

Ovisnost mikrobioloških pokazatelja kakvoće vode o točkama uzorkovanja

Habulan, Nikolina

Master's thesis / Diplomski rad

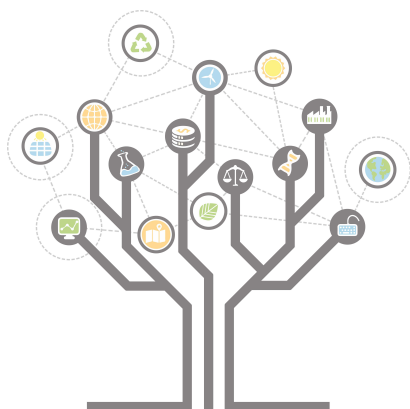
2017

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://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:130:269737>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-27**



Repository / Repozitorij:

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



Ovisnost mikrobioloških pokazatelja kakvoće vode o točkama uzorkovanja

Habulan, Nikolina

Master's thesis / Diplomski rad

2017

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://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:130:269737>

Rights / Prava: [In copyright](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2020-11-04**

Repository / Repozitorij:

[Repository of Faculty of Geotechnical Engineering](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GEOTEHNIČKI FAKULTET

NIKOLINA HABULAN

OVISNOST MIKROBIOLOŠKIH POKAZATELJA KAKVOĆE
VODE O TOČKAMA UZORKOVANJA

DIPLOMSKI RAD

VARAŽDIN, 2017.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GEOTEHNIČKI FAKULTET

DIPLOMSKI RAD

**OVISNOST MIKROBIOLOŠKIH POKAZATELJA KAKVOĆE
VODE O TOČKAMA UZORKOVANJA**

KANDIDAT:

NIKOLINA HABULAN

MENTOR:

doc.dr.sc. ANITA PTIČEK SIROČIĆ

KOMENTOR:

izv.prof.dr.sc. SANJA KOVAČ

VARAŽDIN, 2017.

Zahvala:

Najprije zahvaljujem svojom mentorici doc.dr.sc. Aniti Ptiček Siročić i komentorici izv. prof.dr.sc. Sanji Kovač koje su svojim znanstvenim i stručnim savjetima oblikovale ideje i pomogle mi u izradi ovoga diplomskog rada.

Također posebnu zahvalu upućujem Nastavnom zavodu za javno zdravstvo dr. Andrija Štampar na ustupljenim podacima korištenima pri izradi diplomskog rada.

Najviše se zahvaljujem svojim roditeljima, bratu i dečku koji niti jednog trenutka nisu gubili vjeru u mene i podupirali me od samog početka. Bez njih sve što sam postigla do sada ne bi bilo moguće.

Zahvaljujem se i prijateljici Emini koja mi je također pomogla pri izradi ovog rada, kao i svim prijateljima i prijateljicama koji su bili uz mene sve ovo vrijeme.

Hvala VAM svima!

IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da je diplomski rad pod naslovom

**OVISNOST MIKROBIOLOŠKIH POKAZATELJA KAKVOĆE VODE O
TOČKAMA UZORKOVANJA**

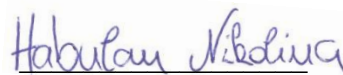
rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na istraživanjima te objavljenoj i citiranoj literaturi te je izrađen pod mentorstvom **doc.dr.sc. ANITE PTIČEK SIROČIĆ** i komentorice **izv.prof.dr.sc. SANJE KOVAČ**.

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 korišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.

U Varaždinu, 03. srpanj 2017. godine

NIKOLINA HABULAN

(Ime i prezime)



(Vlastoručni potpis)

SAŽETAK

Tijekom ljetnih mjeseci od 2014. do 2016. godine provodilo se uzorkovanje vode na dva zagrebačka jezera, Jarunu i Bundeku s ciljem utvrđivanja broja kolonija mikrobioloških pokazatelja *Escherichiae coli* i *crijevnih enterokoka*. Analizom pomoću statističkih postupaka (ANOVA) određena je ovisnost mikrobioloških pokazatelja kakvoće vode o točkama uzorkovanja. Promatrajući trogodišnju razinu *E. coli* i *crijevnog enterokoka* na ispitivanim lokacijama utvrđeno je da nema statistički značajnije razlike između dobivenih vrijednosti aritmetičke sredine. Vrijednost aritmetičke sredine količine *E. coli* kao i *crijevnih enterokoka* na Bundeku te Velikom i Malom jezeru na Jarunu ne ovisi o mjestu uzorkovanja. Ovim istraživanjem utvrđeno je da je potrebno redovito praćenje mikrobioloških pokazatelja, posebice na lokacijama koje ljudi koriste bilo za piće, rekreaciju ili u druge svrhe s ciljem sprečavanja mogućih zaraza.

Ključne riječi: kakvoća vode, mikrobiološki pokazatelji, jednofaktorski model ANOVA, raspršenost podataka

SADRŽAJ

1. UVOD	1
2. OPĆI DIO	2
2.1. POVRŠINSKE VODE	2
2.2. POKAZATELJI KAKVOĆE VODE.....	3
2.2.1. Fizikalni pokazatelji kakvoće vode	3
2.2.2. Kemijski pokazatelji kakvoće vode	5
2.2.3. Biološki pokazatelji kakvoće vode	8
2.2.4. Mikrobiološki pokazatelji kakvoće vode	10
2.3. OCJENA STANJA POVRŠINSKIH VODA	13
3. OSNOVE STATISTIKE.....	17
3.1. TIPOVI VARIJABLI	17
3.2. MJERE CENTRALNE TENDENCIJE I RASPRŠENOST PODATAKA	18
3.2.1. Aritmetička sredina	18
3.2.2. Zajednička aritmetička sredina	19
3.2.3. Druge mjere centralne tendencije	19
3.2.4. Varijanca	21
3.2.5. Standardna devijacija	22
3.2.6. Raspon rezultata	22
3.2.7. Koeficijent varijabilnosti.....	23
3.2.8. Ostale mjere raspršenosti	23
3.3. GRAFIČKI PRIKAZ PODATAKA	23
3.4. JEDNOFAKTORSKI MODEL ANOVA	26
4. EKSPERIMENTALNI DIO	30
4.1. OPIS LOKACIJA UZORKOVANJA.....	30
4.1.1. Jezero Bunder	30
4.1.2. Jezero Jarun.....	31

4.2. TOČKE I KALENDAR UZORKOVANJA	32
4.3. ODREĐIVANJE MIKROBIOLOŠKIH POKAZATELJA	35
5. REZULTATI I RASPRAVA	40
5.1. OBRADA I PRIKAZ VRIJEDNOSTI MIKROBIOLOŠKIH POKAZATELJA PO TOČKAMA UZORKOVANJA	40
5.1.1. Obrada podataka za količinu <i>Escherichiae coli</i> u jezerima	47
5.1.2. Obrada podataka za količinu <i>crijevnog enterokoka</i> u jezerima	53
6. ZAKLJUČAK	61
7. LITERATURA.....	62
8. POPIS SLIKA	64
9. POPIS TABLICA.....	66
10. PRILOG.....	67

1. UVOD

Voda na Zemlji zauzima gotovo tri četvrtine Zemljine površine odnosno 72%, a 97% te vode otpada na slanu vodu koja se ne koristi za piće. Oko 70 % svih zaliha slatke vode nalazi se zarobljeno u obliku leda i snježnog pokrivača dok je manje od 1% svjetske slatke pitke vode dostupno izravno za upotrebu. Oko 30 % svjetskih slatkih voda pohranjeno je ispod površine zemlje u obliku podzemnih voda, a sveukupna zaliha slatkovodnih rijeka i jezera u svijetu zauzima samo 0.3 %.

Voda je prirodna anorganska tekućina bez boje, mirisa i okusa te prati čovjeka tijekom života. Riječ „voda“, iako vrlo jednostavna, označava vrlo kompleksan i širok pojam. Uz to što je najzastupljenija tvar u građi svih živih bića, voda je i transportni medij, sredstvo za proizvodnju energije, uzgajalište hrane, koristi se kao lijek, a u najvećoj mjeri koristi se za piće, kupanje i rekreaciju [1].

Intenzivan razvoj urbanih centara, industrije, poljoprivrede kao i porast životnog standarda ljudi, nužno prati povećanje nastanka krutih, tekućih i plinovitih otpadnih tvari koje vodu čine onečišćenom. Onečišćenje vode prilično je širok pojam pod kojim se podrazumijeva smanjenje kakvoće vode [2]. Onečišćenje u užem smislu podrazumijeva degradaciju kakvoće vode fizičkim, kemijskim, biološkim ili radiološkim onečišćenjem do stupnja pri kojem je nemoguće korištenje vode za piće, odnosno pri kojem voda postaje štetna za ljudsko zdravlje [3]. Biološko onečišćenje vode podrazumijeva prisutnost patogenih bakterija kao što su *Escherichia coli* (*E. coli*) i *crijevni enterokoki* koje u vodu dospijevaju iz fekalnih voda, a mogu uzrokovati crijevna oboljenja. Kako bi se spriječilo onečišćenje vode, potrebno je stalno mjerenje kakvoće vode koje je propisano zakonima. Posebice se to odnosi na vodu koja se koristi svakodnevno, bilo za potrebe domaćinstva ili kao neki oblik rekreacije. U slučaju da se u vodi utvrdi visoka koncentracija štetnih tvari koje su opasne po zdravlje ljudi, važno je pravovremeno o tome obavijestiti javnost u cilju sprečavanja zaraza.

Cilj ovog rada bio je ispitati povezanost mikrobioloških pokazatelja kakvoće vode, *E. coli* i *crijevnog enterokoka*, o mjestu uzorkovanja pomoću statističkih matematičkih modela.

2. OPĆI DIO

2.1. POVRŠINSKE VODE

Pod pojmom površinske vode podrazumijevaju se sve vode koje teku po površini zemlje ili na njoj stoje, neovisno da li se govori o vodama tekućicama ili stajaćicama. U stajaćice se ubrajaju jezera, ribnjaci, bare i močvare, a u tekućice potoci, rijeke i kanali. Površinske vode imaju posebno značenje za čovjekov život na zemlji jer su najpovoljniji i najjeftiniji izvor vode za opskrbu stanovništva, industrije i poljoprivrede [5]. Međutim, upravo su one i najčešći prijamnik upotrijebljenih, otpadnih voda koje se iz domaćinstva, industrije, poljoprivrednih površina i prometa upuštaju u njih (*slika 1*).

Za razliku od atmosferskih voda koje su bljutavog okusa, okus površinske vode je znatno bolji. Jedan od razloga je upravo taj da je površinska voda u stalnom kontaktu sa zemljom pri čemu otapa i dio mineralnih tvari. Međutim, treba obratiti pozornost na činjenicu da su površinske vode u direktnom kontaktu sa zemljom te mogu biti u većoj ili manjoj mjeri onečišćene.



Slika 1. Izvori onečišćenja vode [1]

Posebno svojstvo površinskih voda je mogućnost samopročišćenja ili tzv. autopurifikacija. Autopurifikacija vode označava sve fizikalne, kemijske i biokemijske procese koji utječu na količinu, sastav i svojstva otpadnih voda u vodenim sustavima.

Ona se odvija u sustavima sa i bez antropogenog djelovanja. U slučaju kada je voda onečišćena organskom tvari, u vodi se razvijaju velike količine bakterija i drugih vrsta mikroorganizama koji će sa ili bez prisustva zraka provoditi mineralizaciju. Mineralizacija predstavlja razgradnju organskog onečišćenja. Ako se postupak odvija uz prisustvo kisika vršit će ga aerobni mikroorganizmi, mineralizacija se tada odvija brzo i bez neugodnih mirisa, dok je kod anaerobnog procesa mineralizacija spora uz razvoj neugodnih mirisa [4].

2.2. POKAZATELJI KAKVOĆE VODE

Voda može sadržavati različite raspršene tvari i otopljene čestice koje su najčešće antropogenog porijekla. Zbog toga se upotrebljivost vode za pojedine namjene određuje prema svojstvima, sastavu i koncentraciji pojedinih tvari u vodi, odakle i proizlazi pojam „kakvoća vode“. Kakvoća vode određuje se veličinom pojedinih pokazatelja određenih tvari i/ili energije koju voda sadrži, a ocjenjuje se prema sljedećim skupinama pokazatelja [5]:

- ▶ fizikalnim
- ▶ kemijskim
- ▶ biološkim
- ▶ mikrobiološkim

2.2.1. Fizikalni pokazatelji kakvoće vode

Fizikalni pokazatelji ne određuju u potpunosti kakvoću vode i mogućnost njezine upotrebe, već njena svojstva s obzirom na izgled, boju, miris, okus, temperaturu. Fizikalni pokazatelji kakvoće vode su: raspršene tvari, mutnoća, boja, okus, miris i temperatura.

Raspršene tvari mogu biti organskog (mikroorganizmi) ili anorganskog porijekla (pijesak, glina). Specifične su za površinske vode, a sastav i koncentracija ovise o vučnoj sili vode, geološkim i geomorfološkim prilikama sliva te o biološkim prilikama u vodenom sustavu. Povećana koncentracija raspršenih tvari u vodi ukazuje na utjecaj ispuštenih otpadnih voda iz naselja, industrije, poljoprivrede. Raspršene tvari vodu čine mutnom i neupotrebljivom za vodoopskrbu, razonodu te druge namjene. Raspršene tvari izražavaju se količinom raspršenih tvari u jedinici obujma vode (mg/l, g/m³). Ukupno

raspršene tvari određuju se najčešće u laboratoriju, odnosno na terenu. Taložive tvari određuju se pomoću Imhoffov-og stošca (*slika 2*), a netaložive filtriranjem i žarenjem.



Slika 2. Imhoffov stožac za mjerenje raspršenih tvari u vodi [5]

Mutnoća nastaje od raspršenih tvari, mikroorganizama i mjehurića plinova. Najčešće je izazvana djelovanjem valova, strujanjem ili nekim vanjskim utjecajima (ispuštanje otpadne vode). Mutnoća vode utječe na mogućnost prodiranja svjetlosti u stupcu vode. Pokazatelj mutnoće vode služi kako bi se utvrdila upotrebljivost vode za piće, kupanje ili razonodu. Mutnoća vode mjeri se turbidimetrom/nefelometrom (*slika 3*) pri čemu se mjeri postotak svjetlosti koji se upija ili raspršava u vodi. Mutnoća se izražava u mg/l SiO_2 ili NTU jedinicama.



Slika 3. Turbidimetar za mjerenje mutnoće vode [5]

Boja u vodi nastaje od otopljenih i raspršenih tvari (*slika 4*). Najčešće nastaje u dodiru s lišćem i drvećem čime se oslobađa tanin i humusna kiselina koje voda otapa te poprima žuto-smeđu boju. Obojene vode nisu upotrebljive za vodoopskrbu kao ni za mnoge industrijske potrebe. Boja u vodi mjeri se fotometrom, a izražava se u mg/l Pt-Co ljestvice.



Slika 4. Voda onečišćena otpadnim tvarima [5]

Miris i okus često se povezuju. Za vodu koja ima miris pretpostavlja se da ima i okus. Miris i okus vode posljedica su raspadanja organskih tvari, rasta organizama u vodi (alge), ispuštanja industrijskih otpadnih voda te od otopljenih plinova i soli. Pojavom mirisa i okusa voda se smatra neupotrebljivom za piće zbog zdravstvenih razloga. Miris i okus određuju se čovjekovim osjetilima ili brojčano „pragom mirisa ili okusa“ koji odgovara volumenu vode (ml) razrijeđenom u 200 ml destilirane vode.

Temperatura je povezana s temperaturom atmosfere i mijenja se tijekom godine ovisno o prilikama. Temperatura vode mjeri se termometrima (*slika 5*), a izražava u °C ili K.



Slika 5. Termometar za mjerenje temperature vode [5]

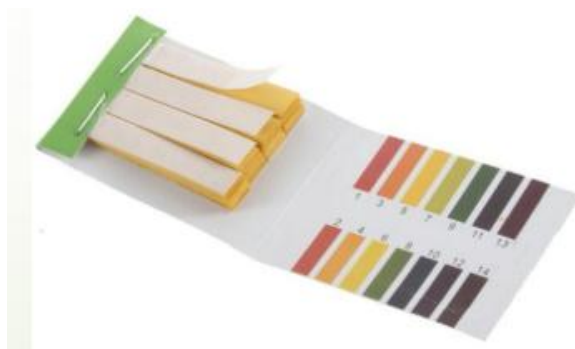
2.2.2. Kemijski pokazatelji kakvoće vode

Kemijski pokazatelji u velikoj mjeri određuju upotrebu vode. U vodi se mogu nalaziti otopljene tvari koje mogu biti štetne ili čak i opasne za žive organizme. Kemijske tvari u vodi mogu se podijeliti na tvari koje se nalaze u prirodnim vodama, tvari koje svojim

sastavom ili koncentracijom bitno ne pogoršavaju upotrebu vode, ali su nepoželjne u većim količinama te tvari koje po svom sastavu ili koncentraciji vodu čine neupotrebljivom za određene namjene. Kemijski pokazatelji kakvoće vode su: ukupno otopljene tvari, koncentracija vodikovih iona, alkalitet, tvrdoća, otopljeni plinovi, organske tvari i hranjive tvari.

Ukupno otopljene tvari u vodi su tvari koje ostaju nakon cijedenja, a utvrđuju se isparavanjem na 105°C i izražavaju se u mg/l. U vodu otopljene tvari dopijevaju jer je voda pogodno otapalo čvrstih tvari, tekućina i plinova. Otopljene tvari mogu biti organskog i anorganskog porijekla. Žarenjem suhog ostatka na 600°C organske tvari izgaraju dok ostatak čine anorganske tvari. Od ukupno otopljenih tvari u vodi neke su nepoželjne ili opasne, a neke čine uobičajeni sastojak prirodnih voda.

Koncentracija vodikovih iona pokazuje kiselost odnosno lužnatost vode. Bitan je pokazatelj jer neki postupci čišćenja vode ovise o vrijednosti pH. U prirodnim neonečišćenim vodama, pH je u međuovisnosti o slobodnom ugljik – dioksidu te karbonatima i hidrogenkarbonatima. Vode onečišćene industrijskim otpadom niskog su pH (korozivne vode). pH vrijednost prirodne vode kreće se u granicama od 5,5 do 8,6. pH vrijednost mjeri se lakmus papirom (slika 6). Koncentracija vodikovih iona mjeri se elektrometrijskom metodom.



