

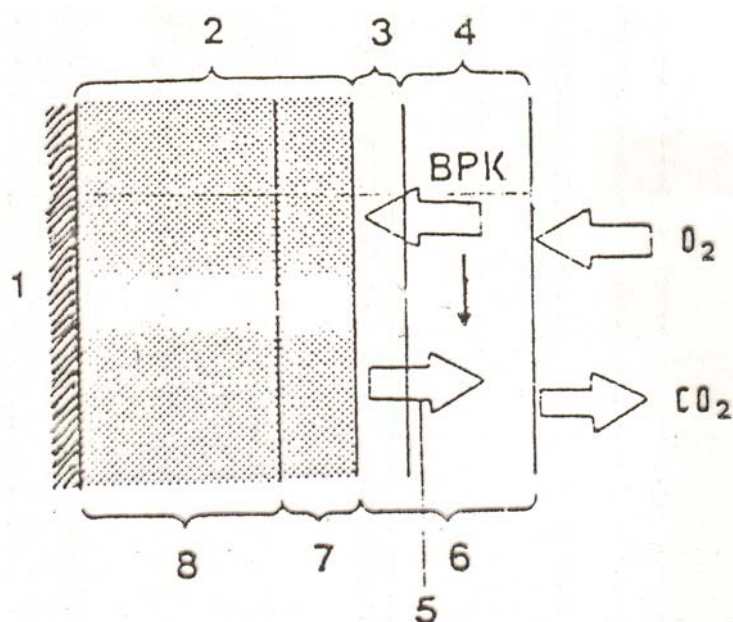
(Ljubisavljević),  
(Gaćeša)

## PROCES BIOFILTRACIJE

Kod postupka biofiltracije mikroorganizmi se nalaze na filtarskoj ispuni, a organske materije se dovode do njih. Na filtarskoj ispuni formira se bioopna koja se sastoji od populacije bakterija i gljivica.

Konstrukcija biofiltara može biti sa ispunom od zrnastog materijala ili od plastičnih diskova (koji rotiraju i delimično su uronjeni u vodu).

Tok procesa na biofiltru prikazan je na slikama 1 i 2.



Slika 1. Tok biološkog procesa na biofiltru

1-Filterski medij,

2-Bioopna,

3-Fiksna vodena opna,

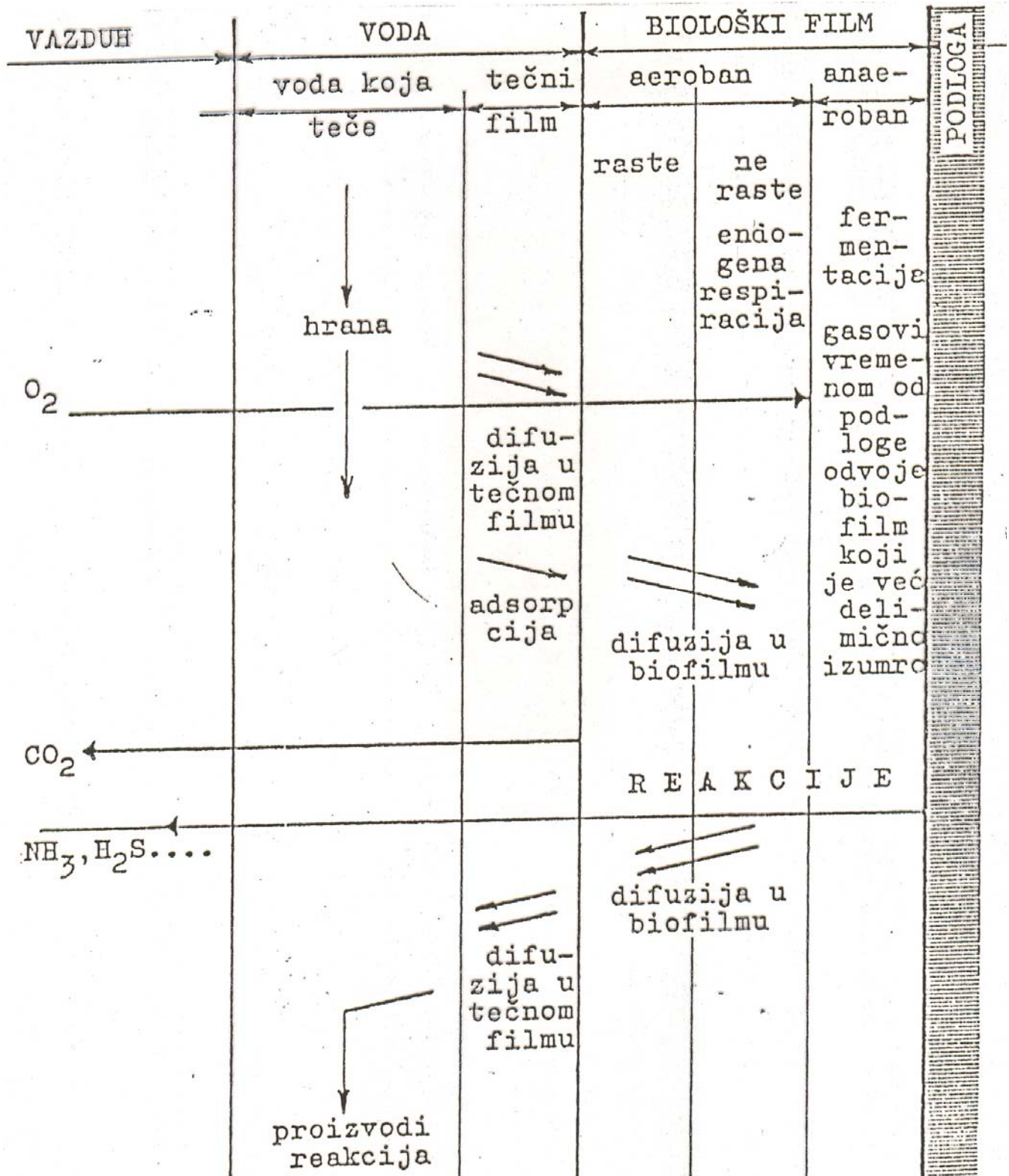
4-Pokretna vodena opna,

5-Konačni (oksidirani) produkt,

6-Vodena opna,

7-Aerobna zona,

8-Anaerobna zona



Slika 2. Šema pojava u fiksiranom biološkom filmu

Kiseonik se u tečni sloj prenosi iz okolnog vazduha postupkom apsorpcije. Bioopna je sa unutrašnje strane anaerobna, tako da je biofiltracija delom anaerobni proces, odnosno fakultativan proces koji povezuje delovanje aerobnih i anaerobnih mikroorganizama.

Aerobna zona biofilma, dubina sloja do koje dopire kiseonik, ograničena je na oko 50 do 100  $\mu\text{m}$  dok je ukupna debljina biofilma obično od 0,1 do 2 mm.

