

Kemometrijska analiza sastava voda vodocrpilišta Osječko-baranjske županije

**Habuda-Stanić, Mirna; Magdić, Damir; Sučić, Hrvoje; Šiljeg, Mario;
Matovina, Mirela**

Source / Izvornik: **Voda za sve : zbornik radova s 8. međunarodne konferencije Voda za sve, 2021, 152 - 163**

Conference paper / Rad u zborniku

Publication status / Verzija rada: **Published version / Objavljena verzija rada (izdavačev PDF)**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:109:892208>

Rights / Prava: [Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International/Imenovanje-Nekomercijalno-Bez prerada 4.0 međunarodna](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-23**

REPOZITORIJ

PTFS

PREHRAMBENO-TEHNOLOŠKI FAKULTET OSIJEK

dabar
DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

Repository / Repozitorij:

[Repository of the Faculty of Food Technology Osijek](#)





8th International
Conference

WATER FOR ALL 2019

21-22 March 2019
Osijek, Croatia

PROCEEDINGS

**ZBORNİK RADOVA/
PROCEEDINGS**

Izdavač/Published by

**Glavna i izvršna urednica/
Chief and Executive Editor**

Uređivački odbor/Editorial Board

**Recenzenti Zbornika/
Proceedings Reviewers**

Tehnička urednica/Technical Editor

**Tehničke suradnice/
Technical Assistants**

Lektorica/Proofreader

**Tehnička priprema i dizajn
naslovnice/Technical preparation and
Cover page design**

**Tisak i uvez/Printing and Binding
Naklada/Number of Copies**

8. međunarodna konferencija VODA ZA SVE
8th International Conference WATER FOR ALL
Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku,
Prehrambeno-tehnološki fakultet Osijek
*Josip Juraj Strossmayer University of Osijek,
Faculty of Food Technology Osijek*

Mirna Habuda-Stanić

Mirna Habuda-Stanić, Sanda Hasenay, Ivana Lauš, Antonija Šarić,
Ivana Šuvak-Pirić, Mario Šiljeg

Tomislav Bogdanović, Mirjana Čurlin, Jasna Šoštarić

Ivana Lauš

Sanda Hasenay, Ivana Šuvak-Pirić

Antonija Šarić

Mirna Habuda-Stanić, Studio HS internet d.o.o., Osijek

Studio HS internet d.o.o., Osijek
100

Mirna Habuda-Stanić (predsjednica/*chairperson*), Jurislav Babić, Sabina Begić, Tomislav Bogdanović, Dario Brdarić, Bruno Cvetković, Bojan Đurin, Jelena Đugum, Dajana Gašo-Sokač, Vlado Guberac, Nevenko Herceg, Jasmina Ibrahimpašić, Damir Ježek, Anita Jurić, Ivana Lauš, Kiril Lisichkov, Mato Lukić, Dragan Kovačević, Željko Kovačević, Ljiljana Krstin, Snježana Majstorović, Berislav Marković, Helga Medić, Davor Mikulić, Mara Pavelić, Arzija Pašalić, Marinko Pleština, Željka Romić, Vlatko Rožac, Vera Santo, Darja Sokolić, Andrej Starc, Marija Stjepanović, Filip Stević, Mario Šiljeg, Drago Šubarić, Damir Varevac, Natalija Velić, Lidija Tadić, Krunoslav Zmaić
Mirna Habuda-Stanić (predsjednica/*chairperson*), Jasmina Agbaba, Jurislav Babić, Sabina Begić, Valentina Bušić, Tomislav Bogdanović, Amra Bratovčić, Dario Brdarić, Bruno Cvetković, Jasna Čačić, Suzana Čavar, Juan Carlos Durán-Álvarez, Bojan Đurin, Jelena Đugum, Dajana Gašo-Sokač, Marija Gligora Udovič, Blanca Magdalena Gonzalez Silva, Vlado Guberac, Nevenko Herceg, Alen Horvat, Jasmina Ibrahimpašić, Hrvoje Juretić, Anita Jurić, Damir Ježek, Ljiljana Krstin, Tibela Landeka Dragičević, Adam Lillicrap, Kiril Lisichkov, Mato Lukić, Davor Ljubas, Dragan Kovačević, Željko Kovačević, Snježana Majstorović, Berislav Marković, Helga Medić, Davor Mikulić, Ana Mojsović-Čuić, Gabrijel Ondrašek, Andrej Ovca, Aysegul Pala, Mara Pavelić, Arzija Pašalić, Oliver Pavlović, Dragica Pavlović, Marinko Pleština, Željka Romić, Vlatko Rožac, Vera Santo, Mika Sillanpää, Darja Sokolić, Delia Teresa Sponza, Andrej Starc, Marija Stjepanović, Filip Stević, Marina Šantić, Indira Šestan, Mario Šiljeg, Dubravka Špoljarić Maronić, Marija Šperac, Drago Šubarić, Magdalena Ujević Bošnjak, Damir Varevac, Natalija Velić, Darija Vukić Lušić, Dražen Vouk, Lidija Tadić, Krunoslav Zmaić, Tanja Žuna Pfeiffer

Osijek, 2021.

ISBN: 978 - 953 - 7005 - 70 - 2

CIP zapis dostupan je u računalnom katalogu

Gradske i sveučilišne knjižnice Osijek pod brojem 141226037

*A CIP catalogue record of this publication is available from the
City and University Library Osijek under 141226037*

**Pod visokim pokroviteljstvom Predsjednice
Republike Hrvatske Kolinde Grabar-Kitarović**

*Under the high auspices of the President of the
Republic of Croatia Kolinda Grabar-Kitarović*



Znanstveni pokrovitelj:

Hrvatska akademija znanosti
i umjetnosti
Razred za prirodne znanosti

Under the Science Auspice of:

*Croatian Academy of Sciences
and Arts
Department of Natural Sciences*



Pokrovitelji:

Ministarstvo gospodarstva,
poduzetništva i obrta
Republike Hrvatske

Under the Auspice of:

*Ministry of Economy,
Entrepreneurship and Crafts
of the Republic of Croatia*



Ministarstvo zdravstva
Republike Hrvatske

*Ministry of Health
of the Republic of Croatia*



Ministarstvo poljoprivrede
Republike Hrvatske

*Ministry of Agriculture
of the Republic of Croatia*



Ministarstvo zaštite
okoliša i energetike
Republike Hrvatske

*Ministry of Environment and Energy
of the Republic of Croatia*



Ministarstvo regionalnoga
razvoja i fondova
Europske unije

*Ministry of Regional Development
and EU Funds of the
Republic of Croatia*



Ministarstvo znanosti i
obrazovanja
Republike Hrvatske

*Ministry of Science and
Education of the Republic
of Croatia*



Hrvatska gospodarska komora

Croatian Chamber of Economy



Akademija tehničkih znanosti
Hrvatske

*Croatian Academy
of Engineering*



Osječko-baranjska županija

Osijek-Baranja County



Grad Osijek

City of Osijek



Svi podaci navedeni u ovome ZBORNIKU RADOVA isključiva su odgovornost autora radova. Izdavač nije odgovoran za bilo kakvu upotrebu podataka koji se pojavljuju u ovom dokumentu. Također, izdavač neće biti odgovoran za bilo kakve pogreške, jezične i slično, koje se nalaze u radovima autora.

All pieces of information provided in these PROCEEDINGS are the sole responsibility of the authors of the manuscripts. Publisher is not responsible for any use of the data appearing in this document. Also, the publisher shall not be liable for any kind of errors, including language mistakes, found in the manuscripts.