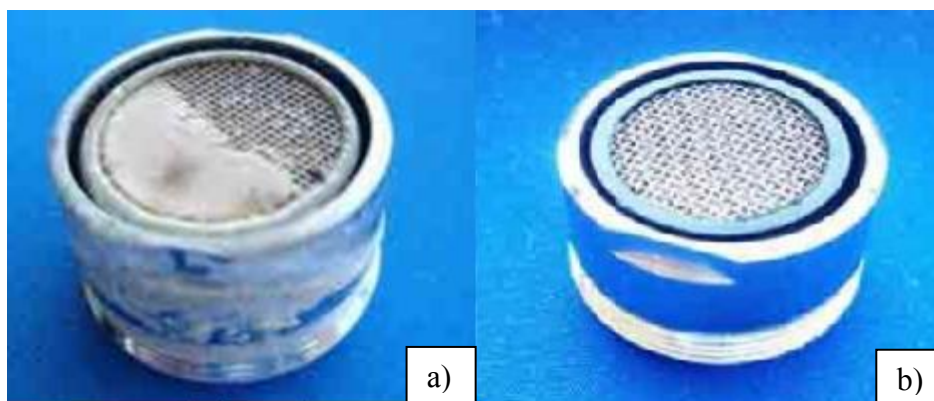
Slika 6. Lakmus papir za mjerenje pH vrijednosti [5]

Alkalitet određuje količina iona u vodi koja neutralizira vodikove ione. U prirodnim vodama alkalitet tvore karbonati, hidrogenkarbonati, silikati, borati, fosfati i hidrogensulfidi koji nastaju otapanjem mineralnih tvari u tlu i atmosferi. Alkalitet se izražava u mg/l CaCO_3 . Nepoželjni utjecaj alkaliteta vode je nastanak taloga u cijevima (slika 7).



Slika 7. Talog na cijevima [28]

Tvrdoća vode određuje se koncentracijom polivalentnih metalnih kationa u otopini. U prirodnim vodama najčešće se nalaze kalcij i magnezij. Ukupna tvrdoća vode može biti karbonatna (čine je karbonati i hidrogenkarbonati) te nekarbonatna (čine je sulfati i kloridi). Na *slici 8* prikazan je filter kupaonske miješalice u čistom i onečišćenom stanju.



Slika 8. Filter kupaonske miješalice: a) onečišćen kamencom i nečistoćama iz vodovoda
b) čisti [28]

Od otopljenih plinova u vodi najčešće se ispituje količina kisika, ugljik-dioksida te vodik-sulfida. Kisik u vodu najčešće dopijeva iz zraka te procesima fotosinteze. Ugljik dioksid nalazi se u vodi kao slobodan ili vezan u spojeve hidrogenkarbonata i karbonata. Vodik-sulfid u vodu dopijeva razgradnjom organskih tvari ili vulkanskim djelovanjem.

Organske tvari u prirodnim vodama nalaze se u raspršenom i otopljenom obliku. Prema porijeklu organska tvar može biti proizvod biokemijskih procesa u vodi, posljedica ispiranja zemljišta oborinama te kao proizvod nastao ispuštanjem gradske i industrijske

otpadne vode. Najznačajnije su bjelančevine, ugljikohidrati te masnoće. Ukupna organska tvar dijeli se na razgradive i nerazgradive tvari. Biološki razgradive tvari u vodi koriste mikroorganizmi kao hranu. Pokazatelj količine razgradive organske tvari u vodi je „biokemijska potrošnja kisika“ (BPK). BPK označava količinu kisika potrebnu mikroorganizmima da pri temperaturi od 20 °C pri određenim aerobnim uvjetima oksidira organsku materiju iz vode.

Hranjive tvari odnose se na tvari potrebne za proizvodnju prvoredne organske tvari (alge, zelene biljke) (slika 9). Dušik i fosfor čine ograničavajuće čimbenike rasta algi i zelenih biljaka. Određene vrste algi, bakterija i biljaka mogu uzimati dušik iz atmosfere, no najveći dio dušikovih spojeva u vodi nastao je razgradnjom organskih tvari.



Slika 9. Tvari za poboljšanje rasta usjeva [29]

2.2.3. Biološki pokazatelji kakvoće vode

Biološka promatranja temelje se na međusobnim utjecajima životnih zajednica i staništa. Promijenjeni uvjeti staništa uvjetuju smanjenje ili nestanak određenih vrsta organizama. Biološki pokazatelji kakvoće vode su: stupanj saprobnosti, stupanj biološke proizvodnje, mikrobiološki pokazatelji, stupanj otrovnosti i indeks razlike.

Stupanj saprobnosti pokazuje kako biološki razgradive organske tvari u vodi razgrađuju bakterije i plijesni. One razlažu složene organske spojeve tako što ih koriste za hranu, a ispuštaju kao anorganske tvari čime dolazi do promjene kemijskog sastava vode. Promijenjeni uvjeti staništa utječu na životnu zajednicu gdje neki organizmi odumiru ili se razvijaju ovisno o stanju kakvoće vode. Stupnjevi saprobnosti dijele se na:

oligosaprobne, beta-mezosaprobne, alfa-mezosaprobne i polisaprobne. Oligosaprobna zona vode je zona gdje ima dovoljno otopljenog kisika, voda je velike prozirnosti, ukupni broj bakterija manji je od 100 u 1 cm³. Beta-mezosaprobna zona vode obilježava malo onečišćene vode, gdje vladaju aerobne prilike, količina otopljenog kisika je dovoljna, a prozirnost vode je još izražena. Ukupni broj bakterija je manji od 100 000 u 1 cm³. U alfa-mezosaprobnu zonu vode svrstava se voda onečišćena organskim tvarima. Zbog znatne razgradnje organskih tvari i istodobne fotosinteze znatna je razlika u otopljenom kisiku. Ukupni broj bakterija veći je od 100 000 u 1 cm³. Polisaprobna zona vode predstavlja jako onečišćenu vodu. Zbog izražene razgradnje organskih tvari prevladavaju anaerobni uvjeti. Otopljenog kisika u vodi nema, truljenjem u vodi pojavljuje se vodik-sulfid koji je neugodnog mirisa. Voda je mutna i obojena, ukupni broj bakterija veći je od 150 000 u 1 cm³.

Saprobní indeks određuje se prema izrazu

$$S = \frac{\sum(s \cdot h)}{\sum h} \quad (1)$$

gdje je:

s - saprobiološka vrijednost svake vrste

h - količinsko postojanje vrste u vodi (od malobrojnih do vrlo brojnih)

Stupanj biološke proizvodnje vodnog sustava ovisi o trofikaciji odnosno o raspoloživoj hrani. Trofikacija se odvija donošenjem hranjivih tvari sa sliva te kruženjem biogenih tvari u sustavu. Prema stupnju trofije vode se dijele na siromašne (oligotrofne i ultraoligotrofne), srednje bogate (mezotrofne) te bogate (eutrofne i hipereutrofne) hranjivim tvarima. Od pokazatelja stupnja biološke proizvodnje najčešće se primjenjuju: ukupan fosfor (mgP/m²), klorofil (mg/m²), ukupan broj stanica (broj/l), organska proizvodnja (gC/m²·god), prozirnost (m).

Stupanj otrovnosti prati otrovne tvari u vodi koje izazivaju bolesti živih organizama, genetičke promjene, fiziološke smetnje, fizičke deformacije ili smrt. Štetne i opasne tvari u vodu dopijevaju ispuštanjem opasnih tvari iz kemijske industrije. Ulaskom štetnih tvari u prehrambeni lanac postoji opasnost povećane koncentracije opasnih tvari u organizmu. Stupanj otrovnosti utvrđuje se biotestom s određenom skupinom organizama u ispitivanoj vodi. Biotestom se utvrđuje: koncentracija određene tvari kad

ugiba 50% ispitivanih organizama u određenom vremenu ili najveća koncentracija kada se ne opaža učinak na ispitivane organizme tijekom 96 sati.

Indeks razlike je matematički izraz za strukturu životne zajednice. Polazi se od činjenice da su u pojedinim životnim zajednicama zastupljene određene vrste odgovarajućeg broja jedinki. Maksimum indeksa razlike bit će ako svaki organizam pripada drugoj vrsti, a minimum indeksa razlike bio bi u slučaju da su svi organizmi iste vrste. Matematički izraz za indeks razlike glasi:

$$H' = \sum_{i=1}^s \frac{N_i}{N} \log_2 \frac{N_i}{N}, \quad (2)$$

gdje je:

N_i - broj organizama i-te vrste,

N - ukupan broj organizama,

s - ukupan broj vrsta.

Okvirne veličine u kojima se kreće indeks razlike u ovisnosti o onečišćenju vodenog sustava su:

- veliko onečišćenje ako je $H' < 1.0$
- umjereno onečišćenje $H' = 1.0 - 3.0$
- čista voda $H' > 3.0$.

Ipak, indeks razlike nije dovoljan biološki pokazatelj stanja vodnog sustava. Koristan je za složena biološka ispitivanja, kao jedan od pokazatelja promjena u ekosustavu pod utjecajem čovjekovih djelatnosti.

2.2.4. Mikrobiološki pokazatelji kakvoće vode

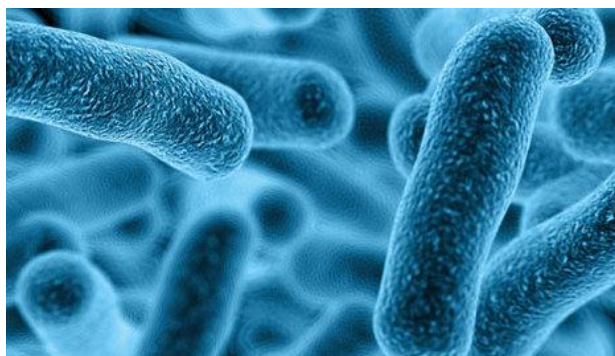
Mikrobiološki pokazatelji važan su pokazatelj kakvoće vode. Uz mikroorganizme koji su stalno prisutni u vodi, dopijevaju i oni iz probavnog sustava životinja i ljudi te ispiranjem zemljišta i iz otpadnih voda. Neki od fekalnih mikroorganizama su patogeni, odnosno izazivaju bolest ako se takva voda koristi u vodoopskrbi stanovništva, kod proizvodnje prehrambenih proizvoda ili kupanjem u takvoj vodi. Stanje kakvoće vode u mikrobiološkom smislu utvrđuje se „organizmom pokazateljem“. Postojanje organizma pokazatelja u vodi upućuje da se u njoj mogu nalaziti patogeni organizmi. Kao „organizam pokazatelj“ primjenjuju se koliformni organizmi i to kao „ukupni

koliformi“ i „fekalni koliformi“. Broj organizama pokazatelja u vodi označava se kao najvjerojatniji broj ili kao broj organizama utvrđen membranskom filtracijom.

Koliformne bakterije su primarno nepatogene i normalno obitavaju u donjem intestinalnom traktu čovjeka i toplokrvnih životinja. Izlučuju se fekalijama te dospijevaju u otpadne vode, a preko njih u prirodne vode. Ako su u fekalijama prisutne i patogene bakterije, one tada dospijevaju zajedno sa koliformnim bakterijama u otpadne ili prirodne vode. Mnoge patogene bakterije prisutne su u okolišu u niskim koncentracijama te je njihova detekcija otežana. Koliformne bakterije su najpodobnija skupina indikatorskih bakterija za ocjenu higijenske kakvoće vode. One su gram-negativne, štapićaste, nesporogene, aerobne ili fakultativno anaerobne, a imaju sposobnost cijepanja laktoze [17].

Escherichia coli

E. coli (slika 10) pripada u skupinu fekalnih koliformnih bakterija koje se obično nalaze u crijevima životinja i ljudi. Jedina je vrsta bitna za humanu patologiju u rodu *Escherichiae*. Svrstava se u porodicu *Enterobacteriaceae* („entero“ - crijevo, što znači da je dio normalne crijevne flore) [21]. To je gram-negativni, asporogeni, aerobni i fakultativno anaerobni štapić dužine 2.0 – 6.0 μm i širine 1-3 μm sa zaobljenim krajevima. Iako je većina spojeva *E. coli* bezopasna i živi u crijevima zdravih ljudi i životinja, postoje i spojevi koji proizvode snažan toksin i mogu uzrokovati teške bolesti [18].



Slika 10. Bakterija *Escherichiae coli* [19]

Prisutnost *E. coli* u vodi jaki je pokazatelj onečišćenja kanalizacijskim vodama ili životinjskim otpadom [20]. Ljudi se *E. coli* zaraze najčešće ako vodovodna voda nije

ispravno tretirana klorom ili ako prilikom kupanja u jezeru, kanalu ili bazenu progutaju onečišćenu vodu [22].

Crijevni enterokoki

U rodu *Enterococcus* danas je poznato najmanje 12 vrsta, a 95 % infekcija u čovjeka izazivaju dvije vrste: *E. faecalis* i *E. faecium*. *Enterokoki* su gram – pozitivni jajoliki koki, lagano izduženi i najčešće se javljaju u paru ili kao kratki lančići. Otporni su na nepovoljne utjecaje okoline, primjerice mogu podnijeti temperaturu od 62 °C kroz 30 minuta te NaCl u koncentraciji od 6,5 %. Značajno svojstvo *enterokoka* je urođena otpornost na neke antibiotike. *Enterokoki* (slika 11) dio su normalne crijevne flore kod ljudi i životinja i značajan su uzročnik endokarditisa te infekcije mokraćnog sustava [18].



Slika 11. Bakterija *crijevni enterokoki* [19]

Bakterija *enterokok* u vodu najčešće dopijeva ispuštanjem otpadnih voda, puštanjem septičkih sustava, otjecanjem otpadnih voda, ispuštanjem otpadnih voda, pretjeranom primjenom gnojiva ili iz kanalizacijskih sustava [22]. *Enterokoki* se obično ne smatraju štetnim za ljude, ali njihova prisutnost u okolišu može ukazivati da mogu biti prisutni i drugi uzročnici bolesti kao što su virusi, bakterije i protozoe. Značajne količine *enterokoka* u vodi mogu negativno utjecati na rekreativnu i ekonomsku vrijednost voda. Ako se utvrdi prekomjerna količina bakterija u vodi koja se koristi u kućanstvu ili za rekreaciju dolazi do zabrane upotrebe istih, odnosno do zatvaranja plaže.

2.3. OCJENA STANJA POVRŠINSKIH VODA

Uredbom o standardu kakvoće vode [6] propisuje se standard kakvoće voda za sve površinske i podzemne vode. Stanje površinskih voda propisano *Uredbom* određuje se na temelju ekološkog i kemijskog stanja tijela ili skupine tijela površinskih voda. Termin „tijelo površinske vode“ jasno je određen i značajan element površinske vode (npr. jezero, akumulacija, potok, rijeka ili kanal, dio potoka, rijeke ili kanala, prijelazne vode ili pojasa priobalne vode).

Ekološko stanje površinskih voda ocjenjuje se u odnosu na biološke, hidromorfološke i osnovne fizikalno-kemijske i kemijske elemente koji prate biološke elemente (*slika 12*).

BIOLOŠKI POKAZATELJI	sastav, brojnost i biomasa fitoplanktona
	sastav i brojnost ostale vodene flore
	sastav i brojnost makrozoobentosa
HIDROMORFOL . POKAZATELJI KOJI PRATE BIOLOŠKE ELEMENTE	hidrološki režim (količina i dinamika vodnoga toka, vrijeme zadržavanja, veza s podzemnim vodama)
	morfološki uvjeti (varijacije dubine jezera, količina struktura i sediment dna jezera, struktura obale jezera)
OSNOVNI FIZIKALNO- KEMIJSKI I KEMIJSKI POKAZATELJI KOJI PRATE BIOLOŠKE ELEMENTE	osnovni fizikalno - kemijski elementi (prozirnost, temperatura, režim kisika, sadržaj iona, pH, m-alkalitet, hranjive tvari)
	specifične onečišćujuće tvari - nesintetske (As, Cu, Zn, Cr te njihovi spojevi, fluoridi)
	ostalo (organski vezani halogeni koji se mogu adsorbirati [AOX], poliklorirani bifenili [PCB])

Slika 12.Elementi ocjene ekološkog stanja jezera [6]

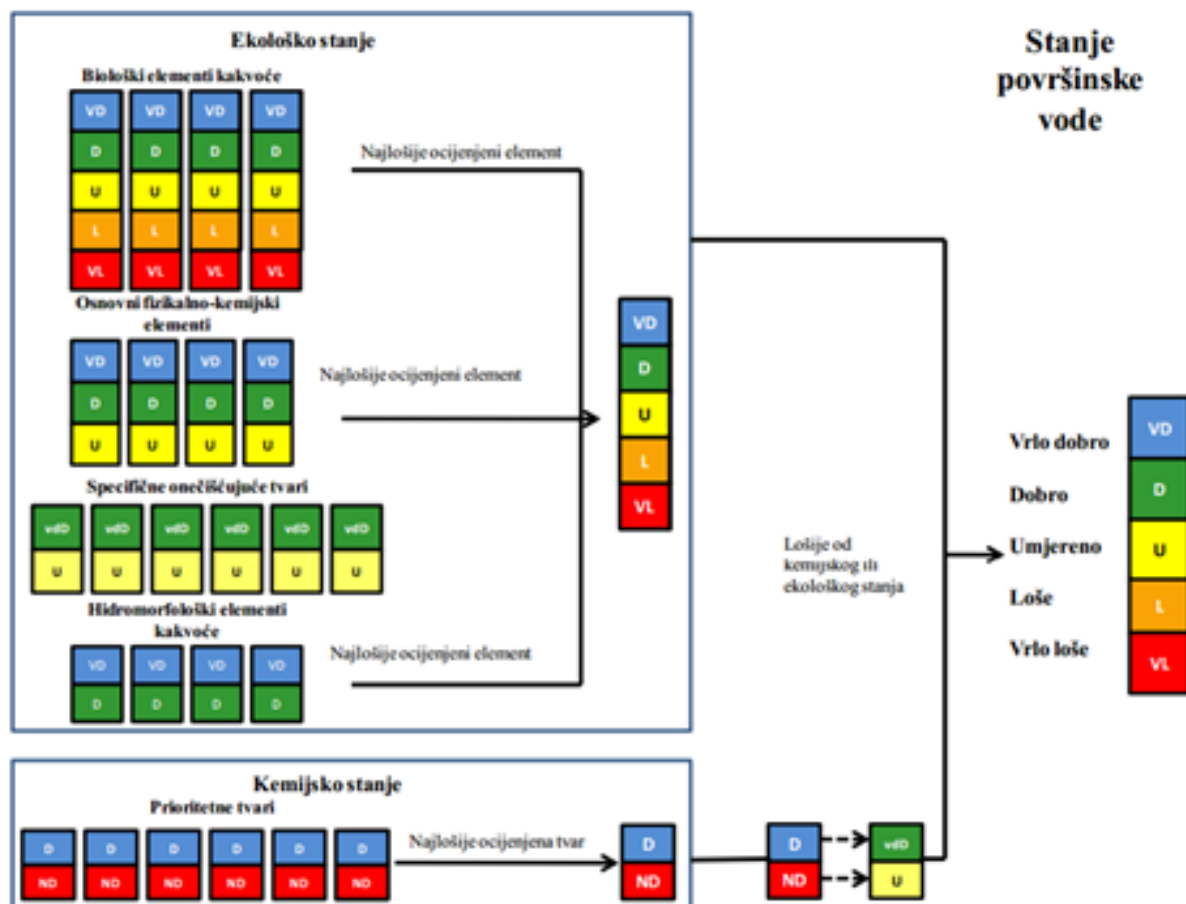
Temeljem rezultata ocjene pokazatelja kakvoće vode tijelo površinske vode razvrstava se u pet kategorija ekološkog stanja prema *Uredbi o standardu kakvoće voda* (NN 73/13, 151/14 i 78/15) [6]:

- vrlo dobro ekološko stanje- vrlo male ili nikakve antropogene promjene vrijednosti fizikalno-kemijskih i hidromorfoloških elemenata kakvoće određenog tipa površinske vode u odnosu na vrijednosti uobičajene za taj tip voda u nenarušenom stanju. Vrijednosti bioloških elemenata kakvoće određenog tipa površinske vode odražavaju uobičajene vrijednosti za taj tip voda u nenarušenom stanju i pokazuju vrlo mala ili nikakva odstupanja

- dobro ekološko stanje - vrijednosti bioloških elemenata kakvoće za određeni tip površinskih voda pokazuju nisku razinu promjena uzrokovanu ljudskom djelatnošću (odstupaju samo malo od uobičajenih vrijednosti za taj tip površinskih voda u nenarušenom stanju)
- umjereno ekološko stanje- vrijednosti bioloških elemenata kakvoće vode umjereno odstupaju od uobičajenih vrijednosti za ovaj tip voda u nenarušenom stanju (vrijednosti pokazuju umjerena odstupanja uslijed ljudskih djelatnosti, a poremećaji su znatno veći nego kod dobrog stanja)
- loše ekološko stanje - javljaju se veće promjene vrijednosti bioloških elemenata kakvoće kod kojih biološke zajednice značajno odstupaju od uobičajenih za ovaj tip voda u nenarušenom stanju
- vrlo loše ekološko stanje - vode koje pokazuju znakove jakih promjena vrijednosti bioloških elemenata kakvoće, a veliki dijelovi odgovarajućih bioloških zajednica za ovaj tip su odsutni.

Ocjena ekološkog stanja tijela površinske vode određuje se na temelju lošije vrijednosti, uzimajući u obzir vrijednosti rezultata ocjene prema biološkim elementima te osnovnim fizikalno-kemijskim i kemijskim elementima, koji prate biološke elemente [23]. Kada se za određeno tijelo površinske vode ocijeni da je u vrlo dobrom ekološkom stanju, to se stanje dodatno provjerava u odnosu na hidromorfološke elemente koji prate biološke elemente, u postupku ocjene.

Stanje tijela površinske vode na kartama koje sadrže prikaz stanja svakog vodnog tijela površinske vode prikazuje se odgovarajućom bojom i to: vrlo dobro stanje plavom bojom, dobro stanje zelenom bojom, umjereno stanje žutom bojom, loše stanje narančastom, a vrlo loše stanje crvenom bojom (*slika 13*).



Slika 13. Shematski prikaz klasifikacije stanja površinskih voda [24]

Kemijsko stanje tijela površinske vode određuje se na temelju rezultata monitoringa pokazatelja kemijskog stanja prema popisu pokazatelja prikazanom u *tablici 1*.

Tablica 1. Standardi kakvoće za ocjenu kemijskog stanja površinskih voda – prioritetne tvari [2]

NAZIV PRIORITETNE TVARI	UTVRĐENA KAO PRIORITETNA OPASNA TVAR	NAZIV PRIORITETNE TVARI	UTVRĐENA KAO PRIORITETNA OPASNA TVAR
Alaklor		Olovo i njegovi spojevi	
Antracen	X	Živa i njezini spojevi	X
Atrazin		Naftalen	
Benzen		Nikal i njegovi spojevi	
Bromirani difenileter *	X	Nonifenol	X
Pentabromodifenileter *		Oktifenol	
Kadmij i njegovi spojevi	X	Tetrametilbutil-fenol *	
Kloroalkani	X	Pentaklorobenzen	X
Klorofenvinfos		Pentaklorofenol	
Klorpirifos		Poliaromatski ugljikovod.*	X
Dikloretan		Benzo(a)piren	X
Diklormetan		Benzo(b)fluoranten	X
Diftakat (DEHP)		Benzo(g,h,i)perilen	X
Diuron		Benzo(k)fluoranten	X
Endosulfan	X	indeno(1,2,3-cd)piren	
Fluoranten		Simazin	
Heksaklorobenzen	X	Tributilkositrovi spojevi *	X
Heksaklorobutadien	X	Triklormetan	
Heksaklorocikloheksan	X	Triklorobenzeni	
Izoproturon		Trifluralin	

*ne primjenjuje se

Ocjena kemijskog stanja tijela površinske vode određuje se najlošijom od vrijednosti rezultata, uzimajući u obzir rezultate ocjene pokazatelja kemijskog stanja.

Tijelo površinske vode također se razvrstava na temelju rezultata ocjene pokazatelja kakvoće u kategoriji kemijskog stanja [6]:

- dobro kemijsko stanje
- nije postignuto dobro kemijsko stanje.

Kemijsko stanje tijela površinske vode na kartama se prikazuje odgovarajućom bojom i to: dobro kemijsko stanje plavom bojom, a nije postignuto dobro kemijsko stanje označava se crvenom bojom.

3. OSNOVE STATISTIKE

3.1. TIPOVI VARIJABLI

U statističkim istraživanjima postoji nekoliko osnovnih tipova varijabli koje se međusobno razlikuju po svojstvima vrijednosti koje mogu poprimiti [7], a to su kvalitativne, kvantitativne i ordinalne varijable.

Kvalitativne varijable

Karakteristika kvalitativne varijable je da njihove vrijednosti nisu po svojim svojstvima, korištenim u istraživanju, realni brojevi. Vrijednosti kvalitativne varijable uobičajeno se svrstavaju u kategorije koje mogu biti definirane u skladu s potrebama statističkog istraživanja. Tipičan primjer ove varijable je određivanje spola osobe, primjerice spol (m ili ž), krvne grupe (A, B, AB, 0) i slično [7].

Kvantitativne (numeričke) varijable

Kvantitativne varijable prirodno primaju vrijednosti iz skupa realnih brojeva. Kategorije kvalitativnih varijabli mogu se izražavati brojevima, no to ih ne čini numeričkim varijablama. Tipični primjeri ovih varijabli jesu tjelesna masa i visina osobe. Među numeričkim varijablama razlikujemo diskretne i neprekidne varijable.

Diskretne numeričke varijable mogu poprimiti samo konačno ili prebrojivo mnogo vrijednosti, dok je skup mogućih vrijednosti neprekidnih numeričkih varijabli cijeli skup realnih brojeva ili neki interval [7]. Kod neprekidnih varijabli razlikuju se još i normalna ili Gaussova razdioba, gama-razdioba, Hi-kvadrat te F razdioba.

Normalna ili Gaussova razdioba najvažniji je model teorijske razdiobe vjerojatnosti. Za kontinuiranu srednju vrijednost X vrijedi da ima normalnu razdiobu s parametrima μ i σ^2 i piše se $X \sim N(\mu, \sigma^2)$ ako je funkcija gustoće zadana formulom [8]:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{x-\mu}{\sigma} \right)^2 \right]. \quad (3)$$

Druga važna razdioba vjerojatnosti je *gama-razdioba*. Koristi se kao matematički model za one realne statističke fenomene u kojima se kao rezultat mjerenja može dobiti negativan broj. Kaže se da srednja vrijednost X ima gama razdiobu s parametrima α i β ($\alpha > 0, \beta > 0$) i piše se $X \sim G(\alpha, \beta)$.

Ako se u gama razdiobi specificiraju parametri α i β tako da se stavi da je $\alpha=0,5$ i $\beta = \frac{n}{2} (n \in N)$, tada se govori o *Hi-kvadrat razdiobi* s n stupnjeva slobode i piše se: $X \sim \chi^2(n)$. [8]

Ako su X i Y nezavisne srednje vrijednosti i ako je $X \sim \chi^2(r)$, a $Y \sim \chi^2(s) (r, s \in N)$ onda $Z = \frac{sX}{rY}$ ima tzv. *F- razdiobu* sa (r,s) stupnjeva slobode. To se piše kao: $Z \sim F(r, s)$, a pripadna funkcija gustoće glasi [8]:

$$f(z) = \begin{cases} 0, & \text{za } z \leq 0 \\ \frac{\Gamma(\frac{r+s}{2})}{\Gamma(\frac{r}{2})\Gamma(\frac{s}{2})} r^{\frac{r}{2}} s^{\frac{s}{2}} \frac{z^{\frac{r}{2}-1}}{(rz+s)^{\frac{r+s}{2}}}, & \text{za } z > 0. \end{cases} \quad (4)$$

Ordinalne varijable

Karakteristika ordinalne varijable je da su po svom karakteru kvalitativne, ali se među kategorijama može uspostaviti prirodan poredak. Karakteristika ovih varijabli je da određuju da li je nešto veće ili manje od drugoga, ali razlike između njih nisu jednake. Tipičan primjer ove varijable je stručna sprema osobe [8].

3.2. MJERE CENTRALNE TENDENCIJE I RASPRŠENOST PODATAKA

Mjera centralne tendencije ili središnja vrijednost je brojčana vrijednost koja reprezentira skupinu rezultata u slučaju kada rezultati imaju tendenciju grupiranja oko neke vrijednosti. Mjere centralne tendencije su: aritmetička sredina, zajednička aritmetička sredina i neke druge mjere centralne tendencije (centralna vrijednost ili medijan, dominantna vrijednost ili mod, geometrijska sredina, harmonijska sredina).

3.2.1. Aritmetička sredina

Aritmetička sredina jedna je od najuobičajenijih mjera centralne tendencije. Označava se s $\bar{X}$ (eng. „mean“ - označava se M). Aritmetička sredina je suma svih rezultata podijeljenih s brojem rezultata [9],

$$ARITMETIČKA SREDINA = \frac{SUMA SVIH REZULTATA}{BROJ REZULTATA} \quad (5)$$

a (3) se statistički može zapisati kao:

$$\bar{X} = \frac{\sum X}{N} \quad (6)$$

gdje je:

$\sum X$ - suma svih vrijednosti

N –ukupan broj vrijednosti.

Aritmetička sredina predstavlja težište rezultata, jer je zbroj odstupanja pojedinačnih rezultata od aritmetičke sredine jednak 0, dok je zbroj kvadrata tih odstupanja manji od zbroja kvadrata odstupanja od bilo koje druge vrijednosti u nekom skupu podataka. Prilikom računanja aritmetičke sredine glavni problem predstavlja postojanje ekstremnih vrijednosti, odnosno kada rezultat znatno odstupa od većine izmjerenih vrijednosti unutar jednog skupa.

3.2.2. Zajednička aritmetička sredina

Zajednička aritmetička sredina koristi se kada se želi dobiti zajednička aritmetička sredina iz više aritmetičkih sredina dobivenih tijekom mjerenja. Kako bi se dobila točna zajednička aritmetička sredina svih mjerenja, ne smije se zbrojiti aritmetička sredina i podijeliti ih njihovim brojem jer je osjetljiva na vrijednosti i broj rezultata. Zajednička aritmetička sredina je suma svih rezultata podijeljena s ukupnim brojem mjerenja,

$$ZAJEDNIČKA ARITMETIČKA SREDINA = \frac{SUMA SVIH REZULTATA}{UKUPAN BROJ MJERENJA} \quad (7)$$

a (7) se statistički može zapisati kao:

$$zajednička \bar{X} = \frac{N_1 \bar{X}_1 + N_2 \bar{X}_2 + \dots + N_n \bar{X}_n}{N_1 + N_2 + \dots + N_n} \quad (8)$$

3.2.3. Druge mjere centralne tendencije

Osim aritmetičke sredine koriste se i druge mjere centralne tendencije. Druge mjere centralne tendencije najčešće se koriste kada zbog različitih razloga nije preporučljivo izračunavati aritmetičku sredinu.

Centralna vrijednost (medijan)

Centralna vrijednost (Me) je vrijednost koja se u nizu rezultata poredanih po veličini nalazi točno u sredini. Na nju ne utječu vrijednosti pojedinih rezultata već samo njihov broj te je pogodna za korištenje kada se unutar skupa podataka može pronaći nekoliko ekstremnih rezultata. Prilikom određivanja centralne vrijednosti najprije je potrebno odrediti *položaj* te vrijednosti u nizu rezultata poredanih po veličini. Nakon što se odredi položaj centralne vrijednosti, moramo odrediti i njezinu vrijednost.

Ako je broj rezultata neparan, srednji rezultat je broj koji se nalazi u sredini (npr. od jedanaest rezultata, srednji rezultat je šesti rezultat jer se pet rezultata nalazi ispred i pet iza njega). Položaj rezultata koji zauzima centralnu vrijednost određuje se pomoću formule:

$$\text{Položaj } C = (N + 1) / 2 \quad (9)$$

gdje, „*položaj C*“ predstavlja položaj u rezultatima koji su poredani po veličini.

Ako je broj rezultata paran, centralna se vrijednost izračunava tako da se zbroje dva srednja rezultata i taj zbroj podijeli s 2. Na primjer, ako su dobiveni rezultati 4, 5, 5, 6, 8, 9, centralna vrijednost se dobije prema formuli [9]:

$$C = (5+6) / 2 = 5,5 \quad (10)$$

Dominantna vrijednost ili mod

Dominantna vrijednost (Mo) je vrijednost koja je u nizu mjerenja najčešće postignuta, odnosno ona vrijednost koja ima najveću frekvenciju. Dominantnu vrijednost nije moguće odrediti ako ne postoje najmanje dvije jednake vrijednosti varijabli. Na primjer ako su dobiveni rezultati 4, 5, 5, 6, 8, 9, dominantna vrijednost je 5 jer je ta vrijednost najčešće postignuta.

Geometrijska sredina

Geometrijska sredina je n -ti korijen iz umnožaka između N brojeva i označava se s „ G “. Najčešće se koristi kao mjera prosječne brzine nekih promjena. Na primjer, ako je 1960. godine neki grad imao 2000 stanovnika, 1961. 9000 stanovnika, 1962. godine 18000 stanovnika, onda je populacija 1961. godine bila 4,5 puta veća od populacije 1960. godine, a populacija 1962. godine dva puta veća nego 1961. godine. Formula za izračun geometrijske sredine je [9]:

$$G = \sqrt[n]{x_1 \cdot x_2 \cdot x_3 \dots x_N} \quad (11)$$

Harmonijska sredina

Harmonijska sredina (H) koristi se kada se žele dobiti prosjeci nekih odnosa (npr. prosječni kilometri na sat, prosječan broj slova u minuti i sl.). Harmonijsku sredinu nemoguće je izračunati ako je broj negativan ili je 0. Formula za računanje harmonijske sredine glasi [9]:

$$H = \frac{N}{\sum \frac{1}{x}} \quad (12)$$

gdje je:

N - broj rezultata

x - svaki pojedinačni rezultat mjerenja.

Mjere raspršenosti koriste se za brojčani opis stupnja varijabilnosti statističkih podataka. Od mjera raspršenosti najčešće se koriste: varijanca, standardna devijacija, raspon rezultata, koeficijent varijabilnosti i druge mjere.

3.2.4. Varijanca

Varijanca (σ^2) predstavlja jednu od informativnijih mjera raspršenja rezultata koja se računa samo uz aritmetičku sredinu. Varijanca izražava prosjek sume kvadratnih odstupanja svakog rezultata od aritmetičke sredine. Za izračun varijance najprije je potrebno izračunati razliku između svakog rezultata i aritmetičke sredine, potom razlike kvadrirati i zbrojiti te na kraju zbroj podijeliti s ukupnim brojem rezultata. Varijanca se statistički može zapisati kao[10]:

$$\sigma^2 = \frac{\sum (x - \bar{X})^2}{N} \quad (13)$$

gdje je:

x - svaki pojedinačni rezultat mjerenja

$\bar{X}$ - aritmetička sredina

N - broj rezultata.

Važno je da se formula (13) koristi kada se radi s podacima iz cijele populacije. Ukoliko su podaci dobiveni mjerenjem uzorka, preciznije je koristiti modificiranu formulu [10]:

$$\sigma^2 = \frac{\sum(x-\bar{X})^2}{N-1} \quad (14)$$

Kod računanja varijance, veća odstupanja kvadriranjem dolaze više do izražaja te se tako „kažnjava“ postojanje ekstremnih rezultata u mjerenju. Varijanca se kao samostalna vrijednost koristi rijetko, iako je vrlo korisna prilikom provođenja složenijih analiza.

3.2.5. Standardna devijacija

Standardna devijacija (σ) usko je povezana s varijancom. Predstavlja drugi korijen iz vrijednosti varijance, odnosno drugi korijen iz prosjeka sume kvadriranih odstupanja pojedinačnih rezultata od aritmetičke sredine. Za računanje standardne devijacije koriste se dvije formule, jedna se koristi za mjerenja na populaciji, a druga ukoliko su podaci izmjereni na uzorku (u praksi se češće koristi se vrlo rijetko pruža prilika da se izmjere sve jedinice neke ciljane populacije).

Formula za izračun standardne devijacije za populaciju glasi[10]:

$$\sigma' = \sqrt{\frac{\sum(x-\bar{X})^2}{N}}, \quad (15)$$

dok se za uzorak koristi [10]:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(x-\bar{X})^2}{N-1}} \quad (16)$$

gdje je:

x - pojedinačni rezultat mjerenja

$\bar{X}$ - aritmetička sredina

N - broj rezultata.

