

TRETMAN OTPADNIH VODA

Randjel N. Kitanović^a,
Vanja M. Šušteršič^b

^a Univerzitet odbrane u Beogradu, Vojna akademija,
Odeljenje logistike, Beograd

^b Fakultet inženjerskih nauka, Kragujevac

DOI: 10.5937/vojtehg61-1749

OBLAST: hemijske tehnologije
VRSTA ČLANKA: stručni članak

Sažetak:

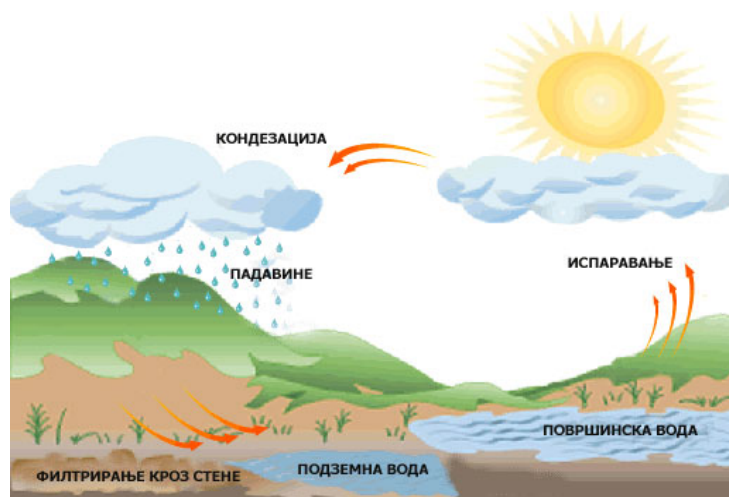
Kvalitet života na Zemlji u budućnosti umnogome će zavisiti od količine ispravne vode. Kao najosnovniji izvor života voda se nemilice troši i zagađuje. Da bi se ovaj trend zaustavio, veliki broj zemalja preduzima opsežne mere i ulaže velika sredstva kako bi se zaustavilo zagađivanje vode i u prirodu vratila čista nezagađena voda. Cilj prečišćavanja je dobijanje čiste vode, a kao nusproizvod pri tretmanu nastaje otpadni mulj. Čista voda vraća se u prirodu, a otpadni mulj šalje se na dalji postupak obrade. U ovom radu prikazani su osnovni postupci za prečišćavanje otpadnih voda i postupaka za preradu produkata iz zagađene vode. Rad može poslužiti i kao osnova za dalju razradu.

Ključne reči: vode, otpadne vode, tretman, proizvod, procedura, život, čišćenje.

Uvod

Voda koja je zagađena i obeščišćena na bilo koji način jeste otpadna voda (Jahić, 1988). Stepen njenog zagađenja ogleda se u količini štetnih materija koje ona nosi sobom. Ukoliko štetne materije potiču iz industrije govori se o industrijskim otpadnim vodama, a ukoliko dolaze od urbanih sredina i domaćinstava govorimo o komunalnim otpadnim vodama. Da bi se onečišćena voda vratila u prirodu ili dalji postupak, mora se izvršiti njeno prečišćavanje, koje se obavlja mehaničkim, hemijskim i biološkim metodama. Mehaničke metode se u načelu izvode taloženjem i filtriranjem. Mehanički postupci zasnivaju se na uklanjanju fizičkih nečistoća vode i na principu delovanja fizičkih sila (gravitacija, pritisak). Hemijskim procesima prečišćavanja nazivamo procese u kojima se prečišćavanje obavlja pomoću određenih hemijskih reakcija ili određenih fizičko-hemijskih fenomena. Po pravilu, to su aditivni procesi: unose se hemikalije u vodu da bi se uklonilo zagađenje. Biološki procesi prečišćavanja zasnivaju se na aktivnosti kompleksne mikroflore, koja u toku svog život-

nog ciklusa usvaja organski i deo neorganskih materija koje čine zagađenje otpadne vode, koristeći ih za održavanje životnih aktivnosti i za stvaranje novih ćelija. Otpadni materijal iz procesa prerade otpadnih voda trebalo bi da ima visok udeo izdvojenih komponenata i mali udeo preostale vlage. Kod većine postrojenja za prečišćavanje produkti iz procesa prečišćavanja su u vidu mulja sa masenim udelom vode 96–98%. Izbor postupaka obrade i odlaganja muljeva najviše zavisi od njihovih karakteristika. Muljevi su, u opštem slučaju, veoma različiti, naročito muljevi prečišćavanja industrijskih otpadnih voda. Od količine mulja i koncentracije suspendovanih čestica najviše i zavisi način obrade mulja. *Kompostiranje* je najjednostavniji način obrade biološki razgradivog mulja (Houillon, Jolliet, 2005, pp.287-299). To je biohemijski proces prerade komponenata mulja u stabilan proizvod kompost koji je sličan *humusu*. Kompost može da se koristi i u poljoprivredi za poboljšanje sastava zemljišta. Jedna od mogućnosti je primena mulja i prečišćene vode na poljoprivrednim poljima, pod uslovom da ne sadrže teške metale i druge štetne materije u ne-dozvoljenim količinama (Vouk, Malus, 2011, pp.341-349).

