

Neparametarski statistički testovi primijenjeni na pokazatelje kakvoće vode

Antolković, Karolina

Undergraduate thesis / Završni rad

2021

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Geotechnical Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:130:483571>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-13**



Repository / Repozitorij:

[Repository of Faculty of Geotechnical Engineering - Theses and Dissertations](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GEOTEHNIČKI FAKULTET

KAROLINA ANTOLKOVIĆ

NEPARAMETARSKI STATISTIČKI TESTOVI PRIMJENJENI NA
POKAZATELJE KAKVOĆE VODE

ZAVRŠNI RAD

VARAŽDIN, 2021.

Sazivam članove ispitnog povjerenstva
za 16. 09. 2021. u 9 sa
Obranu ovog rada kandidat će vršiti i pred
ispitnim povjerenstvom u Varaždinu
Varaždin, 02. 09. 2021.

Predsjednik
ispitnog povjerenstva:

izr. prof. dr. sc. Saupa Korčić

Članovi povjerenstva

- 1) izr. prof. dr. sc. Saupa Korčić
- 2) izr. prof. dr. sc. Anđel Prčić Siročić
- 3) izr. prof. dr. sc. Inau Korčić

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GEOTEHNIČKI FAKULTET

ZAVRŠNI RAD

NEPARAMETARSKI STATISTIČKI TESTOVI PRIMJENJENI NA
POKAZATELJE KAKVOĆE VODE

KANDIDAT:

KAROLINA ANTOLKOVIĆ

MENTOR:

izv.prof.dr.sc. SANJA KOVAČ

KOMENTOR:

izv.prof.dr.sc. ANITA PTIČEK SIROČIĆ

VARAŽDIN, 2021.



Sveučilište u Zagrebu
GEOTEHNIČKI FAKULTET



ZADATAK ZA ZAVRŠNI RAD

Pristupnica: KAROLINA ANTOLKOVIĆ

Matični broj: 2559 - 2015./2016.

NASLOV ZAVRŠNOG RADA:

NEPARAMETARSKI STATISTIČKI TESTOVI PRIMIJENJENI
NA POKAZATELJE KAKVOĆE VODE

Rad treba sadržati: 1. Uvod

2. Pregled neparametarskih statističkih testova
3. Pokazatelji kakvoće vode
4. Eksperimentalni dio
5. Prikaz i obrada podataka pokazatelja kakvoće vode
6. Zaključak

Pristupnica je dužna predati mentoru jedan uvezen primjerak završnog rada sa sažetkom. Vrijeme izrade završnog rada je od 45 do 90 dana.

Zadatak zadan: 17.03.2020.

Rok predaje: 02.09.2021.

Mentor:

Izv.prof.dr.sc. Sanja Kovač

Drugi mentor/komentor:

Izv.prof.dr.sc. Anita Ptiček Siročić

Predsjednik Odbora za nastavu:

Izv.prof.dr.sc. Sanja Kovač



IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da je završni rad pod naslovom:

NEPARAMETARSKI STATISTIČKI TESTOVI PRIMIJENJENI NA POKAZATELJE KAKVOĆE VODE

rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na istraživanjima te objavljenoj i citiranoj literaturi te je izrađen pod mentorstvom **izv.prof.dr.sc. Sanje Kovač** i komentorstvom **izv.prof.dr.sc. Anite Ptiček Siročić**.

Izjavljujem da nijedan dio rada nije napisan na nedozvoljen način, odnosno da je prepisan iz necitiranog rada te da nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava. Izjavljujem također, da nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.

U Varaždinu, 02.09.2021.

Karolina Antolković

(Ime i prezime)

Antolković K.

(Vlastoručni potpis)

**IZJAVA MENTORA O POSTOTKU SLIČNOSTI ZAVRŠNOG RADA S VEĆ
OBJAVLJENIM RADOVIMA**

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da je završni rad pod naslovom:

**NEPARAMETARSKI STATISTIČKI TESTOVI PRIMIJENJENI NA POKAZATELJE KAKVOĆE
VODE**

pregledan anti-plagijat programskim paketom PlagScan te da postotak sličnosti cjelovitog završnog rada, s već objavljenim radovima, ne prelazi 20%, kao i da pojedinačni postotak sličnosti završnog rada sa svakom literaturnom referencom pojedinačno ne prelazi 5%.

U Varaždinu, 09.09.2021.

____ izv.prof.dr.sc. Sanja Kovač ____

(Mentor)



(Vlastoručni potpis)

SAŽETAK

Redovita ispitivanja bakterija i štetnih tvari su obavezna, pogotovo na mjestima gdje se voda koristi za piće ili rekreaciju, kako bi se smanjile eventualne zaraze. U svrhu dokazivanja prisutnosti mikrobioloških pokazatelja (Escherichie coli i crijevnog enterokoka) provedeno je uzorkovanje i analiza vode na jezerima Bundek i Jarun, tijekom tri godine, 2014. do 2016. Podaci su obrađivani neparametarskim statističkim metodama. Korištena su dva testa: prošireni medijan test i Kruskal-Wallis test. Kruskal- Wallisovim testom, u određenim slučajevima, dobiva se detaljniji uvid u rezultate. Vrijednosti mikrobioloških pokazatelja uzoraka uzimanih tijekom tri godine statistički se značajno međusobno ne razlikuju. Testovima je dokazano da između pojedinih vrijednosti medijana postoji samo mala razlika.

Ključne riječi: neparametarski testovi, prošireni medijan test, Kruskal - Wallisov test, kakvoća vode, Escherichia coli, crijevni enterokok

ABSTRACT

Regular testing of bacteria and harmful substances is mandatory, especially in places where water is used for drinking or recreation, in order to reduce possible infections. With the aim of proving the presence of microbiological indicators (*Escherichia coli* and intestinal enterococci), sampling and analysis of water was performed on Jarun Lake and Bundeck lake, during three years, from 2014 to 2016. Data were processed by nonparametric statistical methods. Two tests were used: the extended median test and the Kruskal-Wallis test. The Kruskal-Wallis test, in some cases, provides a more detailed insight into the results. The values of microbiological indicators of samples taken during the period of three years do not vary significantly in terms of statistics. The tests have shown that there is only a small difference between certain median values.

Key words:

nonparametric tests, extended median test, Kruskal-Wallis test, water quality, *Escherichia coli*, intestinal enterococci

Sadržaj

1. Uvod	1
2. Pregled neparametarskih statističkih testova za dva ili više nezavisna uzorka..2	
2.1. Hi kvadrat test	2
2.2. Test homogenog niza.....	5
2.3 Medijan test.....	5
2.4 Test sume rangova	6
2.5 Siegel- Tukeyev test	7
2.6 Prošireni medijan test	7
2.7. Kruskal- Wallisov test	7
3. Pokazatelji kakvoće vode.....	9
3.1. Fizički pokazatelji kakvoće vode	9
3.2. Kemijski pokazatelji kakvoće vode	11
3.3. Biološki pokazatelji kakvoće vode	16
3.4. Mikrobiološki pokazatelji.....	19
4. Eksperimentalni dio.....	22
4.1. Uzorkovanje i određivanje mikrobioloških pokazatelja kakvoće vode.....	22
5. Prikaz i obrada podataka pokazatelja kakvoće vode	24
5.1. Obrada podataka za količinu Escherichie coli i crijevnog enterokoka u jezerima	31
6. Zaključak	45
7. Popis literature	47
8. Popis slika	48
9. Popis tablica	49
10. Prilozi	50

1.Uvod

Statistika je grana matematike koja obuhvaća sakupljanje, analizu, interpretaciju i prezentaciju podataka te izradu predviđanja koja se temelje na tim podacima. Osnovna podjela statistike je na deskriptivnu statistiku i inferencijalnu statistiku (statističko zaključivanje). Zadaća deskriptivne statistike je opisati podatke dobivene mjerenjem ili ispitivanjem kako bi bili pregledni za čitanje i korištenje, dok se pomoću inferencijalne statistike mogu dobiti zaključci o značajkama općeg skupa podataka u odnosu na slučajni skup. Deskriptivna statistika prikazuje i opisuje osnovne statističke vrijednosti koje zatim koristi inferencijalna statistika za obrađivanje pomoću svojih testova koje koristi. Inferencijalna statistika koristi se parametarskim i neparametarskim testovima. Parametarsku statistiku karakterizira normalna raspodjela podataka, simetrični grafovi, rast podataka, a rezultati su izraženi mjernim jedinicama. Za neparametarskim testovima se poseže kada mjereni podaci nisu normalno raspodijeljeni odnosno kada nisu u intervalnoj skali. Izračunavanje se vrši isključivo pomoću frekvencija, a ne mjernih jedinica jer su rezultati izraženi kvalitativno („mlad“, „star“, „zdrav“, „bolestan“, „muško“, „žensko“, „da“, „ne“...). Mogu se koristiti i mjereni podaci ali se kod računanja unose samo njihove frekvencije. Uzorkovanje i analiza vode provodi se prema preporukama mjerodavnih ustanova, a pokazatelji kakvoće vode za piće, kupanje i svakodnevnu upotrebu moraju biti unutar dozvoljenih granica, koje su propisani pravilnicima koji se odnose na kakvoću vode za piće i svakodnevnu upotrebu. Cilj ovog rada bio je odrediti mikrobiološke pokazatelje kakvoće vode dvaju različitih jezera (Jarun i Bundek) te pomoću statističkih metoda interpretirati dobivene rezultate.

2. Pregled neparametarskih statističkih testova za dva ili više nezavisna uzorka

2.1. Hi kvadrat test

Hi kvadrat test koristi se uglavnom kada se želi utvrditi da li dobivene frekvencije odstupaju od očekivanih. Hi-kvadrat test se računa samo s frekvencijama i mjerne jedinice nisu dozvoljene. Naravno, mogu se koristiti i podaci s mjernim jedinicama, ali se u račun unose samo njihove frekvencije. Ovaj test najčešće se koristi u slučajevima kada se želi provjeriti da li opažano statističko obilježje pripada nekoj konkretnoj teorijskoj distribuciji i kada se želi provjeriti nezavisnost između dva statistička obilježja. Dobiveni rezultati ne podudaraju se uvijek s očekivanim frekvencijama što bi bilo očekivano, nego rezultati odstupaju. Primjerice prema teoriji se očekuje, da kada se god baci valjan novčić 100 puta dobijemo 50 „glava“ i 50 „pisama“, rijetko kada se dobije ovakav rezultat [1].

Hi-kvadrat test izračunavamo prema formuli:

$$\chi^2 = \sum \frac{(f_0 - f_t)^2}{f_t}$$

gdje f_0 označava opažene frekvencije, f_t očekivane frekvencije, te vrijedi;

$$\sum f_0 = \sum f_t = N$$

gdje je N ukupna frekvencija. Upotrebom izraza N za ukupnu frekvenciju dobiva se ekvivalentna formula prvoj za izračun hi-kvadrata:

$$\chi^2 = \sum \frac{f_0^2}{f_t} - N$$

Hi kvadrat test upotrebljava se u sljedećim slučajevima:

a) Poznate su frekvencije jednog uzorka i potrebno je ustanoviti odstupaju li te frekvencije od unaprijed zadanih frekvencija.

b) poznate su frekvencije dvaju ili više uzoraka te je potrebno ustanoviti razlikuju li se uzorci u opaženim svojstvima

c) poznate su frekvenciju dvaju zavisnih uzoraka, koji imaju dihotomna svojstva, te je potrebno ustanoviti razlikuju li se uzorci u mjerenim svojstvima, tj. je li došlo do promjene [1].

Hi-kvadrat dva ili više nezavisnih uzoraka

Primjer.

Potrebno je utvrditi postoji li značajna razlika u udjelu studenata i studentica na smjerovima studija *Upravljanje vodama* i *Upravljanje okolišem*.

Od ukupno 37 studenata na I. godini diplomskog studija *Upravljanje vodama*, 14 ih je ženskog spola, dok je na diplomskom studiju *Upravljanje okolišem* upisano 24 studentice od ukupno 40 studenata. Potrebno je utvrditi postoji li statistički značajna razlika u udjelu studenata i studentica na studiju *Upravljanje vodama* i *Upravljanje okolišem*.

Za rješavanje zadatka potrebno je napraviti tablicu koja će biti osnova za izračunavanje teorijskih frekvencija. U tablicu treba unijeti varijable spol i studij. Koja će varijabla biti po redovima a koja po stupcima sasvim je svejedno, no, treba unijeti i subjekte koji nemaju promatrano obilježje, a to su u ovom slučaju muškarci. U tablici treba naznačiti sume po stupcima i po redovima čiji ukupan zbroj mora biti jednak [1].

Tablica 1. Ukupan broj studenata

	STUDENTICE	STUDENTI	UKUPNO
Upravljanje vodama	14	23	37
Upravljanje okolišem	24	16	40
Σ	38	39	77

Četiri frekvencije koje se nalaze u središnjem dijelu tablice predstavljaju opažene frekvencije. Teorijske frekvencije f_t dobiju se na način da se pomnoži suma reda sa sumom stupca i podijeli s ukupnom sumom frekvencija.

Tablica 2. Računanje teorijskih frekvencija

	STUDENTICE	STUDENTI	UKUPNO
Upravljanje vodama	38X37/77=18.26	39X37/77= 18.74	37
Upravljanje okolišem	38X40/77= 19.74	39X40/77= 20.26	40
Σ	38	39	77

Suma očekivanih/teorijskih frekvencija mora biti jednaka sumi opaženih frekvencija, a taj podatak služi za kontrolu da li je dobro izračunata vrijednost f_t . Toleriraju se samo mala odstupanja vezana uz zaokruživanje decimalnih brojeva [1].

