

POLICIKLIČNI AROMATIČNI UGLJOVODONICI U SEDIMENTIMA JEZERA PALIĆ I LUDAŠ

POLYCYCLIC AROMATIC HYDROCARBONS IN SEDIMENTS PALIC AND LUDAŠ LAKE

TANJA NENIN¹, ANĐELKA PETKOVIĆ¹, VESNA OBRADOVIĆ¹,
JASNA ČOLIĆ¹, JOVANA TONČIĆ¹, MARIJA PEROVIĆ¹,
TANJA VUČKOVIĆ¹

Rezime: U radu su prezentovani rezultati ispitivanja sadržaja policikličnih aromatičnih ugljovodonika (PAH) u uzorcima sedimenata jezera Palić i Ludaš. Primenjena je ekstrakciona metoda - ASE ("Accelerated Solvent Extraction"). Kvantifikacija PAH-ova izvršena je metodom gasno-masene spektrometrije (GCMS). Sadržaj ukupnih PAH-ova za jezero Palić iznosio je od 74,27 ug/kg (oktobar) do 681 ug/kg (novembar) a u decembru 2014. ispod 10 ug/kg. Nađene vrednosti ukupnih PAH-ova za sediment jezera Ludaš, na lokalitetu Sever, su značajno veće, od 10 mg/kg, 20 mg/kg pa do 149 mg/kg tokom celog ispitivanog perioda. U cilju preliminarne procene porekla zagađenja sedimenata jezera Palić i Ludaš primenjena je zavisnosti odnosa pojedinačnih PAH-ova, (Ok i sar. 2013).

Ključne reči: PAH, ASE, sediment

Abstract: The paper presents the results of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in sediments of Lake Palic and Ludas. We apply accelerated solvent extraction (ASE). Quantification of PAHs was performed by gas chromatography-mass spectrometry (GCMS).

¹ Tanja Nenin, dipl. fiziko-hemičar, Institut za vodoprivredu „Jaroslav Černi“, Jaroslava Černog 80, Beograd

¹ Anđelka Petković, dipl inž. teh, Institut za vodoprivredu „Jaroslav Černi“, Jaroslava Černog 80, Beograd

¹ Vesna Obradović, dipl. biolog, Institut za vodoprivredu „Jaroslav Černi“, Jaroslava Černog 80, Beograd

¹ Jasna Čolić, dipl inž. teh, Institut za vodoprivredu „Jaroslav Černi“, Jaroslava Černog 80, Beograd

¹ Jovana Tončić, dipl. fiziko-hemičar, Institut za vodoprivredu „Jaroslav Černi“, Jaroslava Černog 80, Beograd

¹ Marija Petrović, master inž. zaš. životne sred, Institut za vodoprivredu „Jaroslav Černi“, Jaroslava Černog 80, Beograd

¹ Tanja Vučković, master biolog, Institut za vodoprivredu „Jaroslav Černi“, Jaroslava Černog 80, Beograd

The total content of PAHs in Lake Palic was from 74,27ug/kg (October) to 681ug/kg (November), in December 2014, below 10 ug/kg. Found values of total PAHs in the sediment of Lake Ludas-North, were 10 mg/kg, 20 mg/kg and 149 mg/kg during tested period. For the purpose of a preliminary assessment of pollution origin sediments Lake Palić and Ludaš the ratio dependence of single PAHs has been applied, (Ok et al, 2013).

Key words: PAH, ASE, sediment

1. Uvod

Praćenje PAH-ova u životnoj sredini zahteva povećanu pažnju obzirom na njihovu rasprostranjenost kao i štetno dejstvo po životnu sredinu i zdravlje ljudi.

Policiklični aromatični ugljovodonici (PAHs) su perzistentni organski polutanti koji se koncentrišu u akvatičnoj sredini jer se slabo rastvaraju u vodi, ne volatiliraju, sporo i teško se mikrobiološki razgrađuju, a dobro se adsorbuju na organske materije u sedimentima. Njihov uticaj na akvatični ekosistem može da bude veoma dugotrajan kroz procese bioakumulacije u lancu ishrane i njihov ekološki rizik varira između toksičnosti i biodostupnosti za akvatičnu biotu.

Postoje hiljade PAH jedinjenja. Razlikuju se po broju i položaju aromatičnih prstenova i poziciji substituenta u baznom sistemu prstenova. Ekološka istraživanja se fokusiraju na PAH jedinjenja čija molekulska masa varira od 128,16 (naftalenstruktura sa dva prstena) do 300,36 (kronena, struktura sa 7 prstenova). Nesupstituisana PAH jedinjenja niže molekulske mase, koja sadrže 2 ili 3 prstena pokazuju značajnu akutnu toksičnost i druge štetne efekte na neke organizme, ali su nekancerogea, dok su PAH-jedinjenja koja sadrže 4 do 7 prstenova, manje toksična, ali mnoga od njih su kancerogena, mutagena ili teratogena za širok spektar organizama uključujući ribe i druge vodene životinje, vodozemce, ptice i sisare. Povećana učestalost neoplazije jetre kod riba direktno je povezana sa teško kontaminiranim sedimentima PAH jedinjenjima industrijskog porekla. Štetni su za ljudskog zdravlje u slučajevima ingestije ili inhalacije jer mogu biti teratogeni, mutageni/ili kancerogeni (Eisler, 1987).