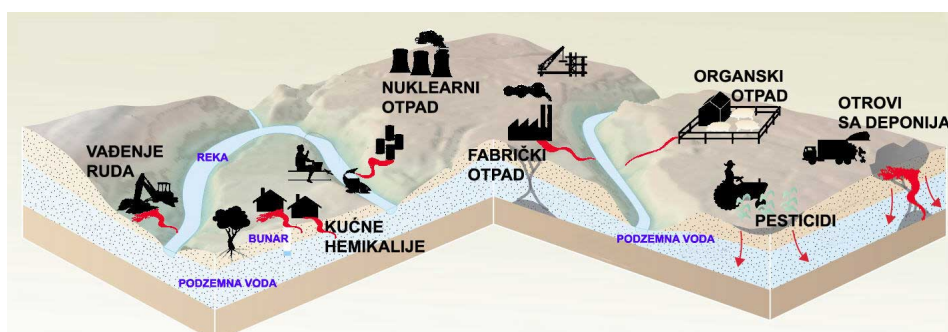


Slika 1 – Kruženje vode u prirodi
 Figure 1 – Water Cycle in the Nature

Zagađivanje vode

Voda je osnovni preduslov za život svih živih bića na Zemlji. Zato, voda u kojoj žive ili koju koriste mora imati prirodan hemijski sastav i prirodne karakteristike. Kada se, usled čovekovog delovanja, znatno promeni hemijski sastav vode, kao i odnosi koji u njoj vladaju, kažemo da je

zagađena. Vekovima su ljudi u vodu bacali svoj otpad. Danas vodu zagađuje i vodeni saobraćaj, đubriva i pesticidi sa obradivih površina, rastvarači i deterdženti iz domaćinstava i fabrika, kao i metali iz industrijskih procesa (npr. olovo i živa). Svi ovi zagađivači nalaze svoj put do reka i preko njih dolaze do mora (slika 2).



Slika 2 – Zagađivanje vode
Figure 2 – Water Pollution

Zagađujuće materije dospevaju do vode direktnim i indirektnim putevima. Direktni oblici zagađivanja podrazumevaju formiranje posebnih otpadnih voda u koje čovek ubacuje štetne materije i koje, po pravilu, direktno izliva u rečne tokove. Voda se indirektno zagađuje u procesu spiranja štetnih hemijskih materija u zemljištu. Na tom putu one lagano prelaze u podzemne vode, odakle procesima prirodnog kruženja vode sigurno dolaze do reka, jezera i mora. Zagađenje vode ponekad je i posledica nesreća. Na primer, brodovi koji transportuju naftu ponekad se oštete usled oluje ili sudara. Kada nafta iscure sa broda, ona se razlije po površini otvorenog mora ili reke, a vodenim strujama dolazi i do obale. Tada na hiljade bespomoćnih ptica, riba i drugih životinja strada, a ekološke posledice postaju nemerljive. Masovno uginuće određene grupe organizama u vodi remeti prirodne odnose u biocenozi i izaziva velike promene u čitavom vodenom ekosistemu. Zagađivanje vode otrovnim materijama i patogenim organizmima ima i indirektno posledice na čoveka. Jako zagađena voda ne može se koristiti ni za piće, ni za navodnjavanje poljoprivrednih površina. Da bi se mogla koristiti, neophodno je uložiti velika finansijska sredstva i puno energije za njeno prečišćavanje, kako bi se dovela u upotrebljivo stanje. Osim toga, otpad koji ubacujemo u vodu često završava u telima vodenih životinja, pa nam se mogu vratiti kao hrana. Otrovnne supstance nisu jedini krivci za uništavanje života u vodenim ekosistemima. Otpadne vode, đubrivo i deterdženti bogati su nitratima i fosfatima, supstancama koje biljke koriste za svoj

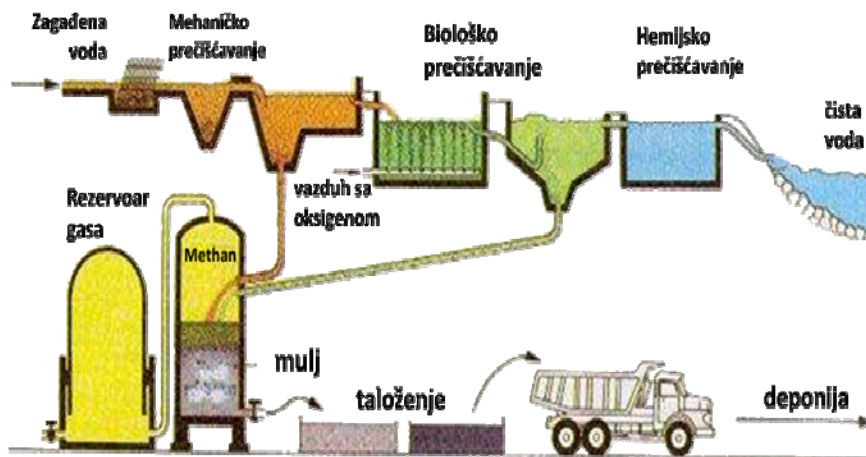
rast. Kada velika količina nitrata i fosfata dospe u vodu, uobičajen rezultat je „populaciona eksplozija“ planktonskih algi. Ova pojava naziva se „cvetanje vode“. Prenamnožene alge su u stanju da potroše gotovo sav kiseonik iz vode, izazivajući uginuća riba i drugih životinja. Višestruki uticaj na promene sastava živog sveta vodenih ekosistema takođe imaju toplotna zagađenja vode. Na mestima izlivanja tople vode koja hladi postrojenja elektrana, temperatura može preći 80°C. Zbog tako visokih temperatura, kao i zbog značajnog smanjenja količine kiseonika na takvim mestima, prirodnu biocenozu zamenjuje siromašna zajednica organizama otpornih prema ekstremnim uslovima života. Dovoljno čiste vode sa očuvanim životnim zajednicama vodenih organizama osnova je čovekovog opstanka na Zemlji. Sve mere zaštite vode mogu se podeliti u tri grupe:

- prva – podrazumeva eliminaciju uzroka zagađivanja,
- druga – smanjenje količine štetnih materija,
- i treća – posebne mere čišćenja vode.

