Održivo upravljanje otpadnim produktima iz postrojenja za proizvodnju vode za piće

MARINA Z. JANJUŠEVI STRIŽAK, JKP "Beogradski vodovod i kanalizacija", Beograd

Originalni naučni rad

UDC: 628.16

DOI: 10.5937/tehnika1603477J

Kako je poreklo zagađujućih supstanci koje ugrožavaju održivost životne sredine devastiraju i njene strukturalne elemente, u poslednja dva veka prevashodno iz antroposfere, kao posledica rapidnog tehnoeconomskog razvoja, nameće se bezuslovna odgovornost oveka za opravak biosfere - kroz saniranje/umanjenje postojećeg i sprečavanje nastupajućeg deficita prirodnih resursa. Jedan od ultimativnih prioriteta opstanka svih živih formi egzistencije je voda, u antropogenom smislu svakako to znači i obezbeđenje dovoljno čiste pijaće vode u istoj količini kako nama tako i nastupajućim generacijama, što predstavlja definiciju održivog razvoja i važi za sve prirodne resurse. U ovom radu akcenat je na bitnom aspektu održivosti voda: upravljanje muljem od postrojenja za prečišćavanje vode, u konkretnom slučaju, vode za piće u funkciji prepoznavanja aspekata uticaja na sastav i smanjenje količine produkcije, moguće nastima ponovnog iskorišćenja i/ili što ekonomičnijeg zbrinjavanja.

Ključne reči: voda, mulj, zagađujuće supstance, održivi razvoj, prirodni resursi, postrojenje za proizvodnju pijaće vode, antropogeno zagađivanje, održiva rešenja

1. UVOD

Procesi kojima se zagađujuće supstance mogu transportovati i transformisati nakon njihove emisije u životnu sredinu, u međunarodnom rečniku definisani su terminom "the fate of pollutant" (sudbina zagađujuće supstance). Distribucija zagađujućih supstanci vrši se kroz biogeohemijske cikluse pri čemu obično dolazi do njihove transformacije, promene u fizičko-hemijskom obliku i formiranja jedinjenja koja mogu umanjiti, potpuno izgubiti ili rapidno povećati izvornu toksičnost, što je u velikoj meri funkcija fizičko-hemijskih osobina samih supstanci, fizičko-hemijske osobine okruženja kao i fizičkih uslova kojima su izložene. Većina isparljivih zagađujućih materija o igledno može se sa većom verovatnoćom transportovati kroz atmosferu i biti mobilnije u toplim i uslovima bržeg vazdušnog strujanja, dok se one više rastvorljive prenositi vodom, a povećanu mobilnost će imati tokom perioda jakih padavina. Tako će, zagađujuće materije zemljišta se daleko brže kretati kroz porozne šupljikave ili peščane strukture nego kroz sitno-zrnaste (npr. glinovite) forme tla.

Bez obzira na o igledne razlike između sfera životne sredine mnogi procesi i mehanizmi koji kontrolisu sudbinu zagađujućih supstanci su zajednički za sve njih. U svim sferama transport supstanci se može odvijati konvekcijom, advekcijom i difuzijom, suština hemijskih reakcija je slična jer je opseg i brzina prostiranja zagađujućih supstanci predodređena njihovom hemijskom i biohemijskom reaktivnošću, kao i činjenicom da su sve sfere životne sredine sastavljene od relativne zastupljenosti istih glavnih faza:

- Gasovita faza;
- Vodena faza;
- vrsta mineralna faza;
- Organske faze (gasovita, tečna, vrsta)

Kako je poreklo zagađujućih supstanci koje ugrožavaju održivost, devastiraju i strukturalne elemente životne sredine, u poslednja dva veka prevashodno posledica rapidnog tehnoeconomskog razvoja, nameće se bezuslovna odgovornost oveka za opravak biosfere - kroz saniranje/umanjenje postojećeg i sprečavanje nastupajućeg deficita prirodnih resursa.

Jedan od ultimativnih prioriteta opstanka svih živih formi egzistencije je voda, u antropogenom smislu svakako to znači i obezbeđenje dovoljno čiste pijaće vode u istoj količini kako nama tako i nastupajućim generacijama, što predstavlja definiciju održivog razvoja i važi za sve prirodne resurse. Da bi se ovaj

Adresa autora: Marina Janjušević Strižak, JKP "Beogradski vodovod i kanalizacija", Beograd, Kneza Miloša 27

Rad primljen: 28.04.2016.

Rad prihvaćen: 13.05.2016.

komplikovan zadatak sproveo neophodan je multidisciplinarni pristup što je i zaključeno još na jednoj od prvih Konferencija o zaštiti životne sredine, u Stockholmu 1972. god, potom u Mar del Plati 1977. u Rio de Ženeiru 1992. (Agenda 21), u Pekingu, 1996, u Parizu 1997, Hagu 2002, sve do Kopenhagena 2012, i dalje do danas. Sublimacija aktivnosti o vodama najviše je izražena kroz EU Direktivu o vodama 2000 (Framework Directive 2000/60/EC) i direktive (ima ih nekoliko, i biće navedene u skladu sa diskusijom o konkretnim problemima) o pravilima i parametrima kvaliteta otpadnih voda, tokovima otpada kroz parametre zagađenja životne sredine i njihovim sinergijskim dejstvima. [1-2-3-5]

U tom smislu, preporu uje se integralno upravljanje vodnim resursima, koje podrazumeva mnoge aktivnosti od kojih su za područje zemalja zapadnog Balkana najrelevantnije:

- razvoj i upravljanje vodama moraju biti zasnovani na sveobuhvatnoj saradnji, koja uključuje korisnike, planere i kreatore politike na svim nivoima,
- voda ima ekonomsku vrednost u svim svojim aspektima pa zato treba da bude prepoznata i kao ekonomsko dobro ne zanemaruju i njenu socijalnu ulogu,
- mobilizacija finansijskih resursa kritičan je moment od koga zavisi pravilno upravljanje vodnim resursima,
- potrebno je uvođenje upravljačkih mera koje će smanjiti potrebe za vodom i dati prednost korisnicima viših vrednosti,
- olakšati ostvarivanje konkretnih potreba za vodom ruralnih i urbanih prostora, prihvataju i savremene i uspešnije agrotehničke pristupe i metode, koji će osigurati snabdevanje poljoprivrednih dobara vodom, korišćenjem gradskih prečišćenih otpadnih voda, oborinskih voda sakupljenih u gradovima i sl,
- integralno upravljati površinskim i podzemnim vodama,
- pravovremeno uzeti u razmatranje i osigurati studije i projekte koji štite okolinu i uvažavaju uticaj prostorne i posebno vremenske nepovoljne raspodele voda na ekološki sistem,
- zadovoljiti osnovne količinske i zdravstvene potrebe stanovstva za vodom,
- održivim upravljanjem vodama zaštititi ekosisteme,
- bez oklevanja i efikasno, shvatiti i prihvatiti nova rešenja i sisteme kada se postoje i pokažu neodgovarajućim,
- upravljati vodnim resursima odgovorno, stalnim uključivanjem i praćenjem relevantnih parametara i angažovanjem javnosti.

Kao odgovor zahtevima održivosti, Srbija je napravila Nacionalnu strategiju održivog razvoja koja predstavlja pokušaj implementacije sublimisanih preporuka aktivnosti kao i prateće obavezne zakonske legislative u formi ekocentričnog koncepta.

2. UPRAVLJANJE MULJEM - ZAGAĐENJE VODE

U ovom radu akcenat je na bitnom aspektu održivosti voda: upravljanje muljem od postrojenja za prečišćavanje vode, u konkretnom slučaju, vode za piće u funkciji prepoznavanja aspekata uticaja na sastav i smanjenje količine produkcije i što ekonomski nije zbrinjavanje. Kako je jedno od osnovnih načela održivosti, upravo sprečavanje ili makar smanjenje zagađenja na samom izvoru, to je dobro osmišljen monitoring recipijenta/vodotoka od neprikosnovene važnosti. Kruženje vode na Zemlji predstavlja kvantitativno najobimniji biogeohemijski ciklus na Zemlji koji kao dinamičan pokretni sistem uzrokuje različite puteve kretanja opasnih materija u životnoj sredini, čiji poreklo može biti neorgansko, organsko ili mešovito. Kada se jednom nađu u hidrosferi, opasne materije mogu da podlegnu brojnim procesima u kojima se ili, razlažu do CO₂ i vode, ili ostaju u nepromenjenom obliku, ili, se transformišu u nova jedinjenja. Pod reakcijama u hidrosferi se podrazumevaju razni hemijski procesi: taloženje, rastvaranje, kiselo-bazne reakcije, hidroliza, oksido-redukcione reakcije. Tako, zagađenje vode grubo može da se podeli na: hemijsko (kiselinae, alkalije, razne soli, pesticidi, deterdženti, fenoli i dr.), fizičko (termalno/povećanje t⁰, boja, miris, radioaktivnost, suspendovane vrste materije, pesak, mulj); biološko (bakterije, virusi, alge, fekalije, lignini i dr).

PCBs (polihlorovani bifenili) su npr. vrsta opasnih materija koje mogu da se akumuliraju u sedimentu, jer predstavljaju gustete, nemešljive sa vodom, koje mogu da potonu na dno vodenog tela ili akvifera i akumuliraju se tamo kao tzv. "grudvice, mrlje" tene. Stotine tona otpada koji je sadržao polihlorovane bifenile je akumulirano u sedimentima u reci Hadson u Njujorku i predmet su žestoke debate o tome kako da se sanira ovo zagađenje.

Zagađujuće supstance mogu dospeti u vodu preko difuznih i/ili tačkastih izvora zagađenja (procednih voda sa deponija otpada, izlivanjem iz taložnih jezera / odlagališta toksičnog industrijskog otpada, curenjem iz kanizacionih sistema, spiranjem putem zemljišta, kiselim kišama...). Namerno ispuštanje opasnih materija u vodotokove se javlja kao problem u zemljama sa nedovoljno razvijenom kaznenom zakonskom regulativom iz oblasti zaštite životne sredine. Kako od karakteristika sirove vode recipijenta zavisi i izbor koagulaciono-flokulacionih i dezinfekcijskih sredstava

za njenu obradu do propisanih normativa, sve to sinergi ki posledici no, uz hemijski sastav upotrebljenih hemikalija i nusprodukte procesa koagulacija-flokulacija –sedimentacija, uz dezinfekciju (zaga enje putem DBP/disinfection by product), uti e na sastav otpadnih voda postrojenja, karakterizaciju i masu mulja kao produkta prerade u kome se koncentrisu taložljivi oblici svih materija u esnica.

Otpadne, zaga ene vode i neobra eni mulj spadaju u te ni otpad gde se neorganska-mineralna zaga enja manifestuju kao rastvorene mineralne soli, kiseline, baze, pesak, glina. Organska zaga enja su biljnog, ljudskog ili životinjskog porekla, a kako je voda univerzalni rastvara , sva zaga enja se javljaju u obliku rastvora, koloida i suspenzija, naj eš e izraženi u mg/l. U skladu sa fizi ko-hemijskim karakteristikama vode (temperatura, organolepti ka svojstva, pH, redoks potencijal, sadržaj gasova: CO₄, CO₂, bikarbonati, karbonati, tvrdo a, alkalitet, elektri na provodljivost, rastvoreni O, BPK, HPK, TOC, amonijak, nitriti NO₂, nitrati NO₃, j-nja fosfora, metali...). Za odre ivanje stepena zaga enosti te nog otpada najzna ajniji je sadržaj organskih materija i teških metala, a parametri koji to pokazuju su koli ina rastvorenog O, BPK, HPK, TOC.

