

Tehnologije tretmana otpadnih voda

Prof. Dr Snežana Maletić,

Univerzitet u Novom Sadu, Prirodno-matematički fakultet

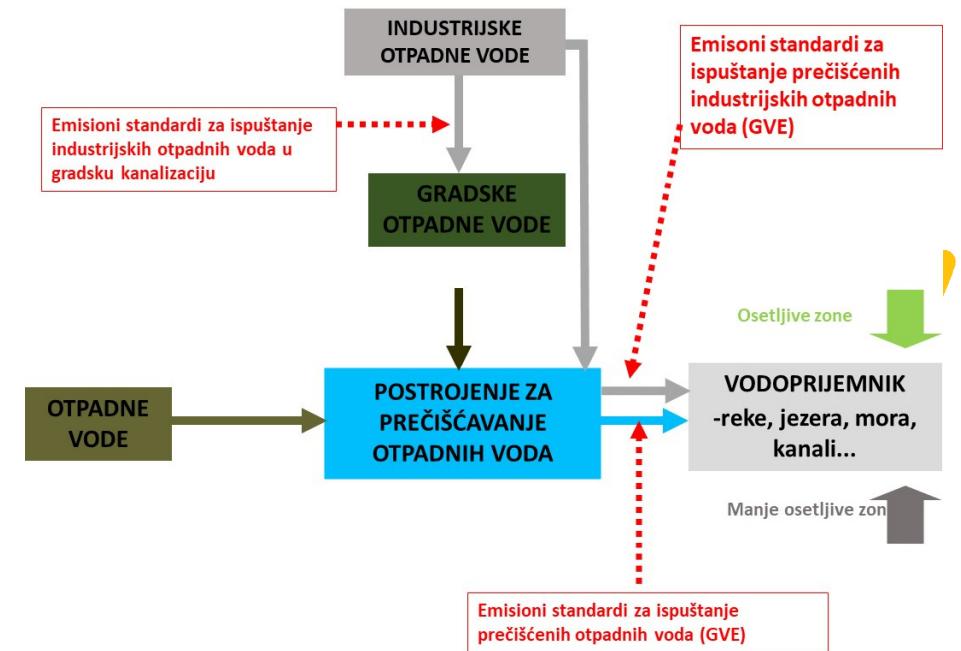
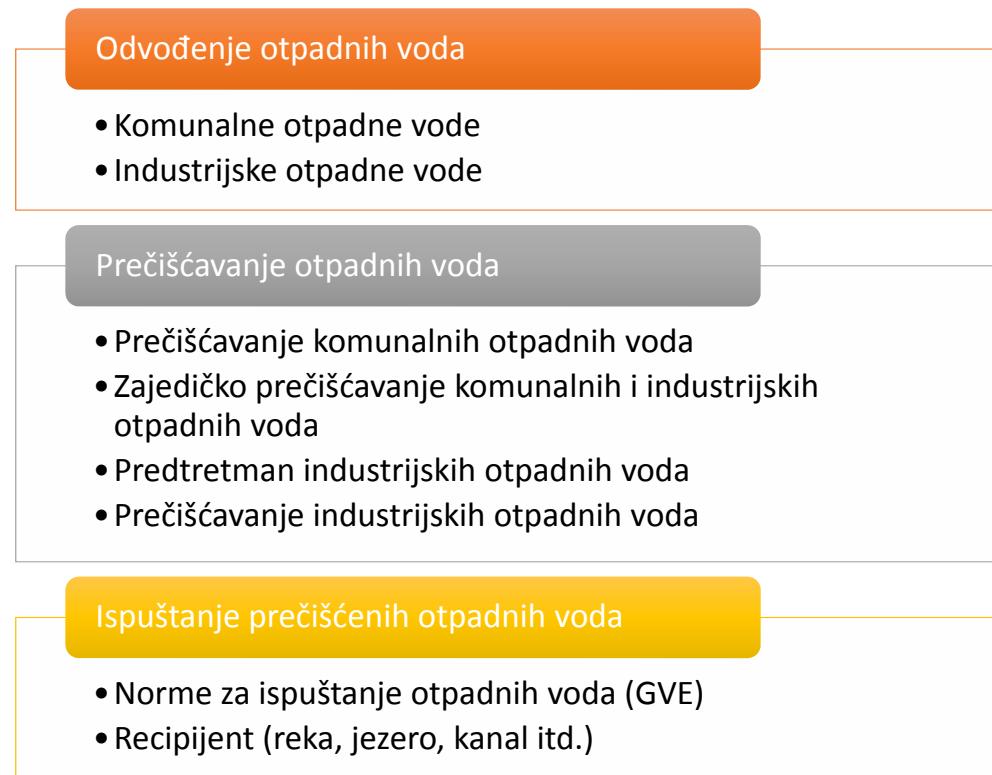
Zadatak procesa prečišćavnja otpadnih voda

- Zadatak prečišćavanja otpadnih voda je **da ukloni zagađenje otpadne vode** do te mere da
 - obrađena otpadna voda može da se ispušta u recipijent (prijemnik) bez štetnih posledica ili
 - da može da se ponovo upotrebi.





- Normativna regulisanost zahteva u pogledu kvaliteta (stepena prečišćenosti) otpadnih voda



Tehničko – tehnološki aspekt

Tehnologija prečišćavanja otpadnih voda **se razlikuje** od tehnologije proizvodnje neke robe u jednoj važnoj stvari **a to je sirovina (sirova otpadna voda)**, i ta razlika u značajnoj meri oblikuje samu tehnologiju prečišćavanja.

Prečišćavanje otpadnih voda je **svojevrsna proizvodnja**, postoji:

- **Sirovina** (neprečišćena otpadna voda)
- **Pomoćni i potrošni materijali**
- **Oprema za proizvodnju** (oprema za prečišćavanje)
- **Proces proizvodnje** (proces prečišćavanja)
- **Kontrola** i vođenje procesa



Prečišćavanje 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 vodene fabrike,
 - Jasne su razmere problema sa kojim se susreće prečišćavanje industrijskih otpadnih voda kao proces.

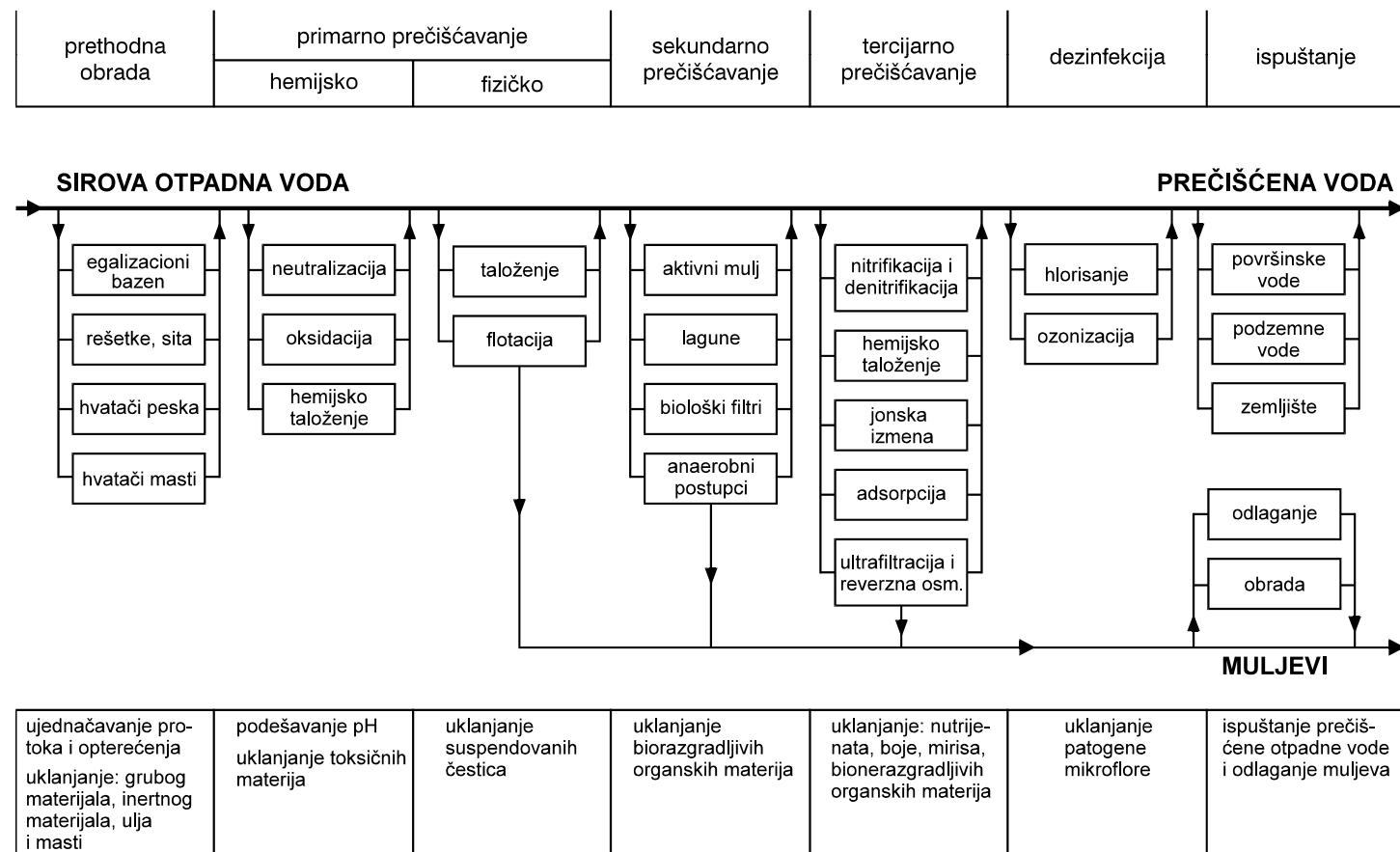


Prečišćanje otpadnih voda:

