

(nastavak)

UKUPNO B I - III	3.013.324 EUR	70,97%	
TRGOŠKOVI FINANSIRANJA	131.623 EUR	0,52%	
UKUPNO B I - IV	3.145.147 EUR	79,51%	
PROIZVODNA CENA INVESTICIJE A+B (BEZ TRGOŠKOVIA PRIBAVLJANJA LOKACIJE)	1.437.766 EUR	100,00%	
PROJEKTOVANA TRŽIŠNA VREDNOST (KOMERCIJALNIH PLOŠTINA)	2.571.800 EUR	176,67%	
RAZLIKA PROIZVODNE CENE I TRŽIŠNE VREDNOSTI	1.094.054 EUR	76,03%	
	%	%	
MINIMALNE PLANIRANE PROFIT INVESTITORA	od proizvodne cene	od tržišne cene	
	30%	438.324 EUR	16,98%
ANULIDA CENA PRIBAVLJANJA LOKACIJE SA STANOVIŠTA ISPLATNOSTI INVESTICIJE	%	%	
	od proizvodne cene	od tržišne cene	
MAKSIMALNA CENA PRIBAVLJANJA LOKACIJE	46,03%	665.750 EUR	26,40%
PREPORUČENA VREDNOST LOKACIJE (POBELA PROFITA)			
	%	%	%
VREDNOST LOKACIJE	od proizvodne cene	od tržišne cene	od tržišne cene
	38,31%	547.077 EUR	21,69%
MOGUĆI OSTVARENI PROFIT INVESTITORA	38,31%	547.077 EUR	21,69%

285

- [7] Zakon o eksproprijaciji, („Sl. glasnik RS”, br. 53/95, „Sl. list SRJ”, br. 16/2001 - odluka SUS i „Sl. glasnik RS”, br. 20/2009)
- [8] Zakon o planiranju i izgradnji, „Službeni glasnik Republike Srbije”, br. 72/2009

### Napomena:

Analizirani objekat nema trafo stanicu i podstanicu za grejanje, i izvedena je telefonska kanalizacija.

### 3. LITERATURA

- [1] BRKIĆ, D: “Nepokretnosti, prava na nepokretnosti-ma, promet prava na nepokretnostima i upis u javne knjige“ Građevinska knjiga, Beograd 2007.
- [2] ČIROVIĆ G., LUKOVIĆ O, JOVOVIĆ S.: “Izrada investicionog programa i praćenje realizacije njegovih elemenata na računaru”, Zbornik radova Informacioni sistemi i računarski softver u građevinarstvu, Savez građevinskih inženjera i tehničara Srbije, Aranđelovac, 1992., str. 100-106.
- [3] ČIROVIĆ G., LUKOVIĆ, O., JOVOVIĆ, S.:”Vrednovanje i revalorizacija investicionih ulaganja u građevinarstvu – Klizna skala”, Gradski zavod za veštačenja, Beograd, 2003., 180 str.
- [4] Odluka o građevinskom zemljištu, “Službeni list grada Beograda”, br. 2/2009
- [5] Odluka o kriterijumima i merilima za utvrđivanje naknade za uređivanje građevinskog zemljišta “Službeni list grada Beograda“ br 2/2009
- [6] Odluka o izmeni i dopuni odluke o kriterijumima i merilima za utvrđivanje naknade za uređivanje građevinskog zemljišta “Službeni list grada Beograda“ br 33/2009

286

**Prof. dr Dejan LJUBISAVLJEVIĆ, dipl.inž.grad.<sup>1</sup>**  
**Mr Aleksandar ĐUKIĆ, dipl.inž.grad.<sup>2</sup>**

### PREČIŠĆAVANJE GRADSKIH OTPADNIH VODA U REPUBLICI SRBIJI – STANJE I PERSPEKTIVE –

0352-2733,42 (2009),p. 288-326

UDK: 628.34.033  
PREGLEDNI STRUČNI RAD

### Rezime

U radu je dat pregled postupaka za prečišćavanje gradskih otpadnih voda i metoda za tretman izdvojenih muljeva. Takođe su prikazani načini određivanja ulaznih opterećenja otpadne vode kao i uslovi pod kojima se otpadne vode naselja mogu prečišćavati zajedno sa industrijskim otpadnim vodama. Dat je pregled stanja u oblasti sakupljanja i prečišćavanja komunalnih otpadnih voda u Republici Srbiji, kao i ocena usklađenosti domaće regulative i prakse sa standardima koji važe u EU.

**Ključne reči:** gradske otpadne vode, prečišćavanje otpadnih voda, tretman mulja

<sup>1</sup> Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu

<sup>2</sup> Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu  
Rad primljen oktobra 2009.

287

288

# MUNICIPAL WASTEWATER TREATMENT IN REPUBLIC OF SERBIA – PRESENT STATE AND THE PERSPECTIVES

## Abstract

This paper presents an overview of municipal wastewater and sludge treatment methods. Procedure for determination of input wastewater loads has been described, as well as requirements that should be fulfilled to establish joint treatment of municipal and industrial wastewaters. An overview of the present state in municipal wastewater collection and treatment in the R. of Serbia is presented, as well as comparison of domestic regulations and practices with the standards applicable to the EU countries.

**Key words:** municipal wastewater, wastewater treatment, sludge treatment

## 1. POREKLO OTPADNIH VODA I NJIHOV UTICAJ NA ŽIVOTNU SREDINU

Prema svom poreklu otpadne vode se mogu podeliti na:

- Komunalne otpadne vode - upotrebljene vode iz domaćinstva, ustanova, škola, ugostiteljstva, i dr.
- Industrijske otpadne vode - upotrebljene vode iz industrijskih pogona.

289

reka i jezera), razvoj živog sveta može biti veoma buran, sa negativnim posledicama po kvalitet vode u vodoprijemniku. Ovaj proces zove se eutrofikacija. Kako komunalna otpadna voda sadrži značajne količine jedinjenja azota i fosfora, to njeno ispuštanje u vodoprijemnik može izazvati eutrofikaciju.

**Temperatura.** Komunalne otpadne vode obično imaju temperaturu za nekoliko stepeni višu od temperature vode iz vodovoda. Povišenjem temperature u vodoprijemniku ubrzavaju se biohemijske reakcije u vodi i smanjuje se količina rastvorenog kiseonika, što može imati negativne posledice na živi svet u vodi.

**pH vrednost.** Kod komunalnih otpadnih voda pH vrednost je najčešće u normalnom opsegu (7 - 7,5), dok kod nekih industrijskih otpadnih voda ona može imati vrednost koja ugrožava živi svet u vodi.

**Toksične materije.** Industrijske otpadne vode mogu sadržati različite toksične materije (kao što su fenoli, pesticidi, cijanidi, i dr.) koji mogu ugroziti živi svet u vodi i priobalju.

**Miris.** Otpadna voda sadrži u sebi veliki broj jedinjenja koja joj daju neprijatan miris. Ove materije nastavljaju da šire neprijatne mirise i posle ispuštanja otpadnih voda u vodoprijemnike.

**Teški metali.** Neke industrijske otpadne vode mogu sadržati teške metale kao što su nikel, mangan, olovo, hrom, kadmijum, cink, bakar, gvožđe ili živa. U urbanim područjima opaženo je prisustvo teških metala u atmosferskoj otpadnoj vodi.

291

- Meteorska (atmosferska) otpadna voda – površinski oticaj koji spira i odnosi različite materije.