PAH-ovi su uglavnom rezultat nekompletnog sagorevanja ugljovodonočnih goriva. Glavni antropogeni izvor PAH-ova su otvoren plamen, emisija izduvnih gasova, gasna postrojenja (MPG) i domaći sistem grejanja. Njihovo poreklo može biti i od dijageneze organske materije, ili od drugih izvora poput brodskog goriva, otpadnih rezidua, kerozinskog ulja i drvnih konzervanasa. Njihov transport kroz atmosferu ima za rezultat akumuliranje u zemljištu i jezerskim sedimentima, usled njihove velike hidrofobnosti i otpornosti na mikrobiološku razgradnju.

Zemljište i jezerski sedimenti su zahvalan medijum sa aspekta praćenja „istorijskog“ opterećenja životne sredine ovim jedinjenjima i proceni antropogenog uticaja. U vezi s tim postoje brojne publikacije rezultata sadržaja PAH-ova u jezerskim sedimentima sa različitih lokacija i nadmorskih visina. Određivanje PAH-ova u ekološkim istraživanjima životne sredine fokusira se na merenju koncentracija 16 PAH-ova: naftalen (NAPH), acenaftilen (ACE), acenaften (ACY), fluoren (FLO),

fenantren (PHE), antracen (ANT), fluoranten (FLA), piren (PYR), benzo(a)antracen (BaA), krizen (CHR), benzo(b)fluoranthren (BbF), benzo(k)fluoranthren (BkF), benzo(a)piren (BaP), indeno(1,2,3-cd)piren (IcdP), dibenzo(a,h)antracen (DahA) i benzo(g,h,i)perilen (BghiP). Ovi PAH-ovi su uključeni kao prioritetni zagađivači na listi EPA (Environmental Protection Agency) i njihova koncentracija se često koristi kao mera rizika (Bogdal i sar., 2011).

Uzorci sedimenata jezera Balaton (Bodnár i sar, 2004), najvećeg jezera Centralne Evrope i uzoraka sakupljenih sa lokacija 27 gradova analizirani su radi utvrđivanja distribucionog modela PAH-ova i njihove korelacije odnosa izvor-ispust. Nađeno je da je prosečna koncentracija PAH-ova 132 ug/kg suve mase za sve gradove i dubine uzorkovanja (11-1734 ug/kg). Koncentracija ukupnih PAH-ova u lukama kretala se u opsegu 930 -950 ug/kg. Odnos PHE/ANT i FLU/PYR indicira da većina uzoraka pokazuje pirogeno poreklo PAH-ova. Ujedno je i konstatovano da su gornji slojevi (do 10 cm) sedimenta značajnije zagađeniju u odnosu na donje slojeve.

Sadržaj ukupnih PAH-ova određivan je u sedimentima jezera velikih nadmorskih visina na Pirinejima (jezero Redon) i na Tatrama (jezero Ladova). U jezeru Redon (Pirineji), koncentracije PAH jedinjenja su se kretale od 760 ug/kg (površinski sloj 0-2 cm) do 87 ug/kg (slojevi dubine 8 -10 cm), a 12.000 ug/kg (površinski sloj 0-2 cm) do 3000 ug/kg (slojevi dubine 6 -8 cm) u jezeru Ladova – Tatre (Grimalt i sar., 2004). U 27 jezerskih sedimenata sa lokacija visokih Tatri (Istočna Evropa) nađene koncentracije PAH-ova kretale su se u opsegu 1800 ug/kg do 30.000 ug/kg. Profil detektovanih PAH-ova je bio uniforman i uporediv sa onim primećenim u aerosolu i snegu i ukazao je da je atmosfersko deponovanje-dispozicija najdominantnija putanja kontaminacije sedimenta PAH-ova u ovim jezerima (Drooge i sar., 2011).

Prisustvo PAH-ova određivano je i u sedimentima najdubljeg jezera na svetu- jezera Bajkal. Uzorci su sakupljeni sa 15 stanica 4 regiona jezera Bajkal. Sadržaj ukupnih PAH-ova sedimenata Bajkalskog jezera (Rusija), kretao se u opsegu 219,81 ng/g do 1255,56 ng/g (Ok i sar., 2013). Za dodatnu identifikaciju izvora zagađenja PAH-ovim u Bajkalskom jezeru sprovedena je analiza odnosa izomera PAH-ova poput odnosa ANT/(ANT+PHE) prema FLU/(FLU+PYR) (Ok i sar., 2013) što je ukazalo na njihovo poreklo usled sagorevanje fosilnih goriva, otpada i pašnjaka.

Intersantni su podaci sadržaja ukupnih PAH-ova sedimenata iz kanala grada Delfta (Holandija) čija se koncentracija kretala od 18 mg/kg (kanali van grada) do 83 mg/kg (kanali unutar grada), a uzorkovano je ukupno 51 lokacija u periodu između 1991–1996. g (P. Kelderman i sar., 2000). Izvori iz literature za jezera sa područja Evrope dali su opsege koncentracije PAH-ova kao i procenu porekla (pirogeno ili od naftnih derivata) na osnovu odnosa predstavnika pojedinačnih PAH-ova. U većini slučajeva dominantna jedinjenja su fluoranten (FLU) i piren (PYR). Molekularni oblik PAH-ova za svaki izvor je kao otisak prsta. Pirolitički aromatični ugljovodonici mogu se okarakterisati u širokom opsegu molekulske težine dok petroleumski ugljovodonici su dominantni u PAH-ovima najmanje molekulske mase. Drugi način procene porekla PAH-ova je grafik zavisnosti odnosa

koncentracija PHE/ANT u funkciji odnosa FLU/PYR (Bodnár i sar, 2004). Na osnovu termnodinamičkih razmatranjima zone sa visokim odnosom PHE/ANT i niskim FLU/PYR ukazuju na naftno poreklo. Visok odnos PHE/ANT i visok FLU/PYR ukazuju na pirogeno poreklo. Ova dva odnosa moraju se prostudirati simultano radi pouzdane procene izvora zagađenja PAH-ovima.