- Proces prečišćavanje se može sastojati iz brojnih faza obrade,
 - zavisno od karakteristika sirove otpadne vode i
 - od zahtevanog kvaliteta prečišćene otpadne vode,
 - a za svaku od tih faza postoji nekoliko opcija
- Samo poznavajući:
 - količinu i stepen zagađenosti otpadnih voda, i
 - karakteristike faza i opcija prečišćavanja
 - može se napraviti pravilan izbor faza prečišćavanja i
 - opcija njihovog izvođenja, i
 - dobiti srazmerno jednostavno a efikasno postrojenje

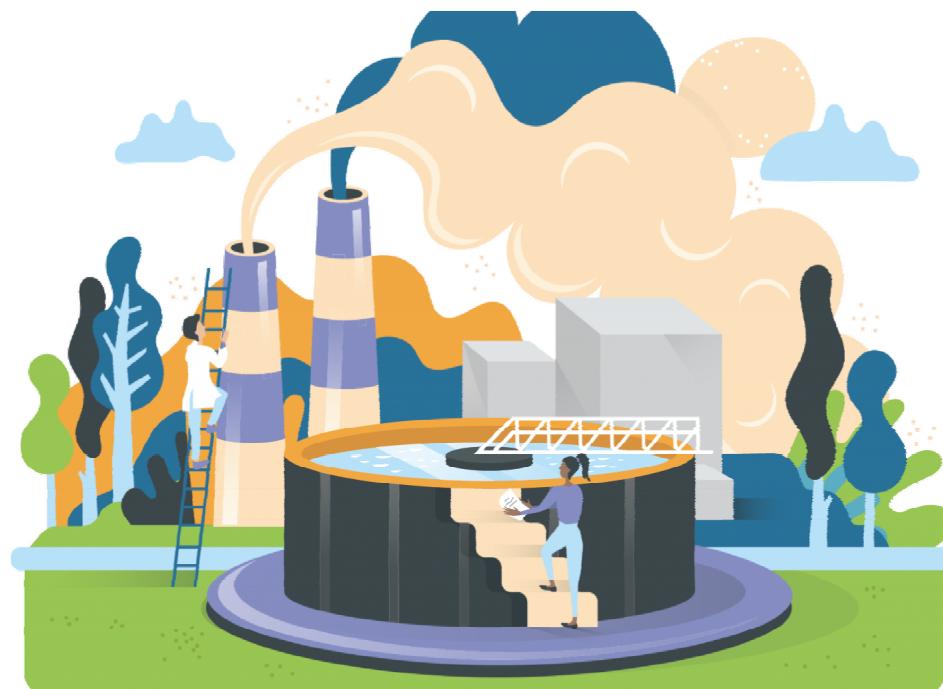
Tehnološki proces prečišćavanja otpadnih

- Napomena:**
- na šemi je prikazana tipična klasifikacija procesa prečišćavanja otpadnih voda:
- danas se ovakva šema najčešće koristi
- primenljiva za prečišćavanje komunalnih otpadnih voda, i otpadnih voda prehrambene industrije
- šeme procesa prečišćavanja drugih industrijskih otpadnih voda mogu se veoma razlikovati od prikazane šeme



Drugi načini podele prečišćavanja otpadnih voda

- Kombinovane podele: prečišćavanje otpadne vode podelili smo na
 - (i) postupke mehaničkog, i
 - (ii) procese hemijskog i
 - (iii) biološkog prečišćavanja otpadnih voda;
- Izbor načina prečišćavanja zavisiće u svakom konkretnom slučaju od niza činilaca:
 - od karaktera zagađenja otpadne vode
 - od zahtevanog stepena prečišćenosti,
 - od ekonomičnosti pojedinih postupaka prečišćavanja, i slično.



III

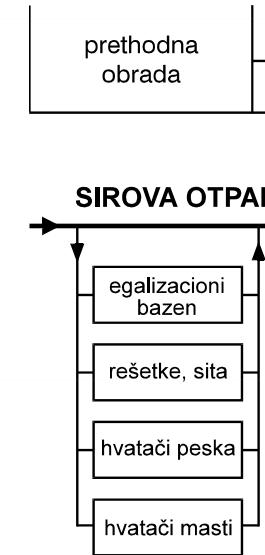
Primjenjeni postupci prečišćavanja u zavisnosti od prisutnog zagađenja

Zagađenje	Način uklanjanja
Suspendovane čestice	Taloženje Proceđivanje (sita) Filtracija Flotacija
Biorazgradljive organske materije	Fizičko-hemijski postupci uklanjanja Aerobna biološka razgradnja Anaerobna biološka razgradnja
Bionerazgradljive organse materije	Adsorpcija Ozonizacija (tercijerna obrada)
Rastvorljive neorganske materije	Jonska izmena Reverzna osmoza Elektrodijaliza
Teški metali	Hemijsko taloženje Jonska izmena
Nutrijenti	
Azot	Nitrifikacija-denitrifikacija Striping amonijaka Jonska izmena Hlorisanje preko završne tačke
Fosfor	Dodatak soli metala Koagulacija krećom/taloženje Biološko-hemijski postupci uklanjanja
Patogeni mikroorganizmi	Hlorisanje Ozonizacija (dezinfekcija)

PRETHODNA OBRADA OTPADNIH VODA

Prethodna obrada otpadnih voda, obuhvata:

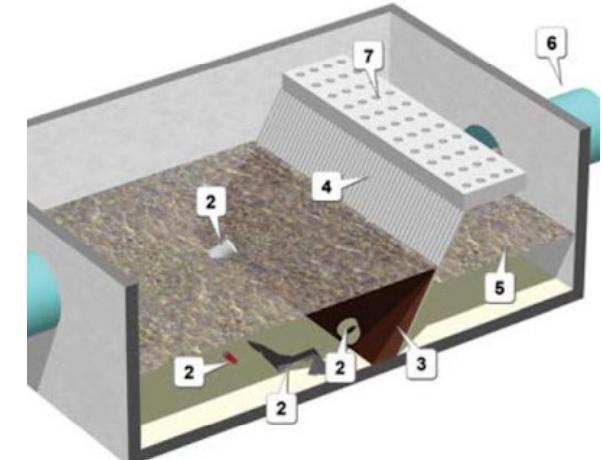
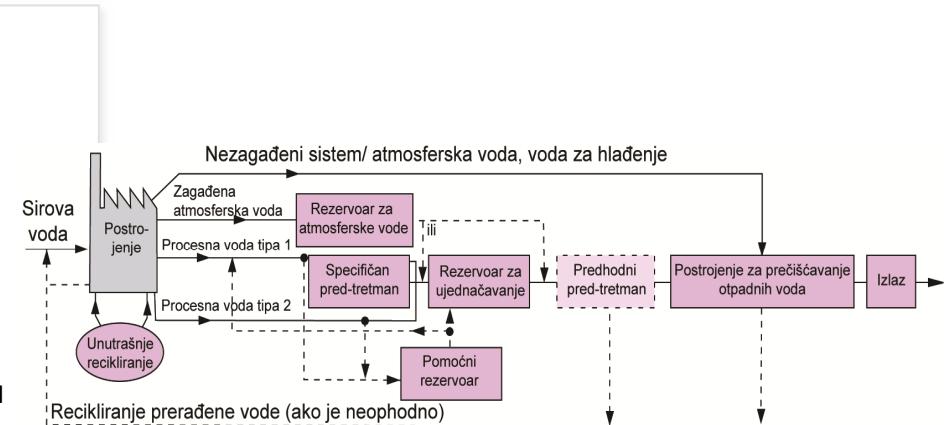
1. Ujednačavanje količine i opterećenja otpadnih voda, eventualno i korekcije pH
2. Postupci uklanjanja iz otpadnih voda:
 - krupnog (grubog) materijala
 - lako taloživih suspendovanih čestica
 - slobodnih ulja i masti