Tablica 3. Računanje hi-kvadrata

f_0	f_t	$f_0 - f_t$	$(f_0 - f_t)^2$	$\frac{(f_0 - f_t)^2}{f_t}$
14	18.26	4,26	18.15	0.99
24	19.74	4.26	18.15	0.92
23	18.74	4.26	18.15	0.97
16	20.26	4.26	18.15	0.90
77	77.00			Σ 3,78

Broj stupnjeva slobode računa se kao $d_f = (\text{broj redova}-1) \times (\text{broj stupaca}-1)$, što u našem slučaju iznosi 1. Ako uzmemo razinu značajnosti $\alpha=0.05$, onda iz tablice hi-kvadrat vrijednosti očitavamo graničnu vrijednost 3.84. Dobiveni hi-kvadrat na temelju podataka iznosi 3.78 što je manje od granične vrijednosti 3.84, te se može prihvatiti hipoteza da ne postoji značajna razlika u odabiru smjera u odnosu na spol studenata.

2.2. Test homogenog niza

Kod testa homogenog niza testira se da li se dva uzorka razlikuju statistički značajno u bilo kojem pogledu: u centralnoj tendenciji, u varijabilnosti, simetričnosti itd. Može se upotrebljavati kod rangiranih rezultata kao i kod rezultata dobivenih mjerenjem, nakon što ih rangiramo. Zajedno se rangiraju rezultati obje skupine, svakom se rangu daje oznaka kojoj od skupina pripada, analizira se koliko homogenih nizova ukupno ima u cijeloj skali rangova, tj. koliko skupina jednako obilježenih ima rangova. Koliko je najmanje nizova potrebno da bise moglo smatrati da se obje skupine međusobno razlikuju provjerava se ili tablicama ili računom koji se svodi na z-vrijednosti. Ako su m ili n veći od 20, test homogenog niza računa se tako da se prvo izračuna aritmetička sredina nizova:

$$\bar{X}_{niza} = \frac{2mn}{m+n} + 1$$

gdje m i n označavaju broj podataka u nizovima.

Zatim se računa standardna devijacija niza prema formuli:

$$S_{niza} = \sqrt{\frac{2mn(2mn - m - n)}{(m+n)^2(m+n-1)}}$$

Nakon toga se izračuna vrijednost z:

$$z = \frac{\text{dobiveni broj nizova} - \bar{X}_{niza}}{S_{niza}}$$

Ako je broj nizova manji od očekivanog po slučaju, smatramo da se grupe međusobno razlikuju. Preveliki broj nizova u nekim slučajevima može značiti da su rezultati falsificirani [1].

2.3 Medijan test

Medijan je centralna vrijednost, vrijednost koja se nalazi u sredini niza podataka (brojeva) i dijeli ga na dva jednaka dijela. Ako je broj podataka neparan, medijan predstavlja vrijednost središnjeg podatka, a ako je broj podataka paran medijan predstavlja srednju vrijednost dva središnja podatka.

Neparametarski test kojim se ispituje pripadnost dvaju uzoraka populaciji s istim medijanom. U parametarskoj statistici medijan testu djelomično odgovara t-test,

kojim se ispituje značajna razlika između dvije aritmetičke sredine. Nul-hipoteza koja se ispituje medijan testom je da dvije populacije imaju isti medijan. Princip medijan testa je taj da je potrebno naći medijan svih rezultata zajedno. Svi rezultati koji su po veličini iznad medijana označavaju se znakom „plus“, a svi rezultati jednaki medijanu i manji od njega označavaju se znakom „minus“. Frekvencije dobivenih rezultata unose se u 2x2 tablicu, a zatim se računa hi-kvadrat test o jednakosti vjerojatnosnih razdioba.

2.4 Test sume rangova

Test sume rangova neparametarski je test koji je sličan testu homogenih nizova. Temelji se na usporedbi medijana između dvije populacije odnosno pomoću ovog testa može se vidjeti pripadaju li dva uzorka populaciji s istim medijanom. Ovaj test koristi rangove tj. više informacija od testa homogenog niza pa se smatra snažnijim. Test započinje rangiranjem svih vrijednosti u skupinama na način da se rang broj 1 daje „najboljoj“ vrijednosti. Za sve skupine je tada potrebno provesti zbroj rangova (T_i). Potrebno je napraviti kontrolu sume rangova i to prema formuli:

$$T_1 + T_2 = \frac{N(N + 1)}{2}$$

Nakon toga se izračuna vrijednost z prema formuli:

$$z = \frac{|2T_i - N_i(N + 1)| - 2}{\sqrt{\frac{N_1 N_2 (N + 1)}{3}}}$$

gdje je T_i jedna od sume rangova, a N_i označava broj ispitanika u skupini T_i .

Kada je broj vrijednosti u skupini barem jednak 8 ili veći tada izračunati z daje normalnu distribuciju s aritmetičkom sredinom 0 i standardnom devijacijom 1. Kritična vrijednost je 1.96 odnosno značajnima se smatraju vrijednosti veće od 1.96, prema tome se određuje da li će se nul-hipoteza prihvatiti ili odbaciti tj. da li postoji statistički značajna razlika između uzoraka.

2.5 Siegel- Tukeyev test

Siegel-Tukeyev test koristi se za utvrđivanje pripadnosti dvaju nezavisnih uzoraka populacijama sa jednakim varijancama. Sličan je testu sume rangova, no od njega se razlikuje po načinu rangiranja podataka. Način rangiranja rezultata je sljedeći: rang 1 dodjeljuje se najnižem rezultatu, a rangovi 2 i 3 najvišim rezultatima, rangovi 4 i 5 idućim najnižim rezultatima, a rangovi 6 i 7 idućim najvišim rezultatima itd. Bilježi se pripadnost uzorku kao i kod testa sume rangova. Ako je broj svih rangova neparan, ne uzima se srednji rezultat u daljnjim računima. U slučaju kada se populacije ne razlikuju u varijanci, sume rangova uzoraka biti će slične. U slučaju kada se populacije značajno razlikuju u varijanci, uzorak s većom varijacijom imat će manju sumu rangova dok će uzorak s manjom varijacijom imati veću sumu rangova.

2.6 Prošireni medijan test

Prošireni medijan test je neparametarski test sličan medijan testu. Njime se testira da li uzorci iz više nezavisnih skupina (k =broj skupina) pripadaju populaciji s istim medijanom. Potrebno je naći medijan svih rezultata i rezultate iznad medijana označiti znakom „plus, a rezultate ispod medijana znakom „minus“. Rezultati se unose u $2 \times k$ tablicu i izračunava im se hi-kvadrat. Granična vrijednost hi-kvadrata se očitava iz tablice te se prema tome određuje da li se prihvaća nul-hipoteza i pripadaju li uzorci populaciji s istim medijanom.

2.7. Kruskal- Wallisov test

Kruskal-Wallisov test je test analize varijance koji se služi rangovima (umjesto brojčanim mjerenim podacima). Ovim se testom testira nulta hipoteza: više nezavisnih uzoraka pripadaju istoj populaciji.

Postupak se kod ovog testa može svesti u nekoliko koraka:

1. Rezultati se rangiraju, a rang broj 1 dodaje se najnižem rezultatu.
2. Potrebno je izračunati sume rangova svakog uzorka (T_i). Broj rezultata u

uzorcima označava se sa N_i . Dobivene brojeve uvrštavaju se u formulu za kontrolu sume rangova:

$$\sum T_i = \frac{N(N + 1)}{2}$$

3. Izračuna se vrijednost H prema izrazu:

$$H = \frac{12}{N(N + 1)} \sum \frac{T_i^2}{N_i} - 3(N + 1)$$

gdje je:

T_i – suma rangova u jednom uzorku

N – ukupan broj opažanja

N_i – broj opažanja u jednom uzorku

4. Ako su uzorci dovoljno veliki (ako svaki uzorak sadrži više od 5 rezultata), H se može interpretirati kao hi-kvadrat, pa se može granična vrijednost očitavati iz hi-kvadrat tablice uz $k - 1$ stupnjeva slobode (k je broj uzoraka). Prema graničnoj vrijednosti hi-kvadrata određuje se da li se uzorci statistički značajno ne razlikuju, tj. pripadaju li istoj populaciji.

3. Pokazatelji kakvoće vode

Voda u svom sastavu sadrži tvari različitog porijekla. Zbog toga se kakvoća vode određuje prema pojedinim svojstvima, koncentraciji i sastavu tvari u vodi, odakle i proizlazi izraz „kakvoća vode“. Kakvoća vode određuje se prema sljedećim skupinama pokazatelja [14]:

- fizikalni
- kemijski
- biološki
- mikrobiološki

3.1.Fizikalni pokazatelji kakvoće vode Raspršene tvari

Raspršene ili suspendirane tvari koje se nalaze u vodi anorganskog su i organskog podrijetla. Najmanje su čestice manje od 1nm,a pojavljuju se u oblicima molekula i iona. Za razliku od otopljenih tvari, raspršene tvari su krupnije dok prijelaz između otopljenih i raspršenih tvari čine koloidi dimenzije čestica od 1nm do 1 mikro metra. Navedene tvari onečišćuju vodu na ekološki, estetski i zdravstveni način. Visoka koncentracija raspršenih tvari u vodama, kao posljedica ispuštanja otpadnih voda iz kućanstava, industrije, ispiranja poljoprivrednih zemljišta, čini vodu neupotrebljivom za ljudsku upotrebu u svakodnevnim djelatnostima. Raspršene tvari uzrokuju mutnoću vode koja posljedično tome smanjuje prolazak svjetlosti do većih dubina što smanjuje fotosintezu i količinu kisika. Time se stvara nepogodno djelovanje na biljni i životinjski svijet pri dnu prirodnih voda. Količina raspršenih tvari izražava se u mg/L ili g/m³.

Mutnoća

Mutnoću vode uzrokuju koloidi, raspršene tvari, mikroorganizmi te mjehurići plinova. Ona je važna stavka u postupcima određivanja zdravstvene ispravnosti vode i ukazuje na stupanj čistoće vode. Mutnoću vode mogu uzrokovati i turbulencija, valovi i vjetrovi koji utječu na kretanje vode, te naročito ispuštanje otpadnih voda. Turbidimetri su uređaji koji se koriste za mjerenje mutnoće vode

koji u principu mjere koji dio svjetla prolazi kroz odabrani uzorak vode (slika 1.). Rezultati se iskazuju u NTU („Nephelometric Turbidity Units“) ili FTU („Formazin turbidity units“) jedinicama.



Slika 1. Prijenosni turbidimetar [8]

Boja

Boja je svojstvo koje se javlja kao posljedica otopljenih ili suspendiranih čestica u vodi koje izazivaju različita obojenja. Primjerice, otopljene željezne i manganske soli koje mogu obojati vodu od crvenkaste do smeđe nijanse, ugljikohidrati, bjelančevine, huminske i taninske kiseline koje boje vodu u žuto-smeđu nijansu i slično. Još jedan od čestih uzroka obojenja vode su otpali dijelovi kore i lišća okolnih biljaka i drveća te otpadne industrijske vode. „Pravom“ bojom vode se naziva boja koja proizlazi iz tvari otopljenih u vodi, dok se „prividnom“ bojom naziva boja potekla od raspršenih tvari. Takve obojene vode nisu upotrebljive kako za ljudsku upotrebu i vodoopskrbu tako niti za industrijske potrebe.

Okus i miris

Okus i miris su vrlo povezani, a izvori su posljedica organske aktivnosti u vodama i raspadanja organskih tvari (miris truleži, plijesni), otopljene soli (kloridi, sulfati), otpadne vode iz industrija (fenoli, naftni proizvodi), otopljeni plinovi (sumporovodik).

Voda u kojoj se ne osjeti miris i koja nema nikakvog okusa je čista voda, a ta svojstva se određuju i opisuju ljudskim osjetilima.

Temperatura

Temperatura okoliša, koja se mijenja tijekom godine ovisno o godišnjim dobima jedan je od najvažnijih faktora koji utječu na temperaturu vode. Ona također ovisi o vezi površinskih voda s podzemnim vodama, te geološkoj građi terena i o samom kretanju vode. Temperatura vode utječe kako na fizikalna tako i na kemijska svojstva, te gustoću vode. Temperatura vode mjeri se termometrima (živin, alkoholni, digitalni, analogni), a iskazuje se u °C (Celzijev stupanj) i/ili K (Kelvin).

3.2. Kemijski pokazatelji kakvoće vode

Kemijski sastav vode uvelike utječe na ispravnost vode za ljudsku upotrebu. Sva voda sadrži otopljene tvari prirodnog podrijetla čija koncentracija ovisi o vrsti vode (površinska, podzemna...). Zbog antropogenog utjecaja vode sadrže otopljene tvari koje pogoršavaju kvalitetu vode, a mogu biti i otrovne. Zbog toga je vrlo važno kontrolirati kemijsku ispravnost vode.

Ukupno otopljene tvari

Ukupno otopljene tvari (eng. Total dissolved solids, TDS) su anorganske soli koje se nalaze otopljene u vodi. Najčešći ioni u prirodnim vodama su kationi kalcija, natrija i kalija te anioni karbonata, hidrogenkarbonata, klorida. Mjerna jedinica je mg/L, a određuje se kao suhi ostatak nakon filtriranja vode i isušivanja na 105°C. Ako se suhi ostatak dalje žari na 600°C organske tvari će izgorjeti, a ono što ostane je žareni ostatak odnosno anorganske tvari. Količina otopljenih tvari utječe na okus vode i povećava korozivnost. Vrste vode prema količini otopljenih tvari prikazane su u tablici 4.