U ovom radu pažnja će biti posvećena komunalnim (gradskim) otpadnim vodama. Otpadne vode imaju takve osobine, i sadrže u sebi različite supstance, koje kada se otpadne vode neprečišćene ispuste u vodoprijemnik na različite načine zagađuju životnu sredinu:

**Organske materije.** Komunalne otpadne vode sadrže velike količine organske materije koja se nalazi u suspendovanom, koloidnom i pravom rastvoru u otpadnoj vodi. Pošto je broj mogućih organskih materija prisutnih u otpadnoj vodi veoma veliki to se one posredno definišu preko petodnevne biohemijske potrošnje kiseonika - BPK5. Ova materija podložna je biohemijskoj oksidaciji pri čemu se troši prisutan rastvoreni kiseonik iz vode. Potrošnja kiseonika u vodi dovodi do smanjenja njegove koncentracije, ili čak njegovog nestanka, pa voda u vodoprijemniku postaje anaerobna, što izaziva pomor akvatičnog živog sveta, anaerobno truljenje te razvoj štetnih gasova  $H_2S$ ,  $CH_4$ ,  $NH_3$ ,  $CO_2$ . Takva voda u vodoprijemniku postaje neodgovarajuća za svaku drugu vodoprivrednu upotrebu.

**Nutrijenti.** Elementi neophodni za razvoj živog sveta u vodi, kao što su azot, fosfor, kalijum i dr., nazivaju se nutrijenti. Unošenjem nutrijenata u vodoprijemnik poboljšavaju se uslovi za razvoj akvatične flore (plankton i više biljke). Ukoliko su ispunjeni i drugi uslovi, kao što su povišena temperatura i dobra osunčanost (kod sporih

290

**Boja i suspendovane materije** u otpadnim vodama mogu da naruše estetski izgled vodotoka.

**Patogeni organizmi.** U komunalnoj otpadnoj vodi nalazi se veliki broj mikroorganizama među kojima se mogu ponekad naći i patogeni organizmi – uzročnici bolesti. U komunalnoj otpadnoj vodi nalazi se veliki broj koliformnih organizama, koji obično nisu patogeni, a koji u otpadnu vodu dospevaju iz gastro-intestinalnog trakta ljudi i životinja. Pošto je prisustvo i broj patogenih organizama u otpadnoj vodi teško odrediti, a koliformnih organizama ima mnogo i njihovo određivanje je znatno jednostavnije, to se oni koriste kao indikator fekalnog zagađenja.

Kao što se vidi iz napred navedenog, otpadne vode mogu na različite načine zagađivati životnu sredinu, pri čemu karakter i intenzitet ovih uticaja zavisi od konkretnih uslova: količine i sastava otpadnih voda, karakteristika vodoprijemnika, i dr.

## 2. ZAJEDNIČKO ODVOĐENJE I PREČIŠĆAVANJE INDUSTRIJSKIH I KOMUNALNIH OTPADNIH VODA

Tehnoekonomska analiza često pokazuje da je opravdano zajednički odvoditi i prečišćavati komunalnu i industrijsku otpadnu vodu. Upotrebljena voda iz industrijskih pogona uvodi se u gradsku kanalizaciju obično uz prethodno prečišćavanje, ili bez njega kada nije zagađena

292

više od komunalne otpadne vode i kada ne sadrži sastojke koji ometaju proces prečišćavanja, ili sastojke koji mogu izazvati zagušenje i oštećenje kanala i da štode osoblju koje održava kanalizaciju.

Projektovanje uređaja za prečišćavanje industrijskih otpadnih voda pre upuštanja u gradsku kanalizaciju zahteva detaljno poznavanje industrijskog postupka, te količina i sastava otpadnih voda. Poznavanje količina i osobina industrijskih otpadnih voda iziskuje redovno obimna i smišljena ispitivanja na terenu.

Kod zajedničkog odvođenja i prečišćavanja komunalnih i industrijskih otpadnih voda postavlja se problem raspodele troškova prečišćavanja i procene uticaja industrijskih otpadnih voda na postrojenje za prečišćavanje ili na prirodne prijemnike otpadnih voda. Zbog toga se u praksi uvodi pojam **ekvivalentni broj stanovnika (ES)**. Opterećenja industrijskih otpadnih voda se izražavaju odgovarajućim ekvivalentnim brojem stanovnika čime se pojednostavljaju tehno-ekonomski i tehnički proračuni. Ekvivalentni broj stanovnika najčešće se definiše tako što se osobine neke otpadne vode u pogledu sadržaja BPK5 uporede sa uobičajenim vrednostima za komunalne otpadne vode. Usvajajući da svaki stanovnik priključen na kanalizacionu mrežu unosi za jedan dan 60 gBPK5 u otpadnu vodu, ekvivalentni broj stanovnika može se definisati kao:

$$ES = \frac{BPK_{5g/d}}{60g/ni.d}$$

293

- SP - stepen prečišćavanja (uklanjanja) određene materije iz otpadne vode (%),
- $C_{ul}$  - koncentracija neke materije pre prečišćavanja (ulazna koncentracija),
- $C_{izl}$  - koncentracija neke materije nakon prečišćavanja (izlazna koncentracija).

Stepen prečišćavanja otpadnih voda definiše se odgovarajućim administrativnim merama koje propisuje društvo, odnosno država u cilju zaštite životne sredine, dok se njegovo ostvarenje postiže primenom različitih postupaka prečišćavanja otpadnih voda. Sprovođenje ovih mera kontrolišu nadležne institucije. U praksi određivanja potrebnog stepena prečišćavanja otpadnih voda (PSP) javljaju se dva osnovna pristupa:

**Standard za recipijent** - određivanje PSP-a na osnovu zahtevanog kvaliteta vode u recipijentu, koji se primenjuje u R. Srbiji. Prema ovoj metodologiji zahteva se određeni kvalitet vode u recipijentu, koji je definisan uredbom o kategorizaciji vodotoka, nakon mešanja sa prečišćenom otpadnom vodom. Odgovarajućom vodoprivrednom analizom, uz primenu matematičkog modela kvaliteta vode u recipijentu, mogu se dobiti različiti stepeni prečišćavanja otpadnih voda različitih zagađivača, u zavisnosti od sastava i količine efluenta, i zahtevanog kvaliteta i karakteristika recipijenta.

**Standard za efluent** - određivanje PSP-a na osnovu zahtevanog kvaliteta prečišćene vode. Primer ovakvog pristupa je Direktiva Evropskog Saveta br. 91/271/EEC

295

Postoje i dugačiji primeri definisanja ES, na primer, uvođenjem u analizu drugih parametara kvaliteta (ukupne organske materije, HPK, suspendovane materije, i dr.), ili poređenjem uticaja na vodoprijemnik industrijske i komunalne otpadne vode.

Prilikom zajedničkog odvođenja i prečišćavanja industrijskih i komunalnih otpadnih voda moraju se definisati uslovi za upuštanje otpadnih voda u gradsku kanalizaciju kako bi se zaštitilo zdravlje radnika koji održavaju kanalizaciju, zaštitio kanalizacioni sistem i sistem za prečišćavanje. U tom cilju, komunalno preduzeće, opština ili država propisuje pravilnik o uslovima za upuštanje otpadne vode u javnu kanalizaciju.