U kontaktu otpadne vode sa površinom biofiltra, iz vode se izdvajaju organske materije i rastvoreni kiseonik. Iz procesa nastaju konačni produkti razgradnje koji se vraćaju u vodu. Iz anaerobnog sloja biofilma izdvajaju se ugljen-dioksid, amonijak, sumpor-vodonik i drugi gasovi. Veza izmedju podloge i biološkog sloja vremenom postepeno popušta zbog nedostatka hranljivih materija i nastajanja gasova. Delovi sloja se povremeno otkidaju i odlaze sa prečišćenom vodom pa se moraju izdvojiti iz vode taloženjem u naknadnoj taložnici.

Prema hidrauličkom i organskom opterećenju biološki filtri mogu biti:

- slabo opterećeni filtri, koji su pogodni za manja postrojenja, imaju stepen uklanjanja  $\text{BPK}_5$  oko 95 % u jednom stepenu, sa nitrifikacijom i skoro potpunom stabilizacijom mulja,
- jako opterećeni filtri, gde organske materije u mulju nisu stabilizovane, stepen uklanjanja  $\text{BPK}_5$  je 70 do 90 % u jednom stepenu, a u cilju održavanja dovoljne brzine vode u ispuni primenjuje se recirkulacija vode,
- kule visine 5 ÷ 20 m, koje se koriste za delimično prečišćavanje organski visoko opterećenih industrijskih otpadnih voda, kao prvi stepen prečišćavanja u višestepenom postrojenju.

U odnosu na ispunu od grubog zrnastog materijala (tucanika, uglja, šljake i dr.) ispune od plastike imaju znatno veću specifičnu površinu za formiranje biofilma (do 200  $\text{m}^2/\text{m}^3$ ) i znatno veću poroznost (preko 90 %).

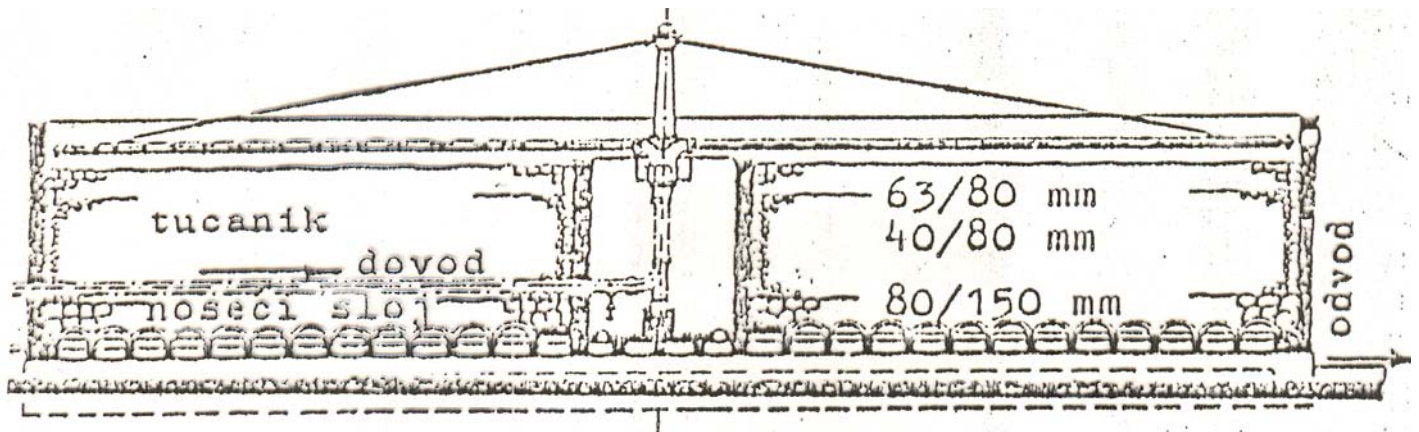
Od postupaka biofiltracije danas se najviše koriste kapajućí (prokapni) filtri i biodiskovi (biofiltri sa rotirajućim pločama, rotacioni biološki kontaktori-RBK).

Kapajućí filter je najstariji postupak biofiltracije, a koristi se često kao alternativa, za manje protoke otpadne vode, postupcima sa aktivnim muljem, zbog manjih radnih troškova i jednostavnijeg rada, ali im je efikasnost niža.

Kapajućí filter se sastoji od dubokog sloja ispune koja ima veliku propustljivost. Na ispuni se formira tanak sloj imobilisanih ćelija mikroorganizama - biofilm.

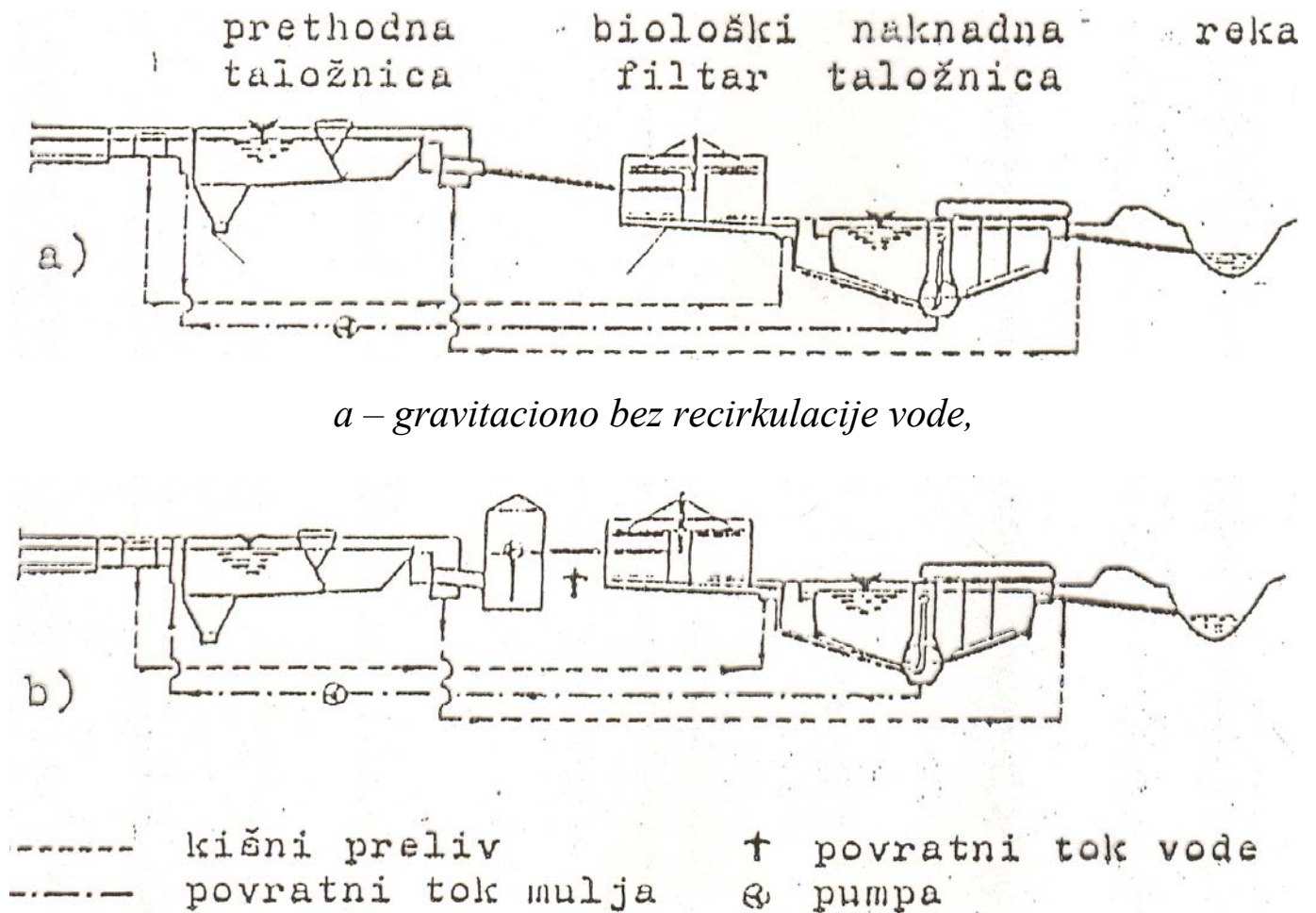
Na slici 3 prikazan je vertikalni presek kroz klasičan biološki filter (kapajućí filter) sa ispunom od tucanika. Voda se na gornju površinu ispune izliva iz rasprskivača (Segnerovo kolo) koje rotira usled reaktivne sile mlazeva vode. Potrebno je da voda u rasprskivaču ima pritisak od oko 0,15 bar. Za rasprskivač sa dva kraka brzina treba da bude do jednog obrtaja za 10 minuta što može da varira u zavisnosti od hidrauličkog opterećenja. Visina filterne ispune je oko 3 m. Ispod ispune nalazi se duplo dno gde se skuplja prečišćena voda.