Tablica 4. Vrste vode prema količini otopljenih tvari

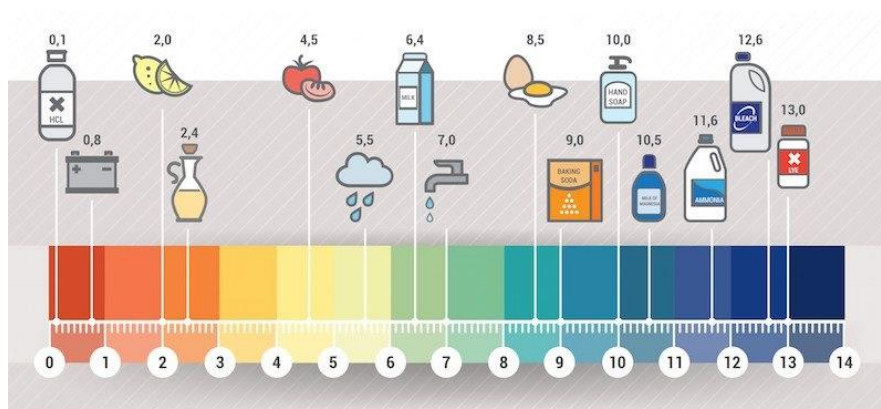
UKUSNOST VODE	TDS (mg/l)
Odlična	<300
Dobra	300-600
Dovoljna	600-900
Loša	900-1200
Neprihvatljiva	>1200

pH vrijednost

pH vrijednost ukazuje na kiselost ili lužnatost otopine a izražava se kao koncentracija vodikovih iona. O pH vrijednosti ovise mnogi procesi čišćenja vode. U vodama koje nisu zagađene pH vrijednost ovisi o međudnosu slobodnog ugljikovog dioksida, bikarbonata i karbonata. Granice pH vrijednosti prirodnih voda kreću se od 5.5 do 8.6. Vode kiselog karaktera su korozivne i mogu izazvati oštećenja na vodovodnim instalacijama, dok lužnate pogoduju stvaranju kamenca. Visoke pH vrijednosti smanjuju učinke kloriranja kod dezinfekcije vode. Koncentracija vodikovih iona najčešće se mjeri pH metrom ili pomoću univerzalnog indikator papira.

pH vrijednost definira se kao negativna vrijednost logaritma brojčane vrijednosti množinske koncentracije vodikovih, odnosno oksonijevih iona:

$$pH = -\log [H^+] \text{ (mol/dm}^3\text{)}$$



Slika 2. pH skala [9]

Na slici 2. prikazana je pH skala na kojoj se mogu očitati pH vrijednosti proizvoda iz svakodnevne upotrebe. Vrijednosti 0-7 označavaju kiselo područje, a 7-14 lužnato područje.

Alkalitet

Alkalitet je svojstvo vode koje se određuje kao posljedica neutraliziranja vodikovih iona koji dovode do kiselosti. Ioni koji tvore alkalitet u prirodnim vodama su karbonati (CO_3^{2-}), hidrogenkarbonati (HCO_3^-), hidroksidi (OH^-), silikati (HSiO_3^-), borati (H_2BO_3^-), fosfati (HPO_4^{2-}) i hidrogensulfidi (HS^-). Alkalitet se izražava kao sadržaj CaCO_3 u mg/L vode, a nije ograničen normama za prirodnu ili vodu koja se koristi za piće. Alkalitet je važan kemijski pokazatelj vode koji označava kolika je sposobnost vode da neutralizira kiseline, a također je važan i koristi se u procesu biološkog uklanjanja dušika iz otpadnih voda. Nepoželjan utjecaj alkaliteta je stvaranje taloga na cijevima.

Tvrdoća vode

Tvrdoća vode svojstvo je koje u prirodnim vodama uzrokuju otopljene soli kalcija i magnezija. Utjecaj ostalih iona poput željeza (Fe^{2+}), mangana (Mn^{2+}), stroncija (Sr^{2+}) i aluminija (Al^{3+}) je znatno manji, ali su oni također prisutni u manjim koncentracijama. Voda se dijeli u tri skupine tvrdoće ovisno o načinu vezanja iona. Ukupnu tvrdoću čine sve soli kalcija i magnezija, karbonatna tvrdoća je sastavljena od kalcijevih i magnezijevih karbonata i hidrogenkarbonata te se može ukloniti prokuhavanjem, stalna tvrdoća vode ili nekarbonatna predstavlja razliku ukupne i karbonatne tvrdoće, a osim navedenih kationa čine je kloridi, sulfati, nitrati, a u manjoj mjeri jodidi, borati i ostali kationi.

Tvrdoća vode izražava se u stupnjevima (njemački, francuski, engleski):

- 1njemački stupanj: 10 mg CaO/L
- 1 francuski stupanj: 10 mg CaCO_3 /L
- 1 engleski stupanj: 10 mg CaCO_3 /700mL

1°njemački = 1,79°francuski = 1,25°engleski = 17,0 mg CaCO₃

Tvrdoća vode ima nepoželjan učinak na vodovodne cijevi zbog toga što dolazi do taloženja kamenca. Zbog toga se kod velikog stupnja tvrdoće vode primjenjuju razni procesi omekšavanja vode, a kod pranja takvom vodom potrebno je koristiti puno više deterdženta kako bi se postigao efekt sapuna i stvorila pjena.

Otopljeni plinovi

Plinovi koji se najčešće ispituju u vodama su ugljikov dioksid, kisik i sumporovodik. Oni u vodu dospijevaju otapanjem u atmosferi ili površinskim i podzemnim tokovima. Također mogu potjecati od industrijskih i prirodnih procesa. Kisik je najrasprostranjeniji element na Zemlji, a u vodu dospijeva procesom fotosinteze. Kisik se bolje otapa u hladnoj vodi nego u toploj. Prisutnost tako otopljenog kisika čini vodu korozivnom. Ugljikov dioksid se u vodi nalazi slobodan ili vezan u spojevima karbonata i hidrogenkarbonata. Slobodan ugljikov dioksid u vodi dijeli se na „pripadni“ koji čini karbonate i hidrogenkarbonate otopljene u vodi, a ostatak je „agresivni“ CO₂. U kišnici nema hidrogenkarbonata tako da je sav CO₂ agresivan što kišnicu čini vrlo korozivnom. U koncentracijama većim od 15 mg/L slobodni „agresivni“ CO₂ dovodi do razaranja betonskih konstrukcija. Kao posljedica manje koncentracije ukupnog slobodnog CO₂ od pripadnog nastaju barijere i slapovi u krškim vodama. Sumporovodik nastaje u vodi razgradnjom organske tvari ili vulkanskom aktivnošću. Vrlo je otrovan plin, karakterizira ga miris trulih jaja, ali je dobro topiv u vodi.

Organske tvari

Organske tvari se u vodama nalaze u otopljenom i raspršenom stanju. Potječu iz biokemijskih procesa u vodama, a mogu biti i posljedica ispiranja zemljišta oborinskim vodama, te kao sastojci industrijskih otpadnih voda i ispušnih gradskih voda. Organske tvari dijele se na biološki razgradive i biološki nerazgradive tvari. Najznačajnije organske tvari su bjelančevine, ugljikohidrati i masnoće. Razgrađuju se aerobnim i anaerobnim postupcima, ovisno o količini

otopljenog kisika u vodi. Biološka potrošnja kisika (BPK) označava koliko je kisika potrebno da se organska tvar razgradi, a za prikaz nerazgradivih organskih tvari koristi se KPK odnosno kemijska potrošnja kisika koja predstavlja potrošnju oksidacijskog sredstva. Najopasnije i najčešće nerazgradive tvari su pesticidi, deterdženti i fenoli. Njihova pojava ukazuje na posljedicu čovjekove djelatnosti. Uzrokuju prestanak rasta jednostaničnih algi te ometaju postupke na uređajima za pročišćavanje vode. Stvaraju tanki film na površini vode koji ometa otapanje kisika iz zraka, uzrokuju neugodan miris i mogu biti kancerogeni.

Hranjive tvari

Hranjive tvari koje se još nazivaju biostimulanti potrebne su za rast i proizvodnju organskih tvari, a najvažniji su dušik i fosfor. Dušik u vodu dospjeva iz atmosfere i ispiranjem s poljoprivrednih zemljišta gdje se koriste umjetna gnojiva. Fosfor u vodu dospjeva razgradnjom organske tvari, ispiranjem zemljišta, upotrebom deterdženata iz kućanstava i industrije. U vodi se nalazi u obliku organskog fosfora, ortofosfata i polifosfata. Spojevi fosfora, odnosno fosfati nisu otrovni, ali povećane koncentracije fosfora u vodama ukazuju na mogućnost eutrofikacije vodnih sustava. Povećana koncentracija dušika i fosfora u prirodnim vodama može utjecati na prekomjerno stvaranje algi i drugih biljnih vrsta pri čemu se troši kisik koji je neophodan za rast živih organizama prisutnih u vodama te će takva voda imati bljutav okus i neugodan miris.

Metali

Dospjevaju u vodu uslijed ispiranja tla i otapanja različitih stijena i minerala te iz otpadnih industrijskih i kućanskih voda. Metali se dijele na otrovne i neotrovne. Teški metali su arsen, kadmij, barij, brom, krom, olovo, živa i pripadaju toksičnoj skupini metala. Neotrovni metali kao natrij, željezo, mangan, aluminij, bakar i cink nužni su za život organizama te se nalaze u prirodnim vodama. Prisutni metali mogu imati vrlo štetne utjecaje na žive organizme, a time posredno i na ljude. Metali u vodi mogu biti otopljeni kao slobodni ioni ili kao kompleksni spojevi.

Metali u vodi se određuju spektrofotometrijom i kromatografskim metodama, a koncentracija se izražava u mg/l i µg/l.

3.3. Biološki pokazatelji kakvoće vode

Na temelju bioloških pokazatelja pretpostavlja se stanje pojedinih staništa i ocjenjuje se stanje promatranog vodnog sustava, pod pretpostavkom da su određene vrste organizama vezane za sastav i koncentraciju tvari u vodi. Biološki pokazatelji koji se određuju:

- stupanj saprobnosti
- stupanj biološke proizvodnje
- stupanj otrovnosti
- indeks razlike

Stupanj saprobnosti

Bakterije i plijesni najčešći su organizmi iz skupine saprofaga koji biološki razgrađuju organske spojeve, koriste ih za hranu, a ispuštaju anorganske tvari. Pri razgradnji organske tvari zbog potrošnje kisika dolazi do promjene procesa iz aerobnog u anaerobni što izaziva promjenu kemijskog sastava vode. Promjena uvjeta staništa utječe na razvoj ili odumiranje pojedinih vrsta čijim promatranjem se može zaključiti o stupnju onečišćenja vode [5]. Kao pokazatelji saprobnosti uzimaju se organizmi koji žive pri dnu vodenih sustava (bentosi). Stupnjevi saprobnosti su:

- oligosaprobni
- beta-mezosaprobni
- alfa-mezosaprobni
- polisaprobni

Oligosaprobni stupanj označava vodu najbolje kakvoće koju karakterizira visoka prozirnost i udio otopljenog kisika, te mali broj bakterija. Pripadnici ove skupine su planinski potoci i jezera.

Beta mezosaprobne vode su II. stupanj po kvaliteti vode i tu pripadaju donji tokovi rijeka i veća jezera u nizinskim predjelima. Te vode su još uvijek malo onečišćene i prisutno je dovoljno kisika (6 mg O₂/L), a broj bakterija u tim vodama je manji od 100000 u cm³.

U alfa mezosaprobni stupanj svrstavaju se bare, rukavci rijeka, ribnjaci, melioracijski kanali. Voda je onečišćena, smanjena joj je prozirnost i koncentracija otopljenog kisika. Povećana je količina bakterija i modrozelenih algi, pijavica i slično.

Vode velikog onečišćenja pripadaju u polisaprobni stupanj saprobnosti. U takvoj vodi prevladavaju anaerobni uvjeti, voda je mutna i obojena te je prisutna velika količina bakterija. Zbog razgradnje organskih tvari stvara se vodik sulfid koji se može prepoznati po mirisu. U ovu skupinu mogu se svrstati vrlo onečišćeni vodotoci, kanali otpadnih voda...

Druga metoda za određivanje saprobnosti sastoji se u ispitivanju svih živih organizama životne zajednice gdje se organizmi određuju prema sastavu, količini te broju jedinki. Saprobni indeks određuje se prema jednadžbi:

$$S = \frac{\sum(s * h)}{\sum h}$$

pri čemu je s-saprobiološka vrijednost svake vrste (od 1-4), h-količina određene vrste u vodi (1-malobrojno do 9-vrlo brojno).

Stupanj biološke proizvodnje

Stupanj biološke proizvodnje biološki je pokazatelj koji ovisi o trofikaciji odnosno količini raspoložive hrane. Prema stupnju trofije vode se dijele na oligotrofne (vode s malo hranjivih tvari), mezotrofne (srednja količina hranjivih tvari), eutotrofne koje su umjereno obogaćene hranjivim tvarima i hipertrofne (visokoproduktivne) vode. Hranjive tvari dospijevaju sa slivova, kruženjem

biogenih tvari u sustavu i prirodnim procesima. Pokazatelji stupnja biološke proizvodnje su ukupan fosfor, klorofil, ukupan broj stanica, organska proizvodnja, prozirnost. Usporedbom navedenih pokazatelja može se odrediti stupanj biološke proizvodnje nekog vodenog sustava. Ako se ustanovi da je biološka proizvodnja povećana vodu nije poželjno koristiti u svakodnevnoj upotrebi, vodoopskrbi ili za razonodu.

