

## VII ČAS RAČUNSKIH VEŽBI

### Teorijski deo

#### BILANS KISEONIKA U PRIRODNIM VODAMA

Bilans rastvorenog kiseonika u vodi ima uglavnom tri komponente:

1. postojeća koncentracija (rezerve) kiseonika u vodi,
2. biohemijska potrošnja kiseonika (BPK),
3. reaeracija (nadoknađivanje potrošenog kiseonika apsorpcijom iz vazduha).

#### 1. KONCENTRACIJA (REZERVE) RASTVORENOG KISEONIKA U VODI

Maksimalne, teorijske koncentracije kiseonika u vodi prikazane su u tabeli 1. Uslovi za koje su date vrednosti koncentracija odgovaraju destilovanoj vodi, za određene temperature i normalni atmosferski pritisak (1013 mbar).

Tabela 1 Rastvorljivost kiseonika u vodi pri normalnom atmosferskom pritisku

| Temperatura (°C)      | 0    | 5    | 10   | 15   | 20  | 25  | 30  |
|-----------------------|------|------|------|------|-----|-----|-----|
| O <sub>2</sub> (mg/l) | 14,6 | 12,8 | 11,3 | 10,2 | 9,2 | 8,4 | 7,6 |

#### 2. BIOHEMIJSKA POTROŠNJA KISEONIKA (BPK)

Biohemijska potrošnja kiseonika (BPK) predstavlja važan parametar kvaliteta površinske vode. BPK je merilo, odnosno pokazatelj količine kiseonika koju bakterije potroše za stabilizaciju organskih materija, koje se mogu razgraditi pri aerobnim uslovima.

BPK se može matematički izraziti ako se odredi brzina reakcije razgradnje organske materije. Utvrđeno je da se BPK odigrava prema zakonu reakcije prvog reda.

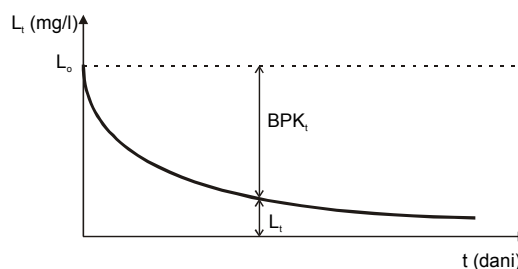
Brzina reakcije proporcionalna je preostaloj organskoj materiji

$$\frac{dL_t}{dt} = -k_1 L_t$$

$L_t$  - preostala koncentracija org. materije

$k_1$  - konst. brzine razgradnje org. materije

$$L_t = L_o \cdot e^{-k_1 t}$$



Količina kiseonika koja je u toku vremena  $t$  upotrebljena na oksidaciju organske materije iznosi:

$$BPK_t = L_o - L_t = L_o(1 - e^{-k_1 t})$$

Konstanta  $k_1$  zavisi od temperature vode:

$$k_{1(T)} = k_{1(T=20)} \cdot \theta^{(T-20)}, \quad \theta \approx \begin{cases} 1,047 & 20^\circ C < T < 30^\circ C \\ 1,35 & 4^\circ C < T < 20^\circ C \end{cases}$$

### 3. REAERACIJA

#### (NADOKNAĐIVANJE POTROŠENOG KISEONIKA APSORPCIJOM IZ VAZDUHA)

Ukoliko u vodi nedostaje kiseonika, istovremeno sa potrošnjom kiseonika u prisustvu bakterija, odigrava se i proces rastvaranja kiseonika iz atmosfere.

Proces rastvaranja kiseonika iz atmosfere je suprotan procesu potrošnje kiseonika koji se odigrava uz prisustvo bakterija. Može se matematički izraziti i odrediti preko brzine reakcije rastvaranja kiseonika. Utvrđeno je da se i ovaj proces odigrava prema zakonu reakcije prvog reda.

$$\frac{dD_t}{dt} = -k_2 D_t$$

$D_t$  – nedostatak kiseonika u vodi u trenutku  $t$

$k_2$  - konst. brzine reaeracije

$$D_t = D_o \cdot e^{-k_2 t}$$

$D_o$  – nedostatak kiseonika u vodi na početku reaeracije

Konstanta  $k_2$  zavisi od temperature vode:

$$k_{2(T)} = k_{2(T=20)} \cdot 1,0159^{(T-20)}$$

### 4. BILANS KISEONIKA

Nedostatak kiseonika u vodotoku posledica je potrošnje kiseonika na razgradnju organske materije. Kako bi se nedostatak kiseonika nadoknadio istovremeno se odigrava i reaeracije.

