

Kemijska analiza rijeke Bednje

Skoliber, Karla

Undergraduate thesis / Završni rad

2023

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Polytechnic of Međimurje in Čakovec / Međimursko veleučilište u Čakovcu**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:110:974963>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-03**



Repository / Repozitorij:

[Polytechnic of Međimurje in Čakovec Repository -
Polytechnic of Međimurje Undergraduate and
Graduate Theses Repository](#)



MEĐIMURSKO VELEUČILIŠTE U ČAKOVCU
STRUČNI PRIJEDIPLOMSKI STUDIJ ODRŽIVI RAZVOJ

KARLA SKOLIBER

KEMIJSKA ANALIZA RIJEKE BEDNJE

ZAVRŠNI RAD

ČAKOVEC, 2023.

MEĐIMURSKO VELEUČILIŠTE U ČAKOVCU
STRUČNI PRIJEDIPLOMSKI STUDIJ ODRŽIVI RAZVOJ

KARLA SKOLIBER

KEMIJSKA ANALIZA RIJEKE BEDNJE
CHEMICAL ANALYSIS OF THE RIVER BEDNJA

ZAVRŠNI RAD

Mentor:

dr. sc. Silvija Zeman, v. pred.

ČAKOVEC, 2023.

MEĐIMURSKO VELEUČILIŠTE U ČAKOVCU
ODBOR ZA ZAVRŠNI RAD

Čakovec, 30. siječnja 2018.

država: **Republika Hrvatska**
Predmet: **Inženjerstvo u zaštiti okoliša-izvanredni**

ZAVRŠNI ZADATAK br. 2018-OR-I-141

Pristupnik: **Karla Krušelj (0313016829)**
Studij: **izvanredni preddiplomski stručni studij Održivi razvoj**
Smjer: **Ekoinženjerstvo**

Zadatak: **Kemijska analiza rijeke Bednje**

Opis zadatka:

Glavni zagađivač rijeke Bednje su komunalne otpadne vode koje se direktno ispuštaju iz kanalizacijskog sustava bez prethodnog pročišćavanja. Zagađenje takve vode može biti biološko, kemijsko i fizikalno. Zbog toga vrše se stalna mjerenja najbitnijih parametara (KPK, BPK, nitriti, nitrati, pH, temperatura vode, utrošak₄, amonijak)

Godine 2017. zatvoreno je nekoliko ispusta, te su ostala još dva koji bi se trebali zatvoriti ove godine. Dalje se vrši mjerenje parametara zbog mogućeg utjecaja na floru i faunu rijeke Bednje koja se izliva u rijeku Dravu zato je potrebno spriječiti veće ekološke probleme.

Zatvaranjem tih ispusta pokušava se smanjiti negativan utjecaj komunalne otpadne vode na okoliš.

Zadatak uručen pristupniku: 9. siječnja 2018.

Rok za predaju rada: 20. rujna 2018.

Mentor:



dr. sc. Silvija Zeman, pred.

Predsjednik povjerenstva za
završni ispit:



Naziv rada: **KEMIJSKA ANALIZA RIJEKE BEDNJE**

Cilj rada je utvrditi ekološko i kemijsko stanje rijeke Bednje. Ispitivanje je bilo vršeno na dvije točke. Kod mjesta Stažnjevec bilo je početno ili prvo ispitivanje, a kod mjesta Mali Bukovec završno ili drugo ispitivanje. Parametri koji su bili ispitivani u ovom radu su: temperatura zraka, temperatura vode, ukupna tvrdoća, pH vrijednost, alkalitet, ukupne suspendirane tvari, električna vodljivost pri 25 °C, otopljeni kisik, kemijska potrošnja kisika (KPK), biološka potrošnja kisika (BPK₅), ukupni dušik, nitriti (NO₂⁻), nitrati (NO₃⁻), amonijak, ukupni fosfor, otopljeni bakar i ukupni cink. Dobiveni rezultati bili su uspoređivani s Uredbom o standardu kakvoće voda (NN 96/19, 20/23), zakonom o vodama (NN 66/19, 84/21, 47/23) i pravilnikom o graničnim vrijednostima emisija otpadnih voda (NN 80/13, 43/14, 27/15, 3/16, 26/20).

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorici dr. sc. Silviji Zeman, v. pred. na iskazanom povjerenju, vodstvu i korisnim diskusijama tijekom izrade ovog završnog rada te na tome što je imala strpljenja i vremena za brojne upite.

Posebno se zahvaljujem gospodinu dr. sc. Danku Biondiću i Hrvatskim vodama na pomoći oko izrade završnog rada.

Također se zahvaljujem svim profesorima i profesoricama na suradnji i stečenom znanju tijekom studija. Na kraju bih se zahvalila svojoj obitelji na strpljenju i moralnoj podršci te povjerenju koje su mi ukazali.

Karla Skoliber

Sadržaj

SAŽETAK	8
SUMMARY	9
1. Uvod	9
2. Zakoni i uredbе o zaštiti voda.....	9
3. Opća obilježja	10
3.1. Flora i fauna	10
3.1.1. Flora i fauna kopna uz rijeku Bednju	11
3.1.2. Flora i fauna rijeke Bednje	12
4. Kemijska analiza.....	12
4.1. Temperatura	12
4.1.1. Temperatura zraka	12
4.1.2. Temperatura vode	14
4.2. Ukupna tvrdoća.....	17
4.2.1. pH vrijednost	20
4.2.2. Alkalitet.....	23
4.3. Ukupne suspendirane tvari.....	26
4.4. Električna vodljivost pri 25 °C.....	29
4.5. Otopljeni kisik.....	31
4.6. Ukupni dušik.....	40
4.6.1. Nitriti (NO ₂ ⁻)	42
4.6.2. Nitrati (NO ₃ ⁻).....	45
4.6.3. Amonijak.....	48
4.7. Kemijski elementi	51
4.7.1. Fosfor	52
4.7.1.1. Ukupni fosfor	52

4.7.2. Otopljeni bakar	55
4.7.3. Ukupni cink	58
4.8. Poliklorirani bifenili (PCB)	61
4.9. PBDE (polibromirani difenil eteri)	63
5. Rezultati analize	65
6. Zaključak	69
Popis literature	70
POPIS SLIKA	74
POPIS TABLICA	74
POPIS GRAFOVA	75
POPIS OZNAKA	76

SAŽETAK

Rijeka Bednja važna je rijeka Varaždinske županije zbog toga što protječe cijelom njezinom dužinom, izvire u mjestu Bednja i ulijeva se u rijeku Dravu kod mjesta Mali Bukovec. Svojim tokom prolazi pored manjih i većih mjesta poput Ivanca, Novog Marofa, Varaždinskih Toplica i Ludbrega.

U ovom završnom radu uspoređuju se podatci kemijske analize rijeke Bednje od 2010. do 2017. godine. Uspoređivanjem podataka kroz godine želi se utvrditi postojanje zagađenja rijeke Bednje i ako zagađenje postoji, je li ono više ili niže od propisanih standarda. Kemijskom analizom vode iz rijeke Bednje utvrđuje se imaju li poljoprivreda, industrija, komunalne vode, čovjek i njegovo djelovanje utjecaja na vodu i vodeni okoliš rijeke Bednje te koliki je taj utjecaj. Također se utvrđuje koji su to elementi koji štete okolišu te za koliko se povećalo ili smanjilo onečišćenje od početne točke ispitivanja kod mjesta Stažnjevec do završne točke ispitivanja kod mjesta Mali Bukovec.

Parametri koji su analizirani u ovom radu su temperatura zraka, temperatura vode, ukupna tvrdoća, pH vrijednost, alkalitet, ukupna suspendirana tvar, električna vodljivost pri 25 °C, otopljeni kisik, kemijska potrošnja kisika (KPK), biološka potrošnja kisika (BPK₅), ukupni dušik, nitriti (NO₂⁻), nitrati (NO₃⁻), amonijak, ukupni fosfor, otopljeni bakar i ukupni cink. Poliklorirani bifenili (PCB) i polibromirani difenil eteri (PBDE) nisu ispitivani, samo su spomenuti zbog svojega štetnog djelovanja na okoliš.

Prihvatljive vrijednosti ispitivanih parametara nalaze se u Zakonu o vodama (NN 66/19, 84/21, 47/23), Pravilniku o graničnim vrijednostima emisija otpadnih voda (NN 80/13, 43/14, 27/15, 3/16, 26/20) i u Uredbi o standardu kakvoće voda (NN 96/19, 20/23). Sliv rijeke Bednje raznolik je biljnim i životinjskim svijetom kao i rijetkim i zaštićenim vrstama (neke se nalaze i u Crvenoj knjizi, kao npr. 25 vrsta leptira) te sliv rijeke Bednje kao takav ulazi pod zaštitu ekološke mreže NATURA 2000.

Ključne riječi: *Kemijska analiza, rijeka Bednja, parametri, zagađenje, Zakon o vodama*

SUMMARY

The Bednja River is an important river of Varaždin County because it flows along its entire length, springs in the town of Bednja and flows into the Drava River near the town of Mali Bukovec. Along its course, it passes smaller and larger towns such as Ivanec, Novi Marof, Varaždinske Toplice and Ludbreg.

The final paper compares the data of the chemical analysis of the Bednja River from 2010 to 2017. By comparing the data over the years, it wants to determine the existence of pollution of the river Bednja and to compare the pollution with the prescribed standards. Chemical analysis of water from the Bednja River determines whether agriculture, industry, communal waters, man and his effects have an impact on the water and aquatic environment of the Bednja River, and to what extent. It also determines which are the elements that harm the environment and by how much the pollution has increased or decreased from the initial test point at Stažnjevec to the final test point at Mali Bukovec.

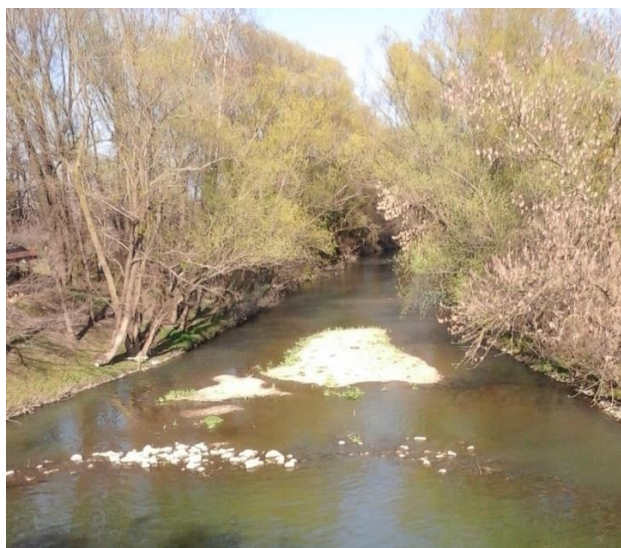
The parameters analyzed in this paper are air temperature, water temperature, total hardness, pH value, alkalinity, total suspended matter, electrical conductivity at 25 °C, dissolved oxygen, chemical oxygen consumption (COD), biological oxygen consumption (BOD₅), total nitrogen, nitrites (NO₂⁻), nitrates (NO₃⁻), ammonia, total phosphorus, dissolved copper and total zinc. Polychlorinated biphenyls (PCBs) and polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) were not examined, they were only mentioned because of their harmful effects on the environment.

Acceptable values of the tested parameters can be found in „Water Law“ (NN 66/19, 84/21, 47/23), „Rulebook on waste water emission limit values“ (NN 80/13, 43/14, 27/15, 3/16, 26/20) and in „Regulation on water quality standards“ (NN 96/19, 20/23). The Bednja river flow is diverse in flora and fauna as well as rare and protected species (some are also in the Red book, such as 25 butterfly species) and the Bednja river flow as such is protected by the NATURA 2000 ecological network.

Keywords: *chemical analysis, river Bednja, parameters, pollution, Water Act*

1. Uvod

U ovom radu analizira se rijeka Bednja (*Slika 1.*). Rijeka Bednja jedna je od 34 hrvatskih rijeka koja izvire u blizini mjesta Bednjica u Hrvatskom zagorju, a utječe u rijeku Dravu kod mjesta Mali Bukovec (izgled je njezinog ušća u obliku lijevka). Njezina širina varira od 5 do 6 metara. Pomoću analize želi se saznati kakav utjecaj imaju poljoprivreda, industrija, komunalne otpadne vode, čovjek i njegove djelatnosti na rijeku Bednju te koji su to elementi koji štete okolišu i za koliko se povećalo zagađenje od ispitivane (početne) točke u mjestu Stažnjevec do ispitivane (završne) točke kod mjesta Mali Bukovec [1].



Slika 1. Rijeka Bednja

Izvor: autor

2. Zakoni i uredbe o zaštiti voda

Zakon o vodama (NN 66/19, 84//21, 47/23) propisuje kako se treba postupati u svezi očuvanja voda, vodnog dobra, zaštiti od štetnog djelovanja voda, upravljanje kakvoćom i količinom voda, status voda te njezinog okoliša i vodnog dobra te koje su sankcije ako netko kontinuirano zagađuje okoliš. Dok je u uredbi o standardu kakvoće vode (NN 96/19, 20/23) propisano utvrđivanje pojedinih parametara te utvrđivanje bioakumulacije, granice detekcije, granice kvantifikacije, granične vrijednosti,

nerazgradljivosti, onečišćenje (sintetsko ili nesintetsko), prosječna vrijednost koncentracije (te je li onečišćenje točkasto ili raspršeno), toksičnost i dr. [2, 3].

3. Opća obilježja

Rijeka Bednja izvire u Hrvatskom zagorju blizu mjesta Bednjica u podnožju Brezove gore u Maceljskom gorju. Prolazi kroz Trakošćansko jezeru u mjestu Trakošćan te teče iz smjera zapada prema istoku. Najvećim dijelom teče kroz brdovito područje, a kod grada Ludbrega počinje nizina te u tom dijelu pa sve do mjesta Mali Bukovec (gdje se ulijeva u rijeku Dravu) teče po nizinskom području. Bednja je jedina zagorska rijeka koja utječe u Dravu i teče uzduž cijele Varaždinske županije. Sliv rijeke Bednje zaštićen je NATUROM 2 000 što dokazuje o vrijednosti okoliša i krajobraza. Njezina je dužina 133 km, a njezine glavne pritoke su: Čemernica, Šaša, Kamenica, Očura, Voća, Željeznica, Ljuba i Bistrica. Veća mjesta kroz koja prolazi rijeka Bednja su: Bednja, Beletinec, Novi Marof, Varaždinske Toplice i Ludbreg [1].

Nekada je to bila prirodna rijeka, okružena poljima, livadama, šumama i pogodna za ribolov. Bila je mnogo šira i dublja nego danas. Širinom je dostizala od 10 do 20 metara, a dubina joj je bila veća od 3 m. Godine 1959. kanalizirana je (osim u dijelu od Ludbrega do rijeke Drave) te je time još više onečišćena. Modernizacijom poljoprivrede i upotrebom sve više raznovrsnih pesticida, herbicida i fungicida koji su ulazili u tlo i u podzemne vode, a tako i u rijeku Bednju polako je raslo je zagađivanje vode te flore i faune vodenog svijeta. I u današnje vrijeme na rijeci se vrši mnogo regulacija (najviše je regulirana uz autocestu Zagreb – Varaždin) te se također smatra najzagađenijom rijekom u Varaždinskoj županiji. Iako se vrši mnogo regulacija na njoj, ipak je ostavljen njezin prirodni stari tok u kojem se još i danas zadržava voda prilikom većih oborina te starih rukavaca, kao što su Maltarov i Cindorijev kut [1].

3.1. Flora i fauna

Obala rijeke Bednje (*Slika 2.*) bogata je biljnim i životinjskim svijetom. Drveće koje se nalazi uz samu obalu rijeke štiti obalu od erozije tla. Glavni kanal rijeke Bednje često se produbljuje, a uzrok je njegova produbljenja presušivanje rukavaca koji su vršili funkciju mrjestilišta i staništa za riblji mlad [4].



Slika 2. Obala rijeke Bednje

Izvor: autor

3.1.1. Flora i fauna kopna uz rijeku Bednju

Biljne vrste koje se mogu naći i na obali i uz obalu rijeke Bednje su: vrba, crna i bijela topola, breza, bagrem, joha, grab, hrast (kitnjak), šaš, živica, šikara, rogoz, trska, velika šumarica, gospina papučica, širokolisni kaćun, širokolisna suhoperka, kokica, dugolisna čestoslavica, četverolisna raznorotka, hrvatska perunika, hrvatski karanfil, kranjski ljljan, zlatan, kaćun, mirisavi dvolist, podlesna kadulja, bridasti luk, obični borak, crveni uskolisni likavac, veliki žabnjak, beskorjenska sitna leća te livade i poljoprivredne površine. Od ugroženih i zaštićenih vrsta koje su navedene u Crvenoj knjizi zabilježeno je 25 biljnih vrsta.

Životinjske vrste koje se nalaze uz obalu rijeke Bednje su: leptiri (sijedi pirgus, obični plavac, šareni debeloglavac, veliko volovsko oko, kratkorepi plavac, grundov šumski bijelac i dr.), žabe (močvarna smeđa žaba, žuti mukač), zmiје (ribarica), ptice (mali vrabac, mala čigra, brezov zviždak, štekavac, bukovac, čaplja, roda i dr.), sisavci (vodenrovka, močvarna rovka, zec, miš, vidra, hrčak, dabar i dr.) [4].

3.1.2. Flora i fauna rijeke Bednje

Kao što je raznoliki kopneni okoliš, tako je raznolik i vodeni okoliš, stoga se u vodenom okolišu mogu naći alge, trave, vodencvjetovi, dvokrilci, tulari, rakovi, puževi, obalčari, pijavice, školjkaši (bezupka, obična lisarka, trokutnjače), tvrdokrilci, vretenca i ribe. Vrste riba koje se nalaze u rijeci Bednji su: vijun, deverika, uklija, podust, krkuš, bolen, klenić, gavčica, bodorka, klen, nosara, grgeč, dunavska paklara, babuška, bezribica, bjeloperjana, linjak, štika, potočna mrena, som, pijor, plotica i crvenperka [4].

4. Kemijska analiza

Prilikom uzorkovanja vode iz rijeke Bednje mjereni su ovi parametri: Otopljeni kisik (mgO_2/l), Električna vodljivost pri 25°C ($\mu\text{S}/\text{cm}$), BPK_5 (mgO_2/l), KPKf (mgO_2/l), Ukupne suspendirane tvari (mg/l), pH vrijednost, Temperatura vode ($^\circ\text{C}$), Temperatura zraka ($^\circ\text{C}$), Alkalitet m-vrijednost (mgCaCO_3/l), Ukupna tvrdoća (mgCaCO_3/l), Amonijak (mgN/l), Nitriti (NO_2) (mgN/l), Nitrati (NO_3) (mgN/l), Ukupni dušik (mgN/l), Anorganski dušik (mgN/l), Organski dušik (mgN/l), Otopljeni ortofosfati (mgP/l), Ukupni fosfor (mgP/l), Otopljeni bakar ($\mu\text{g}/\text{l}$), Otopljeni cink ($\mu\text{g}/\text{l}$) [5].

4.1. Temperatura

4.1.1. Temperatura zraka

Temperatura zraka fizikalna je veličina koja govori o toplinskom stanju te se mjeri termometrom. Postoji više vrsta termometra, a mogu biti stakleni punjeni živom ili alkoholom (danas se sve više koriste alkoholni termometri), kovinski, bimetalni, Bourdonov, tlačni, otporni, poluvodički te mnogi drugi [6].

Pribor:

Pribor koji je potreban za mjerenje temperature zraka alkoholni je ili digitalni termometar. Mjerenje se vršilo digitalnim termometrom.

Postupak:

Postupak mjerenja temperature zraka vrši se digitalnim termometrom za zrak. Termometar se mora staviti u sjenoviti dio da ne bi bio izložen direktnim sunčevim zrakama. Mjerenje se treba vršiti uvijek u isto vrijeme i u isto doba dana (svaki dan, tjedan ili mjesec). Dobiveni rezultat bez prevelikih oscilacija upisuje se kao konačan rezultat.