Stupanj otrovnosti

Svaka tvar koja u živim organizmima izaziva bolest, genetičke promjene, fizičke deformacije ili smrt je otrovna tvar. Otrovnost potječu najčešće iz kemijske industrije, ali i ostalih industrija kao što su metalska, tekstilna, prehrambena...Štetne i opasne tvari mogu se ugrađivati u stanična tkiva nižih organizama. Ulaskom u prehrambene lance postoji opasnost povećanja koncentracije opasnih tvari u organizmima višeg reda uključujući i čovjeka. Neželjene posljedice mogu se opaziti tek nakon višegodišnjeg nakupljanja u okolišu [5]. Kada se govori o otrovnosti misli se na štetne učinke neke tvari na jedinku, organizam ili ekosustav. Stupanj otrovnosti određuje se biotestom:

- utvrđuje se koncentracija tvari kada ugiba 50% ispitanih organizama (srednja smrtonosna koncentracija-LC₅₀)
- najveća koncentracija kad se ne opaža učinak na ispitane organizme tijekom 96 sati (srednja granica podnošljivosti- LT_m)

Treba obratiti pozornost na odabir organizama za ispitivanje i fizikalno- kemijske uvjete pod kojima se biotest obavlja (temperatura, zasićenost kisikom, pH, salinitet...) zbog toga što se organizmi zbog svojih fizioloških svojstava ponašaju različito prema otrovnim tvarima.

Indeks razlike

Indeks razlike je matematički izraz za strukturu životne zajednice. Ovaj izraz je koristan za složena biološka ispitivanja. Polazi se od pretpostavke da je u životnoj zajednici zastupljen određen broj vrsta odgovarajuće populacije [4]. Ukoliko se radi o onečišćenim vodama doći će do smanjenja pojedinih vrsta koje tamo obitavaju. Izraz koji se često koristi za izračunavanje je:

$$H' = \sum_{i=1}^s \frac{N_i}{N} \log_2 \frac{N}{N_i}$$

gdje je:

N_i – broj organizama te vrste

N – ukupan broj organizama

s – ukupan broj vrsta

Ukoliko je $H' < 1$ vodni sustav je jako onečišćen

$H' = 1-3$ vodni sustav je umjereno onečišćen

$H' > 3$ vodni sustav je čist

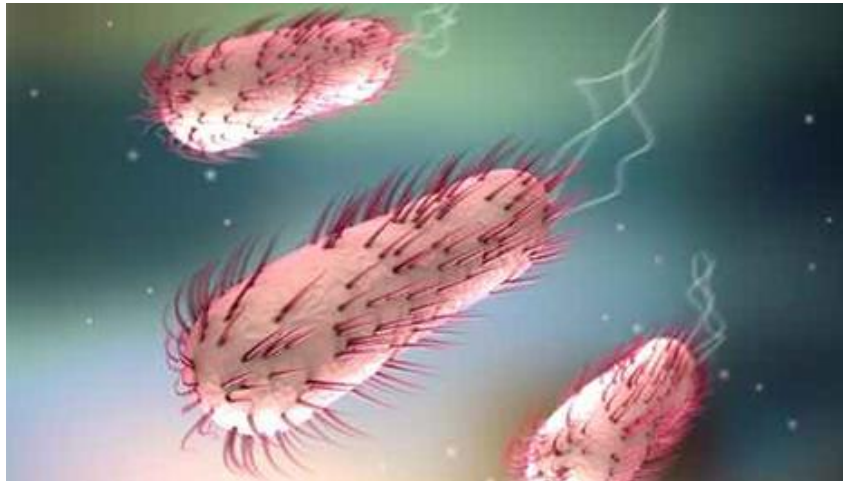
Indeks će imati maksimum ako svaki organizam pripada drugoj vrsti, a minimum ako su svi organizmi iste vrste.

3.4. Mikrobiološki pokazatelji

Voda kao povoljna okolina za razvoj i postojanje mikroorganizama, osim mikroorganizama koji su stalno prisutni u njoj i potpomažu razlaganje i proizvodnju organske tvari, sadrži i mikroorganizme koji dopijevaju iz probavnih sustava ljudi i životinja, te ispiranjem zemljišta i otpadnim vodama. Neki od njih izazivaju bolesti u organizmima koje nastanjuju u slučaju korištenja takve vode. Za određivanje stanja vode koriste se organizmi pokazatelji odnosno ukupni koliformi i fekalni koliformi koji su sastavni dio probavnog trakta organizama i u njima ne izazivaju bolesti, tek ako dospiju u ostala tkiva. Ukupni koliformi koji potječu iz probavnog trakta su mikroorganizmi poput *Escherichie coli* i *Enterococcus*, dok *Enterobacter*, *Serratia marcescens*, *Providencia* i dr. mogu potjecati iz tla. Prilikom određivanja ukupnih koliforma kao mikrobioloških pokazatelja vrlo je teško odrediti njihovo porijeklo dok se kod fekalnih koliforma sa sigurnošću može odrediti porijeklo iz probavnih sustava organizama. Broj organizama mikrobioloških pokazatelja u vodi definira se kao „najvjerojatniji broj“ ili broj organizama utvrđen postupkom membranske filtracije.

Escherichia coli

Gram-negativna bakterija koja pripada rodu *Escherichia* i porodici *Enterobacteriae* sastavni je dio crijevne flore ljudi i mnogih životinja (prikazana je na slici 3). Aerobna je i anaerobna bakterija što znači da može rasti bez kisika, ali ga dobro iskoristi ako je prisutan. Dobro uspijeva i u laboratorijskim uvjetima. Može se dugo zadržati na predmetima, a na određenim vrstama namirnica i hrane se brzo razmnožava. Kod ljudi u određenim uvjetima izaziva infekcije mokraćnog sustava, crijevne infekcije, trovanje hranom, gastroenteritis, infekcije rana, meningitis kod novorođene djece... Bakterija se prenosi fekalijama putem zaražene vode i hrane.



Slika 3. Escherichia coli [10]

Crijevni enterokoki

Crijevni enterokoki su grupa crijevnih, gram- pozitivnih bakterija koje su kuglastog oblika i dolaze u paru ili se skupljaju u kratke lance (slika 4). Ovu grupu čine bakterije roda *Enterococcus*, a poznato je najmanje 12 vrsta od kojih najviše infekcija kod ljudi izazivaju *Enterococcus faecalis* i *Enterococcus faecium*. Enterokoki su puno otporniji od ukupnih koliformnih bakterija tako da bolje podnose visoke temperature, promjenu pH, salinitet, duže preživljavaju u okolišu, ne umnožavaju se u vodi. Enterokoki čine normalnu crijevnu floru, floru usne šupljine i ženskog spolovila. Uzrokuju brojne infekcije od kojih su endokarditis,

infekcije mokraćnih sustava, prostatitis, infekcija rana, infekcije u abdomenu i u maloj zdjelici te sepsu.



Slika 4. Crijevni enterokok [11]

4. Eksperimentalni dio

4.1. Uzorkovanje i određivanje mikrobioloških pokazatelja kakvoće vode

Uzorci su uzimani na dvije lokacije odnosno na dva zagrebačka jezera, Jarun i Bundek. Oba jezera su umjetna i postala su popularna zagrebačka kupališta i mjesta okupljanja građana. Jezero Bundek (slika 5) sastoji se od Velikog i Malog jezera, a omeđeno je savskim nasipom, Mostom slobode i ulicom Bundek.



Slika 5. Jezero Bundek [12]

Jezero Jarun (slika 6) nalazi se u istoimenom kvartu uz obalu rijeke Save.



Slika 6. Jezero Jarun [13]

Uzorkovanje vode na jezeru Bundek provedeno je samo na Velikom jezeru i to na tri lokacije u razdoblju od 2014. do 2016. godine. Za ispitivanje kakvoće vode na jezeru Jarun uzorci su uzimani na području Velikog i Malog jezera (na svakome 6 točaka uzorkovanja), na Otoku veslača i otoku Trešnjevka (na svakome 1 točka uzorkovanja) te na otoku Univerzijade (2 točke uzorkovanja). Uzorci su uzimani devet puta tokom 2014. godine, te osam puta tokom 2015. i 2016. godine.

Uzorkovanje se vrši staklenim spremnicima od 500 ml s teflonskim čepom na način da se stakleni spremnik uranja 0,5 m ispod površine vode. Uzeti uzorci spremaju se u prijenosne hladnjake te u hladnu komoru vozila za transport uzoraka. Potrebno je pripremiti i zapisnik u koji se unose podaci o uzorkovanju vode (datum, mjesto i vrijeme uzimanja uzoraka, pokazatelji koji se ispituju, vremenski uvjeti, podaci osobe koja zahtijeva uzorkovanje i osobe koja ga provodi). Uzorke je potrebno analizirati neposredno nakon dostave u laboratorij, osim u slučaju kada to iz nekog razloga nije moguće. Ako ispitivanje uzoraka nije odmah moguće, uzorci se određeno vrijeme mogu čuvati u propisanim uvjetima do provođenja analize.

Uzorci vode analizirani su Minijaturnom metodom za detekciju i brojenje *E.coli* u površinskoj i podzemnoj vodi koja je propisana normom HRN EN ISO 9308-3, dok se za određivanje *enterokoka* primjenjivala Minijaturna metoda za površinske i otpadne vode koja je propisana normom HRN EN ISO 7899-1 [15].

5. Prikaz i obrada podataka pokazatelja kakvoće vode

Na slici 7. prikazane su točke uzorkovanja na jezeru Bundek.



Slika 7. Prikaz točaka uzorkovanja na jezeru Bundek [4]

Uzorci su uzimani tijekom 2014., 2015. i 2016. godine čiji su točni datumi uzorkovanja prikazani u tablici 5.

Tablica 5. Datumi uzorkovanja na lokacijama B1, B2 i B3 u razdoblju od 2014. do 2016. godine [4]

	B1	B2	B3		B1	B2	B3		B1	B2	B3
2014.	02.04.	02.04.	02.04.	2015.	14.04.	14.04.	14.04.	2016.	12.04.	12.04.	12.04.
	21.05.	21.05.	21.05.		09.06.	09.06.	09.06.		09.06.	09.06.	09.06.
	10.06.	10.06.	10.06.		23.06.	23.06.	23.06.		24.06.	24.06.	24.06.
	30.06.	30.06.	30.06.		07.07.	07.07.	07.07.		07.07.	07.07.	07.07.
	07.07.	07.07.	07.07.		21.07.	21.07.	21.07.		19.07.	19.07.	19.07.
	21.07.	21.07.	21.07.		03.08.	03.08.	03.08.		09.08.	09.08.	09.08.
	11.08.	11.08.	11.08.		24.08.	24.08.	24.08.		23.08.	23.08.	23.08.
	26.08.	26.08.	26.08.		07.09.	07.09.	07.09.		09.09.	09.09.	09.09.
	08.09.	08.09.	08.09.								

Uzorkovanje je 2014. provedeno dva puta prije kupališne sezone, dok je 2015 i 2016. provedeno samo jednom prije početka sezone. Tijekom sezone uzorkovanje je provedeno četiri puta i na kraju sezone jedanput tijekom sve tri godine (slika 5).

Za ispitivanje kakvoće vode jezera Jarun odabrano je ukupno šesnaest točaka za uzorkovanje vode. Na području Velikog jezera odabrano je šest točaka (TU01-TU06), na području Malog jezera također šest točaka (TU07-TU12), na otoku veslača i Trešnjevci po jedna točka (TU13 i TU14), te na otoku Univerzijade dvije točke (TU15 i TU16), slika 8.



Slika 8. Prikaz točaka uzorkovanja na jezeru Jarun [4]

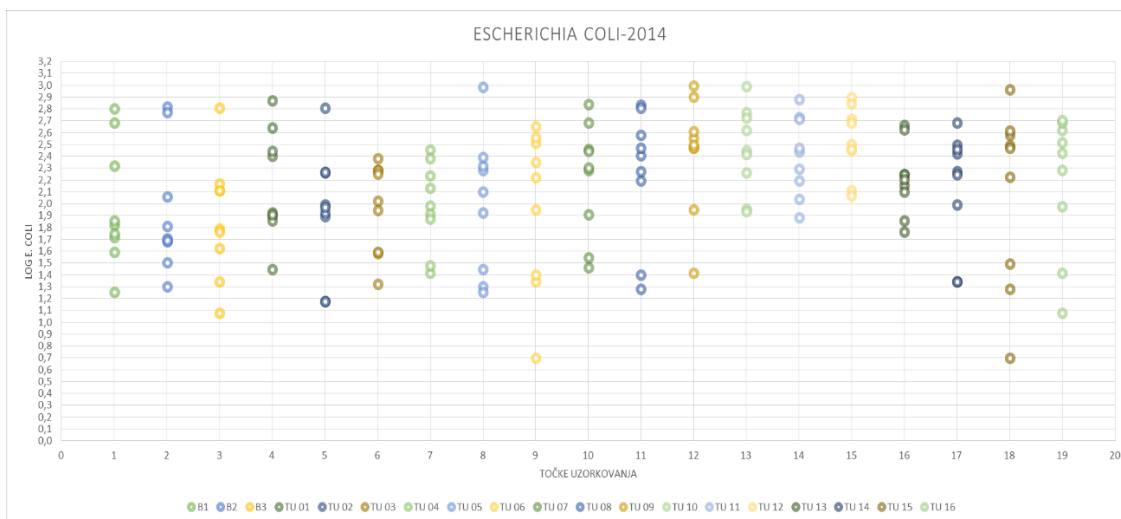
U tablici 6. prikazani su datumi uzorkovanja vode tijekom 2014., 2015. i 2016. godine.