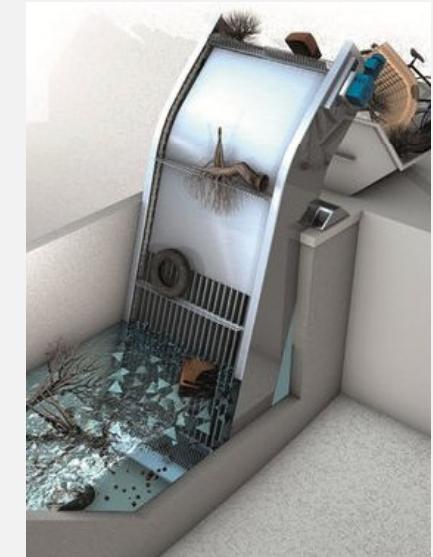
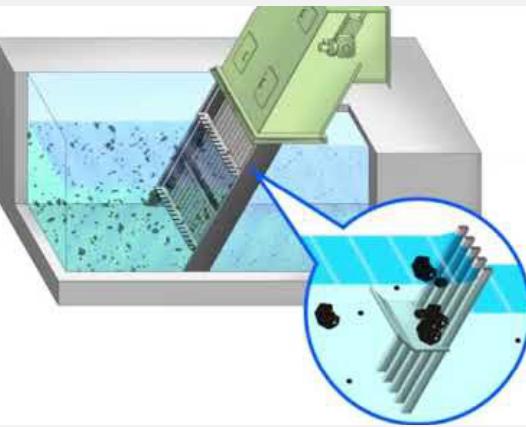
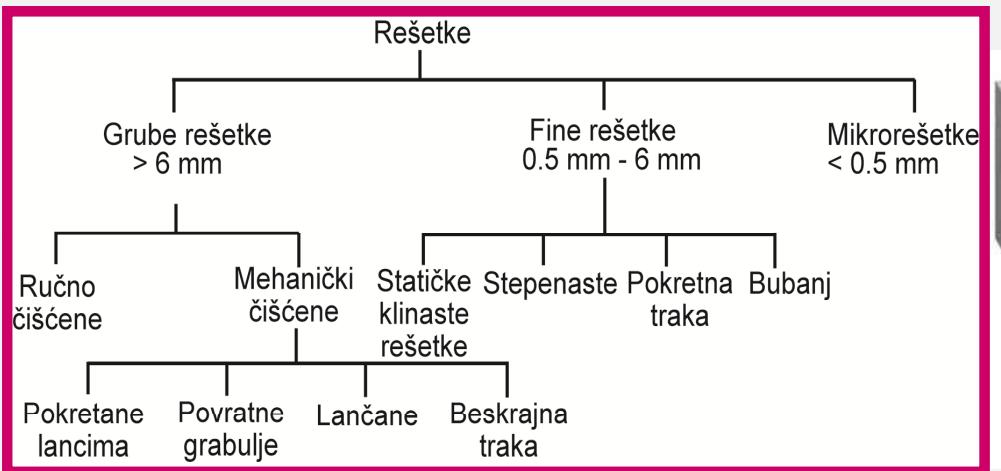


ujednačavanje pro-
toka i opterećenja
uklanjanje: grubog
materijala, inertnog
materijala, ulja
i masti

Ujednačavanje količine i opterećenja otpadnih voda

- Primjenjuje se u pravilu prilikom prečišćavanja industrijskih otpadnih voda u okviru postrojenja u samoj fabrici (jer je za većinu industrijskih otpadnih voda karakteristična velika neravnomernost protoka i opterećenja).
- U slučaju prečišćavanja komunalnih otpadnih voda, u centralnom postrojenju za prečišćavanje, bar u našoj praksi, ne primjenjuje se ujednačavanje protoka i opterećenja u posebnom bazenu, već i tu ulogu obavlja javni kanalizacioni sistem.
- Ujednačavanjem protoka i opterećenja industrijskih otpadnih voda se u velikoj meri olakšava njihovo dalje prečišćavanje,
 - jer procesi prečišćavanja, a pogotovo biološki procesi, najbolje funkcionišu na ujednačenom protoku i opterećenju otpadnih voda koje obrađuju.



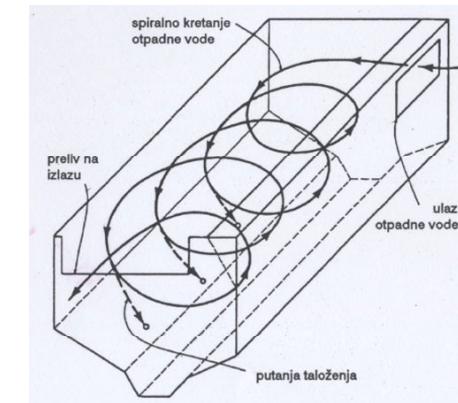
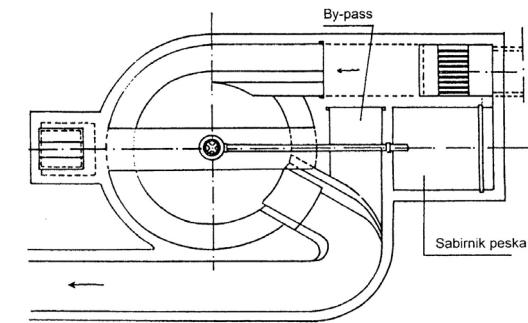
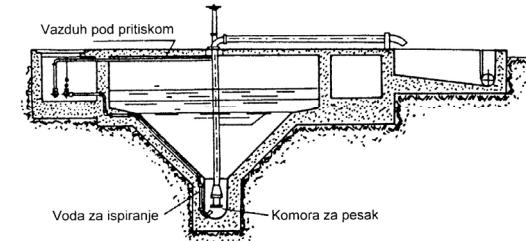


Uklanjanje krupnog (grubog) materijala

- **Krupan (grubi) materijal** je karakterističan pogotovo za komunalne otpadne vode; odnosno, u javnu kanalizaciju se baca svašta: krupni otpaci hrane, delovi ambalaže ili cela ambalaža, parčad tkanine, drveta, itd.
- Ovakav materijal se ređe nalazi u otpadnoj vodi neke fabrike, ali ga, usled nebrige, slabe radne discipline, ili slabog održavanja opreme, može biti i u značajnim količinama.
- Krupan (grub) materijal je potrebno ukloniti iz otpadnih voda kako bi se olakšalo dalje prečišćavanje otpadnih voda, a pogotovo zaštитilo PPOV od **oštećenja opreme i/ili zagušenja cevovoda**.

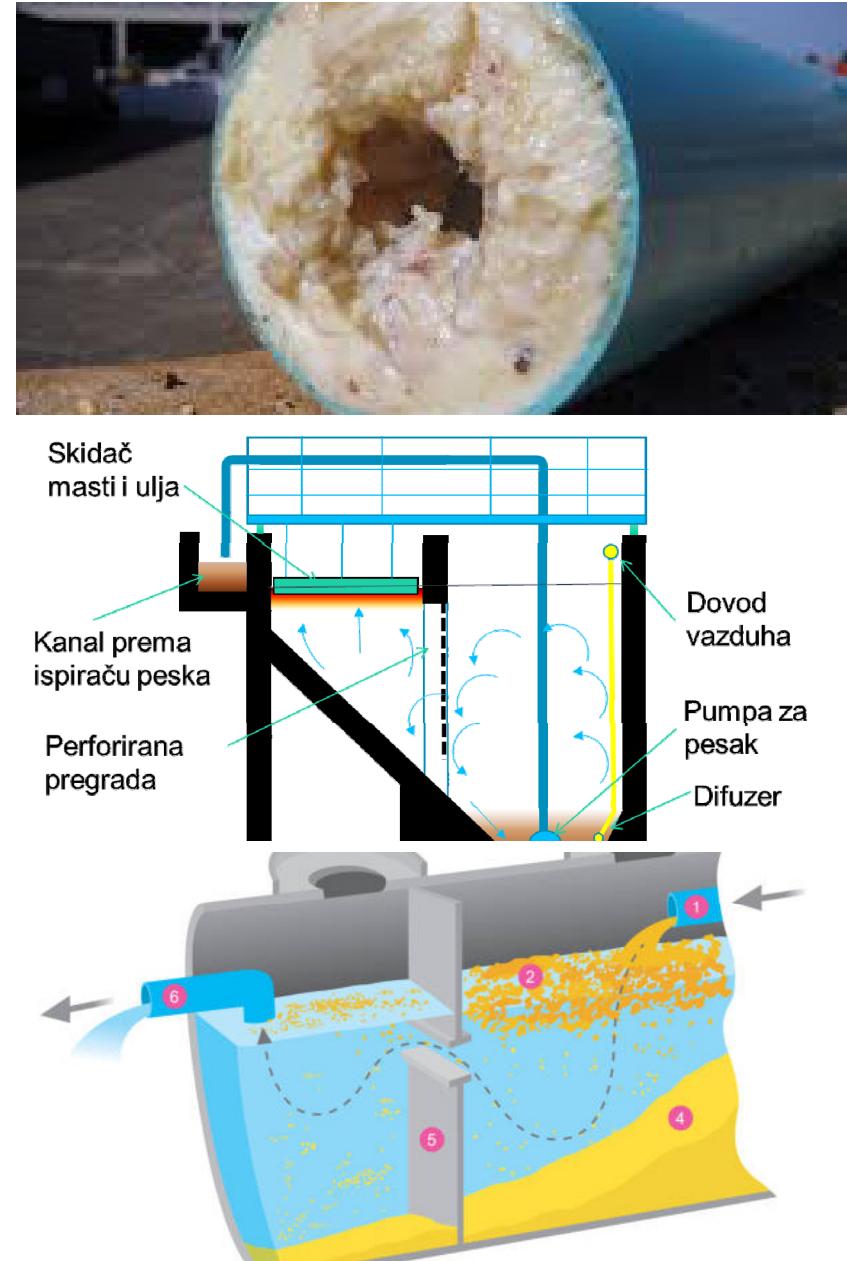
Uklanjanje lako taloživih suspendovanih čestica

- **Frakcija suspendovanih čestica u otpadnoj vodi – obično se radi o tzv. inertnim, odnosno bionerazgradljivim suspendovanim česticama (zemlja, pesak, šljaka, pepeo, itd.)**
- Na svim mestima na kojima otpadna voda usporava proticanje stvaraju talozi koji se teško čiste
- **Inertne čestice su obično i abrazivne**, tako da oštećuju pokretne delove u PPOV, kao što su lopatice mešalica, i impeleri pumpi.
- Uklanjanje inertnog materijala se zasniva na većim brzinama taloženja „peska“ od brzina taloženja čestica organskog materijala,
- Izborom pogodne brzine toka otpadne vode taj „pesak“ izdvaja a organske suspendovane čestice odnose dalje sa vodom.
- Najčešće se koriste taložne komore i aerisane komore.



