PEd) v aerobni reaktor 35 g (BPK ₅ /PEd) v primarni usedalnik				48 g(BPK ₅ /PE v aerobni reaktor 12 g (BPK ₅ /PEd) v primarni usedalnik			
θ (dni)	kgVSS/ kgBPK ₅ .d	bioplin iz l/PE.d	kWh/PEd	bioplin aerob. blata	bioplin prim. blata	bioplin skupaj	kWh/PE.d	bioplin aerob. blata	bioplin prim. blata	bioplin skupaj	kWh/PE.d
1	0,43	19,34	0,039	8,06	19,08	27,13	0,054	15,47	6,54	22,01	0,044
4	0,37	16,66	0,033	6,94	19,08	26,02	0,052	13,33	6,54	19,87	0,040
6	0,34	15,26	0,031	6,36	19,08	25,43	0,051	12,20	6,54	18,75	0,037
8	0,31	14,07	0,028	5,86	19,08	24,94	0,050	11,25	6,54	17,80	0,036
10	0,29	13,05	0,026	5,44	19,08	24,52	0,049	10,44	6,54	16,98	0,034
15	0,25	11,06	0,022	4,61	19,08	23,68	0,047	8,85	6,54	15,39	0,031
20	0,21	9,59	0,019	4,00	19,08	23,07	0,046	7,67	6,54	14,21	0,028
25	0,19	8,47	0,017	3,53	19,08	22,61	0,045	6,77	6,54	13,31	0,027
35	0,15	6,86	0,014	2,86	19,08	21,94	0,044	5,49	6,54	12,03	0,024
40	0,14	6,27	0,013	2,61	19,08	21,69	0,043	5,01	6,54	11,55	0,023
50	0,12	5,34	0,011	2,23	19,08	21,30	0,043	4,27	6,54	10,81	0,022

Preglednica 10 • Proizvodnja organskega biološkega blata s proizvodnjo bioplina v (l/PE) in električne energije v kWh/PE

Na čistilni napravi 100.000 PE z nitrifikacijo in denitrifikacijo je mogoče pridobiti 2000 m³ bioplina s 170 kW električne moči (Imhoff, 2007). Po obravnavanem modelu pa (pri starosti aerobnega blata 15 dni) $19,08 \text{ l/PE} \cdot 100.000 \text{ PE} = 1908 \text{ m}^3$ bioplina in z $0,047 \text{ kWh/PE} \cdot 100.000/24 = 169 \text{ kW}$ električne moči.

Po podatku (Imhoff, 2007), da potrebujejo čistilne naprave z nitrifikacijo in denitrifikacijo na 2,5 kW/1.000 PE ali 0,06 kWh/PE, je mogoča po obeh preglednicah 10 in 11 presoditi možno stopnjo energetske samooskrbe čistilnih naprav s primerno sedimentacijo in brez nje pri različnih specifičnih obremenitvah aerobnih reaktorjev oziroma pri različnih starostih biološkega blata.

V preglednici 10 so rezultati obravnavanega modela o možni pridobitvi bioplina na čistilnih napravah brez primarnih usedalnikov in z njimi za

aerobno čiščenje za ilustracijo s starostmi biološkega blata od 1 do 50 dni.

Za naprave z nitrifikacijo in denitrifikacijo efluenta, ki se danes gradijo, so aktualne, odvisno od razmerja N/BPK_5 v odpadni vodi, predvsem naprave s starostjo biološkega blata med 8 do 25 dni.

Ekstremne količine v preglednici 11 po meritvah pridobljenega bioplina na takšnih čistilnih napravah se praktično ujemajo z izračunanimi rezultati obravnavanega modela. To je razumljivo, ker model obravnava teoretično popolno konverzijo organskega C v metan. Približno za 30 % manjša količina bioplina je izmerjena le pri napravah brez primerne sedimentacije. Vzrok je lahko manjše število opazovanih čistilnih naprav ali – kot je vidno iz preglednice 10 – da delujejo pri večji starosti biološkega blata.