Tablica 6. Datumi uzorkovanja na lokacijama TU01-TU16 u razdoblju od 2014.-2016. godine [4]

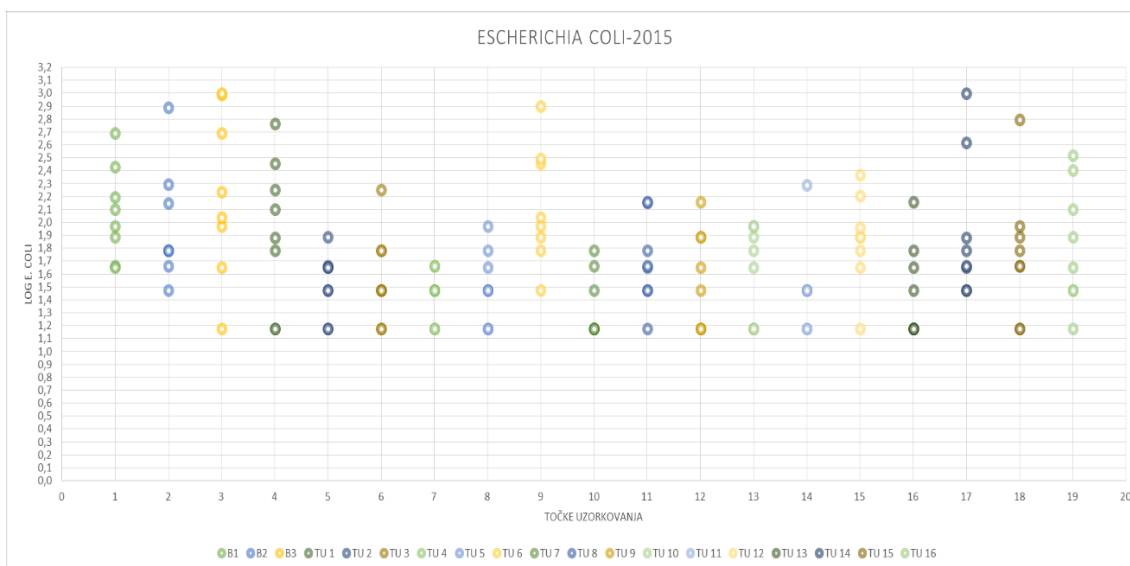
	TU01-TU16	TU01-TU16	TU01-TU16
2014.	02.04.	2015.	14.04.
	21.05.		09.06.
	10.06.		23.06.
	30.06.		07.07.
	07.07.		21.07.
	21.07.		03.08.
	11.08.		24.08.
	26.08.		07.09.
	08.09.		
		2016.	12.04.
			09.06.
			24.06.
			07.07.
			19.07.
			09.08.
			23.08.
			09.09.

Uzorci su uzimani tijekom 2014. devet puta i to dva puta prije početka sezone, dan prije samog početka, pet puta tijekom kupališne sezone i jednom na samome kraju sezone. 2015. i 2016. godine uzorci su uzimani jednako kao i 2014. godine osim što se izvodilo samo jedno uzorkovanje prije početka sezone (slika 6).

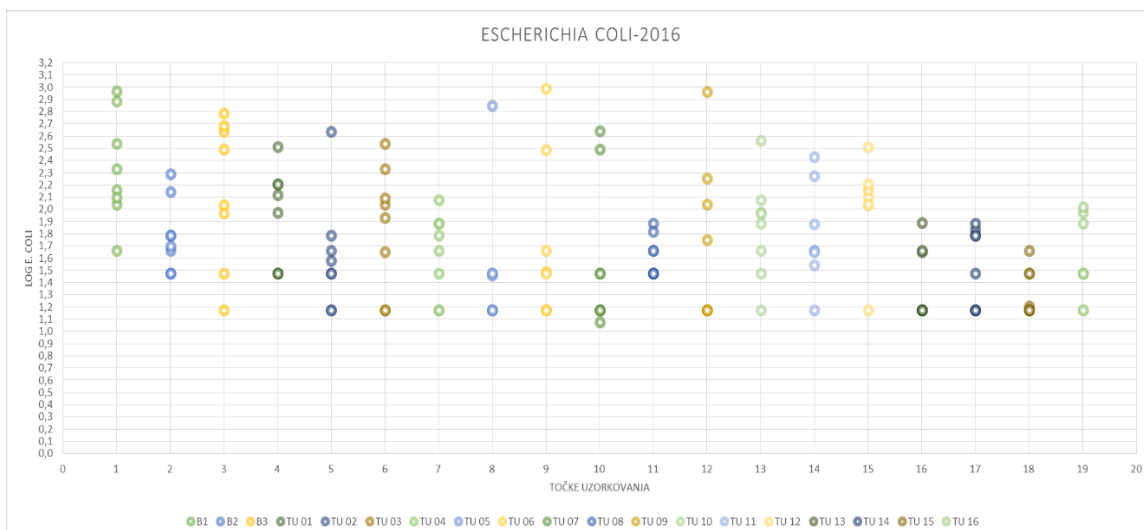
U uzorcima vode ispitivana su dva mikrobiološka pokazatelja: količina E. coli i količina crijevnog enterokoka. Rezultati mikrobioloških pokazatelja prikazani su pomoću grafova sa logaritamskim vrijednostima (slika9, slika10, slika11, slika12, slika13 i slika 14). Na osi apscisa prikazane su točke uzorkovanja, a na osi ordinata je logaritamska vrijednost mikrobiološkog pokazatelja.



Slika 9. Vrijednosti količine E. coli u uzorcima uzetih sa 19 lokacija tijekom 2014.godine

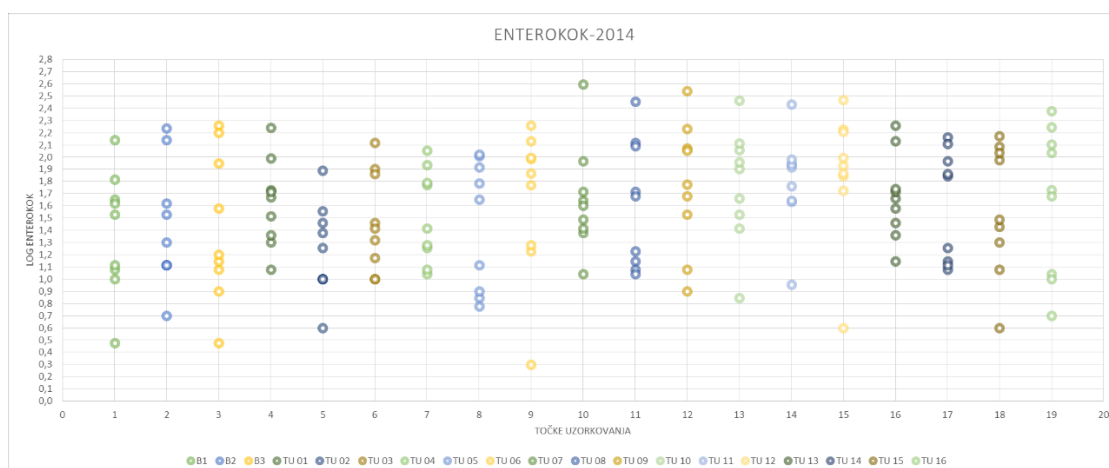


Slika 10. Vrijednosti količine E. coli u uzorcima uzetih sa 19 lokacija tijekom 2015.godine.

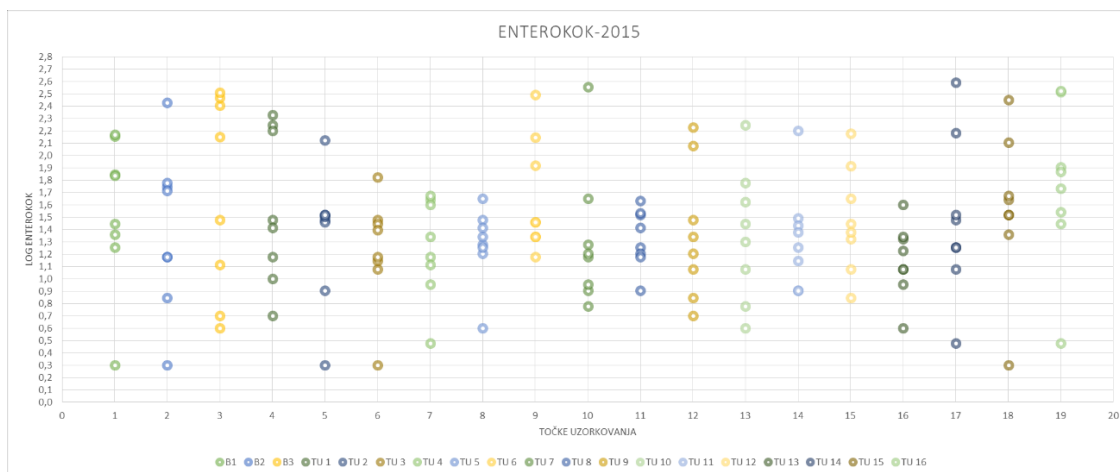


Slika 11. Vrijednosti količine E. coli u uzorcima uzetih sa 19 lokacija tijekom 2016.godine

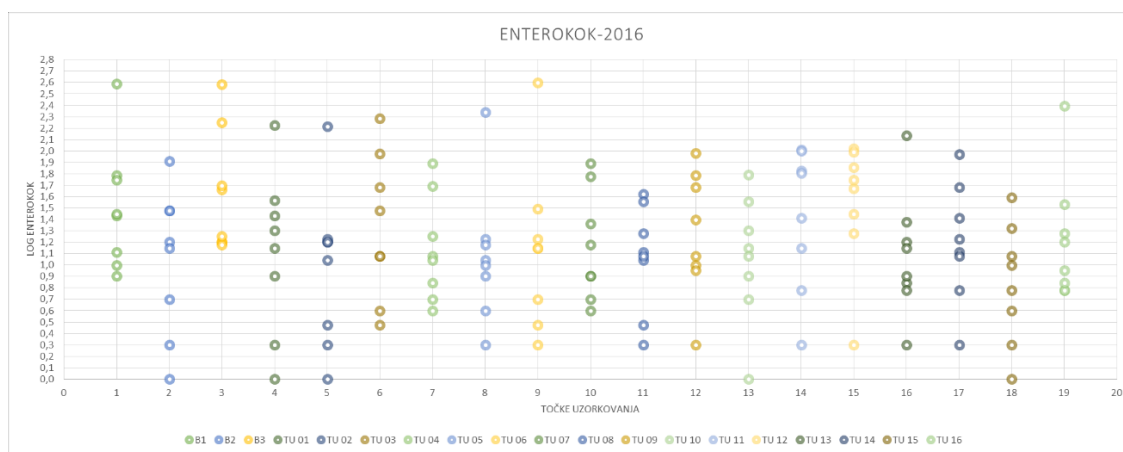
Usporedbom dobivenih rezultata vidljivo je da je 2014. godine gustoća distribucije izrazito velika, vrijednosti su dosta blizu jedna drugoj, slika 9. Iduće godine, 2015., gustoća distribucije i dalje postoji, ali je nešto manja (slika 10) dok je 2016. godine gustoća distribucije vrijednosti opet povećana (slika 11). Prisutnost bakterije je velika, a njezinom stvaranju pogoduju visoke temperature koje su 2014. i 2016. godine bile natprosječne i mamele brojne kupače čijom se aktivnosti količina bakterije još više povećavala. Jedan od faktora za stvaranje bakterija je i gotovo nikakva izmjena vode u jezerima Jarun i Bundek.



Slika 12. Vrijednosti količine crijevnog enterokoka u uzorcima uzetih sa 19 lokacija tijekom 2014.godine



Slika 13. Vrijednosti količine crijevnog enterokoka u uzorcima uzetih sa 19 lokacija tijekom 2015.godine



Slika 14. Vrijednosti količine crijevnog enterokoka u uzorcima uzetih sa 19 lokacija tijekom 2016.godine

Gustoća vrijednosti crijevnog enterokoka je za sve tri godine vrlo visoka (slika 12, slika 13, slika 14). 2015. godine je gustoća distribucije količine vrijednosti neravnomjerno raspoređena, ali je svejedno prisutna (slika 13). Najveća gustoća distribucije je prisutna na lokacijama koje se nalaze blizu jedna drugoj, dok je najmanja gustoća distribucije na lokacijama koje su udaljene jedna od druge, odnosno različite lokacije uzorkovanja.

Dobivene logaritamske vrijednosti služe kao polazna točka za ispitivanje sljedećih hipoteza:

a) H_0 : Količine E. coli na sve tri lokacije B1, B2, B3 pripadaju populaciji s istim medijanom.

H₁: Količine *E. coli* na sve tri lokacije B1, B2, B3 ne pripadaju populaciji s istim medijanom.

b) H₀: Količine crijevnog enterokoka na sve tri lokacije B1, B2, B3 pripadaju populaciji s istim medijanom.

H₁: Količine crijevnog enterokoka na sve tri lokacije B1, B2, B3 ne pripadaju populaciji s istim medijanom.

c) H₀: Količine *E. coli* na svih šest lokacija TU01, TU02, TU03, TU04, TU05, TU06 pripadaju populaciji s istim medijanom.

H₁: Količine *E. coli* na svih šest lokacija TU01, TU02, TU03, TU04, TU05, TU06 ne pripadaju populaciji s istim medijanom.

d) H₀: Količine crijevnog enterokoka na svih šest lokacija TU01, TU02, TU03, TU04, TU05, TU06 pripadaju populaciji s istim medijanom.

H₁: Količine crijevnog enterokoka na svih šest lokacija TU01, TU02, TU03, TU04, TU05, TU06 ne pripadaju populaciji s istim medijanom.

e) H₀: Količine *E. coli* na svih šest lokacija TU07, TU08, TU09, TU10, TU11, TU12 pripadaju populaciji s istim medijanom.