Slika 3. Digitalni termometar za mjerenje temperature zraka

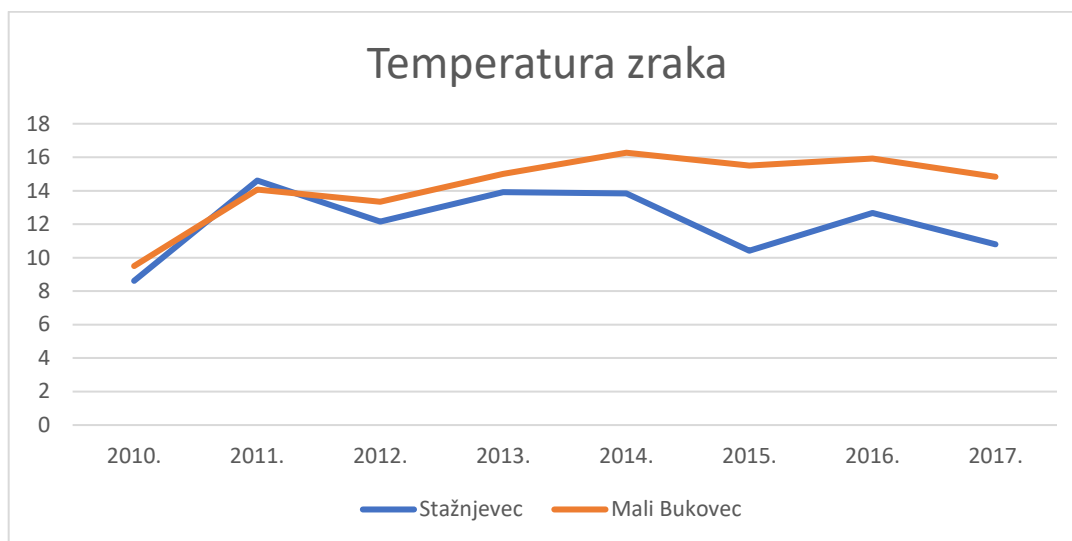
Izvor: [29]

Rezultati:

Tablica 1. Rezultati ispitivanja – Temperatura zraka (°C)

Mjesto ispitivanja	Godine							
	2010.	2011.	2012.	2013.	2014.	2015.	2016.	2017.
Stožnjevec	8,62	14,61	12,16	13,92	13,83	10,42	12,67	10,79
Mali Bukovec	9,50	14,07	13,35	15	16,27	15,5	15,92	14,83

Izvor: *Hrvatske vode*

Grafički prikaz:**Zapažanja:**

Mjerenjem temperature zraka vidljivo je (prema *Tablici 1.*) da je temperatura zraka svake godine sve veća, a to se jasnije vidi pomoću Grafičkog prikaza. Povišenje temperature zraka može doći zbog smanjenja ozonskog omotača. Ozonski omotač smanjuje se zbog povećanja industrije, ispušnih plinova i drugih čovjekovih djelovanja koja imaju štetan utjecaj na zrak i ozonski omotač. Kroz smanjen ozonski omotač dopire više sunčeve svjetlosti koja zagrijava planet Zemlju i zbog toga je svake godine sve veća temperatura zraka.

4.1.2. Temperatura vode

„Temperatura vode ukazuje na količinu topline apsorbirane u vodi.“ Prilikom veće insolacije temperatura vode može se povećati. Također se može povećati i čovjekovim utjecajem (kada se voda za rashlađivanje pušta u vodotoke). Kroz godinu voda ima prirodan porast i pad temperature koji omogućava raznolik život u njoj te ravnomjeran rast i razvoj flore i faune [7].

Ako se temperatura poveća bilo utjecajem čovjeka ili insolacije, može doći do pojave koju nazivamo „cvjetanje mora“ odnosno „cvjetanje vode“. To je pojava prilikom koje se znatno poveća temperatura vode te se alge ili cijanobakterije počinju masovno razmnožavati (eutrofikacija vode, porast broja bakterija, protozoa i metazoa), a to

razmnožavanje može dovesti i do obojenja vode u zelenu, crvenu ili plavu boju te voda postaje mutna, a na površini se može javiti i gusta pjena. Takvo stanje može dovesti do pomora riba zbog pomanjkanja kisika i prevelikog izlučivanja ugljičnog dioksida [8].

Temperatura također pomaže pri određivanju stope evaporacije te se lakše mogu odrediti organizmi koji žive u vodi, a određivanje se vrši odmah nakon uzimanja uzorka (od uzimanja uzorka i analize ne smije proći više od 30 minuta) [7].

Pribor i kemikalije:

Potreban pribor za mjerenje temperature digitalni je termometar. Postoje dvije vrste termometara, a to su termometri zaštićeni metalnim i plastičnim oklopom.

Postupak:

Mjerenje temperature vode vrši se digitalnim termometrom za vodu koji se uroni na dubinu od 20 centimetara (računajući od površine prema dnu) ili se uzme voda sa svjetlom plastičnom kanticom iz te dubine. Mjerenje se treba izvršiti uvijek u isto doba dana u što bržem roku. Ako se termometar uranja u rijeku, potrebno ga je držati oko 3 – 5 minuta, a ako se uzorak uzima u kanticu, mjerenje je potrebno izvršiti u što kraćemu vremenskom razdoblju da voda ne bi poprimila temperaturu okoline. Mjerenje se vrši tri puta za redom na istome mjestu i uzimajući isti uzorak vode. Od triju ispitivanih rezultata uzima se srednja vrijednost kao relevantna temperatura vode. Ispitivani uzorak uzet je u svjetlu prozirnu kanticu i odmah je izmjeren [9].



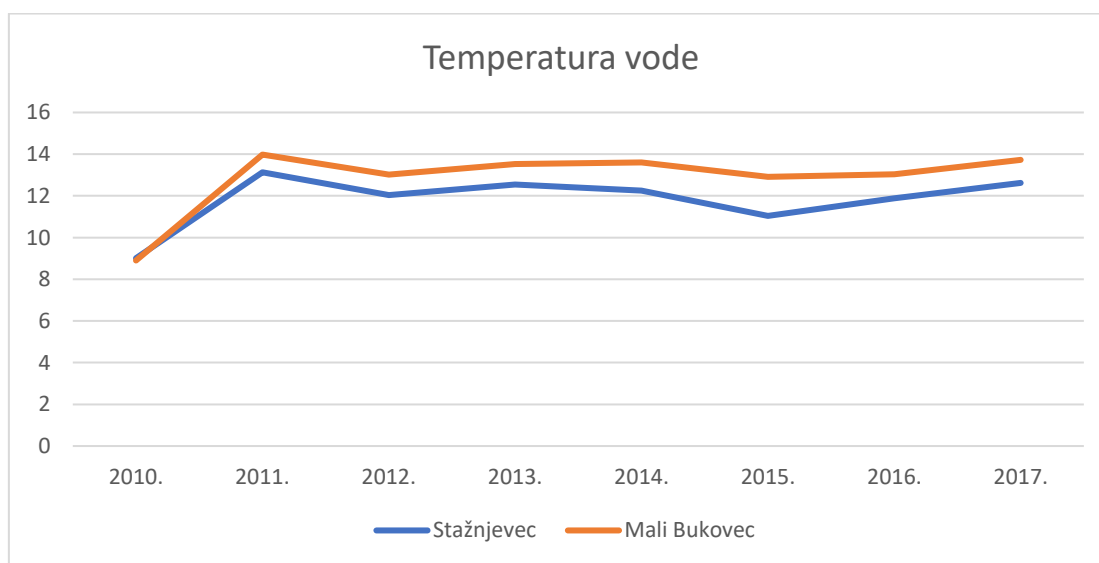
Slika 4. Termometar za vodu

Izvor: [30]

Rezultati:**Tablica 2. Rezultati ispitivanja – Temperatura vode (°C)**

Mjesto ispitivanja	Godine							
	2010.	2011.	2012.	2013.	2014.	2015.	2016.	2017.
Stažnjevec	9,01	13,13	12,04	12,54	12,25	11,04	11,89	12,62
Mali Bukovec	8,90	13,98	13,02	13,52	13,61	12,92	13,03	13,73

Izvor: Hrvatske vode

Grafički prikaz:**Zapažanja:**

Za temperaturu vode u ispitivanom uzorku uzimala se prosječna vrijednost tijekom cijele godine. Mjerenjem temperature vode vidljivo je (iz priložene *Tablice 2.* i *Grafičkog prikaza*) da se prosječna temperatura s godinama povećavala (iako je temperatura bila mjerena u hladnijim i toplijim, kišnim i sušim danima u godini).

Uspoređujući s propisanim mjerama iz Uredbe o standardu kakvoće vode (NN 20/2023) za kvalitetu temperature vode vidljivo je da vremenski uvjet, čovjek i njegovo

djelovanje imaju velik utjecaj na temperaturu vode, ali je ona još uvijek vrlo dobra i zadovoljava standarde.

4.2. Ukupna tvrdoća

„Tvrdoća vode određena je sadržajem kalcijevih i magnezijevih soli u vodi. Sadržaj ostalih soli, kao što su željezne i manganove soli, imaju manji utjecaj na tvrdoću vode. Tvrdoću vode uzrokuju koncentracije polivalentnih kationa u otopini, koji u uvjetima zasićenosti reagiraju s anionima tvoreći soli. Tvrdoća vode može se izraziti na više načina, kao što su mg CaCO₃/l ili stupnjevi. Postoje njemački, francuski i engleski stupnjevi [10].“ Najčešće je korišten stupanj njemački stupanj (°dH ili °nj), a definira se kao da je otopljeno 10 mg CaO/l vode u jednoj litri vode. Podjela tvrdoće vode određuje se prema količini otopljenog CaO u vodi, a ljestvica tvrdoće određuje se prema sljedećoj tablici (*Tablica 3.*):

Meka voda	do 4 °dH (°nj)
Lagano tvrda voda	4 – 8 °dH (°nj)
Umjereno tvrda voda	8 – 18 °dH (°nj)
Tvrda voda	18 – 30 °dH (°nj)
Jako tvrda voda	više od 30 °dH (°nj)

Tablica 3. Podjela vode prema tvrdoći [8]

Ako voda sadrži veće količine magnezijevih i kalcijevih soli, ona nije pogodna za navodnjavanje, zbog toga što može doći do začepjenja sustava za navodnjavanje [10].

Kalcijeve i magnezijeve soli u vodi mogu biti sadržane u obliku nitrata, karbonata, silikata, hidrogenkarbonata, fosfata, klorida i sulfata. Iako se u inženjerskoj praksi koristi jedinica njemački stupanj (°dH), prema SI sustavu osnovna jedinica za tvrdoću propisana je kao mmol/L [10, 11].

Pribor i kemikalije:

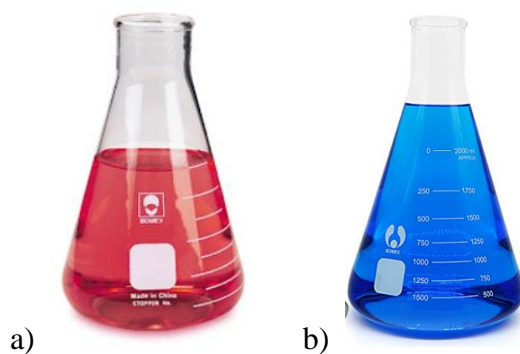
Pribor koji je potreban za određivanje ukupne tvrdoće u uzorku vode je bireta od 25 ml, bireta od 50 ml, magnetska miješalica, Erlenmeyerove tikvice, trbušasta pipeta od 50 ml, trbušasta pipeta od 100 ml, menzura od 10 ml. Kemikalije koje su potrebne za određivanje ukupne tvrdoće u uzorku vode su puferska otopina čiji je pH 10 te indikatori (Eriokrom crno T i Murexid).

Postupak:

Za određivanje ukupne tvrdoće potrebno je pripremiti pufersku otopinu čiji je pH 10, a za pripremu otopine potrebno je izvagati 67,6 g amonijeva klorida (NH_4Cl) te otopiti u 570 ml koncentriranog amonijaka (NH_3) i dopuniti demineraliziranom vodom tako da volumen iznosi 1 l. Također je potrebno pripremiti indikatore, Eriokrom crno T i Murexid. Za pripremu indikatora Eriokrom crnog T potrebno je izvagati 0,5 g Eriokrom crnog T i pomiješati s 100 g natrijeva klorida (NaCl). A za pripremu indikatora Murexida potrebno je pripremiti smjesu od 1 g Murexida i 100 g natrijeva klorida (NaCl).

Nakon pripreme puferskih otopina i indikatora, u Erlenmeyerovu tikvicu potrebno je otpipetirati 100 ml dobro promiješanog uzorka vode. Pomoću menzure u uzorak je potrebno polako dodati 2 ml otopine amonijakalnog pufera ($\text{pH} = 10$) te dodati 0,2 g krute smjese Eriokrom crnog T. Otopinu je potrebno lagano miješati tako dugo dok se smjesa Eriokrom crnog T ne otopi. Kada je otopina spremna za titriranje, titracija se vrši standardnom otopinom EDTA (etilen – diamin – tetraoctena kiselina) koncentracije 0,1 mol/l do promjene boje indikatora iz vinski crvene (*Slika 5. a*) u plavu (*Slika 5. b*). U slučaju da je potrošnja otopine EDTA veća od 15 ml potrebno je smanjiti volumen uzorka. Kada dođe do promjene boje potrebno je očitati volumen utrošenog EDTA te zabilježiti i izračunati pomoću formule:

$$UT = \frac{V(\text{EDTA}) \times c(\text{EDTA})}{V(\text{uzorak}, Ca + Mg)} \times 56,0 \times 1000 \quad (1)$$



Slika 5. Određivanje ukupne tvrdoće, a) vinsko crveno obojenje, b) plavo obojenje

Izvor: a) [31] i b) [32]

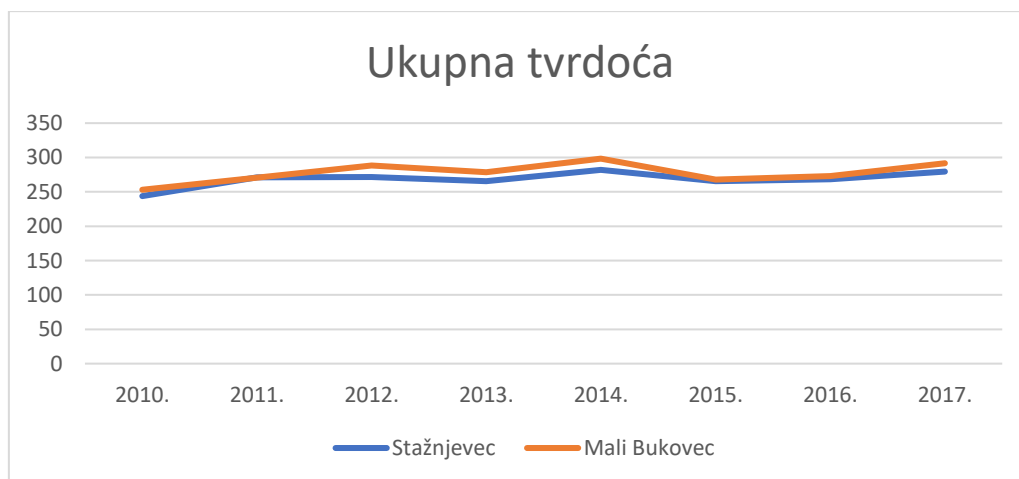
Rezultati:

Tablica 4. Rezultati ispitivanja – Ukupna tvrdoća (mgCaCO_3/l)

Mjesto ispitivanja	Godine							
	2010.	2011.	2012.	2013.	2014.	2015.	2016.	2017.
Stažnjevec	243,79	271,04	271,73	265,48	281,95	265,38	268,38	279,48
Mali Bukovec	253,06	270,78	288,39	278,43	298,31	268,05	273,02	291,68

Izvor: *Hrvatske vode*

Grafički prikaz:



Zapažanja:

Tlo rijeke Bednje glineno je i pjeskovito. Prilikom većih oborina ispire se pijesak s dna i obale riječnog korita. Na nekim mjestima događa se erozija tla te nastaju meandri. Prilikom većih oborina riječna se voda zamućuje te zbog pijeska nastaje svijetlo smeđe obojenje. Ispitivanjem uzorka vode iz rijeke Bednje, prema grafičkom i tabličnom prikazu uspoređujući s *Tablicom 3.* vidljivo je da je voda rijeke Bednje jako tvrda.

4.2.1. pH vrijednost

„pH je mjera kiselosti neke otopine, a određuje se prema koncentraciji vodikovih (H^+) iona [7].“

Prema određenom pH-u (*Slika 7.*) lakše se može odrediti koji biljni i životinjski organizmi žive na tom području (u vodi). Može se pratiti miješanje vode u estuarijima i duž obale te se može povezati kvaliteta vode s okolnim tlom, geologijom, pH kišnice i otopljenim snijegom. Analiza se vrši do 2 sata nakon uzimanja uzorka [7].

pH vrijednost je vrijednost kojom se mjeri je li neka tekućina ili krutina kisela ili lužnata. Kod tekućina se mjerenje može vršiti pH metrom, indikator papirićem ili otopinama (npr. metiloranžom i fenolftaleinom). „Otopine svih kiselina sadržavaju H^+ ione, a otopine svih lužina OH^- . Budući da se u čistoj vodi nalazi jednaka količina oba iona, voda ne reagira ni kiselo ni lužnato, ona je neutralna [12].“

„Pomoću pH (potencijal vodika) znamo je li otopina kisela ili alkalna. pH se smatra neutralnim, ako otopina ima jednaku količinu kiselih i alkalnih molekula. Vrlo meka voda obično je kisela, a vrlo tvrda obično alkalna, iako neobične okolnosti mogu rezultirati izuzecima. pH skala je logaritamska, u rasponu od 0,0 do 14,0, pri čemu je 7,0 neutralan [13].“

Pribor:

Za ovo ispitivanje pH vrijednosti koristili su se digitalni pH metar (*slika 6.*) te puferske otopine koncentracije 4,01 (kisela puferska otopina), 7,01 (neutralna puferska otopina) i 9,18 (lužnata puferska otopina).

Postupak:

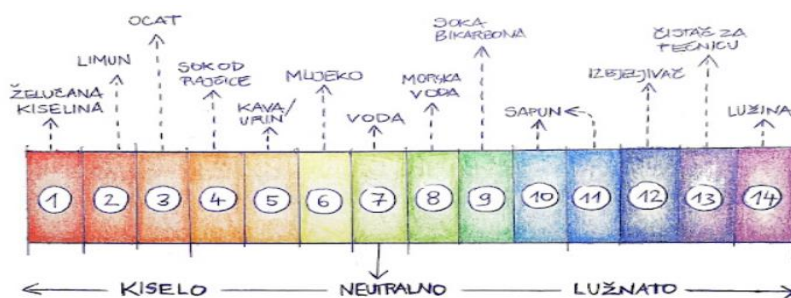
Mjerenje pH vrijednosti u ispitivanom uzorku vršilo se pH metrom. Uzorak koji se ispituje, uzima se u čistu posudu, koja je prethodno dva puta isprana vodom koja se želi uzorkovati. Uzeti uzorak vode čuva se na sobnoj temperaturi te se mjerenje vrši dva sata od uzimanja uzorka.

Uzorak koji je uzet u čistu posudu (bocu), natoči se u čistu staklenu čašu koja je također dva puta isprana uzorkom te se u uzorak uroni sonda pH metra. Sondu pH metra potrebno je prethodno isprati destiliranom vodom te baždariti (kalibrirati) u puferskim otopinama (to su otopine s određenom pH vrijednošću) koncentracije 4,01 (kiseli pufer), 7,01 (neutralni pufer) i 9,18 (lužnati pufer). Nakon kalibracije opet je potrebno sondu isprati destiliranom vodom i pričvrstiti za stalak. Kalibracija se vrši zbog što točnijih rezultata kod mjerenja pH metrom. Sondu je potrebno pričvrstiti za stalak zbog toga što mora biti vrlo mirna radi preciznijeg mjerenja, a prilikom uranjanja u vodu mora se lagano spuštati jer je vrlo osjetljiva. Mjerenje se vrši tri puta i uzima se srednja vrijednost [13].