Paličko jezero predstavlja značajan resurs, zbog geološko-ekološkog karaktera, zaštićeno prirodno dobro, Park prirode. Opravdanosti sprovođenja bilo kakvog projektnog rešenja treba da prethodi lociranje i zbrinjavanje tačkastih izvora zagađenja čija je važna stavka praćenje fizičko-hemijskih parametara sedimenta.

2. Opis lokaliteta

Paličko jezero spada u grupu plitkih, manje ili više zaslanjenih prirodnih jezera eolskog porekla koja su nastala na kontaktu Subotičko-bajske peščare i Bačkog lesnog platoa. Samo jezero se nalazi na 102 m nadmorske visine, izduženog je oblika, dugo oko 8 km, sa širinom između 200–800 m. Istočni deo jezera se pruža u pravcu sever–jug (dužina oko 2,5 km), a dalje se nastavlja prema Subotici u pravcu istok–zapad u dužini od 5,5 km. Zahvata površinu od 500 ha (oko 4,7 km²), sa prosečnom dubinom od 2–3 m što mu daje ukupnu zapreminu od 10 miliona m³ vode. Pripada natrijum bikarbonatnom tipu jezera. Korito jezera je branama podeljeno na 4 fizičke celine (sektori I, II, III i IV) između kojih je nivo regulisan ustavama. Sektor I se sastoji od tri lagune koje zajedno sa uređajem za prečišćavanje otpadnih voda (UPOV) čini centralni sistem za prečišćavanje otpadnih voda grada Subotice. Sektor II (režim I stepena zaštite na kome se nalaze 4 ostrva – „Ptičija ostrva“) i III (režim II stepena zaštite) su poznati pod nazivom „Ribnjaci I i II“ i služe za kondicioniranje i zaštitu kvaliteta vode sektora IV koji predstavlja turistički deo jezera (režim III stepena zaštite).

Po međunarodnoj IUCN klasifikaciji prostor prirodnog dobra (jezerski i kopneni ekosistemi) spada u IV kategoriju, kao zaštićeno područje upravljanja staništima i vrstama (Habitat and species management area). Zabeleženo je prisustvo 210 vrsta ptica, od kojih se na ovom području gnezdi oko 100 vrsta. „Ptičija ostrva“, veštačka ostrva podignuta od isušenog mulja prilikom sanacije jezera sedamdesetih godina 20. veka, predstavljaju jedino gnezdište crnoglavog galeba (*Larus melanocephalus*) u Srbiji. Jezero i ostaci vlažnih staništa uz obalu omogućuju opstanak brojnim zaštićenim i strogo zaštićenim vrstama vodozemaca i sisara, od kojih su najznačajniji slepi miševi i vidra (*Lutra lutra*). Ekološki kompleks Paličkog i Ludaškog jezera ima ključnu ulogu u opstanku metapopulacije vidre na slivu Kireša. Na zaštićenom području je zabeleženo 176 strogo zaštićenih vrsta, od kojih mali vranac (*Phalacrocorax pygmaeus*) i patka njorka (*Aythya nyorca*), spadaju u grupu najugroženijih životinja na Zemlji.

Ludaško jezero pripada eolskom tipu jezera. Ovo jezero dugačko 4 km i široko 200 do 300 m, smešteno je u depresiji na kontaktu između lesne zaravni Bačke i Subotičke peščare. Dok se zapadna obala blago izdiže iz jezera, istočna obala predstavlja lesnu terasu visoku do 6 m. Pritoka, ali i otoka jezera je rečica Kireš koja

prikuplja vodu sa peščara u Mađarskoj. Pored ove rečice, Ludaško jezero ima još jednu utoku. To je kanal Palić–Ludaš koji je preuzeo ulogu kanala Bege. Kanal Palić–Ludaš je prokopan za vreme sanacije Palićkog jezera. Njegova uloga je da iz Palića odvodi otpadne vode što je dovelo do pogoršanja ekološkog statusa Ludaša. Ludaško jezero je: Međunarodno značajno područje za ptice (Important Bird Areas) – IBA; Značajno biljno područje Evrope (Important Plant Areas in Europe) – IPA; Emerald područje i Ramsarsko područje.

Po uzoru na istraživanja sadržaja PAH-ova u sedimentu evropskih jezera (Radon-Prineji, Ladova-Tatra, Bajkalskog jezera) kao i rezultati merenja sadržaja ukupnih PAH-ova planiskih jezera u okviru Emerge projekta (Drooge i saradnici 2011), sprovedeno je uzorkovanje sedimenta na po dve lokacije jezera Palić i jezera Ludaš (AP Vojvodina). Uzorkovanje je obavljeno u četvrtom kvartalu 2014. g. Istraživanje je izvršeno sa ciljem utvrđivanja sadržaja PAH-ova (pojedinačnih i ukupnih), preliminarna procena njihovog porekla (petrogeni ili pirogeno) kao poređenje dobijenih rezultata sa rezultatima iz literature za jezera sa područja Evrope (Seleši i sar., 2006).