Procesi koji troše kiseonik, kao jedan od naj eš e pra enih parametara organskog zaga enja u vodi, su:

- oksidacija organskih materija:

- oksidacija azotnih jedinjenja (potrebna su 3 mola kiseonika da bi se konvertovao 1 mol amonijaka preko nitrita u nitrate, ta faza traje znatno duže od prethodne, karakteristi no za otpadne vode):

- oksidacija gvož a, sumpora, ostalih redukcionih sredstava:

Na osnovu ovoga, izvodi se zaklju ak da je stepen zaga enosti vode definisan, i koli inom kiseonika potrebnog za proces razgradnje koju vrše aerobni heterotrofi (BPK), koli inom hemijski utrošenog kiseonika (HPK) koja raste sa prisustvom bionerazgradivih materija u vodama, kao i koli inom rastvorenog kiseonika u vodi. Potrošnja kiseonika je u direktnoj proporciji sa porastom temperature.

Tako podela zaga enosti voda u odnosu na koli inu rastvorenog kiseonika (ppm) na 20°C izgleda ovako [10]:

8-9

DOBRA

6,7-8

BLAGO ZAGA ENA

4,5-6,7

UMERENO ZAGA ENA

Ispod 4,5

TEŠKO ZAGA ENA

Ispod 4

OZBILJNO ZAGA ENA

Slika 1 - Kriva koja pokazuje zavisnost BPK od temperature u funkciji vremena za tri razli ite temperature (1 - prva faza, 2 - druga faza)

Ovo je samo jedan od na ina posmatranja stepena zaga enosti voda, a monitoring recipijenta treba sprovoditi kompleksno i multifunkcionalno, dok se u ovom radu pruža prioritet mogu nostima smanjenja i kontrole zaga enja na izvoru stvaranja, u postrojenju proizvod a a otpada tokom procesa bistrenja vode, i to s akcentom na mulj poreklom od dozirnih hemikalija. Konvencionalne metode prerade vode u zavisnosti od njenog porekla, kapaciteta i karakteristika podrazumevaju uklanjanje suspendovanih estica procesima aeracije, koagulacije (destabilizacijom koloida), flokulacije, taloženjem suspendovanog materijala, i dekantacijom na npr. granulisane peš ane filtere, preddezinfekcijom i dezinfekcijom.

Savremene metode podrazumevaju fizi ke, hemijske i biološke postupke koji obuhvataju više stepeni obrade kao što su: predobrada kroz egalizaciju sastava, ujedna avanje protoka, primarna obrada kroz postupke neutralizacije, korekcije pH vrednosti, oksidaciju, flokulaciju, sedimentaciju, uklanjanje organskih i neorganskih supstanci uz pomo savremene opreme i ekološki odgovaraju ih hemikalija; sekundarna obrada kroz aerobne i anaerobne postupke pre iš avanja biorazgradivih organskih materija, tercijarna obrada kroz denitrifikaciju, jonsku izmenu, adsorpciju, reverznu osmozu, u cilju uklanjanja jona, neprijatnih mirisa, neodgovaraju e boje, bionerazgradivih organskih materija i finalna obrada kroz dezinfekcijsko spre avanje razvoja patogene mikroflore hlorisanjem, ozonizacijom, UV zra enjem. Cilj svih ovih metoda je uklanjanje štetnih i toksi nih supstanci iz vode uz postizanje traženog kvaliteta.

Kroz pomenute procese, uz neophodan dodatak pranja filterskih instalacija i taložnica, dolazi do stvaranja određenih količina otpada u obliku procesnih otpadnih voda i mulja, kojima je potrebno upravljati na održiv način i vratiti ih u recipijent ili aplikovati u zemljište tako da ih pomenuti ekosistemi mogu prihvatiti bez uticaja trajne ili odložene devastacije, a sa tendencijom usvajanja preporuka EEA za „3R“ (reuse, reduce, recycling). Da bi se to uradilo na odgovoran način potrebno je:

- ispitati fizičko-hemijski i biohemijski sastav otpadnih voda i mulja, utvrditi da li sadrže toksine ne supstance pomoću u legislativno propisanih metoda i u kojoj meri u odnosu na postojeće zakonske uredbe o granicama vrednostima;
- izvršiti karakterizaciju vodenog tela u koje se namerava izvršiti ispuštanje na način opisan u zakonskoj legislativi (efluent, recipijent);
- izvršiti karakterizaciju tla u slučaju aplikacije mulja i/ili iskorišćenja u pogledu povećanja agrarnih potencijala zemljišne površine;
- izvršiti detekciju potencijalno hazardnih supstanci kako u samom otpadu tako i u prihvatnom inicijumu u koji će biti izvršena direktna ekspozicija otpada iz postrojenja za prečišćavanje vode.

