

Univerzitet u Novom Sadu  
Prirodno-matematički fakultet  
Departman za hemiju, biohemiju i zaštitu životne sredine  
Udruženje za unapređenje zaštite životne sredine „Novi Sad“  
Fondacija "Docent dr Milena Dalmacija"



# ZAJEDNIČKO PREČIŠĆAVANJE KOMUNALNIH I INDUSTRIJSKIH OTPADNIH VODA I OBRADA I ODLAGANJE MULJEVA

Profesor Dr Božo Dalmacija

UNS - PMF

Departman za hemiju, biohemiju i zaštitu životne sredine

Novi Sad 8-10. septembar, 2021.

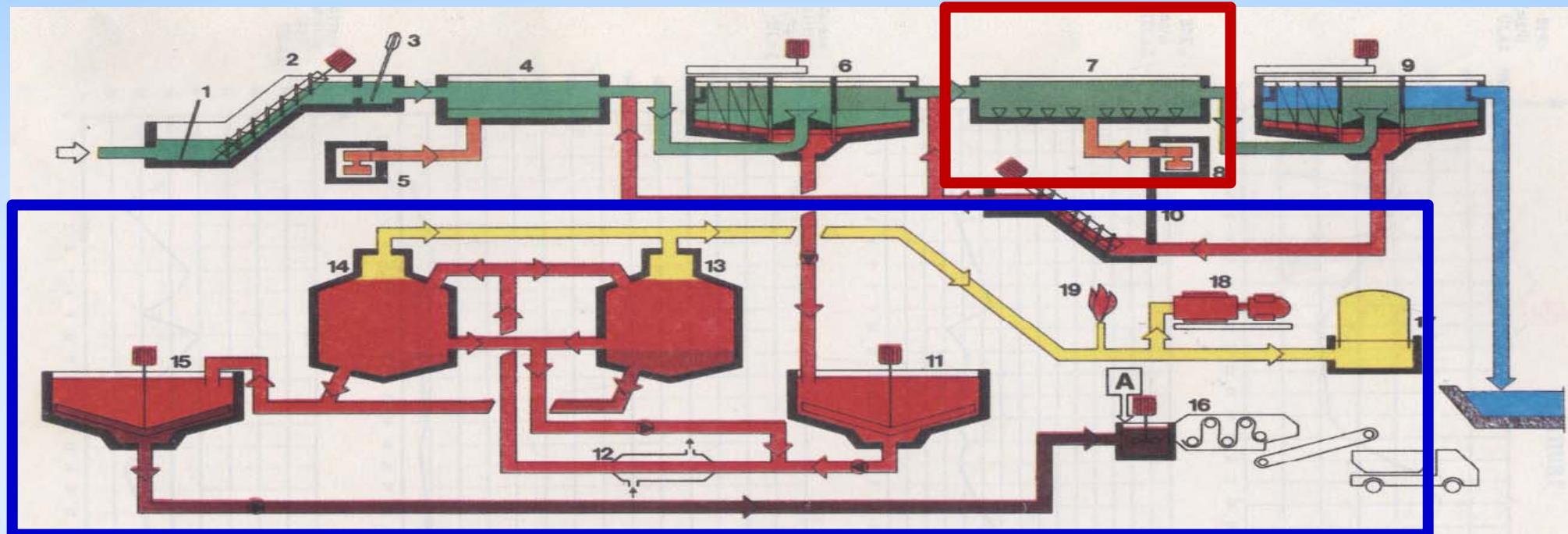


## Dizajn linije tretmana otpadnih voda: ograničenja

- Od mnogih ograničenja, sledeća su najvažnija pri projektovanju komunalnog postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda (PPOV):
  - **karakteristike i varijabilnost tretiranog efluenta;**
  - **sposobnost verodostojnog ostvarenja željenog kvaliteta tretirane vode;**
  - **nameravana krajnja upotreba proizvedenog mulja;**
  - **okolina postrojenja (životna sredina);**
  - **opcije konstrukcionog plana (generalnog projekta);**
  - **postizanje održivog razvoja;**
  - **ako je pogodno, uzeti u obzir renoviranje celokupnog ili dela postrojenja sa glavnim konstrukcionim problemima.**



## Primer prečišćavanja komunalnih otpadnih voda



TEHNOLOŠKA ŠEMA CENTRALNOG GRADSKOG POSTROJENJA

1. GRUBE REŠETKE
2. PUŽNE PUMPE
3. AUTOMATSKE REŠETKE
4. AERISANI PESKOLOV
5. DUVALJKE
6. PRIMARNI TALOŽNICI
7. AERACIONI BAZENI
8. KOMPRESORSKA STANICA
9. SEKUNDARNI TALOŽNICI
10. C.S. ZA RECIRKULACIJU MULJA

11. PRIMARNI UGUŠCIVAC
12. IZMENJIVACI TOPLOTE
13. PRIMARNO TRULISTE
14. SEKUNDARNO TRULISTE
15. FINALNI UGUŠCIVAC
16. TRAKASTE FILTER PRESE
17. REZEROVAR BIO-GASA
18. GASNI MOTORI
19. BAKLJA

- **Zadatak biološkog prečišćavanja je da se u što većoj meri uklone biološki razgradljive organske materije, kao i azotne i fosfatne materije.**
- Razgradnju organskih materija, nitrifikacija amonijaka, denitrifikacija i biološko uklanjanje fosfora vrše različite vrste mikroorganizama.
- Biološkim prečišćavanjem koloidne i rastvorene organske materije, fosforne materije prevode se u oblik manje ili više stabilizovanog mulja, koji se pre ispuštanja otpadne vode u prirodnu sredinu mora iz vode odstraniti taloženjem. Azotne materije se prevode u elementaran azot ( $N_2$ ).

# Nitrifikacija



## Sudeluju hemoautotrofne bakterije



## Denitrifikacija



# Stabilizacija mulja (nova biomasa MO)

water workshop 2021

Biološki mulj sadrži organsku materiju koja se oksidiše u anaerobnim uslovima i može proizvesti neugodan miris



Mulj se mora stabilisati, tj. treba mu se smanjiti sadržaj biološki razgradive organske materije

Koriste se dva postupka biološke stabilizacije:

Aerobna



Aerobna stabilizacija ili  
digestija

Anaerobna



Anaerobna digestija

Kod postupka s produženom aeracijom stabilizacija mulja se odvija u biološkom reaktoru

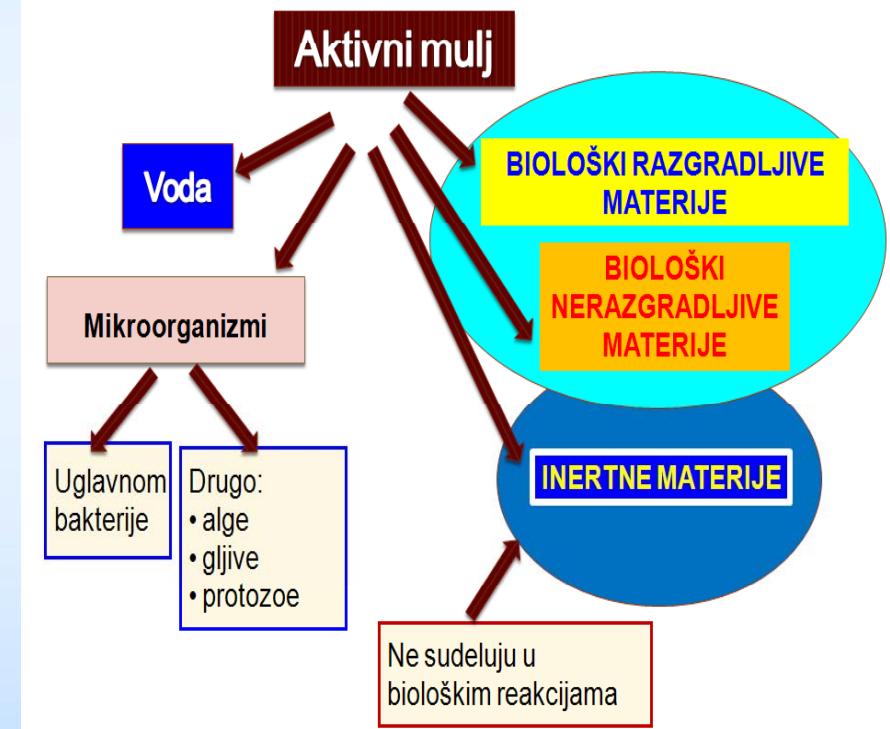


# POSTUPCI SA AKTIVNIM MULJEM

- **Aktivni mulj** je naziv za biološki aktivnu biomasu aerobne mikroflore, suspendovane u otpadnoj vodi u obliku flokula, pri čemu se u flokulama smiju živih, aktivnih, mikroorganizama nalaze i mrtve ćelije kao i organska (biorazgradljiva i bionerazgradljiva) i neorganska materija iz otpadne vode koja se prečišćava.

**Otpadna voda se uvodi u reaktor u kome se aktivni mulj održava u suspenziji.**

Posredstvom aerobne mikroflore aktivnog mulja odigrava se biološka oksidacija organskog dela zagađenja otpadne vode, odnosno teku, praktično istovremeno, **reakcije disimilacije, tj. oksidacije organske materije.**



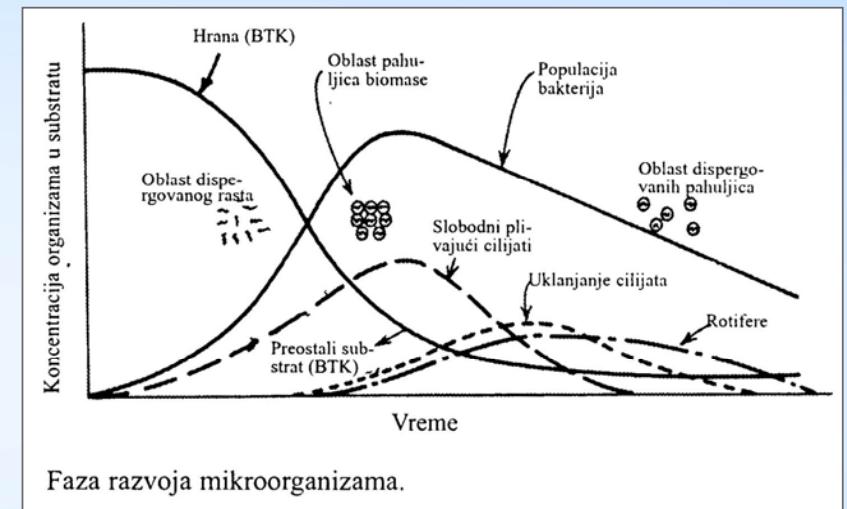
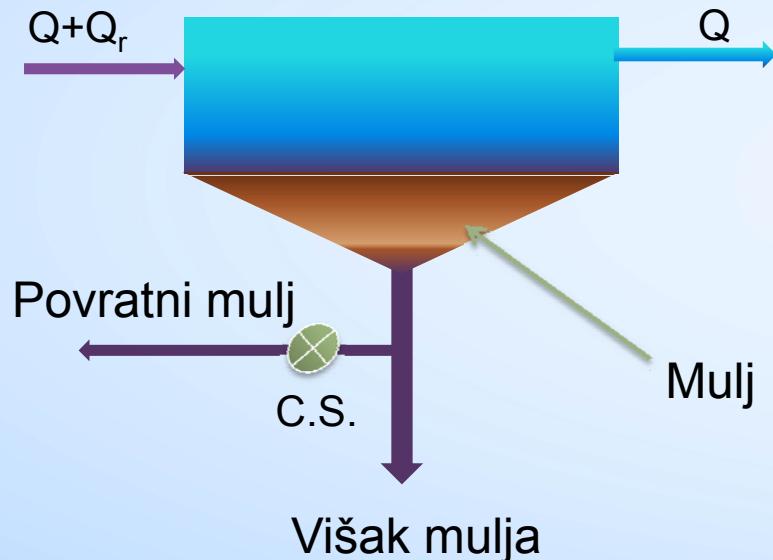
# Taloženje aktivnog mulja



Water Workshop 2021

## Taložnici

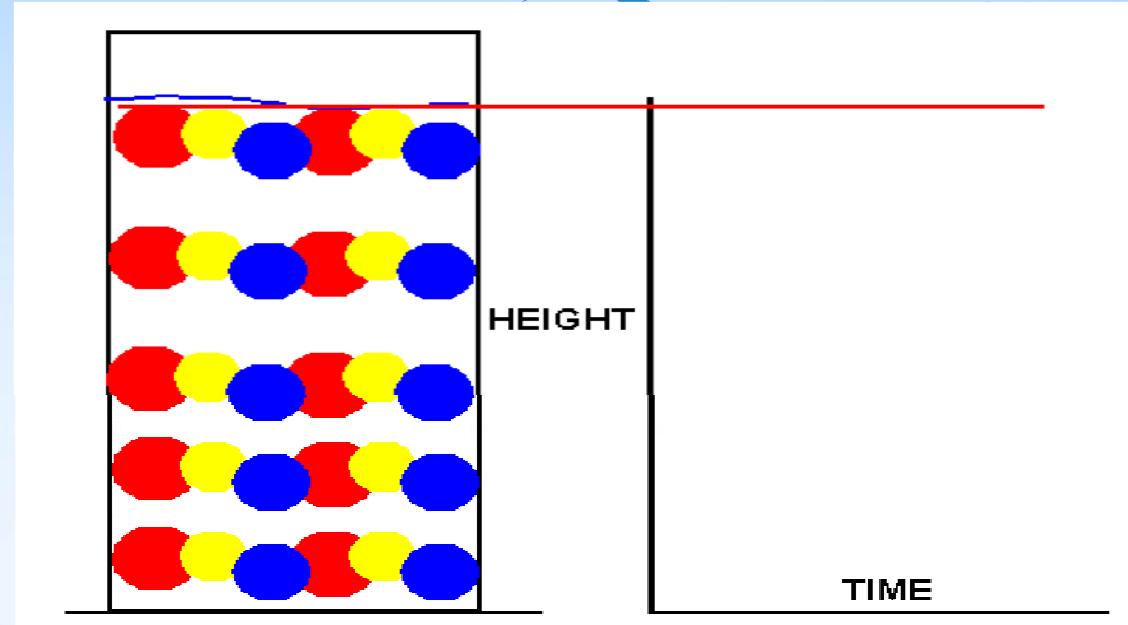
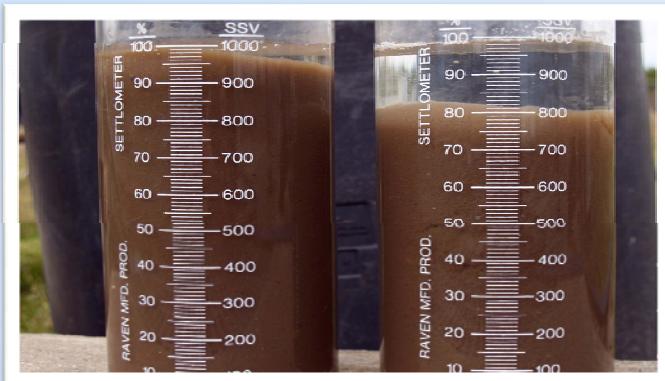
Svrha: razdvajanje MLSS od vode + zgušnjavanje mulja



### Potrebne karakteristike mulja

1. Da ima veliku brzinu taloženja  $V_s > 1 \text{ m/h}$
2. Da je dosta zgušnut (zauzima malu zapreminu)
3. Da se zadržava na dnu (ne isplivava)





Aktivni mulj se taloži kao muljna zavesa

Pahuljice mulja taložeći se ne menjaju međusobni položaj

# Izbor postupka sa aktivnim muljem, izbor reaktora

Brojne su izvedbe procesa aerobnog prečišćavanja sa aktivnim muljem:

Konvencionalni postupak

Stepenasta aeracija

Kontaktni postupak

Reaktor sa potpunim mešanjem

Postupak sa produženom aeracijom

Reaktor tipa jarka (rova, kanala)

Sekvencijalni šaržni reaktor

itd.



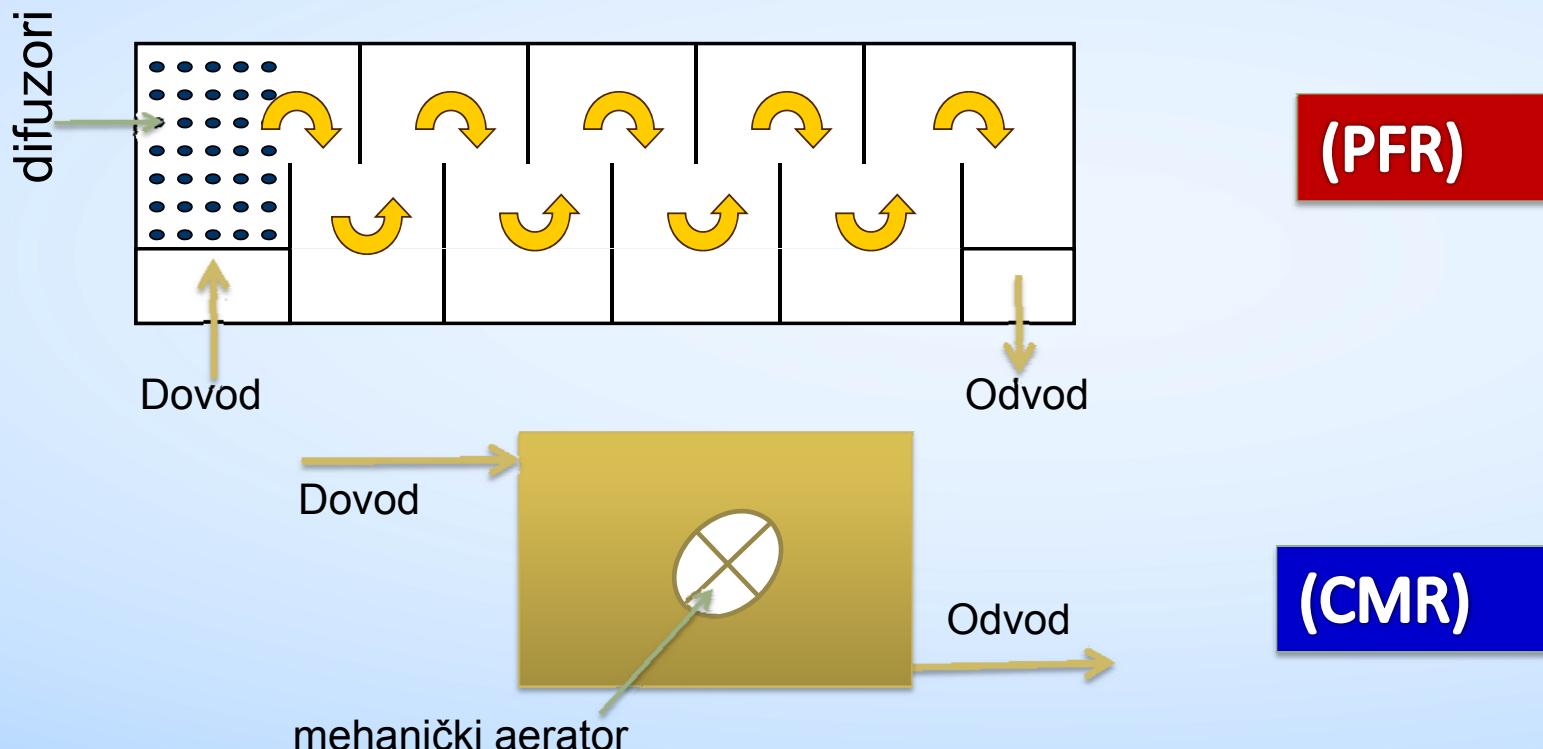
1.