Ova dva procesa imaju suprotan efekat.

Bilans kiseonika u vodi matematički se predstavlja kao zbir ove dve reakcije (Streeter&Phelps):

$$\frac{dD}{dt} = k_1 L_t - k_2 D \quad (1)$$

Rešenje opšte jednačine bilansa kiseonika glasi:

$$D(t) = \frac{k_1 L_o}{k_2 - k_1} (e^{-k_1 t} - e^{-k_2 t}) + D_o e^{-k_2 t} \quad (2)$$

### Kritični deficit kiseonika

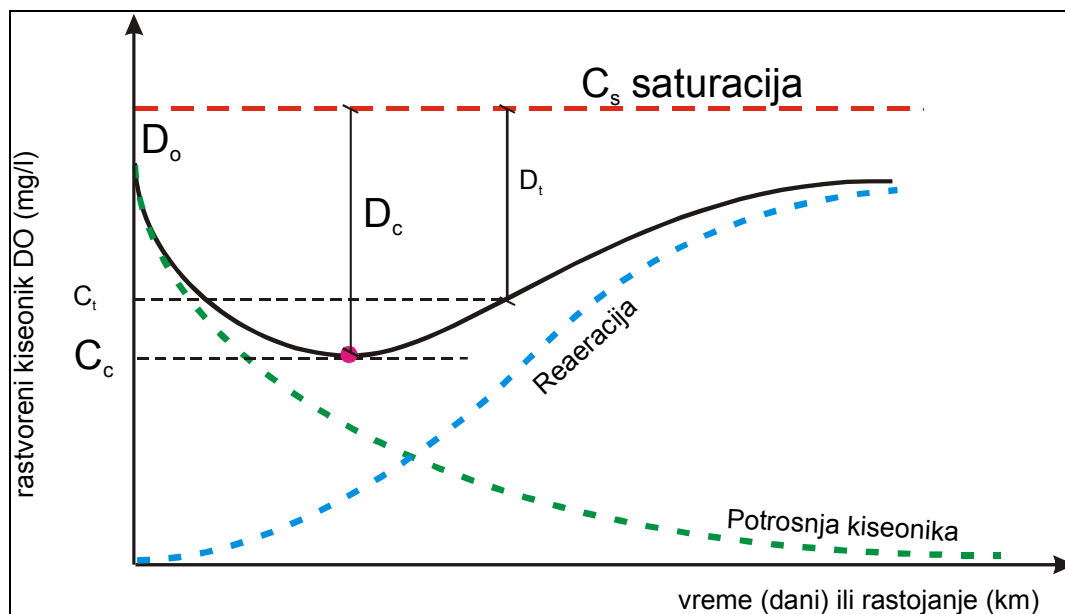
Kriva bilansa kiseonika može da ima minimum, tj. tačku u kojoj je koncentracija kiseonika *najmanja*. Ta tačka se naziva tačka kritičnog deficita.

$$D_c = \frac{k_1}{k_2} L_o e^{-k_1 t_c} \quad (3)$$

Vreme pojave kritičnog deficita kiseonika:

$$t_c = \frac{1}{k_2 - k_1} \ln \left( \frac{k_2}{k_1} - \frac{k_2}{k_1^2} \cdot \frac{k_2 - k_1}{L_o} D_o \right) \quad (4)$$

Ilustrativni prikaz bilansa kiseonika u vodi prikazan je na slici 1.