3.2.6. Raspon rezultata

Raspon podataka poredanih po veličini predstavlja razliku između najvećeg i najmanjeg podatka. Temelji se na samo dvije vrijednosti rezultata pa je zbog toga vrlo osjetljiva na ekstremne rezultate. Raspon raste s porastom broja mjerenja (rezultata) te predstavlja

vrlo nesigurnu mjeru raspršivanja rezultata. Kod izvještavanja o rasponu rezultata vrlo korisno je navesti i najveće i najmanje izmjerene vrijednosti, a ne njihovu razliku. Formula koja se koristi za izračun raspona rezultata glasi:

$$Raspon = x_{\max} - x_{\min} \quad (17)$$

3.2.7. Koeficijent varijabilnosti

Koeficijent varijabilnosti (*CV*) prikazuje koliki postotak vrijednosti aritmetičke sredine iznosi vrijednost standardne devijacije. Služi za uspoređivanje varijabilnosti različitih pojava. Koristi se kada su poznate srednja vrijednost i aritmetička sredina. Formula za izračun koeficijenta varijabilnosti glasi[10]:

$$CV = \frac{\sigma}{\bar{X}} * 100 \quad (18)$$

gdje je:

σ - standardna devijacija

$\bar{X}$ - aritmetička sredina.

3.2.8. Ostale mjere raspršenosti

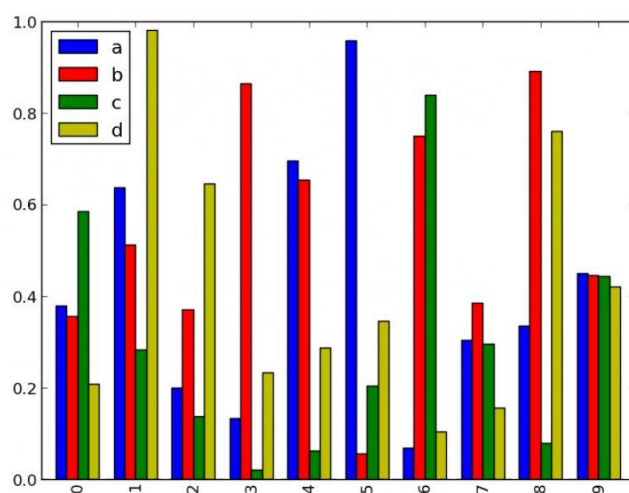
Osim spomenutih, mogu se koristiti i druge mjere raspršenja rezultata kao npr. poluinterkvartilno raspršenje odnosno interkvartilni raspon. Ova mjera računa se uz centralnu vrijednost na rezultatima poredanim po veličini. Određuje se kao razlika između rezultata koji se nalazi na granici trećeg ili gornjeg kvartila (rezultat koji razdvaja 75 % najnižih rezultata od onih većih) i onoga koji se nalazi na granici prvog ili donjeg kvartila (rezultat koji razdvaja 25% najnižih podataka od ostalih). Postoji i indeks srednjeg odstupanja koji se rijetko koristi [10].

3.3. GRAFIČKI PRIKAZ PODATAKA

U statistici je često slika ta koja omogućuje preglednost nad velikim brojem rezultata te se pomoću slike može brzo otkriti neka karakteristika ili zakonitost rezultata koji vladaju među rezultatima. Ako se preskače grafički prikaz podataka postoji izloženost dvostrukom riziku: (1) postoji šansa da se uopće neće uočiti neka posebna i neočekivana karakteristika rezultata koju je gotovo nemoguće uočiti kod baratanja brojevima ili (2)

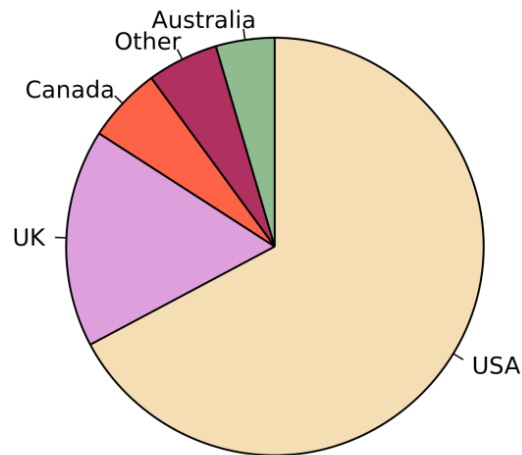
neke teške računske pogreške mogu ostati neotkrivene (pogrešno stavljen decimalni zarez). Rezultati se grafički prikazuju na mnogo načina. Najčešće se za prikaz podataka koristi histogram ili kružni dijagram, a koriste se još i stupićasti dijagram te kutijasti (pravokutni) dijagram.

Histogramom (*slika 14*) se prikazuje raspodjela jedne neprekidne varijable (npr. starost). Redoslijed stupaca nominalne varijable kod histograma nikad nije proizvoljan. Svaki podatak u histogramu doprinosi n-ti dio površine tj. $1/n$ od ukupne površine (gdje je n ukupan broj podataka). Površine stupca iznad pojedinih razreda proporcionalne su pripadajućim frekvencijama. Histogram ne ovisi samo o podacima već i o izabranoj podjeli na razrede (za vrlo mali broj podataka nije potrebna podjela na razrede kao ni histogram, ako je broj podataka kao i broj razreda velik, onda se histogram dobro aproksimira neprekidnom crtom) [11]. Histogram predstavlja stupčasti dijagram s kontinuiranim varijablama. Sastoji se od niza pravokutnika čije površine (i visine) odgovaraju frekvenciji svakog intervala. Pritom se na apscisi (os x) nanose vrijednosti mjerenja dok se na ordinati (os y) najčešće mogu naći frekvencije [10].



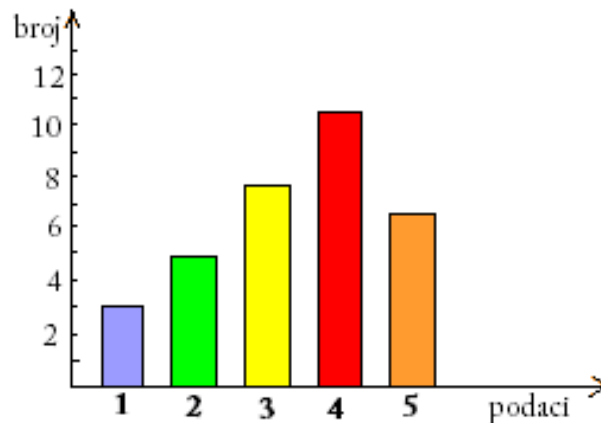
Slika 14. Histogram [7]

Kružni dijagram ili torta dijagram (*slika 15*) predstavlja dijagram u kojemu se krug dijeli na kružne isječke tako da se svakoj relativnoj frekvenciji pridruži određeni kružni isječak.



Slika 15. Kružni dijagram [7]

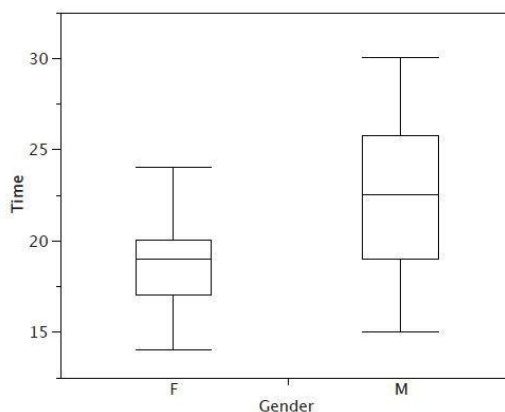
Stupićasti dijagram (*slika 16*) može biti jednostavan ili vrlo složen, ovisno o broju varijabli. Njime se može prikazati broj slučajeva u određenim kategorijama ili vrijednost neprekidne varijable za različite kategorije. Za prikaz podataka potrebne su dvije glavne varijable: kategorijska i neprekidna. Stupci u dijagramu uvijek su razdvojeni jer predstavljaju zasebne, odvojene vrijednosti [11].



Slika 16. Stupićasti dijagram [7]

Pravokutni (kutijasti) dijagram (*slika 17*) upotrebljava se kod usporedbe raspodjele vrijednosti varijable. Može se koristiti za ispitivanje raspodjele jedne neprekidne varijable ili se rezultati mogu podijeliti na više grupa, a za usporedbu se može dodati još jedna varijabla. Ovim dijagramom dobivaju se informacije o raspodjeli vrijednosti neprekidne varijable i o mogućem utjecaju druge varijable [11]. Za opis pravokutnih dijagrama koristi se pojam „brkovi“. Brkovi se protežu najniže do 1,5 interkvartilnog raspona (IQR), ispod donjeg ruba pravokutnika ili do minimuma, odnosno najviše do

1,5 IQR iznad gornjeg ruba pravokutnika ili do maksimuma. IQR je razlika između vrijednosti trećeg i prvog kvartila. Ako ima vrijednosti ispod donjeg ili iznad gornjeg ruba brkova one se označavaju kao „stršila“.



Slika 17. Pravokutni (kutijasti) dijagram [7]

3.4. JEDNOFAKTORSKI MODEL ANOVA

Analiza varijance je statistički postupak koji omogućuje da se simultano ispituje djelovanje jednog ili više faktora u većem broju grupa ispitanika. Drugim riječima ANOVA (eng. *Analysis of Variance*) je kriterij koji pokazuje da li su razlike između grupa slučajno veće od razlika unutar grupa. Analizu varijance prvi je razvio poznati engleski statističar R. A. Fisher. Danas je ANOVA vrlo važna i popularna metoda za istraživanje različitih slučajnih pojava u mnogim znanstvenim područjima. Sam naziv „analiza varijance“ potječe od toga što ona uspoređuje varijancu između različitih grupa s promjenjivošću unutar svake grupe [11].

Najčešće se koristi kada se želi utvrditi postoje li razlike između nekoliko aritmetičkih sredina i da li su te razlike statistički značajne ili slučajne.

Prema broju faktora koji djeluju na rezultirajuće obilježje, analiza varijance može biti: 1. jednofaktorska (jednosmjerna) 2. dvofaktorska (dvosmjerna) i višefaktorska [8].

Jednofaktorski model analize varijance

Pretpostavimo da je dano m ($m \geq 2$) nizova podataka

$$\begin{aligned} &Y_{11}, \dots, Y_{1n_1} \\ &Y_{21}, \dots, Y_{2n_2} \\ &\dots, \dots, \dots \\ &Y_{m1}, \dots, Y_{mn_m} \end{aligned} \quad (19)$$

i da je i -ti ($i=1, \dots, m$) niz dobiven mjerenjem slučajne varijable $Y_i \sim N(\mu_i, \sigma^2)$, te da su $Y_1, \dots, Y_m$, nezavisne slučajne varijable. To znači da se y_{ij} ($i=1, \dots, m, j=1, \dots, n_i$) može interpretirati kao vrijednost slučajne varijable

$$Y_{ij} = \mu_i + \varepsilon_{ij}, \quad (20)$$

gdje su:

$\varepsilon_{ij} \sim N(0, \sigma^2)$ - nezavisne slučajne varijable.

Y_{ij} predstavlja izlaznu slučajnu varijablu, čija vrijednost y_{ij} nastaje djelovanjem i -te razine (μ_i) određenog faktora, uz dodatak slučajne greške (ε_{ij}). Djelujući faktor je najčešće nenumeričko obilježje i tu je osnovni problem zbog kojeg se ne može koristiti regresijska analiza koja predmnijeva numeričke vrijednosti.

Nakon što se odredi ukupan broj podataka može se započeti s definiranjem glavnog problema jednofaktorske analize varijance, koji se odnosi na određivanje postupaka za testiranje nul-hipoteze

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_m, \quad (21)$$

prema alternativnoj hipotezi da barem jedna od jednakosti iz hipoteze nije istinita. U praktičnim situacijama hipoteza H_0 se iskazuje kao hipoteza da različite razine djelujućeg faktora ne utječu na promatranu izlaznu veličinu.

Stavimo li

$$\mu = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^m n_i \mu_i, \quad \delta_i = \mu_i - \mu, \quad i=1, \dots, m, \quad (22)$$

tada se veličina μ zove opća srednja vrijednost, dok se δ_i naziva efekt i -te razine djelujućeg faktora.

Kako bi se definirala prikladna test-statistika, pomoću koje se određuju kritična područja zadane razine značajnosti (α), potrebno je uvesti sljedeće oznake:

$$\bar{Y}_i = \frac{1}{n_i} \sum_{j=1}^{n_i} Y_{ij}, \quad i = 1, \dots, m, \quad (23)$$

gdje je:

$\bar{Y}_i$ - aritmetička sredina i-tog niza podataka, tj. onih izlaznih varijabli na koje djeluje i-ta razina promatranog faktora,

$\bar{Y}$ - aritmetička sredina svih izlaznih varijabli.

$$\bar{Y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{n_i} Y_{ij} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^m n_i \bar{Y}_i \quad (24)$$

$$Q = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{n_i} (Y_{ij} - \bar{Y})^2 \quad (25)$$

$$Q_1 = \sum_{i=1}^m n_i (\bar{Y}_i - \bar{Y})^2 \quad (26)$$

$$Q_2 = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{n_i} (Y_{ij} - \bar{Y}_i)^2, \quad (27)$$

točnost se lako provjerava ($Q=Q_1+Q_2$).

Stavimo li da je

$$S^2 = \frac{1}{n-1} Q, \quad S_1^2 = \frac{1}{m-1} Q_1, \quad S_2^2 = \frac{1}{n-m} Q_2, \quad (28)$$

gdje je S^2 korigirana varijanca svih mjerenja, S_1^2 korigirana varijanca aritmetičke sredine nizova, a S_2^2 se može interpretirati kao pokazatelj prosječnog rasipanja unutar nizova.

Ako je hipoteza H_0 stvarno istinita, tada vrijedi:

$$Y_{ij} \sim N(\mu, \sigma^2), \quad i=1, \dots, m, \quad j=1, \dots, n_i \quad (29)$$

$$\bar{Y}_i \sim N\left(\mu, \frac{\sigma^2}{n_i}\right), \quad i=1, \dots, m, \quad (30)$$

$$\bar{Y} \sim N\left(\mu, \frac{\sigma^2}{n}\right). \quad (31)$$

Formula za test- statistiku glasi:

$$V = \frac{S_1^2}{S_2^2} \sim F(m-1, n-m), \quad (32)$$

pa će se vrijednost $v = \frac{s_1^2}{s_2^2}$, test – statistike V, uzeti kao kriterij na temelju kojeg će se donositi odluka o prihvatanju ili odbacivanju hipoteze H_0 . Da je ta vrijednost zaista prikladna za donošenje odluke, može se zaključiti iz činjenice da je:

$$E[S_1^2] = \sigma^2 + \frac{1}{m-1} \sum_{i=1}^m n_i \delta_i^2, E[S_2^2] = \sigma^2, \quad (33)$$

bez obzira na hipotezu H_0 . Ako je hipoteza H_0 istinita, onda je $E[S_1^2] = \sigma^2$, pa se može očekivati da će vrijednost v biti blizu jedinice, a ako hipoteza H_0 nije istinita, onda se može očekivati povećanje veličine s_1^2 , pa s toga i omjera $v = \frac{s_1^2}{s_2^2}$.

Zato će se hipoteza H_0 odbaciti, ako se dobije prevelika vrijednost za v , tj. ako se dobije

$$v \geq F_{m-1, n-m}^{-1}(1 - \alpha), \quad (34)$$

gdje je:

$\alpha(0 < \alpha < 1)$ - zadana razina značajnosti, a

$F_{m-1, n-m}^{-1}$ - inverzna funkcija od funkcije distribucije za F razdiobu sa $(m-1, n-m)$ stupnjeva slobode.

Vrijednost F razdiobe očitavaju se iz tablice koja se nalazi u *Prilogu*.

U konačnici kako bi izračunali vrijednosti s_1^2 i s_2^2 iz kojih proizlazi vrijednost v koriste se formule:

$$\frac{1}{\sigma^2} Q_1 = \frac{m-1}{\sigma^2} S_1^2 \sim \chi^2(m-1) \quad (35)$$

$$\frac{1}{\sigma^2} Q_2 = \frac{n-m}{\sigma^2} S_2^2 \sim \chi^2(n-m) \quad (36)$$

Tablica 2. Opći oblik ANOVA tablice za jednofaktorski model analize varijance [8]

Izvor rasipanja	Broj stupnjeva slobode	Zbroj kvadrata odstupanja	Korigirana varijanca	Vrijednost test-statistike
razlika među nizovima	$m-1$	$q_1 = \sum_{i=1}^m n_i (\bar{y}_i - \bar{y})^2$	$s_1^2 = \frac{1}{m-1} q_1$	$v = \frac{s_1^2}{s_2^2}$
slučajna greška	$n-m$	$q_2 = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{n_i} (y_{ij} - \bar{y}_i)^2$	$s_2^2 = \frac{1}{n-m} q_2$	
ukupno	$n-1$	$q = q_1 + q_2$		

Jednofaktorski model ANOVA koristi se kada se raspolaze sa samo jednom numeričkom vrijednošću, dok su ostale vrijednosti nenumeričke.

4. EKSPERIMENTALNI DIO

4.1. OPIS LOKACIJA UZORKOVANJA

4.1.1. Jezero Bunde

Bunde je jezero i park u gradu Zagrebu, a omeđen je savskim nasipom sa sjeverne strane, ulicom Bunde s južne strane, Mostom slobode sa zapadne strane te koridorom novog mosta u produžetku ulice Savezne Republike Njemačke s istočne strane. Jezero Bunde nastalo je iskopavanjem šljunka za potrebe izgradnje Zagrebačkog velesajma 1955. godine. Prestankom vađenja šljunka jezero je postalo kupalište koje je nakon svega desetak godina zatvoreno zbog nezadovoljavanja sanitarnih uvjeta te se zanemaruje do 2005. godine kada su park i jezero potpuno preuređeni [12]. Bunde čine Veliko i Malo jezero (*slika 18*).



Slika 18. Jezero Bundek [13]

Na Velikom jezeru uređena je obala veličine 10 000 m² te se kakvoća vode tijekom sezone kupanja redovito prati. Malo jezero ostavljeno je kao prirodno stanište brojnih biljnih i životinjskih vrsta, a unutar parka Bundek nalaze se i tri zaštićena vodocrpilišta.