## Konvencionalni postupak

Workshop 2021

Tipovi BR:

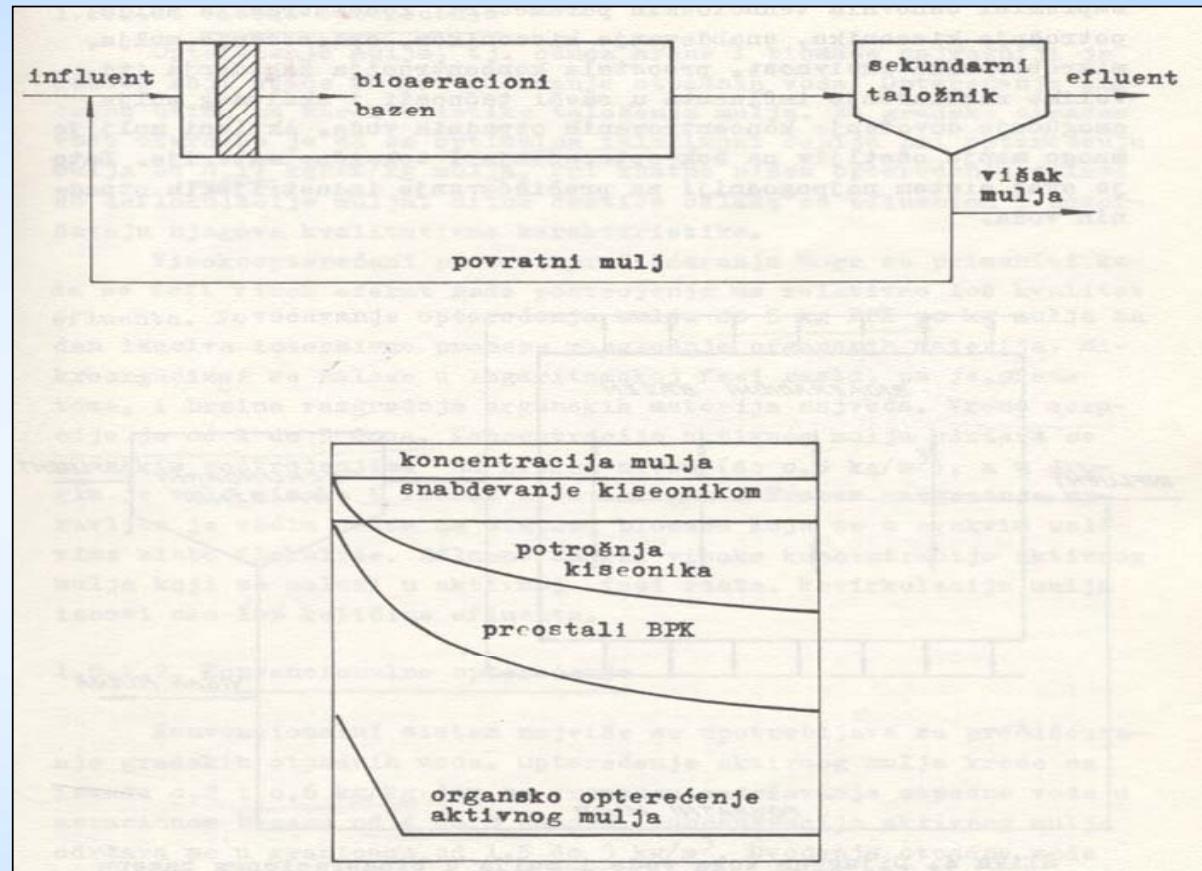
1. Reaktor s klipnim tečenjem, (plug flow reactor) (PFR)
2. Potpuno izmešani reaktor, (Completely mixed reactor) (CMR)



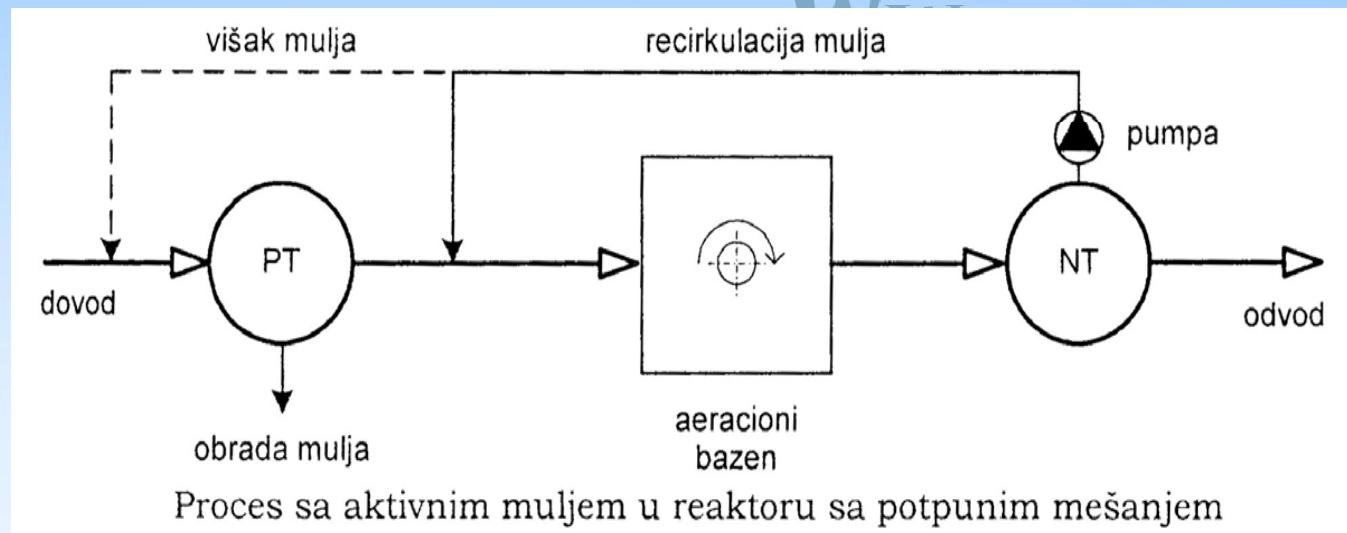
# Reaktor s klipnim tečenjem, (plug flow reactor) (PFR)

Raspored osnovnih tehnoloških parametara po dužini bazena i dijagram toka vode i mulja za **bioaeracioni bazen sa klipnim strujanjem**

Potrošnja kiseonika duž bazena za aeraciju odgovara potrebama mikroorganizama, pa je najveća na početku aeracionog bazena a zatim duž njega opada



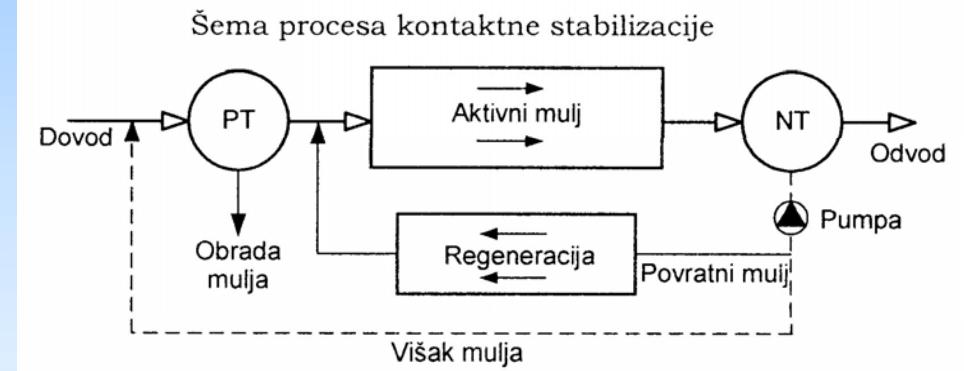
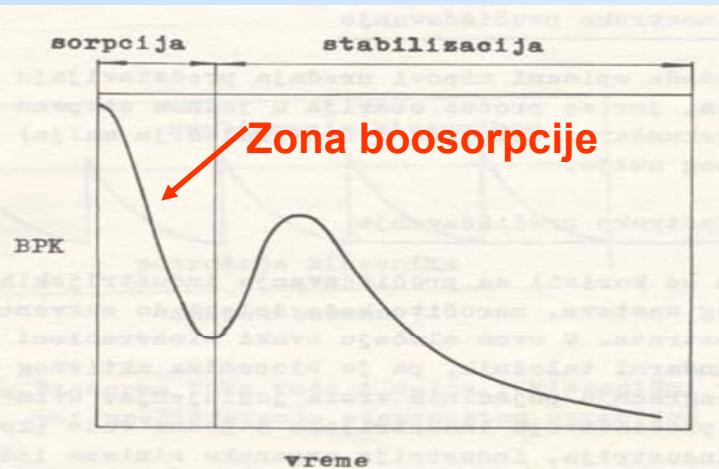
## Reaktor sa potpunim mešanjem (CMR)



- Da bi se održavali ovi uslovi potrebno je intenzivno mešanje vode u bazenu koje se postiže turbinama ili drugim uređajima za mehaničku aeraciju.
- **Ovo je naročito povoljno za mala postrojenja, gde se javljaju udari opterećenja, kao i za postrojenja gde dolaze i industrijske otpadne vode na preradu.**

2.

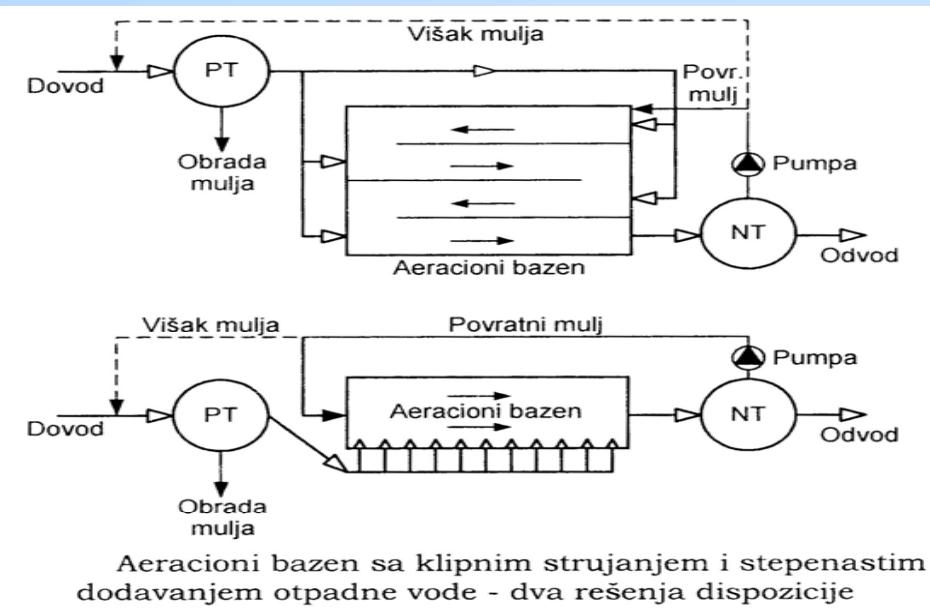
## Kontaktna stabilizacija (bio-sorpcija)



- U procesu sa aktivnim muljem postoje dve faze.
- **U prvoj fazi** u trajanju od 20 do 40 minuta, odigrava se apsorpcija koloidnih sitnih suspendovanih čestica u pahuljice mulja.
- Taloženjem ovako obrazovanih agregata postiže se znatno smanjenje  $BPK_5$  otpadne vode.
- **U drugoj fazi** odigrava se proces asimilacije organskih materija od strane organizama, što se ispoljava u povećanoj biohemijskoj potrošnji rastvorenog kiseonika i stabilizaciji organskih materija.
- Za odvijanje druge faze potrebno je 2 do 4 časa aeracije. U ovom postupku ove faze su radvojenje

3.

## Stepenasto dodavanje otpadne vode

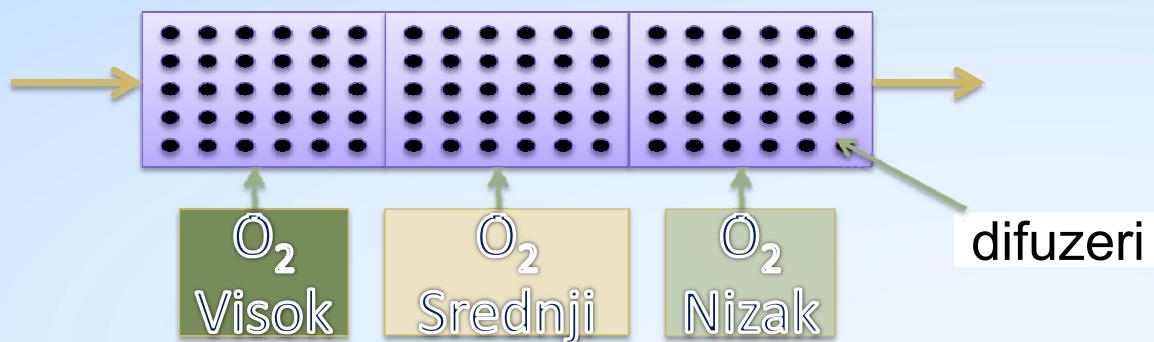


- U ovom postupku **otpadna voda se dodaje na više mesta duž aeracionog bazena sa klipnir strujanjem**
- Na ovaj način smanjena je potreba za kiseonikom na početku, i ravnomernije je raspoređena duž bazena.
- Time je i ukupna efikasnost prenosa i iskorišćenja kiseonika poboljšana.

Sav povratni mulj ulazi na početak bazena za aeraciju. U ovom postupku opterećenje je raspoređeno na ceo aeracioni baze, a ne smo na njegov početak kao što je slučaj u konvencionalnom postupku. Stoga u slučajevima **gde postoje udari opterećenja otpadne vode ovaj postupak je pogodniji od konvencionalnog**, koji je na udarna opterećenja posebno osetljiv.

4.

## Kontinuirano dozirana aeracija,



U ovom se postupku potreba za kiseonikom prilagođava potrošnji kiseonika duž BR.



5.

## Visoko opterećena aeracija

water workshop 2021

Manja efikasnost, ali i manji troškovi građenja. Može poslužiti kao I. stepen u dvostepenom postupku s nitrifikacijom

CMR

$$\Theta = 0,5 - 2\text{h}$$

$$\Theta_c = 5-10 \text{ dana}$$

$$Q_r/Q = 1-5$$

$$\text{MLSS} = 4-10 \text{ kg/m}^3$$

$$F/M = 0,4-1,5 \text{ kgBPK}_5/\text{kgMLVSS}\cdot\text{d}$$

6.

## Aeracija čistim $O_2$ ,

Za aeraciju se koristi  $O_2$  a ne vazduh

Prenos kiseonika je mnogo brži, a smanjenje BPK je također oko dva puta brže. Umesto 6 sati dovoljno hidrauličko zadržavanje u BR je oko 3 sata.

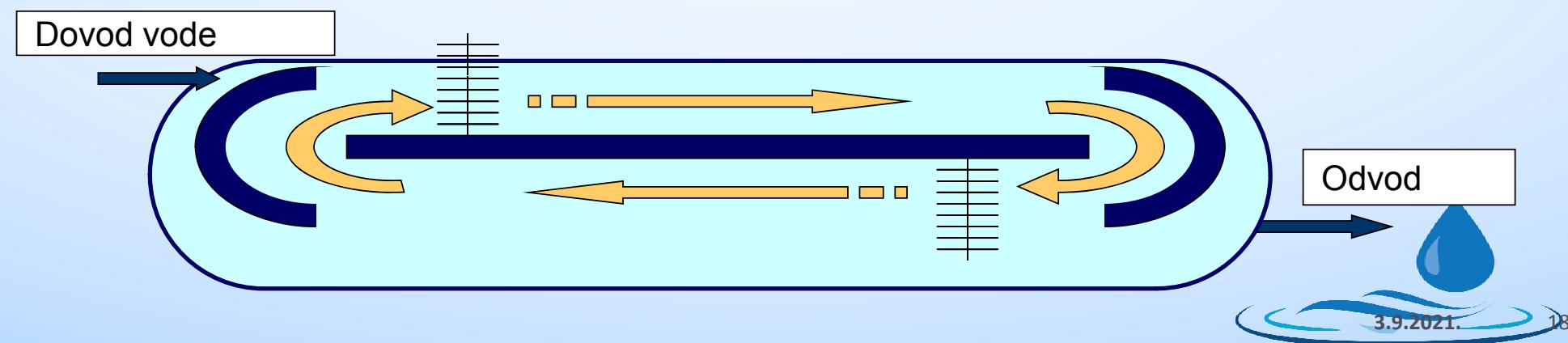
BR mora biti natkriven (zatvoren) da bi zadržao skupi  $O_2$  koji se ponovno koristi.