3. MULJEVI IZ POSTROJENJA ZA PREČIŠĆAVANJE VODE ZA PIŠTINE

U ovom radu će biti razmatrani muljevi iz konvencionalnih postrojenja za prečišćavanje vode za ljudsku upotrebu i pištinu sa klasičnim procesom bistrenja kroz upotrebu koagulanata na bazi aluminijuma (alu.sulfata $Al_2(SO_4)_3$ i polialuminijumhidroksida PAC) i gvožđa kroz postupke taloženja i filtracije na granulisanim peštanim filterima. Dakle, može se reći da su muljevi ferični i alu-porekla. Kako je sadržaj vode u mulju iz postrojenja za prečišćavanje vode vrlo velik (do 96% i više), a suva materija se sastoji iz više mineralnih sastojaka nego organskih zbog dominantnog prisustva rastvorenih metalnih soli u obliku hidriksida poreklom iz koagulacionih baza, postavlja se pitanje mogu li efekata na okruženje zbog prisustva teških metala i isparljivih i poluisparljivih toksinih supstanci (SVOC, VOC) u količinama preko dozvoljenih granica za transport u životnu sredinu. Mulj se, u zavisnosti od karakteristika može odlagati u sirovom stanju ili se tretirati na odgovarajući način.

U Evropi i svetu rapidno raste interes za produkciju mulja, odlaganje i reciklažu. U cilju kontrole mogu li rizika uvedena je legislativa na evropskom i nacionalnom nivou (direktive EU o otpadnim vodama urbanih naselja zamenjena direktiva 98/15/EC o smanjenju sadržaja nepoželjnih polutanata u mulju

koji ograničavaju upotrebu i povećavaju cenu naknadnog tretmana; o kanizacionom mulju; IPPC-koja promovira princip sprečavanja i umanjenja zagađenja na samom izvoru uz pomoć BAT tehnika; Direktiva 86/278/EEC za upotrebu mulja u poljoprivredi; Direktiva 200/76/EC o granicama vrednostima za dioksine tokom insineracije otpada i muljeva i sl.). Muljevi su čak veći problem od otpadnih voda jer je uticaj zagađenja u muljevima uočljiviji a zagađujuće supstance u koncentrovanijem obliku. U Evropi, produkcija suvog mulja po stanovniku je 90 g/dan i potiče od primarnog, sekundarnog i tercijarnog tretmana otpadnih voda. Prema Direktivi 86/278/EEC na zemljištu namenjenom uzgoju prehrambenih namirnica koje se konzumiraju sirove, a u direktnom su kontaktu sa zemljom, zabranjena je aplikacija za period 10ms pre branja i u toku samog branja, dok ako se mulj primenjuje na zemljištima sa pH vrednošću ispod 6, države članice, uzimajući u obzir povećanu mobilnost i pristupačnost teških metala biljkama, smanjuje postavljene granice vrednosti u skladu sa Aneksom I A, na sledeći način [1-6]:

Tabela 1. Granice vrednosti teških metala u mulju prema Aneksu I [1]

Element	Granice vrednosti mg/kg dm			
	6<pH<7	5<pH<6	6<pH<7	pH=> 7
Cd	1-3	0,5	1	1,5
Cr	-	30	60	100
Cu	50-140	20	50	100
Hg	1-1,5	0,1	0,5	1
Ni	30-75	15	50	70
Pb	50-300	70	70	100
Zn	150-300	60	150	200

Tendencija je da mulj dobije komercijalni karakter i uvodi se pojam referentnog mulja sa karakteristikama datim u tabeli 2.

Tabela 2. Referentni mulj

Suva materija	6%
Organska materija	75% SM
Cink	1000mg/kg
Bakar	500mg/kg
Nikl	40mg/kg
Živa	3mg/kg
Kadmijum	3mg/kg
Olovo	200mg/kg
Azot (ukupni)	3,5% SM
P ₂ O ₅	3,5% SM
K ₂ O	0,2% SM

Direktiva 86/276/EEC definiše tri vrste mulja:

- mulj nastao na postrojenju za prečišćavanje komunalnih otpadnih voda;

- mulj iz septi kih jama i sli njih instalacija za tretman humanog telesnog otpada;
- mulj nastao pre iš avanjem i druga iji je od muljeva pod prvom i drugom stavkom.

Radi ekonomi nijeg zbrinjavanja mulja akcenat je na smanjenju mase i toksa njih karakteristika mulja na izvoru stvaranja da bi se pojeftinili ili, ako je mogu e potpuno izbegli dalji postupci obrade.

U tom smislu legislativno su definisane i analize mulja koje obuhvataju slede e parametre:

- maseni udeo suve materije izražen u %;
- maseni udeo ukupnog organskog ugljenika u suvoj materiji mulja izražen u %;
- pH vrednost mulja;
- maseni udeo ukupnog kiseonika u suvoj materiji mulja u %;
- maseni udeo ukupnog fosfora u suvoj materiji mulja u %;
- sadržaj teških metala u suvoj materiji mulja: kadmijum, bakar, nikl, olovo, cink, hrom i živa izražen u mg/kg,

- sadržaj slede ih polihlorovanih bifenila u suvoj materiji mulja izražen u mg/kg:
2,4,4'-trihlorobifenil,
2,2',5,5'-tetrahlorobifenil,
2,2',4,5,5'.pentahlorobifenil,
2,2',3,4,5,5'-heksahlorobifenil,
2,2',3,4,4',5,5'-heptahlorobifenil.
- sadržaj polihlorovanih dibenzodioksina / dibenzofurana u suvoj materiji mulja izraženih u mg/kg TCDD ekvivalenta.

Metode analize su:

- Odre ivanje sadržaja teških metala izvodi se nakon temeljne digestije kiselinama. Referentna metoda analize teških metala je atomska apsorpcijska spektrometrija. Granica determinacije teških metala koriš ene metode ne sme biti ve a od 10 % njegove grani ne detekcije.
- Referentna metoda odre ivanja sadržaja polihlorovanih bifenila i polihlorovanih dibenzodioksina/dibenzofurana je plinska hromatografija.