Organizatori/Organizers

Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku/*Josip Juraj Strossmayer University of Osijek*
Prehrambeno-tehnološki fakultet Osijek/*Faculty of Food Technology Osijek*
Građevinski i arhitektonski fakultet Osijek/*Faculty of Civil Engineering and Architecture Osijek*
Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osije/*Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek*
Odjel za biologiju Sveučilišta Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku/*Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Department of Biology*
Odjel za kemiju Sveučilišta Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku/*Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Department of Chemistry*
Hrvatska gospodarska komora/*Croatian Chamber of Economy*
Hrvatska komora zdravstvenih radnika/*Croatian Chamber of Health Professionals*
Univerzitet u Bihaću/*University of Bihać*
Agronomski i prehrambeno-tehnološki fakultet Sveučilišta u Mostaru/*Faculty of Agriculture and Food Technology University of Mostar*
Fakultet zdravstvenih studija Univerziteta Sarajeva/*Faculty of Health Studies, University of Sarajevo*
Prehrambeno-biotehnoški fakultet Sveučilišta u Zagrebu/*Faculty of Food Technology and Biotechnology, University of Zagreb*
Tehnološki fakultet Univerziteta u Tuzli/*Faculty of Technology, University of Tuzla*
Tehnološki i metalurški fakultet Skopje/*Faculty of Technology and Metallurgy in Skopje*
Zdravstveni fakultet Univerziteta u Ljubljani/*University of Ljubljana, Faculty of Health Sciences*
Hrvatsko društvo za zaštitu voda/*Croatian Water Pollution Control Society*
Javna ustanova Park prirode Kopački rit/*Nature Park "Kopački rit"*
Hrvatske vode (VGO Osijek)/*Croatian Water - VGO*
Javna ustanova Agencija za upravljanje zaštićenim prirodnim vrijednostima na području Osječko-baranjske županije/*Public Institution for nature protection in Osijek-Baranja County*
Zavod za javno zdravstvo Osječko-baranjske županije/*Public Health Institute of the Osijek-Baranja County*
Dom zdravlja Osijek/*Health Center Osijek*
Vodovod-Osijek d.o.o./*Vodovod-Osijek d.o.o.*
Udruga bivših studenata i prijatelja Prehrambeno-tehnološkog fakulteta Osijek - TehnOS/*Alumni Association of former students and friends of the Faculty of Food Technology Osijek - TehnOS*

Recenzenti radova/Reviewers of the manuscripts

Barišić-Lasović, Antonija (Hidroing d.o.o. Osijek, HR/CRO)

Bilici Baskan Meltem (*Pamukkale Üniversitesi, TR*)

Bratovčić Amra (Univerzitet u Tuzli, BiH/*University of Tuzla, B&H*)

Breković Tamara (Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, HR/*Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, CRO*)

Cara Magdalena (Univerzitet u Tirani, AL/ *University of Tirana, AL*)

Ćosić Marija (Univerzitet u Beogradu, SRB/*University of Belgrade, SRB*)

Ćurko Josip (Sveučilište u Zagrebu, HR/*University of Zagreb, CRO*)

Denić-Jukić Vesna (Sveučilište u Splitu, HR/*University of Split, CRO*)

Dujmović Lidija (Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, HR/*Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, CRO*)

Durán-Álvarez Juan Carlos (*National Autonomous University of Mexico, MEX*)

Gašo-Sokač Dajana (Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, HR/*Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, CRO*)

Gvozdić Vlatka (Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, HR/*Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, CRO*)

Habuda-Stanić Mirna (Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, HR/*Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, CRO*)

Hrenović Jasna (Sveučilište u Zagrebu, HR/*University of Zagreb, CRO*)

Ivanković Anita (Sveučilište u Mostaru, BiH/*University of Mostar, B&H*)

Jesenković-Habul Lejla (Zavod za javno zdravlje FBiH, BiH/*Institute for public health FB&H, B&H*)

Jerković-Mujkić Anesa (Univerzitet u Sarajevu, BiH/*University of Sarajevo, B&H*)

Juretić Hrvoje (Sveučilište u Zagrebu, HR/*University of Zagreb, CRO*)

Krivohlavek Adela (Nastavni zavod za javno zdravlje „Dr. Andrija Štampar“, HR/*Andrija Štampar Teaching Institute of Public Health, CRO*)

Kuspilić Neven (Sveučilište u Zagrebu, HR/*University of Zagreb, CRO*)

Kolaković Srđan (Univerzitet u Novom Sadu, SRB/*University of Novi Sad, SRB*)

Landeka Dragičević Tibela (Sveučilište u Zagrebu, HR/*University of Zagreb, CRO*)

Lisichkov Kiril (Sv. Ćiril i Metod Sveučilište u Skopju, MK/Ss. *Cyril and Methodius University in Skopje, MK*)

Loborec Jelena (Sveučilište u Zagrebu, HR/*University of Zagreb, CRO*)

Ljubas, Davor (Sveučilište u Zagrebu, HR/*University of Zagreb, CRO*)

Maestro Daniel (Zavod za javno zdravlje FBiH, BiH/*Institute for public health FB&H, B&H*)

Maestro Nerma (Zavod za javno zdravlje FBiH, BiH/*Institute for public health FB&H, B&H*)

Meha, Drilon (Univerzitet u Prištini, RKS/*University of Prishtina, RKS*)

Ondrašek, Gabrijel (Sveučilište u Zagrebu, HR/*University of Zagreb, CRO*)

Petkovski Ljupcho (Sv. Ćiril i Metod Sveučilište u Skopju, MK/Ss. *Cyril and Methodius University in Skopje, MK*)

Ptiček Siročić Anita (Sveučilište u Zagrebu, HR/*University of Zagreb, CRO*)

Radnović Dragan (Univerzitet u Novom Sadu, SRB/*University of Novi Sad, SRB*)

Rajković Milos B. (Univerzitet u Beogradu, SRB/*University of Belgrade, SRB*)

Rastija Vesna (Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, HR/*Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, CRO*)

Ristić Vakanjac Vesna (Univerzitet u Beogradu, SRB/*University of Belgrade, SRB*)

Romić Željka (Vodovod-Osijek d.o.o., HR/CRO)

Sægrov Sveinung (*Norwegian University of Science and Technology, N*)

Stević Filip (Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, HR/*Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, CRO*)

Stjepanović Marija (Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, HR/*Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, CRO*)

Suljić Nedim (Univerzitet u Tuzli, BiH/*University of Tuzla, B&H*)

Squadrone Stefania (*Istituto Zooprofilattico Sperimentale del Piemonte, IT*)

Šarkanj Bojan (Sveučilište Sjever, HR/*University North, CRO*)

Šiljeg Mario (Sveučilište Sjever, HR/*University North, CRO*)

Šušteršić Vanja (Univerzitet u Kragujevcu, SRB/*University of Kragujevac, SRB*)

Tadić Lidija (Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, HR/*Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, CRO*)

Velić Natalija (Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, HR/*Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, CRO*)

Vouk Dražen (Sveučilište u Zagrebu, HR/*University of Zagreb, CRO*)

Vulin Domagoj (Sveučilište u Zagrebu, HR/*University of Zagreb, CRO*)

Vukušić Tomislava (Sveučilište u Zagrebu, HR/*University of Zagreb, CRO*)