Slika 3. Vertikalni presek kroz biološki filter sa ispunom od tucanika

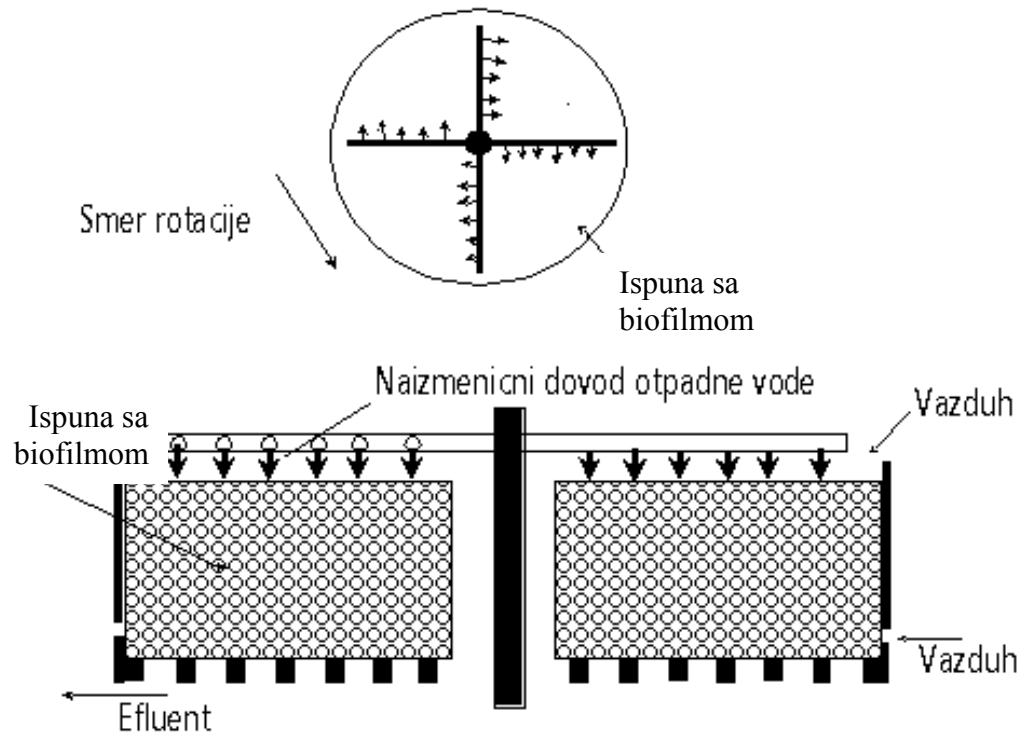
Na slici 4 prikazane su dve moguće šeme postrojenja sa biološkim filtrom.  
 Na slici 4a prikazani su načini recirkulacije kod visokoučinskog kapajućeg filtra.



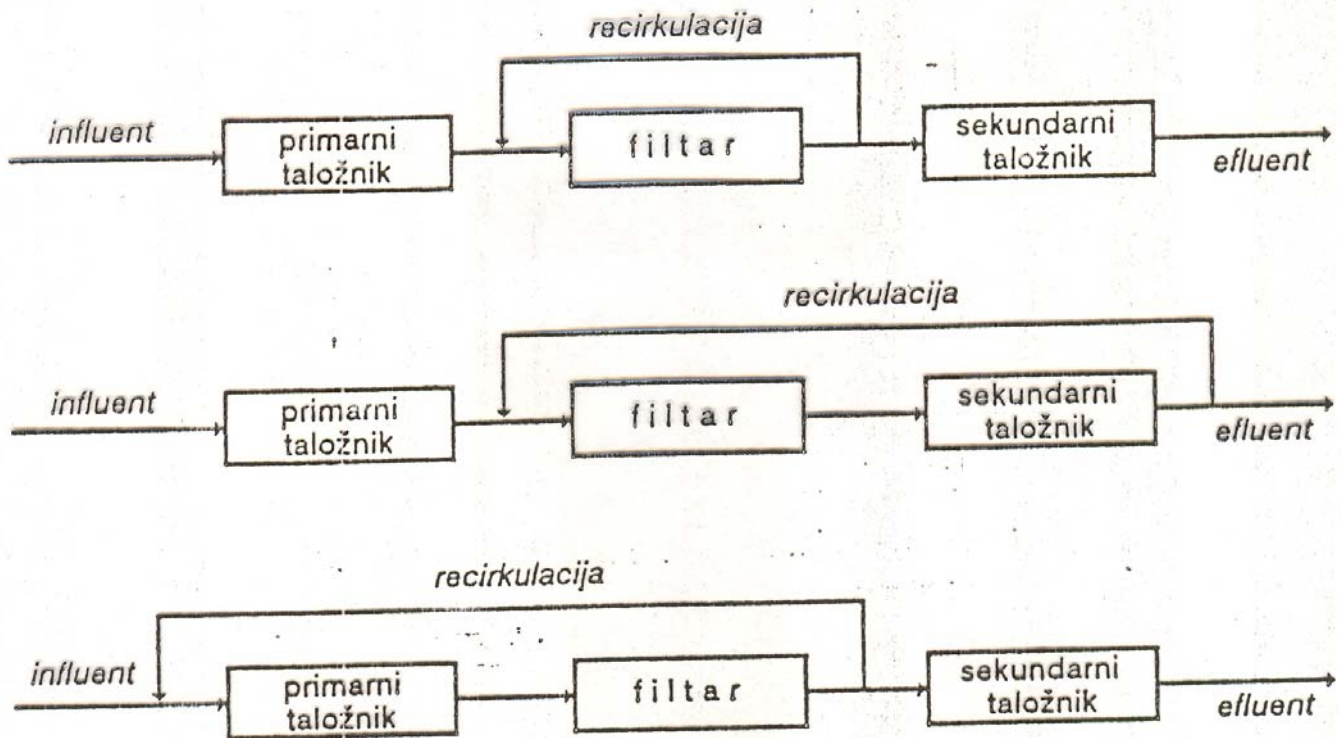
a – gravitaciono bez recirkulacije vode,