Službeno otvorenje sezone kupanja za građane je 11.06., a sezona se zaključuje 12.09. svake tekuće godine. Oko jezera uređena je biciklističko – rolerska staza dužine 1650 m, pješačka staza te dva dječja igrališta na sjeverozapadnom i jugoistočnom dijelu Jezera Bundek. Na istočnom dijelu nalaze se dva odbojkaška igrališta.

4.1.2. Jezero Jarun

Jarun je zagrebački kvart u kojem se nalazi i istoimeno jezero Jarun. Smješteno je na jugozapadnom dijelu četvrti Trešnjevka – jug, između Horvaćanske ulice i obale rijeke Save te naselja Horvati, Srednjaci, Gajevo i Gredice na istoku, Staglišće na sjeveru te Vrbani i Prečko na zapadu (*slika 19*).



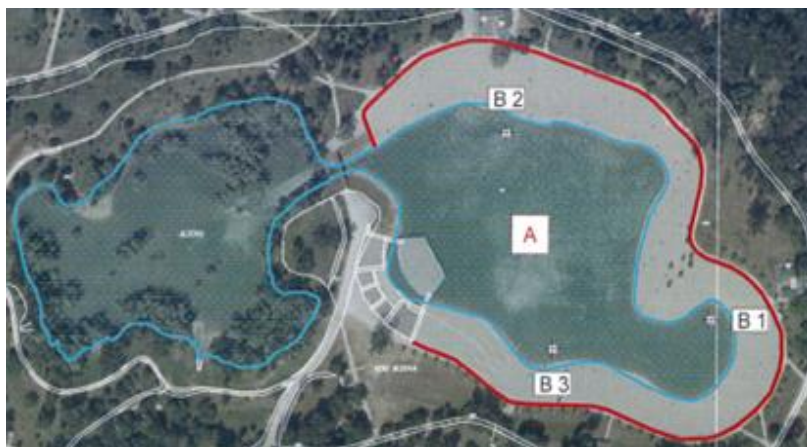
Slika 19. Jezero Jarun [15]

Prije jezera Jarun tim područjem prolazila je Sava. Jarun je tada bio savski rukavac oko kojeg se nalazilo malo naselje i kukuruzna polja. Poplava 1964. godine potiče izgradnju nasipa te fizičko odvajanje rijeke i Jaruna. Za potrebe izgradnje nasipa u to vrijeme iz Jaruna su se vadile velike količine šljunka pa se s vremenom produbilo i postalo jezero [16].

Jezero Jarun poznatije je i pod nazivom „zagrebačko more“ i omiljeno je okupljalište svih generacija, od djece do starijih. Jezerom Jarun se već desetak godina vijori plava zastava, čime se dokazuje međunarodni standard za čistu, sigurnu i dobro održivu plažu. Kakvoća vode za kupanje na visokom je nivou, a spasioци tijekom cijele kupališne sezone paze na sigurnost svih kupaca.

4.2. TOČKE I KALENDAR UZORKOVANJA

Za ispitivanje kakvoće vode na jezeru Bundek uzorci su uzimani samo na području Velikog jezera. Za uzorkovanje su odabrane ukupno tri točke, istočna obala jezera (točka B1), zapadna obala jezera (točka B2) i južna obala jezera (točka B3) prikazane na *slici 20*.



Slika 20. Mjesta uzorkovanja na jezeru Bundek [14]

Na području jezera Bundek uzorci su uzimani tijekom tri godine u razdoblju od 2014. do 2016. godine. U *tablici 3* prikazani su točni datumi uzimanja uzoraka.

Tablica 3. Datumi uzorkovanja na lokacijama B1, B2 i B3 u razdoblju od 2014. do 2016. godine

	B1	B2	B3		B1	B2	B3		B1	B2	B3
2014.	02.04.	02.04.	02.04.	2015.	14.04.	14.04.	14.04.	2016.	12.4.	12.4.	12.4.
	21.05.	21.05.	21.05.		09.06.	09.06.	09.06.		9.6.	9.6.	9.6.
	10.06.	10.06.	10.06.		23.06.	23.06.	23.06.		24.6.	24.6.	24.6.
	30.06.	30.06.	30.06.		07.07.	07.07.	07.07.		7.7.	7.7.	7.7.
	07.07.	07.07.	07.07.		21.07.	21.07.	21.07.		19.7.	19.7.	19.7.
	21.07.	21.07.	21.07.		03.08.	03.08.	03.08.		9.8.	9.8.	9.8.
	11.08.	11.08.	11.08.		24.08.	24.08.	24.08.		23.8.	23.8.	23.8.
	26.08.	26.08.	26.08.		07.09.	07.09.	07.09.		9.9.	9.9.	9.9.
	08.09.	08.09.	08.09.								

Iz *tablice 3* vidljivo je da su 2014. godine uzorci uzimani dva puta prije kupališne sezone, dan prije službenog početka sezone (10.06.), četiri puta tijekom sezone i jedanput na samom kraju sezone (08.09.). 2015. i 2016. godine uzorkovanje se prije kupališne sezone obavljalo samo jednom dok je ostatak uzorkovanja proveden kao i 2014. godine.

Za ispitivanje kakvoće vode na jezeru Jarun uzorci su uzimani na području Velikog i Malog jezera, na otoku veslača, otoku Trešnjevka te na otoku Univerzijade. Za uzimanje uzoraka na području Velikog jezera odabrano je šest točaka uzorkovanja (TU01 – TU06), na Malom jezeru također (TU07 – TU12), na otoku veslača i Trešnjevki uzet je po jedan uzorak (TU13 i TU14), a na otoku Univerzijade uzeta su dva uzorka s točaka TU15 i TU16, *slika 21*.



Slika 21. Jezero Jarun s označenim točkama uzimanja uzoraka [14]

Na području jezera Jarun uzorci su uzimani tijekom 2014. godine devet puta, a 2015. i 2016. godine osam puta. U *tablici 4* prikazani su točni datumi uzorkovanja.

Tablica 4. Datumi uzorkovanja na lokacijama TU01 – TU16 u razdoblju od 2014. do 2016. godine

	TU01-TU16		TU01-TU16		TU01-TU16
2014.	02.04.	2015.	14.04.	2016.	12.4.
	21.05.		09.06.		9.6.
	10.06.		23.06.		24.6.
	30.06.		07.07.		7.7.
	07.07.		21.07.		19.7.
	21.07.		03.08.		9.8.
	11.08.		24.08.		23.8.
	26.08.		07.09.		9.9.
	08.09.				

Iz *tablice 4* vidljivo je da su uzorci 2014. godine uzimani dva puta prije kupališne sezone, dan prije službenog početka sezone (10.06.), četiri puta tijekom sezone i jedan put na samom kraju sezone (08.09.).

2015. i 2016. godine uzorkovanje se je prije kupališne sezone obavljalo samo jednom, dok se ostatak uzorkovanja obavljao kao i 2014. godine.

4.3. ODREĐIVANJE MIKROBIOLOŠKIH POKAZATELJA

Metode uzimanja uzoraka i metode karakterizacije

Uzorkovanje vode je uzimanje određene količine vode na propisani način u svrhu laboratorijske analize. Uzorkovanje se provodi temeljem programa uzorkovanja kojim je definirana svrha odnosno cilj uzorkovanja, točke uzorkovanja, dinamika i vrsta analize [25]. Priprema za uzorkovanje obuhvaća pripremu zapisnika, spremnika za uzorke, opreme za uzorkovanje i vozila za transport uzoraka. Spremnici za uzorkovanje stavljaju se u prijenosne hladnjake ili košarice, a zatim u rashladnu komoru vozila za uzorkovanje. Obavezno se pripreme i rezervni spremnici. Za uzorkovanje vode za određivanje mikrobioloških pokazatelja koriste se sterilni stakleni spremnici od 500 mL s teflonskim čepom na navoj.

Uzorci se uzorkuju uranjanjem spremnika (*slika 22*) 0,5 m ispod površine. Spremnik se pričvrsti na štap za uzorkovanje kako bi se uzorak dohvatio na određenoj dubini. Prilikom otvaranja, punjenja i zatvaranja spremnika potrebno je pripaziti da ne dođe do sekundarnog onečišćenja spremnika i zatvarača spremnika. Ne smije se dirati grlo ni unutarnja strana spremnika ni zatvarača.



Slika 22. Uzorkovanje vode [27]

Prilikom uzorkovanja za svaki uzorak djelatnik koji vrši uzorkovanje mora popuniti zapisnik o uzimanju uzoraka vode. Zapisnik sadrži podatke o zahtjevatelju uzorkovanja, mjestu uzorkovanja, vrsti analize, pokazateljima koji se određuju prilikom uzorkovanja, vremenskim uvjetima, datumu i vremenu uzorkovanja, a potpisuje ga djelatnik koji je uzorkovao i stranka koja je prisustvovala uzorkovanju. Nakon uzorkovanja, spremnik s uzorkom transportira se u laboratorij u rashladnoj komori na temperaturi od $5^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$. Spremnici moraju biti zaštićeni od svjetla i učvršćeni kako bi se prilikom transporta zaštitili od lomova i onečišćenja. U laboratorijima je uobičajeno da se uzorci analiziraju neposredno nakon dostave, ali u slučaju izuzetaka, prema normi HRN EN ISO 19458:2008 [26] postoji preporučeno i prihvatljivo vrijeme čuvanja uzoraka od uzorkovanja do početka analize, *tablica 5*.

Tablica 5. Preporučeno i prihvatljivo vrijeme čuvanja uzoraka prije analize [26]

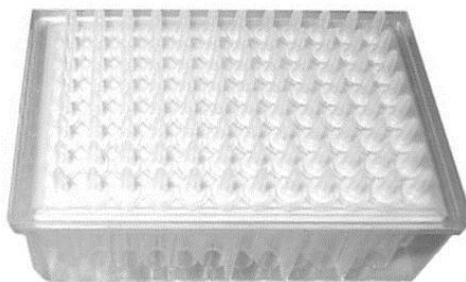
Pokazatelj	Temperatura transporta i čuvanja	Preporučeno vrijeme čuvanja od uzorkovanja do početka analize	Prihvatljivo vrijeme čuvanja od uzorkovanja do početka analize
<i>E.coli</i>	$5^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$	12	18
<i>Enterococcus</i>	$5^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$	12	18

Minijaturna metoda za detekciju i brojenje *E.coli* u površinskoj i podzemnoj vodi – HRN EN ISO 9308-3

Ovaj dio standarda ISO 9308 specificira minijaturnu metodu za detekciju i brojenje *E. coli* u površinskim i otpadnim vodama inokulacijom u tekući medij. Metoda je primjenjiva za sve vrste površinskih otpadnih voda, posebno onih bogatih suspendiranom tvari.

Metoda nije pogodna za vodu za ljudsku potrošnju ili bilo koji drugi tip vode za koju je potrebno detektirati manje od 15 jedinica u 100 mL te za brojenje i detekciju bilo kojih drugih koliformnih organizama osim *E. coli*.

Metoda je zasnovana na metodi najvjerojatnijeg broja. Razrijeđeni uzorak (sva njegova razrjeđenja) se inokulira u mikrotitarsku ploču. Svaka mikrotitarska ploča sadrži 96 jažica odnosno 12 redova po 8 jažica, *slika 23*.



Slika 23. Mikrotitarska ploča s jažicama [26]

Komponenta 4 - metilumbeliferil - β - D - glukuronid (MUG) sastavni je dio dehidrirane podloge koja se nalazi na dnu svake mikrotitar jažice. Dodavanjem razrjeđenja u jažice postiže se rehidracija podloge.

Potom slijedi inkubacija mikrotitarske ploče kod $(44 \pm 0,5) ^\circ\text{C}$ u trajanju od minimalno 36 sata do maksimalno 72 sata, nakon čega slijedi očitavanje rezultata.

Prisutnost *E.coli* indicirana je *plavom* fluorescencijom koja nastaje kao rezultat hidrolize MUG-a. Fluorescencija se ispituje pod UV lampom kod valne duljine 366 nm. Broj fluorescentnih jažica broji se za svako razrjeđenje, a konačni rezultat iščitava se iz MPN (metoda najvjerojatnijeg broja) tablice i izražava kao MPN u 100 mL. Broj razrjeđenja za naciepljivanje u skladu je s razinom onečišćenja uzorka koji se testira. Raspon detekcije mikroorganizama prisutnih u vodi za kupanje naveden je u *tablici 6*.

Tablica 6. Raspon detekcije za mikroorganizme prisutne u vodi za kupanje [26]

Vrsta uzorka	Broj razrjeđenja	Broj jažica za razrjeđenje	Raspon detekcije za prisutne mikroorganizme (na 100 mL)
Voda za kupanje	2	64 jažice na 1:2 32 jažice na 1:20	15 do $3,5 \times 10^4$

Postupak razrjeđenja obavlja se u mikrobiološkoj zaštitnoj komori jer prilikom pipetiranja može doći do stvaranja aerosola. Razrjeđenje se provodi na sljedeći način: sterilnom pipetom doda se 9 mL homogeniziranog uzorka u epruvetu koja sadrži 9 mL otapala (razrjeđenje 1:2). Kao otapalo koristi se specijalni diluent koji se sastoji od sintetičke morske soli, otopine bromfenol plavo i demineralizirane (ili destilirane) vode. Koristeći sterilnu pipetu prenese se 1 mL tog razrjeđenja u sljedeću epruvetu (razrjeđenje 1:20). Razrjeđenje u drugoj epruveti (1:20) potrebno je pažljivo homogenizirati. Za sljedeće razrjeđenje prenosi se 1 mL u treću epruvetu (razrjeđenje 1:200). Postupak se nastavlja i za ostala razrjeđenja.

Inokulacija i inkubacija mikrotitarskih ploča

Sadržaj prve epruvete razrjeđenja prenese se u Petrijevu ploču promjera 90 mm. Koristeći 8-kanalnu pipetu (sa sterilnim nastavcima) inokulira se po 200 µl u svaku mikrotitarsku jažicu na pločici. Na isti način, inokuliraju se sljedeća razrjeđenja uzorka (1:20, 1:200, 1:2000, itd.) koristeći nove posudice (Petrijeve ploče) i nove sterilne pipete. Nakon inokulacije svaku mikrotitarsku ploču poklopi se sterilnim samoljepljivim poklopcem koji se nalazi u kompletu. Time se ograničava dehidracija hranjive podloge u jažicama i štiti ploča od vanjske kontaminacije za vrijeme inkubacije. Mikrotitarska ploča inkubira se u inkubatoru kod temperature ($44 \pm 0,5$) °C u trajanju od minimalno 36 sati do maksimalno 72 sata.

Kako bi se očitao rezultat svaka mikrotitarska ploča sa zalijepljenim poklopcem stavlja se u tamnu komoru s UV lampom. Izbroje se sve jažice koje pokazuju *plavu* fluorescenciju kod 366 nm, kao pozitivne. Očitavanje se provodi u bilo koje vrijeme nakon perioda inkubacije od 36 sati jer se fluorescencija ne mijenja s vremenom. Rezultat se izražava određivanjem karakterističnog broja od broja pozitivnih jažica za svako izabrano razrjeđenje.

Minijaturna metoda za površinske i otpadne vode -HRN EN ISO 7899-1

Ovaj dio standarda ISO 7899 specificira minijaturnu metodu za detekciju i brojenje glavnih *crijevnih enterokoka* u površinskim i otpadnim vodama, posebno onima bogatim suspendiranom tvari. Metoda nije pogodna za vodu za ljudsku potrošnju ili bilo koji drugi tip vode za koju je potrebno detektirati manje od 15 jedinica u 100 mL.

Metoda je zasnovana na metodi najvjerojatnijeg broja. Razrijeđeni uzorak inokulira se u mikrotitarske ploče. Svaka mikrotitarska ploča sadrži 96 jažica (12 redova od 8 jažica). Komponenta 4-metil-umbeliferil- β -D-glukozid (MUD) je sastavni dio dehidrirane podloge koja je pričvršćena na dno svake mikrotitar jažice. Rehidracija podloge postiže se kada se uzorak vode doda u jažicu. Ako su *enterokoki* prisutni u inokuliranom uzorku hidroliziraju MUD u 4 – metilumbeliferon i glukozu, u prisutnosti talijeva acetata, nalidiksične kiseline i 2,3,5 trifeniltetrazoliumklorida (TTC). Detekcija *enterokoka* indicirana je pojavom *plave* fluorescencije pod UV lampom kod valne duljine 366 nm kao rezultat hidrolize MUD-a. Nakon inkubacije, kod $44 \pm 0,5$ °C u trajanju najkraće 36 sati do najdulje 72 sata, slijedi očitavanje jažica. Broj fluorescentnih jažica broji se za svako razrjeđenje. Iz dobivenog karakterističnog broja (CN), statistička analiza bazirana na Poissonovom zakonu omogućava izračunavanje *enterokoka* u analiziranom uzorku. Broj razrjeđenja za naciepljivanje u skladu je s razinom onečišćenja uzorka koji se testira. Raspon detekcije mikroorganizama prisutnih u vodi za kupanje naveden je u tablici 7.

Tablica 7. Raspon detekcije za mikroorganizme prisutne u vodi za kupanje [26]

Vrsta uzorka	Broj razrjeđenja	Broj jažica za razrjeđenje	Raspon detekcije za prisutne mikroorganizme (na 100 mL)
Voda za kupanje	2	64 jažice na 1:2 32 jažice na 1:20	15 do $3,5 \times 10^4$

Postupak razrjeđenja obavlja se u mikrobiološkoj zaštitnoj komori jer prilikom pipetiranja može doći do stvaranja aerosola. Razrjeđenje se provodi na sljedeći način: pripremi se potreban broj sterilnih epruveta ovisno o broju potrebnih razrjeđenja, dodaje se 9 mL specijalnog otapala u sve epruvete kao otapalo. 9 mL homogeniziranog uzorka dodaje se sterilnom pipetom u 1. epruvetu koja sadrži 9 mL otapala (razrjeđenje 1:2),

koristeći sterilnu pipetu prenese se 1 mL tog razrjeđenja u sljedeću epruvetu (razrjeđenje 1:20). Razrjeđenje u drugoj epruveti (1:20) pažljivo se homogenizira, ako je potrebno obaviti još razrjeđenja, prenosi se 1 mL razrjeđenja u treću epruvetu (razrjeđenje 1:200). Postupak se nastavlja dok se prirede sva razrjeđenja.