POLJOPRIVREDA I VODNI RESURSI / AGRICULTURE AND WATER RESOURCES

Jasna Kopic, Sanja Gongeta OCJENA SPECIFIČNE RANJIVOSTI VODONOSNIKA NA NITRATE I LINDAN NA ŠIREM PODRUČJU REGIONALNOG CRPILIŠTA „ISTOČNA SLAVONIJA“ PREMA EUROPSKIM EKOLOŠKIM STANDARDIMA EVALUATION OF SPECIFIC VULNERABILITY OF THE AQUIFERS ON NITRATES AND LINDANE IN THE REGIONAL AREA OF THE REGIONAL WELL FIELD "EASTERN SLAVONIA" ACCORDING TO EUROPEAN ECOLOGICAL STANDARDS	1
Tanja Kragulj, Gorica Vuković, Vojislava Bursić, Aleksandra Petrović, Dušan Marinković, Bojan Konstantinović, Nikola Puvača ARSENIC CONTAMINATION OF SEAWATER AND FISH FROM BAR REGION (MONTENEGRO).....	13
Enes Obarčanin, Željko Tusić, Ana Jelka Graf ANALIZA MOGUĆNOSTI NAVODNJAVANJA ZADARSKOG ZALEDA KORIŠTENJEM VODE IZ HIDROTEHNIČKIH SUSTAVA NA SLIVU RIJEKE ZRMANJE I LIČKOM PLATOU WATER POTENTIAL FROM HYDRO-TECHNICAL SYSTEMS IN ZRMANJA RIVER BASIN AND LIKA PLATO FOR IRRIGATION PURPOSE IN THE ZADAR COUNTY.....	21

PRERADA VODE ZA PIĆE I OBRADA OTPADNIH VODA / DRINKING WATER AND WASTEWATER TREATMENTS

Marina Trgo, Marin Ugrina, Tonka Srdoc, Ivana Šetka OLIVE POMACE LEACHATE WASTEWATER TREATMENT BY AERATION AND FLOCCULATION AND SORPTION METHOD	32
Dražen Vouk, Domagoj Nakić, Mario Šiljeg, Ivona Petković IZVEDIVOST THP PROCESA OBRADE MULJA NA POSTOJEĆIM I NOVIM UPOV-IMA FEASIBILITY OF THP PROCESS ON EXISTING AND NEW WWTPS	40

UPRAVLJANJE VODNIM RESURSIMA / WATER RESOURCES MANAGEMENT

Andreja Hajdinger, Lidija Tadić POSSIBILITIES AND ADVANTAGES OF GEOTHERMAL WATER EXPLOITATION.....	53
Siniša Maričić O HIDROLOGIJI KROZ ISTRAŽIVANJA VODOSTAJA DONJE DRAVE ABOUT HYDROLOGY THROUGH RESEARCH OF LOWER DRAVA WATER LEVELS.....	62
Tomislav Slunjski, Marija Šperac SUSTAV ZAŠTITE OD POPLAVA GRADA OSIJEKA OSIJEK FLOOD PROTECTION SYSTEM.....	75

MONITORING KAKVOĆE VODA / MONITORING OF WATER QUALITY

Janja Horvatić, Vesna Peršić, Aleksandra Kočić, Dora Horvatić, Irella Bogut KAKVOĆA VODE ODVODNOG KANALA KARAŠICA KOD POPOVCA (13. R.KM) U RAZDOBLJU OD 2006. DO 2015. GODINE WATER QUALITY OF THE DRAINAGE CANAL KARAŠICA NEAR POPOVAC (13TH R. KM): A TEN-YEAR ANALYSIS (2006-2015)	86
--	----



Dora Horvatić, Vesna Peršić, Janja Horvatić, Martina Varga UTJECAJ POLJOPRIVREDNIH I KOMUNALNIH OTPADNIH VODA NA RAST VODENE LEĆE (<i>LEMNA MINOR</i> L.) INFLUENCE OF AGRICULTURAL AND COMMUNAL WASTEWATERS ON THE GROWTH OF <i>LEMNA MINOR</i>	97
Dajana Kučić Grgić, Luka Bera, Martina Miloloža, Matija Cvetnić, Marinko Markić, Vesna Očelić Bulatović, Tomislav Bolanča ESTIMATION OF ANTIBACTERIAL ACTIVITY OF THE SELECTED MACROLIDES	107
Teuta Tompić, Vesna Šimunić-Mežnarić, Rosanda Škvorc Vidović ODREĐIVANJE Kloroalkana u vodi metodom plinske kromatografije S MASENOM SPEKTROMETRIJOM (GC-MS/MS) DETERMINATION OF SHORT-CHAIN POLYCHLORINATED ALKANES (SCCPS) IN WATER BY GAS CHROMATOGRAPHY-MAS SPECTROMETRY (GC-MS/MS)	114
Darija Vukić Lušić, Ema Javornik, Arijana Cenov, Vanda Piškur, Dražen Lušić, Daniela Glažar Ivče, Željko Linšak KAKVOĆA VODE ZA PIĆE NA BRODOVIMA DRINKING WATER QUALITY ON SHIPS.....	123
VODOOSKRBN I SUSTAVI I ODVODNJA / WATER SUPPLY AND SEWAGE SYSTEMS	
Halid Junuzović, Amra Selimović, Sabina Begić, Abdel Đozić APPLICATION OF SODIUM HYDROXIDE AS A PRECIPITATING AGENT FOR THE REMOVAL OF COPPER AND NICKEL FROM WATER.....	135
Save Španja, Ivana Primorac, Sanda Šikić, Davor Tomičić ANALIZA DOSADAŠNJE PROVEDBE I SMJERNICE ZA POBOLJŠANJE KVALITETE VODOOSKRBNOG SUSTAVA SUKLADNO ZAKONODAVNOM OKVIRU U REPUBLICI HRVATSKOJ ANALYSIS OF THE CURRENT IMPLEMENTATION AND GUIDELINES FOR IMPROVING THE QUALITY OF THE WATER SUPPLY SYSTEM IN ACCORDANCE WITH THE LEGISLATIVE FRAMEWORK IN THE REPUBLIC OF CROATIA	141
VODA I ZDRAVLJE / WATER AND HEALTH	
Mirna Habuda-Stanić, Damir Magdić, Vera Santo, Hrvoje Sučić, Mario Šiljeg, Mirela Matovina KEMOMETRIJSKA ANALIZA SASTAVA VODA VODOCRPILIŠTA OSJEČKO-BARANJSKE ŽUPANIJE CHEMOMETRIC WATERS ANALYSIS OF OSIJEK-BARANJA COUNTY WATER-WELLS	152
Irena Kišmartin, Irella Bogut, Željko Popović VODA, HRANA I ENERGIJA – KLJUČ ZA ODRŽIVI RAZVOJ WATER, FOOD AND ENERGY – KEY FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT	164
KAZALO AUTORA / AUTHOR INDEKS	177
SPONZORI / SPONSORS	178



KEMOMETRIJSKA ANALIZA SASTAVA VODA VODOCRPILIŠTA OSJEČKO-BARANJSKE ŽUPANIJE

UDK: 628.112(497.543)

**Mirna Habuda-Stanić^{1*}, Damir Magdić¹, Vera Santo², Hrvoje Sučić²,
Mario Šiljeg³, Mirela Matovina¹**

¹Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Prehrambeno-tehnološki fakultet Osijek, Franje Kuhača 20, 31000 Osijek, Hrvatska

²Zavod za javno zdravstvo Osječko-baranjske županije, Franje Krežme 1, 31000 Osijek, Hrvatska

³Sveučilište Sjever, Trg dr. Žarka Dolinara 1, 48000 Koprivnica, Hrvatska

originalni znanstveni rad

Sažetak

Na području Osječko-baranjske županije, na površini od 4152 km², nalaze se 264 naselja. Voda za ljudsku potrošnju lokalnom stanovništvu osigurava se iz 21 županijskog vodocrpilišta. Cilj ovog rada bio je primjenom metoda deskriptivne statističke analize obraditi podatke dobivene jednogodišnjim monitoringom navedenih vodocrpilišta te utvrditi korelaciju među vrijednostima analiziranih parametara. Statistička analiza pokazuje vrlo ujednačene vrijednosti temperature i pH vrijednosti u uzorcima vode ispitanih vodocrpilišta dok vrijednosti koncentracije željeza, mangana, amonijaka i arsena te mutnoće i boje osciliraju. Izmjerene vrijednosti parametara kakvoće vode analizirane su i kemometrijskim metodama. Faktorskom analizom dobivena je korelacijska matrica koja prikazuje odnose među izmjerenim vrijednostima analiziranih svojstava i koncentracija. Klusterskom analizom kreirani su klasteri i dendrogram sa sličnim vrijednostima i promjenama u uzorcima. Analiza glavnih komponenti pokazala je 11 značajnih međusobnih veza i sličnosti između svojstava i koncentracija. Kumulativno, one uzrokuju 95,76 % varijabilnosti unutar analiziranog seta podataka i utječu na međusobnu značajnu razliku u kemizmu sirovih voda Osječko-baranjske županija.