Slika 6. Digitalni pH metar

Izvor: [33]



Slika 7. pH skala

Izvor: [34]

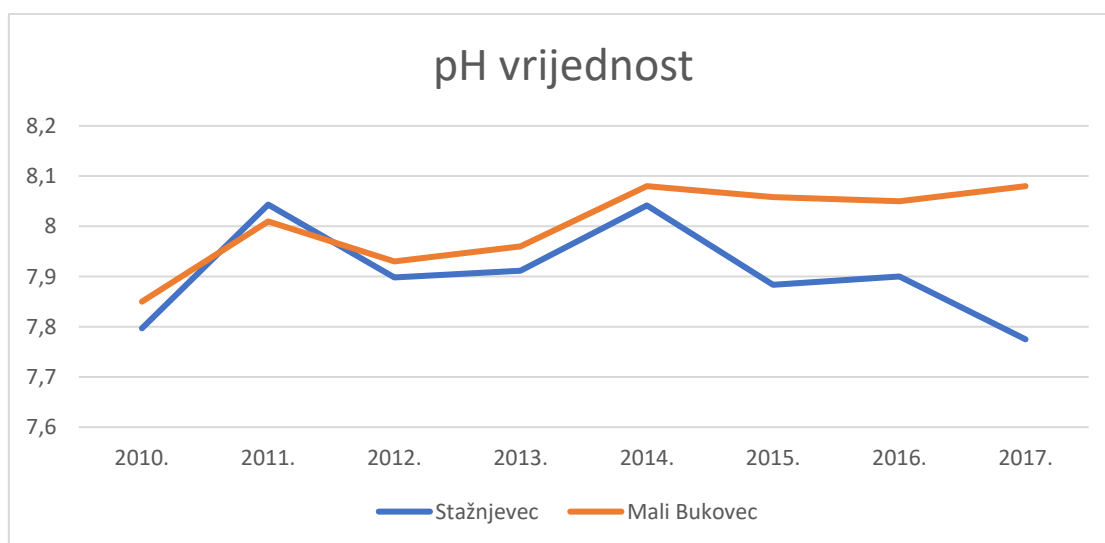
Rezultati:

Tablica 5. Rezultati ispitivanja – pH vrijednost

Mjesto ispitivanja	Godine							
	2010.	2011.	2012.	2013.	2014.	2015.	2016.	2017.
Stožnjevec	7,80	8,04	7,90	7,91	8,04	7,88	7,9	7,78
Mali Bukovec	7,85	8,01	7,93	7,96	8,08	8,06	8,05	8,08

Izvor: Hrvatske vode

Grafički prikaz:



Zapažanja:

Ispitivani uzorak iz rijeke Bednje mjeran je pomoću pH metra, a uspoređujući dobivenu vrijednost s pH skalom vidljivo je da je riječna voda neutralna do blago alkalna (lužnata). Ta vrijednost prihvatljiva je za riječnu vodu te je vrlo pogodna za rast i razvoj flore i faune. Mala odstupanja koja se mogu vidjeti u tablici i na grafičkom prikazu normalne su vrijednosti (unutar granica), a događaju se zbog djelovanja čovjeka i okoliša (npr. prilikom većih oborina (kiselih kiša) može doći do povećanja pH riječne vode do blago kisele).

4.2.2. Alkalitet

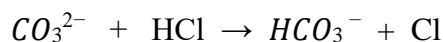
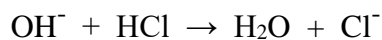
Alkalitet vode mjera je puferske sposobnosti vode (neutralizacija dodane kiseline). Kiseline u vodu mogu doći putem oborina (kiselih kiša, snijegom, tučom) te kroz tlo (dodatnim zakiseljavanjem obližnjeg tla gdje kiselost prodire u podzemne vode, a iz podzemnih voda dolazi u površinske vode ili zbog prirodne kiselosti tla) te se izražava u ppm CaCO_3 . Alkalitet može nastati prilikom otapanja stijena koje sadrže kalcijev karbonat. Ako voda (jezero ili tekućica) ima alkalitet ispod 100 mg/l zbog prevelikog utoka kiseline, može privremeno doći do potrošnje svega alkaliteta i pada pH vode. Ako je pH vode vrlo nizak, to može štetiti većini životinjskih organizama. Proljeće je godišnje doba kada se snijeg počinje otapati i prilikom njegovog otapanja u vodu ulaze štetne tvari koje smanjuju alkalitet, a to je razdoblje kada u vodi buja život [7].

Alkalitet se u prirodi može naći u spojevima koji sadržavaju HCO_3^- , CO_3^{2-} i OH^- baze te u nižim koncentracijama kod silikata, amonijaka i fosfata. „Što je alkalitet veći, to je veći kapacitet vode za neutralizaciju kiseline.“ Možemo ga mjeriti utroškom standardne otopine kiseline do završne točke titracije. Završne točke titracije mogu se razlikovati s obzirom na fenolftalein (p-vrijednost) i metiloranž (m-vrijednost).

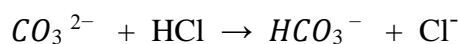
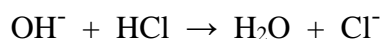
Područje promjene boje kod titracije s fenolftaleinom u ljubičastu je pri $\text{pH} > 9,6$, u crvenu od 9,6 do 8,3, a u bezbojnu pri $\text{pH} < 8,3$. A kod titracije s metiloranžom pri pH vrijednostima od 3,1 do 4,4.

Ukoliko se uzorku vode određuju oba alkaliteta, najprije se određuje p-alkalitet, a zatim se nastavlja do završne točke indikatora metiloranž.

Kod titracije uz fenolftalein s HCl-om u vodi reagiraju hidroksidi, a karbonati prelaze u hidrogenkarbonate što je vidljivo u reakciji:



Kod titracije uz metiloranž s HCl-om reagiraju pak hidroksidi, karbonati i hidrogenkarbonati što je vidljivo iz reakcije:



Pribor i kemikalije:

Pribor i kemikalije koji su potrebni za određivanje alkaliteta u uzorku vode iz rijeke Bednje su trbušasta pipeta od 100 ml, Erlenmeyerove tikvice od 250 ml, bireta, fenolftalein ($\text{C}_{20}\text{H}_{14}\text{O}_4$), metiloranž ($\text{C}_{14}\text{H}_{14}\text{N}_3\text{NaO}_3\text{S}$), kloridna kiselina (HCl) koncentracije 0,1 mol/l.

Postupak:

U Erlenmeyerovu tikvicu od 250 ml potrebno je otpipetirati 100 ml uzorka vode te dodati 3 kapi indikatora fenolftaleina. Prilikom dodatka fenolftaleina u uzorak, pojavi se ružičasto obojenje te se vrši titriranje s kloridnom kiselinom koncentracije 0,1 mol/l. Titriranje s indikatorom vrši se tako dugo dok ne dođe do obezbojenja otopine uzorka (*Slika 8. a*). Učita se utrošeni volumen titrata i zabilježi se. Ako ne dođe do ružičastoga obezbojenja, djelomični se alkalitet bilježi tako da je jednak nuli. U istu otopinu doda se 3 kapi metiloranža (otopina postane žute boje) i titrira se kloridnom kiselinom koncentracije 0,1 mol/l do pojave blago narančaste boje (*Slika 8. b*). Potrebno je očitati utrošeni volumen titrata, zabilježiti i izračunati pomoću formule:

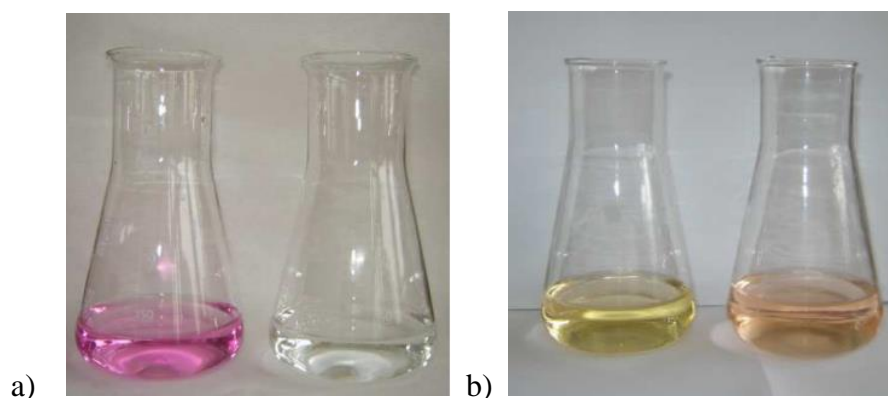
$$[\text{Alk}] = \frac{V(\text{HCl}) \cdot c(\text{HCl})}{V} \quad (2)$$

[Alk] – početni alkalitet (alkalitet netretiranog uzorka) (mol/l)

V (HCl) – utrošak HCl (c = 0,01 mol/l) za titraciju (ml)

c (HCl) – koncentracija HCl (mol/l)

V – volumen ispitivanog uzorka (ml)



Slika 8. Promjena boje uzorka kod određivanja alkaliteta, a) titracijom je došlo do obezbojenja, b) daljnjom titracijom uz dodan metiloranž nastalo blago narančasto obojenje

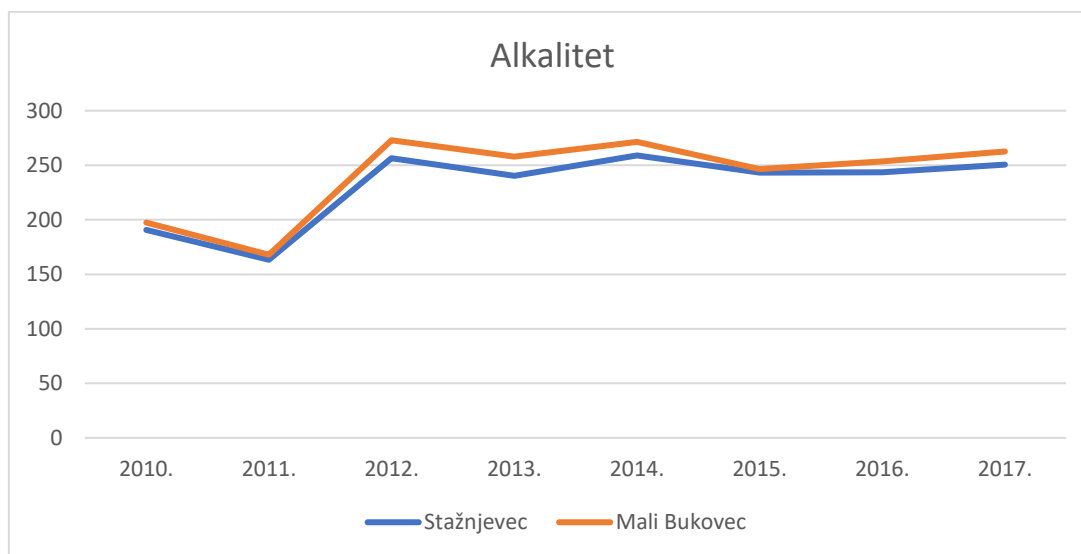
Izvor: [14]

Rezultati:

Tablica 6. Rezultati ispitivanja – Alkalitet (mg CaCO₃/l)

Mjesto ispitivanja	Godine							
	2010.	2011.	2012.	2013.	2014.	2015.	2016.	2017.
Stažnjevec	190,69	163,33	256,58	240,25	259	243,33	243,42	250,48
Mali Bukovec	197,46	167,92	272,92	257,83	271,50	246,42	253,58	262,71

Izvor: *Hrvatske vode*

Grafički prikaz:**Zapažanja:**

Alkalitet u ispitivanom uzorku varira kroz sve godine ispitivanja. Godine 2011. njegova je vrijednost najniža, a to je bila najsušnija godina od svih ispitivanih, ali i vrlo topla pa do ekstremno topla (u ljetnim mjesecima). Također je vidljiv skok i u 2014. godini koja se bilježi kao najtoplija godina od početka meteorološkog motrenja (1862. – 2017.).

4.3. Ukupna suspendirana tvar

Suspendirana je tvar krutina koja se može odvojiti metodom filtracije iz vode pomoću filter papira ($\varnothing = 55$ mm i $\varnothing = 50$ mm) i lijevka. Profiltrirani dio koji je ostao na filter papiru zajedno sa suspendiranim česticama stavi se sušiti u peć na temperaturu od 105 °C (oko 60 min.). Osušeni i ohlađeni uzorak (koji se još zapisuje kao suhi ostatak 105 °C) izvaži se pomoću analitičke vage te se izvagani rezultat bilježi kao konačni rezultat. Ako se taj isti uzorak stavi dalje zagrijavati (u Mufalnu peć) na temperaturu od 550 °C oko 4 sata, na filter papiru ostat će samo anorganski dio zbog toga što će organski dio biti spaljen. Suspendirane tvari mogu biti mineralne i organske. One određuju uvjete života u prirodnim vodama (vodotocima), eroziju obala rijeka, hranjive tvari, metale, kemikalije iz industrije i poljoprivrede. Neki od teških metala koji se mogu naći u

suspendiranim tvarima su: olovo, krom, kadmij, cink, bakar, nikal, željezo i mangan [8, 15].

Pribor i kemikalije:

Za određivanje ukupne suspendirane tvari potreban je filter papir ($\varnothing = 55$ mm i $\varnothing = 50$ mm), lijevak, destilirana voda, peć, analitička vaga, staklena čaša, stakleni štapić, stalak i klema.

Postupak:

Uzorak vode iz rijeke Bednje ulije se u čistu staklenu čašu koja je prethodno isprana destiliranom vodom. Zatim se u tu istu čašu ulije uzorak koji se lagano pomoću staklenog štapića ulijeva u lijevak u kojem je filter papir veličine $\varnothing = 50$ mm. Postupak je potrebno ponoviti, ali s filtratom i filter papirom $\varnothing = 55$ mm.

Profiltrirani dio koji ostane na filter papiru zajedno sa suspendiranim česticama stavi se na sušenje u peć na temperaturu od 105 °C oko 60 minuta. Osušeni i ohlađeni uzorak potrebno je izvagati na analitičkoj vagi, a rezultat koji se dobije bilježi se kao konačni rezultat.

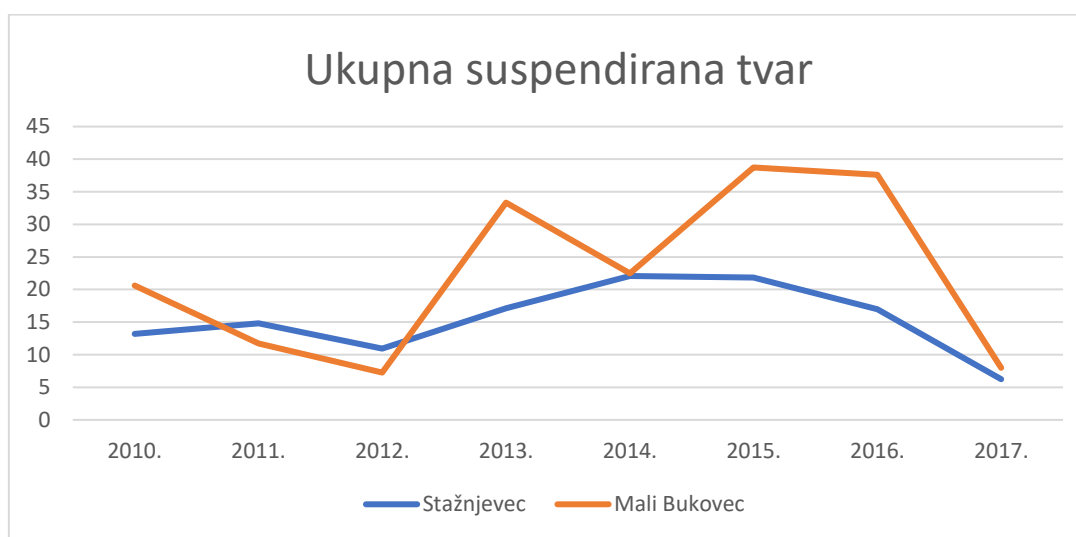


Slika 9. Prikaz filtracije i laboratorijska peć za sušenje

Izvor: [35] i [36]

Rezultati:**Tablica 7. Rezultati ispitivanja – Ukupna suspendirana tvar (mg/l)**

Mjesto ispitivanja	Godine							
	2010.	2011.	2012.	2013.	2014.	2015.	2016.	2017.
Stažnjevec	13,18	14,81	10,92	17,13	22,08	21,82	17	6,24
Mali Bukovec	20,60	11,72	7,26	33,35	22,50	38,73	37,58	7,99

Izvor: *Hrvatske vode***Grafički prikaz:****Zapažanja:**

Vrijednost ukupne suspendirane tvari kod mjesta Mali Bukovec izrazito varira. Ta odstupanja ovise o vremenskim uvjetima i oborinama tijekom godina ispitivanja. Prilikom većih oborina (i devastacije obalnog dijela) ima više suspendirane tvari nego kod manjih oborina kada je ispitivana suspendirana tvar manja. Također se na rijeci Bednji nalazi jedna brana kod mjesta Kućan Ludbreški koja regulira protok vode te djelomično zaustavlja veće čestice (granje, drveće, smeće, plastičnu ambalažu itd.).

Prema tabličnom i grafičkom prikazu vidljivo je da rijeka Bednja vrlo dobro zadovoljava preporučene granične vrijednosti koje su manje od 35 mg/l, osim 2015. i 2016. godine, ali je kao takva pogodna za normalan rast i razvoj flore i faune.

4.4. Električna vodljivost pri 25 °C

„Konduktivitet je indirektna mjera za ukupnu količinu otopljenih tvari u vodi. Određivanjem konduktiviteta u uzorku vode mjerimo sposobnost provođenja struje u uzorku. Konduktivitet (električna vodljivost) se izražava u mikro Simensima po centimetru ($\mu\text{S}/\text{cm}$)“. Povećanjem primjesa (soli) u vodi povećava se i el. vodljivost, a kod destilirane vode ona je vrlo slaba. Prilikom mjerenja električne vodljivosti u vodi možemo procijeniti količinu otopljene tvari koja se izražava u ppm (mg/l). Ako se želi dobiti navedena vrijednost, el. vodljivost mora se pomnožiti s faktorom između 0,54 i 0,96 (za prirodnu vodu), a vrijednost faktora ovisi o tipu otopljene tvari. Ako se ne može procijeniti tip otopljene tvari, el. vodljivost množi se faktorom 0,67.

Veću električnu vodljivost imaju prirodne vode koje se nalaze na podlozi od topljivih stijena (vapnencu), a nižu imaju vode na granitnoj podlozi. Do visoke električne vodljivosti može doći i u sušnim područjima (evaporacijom vode) zbog visoke koncentracije otopljenih tvari. Ukupne otopljene tvari u vodi za piće mora biti manje od 500 ppm ili 750 $\mu\text{S}/\text{cm}$ električne vodljivosti [7].

Pribor i kemikalije:

Pribor koji je potreban za mjerenje električne vodljivosti pri 25 °C je konduktometar, deionizirana voda ili destilirana voda, 2 staklene čaše i termometar.

Postupak:

Mjerenje električne vodljivosti pri 25 °C vrši se konduktometrom. Prije samog mjerenja staklene čaše u koje se ulijeva uzorak potrebno je isprati deioniziranom vodom (ili destiliranom vodom) i dobro osušiti. Također je potrebno i sondu konduktometra dobro isprati deioniziranom vodom (jer je njezina vrijednost jednaka, odnosno približno jednaka nuli). Prije početka mjerenja temperatura uzorka mora odgovarati temperaturi

kada je sam uzorak uzet zato što prilikom povišenja temperature uzorka za 1 °C, odstupanja u rezultatu bit će za 2 % te vlažnost zraka mora biti između 30 % i 80 %.

Uzorak vode ulije se u staklenu čašu tako da je sonda konduktometra u potpunosti uronjena u uzorak. Mjerenje se vrši tri puta i srednja vrijednost uzima se kao relevantna vrijednost te se bilježi kao konačan rezultat.



Slika 10. Konduktometar

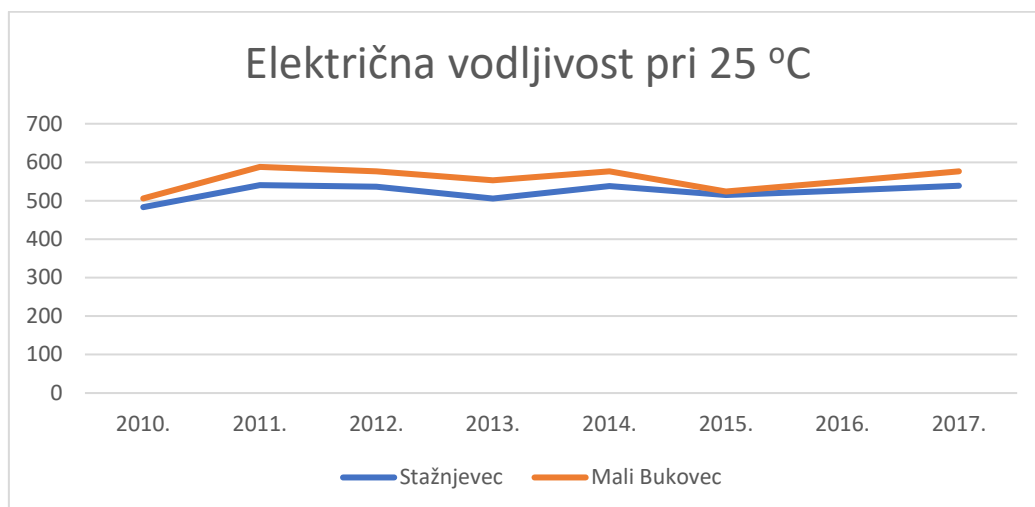
Izvor: [37]

Rezultati:

Tablica 8. Rezultati ispitivanja – Električna vodljivost pri 25 °C ($\mu\text{S/cm}$)

Mjesto ispitivanja	Godine							
	2010.	2011.	2012.	2013.	2014.	2015.	2016.	2017.
Stažnjevec	483,23	540,5	536,08	505,67	538,17	515,08	526,67	538,75
Mali Bukovec	505,85	587,83	576	553,17	576,50	523,75	549,75	576,42

Izvor: *Hrvatske vode*

Grafički prikaz:**Zapažanja:**

Prema tablici i krivulji na grafičkom prikazu vidljivo je da je električna vodljivost pri 25°C s blagim porastima i padovima (bez znatnih odstupanja). Time se dokazuje da nema nagih povećanja i smanjenja primjesa u riječnoj vodi. Prema rezultatima iz tablice i grafičkog prikaza vidljivo je da je uzorkovana voda iz rijeke Bednje u vrlo dobrom stanju.