Uklanjanje slobodnih ulja i masti

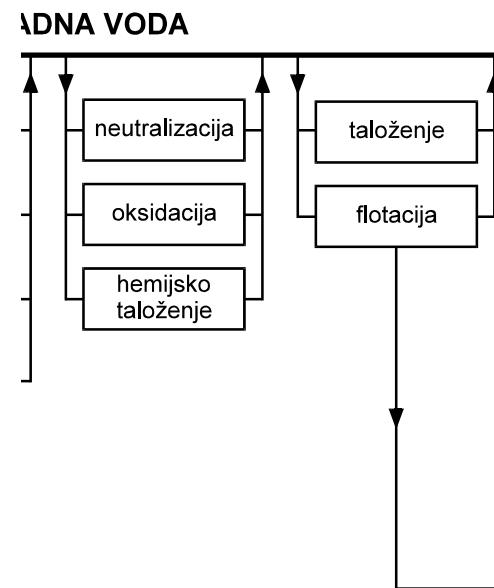
- Masti i ulja su karakterističan sadržaj komunalnih otpadnih voda, ali i otpadnih voda pojedinih industrija (na primer: uljare, klanice, rafinerije nafte).
- Masti i ulja mogu da se nakupljaju u kanalizacionim cevima, pogotovo u šahtovima kanalizacije, gde ometaju protok otpadne vode, a biološkom razgradnjom (truljenjem) tih masti i ulja u samoj kanalizaciji javlja se intenzivan neprijatan miris.
- Masti i ulja ometaju proces prečišćavanja otpadnih voda, naročito aerobni biološki (tzv. sekundarni) proces prečišćavanja.



Primarno prečišćavanje otpadnih voda

- Pod primarnim prečišćavanjem komunalnih otpadnih voda ovde se podrazumeva samo: uklanjanje suspendovanih čestica
- Međutim često se sreće klasifikacija prečišćavanja otpadnih voda u kojoj se prethodna obrada otpadnih voda ne posmatra izdvojeno, već u okviru primarnog prečišćavanja.

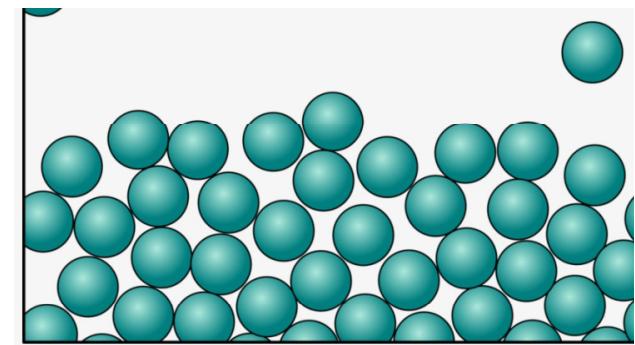
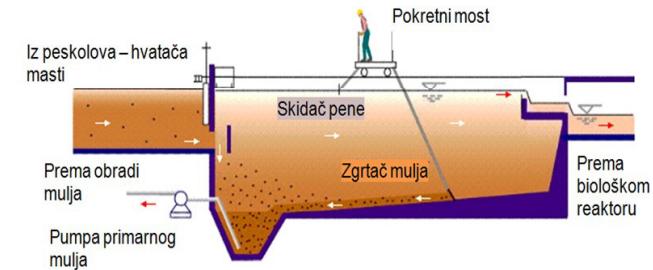
primarno prečišćavanje	
hemijsko	fizičko



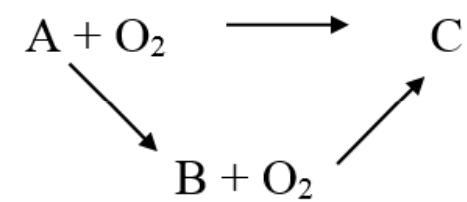
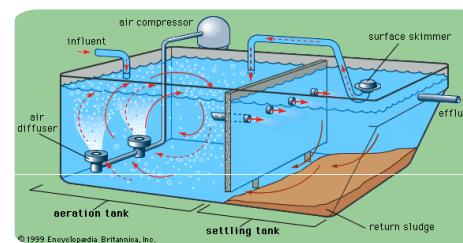
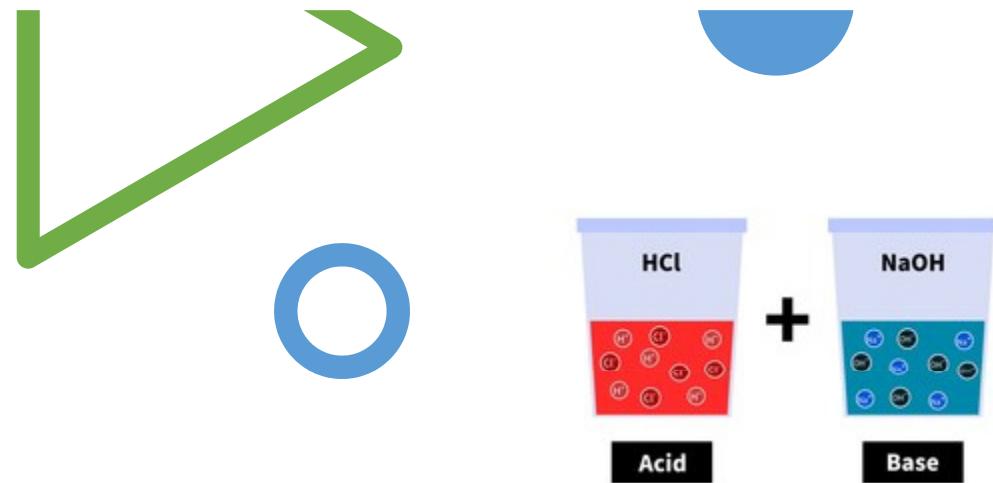
podešavanje pH uklanjanje toksičnih materija	uklanjanje suspendovanih čestica
---	----------------------------------

Uklanjanje suspendovanih čestica – primarni taložnici

- Suspendovane čestice se uklanjaju iz otpadnih voda (i zatim posebno obrađuju, obično u liniji obrade muljeva od prečišćavanja otpadnih voda) jer se u sekundarnom prečišćavanju, ukoliko ono postoji u liniji obrade otpadnih voda, teško razgrađuje zagađenje sadržano u suspendovanim česticama
- Ukoliko je predviđeno da se otpadne vode ispuštaju u prijemnik bez sekundarnog prečišćavanja, i tada je neophodno da se uklone suspendovane čestice, jer one izazivaju određene štete u prijemniku otpadnih voda.

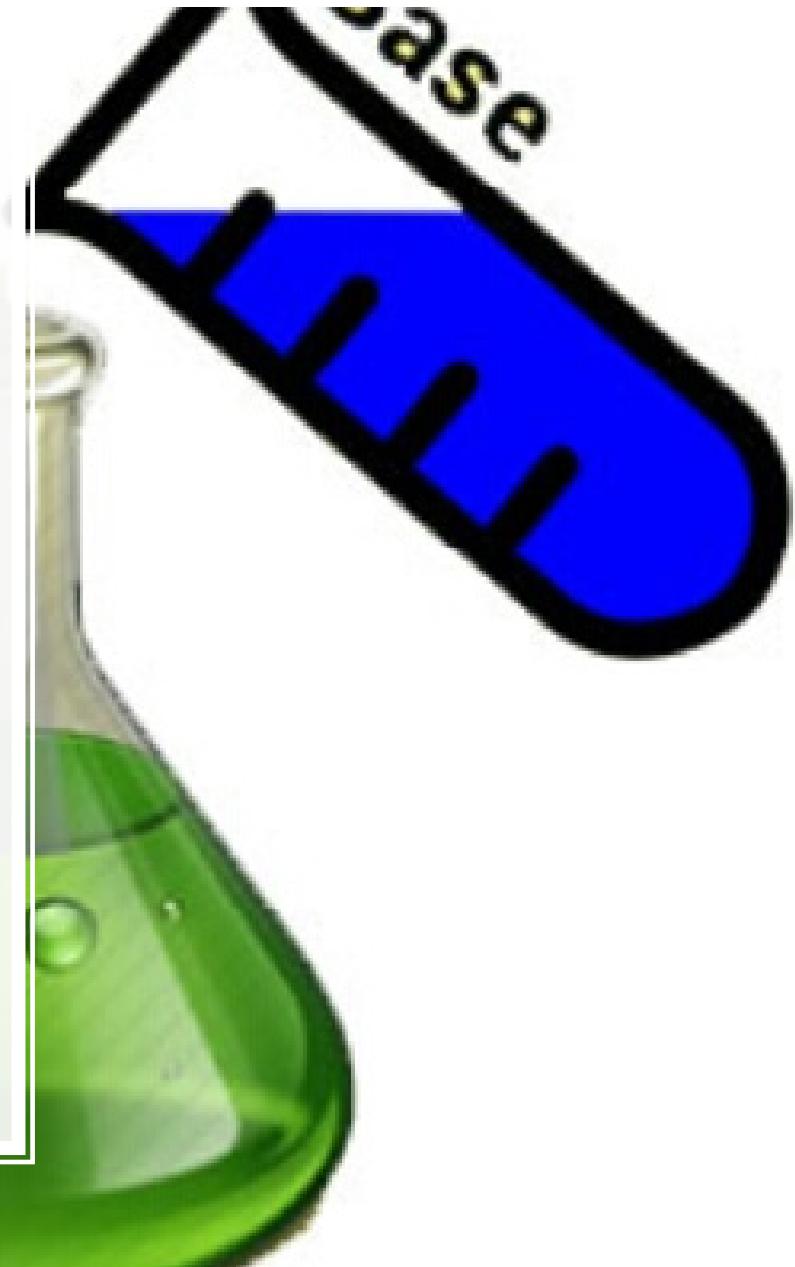


- Primarno prečišćavanje industrijskih otpadnih voda, sem uklanjanja suspendovanih čestica, može da obuhvati procese:
 - neutralizacije (kiselih ili alkalnih otpadnih voda)
 - oksidacije (na primer, toksičnih materija), i
 - hemijskog taloženja (na primer, teških metala)
- Ti procesi izvode se kako bi se uklonile materije koje bi mogle ugroziti dalji proces prečišćavanja ili, ukoliko se otpadna voda ispušta u prijemnik nakon primarnog prečišćavanja, ekosistem prijemnika.