Ključne riječi: kakvoća vode, deskriptivna statistika, kemometrijska analiza, vodocrpilište, Osječko-baranjska županija

Uvod

Voda je neprocjenjiv prirodni resurs o kojem ovisi socijalno i ekonomsko stanje svake države u svijetu, a 2003. godine Organizacija Ujedinjenih naroda za obrazovanje, znanost i kulturu (*United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, UNESCO*) objavila je istraživanje prema kojem Hrvatska zauzima 42. mjesto prema dostupnosti i obnovljivosti slatkovodnih resursa u 182 države u svijetu. Eurostat, internetska stranica statističkog ureda Europske unije, navodi da Hrvatska sa 27.330 m³ slatkovodne vode po stanovniku, zauzima prvo mjesto u Europskoj uniji (*UNESCO, 2003; Eurostat, 2019*). U

*mirna.habuda-stanic@ptfos.hr



usporedbi s razvijenim zemljama zapadne Europe, Hrvatska ističe kakvoćom i količinom vode kojom obiluje. No, kako se pojedini dijelovi Hrvatske značajno geografski razlikuju, tako svojstva površinskih, a naročito i podzemnih voda značajno razlikuju po svom kemijskom i mikrobiološkom sastavu. Podzemne vode krškog područja i rijeke zapadnog i južnog dijela Hrvatske su najvećim dijelom visoke kakvoće, dok su vode sjeverne Hrvatske, uslijed negativnih posljedica urbanizacije, industrijalizacije, primjene suvremenih agrotehničkih mjera te intenzivnog prometa, narušene. Visokoj kakvoći voda također doprinose klimatske, geološke i hidrogeološke značajke hrvatskog podneblja te relativno mali ukupni broj stanovnika.

Podzemne vode Osječko-baranjske županije glavni su izvor vode lokalnom stanovništvu, a u izvornom stanju često sadrže povišene koncentracije željeza, mangana, amonijaka, arsena te povećanu mutnoću i boju, stoga često ne udovoljavaju standardima zdravstvene ispravnosti vode za ljudsku potrošnju. Ukoliko se podzemne vode istočne Hrvatske distribuiraju stanovništvu u svrhu vodoopskrbe, nužno ih je prethodno preraditi primjenom odgovarajućih tehnoloških postupaka kojima se onečišćujuće tvari uklanjaju iz vode. Tehnološki postupci koji se pri tome primjenjuju uključuju aeriranje vode, predoksidaciju, koagulaciju s flokulacijom, taloženje, filtriranje, nitrifikaciju te dezinfekciju vode. Voda nakon prerade mora odgovarati odredbama Pravilnika o parametrima sukladnosti, metodama analize, monitoringu i planovima sigurnosti vode za ljudsku potrošnju te načinu vođenja registra pravnih osoba koje obavljaju djelatnost javne vodoopskrbe (NN 125/17), a koji je u suglasju s istovrsnim pravilnicima Europske unije i Zakonom o vodi za ljudsku potrošnju (NN 56/13, 64/15 i 104/17, 115/18).

Cilj ovog rada je primjenom kemometrijskih metoda analize detektirati i objasniti vezu između izmjerenih vrijednosti parametara kakvoće vode u velikim setovima podataka. Podzemne vode uzorkovane su na 21 vodocrpilištu Osječko-baranjske županije u sklopu redovnih analiza i monitoringa kojeg provodi Zavod za javno zdravstvo Osječko-baranjske županije. Navedenim monitoringom određene su vrijednosti parametra kakvoće vode za ljudsku potrošnju, a dobiveni podaci obrađeni deskriptivnim statističkim i kemometrijskim metodama analize podataka. Opisana je varijabilnost pojedinih sastojaka i svojstava vode, njihova međusobna povezanost, zavisnost i prikladnost primjene kemometrijskih metoda analize na korišteni set podataka.

Materijali i metode

Uzorkovanje

Uzorci vode, analizirani u Zavodu za javno zdravstvo Osječko-baranjske županije, uzorkovani su na 21 vodocrpilištu Osječko-baranjske županije. Uzorkovanje je provedeno na način da su uzorci vode uzeti u prethodno pripremljene staklene boce od 500 ili 1000 ml. U svrhu mikrobioloških analiza boce su prethodno sterilizirane, a za određivanje biokemijske potrošnje kisika i koncentracije otopljenog kisika korištene su boce po



Winkleru. Posude u koje se uzima uzorak potrebno je prije punjenja dva do tri puta isprati vodom od koje se uzima uzorak za analizu. Kada se uzorak uzme, bocu je potrebno zatvoriti plutenim ili staklenim čepom te označiti svaku bocu etiketom na kojoj se nalaze podaci o vrsti i temperaturi vode, mjestu i temperaturi zraka na mjestu uzorkovanja i vremenu uzorkovanja. Ukoliko se voda zahvaća pumpom, prije uzimanja uzorka vode potrebno je vodu lagano ispumpavati 15-20 minuta kako bi se izbjeglo замуćenje (Kuleš i Habuda-Stanić, 2000).

Analiza uzoraka

Nakon uzorkovanja određeni su organoleptički, mikrobiološki i fizikalno-kemijski parametri kakvoće vode sukladno zakonskoj regulative, a u cilju utvrđivanja zdravstvene ispravnosti uzetih uzoraka vode. U ovom istraživanju, nakon uzorkovanja, određene su vijednosti boje, mutnoće, miris i okus vode, temperatura, pH vrijednost, elektrovodljivost, alkalitet, utrošak KMnO_4 , ukupna tvrdoća, koncentracije klora, fluorida, klorida, nitrata, fosfata, sulfata i kationa: natrija, kalija, kalcija, magnezija, amonijaka i željeza te mikrobiološki pokazatelji kakvoće vode.

Boja vode određena je standardnom platino-kobaltnom metodom (AWWA, 2017). Temperatura vode određena je umjerenim živinim termometrom za temperaturno područje -5 do $+30$ °C s podjelom od $0,1$ °C ili umjerenim digitalnim termometrima (AWWA, 2017; Kuleš i Habuda-Stanić, 2000).

Određivanje pH vrijednosti provedeno je prema HRN EN ISO 10523:2012 pomoću pH metra SevenEasy S-20k (Mettler-Toledo, Švicarska). Prije početka mjerenja izrađena je kalibracijska krivulja u tri točke ($\text{pH} = 4,01; 7,00; 10,01$) upotrebom certificiranih standardnih puferkih otopina (Mettler-Toledo, Švicarska) pri referentnoj temperaturi od 25 °C (AWWA, 2017., HRN EN ISO 10523:2012). Mutnoća uzoraka određena je prema HRN EN ISO 7027:2011 turbidimetrom TURB 355 IR (WTW, Njemačka). Prije početka mjerenja uređaj je kalibriran u tri točke standardnim certificiranim otopinama od $0,02, 10$ i 1000 NTU (WTW, Njemačka). Miris vode određen je organoleptički pri temperaturi 25 °C. Određivanje mirisa provedeno je po uzimanju uzorka, najkasnije 2 sata nakon uzorkovanja u laboratoriju prije kemijske analize. Okus vode određen je organoleptički pri čemu usna šupljina mora biti pripremljena, a voda dezinficirana (Kuleš i Habuda-Stanić, 2000).