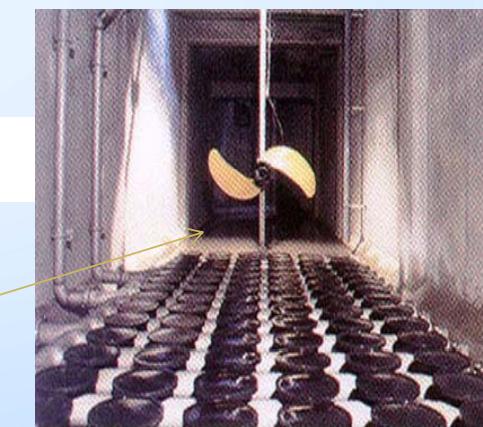
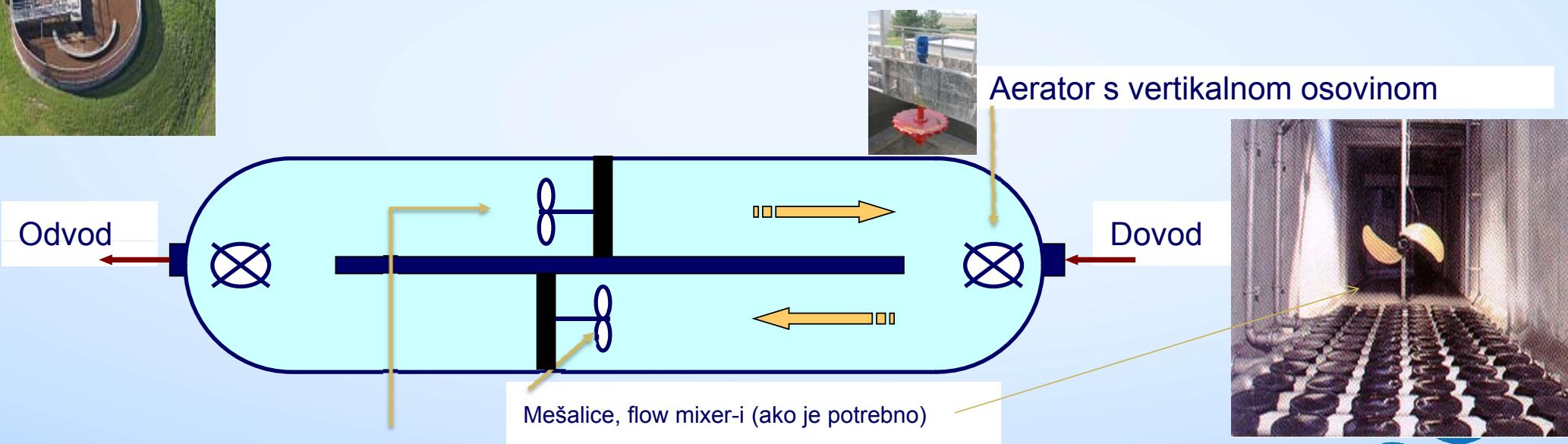
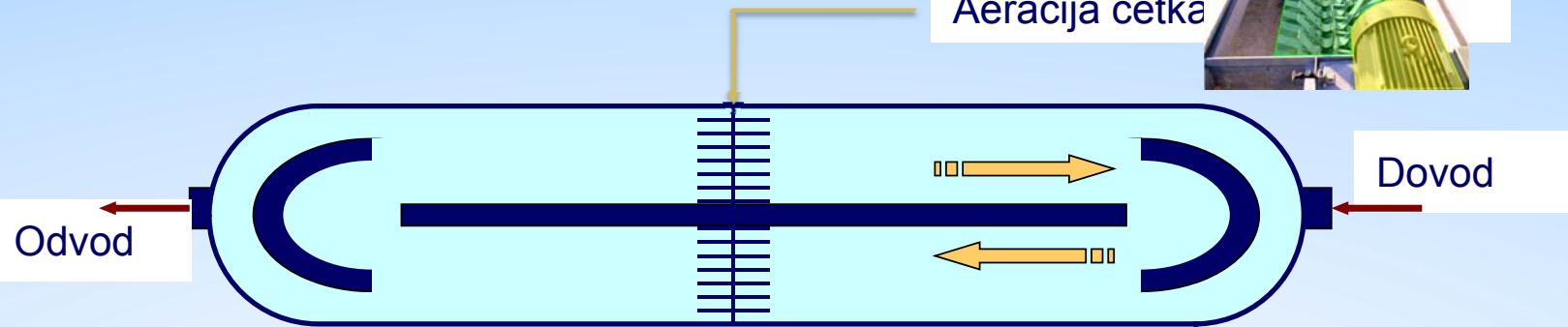
# Produžena aeracija

= postupak s istovremenom stabilizacijom mulja

- nizak  $F / M$  - visok  $\Theta_c$
- Velika zapremina
- potrebna velika količina  $O_2$
- obavlja se i stabilizacija mulja
- nema primarnog taložnika
- Primer : Oksidacioni jarak



# Oksidacioni kanal-jarak



## 8.

# SBR - Sequencing Batch Reactor

A  
D  
O  
T  
IM

- Aeracija
- Dovod vode
- Odvod vode
- Taloženje
- Izdvajanje mulja

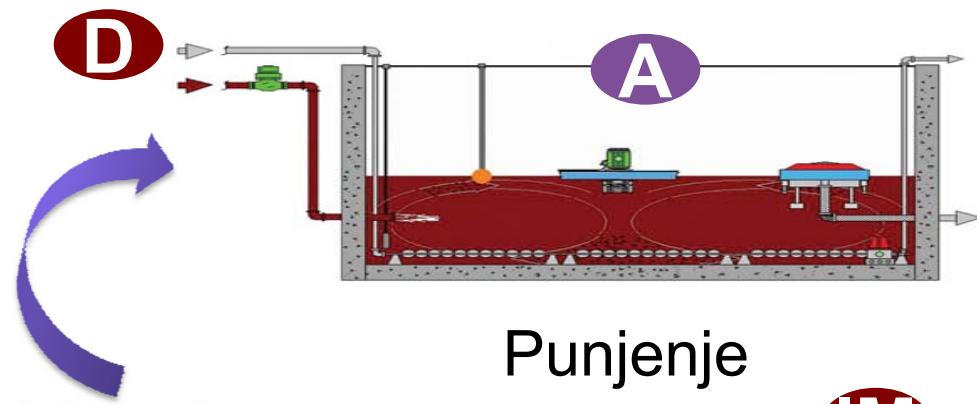
Postupak sa neizmeničnim punjenjem i pražnjenjem

Šaržni reaktor, (Completely mixed batch reactor) (CMBR)

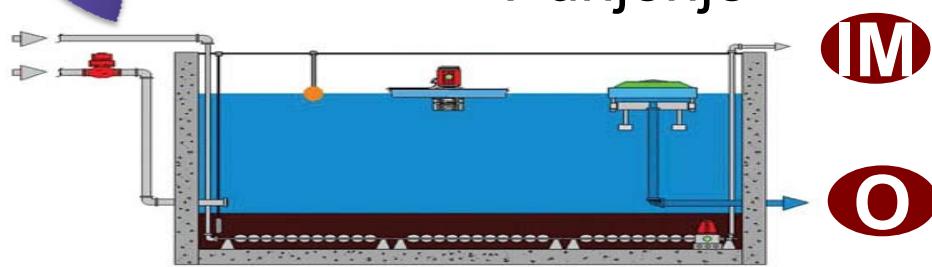
Osnovna etape rada:

1. Punjenje
2. Aeracija
3. Taloženje
4. Dekantiranje

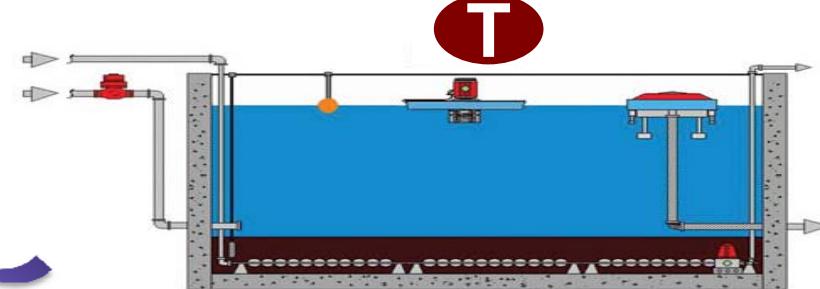
Zavisno od konačnog cilja prečišćavanja moguće su različite kombinacije režima rada (npr. punjenje i aeracija, prekidi u aeraciji i sl.)



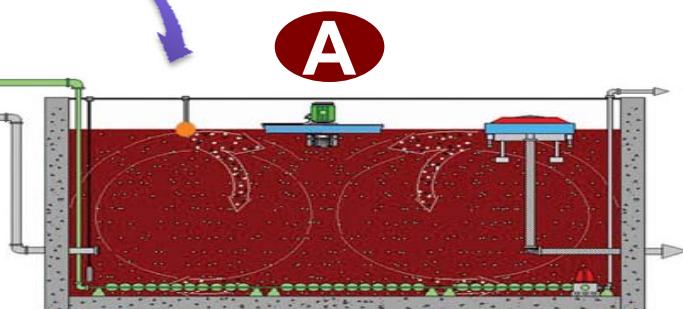
Punjenje



Dekantiranje



Taloženje



Aeracija  
reakcija  
IM



# Karakteristični projektni parametri za postupke s aktivnim muljem



Postupak	$\theta_c$ (dan)	$\theta$ (h)	F/M	Qr/Q	X (kg/m <sup>3</sup> )
Konvencionalni, PFR	5-15	4-8	0,2-0,4	0,25-5	1,5-3,0
Reaktor sa potpunim mešanjem, CMR	5-15	3-5	0,2-0,6	0,25-1	3,0-6,0
Prihranjivane u koracima	5-15	3-5	0,2-0,4	0,25-0,75	2,0-3,5
Kontaktna stabilizacija	5-15	0,5-1 3-6	0,2-0,6	0,25-1	1,0-3,0 4,0-10,0
Produžena aeracija	20-30	18-36	0,05-0,15	0,75-1,5	3,0-6,0
Visoko opterećena aeracija	5-10	0,5-2	0,4-1,5	1-5	4,0-10,0
Aeracija čistim kisikom	8-20	1-3	0,25-1,0	0,25-0,5	6,0-8,0



# HIBRIDNI SISTEMI

**Postupci u kojima se, koristeći prednosti nekoliko tehnologija, stvara nova tehnologija**

1

**Postupci suspendirane i pričvršćene biomase,  
Integrated Fixed Film Activated Sludge, IFAS**

2

**Membranski postupci, Membrane bioreactor, MBR**



## Postupci suspendovane i pričvršćene biomasom, IFAS

Sistemi u kojima se u BR primjenjuje istovremeno suspendovana i pričvršćena biomasa



Veća prostorna koncentracija bio-mase



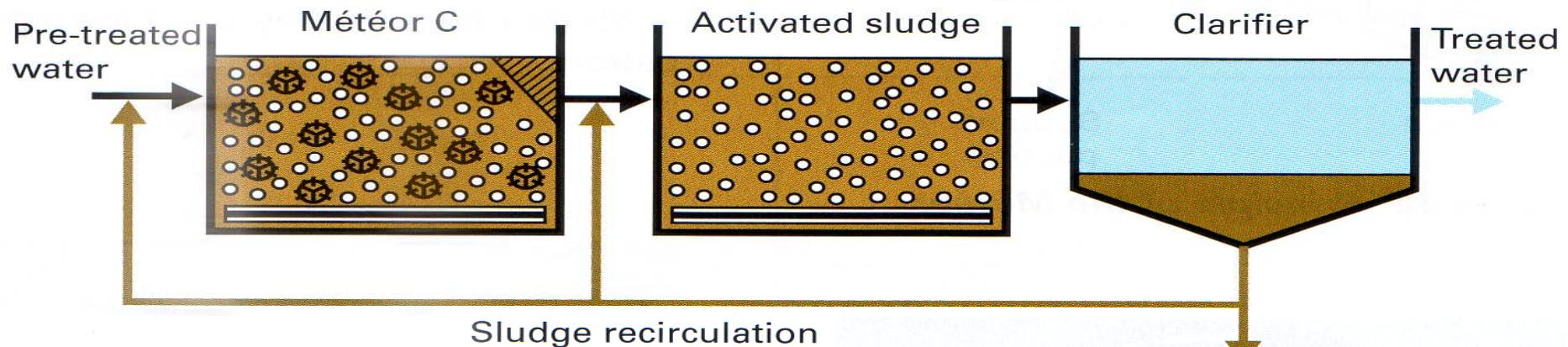
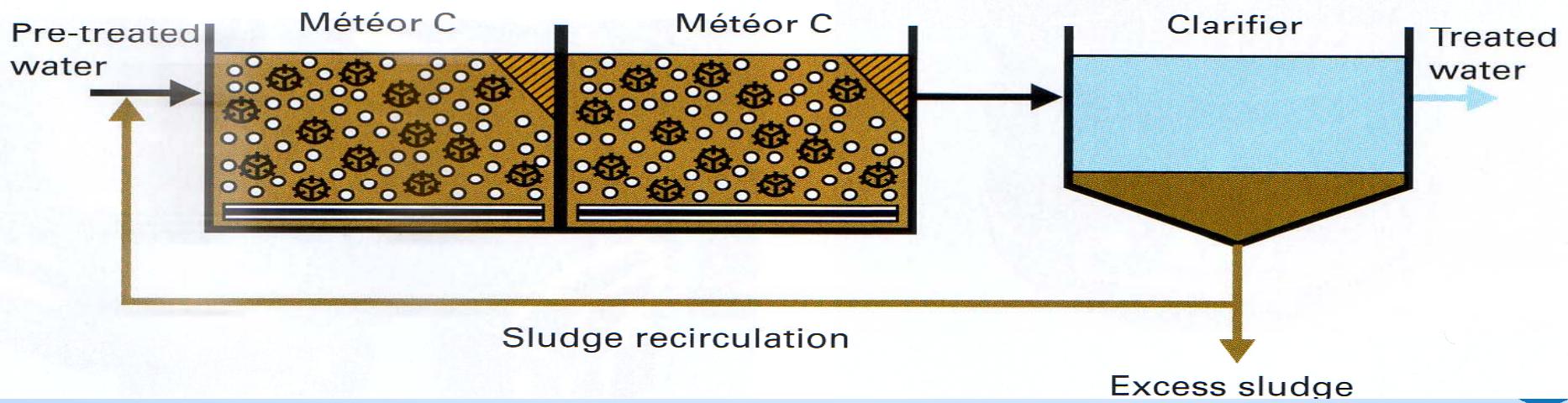
Manji BR



Manji: NT, povratni mulj, proizvodnja mulja visoke efiksnosti

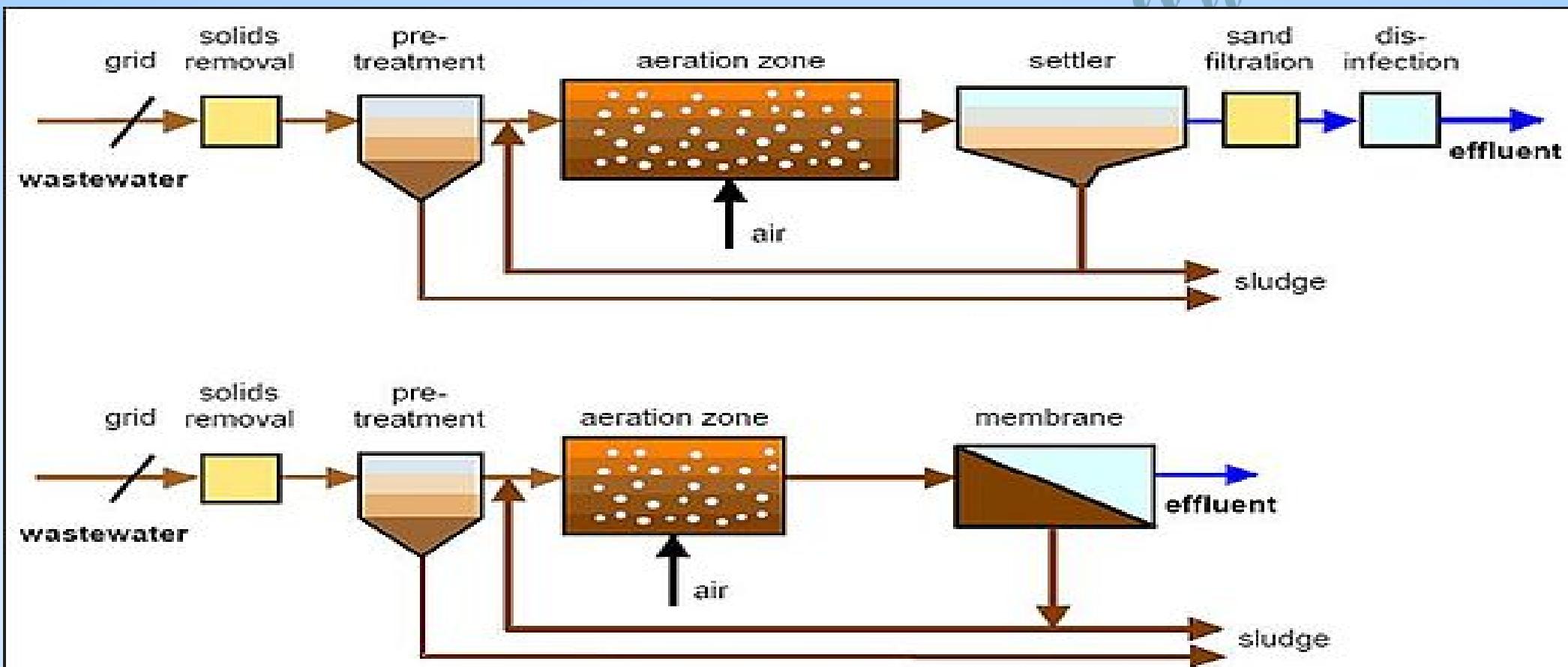
Moguća nitrifikacija,  
denitrifikacija,  
biološko uklanjanje  
azota i fosfora