### 3. ADMINISTRATIVNE MERE ZAŠTITE VODOPRIJEMNIKA OD ZAGAĐENJA OTPADNIM VODAMA

Da bi se smanjili negativni uticaji otpadnih voda na vodoprijemnike i životnu sredinu, neophodno je pre ispuštanja otpadne vode u vodoprijemnik izvršiti njeno prečišćavanje. Zadatak prečišćavanja je da ukloni zagađujuće materije iz otpadne vode u određenom stepenu, gde je stepen prečišćavanja definisan izrazom:

$$SP = \left(1 - \frac{C_{izl}}{C_{ul}}\right) 100\%$$

gde su:

294

koja zahteva da se sve gradske otpadne iz izvora zagađenja većih od 2000 ekvivalentnih stanovnika moraju se prečišćavati do nivoa datog u tabeli 1.

Tabela 1.- Zahtevi za izlive iz gradskih postrojenja za prečišćavanje otpadne vode prema Direktivi 91/271/EEC

Parametar	Maksimalna koncentracija u izliva
BPK <sub>5</sub>	25 mg/l
HPK	125 mg/l
Suspendovane materije (od 2.000 do 10.000 ES)	60 mg/l
Suspendovane materije (više od 10.000 ES)	35 mg/l
Ukupan azot (od 10.000 do 100.000 ES)	15 mg/l *
Ukupan azot (više od 100.000 ES)	10 mg/l *
Ukupan fosfor (od 10.000 do 100.000 ES)	2 mg/l
Ukupan fosfor (više od 100.000 ES)	1 mg/l

\* - srednja godišnja vrednost

U praksi se primenjuje i kombinacija navedena dva pristupa. Primer kombinovanog pristupa je regulativa EU o vodama. Okvirna direktiva o vodama – ODV (EU Water Framework Directive, 2000), sa pripadajućim

296

Direktivama, propisuje da svi tačkasti izvori zagađenja moraju prečistiti otpadne vode do određenog stepena. Sa druge strane ODV pored ovog uvodi i krajnji cilj da svi vodotoci u EU do 2015. godine treba da dostignu „dobar ekološki status“, odnosno da parametri kvaliteta voda, kako fizičko-hemijski, tako i biološki i morfološki, budu u okvirima pokazatelja za dobar status voda, koji važi za razmatrani sliv. Dobar status vodotoka postići će se kroz propisanu proceduru definisanja i realizacije Planova upravljanja rečnim slivom.

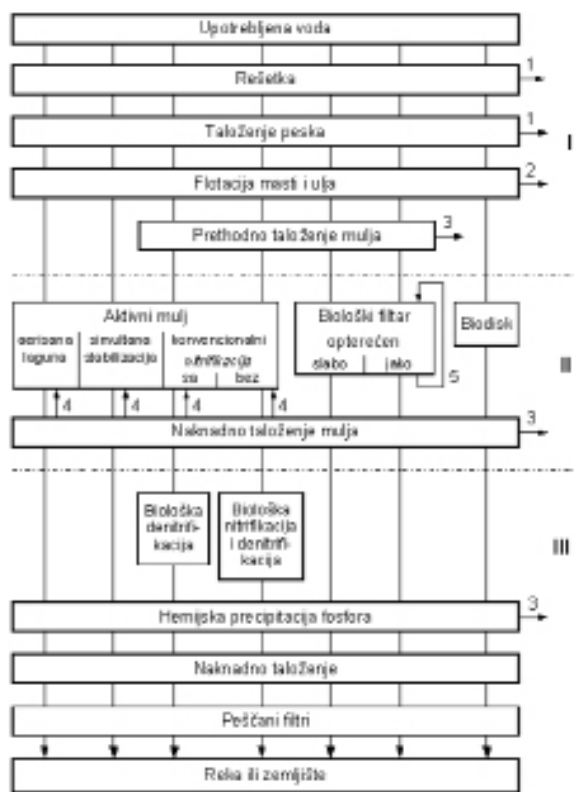
Primenom standarda za efluent vrši se pravičnija raspodela ukupnih troškova za prečišćavanje, i lakše se obavlja nadzor i kontrola rada postrojenja za prečišćavanje od strane odgovarajućih državnih institucija. Kako troškove prečišćavanja otpadnih voda snosi sam zagađivač, to se primenom ove metodologije svi zagađivači dovede u ekonomski ravnopravan položaj.

#### 4. PREGLED TEHNIČKIH POSTUPAKA PREČIŠĆAVANJA GRADSKIH OTPADNIH VODA I OBRADU MULJEVA

##### 4.1 Tehnički postupci prečišćavanja otpadnih voda

Potreban stepen prečišćavanja komunalnih otpadnih voda ostvaruje se primenom različitih postupaka, koji se dele na tehničke i polutehničke. U nastavku se daje pregled tehničkih postupaka za prečišćavanje komunalnih otpadnih voda.

297



Slika 1.- Tehnički postupci prečišćavanja otpadnih voda

299

Prolaskom kroz rešetke i sita uklanjaju se krupni plivajući i lebdeći sastojci iz otpadne vode. U taložnicama za pesak uklanja se hemijski inertan pesak. U mastolovima se u procesu flotacije uklanjaju masti i ulja, a u primarnim taložnicama uklanjaju se organske i neorganske taložljive suspendovane materije. Taloženje se može pospešiti dodavanjem hemikalija. U biološkom (sekundarnom) prečišćavanju otpadnih voda uz pomoć saprofitnih organizama vrši se aerobna ili anaerobna razgradnja organskih materija. U tercijarnom prečišćavanju iz otpadnih voda se dodatno uklanjaju azot i fosfor, ili se dodatno uklanjaju suspendovane materije pa samim tim se smanjuje i sadržaj BPK u efluentu.

Opšti pregled tehničkih postupaka prečišćavanja otpadnih voda dat je na slici 1. Brojevi uz strelice znače:

- 1 - Izdvojeni materijal sa rešetki i pesak iz peskolova odlazi na deponiju čvrstog otpada.
- 2 - Izdvojene masti i ulja se odvoze na deponiju, ili obradu mulja, ili industrijsku preradu.
- 3 - Izdvojeni mulj se odvodi na obradu mulja.
- 4 - Recirkulacija aktivnog mulja.
- 5 - Recirkulacija otpadne vode.

Rimski brojevi označavaju:

- I - Primarno (mehaničko) prečišćavanje
- II - Sekundarno (biološko) prečišćavanje
- III - Tercijarno prečišćavanje (dodatno uklanjanje azota, fosfora, BPK5, suspendovanih materija, i dr.)

298

Primenom različitih postupaka prečišćavanja otpadnih voda, postizu se različiti stepeni prečišćavanja, kao što je prikazano u tabeli 2.