	Način čiščenja odpadne vode	θ (dni) starost biol. blata	Obremenitev biološkega reaktorja z $BPK_5/PE, \text{ dan}$	(l/PE, dan) biol. plin po alternat. modelu	Proizvodnja biol. plina (l/PE, dan) po Ulrich Loll
1	Predčiščenje v velikem primarnem usedalniku (Nitrifikacija poleti z delno denitrifikacijo)	8	35	24,94	16,5–25 20,7
2	Predčiščenje v velikem primarnem usedalniku Nitrifikacija in denitrifikacija	15	35	23,68	14,5–22 18,3
3	Predčiščenje v manjšem primarnem usedalniku Nitrifikacija, denitrifikacija	15	48	15,39	10,5–15,9 13,2
4	Brez primarnega usedalnika	15	60	11,06	6,2–9,4 7,8
5	Aerobna stabilizacija brez primarnega usedalnika	25	60	8,47	3,5–5,3 4,4

Preglednica 11 • Primerjava alternativnega modela s potencialom biološkega plina iz blata čistilnih naprav (Loll, 2001)

10 • SKLEP

Na sliki 1 je podana shema procesov čiščenja v alternativnem modelu upoštevanih procesov čiščenja na bioloških čistilnih napravah za odpadne vode.

V preglednicah 2 do 10 je primerjava med rezultati obravnavanega in alternativnega modela, ki so glede določitve dimenzij in drugih tehnološko relevantnih parametrov čistilne narave praktično enaki.

Predstavljeni alternativni model se razlikuje od modela ATV–A–3 v tem, da ločeno obravnava količino mineralnega in inertnega organskega onesnaženja, ki se v procesu čiščenja akumulira v aerobnem blatu čistilne naprave, in da z uvedbo koeficienta X_d (Eckenfelder, 1989) določi koncentracije X_{v0} biološko razgradljivega dela in celotne koncentracije biološko aktivnega dela blata X_0 heterotrofov (biološko razgradljivi in inertni del heterotrofov). S tem so podane in opisane možnosti za določeno starost biološkega blata θ (dni), za kvantitativne presoje aerobne stabilizacije proizvedenega blata v kg $O_2/kgVSS$ in za v anaerobnem reaktorju pridobljeni bioplin in električno energijo na populacijsko enoto ter njen pomen za energetske bilanco in energetske samooskrbo čistilnih naprav.

Obravnavani alternativni model se razlikuje od modela ATV–A–3 v naslednjem:

1. obravnava tudi razgradljive organske delce nad $0,45 \mu\text{m}$ v okviru izmerjene obremenitve čistilne naprave z BPK_5 . Nerazgradljive organ-

ske in mineralne delce s koncentracijo C_{in} pa kot obremenitev čistilne naprave z inertnimi snovmi.

2. Z uvedbo člena X_d določi v proizvedeni organski masi biološkega blata koncentracijo razgradljivih X_{v0} in X_{n0} nerazgradljivih snovi.

- Določitev X_{v0} omogoča določitev:
- porabe kisika aerobnem reaktorju,
- stopnje stabilizacije biološkega blata v $\text{mgO}_2/X_0(\text{kgSSv/m}^3)$ heterotrofov,
- organskega dela biološkega blata pri starostih biološkega blata θ
- v reaktorjih pridobljene količine bioplina in energije iz primarnega blata usedalnikov in iz odvečnega aktivnega blata W_{0v} in koncentracije X_{0v} .

Po drugih za dimenzioniranje aerobnega reaktorja relevantnih podatkih pa so rezultati

alternativnega modela praktično pokrivajo z modelom ATV–A–3:

1. po potrebni velikosti aerobnega biološkega reaktorja pri enaki obremenitvi čistilne naprave (preglednica 5),
2. po prirastu biološkega blata (preglednici 6 in 7),
3. po porabi kisika (preglednici 6 in 7), s tem da je poraba po alternativni metodi nekoliko nižja, ker je v endogeni respiraciji blata upoštevan le biološko razgradljivi del heterotrofov organskega dela blata.

11 • LITERATURA

- Eckenfelder, W. W., Industrial Water Pollution Control, McGraw-Hill, New York, 1989.
- Imhoff, K., Imhof, K. R., Taschenbuch der Stadtentwässerung, 29. Auflage, 1999.
- Imhoff, K., Imhof, K. R., Taschenbuch der Stadtentwässerung, 30. Auflage, 2007.
- Loll, U., Biogaspotenziale im Klärschlamm und anderen biogenen Abfällen, Wasserwirtschaft, Abwasser-Abfälle, 48 Jahrgang, 10, 2001.
- Rismal, M., Zapisniki predavanj, IZH-FGG, Ljubljana, 1979–1998.
- Walder, C., Lindtner, S., Proesl, A., Klegraf, F., Vasanthakumar, T., Weissenbacher, N., Adaptation of WWTP design parameters to warm climates using mass balancing of a full scale plant, 11th IWA Specialised Conference Design, Operation and Economics of Large Waste Water Treatment Plants, Budapest, 2011.