Inokulacija i inkubacija mikrotitarskih ploča

Sadržaj prve epruvete razrjeđenja prenese se u Petrijevu ploču promjera 90 mm. Koristeći 8-kanalnu pipetu (sa sterilnim nastavcima) inokulira se po 200 µl u svaku mikrotitarsku jažicu na pločici. Na isti način, inokuliraju se sljedeća razrjeđenja uzorka (1:20, 1:200, 1:2000, itd.) koristeći nove posudice (Petrijeve ploče) i nove sterilne pipete nastavke. Nakon inokulacije svaku mikrotitarsku ploču poklopi se sterilnim samoljepljivim poklopcem koji se nalazi u kompletu. Time se ograničava dehidracija hranjive podloge u jažicama i štiti ploča od vanjske kontaminacije za vrijeme inkubacije. Mikrotitarska ploča inkubira se u inkubatoru kod temperature $44 \pm 0,5$ °C u trajanju od minimalno 36 sati do maksimalno 72 sata.

Kako bi se očitao rezultat svaka mikrotitarska ploča sa zalijepljenim poklopcem stavlja se u tamnu komoru s UV lampom. Izbroje se sve jažice koje pokazuju *plavu* fluorescenciju kod 366 nm, kao pozitivne. Očitavanje se provodi u bilo koje vrijeme nakon perioda inkubacije od 36 sati jer se fluorescencija ne mijenja s vremenom. Rezultat se izražava određivanjem karakterističnog broj od broja pozitivnih jažica za svako izabrano razrjeđenje.

5. REZULTATI I RASPRAVA

5.1. OBRADA I PRIKAZ VRIJEDNOSTI MIKROBIOLOŠKIH POKAZATELJA PO TOČKAMA UZORKOVANJA

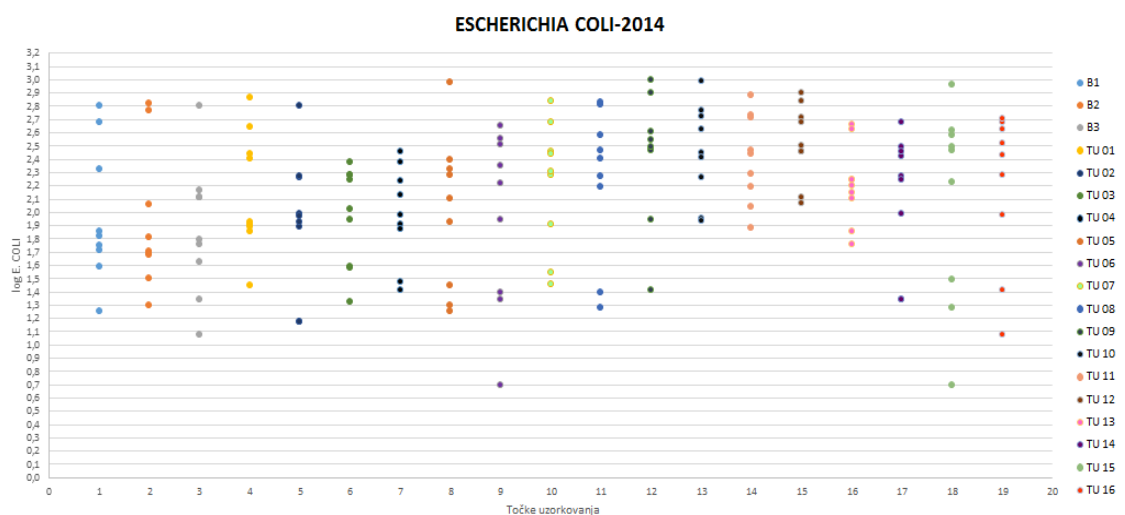
Uzorci za ispitivanje mikrobioloških pokazatelja uzimani su na dvije lokacije u gradu Zgrebu odnosno na jezeru Jarun i Bundek. Na jezeru Bundek uzorci su uzimani na tri lokacije (*slika 19*), a na jezeru Jarun na šesnaest lokacija (*slika 21*).

Uzorci su uzimani tijekom tri godine, od 2014. do 2016. godine i to prije kupališne sezone (travanj i svibanj) jedanput mjesečno, tijekom kupališne sezone (lipanj, srpanj,

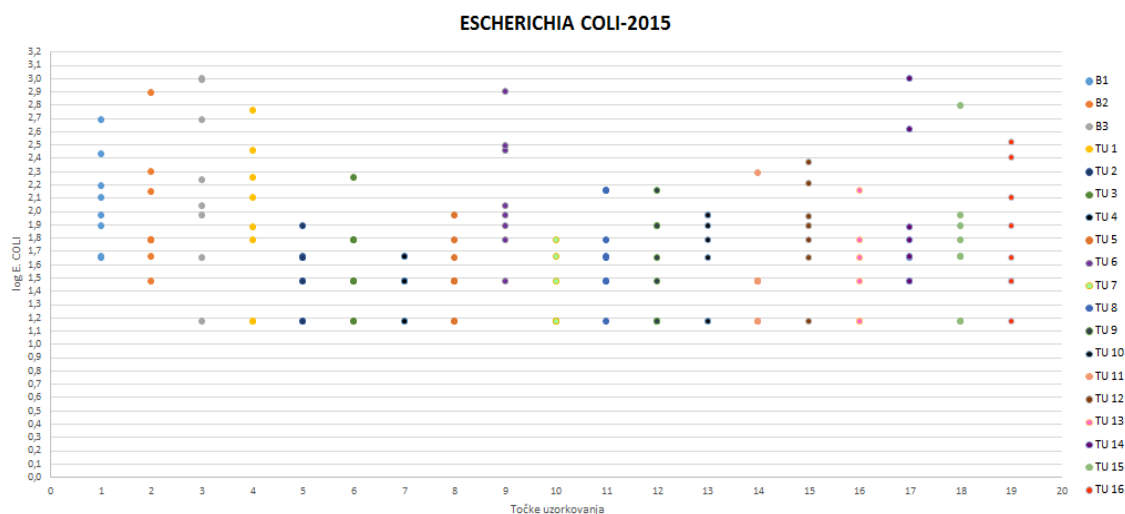
kolovoz) dvaput mjesečno te u post sezoni (rujan) jedanput mjesečno (2015. i 2016. uzorkovanje se nije obavljalo tijekom mjeseca svibnja). U uzorcima vode određivana su dva mikrobiološka pokazatelja, količina *E. coli* i količina *crijevnog enterokoka*. Na temelju dobivenih rezultata mikrobioloških pokazatelja, izračunate su logaritamske vrijednosti količine *E. coli* i *crijevnog enterokoka* koje su prikazane pomoću grafova radi bolje preglednosti.

U nastavku su dani grafički prikazi za oba mikrobiološka parametra u razdoblju od 2014. do 2016. godine (slika 24). Na osi apscisa nalaze se točke uzorkovanja, a na osi ordinata je logaritamska vrijednost mikrobiološkog pokazatelja.

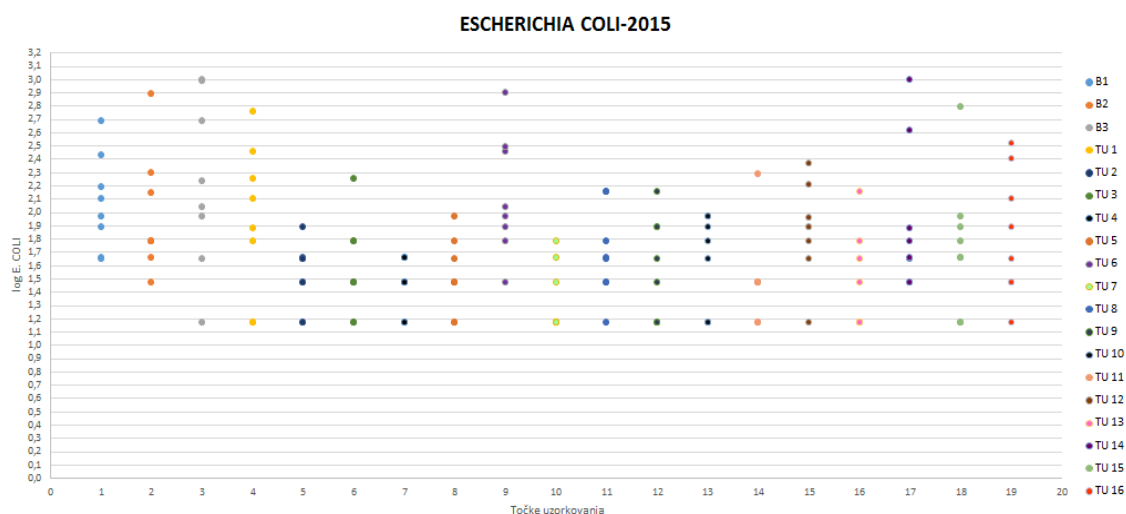
a)



b)



c)



Slika 24. a) Grafički prikaz vrijednosti količine *Escherichiae coli* uzetih na devetnaest lokacija 2014. godine

b) Grafički prikaz vrijednosti količine *Escherichiae coli* uzetih na devetnaest lokacija 2015. godine

c) Grafički prikaz vrijednosti količine *Escherichiae coli* uzetih na devetnaest lokacija 2016. godine

Na *slici 24 a* prikazane su vrijednosti količine *E. coli* za 2014. godinu. Vidljivo je da je gustoća distribucije izrazito velika, odnosno vrijednosti za pojedine lokacije kreću se blizu jedna drugoj. Najveća gustoća distribucije zabilježena je na lokacijama TU12 i TU13 koje se nalaze jedna blizu druge, dok je gustoća distribucije na lokacijama B2 i TU07 koje se udaljene jedna od druge najmanja.

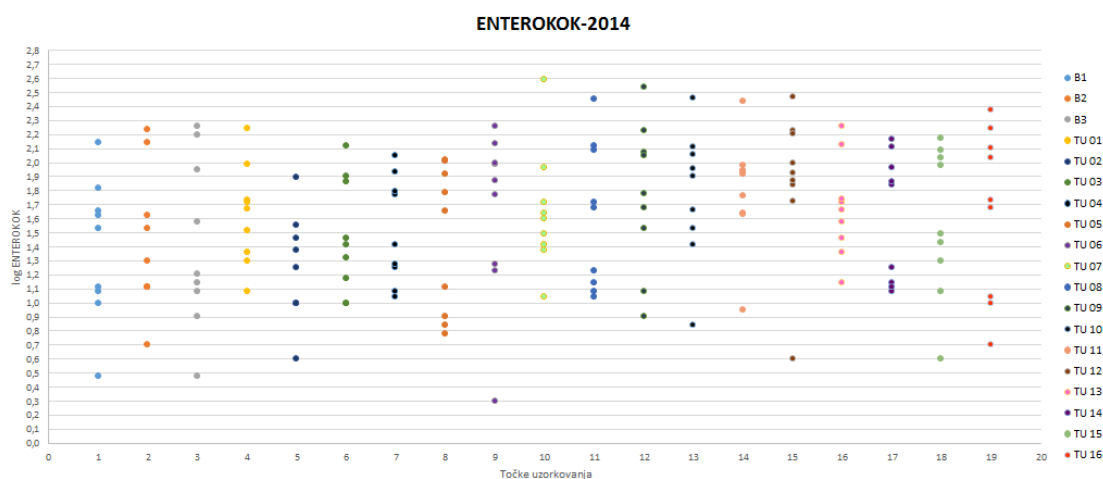
Iz *slike 24 b*, gdje su prikazane vrijednosti količine *E. coli* u 2015. godini vidljivo je da gustoća distribucije postoji, ali u većim razmacima, to jest vrijednosti za pojedine lokacije udaljenije su jedna od druge. Najveća gustoća distribucije zabilježena je na lokacijama TU13 i TU14 koje se nalaze jedna blizu druge, dok je gustoća distribucije na lokacijama B3 i TU01 koje se udaljene jedna od druge najmanja.

Na *slici 24 c* prikazane su vrijednosti količine *E. coli* za 2016. godinu. Iz slike je vidljivo da je gustoća distribucije velika. Vrijednosti za pojedine lokacije nešto su udaljenije jedna od druge, ali i dalje su u neposrednoj blizi jedna od druge. Najveća gustoća distribucije zabilježena je na lokacijama TU14 i TU15 koje se nalaze jedna

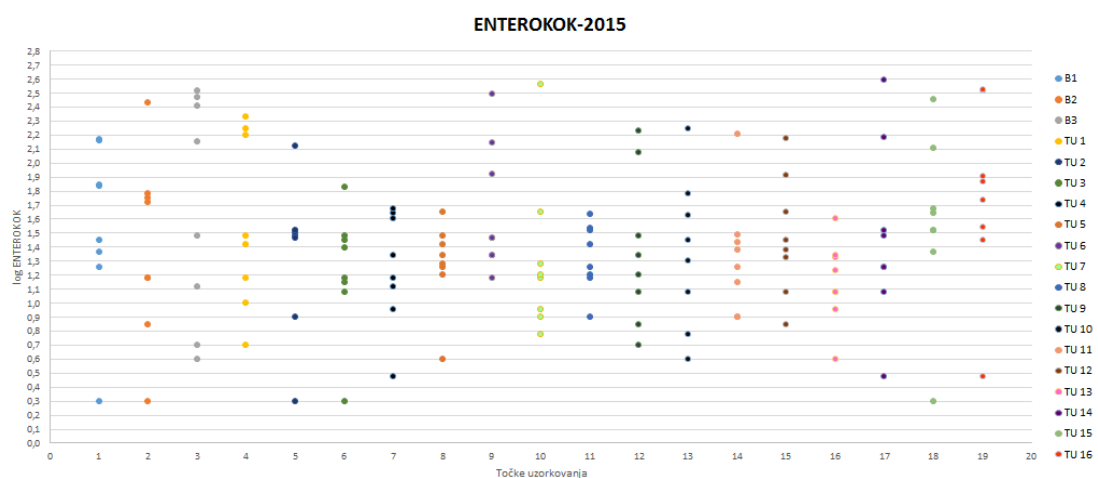
blizu druge, dok je gustoća distribucije na lokacijama B3 i TU09 koje su udaljene jedna od druge najmanja.

Usporedbom dobivenih rezultata na *slici 24*, može se zaključiti da je gustoća količine *E. coli* za 2014. godinu znatno veća u odnosu na 2015. i 2016. godinu. 2015. godine gustoća distribucije bila je znatno rjeđa, no već iduće, 2016. godine gustoća distribucija količine *E. coli* se ponovno zgušnjava. Jedan od razlog zbog kojeg se razvija veliki broj bakterija je gotovo nikakva izmjena vode i na Jarunu i Bundeku. Također, 2014. i 2016. godine bile su godine s natprosječnim temperaturama pa je tijekom srpnja i kolovoza zabilježen veliki broj kupaca čijim se aktivnostima u vodi količina bakterija neprestano povećavala.

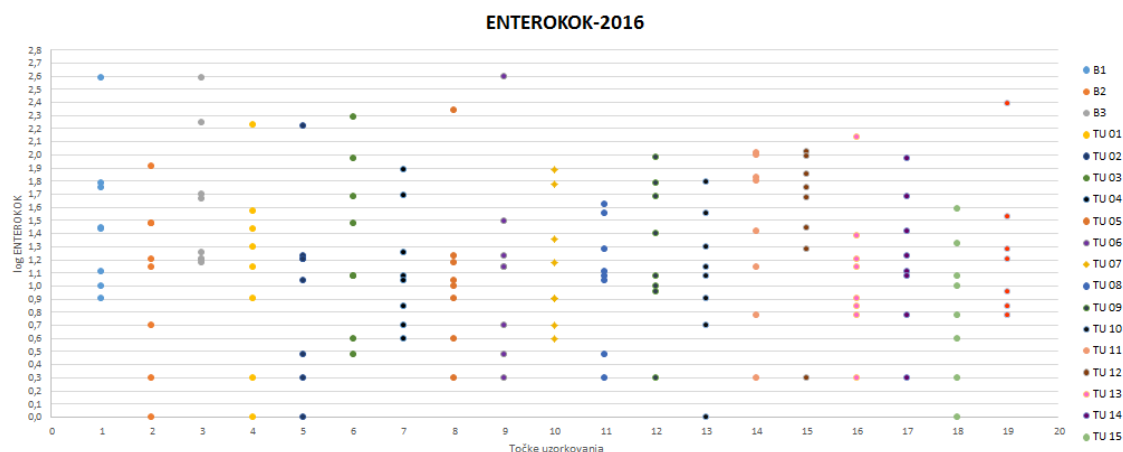
a)



b)



c)



Slika 25. a) Grafički prikaz vrijednosti količine *crijevnog enterokoka* uzetih na devetnaest lokacija 2014. godine

b) Grafički prikaz vrijednosti količine *crijevnog enterokoka* uzetih na devetnaest lokacija 2015. godine

c) Grafički prikaz vrijednosti količine *crijevnog enterokoka* uzetih na devetnaest lokacija 2016. godine

Slika 25 a prikazuje vrijednost količine *crijevnog enterokoka* za 2014. godinu. Gustoća distribucije prikazana na slici je velika. Vrijednosti za pojedine lokacije kreću se blizu jedna drugoj. Najveća gustoća distribucije zabilježena je na lokacijama TU11 i TU12 koje se nalaze jedna blizu druge, dok je gustoća distribucije na lokacijama B3 i TU09 (od kojih je jedna lokacija jezero Jarun, a druga jezero Bunde) najmanja.

Na *slici 25 b* prikazane su vrijednosti količine *crijevnog enterokoka* u 2015. godini. Iz slike je vidljivo da je gustoća distribucije velika, ali neravnomjerno raspoređena između pojedinih lokacija. Najveća gustoća distribucije zabilježena je na lokacijama koje se nalaze jedna blizu druge (TU04 i TU05), dok je gustoća distribucije na međusobno udaljenijim lokacijama (TU06 i TU07) najmanja.

Slika 25 c prikazuje vrijednosti količine *crijevnog enterokoka* za 2016. godinu. Gustoća distribucije prikazana na slici je velika, ali i približno ravnomjerno raspoređena između pojedinih lokacija. Najveća gustoća distribucije zabilježena je na međusobno bližim

lokacijama (TU05 i TU08), dok je gustoća distribucije na lokacijama B2 i TU01 (različite lokacije uzorkovanja) najmanja.