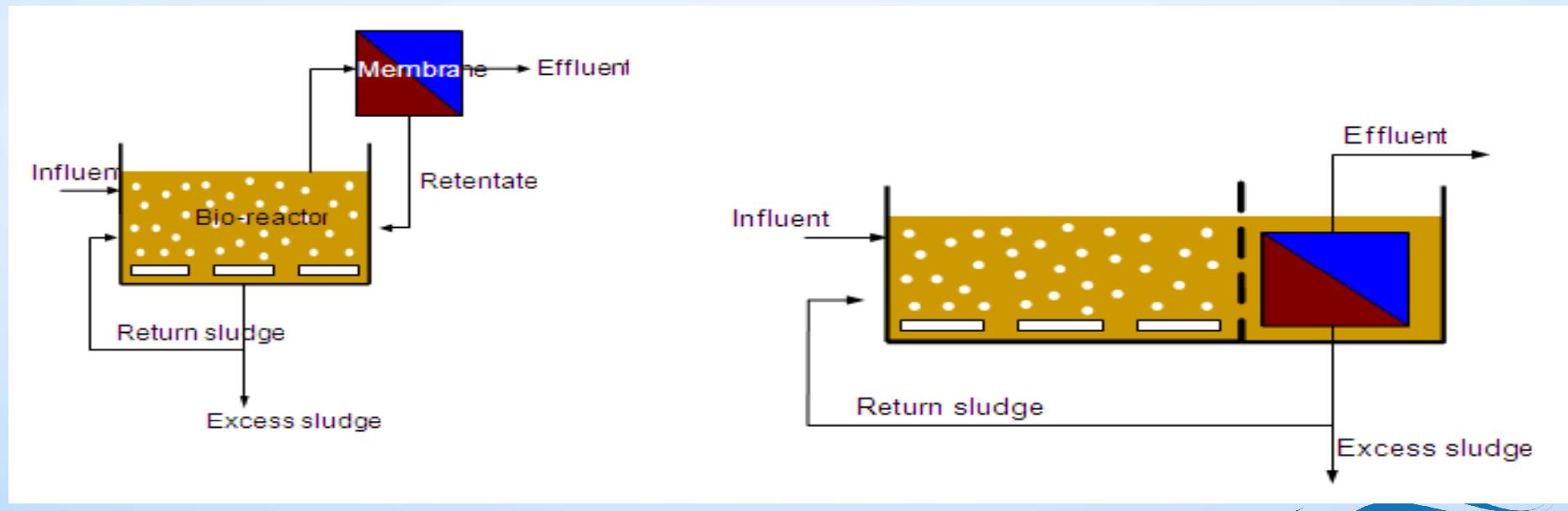
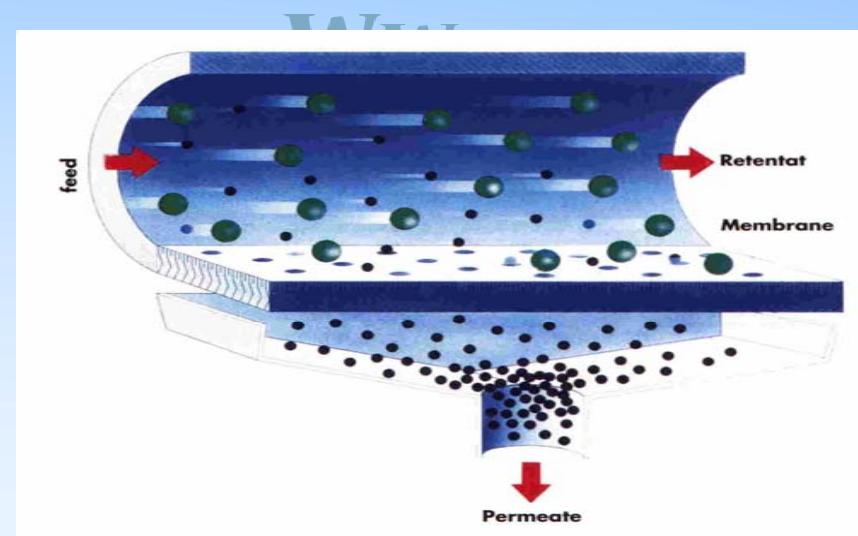
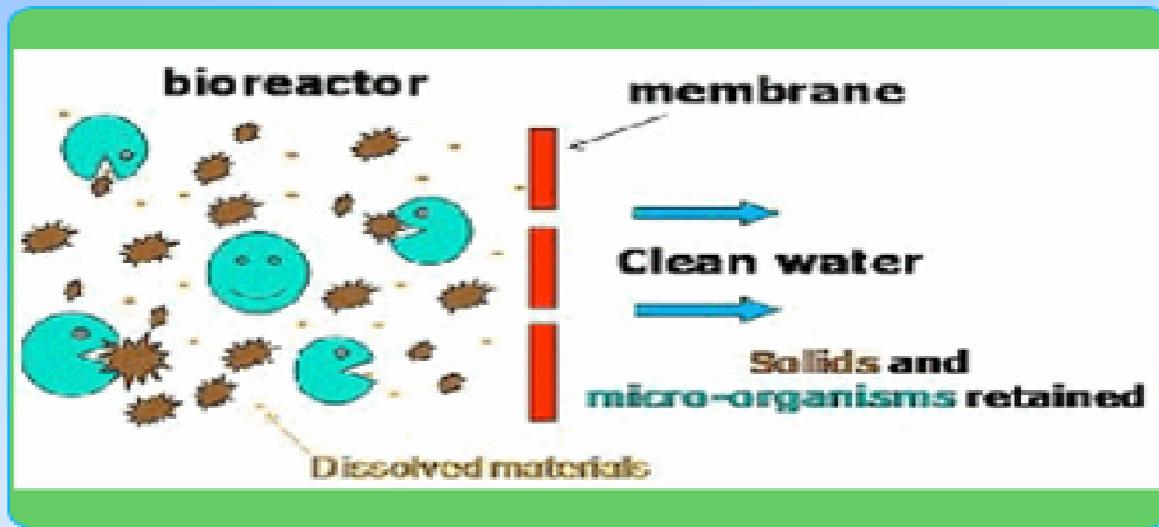
Naročito pogodno za  
proširenje kapaciteta  
postojećih UPOV

**a. Single stage****b. 2-stage**

# Membranska separacija aktivnog mulja

- Najnovija rešenja separacije aktivnog mulja nakon završenog prečišćavanja, je korišćenje membranske separacije umesto sekundarnog taložnika
- Prednost membranske separacije aktivnog mulja je u dobijanju efluenta – prečišćene otpadne vode visokog kvaliteta, s obzirom na veliku efikasnost membranske separacije u uklanjanju ne samo flokula aktivnog mulja, već i neflokulisane mikroflore
- Za sada su još uvek visoki i investicioni, a pogotovo eksplotacioni troškovi membranske separacije, ali je jasan trend pada tih troškova

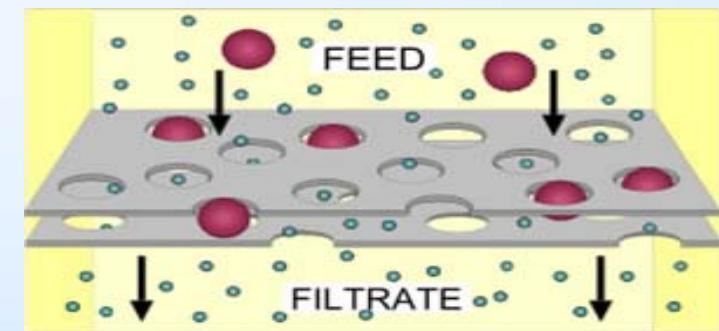
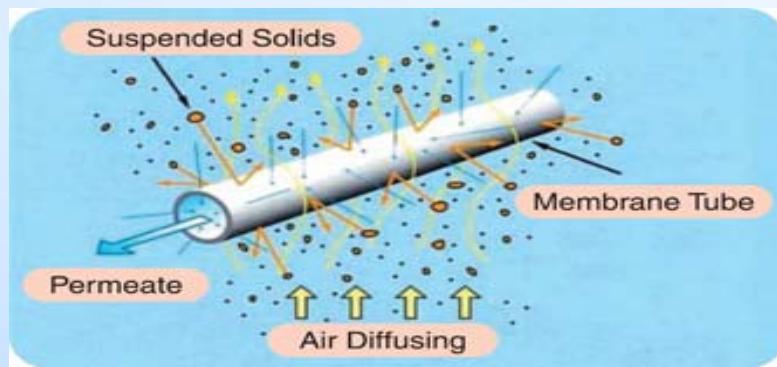
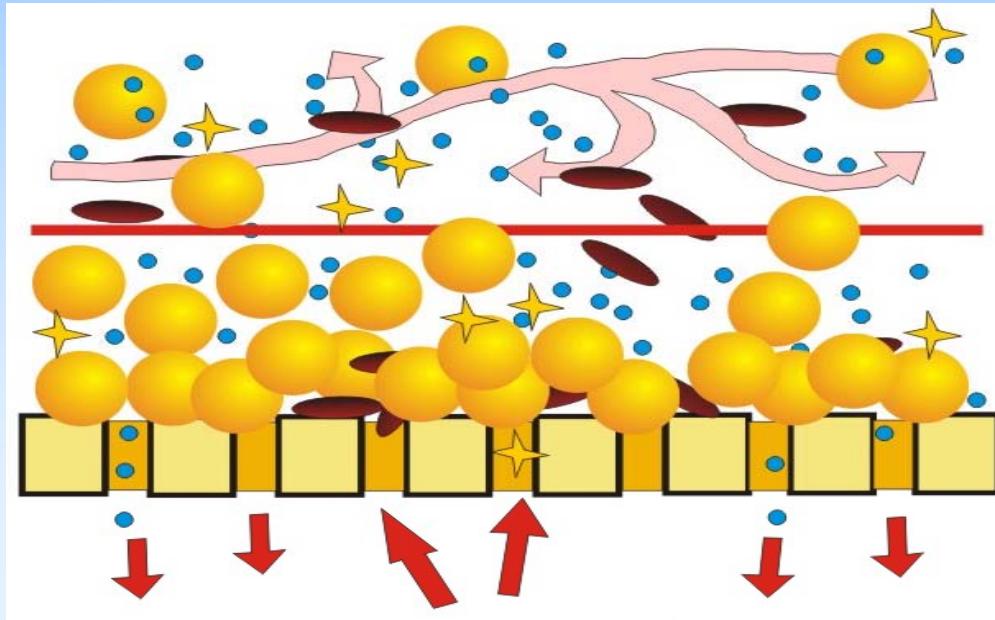


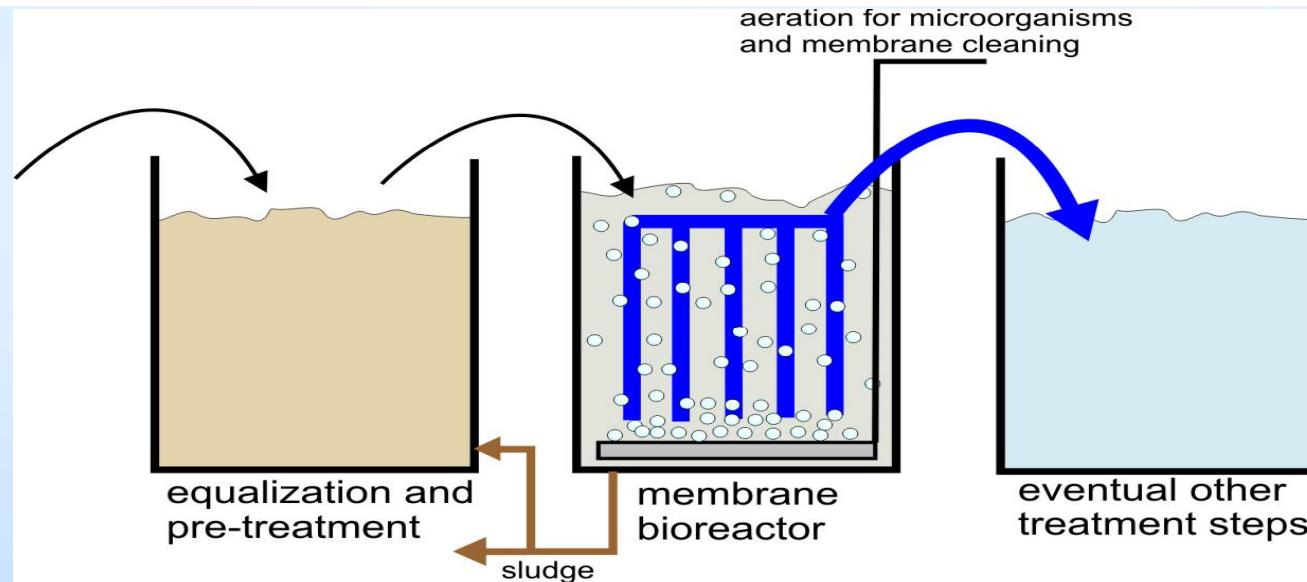
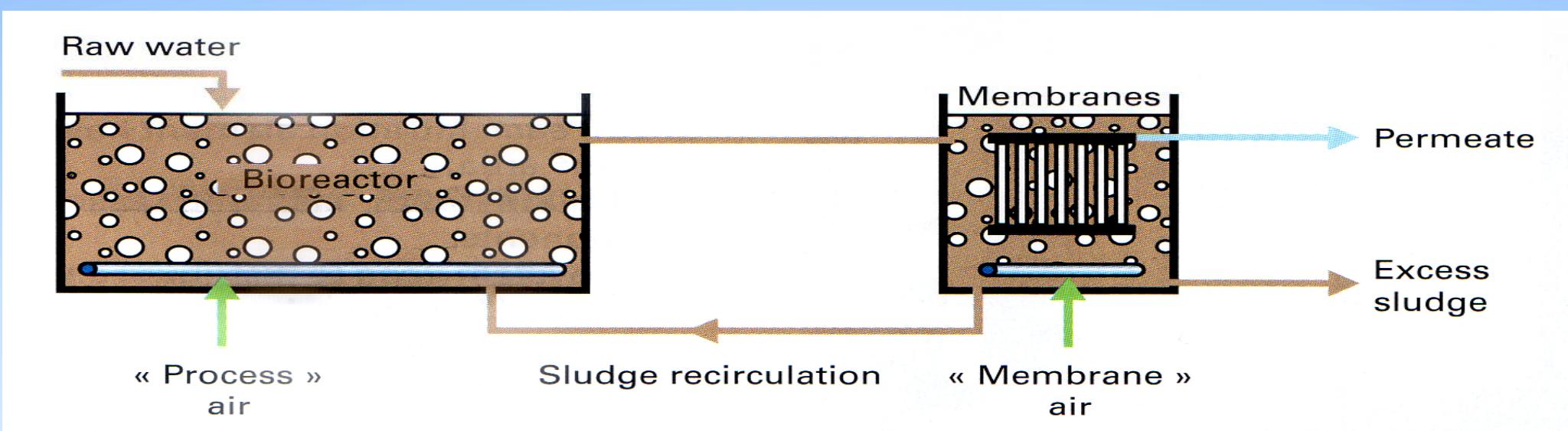


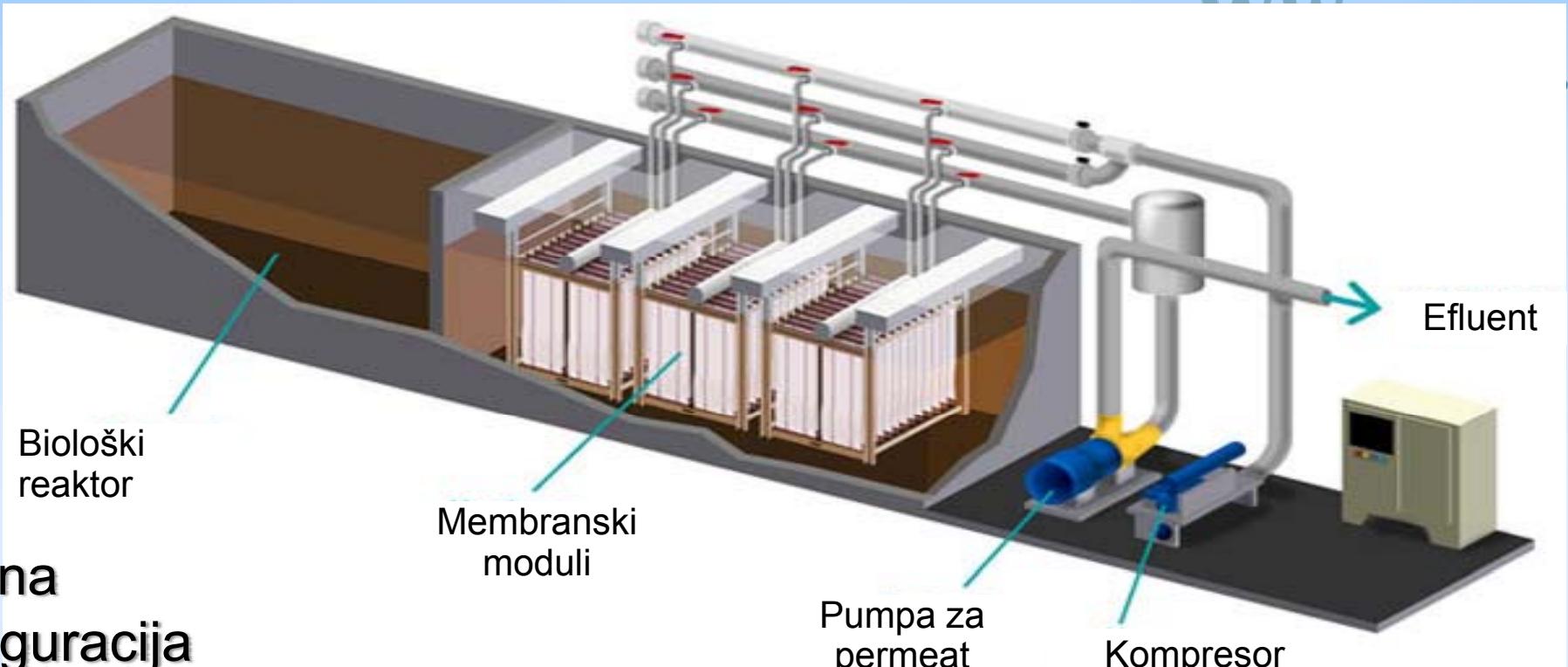
Modul od šupljih, cevastih membrana  
velikog promera