Tabela 3. Faktori za PCDD /PCDF

Polihlorovani dibenzodioksini/dibenzofurani (PCDD/PCDF) uz ije masene sadržaje se odre uju i pripadaju i faktori			
POLIHLOROVANI DIBENZODIOKSINI	FAKTOR	POLIHLOROVANI DIBENZOFURANI	FAKTOR
2,3,7,8-tetraCDD	1,0	2,3,7,8-tetraCDF	0,1
1,2,3,7,8-pentaCDD	0,5	1,2,3,7,8-pentaCDF	0,05
1,2,3,4,7,8-heksaCDD	0,1	2,3,4,7,8-pentaCDF	0,5
1,2,3,6,7,8-heksaCDD	0,1	1,2,3,4,7,8-heksaCDF	0,1
1,2,3,7,8,9-heksaCDD	0,1	1,2,3,6,7,8-heksaCDF	0,1
1,2,3,4,6,7,8-heptaCDD	0,01	1,2,3,7,8,9-heksaCDF	0,1
oktaCDD	0,001	2,3,4,6,7,8-heksaCDF	0,1
		1,2,3,4,6,7,8-heptaCDF	0,01
		1,2,3,4,7,8,9-heptaCDF	0,01
		oktaCDF	0,001

- Formula za izra unavanje TCDD ekvivalenta je:
 $TCDD\ ekvivalent = (A_i * F_i) + (B_i * F_j)$, pri emu je:

$TCDD\ ekvivalent$ u mg/kg suve materije mulja,

A_i srednja vrednost masenog sadržaja pojedinog PCDD-a izra unata kao aritmeti ka sredina iznosa dobijenih iz barem dva merenja u mg/kg suve materije mulja,

F_i faktor odre enog PCDD-a dat u tabeli 3,

B_i srednja vrednost masenog sadržaja pojedinog PCDF-a izra unata kao aritmeti ka sredina iznosa dobijenih iz barem dva merenja u mg/kg suve materije mulja,

F_j faktor odre enog PCDF-a dat u tabeli 3.

Za razliku od sadržaja dopuštenih teških metala referentnog uzorka, u tabeli 4 su prikazani dopušteni

sadržaji teških metala u reprezentativnom uzorku mulja.

Tabela 4. Dopusćen sadržaj teških metala

Teški metali	Dopusćeni sadržaj teških metala izražen u mg/kg suve materije reprezentativnog uzorka mulja
Kadmijum	5
Bakar	600
Nikl	80
Olovo	500
Cink	2000
Živa	5
Hrom	500

U tabeli 5 prikazan je dopušćeni sadržaj organskih supstanci, a u tabeli 6 - dopušćen sadržaj teških metala u reprezentativnom uzorku tla.

Tabela 5. Dopusćen sadržaj organskih supstanci

Organske supstance u mulju	Dopusćeni sadržaj organskih supstanci u mulju
Polihlorovani bifenili (PCB):	u mg/kg suve materije mulja
2,4,4'-trihlorobifenil	0,2
2,2',5,5'-tetrahlorobifenil	0,2
2,2',4,5,5'-pentahlorobifenil	0,2
2,2',3,4,5,5'-heksahlorobifenil	0,2
2,2',3,4,4',5,5'-heptahlorobifenil	0,2
Polihlorovani dibenzodioksini/dibenzofurani (PCDD/PCDF)	100 mg TCDD ekvivalenta* po kg suve materije mulja

*TCDD ekvivalent je zbir proizvoda sadržaja pojedinih polihlorovanih dibenzodioksina/dibenzofurana izraženih u ng/kg i faktora, a izražava se prema prethodno pokazanoj formuli

Tabela 6. Dopusćen sadržaj teških metala u reprezentativnom uzorku tla

Teški metali	Dopusćeni sadržaj teških metala u tlu izraženi u mg/kg suve materije reprezentativnog uzorka tla		
pH tla u 1 M rastvora KCl-a	5,0	5,5	pH>6,5
Kadmijum	0,5	1	1,5
Bakar	40	50	100
Nikl	30	50	70

Teški metali	Dopusćeni sadržaj teških metala u tlu izraženi u mg/kg suve materije reprezentativnog uzorka tla		
olovo	50	70	100
Cink	100	150	200
Živa	0,2	0,5	1
Hrom	50	75	100

Zabranjeno je korišćenje mulja koje bi moglo prouzrokovati prekoraćenje dopušćenih vrednosti teških metala u tlu.

3.1. Ispitivanja

Izvršena su značajna ispitivanja iz 26 postrojenja prerade vode za piće i iz površinskih vodotokova II klase u Floridi. Mulj se obično odlaže na kratak period u sistem laguna koji se nalazi u krugu pogona. Konačno, mulj biva odložen na odlagalište. Kako je odlaganje mulja produkovanog iz postrojenja za obradu vode za piće i skupo i teško, predložene su beneficije (iskoristivije) opcije. Pitanja su bila postavljena u pogledu potencijalnog uticaja upotrebljenog mulja na životnu sredinu. U cilju procene potencijalnog rizika aplikacije mulja iz procesa prerade vode za piće u zemljište, the University of Florida's Department of Environmental Engineering Sciences je napravio ugovor sa the Florida Center for Solid and Hazardous Waste Management za izvršenje karakterizacije mulja od prerade vode za piće i iz vodovodnih postrojenja u Floridi. Metod rada je bio:

Tokom razdoblja od četiri meseca (maj 2001 - avgust 2001), uzorci su uzeti iz postrojenja vodovoda u celoj državi. Uzorci mulja iz prerade pitke vode su prikupljeni iz korita za sušenje ili zaliha iz 26 vodovodskih objekata. Veliki broj analiza je izveden za karakterizaciju materijala [9].

Za hemijsku karakterizaciju sprovedene su analize ukupnog sadržaja metala i organskih supstanci. Gde je to bilo moguće, upoređeni su rezultati ukupnih analiza sa ciljnim granicama vrednostima za zemljište (SC-TLs). Valja napomenuti da te vrednosti nisu regulatorni standardi, nego skup korisnih ciljeva u proceni najboljeg na ina ekološkog upravljanja otpadom.