Smanjenje količine zagađujućih materija koje dospevaju do vodenih tokova veoma je značajan vid borbe protiv zagađenja. Ono podrazumeva postavljanje odgovarajućih filtera i posebnih sistema taložnika na mestima gde se izlivaju otpadne vode. Ovde se podrazumeva i obavezno hlađenje toplih voda pre izlivanja u reku. Veoma značajan vid sprečavanja zagađivanja vodenih tokova predstavlja i specijalna zaštita izvorišta, planiranje i postavljanje đubrišta i deponija dalje od vodotokova, smanjenje upotrebe đubriva i pesticida u poljoprivredi, kao i masovno pošumljavanje i čuvanje zemljišta od erozije. Veća zagađenja voda mogu se prečistiti hemijskim i biološkim sredstvima. Hemijska sredstva su različite hemikalije koje se ubacuju u vodu i neutrališu opasne materije. Biološke mere su najefikasnije, jer su bazirane na prirodnim zakonitostima i aktivnostima živih bića. Štednja i racionalno korišćenje predstavljaju jedan od veoma efikasnih načina čuvanja vode od zagađenja. Čiste, pitke vode danas ima vrlo malo, i ima je sve manje, tako da će u budućnosti ona biti sve skuplja. Zbog toga štednja i racionalno korišćenje vode odlažu i njeno neminovno poskupljenje. Pored aktivnih vidova zaštite, vodeni tokovi se štite i odgovarajućim zakonskim sredstvima. Nacionalni i međunarodni zakoni danas ograničavaju izbacivanje otpada u more i kopnene vode. Čiste vode koja se može upotrebiti za piće u prirodi je sve manje, a i količina koja postoji stalno se zagađuje. U reke, jezera i mora ispuštaju se vode iz kanalizacije, otpadne vode iz fabrika, izlivaju nafta i drugi tečni otpaci. Na taj način voda na Zemlji se zagađuje, a troši se i u industriji i poljoprivredi više nego što na Zemlju padne u obliku taloga. Zbog toga se rezerve vode stalno smanjuju, a čovečanstvu pretila nestašica vode.

Prečišćavanje vode

Za prečišćavanje vode koriste se: mehanički, biološki i hemijski postupci prečišćavanja (slika 3).



Slika 3 – Proces prečišćavanja vode
Figure 3 – Water Purification Process

Mehanički postupci

Mehanički postupci zasnivaju se na uklanjanju fizičkih nečistoća vode i na principu delovanja fizičkih sila (gravitacija, pritisak). Koji će se postupak primeniti zavisi od karakteristika otpadne vode i traženog stepena prečišćavanja. Mehaničke metode prečišćavanja vode sastoje se od uklanjanja makro i mikrosuspendovanih čestica iz vode, organskog i anorganskog porekla. U tu svrhu koriste se:

- rešetke i sita,
- taloženje,
- flotacija,
- filtriranje,
- centrifugiranje,
- taložnici za pesak,
- hvatači masti,
- primarni taložnici i bazeni za izjednačavanje protoka (Ljubisavljević, Đukić, Babić, 2004).

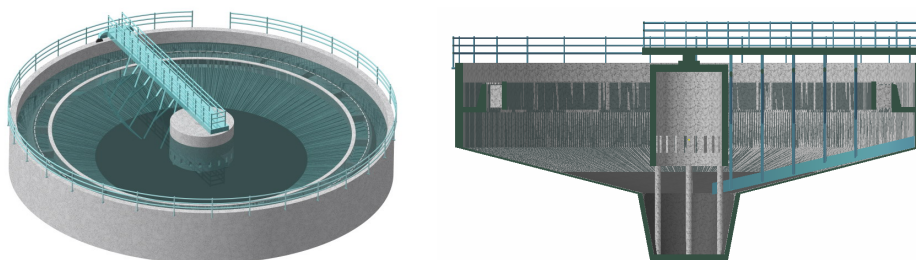
U sklopu ovih postrojenja koriste se i uređaji za aeraciju otpadne vode, kojom se postiže bolje izdvajanje inertnih čestica, flotacija masti i ulja, unos određene količine kiseonika u vodu, kao i desorpcija nekih gasova iz vode.

Rešetke i sita

Pomoću rešetki uklanjaju se krupnije, nerastvorive i plivajuće materije iz otpadnih voda. Njihova uloga je da štite uređaje i cevovode od oštećenja i zagušenja i da olakšaju dalji tretman otpadnih voda. Rešetke pregrađuju dovodni kanal i postavljaju se vertikalno ili pod nagibom, najčešće 40–70°.

Taloženje

Taloženje može biti prethodna i završna etapa prečišćavanja vode. Primena rešetki i sita, kao i taložnika za pesak i hvatači masti, mogu se posmatrati kao postupak taloženja sa određenim infrastrukturnim objektima namenjenim za ovi vrstu odvajanja primesa. Infrastrukturni objekti su *taložnici* (slika 4). Dimenzioniranje svih tipova taložnika zavisi od: protoka otpadne vode, koncentracije nerastvorenih komponenti, gustine i mešavine vode i taloga, kinetike taloženja. Nedostatak horizontalnih i radijalnih taložnika je u tome što je izraženo strujanje vode, što izaziva dopunske otpore i sprečava taloženje, kao i problem odvodjenja mulja. U tu svrhu koriste se vertikalni taložnici.



Slika 4 – 3D model primarnog taložnika
Figure 4 – 3D Model of the Primary Clarifier

Flotacija

Isplivavanje čestica na površinu zajedno sa mehurovima vazduha naziva se flotacija. Najbolji efekt postiže se aeracijom mehurova manjeg prečnika na većoj površini. Ubacivanje vazdušnih mehurova u praksi se vrši na sledeći način:

- dodavanjem vazduha u usisnom cevovodu pumpe,
- izdvajanjem mehurova vazduha iz rastvora pri promeni pritiska,
- dispergovanjem vazduha pomoću poroznih elemenata,
- dispegovanjem vazduha pomoću turbinskih uređaja,
- pneumatskim dispergovanjem vazduha.

Filtriranje

Filtriranje je proces koji se u kondicioniranju vode koristi za uklanjanje nerastvorenih materija. Ostvaruje se prolaskom vode kroz sloj granuliranog materijala postavljenog na perforiranu podlogu. Uz odgovarajuće uslove (izbor filterske ispune, brzina filtriranja, dnevna svetlost i sl.) tokom filtriranja mogu se odigravati i neki drugi procesi, kao što su biološka oksidacija amonijaka, katalitičko uklanjanje mangana, sorpcija teških metala, rastvaranje organskih materija, kao i zadržavanje bakterija i virusa. U zavisnosti od toga pod kojim se uslovima primenjuju, tehnike filtriranja se dele na:

- filtriranje koje se odvija u kontrolisanim uslovima i
- filtriranje koje se odvija u prirodnim uslovima.