4.5. Otopljeni kisik

Otopljeni kisik (O_2) masa je molekula kisika otopljenih u volumenu vode, neophodan za respiraciju (disanje) mikroorganizama i aerobnih bakterija. Prilikom niskih koncentracija otopljenoga kisika u otpadnoj vodi mogu nastati neugodni mirisi zbog anaerobne razgradnje te nastajanja plinova kao što su amonijak, metan i sumporovodik. Također može doći i do pojave „cvjetanja mora“ (bujanja algi), eutrofikacije vode, porasta broja bakterija (protozoa i metazoa). Metoda kojom se vrši određivanje otopljenoga kisika naziva se titrimetrija (volumetrija) ili se mjeri kisikovom elektrodom [8].

„Titrimetrija (volumetrija) je skup metoda kvantitativne analitičke kemije pri kojima se određuje volumen reagensa poznate koncentracije, koji se potroši za potpunu reakciju

s analitom. Postupak određivanja volumena reagensa naziva se titracijom, a reagens kojemu se određuje volumen naziva se titrandom [12].“

Analiza otopljenoga kisika vrši se odmah nakon uzimanja uzorka (ne smije proći više od 30 minuta) [7].

Otopljeni kisik također je parametar kojim određujemo koliko je kisika otopljeno u sustavu te je važan indikator stupnja korisnosti vode za određenu primjenu. Mjerenja se mogu vršiti pomoću DO sonde, mjerača i galvanske sonde [13].

Topljivost kisika u vodi je različita (ovisno o temperaturi), najveća topljivost je u hladnoj vodi pri 4 °C (npr. 13,1 mg/l), a nešto manja pri 25 °C (npr. 8,3 mg/l). Ako je zasićenost kisikom ispod 80 %, tada je potrošnja kisika povećana. Topljivost također ovisi i o tlaku zraka i salinitetu (više kisika otopit će se u vodi s višim tlakom, a manje kada je salinitet veći). U brzotekućim i turbulentnim vodama otapa se više kisika, najviše kisika troše organske tvari (mrtvi biljni i životinjski organizmi) i antropogeni unosi (kanalizacija) prilikom procesa razgradnje, a u sporotekućim zasićenost kisikom može pasti i ispod 50 %. Ako nema dovoljne količine kisika u vodi, život nije moguć za većinu biljnih i životinjskih vrsta, a najopasnije je kada je ispod 3 mg/l. U ljetnim mjesecima često se javljaju kritični uvjeti u vodama stajaćicama zbog kumulativnog efekta visokih temperatura (manje kisika), pojačane razgradnje organske tvari i bržeg metabolizma čitave zajednice [7].

Pribor i kemikalije:

Winklerova boca, graduirane pipete, staklene kuglice, otopina manganovog(II)klorida (MnCl_2), otopina kalijevog jodida (KJ), otopina natrijevog hidroksida (NaOH), fosforna kiselina (H_3PO_4), klorovodična kiselina (HCl), otopina natrijevog tiosulfata ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) koncentracije 0,01 mol/l, destilirana voda, stakleni lijevak, 2 pipete, staklena čaša, tri Erlenmeyerove tikvice, odmjerne tikvica, bireta, stativ, hvataljke.

Postupak:

Otopljeni kisik u vodi određuje se metodom po Winkleru. Winklerovu bocu potrebno je napuniti s vodom (ispitivanim uzorkom). Zatim se pipetom doda 2 ml otopine manganovog(II)klorida i 2 ml otopine kalijevog jodida. Također je potrebno staviti

staklene kuglice (zbog boljeg miješanja otopina) i dobro protresti. Nakon miješanja, Winklerovu bocu potrebno je odložiti i ostaviti 10 minuta na tamnome mjesto da se talog slegne. Talog je potrebno izliti u staklenu čašu te ga otopiti u 7,5 ml smjese kiselina (fosfatne i klorovodične kiseline) i prelići u Erlenmeyerove tikvice. Izlučeni jod titrira se standardnom otopinom natrijevog tiosulfata koncentracije 0,01 mol/l do nestanka žute boje. Kada žuta boja nestane potrebno je dodati 1 ml otopine škroba te se titracija nastavlja do gubitka plave boje. Kada plava boja nestane, potrebno je očitati volumen utrošenog reagensa i zabilježiti ga te izračunati otopljeni kisik pomoću formule, a dobiveni rezultat zabilježiti kao konačan rezultat.

Formula za izračunavanje otopljenog kisika u vodi:

$$m(\text{O}_2) / [\text{mg/l}] = \frac{V(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3) \times c(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3) \times 8 \times 1000}{\text{volumen boce} - (\text{dodani reagensi} - \text{staklene kuglice})} \quad (3)$$

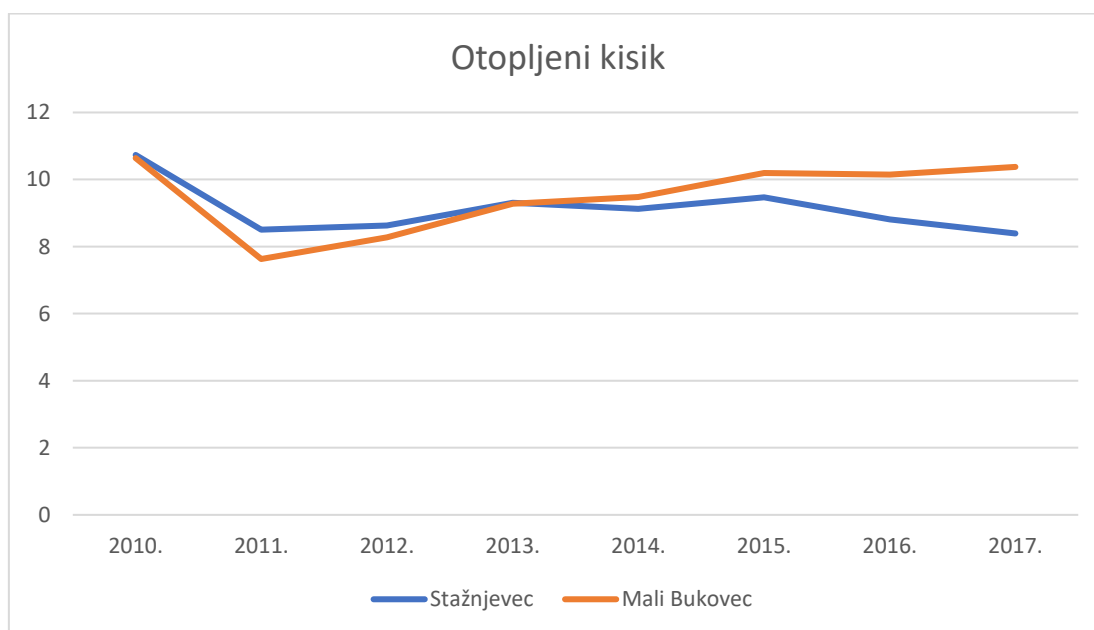


Slika 11. Prikaz otopina i reakcija u Erlenmeyerovim tikvicama

Izvor: [38]

Rezultati:**Tablica 9. Rezultati ispitivanja – Otopljeni kisik (mgO₂/l)**

Mjesto ispitivanja	Godine							
	2010.	2011.	2012.	2013.	2014.	2015.	2016.	2017.
Stažnjevec	10,73	8,51	8,63	9,31	9,13	9,47	8,81	8,39
Mali Bukovec	10,64	7,63	8,28	9,28	9,48	10,19	10,15	10,38

Izvor: *Hrvatske vode***Grafički prikaz:****Zapažanja:**

Kod analize uzorka uzetoga kod mjesta Stažnjevec i mjesta Mali Bukovec, prema tabličnom i grafičkom prikazu vidljivo je da je rezultat skoro konstantan, uz lagano povećanje i padanje. Ispitivani uzorak rijeke Bednje koja se može smatrati brzotekućom vodom zadovoljava potrebe za kisikom za normalu funkciju flore i faune.

4.5.1. Kemijska potrošnja kisika

„Kemijska potrošnja kisika (KPK) predstavlja ekvivalentnu količinu kisika (O_2) koja je potrebna za oksidaciju organske tvari u uzorku otpadne vode s jakim kemijskim oksidansom [8].“ KPK određuje se pomoću spektrometra i reagensa (živin(II)sulfat, srebrov sulfat i kalijev dikromat) [8].

Pribor i kemikalije:

Pribor koji je potreban za ispitivanje uzorka vode je kiveta, spektrometar, plastični čep za kivetu, plamenik, termometar, staklena čaša, a potrebne kemikalije su živin(II)sulfat, srebrov sulfat, kalijev dikromat.

Postupak:

Postupak kojim se utvrđuje postojanost KPK-a u vodi određuje se tako što se uzorak stavi u kivete koje je potrebno začepiti da ne bi uzorak ispario prilikom kuhanja. Kivete s uzorkom potrebno je kuhati 2 sata na temperaturi od $150\text{ }^\circ\text{C}$. Također je potrebno pripremiti i slijepu probu gdje se umjesto uzorka nalazi destilirana ili demineralizirana voda. Ohlađeni uzorci stavljaju se jedan po jedan u spektrofotometar te se mjere apsorpcijom na valnoj duljini od 600 nm te se uspoređuju sa slijepom probom.



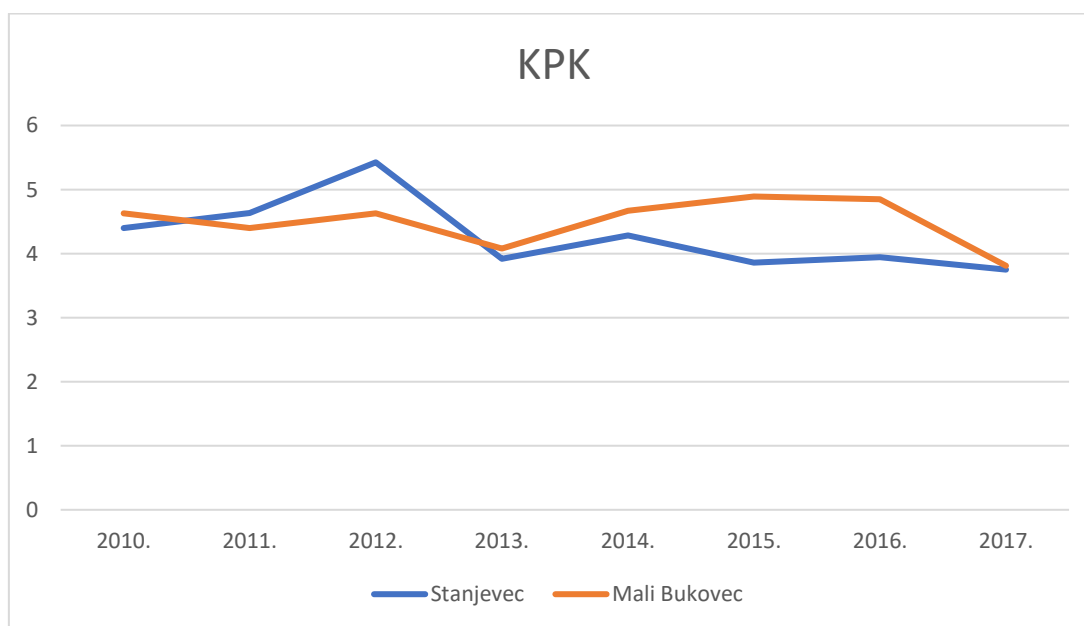
Slika 12. Spektrofotometar i kiveta za spektrofotometar

Izvor: [39] i [40]

Rezultati:**Tablica 10.** Rezultati ispitivanja – Kemijska potrošnja kisika (mgO_2/l)

Mjesto ispitivanja	Godine							
	2010.	2011.	2012.	2013.	2014.	2015.	2016.	2017.
Stažnjevec	4,4	4,64	5,43	3,92	4,28	3,86	3,94	3,75
Mali Bukovec	4,63	4,40	4,63	4,08	4,67	4,89	4,85	3,81

Izvor: Hrvatske vode

Grafički prikaz:**Zapažanja:**

Pomoću grafičkog prikaza vidljiva je promjena od početnog mjesta ispitivanja i završnog mjesta ispitivanja. Tijekom godina vrijednost kemijske potrošnje kisika je lagano opadala. Takva promjena rezultat je promjene zakona prilikom ulaska u Europsku uniju te promjena sastava nekih pesticida, fungicida i ostalih sredstva za zaštitu bilja, gnojiva, ali i goriva za motorna vozila.

4.5.2. Biološka potrošnja kisika

„Biološka potrošnja kisika (BPK₅) neizravna je mjera koncentracije organskog onečišćenja u otpadnoj vodi. Biološka potrošnja kisika pokazatelj je koliko je aerobnim heterotrofnim bakterijama i ostalim mikroorganizmima potrebno kisika (O₂) za biokemijasku oksidaciju organske tvari u uzorku otpadne vode pri odgovarajućoj temperaturi i određenom vremenu [8].“

Određivanje biološke potrošnje kisika vrši se tako što se uzme uzorak vode koji se želi ispitati i razrijedi se s velikom količinom destilirane vode. Nakon toga uzorak se stavi u staklene boce (bez prisutnosti kisika) na temperaturu od 20 °C i ostavi stajati pet dana. Kada uzorak odstoji u začepljenim bocama pet dana na određenoj temperaturi, tek nakon toga se može odrediti potrošnja otopljenoga kisika koji se izražava u mg O₂/l [10].

Posljedica povećane koncentracije biološke potrošnje kisika u vodi može biti zbog čovjekova djelovanja, neadekvatnog postupanja s okolišem (ispuštanjem gradske kanalizacije u vodu (rijeku), ispuštanjem industrijskih otpadnih voda, prekomjernim korištenjem pesticida, herbicida i fungicida koji se mogu pomoću oborina isprati i doći u obližnju rijeku ili potok, procjedne vode iz deponija, motorna goriva i ulja iz prometnica) [10].

Pribor i kemikalije:

Pribor potreban za određivanje biološke potrošnje kisika u uzorku je Oxitop (*Slika 13. b*), termostat (koji je podešen na 20 °C), bočica od tamnog stakla (volumena od 510 ml), magnet, odmjerne tikvice od 432 ml, odmjerne tikvice od 164 ml, menzure, staklena čaša, lijevak. Kemikalije koje su potrebne za određivanje biološke potrošnje kisika su 0,5 g N-aliltiourea, natrijev hidroksid (NaOH) u granulama (*Slika 13. a*) i demineralizirana voda.

Postupak:

Prije samog određivanja biološke potrošnje kisika (BPK₅) u staklenoj čaši potrebno je otopiti 0,5 g N-aliltiourea (C₄H₈N₂S) u malo demineralizirane vode. Kada se sve dobro otopi, otopinu je potrebno prebaciti pomoću lijevka u odmjernu tikvicu od 100 ml te

nadopuniti do oznake s demineraliziranom vodom. Ta otopina koristi se kao inhibitor nitrifikacije ($c = 5 \text{ g/l}$). Pomoću menzure potrebno je odmjeriti određen volumen homogeniziranog uzorka (o tome ovisi koncentracija utrošenoga kisika nakon 5 dana) te prebaciti u bočicu od tamnog stakla (volumena od 510 ml). Zatim dodati prethodno pripremljeni inhibitor nitrifikacije (na 50 ml uzorka dodaje se 1 kap inhibitora), polagano staviti magnetički koji svojom vrtnjom miješa uzorak te gumeni nastavak na grlo bočice u koji se stave 2 granule natrijeva hidroksida. Bočicu je potrebno zatvoriti oxiptom i nulirati istovremenim pritiskom na S i M tako dugo dok se na zaslonu ne pojave dvije nule. Sve zajedno potrebno je staviti u termostat, a magnetički u bočici mora se okretati. Rezultati se očitavaju nakon 5 dana te se bilježe kao konačni rezultati.



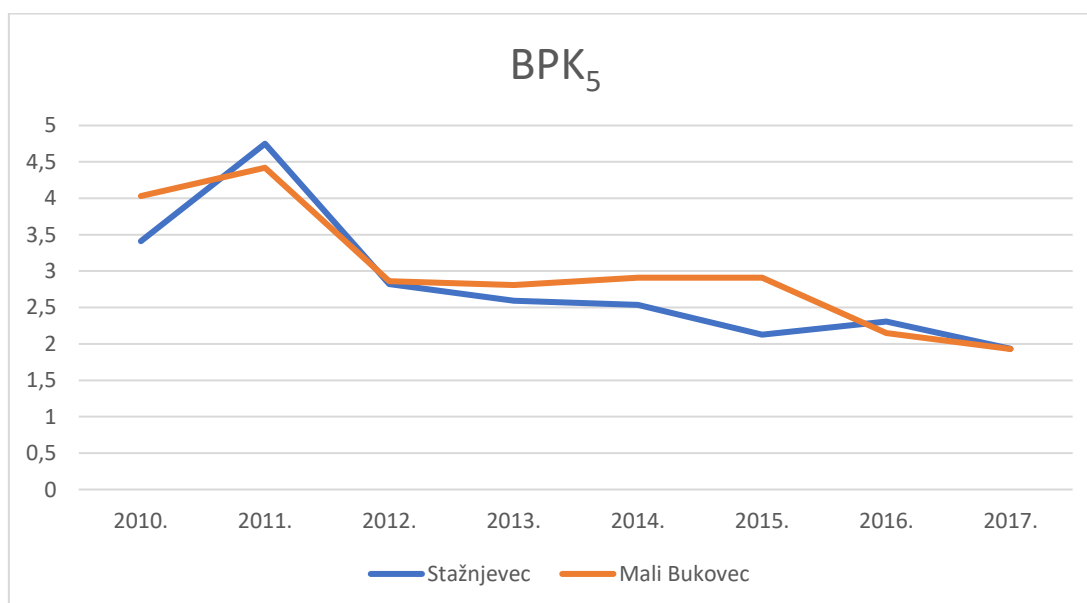
Slika 13. a) Natrijev hidroksid u luskicama i b) OxiTop na staklenim tamnim bocama

Izvor: a) [41] i b) [14]

Rezultati:**Tablica 11.** Rezultati ispitivanja – Biološka potrošnja kisika (mgO_2/l)

Mjesto ispitivanja	Godine							
	2010.	2011.	2012.	2013.	2014.	2015.	2016.	2017.
Stažnjevec	3,41	4,75	2,82	2,59	2,54	2,13	2,31	1,94
Mali Bukovec	4,03	4,42	2,86	2,81	2,91	2,91	2,15	1,93

Izvor: Hrvatske vode

Grafički prikaz:**Zapažanja:**

Biološka potrošnja kisika u ispitivanom uzorku varira. Godine 2011. vrijednost je naglo porasla zbog viših temperatura zraka i vode (gledana prosječna vrijednost po godinama) nego u ostalim prikazanim godinama u grafičkom prikazu. Ono što je također utjecalo na nagli porast biološke potrošnje kisika je što nema dovoljno riječne flore koja bi vodu opskrbljivala kisikom tijekom viših temperatura.

4.6. Ukupni dušik

U vodama (prirodnim ili otpadnim) se dušik pojavljuje u različitim oblicima kao što su: nitrati, nitriti, amonijak i organski dušik. Takvi oblici, kao i elementarni dušik (N_2) u plinovitom stanju, sastavni su dio ciklusa dušika i biokemijski se mogu prevesti iz jednog oblika u drugi [18].

Ukupni dušik (N) u otpadnoj vodi određuje se spektrofotometrijski ili specifičnom ionsko-selektivnom elektrodom u kombinaciji s pH-metrom.