Modul sa šupljim, cevastim  
membranama malog  
promera







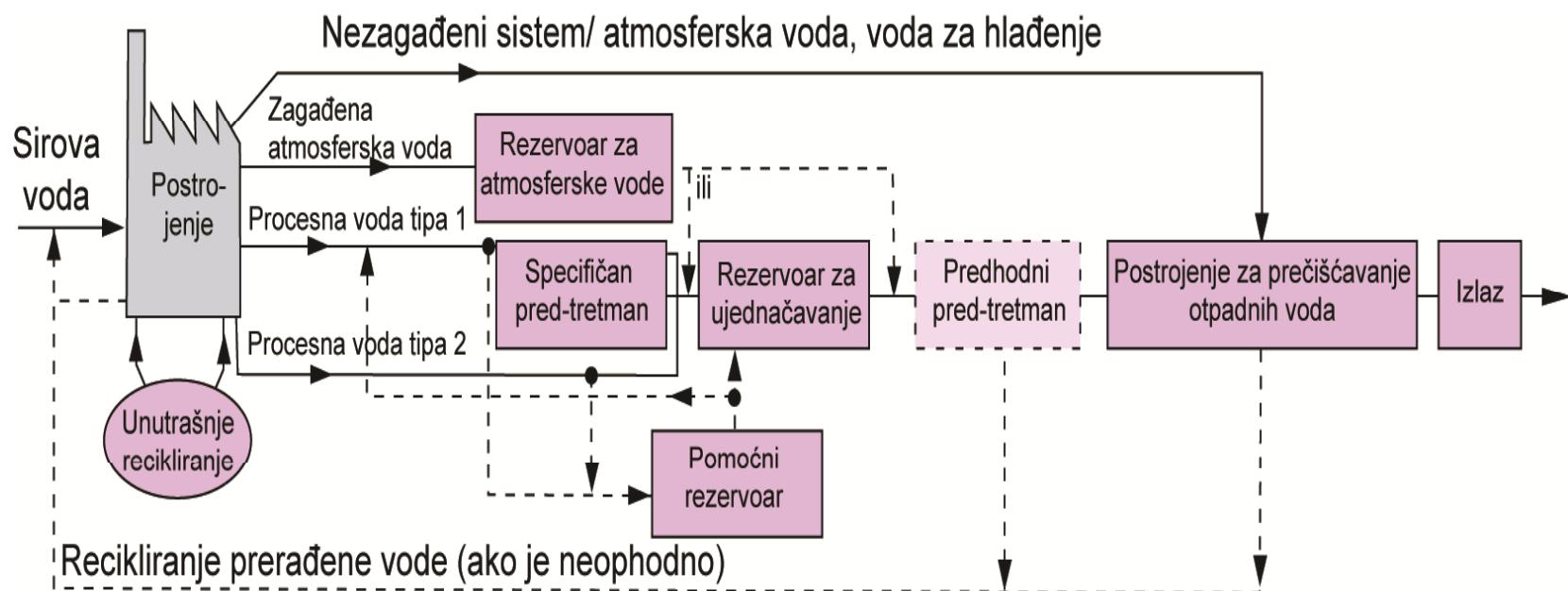
## Tipična konfiguracija MBR postupka

Najpodesnija filtracija s porama membrana od 0,04 do 2,0  $\mu\text{m}$



# PREČIŠĆAVANJE INDUSTRIJSKIH OTPADNIH VODA

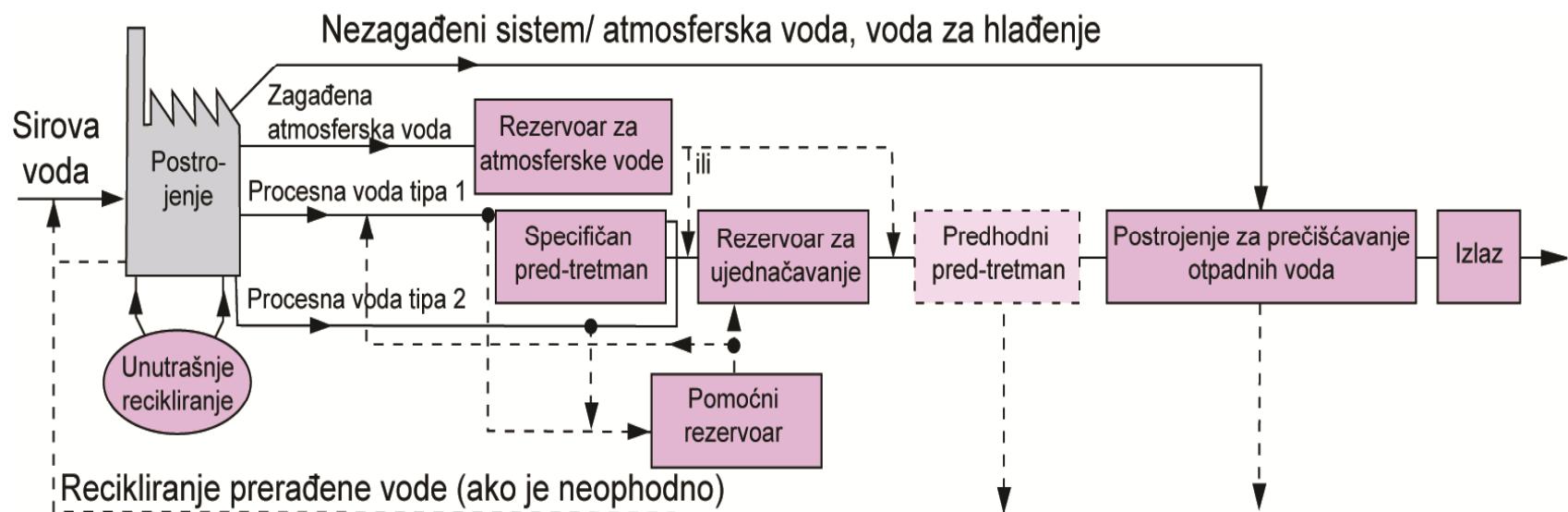
- Cena različitih projektanskih rešenja za tretman industrijskih otpadnih voda će u mnogome zavisiti od efikasnosti uređenja sistema na **nivou pojedinačnih jedinica, a potom na nivou postrojenja**.
- Ovo uređenje bi trebalo biti što je moguće bliže šemi prikazanoj na slici, „idealni“ scenario generalno obezbeđuje najbolju tehničko-finansijsku optimizaciju.



**Opšti dizajn postrojenja za tretman industrijskih otpadnih voda mora biti u skladu sa osnovnim principima „održivog razvoja“**

**Cena različitih dizajnerskih rešenja** za ovakav tretman će u mnogome zavisiti od **efikasnosti uređenja sistema na nivou pojedinačnih jedinica (pogona ili operacija)**, a potom na nivou postrojenja. (*Reference Document on BAT for the Waste Treatments Industries, August 2006*).

**Kod opasnih zagađujućih materija GVE se daju na nivo pogona ili operacije/aktivnosti zato je bitno razdvajati otpadne vode po prirodi i količini zagađenja u jednoj fabrići.**



## Razdvajanje otpadnih voda na nivou fabrike/pogona uključuje:



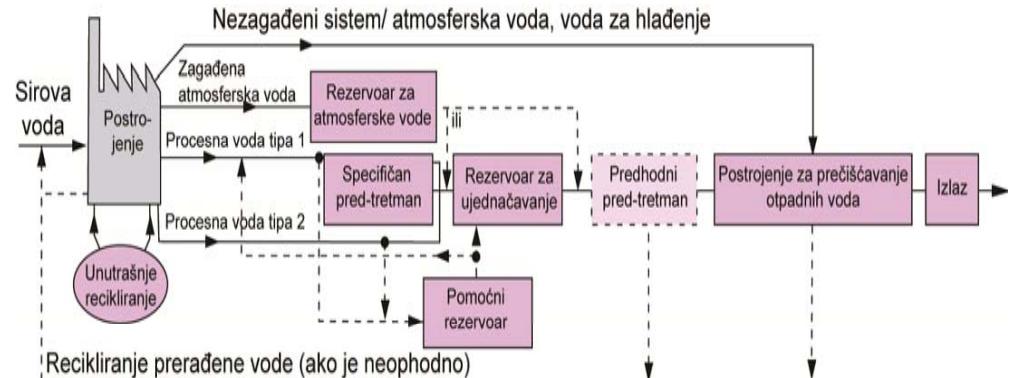
**Recikliranje unutar pojedinačnih jedinica** sa ciljem:

- povraćaja sirovog materijala ako je to poželjno;
  - smanjenja zapremine otpadne vode koja se treba prečišćavati;
  - smanjenje utroška vode.
- **Razdvajanje izlaznog efluenta** u:
    - diskontinualni izlaz:
      - zagađena/nezagađena atmosferska voda;
      - drenažna voda i voda za pranje;
      - zagađena/nezagađena voda za hlađenje;
    - kontinualni izlaz:
      - procesna voda koja zahteva specifičan pred-tretman;
      - procesna voda koja ne zahteva specifičan pred-tretman;



## Razdvajanje otpadnih voda omogućava uvođenje skladištenja, egalizacije ili sigurnosne rezervoare za efluent:

- **rezervoar za atmosferske vode** koji je obično prazan i skladišti zagađenu atmosfersku vodu pre nego što će ona regulisanim protokom biti vraćena u proces;
- **pufer/ujednačavajući (egalizacioni) rezervoari u jedinicama/pogonima** koje zahtevaju specifičan pred-tretman;
- **rezervoari promenljivog nivoa ujednačavanja (egalizacije) za kombinovani tok otpadne vode**, koji služe za normalizaciju protoka i koncentracije zagađujućih supstanci od interesa;
- **sigurnosni tank za efluent** koji je obično prazan, i služi za skladištenje i eventualno tretiranje i reciklažu izlaznog efluenta koji ne zadovoljava propisane kriterijume. Tretman se vrši pri regulisanom protoku nakon što se analizom utvrди da je to moguće izvesti bez narušavanja narednih tretmana.



**Strateška separacija tokova otpadne vode**  
omogućava ciljano i efikasno  
procesuiranje sledećeg:



- **mikrobiološki nedegradabilinog ili teško razgradljivih oreganskih materija** (HPK) korišćenjem oksidacije (npr. O<sub>3</sub>, mokri procesi oksidacije) i adsorpcije (npr. aktivni ugalj, smole);
- **toksičnih komponenti** (npr. prioritetni polutanti, teški metali);
- **amonijak** (npr. striping vode sa amonijakom kod fabrika za proizvodnju koksa);
- **visoko koncentrovane, ali biodegradabilne otpadne vode** koje mogu biti jeftinije prerađene korišćenjem visoko opterećenih BPK procesa (npr. metanska fermentacija);
- **zagadžene rashladne vode;**

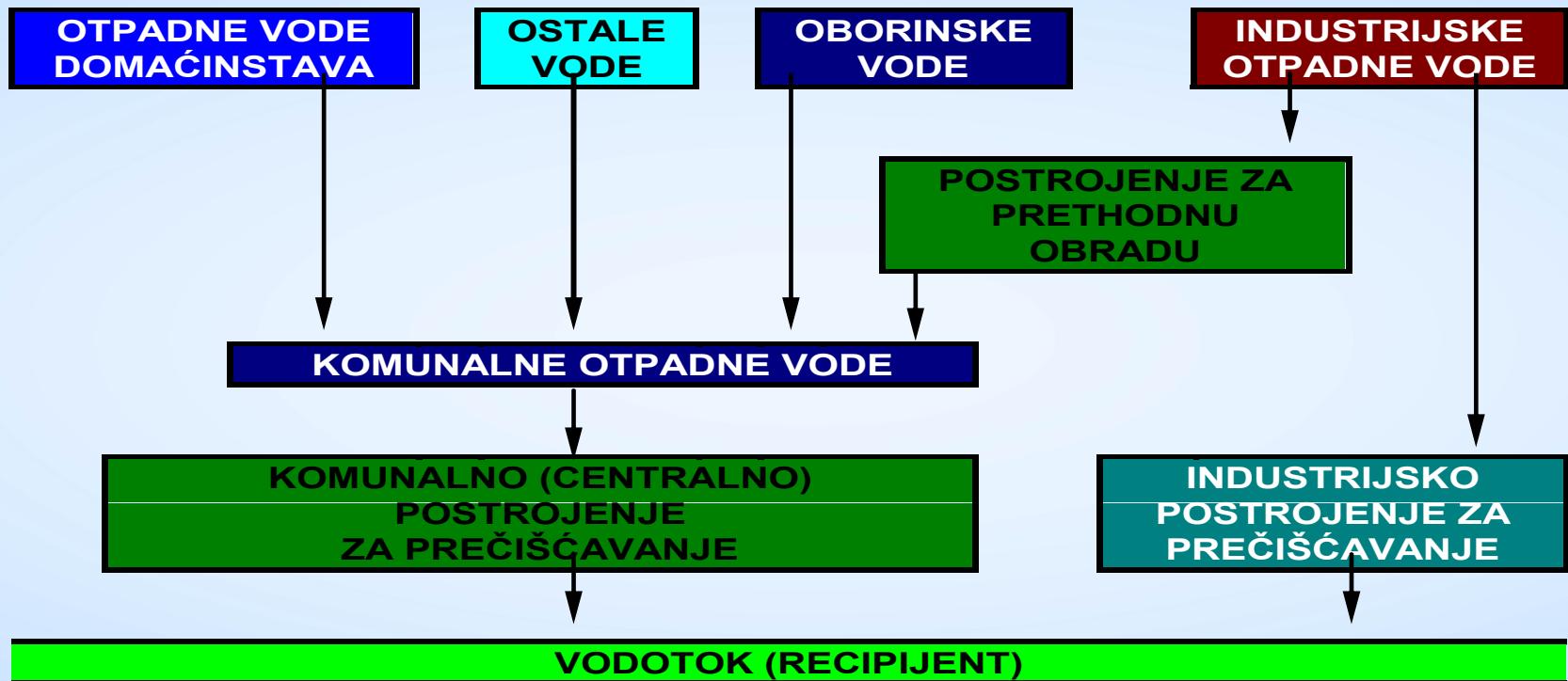


## ZAJEDNIČKO PREČIŠĆAVANJE INDUSTRIJSKIH I KOMUNALNIH OTPADNIH VODA

- tehnološki proces prečišćavanja mora da se prilagodi **karakteristikama sirovih otpadnih voda praktično u potpunosti**
- **Primer: otpadne vode industrije:** s obzirom na ogromne razlike u
  - **karakteristikama otpadnih voda** različitih industrija, i
  - **moguće velike varijacije** količina otpadne vode i sadržaja zagađenja čak i iz neke tehnički dobro opremljene i dobro vođene fabrike,
  - **jasne su razmere problema sa kojim se susreće prečišćavanje industrijskih otpadnih voda** kao proces



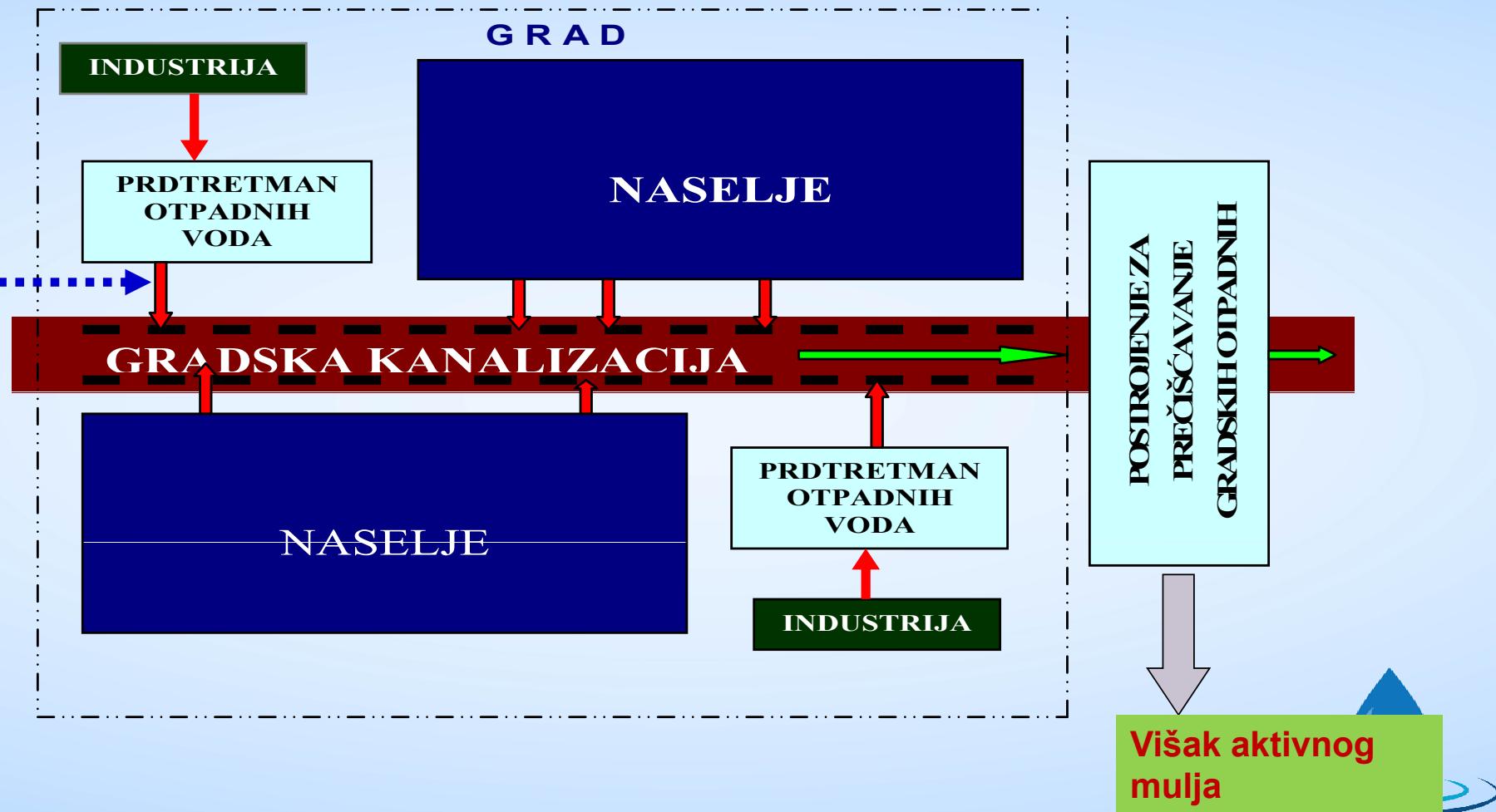
# ZAJEDNIČKO PREČIŠĆAVANJE OTPADNIH VODA



# ZAJEDNIČKI TRETMAN KOMUNALINIH I INDUSTRIJISKIH OTPADNIH VODA

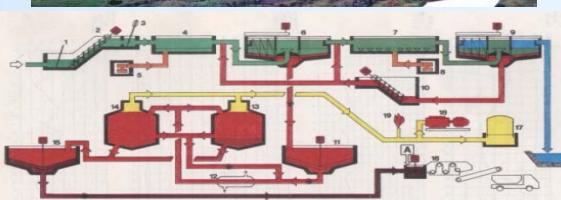


Granične  
vrednosti za  
ispuštanje u  
gradsku  
kanalizaciju



# GVE

GVE za ispuštanje industrijskih otpadnih voda u gradsku kanalizaciju



GVE za mulj sa komunalnog postrojenja

INDUSTRIJSKE OTPADNE VODE

GRADSKE OTPADNE VODE

POSTROJENJE ZA PREČIŠĆAVANJE OTPADNIH VODA

VIŠAK AKTIVNOG MULJA

WW  
GVE za ispuštanje prečišćenih industrijskih otpadnih voda direktno u vodoprijemnik

Osetljive zone

VODOPRIJEMNIK:  
reke, jezera, mora, kanali...

Manje osetljive zone

GVE za ispuštanje komunalnih otpadnih voda

Otpadne vode industrije i zanatskih radionica, koja se upuštaju u javni sistem kanalizacije moraju udovoljiti sledećim opštim zahtevima

#### Prvi zahtev

- **zaštitu zdravlja i života ljudi koji rade na javnom sistemu kanalizacije**

#### Drugi zahtev

- **da se spreči da se oštete opreme i objekti na kanalizacionom sливном području**

#### Zastoji u pogonu postrojenja za prečišćavanje

- **nastaju pre svega, usled visokog sadržaja taloživih i plivajućih materija u otpadnoj vodi**

#### Smanjenje efekta prečišćavanja

- posebno u slučajevima poremećaja biohemih procesa razgradnje.
- visok sadržaj biološki teže i sporo razgradljive organske materije
- poremećaj procesa taloženja usled visokog sadržaja emulgajućih sredstava itd.

#### Širenje neugodnog mirisa

- nastupa prilikom oslobođanja određenih lakoisparljivih materija, intenzivnog mirisa, poreklom iz parcijalnih tokova industrijskih otpadnih voda

#### Korišćenje mulja u poljoprivredi

- sadržaj jona teških metala u mulju, iznad određenih granica, isključuje takvu mogućnost

# Prethodna obrada otpadnih voda iz industrije



Potreba za prethodnom obradom proističe iz kvaliteta otpadne vode iz pogona i performansi centralnog postrojenja.