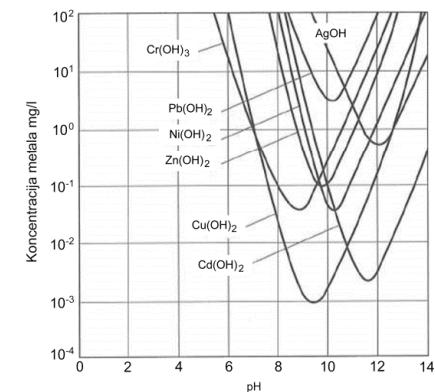
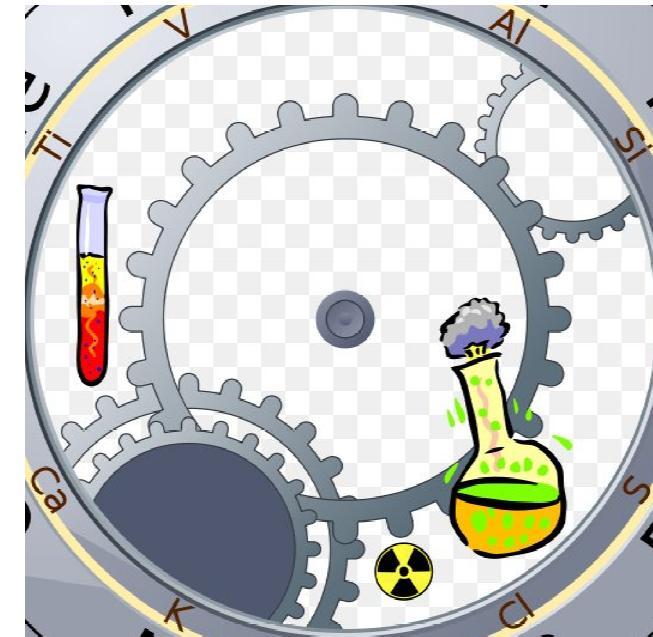
NEUTRALIZACIJA

- Kislost ili alkalitet mnogih otpadnih voda je tolika da bi njihovo ispuštanje ugrozilo živi svet u recipijentu, odnosno u slučaju njihovog biološkog prečišćavanja negativno bi uticalo na radnu mikrofloru.
- Neutralizacija kiselosti/alkaliteta tih otpadnih voda ne mora se izvesti u potpunosti, do pH 7, već se pH dovodi u dozvoljeni opseg:
 - Za otpadne vode koje se ispuštaju u recipijent pH 6 do 8,5 ili 9;
 - A u slučaju biološkog prečišćavanja se obično traži pH 6,5 do 8.



UKLANJANJE METALA IZ OTPADNE VODE

- Teški metali (olovo, živa, bakar, hrom, nikal, selen, srebro, arsen, barijum, kadmijum) nalaze se u otpadnim vodama rudarstva, proizvodnje čelika i ostalih metala, površinske obrade metala, proizvodnje neorganskih boja, industrije elektromaterijala, itd.
- Teški metali se uklanjaju prevođenjem u nerastvorna jedinjenja, taloženjem sa pogodnim sredstvom.
- Najčešće se prevode u hidrokside, zatim u sulfide, a neki metali u karbonate.

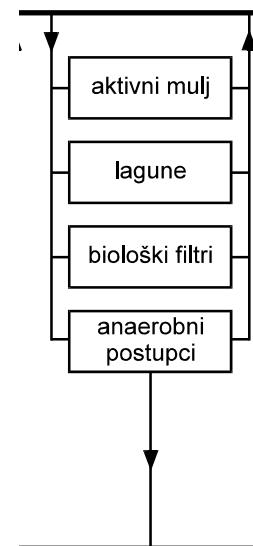


- Primarnim prečišćavanjem se ne može prečistiti otpadna voda do stepena koji dopušta direktno ispuštanje u vodoprijemnik;
- Ali se može, u određenim slučajevima:
 - Prečistiti u dovoljnoj meri da se dozvoli njeni ispuštanje u javnu kanalizaciju, jer su uslovi za kvalitet otpadnih voda koji se ispuštaju u javnu kanalizaciju daleko blaži od uslova za direktno ispuštanje u prijemnik.

SEKUNDARNO PREČIŠĆAVANJE OTPADNIH VODA

- Nakon prethodne obrade i primarnog prečišćavanja, u komunalnoj otpadnoj vodi, i otpadnoj vodi nekih industrija (kao što je prehrambena industrija), najveći deo preostalog zagađenja predstavlja koloidno dispergovano i rastvoreno biološki razgradljivo organsko zagađenje.
 - **Biološki razgradljivo organsko zagađenje**, ukoliko dospe u vodu prijemnika ugrožava živi svet prijemnika
 - U najgorem slučaju dovodi do njegovog uništavanja;
 - odnosno, drastično pogoršava kvalitet vode prijemnika čineći je nepodobnom za mnoge vidove korišćenja
 - (za vodosnabdevanje stanovništva i industrije, zalivanje, rekreaciju)
 - U najgorem slučaju voda prijemnika postaje neprihvatljiva za bilo koju namenu.

sekundarno
prečišćavanje



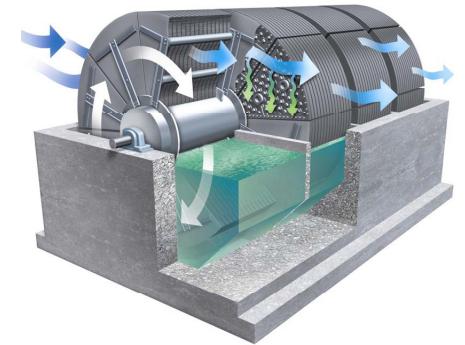
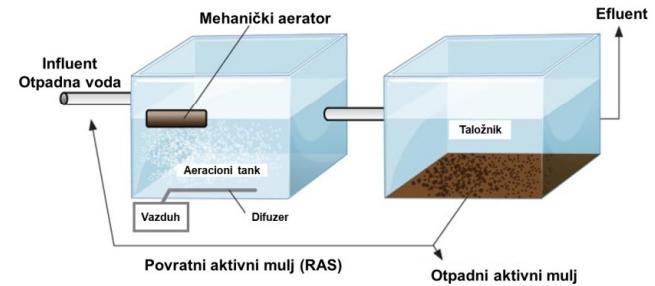
uklanjanje
biorazgradljivih
organskih materija

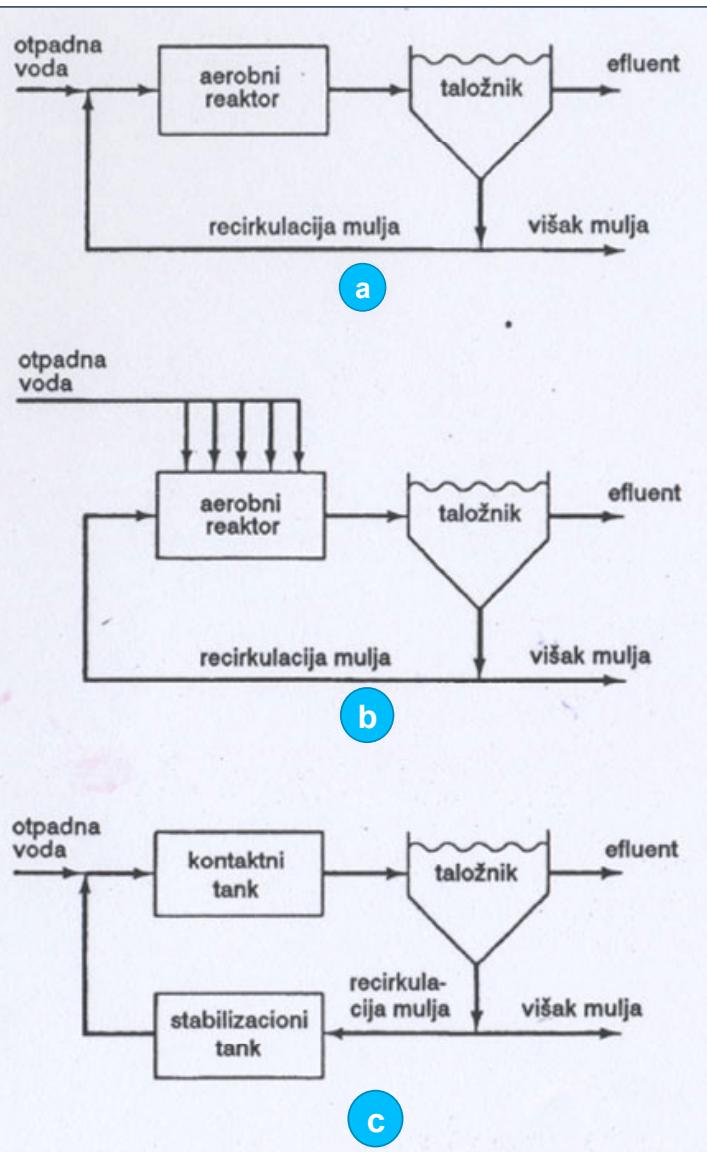
- Uklanjanje koloidno dispergovano i rastvorenog biološki razgradljivog organskog zagađenja je zadatak sekundarnog prečišćavanja, koje je zasnovano na aktivnosti odgovarajuće mikroflore, koja koristi biološki razgradljive organske materije zagađenja kao svoj supstrat.
- Sekundarnim prečišćavanjem se u većini slučajeva otpadna voda prečišćava do stepena koji dopušta njeno direktno ispuštanje u vodoprijemnik.
- Biološki procesi prečišćavanja mogu se odvijati kao aerobni i kao anaerobni, uz pomoć aerobnih ili anaerobnih mikroorganizama.