Sanitarne otpadne vode pune su dušika (koji dolazi putem sanitarnog čvora) i pri većim koncentracijama koje se ispuštaju u prijemnik mogu izazvati odumiranje flore i faune [8].

Pribor i kemikalije:

Pribor potreban za određivanje ukupnog dušika u uzorku vode je spektrofotometar, demineralizirana voda, kivete, kalij-persulfat (u prahu), 50 g granula natrijeva hidroksida (NaOH), smjesa sumporne i fosforne kiseline (500 ml sumporne kiseline, gustoće 1,84 g/mol pomiješane s 500 ml fosforne kiseline, gustoće 1,71 g/mol), otopina 2,6-dimetilfenola (0,12 g 2,6 – dimetilfenola otopljenog u 100 g koncentrirane octene kiseline (CH_3COOH)).

Postupak:

Prije samog uzorkovanja kivete potrebno je isprati demineraliziranom vodom i osušiti. Zatim je potrebno u kivete izvagati 440 mg kalij-persulfata. Nakon vaganja i dodavanja kalij-persulfata potrebno je uliti 5 ml uzorka vode i dodati 1 ml 5 M natrijeva hidroksida (NaOH). Kivete je potrebno začepiti, pomiješati i staviti kuhati 60 minuta u COD – reaktor na temperaturu od 105 °C. Nakon kuhanja kivete je potrebno ohladiti na sobnu temperaturu te odrediti koncentraciju dušika u obliku nitrata s 2,6 – dimetilfenolom. Koncentracija dušika određuje se tako što se u čiste kivete odmjeri 7,5 ml smjese sumporne i fosforne kiseline te se doda 1 ml digestirane otopine uzorka i 1 ml otopine 2,6 – dimetilfenola. Kada se to sve doda, kivete je potrebno začepiti, promiješati i ostaviti da odstoje 20 minuta na sobnoj temperaturi. Nakon 20 minuta stajanja potrebno

je izmjeriti apsorbanciju na 324 (510) nm u odnosu na slijepu probu. Prilikom izmjere na zaslonu spektrofotometra automatski se pojavi vrijednost koncentracije ukupnog dušika, a izražava se u mg/l NO_3^{2-} - N. Takav rezultat bilježi se kao konačan rezultat [14].



Slika 14. Spektrofotometar

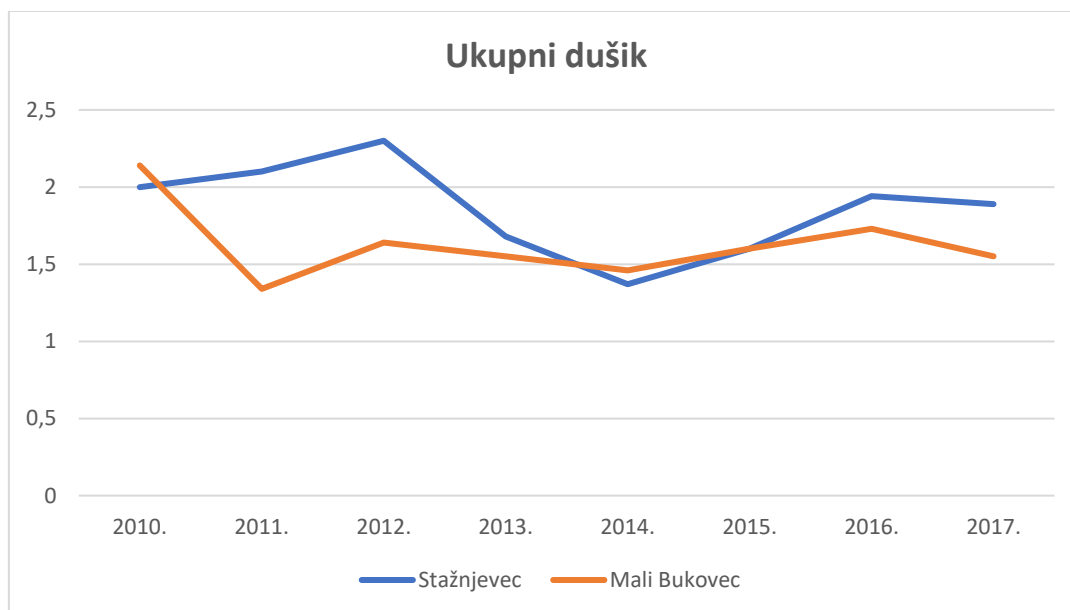
Izvor: [17]

Rezultati:

Tablica 12. Rezultati ispitivanja – Ukupni dušik (mgN/l)

Mjesto ispitivanja	Godine							
	2010.	2011.	2012.	2013.	2014.	2015.	2016.	2017.
Stažnjevec	2	2,1	2,3	1,68	1,37	1,60	1,94	1,89
Mali Bukovec	2,14	1,34	1,64	1,55	1,46	1,60	1,73	1,55

Izvor: *Hrvatske vode*

Grafički prikaz:**Zapažanja:**

Prema grafičkom i tabličnom prikazu vidljivo je da ukupni dušik varira tijekom svih ispitivanih godina, a njegova najveća vrijednost bila je 2012. godine u mjestu Stažnjevec.

4.6.1. Nitriti (NO₂⁻)

„Nitriti se prirodno nalaze u okolišu kao dio ciklusa kruženja dušika i dušikovih spojeva u prirodi. Mogu se pronaći u zraku, tlu, vodi i hrani (osobito u povrću) i prirodno se sintetiziraju u ljudskom tijelu. Često se koriste kao gnojiva, rodenticidi, ali i kao aditivi u hrani. Igraju vrlo važnu ulogu u ishrani i metabolizmu biljaka [19].“

U vodama se javljaju s vrlo niskom koncentracijom kisika. Ako nitriti dospiju u ljudski organizam (u prekomjernim količinama), mogu izazvati oksidaciju željeza u hemoglobinu (u crvenim krvnim stanicama) stvarajući methemoglobin koji ne prenosi kisik do stanica. Kada stanice u tijelu nemaju dovoljne količine kisika, koža i krvne žile poplave, a može doći i do karcinoma. Ista reakcija kao kod ljudi događa se i kod životinja ako nitriti dospiju u vodeni okoliš u prekomjernim količinama [19].

Pribor i kemikalije:

Pribor potreban za određivanje nitrita (NO_2^-) u vodi su dvije odmjerne tikvice od 1 000 ml, dvije odmjerne tikvice od 500 ml, menzura, Erlenmeyerova tikvica od 50 ml, vaga. Kemikalije koje su potrebne za određivanje nitrita u uzorku su EDTA – titrival (od 0,01 mol), sulfanilna kiselina ($\text{NH}_2 \times \text{C}_6\text{H}_4 \times \text{SO}_4 \times \text{H}_2\text{O}$), koncentrirana klorovodična kiselina (HCl), α – naftil – amin, 1 – naftilamin ($\text{C}_{10}\text{H}_7\text{N}$), demineralizirana voda.

Postupak:

Otopine koje je potrebno pripremiti za određivanje nitrita u uzorku vode su otopina EDTA – titrival od 0,01 mol, sulfanilna kiselina i α – naftil – amin. Za otopinu EDTA – titrival 0,01 M potrebno je pripremiti osnovnu otopinu – titrival 0,1 M EDTA (etilen – diamin – tetraoctena kiselina) koju je potrebno prebaciti u odmjernu tikvicu od 1 000 ml te nadopuniti demineraliziranom vodom do oznake. Također je potrebno pripremiti i radnu otopinu tako što se 100 ml 0,1 M EDTA odmjeri u odmjernu tikvicu od 1 000 ml i nadopuni demineraliziranom vodom do oznake.

Za određivanje je također potrebna otopina sulfanilne kiseline. Najprije je potrebno zagrijati do vrenja 350 ml demineralizirane vode i izvagati 3 g sulfanilne kiseline ($\text{NH}_2 \times \text{C}_6\text{H}_4 \times \text{SO}_4 \times \text{H}_2\text{O}$) koja se stavi još u vruću demineraliziranu vodu, lagano se promućka i pričeka da se ohladi. Nakon što se ohladi potrebno je prebaciti u odmjernu tikvicu i dodati 100 ml koncentrirane klorovodične kiseline te do oznake napuniti demineraliziranom vodom.

Također je potrebno izvagati 3 g 1 – naftilamina ($\text{C}_{10}\text{H}_7\text{N}$) te otopiti u demineraliziranoj vodi, sve zajedno prebaciti u odmjernu tikvicu od 500 ml, dodati 5 ml koncentrirane klorovodične kiseline i nadopuniti demineraliziranom vodom do oznake. Nakon što odstoji tjedan dana, može doći do promjene boje i nastajanja taloga, stoga treba izdvojiti nastali talog, ali kao takva otopina je još uvijek upotrebljiva.

U Erlenmeyerovu tikvicu potrebno je pomoću menzure odmjeriti 50 ml uzorka, dodati 1 ml EDTA, 1 ml sulfanilne kiseline i 1 ml α – naftil – amina. Potrebno je lagano promućkati i ostaviti da odstoji 10 minuta da bi se razvila ružičasta boja. Što je ružičasta

boja tamnija, to je dokaz veće prisutnosti nitrita u uzorku vode. Mjerenje se vrši pomoću spektrofotometra na apsorpciji od 520 nm u odnosu na slijepu probu. Dobiveni rezultat na zaslonu spektrofotometra bilježi se kao konačan rezultat.



Slika 15. Erlenmeyerova tikvica s uzorkom kod kojeg se vidi prisutnost nitrita

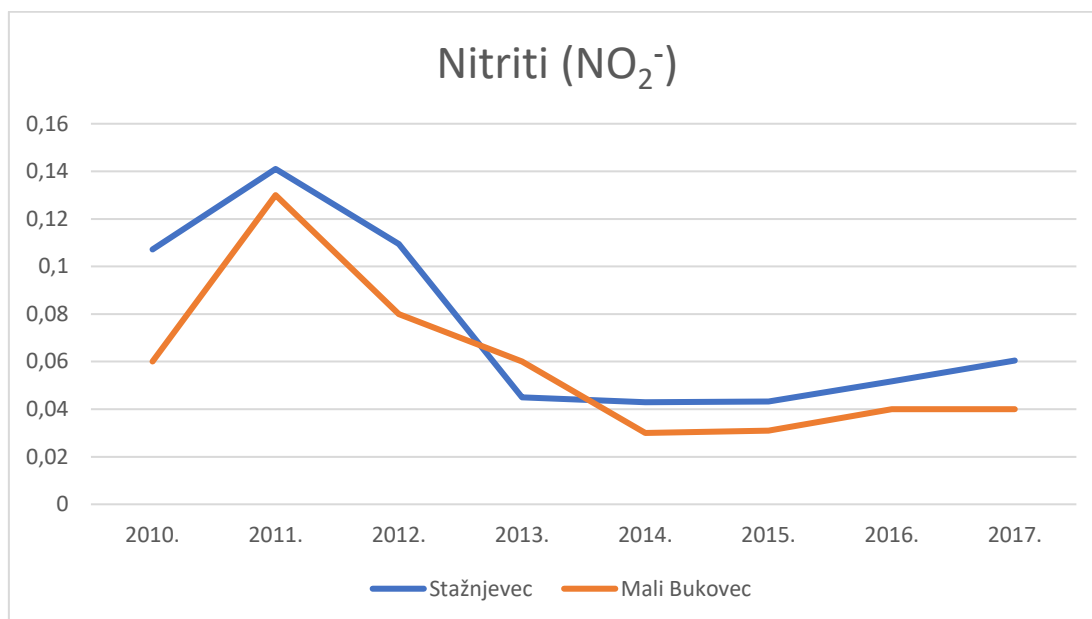
Izvor: [41]

Rezultati:

Tablica 13. Rezultati ispitivanja – Nitriti (mgN/l)

Mjesto ispitivanja	Godine							
	2010.	2011.	2012.	2013.	2014.	2015.	2016.	2017.
Stožnjevec	0,11	0,14	0,11	0,04	0,04	0,04	0,05	0,06
Mali Bukovec	0,06	0,13	0,08	0,06	0,03	0,03	0,04	0,04

Izvor: *Hrvatske vode*

Grafički prikaz:**Zapažanja:**

Prema tabličnom i grafičkom prikazu 2011. godine koncentracija nitrita bila je izrazito visoka zbog toga što je te godine vladala ekstremna suša te su temperature bile najviše u odnosu na prethodno desetljeće. Zbog smanjene količine vode u rijeci koncentracija nitrita bila je povećana. Godine 2013. koncentracija nitrita u mjestu Stažnjevec naglo je pala zbog velikih oborina tokom godine. A 2016. i 2017. godine koncentracija nitrita lagano je porasla s porastom temperatura koje su tih godina dosezale ekstremne vrijednosti.

4.6.2. Nitrati (NO_3^-)

Nitrati se određuju zbog utvrđivanja mogućnost upotrebe vode te pomažu u određivanju utjecaja unosa hranjivih tvari u vodeni ekosustav. Mjerenje nitrata vrlo je važno zbog određivanja kvalitete vode. Koncentracija nitrata u prirodnim vodama iznosi 1 mg/l N- NO_3^- (1 mg/l dušika u nitratu). Ako je koncentracija puno veća, dolazi do promjene okusa i mirisa vode. U slučaju da je koncentracija veća od 90 mg/l N- NO_3^- tada se javljaju toksični efekti na životinjske organizme. Prilikom normalnih (prirodnih) koncentracija nitrati su vrlo važni za rast algi i drugih vodenih biljaka. Prirodni su izvori

povećanja koncentracije nitrata oborine (kiša, tuča, snijeg i magla) te raspadanje organske tvari u tlu i sedimentu [7].

Jedan su od najvećih umjetnih izvora nitrata uz prisutnost ljudskog faktora kanalizacije koje nekad nisu bile spojene na pročištač, a danas se sve više uvodi pročišćavanje komunalnih otpadnih voda i zatvaranje kanalizacijskih sustava koji su direktno dovođeni u rijeku. Pročišćavanjem se smanjuje koncentracija nitrata i tako se poboljšavaju životni uvjeti u vodama. Nitrati se mjere kemijskim postupkom tako da se prevode u nitrite te se mjeri ukupna količina nitrita [7].

Jednadžba računanja nitrata u vodi:

$$\text{Koncentracija dušika u nitratu} = \text{maseni udio dušika} \times \text{koncentracija otopine kalijevog nitrata}$$

Analiza nitrata vrši se do 2 sata nakon uzimanja uzorka [7].

„Nitrati se pojavljuju u tragovima u površinskim vodama, a veće koncentracije dolaze u podzemnim vodama. Nitrati su esencijalne mineralne tvari za fotosintetske autotrofne organizme, a u nekim slučajevima mogu biti i ograničavajući faktor rasta. Dozvoljena količina nitrata u pitkim vodama iznosi 10 mg N/l [18].“

Pribor i kemikalije:

Pribor i kemikalije koji su potrebni za određivanje nitrata (NO_3^-) u uzorku vode su: spektrofotometar, 1 M (molarna) klorovodična kiselina (HCl), demineralizirana voda, odmjerne tikvica, Erlenmeyerova tikvica i menzura.

Postupak:

Prilikom određivanja nitrata (NO_3^-) u uzorku vode iz rijeke Bednje potrebno je u odmjernu tikvicu od 500 ml uliti 200 ml demineralizirane vode, dodati 42,68 ml

koncentrirane klorovodične kiseline (HCl) koja je odmjerena menzuroom te ostatak odmjerne tikvice napuniti do oznake demineraliziranom vodom. Zatim je potrebno u Erlenmeyerovu tikvicu od 100 ml odmjeriti menzuroom 50 ml uzorka i dodati 1 ml 1 molarne klorovodične kiseline (HCl) i promiješati. Uzorak se ulije u kivetu koja se stavi u spektrofotometar. Također je na spektrofotometru potrebno izmjeriti apsorpciju na 220 nm (UV područja) u odnosu na slijepu probu. Na zaslonu spektrofotometra automatski se očita koncentracija nitrata koja se izražava u mg/l te se taj rezultat bilježi kao konačan rezultat.



Slika 16. Odmjerna tikvica i Erlenmeyerova tikvica

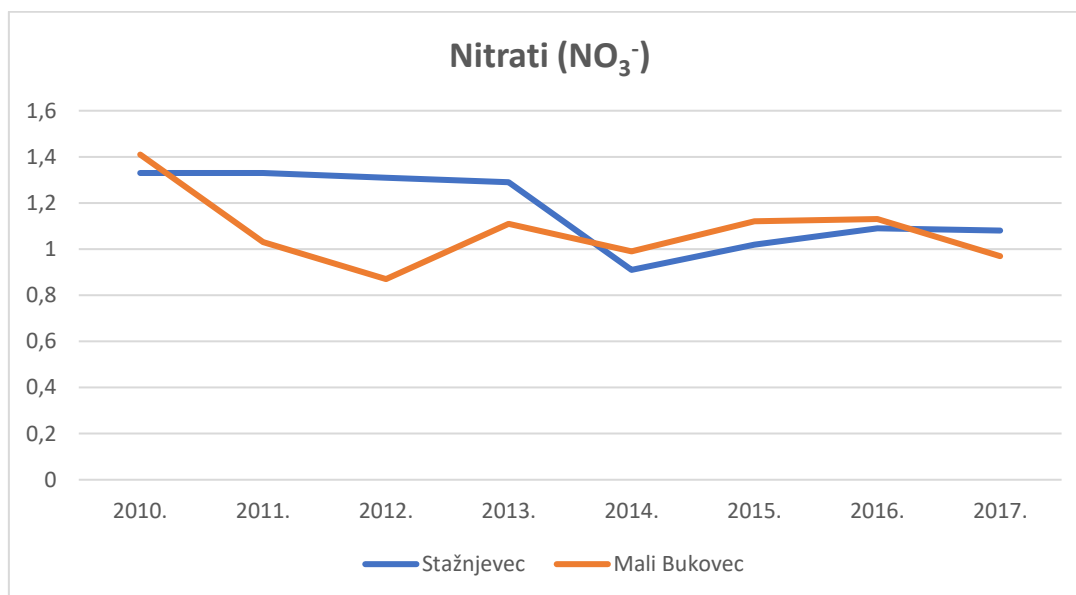
Izvor: [16] i [11]

Rezultati:

Tablica 14. Rezultati ispitivanja – Nitrati (mgN/l)

Mjesto ispitivanja	Godine							
	2010.	2011.	2012.	2013.	2014.	2015.	2016.	2017.
Stažnjevec	1,33	1,33	1,31	1,29	0,91	1,02	1,09	1,08
Mali Bukovec	1,41	1,03	0,87	1,11	0,99	1,12	1,13	0,97

Izvor: *Hrvatske vode*

Grafički prikaz:**Zapažanja:**

Prema tabličnom i grafičkom prikazu vidljivo je da se koncentracija nitrata s godinama polako smanjila. Takvom rezultatu pridonijelo je smanjenje upotrebe umjetnih gnojiva. Uspoređujući dobivene rezultate prosječne vrijednost iz tablice s Uredbom o standardu kakvoće voda (NN 96/19), vidljivo je da voda iz rijeke Bednje zadovoljava standarde, ali nije preporučljiva konzumacija.

4.6.3. Amonijak

Amonijak (NH_3) je plin bez boje, okusa, oštra mirisa i otrovan je, lakši je od zraka, vrlo je lako topljiv u vodi te može biti u ioniziranom i neioniziranom obliku. „Vodena otopina reagira alkalično, a uz amonijak sadrži i adicijom vode nastalu bazu NH_4OH (amonijev hidroksid). U prirodi nastaje raspadanjem bjelančevina i vulkanskom djelatnošću. U tehnici se dobiva izravnom sintezom od sastavnih elemenata (dušik i vodik) pod povišenim tlakom i pri višoj temperaturi (Haber-Boschov postupak), a manje količine i iz amonijačnih voda.“ Osnovica je dobivenih dušikovih spojeva, najviše se koristi za dobivanje umjetnih gnojiva, a u tekućem se obliku sam amonijak koristi kao gnojivo (oko 80 %). Također se upotrebljava u proizvodnji amonijevih soli (koja se u malim količinama nalazi u kišnici), dušične (nitratne (HNO_3) kiseline,

kemijskih vlakana, aminoplasta, bojila, amina, eksploziva, natrijeva cijanida, u metalurgiji i rashladnim uređajima [20].

Razina prirodnog izvora amonijaka u podzemnim i površinskim vodama je ispod 0,2 mg/l, a anaerobne podzemne vode mogu sadržavati i do 0,3 mg/l. Kod intenzivnog uzgoja domaćih životinja (goveda, svinja) na farmama može doći do povećane koncentracije amonijaka u površinskim vodama (zbog gnojnice). Prisutnost amonijaka u vodi pokazatelj je moguće bakterijske aktivnosti, kanalizacije i životinjskog otpada [21].