H₁: Količine *E. coli* na svih šest lokacija TU07, TU08, TU09, TU10, TU11, TU12 ne pripadaju populaciji s istim medijanom.

f) H₀: Količine crijevnog enterokoka na svih šest lokacija TU07, TU08, TU09, TU10, TU11, TU12 pripadaju populaciji s istim medijanom.

H₁: Količine crijevnog enterokoka na svih šest lokacija TU07, TU08, TU09, TU10, TU11, TU12 ne pripadaju populaciji s istim medijanom.

Za dokazivanje navedenih hipoteza upotrijebljeni su prošireni medijan test i Kruskal-Wallisov test uz razinu značajnosti $\alpha=0,05$.

Kako ovi testovi pri izračunu koriste vrijednosti medijana, one su izračunate iz poznatih količina *E. coli* i *crijevnog enterokoka* za sve lokacije na jezeru Jarun i Bundek i prikazane u tablicama 7. i 8.

Tablica 7. Vrijednosti medijana količine *E.coli* u jezeru Jarun i Bundeck

LOKACIJA	VRIJEDNOSTI MEDIJANA KOLIČINE E.COLI
BUNDEK	1,97
JARUN(VELIKO JEZERO)	1,79
JARUN (MALO JEZERO)	1,9

Tablica 8. Vrijednosti medijana količine *crijevnog enterokoka* u jezeru Jarun i Bundeck

LOKACIJA	VRIJEDNOSTI MEDIJANA KOLIČINE CRIJEVNOG ENTEROKOKA
BUNDEK	1,45
JARUN(VELIKO JEZERO)	1,33
JARUN (MALO JEZERO)	1,465

Možemo zaključiti da se u manjim jezerima stvara više bakterija zbog manje površine i većeg broja kupača. Vrijednosti količine *E. coli* i *crijevnog enterokoka* na jezeru Bundeck i Malom Jezeru su velike dok su na Velikom jezeru Jaruna vrijednosti manje, čemu pogoduje veća površina jezera gdje se količina mikroorganizama može razrijediti.

5.1. Obrada podataka za količinu *Escherichie coli* i *crijevnog enterokoka* u jezerima

a) H0: Količine *E. coli* na sve tri lokacije B1, B2, B3 pripadaju populaciji s istim medijanom

H1: Količine *E. coli* na sve tri lokacije B1, B2, B3 ne pripadaju populaciji s istim medijanom

Prošireni medijan test

Medijan vrijednosti E. coli s lokacija B1, B2, B3 iznosi 1.97. Postoji 25 vrijednosti za svaku lokaciju što znači da je sveukupno 75 vrijednosti od kojih 36 se nalazi iznad medijana, a 39 ispod medijana. Nakon uvrštavanja rezultata u tablicu 9, izračunate su očekivane frekvencije za svaki rezultat i dobiven je sljedeći hi-kvadrat račun:

Tablica 9. Hi- kvadrat račun za vrijednosti E. coli na jezeru Bundek

f_0	f_t	$f_0 - f_t$	$(f_0 - f_t)^2$	$\frac{(f_0 - f_t)^2}{f_t}$
14	12	2	4	0,333333333
11	13	-2	4	0,307692308
8	12	-4	16	1,333333333
17	13	4	16	1,230769231
14	12	2	4	0,333333333
11	13	-2	4	0,307692308
			$\chi^2 =$	3,846153846

Broj stupnjeva slobode je broj skupina -1, što u ovom slučaju iznosi 2. Iz tablice hi-kvadrat iščitavamo graničnu vrijednost koja iznosi 5,99. Izračunata vrijednost hi-kvadrat statistike iznosi 3,846 što je manje od granične vrijednosti te zbog toga se prihvaća hipoteza da uzorci pripadaju populaciji s istim medijanom.

Kruskal-Wallis test**Tablica 10.** Rangirani podaci za vrijednosti *E. coli* na jezeru Bundek

B1		B2		B3	
REZULTAT	RANG	REZULTAT	RANG	REZULTAT	RANG
1,26	4	1,3	5	1,08	1
1,59	12	1,48	8,5	1,18	2,5
1,65	14,5	1,48	8,5	1,18	2,5
1,66	17,5	1,48	8,5	1,34	6
1,66	17,5	1,51	11	1,48	8,5
1,72	24	1,66	17,5	1,62	13
1,75	25	1,66	17,5	1,65	14,5
1,82	34	1,68	20	1,76	26
1,86	35	1,69	21	1,79	29,5
1,89	36	1,7	22	1,97	38
1,97	38	1,71	23	1,97	38
2,04	41	1,79	29,5	2,04	41
2,1	44,5	1,79	29,5	2,04	41
2,1	44,5	1,79	29,5	2,11	46,5
2,16	50	1,79	29,5	2,11	46,5
2,19	52	1,79	29,5	2,17	51
2,32	56	1,81	33	2,24	53
2,33	57	2,06	43	2,49	59
2,43	58	2,15	48,5	2,64	61
2,54	60	2,15	48,5	2,68	62,5
2,68	62,5	2,29	54,5	2,69	64,5
2,69	64,5	2,29	54,5	2,79	67
2,8	68	2,77	66	2,81	69
2,89	71,5	2,82	70	2,99	74
2,97	73	2,89	71,5	3	75
T_i	1060		799,5		990,5
N_i	25		25		25

$$H = \frac{12}{N(N+1)} \sum \frac{T_i^2}{N_i} - 3(N+1)$$

$$H = 3,064463158$$

H ima jednaku distribuciju kao i χ^2 pa se pomoću hi-kvadrat tablice odredi granična vrijednost. Kako je broj stupnjeva slobode 2, a granična vrijednost hi-kvadrata 5,99, potvrđuje se hipoteza da uzorci pripadaju populaciji s istim medijanom.

b) H_0 : Količine crijevnog enterokoka na sve tri lokacije B1, B2, B3 pripadaju populaciji s istim medijanom.

H_1 : Količine crijevnog enterokoka na sve tri lokacije B1, B2, B3 ne pripadaju populaciji s istim medijanom.

Prošireni medijan test

Medijan vrijednosti E. coli s lokacija B1, B2, B3 iznosi 1,45. Postoji 25 vrijednosti za svaku lokaciju što znači da je sveukupno 75 vrijednosti od kojih je 36 iznad medijana, a 39 ispod medijana. Nakon uvrštavanja rezultata u tablicu 11, izračunate su očekivane frekvencije za svaki rezultat i dobiven je sljedeći hi-kvadrat račun:

Tablica 11. Hi- kvadrat račun za vrijednosti enterokoka na jezeru Bundek

f_0	f_t	$f_0 - f_t$	$(f_0 - f_t)^2$	$\frac{(f_0 - f_t)^2}{f_t}$
12	12	0	0	0
13	13	0	0	0
11	12	-1	1	0,0833333333
14	13	1	1	0,076923077
13	12	1	1	0,0833333333
12	13	-1	1	0,076923077
			$\chi^2 =$	0,320512821

Broj stupnjeva slobode je 2, a granična vrijednost hi-kvadrata iznosi 5.99. Može se zaključiti da sve vrijednosti pripadaju istoj populaciji odnosno prihvaća se nulta hipoteza.

Kruskal-Wallis test

Tablica 12. Rangirani podaci za vrijednosti crijevnog enterokoka na jezeru Bundek

B1		B2		B3	
REZULTAT	RANG	REZULTAT	RANG	REZULTAT	RANG
0,3	3	0	1	0,48	5,5
0,48	5,5	0,3	3	0,6	7
0,9	12,5	0,3	3	0,7	9
1	14,5	0,7	9	0,9	12,5
1	14,5	0,7	9	1,08	16,5
1,08	16,5	0,85	11	1,11	20,5
1,11	20,5	1,11	20,5	1,15	24,5
1,11	20,5	1,11	20,5	1,18	27
1,23	33	1,11	20,5	1,2	30,5
1,26	34,5	1,15	24,5	1,2	30,5
1,36	37	1,18	27	1,2	30,5
1,43	38	1,18	27	1,26	34,5
1,45	39,5	1,2	30,5	1,48	42
1,45	39,5	1,3	36	1,58	45
1,62	46,5	1,48	42	1,66	49
1,65	48	1,48	42	1,7	50
1,75	52,5	1,53	44	1,95	60
1,79	55	1,62	46,5	2,15	63
1,82	56	1,72	51	2,2	66
1,84	57	1,75	52,5	2,25	68
1,85	58	1,78	54	2,26	69
2,14	61,5	1,91	59	2,4	70
2,16	64	2,14	61,5	2,47	72
2,17	65	2,24	67	2,51	73
2,59	74,5	2,43	71	2,59	74,5
T_i	967		833		1050

N_i	25		25		25
-------	----	--	----	--	----

$$H = \frac{12}{N(N+1)} \sum \frac{T_i^2}{N_i} - 3(N+1)$$

$$H = 2,0192$$

Prema hi-kvadrat tablici, uz 2 stupnja slobode i graničnu vrijednost hi-kvadrata 5,99 vidljivo je da vrijednosti pripadaju populaciji s istim medijanom jer je dobiveni $H = 2,0192$ manji od granične vrijednosti.

c) H0: Količine E. coli na svih šest lokacija TU01, TU02, TU03, TU04, TU05, TU06 pripadaju populaciji s istim medijanom.

H1: Količine E. coli na svih šest lokacija TU01, TU02, TU03, TU04, TU05, TU06 ne pripadaju populaciji s istim medijanom.

Prošireni medijan test

Za Veliko jezero postoji 150 vrijednosti, 25 za svaku od 6 lokacija. Medijan ovih vrijednosti je 1,79. Iznad medijana se svrstava 71, a ispod medijana 79 vrijednosti. U tablici 13 prikazane su očekivane frekvencije i hi-kvadrat račun.

Tablica 13. Hi- kvadrat račun za vrijednosti E.coli na Velikom jezeru

f_0	f_t	$f_0 - f_t$	$(f_0 - f_t)^2$	$\frac{(f_0 - f_t)^2}{f_t}$
18	11,83333333	6,166666667	38,02777778	3,213615023
7	13,16666667	-6,166666667	38,02777778	2,888185654
9	11,83333333	-2,833333333	8,027777778	0,678403756
16	13,16666667	2,833333333	8,027777778	0,609704641
12	11,83333333	0,166666667	0,027777778	0,002347418
13	13,16666667	-0,166666667	0,027777778	0,002109705
9	11,83333333	-2,833333333	8,027777778	0,678403756
16	13,16666667	2,833333333	8,027777778	0,609704641
8	11,83333333	-3,833333333	14,69444444	1,241784038
17	13,16666667	3,833333333	14,69444444	1,116033755
15	11,83333333	3,166666667	10,02777778	0,84741784

10	13,16666667	-3,166666667	10,02777778	0,761603376
			$\chi^2 =$	12,6493136

Broj stupnjeva slobode za ovu skupinu podataka je 5, a razina značajnosti 0.05. Dobiveni hi-kvadrat iznosi 12,64093136 što je više od granične vrijednosti 10,07 zbog čega se odbacuje hipoteza da svi uzorci pripadaju populaciji s istim medijanom.

Kruskal-Wallis test

Tablica 14. Rangirani podaci za vrijednosti E.coli na Velikom jezeru

TU01		TU02		TU03		TU04		TU05		TU06	
REZULTAT	RANG	REZULTAT	RANG	REZULTAT	RANG	REZULTAT	RANG	REZULTAT	RANG	REZULTAT	RANG
1,18	14	1,18	14	1,18	14	1,18	14	1,18	14	0,7	1
1,18	14	1,18	14	1,18	14	1,18	14	1,18	14	1,18	14
1,45	34,5	1,18	14	1,18	14	1,18	14	1,18	14	1,18	14
1,48	48	1,18	14	1,18	14	1,18	14	1,18	14	1,18	14
1,48	48	1,18	14	1,32	30	1,19	27	1,18	14	1,34	31
1,48	48	1,18	14	1,48	48	1,41	33	1,18	14	1,4	32
1,79	77	1,48	48	1,48	48	1,48	48	1,26	28	1,48	48
1,86	81	1,48	48	1,48	48	1,48	48	1,3	29	1,48	48
1,88	82,5	1,48	48	1,58	61,5	1,48	48	1,45	34,5	1,49	60
1,89	86,5	1,48	48	1,59	63	1,48	48	1,46	36	1,66	70,5
1,91	90	1,58	61,5	1,65	65,5	1,48	48	1,48	48	1,79	77
1,92	92	1,65	65,5	1,79	77	1,48	48	1,48	48	1,89	86,5
1,97	98,5	1,65	65,5	1,79	77	1,66	70,5	1,48	48	1,95	96
2,1	108,5	1,66	70,5	1,93	94	1,66	70,5	1,48	48	1,97	98,5
2,12	110	1,66	70,5	1,94	95	1,66	70,5	1,48	48	2,04	104,5
2,21	112,5	1,79	77	2,03	103	1,79	77	1,65	65,5	2,22	114
2,21	112,5	1,89	86,5	2,04	104,5	1,88	82,5	1,79	77	2,35	126
2,25	117	1,89	86,5	2,09	107	1,89	86,5	1,92	92	2,46	133,5
2,4	130	1,92	92	2,25	117	1,89	86,5	1,97	98,5	2,49	135,5
2,44	131	1,97	98,5	2,25	117	1,98	101	2,1	108,5	2,49	135,5
2,45	132	1,99	102	2,28	121,5	2,08	106	2,28	121,5	2,51	137,5
2,51	137,5	2,26	119	2,29	123	2,13	111	2,32	124	2,56	140
2,64	141,5	2,27	120	2,33	125	2,24	115	2,39	129	2,65	143

2,76	144	2,64	141,5	2,38	127,5	2,38	127,5	2,85	146	2,9	148
2,87	147	2,81	145	2,54	139	2,46	133,5	2,98	149	2,99	150
T_i	2337,5		1677,5		1947,5		1642		1562,5		2158
N_i	25		25		25		25		25		25

$$H = \frac{12}{N(N+1)} \sum \frac{T_i^2}{N_i} - 3(N+1)$$

$$H = 10,3685404$$

Granična vrijednost hi- kvadrata u ovom primjeru je 10,07. Dobiveni H je 10,3685404 što je veće od granične vrijednosti. Zbog toga se ne prihvaća hipoteza da količine E.coli na svih šest lokacija pripadaju populaciji s istim medijanom.

d) H_0 : Količine crijevnog enterokoka na svih šest lokacija TU01, TU02, TU03, TU04, TU05, TU06 pripadaju populaciji s istim medijanom.