Tabela 2.- Ostvaren stepen prečišćavanja nekih od postupaka prečišćavanja otpadnih voda

Postupak prečišćavanja	Ostvareni stepen uklanjanja (%)					
	BPK5	BPK	BPK	Azot	Fosfor	Mulj i ulja
Besna primarno taloženje	40-70	15-40	15-30	-	≤30	-
Taloženje s hemijskom flokulacijom (konvencionalni mlj)	60-90	55-85	30-50	-	≤30	-
Viskoagumovani flokulacioni mlj, s primarnim taloženjem	85-95	60-85	50-80	≤30	≤30	-
Viskoagumovani aktivni mlj s primarnim taloženjem	85-95	60-85	50-80	≤10	≤30	-
Aktivni mlj s niskim opterećenjem masom	85-95	75-95	60-85	≤30	≤30	-
Aktivni mlj s niskim opterećenjem + denitrifikacija	85-95	75-95	65-90	≤30	≤30	>99,9
Niskoopterećenji aktivni mlj + filtriranje sa peskom + denitrifikacija	≤99	≤97	≤93	≤30	≤30	>99,9
Niskoopterećenji aktivni mlj + filtriranje sa peskom + filtriranje sa aktivnom ugljen+denitrifikacija	≤99,5	≤99,5	≤97	≤30*	≤30	>99,9

\* - po Kjeldahl-u

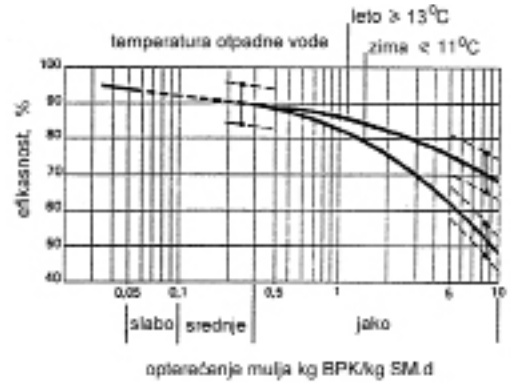
300

Biološki procesi za prečišćavanje gradskih otpadnih voda se generalno mogu podeliti u procese sa **aktivnim muljem** i procese sa **fiksiranim biološkim filmom**.

Procesi sa aktivnim muljem

Kod procesa sa aktivnim muljem koloidne i rastvorene organske materije se pomoću mikroorganizama prevode u oblik manje ili više stabilizovanog mulja. Biološko prečišćavanje se odvija u reaktoru gde se u otpadnu vodu aeratorima stalno unosi kiseonik čime se održavaju aerobni uslovi u otpadnoj vodi i mulj održava u suspenziji. Mulj se odstranjuje taloženjem, pri čemu se, zbog njegove adsorpcione moći, zajedno sa njim iz otpadne vode mogu odstraniti neke biološki teško razgradljive (ili čak toksične) materije.

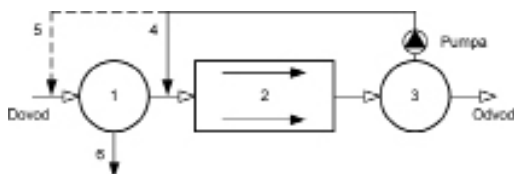
U prostoru za aeraciju potrebno je održavati određenu razmeru između dovedene nove količine organske materije koju treba razgraditi, prema masi mikroorganizama koji vrše prečišćavanje, zbog čega se jedan deo izdvojenog mulja, koji je bogat mikroorganizmima, stalno šalje na početak procesa. Drugi deo mulja je višak, i upućuje se na obradu mulja. Na ovaj način održava se određena koncentracija biološki aktivnog mulja u aeracionom bazenu. Razmera između dovedene nove organske materije koja treba da se razgradi (hrane), prema masi živih organizama u mulju zove se opterećenje mase mulja. Efikasnost postrojenja sa aktivnim muljem prvenstveno zavisi od opterećenja mase mulja i od temperatura vode (slika 2).



Slika 2.- Zavisnost efikasnosti procesa sa aktivnim muljem od temperature i opterećenja mulja

Konvencionalno postrojenje sa aktivnim muljem (slika 3) sastoji se od prethodne taložnice (1), aeracionog bazena (2) i naknadne taložnice (3). Prečišćena voda izlazi iz naknadne taložnice. Deo mulja iz naknadne taložnice (povratni mulj - 4) vraća se nazad u aeracioni bazen.

Višak mulja (5), odnosno mulj proizveden od organske materije koja se sa otpadnom vodom neprekidno unosi u sistem, se evakuira iz sistema i šalje na obradu. Na slici 3 prikazan je sistem sa ubacivanjem viška mulja u sirovu vodu na početak procesa, gde se njegovo uklanjanje vrši u primarnoj taložnici.

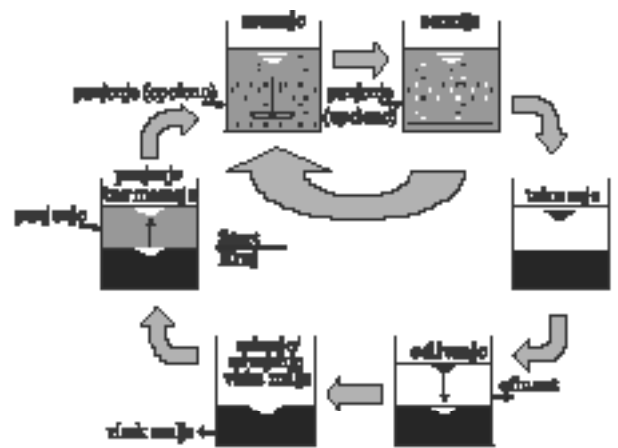


Slika 3.- Konvencionalno postrojenje sa aktivnim muljem

Postoji nekoliko tipova sistema sa konvencionalnog sistema sa aktivnim muljem, gde se tipovi razlikuju po opterećenju mase mulja, načinu uvođenja vode i kiseonika u reaktor, i drugo.

Navedeni sistemi sa aktivnim muljem su sistemi sa protočnim aeracionim bazenima. Posebnu grupu sistema sa aktivnim muljem čine šaržni sistemi - sekvencijalni šaržni reaktor (*Sequencing Batch Reactor – SBR*) gde se proces aktivnog mulja odvija u istom reaktoru u kome se naizmenično ponavljaju ciklusi punjenja, aeracije, taloženja i odlivanja prečišćene vode. Principijelna shema rada konvencionalnog SBR data je na slici 4.

Na početku ciklusa reaktor je najvećim delom prazan i sadrži samo istaloženi aktivni mulj iz prethodnog ciklusa. Tada započinje punjenje reaktora otpadnom vodom što se može vršiti uz istovremeno mešanjem ili aeraciju. Posle zadržavanja vode u reaktoru uz aeraciju prelazi se na sledeću fazu – taloženje. Nakon što se aktivni mulj istaložio obrađena voda (efluent) se odliva iz reaktora



Slika 4.- Koncept rada konvencionalnog SBR

preko pokretnih preliva. Nakon odlivanja prečišćene vode, iz reaktora se izdvaja višak mulja kako bi se zadržala optimalna vrednost opterećenja mase mulja u sledećem ciklusu prečišćavanja i održavala potrebna starost mulja. Koncept SBR postrojenja podrazumeva sistem sa najmanje dva reaktora, pri čemu je jedan reaktor uvek u fazi punjenja otpadnom vodom. U slučaju velike neravnomernosti dotoka vode mogu se ugraditi prihvatni tankovi sa uzvodne strane.

Odgovarajućim upravljanjem sistemom za aeraciju može se postići i uklanjanje jedinjenja azota nitrifika-

cijom-denitrifikacijom. U tom slučaju se periodi aeracije smenjuju sa periodima mešanja bez aeracije, čime se postiže naizmenično smenjivanje oksičnih i anoksičnih uslova potrebnih za uklanjanje azota.

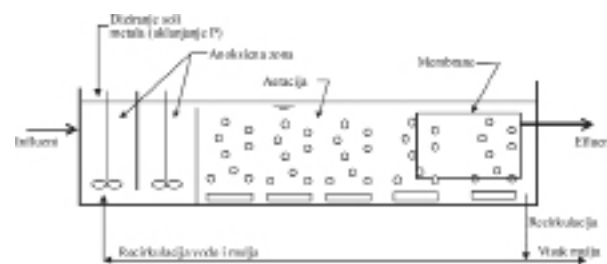
SBR se već duže vreme veoma uspešno koristi na malim i srednje velikim postrojenjima za prečišćavanje otpadnih voda domaćinstava i industrije.