b – sa pumpanjem vode na filter i recirkulacijom vode

Slika 4. Postrojenje sa biološkim filtrom



*Slika 2.8. Šema kapajućeg filtra [12]*



Slika 4a Načini recirkulacije kod visokoučinskog kapajućeg filtra

(Ljubisavljević), st. 129

## Opterećenje i dimenzionisanje biološkog filtra

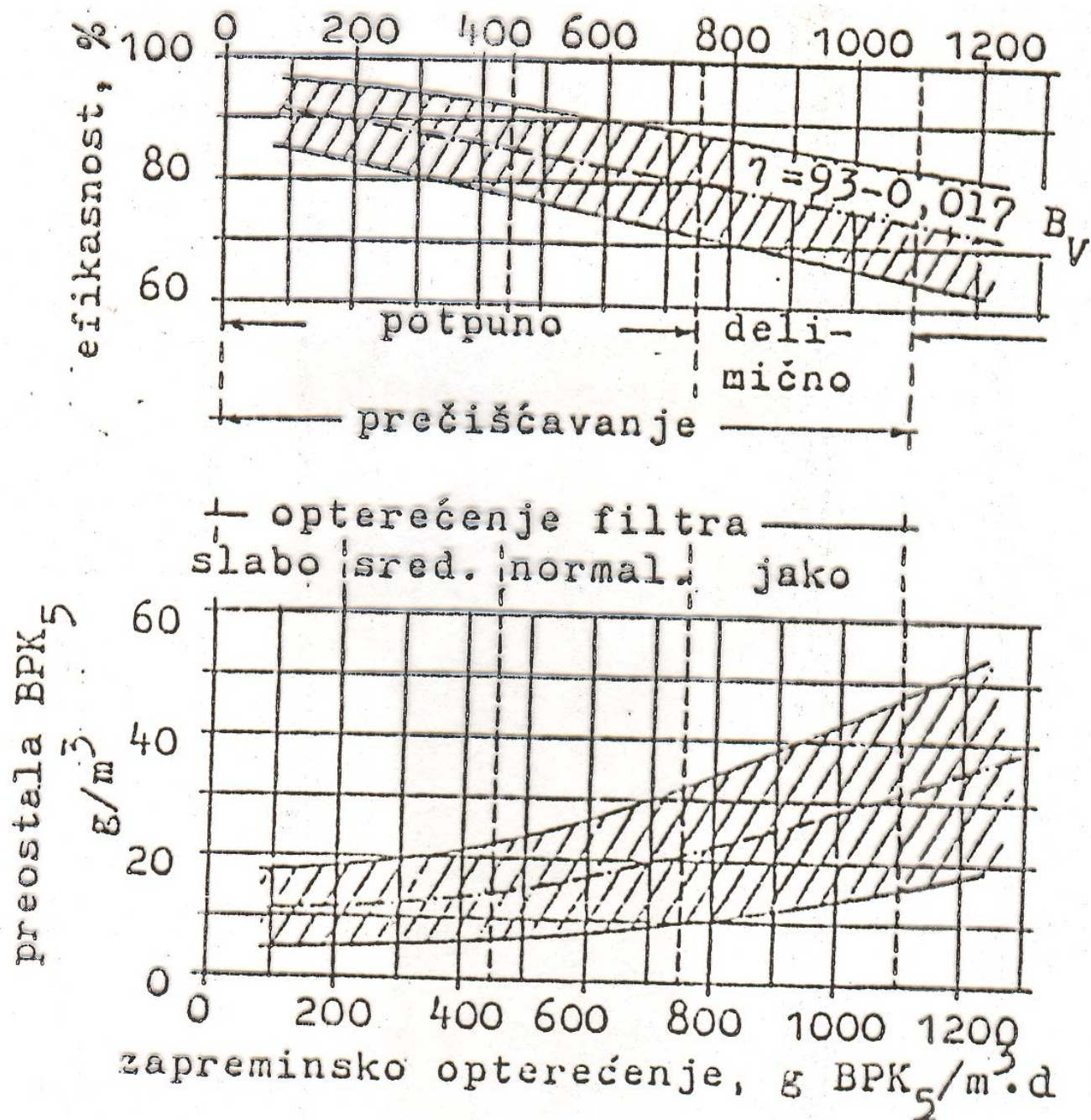
Prilikom dimenzionisanja bioloških filtara uzimaju se u obzir sledeće veličine:

Naziv	Oznaka	Jedinica mere
zapreminsko opterećenje ispunje biofiltra organskim materijama (zapreminsko organsko opterećenje),	$B_V$	$g \text{ BPK}_5/m^3 \cdot \text{dan}$
površinsko opterećenje organskim materijama po jedinici površine ispunje biofiltra,	$B_A$	$g \text{ BPK}_5/m^2 \cdot \text{dan}$
površinsko hidrauličko opterećenje po jedinici horizontalne površine objekta,	$q_{A(1+R)}$	$m^3/m^2 \cdot h$
iznos recirkulacije u odnosu na $Q_{SV18}$ (osamnaestočasovni srednji protok pri suvom vremenu),	$R$	-
specifična površina ispunje biofiltra	$A_V$	$m^2/m^3$

Izbor vrednosti projektnih parametara zavisi od veličine objekta, željenog učinka prečišćavanja i vrste ispunje filtra.