H_1 : Količine crijevnog enterokoka na svih šest lokacija TU01, TU02, TU03, TU04, TU05, TU06 ne pripadaju populaciji s istim medijanom.

Prošireni medijan test

Medijan za ovu skupinu vrijednosti iznosi 1,33. Od 150 vrijednosti 76 je iznad medijana, a 74 ispod medijana. U tablici 15 izračunate su i prikazane frekvencije i hi-kvadrat račun.

Tablica 15. Hi- kvadrat račun za vrijednosti enterokoka na Velikom jezeru Jarun

f_0	f_t	$f_0 - f_t$	$(f_0 - f_t)^2$	$\frac{(f_0 - f_t)^2}{f_t}$
15	12,66666667	2,333333333	5,444444444	0,429824561
10	12,33333333	-2,333333333	5,444444444	0,441441441
12	12,66666667	-0,666666667	0,444444444	0,035087719
13	12,33333333	0,666666667	0,444444444	0,036036036
13	12,66666667	0,333333333	0,111111111	0,00877193
12	12,33333333	-0,333333333	0,111111111	0,009009009
11	12,66666667	-1,666666667	2,777777778	0,219298246

14	12,33333333	1,666666667	2,777777778	0,225225225
10	12,66666667	-2,666666667	7,111111111	0,561403509
15	12,33333333	2,666666667	7,111111111	0,576576577
15	12,66666667	2,333333333	5,444444444	0,429824561
10	12,33333333	-2,333333333	5,444444444	0,441441441
			$\chi^2 =$	3,413940256

Broj stupnjeva slobode u ovom slučaju je 5, a granična vrijednost hi-kvadrata iznosi 10,07. Prihvaća se hipoteza da uzorci pripadaju populaciji s istim medijanom.

Kruskal-Wallis test

Tablica 16. Rangirani podaci za vrijednosti crijevnog enterokoka na Velikom jezeru

TU01		TU02		TU03		TU04		TU05		TU06	
REZULTAT	RANG	REZULTAT	RANG	REZULTAT	RANG	REZULTAT	RANG	REZULTAT	RANG	REZULTAT	RANG
0	1,5	0	1,5	0,3	6	0,48	11,5	0,3	6	0,3	6
0,3	6	0,3	6	0,48	11,5	0,6	16	0,6	16	0,3	6
0,7	20	0,3	6	0,6	16	0,7	20	0,6	16	0,48	11,5
0,9	26,5	0,48	11,5	1	33	0,85	23,5	0,78	22	0,7	20
1	33	0,6	16	1	33	0,95	29	0,85	23,5	1,15	50,5
1,08	43,5	0,9	26,5	1,08	43,5	1,04	38,5	0,9	26,5	1,15	50,5
1,15	50,5	1	33	1,08	43,5	1,04	38,5	0,9	26,5	1,18	55,5
1,18	55,5	1	33	1,08	43,5	1,08	43,5	1	33	1,23	63,5
1,3	73,5	1	33	1,15	50,5	1,08	43,5	1,04	38,5	1,23	63,5
1,3	73,5	1,04	38,5	1,18	55,5	1,11	47,5	1,11	47,5	1,28	71
1,36	80	1,2	60	1,18	55,5	1,18	55,5	1,18	55,5	1,34	77,5
1,41	84,5	1,2	60	1,32	75	1,26	67,5	1,2	60	1,34	77,5
1,43	87	1,23	63,5	1,4	82	1,26	67,5	1,23	63,5	1,46	91
1,48	96	1,26	67,5	1,41	84,5	1,28	71	1,26	67,5	1,46	91
1,52	102	1,38	81	1,45	88	1,34	77,5	1,28	71	1,49	99
1,57	105	1,46	91	1,46	91	1,41	84,5	1,34	77,5	1,77	116,5
1,67	110,5	1,46	91	1,48	96	1,6	106	1,41	84,5	1,87	122
1,72	114	1,48	96	1,48	96	1,64	107	1,48	96	1,92	126,5

1,73	115	1,51	100	1,68	112	1,67	110,5	1,65	108,5	1,99	130,5
1,99	130,5	1,52	102	1,83	120	1,69	113	1,65	108,5	2	132
2,2	140	1,52	102	1,86	121	1,77	116,5	1,79	118,5	2,13	138
2,23	142	1,56	104	1,9	125	1,79	118,5	1,92	126,5	2,15	139
2,24	143	1,89	123,5	1,98	129	1,89	123,5	2,01	133	2,26	145
2,25	144	2,12	136,5	2,12	136,5	1,93	128	2,02	134	2,49	149
2,33	147	2,22	141	2,29	146	2,05	135	2,34	148	2,6	150
T_i	2124		1624		1893,5		1793		1708		2182,5
N_i	25		25		25		25		25		25

$$H = \frac{12}{N(N+1)} \sum \frac{T_i^2}{N_i} - 3(N+1)$$

$$H = 5,373796026$$

Dobiveni H iznosi 5,373796026. Broj stupnjeva slobode je 5, a granična vrijednost hi-kvadrata 10,07. Prihvaća se hipoteza da uzorci pripadaju populaciji s istim medijanom.

e) H_0 : Količine E. coli na svih šest lokacija TU07, TU08, TU09, TU10, TU11, TU12 pripadaju populaciji s istim medijanom.

H_1 : Količine E. coli na svih šest lokacija TU07, TU08, TU09, TU10, TU11, TU12 ne pripadaju populaciji s istim medijanom.

Prošireni medijan test

Vrijednost medijana za količine E. coli na Malom jezeru je 1,9. Ukupan broj vrijednosti je 150, za svaku lokaciju 25. Od toga su 73 iznad medijana, a 77 ispod medijana. U tablici 17 prikazane su očekivane frekvencije i hi-kvadrat račun.

Tablica 17. Hi- kvadrat račun za vrijednosti E. coli na Malom jezeru Jarun

f_0	f_t	$f_0 - f_t$	$(f_0 - f_t)^2$	$\frac{(f_0 - f_t)^2}{f_t}$
8	12,16666667	-4,166666667	17,36111111	1,426940639
17	12,83333333	4,166666667	17,36111111	1,352813853
8	12,16666667	-4,166666667	17,36111111	1,426940639
17	12,83333333	4,166666667	17,36111111	1,352813853

12	12,16666667	-0,166666667	0,027777778	0,002283105
13	12,83333333	0,166666667	0,027777778	0,002164502
15	12,16666667	2,833333333	8,027777778	0,659817352
10	12,83333333	-2,833333333	8,027777778	0,625541126
11	12,16666667	-1,166666667	1,361111111	0,111872146
14	12,83333333	1,166666667	1,361111111	0,106060606
19	12,16666667	6,833333333	46,69444444	3,837899543
6	12,83333333	-6,833333333	46,69444444	3,638528139
			$\chi^2 =$	14,5436755

Dobiveni hi-kvadrat iznosi 14,5436755, te se značajno razlikuje od granične vrijednosti 10,07. Zbog toga se odbacuje hipoteza da uzorci pripadaju populaciji s istim medijanom.

Kruskal-Wallis test

Tablica 18. Rangirani podaci za vrijednosti E.coli na Malom jezeru Jarun

TU07		TU08		TU09		TU10		TU11		TU12	
REZULTAT	RANG	REZULTAT	RANG	REZULTAT	RANG	REZULTAT	RANG	REZULTAT	RANG	REZULTAT	RANG
1,08	1	1,18	14	1,18	14	1,18	14	1,18	14	1,18	14
1,18	14	1,28	27	1,18	14	1,18	14	1,18	14	1,18	14
1,18	14	1,4	28	1,18	14	1,18	14	1,18	14	1,65	51
1,18	14	1,48	38,5	1,18	14	1,18	14	1,48	38,5	1,79	63,5
1,18	14	1,48	38,5	1,18	14	1,48	38,5	1,48	38,5	1,89	72
1,18	14	1,48	38,5	1,18	14	1,65	51	1,48	38,5	1,89	72
1,18	14	1,48	38,5	1,18	14	1,66	57	1,48	38,5	1,96	80
1,18	14	1,48	38,5	1,41	29	1,79	63,5	1,48	38,5	2,04	86,5
1,18	14	1,48	38,5	1,48	38,5	1,89	72	1,54	47,5	2,04	86,5
1,46	30	1,65	51	1,65	51	1,89	72	1,65	51	2,07	89
1,48	38,5	1,66	57	1,75	61	1,93	77	1,66	57	2,1	91
1,48	38,5	1,66	57	1,89	72	1,95	78,5	1,66	57	2,11	92
1,48	38,5	1,66	57	1,89	72	1,97	82,5	1,88	67,5	2,16	95
1,54	47,5	1,79	63,5	1,95	78,5	1,97	82,5	1,88	67,5	2,16	95
1,66	57	1,82	66	2,04	86,5	1,97	82,5	2,04	86,5	2,21	100,5

1,79	63,5	1,89	72	2,16	95	1,97	82,5	2,2	99	2,21	100,5
1,91	76	2,16	95	2,25	102	2,08	90	2,28	105,5	2,37	110
2,28	105,5	2,16	95	2,47	121,5	2,26	103	2,29	107,5	2,45	116,5
2,31	109	2,19	98	2,47	121,5	2,42	112	2,29	107,5	2,46	118,5
2,44	114,5	2,27	104	2,5	125,5	2,45	116,5	2,43	113	2,5	125,5
2,46	118,5	2,41	111	2,55	128	2,57	129	2,44	114,5	2,51	127
2,49	124	2,47	121,5	2,61	131	2,62	132	2,47	121,5	2,68	134,5
2,64	133	2,58	130	2,9	146,5	2,72	137	2,72	137	2,72	137
2,68	134,5	2,81	141	2,96	148	2,77	140	2,73	139	2,84	143,5
2,84	143,5	2,83	142	3	150	2,99	149	2,88	145	2,9	146,5
T_i	1485		1761		1855,5		2004		1858		2361,5
N_i	25		25		25		25		25		25

$$H = \frac{12}{N(N+1)} \sum \frac{T_i^2}{N_i} - 3(N+1)$$

$$H = 8,861478146$$

Broj stupnjeva slobode je 5, a granična vrijednost hi-kvadrata 10,07. Dobiveni H je manji zbog čega je hipoteza da svi uzorci pripadaju istoj populaciji, točna.

f) H_0 : Količine crijevnog enterokoka na svih šest lokacija TU07, TU08, TU09, TU10, TU11, TU12 pripadaju populaciji s istim medijanom.

H_1 : Količine crijevnog enterokoka na svih šest lokacija TU07, TU08, TU09, TU10, TU11, TU12 ne pripadaju populaciji s istim medijanom.

Prošireni medijan test

Vrijednost medijana za količine enterokoka na šest lokacija na Malom jezeru iznosi 1,465. Iznad medijana su 74, a ispod medijana 76 vrijednosti. U tablici 19 prikazane su očekivane frekvencije i hi-kvadrat račun.

Tablica 19. Hi- kvadrat račun za vrijednosti crijevnog enterokoka na Malom jezeru Jarun

f_0	f_t	$f_0 - f_t$	$(f_0 - f_t)^2$	$\frac{(f_0 - f_t)^2}{f_t}$
10	12,33333333	-2,333333333	5,444444444	0,441441441
15	12,66666667	2,333333333	5,444444444	0,429824561

9	12,33333333	-3,333333333	11,11111111	0,900900901
16	12,66666667	3,333333333	11,11111111	0,877192982
13	12,33333333	0,666666667	0,444444444	0,036036036
12	12,66666667	-0,666666667	0,444444444	0,035087719
12	12,33333333	-0,333333333	0,111111111	0,009009009
13	12,66666667	0,333333333	0,111111111	0,00877193
14	12,33333333	1,666666667	2,777777778	0,225225225
11	12,66666667	-1,666666667	2,777777778	0,219298246
16	12,33333333	3,666666667	13,44444444	1,09009009
9	12,66666667	-3,666666667	13,44444444	1,061403509
			$\chi^2 =$	5,33428165

Dobiveni hi-kvadrat iznosi 5.33428165, a granična vrijednost je 10,07. Količine crijevnog enterokoka na svih šest lokacija pripadaju populaciji s istim medijanom.