Pribor i kemikalije:

Pribor koji je potreban za određivanje amonijaka u uzorku vode koji je uzet iz rijeke Bednje je spektrofotometar, Erlenmeyerova tikvica, odmjerna tikvica od 500 ml, odmjerna tikvica od 50 ml i menzura. Kemikalije koje su potrebne za određivanje amonijaka u vodi su salicilat – citratna otopina, natrij – salicilat, trinatrij – citrat dihidrat, natrijev hidroksid (NaOH), natrij – diklorizo – cijanourat i demineralizirana voda.

Postupak:

Kod određivanja amonijaka u vodi najprije je potrebno pripremiti salicilat – citratnu otopinu i otopinu reagensa. Salicilat – citratna otopina priprema se tako što se izvaže 65 g natrij – salicilata i 65 g trinatrij – citrata dihidrata te se stave u Erlenmeyerovu tikvicu i doda se malo demineralizirane vode te se dobije žuti štiš. Zatim se izvaže i doda 0,485 g natrij – nitroprusida i prethodnu otopinu koja je postala još tamnija. Sve zajedno potrebno je dobro promućkati i uliti u odmjernu tikvicu od 500 ml te nadopuniti demineraliziranom vodom do oznake.

Nakon pripremljene salicilat – citratne otopine potrebno je pripremiti otopinu reagensa. Za otopinu reagensa potrebno je izvagati 16 g natrijeva hidroksida koji je potrebno otopiti u 200 ml demineralizirane vode te ostaviti da odstoji na sobnoj temperaturi (22 – 24°C) da se ohladi. U ohlađenu otopinu natrijeva hidroksida doda se 1 g natrij – diklorizo – cijanourat, a nakon što se sav otopi, otopinu reagensa potrebno je staviti u odmjernu tikvicu od 500 ml te dopuniti demineraliziranom vodom do oznake.

U odmjernu tikvicu od 50 ml pomoću menzure potrebno je uliti 40 ml uzorka, 4 ml salicilat – citratne otopine i 4 ml otopine reagensa te do oznake dopuniti demineraliziranom vodom i lagano promućkati. Uzorak je potrebno ostaviti da odstoji na sobnoj temperaturi minimalno 1 sat, a maksimalno 3 sata. Prilikom stajanja u uzorku se razvije boja, a nakon što se razvije potrebno je pomoću spektrofotometra izmjeriti apsorpciju na 655 nm u odnosu na slijepu probu. Za slijepu probu korištena je demineralizirana voda. Dobiveni rezultat bilježi se kao konačan rezultat.



Slika 17. Prikaz žutog obojenja u Erlenmeyerovoj tikvici

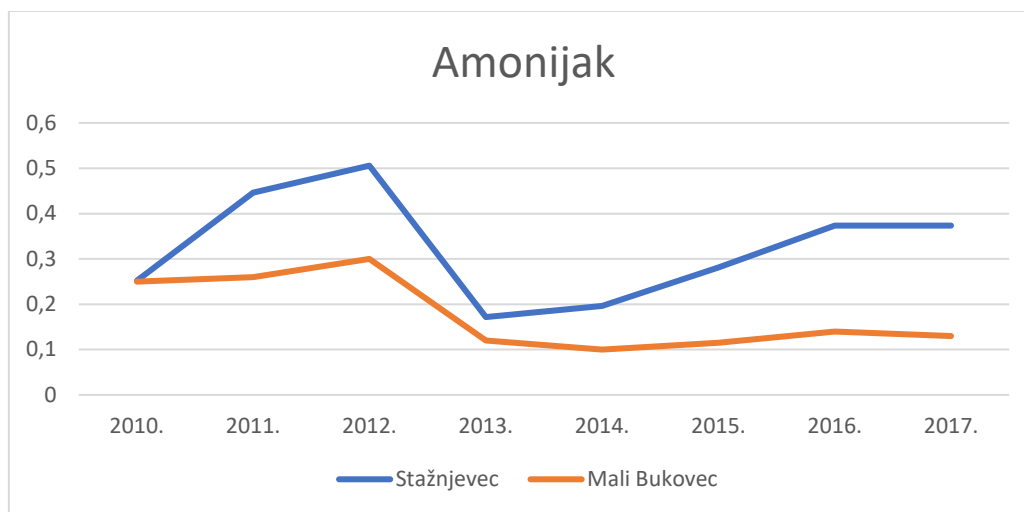
Izvor: [43]

Rezultati:

Tablica 15. Rezultati ispitivanja – Amonijak (mgN/l)

Mjesto ispitivanja	Godine							
	2010.	2011.	2012.	2013.	2014.	2015.	2016.	2017.
Stožnjevec	0,25	0,45	0,51	0,17	0,20	0,28	0,37	0,37
Mali Bukovec	0,25	0,26	0,30	0,12	0,10	0,12	0,14	0,13

Izvor: *Hrvatske vode*

Grafički prikaz:**Zapažanja:**

U grafičkom prikazu vidljiv je lagani porast amonijaka u ispitivanom uzorku od 2010. do 2012. godine. Godine 2012. zabilježena je najveća koncentracija amonijaka u uzorku (zbog povećanog utjecaja okoline i čovjeka) te je najveća vrijednost zabilježena u mjestu Stažnjevec od 0,51 mgN/l, no u prijelazu iz 2012. do 2013. godine koncentracija se smanjila te je u *Grafičkom prikazu* zabilježen i vidljiv znatni pad koncentracije amonijaka u vodu. Od 2013. do 2017. godine u mjestu Mali Bukovec koncentracija amonijaka u vodi znatno je niža te ne prelazi vrijednost od 0,2 što je koncentracija dobivena putem prirodnog izvora. Takav rezultat racionalno je korištenje umjetnih gnojiva te se gnojiva i komunalna voda (pražnjena privatnim cisternama) ne ispušta u tok rijeke Bednje, već na pročistač otpadnih voda u mjestu Selnik nedaleko grada Ludbrega.

4.7. Kemijski elementi

Kemijske elemente koji su zastupljeni u riječnim vodama, ali u jako malim koncentracijama potrebno je ispitati zbog kakvoće voda bez obzira na to što se nalaze u tragovima. Neki od tih elemenata su: kalcij (Ca), kalij (K), klor (Cl), magnezij (Mg), natrij (Na), aluminij (Al), arsen (As), kadmij (Cd), krom (Cr), mangan (Mn), nikal (Ni), olovo (Pb), željezo (Fe) i živa (Hg).

Navedeni kemijski elementi u ispitivanom uzorku nalaze se u jako malim koncentracijama (neznatnim količinama) ili su koncentracije koje se prirodno nalaze u površinskim vodama, stoga nije rađena njihova obrada.

4.7.1. Fosfor

Fosfor je kemijski element (nemetali) XV. skupine periodnog sustava elemenata (PSE), njegov simbol je P. To je element koji gori na zraku, a njegovim izgaranjem nastaju fosfor(III)-oksid i fosfor(V)-oksid (P_4O_{10}). U prirodi ga nema u slobodnom stanju, nalazi se u stijenama (gdje nastaje razgradnjom stijena ili biljnih ostataka) u obliku spojeva te u tlu, a još se naziva i esencijalni element (jer čini građu kostiju i zubi, oko 50 %). U biljne organizme fosfor dolazi u obliku minerala i umjetnih gnojiva. Također dopijeva iz tla (ispiranjem pomoću oborina) u podzemne i površinske vode. Često se može naći u otpadnim vodama (do 40 % mase fosfora potječe od čovjeka, 40 % od sredstava za čišćenje i omekšavanje vode te 20 % od ispiranja umjetnih gnojiva) koje dopijevaju u recipijent (potok, rijeku i/ili jezero).

Važan je pri rastu i razmnožavanju algi. Ako se poveća njegova koncentracija može doći do intenzivnog razvoja algi čiju pojavu nazivamo "cvjetanje mora" ili „cvjetanje algi“. Zbog prevelikih količina može biti štetan za okoliš [22, 23].

4.7.1.1. Ukupni fosfor

Ukupni fosfor u sanitarnim vodama najčešće je prisutan zbog deterdženata iz kućanstva [8].

„Fosfor se u prirodnim i otpadnim vodama nalazi uglavnom u obliku fosfata. Oni se mogu podijeliti na ortofosfate (PO_4^{3-} - P), kondenzirane fosfate i organski vezane fosfate. Javljaju se u otopinama, u česticama detritusa ili u akvatičkim organizmima. Fosfati se pojavljuju u sedimentu hidrosustava kao anorganski i/ili organski oblici [18].“ Kondenzirani fosfati mogu nastati dehidracijom ortofosfatnog radikala koji se može odrediti direktno, a tu su još i pirofosfati, metafosfati i polifosfati.

Kod odvajanja fosfata („reaktivnog fosfora“) iz suspendiranih čestica koristi se membranski filter papir ($\varnothing = 0,45 \mu m$). Također se može koristiti i kisela hidroliza.

Dozvoljena vrijednost fosfora u pitkim vodama iznosi 0,3 mg P/l. Fosfor u vodu može doći iz različitih izvora kao što su sredstva za čišćenje (u kućanstvu, industriji), umjetna gnojiva (u poljoprivredi, vinogradarstvu), ekskrecija vodenih organizama i ispuštanjem otpadnih voda. Određene količine fosfata prihvatljive su i neophodne za razvoj i rast biljaka i životinja, ali u prevelikim količinama mogu izazvati eutrofikaciju (gdje je moguća i veća prisutnost nitrata) [18].

Pribor i kemikalije:

Za određivanje ukupnog fosfora u uzorku vode potrebno su spektrofotometar, kivete, vodena kupelj, kalij-persulfat (u prahu), 0,5 molarna sumporna kiselina (H_2SO_4), 1 molarni natrijev hidroksid (NaOH), otopina amonij-molibdata (amonijev heptamolibdat (NH_4)₆Mo₇O₂₄ x 4H₂O), otopina kositrenog klorida (SnCl_2), demineralizirana voda, glicerin, odmjerna tikvica od 1 000 ml, Erlenmeyerove tikvice, staklena čaša i plamenik.

Postupak:

Kod određivanja ukupnog fosfora prvo je potrebno otopiti 25 g (NH_4)₆Mo₇O₂₄ x 4H₂O u 175 ml demineralizirane vode. Zatim je potrebno u odmjernu tikvicu od 1 000 ml odmjeriti 400 ml demineralizirane vode i polagano dodati 280 ml 0,5 molarne koncentrirane sumporne kiseline. Potrebno je pričekati da se otopina ohladi, a nakon toga potrebno je dodati amonij-molibdat te odmjernu tikvicu nadopuniti demineraliziranom vodom do oznake. Također je potrebno otopiti 2,5 g kositrenoga klorida (SnCl_2) u 100 ml glicerina te grijati u vodenoj kupelji da se ubrza otapanje. Nakon što se kositreni klorid u potpunosti otopio i otopina se ohladila, ona je stabilna i ne zahtijeva posebnu pohranu.

Nakon pripremanja otopina u Erlenmeyerovu tikvicu potrebno je odmjeriti 50 ml uzorka te dodati 2 ml otopine amonijeva-molibdata i 3 kapi otopine kositrenoga klorida koje je potrebno dobro pomiješati. Miješanjem se otopine i uzorak sjedine, a također je potrebno ostaviti ispitivani uzorak da odstoji 10 minuta. Odstajali uzorak ulije se u kivetu i stavi na mjerenje u spektrofotometar na apsorpciju od 690 nm u odnosu na slijepu probu. Na zaslonu spektrofotometra automatski se pojavi vrijednost ukupnog fosfora te se taj rezultat bilježi kao konačan rezultat [14].



Slika 18. Amonijev molibdat (u prahu, kristalaste strukture)

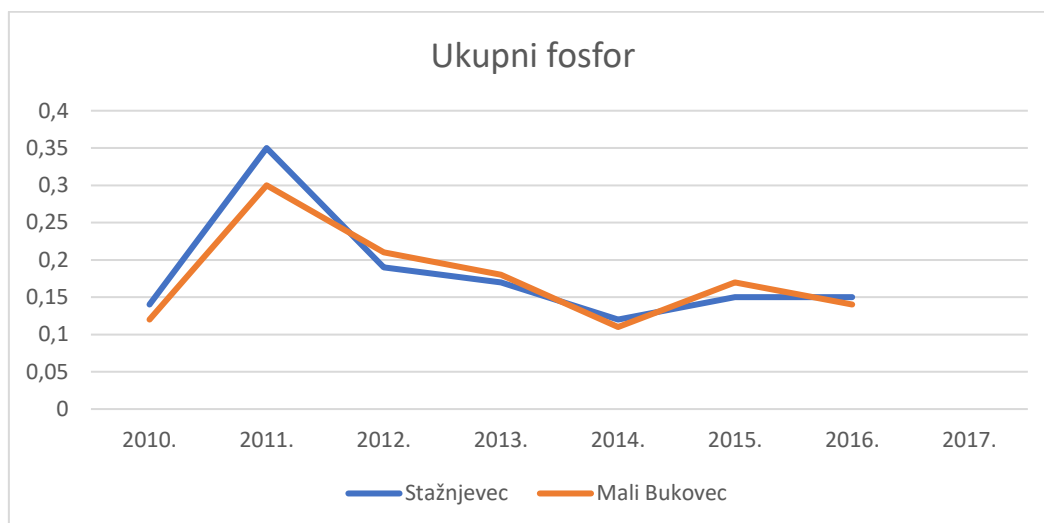
Izvor: [44]

Rezultati:

Tablica 16. Rezultati ispitivanja – Ukupni fosfor (mgP/l)

Mjesto ispitivanja	Godine							
	2010.	2011.	2012.	2013.	2014.	2015.	2016.	2017.
Stožnjevec	0,14	0,35	0,19	0,17	0,12	0,15	0,15	
Mali Bukovec	0,12	0,30	0,21	0,18	0,11	0,17	0,14	

Izvor: *Hrvatske vode*

Grafički prikaz:**Zapažanja:**

Najveća vrijednost ukupnog fosfora u ispitivanom uzorku bila je 2011. godine u oba mjesta ispitivanja (Stožnjevcu i Malom Bukovcu). Godina 2011. bilježi se kao ekstremno sušna i vrlo topla do ekstremno topla godina, a to je utjecalo i na koncentraciju ukupnog fosfora u uzorku jer je voda zbog velikih vrućina isparila. Uspoređujući dobivene rezultate te Pravilnik o graničnim vrijednostima emisija otpadnih voda (NN 80/13, NN 26/20), *Prilog 1.* i *Tablica 1.* vidljivo je da uzorak zadovoljava zadane vrijednosti od 2 mg/l u svim godinama ispitivanja.

4.7.2. Otopljeni bakar

Bakar je kemijski element XI. skupine periodnog sustava elemenata (PSE). Prijelazni je metal crvenkaste boje s kemijskim simbolom Cu. Vrlo lako reagira s oksidacijskim otapalima [12].

Često se koristi u sredstvima za zaštitu bilja (pesticidima) od insekata, za uništavanje korova, raznoraznih bolesti (npr. modra galica) i štetnih organizama. Kao takav često dospije u tlo te ispiranjem (pomoću oborina) ulazi u podzemne i površinske vode. U prevelikim količinama bakar može biti vrlo otrovan za biljke, životinje, ali i čovjeka [24].

U ljudskom organizmu bakar je jedan od elemenata neophodnih za ljudsko zdravlje, za normalnu funkciju metaboličkog procesa, a njegova je koncentracija između 1,4 i 2,1 mg Cu/kg tjelesne težine. Unosi se hranom, a najviše ga ima u orašastim plodovima (npr. indijskim i brazilskim oraščićima), sjemenkama maka, sjemenkama suncokreta, jetrima (npr. svinjskim i pilećim) i ostrigama.

Nekad se često upotrebljavao u proizvodnji bakrenih cijevi koje su bile korištene za dovod i odvod vode. Time je i sama koncentracija bakra u vodi bila povišena jer su bakrene cijevi djelomično ispuštale bakar u vodu. Danas se takve cijevi mijenjaju i stavljaju se plastične [25].

Pribor i kemikalije:

Pribor i kemikalije potrebni za određivanje otopljenog bakra u uzorku vode su gvanidni hidroksid koncentracije 5 mol/l, kromofor 5 – Br – PSAA (5 – brom – 2 – piridilazo – N – propil – N – sulfopropil – amino – anilin) koncentracije 0,1 mol/l, acetatni pufer (pH = 4,2) koncentracije 0,4 mola, octena kiselina (CH₃COOH), menzura, staklene čaše, stakleni štapić, odmjerne tikvice i spektrofotometar.

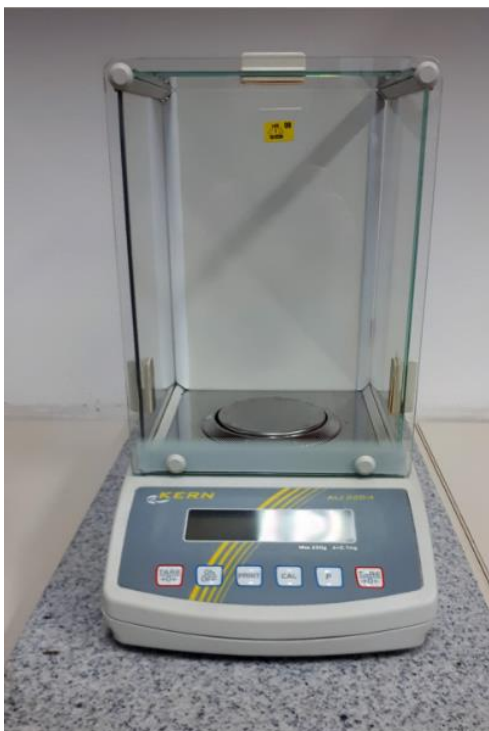
Postupak:

Prije samog ispitivanja uzorka potrebno je pripremiti otopinu gvanidnih hidroklorida, otopinu 5 – Br – PSAA i acetatni pufer. Za pripremu acetatnog pufera koncentracije 0,4 mola, pH = 4,2 potrebno je odvagati 7,08 g natrijeva acetata te staviti u odmjernu tikvicu od 1 litre i uliti pomoću menzure 900 ml demineralizirane vode. Sve zajedno potrebno je lagano promućkati da se natrijev acetat otopi, zatim uliti 18,025 ml koncentrirane octene kiseline i nadopuniti odmjernu tikvicu demineraliziranom vodom do oznake.

Otopina gvanidnog hidroksida koncentracije 5 mol/l pripremljena je tako što je odvagano 47,765 g gvanidnog hidroksida koji je bio prenijet u odmjernu tikvicu od 100 ml te je odmijerna tikvica nadopunjena do oznake s acetatnim puferom koncentracije 0,4 mola, pH = 4,2.

Za pripremu otopine kromofora 5 – Br – PSAA koncentracije 0,1 mol/l potrebno je odvagati 4,783 g 5 – Br – PSAA, prenijeti ga u odmjernu tikvicu od 100 ml i nadopuniti demineraliziranom vodom do oznake.

Radni reagens korišten u spektrofotometriji dobiven je miješanjem otopine gvanidnog hidroksida (u acetatnom puferu) s otopinom 5 – Br – PSAA u omjeru 1 : 1. U 100 μ l uzorka potrebno je dodati 1 ml radnog reagensa i staviti u spektrofotometar. Dobiveni rezultat na zaslonu bilježi se kao konačan rezultat.