**Prethodnom obradom se sprečava negativan uticaj industrijskih otpadnih voda iz različitih pogona na rad centralnog postrojenja.**

U principu prethodna obrada nije potrebna kada je otpadna voda iz proizvodnje znatno više opterećena organskim materijama nego komunalna otpadna voda.



Redni broj	Parametar	Jedinica mere	Granična vrednost
1.	pH		6,5-9,5
2.	Hemiska potrošnja kiseonika (HPK)	mg/l	1000 <sup>(VII)</sup>
3.	Biohemiska potrošnja kiseonika (BPK <sub>5</sub> )	mg/l	500 <sup>(VII)</sup>
4.	Ukupni neorganski azot (NH <sub>4</sub> -N, NO <sub>3</sub> -N, NO <sub>2</sub> -N)	mg/l	120
5.	Ukupni azot	mg/l	150
6.	Amonijak, izražen preko azota (NH <sub>4</sub> -N)	mg/l	100 <sup>(I)</sup>
7.	Taložive materije nakon 10 minuta	mg/l	150 <sup>(II)</sup>
8.	Ukupan fosfor	mg/l	20
9.	Ekstrakt organskim rastvaračima (ulja, masnoće)	mg/l	50 <sup>(III)</sup>
10.	Mineralna ulja <sup>(IV)</sup>	mg/l	30
11.	Fenoli (fenolni indeks)	mg/l	50
12.	Katran	mg/l	5
13.	Ukupno gvožđe	mg/l	200
14.	Ukupni mangan	mg/l	5
15.	Sulfidi	mg/l	5
16.	Sulfati	mg/l	400
17.	Aktivni hlor	mg/l	30
18.	Ukupne soli	mg/l	5000 <sup>(VIII)</sup>
19.	Fluoridi	mg/l	50
20.	Ukupni arsen <sup>(VI)</sup>	mg/l	0,2
21.	Ukupni barijum	mg/l	0,5
22.	Cijanidi (lako isparljivi)	mg/l	0,1
23.	Ukupni cijanidi	mg/l	1
24.	Ukupno srebro	mg/l	0,2
25.	Ukupna živa <sup>(VI)</sup>	mg/l	0,05
26.	Ukupni cink <sup>(VI)</sup>	mg/l	2
27.	Ukupni kadmijum <sup>(VI)</sup>	mg/l	0,1
28.	Ukupni kobalt	mg/l	1
29.	Hrom VI <sup>(VI)</sup>	mg/l	0,5
30.	Ukupni hrom <sup>(VI)</sup>	mg/l	1
31.	Ukupno olovo	mg/l	0,2
32.	Ukupni kalaj	mg/l	2
33.	Ukupni bakar <sup>(VI)</sup>	mg/l	2
34.	Ukupni nikal <sup>(VI)</sup>	mg/l	1
35.	Ukupni molibden	mg/l	0,5
36.	BTEX (bezen, toluen, tiobenzen, ksilen)	(V)	0,1
37.	Organski rastvarači	(V)	0,1
38.	Azbest	mg/l	30
39.	Toksičnost	Odnos razblaženja LC50% (toksikološki test sa ribama ili dafnijama)	
40.	Temperatura	°C	40

**Granične vrednosti emisije za određene grupe ili kategorije zagađujućih supstanci za tehnološke otpadne vode, pre njihovog ispuštanja u javnu kanalizaciju (Uredbe o GVE zagađujućih materija u vodu i rokovima za njihovo dostizanje)**

<sup>(I)</sup> Određuje se za 24-časovni srednje kompozitni uzorak.

<sup>(II)</sup> Samo u tom slučaju se određuje, ako je zapremina taloživih materija, nakon 10 minuta taloženja veća od  $5 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{m}^3$ .

<sup>(III)</sup> U slučaju dnevnog protoka od  $100 \text{ m}^3/\text{d}$ , za materije biljnog i životinjskog porekla granična vrednost je trostruka, a iznad toga dvostruka.

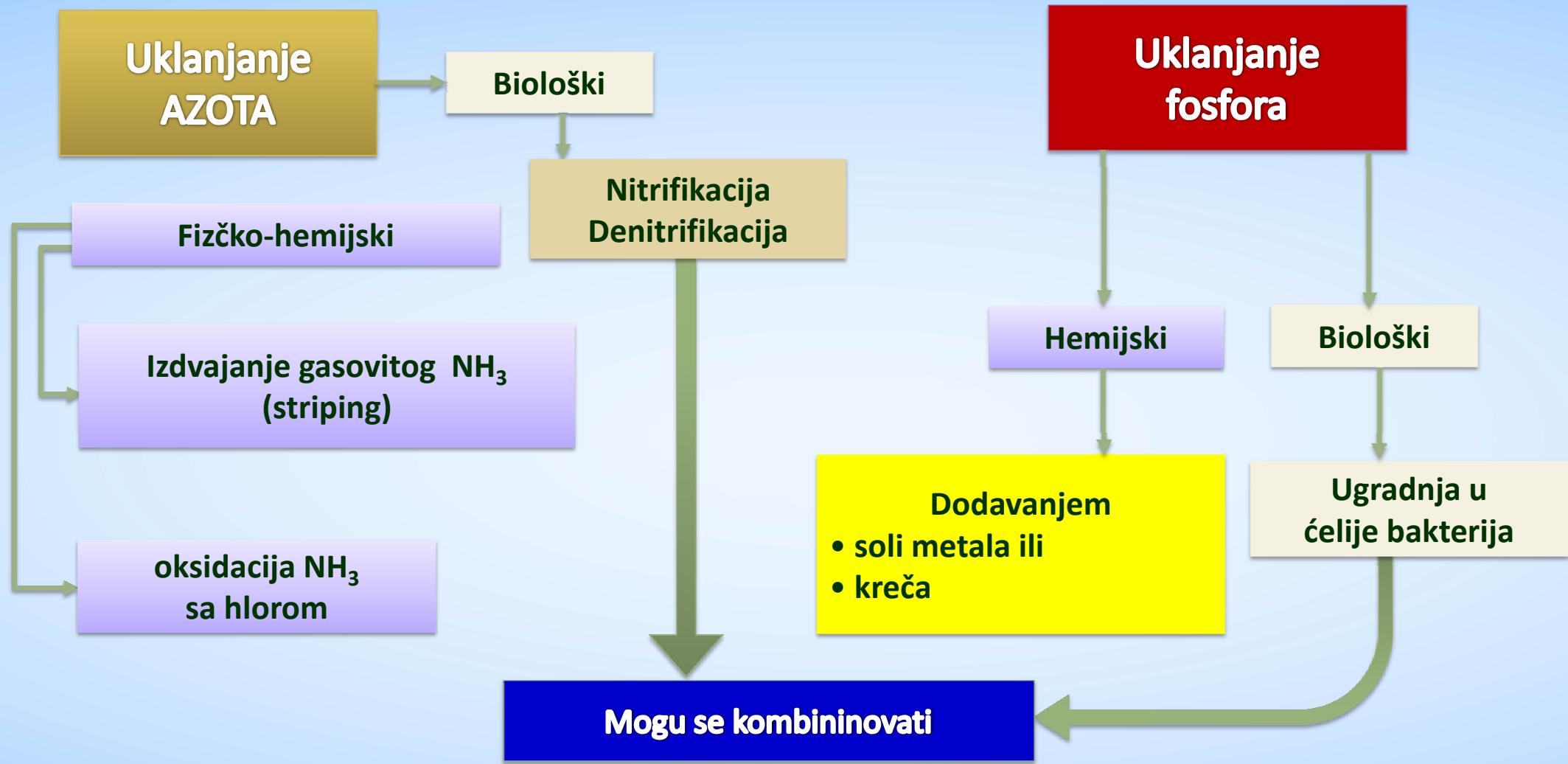
<sup>(IV)</sup> Iznad  $10 \text{ m}^3/\text{d}$ .

<sup>(V)</sup> Granična vrednost je izražena u  $10^{-3} \text{ m}^3/\text{m}^3$ .

<sup>(VI)</sup> **U slučaju korišćenja mulja nastalog na centralnom postrojenju granične vrednosti se mogu zaoštiti ili ako se utvrdi da dolazi do smetnje na centralnom prečistaču usled velikog broja priključenih industrija za svaki slučaj potrebno je revidirati date vrednosti.**

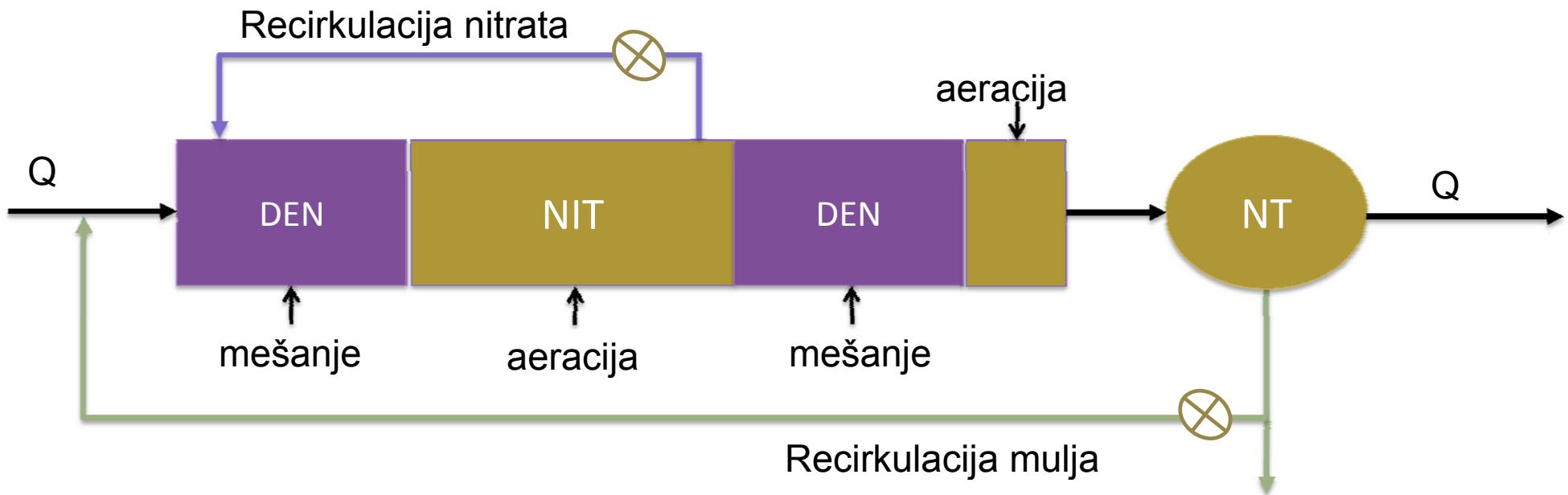
<sup>(VII)</sup> Ove vrednosti mogu biti revidirane uzimajući u obzir tehničke, tehnološke i ekonomski faktore koji utiču na izbor zajedničkog prečišćavanja komunalnih i industrijskih otpadnih voda na gradskom postrojenju za prečišćavanje otpadnih voda, kao i prodor podzemnih voda u kanalizaciju usled čega koncentracija organskih materija u dotoku na postrojenje može biti niska.

<sup>(VIII)</sup> Ove vrednosti mogu biti revidirane uzimajući u obzir tehnološke faktore koji utiču na izbor zajedničkog prečišćavanja komunalnih i industrijskih otpadnih voda na gradskom postrojenju za prečišćavanje otpadnih voda



## Bardenpho postupak s 4 stepena

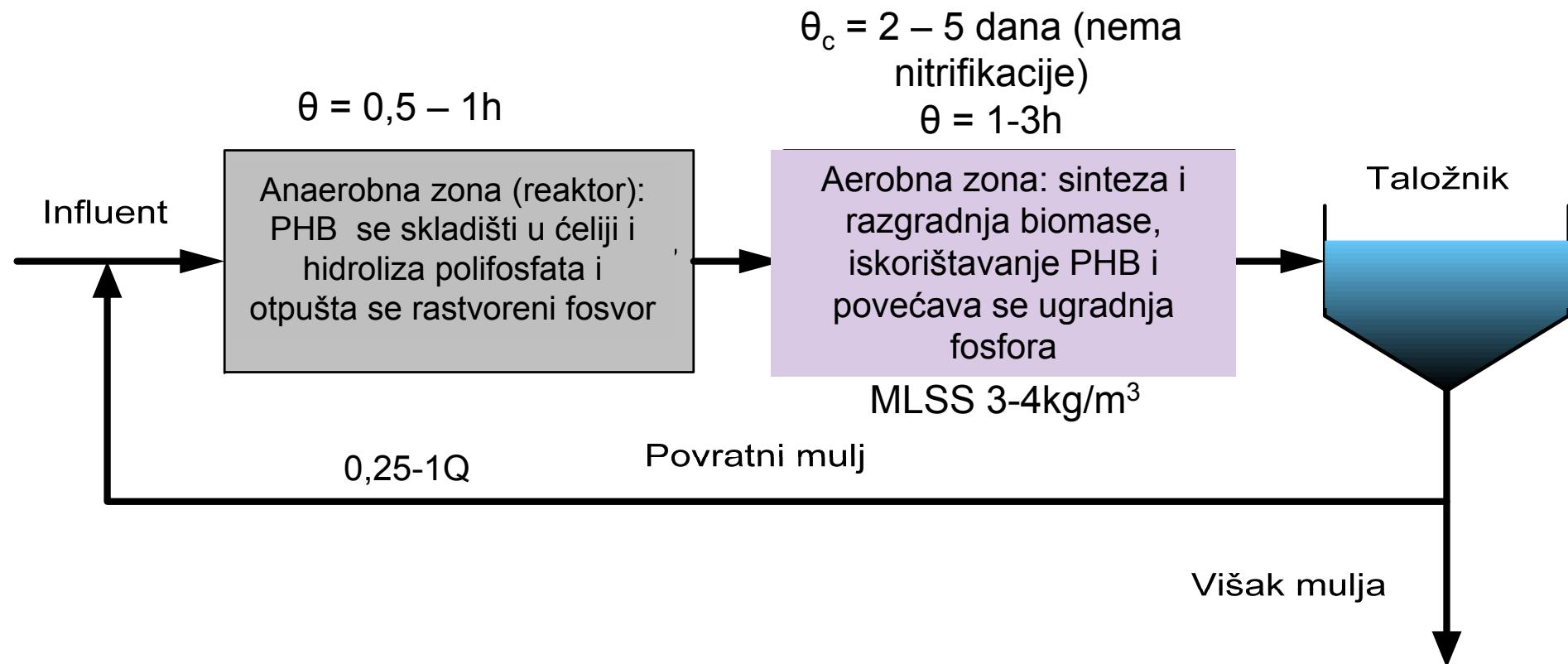
Objedinjena denitrifikacija pre nitrifikacije i nitrifikacija , a zatim denitrifikacija



U prvom stepenu se denitrificira najveći deo nitrata, a u trećem stepenu ostatak.

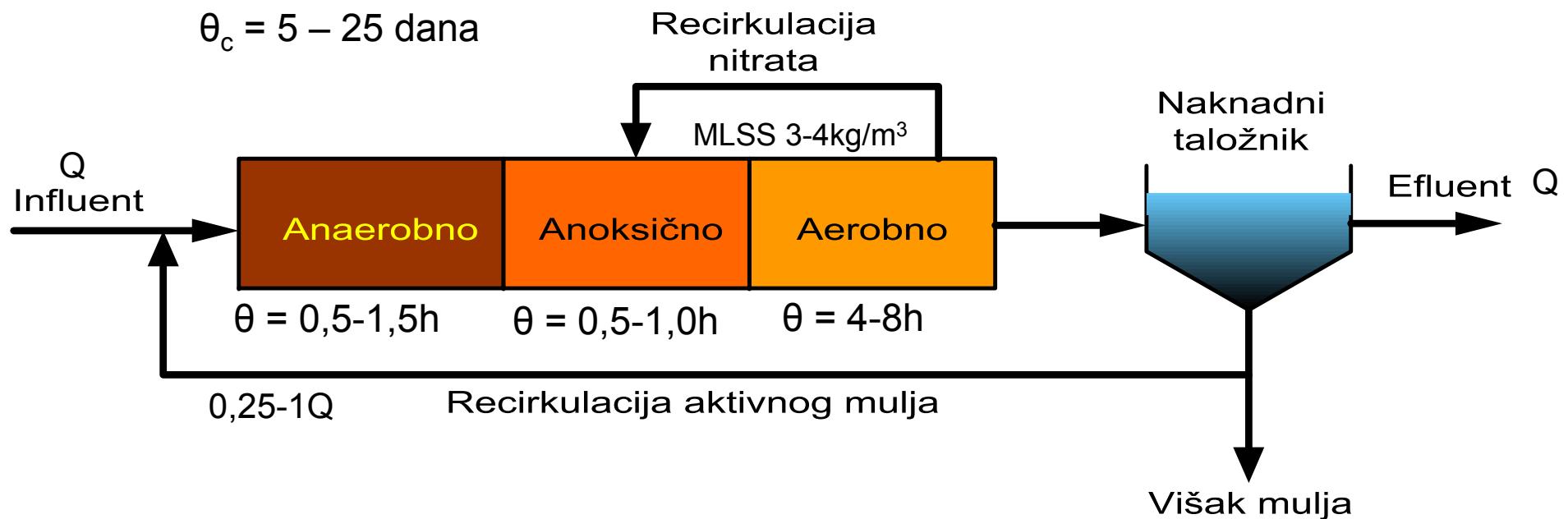
Četvrti stepen je reaeracijski reaktor za degazaciju azota i postizanje aerobnog stanja kojim se poboljšava flokulacija mulja pre taloženja i smanjuje mutnoća efluenta.