Nova tehnologija biološkog prečišćavanja otpadne vode je Membranski bio-reaktor (*Membrane Bio Reactor - MBR*). To je reaktor u kome je kombinovan proces sa aktivnim muljem i proces membranske filtracije. Reaktor se sastoji od bazena sa sistemom za aeraciju u koji su zaronjene mikro ili ultra filtracione membrane. Sirova otpadna voda se prethodno mehanički obrađuje, a preporučuje se ugradnja finih rešetki ili sita neposredno pre MBR reaktora (otvori manji od 2 mm) za uklanjanje sitnih čestica i vlakana koji mogu da zatvore pore membrana.

U MBR reaktorima primenjuje se aeracija uduvavanjem finih mehurića vazduha. U delu gde su postavljene membrane uduvavaju se grubi mehurići vazduha zbog istovremenog čišćenja površine membrana od nečistoća. Tipična konfiguracija MBR zajedno sa uzvodnim anoksičnim zonama za uklanjanje azota i doziranje soli metala za uklanjanje jedinjenja fosfora je data na slici 5. Moguće su konfiguracije sa dva bazena u nizu, gde se u prvom vrši aeracija, a u drugom membranska separacija. U sistemu nema naknadnih taložnika jer se separacija.

305

cija mulja vrši na membranama. Najčešće korišćeni tipovi membranskih modula su šuplja vlakna (*hollow fibre*) ili pločasti moduli.



Slika 5.- Tipična konfiguracija MBR sa uzvodnom anoksičnom zonom i doziranjem soli metala

Membranski moduli su povezani sa pumpom koja stvara potpritisak i tako usisava vodu kroz membrane. Redovno čišćenje membrana obuhvata ispiranje kratkotrajnim puštanjem vode kroz membrane u suprotnom smeru od smeru pri filtraciji. Povremeno se membrane čiste posebnim hemijskim agensima. Efikasnost MBR se zasniva na dve činjenice:

- membranskom separacijom se uklanjaju suspendovane materije i bakterije iz vode, pa se dobija efluent visokog kvaliteta (BPK5 < 5 mg/l);
- ostvaruju se visoke koncentracije suve mase mulja u aeracionom bazenu (uobičajeno od 8000-12000 mg/l, a može se dostići 20000 mg/l) što omogućava

306

smanjenje hidrauličkog zadržavanja vode, a time i manju zapreminu bazena.

MBR ima očiglednih prednosti ako je površina zemljišta za izgradnju postrojenja veoma ograničena ili ako se zahteva veoma visok kvaliteta efluenta. Međutim, eksploatacioni troškovi MBR su znatno veći nego kod drugih vrsta postrojenja, zbog većeg utroška električne energije i potrebe za zamenom membrana na svakih 5-10 godina rada.

#### Procesi sa fiksiranim biološkim filmom

Ovaj tip procesa koristi se kod bioloških filtra (bio-filtera) i rotacionih bioloških kontaktora - RBK. Uklanjanje koloidnih i rastvorenih materija iz otpadne vode vrši se adsorpcijom na biološkom filmu koji se obrazuje na čvrstoj podlozi. Da bi se povećala efikasnost procesa adsorpcije potrebno je povećati površinu biološkog filma. Ovo se postiže primenom ispuna od zrnastog materijala ili specijalno profilisane plastike kod biofiltra, odnosno velikim brojem tankih plastičnih diskova kod rotacionih bioloških kontaktora. Na ovim materijalima dolazi do obrazovanja skrame koja sa sastoji od mikroorganizama i organske matrije. Potrebne količine kiseonika obezbeđuju se strujanjem vazduha kroz ispunu biofiltra, odnosno rotacijom diskova delimično uronjenih u vodu kod RBK.

#### Uklanjanje nutrijenata

Uobičajene vrednosti pojedinih parametara efluenta jednostepenih bioloških postupaka prečišćavanja dati su u tabeli 3.

307

Tabela 3.- Ostvaren stepen prečišćavanja nekih od postupaka prečišćavanja otpadnih voda

Proces	BML mg/l	BPK <sub>5</sub> mg/l	BPK <sub>10</sub> mg/l	N mg N/l	PO <sub>4</sub> mg P/l
Aktivni mulj	20-30	15-25	40-80	20-60	6-15
Biofilter	20-40	15-35	40-100	20-60	6-15

U slučaju da je potrebno postići bolji kvalitet efluenta moraju se predvideti postupci za dodatno uklanjanje pojedinih materija iz otpadne vode. Ovi postupci se jednim imenom nazivaju postupci tercijarnog prečišćavanja. Kod komunalnih otpadnih voda, najčešći zahtev koji se postavlja je dodatno uklanjanje azota, fosfora, suspendovanih materija ili mikroorganizama.

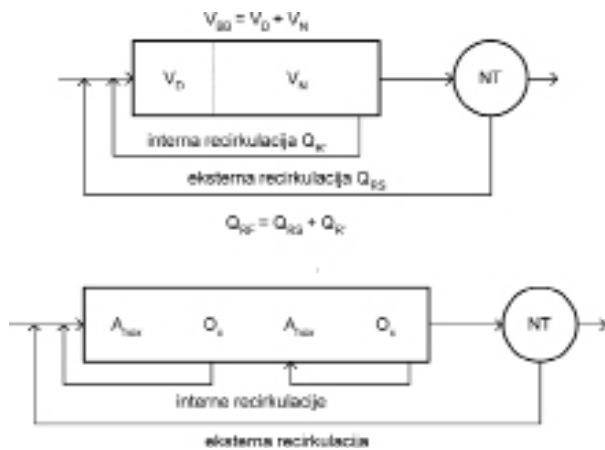
**Uklanjanje azota** iz otpadne vode može se ostvariti procesom desorpcije amonijaka (striping), postupkom biološke nitrifikacije - denitrifikacije, i hlorisanjem preko prevojne tačke. Od navedenih metoda prednost treba dati postupku nitrifikacije-denitrifikacije zbog niskih troškova, jednostavnog upravljanja, i odsustva štetnih uticaja na životnu sredinu.

Uklanjanje azotnih jedinjenja biološkim postupkom nitrifikacije-denitrifikacije obavlja se u dve faze: u prvoj se amonijak u aerobnim (oksičnim) uslovima oksidiše do nitrata (**nitrifikacija**) uz potrošnju rastvorenog kiseonika iz vode, a u drugoj fazi se stvoreni nitrati u uslovima kada nema rastvorenog kiseonika u vodi (anoksični uslovi)

308

redukuju do elementarnog azota (**denitrifikacija**). Elementarni azot ( $N_2$ ) je slabo rastvorljivi gas koji se desorpcijom uklanja iz vode. Krajnji produkt biooksidacije organske materije su voda i ugljendioksid.

Za obavljanje procesa biološke nitrifikacije-denitrifikacije otpadnu vodu je potrebno naizmenično izlagati oksidnim i anoksičnim uslovima. Proces se može odvijati u odvojenim bazenima (anoksični bazen za denitrifikaciju i aerisani bazen za nitrifikaciju), ili u istom bazenu, pri čemu se moraju u njemu formirati anoksične zone. Kao



Slika 6.- Šeme bazena sa aktivnim muljem za nitrifikaciju - denitrifikaciju

309

najekonomičniji postupak koristi se uklanjanje azota nitrifikacijom-denitrifikacijom u aeracionom bazenu biološkog stepena. Na narednoj slici prikazane su šeme bazena sa aktivnim muljem za nitrifikaciju - denitrifikaciju.