Slika 1. Mapa terena Palićko jezero i Jezero Ludaš

Na slici 1 prikazane su lokacije ključnih tačkastih izvora zagađenja. U literaturi i studijama sumirani su rezultati analize vode u lociranim tačkama. Vodu jezera karakterišu visoke pH vrednosti, zelena boja, mala providnost, velika količina suspendovanih, mineralnih i organskih materija, visoke koncentracije nutrijenata, neujednačen i nepovoljan režim kiseonika tokom godine. Na osnovu uredbe o kategorizaciji, jezero je svrstano u II – III klasu voda (Sl. Glasnik RS 50/12).

3. Eksperimentalni deo

Eksperimentalni deo sastojao se u sprovođenju procedure uzorkovanja, ekstrakcije ispitivanih kontaminanata (PAH) iz sedimenta, injektovanja uparenih ekstrakata, GC&MS analize i obrade rezultata uz pomoć softvera Chemstation MSD.

3.1. Procedura uzorkovanja

Uzorkovanje je vršeno na četiri lokacije: Palić-Jahting Klub (slika 1., tačka 3); Palić-Muški štrand (slika 1 tačka 2); Ludaš-sever (slika 1. tačka 5.) i Ludaš jezero – jug (slika 1. tačka 6.). Maksimalna dubina uzorkovanja je iznosila 2 m. Uzorkovanje sedimenta je sprovedeno u skladu sa procedurama i postupcima SRPS EN ISO 5667-1:2008 i ISO 5667-12:2005. Sedimenti su zahvatani Van-Veen bagerom kao poremećeni i pakovani u adekvatnu ambalažu. Transportovani su do laboratorije uz hlađenje u frižiderima sa kontrolisanom temperaturom. Sve analize su obavljene u Laboratoriji za vode, Instituta za vodoprivredu, “Jaroslav Černi” iz Beograda u standardom propisanom roku.

3.2. Procedura ekstrakcije i analize PAH-ova iz sedimenta

Primenjena je savremena metoda ekstrakcije PAH jedinjenja pod pritiskom-ASE tehnika (Accelerated Solvent Extraction, na uređaju ASE 350, Dionex, Thermo Scientific (Murphy i sar., 2000). Uzorak sedimenta je osušen na temperature 35 do 40°C (da se izbegnu gubici lako isparljivih PAH-ova) tako da sadržaj vlage ne bude veći od 10% a potom usitnjen na granulaciju ispod 1mm. Odmerena količina uzorka (oko 5 g) homogenizuje se u avanu sa 1,5 g dijatomejske zemlje i prebaci u ćeliju za ekstrakciju od nerđajućeg čelika, zapremine 34 ml). Doda se interni standard 0,5 ug (smesa 6 deuterisanih PAH-ova, ISM-560-Ultrascientific). Uslovi ekstrakcije: 100°C; 1500 psi; vreme zagrevanja u peći 5 min; ekstrakciona smeša: heksan (p.a. Fisher Chemicals) i aceton (p.a. J.T.Baker) u zapreminskom odnosu 1:1; Ukupno vreme ekstrakcije iznosi oko 14 minuta. Dobijeni ekstrakti upareni su do zapremine 1ml na Rotavapor 210/215, (Buchi, Švajcarska). Opisana procedura ispunjava zahteve U.S.EPA Method 3545. Za razdvajanje koristi se kapilarna kolona HP-5MSI(19091S-433): 30 m x 0,250 mm x 0,25 um (Aglient). Snimanje hromatograma obavlja se sledećim uslovima na Aglient GC7890A: početna T peći 50°C; početno vreme 4 minuta; Rampa 8°C/min do 310°C, 10 min.; temperatura injektora 250°C; Mod: Pulsed splitless; pritisak 8,85 psi; pulse pressure 30psi; injekciona zapremina 1ul; gas helijum; početni protok 1ml/min. Uslovi podešavanja masenog spektrometra: transfer linija 280°C; Temperatura MS kvadrupola 150°C; temperature jonskog izvora: 230°C. Ukupno vreme snimanja hromatograma 46,50 minuta.

4. Rezultati i diskusija

Radi potvrde kvaliteta merenja sproveden je “recovery” test preciznosti za PAHove za koncentraciju 1ug/ml (koja odgovara analitičkom nivou od 0,2 mgkg⁻¹). Za proveru reproduktivnosti metode upotrebljen je CRM – BNAs-Sandy Loam CRM 143, Lot.No. LRAA4754, FLUKA-Analytical. Relativna standardna devijacija za 6 dnevnih merenja spajkovanog standarda PAH-a na “nultom” sedimentu, za koji je prethodno utvrđeno da ne sadrži PAH-ove, kreće u opsegu 5,13% za naftalen do 9,52% za krizen, što je više nego zadovoljavajući rezultat prema zadatim kriterijumima validacije i verifikacije metode (do 20%). Ocenu reproduktivnosti metode vršena je preko z-score-a prema sledećoj jednačini:

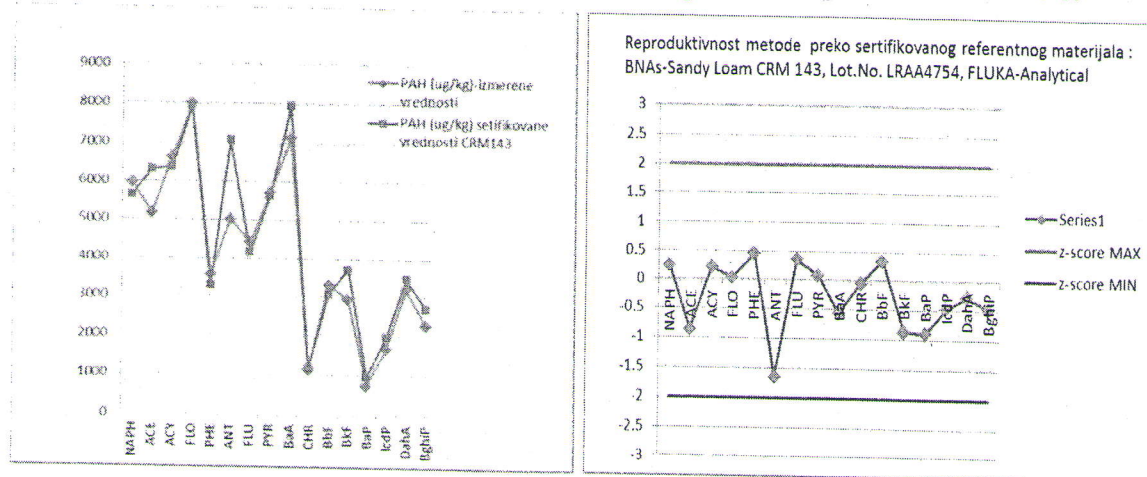
$$z - score = \frac{(X_{izm} - X_{CRM})}{SDPA}$$

gde je X_{CRM} – vrednost pojedinačnog PAH-a uzeta iz Sertifikata CRM 143; X_{izm} – vrednost CRM143 nakon ekstrakcije na Dionex ASE 350, određena metodom GC&MS spektrometrije; SDPA-standardna devijacija, podatak iz Sertifikata CRM 143.

Na slici 2. prikazana su vrednosti z-score pojedinačnih PAH-ova dobijene nakon ekstrakcije 0,7765 g CRM-143 i snimanje na GC&MS. Vrednost z-score-a za svaki pojedinačni PAH su ispod kriterijuma prihvatljivosti ($-2 \leq z\text{-score} \leq +2$), utvrđenim na međulaboraotrijskim ispitivanjima (PT-scheme) i kreće se u opsegu -1,65 (Fluoren) do +0,45 (Antracen).

Rezultati ispitivanja sadržaja PAH-ova u sedimentima jezera Palić i Ludaš u period oktobar – decembar 2014. na četiri lokacije (Muški štrand- MK, Jahting klub- JK, Ludaš jezero - Jug i Ludaš -Sever prikazani su na slikama 3 i 4. Sadržaj pojedinačnih PAH-ova u uzorcima sedimenta (ug/kg) prikazan je na slici 3. Za četiri ispitivane lokacije i može se konstatovati da fluoranten dostiže maksimum za sve ispitivane lokacije kao i periode uzorkovanja.

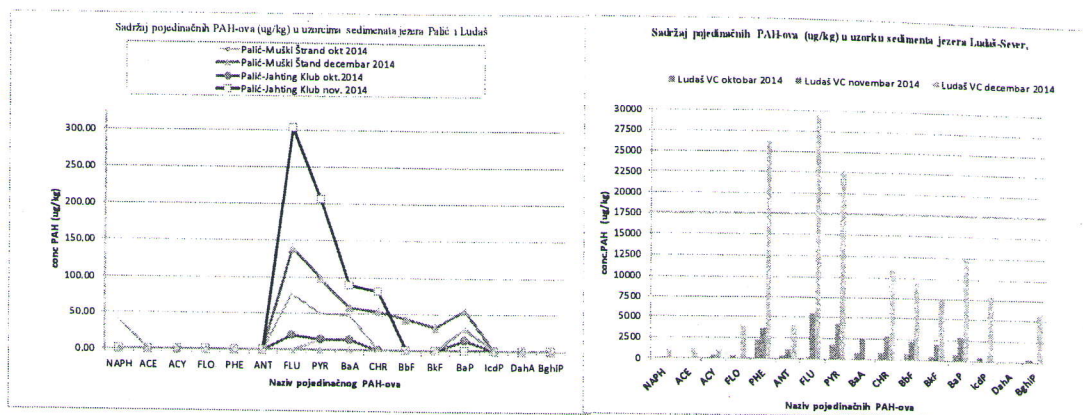
Detektovane vrednosti fluorantena kreću se od 20 ug/kg za lokaciju Palić-JK oktobar 2014, 80 ug/kg Ludaš-Jug decembar 2014, 140 ug/kg Palić-MŠ decembar 2014 i maksimalna vrednost od 300 ug/kg za lokaciju Palić-JK novembar 2014. Od ostalih pojedinačnih PAH-ova slede PYR, BaA, CHR, B(b/k)F i BaP u koncentracijama oko 10 ug/kg u oktobru i 100 ug/kg u decembru 2014. za PYR (Palić-JK) odnosno 15 ug/kg i 210 ug/kg za lokaciju Palić-MŠ. CHR i B(b/k)F se kreće od 80 ug/kg za Palić-JK novembar 2014 pa do 50 ug/kg Palić-MŠ decembar 2014.