Slika 1. Kriva bilansa kiseonika

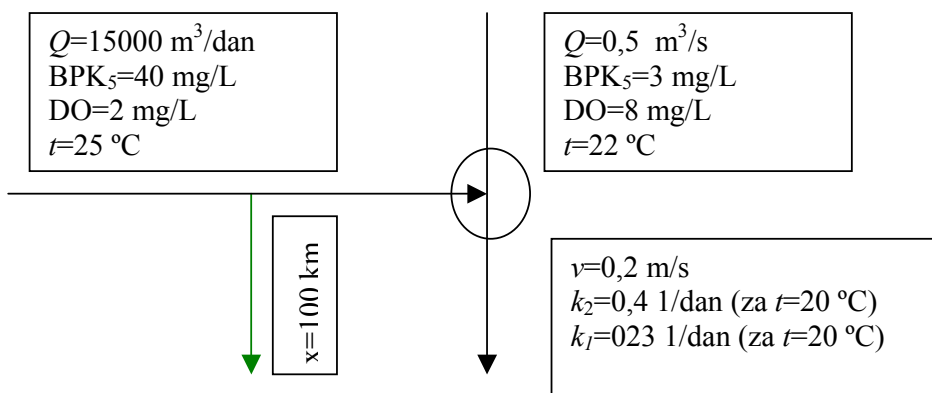
## ZADATAK 1

1. Laboratorijskom analizom utvrđeno je da je  $BPK_5$  u jednom uzorku rečne vode 615 mg/L. Ako je konstanta brzine razgradnje organske materije  $k_1=0,15 \text{ dan}^{-1}$ , odrediti ukupnu biološku potrošnju kiseonika.

Rešenje:  $L_0=1165 \text{ mg/L}$

## ZADATAK 2

2. Postrojenje za prečišćavanje otpadnih voda (PPOV) ispušta otpadnu vodu (efluent) u vodotok. Najnepovoljniji uslovi ispuštanja otpadne vode u rečni tok su u letnjim mesecima kada su proticaji u reci mali, a temperature vode visoke.
- U ovom periodu su rađena terenska merenja i laboratorijske analize da bi se odredile karakteristike efluenta i rečne vode.
- Efluent se ispušta sa  $15\,000 \text{ m}^3/\text{dan}$ ,  $BPK_5 = 40 \text{ mg/L}$ , a koncentracija rastvorenog kiseonika je  $2 \text{ mg/L}$ . Temperatura efluenta pre ispuštanja u rečni tok je  $25^\circ\text{C}$ .
- Vodotok (uzvodno od ispusta) ima najmanji proticaj od  $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $BPK_5=3 \text{ mg/L}$ , a koncentracija rastvorenog kiseonika  $8 \text{ mg/L}$ . Temperatura rečne vode pre ispusta je  $22^\circ\text{C}$ .
- Potpuno mešanje efluenta i rečne vode se obavlja skoro trenutno a brzina tečenja mešavine je  $0,2 \text{ m/s}$ .
- Konstanta reaeracije je procenjena na  $0,4 \text{ dan}^{-1}$  za  $t=20^\circ\text{C}$ . Konstanta razgradnje organske materije je za date uslove  $0,23 \text{ dan}^{-1}$ .
- Odrediti veličinu kritičnog deficita kiseonika i rastojanje kritičnog profila od mesta ispusta. Skicirati krivu bilansa kiseonika na dužini od  $100 \text{ km}$  od mesta ispuštanja efluenta u rečni tok.



Rešenje:

Vreme pojave kritičnog deficita:  $t_c \cong 2,5 \text{ dana}$

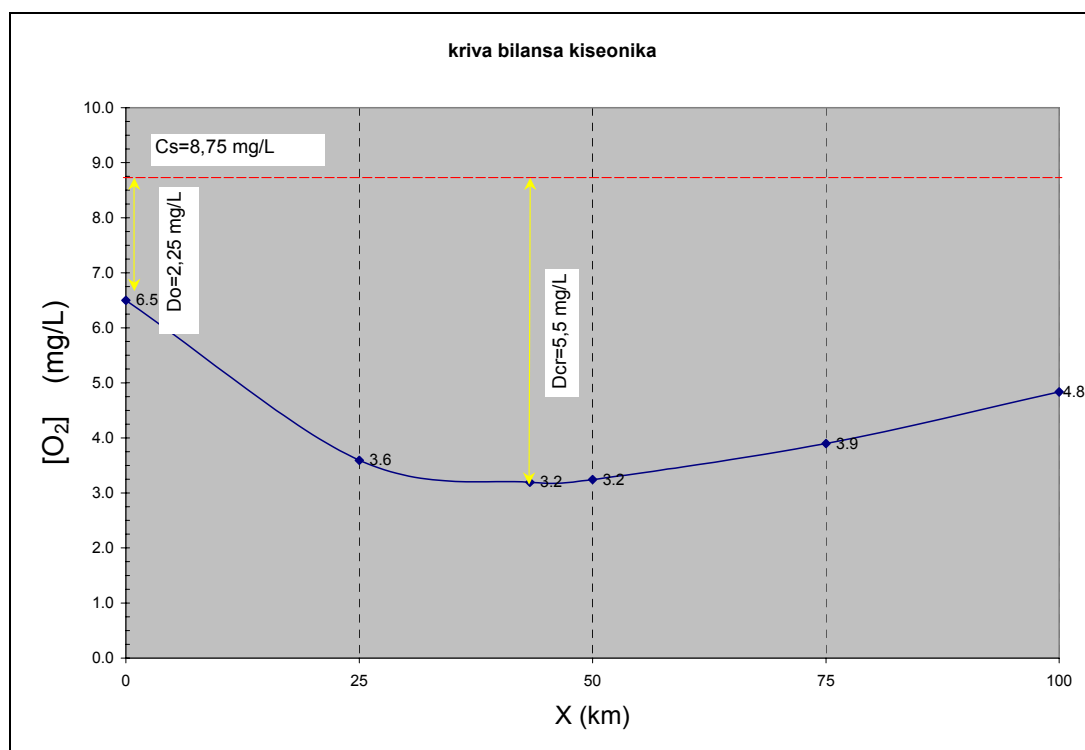
Mesto pojave kritičnog deficita:  $x=v \cdot t=0,2 \text{ m/s} \cdot 2,5 \text{ dana}=43,3 \text{ km}$