Nadalje, ovi ciljevi su uzeti dobrovoljno od strane onih koji žele da primjenjuju ekološku aplikaciju vrstog otpada u zemljište, kao parametri za procenu rizika. Test-proces sintetičkog taloženja mulja izluživanjem (A synthetic precipitation leaching procedure (SPLP) test) izveden je tako da bi se utvrdilo izluživanje polutanata: teških metala (aluminijum, arsen, barijum, kadmijum, hrom, bakar, gvožđe, olovo, mangan, živa, molibden, nikl, selen, srebro, natrijum,

cink), organskih komponenata (volatilna/isparljiva jedinjenja, poluisparljiva jedinjenja, pesticidi), i neorganskih komponenata (fluoridi, hloridi, sulfati, suspendovane estice). Koncentracije hemikalija detektovane u SPLP ekstraktima (skrtačica za muljevite ocedne vode dobijene sintetskom procedurom izluživanja, digestije mulja kiselinom), su upoređene sa FGGC (skrtačica za granične koncentracije komunalnih otpadnih voda efluenta) da bi se procenili potencijalni rizici ispuštanja.

3.2. Rezultati

Kompletni rezultati za sve analize ukupnog mulja i SPLP ekstrakata, iz procesa prerade vode za piće su sumirani. Metali u svih 26 uzoraka mulja su mereni i ukupno i nakon prevođenja u tečno stanje leaching metodom, dok je devet uzoraka analizirano na organske komponente uključujući i volatilna, semi-volatilna jedinjenja i pesticide [9].

1. Za analize ukupnih metala u uzorcima mulja, većina koncentracija je bila ili ispod granica detekcije ili su detektovani, ali ne u koncentracijama preko odgovarajućih dozvoljenih graničnih vrednosti za isto zemljište.

Međutim, svi uzorci alu i feri mulja pokazali su prekoranjenje dozvoljenih granica arsena. U sedam uzoraka kretnog mulja je premašen limit (0,8 mg/kg), 1 uzorak je iznad granice industrijskih limita zemljišta za arsen (3,7 mg/kg), i to min conc - 8,53 mg/kg, max - 16,89 mg/kg, i prosečnom vrednošću od 11,32mg/kg, dok je pH vrednost kod alu mulja oscilovala u uzorcima ispod preporučenih 6,5-8,5. Smatra se da je uzrokom pojave većih količina As, možda posledica sadržaja samog Al-sulfata kao tehnike hemikalije.

Jos jedan metal koji je povremeno prelazio granice je barijum. Jedan od 5 uzoraka alu mulja i 3 od 20 uzoraka kretnog mulja prekoračio ili su postavljene granične vrednosti (za direktnu ekspoziciju). Bakar je takođe detektovan iznad postavljenih limita SCTL u jednom od analiziranih uzoraka feri mulja.

Kako je otkriveno, svi uzorci alu-mulja imali su koncentracije Al već od dozvoljenih pri direktnoj ekspoziciji (na osnovu direktne izloženosti), dok su svi uzorci feri-mulja imali već koncentracije gvožđa od dozvoljenih, takođe za direktnu ekspoziciju.

2. Pri VOC analizi za 9 prikupljenih uzoraka, samo dva ciljane VOC jedinjenja (acetona i metilen hlorid), od 74 moguća, su konzistentno bila prisutna u uzorcima. Nijedna od koncentracija ne premašuje postavljene limite. Ovi analiti se obično koriste za ispuštanje laboratorijskog posuda (i organskih ekstrakata) u laboratorijama.

3. Ni u jednoj od analiza uzoraka ukupnog mulja nisu nađene SVOC komponente, a pesticidi (nitrogen-

fosforni i organohlorini) nisu bili prisutni do granice detekcije ni u jednom od uzoraka.

4. SPLP leaching test je izveden kako bi se utvrdilo da li će biti izlučevina teških metala (Al, As, Ba, Cd, Cu, Fe, Pb, Mn, Hg, Mb, Ni, Na, Se, Ag, Zn) za sve odabrane uzorke. Rezultati su bili upoređeni sa FGGC granicama za efluent. U tri uzorka ocednih ekstrakata (1 od alu-mulja a 2 od feri-mulja), izlučen mangan je bio preko vrednosti FGGC, dok u ocednim vodama-/ekstraktima kretnog mulja nije bilo ni jednog prekoračenja. Takođe, u većini ekstrahovanih uzoraka alu mulja i u dva uzorka feri mulja bile su prekoraćene granične vrednosti za Al, a svi uzorci feri mulja imali su već koncentracije za Fe (sve se odnosi na granične FGGC vrednosti).

5. Rezultati za SPLP VOC leaching test sa ZHE (Zero Headspace Extraction), samo dve VOC komponente su bile detektovane u izlučenim uzorcima. Acetona je bio konzistentno prisutan u svim ocednim uzorcima, dok je metilen hlorid bio detektovan jedanput u samo jednom uzorku. Koncentracije uzoraka prelaze dozvoljene limite za efluent. Međutim, poreklo ovih jedinjenja je najverovatnije laboratorijskog karaktera.

6. Nijedno od SVOC jedinjenja nije detektovano u izlučenim uzorcima. Pesticidi (nitrogen-fosforni i organohlorini pesticidi), nisu nađeni ni u jednom uzorku tokom SPLP leaching testa.