Slika 2. Reproductivnost metode za određivanje PAH-ova u sedimentu GC&MS tehnikom, kontrola kvaliteta sa sertifikovanim referentnim materijalom: BNAs-Sandy Loam CRM 143, Lot.No. LRAA4754, FLUKA-Analytical

BaP najviši maksimum ima 50 ug/kg za Palić-MŠ decembra 2014 30 ug/kg Ludaš-Jug oktobra 2014 i 15 ug/kg Palić-JK okt 2014. Sadržaji pojedinačnih i ukupnih PAH-ova jezera Ludaš na lokalitetu Sever (slika 4) su reda veličine mg/kg, uz

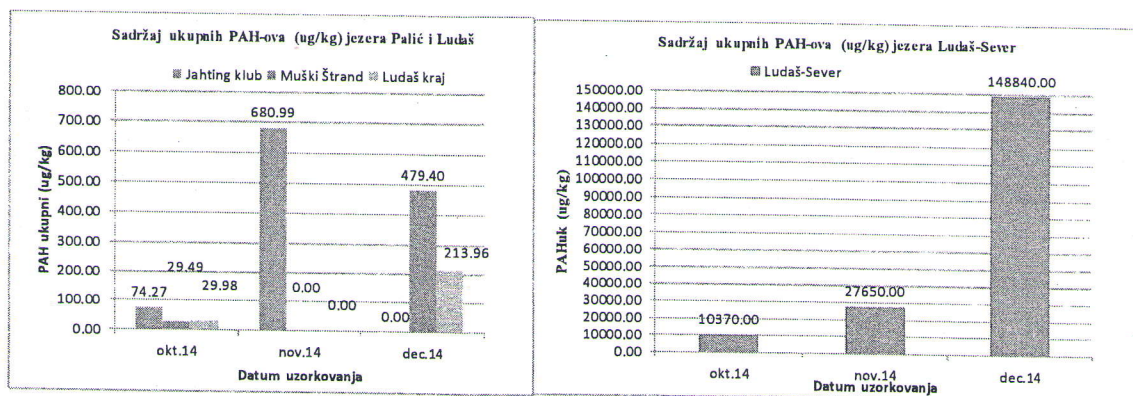
dominaciju fenantrena i fluorantena (2; 4; i 26 mg/kg za PHE i 0,2; 6 i 30 mg/kg za FLU) za period oktobar, novembar i decembar respektivno.



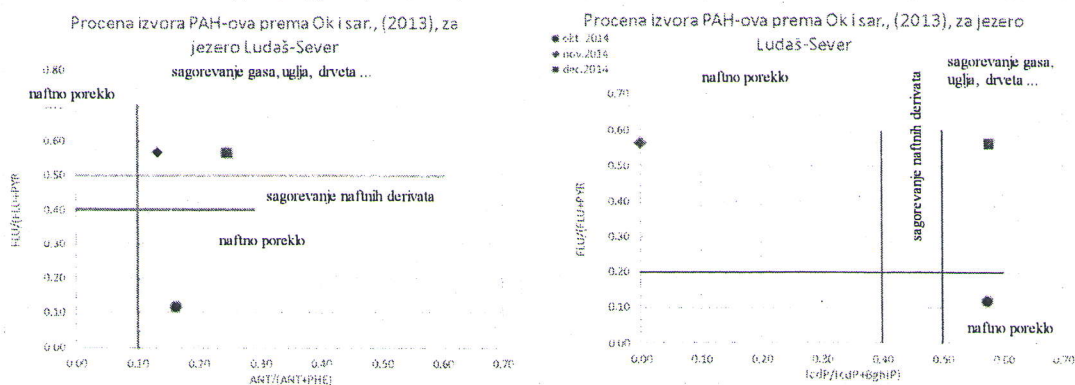
Slika 3. Sadržaj pojedinačnih PAH-ova (ug/kg) u sedimentima jezera Palić i Ludaš izmerenih u period oktobar – decembar 2014, lokacije: Muški Štrand i Jahting Klub (Palić), Ludaš jezero-Sever i Ludaš jezero-Jug

Povećanje koncentracije PAH-ova u decembru je očekivano s obzirom na odsustvo uslova za njihovu razgradnju, nisku temperaturu i usporenu mikrobiološku aktivnost (Lang i sar. 2007). Sadržaj ukupnih i pojedinačnih PAH-ova na lokaciji Ludaš-Sever ukazuje na ogromno opterećenje i deponovanje zagađenog sedimenta.

Ocena porekla PAH-ova procenjena je po uzoru na kalkulacije koje su sproveli Ok i sardanici, (2013) na osnovu zavisnosti $FLU/(FLU+PYR)=f(ANT/(ANT+PHE))$ i $FLU/(FLU+PYR)=f(IcdP/IcdP+BghiI)$, (slika 5a i 5b). Na osnovu slike 5, analizom odnosa sadržaja pojedinačnih PAH-ova, može se konstatovati da u oktobru 2014. izvor PAH-ova u sedimentu je naftnog porekla dok u novembru i decembru 2014. dominiraju PAH-ovi pirogenog porekla, verovatno nastali sagorevanjem ogreva, otpada i sl. Obzirom da je na lokaciji jezera Ludaš-sever konstatovan značajan sadržaj PAH-ova velike molekulske težine (IcdP, BghiP) koji se izuzetno sporo razgrađaju, njihov sadržaj je upotrebljen za dodatnu ocenu izvora PAH-ova (slika 5b) i položaji tačaka potvrđuju nalaz sa slike 5a.



Slika 4. Sadržaj ukupnih PAH-ova (ug/kg) u sedimentu jezera Palić (lokacije: Muški Štrand i Jahting Klub) i Ludaš-Sever izmerenih u period oktobar – decembar 2014.