Kritični deficit:  $D_c = \frac{0,26}{0,42} \cdot 17,05 \cdot e^{-0,26 \cdot 2,5} = 5,56 \text{ mg/L}$

Nacrtati krivu deficita kiseonika na deonici  $100 \text{ km}$  nizvodno od mesta ispusta:

$$D(t) = \frac{0,26 \cdot 17,05}{0,42 - 0,26} \{ e^{-0,26t} - e^{-0,42t} \} + 2,25 \cdot e^{-0,42t}$$

| x<br>(km)             | t<br>(dani)          | D (t)<br>(mg/L)       | [O <sub>2</sub> ]<br>(mg/L) |
|-----------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------------|
| 0                     | 0                    | 2,25                  | 6.50                        |
| 25                    | 1,45                 | 5,16                  | 3.59                        |
| x <sub>c</sub> = 43,3 | t <sub>c</sub> = 2,5 | D <sub>c</sub> = 5,56 | 3.19                        |
| 50                    | 2,89                 | 5,51                  | 3.24                        |
| 75                    | 4,34                 | 4.85                  | 3.90                        |
| 100                   | 5,79                 | 3.91                  | 4.84                        |



### ZADATAK 3

3. Prehrambena industrija izbacuje otpadnu vodu u jedan vodotok.  
Karakteristike industrijske otpadne vode i vode u vodotoku su prikazane u tabeli.

|                            |                       | Otpadna voda | Vodotok |
|----------------------------|-----------------------|--------------|---------|
| Protok                     | (m <sup>3</sup> /dan) | 1000         | 19000   |
| BPK <sub>5</sub> (na 20°C) | (mg/l)                | 1250         | 2       |
| O <sub>2</sub>             | (mg/l)                | 0            | 10      |
| Temperatura                | (°C)                  | 50           | 10      |
| k <sub>1</sub> (na 12°C)   | dan <sup>-1</sup>     |              | 0.24    |
| k <sub>2</sub> (na 20°C)   | dan <sup>-1</sup>     | -            | 0.55    |

- a) Ukoliko se otpadna voda ne prečišćava, koja je najniža koncentracija rastvorenog kiseonika u vodotoku koja će se javiti kao rezultat ispuštanja ovakve otpadne vode u vodotok? Komentarisati rezultat.

b) Ukoliko se u vodotoku nalazi ribnjak za uzgajanje pastrmki za čiju egzistenciju je potrebno najmanje 5mg/l rastvorenog kiseonika u vodi, koliko je maksimalno opterećenje otpadne vode organskim materijama (izraženo u mg/l BPK5) koje se sme ispustiti u vodotok?

Rešenje:

a)

Vreme pojave kritičnog deficita:  $t_c = 2.81$  dana

Kritični deficit kiseonika:  $D_c = 23,13$  mg/L što nije moguće. Koncentracija kiseonika u vodi je 0 mg/L tj. u vodi su anaerobni uslovi.

b)

Maksimalna koncentracija organskih materija u vodotoku:  $BPK_5 = 15,4$  mg/L