7. Neorganski joni poput hlorida i sulfata bili su nađeni u nekim od izlučenih uzoraka, ali koncentracija tih jona je bila ispod FGGC graničnih vrednosti. TDS koncentracija (ukupne rastvorene estice) u svih 28 SPLP ekstrakata nisu prešle dozvoljene granične koncentracije za TDS (500mg/l) sa jednim izuzetkom. Nisu nađeni fluoridi ni u jednom od SPLP ekstrakata.

Takođe, još jedno ispitivanje karakteristika mulja iz obrade vode za piće aluminijum sulfatom u sličnim uslovima sirove vode [7], kao i rad na istu temu [8], objedinili su mogućnosti ponovne upotrebe mulja iz procesa prerade vode za piće poreklom od aluminijumskog baznog koagulanta, na sledeće načine:

- upotrebom na područjima uznapredovale eutrofikacije gde se reakcijom mulja sa fosforom zauzima pomenuti proces i to na zemljištu i/ili u vodenim sredinama pošto se uzorkuje i ispita deo zemljišta i/ili dno vodenog tela, zbog predviđanja mogućih sinergijskih dejstava;
- ponovnom upotrebom kao koagulaciono sredstvo u postrojenju za obradu komunalnih otpadnih voda, takođe uz potrebne prateće analize.

3.3. Jedan proizvodni pogon u JKP BVK

Takođe, postoji i zapažanje prilikom procesa prerade pijave vode proizvodnog pogona na Belim vodama koji pripada preduzeću u JKP „Beogradski vodovod

i kanalizacija". Naime, ura en je komparacijski bilans produkcije mulja na osnovu stehiometrijskog prora una kroz upotrebu dva alu koagulanta, Al-sulfata i PAC-a/SACH P –Al(OH)₃Clb(SO₄)₃, u periodu od 02.01.2013. god – 31.01.2013. god i od 13.02.2013. god – 13.03.2013. god. pri protoku sirove re ne vode od 300 l/s i sli nim uslovima po parametrima sirove vode (NTU, pH, t, el. provodljivost i sl.).

Uzet je kao polazni osnov broj suspendovanih materija u sirovoj vodi na šta je dodata koli ina koagulanata sve egalizovno preko masenih bilansa, pri emu je u prvom slu aju dodato: Al₂(SO₄)₃, PAA, i CuSO₄, a u drugom slu aju: SACH P –Al(OH)₃Clb(SO₄)₃, PAA i CuSO₄.

Koli ina produkovanog mulja je bila za oko 38% manja sa PAC-om nego sa Al-sulfatom, što se vidi iz priloženih prora una:

$$M_R = [(SM + MO1 + MO2 + PAA) \cdot Q \cdot t] - [(mo1 + mo2) \cdot Q \cdot t],$$

gde su:

M_R - mulj iz prerade re ne vode;

SM - suspendovane estice izražene u kg;

MO1 - bazni koagulant metalne soli Al kao Al₂(SO₄)₃;

MO2 - sulfat Cu kao CuSO₄;

PAA - polielektrolit;

Q - koli ina sirove re ne vode (protok);

t - komponenta vremena;

mo1 - rezidualni parametar MO1 u istoj vodi;

mo2 - rezidualni parametar MO2 u istoj vodi;

pri emu se pomo u masenih bilansa ovi parametri dovode u iste jedinice.

Pri prora unu za P- Ai(OH)₃Clb(SO₄)₃, umesto MO1 se stehiometrijski, PAC dovodi u iste merne jedinice ostalih parametara, dok se pri prora unu za mulj u bunarskoj vodi koristi sli an obrazac:

$$M_B = [(SM + Feu) \cdot Q \cdot t] - [Fei \cdot Q \cdot t]$$

pri emu je:

M_B - mulj iz prerade bunarske vode;

SM - suspendovane estice;

Feu - gvož e u sirovoj bunarskoj vodi kao ulazni parametar;

Fei - gvož e u istoj (prera enoj) vodi kao izlazni parametar;

Q - koli ina/protok bunarske vode;

t - komponenta vremena.

Prema tome ukupni mulj procesa je zbir koli ina M_R i M_B :

$$M = M_R + M_B.$$

Tako u pomenutom tridesetodnevnom periodu, i prose nom protoku re ne vode od 300 l/s koli ina mulja uz tretman s PAC-om iznosi 33,4 t, pri emu je to stehiometrijski prevedeno na aluminijum - 0.526 t aluminijuma, dok tretmanom aluminijum sulfatom koli ina mulja za tridesetodnevni perid u prethodnom mesecu i sli nim uslovima, pri protoku od 300 l/s iznosi 53,3 t, gde je, tako e stehiometrijski prevedeno na aluminijum - 5.24 t aluminijuma. Ovo je prikazano u tabelama 7 i 8.

Tabela 7. 02. – 31. JANUAR 2013. RE NA VODA (tretman aluminijum sulfatom)

Al ₂ (SO ₄) ₃ Doza mg/l	Al ₂ (SO ₄) ₃ Potrošnja kg/ms	CuSO ₄ Potrošnja kg/ms	PAA Potrošnja kg/ms	SM mg/l	SM kg/ms	Q l/s	Q m ³ /ms	t dan	M T
45	33660	1000	186	23.7	18429	300	777600	30	53,3

Tabela 8. 13.02. – 13.03.2013. RE NA VODA (tretman PAC-om, PAC-a 1.23kg/dm³, sadržaj suve mat. 18,7%, sadržaj Al u PAC-u 5,35%)

PAC Potrošnja kg/ms	PAC Koli ina suve mat. (18,7%) kg	CuSO ₄ Potrošnja kg/ms	PAA Potrošnja kg/ms	SM mg/l	SM kg/ms	Q l/s	Q m ³ /ms	t dan	M T
52556	9827	831	77,8	29,3	22745	300	777600	30	33,4

Ukupan mulj u 2012. god na proizvodnom pogonu iz procesa prerade vode bio je 857.3 t od ega 785 t iz prerade re ne vode, a 72,28 t iz bunarske vode, pri prose nom protoku od 376 l/s sirove re ne i 310 l/s sirove bunarske vode. Pri ovim prora unima parametri izlaza su zanemareni jer teže nuli, tako da ne uti u na koli inu otpadnog mulja više od 0.03%.