Centrifugiranje

Centrifugiranje je metoda za izdvajanje čestica iz suspenzije usled delovanja centrifugalne sile koja je višestruko veća od sile gravitacije. Brzina sedimentacije čestica u centrifugalnom polju proporcionalna je prečniku čestica, centrifugalnoj sili i razlici u gustoći čestica i medija, a obrnuto proporcionalna viskozitetu medija. Za veće količine vode nije realno da se centrifugiranje može primeniti kao tehnika prečišćavanja vode.

Taložnici za pesak

Materije sa većom specifičnom težinom od vode, kao što su: pesak, šljunak, kamen, zemlja, šljaka, mineralne čestice itd., talože se u postrojenjima koja se nazivaju hvatači peska. Ovi materijali izazivaju abraziju i ubrzano habanje pokretnih delova uređaja za prečišćavanje otpadnih voda i dovode do usporavanja vode na pojedinim delovima cevovoda, što kao posledicu ima stvaranje naslaga i taloga koji se teško čiste. Princip rada je slobodno taloženje i sedimentacija.

Hvatači masti

Materije lakše od vode: ulja, masti, komadići sapuna, komadići drveta, plute i sl. uklanjaju se hvatačima masti. Najčešće se postavljaju na postrojenjima za tretman otpadnih voda koje potiču iz industrija koje koriste mineralna ulja, industriji nafte, petrohemiji, velikim postrojenjima auto-industrije, pojedinim pogonima mašinske industrije, kao i kod tretmana voda koja potiču iz kuhinja i restorana.

Bazeni za izjednačavanje protoka

Primarnom sedimentacijom omogućava se taloženje organskih i neorganskih suspendovanih čestica koje se iz sistema izdvajaju u obliku mulja. Konstrukcija primarnih taložnika treba da obezbedi uslove za usporeno i ravnomerno kretanje vode, kao i dovoljno dugo zadržavanje otpadne vode kako bi se obezbedilo gravitaciono taloženje suspendovanih čestica. Najpogodniji su taložnici kružne osnove, pri čemu se voda dovodi u centralnu zonu koja obezbeđuje ravnomernu raspodelu toka fluida (slika 4).

Hemijski postupci

Hemijskim procesima prečišćavanja nazivamo procese u kojima se prečišćavanje obavlja pomoću određenih hemijskih reakcija ili određenih fizičko-hemijskih fenomena. Po pravilu to su aditivni procesi: unose se hemikalije u vodu da bi se uklonilo zagađenje. To dovodi do povećanja rastvorenih materija u vodi, što je nepovoljno ukoliko se tako prečišćene otpadne vode ponovo koriste. Hemijski procesi prečišćavanja obično su skupi. Međutim, za uklanjanje pojedinih definisanih zagađenja otpadnih voda hemijski postupak nema alternativu. Osnovni postupci hemijskog prečišćavanja otpadnih voda jesu uklanjanje pojedinih rastvorenih materija:

- hemijskim taloženjem,
- jonskom izmenom,
- oksidacijom,
- produvanjem gasa i
- adsorpcijom.

Prednosti ovih u odnosu na biološke procese su: jednostavnija i jeftinija oprema, jednostavnija i sigurnija kontrola i vođenje procesa, postrojenja se lako zaustavljaju i ponovo puštaju u rad bez uticaja na proces prečišćavanja. Glavni nedostatak je znatno manja efikasnost prečišćavanja, jer se ne uklanjaju rastvorene materije, kao i povećanje taloga i mulja, čija je obrada skupa.

Hemijsko taloženje

Postupak hemijskog taloženja zasniva se na prevođenju rastvorenih materija otpadnih voda sa pogodnim reagensima u nerastvorna jedinjenja, koja se zatim uklanjaju taloženjem ili flotacijom (za veće koncentracije) ili filtracijom (za manje koncentracije). Postupak je pogodan za uklanjanje materijala koji se zbog svoje toksičnosti ili nerazgradivosti ne mogu biološki pročistiti. Za uklanjanje teških metala karakteristična je primena hemijskog taloženja.

Jonska izmena

Jonska izmena mnogo se više koristi kao postupak za pripremu vode, za uklanjanje tvrdoće vode, nego kao postupak za prečišćavanje otpadnih voda. Kako su hemikalije koje se koriste u obradi metala skupe, postoji ekonomski razlog da se one izdvoje iz vode i ponove vrate u proces. Jonskom izmenom moguće je postići oba cilja:

- prečišćavanje otpadne vode i
- regeneraciju i recirkulaciju pojedinih hemikalija.

Jonska izmena može se sa uspehom primeniti za direktno prečišćavanje niza otpadnih voda, kao, na primer, uklanjanje nutrijenata ili radioaktivnih elemenata, pri čemu se jonska masa ne koristi u daljem postupku već zamenjuje novom.

Oksidacija

Oksidacijom se prevode pojedine organske i neorganske materije u industrijskim otpadnim vodama (fenoli, pesticidi, cijanidi itd.) u jedinjenja koja mnogo manje zagađuju okolinu. Supstance koje se koriste za oksidaciju mogu da utiču na boju, miris i ukus vode, a mnoge od njih su toksične. Najčešće primenjivan oksidans je hlor, a često se koriste i: vodonik-peroksid, kalijum-permanganat i ozon. Za dezinfekciju vode najčešće se koriste hlor i derivati hlora.

Produvanje gasom

Pojedine rastvorene materije se iz otpadne vode mogu ukloniti *produvanjem (stripingom) gasom*, običnim vazduhom ili vodenom parom. Za uklanjanje isparljivih materija koje zagađuju vodu (organski zagađivači: metilenhlorid, benzin, tuolen itd.) koristi se *produvanje vazduhom*. Za uklanjanje teže isparljivih materija iz otpadne vode koristi se *produvanje vodenom parom*. Najčešće se primenjuje za uklanjanje organskih zagađivača iz pojedinih industrijskih otpadnih voda, pogotovo kada te materije treba izdvojiti da bi se vratile u proces proizvodnje (metanol, fenol, pesticidi i sl.) (Jahić, 1988), (Ljubisavljević, Đukić, Babić, 2004).