Aerobni procesi

- Aerobni procesi su mnogo zastupljeniji pri obradi otpadnih voda, sa malom i srednjom koncentracijom organskog materijala, i odvijaju se na dva načina:
 - sa suspendovanom mikroflorom (sa aktivnim muljem) i
 - sa immobilisanom mikroflorom na inertnom nosaču (biološka filtraci-ja).
- Aerobni postupci sa suspendovanom mikroflorom dele se na:
 - postupke sa aktivnim muljem u bioaeracionim bazenima,
 - postupke u aerisanim lagunama (biološke lagune) i
 - postupke u aerobnim (plitkim) jezerima (biološkim veštačkim jezeri-ma).





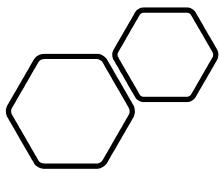
Pojednostavljene šeme postupaka sa aktivnim muljem:

- a** Konvencionalni,
- b** Stepenasta aeracija,
- c** Kontaktni postupak



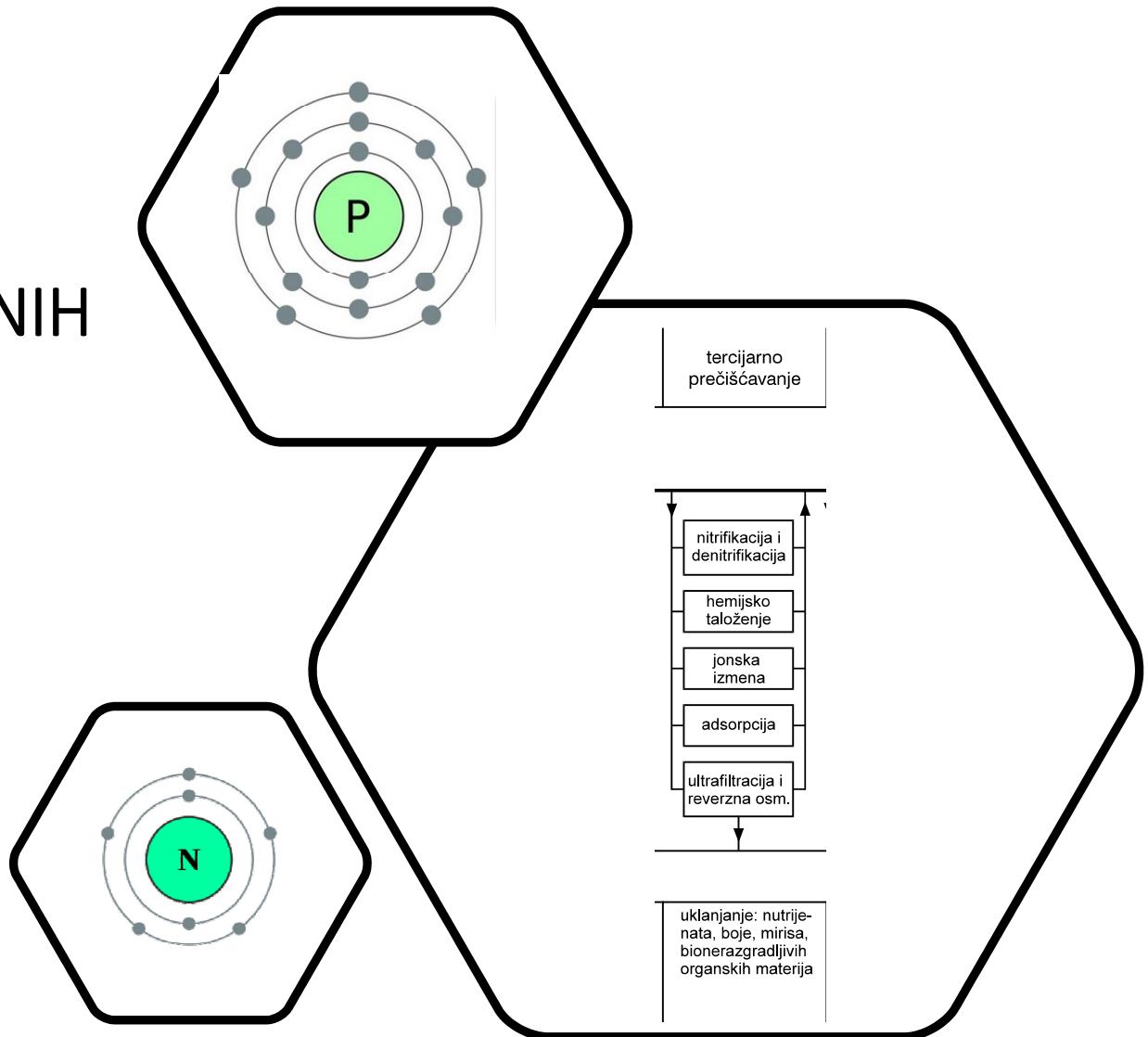


- Anaerobni proces prečišćavanja otpadnih voda se **razvio iz postupka anaerobne biološke stabilizacije** muljeva nastalih tokom prečišćavanja otpadnih voda.
- Osnovna karakteristika anaerobnog prečišćavanja, u odnosu na aerobni proces, je **da podnosi veća organska opterećenja i da je u stanju da prečišćava otpadne vode sa mnogo većom koncentracijom zagađenja**.
- Iz tih razloga se anaerobni proces prvenstveno i koristi u biološkom prečišćavanju jako zagađenih, najčešće industrijskih, otpadnih voda.
- Proces anaerobnog prečišćavanja zasnovan je na metanskom vrenju organskog zagađenja otpadnih voda.

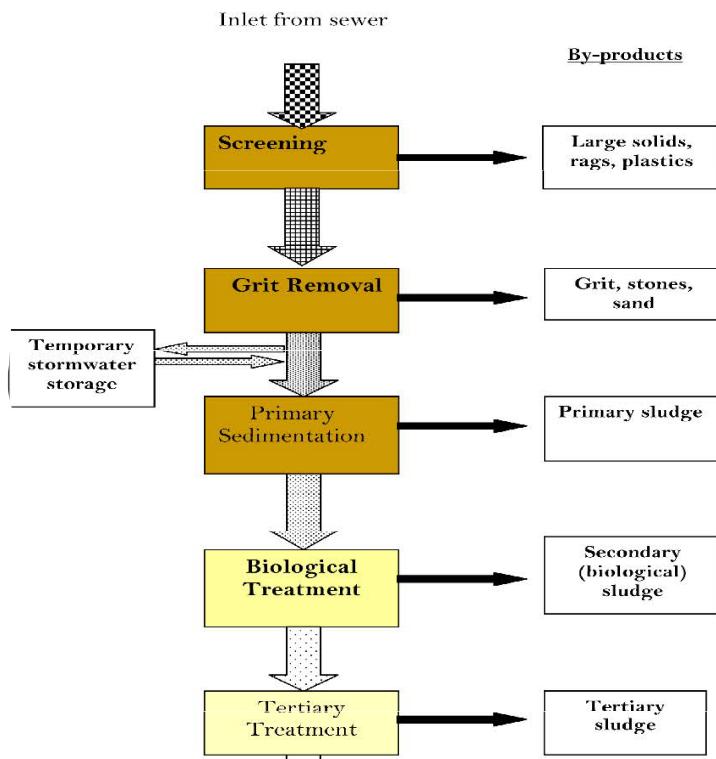


TERCIJARNO PREČIŠĆAVANJE OTPADNIH VODA

Standardnim sekundarnim prečišćavanjem se iz otpadnih voda (pogotovo komunalnih otpadnih voda, i otpadnih voda prehrambene industrije) ne uklanjuju u dovoljnoj meri tzv. nutrijenti, odnosno materije koje sadrže azot i fosfor, a koji su uzročnici eutrofikacije vode prijemnika.