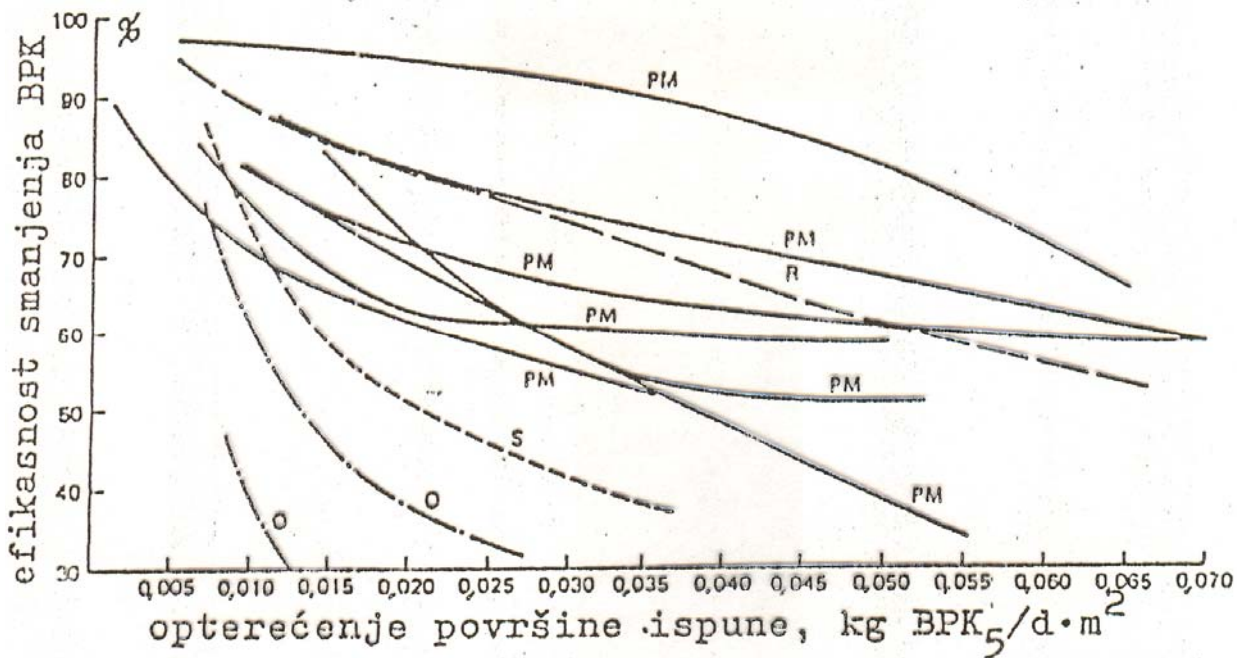
Na slici 5 prikazan je očekivani efekat prečišćavanja biološkog filtra sa klasičnom ispunom od tucanika (efikasnost u % i postignuta vrednost  $\text{BPK}_5$  u prečišćenoj vodi) u zavisnosti od zapreminskog opterećenja organskim materijama.



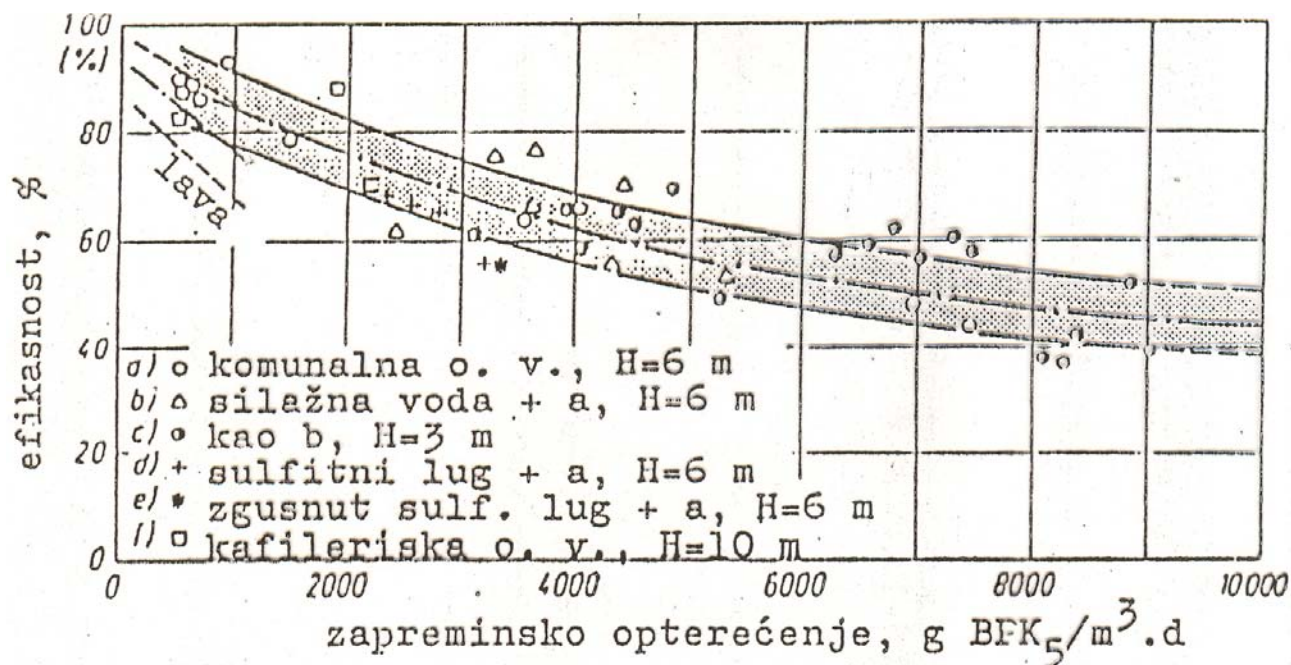


Slika 5 Efikasnost biološkog filtra sa ispunom od **tucanika** u zavisnosti od zahtevanog stepena prečišćavanja odnosno od zapreminskog opterećenja

Uticaj vrste ispunje biološkog filtra na stepen prečišćavanja prikazan je na slici 6.



Slika 6 Efikasnost smanjenja  $BPk_5$  u biološkom filtru u zavisnosti od vrste ispune i opterećenja (PM – plastika, S - šljaka, R – tucanik, O - ostalo)



Slika Efikasnost biološkog filtra sa **plastičnom** ispunom

Uobičajeni projektni parametri za dimenzionisanje jednostepenih bioloških filtara različite veličine i vrste ispuna, **prema ATV (Nemačka)**, dati su u tabeli 3.13. Prema ovom uputstvu predviđa se najmanji prečnik biološkog filtra od 30 m, a najveći od 40 m.



Tabela 3.13 Dimenzionisanje jednostepenih bioloških filtara prema ATV

Prečišćavanje			bez nitrifikacije	sa nitrifikacijom
<b>ISPUNA OD TUCANIKA</b>				
Zapreminsko organsko opterećenje $B_V$ (kgBPK <sub>5</sub> /m <sup>3</sup> d.)	postrojenje za > 500 stanovnika		0,4	0,2
		sa ujednačenjem toka u 24h	≤ 0,6	
	50 - 500 stanovnika		≤ 0,2	-
	50 stanovnika		≤ 0,15	-
Hidrauličko površinsko opterećenje $q_A (1+R)$ m/h			0,5 - 1,0	0,4 - 0,8
Recirkulacija u odnosu na $Q_{sv}$ 18			$R \leq 1$	$R \leq 1$
<b>ISPUNA PLASTIČNIM ELEMENTIMA</b> (ne primenjuje se ako je BPK <sub>5</sub> u vodi posle primarnog taloženja < 200 mg/l)				
Zapreminsko organsko opterećenje $B_V$	specifična površina $A_R$ (m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> )	~ 100	0,4	0,2
		~ 150	0,6	0,3
		~ 200	0,8	0,4
Hidr. površin. opterećenje $q_A (1+R)$	specifična površina $A_R$ (m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> )	~ 100	0,8 - 1,0	0,6 - 1,0
		~ 150	1,0 - 1,5	0,8 - 1,2
		~ 200	1,2 - 1,8	1,0 - 1,5
Površinsko organsko opterećenje $B_A$ (g BPK <sub>5</sub> /m <sup>2</sup> d.)			4	2

U tabeli 3.14 date su tipične vrednosti za dimenzionisanje bioloških filtara prema američkoj literaturi.