Adsorpcija

Adsorpcija je proces akumulacije supstance iz fluida na površinu čvrste faze. Supstanca koja se adsorbuje je *adsorbat*, a faza na kojoj se vrši adsorpcija naziva se *adsorbent*. Karakteristike adsorbenta su porozna struktura i specifična površina. Kao adsorbent mogu se koristiti svi materijali koji imaju veliku specifičnu aktivnu površinu, kao što su: aktivni ugalj, koksni prah, treset, kaolin, strugotina, pepeo, silikogel itd. Prečišćavanje adsorpcijom uglavnom se koristi za otpadne vode sa malim koeficijentima zagađenih komponenti.

Biološki postupci

Biološki procesi prečišćavanja zasnivaju se na aktivnosti kompleksne mikroflore, koje u toku svog životnog ciklusa usvaja organski i deo neorganskih materija koje čine zagađenje otpadne vode, koristeći ih za održavanje životnih aktivnosti i za stvaranje novih ćelija. Nakon završenog prečišćavanja obavi se, na pogodan način, separacija mikroflore i prečišćene otpadne vode, u kojoj zaostaje mala količina organske materije koja je biološki nerazgradiva kao produkt metabolizma koje je mikroflora izlučila u vodu. Biološkim prečišćavanjem moguće je iz otpadne vode ukloniti najveći deo organskog zagađenja, ali je nemoguće potpuno prečišćavanje. U sistemu prečišćavanja otpadnih voda biološka obrada voda odvija se kao sekundarno prečišćavanje, a posle mehaničkog, odnosno primarnog prečišćavanja. Biološko prečišćavanje može se pojaviti i kao nezavisan postupak. U toku biološke obrade nastaje stabilizovani mulj koji se iz vode odstranjuje u sekundarnim taložnicima. Biološko prečišćavanje otpadnih voda u odnosu na druge industrijske biotehnoške postupke razlikuje se u sledećem:

- mikroorganizmi (mikroflora) potiču iz prirodne sredine,
- koncentracija supstrata je obično mala,
- razgrađuje se organski materijal, a ne stvaranje biomase ili produkata metabolizma.

Biološko prečišćavanje primenjuje se za:

- uklanjanje organskih materija,
- uklanjanje azota (nitrifikacijom i denitrifikacijom),
- razgradnju primarnog mulja iz primarne obrade otpadnih voda,
- razgradnju sekundarnog mulja iz procesa biološke obrade otpadnih voda pomoću postupaka stabilizacije muljeva i digestije.

Biološki procesi prečišćavanja mogu se odvijati kao *aerobni* i kao *anaerobni*, uz pomoć aerobnih ili anaerobnih mikroorganizama. 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 imobilisanom mikroflorom na inertnom nosaču (biološka filtracija).

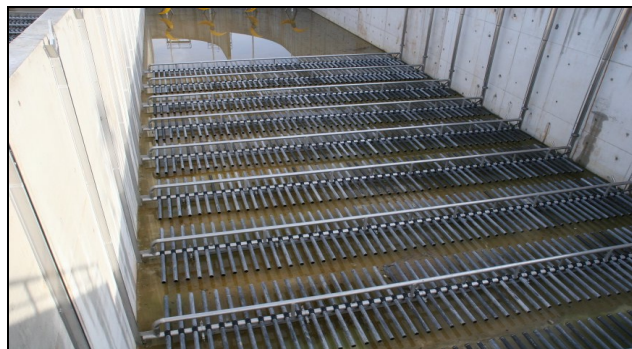
Aerobni postupci sa suspendovanom mikroflorom dele se na:

- postupke sa aktivnim muljem u bioeracionim bazenima,
- postupke u aerisanim lagunama (biološke lagune) i
- postupke u aerobnim (plitkim) jezerima (biološkim veštačkim jezerima).

Postupci sa suspendovanom mikroflorom koriste se za obradu velikih količina slabo i srednje opterećenih otpadnih voda (npr. komunalne vode), odnosno postupci sa aktivnim muljem koji se odvijaju u bioeracionim bazenima najčešće su u primeni.

Proces sa aktivnim muljem

Naj rasprostranjeniji biološki postupak za prečišćavanje otpadnih voda danas predstavlja proces sa aktivnim muljem. Prvi put je primenjen u Hjustonu (SAD) 1919. godine i to za prečišćavanje sanitarnih voda. Predstavlja aerobni proces biološkog prečišćavanja otpadnih voda, jer se odvija pomoću aerobne mikrobiološke populacije. Savremeni postupci se mogu primeniti i za uklanjanje azotnih jedinjenja iz otpadne vode. U sistemu sa aktivnim muljem mikroorganizmi se nalaze u lebdećem stanju, odnosno ne obrazuju sloj na zidovima radnih površina (kod filtera). Mikroorganizmi (bakterije, protozoe i metozoe) nalaze se u bazenu za aeraciju, gde se uz pomoć kiseonika u procesu metabolizma obezbeđuje razgradnja supstrata. Mikroorganizmi oksidiraju rastvoreni supstrat u ugljen-dioksid i vodu. Deo organskog materijala sintetiše se u nove ćelije ili se koristi za rast postojećih ćelija, a ostatak se sastoji od otpada i viška mulja. Aeracija otpadne vode vrši se u bioaeracionim bazenima, a nakon aeracije sledi biotaloženje gde se biomasa –mikrobiološki mulj odvaja od efluenta. Deo mulja vraća se u proces (aktivni mulj) gde služi kao aktivator biološkog procesa. Ostatak mulja se odvodi u uređaj za obradu mulja, odnosno odlaže na odgovarajući način. Bistra prečišćena voda (efluent) ispušta se u prijemnik (recipijent) ili, po potrebi, vodi na dodatnu obradu (dezinfekciju, filtriranje i sl.). Najveća količina kiseonika potrebna je u početnom stadijumu, jer tada ima najviše organskih jedinjenja. Novi sistem prečišćavanja otpadnih voda nazvan *biosorpcija* ili *kontaktna stabilizacija* (iz 1951. godine), sastoji se u dobroj pripremi aktivnog mulja i dovođenju otpadaka sa njim u trajanju od oko 30 minuta uz intenzivnu aeraciju u biosorpcionom uređaju. Formirani mulj odvaja se u običnom rezervoaru – taložniku, posle čega se vrši obnavljanje mulja. Aeracija (slika 5) u novijoj tehnologiji vrši se tehničkim kiseonikom umesto vazduhom, a pogodna je za preradu otpadnih voda u farmaceutskoj industriji, proizvodnji hartije, alkohola i mleka (Milojević, Daković, Maksimović, Ljubisavljević, 1987).