## Phoredox ili A/O postupak, Barnard 1975.



Koristeći energiju iz uskladištenih polifosfata, PAOs asimiliraju acetate i unutar stanice proizvode polihidroksibiturate (PHB)

## A<sup>2</sup>O postupak



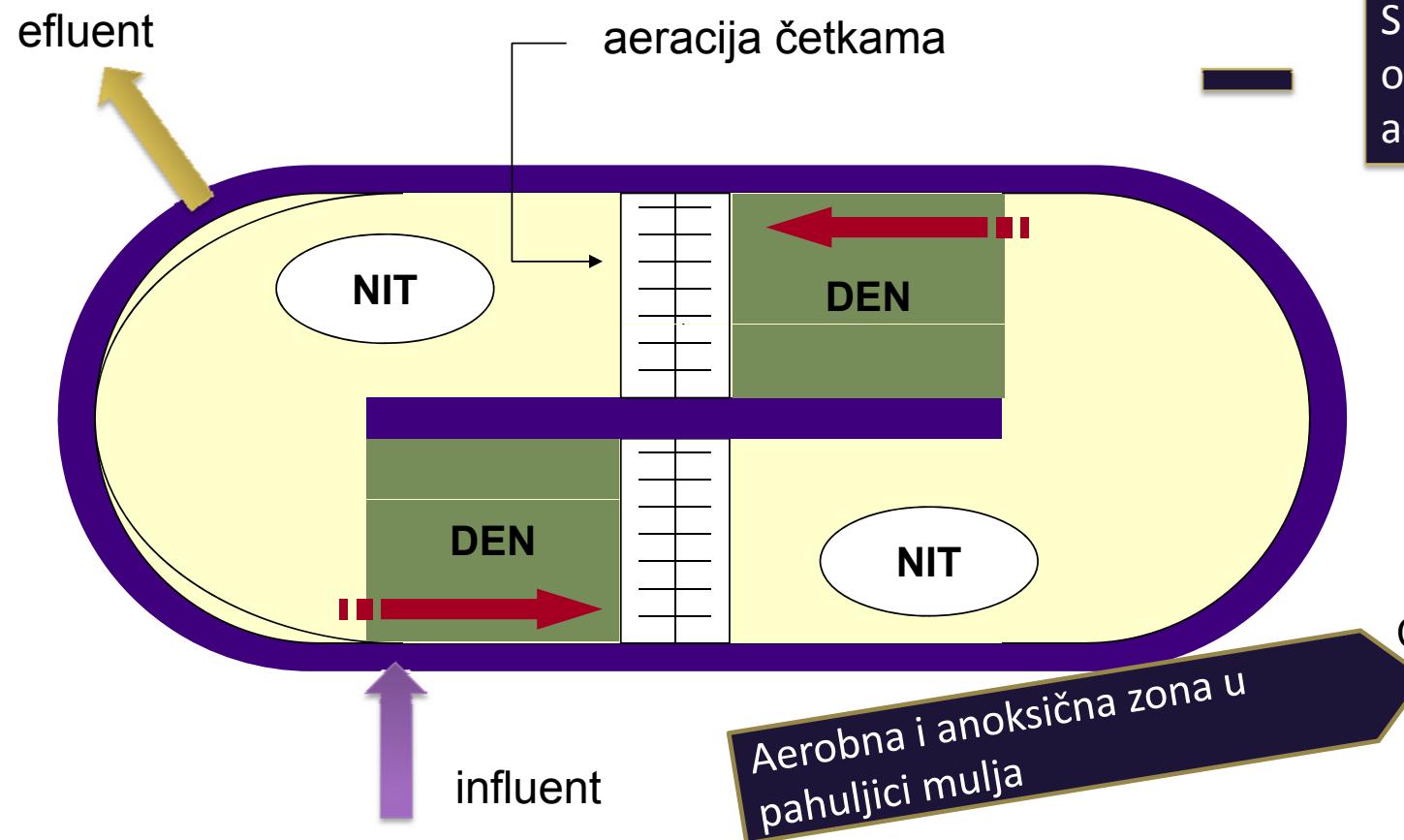
Uvođenjem anoksičnog reaktora i interne recirkulacije nitrata, smanjuju se nitrati u recirkulaciji aktivnog mulja i time pospešuje otpuštanje fosfata.  
(nitrati su izvor kiseonika za hemo-autotrofne bakterije koje se razvijaju na račun PAOs i time smanjuju efikasnost uklanjanja fosfora)

## Simultana nitrifikacija - denitrifikacija

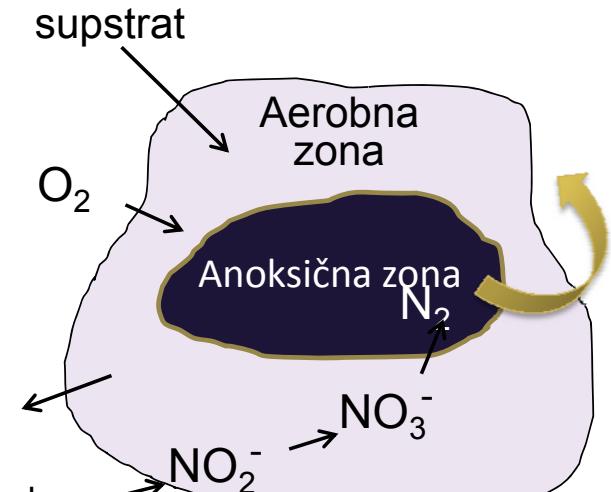
Primena na oksidacionim kanalima i karusel BR  
(bioreaktorima)



Nije potreban poseban reaktor za denitrifikaciju, recirkulacija, mešanje



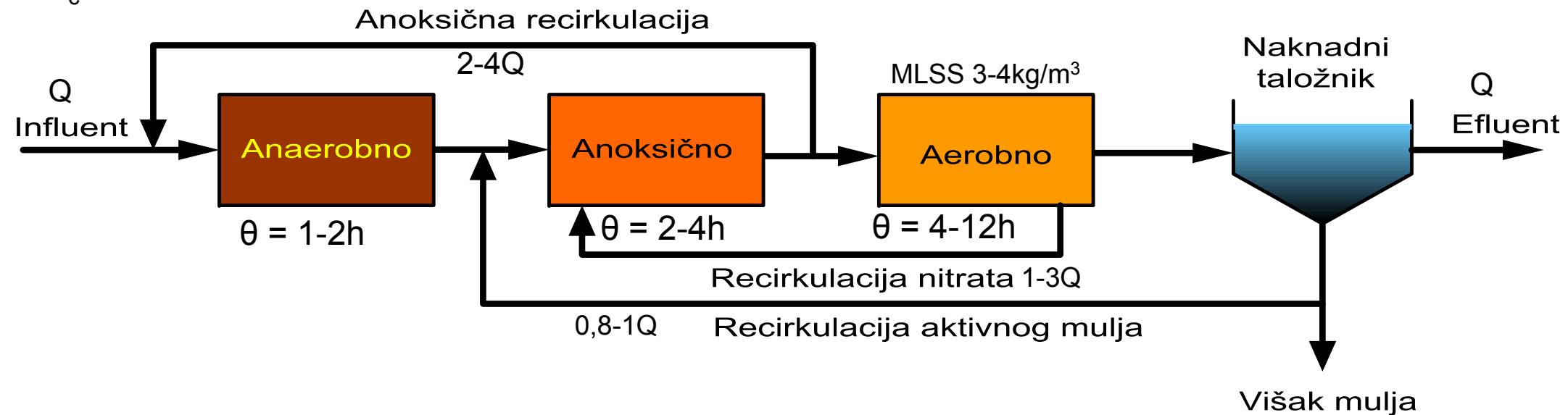
Složeno vođenje postupka zbog održavanja potrebnih veličina aerobnih i anoksičnih zona



## UCT postupak, (University of Cape Town)

Za otpadne vode koje imaju malo rastvoreni BPK

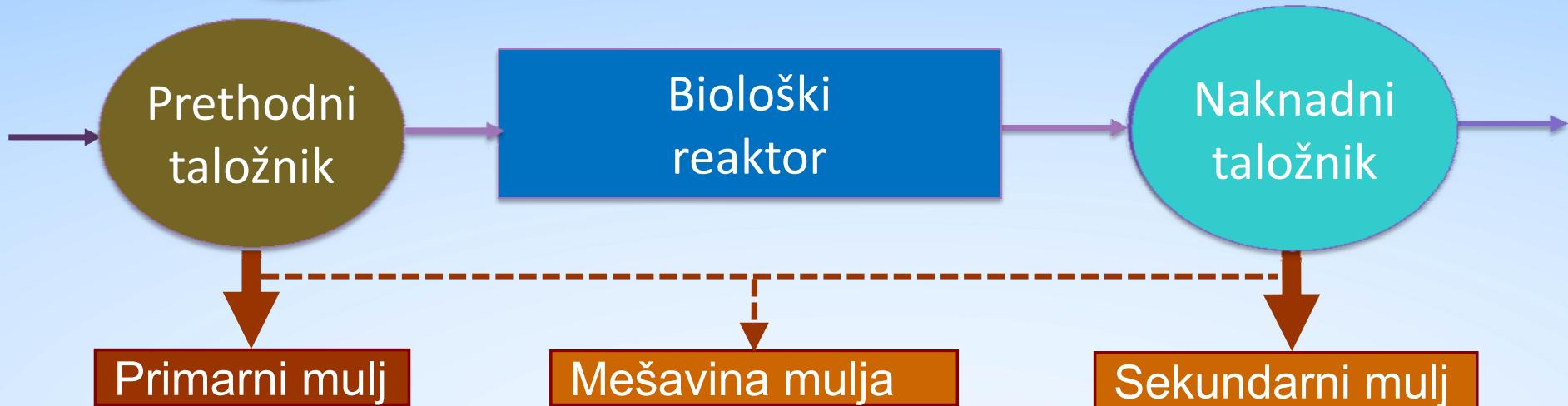
$$\theta_c = 10 - 25 \text{ dana}$$



Povratni mulj se recirkulira u anoksični, a ne u aerobni reaktor, čime je eliminiran dotok nitrita u anaerobni reaktor.

Interna recirkulacija nakon anoksičnog u anaerobni reaktor sadrži malo nitrata, ali bitno više potrebnog rastvorenog BPK u anaerobnom reaktoru.

# Vrste mulja



## Glavni postupci

- Zgušnjavanje
- Stabilizacija [nije potrebna kod produžene aeracije]
- Uklanjanje vode

Čemu se teži pri obradi mulja



Zapremina → minimalna  
Štetni utjecaji → minimalan

# Količine mulja koje nastaju pri prečišćavanju otpadnih voda

Water Workshop 2021

1ES= ekvivalentni stanovnik proizvodi

Efluent

BPK<sub>5</sub>=60-70 g/d  
SM=70-80 g/d

PPOV

Mulj  
50-70 g/d

Primer:

Za konvencionalni postpak sa aktivnim muljem

Iz PT →  $0,50 \times 70 = 35,0$  g/d

Iz NT →  $0,60 \times 60 = 36,0$  g/d

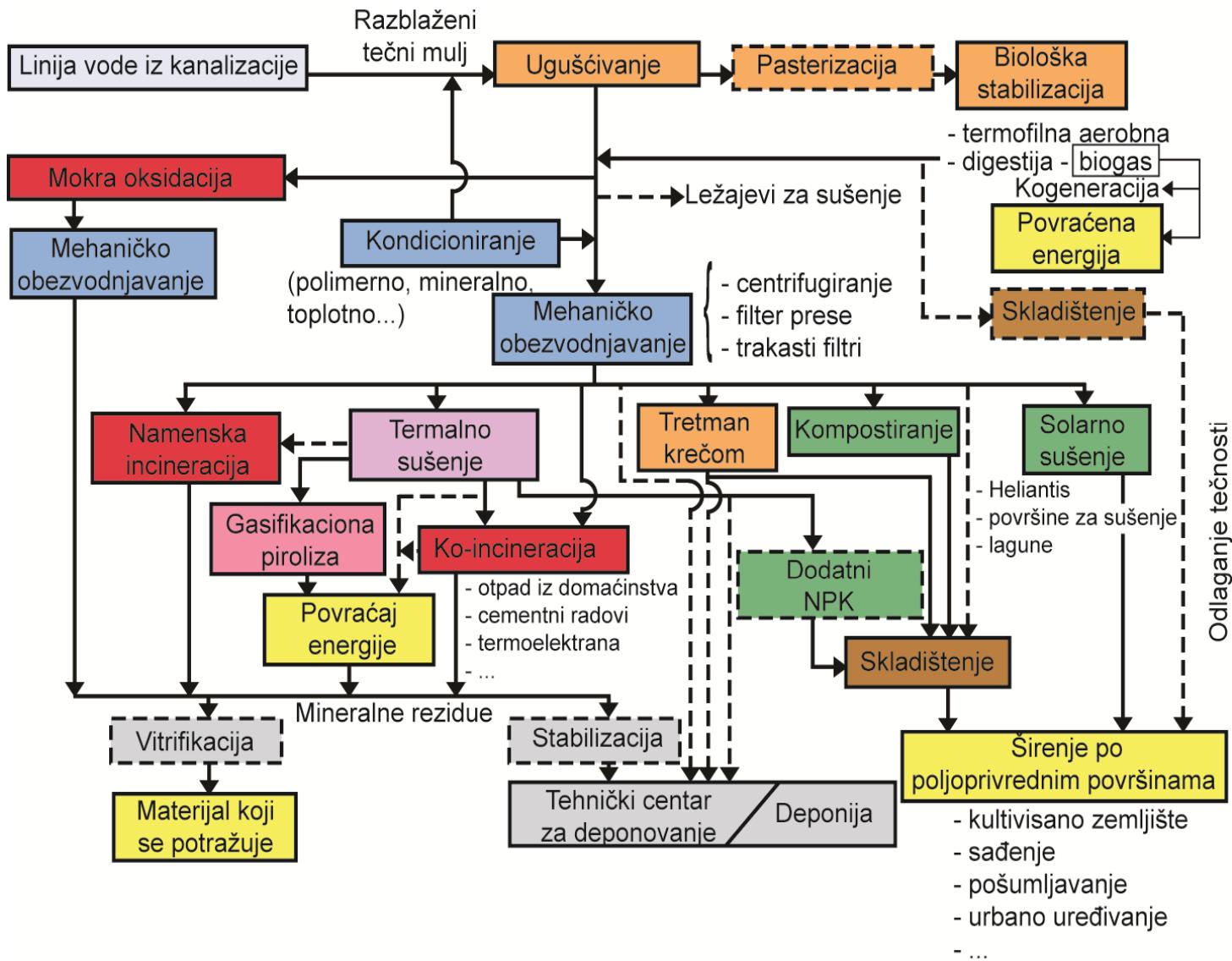
71,0 g/d

Iz uređaja s produženom aeracijom

Iz ST →  $0,9 \times 60 = 54,0$  g/d



# Opšti tretman mulja i finalno odlaganje



# Postupci obrade mulja

## A Osnovni postupci



\*Inhibicija, smanjenje ili eliminacija mogućnosti truljenja

## B Drugi postupci

### Postupci

**Homogenizacija**

**Kondicioniranje**

**Sušenje**

**Spaljivanje**

**Dezinfekcija**

### Svrha

**Homogenizacija i smanjenje zapreme**

**Poboljšanje svojstava mulja radi lakšeg uklanjanja vode**

**Uklanjanje vlage iz vlažnog mulja**

**Stabilizacija, maksimalno umanjenje zapreme, uništavanje patogenih organizama i toksičnih materija**

**Uklanjanje patogenih organizama**

# Zgušnjavanje mulja

## Svrha

Smanjenje zapremine mulja → manja potrebna zapremina skladišta za stabilizaciju mulja

Primarni, sekundarni,  
ili mešavina mulja

## Zgušnjavanje

**Višestruko smanjenje  
zapremine!**

Uklonjena voda u postupku zgušnjavanja



Vraća se natrag na postupak prečišćavanje

**1. Gravitacijsko zgušnjavanje**

**2. Zgušnjavanje isplivavanjem (flotacija)**

**3. Mehanički zgušnjivaći**

**3.1 Centrifuga**

**3.2 Gravitacijska traka**

**3.3 Rotacioni bubanj**



# Postupci za uklanjanje vode



1

Fizčko uklanjanje



Polja za sušenje

2

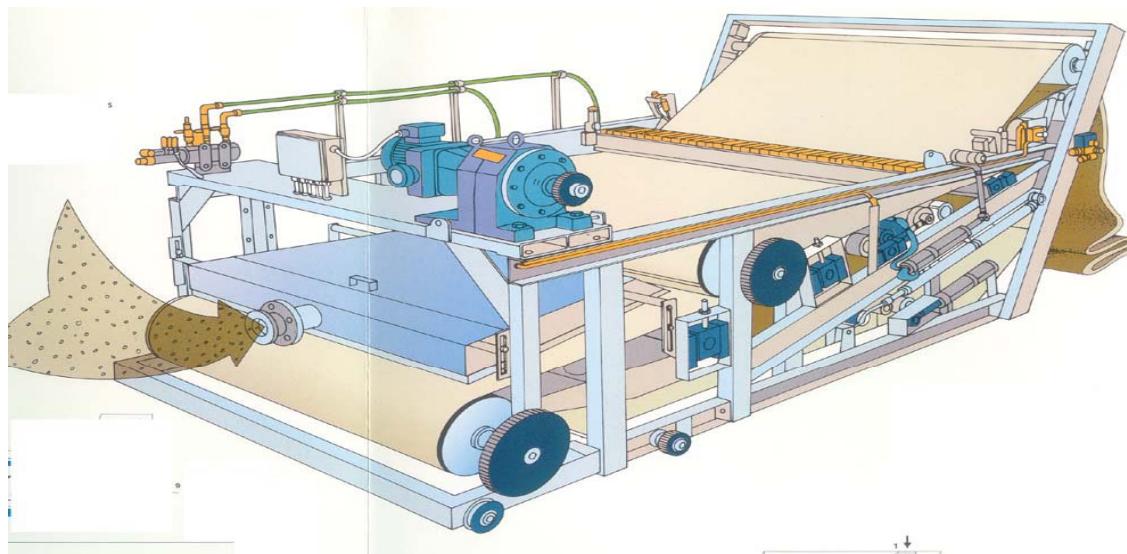
Mehaničko uklanjanje

Trakasti filter  
- presa

Filtar prese

Vakuum filtri  
- prese

Centrifuge

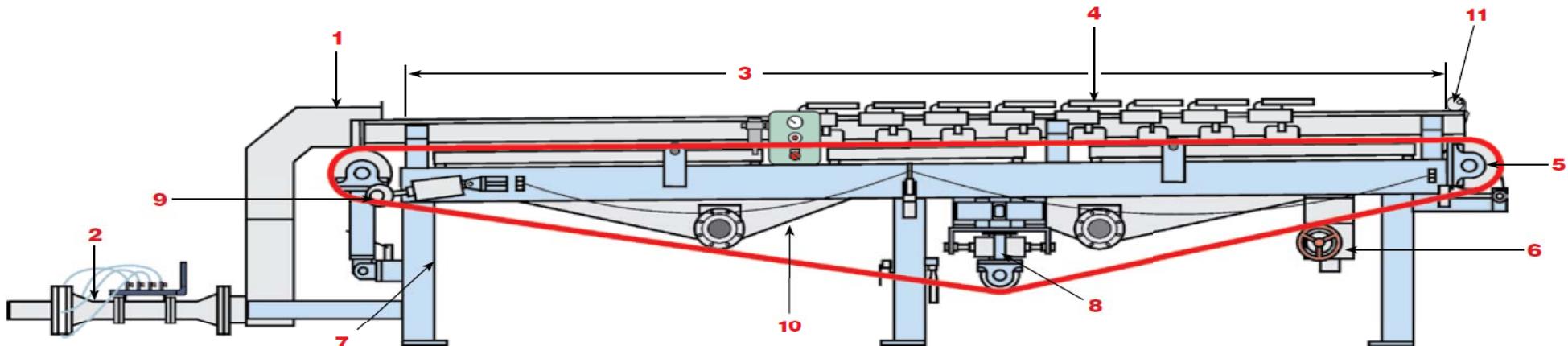


Traka trakaste filter prese se izrađuje od 0,5-3,5 m širine.