Električna vodljivost je određena prema HRN EN 27888:2008 konduktometrom Mettler-Toledo SevenEasy S30 s temperaturnom kompenzacijom. Uređaj je kalibriran korištenjem standardne certificirane otopine od 1413 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Mettler-Toledo, Švicarska). Alkalitet opisuje sadržaj karbonata, bikarbonata i hidroksida, a određen je prema normi HRN EN ISO 9963-1:1998, kojom se opisuje titracijska neutralizacija s kiselinom uz indikator fenolftalein i metil-oranž. Utrošak KMnO_4 pokazatelj je sadržaja organske tvari u vodi. Otopina kalijeveg permanganata se zagrijava u kiselom mediju pri čemu dolazi do oksidacije i utroška KMnO_4 ovisno o količini i strukturi organske tvari u uzorku vode (Kuleš i Habuda-Stanić, 2000).



Metodom ionske kromatografija određene su koncentracije aniona (fluoridi, kloridi, nitrati, nitriti, fosfati i sulfati) i kationa (natrij, kalij, kalcij, magnezij i amonijak) prema metodi HRN EN ISO 10304-1:2009 (anioni) i HRN EN ISO 14911:2001 (kationi). Koncentracije navedenih parametara određene su pomoću uređaja ICS-3000 (Dionex, SAD). Ukupna tvrdoća mjera je otopljenog kalcija i magnezija u vodi, a određena je računski iz koncentracija kalcija i magnezija svakog pojedinog uzorka prema SM 2340 B (AWWA, 2017). Koncentracije željeza, mangana i arsena u uzorcima vode određene su normiranim metodama DIN 38406-32 (za željezo), DIN 38406-33 (za mangan) i HRN EN ISO 15586 (za arsen) i pomoću uređaja Aanalist 800 (Perkin Elmer, SAD).

Mikrobiološka analiza prikupljenih uzoraka vode provedena je kako slijedi: ukupni koliformi i *Escherichia coli* određeni su metodom HRN EN ISO 9308-1: 2000/1: 2008, broj kolonija na 22 °C i 37 °C određen je metodom HRN EN ISO 6222: 2000, dok su enterokoki određeni metodom HRN EN ISO 7899-2: 2000. *Clostridium perfringeri* određen je u uzorcima vode prema metodi HRN EN ISO 14189:2016.

Statistička obrada podataka

Rezultati analiza uzoraka vode s vodocrpilišta Osječko-baranjske županije odrađeni su, grupirani i analizirani deskriptivnim statističkim metodama. Aritmetička sredina je numerička karakteristika koja pripada mjernim centralnim tendencijama, a prikazuje srednju vrijednost podataka (Benšić i Šuvak, 2013). Aritmetička sredina određena je izrazom (1):

$$\bar{x}_n = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (1)$$

Varijanca i standardna devijacija prikazuju mjeru raspršenosti podataka oko aritmetičke sredine. Varijanca niza izmjerenih vrijednosti x_1, x_2, \dots, x_n varijable X računa se prema izrazu (2), a standardna devijacija izrazom (3):

$$\bar{s}_n^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}_n)^2 \quad (2)$$

$$\bar{s}_n = \sqrt{\bar{s}_n^2} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}_n)^2} \quad (3)$$

Korigirana standardna devijacija uzorka za procjenu standardne devijacije grupe podataka izračunava se jednadžbom (4):

$$s = \sqrt{\frac{(x_1 - \bar{x})^2 + (x_2 - \bar{x})^2 + \dots + (x_n - \bar{x})^2}{n - 1}} \quad (4)$$



Koeficijent varijabilnosti je odstupanje od minimalne i maksimalne vrijednosti u skupu podataka od srednje vrijednosti koji se određuje jednadžbom (5), a izražava se postocima (%) (Kurtanjek et al., 2003; Mathias, 2007):

$$\frac{\overline{s_n}}{\overline{x_n}} \times 100 [\%] \quad (5)$$

Koeficijent korelacije je numerička karakteristika kojom se izražava zavisnosti među komponentama dvodimenzionalnog skupa, a računa se jednadžbom (6):

$$\rho_{XY} = \frac{E(X-\mu)(Y-\nu)}{\sigma_X \sigma_Y} \quad (6)$$

gdje je:

$$\mu = EX, \nu = EY, \sigma_X = \sqrt{VarX}, \sigma_Y = \sqrt{VarY}.$$

Ukoliko je $\rho_{XY} = 0$ slučajne varijable X i Y nekoreliraju, a ako je vrijednost koeficijenta korelacije 1 ili -1 tada su linearno povezane (Benšić i Šuvak, 2013).

Kemometrijske metode analize

Kemometrija je kemijska disciplina koja matematičkim i statističkim metodama oblikuje ili odabire optimalan mjeriteljski postupak (eksperiment) te omogućuje dobivanje maksimalnog broja informacija analizom što manjeg broja podataka iz cjelokupnog seta podataka (Mathias, 2007; Petersen, 2007).

Kemometrija se najčešće koristi u analizi skupa podataka i prepoznavanju matematičkih modela, a primjenjuje se pri umjeravanju velikog broja slučajnih varijabli te pri kontroli kvalitete i praćenju procesa proizvodnje (Wold i Sjöström, 1998). Pri obradi podataka u ovom radu korištene su dvije kemometrijske tehnike: analiza glavnih komponenta (eng. *Principal Component Analysis*, PCA) i klusterska analiza (eng. *Cluster Analysis*, CA).

Analiza glavnih komponenti se primjenjuje pri obradi podataka s više varijabli u cilju analize korelacija unutar jednog skupa varijabli, posljedične redukcije dimenzionalnosti prostora te utvrđivanja varijabilnosti u analiziranom setu podataka pomoću što manjeg broja varijabli (Miller i Miller, 2000). Svojsvene varijable su varijance glavnih komponenti. Svakom komponentom cilj je izdvojiti maksimalnu varijancu iz seta podataka. Kumulativna varijanca koju opisuju svojsvene varijable iznosi 100 %, a za statistički značajan opis varijabilnosti podataka razmatraju se varijable čija kumulativna varijanca iznosi 95 %. Prvom glavnom komponentom objašnjen je najveći postotak ukupne varijance, a posljednjom komponentom najmanji. Pomoću glavnih komponenti



dobije se matematički jedinstveno rješenje koje točno reproducira promatranu korelacijsku matricu ukoliko se zadrže sve komponente, a ukoliko su komponente ortogonalne, njihovom upotrebom znatno se olakša tumačenje rezultata (Mathias, 2007).

Klasterska analiza klasificira objekte u skupine na način da je svaka skupina homogena, s obzirom na određene varijable te različita od druge s obzirom na te iste varijable. Primjenom ove metode, podatci se grupiraju u klaster pri čemu su međusobno najbliži objekti grupirani u isti klaster. Cilj klasterske analize je utvrđivanje homogenih grupa ili klastera čije varijable povezuje određena sličnost (Benšić i Šuvak, 2013).