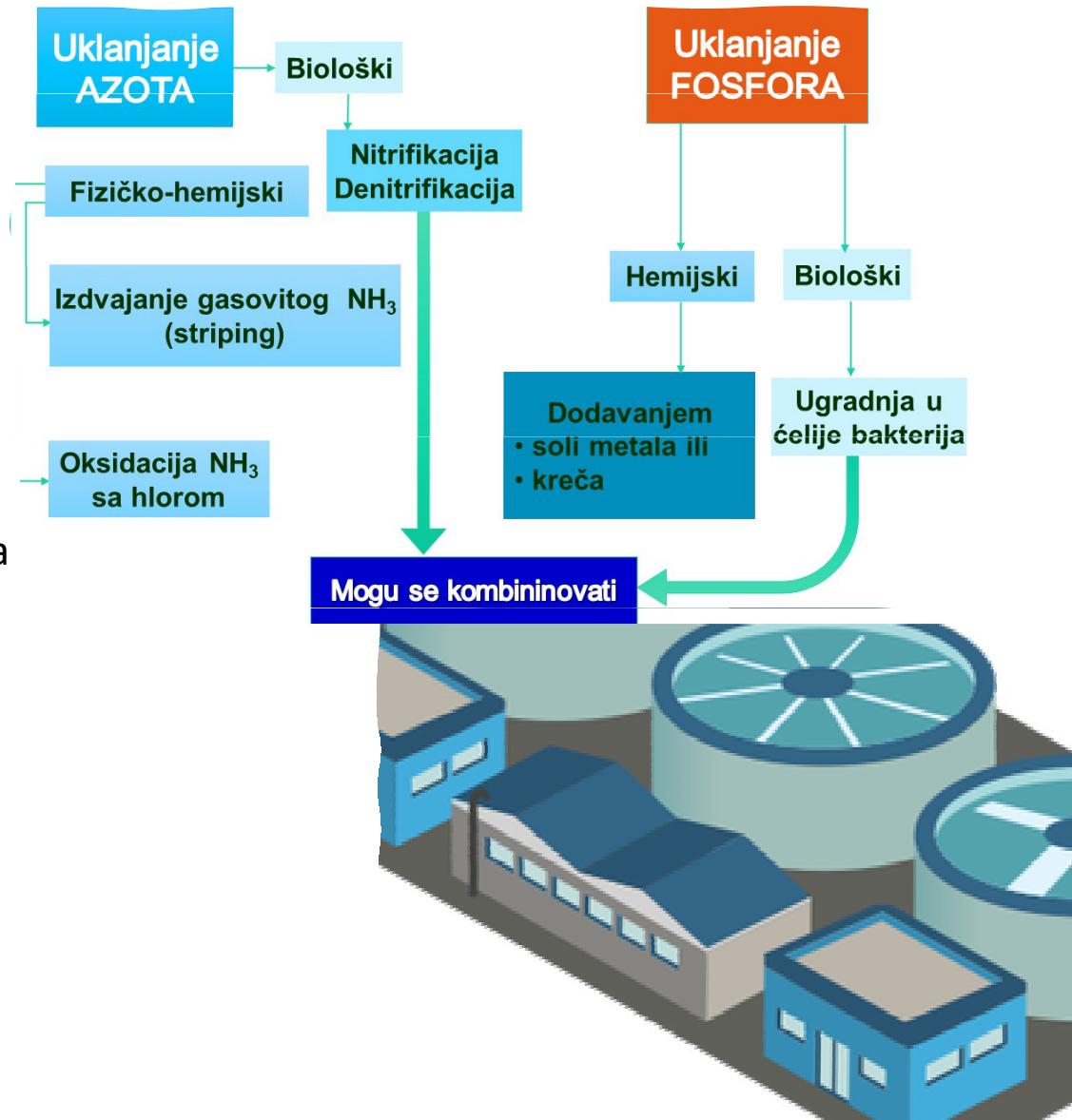


Postoji niz postupaka koji se mogu primeniti u okviru završnog prečišćavanja:



- hemijsko taloženje,
- oksidacija,
- adsorpcija,
- jonska izmena,
- striping vazduhom,
- elektrodijaliza,
- reverzna osmoza,
- biološki postupci (nitrifikacija, denitrifikacija), itd.

- U slučaju da je prijemnik (površinska voda) sekundarno prečišćenih otpadnih voda podložan eutrofikaciji, moraju se primeniti i odgovarajući procesi tercijarnog prečišćavanja otpadnih voda, sa ciljem uklanjanja nutrijenata
- Postupci tercijarnog prečišćavanja, odnosno uklanjanja azota i fosfora,
 - mogu se uključiti u sistem sekundarnog prečišćavanja
 - ili izvesti kao poseban stepen prečišćavanja, nakon primjenjenog sekundarnog prečišćavanja



Biološko uklanjanje nutrijenata

Osnovne reakcije

Organski - N

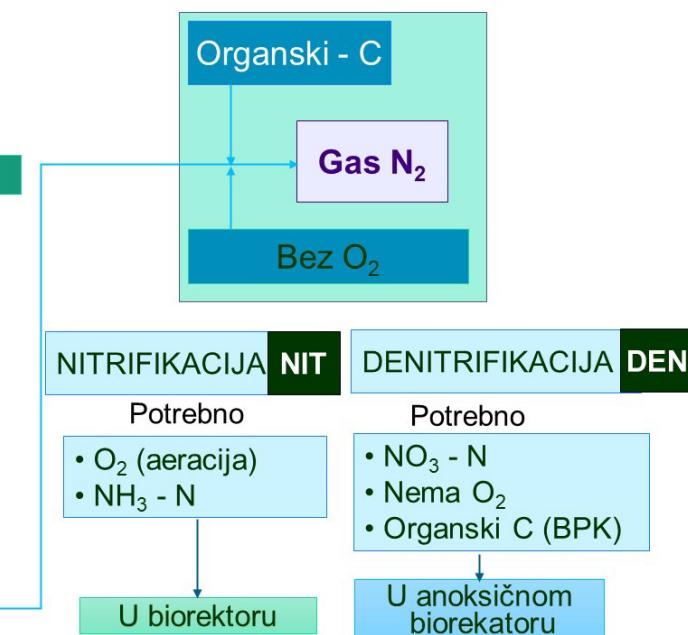
NH₃ - N

+O₂
Nitrifikacija
Nitrosomonas

NO₂ - N
Nitriti

+O₂
Nitrifikacija
Nitrobacter

NO₃ - N
Nitriti



Uklanjanje fosfora hemijskim taloženjem - precipitacijom

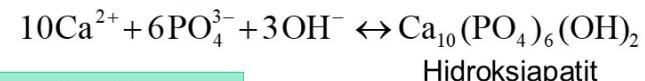
Postupak može biti samostalan ili u kombinaciji s biološkim uklanjanjem kada treba postići visoku efikasnost

Uklanjanje rastvorenih fosfata uz pomoć:

1. Soli više-valentnih jona metala (Ca(II), Al(III) i Fe(III))
2. Polimera (najčešće u kombinaciji s stipsom i krečom)
3. Kreč

Alaun, stipsa
KAl(SO₄)₂·12H₂O.

Taloženje pomoću kalcijuma:



Sirovina je kreč $\text{Ca}(\text{OH})_2$

Kreč prvo reaguje s bikarbonatnim alkalitetom kako bi istaložio CaCO_3 . pH vrednost raste iznad 10, a višak kalcijumovih jona tada reaguje fosfatima stvarajući taloživi hidroksiapatit.

Količina kreča = 1,4-1,5 ukupnog alkaliteta (kao CaCO_3)

- Prilikom primarnog i (ukoliko je применено) sekundarnog prečišćavanja nekih industrijskih otpadnih voda, uglavnom otpadnih voda nekih grana hemijske industrije, ne uklanjuju se pojedine materije koje su
 - **opasne po prijemnik otpadnih voda** (razne toksične ili na drugi način opasne materije), ili
 - **u nekom drugom pogledu umanjuju kvalitet vodoprijemnika** (na primer: jako obojenje otpadnih voda)



Uklanjanje opasnih supstanci

- Za uklanjanje tih materija moraju se primeniti odgovarajući procesi tercijarnog prečišćavanja, uglavnom pojedini hemijski procesi, kao što su tzv. unapređeni procesi oksidacije ili hemijsko taloženje.
- Napomena:
 - Navedeno je već, da se u okviru prethodne obrade pojedinih industrijskih otpadnih voda, mogu primeniti isti ili slični procesi za uklanjanje opasnih supstanci;
 - Uobičajeno je da se uklanjanje opasnih supstanci, ukoliko ne smeta prethodnim fazama prečišćavanja, obavi u okviru tercijarnog prečišćavanja, jer u tom slučaju ostalo zagađenje, kao što su organske materije, ne usložnjava ili ometa uklanjanje tih opasnih materija.
 - Međutim, danas se najčešće zahteva da se to radni na mestu nastanka u proizvodnji



Proces	Primena
Hemijsko taloženje	Uklanjanje fosfora i poboljšanje uklanjanja suspendovanih materija u postrojenjima za primarnu sedimentaciju korišćenim u fizičko-hemijskom tretmanu
Adsorpcija	Uklanjanje organskih materija konvencionalnim hemijskim i biološkim metodama tretmana. Takođe se koristi za dechlorinaciju otpadnih voda pre konačnog ispuštanja tretiranog efluenta
Jonska izmena	Npr. metali...