Usporedbom rezultata prikazanih na *slici 25* može se zaključiti da se gustoća količine *crijevnog enterokoka* za sve tri promatrane godine ne razlikuje znatno. Odstupanja su uočena na pojedinim lokacijama u 2015. godini.

Logaritamske vrijednosti prikazane u grafovima predstavljaju polaznu točku za utvrđivanje ovisnosti mikrobioloških pokazatelja prema odabiru točaka uzorkovanja.

Iz logaritamskih vrijednosti količine mikrobioloških pokazatelja izražene su aritmetičke sredine koje su korištene kod računanja jednofaktorske analize varijance. Aritmetičke sredina točaka uzorkovanja na jezeru Jarun prikazane su za Veliko i Malo jezero (dvanaest točaka), a na jezeru Bundek za sve tri točke uzorkovanja.

U *tablici 8* prikazane su aritmetičke sredine količine *E. coli* za razdoblje od 2014. do 2016. godine.

Tablica 8. Vrijednosti aritmetičke sredine količine *E. coli* na jezeru Bundek, Veliko i Malo jezero Jarun

LOKACIJA	ARITMETIČKA SREDINA KOLIČINE <i>E. COLI</i>
B1	2,123
B2	1,901
B3	2,073
TU01	2,017
TU02	1,705
TU03	1,809
TU04	1,676
TU05	1,688
TU06	1,934
TU07	1,738
TU08	1,870
TU09	1,928
TU10	1,989
TU11	1,919
TU12	2,163

Iz *tablice 8* vidljivo je da je na lokaciji B1 (Bundek) vrijednost aritmetičke sredine najveća (označeno crvenom bojom), dok je vrijednost aritmetičke sredine na lokaciji

TU04 (Veliko jezero, Jarun) najmanja (označeno zelenom bojom). Pretpostavlja se da je količina *E. coli* na jezeru Bundeck veći jer se radi o manjoj površini jezera u odnosu na jezero Jarun čija površina je znatno veća. Također, jezero Jarun je tijekom kupališne sezone više posjećenije pa se mu pridaje veća pažnja i provode se strože kontrole praćenja kakvoće vode kako bi se mogućnost zaraze svela na minimum.

U *tablici 9* prikazane su aritmetičke sredine količina *crijevnog enterokoka* za razdoblje od 2014. do 2016. godine.

Tablica 9. Vrijednosti aritmetičke sredine količine *crijevnog enterokoka* na jezeru Bundeck te Velikom i Malom jezeru Jarun

LOKACIJA	AR. SREDINA KOLIČINA ENTEROKOKA
B1	1,474
B2	1,291
B3	1,570
TU01	1,442
TU02	1,185
TU03	1,352
TU04	1,308
TU05	1,274
TU06	1,491
TU07	1,386
TU08	1,347
TU09	1,480
TU10	1,411
TU11	1,528
TU12	1,641

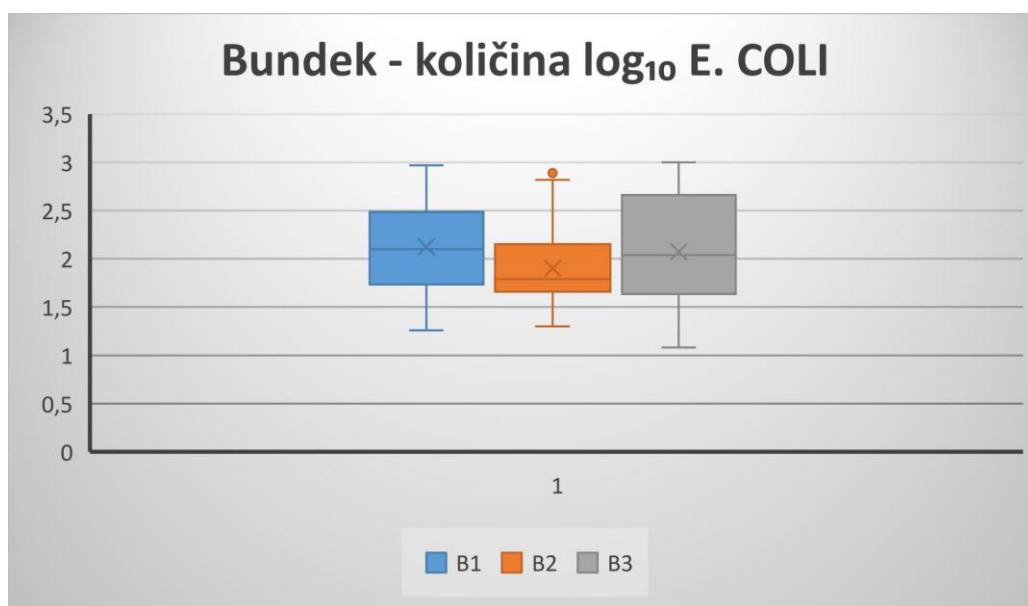
Iz *tablice 9* vidljivo je da je za lokaciju TU12 (Malo jezero, Jarun) vrijednost aritmetičke sredine količina *enterokoka* najveća (označeno crvenom bojom), a za lokaciju TU05 (Veliko jezero, Jarun) najmanja (označeno zelenom bojom). Lokacija označena TU12 pripada Malom jezeru čija površina je mala pa je količina *enterokoka* znatno veća za razliku od Velikog jezera koje je veće površine pa se količina *enterokoka* manja (količina se na većoj površini razrijedi).

Logaritamske vrijednosti prikazane u grafičkom obliku (*slika 24, slika 25*) i aritmetičke sredine iz *tablice 8* i *tablice 9* potrebne su za izračunavanje analize varijance.

5.1.1. Obrada podataka za količinu *Escherichiae coli* u jezerima

Dobivene vrijednosti količine *E. coli* prikazane su kutijastim dijagramom zbog velikog broja podataka. Zasebno je prikazana količina *E. coli* na jezeru Bundek, Velikom i Malom jezeru Jarun.

Na jezeru Bundek, tijekom tri godine za svaku točku uzorkovanja (B1, B2, B3) uzeto je 25 uzoraka, odnosno ukupno 75 uzoraka. Količina *E. coli* prikazanje na slici 26 kutijastim dijagramom.



Slika 26. Kutijasti dijagram količine *E. coli* na jezeru Bundek

Iz slike 26 vidljivo je da se distribucija za lokaciju B1 (jezero Bundek) kreće u rasponu od 1.3 do 3 i distribucija je simetrična. 25% opservacija odnosno količine *E. coli* manje je od 1.7, dok je 25% veće od 2.5. U prosjeku količina *E. coli* na lokaciji B1 je 2.123. Budući da nema vrijednosti ispod donjeg i iznad gornjeg ruba brkova može se zaključiti da nema stršila.

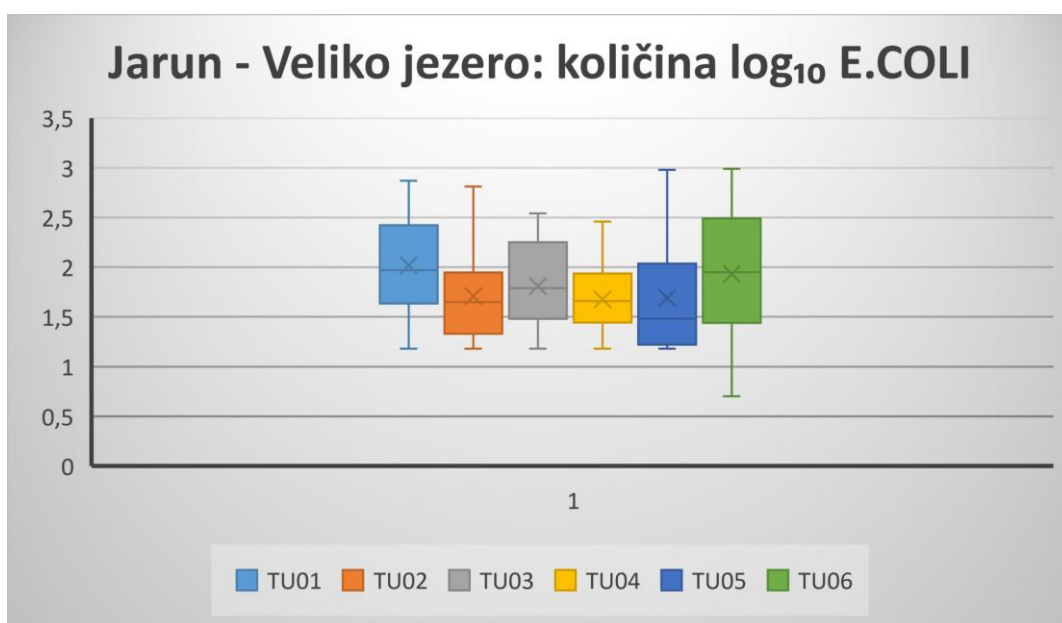
Distribucija za lokaciju B2 (jezero Bundek) kreće se u rasponu od 1.3 do 2.8, distribucija je iskošena u desno. 25% opservacija manje je od 1.6, a 25% veće je od 2.2. U prosjeku količina *E. coli* na lokaciji B2 je 1.901. Ispod donjeg ruba brkova nalazi se jedna opservacija koja se označava kao stršilo (vrijednost za *E. coli* iznosi 1.3).

Distribucija na lokaciji B3 kreće se u rasponu od 1.05 do 3.0. Distribucija je blago iskošena u desno. 25 % opservacija manje je od 1.6, a 25% veće je od 2.65. Prosječna

vrijednost količine *E. coli* na lokaciji B3 je 2.073. Budući da nema vrijednosti ispod donjeg i iznad gornjeg ruba brkova može se zaključiti da nema stršila.

Raspon varijacije unutar koje se nalazi 50% razdiobe najveći je na lokaciji B3, a najmanji na lokaciji B2.

Na Velikom jezeru (Jarun) tijekom tri godine za svaku točku uzorkovanja (TU01, TU02, TU03, TU04, TU05, TU06) uzeto je 25 uzoraka, odnosno ukupno 150 uzoraka. Količina *E. coli* je prikazana na *slici 27* kutijastim dijagramom.



Slika 27. Kutijasti dijagram količine *E. coli* na Velikom jezeru (Jarun)

Na *slici 27* prikazana je distribucija za lokaciju TU01. Ona se kreće u rasponu od 1.15 do 2.45 i blago je iskošena. 25% opservacija manje je od 1.6, a 25 % je veće od 2.45. U prosjeku količina *E. coli* na lokaciji TU01 je 2.017., a stršila nema.

Distribucija za lokaciju TU02 je u rasponu od 1.15 do 2.8 i blago je iskošena u lijevo. 25 % opservacija manje je od 1.3, a 25% je veće od 1.95. Količina *E. coli* na lokaciji TU02 u prosjeku iznosi 1.705. Budući da nema vrijednosti ispod donjeg i iznad gornjeg ruba brkova može se zaključiti da stršila ne postoje.

Distribucija prikazana na *slici 18* za lokaciju TU03 kreće se u rasponu od 1.15 do 2.55 i blago je iskošena u desno. 25 % opservacija manje je od 1.49, dok je drugih 25% veće

od 2.2. Prosječna vrijednost *E. coli* je 1.809. Budući da vrijednosti ispod i iznad ruba brkova ne postoje nema ni stršila.

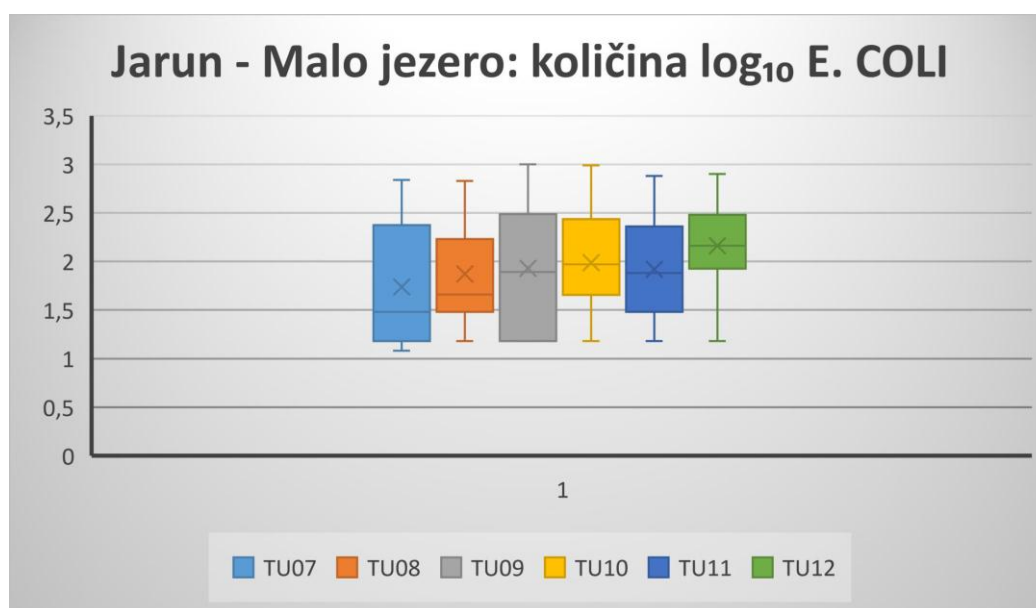
Distribucija za lokaciju TU04 (Velikom jezeru, Jarun) u rasponu je od 1.15 do 2.55 i blago je iskošena u desno. U prosjeku količina *E. coli* na lokaciji TU04 je 1.676. 25 % opservacija manje je od 1.49, a 25 % je veće od 2.2. Ispod donjeg ruba brkova nalazi se pet opservacija (stršila), četiri s vrijednostima 1.18 i jedna s vrijednošću 1.19.

Za lokaciju TU05 distribucija se kreće u rasponu od 1.15 do 3 te je jako iskošena u desno. 25% opservacija manje je od 1.2, a 25 % je veće od 2.05. Prosječna količina *E. coli* je 1.688, stršila nema.

Distribucija za lokaciju TU06 na Velikom jezeru Jarun kreće se u rasponu od 0.7 do 3, distribucija je blago iskošena u desno. 25 % opservacija manje je od 1.45, a 25 % je veće od 2.5. U prosjeku količina *E. coli* na lokaciji TU06 je 1.934. Ispod donjeg ruba brkova nalazi se jedna opservacija koja se označava kao stršilo (broj *E. coli* 0.7)

Raspon varijacije unutar koje se nalazi srednjih 50% razdiobe najveći je za lokaciju TU06, a najmanji za lokaciju TU04.

Na Malom jezeru (Jarun) tijekom uzorkovanja za svaku lokaciju uzorkovanja (TU07, TU08, TU09, TU10, TU11, TU12) uzimano je 25 uzoraka (150 uzoraka ukupno). Količina *E. coli* prikazana je na slici 28 kutijastim dijagramom.



Slika 28. Kutijasti dijagram količine *E. coli* na Malom jezeru (Jarun)

Na *slici 28* prikazana je distribucija za lokaciju TU07 (Malo jezero, Jarun). Ona se kreće od 1.1 do 2.85 te je jako iskošena u desno. 25% količine *E. coli* manje je od 1.2, dok je 25 % veće od 2.4. Prosječna količina *E. coli* iznosi 1.738. Vrijednosti ispod donjeg i iznad gornjeg ruba brkova ne postoje pa se zaključuje da stršila nema.

Na lokaciju TU08 distribucija je u rasponu od 1.2 - 2.8, i jako je iskošena u desno. 25 % opservacija manje je od 1.49, a 25% je veće od 2.25. Prosjek količine *E. coli* na TU08 je 1.870. Stršila ne postoje.

Distribucija na lokaciji TU09 kreće se od 1.18 do 3.0. Distribucija je blago iskošena u lijevo. Prosječna vrijednost *E. coli* na toj lokaciji iznosi 1.928. 25 % opservacija manje je od 1.2, a 25% je veće od 2.5. Budući da nema vrijednosti ispod donjeg i iznad gornjeg ruba brkova zaključuje se da nema stršila.

Distribucija za lokaciju TU10 na Malom jezeru, Jarun kreće se u rasponu od 1.2 do 3, distribucija je blago iskošena u desno. 25 % opservacija manje je od 1.7, a 25% je veće od 2.4. U prosjeku količina *E. coli* na lokaciji TU10 je 1.989. Ispod donjeg ruba brkova nalaze se četiri opservacije koje se označavaju kao stršila (četiri količine *E. coli* 1.18).

Distribucija za točku TU11 u rasponu je od 1.2 pa do 2.9. Distribucija je blago iskošena u desnu stranu. Prosječna vrijednost *E. coli* za TU11 iznosi 1.919. 25 % opservacija manje je od 1.5, a 25% je veće od 2.4. Stršila nema.

Na lokaciji TU12 distribucija se kreće u vrijednostima od 1.2 do 2.9 i blago je iskošena u desno. 25% opservacija manje je od 1.9, a 25% je veće od 2.5. Prosjek vrijednosti *E. coli* iznosi 2.163. Ispod donjeg ruba brkova nalaze se dvije opservacije tzv. stršila (količina *E. coli* = 1.18).

Raspon varijacije unutar koje se nalazi srednjih 50 % razdiobe najveći je za lokaciju TU09, a najmanji na lokaciji TU12.

Prije računanja jednofaktorske analize varijance kao pretpostavka uzima se da su sve tri vrijednosti aritmetičke sredine na sve tri ispitivane lokacije (B1, B2, B3) jednake.

U konkretnom matematičkom obliku to se zapisuje kao:

$$H_0: \mu_{B1} = \mu_{B2} = \mu_{B3}, \quad (35)$$

No, glavni problem jednofaktorske analize varijance koji se odnosi na određivanje postupka za testiranje nulte hipoteze prema alternativnoj hipotezi je, da barem jedna od jednakosti hipoteze nije istinita, što se može zapisati kao:

$$H_1: \text{barem jedna } \mu_{B_i} \text{ je različita od ostalih.}$$

Kod računanja jednofaktorske analize varijance korištena je vrijednost $\alpha = 0,05$. α predstavlja takozvanu razinu značajnosti. Razina značajnosti može se definirati kao vjerojatnost odluke o odbijanju nulte hipoteze kada je nulta hipoteza zapravo istinita. Jednofaktorska analiza varijance provedena je s ciljem utvrđivanja postojanja razlike u razini prisutnosti bakterije *E. coli* s obzirom na točke uzorkovanja.

U *Tablici 10* prikazana je ovisnost mikrobioloških pokazatelja *E. coli* o točkama uzorkovanja izračunata pomoću statističke metode jednofaktorske analize varijance ili tzv. ANOVE.