Rezultati i rasprava

Deskriptivnom statističkom analizom izmjerenih vrijednosti pokazatelja kakvoće vode određene su srednje vrijednosti, standardne devijacije i koeficijenti varijabilnosti za analizirane uzorke podzemnih voda vodocrpilišta Osječko-baranjske županije, a dobivene vrijednosti prikazane su u Tablici 1. Prosječna temperatura podzemne vode ispitanih vodocrpilišta iznosi 13,519 °C uz varijabilnost od 8,638 %, a s pouzdanošću od 95 % mogu se relevantnima smatrati sve izmjerene vrijednosti temperature vode u rasponu od 12,988 do 14,051 °C. Ostale vrijednosti temperature značajnije odstupaju od srednje vrijednosti i povećavaju varijabilnost skupa izmjerenih podataka. Ukupna varijabilnost izmjerenih vrijednosti temperature vode je značajno ispod 10 %, što temperaturu vode ispitanih vodocrpilišta čini prilično homogenim skupom podataka. Za razliku, analizom određene vrijednosti mutnoće i mirisa uzpraka vode, značajno odstupaju što ih čini nepouzdanim prediktorima za izračun ostalih vrijednosti i donošenje relevantnih zaključaka o ostalim mjerenim veličinama.

Srednja vrijednost pH vrijednost uzoraka vode s 21 vodocrpilišta bila je 7,401 uz ukupnu varijabilnost od 3,935 %, te možemo zaključiti da pH vrijednosti uzoraka vode s vodocrpilištima čini homogen skup podataka. Koncentracije sumporovodika s varijabilnošću 6,786 %, kao i koncentracije anionskih tenzida s varijabilnošću od 2,877 %, također pokazuju homogenost skupa podataka budući da im je ukupna varijabilnost znatno manja od 10 %.

Koeficijenti varijabilnosti ostalih svojstava imaju vrijednosti znatno veće od 10 % kao npr. utrošak kalijeva permanganata koji ima koeficijent varijabilnosti 305,251 %, ukupni koliformi s koeficijentom varijabilnosti 320,974 %, *E. coli* s koeficijentom varijabilnosti 318,523 %, *Clostridium Perfringens* s koeficijentom varijabilnosti 376,665 % itd. Uslijed navedenog, parametri čiji je koeficijent varijabilnosti veći od 10 % smatrani su nepouzdanin prediktorima za izračunavanje ostalih vrijednosti i donošenje relevantnih zaključaka o ostalim veličinama.



Tablica 1. Deskriptivna statistička analiza izmjerenih vrijednosti parametara kakvoće vode s 21 vodocrpilišta u Osječko-baranjskoj županiji

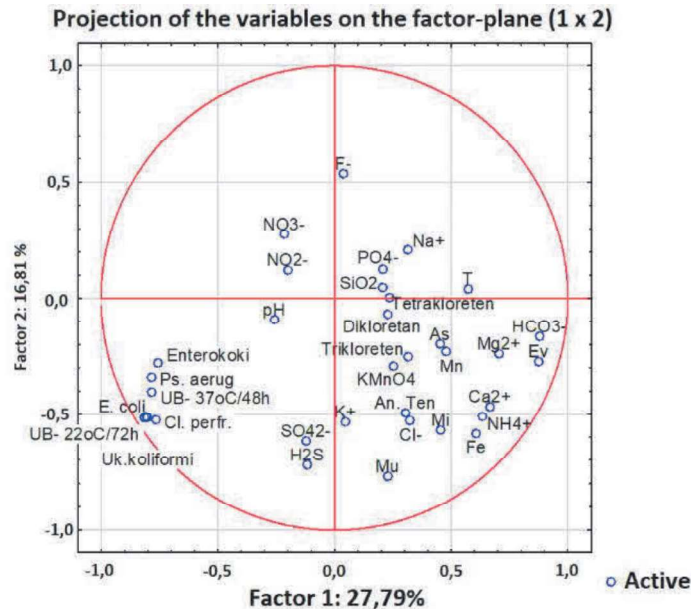
Table 1. Descriptive statistic analysis of measured water quality parameters in samples taken from 21 water-fields at Osijek-Baranja County

Parametar	Valid N	Mean	Conf. -95,000%	Conf. 95,000%	Min.	Max.	Std.Dev.	Conf. SD - 95,000%	Conf. SD +95,000%	Coef. Var.
T (°C)	21	13,519	12,988	14,051	10,525	15,050	1,168	0,893	1,686	8,638
Mutnoća (NTU)	21	7,942	3,665	12,218	1,115	34,120	9,395	7,188	13,568	118,308
Miris	21	0,143	-0,020	0,306	0,000	1,000	0,359	0,274	0,518	250,998
pH	21	7,401	7,269	7,534	6,690	8,035	0,291	0,223	0,421	3,935
El. vod. (µS/cm)	21	658,690	560,528	756,853	304,250	1031,750	215,649	164,985	311,413	32,739
Utrosak KMnO ₄ (mg/L O ₂)	21	5,450	-2,123	13,023	0,695	77,920	16,636	12,728	24,024	305,251
H ₂ S (mg/L H ₂ S)	21	0,019	0,019	0,020	0,019	0,024	0,001	0,001	0,002	6,786
NH ₄ ⁺ (mg/L NH ₄ ⁺)	21	0,546	0,261	0,832	0,075	2,100	0,628	0,480	0,906	114,877
NO ₂ ⁻ (mg/L NO ₂ ⁻)	21	0,034	0,032	0,035	0,027	0,042	0,003	0,003	0,005	10,120
NO ₃ ⁻ (mg/L NO ₃ ⁻)	21	5,425	2,896	7,954	2,900	25,750	5,556	4,251	8,023	102,416
HCO ₃ ⁻ (mg/L HCO ₃ ⁻)	21	443,036	375,266	510,806	180,500	605,250	148,882	113,903	214,996	33,605
F ⁻ (µg/L F ⁻)	21	172,930	132,460	213,399	51,500	410,000	88,906	68,018	128,386	51,412
Ca ₂ ⁺ (mg/L Ca ₂ ⁺)	21	72,298	58,253	86,342	26,500	126,500	30,853	23,605	44,554	42,675
K ⁺ (mg/L K ⁺)	21	1,538	1,122	1,954	0,601	3,800	0,914	0,699	1,320	59,435
Na ⁺ (mg/L Na ⁺)	21	43,094	24,805	61,383	8,300	148,000	40,178	30,738	58,019	93,232
Mg ₂ ⁺ (mg/L Mg ₂ ⁺)	21	24,081	18,940	29,223	9,408	45,500	11,295	8,642	16,311	46,905
PO ₄ ⁻ (mg/L P)	21	76,774	41,568	111,980	23,500	364,500	77,343	59,172	111,688	100,741
SiO ₂ (mg/L SiO ₂)	21	15,052	12,303	17,800	4,345	24,900	6,038	4,619	8,719	40,114
Cl ⁻ (mg/L Cl ⁻)	21	9,600	4,229	14,971	3,050	53,750	11,800	9,028	17,041	122,920
SO ₄ ²⁻ (mg/L SO ₄ ²⁻)	21	11,762	7,502	16,022	4,500	31,500	9,358	7,160	13,514	79,563
As (µg/L)	21	35,026	12,368	57,684	0,405	188,900	49,777	38,082	71,881	142,114
Fe (µg/L)	21	989,623	477,797	1501,449	24,250	4214,750	1124,411	860,241	1623,728	113,620
Mn (µg/L)	21	103,967	59,645	148,289	8,333	401,150	97,370	74,494	140,609	93,655
An. Ten (µg/L)	21	49,310	48,664	49,955	49,000	55,500	1,418	1,085	2,048	2,877
Dikloretan (µg/L)	21	0,034	0,007	0,061	0,019	0,290	0,059	0,045	0,085	172,037
Triklometan (µg/L)	21	0,022	0,003	0,040	0,009	0,157	0,041	0,031	0,059	186,289
Tetrakloretan (µg/L)	21	0,018	0,005	0,031	0,009	0,129	0,029	0,022	0,042	164,056
Tetrakloretan (µg/L)	21	0,018	0,005	0,031	0,009	0,129	0,029	0,022	0,042	164,056
Uk. kolif. (n/100 mL)	21	11,738	-5,412	28,888	0,000	169,000	37,676	28,825	54,407	320,974
<i>E. coli</i> (n/100 mL)	21	4,262	-1,917	10,441	0,000	60,000	13,575	10,386	19,603	318,523
UB-37°C/48h (cfu/1 mL)	21	24,060	-5,649	53,768	0,000	267,500	65,265	49,932	94,248	271,266
UB-22°C/72h (cfu/1 mL)	21	82,167	-25,874	190,207	0,000	1085,000	237,350	181,587	342,750	288,865
Enterokoki (cfu/100mL)	21	5,536	-1,196	12,268	0,000	51,500	14,789	11,314	21,356	267,156
<i>Ps. Aerug.</i> (cfu/100mL)	21	4,333	-0,632	9,298	0,000	36,750	10,907	8,345	15,751	251,702
<i>Cl. Perfr.</i> (cfu/100mL)	21	2,095	-1,497	5,688	0,000	36,250	7,892	6,038	11,397	376,665