DEZINFEKCIJA OTPADNIH VODA

- Prečišćena otpadna voda može sadržavati veliki broj mikroorganizama (na primer: prečišćena komunalna otpadna voda, ili prečišćena otpadna voda klanice), koji će negativno da utiču na prijemnik otpadne vode.
- Da bi se to sprečilo potrebno je dezinfikovati prečišćenu otpadnu vodu.
- Na šemi je dezinfekcija prečišćenih otpadnih voda navedena kao posebna faza obrade otpadnih voda, ali neki pristupi stavljuju dezinfekciju otpadnih voda u okvir tercijarnog prečišćavanja.



Dezinfekcija

Selektivna destrukcija organizama koji izazivaju bolesti (može biti izvedena na više načina)

Dezinfekcija sa hlorom

Selektivna destrukcija organizama koji izazivaju bolesti. Hlor je najčešće korišćena hemikalija.

Dehlorinacija

Selektivna destrukcija organizama koji izazivaju bolesti (može biti izvedena na više načina)

Dezinfekcija sa hlor-dioksidom

Selektivna destrukcija organizama koji izazivaju bolesti.

Dezinfekcija sa brom-hloridom

Selektivna destrukcija organizama koji izazivaju bolesti.

Dezinfekcija sa ozonom

Selektivna destrukcija organizama koji izazivaju bolesti.

Dezinfekcija Uv zračenjem

Selektivna destrukcija organizama koji izazivaju bolesti.

Druge hemijske primene

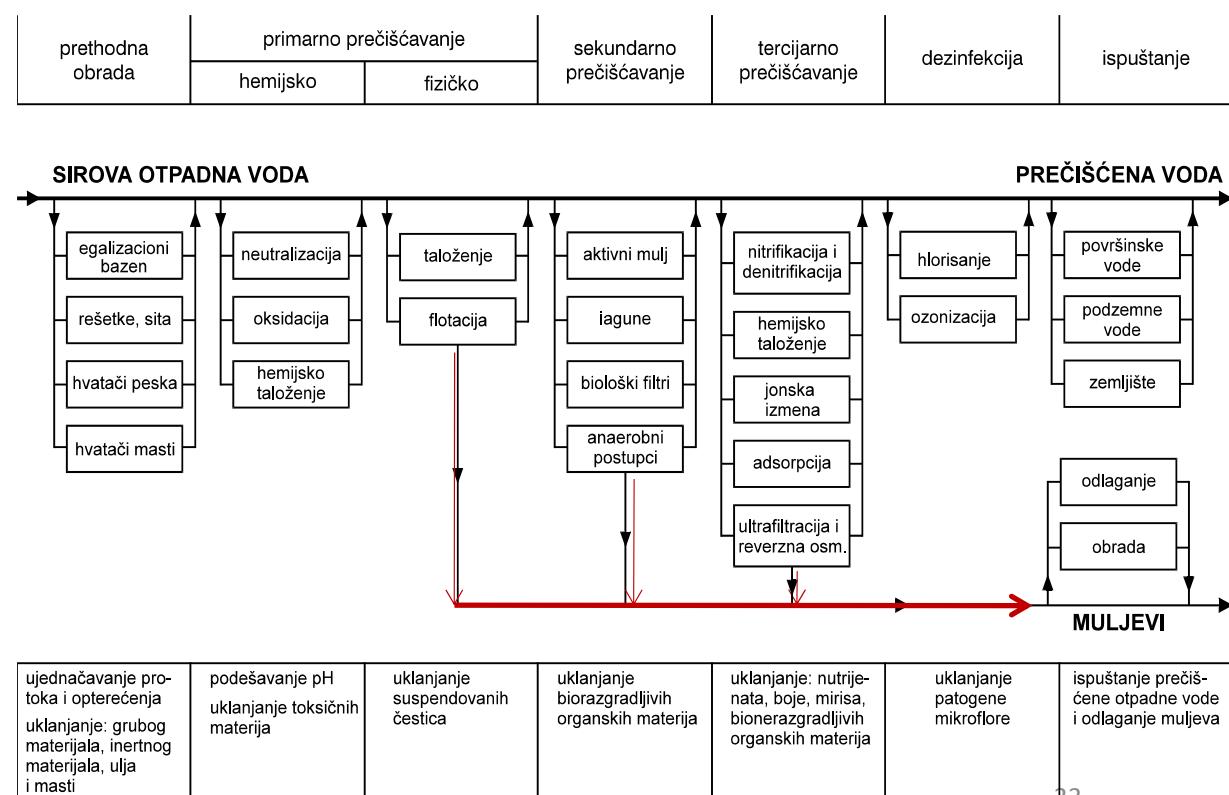
Različite hemikalije mogu se koristiti za postizanje specifičnih ciljeva tretmana otpadnih voda

OBRADA MULJEVA IZ PROCESA PREČIŠĆAVANJA OTPADNIH VODA

Zagađenje otpadne vode, uklonjeno procesom prečišćavanja, najčešće je u obliku vodenih suspenzija koje se nazivaju muljevi.

Na primer (deo na šemi):

- Muljevi nastali uklanjanjem suspendovanih čestica iz otpadne vode taloženjem ili flotacijom
- Muljevi od uklanjanja suspendovanih i koloidno dispergovanih materija koagulacijom i flokulacijom
- Talozi nastali u procesu hemijskog prečišćavanja
- Višak aktivnog mulja iz procesa biološkog prečišćavanja



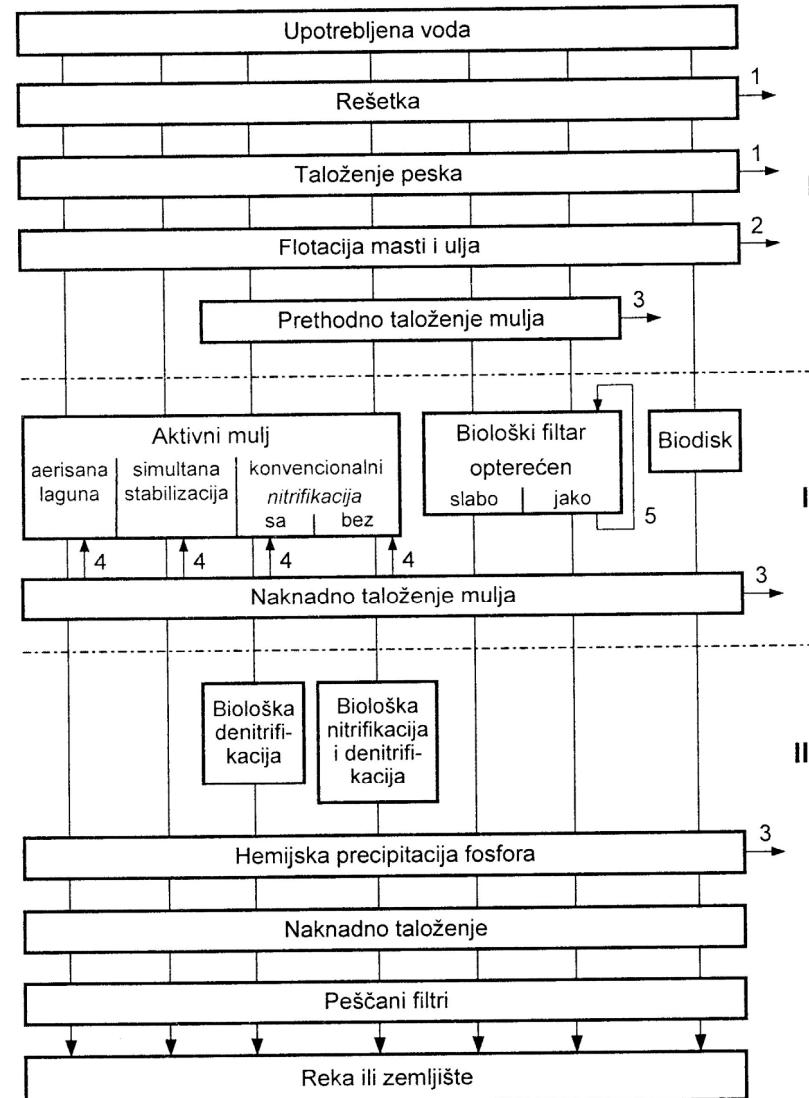
- Muljeve karakteriše visok, u odnosu na otpadne vode, sadržaj suspendovanih čestica, obično reda veličine nekoliko procenata (težinskih).
- Međutim, zbog, obično, relativno male specifične mase suspendovanih čestica, i velike hidratisanosti tih čestica, zapremski udeo suspendovanih čestica je daleko veći nego težinski udeo:
- Primer:
 - U muljevima čiji je sadržaj suspendovanih čestica jednocifrena vrednost, recimo 4% težinskih, zapremina tih suspendovanih čestica može da iznosi i do 25% od zapreme mulja
 - To daje muljevima karakterističnu konzistenciju, tečljivog gustog materijala.





-
- Količina mulja zavisi u prvom redu od karakteristika otpadne vode.
 - za industrijske otpadne vode kreće se u veoma širokom opsegu:
 - U vrlo gruboj aproksimaciji može se reći da prečišćavanje industrijskih otpadnih voda produkuje 4 do 5 puta veću količinu mulja od prečišćavanja komunalne otpadne vode.
 - Ukoliko se muljevi ne mogu odlagati (na deponije, na zemljište) bez negativnog uticaja na životnu sredinu, moraju se obraditi pre odlaganja, tj. prevesti u materijal neškodljiv po okolini.

Tehnološki postupci prečišćavanja otpadnih voda





Hvala na
pažnji