Slika 5. Dijagnostika porekla izvora PAH-ova a sediment jezera Ludaš-Sever lokacije primenom zavisnosti $FLU/(FLU+PYR)=f(ANT/(ANT+PHE))$ i $FLU/(FLU+PYR)=f(IcdP/(IcdP+BghiP))$ (Ok i sar., (2013)).

5. Zaključak

Sadržaj ukupnih PAH-ova menja se umereno u oktobru za ispitivane lokacije i blagi maksimum od 74,27 mg/kg dostiže na lokaciji Palić-Jahting klub. U novembru 2014. možemo konstatovati visok maksimum za lokaciju Palić-Jahting klub (oko 681 ug/kg) ali vrednost je i dalje ispod MDK (10 mg/kg) dok su sadržaji ukupnih PAH-ova na lokacijama Palić-Muški štrand i Ludaš – Jug ispod granica detekcije metode (10 ug/kg). U decembru 2014. konstatujemo pad sadržaja ukupnih PAH-ova ispod granica detekcije metode (<10 ug/kg) na lokaciji Palić-Jahting klub dok sadržaj PAH-ova na lokaciji Palić-Muški štrand iznosi oko 480 ug/kg a Ludaš jezero-Jug (tačka 6 na sl.1) 214 ug/kg. Međutim, nađene vrednosti ukupnih PAH-ova na lokaciji Ludaš –Sever (tačka 5 na sl.1) su značajno različite, odnosno visoke, reda veličine mg/kg. Tako je sadržaj ukupnih PAH-ova u oktobru 2014. 10 mg/kg, novembru 20 mg/kg dok u decembru 2014. dostiže vrednost čak 149 mg/kg. Ovako visok sadržaj ukupnih PAH-ova na lokaciji Ludaš-Sever može se objasniti ulivanjem vode iz kanala Palić – Ludaš u koje se ulivaju delimično prerađene ili sirove komunalne i industrijske otpadne vode. Primenom zavisnosti sadržaja pojedinačnih PAH-ova $FLU/(FLU+PYR)=f(ANT/(ANT+PHE))$ i $FLU/(FLU+PYR)=f(IcdP/(IcdP+BghiP))$ (Ok i sar. (2013), za jezero Ludaš (lokacija Sever, sl.1 tačka5) može se pretpostaviti petrogeno porekla PAH-ova za za period oktobar-novembar 2014. dok se za decembar 2014. tačke preseka locirane su o oblasti dijagrama koja ukazuje na pirogeno poreklo PAH-ova.

6. Literatura

- [1] E. Bodnár, J. Hlavay, J. Abonyi, Distribution of priority polycyclic aromatic hydrocarbons in the sediment of lake Balaton, Hungary, Polycyclic Aromatic Compounds, 24: 791–803, 2004
- [2] C. Bogdal, T. D. Bucheli, T. Agarwal, F. S. Anselmetti, F. Blum, K. Hungerbühler, M. Kohler, P. Schmid, M. Scheringer and A. Sobek, Contrasting temporal trends and relationships of total organic carbon, black carbon, and polycyclic aromatic

- hydrocarbons in rural low-altitude and remote high-altitude lakes, *J. Environ. Monit.*, 13, 1316, 2011.
- [3] B. L. van Drooge, J. López, P. Fernández, J.O. Grimalt, E. Stuchlík, Polycyclic aromatic hydrocarbons in lake sediments from the High Tatras, *Environmental Pollution* 159, 1234-1240, 2011
- [4] R. Eisler, Polycyclic aromatic hydrocarbon hazards to fish, wildlife, and invertebrates: a synoptic review, *Biological Report 85(1.11)*, Contaminant Hazard Reviews Report No. 11, 1987.
- [5] J. O. Grimalt, B. L. van Drooge, A. Ribes, P. Fernandez, P. Appleby, Polycyclic aromatic hydrocarbon composition in soils and sediments of high altitude lakes, *Environmental Pollution* 131, 13-24, 2004
- [6] P. Kelderman¹, W. M. E. Drossaert, Z. Min, L. S. Galione, L.C. Okonkwo and I. A.C. Clarisse, Pollution assessment of the canal sediments in the city of Delft (the Netherlands), *Wat. Res.* Vol. 34, No. 3, pp. 936-944, 2000.
- [7] C. Lang, S. Tao, X. Wang, G. Zhang, J. Li, J. Fu, Seasonal variation of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in Pearl River Delta region, China, *Atmospheric Environment* 41, 8370-8379, 2007.
- [8] B. Murphy, S. Lingam, B. Richter, and R. Carlson; Simultaneous Extraction of PAHs and PCBs from Environmental Samples Using Accelerated Solvent Extraction Thermo Fisher Scientific, Salt Lake City, UT, USA
- [9] G. Ok, G. Shirapova, G. Matafonova, V. Batoev, and S. H. Lee, Characteristics of PAHs, PCDD/Fs, PCBs and PBDEs in the Sediment of Lake Baikal, Russia, *Polycyclic Aromatic Compounds*, 33:173-192, 2013.
- [10] Đ. Seleši, E. Seleši, Č. Zanin, J. Benak, G. Cekuš, *Voda Ludaškog jezera*, ISBN 9788683201099, 2006.
- [11] SRP "Ludaško jezero", <http://www.pzzp.rs/sr/zastita-prirode/podrucja-od-medunarodnog-znacaja/srp-ludasko-jezero.html>

SAVEZ INŽENJERA I TEHNIČARA SRBIJE

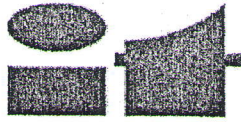


36. MEĐUNARODNI
STRUČNO – NAUČNI SKUP

ZBORNİK RADOVA

VODOVOD
I KANALIZACIJA '15

Vršac 13 - 16. oktobar 2015.