Slika 5 – Aeracija
Figure 5 – Aeration

Proces u aerobnim lagunama

Aerobni biološki način prečišćavanja otpadnih voda sprovodi se u lagunama i plitkim bazenima, gde se obezbeđuje dovoljna količina kiseonika procesom fotosinteze. Primenjuje se u područjima sa povoljnim klimatskim uslovima. U dubljim lagunama primenjuje se mehanička aeracija, unošenjem vazduha difuzorima na dno lagune (primenjuje se u uslovima prekrivenosti ledom).

Proces u plitkim jezerima

Aerobna jezera su veliki i plitki zemljani bazeni u kojima se prečišćavanje otpadne vode odvija uz minimalnu regulaciju, praktično kao prirodno samoprečišćavanje. Neophodna količina kiseonika obezbeđuje se metabolizmom algi, a bakterije koje razgrađuju zagađenje proizvode materijal za rast algi.

Anaerobni postupci

Osnovna razlika između aerobnog i anaerobnog postupaka prečišćavanja otpadnih voda je u tome što anaerobni postupak podnosi veća organska opterećenja i veću koncentraciju zagađenja. Zbog toga se anaerobni proces koristi pri prečišćavanju industrijskih otpadnih voda. Proces anaerobnog prečišćavanja zasniva se na *metanskom vrenju* organskog zagađenja otpadnih voda, gde se organski materijal prevodi u smešu gasova (metan i ugljen-dioksid). Upotreba mikroorganizama u odsustvu kiseonika naziva se *anaerobna digestija*. Proces anaerobne digestije odvija se u digestorima.

Prerada produkata iz procesa prečišćavanja otpadnih voda

Otpadni materijal iz procesa prerade otpadnih voda trebalo bi da ima visok udeo izdvojenih komponenta i mali udeo preostale vlage. Kod većine postrojenja za prečišćavanje produkti iz procesa prečišćavanja su u vidu mulja sa masenim udelom vode 96–98%. Izbor postupaka obrade i odlaganja muljeva najviše zavisi od njihovih karakteristika. Muljevi su, u opštem slučaju, veoma različiti, naročito muljevi prečišćavanja industrijskih otpadnih voda. Od količine mulja i koncentracije suspendovanih čestica najviše i zavisi način obrade mulja.

Postupci obrade muljeva mogu biti:

- ugušćavanje (gravitaciono, flotaciono) (povećanje koncentracije suspendovanih čestica i smanjenje zapremine mulja),
- stabilizacija (anaerobna, aerobna), razgradnja mulja (smanjenje koncentracije suve materije),
- kondicioniranje (dodatak hemikalija, termička obrada), promena u konzistenciji mulja usmerena ka poboljšanju obezvodnjavanja i povećanja koncentracije mulja,
- obezvodnjavanje (vakuum filtracija, centrifugiranje, spori peščani filteri), smanjenje zapremine mulja i formiranje vlažne „pogače“,
- sušenje ili oksidacija (spaljivanje, sušenje, oksidacija vlažnim vazduhom), sušenje (slika 6) ili oksidacija muljne pogače,
- odlaganje (deponije, razbacivanje po obradivom zemljištu, lagune, more) ili korišćenje stabilizovanog mulja.

Prema primenjenoj tehnologiji, postupci prerade mulja mogu biti:

- *biološki*, u kojima fizičko-hemijsku razgradnju komponente iz mulja vrše živi organizmi (deponije, kompostiranje),
- *tehnički* (hemijski) postupci, kod kojih se fizičko-hemijska razgradnja mulja vrši korišćenjem hemijske energije sadržaja u mulju (sagorevanje, piroliza, hidroliza, gasifikacija),
- *mehanički* postupci, koji imaju za cilj samo mehaničku transformaciju pojedinih komponenti ili mulja u celini.

Biološki postupci obrade mulja izvode se radi:

- proizvodnje komposta,
- poboljšanja ostatka mulja za odlaganje (mehaničko-biološki postupci),
- biološke stabilizacije ostatka mulja (postupak stabilizacije).

Kompostiranje je najjednostavniji način obrade biološki razgradivog mulja. To je biohemijski proces prerade komponentata mulja u stabilan proizvod kompost koji je sličan *humusu*. Kompost može da se koristi:

- u poljoprivredi (poboljšanje sastava zemljišta),
- za revitalizaciju zemljišta ogoljenog požarom,
- za poboljšanje kvaliteta zemljišta neposredno uz drumske saobraćajnice.

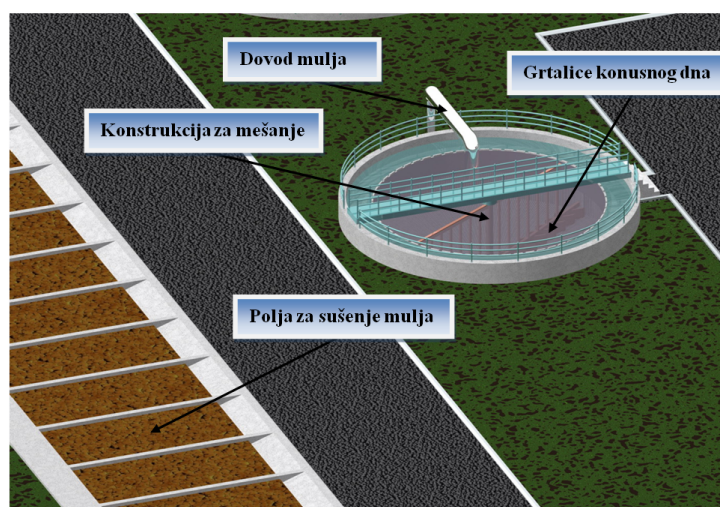
Mehaničko-biološka obrada mulja zasniva se na iskustvima iz zapadnih zemalja i bazira se na procesu mehaničke obrade mulja, pri čemu se vrši izdvajanje korisnih komponenti iz mulja, kao što su: metal, papir, plastika, nemetal, štetne materije koje nije dozvoljeno odlagati na deponije.