Slike 1 i 2 prikazuju raspodjelu vrijednosti izmjerenih podataka u prve dvije faktorske ravnine koje zajedno opisuju 44,60 % ukupne varijance. Mjerena svojstva prikazana na Slici 1 koja su udaljenija od ishodišta značajnije doprinose varijabilnosti skupa podataka. Svojstva koja su grupirana u lijevom donjem dijelu grafa jednako se mijenjaju što se povezuje s istovremenom pojavom mikrobiološkog onečišćenja. Ipak, utvrđena korelacija ne znači i korelaciju pojavnosti i brojnosti pojedinih mikroorganizama već ukazuje na njihovu istovremenu pojavnost u vodi. Navedena pojavnost opisuje i parametare prikazane u desnom donjem dijelu grafa. Kada raste vrijednost jednoga parametra, raste vrijednost i

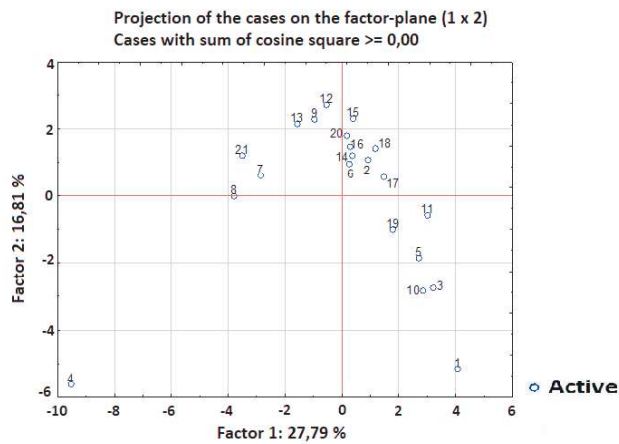


ostalnih jer su u pozitivnoj korelaciji. Mjerena svojstva koja su na faktorskoj ravni udaljenija od ishodišta značajnije doprinose varijabilnosti skupa podataka.



Slika 1. Raspodjela parametara s pozitivnom korelacijom u faktorske ravnine
Figure 1. Distribution of parameters with positive correlation into factor planes

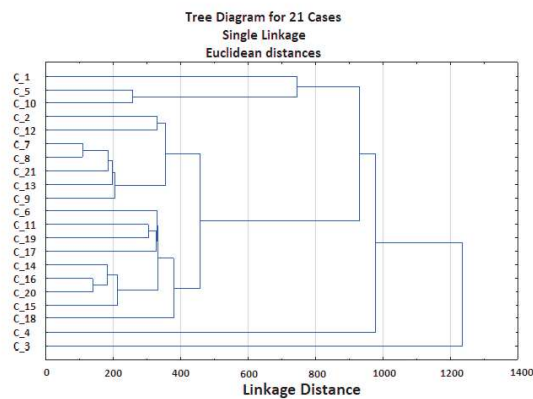
Slika 2 prikazuje je grupiranje setova izmjerenih podataka o kakvoći vode vodocrpilišta Osječko-baranjske županije. Što je redni broj vodocrpilišta udaljeniji od ishodišta grafa, to mjereni podaci više odstupaju od prosječnih vrijednosti i što su redni brojevi vodocrpilišta udaljeniji jedan od drugog, to su mjereni podaci različitiji. Tako, na primjer, vodocrpilište br. 4, koje označava vodocrpilište Belišće, nalazi se najudaljenije od ishodišta i svih ostalih točaka na grafu što ukazuje da se kakvoća vode iz vodocrpilišta br. 4 po svojim svojstvima i sastavu potpuno razlikuje od drugih. Navedeno značajno odstupanje je uzrokovano neposrednom blizinom rijeke Drave koja infiltracijom prihranjuje vodonosnik iz kojeg se zahvaća voda na vodocrpilištu br.4 što potvrđuju i ranije analize kakvoće voda Osječko-baranjske županije. Stoga su kemizmi voda i oznake ostalih vodocrpilišta Slici 2 manje međusobno udaljene.



Slika 2. Grupirani setovi izmjerenih podataka o kakvoći vode vodocrpilišta Osječko-baranjske županije

Figure 2. Groups of water quality data sets from Osijek-Baranja County water-wells

Klasteraska analiza varijabilnosti analiziranih svojstava sirovih voda vodocrpilišta Osječko-baranjske županije pokazana je dendrogramom na Slici 3. Najznačajnije odstupanje od prosječnih vrijednosti analiziranih parametara kakvoće sirove vode pokazuju uzorci sirove vode s vodocrpilišta broj 1, 3, 4, 5 i 10, odnosno podzemne vode vodocrpilišta Vinogradi, Donji Miholjac, Belišeće, Jarčevac i Bilje što potvrđuje i grafički prikaz analize glavnih komponenti Slici 2 na kojoj se također jasno uočavaju odstupanja točaka 1, 3, 4, 5 i 10 od ishodišta.



Slika 3. Dendrogram klasteraska analize 21 vodocrpilišta Osječko-baranjske županije

Figure 3. Cluster analysis dendrogram of 21 water-wells in Osijek-Baranja County



Zaključci

Primjenom deskriptivnih statističkih i kemometrijskih metoda analize obrađeni su podatci o kakvoći uzoraka vode uzokrovane na vodocrpilištima Osječko-baranjske županije u cilju utvrđivanja njihove varijabilnosti, međusobne povezanosti, zavisnosti te utvrđivanja prikladnosti primjene kemometrijskih metoda analize na korišteni set podataka. Primjenom navedenih metoda analize podataka najveće vrijednosti koeficijenta varijabilnosti utvrđene su kod mikrobioloških pokazatelja kakvoće vode, dok su najmanji koeficijenti varijabilnosti zabilježeni kod koncentracija anionskih tenzida, temperature i pH vrijednosti uzoraka sirove vode. Analizom korelacijskih odnosa utvrđena je negativna korelacija između koncentracija nitrata i ostalih analiziranih pokazatelja kakvoće vode, osim korelacije s koncentracijom klorida. Najveći koeficijent korelacije, od 0,96, očekivano je zabilježen je između vrijednosti električne vodljivosti i koncentracije hidrogenkarbonata.

Analizom varijabilnosti vrijednosti pojedinih parametara, najveće odstupanje od srednje vrijednosti utvrđeno je kod koncentracija željeza koje su bile u rasponu od 24,25 $\mu\text{g/L}$ u uzorcima vode s vodocrpilišta br. 9 do 4214,75 $\mu\text{g/L}$ na vodocrpilištu br. 3. Analiza podataka također je pokazala da su utvrđene koncentracije željeza u uzorcima sirovih voda vodocrpilišta Osječko-baranjske županije u pozitivnoj korelaciji s pojavnosti i koncentracijama mangana.