Slika 19. Laboratorijska analitička vaga

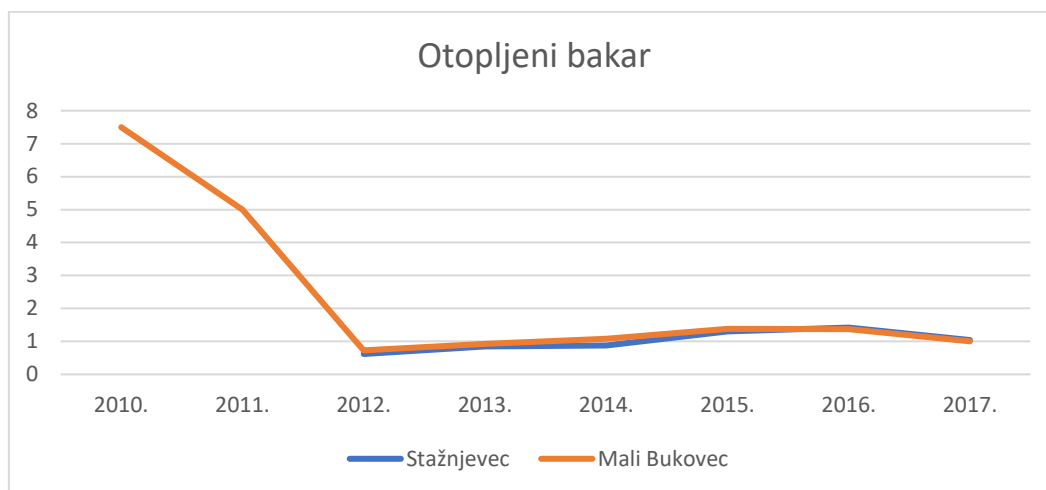
Izvor: [45]

Rezultati:

Tablica 17. Rezultati ispitivanja – Otopljeni bakar (μ g/l)

Mjesto ispitivanja	Godine							
	2010.	2011.	2012.	2013.	2014.	2015.	2016.	2017.
Stažnjevec			0,62	0,85	0,88	1,30	1,42	1,04
Mali Bukovec	7,5	5	0,73	0,93	1,08	1,38	1,37	1

Izvor: *Hrvatske vode*

Grafički prikaz:**Zapažanja:**

Uspoređujući ispitivani uzorak vode iz rijeke Bednje s *Pravilnikom o graničnim vrijednostima emisija otpadnih voda (NN 80/13 i NN 26/20)* čiji je pokazatelj graničnih vrijednosti za površinske vode za bakar 0,05 mg/l, vidljivo je iz grafičkog i tabličnog prikaza da su dobivene vrijednosti veće od dopuštenih. Iako ispitivanje nije vršeno 2010. i 2011. godine u mjestu Stažnjevec, to nije nimalo utjecalo na rezultat ispitivanog uzorka jer su vrijednosti veće u svim ostalim ispitivanim godinama. Takvim rezultatima pogodovala je velika primjena fungicida modre galice (modri vitriol) čija je glavna komponenta bakar koji se koristi u svim godišnjim dobima bilo u vinogradarstvu, voćarstvu, ratarstvu ili uzgoju ukrasnog bilja. Prilikom većih oborina kao što je bilo 2010. godine, fungicid se isprao te pomoću podzemnih voda dospio u vodu rijeke Bednje.

4.7.3. Ukupni cink

Cink je kemijski element XII. skupine periodnog sustava elemenata (PSE), plavičastobijeli metal kemijskog simbola Zn. Ima vrlo nisko vrelište na oko 906 °C, kovan je na temperaturi od 100 do 150 °C, a na višoj temperaturi opet postaje krt. „Na vlažnom zraku cink se presvlači slojem bazičnog karbonata, $Zn_2CO_3(OH)_2$, koji ga štiti od dalje oksidacije. Cink je u redu napetosti negativniji od vodika i željeza. Zahvaljujući

tim svojstvima velike količine cinka troše se na pocinčavanje željeza da bi ga se zaštitilo od rđanja [22].“ Metali koji se cinčaju (npr. vodovodne cijevi, žice, dijelovi motornih vozila, posude električnih grijača za vodu (bojleri) i drugi metali) najprije se peru u sulfatnoj kiselini da se iz njih ispere sva rđa te se zatim uranjaju u cink. Topiv je u slabim kiselinama (u octenoj kiselini), vrlo je otrovan i na njega se često veže i kadmij te se zbog toga u pocinčanim posudama ne smije pripremati ni jesti hrana. Također se upotrebljava za legure od kojih su najpoznatije legura cinka, legura bakra i mjed. Legure s kristalnom rešetkom bakra gdje je dio atoma bakra zamijenjen atomom cinka (do 39 %) lako se mogu kovati i rastezati u žice te se takva supstitucija naziva čvrsta otopina. Može se primjenjivati u medicini (za liječenje čireva), brodogradnji, za izradu baterija, u tehnici te pesticidima [22].

Pribor i kemikalije:

Pribor i kemikalije koji su potrebni za određivanje ukupnog cinka su Erlenmeyerova tikvica, birete, trbušaste pipete, menzura, puferska otopina (pH = 10), Eriokrom crno T (alkoholna otopina koncentracije 0,008 mol/l), 10 %-tna amonijačna vodica (NH₄OH), EDTA (etilen – diamin – tetraoctena kiselina) koncentracije 0,05 mol/l, indikator papir pH = 9,5 – 13.

Postupak:

U Erlenmeyerovu tikvicu potrebno je otpipetirati 10 ml cinkovog sulfata heptahidrata (ZnSO₄ x 7H₂O) te razrijediti s demineraliziranom vodom na 100 ml. Indikator papirom potrebno je provjeriti pH. Ako je pH niži od 10, potrebno je dodati 10 %-tnu amonijačnu vodicu tako da pH otopine bude 10-11. Zatim je potrebno pomoću menzure dodati 10 ml puferske otopine te 3 kapi indikatora Eriokrom crnog T prilikom čega nastane ljubičasto obojenje. Titraciju je potrebno vršiti s EDTA (etilen – diamin – tetraoctenom kiselinom) tako dugo dok ne nastane plavo obojenje. Potrebno je očitati utrošeni volumen EDTA, zabilježiti i izračunati pomoću formule:

$$\gamma_o(\text{Zn}) = \frac{c(\text{EDTA}) \cdot f(\text{EDTA}) \cdot V(\text{EDTA}) \cdot M(\text{Zn})}{V} \quad (4)$$

γ_0 (Zn) – označava masenu koncentraciju cinka u početnoj otopini (g/l)

c (EDTA) – označava množinsku koncentraciju EDTA (mol/l)

f (EDTA) – označava faktor otopine EDTA

V (EDTA) – označava utrošak EDTA za titraciju uzorka (ml)

M (Zn) – označava molarnu masu cinka (g/mol)

V – označava volumen uzorka (ml)



Slika 20. Promjena boje prilikom titracije

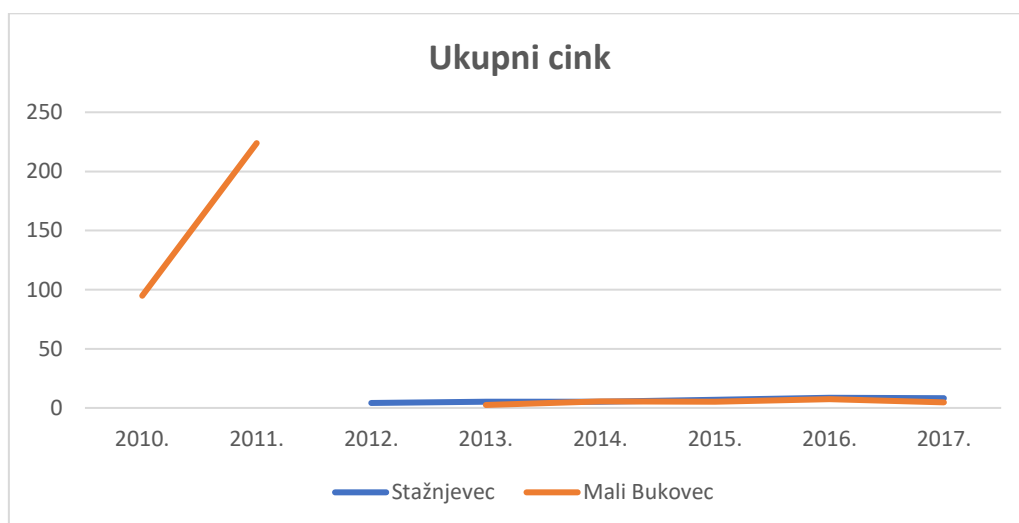
Izvor: [14]

Rezultati:

Tablica 18. Rezultati ispitivanja – Ukupni cink ($\mu\text{g/l}$)

Mjesto ispitivanja	Godine							
	2010.	2011.	2012.	2013.	2014.	2015.	2016.	2017.
Stažnjevec			4,21	5,39	5,39	6,87	8,61	8,16
Mali Bukovec	94,76	223,90		2,51	5,66	5,13	7,39	4,60

Izvor: *Hrvatske vode*

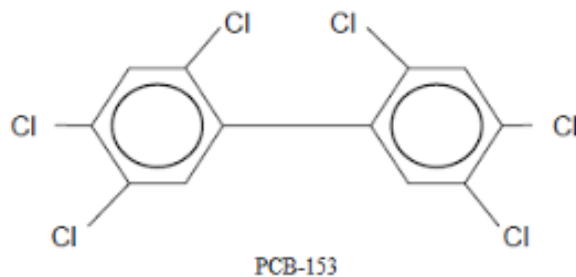
Grafički prikaz:**Zapažanja:**

Ukupni cink nije ispitivan svih godina, ali vrijednosti koje su prikazane tablično i grafički premašuju dozvoljenu vrijednost od 2 mg/l iz Pravilnika o graničnim vrijednostima emisija otpadnih voda (NN 80/13).

Njegova vrijednost jako se povećala iz 2010. na 2011. godinu u mjestu Mali Bukovec u kojem je jedino bilo vršeno ispitivanje. Do takve je vrijednosti došlo jer je 2010. godina bila izrazito kišna te je prilikom oborina isprano poljoprivredno i vinogradarsko tlo, a putem podzemnih voda cink je dospio u riječnu vodu. Godina 2011. bila je izrazito sušna te se zbog smanjene količine vode koncentracija cinka povećala. Također su i velik utjecaj imali pesticidi i herbicidi na bazi cinka koji su bili upotrebljavani tih ili prijašnjih godina, a danas je zabranjena njihova primjena.

4.8. Poliklorirani bifenili (PCB)

Poliklorirani bifenili (PCB) ili klorobifenili su laboratorijsko sintetizirani spojevi, organske molekule. Elementi koji izgrađuju poliklorirane bifenile su klor, ugljik i vodik. Temelj svake PCB molekule su dva spojena benzenova prstena koji formiraju oblik fenil skupine (C_6H_5-). U bifenilnom prstenu na atom ugljika vezan je atom vodika, a kod PCB molekula atom vodika zamijenjen je atomom klora (*Slika 21.*).



Slika 21. Primjer jedne molekule PCB-a (PCB 153) od mogućih 209 molekula

Izvor: [26]

Konformacija (odbijanje dvaju najbližih atoma klora) molekula određuje njihovu toksičnost. Najtoksičnijim molekulama smatraju se molekule čiji prsteni leže u istoj ravnini.

PCB spojevi su spojevi bez mirisa i okusa, svijetlo žute boje, vrlo viskozne tekućine, vrlo visoke termalne konduktivnosti, točka plamništa je visoka (od 170 do 380°C), kemijski su prilično inertni, otporni na oksidaciju, redukciju, adiciju, eliminaciju i elektrofilnu supstituciju. Gustoća im varira od 1,182 kg/l do 1,566 kg/l.

Njihova boja i viskoznost mogu se razlikovati zbog količine klora koju molekula sadržava. Što je više atoma klora, molekula je viskoznija i žuća. Teško su topivi u vodi (zbog toga se često talože na dno rijeka (u sedimentu), ali su vrlo dobro topivi u većini organskih otapala kao što su masti i ulja. Kao takvi lako se talože u masnom tkivu životinja i lako se prenose kroz hranidbeni lanac.

Ako čovjek konzumira životinju koja je prijenosnik PCB-a (procesom bioakumulacije), spojevi PCB-a najviše će se nataložiti u čovjekovu masnom tkivu (zbog tog se razloga slabo razgrađuju i izlučuju iz organizma), nešto manje u mišićnom tkivu, kostima ili nekom drugom dijelu tijela. Nataloženi PCB stotinu je puta veće koncentracije nego u hrani koju čovjek konzumira te takvi spojevi mogu imati vrlo štetno djelovanje na čovjekov organizam (uzrokuju neurotoksičnost, imunotoksičnost, reproduktivnu toksičnost, endokrini poremećaj, kancerogenost, poremećaj u razvoju i

poremećaj neuroloških funkcija), a najosjetljivija populacija su fetusi, dojenčad te populacija s većim udjelom ribe u prehrani.

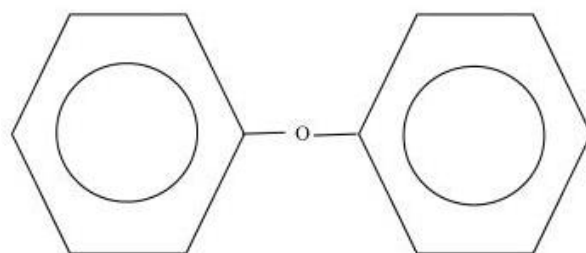
„Izum“, primjena i proizvodnja PCB-a započeta je 1929. godine, a zabranjena je Stockholmskom konvencijom 1979. godine. Poliklorirani bifenili primjenjivali su se kao tekućine za hlađenje, izolacija u električnim transformatorima i kondenzatorima, u naponskim regulatorima, prekidačima, elektromagnetima većim dijelom korišteni su kao plastifikatori u proizvodnji boja i ljepila, aditivi u proizvodnji PVC omotača električnih uređaja, ulja u motorima, u hidrauličnim sistemima, izolatorima, adhezivima, u motornim gorivima, ljepljivim vrpčama, retardantima, mehaničkim lubrikantima te kopirnom papiru. Svi PCB-i korišteni su u komercijalne svrhe.

Takvi proizvodi često su završavali u okolišu i zbog niskog tlaka pare primarno su se akumulirali u hidrosferu, organski dio tla te same organizme. Jedan dio PCB-a uspije se otopiti u vodi, a ostatak se veže na organske tvari, glinu i mikro čestice (koje su suspendirane u vodi ili istaložene na dno). Mogu se razgraditi procesom fotolize. U ljetnim mjesecima razgradnja se događa brže nego u zimskim mjesecima zbog veće sunčeve svjetlosti.

Metode kojima se PCB može ukloniti su: fizička (paljenje, ultrazvuk, zračenje, piroliza), mikrobiološka (pomoću mikroorganizama koji koriste bifenil kao izvor ugljika ili razaraju PCB deklorinacijom), i kemijska (nukleofilna aromatska supstitucija, uništavanje vodikom, reakcija s elektropozitivnim metalima i jakim reducirajućim agensima, fotokemija, „Napad“ OH-radikalima, Schwartzova reakcija) [27].

4.9.PBDE (polibromirani difenil eteri)

Polibromirani difenil eteri (PBDE) (*Slika 22.*) su sintetički spojevi koji se nalaze u raznoraznim bojama, plastici, aditivima, tekstilu, sagovima, spužvama za namještaj, televizorima, elektronicima, automobilima, zrakoplovima, građevinskom materijalu (od 5 do 30 %), a nekad su se koristili kao usporivači vatre (u komercijalnim ili svakodnevnim proizvodima), sve do 2001. godine kada je Europska komisija zabranila njihovu upotrebu kao usporivače vatre.



Polybrominated diphenyl ether (PBDE)

Slika 22. Osnovna struktura polibromiranog difenil etera (PBDE)

Izvor: [26]

PBDE-i strukturno su slični polikloriranim bifenilima. Postoji 209 srodnih spojeva koji se mogu podijeliti u 10 srodnih grupa (od mono- do deka- BDE). Vrlo su otrovni, a najviše kada su u praškastom obliku jer „lete“, jako se brzo rašire i prema njihovoj koncentraciji u zraku može se odrediti izvor zagađenja. To su zagađivači koji u okolišu mogu godinama ostati neraspadnuti i vrlo lako se gomilaju u ljudskom, ribljem i životinjskom masnom tkivu. Također mogu imati i toksično djelovanje. Svojim dugogodišnjim nagomilavanjem u masnom tkivu mogu izazvati velike posljedice kod organa (kao što su jetra (smanjuju njezinu funkciju i onemogućuju obnovu), štitnjača i mozak) te može doći do hormonskih poremećaja.

Ispitivanjem okoliša njihova postojanost pronađena je na obalama (rijeka, mora), estuarijima, zraku, tlu, sedimentima, ribama, divljim životinjama, morskim organizmima, ljudima i u pročištačima otpadnih voda (najviše se ispuštaju u industrijskim zonama i domaćinstvima). U zapadnim zemljama, kao i u SAD-u, prisutnost polibromiranih difenil etera uvelike se povećala u hranidbenom lancu, konzumnim proizvodima, zraku, sedimentu i tlu [28].

Poliklorirani bifenili (PCB) i polibromirani difenil eteri (PBDE) u ovom radu nisu obrađivani, ali su spomenuti zbog toga što se obala rijeke Bednje većim dijelom nalazi uz prometnice, dva željeznička mosta, industrijska područja i veća mjesta koja su njihov veliki izvor.

5. Rezultati analize

Tablica 19. Ispitivanje parametara kod mjesta Stažnjevec

Ispitivani parametri kod mjesta Stažnjevec	Godine							
	2010.	2011.	2012.	2013.	2014.	2015.	2016.	2017.
Temperatura zraka (°C)	(±16,78) 8,62	(±17,41) 14,61	(±16,04) 12,16	(±19,08) 13,92	(±12,12) 13,83	(±20,58) 10,42	(±15,33) 12,67	(±16,79) 10,79
Temperatura vode (°C)	(±12,19) 9,01	(±12,77) 13,13	(±12,16) 12,04	(±12,96) 12,54	(±7,65) 12,25	(±12,66) 11,04	(±9,69) 11,89	(±9,82) 12,62
Ukupna tvrdoća (mgCaCO ₃ /l)	(±62,01) 243,79	(±65,44) 271,04	(±91,53) 271,73	(±116,78) 265,48	(±29,65) 281,95	(±100,48) 265,38	(±49,68) 268,38	(±27,82) 279,48
pH vrijednost	(±0,22) 7,80	(±0,61) 8,04	(±0,34) 7,90	(±0,41) 7,91	(±0,24) 8,04	(±0,18) 7,88	(±0,2) 7,9	(±0,58) 7,78
Alkalitet (mgCaCO ₃ /l)	(±105,77) 190,77	(±94,67) 163,33	(±79,58) 256,58	(±103,25) 240,25	(±33) 259	(±93,33) 243,33	(±54,42) 243,42	(±37,52) 250,48
Ukupne suspendirane tvari (mg/l)	(±17,72) 13,18	(±60,79) 14,81	(±43,78) 10,92	(±73,87) 17,13	(±15,08) 22,08	(±52,18) 21,82	(±27) 17	(±5,76) 6,24
Električna vodljivost pri 25 °C (µS/cm)	(±111,223) 483,23	(±168,5) 540,5	(±118,08) 536,08	(±182,67) 505,67	(±45,85) 538,17	(±206,08) 515,08	(±93,67) 526,67	(±68,25) 538,75

Otopljeni kisik (mg O ₂ /l)	(±3,42) 10,73	(±3,53) 8,51	(±4,73) 8,63	(±4,79) 9,31	(±9,93) 9,13	(±4,13) 9,47	(±4,19) 8,81	(±3,89) 8,39
KPK (mgO ₂ /l)	(±1,97) 4,4	(±3,45) 4,64	(±7,97) 5,43	(±4,98) 3,93	(±3,22) 4,28	(±5,44) 3,86	(±2,26) 3,94	(±1,05) 3,75
BPK ₅ (mgO ₂ /l)	(±5,59) 3,41	(±7,25) 4,75	(±2,15) 2,82	(±4,01) 2,59	(±1,96) 2,54	(±2,47) 2,13	(±1,89) 2,31	(±1,46) 1,93
Ukupni dušik (mgN/l)	(±1,25) 2	(±0,8) 2,1	(±1,41) 2,3	(±0,68) 1,68	(±0,6) 1,37	(±0,82) 1,60	(±1) 1,94	(±1,1) 1,89
Nitriti (mgN/l)	(±0,13) 0,11	(±0,31) 0,14	(±0,44) 0,11	(±0,09) 0,04	(±0,09) 0,04	(±0,10) 0,04	(±0,05) 0,05	(±0,08) 0,06
Nitrati (mgN/l)	(±0,63) 1,33	(±0,82) 1,33	(±1,54) 1,31	(±0,84) 1,29	(±0,58) 0,91	(±0,45) 1,02	(±0,53) 1,09	(±0,39) 1,08
Amonijak (mgN/l)	(±0,36) 0,25	(±0,5) 0,45	(±0,40) 0,51	(±0,26) 0,17	(±0,09) 0,20	(±0,22) 0,28	(±0,34) 0,37	(±0,92) 0,37
Ukupni fosfor (mgP/l)	(±0,16) 0,14	(±0,05) 0,35	(±0,46) 0,19	(±0,57) 0,17	(±0,09) 0,12	(±0,09) 0,15	(±0,06) 0,15	
Otopljeni bakar (µg/l)			(±1,43) 0,62	(±0,45) 0,85	(±0,63) 0,88	(±1,22) 1,30	(±1) 4,42	(±1,02) 1,04
Ukupni cink (µg/l)			(±12,3 0) 4,21	(±3,71) 5,39	(±8,11) 5,39	(±10,58) 6,87	(±6,70) 8,61	(±12,3) 8,16