Osnovne prednosti mehaničko-biološke obrade mulja su:

- materijali koji nisu podesni za odlaganje izdvajaju se i odlažu u posebne deponije,
- količina deponijskog materijala u telu deponije se smanjuje,
- manja je produkcija deponijskog gasa,
- poboljšava se zbijanje i gustina mulja.

Za razliku od biohemijskih anaerobnih i aerobnih dugotrajnih procesa razgradnje mulja, gorive komponente mulja mogu se obraditi i termički. Pri termičkoj preradi mulja odvijaju se hemijske reakcije pri kojima se oslobađa energija (egzotermna reakcija) ili je potrebno dovoditi energiju (endotermne reakcije).

Termička prerada mulja izvodi se sledećim postupcima: sagorevanje, piroliza i gasifikacija.



Slika 6 – 3D model dela postrojenja za tretman mulja
 Figure 6 – 3D Model of the Sludge Treatment Plant

Zaključak

Usled čovekovog delovanja znatno se menja hemijski sastav vode, kao i odnosi koji u njoj vladaju, pa kažemo da je voda zagađena. Vekovima, u većoj ili manjoj meri, čovek svoj otpad direktno ili indirektno baca u vodene tokove do mora, procesima prirodnog kruženja vode. Čovek je svestan da svojim činjenjem, radi svog opstanka, nesvesno uništava osnovni element opstanka na Zemlji. Svestan je da se veoma zagađena voda ne može koristiti ni za piće, ni za navodnjavanje poljoprivrednih površina. Da bi se mogla koristiti, neophodno je potrošiti velika materijalna sredstva i energiju za njeno prečišćavanje, kako bi se dovela u upotrebljivo stanje. Sve nečistoće koje čovek ubaci u vodu indirektno preko hrane vraćaju se u organizam i uništavaju ga, što predstavlja začaran krug. Stoga je neophodno eliminisati ili smanjiti uzroke zagađenja, smanjiti količinu štetnih materija i preduzeti mere da se tako zagađena voda nakon obra-

de prečišćavanjem vrati ponovo u sistem. Raznim metodama voda se prečišćava i vraća u stanje neštetnosti, mehaničkim, hemijskim i biološkim metodama, a čvrsti deo otpada iz vode, ukoliko nema štetnih materija, koristi se dalje u poljoprivredi. Ovaj rad je dobra osnova za dalje istraživanje načina, postupaka i metoda prečišćavanja otpadnih voda, kao i upoređivanja dosadašnjih dostignuća u svetu, Evropi okruženju i Srbiji.

Literatura

Houillon, G., Jolliet, O., 2005. *Life cycle assessment of processes for the treatment of wastewater urban sludge: energy and global warming analysis*, Journal of Cleaner Production 13, pp. 287-299,

Jahić M., 1988, *Urbani vodovodni sistemi*, Udruženje za tehnologiju vode, Beograd,

Ljubisavljević D., Đukić A., Babić B., 2004. *Prečišćavanje otpadnih voda*, Građevinski fakultet, Beograd,

Milojević M., Daković S., Maksimović Č., Ljubisavljević D., 1987. *Prečišćavanje industrijskih otpadnih voda*, (I deo), Građevinski kalendar, SGITJ, Beograd,

Vouk, D., Malus, D., 2011. Tedeschi M., *Muljevi s komunalnih uređaja za pročišćavanje otpadnih voda*, Građevinar 63/ 4, pp.341-349.

WASTEWATER TREATMENT

FIELD: Chemical Technology

ARTICLE TYPE: Professional Paper

Summary:

Quality of life on Earth in the future will largely depend on the amount of safe water. As the most fundamental source of life, water is relentlessly consumed and polluted. To halt this trend, many countries are taking extensive measures and investing substantial resources in order to stop the contamination of water and return at least tolerably good water quality to nature. The goal of water purification is to obtain clean water with the sewage sludge as a by-product. Clean water is returned to nature, and further treatment of sludge may be subject to other procedures. The conclusion of this paper is simple. The procedure with purified water is easily achievable, purified water is discharged into rivers, lakes and seas, but the problem of further treatment of sludge remains. This paper presents the basic methods of wastewater treatment and procedures for processing the products from contaminated water. The paper can serve as a basis for further elaboration.

Water Pollution

In order to ensure normal life of living creatures, the water in which they live or the water they use must have a natural chemical composition and natural features. When, as a result of human activities, the chemical composition of water and the ratio of its chemical elements significantly change, we say that water is polluted. When the pollutants come from industrial plants, we are talking about industrial wastewater, and when they come from households and urban areas, we are talking about municipal wastewater. Both contain a huge amount of pollutants that eventually end up in rivers. Then, thousands of defenseless birds, fish and other animals suffer, and environmental consequences become immeasurable. In addition, the waste fed to the water often ends up in the bodies of marine animals, so they can return to us as food. Thermal water pollution also has multiple effects on the changes in the wildlife composition of aquatic ecosystems. Polluted water can be purified by mechanical, chemical and biological agents. Mechanical methods are based on the effect of physical forces. Chemical agents are based on chemical processes. Biological measures are based on natural laws and activities of living beings. Water saving and its rational use are some of the most effective ways of saving water from pollution.