Provedena analiza glavnih komponenti pokazuje da se pouzdani matematički model varijabilnosti podataka može kreirati na temelju 11 parametara kakvoće vode jer opisuju 95,7579 % varijabilnosti, a prve dvije varijable (glavne komponente) koje najviše utječu na varijabilnost skupa podataka, opisuju samo 44,5970 % varijabilnosti podataka.

Faktorska analiza i grafički prikazi seta podataka kakvoće sirovih voda s vodocrpilišta Osječko-baranjske županije pokazali su sličnost većine izmjenjenih vrijednosti parametara kakvoće vode s vodocrpilišta. Značajno odstupanje od prosječnih vrijednosti parametara kakvoće vode utvrđeno je jedino kod vodocrpilišta br. 4 uslijed prihrane vodonosnika infiltracijom površinske vode rijeke Drave. Kod ostalih vodocrpilišta, površinske vode u značajnijoj mjeri ne prihranjuju vodonosnike, stoga kakvoća njihovih podzemnih voda je primarno uvjetovana geološkim sastavom tla, a klusterska analiza i pripadajući dendrogram pokazuju da vode ispitanih vodocrpilišta najčešće povezuju slične vrijednosti koncentracije željeza i hidrogenkarbonata te električne vodljivosti.

Literatura

AWWA, American Water Works Association (2017): Water Quality and Treatment, New York, USA: McGraw-Hill, Inc.

Benšić M, Šuvak N (2013): Primijenjena statistika. Sveučilište J. J. Strossmayera, Odjel za matematiku, Osijek.

Eurostat, European Union, <https://ec.europa.eu>.

Hrvatski sabor: Zakon o vodi za ljudsku potrošnju (NN 56/13, 64/15, 104/17, 115/18).



- HRN EN ISO 10523:2012 Kvaliteta vode -- Određivanje pH vrijednosti (ISO 10523:2008; EN ISO 10523:2012).
- HRN EN ISO 7027:2011 Kakvoća vode -- Određivanje mutnoće (ISO 7027:1999; EN ISO 7027:1999).
- HRN EN 27888:2008 Kakvoća vode -- Određivanje električne vodljivosti (ISO 7888:1985; EN 27888:1993).
- HRN EN ISO 9963-1:1998 Kakvoća vode -- Određivanje alkaliteta -- 1. dio: Određivanje ukupnog i pojedinog alkaliteta (ISO 9963-1:1994; EN ISO 9963-1:1995).
- HRN EN ISO 14189:2016. Kvaliteta vode -- Brojenje *Clostridium perfringens* -- Metoda s uporabom membranske filtracije (ISO 14189:2013; EN ISO 14189:2016).
- HRN EN ISO 10304-1:2009 Kakvoća vode -- Određivanje otopljenih aniona ionskom tekućinskom kromatografijom -- 1. dio: Određivanje bromida, klorida, fluorida, nitrata, nitrita, fosfata i sulfata (ISO 10304-1:2007; EN ISO 10304-1:2009).
- HRN EN ISO 14911:2001 Kakvoća vode -- Određivanje otopljenih kationa ionskom kromatografijom (ISO 14911:1998; EN ISO 14911:1999).
- HRN EN ISO 15586:2008 Kakvoća vode -- Određivanje sadržaja aluminijske, arsena, željeza, mangana, nikla (ISO 15586:2003; EN ISO 15586:2003).
- HRN EN ISO 9308-1: 2000/1: 2008 Kvaliteta vode -- Brojenje *Escherichia coli* i koliformnih bakterija -- 1. dio: Metoda membranske filtracije za vode s niskom pozadinom bakterijske flore (ISO 9308-1:2014; EN ISO 9308-1:2014).
- HRN EN ISO 6222: 2000 Kakvoća vode -- Brojenje uzgojenih mikroorganizama -- Broj kolonija naciepljivanjem na hranjivi agar (ISO 6222:1999; EN ISO 6222:1999).
- HRN EN ISO 7899-2: 2000 Kakvoća vode -- Detekcija i brojenje crijevnih enterokoka -- 2. dio: Metoda membranske filtracije (ISO 7899-2:2000; EN ISO 7899-2:2000).
- HRN EN ISO 14189:2016 Kvaliteta vode -- Brojenje *Clostridium perfringens* -- Metoda s uporabom membranske filtracije (ISO 14189:2013; EN ISO 14189:2016).
- Kurtanjek Ž, Horvat D, Jurković Z, Drezner G, Sudar R, Magdić D (2003): Validation of chemometric analysis of Osijek wheat cultivars, Food/Kniewald, Medicinska naklada, Zagreb, str. 185-193.
- Kuleš M, Habuda-Stanić M (2000): Analiza vode, Prehrambeno-tehnološki fakultet Osijek, Osijek.
- Mathias O (2007): Chemometrics. Wiley – VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim.
- Miller JN, Miller JC (2000): *Statistic and chemometric for analytical chemistry*. Fourth edition. Person Education Limited.
- Ministarstvo zdravstva: Pravilnik o parametrima sukladnosti, metodama analize, monitoringu i planovima sigurnosti vode za ljudsku potrošnju te načinu vođenja registra pravnih osoba koje obavljaju djelatnost javne vodoopskrbe (NN br. 125/17).
- Ministarstvo zdravstva: Pravilnik o sanitarno tehničkim i higijenskim te drugim uvjetima koje moraju ispunjavati vodoopskrbni objekti (NN br. 44/14).
- Petersen PE (2007): All you ever wanted to know about chemometrics – but didn't like to ask. *Focus*. 31 (1), 22-23.
- UNESCO (2003): United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization: Water for People – Water for Life. The United Nations World Water Development Report.
- Wold S, Sjöström M (1998) Chemometrics present and future success. *Chemometric and Intelligent Laboratory Systems*, 44, 3-4.



CHEMOMETRIC WATERS ANALYSIS OF OSIJEK-BARANJA COUNTY WATER-WELLS

UDC: 628.112(497.543)

**Mirna Habuda-Stanić¹, Damir Magdić¹, Vera Santo², Hrvoje Sučić²,
Mario Šiljeg³, Mirela Matovina¹**

¹Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Food Technology Osijek, Franje Kuhača 20, 31000 Osijek, Croatia

²Institute of Public Health Osijek Baranja County, Franje Krežme 1, 31000 Osijek, Croatia

³University North, Trg dr. Žarka Dolinara 1, 48000 Koprivnica, Croatia

original scientific paper

Summary

The Osijek-Baranja County, with the surface of 4152 km², have 264 settlements which are supplied with drinking water obtained from 21 water-wells. In this paper, the results of descriptive statistical analysis reveal the basic characteristics of groundwater samples. The results show uniform values of temperature and pH in water samples. By comparing of the results and the prescribed permissible values, elevated concentrations of iron, manganese, ammonia and arsenic were found, as well as elevated values of turbidity and color in certain samples. The measured values of water quality were also analyzed by chemometric methods. Factor analysis yields a correlation matrix showing relationships between measured values of analyzed properties and concentrations. Application of cluster analysis resulted shown clusters on dendrogram with similar values and changes in water samples. The analysis of major components revealed 11 significant relationships and similarities between properties and concentrations. Cumulatively, they cause 95.76% variability within the analyzed data set and because of that, groundwater samples in Osijek-Baranja County differ significantly among them.

Keywords: water quality, descriptive statistics, chemometric analysis, wellfield, Osijek-Baranja County