Kruskal-Wallis test

Tablica 20. Rangirani podaci za vrijednosti crijevnog enterokoka na Malom jezeru Jarun

TU07		TU08		TU09		TU10		TU11		TU12	
REZULTAT	RANG	REZULTAT	RANG	REZULTAT	RANG	REZULTAT	RANG	REZULTAT	RANG	REZULTAT	RANG
1,08	8	1,18	3,5	1,18	3,5	1,18	1	1,18	3,5	1,18	3,5
1,18	11	1,28	6	1,18	11	1,18	8	1,18	14	1,18	8
1,18	14	1,4	22,5	1,18	17	1,18	11	1,18	22,5	1,65	17
1,18	22,5	1,48	32	1,18	22,5	1,18	14	1,48	22,5	1,79	37,5
1,18	22,5	1,48	32	1,18	28	1,48	17	1,48	28	1,89	57
1,18	22,5	1,48	37,5	1,18	30	1,65	22,5	1,48	44,5	1,89	61
1,18	28	1,48	37,5	1,18	37,5	1,66	37,5	1,48	44,5	1,96	65
1,18	32	1,48	42	1,41	37,5	1,79	37,5	1,48	54,5	2,04	74
1,18	48	1,48	44,5	1,48	37,5	1,89	44,5	1,54	65	2,04	74
1,46	48	1,65	48	1,65	51	1,89	59,5	1,65	69,5	2,07	92,5
1,48	51	1,66	51	1,75	62	1,93	59,5	1,66	72	2,1	95

1,48	57	1,66	53	1,89	67	1,95	69,5	1,66	77,5	2,11	100
1,48	63	1,66	54,5	1,89	76	1,97	74	1,88	88,5	2,16	102
1,54	65	1,79	57	1,95	81	1,97	81	1,88	90,5	2,16	111
1,66	69,5	1,82	69,5	2,04	97	1,97	83,5	2,04	103	2,21	112
1,79	77,5	1,89	79	2,16	97	1,97	86,5	2,2	109	2,21	113
1,91	85	2,16	81	2,25	105	2,08	94	2,28	110	2,37	116
2,28	90,5	2,16	83,5	2,47	107,5	2,26	105	2,29	117	2,45	118
2,31	92,5	2,19	86,5	2,47	123,5	2,42	107,5	2,29	119,5	2,46	125
2,44	100	2,27	88,5	2,5	130	2,45	115	2,43	119,5	2,5	126,5
2,46	105	2,41	97	2,55	132	2,57	121	2,44	123,5	2,51	129
2,49	114	2,47	100	2,61	133	2,62	131	2,47	126,5	2,68	137
2,64	122	2,58	134	2,9	141	2,72	135	2,72	128	2,72	139
2,68	149	2,81	136	2,96	141	2,77	143	2,73	138	2,84	141
2,84	150	2,83	145,5	3	148	2,99	145,5	2,88	144	2,9	147
T_i	1647,5		1621,5		1916,5		1803,5		2035		2301
N_i	25		25		25		25		25		25

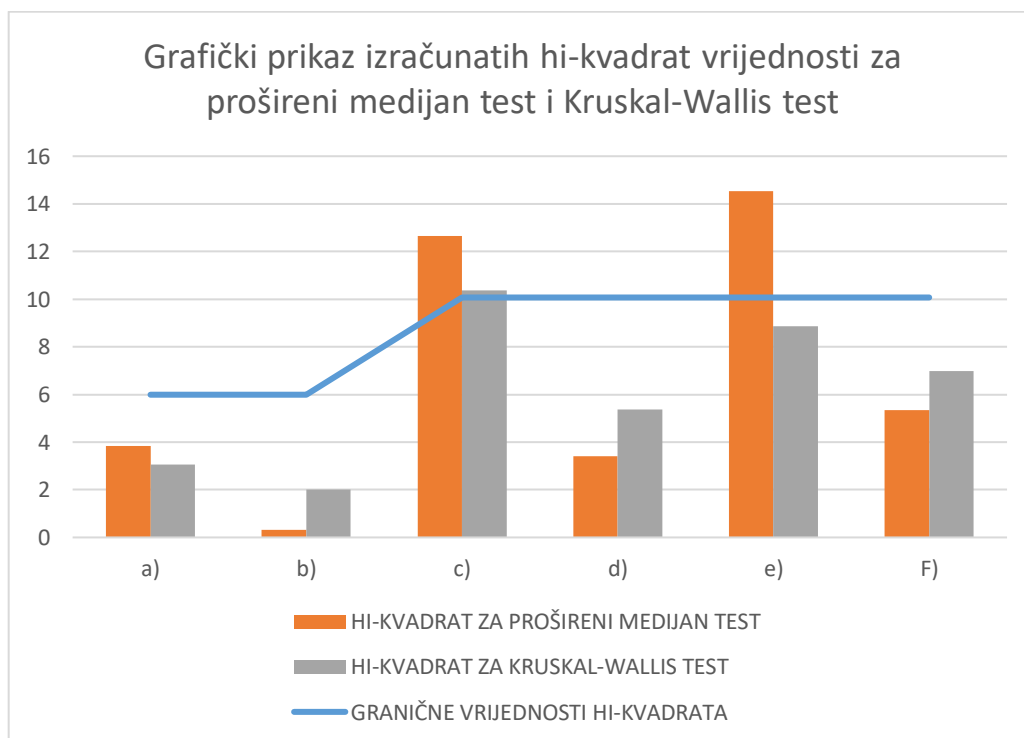
$$H = 6,972005298$$

Ovim izračunom dobiven je $H=6,972005298$, broj stupnjeva slobode je 5, a granična vrijednost hi-kvadrata iznosi 10,07 i zbog toga je istinita hipoteza da količine crijevnog enterokoka na svih šest lokacija pripadaju populaciji s istim medijanom.

6. Zaključak

Kakvoća vode se određuje na temelju mjerenja svih pokazatelja (fizikalnih, kemijskih, bioloških i mikrobioloških), a odabir analiziranih pokazatelja ovisi o namjeni vode koja se ispituje. Pokazatelji koji se mogu određivati na mjestu uzorkovanja su primjerice temperatura, pH vrijednost, miris i okus. Dok se ostali pokazatelji određuju u laboratoriju u određenim uvjetima, a dobiveni rezultati dalje se koriste u matematičkim i statističkim obradama.

Proširenim medijan testom i Kruskal-Wallisovim testom dokazivane su hipoteze o pripadnosti uzoraka istoj populaciji. Testovi se međusobno značajno ne razlikuju, te su dobiveni rezultati jednaki. Kruskal-Wallis test je detaljniji zbog toga što koristi rangove podataka, dok je proširenim medijan testom izračun malo grublji. Zbog toga se rezultati mogu razlikovati. Na slici 15 vidljivo je da u primjeru e) hi-kvadrat vrijednost izračunata proširenim medijan testom odstupa od granične vrijednosti što bi značilo da svi uzorci ne pripadaju populaciji s istim medijanom. Kruskal-Wallisovim testom je dokazana nulta hipoteza, gdje količine E. coli na svih šest lokacija pripadaju populaciji s istim medijanom.



Slika 15. Grafički prikaz vrijednosti hi-kvadrata za prošireni medijan test i Kruskal-Wallis test i odstupanja od granične vrijednosti hi-kvadrata

Potvrđene su hipoteze da svi uzorci pripadaju populacijama s istim medijanom u svim primjerima osim u primjeru c), *slika 15*, gdje rezultati odstupaju od graničnih vrijednosti, te zbog toga sve količine E. coli ne pripadaju populaciji s istim medijanom i nulta hipoteza nije prihvaćena.

7. Popis literature

1. Petz, B. Osnovne statističke metode za nematematičare. 6. izdanje. Zagreb: Naklada slap; 2006.
2. Pauše, Ž. Uvod u matematički statistiku, Zagreb: Školska knjiga, 1993.
3. Ptiček Siročić, A., izv. prof. (2019.) Upravljanje kakvoćom voda. Interna skripta. Varaždin: Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet
4. Habulan, N. (2017.) Ovisnost mikrobioloških pokazatelja kakvoće vode o točkama uzorkovanja. Diplomski rad. Varaždin: Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet
5. Šaško, I. (2017.) Analiza mikrobioloških pokazatelja kakvoće vode za kupanje. Diplomski rad. Varaždin: Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet
6. Štrkalj, A. Onečišćenje i zaštita voda. Sisak: Metalurški fakultet. Sveučilište u Zagrebu; 2014.
7. S. Tedeschi, Zaštita voda, Zagreb, 1997
8. Ru-Ve – Prijenosni mjerači zamućenosti (turbidimetri), dostupno na: <https://ru-ve.hr/proizvod/prijenosni-mjeraci-zamucenosti-turbidimetri-nbsp-90-206>
9. The pH scale stock illustration-iStock, dostupno na: <https://www.istockphoto.com/vector/the-ph-scale-gm508186589-45859118>
10. Escherichia coli-PLIVAzdravlje, dostupno na: <https://www.plivazdravlje.hr/aktualno/clanak/26315/Escherichia-coli.html>
11. Enterokoki- infekcija,prijenos i bolesti-patogen, dostupno na: <https://hr.healthandmedicineinfo.com/enterokokken-VYV>
12. Park i jezero Bundek – oaza prirode u Zagrebu, dostupno na: <http://www.apartmani-altis.com/park-i-jezero-bundek-oaza-prirode-u-zagrebu.html>
13. Problematika Jarunskog jezera – krtica – nekorumpirani medij, dostupno na: <http://krtica.weebly.com/problematika-jarunskog-jezera.html>
14. Tedeschi, S. Zaštita voda. Zagreb: Hrvatsko društvo građevinskih inženjera. (1997).
15. Katalog hrvatskih normi, Hrvatski zavod za norme, dostupno na: <https://www.hzn.hr/default.aspx?id=165>

8. Popis slika

Slika 1. Prijenosni turbidimetar [8]

Slika 2. pH skala [9]

Slika 3. Escherichia coli [10]

Slika 4. Crijevni enterokok [11]

Slika 5. Jezero Bundek [12]

Slika 6. Jezero Jarun [13]

Slika 7. Prikaz točaka uzorkovanja na jezeru Bundek [4]

Slika 8. Prikaz točaka uzorkovanja na jezeru Jarun [4]

Slika 9. Vrijednosti količine E. coli u uzorcima uzetih sa 19 lokacija tijekom 2014.godine

Slika 10. Vrijednosti količine E. coli u uzorcima uzetih sa 19 lokacija tijekom 2015.godine

Slika 11. Vrijednosti količine E. coli u uzorcima uzetih sa 19 lokacija tijekom 2016.godine

Slika 12. Vrijednosti količine crijevnog enterokoka u uzorcima uzetih sa 19 lokacija tijekom 2014.godine

Slika 13. Vrijednosti količine crijevnog enterokoka u uzorcima uzetih sa 19 lokacija tijekom 2015.godine

Slika 14. Vrijednosti količine crijevnog enterokoka u uzorcima uzetih sa 19 lokacija tijekom 2016.godine

Slika 15. Grafički prikaz vrijednosti hi-kvadrata za prošireni medijan test i Kruskal-Wallis test i odstupanja od granične vrijednosti hi-kvadrata

9. Popis tablica

Tablica 1. Ukupan broj studenata

Tablica 2. Računanje teorijskih frekvencija

Tablica 3. Računanje hi-kvadrata

Tablica 4. Vrste vode prema količini otopljenih tvari

Tablica 5. Datumi uzorkovanja na lokacijama B1, B2 i B3 u razdoblju od 2014. do 2014. godine [4]

Tablica 6. Datumi uzorkovanja na lokacijama TU01-TU16 u razdoblju od 2014.-2016. godine [4]

Tablica 7. Vrijednosti medijana količine E.coli u jezeru Jarun i Bundeck [4]

Tablica 8. Vrijednosti medijana količine crijevnog enterokoka u jezeru Jarun i Bundeck [4]

Tablica 9. Hi- kvadrat račun za vrijednosti E.coli na jezeru Bundeck

Tablica 10. Rangirani podaci za vrijednosti E.coli na jezeru Bundeck

Tablica 11. Hi- kvadrat račun za vrijednosti enterokoka na jezeru Bundeck

Tablica 12. Rangirani podaci za vrijednosti enterokoka na jezeru Bundeck

Tablica 13. Hi- kvadrat račun za vrijednosti E. coli na Velikom jezeru Jarun

Tablica 14. Rangirani podaci za količinu E. coli na Velikom jezeru Jarun

Tablica 15. Hi- kvadrat račun za vrijednosti enterokoka na Velikom jezeru Jarun

Tablica 16. Rangirani podaci vrijednosti enterokoka za Veliko jezero Jarun

Tablica 17. Hi- kvadrat račun za vrijednosti E. coli na Malom jezeru Jarun

Tablica 18. Rangirani podaci vrijednosti E. coli na Malom jezeru Jarun

Tablica 19. Hi- kvadrat račun za vrijednosti enterokoka na Malom jezeru Jarun

Tablica 20. Rangirani podaci vrijednosti enterokoka na Malom jezeru Jarun

10. Prilozi

Prilog 1. Hi-kvadrat tablica

TABLICA za χ^2 test

GRANIČNE VRIJEDNOSTI Hi - kvadrata

Stupnjevi slobode	P = 0,10	P = 0,05	P = 0,01
1	2,71	3,84	6,64
2	4,61	5,99	9,21
3	6,25	7,82	11,34
4	7,78	9,49	13,23
5	9,24	11,07	15,09
6	10,65	12,59	16,81
7	12,02	14,07	18,48
8	13,36	15,51	20,09
9	14,68	16,92	21,67
10	15,99	18,31	23,21
11	17,28	19,68	24,73
12	18,55	21,03	26,22
13	19,81	22,36	27,69
14	21,06	23,69	29,14
15	22,31	25,00	30,58
16	23,54	26,30	32,00
17	24,77	27,59	33,41
18	25,99	28,87	34,81
19	27,20	30,14	36,19
20	28,41	31,41	37,57
21	29,62	32,67	38,93
22	30,81	33,92	40,29
23	32,01	35,17	41,64
24	33,20	36,42	42,98
25	34,38	37,65	44,31
26	35,56	38,89	45,64
27	36,74	40,11	46,96
28	37,92	41,34	48,28
29	39,09	42,56	49,59
30	40,26	43,78	50,89