Water treatment

Water treatment is done in two ways: by sedimentation and filtration. Dirt falling on the bottom is called deposition. The passage of clean water through the material is called filtering. Water containing dissolved substances is purified by distillation. To improve the taste of distilled water, aeration should be performed. The sun's ultraviolet rays destroy biological pollutants. Mechanical, biological and chemical methods are used for water purification.

Mechanical methods

Mechanical methods are based on the removal of physical impurities from water and the action of natural forces. For this purpose we use: grids and sieves, sedimentation, flotation, filtration, centrifugation, sand sedimentation tanks, grease traps, primary sedimentation tanks and flow equalization tanks. Wastewater aeration equipment is also used within these facilities.

Grids and Sieves

Larger, insoluble and floating substances in wastewater are removed with grids and sieves.

Sedimentation

The application of grids and sieves as well as sand sedimentation tanks and grease traps can be viewed as a process of deposition using certain infrastructure facilities intended for this type of separation of impurities. Infrastructure facilities are sedimentation tanks. There are vertical, horizontal and radial flow sedimentation tanks.

Flotation

Particle resurfacing with bubbles of air is called flotation. The best effect is achieved by aeration of bubbles of smaller diameters in a larger area.

Filtration

Filtration is a process used in water conditioning to remove insoluble substances. During filtration, water passes through a layer of granular material placed on a perforated surface. Some other processes can also take place during filtration.

Centrifugation

Centrifugation is a method of separating particles from a suspension due to the effect of the centrifugal force that is many times greater than the force of gravity. For larger water quantities, it is not realistic to apply centrifugation as a water purification technique.

Sand sedimentation tanks

Substances with specific gravity higher than water, such as sand, gravel, stone, earth, slag, mineral particles, etc., accumulate in the plants called sand traps.

Grease traps

Substances lighter than water: oil, grease, soap flakes, bits of wood, cork, etc., are removed by means of grease traps.

Flow equalization tanks

They provide conditions for the slow and steady movement of water and retain wastewater long enough to provide gravity sedimentation of suspended particles.

Chemical methods

Chemical purification methods are the processes in which the treatment is carried out by means of certain chemical reactions, or certain physical and chemical phenomena. Basic operations of the chemical wastewater treatment are the removal of suspended and colloidal substances: by coagulation and flocculation, and the removal of some dissolved substances: by chemical deposition, ion exchange, oxidation, gas blowing and adsorption.

Chemical deposition

The process of chemical deposition is based on the conversion of dissolved substances in wastewater to insoluble compounds, using suitable reagents.

Ion exchange

Ion exchange is much more widely used as a water preparation process to remove water hardness than as a wastewater purification process.

Oxidation

Oxidation can convert some organic and inorganic substances in industrial wastewater into compounds that are far less polluting. The most often used oxidant is chlorine.

Gas blowing

Some dissolved substances can be removed from the wastewater by means of blowing gas, ordinary air or steam.

Adsorption

Adsorption is a process of accumulating fluid substances on the surface of the solid phase. A substance being adsorbed is adsorbate, and the phase upon which the adsorption is carried out is called the adsorbent.

Biological methods

Biological purification processes are based on the activities of a complex microflora, which is in the course of their life cycle adopted by organic and parts of inorganic materials causing wastewater pollution, using them to maintain life activities and to create new cells. During a biological treatment, stabilized sludge is precipitated, and removed from the water in secondary sedimentation tanks. Biological purification processes can be aerobic and anaerobic, with the help of aerobic or anaerobic microorganisms. Aerobic processes with suspended microflora are divided into: the processes with activated sludge in bioaeration tanks, processes in aerated lagoons (biological lagoons) and processes in aerobic (shallow) lakes (biological artificial lakes).

Activated sludge process

This is an aerobic process of a biological wastewater treatment, as it occurs due to aerobic microbial population. Microorganisms are found in aeration basins, where, with the help of oxygen in the metabolic process, substrate degradation is provided. Microorganisms oxidize the dissolved substrate into carbon dioxide and water. A part of the organic material is synthesized into new cells or used for the growth of existing ones and the rest consists of waste and excess sludge. A part of sludge is returned into the process (activated sludge) where it has a role of an activator of the biological process. The rest of sludge is discharged into the sludge treatment device or disposed of in a proper

way. Clear purified water (effluent) is discharged into the recipient, or, if necessary, taken to additional processing.

Process in aerobic lagoons

Lagoons and shallow basins, as an aerobic biological wastewater treatment method, provide a sufficient amount of oxygen through photosynthesis.

Process in shallow lakes

Aerobic lakes are large and shallow earthen basins in which wastewater treatment takes place with minimum regulation, practically as natural self-purification.

Anaerobic processes

The anaerobic treatment process is based on the methane fermentation of organic wastewater pollution, where organic material is converted into a mixture of gases. The use of microorganisms in the absence of oxygen is called anaerobic digestion.

Processing products from the wastewater treatment process

Waste materials from the wastewater treatment process should have a high proportion of isolated components and a small proportion of the remaining moisture. Sludge treatment methods may include: thickening, stabilization, conditioning, dewatering, drying or oxidation and disposal. In accordance with the applied technology, sludge treatment processes may be biological, technical and mechanical ones. Biological sludge treatment processes are performed for compost production, to improve sludge residue for disposal, for biological stabilization of sludge residue. Composting is the simplest way of processing biodegradable sludge (humus). Compost can be used in agriculture, to revitalize the soil laid bare by fire and to improve the quality of land next to roads. Mechanical-biological treatment of sludge is based on a process of mechanical treatment of sludge, where valuable components are separated from sludge. These components are metal, paper, plastic, nonmetal or harmful substances that cannot be disposed of in landfills. The thermal treatment of sludge is carried out using the following methods: combustion, pyrolysis and gasification.

Key words: waters, wastewater, treatment, products, procedures, life, cleaning.

Datum prijema članka/Paper received on: 29. 03. 2012.

Datum dostavljanja ispravki rukopisa/Manuscript corrections submitted on: 11. 04. 2012.

Datum konačnog prihvatanja članka za objavljivanje/ Paper accepted for publishing on: 13. 04. 2012.