Oznake na slici 6 su: VBB - ukupna zapremina bazena sa aktivnim muljem, VD - zapremina bazena za denitrifikaciju (anoksična zona - Anox), VN - zapremina bazena za nitrifikaciju (oksična zona - Ox).

Uobičajeni sastav otpadnih voda iz domaćinstava je takav da u njoj nema dovoljno BPK za potpuno uklanjanje azota denitrifikacijom. Zato, ukoliko se želi potpuno uklanjanje azota, treba dodavati etanol u otpadnu vodu pri prolazu kroz anoksični tank pri čemu se nitrati uz pomoć bakterija redukuju do elementarnog azota, a etanol se oksidiše do ugljendioksida i vode. Ovakav postupak je skup jer zahteva potrošnju etanola.

**Uklanjanje fosfora.** U dosadašnjoj praksi uklanjanja fosfora uglavnom je primenjivana hemijska precipitacija fosfora dodavanjem kreča ili soli aluminijuma, natrijuma, gvožđa. Poslednjih godina primenjuju se i biološke metode za uklanjanje fosfora. Ključ biološkog uklanjanja fosfora je izlaganje mikroorganizama alternativno anaerobnom i aerobnom stanju. Izlaganje alternativnim stanjima izaziva šok na mikroorganizme, pa oni prihvataju fosfor iznad normalnog nivoa. Mulj koji sadrži višak fosfora se ili recirkuliše a višak odlaže, ili odlazi kroz bočni (sporedni) tok u kome se oslobađa viška fosfora. Alternativno izlaganje anaerobnom i aerobnom stanju, može biti

310

obrazovano u glavnom biološkom tretmanu, ili u bočnom toku povratnog mulja.

#### 4.2 Obrada mulja, konačno odlaganje/ponovna upotreba

Izdvojeni mulj iz biološkog prečišćavanja se ne može bez prethodne prerade odlagati u prirodu. Sirovi mulj sadrži veliku količinu vode i organskih materija pa je potrebno izvršiti smanjenje količine vode u mulju i delimičnu mineralizaciju (stabilizaciju) organskih materija u aerobnim ili anaerobnim uslovima. Stabilizovan mulj treba da bude oslobođen patogenih organizama. Na slici 7 dat je pregled najčešće primenjenih postupaka prerade mulja. Bočne strelice označavaju izdvojenu vodu iz mulja koja se upućuje na početak procesa prečišćavanja otpadnih voda.

U republici Srbiji zakonska regulativa o obradi i upotrebi kanalizacionih muljeva praktično ne postoji. U Evropskoj Uniji direktiva o kanalizacionom mulju 86/278/EEC propisuje načine korišćenja stabilizovanog mulja i podstiče primenu mulja u poljoprivredi kao dodatka đubrivu. Ipak ograničenja u praksi dovela su do toga da se oko 60% mulja u EU i dalje odlaže na deponijama ili spaljuje u specijalnim postrojenjima za spaljivanje mulja i otpada.

Spaljivanje (insineracija) mulja se odvija u dve faze, prva je sušenje a druga spaljivanje. U toku insineracije

311

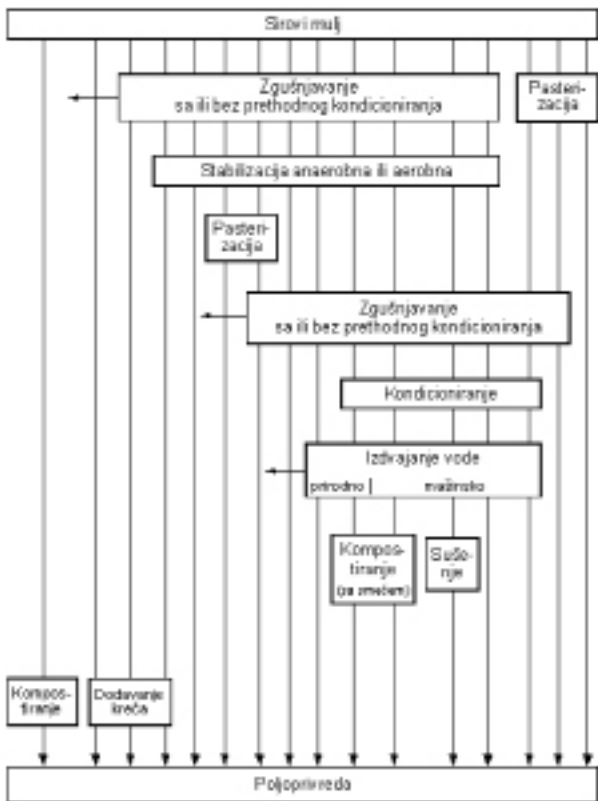
mulj se konvertuje u inertan pepeo. Ukoliko se mulj dehidriše do 30% SM i ukoliko je kalorijska moć mulja dovoljna, proces insineracije može biti samo-održiv. Dodatno gorivo je u tom slučaju neophodno samo za pokretanje procesa. Ponekad je dodatno gorivo ipak neophodno za održavanje optimalne temperature sagorevanja usled promenljivog sastava ulaznog mulja.

Promene u sastavu mulja imaju uticaj i na energetske efikasnost. Ekonomski je isplativije spaljivati sirov mulj nego mulj koji je prethodno obrađen postupcima digestije. Toplota oslobođena spaljivanjem mulja je u opsegu 18620 – 30260 kJ/kg SM za primarni mulj, odnosno u opsegu 11.640-23.280 kJ/kg SM za mešavinu primarnog i aktivnog mulja. Poređenja radi, mulj iz anaerobne digestije ima kalorijsku vrednost oko 12.800kJ/kg SM. Pepeo nastao spaljivanjem mulja se najčešće trajno odlaže na deponije, ali se može koristiti i kao sirovina u proizvodnji građevinskih materijala ili dodatak materijalima za nasipanje puteva.

Kompostiranje je aerobna dekompozicija organskih materija pod dejstvom mikroorganizama. Primenjuje se na sirovi ili istruleli mulj nezavisno ili kombinovano sa gradskim smećem. To je metod stabilizacije i konačne dispozicije mulja iz otpadnih voda. Mulj koji je pravilno kompostiran je sanitarno prihvatljiv materijal sličan humusu koji se može koristiti u poljoprivredi.

U Srbiji se ne primenjuju procesi spaljivanja i kompostiranja, a nije poznato da li se mulj koristi u poljoprivredi.

312



Slika 7.- Neki postupci obrade mulja

313

stemima generalni potvrđuju ovu pretpostavku, mada je opažana tendencija smanjenja specifične potrošnje vode, i posledično specifične količine otpadnih voda. U zemljama EU, standardno se koristi vrednost specifične količine otpadnih voda od 150 l/dan ES, mada ima primera gde je specifična količina manja. U svakom slučaju, najbolje je izvršiti sistematska merenja protoka u kanalizaciji u cilju određivanja količina otpadnih voda i protoka po pojedinim komponentama (vrstama) otpadnih voda.

Količine vode koje dolaze na uređaje može da povećá podzemna voda koja provire u kanalizaciju kroz neispravne spojeve i oštećene kanale (infiltracija). Pravilnim građenjem i održavanjem kanalizacione mreže količine ovih voda treba smanjiti na minimum. Kod separacionog sistema količine vode može povećati i kišnica koja dospeva u kanalizaciju kroz revizionna okna.