Tabela 3.14 Tipične vrednosti za dimenzionisanje bioloških filtara

	Opterećenje biofiltra			
	slabo	srednje	visoko	vrlo visoko - kule
Hidrauličko opterećenje ( $m^3/m^2 \text{ d.}$ )	1 - 4	4 - 10	10 - 40	40 - 200
Organsko opterećenje ( $kgBPK_5/m^3d.$ )	0,08 - 0,32	0,24 - 0,48	0,32 - 1,0	0,80 - 6,0
Dubina (m)	1,5 - 3,0	1,25 - 2,5	1,0 - 2,0	4,5 - 12
Recirkulacija	0	0 - 1	1 - 3 ; 2 - 1	1 - 4
Materijal	tucanik, šljaka	tucanik, šljaka	tucanik, šljaka; plastika	plastika
Potreb. snaga ( $kW/10^3 m^3$ )	2 - 4	2 - 8	6 - 10	10 - 20
Tok vode	intermitentan	intermitentan	kontinualan	kontinualan
intervali doziranja	manji od 5 min	15 - 60 s	manje od 15 s	kontinualno
Efluent	nitrifikovan	del. nitrifikovan	slabo nitrifikovan	slabo nitrifikovan

Gaćeša (kapajući filtar), str. 248

Kapajući biofiltrar se sastoji od dubokog sloja nosača, ispune filtra, velike propustljivosti, a na površini nosača se formira tanak sloj imobilisanih ćelija mikroorganizama - biofilm. Otpadna voda se raspršuje po vrhu ispune i odatle se cedi, kaplje (odadle naziv) kroz ispunu, skuplja na dnu filtra i odvodi u sekundarni taložnik, gde se uklanjaju suspendovane čestice poreklom iz otpadne vode i čestice biofilma sprane sa nosača u filtru. **Aeracija se obezbeđuje prirodnom promajom.**

Kapajući biofiltri se dele na **dve osnovne kategorije (1) niskoučinske, i (2) visokoučinske**, a njihove osnovne karakteristike date su u tabeli 12.2.

**Niskoučinski kapajući biofiltrar** radi najjednostavnije, bez recirkulacije; malog je kapaciteta a velike efikasnosti prečišćavanja koja se može uporediti sa efikasnošću većine postupaka sa aktivnim muljem. Ujednačavanje hidrauličkog opterećenja postiže se ugradnjom malog napojnog pufer tanka. Niskoučinski kapajući biofiltrar je punjen obično kamenom, po pravilu rečnim šljunkom - oblutkom (najjeftiniji materijal) što užeg opsega dimenzija, ali obično ne manjeg od 25 mm, kako bi se izbeglo zapušavanje ispune i ne većeg od 75 mm

da bi se imala dovoljno velika površina za formiranje biofilma. Kao nosači biofilma koriste se još i šljaka ili ugalj. U niskoučinskim biofiltrima rast biofilma je dugotrajan, a odvajanje i spiranje imobilisane mikroflore je periodično (najintenzivnije u proleće). Niskoučinski biofiltri (i većina ostalih kapajućih biofilara) su po pravilu kružnog oblika, a otpadna voda se raspršuje po površini u obliku veštačke kiše rotacionim raspodeljivačima sa diznama. Ostale bitne karakteristike date su u tabeli 12.2.

**Tabela 12.2 Osnovne karakteristike kapajućih biofilara**

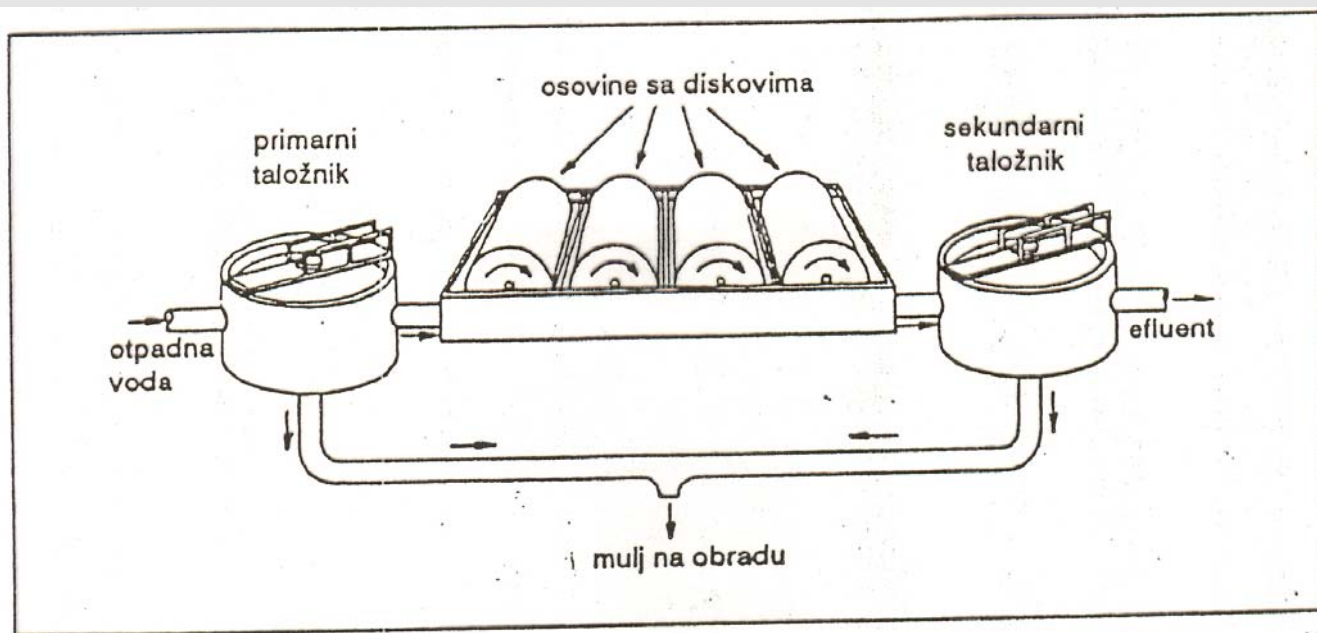
Karakteristike	Niskoučinski	Visokoučinski	
		Ispuna od kamena	Ispuna od plastike
Dubina, m	1,8 - 3	1 - 2,5	4 - 10
Specifična površina ispune ( $A_v$ ), $m^2/m^3$	40 - 65	40 - 65	80 - 100
Porozitet	0,45 - 0,55	0,45 - 0,55	0,90 - 0,97
Veličina elemenata ispune, mm	25 - 75	25 - 75	Zavisi od materijala
Hidrauličko površinsko opterećenje ( $q$ ), $m^3/(m^2 \cdot dan)$	1 - 3	9 - 28	20 - 75
Zapreminsko organsko opterećenje ( $B_v$ ), $kg BPK_5/(m^3 \cdot dan)$	0,1 - 0,4	0,4 - 1,8	do 15
Recirkulacioni odnos (R)	0	1 - 4	1 - 4
Spiranje mikroflore	periodično	kontinualno	kontinualno
Nitrifikacija	da	na nižim opterećenjima	ne pri ekonomičnom radu
BPK <sub>5</sub> u efluentu, mg/l	<25	>30	>30
Suspendovane čestice u efluentu, mg/l	<25	>30	>30

Dalje povećanje učinka kapajućeg biofiltra omogućeno je korišćenjem plastične ispune (niza plastičnih materijala u tzv. modulima, odnosno blokovima ili briketima). Plastičnu ispunu karakteriše mnogo veća površina, a naročito veći porozitet (udeo šupljina u zapremini ispune) i pravilnost raspodele površine, što dovodi do: povećanja ukupne mase biofilma u biofiltru, bolje raspodele otpadne vode, boljeg obliivanja (kvašenja) ispune, i do boljeg provetravanja biofiltra. Takođe, daleko lakši plastični materijali su omogućili pravljenje kapajućih biofilara sa mnogo dubljim slojem ispune, čime se produžava vreme kontakta otpadne vode sa biofilmom. Sve to omogućilo je dalje veliko povećanje hidrauličkog i organskog opterećenja, odnosno povećanje kapaciteta kapajućeg biofiltra, u odnosu na biofiltre sa klasičnom ispunom, uz približno istu efikasnost prečišćavanja.