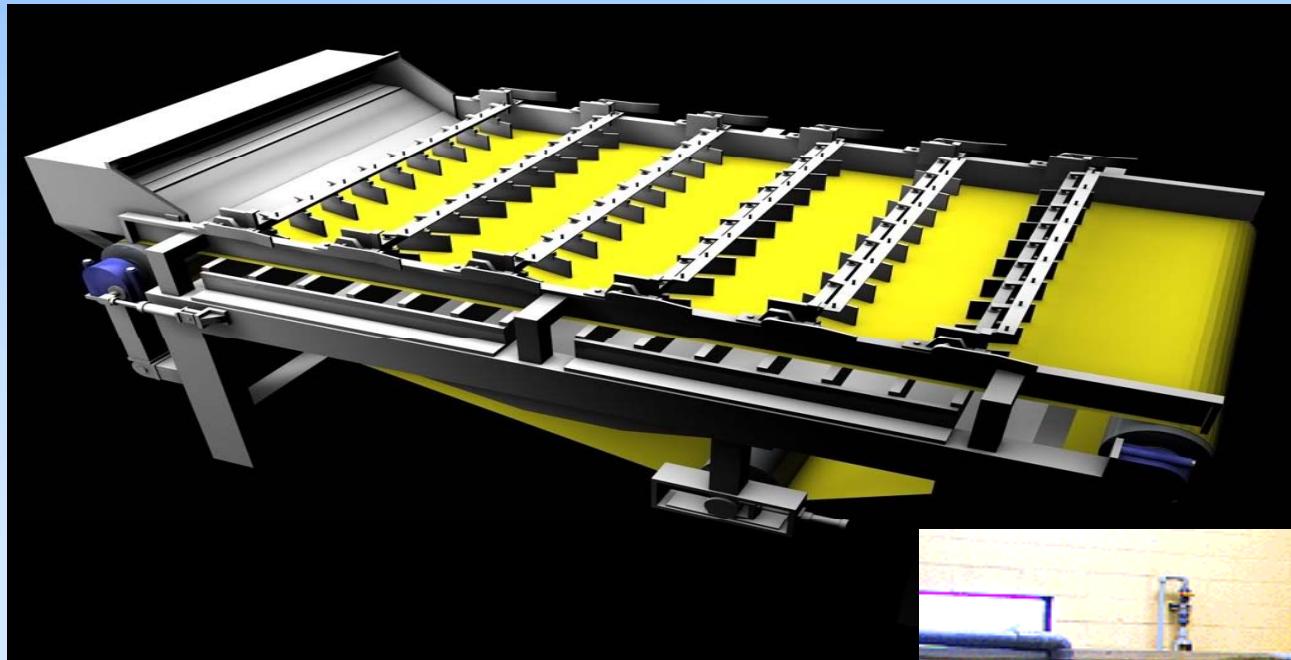
Uobičajena širina trake je 2 m.

Opterećenje muljem je od 90-680 kg/m·h, zavisno od vrste mulja. Hidrauličko opterećenje je od 1,6-6,3 l/m·s.

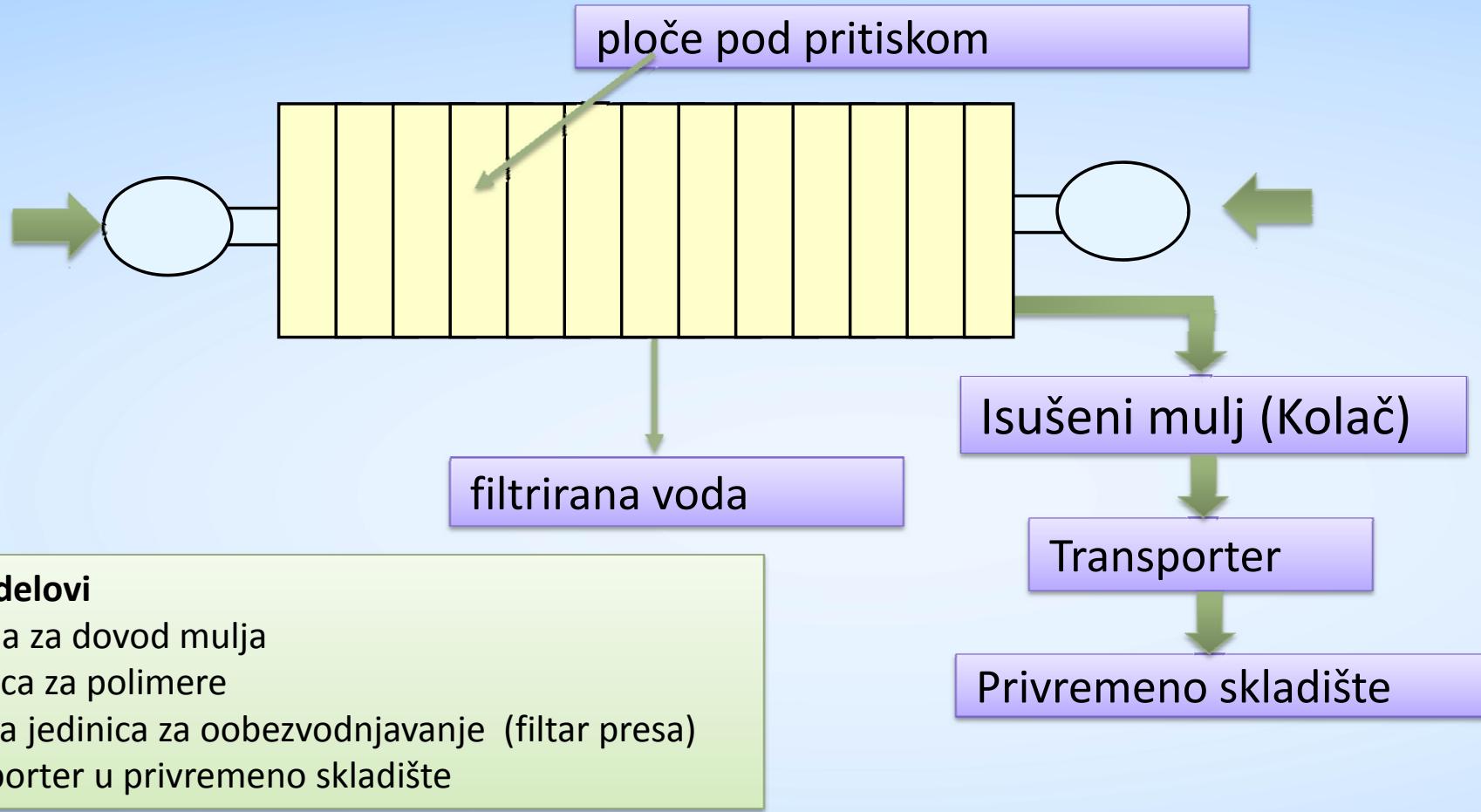
# Gravitacijski trakasti zgušnjivač



1. Ulaz mulja
2. Venturijska mešalica polimera i mulja
3. Radna površina, rotirajuća traka od plastične tkanine
4. Podesivi valjci za protiskivanje mulja s trake i oslobađanje slobodne površine
5. Pogonski elektromotor za pokretanje trake s podesivom brzinom od 2,4 do 30 m/s
6. Sapnice za ispiranje trake vodom
7. Nosiva konstrukcija od čeličnih profila
8. Kontrola kretanja trake
9. Zatezač trake
10. Posuda za skupljanje filtrata
11. Letva za dodatno cijeđenje mulja

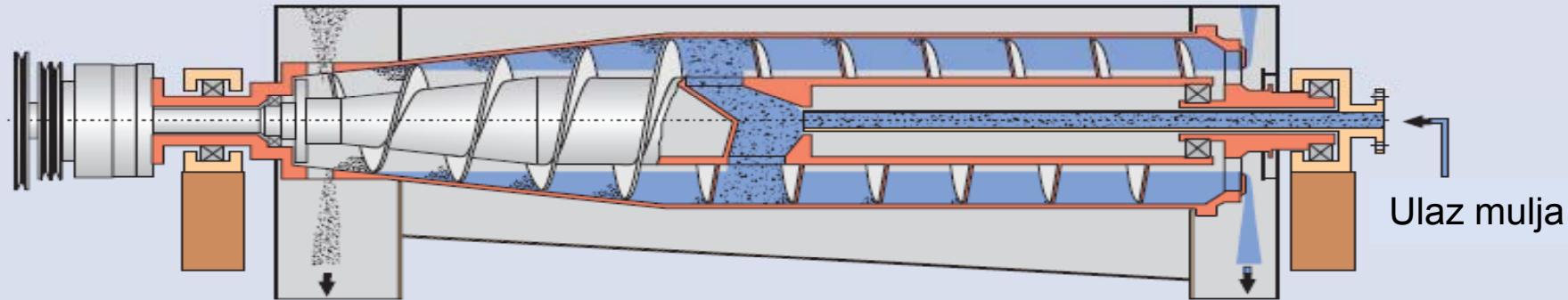


# Komorna filter presa





# Centrifuga



Ispust zgusnutog mulja

Gravitacijski isputstvo vode



## Metode stabilizacije

A

**Ukloniti VSS oksidacijom**

Biološka oksidacija

Hemiska oksidacija

Aerobna digestija

Anaerobna digestija

B

**Ukloniti m/o**

Hemiski: Stabilizacija krečom

Povisiti pH>12  
m/o ne mogu opstati

Toplotno

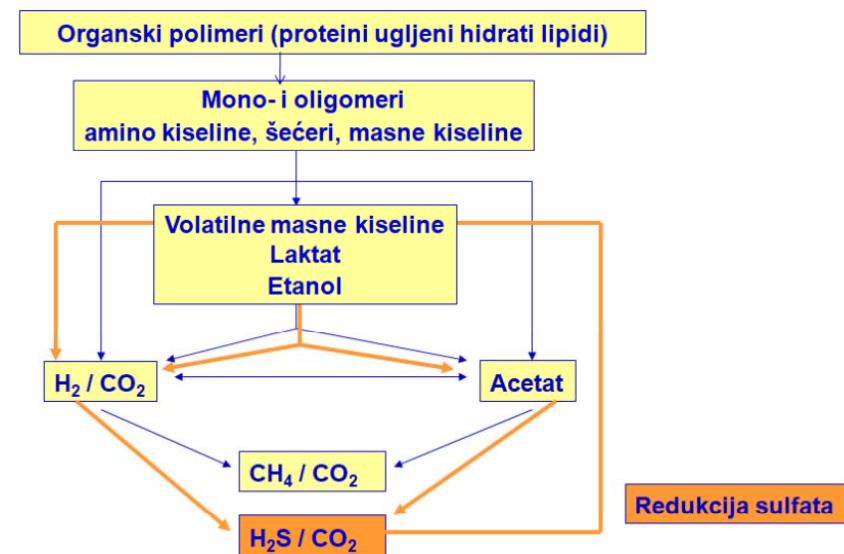
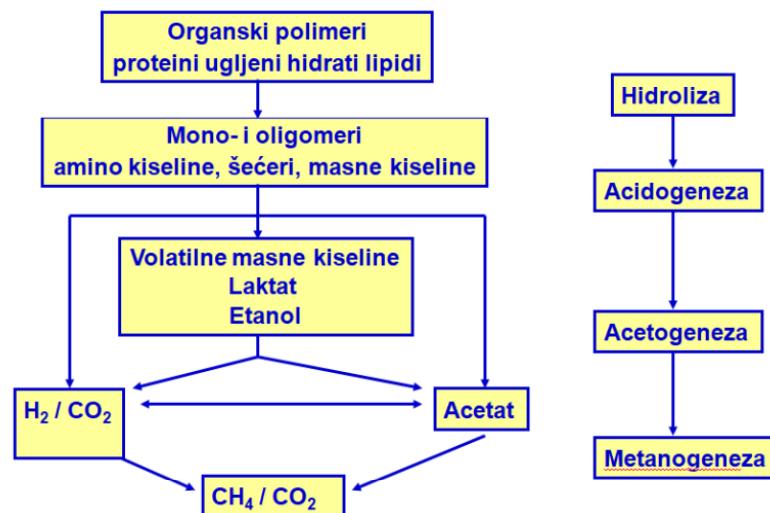
Povisiti T>260°C

# Anaerobna stabilizacija

U procesu anaerobne stabilizacije organska materija iz mešavine primarnog mulja i biološkog mulja se pod anaerobnim uslovima biološki prevodi u metan i ugljen-dioksid i neorganske supstance.

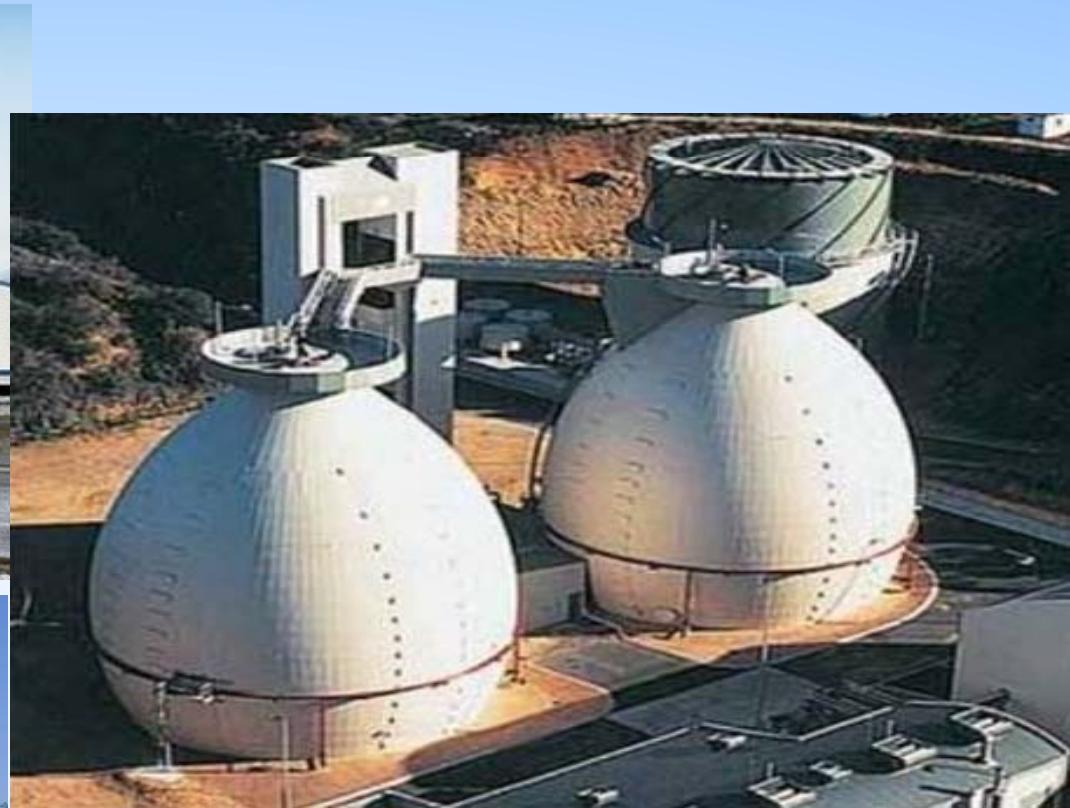
Proces se odigrava u hermetički zatvorenom reaktoru - (digestoru).

Mulj se unosi kontinualno ili intermitentno (naizmenično punjenje i pražnjenje), i zadržava u reaktoru u različitom vremenskom periodu.





Valjkasti digestori



Jajoliki digestori



Digestori sa spremnicima plina na krovu

## KONDICIONIRANJE



Kondicioniranje je postupak kojim se postiže bolje *izdvajanje vode iz mulja* prilikom uguščivanja ili obezvodnjavanja, time što se menja konzistencija mulja: od amorfne mase, slične gelu, mulj se prevodi u materijal koji daleko lakše oslobođa vodu. To se postiže

- (i) hemijskim metodama, tj. dodavanjem koagulanata i flokulanata, i
- (ii) termičkom obradom.

Neorganski ili organski koagulanti i flokulanti koriste se u kondicioniranju muljeva na sličan način kao i u postupku bistrenja vode koagulacijom i flokulacijom, a razlike su u dozama (koje su prilikom obrade muljeva daleko veće) i u složenijem radu (efekat kondicioniranja jako zavisi od starosti muljeva, kao i od tipa mulja, na primer teže je obrađivati sekundarne, biološke, muljeve od primarnih).

# Termička obrada mulja



Od termičkih tretmana primenjuju se;

- termičko sušenje mulja,
- termička redukcija organskih materija, koja može biti:
  - spaljivanje mulja,
  - oksidacija vlažnim vazduhom,
  - gasifikacija i
  - piroliza.

Termička obrada se sastoji od kratkotrajnog zagrevanja mulja pod pritiskom (na 150-200°C i 10-20 bar) uvođenjem vodene pare.

**Termički tretman izaziva koagulaciju i smanjenje hidratisanosti suspendovanih čestica**, denaturaciju belančevina, i slično, što sve dovodi od razrušavanja gelu slične strukture mulja, a takođe se uništava i mikroflora, čime se dobija praktično sterilisan i dezodorisan mulj koji se lako obezvodnjava.

Termičkom obradom, sem kondicioniranja, ostvaruje delom i *stabilizacija* muljeva jer se oksidiše deo organskih materija mulja, pogotovo ako se sa parom dodaje i vazduh.



# Odlaganje muljeva



**Muljevi se mogu odlagati na zemljište, u vodu i u vazduh.**

Spaljivanjem se organske frakcije muljeva, koja se prevodi u dimne gasove, i odlaže u vazduh.

Vazduh ne može da prihvati sve sastojke muljeva i zato što je deo gasovitih sastojaka muljeva štetan za ekosistem.

**Na zemljište se muljevi mogu odlagati na nekoliko načina, u zavisnosti od toga šta je na raspolaganju**

razbacivanjem po obradivom zemljištu,

odlaganjem na deponije komunalnog smeća,

odlaganjem u lagune,

smeštanjem na pogodne prostore (napušteni jamski rudnici, površinski kopovi).

Način odlaganja muljeva diktira i način obrade i konzistenciju obrađenog muljeva.

**HVALA NA PAŽNJI!**

3.9.2021.