4. ZAKLJU AK

Uzevši u obzir nešto ve u cenu PAC-a u odnosu na Al-sulfat, u pore enju sa troškovima upravljanja otpadnim produktima (transport, potencijalna obrada mulja, kao i otpadnih voda i sl.), benefit u korist polialuminijum hlorida kao koagulanta u preradi re ne vode, posmatrano s aspekta koli ine i karakterizacije

otpada preko parametra koncentracije rezidualnog aluminijuma, je sasvim izvestan. Ovo ne zna i ništa drugo, osim da održivo upravljanje otpadnim produktima iz postrojenja za proizvodnju vode za piće, podrazumeva i upravljanje (stručni odabir, monitoring i kontrolu) tehničkih hemikalijama koje se koriste u tehnološkom procesu prerade sirovih voda u vodu za piće. Takođe, neophodno je izvršiti detaljno ispitivanje otpadnih produkata, naročito mulja, ne samo radi karakterizacije već i radi kontrole prisustva opasnih komponenti i definisanja porekla i trendova dispozicije zagađujućih supstanci.

LITERATURA

- [1] Council directive 86 / 278 / EEC of 12 June 1986 on the protection of the environment, and in particular of the soil, when sewage sludge is used in agriculture, Official Journal of the European Communities, No L 181 / 6, 4 . 7 . 86, str. 6, 1986. [Internet] <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:31986L0278&from=LT>, <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/HR/TXT/PDF/?uri=CELEX:31986L0278&from=LT>
- [2] Towards efficient use of water resources in Europe, EEA Report No 1/2012, p. 40 (74 p.), Mar 27, 2012. [Internet] <http://www.eea.europa.eu/publications/towards-efficient-use-of-water>
- [3] Brauner J. Steven. Environmental Sampling & Monitoring Primer, Nonparametric Estimation of Slope: Sen's Method in Environmental Pollution, [Internet] <http://www.webapps.cee.vt.edu/ewr/environmental/teach/smpprimer/sen/sen.html>
- [4] Veldkamp RG. Modeling Phosphate Sludge Production, Water Science & Technology, 17 (2-3) 107-119, February 1985.
- [5] Gašić S, Klačnjak M, Tehnologija vode i otpadnih voda, Jugoslovensko udruženje pivara, Beograd, 1994.
- [6] Ödegaard H, Karlsson I. Chemical Wastewater Treatment – Value for Money, in Book: Chemical Water and Wastewater Treatment III: Proceedings of the 6th Gothenburg Symposium 1994, pp 191-209, Gothenburg, Sweden, June 20 – 22, 1994.
- [7] Uwimana A, Nhapi I, Wali UG, Hoko Z. Sludge characterization at Kadahokwa water treatment plant, Rwanda, Water Science & Technology: Water Supply, 10 (5) 848-859, December 2010.
- [8] Verlicchi P, Masotti L, Reuse of drinking water treatment plants sludges in agriculture: Problems, perspectives and limitations, in Proc. Technology transfer. Proceedings of the 9th International Conference on the FAO ESCORENA Network on recycling of agricultural, municipal and industrial residues in agriculture, Gargano, Italy, pp. 67-73, September 6-9, 2000.
- [9] Timothy G. Townsend, Yong-Chul Jang, Pradeep Jain, Thabet Tolaymat. Characterization of Drinking Water Sludges for Beneficial Reuse and Disposal, State University System of Florida, Florida center for solid and hazardous waste management, 2207 NW 13 Street, Suite D Gainesville, FL 32609, 89 p., November 2001.
- [10] Postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda (PPOV) u Srbiji – Anex 5, Vlada Republike Srbije, Ministarstvo poljoprivrede, trgovine, šumarstva i vodoprivrede, Plan upravljanja vodama za sliv reke Dunav, deo 1: Analiza karakteristika sliva Dunava u Srbiji (radna verzija), Institut za vodoprivredu "Jaroslav Čirni", Beograd, decembar, 2011.
- [11] White DM, Garland DS, Narr J, Woolard CR. Natural organic matter and DBP formation potential in Alaskan water supplies, Water Res., 37(4):939-47, Feb 2003.
- [12] Commission Directive 98/15/EC of 27 February 1998 amending Council Directive 91/271/EEC with respect to certain requirements established in Annex I thereof, Official Journal of the European Communities, p. 2, L 67, 7.03.1998. [Internet] <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:31998L0015&from=EN>, <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/HR/TXT/PDF/?uri=CELEX:31998L0015&from=EN>

SUMMARY

SUSTAINABLE MANAGEMENT OF DRINKING WATER PRODUCTION PLANT POLLUTANTS

During the last two centuries, the origin of pollution substances that are jeopardizing environmental sustainability by devastating its structural elements, are a consequence of rapid techno-economic development. It is the unconditional accountability of the human population to recover the biosphere, through remediation and diminution of the existing, as well as prevention of future extermination of natural resources. One of the ultimate prerequisites for survival of all living beings is water. Anthropogenically, it means it means providing enough drinking water in the same quantities for us, as well as for the future generations, applicable for all other natural resources. This essay puts the accent on the crucial aspect of water sustainability: sludge managing, from the water production plant, specifically drinking water, from the aspect of influence on structure, quantity, optional recycling and the most efficient disposal.

Key words: water, sludge, pollutants, sustainable development, natural resources, drinking water production plant, sustainable solutions