## "Biodisk"

"Biodisk" je aerobni biofiltrar sa rotirajućim plastičnim perforiranim diskovima (koji služe kao nosači imobilisane mikroflore) postavljenim na malom rastojanju na horizontalnoj osovini i uronjenim skoro do polovine (obično oko 40 %) u sud sa otpadnom vodom (sl. 12.11). Nagli razvoj biodisk postupak doživljava od početka sedamdesetih godina, kada se ovladalo proizvodnjom plastičnih diskova. Zahvaljujući svojoj modularnoj prirodi, odnosno mogućnosti jednostavnog proširivanja filtra dodavanjem novih "modula" (tj. osovina sa diskovima), biodisk se predstavio kao veoma elastičan sistem prečišćavanja, prilagodljiv za obradu najrazličitijih protoka otpadne vode: od 40 m<sup>3</sup>/dan (i manje) do 200000 m<sup>3</sup>/dan, pa i mnogo više (potencijalno do, i preko 700000 m<sup>3</sup>/dan). Biodisk je, iz istih razloga, pogodan kao način proširivanja postojećih postrojenja za prečišćavanje. Biodisk postupak karakteriše mali utrošak ljudskog rada, 1-7 časova nedeljno. Utrošak energije za obrtanje diskova takođe je mali, na primer 3-4 kW za biodisk površine diskova oko 10000 m<sup>2</sup> i sa 1,6 obrtaja u minuti.



Slika 12.11 Biodisk filter

Zahvaljujući svom načinu rada, pri čemu je oko 50 % vremena mikroflora izložena vazduhu, biodisk filterima se mogu obrađivati zagađenije otpadne vode nego kapajućim biofiltrima (a bez izraženijih pojava anaerobize biofilma), što je pogodno za prečišćavanje mnogih industrijskih otpadnih voda. Rotacija diskova doprinosi uklanjanju neaktivnih delova biofilma, koji "spadaju" sa diska, a mešanje vode izazvano rotacijom diskova ne dozvoljava suspendovanim česticama da se istalože u samom biofiltru.

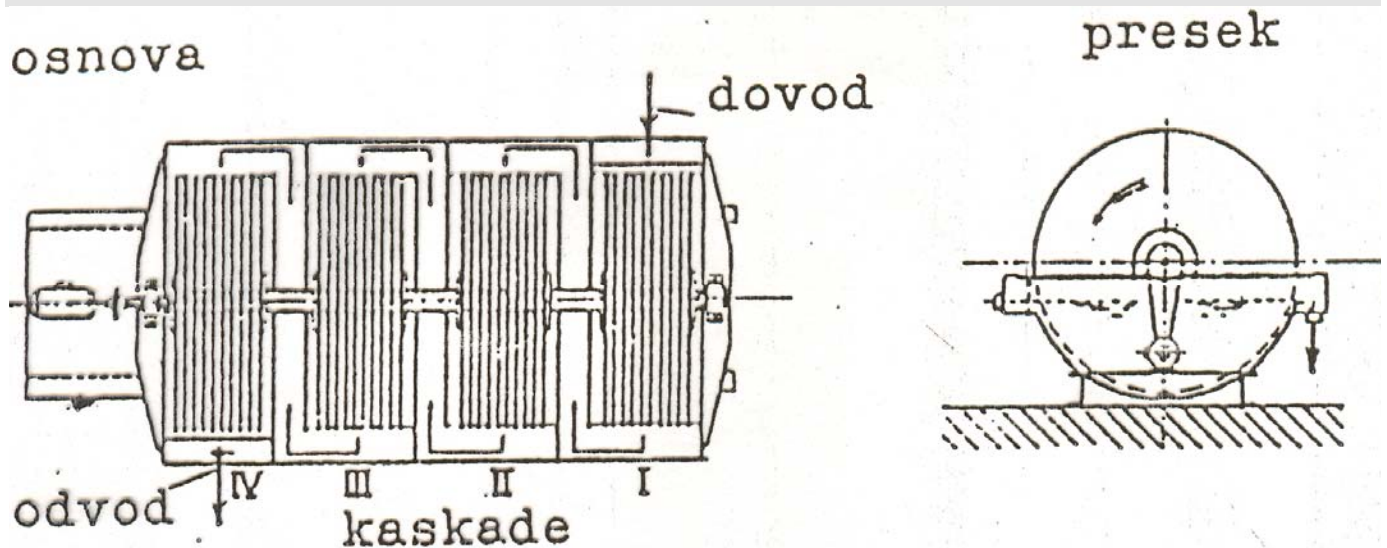
U najvećem broju slučajeva biodisk filteri se koriste za tzv. sekundarno prečišćavanje, tj. uklanjanje organskog zagađenja; ređe je kombinovano prečišćavanje i nitrifikacija, a retko se koriste samo za nitrifikaciju. Dimenzionisanje i procena radnih karakteristika biodisk

filtara se obično izvodi na osnovu modifikovanih modela za kapajuće filtre. Tako dobijeni podaci se koriguju i dopunjuju rezultatima sa poluindustrijskih, i iskustvima sa drugih industrijskih biodisk filtara.