Izvor: *Hrvatske vode*

Tablica 20. Ispitivanje parametara kod mjesta Mali Bukovec

Ispitivani parametri kod mjesta Mali Bukovec	Godine							
	2010.	2011.	2012.	2013.	2014.	2015.	2016.	2017.
Temperatura zraka (°C)	(±17,8) 9,50	(±20,7 3) 14,07	(±18,35) 13,35	(±16) 15	(±12,27) 16,27	(±21,5) 15,5	(±19,92) 15,92	(±21,83) 14,83
Temperatura vode (°C)	(±13,1) 8,90	(±12,9 2) 13,98	(±12,62) 13,02	(±11,5 2) 13,52	(±9,19) 13,61	(±13,68) 12,92	(±11,13) 13,03	(±13,13) 13,73
Ukupna tvrdoća (mgCaCO ₃ /l)	(±64,0 8) 253,06	(±62,7 8) 270,78	(±72,39) 288,39	(±123, 83) 278,43	(±60,81) 298,31	(±86,05) 268,05	(±77,62) 273,02	(±45,98) 291,68
pH vrijednost	(±0,26) 7,85	(±0,36) 8,01	(±0,28) 7,93	(±0,29) 7,96	(±0,18) 8,08	(±0,24) 8,06	(±0,25) 8,05	(±0,18) 8,08
Alkalitet (mgCaCO ₃ /l)	(±112, 46) 197,46	(±97,0 8) 167,92	(±58,92) 272,92	(±121, 83) 257,83	(±58,5) 271,50	(±112,4 2) 246,42	(±74,58) 253,58	(±48,29) 262,71
Ukupne suspendirane tvari (mg/l)	(±29,4) 20,60	(±9,32) 11,72	(±5,26) 7,26	(±164, 65) 33,35	(±40,5) 22,50	(±138,2 7) 38,73	(±204,4 2) 37,58	(±5,01) 7,99
Električna vodljivost pri 25 °C (µS/cm)	(±124, 85) 505,85	(±75,8 3) 587,83	(±114) 576	(±188, 17) 553,17	(±99,5) 576,50	(±242,7 5) 523,75	(±139,7 5) 549,75	(±85,58) 576,42
Otopljeni kisik (mg O ₂ /l)	(±5,16) 10,64	(±3,3) 7,63	(±5,62) 8,28	(±3,58) 9,28	(±2,98) 9,48	(±2,89) 10,19	(±3,25) 10,15	(±2,82) 10,38

KPK (mgO ₂ /l)	(±2,88) 4,63	(±1,99) 4,40	(±2,67) 4,63	(±6,02) 4,08	(±4,93) 4,67	(±9,51) 4,89	(±8,55) 4,85	(±2,79) 3,81
BPK ₅ (mgO ₂ /l)	(±2,79) 4,03	(±3,42) 4,42	(±3,64) 2,86	(±5,19) 2,81	(±2,99) 2,91	(±5,39) 2,91	(±2,95) 2,15	(±1,47) 1,93
Ukupni dušik (mgN/l)	(±0,82) 2,14	(±0,74) 1,34	(±1,06) 1,64	(±1,2) 1,55	(±0,42) 1,46	(±1,05) 1,60	(±0,55) 1,73	(±0,85) 1,55
Nitriti (mgN/l)	(±0,06) 0,06	(±0,22) 0,13	(±0,17) 0,08	(±0,19) 0,06	(±0,04) 0,03	(±0,04) 0,03	(±0,03) 0,04	(±0,05) 0,04
Nitrati (mgN/l)	(±0,38) 1,41	(±0,53) 1,03	(±0,84) 0,87	(±0,66) 1,11	(±0,33) 0,99	(±0,9) 1,12	(±0,73) 1,13	(±0,71) 0,97
Amonijak (mgN/l)	(±0,2) 0,25	(±0,24) 0,26	(±0,37) 0,30	(±0,21) 0,12	(±0,08) 0,10	(±0,11) 0,12	(±0,24) 0,14	(±0,36) 0,13
Ukupni fosfor (mgP/l)	(±0,02) 0,12	(±0,01) 0,30	(±0,12) 0,21	(±0,49) 0,18	(±0,11) 0,11	(±0,13) 0,17	(±0,28) 0,14	
Otopljeni bakar (µg/l)	(±2,5) 7,5	(±1) 5	(±0,65) 0,73	(±0,77) 0,93	(±1,22) 1,08	(±2,57) 1,38	(±1,94) 1,37	(±0,99) 1
Ukupni cink (µg/l)	(±30,7 6) 94,76	(±217, 8) 223,90		(±2,91) 2,51	(±6,12) 5,66	(±4,70) 5,13	(±17,94) 7,39	(±3,79) 4,60

Izvor: Hrvatske vode

6. Zaključak

Prema rezultatima analize iz *Tablice 19.* i *Tablice 20.* može se vidjeti da nije došlo do značajne promjene (povećanja) ispitivanih elemenata kod početne točke ispitivanja u mjestu Stažnjevec i završne točke ispitivanja u mjestu Mali Bukovec. Uspoređujući dobivene rezultate analize i propisane rezultate iz Uredbe o standardu kakvoće vodama (NN 96/19, 20/23), Zakonu o vodama (NN 66/19, 84/21, 47/23) i Pravilniku o граниčnim vrijednostima emisija otpadnih voda (NN 26/20, *Prilog 1., Tablica 1.*) može se vidjeti da rijeka Bednja zadovoljava većinu standarda, ali neki parametri su blago povišeni. Uspoređujući dobivene rezultate s Uredbom o standardu kakvoće vodama (NN 20/23) vidljivo je da je amonijak blago povišen u mjestu Stažnjevec samo 2012. godine, nitrati koji su povišeni svih ispitivanih godina u mjestu Stažnjevec te ukupni fosfor koji je također blago povišen u mjestu Stažnjevec 2011. godine.

Prema tome može se zaključiti da poljoprivreda, industrija, prometnice, komunalne otpadne vode, čovjek i njegove djelatnosti nemaju velik utjecaj na samu rijeku Bednju i njezin okoliš. Kao takva rijeka Bednja može se ocijeniti s dobrim ekološkim i kemijskim stanjem.

Flora i fauna u rijeci Bednji ključan su faktor za pročišćavanje ili barem djelomično pročišćavanje vode iz rijeke. Ako na obali ili u rukavcima ne bi bilo flore kao što su šaš, trstika i rogoz koji su prirodni pročišćivači, zadnji ispitivani uzorak u mjestu Mali Bukovec ne bi davao dobre rezultate kao uzorak vode koji je bio ispitivan u ovom radu. Prirodni pročišćivači na sebe navlače dio otpadnih tvari kao što su dušik i fosfor te pomoću korijena, ali i stabljike ekosustav opskrbljuje kisikom. Također imaju i funkciju rahljenja supstrata pomoću stabljika (njišući se na vjetru) koji je nanesen na obalu ili rukavce rijeke te time održavaju hidrauličku provodljivost. U zimskim mjesecima djeluju kao toplinski izolator koji sprječava značajnije smrzavanje i omogućuju proces razgradnje organskih tvari. Prirodni pročišćivači također su stanište za mnoge životinje, pa tako npr. u trsci obitavaju pauci, kukci, ptice (npr. trstenjaci, liske) i patuljasti miš. U šašu obitavaju vidra, čaplja, kukci, vretenca, bukavac, vodomar, labudovi, žuti mukač, veliki vodenjak, riječna i barska kornjača, bjelouška, žabe, vodenjaci, ribe i ostale druge životinje. Uz trsku i šaš, rogoz je također pogodan za stanište mnogim životinjama koji svojim bujnim rastom omogućuje mriještenje riba i zaklon kukcima.

Popis literature

- [1] Goran Šafarek, Tomislav Šolić: *Rijeke Hrvatske*, Križevci, Lipanj 2011. (11.7.2019.)
- [2] Zakon o vodama (NN 66/19, 84/21, 47/23) (10.8.2023.)
https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2019_07_66_1285.html (10.8.2023.)
https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2021_07_84_1560.html (10.8.2023.)
<https://www.zakon.hr/z/124/Zakon-o-vodama> (10.8.2023.)
- [3] Uredba o standardu kakvoće vode (NN 96/19, 20/23) (28.7.2023.)
<https://www.zakon.hr/z/124/Zakon-o-vodama> (28.7.2023.)
- [4] Hrvatske vode; *EU projekt zaštite od poplava na slivu Bednje*, Zagreb, 2018.
- [5] Hrvatske vode; *Pojedinačne analize – tablica*, Zagreb, 2017. (26.7.2019.)
- [6] https://edutorij.e-skole.hr/share/proxy/alfresco-noauth/edutorij/api/proxy-guest/452e1469-e362-4711-abcb-6f535c3b5254/html/2900_Temperatur.html (15.3.2023.)
- [7] Renata Matoničkin Kepčija; *Istraživanje vode, Program GLOBE – priručnik za mjerenje voda*
- [8] Felicita Briški; *Zaštita okoliša*, Zagreb, 2016. (6.2.2020.)
- [9] <https://globe.pomsk.hr/materijali/zagreb09/modula/mjerenje%20temperature.pdf> (12.9.2022.)
- [10] Šimunić Ivan; *Uređenje voda*, Zagreb, 2013.
- [11] <https://tehnodeli.hr/proizvod/v75-staklena-tikvica-erlenmeyer-usko-grlo-250-ml/> (14.4.2023.)
- [12] Zoran Weihnacht, Sonja Rupčić – Petelic, Sanja Žužek; *Praktikum analitičke kemije*, Zagreb, 2009. (22.11.2019.)
- [13] <https://blog.hannaservice.eu/hr/baza-znanja/> (17.11.2022.)
- [14] Jelena Perić, Nedeljka Vukojević Medvidović, Ivona Nuić; *Inženjerstvo otpadnih voda; Priručnik za laboratorijske vježbe*, Split, Lipanj 2012.
- [15] Karalić Marko; *Razaranje aktivnog mulja ultrazvukom*, Zagreb, 2012.

- [16] <http://www.kefo.ba/volumetric-flask-500-ml-clear-----2> (16.5.2023.)
- [17] <https://www.kwipped.com/rentals/product/hach-dr4000-uvvis-spectrophotometer-for-parts-or-repairs-hach/11563> (22.1.2023.)
- [18] https://www.pmf.unizg.hr/_download/repository/VJEZBA_4_5.pdf (17.6.2023.)
- [19] <https://www.hapih.hr/nitrati-u-zelenom-povrcu/> (17.2.2023.)
- [20] <https://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=2324> (21.7.2023.)
- [21] Stanislav Tedeschi; *Zaštita voda*; Zagreb, 1997.
- [22] Milan Sikirica, Branka Korpar – Čolig.; *Kemija s vježbama 2*, Zagreb, 1995.
- [23] Zora Popović, Ljiljana Kovačević; *Kemija 3*, Zagreb 2009.
- [24] Kušec V., Stojanović M., Sito S., Fabijanić G., Kušec Ivana, Arar Martina; *Glasnik zaštite bilja 5*, Zagreb, 2013.
- [25] <https://zivim.gloria.hr/zivim/ucim/preuranjene-sijede-anemija-artritis-mozda-vam-nedostaje-bas-ovaj-metal-8625482> (23.6.2023.)
- [26] www.repozitorij.pbf.unizg.hr, Toft i sur., 2004.
- Toft, G., Hagmar, L., Giwercman, A., Bonde, J. P. (2004) Epidemiological evidence on reproductive effects of persistent organochlorines in humans. *Reprod. Toxicol.*
- [27] Matej Vusić; *PCB (poliklorirani bifenili) i utjecaj na okoliš*, Zagreb, 2012.
- [28] [https://www.laboratuar.com/hr/testler/kimyasal-testler/pbde%E2%80%99ler-\(polibromine-difenil-eterler\)-analizi/](https://www.laboratuar.com/hr/testler/kimyasal-testler/pbde%E2%80%99ler-(polibromine-difenil-eterler)-analizi/) (31.3.2023.)
- [29] <https://www.bauhaus.hr/vanjski-termometar/tfa-dostmann-termometar/p/20726906> (14.3.2023.)
- [30] <https://model-educa.hr/ekologija-voda/5122-termometar-digitalni--50%C2%B0c-150%C2%B0c-s-kablom.html> (14.3.2023.)
- [31] <http://instrukcije-kemija.blogspot.com/p/vazniji-laboratorijski-pribor.html> (17.4.2023.)
- [32] <https://www.aliexpress.com/w/wholesale-Flask-Erlenmeyer-Set-Narrow->

- Mouth.html?aff_fcid=d032cc55d6774dd983c7982b7ea0f384-1695007790386-04211-
_onHJTyn&tt=API&aff_fsk=_onHJTyn&aff_platform=api-new-link-
generate&sk=_onHJTyn&aff_trace_key=d032cc55d6774dd983c7982b7ea0f384-
1695007790386-04211-
_onHJTyn&dp=8-
2064&terminal_id=eda37e17bfb6451e82dc01874239812f (23.11.2022.)
- [33] <https://www.chipoteka.hr/instrument-ph-metar-0-14-ph-ph-100-atc-6020000206> (23.11.2022.)
- [34] <http://voodoooblondeblog.blogspot.com/2019/10/ph-vrijednost-kozmetickih-proizvoda-i.html>
(4.5.2023.)
- [35] <https://edutorij.e-skole.hr/share/proxy/alfresco-noauth/edutorij/api/proxy-guest/4874fe79-8302-4ea2-b516-4657ea249026/kemija-7/m01/j08/index.html> (12.3.2023)
- [36] <https://www.koncar-termotehnika.hr/proizvodi/peci-i-susare/laboratorijske-peci-susare/msc-tipske-peci-susare/> (22.10.2022.)
- [37] <https://metroteka.com/blog/konduktometri-i-njihovo-umjeravanje/> (4.1.2023.)
- [38] <https://www.slideserve.com/kalani/t-itracija-baze-kiselinom-uz-metiloran> (16.12.2022.)
- [39] https://www.aliexpress.com/w/wholesale-Ultraviolet-visible-with-LCD-752N-display-UV-light.html?aff_fcid=c15b12633c6f49dc910ec70270396946-1695011599791-00151-_Eub5SLV&tt=API&aff_fsk=_Eub5SLV&aff_platform=api-new-link-generate&sk=_Eub5SLV&aff_trace_key=c15b12633c6f49dc910ec70270396946-1695011599791-00151-_Eub5SLV&dp=580247-146997.75198503&terminal_id=eda37e17bfb6451e82dc01874239812f (13.12.2022.)
- [40] <https://hr.hach.com/kiveta-za-uzorke-1-inc-okrugla-staklena-6-komada/product?id=24928928611> (5.7.2023.)
- [41] <https://eurosan.ba/shop/donau-chem/18/natrijev-hidroksid-ljuspice/773> (6.8.2023.)
- [42] <https://edutorij.e-skole.hr/share/proxy/alfresco-noauth/edutorij/api/proxy-guest/4d903566-3e87-45ae-9299-e35942520b45/kiselo-bazne-reakcije.html> (2.8.2023.)
- [43] <https://edutorij.e-skole.hr/share/proxy/alfresco-noauth/edutorij/api/proxy-guest/7b5e1fe5-86e2-4142-af6c-5197c4a08148/kemija-8/m01/kazalo-multimedije/index.html> (15.7.2023.)
- [44] <http://hr.ditaichemical.com/ammonium-molybdate/ammonium-molybdate-tetrahydrate-cas->

12207-64.html (9.6.2023.)

[45] <https://www.ttf.unizg.hr/precizna-analiticka-vaga/976> (21.5.2023.)

POPIS SLIKA

Slika 1. Rijeka Bednja	9
Slika 2. Obala rijeke Bednje	11
Slika 3. Digitalni termometar	13
Slika 4. Termometar za vodu	15
Slika 5. Određivanje ukupne tvrdoće, a) vinsko crveno obojenje, b) plavo obojenje ...	19
Slika 6. Digitalni pH metar	21
Slika 7. pH skala	22
Slika 8. Promjena boje uzorka kod određivanje alkaliteta	25
Slika 9. Prikaz filtracije i laboratorijska peć za sušenje	27
Slika 10. Konduktometar	30
Slika 11. Prikaz otopina i reakcija u Erlenmeyerovim tikvicama	33
Slika 12. Spektrofotometar i kiveta za spektrofotometar	35
Slika 13. a) Natrijev hidroksid u granulama na satnom staklu, b) Oxitop na staklenim tamnim bocama	38
Slika 14. Spektrofotometar	41
Slika 15. Erlenmeyerova tikvica s uzorkom kod kojeg se vidi prisutnost nitrita	44
Slika 16. Odmjerna tikvica i Erlenmeyerova tikvica	47
Slika 17. Prikaz žutog obojenje	50
Slika 18. Amonijev molibdat	54
Slika 19. Laboratorijska analitička vaga	57
Slika 20. Promijena boje prilikom titracije	60
Slika 21. Primjer jedne molekule PCB-a	62
Slika 22. Osnovna struktura polibromiranog difenil etera (PBDE)	64

POPIS TABLICA

Tablica 1. Rezultati ispitivanja – Temperatura zraka	12
Tablica 2. Rezultati ispitivanja – Temperatura vode	16
Tablica 3. Podjela vode prema tvrdoći	17

Tablica 4. Rezultati ispitivanja – Ukupna tvrdoća	19
Tablica 5. Rezultati ispitivanja - pH vrijednost	22
Tablica 6. Rezultati ispitivanja – Alkalitet	25
Tablica 7. Rezultati ispitivanja – Ukupne suspendirane tvari	28
Tablica 8. Rezultati ispitivanja – Električna vodljivost pri 25 °C	30
Tablica 9. Rezultati ispitivanja – Otopljeni kisik	34
Tablica 10. Rezultati ispitivanja – Kemijska potrošnja kisika (KPK)	36
Tablica 11. Rezultati ispitivanja – Biološka potrošnja kisika (BPK ₅)	39
Tablica 12. Rezultati ispitivanja – Ukupni dušik	41
Tablica 13. Rezultati ispitivanja – Nitriti (NO ₂ ⁻)	44
Tablica 14. Rezultati ispitivanja – Nitrati (NO ₃ ⁻)	47
Tablica 15. Rezultati ispitivanja – Amonijak	50
Tablica 16. Rezultati ispitivanja – Ukupni fosfor	54
Tablica 17. Rezultati ispitivanja – Otopljeni bakar	57
Tablica 18. Rezultati ispitivanja – Ukupni cink	60
Tablica 19. Ispitivanje parametara kod mjesta Stažnjevec	65
Tablica 20. Ispitivanje parametara kod mjesta Mali Bukovec	67

POPIS GRAFOVA

Temperatura zraka	14
Temperatura vode	16
Ukupna tvrdoća	19

pH vrijednost	22
Alkalitet	26
Ukupne suspendirane tvari	28
Električna vodljivost pri 25 °C	31
Otopljeni kisik	34
Kemijska potrošnja kisika (KPK)	36
Biološka potrošnja kisika (BPK ₅)	39
Ukupni dušik	42
Nitriti (NO ₂ ⁻)	45
Nitrati (NO ₃ ⁻)	48
Amonijak	51
Ukupni fosfor	55
Otopljeni bakar	58
Ukupni cink	61

POPIS OZNAKA

km	kilometar
m	metar
°C	Celzijev stupanj
NN	Narodne novine
mg O ₂ /l	miligrama kisika po litri
µg/cm	mikrograma po centimetru

%	posto
mg CaCO ₃ /l	miligrama kalcijeva karbonata po litri
μS/cm	mikrosiemens po centimetru
mg/l	miligrama po litri
mg N/l	miligrama dušika po litri
mg P/l	miligrama fosfora po litri
mg NH ₃ /l	miligrama amonijaka po litri
mg C/l	miligrama ugljika po litri
mg Cl ₂ /l	miligrama klora po litri
mg HOCl/l	miligrama hipoklorne kiseline po litri
μg/l	mikrograma po litri
mg SiO ₂ /l	miligrama silicijeva dioksida po litri
ppm	dio na milijun dijelova
O ₂ /l	kisika po litri
nm	nanometar
∅	promjer
mm	milimetar
min.	minuta
CaO/l	kalcijeva oksida po litri
°dH	njemački stupanj
μm	mikrometar
kg/l	kilograma po litri
g/l	grama po litri

mg Cu/kg miligrama bakra po kilogramu

µg/dan mikrograma na dan

µg mikrogram

mg miligram