Za pravilno projektovanje postrojenja potrebno je odrediti prosečne dnevne količine otpadnih voda u danima sa maksimalnom i minimalnom potrošnjom vode, kao i maksimalne i minimalne časovne protoke.

U nemačkoj literaturi, za gradove srednje veličine preporučuju se sledeće vrednosti ( $Q_{24}$  - prosečan protok otpadne vode):

$$Q_{min} = Q_{24} = \frac{24}{40} Q_{24}$$

$$Q_{max} = Q_{24} = \frac{24}{14} Q_{24}$$

315

## 5. OPTEREĆENJE UREĐAJA ZA PREČIŠĆAVANJE OTPADNIH VODA

### 5.1 Hidrauličko opterećenje

Pod hidrauličkim opterećenjem podrazumevaju se količine otpadnih voda koje dolaze na postrojenje za prečišćavanje. Količina otpadnih voda računa se za kraj projektnog perioda postrojenja. Ona zavisi od budućeg broja stanovnika priključenih na kanalizaciju, standarda i navika stanovništva tj. specifične potrošnje vode po stanovniku, priključene industrije na zajedničku kanalizaciju, tipa kanalizacije (opšti ili separacioni sistem), infiltracije podzemnih voda u kanalizaciju i dr.

Količina upotrebene vode u domaćinstvima, ustanovama, školama, i dr. uglavnom odgovara količini vode koja se upotrebljava iz vodovoda. Prilikom projektovanja uređaja za prečišćavanje trebalo bi raspolagati podacima o ostvarenoj potrošnji vode u naselju. Kod opšteg sistema kanalizacije može se uzeti da je to i specifična prosečna godišnja količina upotrebljenih voda. Kod separacionog sistema kanalisanja, ovu količinu potrebno je umanjiti (najčešće za ~15%) za količinu vode koja se koristi za zalivanje zelenila, polivanje i pranje ulica, gašenje požara, i neke druge slične potrebe, jer ove vode ne dospevaju u kanalizaciju za upotrebenu vodu. Projektanti uobičajeno koriste vrednosti od 150-200 litara po stanovniku na dan za specifičnu količinu upotrebljenih voda iz domaćinstava i ustanova. Podaci merenja protoka na kanizacionim si-

314

Kod opšteg sistema kanalizacije dopušta se maksimalni protok za vreme kiše  $Q_{max} = (2 \div 3) Q_{14}$ . Preostali deo atmosfere vode odvodi se preko preliva za kišnicu i ispušta u recipijent, ili se odvodi u retenziju odakle se kasnije postupno dovodi na prečišćavanje.

Ako je na javnu kanalizaciju naselja priključena i industrija, onda se posebna pažnja mora posvetiti količinama i kvalitetu industrijskih otpadnih voda. Industrijske otpadne vode mogu imati veoma promenljive protoke u toku godine, sedmice ili jednog dana. Prilikom određivanja količina industrijskih otpadnih voda najbolje je raspolagati rezultatima merenja u svakom konkretnom slučaju. U preliminarnim sagledavanjima i planiranju sistema za prečišćavanje takođe se koriste i podaci o količinama industrijskih otpadnih voda po jedinici površine industrijskih pogona. Ovi podaci zavise od stepena ekonomskog razvoja i primene savremenih tehnologija u industrijskoj proizvodnji, na primer u Beogradu je prosečna količina otpadne vode po hektaru industrijske zone oko 1,1 litar u sekundi po hektaru, dok u Nemačkoj se ostvaruju veličine od 0,2 - 0,5 litara u sekundi po hektaru.

### 5.2 Opterećenje materijama prisutnim u otpadnoj vodi

Opterećenje otpadne vode materijama najbolje je odrediti merenjima na terenu. Tipičan sastav komunalne otpadne vode dat je u tabeli 4.

316



Tabela 4.- Tipičan sastav gradske otpadne vode [2]

Sastojak	Konzentracija (mg/l)		
	java	sanitija	slaba
Ukupni suvi ostatak	1200	720	350
Ukupni rastvorani ostatak	850	300	250
Mnervinski	525	300	145
Voletilni	325	200	105
Uk. suspendovani materij	350	220	100
Mnervinski	75	55	20
Voletilni	275	165	80
Talokljivo materija, ml/l	20	10	5
BPK <sub>5</sub>	400	220	110
Uk. organski ugljenik (TOC)	290	160	80
HPK (dihromat)	1500	300	250
Azot, N	85	40	20
Organiki	35	15	8
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	30	25	12
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	0	0	0
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0	0	0
Fosfor, P	15	8	4
Organiki	5	3	1
Neorganiki	10	5	3

U tabeli 5 data su specifična opterećenja po stanovniku BPK<sub>5</sub> i ukupnim suspendovanim materijama na osnovu iskustava u različitim zemljama. Podaci se odnose na upotrebljene vode iz domaćinstava.

317

Srbije i AP Vojvodine (28% u Vojvodini i 55% u centralnoj Srbiji), odnosno ukupno blizu 3,7 miliona stanovnika. Poredeći ove podatke sa podacima iz zemalja EU, gde je procenat priključenja preko 80%, a u nekim zemljama i preko 95%, može se zaključiti da su kanalizacioni sistemi prilično nerazvijeni.

Stanje kanalizacionih sistema nije u potpunosti poznato, ali uobičajeni problemi su zasipanje, prevelika infiltracija, ulaz atmosferskih voda u sanitarnu kanalizaciju i nepostojanje sistema merenja i praćenja rada kanalizacije. Ako se ovome doda i činjenica da u jednom broju mesta, uključujući najveće gradove kao što su Beograd, Novi Sad, Subotica i dr., kanalizacija je izvedena većim delom po opštem sistemu pri čemu još uvek nisu započeti radovi na razdvajanju sanitarnih od kišnih voda i izvođenje odgovarajućih preliva za odvajanje viška kišnice, može se zaključiti da su potrebna značajna sredstva za rekonstrukcije i proširenja kanalizacione mreže u budućnosti kako bi se omogućilo efikasno sakupljanje i transport gradskih otpadnih voda.

### 6.2 Organsko opterećenje komunalnih otpadnih voda

Najnovije analize opterećenja zagađenjem komunalnih otpadnih voda u Srbiji [5] su zasnovane na rezultatima popisa stanovništva iz 2002. godine za područje centralne Srbije i Vojvodine. Prema popisu ukupno 7.498.001 stanovnika (u centralnoj Srbiji 5.466.009 i Vojvodini

319

Tabela 5.- Specifična opterećenja BPK<sub>5</sub> i ukupnim suspendovanim materijama (SM) po stanovniku

Zemlja	g BPK <sub>5</sub> /st.d.	g SM/st.d.
Francuska	60 - 80	70 - 80
Italija	90	90
Kanada, BAD	80 - 100	100 - 120
Japan	64 - 84	50 - 76
Nemačka	60	70
Švajcarska	75	100

Najčešće se primenjuju sledeće vrednosti jediničnih opterećenja zagađujućim materijama po (ekvivalentnom) stanovniku, prema ATV-DVWK (Nemačko udruženje za vode, otpadne vode i otpad):

Tabela 6.- Specifična opterećenja zagađujućim materijama prema uputstvima ATV-DVWK

Parametar	BPK <sub>5</sub>	HPK	SM	TKN*	Ortin-foforati
Jed. opter. g/dan/ES	60	120	70	11	2,5

\* ukupni azot po Kjeldahlu

## 6. KANALISANJE I PREČIŠĆAVANJE OTPADNIH VODA U REPUBLICI SRBIJI

### 6.1 Kanalizacioni sistemi

Prema najnovijim podacima [4], na kanalizacione sisteme je priključeno oko 46% stanovništva centralne

318

2.031.992) je živelo u 4715 naselja (4247 u centralnoj Srbiji i 468 u Vojvodini). Kako se EU Direktiva 91/271/EEC odnosi na naselja  $\geq 2000$  ES to je i analiza obuhvatila procenu organskog opterećenja koje se emituje iz ovih naselja. Naselja su razvrstana u grupe prema broju ES procenjenih za organsko opterećenje od stanovništva i pratećih delatnosti. Od ukupno 434 naselja većih od 2000 ES čak se 208 nalaze u Vojvodini.