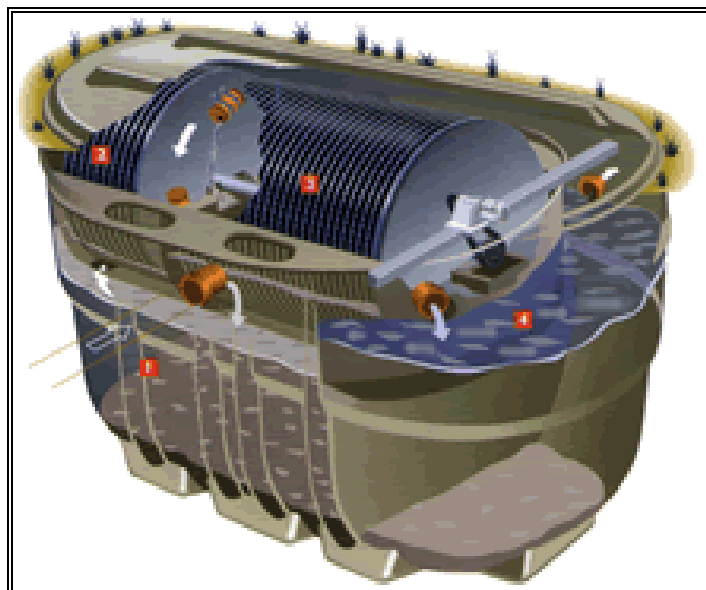
(Ljubisavljević), st. 130

### Rotacioni biološki kontaktori (RBK)

Uređaje ovog tipa proizvode različiti proizvođači opreme, i nude se na tržištu pod različitim imenima (slika 7). Sastoje se od kružnih diskova, na zajedničkoj osovini, na malom međusobnom razmaku. Diskovi su izrađeni od plastičnog materijala: kao ploče sa različito nabranom površinom ili kao spirale od plastičnih cevi sa talasastim zidovima, i dr. Diskovi su delimično potopljeni u vodu i lagano se okreću u njoj. Živi svet se razvija na površini diskova i postepeno obrazuje skramu na celoj okvašenoj površini diskova. Rotacijom delimično potopljenih diskova biomasa se naizmenično izlaže otpadnoj vodi i vazduhu, i održava se u aerobnom stanju. Biodiskovi odnosno RBK se izrađuju kao montažna postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda do 1000 ekvivalentnih stanovnika (ES).



Slika 7. Šema biodiska sa četiri kaskade



Slika 3.1. Biodisk /13/

RBK mogu da se projektuju bez primarnog taložnika, ali se to ne preporučuje jer može doći do akumulacije suspendovanih čvrstih materija na dnu bazena i stvaranja anaerobnog sloja kao i do povećanja potrebe za kiseonikom biodiskova. Može se koristiti fina rešetka umesto taložnika. U RBK je niska vrednost odnosa mase dovedenih hranljivih materija prema masi mikroorganizama pa stoga oni dobro podnose nagla povećanja hidrauličkog i organskog opterećenja.

Projektovanje RBK prvenstveno se sastoji u određivanju potrebne površine diskova ( $A_{pot}$ ):

$$A_{pot} = \text{BPK}_5 \text{ (kg/dan)} / B_A \text{ površinsko opterećenje diskova (kg BPK}_5\text{/m}^2\text{·dan)}$$

pri čemu vrednost površinskog opterećenja diskova zavisi od konstrukcije RBK, željenog stepena prečišćavanja i sastava vode.

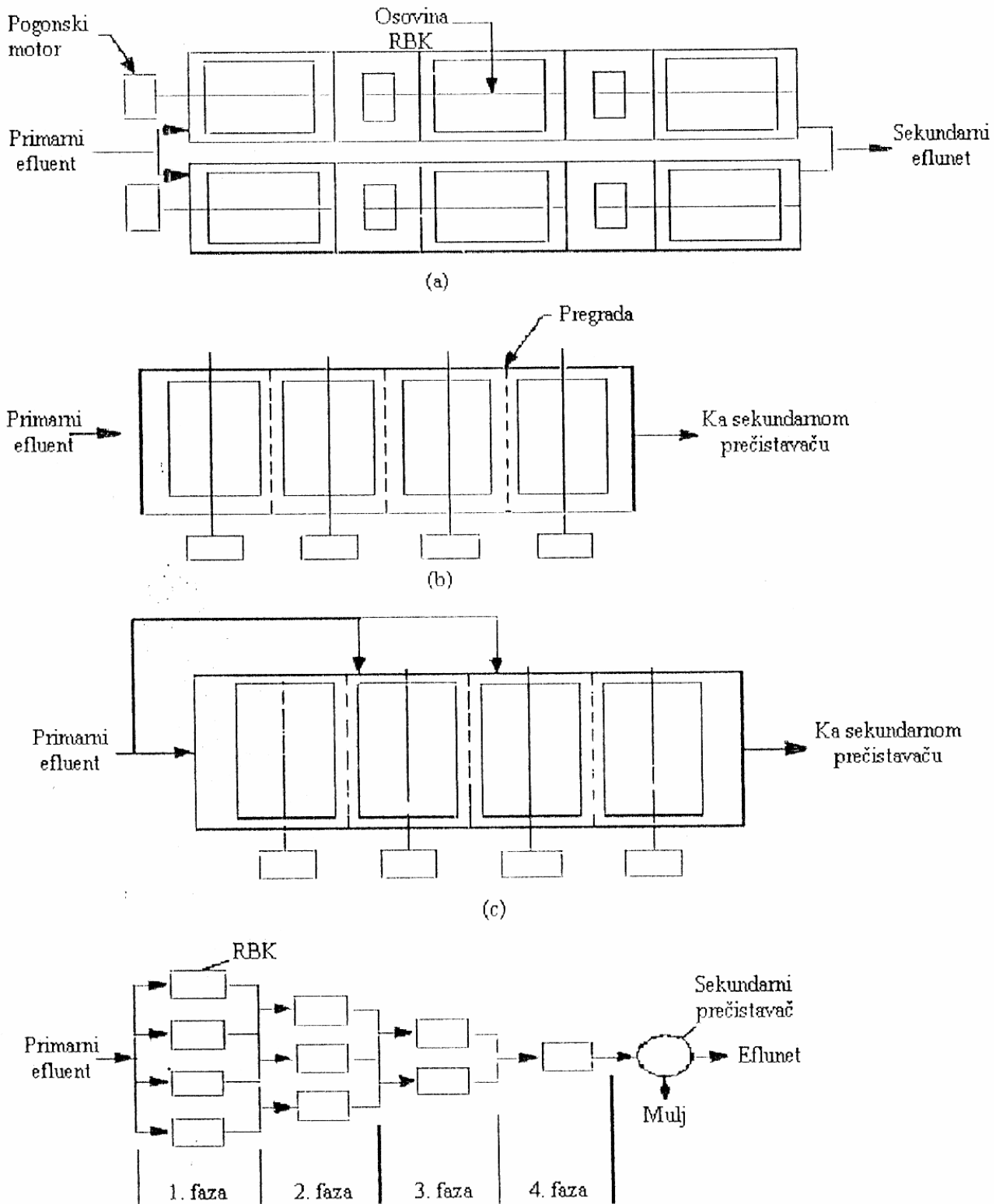
RBK se obično grade u kaskadama, tj. skup diskova deli se u dve ili više grupa koje rotiraju u posebnim koritima. Na taj način se poboljšava efikasnost, pa opterećenje može biti i veće.

**Tabela 3.15 Vrednosti opterećenja diskova RBK za dimenzionisanje**

Broj kaskada	Površinsko opterećenje diskova (g BPK <sub>5</sub> /m <sup>2</sup> ·dan)	
	bez nitrifikacije	sa nitrifikacijom
2	8	-
3	10	4
4	-	5



### Primeri rasporeda RBK



*Slika 3.7. Karakteristican raspored RBK: a) sa tokom sa osovinom, b) sa tokom upravnim na osovinu, c) sa stepenim napajanjem i d) strelasti raspored*



*Slika 3.2. Višestruka instalacija RBK-a prečnika 3,66m /13/*