SAVEZ INŽENJERA I TEHNIČARA SRBIJE

**36. Međunarodni
stručno - naučni skup**

VODOVOD I KANALIZACIJA '15

Zbornik radova

Vršac, 13 – 16. oktobar 2015.



Izdavač:

Savez inženjera i tehničara Srbije, Beograd

Za izdavača:

mr Branislav Vujinović, dipl. inž, generalni sekretar

Programski odbor:

prof. dr Časlav Lačnjevac, (predsednik), prof. dr Zvonko Gulišija,
prof. dr Radomir Kapor, doc. dr Dragan Milićević, Dušan Đurić,
prof. dr Vaso Novaković, Živojin Milićević, mr Bogdan Vlahović,
prof. dr Goran Sekulić, prof. dr Ivan Esih, prof. dr Milan Sak-Bosnar,
prof. dr Fehim Korać, prof. dr Dragica Čamovska, prof. dr Filip Kokalj

Organizacioni odbor:

mr Branislav Vujinović (predsednik), prof. dr Jovan Despotović,
Ivica Nikić, Ljubisav Šljivić, mr Zoran Pendić, Olivera Čosović i
Marijana Mihajlović

Glavni i odgovorni urednik:

prof. dr Časlav Lačnjevac, dipl. inž.

Tehnički urednik:

Olja Jovičić i Olivera Čosović

Štampa:

Grafički atelje "Dunav", Zemun

Naslovna strana

Paleokastrica, Krf, Grčka

Tiraž: 200 primeraka

<i>Živorad Đelić</i>	
Upravljanje akumulacijama – hidrotehničke metode u cilju očuvanja kvaliteta vode	86
<i>Bojan Milinković, Radojica Graovac</i>	
Sistem kvaliteta kroz konsultanske usluge na projektima vodovodnih objekata.....	91
<i>Cveta Martinovska Bande, Đorđi Bande, Gorjan Blaževski</i>	
SCADA sistem za nadzor vodovodne mreže u Krivoj Palanci	97
<i>Radojica Graovac, Dragomir Marković</i>	
Nova uloga komunikacionih optičkih kablova u vodoprivredi za detekciju mesta curenja vode na magistralnim cevovodima.....	104
<i>Zoran Dimitrijević</i>	
Analiza gubitaka vode „Zone Jovac“ u vodovodu grada Kraljeva metodom minimalnih noćnih protoka	110
<i>Goran Orašanić, Darko Kovač, Dragana Ristić, Rade Romić</i>	
Smanjenje prividnih gubitaka vode zamjenom vodomjera	121
<i>Dejan Dimkić, Mira Popović, Aleksandar Daničić, Darko Kovač, Goran Mitrović, Ana Đačić</i>	
Plan aktivnosti na povećanju efikasnosti u Nikšićkom vodovodnom sistemu	129
<i>Aleksandar Daničić</i>	
Modeliranje uticaja lokalne distribucije na rad regionalnog vodovodnog sistema	135
<i>Ivan Milojković, Jovan Despotović, Miodrag Popović</i>	
Kalibracija modela za održavanje i projektovanje kanalizacije na osnovu spoljnog pregleda	145
<i>Željka Ostojić, Nenad Milosavljević, Maja Đorović Stevanović, Strahinja Nikolić</i>	
Model kišne kanalizacije grada Vršca	151
<i>Beno Arbiter, Filip Kokalj, Niko Samec</i>	
Mathematical Modelling of Sewage Sludge Gasification	158
<i>Janez Ekart, Riko Šafarič, Janez Kramberger, Andrej Šorgo, Suzana Žilič-Fišer, Božidar Bratina, Vilijana Brumec, Jure Fišer, Tadej Krošlin</i>	
Sušenje muljeva u vacuum reaktoru	166
<i>Tanja Nenin, Anđelka Petković, Vesna Obradović, Jasna Čolić, Jovana Tončić, Marija Petrović, Tanja Vučković</i>	
Policiklični aromatični ugljovodonici u sedimentima jezera Palić i Ludoš	172

CIP - Каталогизација у публикацији
Народна библиотека Србије, Београд

628.1/.2(082)

МЕЂУНАРОДНИ стручно-научни скуп

Водовод и канализација (36 ; 2015 ; Вршац)

Zbornik radova / 36. Međunarodni stručno-
naučni skup Vodovod i kanalizacija '15, Vršac, 13-
16. oktobar 2015. ; [organizatori] Savez inženjera i
tehničara Srbije ... [et al.] ; [glavni i odgovorni
urednik Časlav Lačnjevac]. - Beograd : Savez
inženjera i tehničara Srbije,

2015

(Zemun : "Dunav"). - 276 str. : ilustr. ; 25 cm

Radovi na srp. i engl. jeziku. - Tekst lat. i ćir.
- Tiraž 200. - Napomene uz tekst. - Bibliografija uz
svaki rad. - Abstracts.

ISBN 978-86-80067-33-9 (broš.)

1. Савез инжењера и техничара Србије
(Београд)

а) Водовод - Зборници б) Канализација -
Зборници

COBISS.SR-ID 217921548