Tabela 7. sadrži pregled procenjenog ukupnog organskog opterećenja iz naselja jednakih ili većih od 2000 ES za centralnu Srbiju i Vojvodinu [5]. Organsko opterećenje prikazano u tabeli odnosi se na otpadne vode od celolupnog stanovništva i pratećih delatnosti, bez obzira da li su priključeni na javnu kanalizaciju ili nisu, jer prema odredbama EU Direktiva organizovano odvođenje svih komunalnih otpadnih voda predstavlja trajnu obavezu države. Napominje se tabela ne obuhvata opterećenja od velikih industrijskih zagađivača.

### 6.3 Postrojenja za prečišćavanje komunalnih otpadnih voda u R. Srbiji

U periodu od šezdesetih godina do danas u Srbiji je izgrađeno više od četrdeset postrojenja za prečišćavanje komunalnih otpadnih voda, od kojih su neka samo započeta. Postrojenja koja rade se suočavaju sa nizom problema u radu: zasipanje peskom, hidraulička preopterećenja usled infiltracije i ulaska atmosferskih voda, akcidentna

320



okvira koji je adekvatan za realizaciju ovako obimnog i kompleksnog cilja.

Dosadašnja iskustva ukazuju da je cena 1 m<sup>3</sup> prečišćene gradske otpadne vode, u zavisnosti od stepena prečišćavanja, lokalnih uslova i veličine postrojenja, u rasponu od 0,15 do 0,5 Evra po 1 m<sup>3</sup> [6]. U ovu cenu su uključeni operativni troškovi (fiksni i varijabilni), troškovi kapitala i amortizacija.

Da bi se obezbedila primena dva osnovna principa na kojima se temelji politika u oblasti voda u EU, a to su "zagađivač plaća" i "naknada za usluge u domenu voda mora da obezbedi pokrivanje svih troškova obezbeđenja usluge" biće potrebno znatno povećanje cene komunalnih usluga za vodosnabdevanje i kanaliziranje (cena vode), uz uspostavljanje novih sistemskih rešenja koja će obezbediti odgovarajuće uslove za plasman sredstava u različite sektore komunalnih delatnosti, vodoprivrede i obrazovanja.

## 7. ZAKLJUČAK

Nedovoljni izvori finansiranja i zastarela zakonska regulativa i dalje usporavaju proces izgradnje kanalizacionih sistema i postrojenja za prečišćavanje gradskih otpadnih voda u Srbiji. Dugogodišnja praksa pre niskih cena usluga vodosnabdevanja i kanaliziranja je već dovela u prošlosti do degradacije više izgrađenih postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda, i kompromitovanja ideje o nužno-

325

**Dr Dejan Gavran, dipl. inž. grad.<sup>1</sup>**  
**Mr Dušan Nikolić, dipl. inž. grad.<sup>2</sup>**

### PROSTORNO PROJEKTOVANJE PUTEVA

0352-2733,42 (2009), p. 327-353

UDK: 004.896 : 625.72

IZVORNI NAUČNI ČLANAK

#### Rezime

Savremeni CAD sistemi za projektovanje puteva bazirani su uglavnom na 2D konceptu. To znači da se, nakon formiranja 3D modela terena, proces projektovanja uglavnom vraća na tradicionalne 2D projekcije- situacione planove, podužne profile i poprečne profile. Radeći u gradskom ili prigradskom okruženju ili na projektima složenih denivelisanih raskrsnica, uvek se nameće potreba za simultanim (jednovremenim) projektovanjem usko povezanih puteva, rampi, nadvožnjaka itd. Pojedinačan i izolovan tretman ovih objekata, korišćenjem standardnih 2D projekcija (podužnih i poprečnih profila), nikada ne daje najbolji rezultat. Ovaj rad predstavlja potpuno 3D orijentisan CAD paket (GCM) za projektovanje puteva, razvijen od Dejana Gavrana, kao i njegovu primenu na konkretnim projektima. Čitav koridor puta, uključujući

<sup>1</sup> Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu

<sup>2</sup> Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu  
Rad primljen septembra 2009.

327

sti prečišćavanja otpadnih voda. Uvođenje prečišćavanja otpadnih voda će zahtevati znatno povećanje cena usluga vodosnabdevanja i kanaliziranja.

## 8. LITERATURA

- [1] D.LJUBISAVLJEVIĆ, B.BABIĆ, A.ĐUKIĆ: *Prečišćavanje otpadnih voda*, Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd, (2004)
- [2] METCALF & EDDY: *Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, Reuse*, McGraw Hill inc., NY USA (1991)
- [3] B.JOVANOVIĆ, A.ĐUKIĆ, V.RAJAKOVIĆ-OGNJANOVIĆ, L.J.RAJAKOVIĆ: *Pregled savremenih metoda za prečišćavanje komunalnih otpadnih voda postupkom aktivnog mulja*, Zbornika radova konferencije "Otpadne vode, čvrsti otpad i opasan otpad", UTVSI, Beograd, (2007)
- [4] Ministarstvo poljoprivrede, šumarstva i vodoprivrede, Republička direkcija za vode: *Instrumenti za razvoj sektora voda u Republici Srbiji*, Institut za vodoprivredu "Jaroslav Černi" i Ekonsmski institut, Beograd (2006)
- [5] <http://www.minpolj.gov.rs/>
- [6] A.ĐUKIĆ, D.LJUBISAVLJEVIĆ: *Prečišćavanje otpadnih voda naselja i industrije Vrbasa i Kule*, Zbornik radova konferencije "Voda 2008", Srpsko društvo za zaštitu voda, Beograd, (2008)

326

sam put, nadvožnjake, podzemne objekte, susedne puteve, pa i druge objekte može se modelirati tehnikama pokazanim u ovom radu. Na kraju se, sa ovakvog 3D modela, specijalnim softverskim alatima generišu podužni i poprečni profili, nivelacioni planovi i druga projektna dokumentacija.

**Ključne reči:** CAD, 3D, 3D model, projektovanje puteva

### ROAD DESIGN IN 3D

#### Abstract

CAD systems for road design are mostly 2D oriented. It means that, after starting with the 3D terrain model, design process turns back to the traditional 2D documents - plans, longitudinal profiles and cross-sections. While working in urban/suburban environment or on complex multilevel junctions, there is always a need of simultaneous design of tightly interrelated roads, ramps, overpasses etc. Treating them separately, by using standard 2D projections (profiles and cross sections), cannot yield the best results. This paper presents fully 3-dimensional CAD package (GCM) for road design developed by Dejan Gavran, as well as its use on particular projects. Entire corridor, including the road itself, overpasses, underground structures, neighbouring roads and other facilities, could be modelled by using techniques described herein. Fina-

328