Tablica 10. Ovisnost aritmetičke sredine o točkama uzorkovanja uzetim na jezeru Bundek

<i>Izvor rasipanja</i>	<i>Broj stupnjeva slobode</i>	<i>Zbroj kvadrata odstupanja</i>	<i>Korigirana varijanca</i>	<i>Vrijednost test-statistike</i>	<i>P vrijednost</i>	<i>Kritična vrijednost test – statistike</i>
<i>Razlika među nizovima</i>	2	0,675	0,338	1,389	0,256	3,124
<i>Slučajna greška</i>	72	17,510	0,243			
<i>Ukupno</i>	74	18,18				

P vrijednost (*tablica 10*) izračunata ANOVOM iznosi $p = 0.256 > \alpha (0.05)$, što znači da ne postoji statistički značajna razlika između srednjih vrijednosti zavisne varijable s obzirom na tri ispitane lokacije. Iako razlika u razini odstupanja između točaka uzorkovanja postoji, ne postoji statistički značajna razlika u odstupanju razine prisutnosti bakterije *E. coli* s obzirom na točke uzorkovanja. Iz tablice je vidljivo da je kritična vrijednost test – statistike (3.124) manja od vrijednosti test – statistike (1.389) te se prema pravilima za jednofaktorsku analizu varijance pretpostavka prihvaća, to jest aritmetičke vrijednosti mikrobiološki parametara dobivene iz uzoraka ne ovise o samoj lokaciji uzorkovanja.

U *tablici 11* prikazana je ovisnost mikrobioloških pokazatelja količine *E. coli* o točkama uzorkovanja na jezeru Jarun (Veliko jezero).

Tablica 11. Ovisnost aritmetičke sredine o točkama uzorkovanja uzetim na jezeru Jarun (Veliko jezero)

<i>Izvor rasipanja</i>	<i>Broj stupnjeva slobode</i>	<i>Zbroj kvadrata odstupanja</i>	<i>Korigirana varijanca</i>	<i>Vrijednost test-statistike</i>	<i>P vrijednost</i>	<i>Kritična vrijednost test – statistike</i>
<i>Razlika među nizovima</i>	5	2,549	0,510	2,160	0,062	2,277
<i>Slučajna greška</i>	144	33,993	0,236			
<i>Ukupno</i>	149	36,543				

Za lokacije na jezeru Jarun p vrijednost (vjerojatnost odbacivanja istinite tvrdnje) veća je od vrijednosti α , $0.062 > 0.05$. Kritična vrijednost test – statistike (2.277) manja od vrijednosti test – statistike (2.160), te se prema pravilima za jednofaktorsku analizu varijance pretpostavka prihvaća. Pretpostavka o neovisnosti aritmetičke sredine i lokacije uzimanja uzoraka se prihvaća.

U *tablici 12* prikazana je ovisnost mikrobioloških pokazatelja *E. coli* o točkama uzorkovanja na jezeru Jarun (Malo jezero).

Tablica 12. Ovisnost aritmetičke sredine o točkama uzorkovanja uzetim na jezeru Jarun (Malo jezero)

<i>Izvor rasipanja</i>	<i>Broj stupnjeva slobode</i>	<i>Zbroj kvadrata odstupanja</i>	<i>Korigirana varijanca</i>	<i>Vrijednost test-statistike</i>	<i>P vrijednost</i>	<i>Kritična vrijednost test – statistike</i>
<i>Razlika među nizovima</i>	5	2,449	0,490	1,713	0,135	2,277
<i>Slučajna greška</i>	144	41,170	0,286			
<i>Ukupno</i>	149	43,619				

P vrijednost izračunata statističkom metodom analize varijance je $p = 0.135 > \alpha (0.05)$. Iz toga proizlazi da postoji statistički značajna razlika između srednjih vrijednosti mikrobioloških parametara s obzirom na šest točaka uzorkovanja.

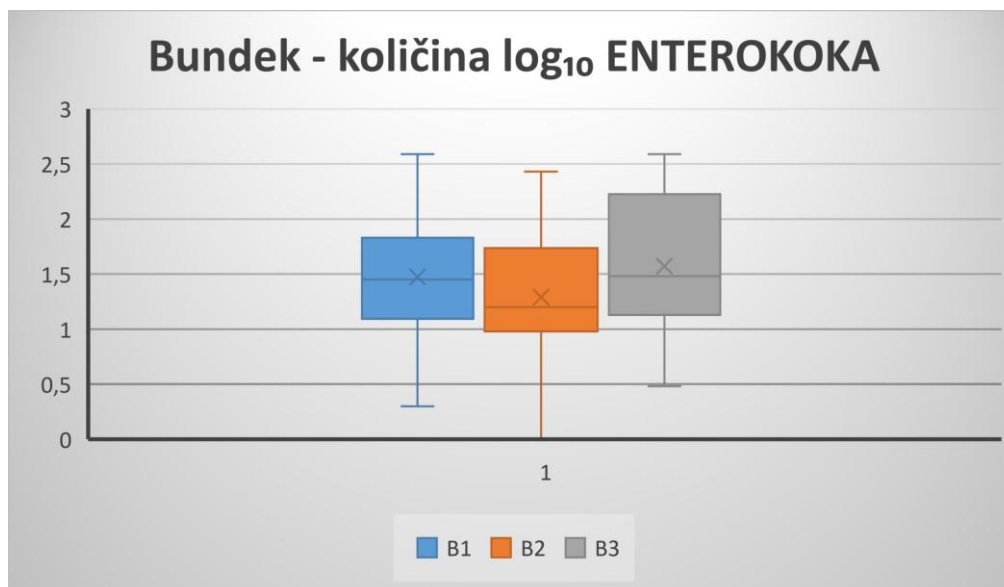
Kritična vrijednost test – statistike iznosi 2.277 i veća od vrijednosti test – statistike (1.713). Pretpostavka H_0 se prihvaća.

Promatrajući trogodišnju razinu *E. coli* na ispitivanim lokacijama utvrđeno je da u nijednoj godini ne postoji statistički značajna razlika između dobivenih vrijednosti aritmetičke sredine. Iako se vrijednosti aritmetičkih sredina tijekom tri godine ne mijenjaju značajno, one ipak ne ovise o točkama uzorkovanja. Iz dobivenih rezultata zaključuje se da vrijednost aritmetičke sredine količine *E. coli* na Bunde ku te Velikom i Malom jezeru na Jarunu ne ovisi o točki s koje se uzorak uzima. Razlozi zbog kojih dolazi do toga su brojni. Primjerice vremenski uvjeti. Za vrijeme velikih kiša dolazi do razrjeđenja bakterija u vodi, tijekom vjetrova dolazi do kretanja bakterija i miješanja vode te se one prenose na druge lokacije.

5.1.2. Obrada podataka za količinu *crijevnog enterokoka* u jezerima

Kao i za *E. coli* količina *crijevnog enterokoka* prikazana je kutijastim dijagramom radi bolje preglednosti velikog broja podataka. Zasebno su prikazane količine *crijevnog enterokoka* za jezero Bunde ku te za Veliko i Malo jezero na Jarunu.

Na Bunde ku se tijekom tri godine sa svake točka uzorkovanja (B1, B2, B3) uzelo po 25 uzoraka, odnosno 75 uzoraka ukupno. Dobivene količine *crijevnih enterokoka* u vodi prikazane su na *slici 29* kutijastim dijagramom.



Slika 29. Kutijasti dijagram za količinu *crijevnog enterokoka* na jezeru Bundek

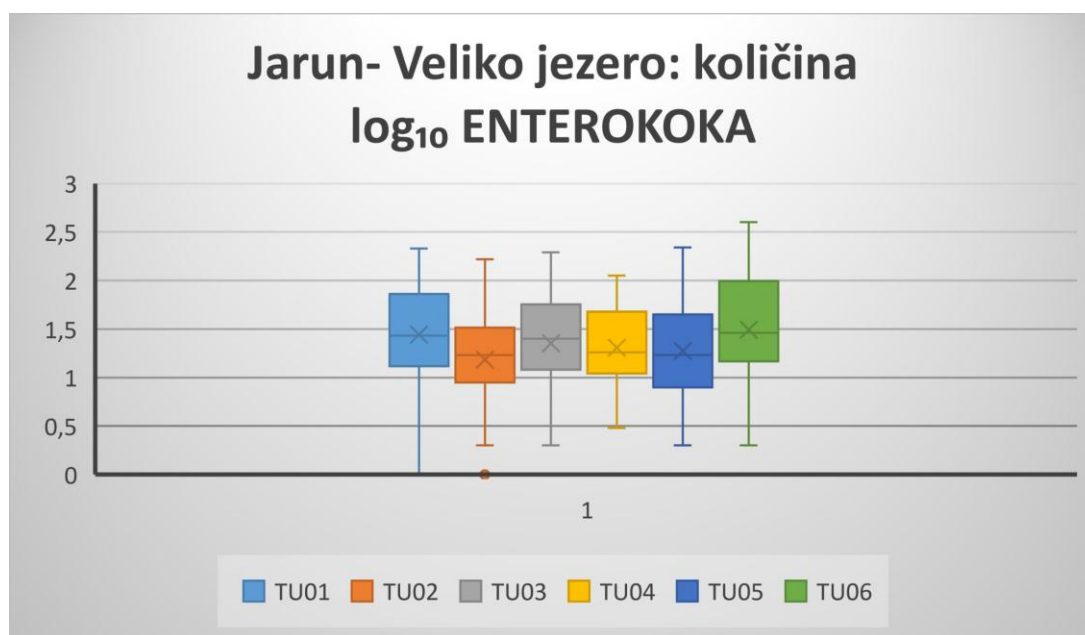
Na *slici 29* prikazana je distribucija količine *enterokoka* za lokaciju B1. Ona se kreće u rasponu od 0.3 do 2.6, te je simetrična. U prosjeku količina *enterokoka* na lokaciji B1 je 1.474. 25% opservacija odnosno broja *enterokoka* manje je od 1.1, a 25 % je veće od 1.8. Ispod donjeg ruba brkova nalaze se dvije opservacije, odnosno dva stršila (količina *enterokoka*: 0.48 i 0.3).

Distribucija za točku B2 kreće se od 0 do 2.4, iskošena je u desnu stranu. 25% opservacija manje je od 1, a 25% je veće od 1.75. U prosjeku količina *enterokoka* iznosi 1.291. Ispod donjeg ruba brkova nalaze se tri opservacije koje se označavaju kao stršila (dvije vrijednosti *enterokoka* iznose 0.3 i jedna 0).

Raspon distribucije na lokaciji B2 je od 0.49 do 2.6, te je blago iskošena u desno. Prosjek vrijednosti *enterokoka* za lokaciju B2 iznosi 1.570. 25 % opservacija manje je od 1.15, a 25% je veće od 2.25. Ispod donjeg ruba brkova nalazi se jedno stršilo (količina *enterokoka* 0.48).

Raspon varijacije unutar koje se nalazi srednjih 50% razdiobe najveći je za lokaciju B3, a najmanji za lokaciju B1.

Na Velikom jezeru (Jarun) uzorci su uzimani na lokacijama označenim: TU01, TU02, TU03, TU04, TU05, TU06. Uzimano je 25 uzoraka na svakoj lokaciji što ukupno iznosi 150 uzoraka. Količine su prikazane na *slici 30* kutijastim dijagramom.



Slika 30. Kutijasti dijagram za količinu *crijevnog enterokoka* na Velikom jezeru (Jarun)

Slika 30 prikazuje distribucija za lokaciju TU01 na Velikom jezeru, Jarun. Distribucija se kreće od 0 do 2.3, blago je iskošena u desno. 25% vrijednosti *enterokoka* manje je od 1.1, dok je 25 % veće od 1.9. Prosjek vrijednosti *enterokoka* na lokaciji TU01 je 1.442. Ispod donjeg ruba brkova nalaze se dvije opservacije (količina *enterokoka* 0 i 0.3).

Distribucija za lokaciju TU02 na Velikom jezeru, Jarun kreće se u rasponu od 0.3 do 2.2, distribucija je blago iskošena u lijevo. 25 % opservacija manje je od 0.95, a 25% je veće od 1.5. Prosječna vrijednost *enterokoka* na lokaciji TU02 je 1.185. Ispod donjeg ruba brkova nalaze se četiri opservacije koje se označavaju kao stršila (dvije količine *enterokoka* 0.3 i 0 i 0.6).

Na lokaciju TU03 distribucija količine *enterokoka* kreće se u rasponu od 0.3 - 2.3, Distribucija je blago iskošena u desnu stranu. 25 % opservacija manje je od 1.1, a 25% veće je od 1.8. Prosjek količine *enterokoka* iznosi 1.352. Na lokaciji TU03 ispod donjeg ruba brkova nalaze se tri opservacije (količina *enterokoka* 0.3 i 0.48 i 0.6).

Kretanje količine *enterokoka* za lokaciju TU04 u rasponu je od 0.5 do 2.05 (iskošeno u desno). Prosječna količina *enterokoka* na toj lokaciji iznosi 1.308. 25 % opservacija manje je od 1.05, a 25% je veće od 1.7. Ispod donjeg ruba brkova nalaze se tri opservacije koje se označavaju kao stršila (količina *enterokoka* 0.48, 0.6 i 0.7).

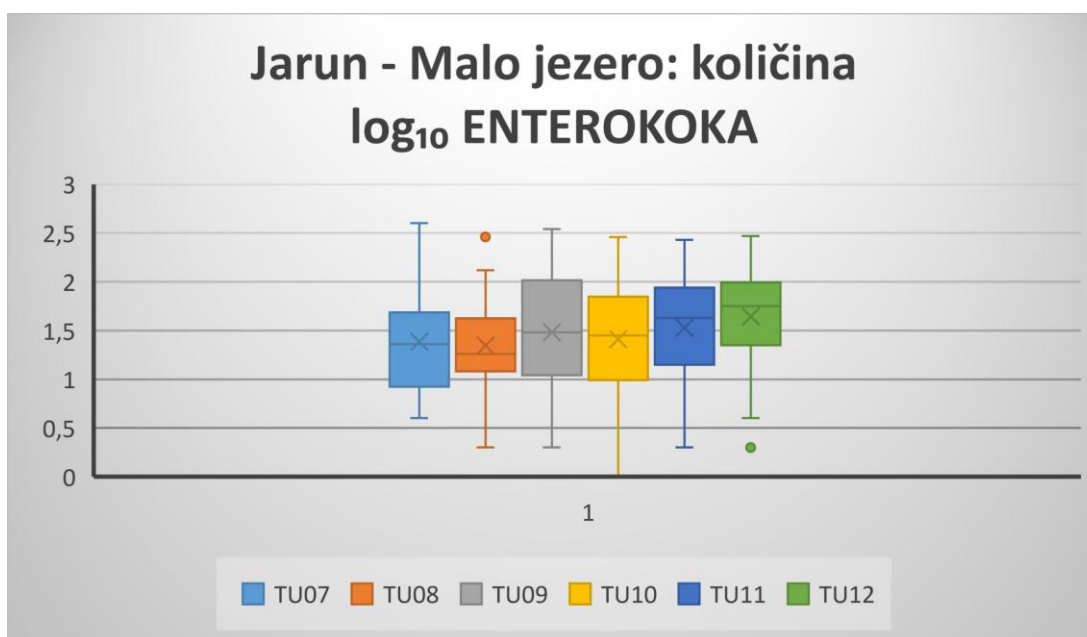
Distribucija za lokaciju TU05 na Velikom jezeru Jarun kreće se u rasponu od 0.3 do 2.35, distribucija je blago iskošena u desno. 25% opservacija manje je od 0.9, a 25% je

veće od 1.7. U prosjeku količina *enterokoka* na lokaciji TU05 je 1.274. Ispod donjeg ruba brkova nalazi se jedna opservacija koja se označava kao stršilo (količina *enterokoka* 0.3).

Raspon količine *enterokoka* na lokaciji TU06 u rasponu je od 0.3 do 2.6. U prosjeku količina *enterokoka* na lokaciji TU06 je 1.491. 25% opservacija manje je od 1.2, a 25% je veće od 2. Ispod donjeg ruba brkova nalaze se tri opservacije koje se označavaju kao stršila (dvije količine *enterokoka* s vrijednošću 0.3 i 0.7).

Raspon varijacije unutar koje se nalazi srednjih 50% razdiobe najveći je za lokaciju TU06, a najmanji za lokaciju TU02.

Na Malom jezeru (Jarun) tijekom tri godine za svaku točku uzorkovanja (TU07, TU08, TU09, TU10, TU11, TU12) uzelo se je 25 uzoraka, odnosno 150 uzoraka ukupno. Količine su prikazane na *slici 31* kutijastim dijagramom.



Slika 31. Kutijasti dijagram za količinu *E. coli* na Malom jezeru (Jarun)

Na *slici 31* prikazano je kretanje vrijednosti količine *enterokoka*. Količina *enterokoka* na lokaciji TU07 u rasponu od 0.6 do 2.6, distribucija je iskošena u lijevo. Prosječna vrijednost *enterokoka* na lokaciji TU07 iznosi 1.386. 25% opservacija manje je od 0.9, a 25% je veće od 1.7. Na ovoj lokaciji stršila ne postoje.

Distribucija za lokaciju TU08 na Malom jezeru, Jarun kreće se u rasponu od 0.3 do 2.1, distribucija je iskošena u desno. 25 % opservacija manje je od 1.1, a 25 % je veće od

1.6. U prosjeku količina *enterokoka* na lokaciji TU08 je 1.347. Ispod donjeg ruba brkova nalaze se dvije opservacije koja se označavaju kao stršila (količina *enterokoka* iznosi 0.3 i 0.48), iznad gornjeg ruba brkova nalazi se jedna opservacija (količina *enterokoka* 2.46).

Vrijednost *enterokoka* na lokaciji TU09 kreće se između 0.3 i 2.55. Distribucija je blago iskošena u desnu stranu. Postotak od 25 % opservacija manje je od 1.05, dok je drugih 25% veće od 2. Prosječna vrijednost količine *enterokoka* iznosi 1.480. Ispod donjeg ruba brkova nalazi se jedna opservacija označena kao stršilo (količina *enterokoka* 0.3).

Na lokaciji TU10 rasponu količine *enterokoka* kreće se u vrijednostima od 0 do 2.49, distribucija je blago iskošena u lijevo. 25% opservacija manje je od 1, a 25 % je veće od 1.9. U prosjeku količina *enterokoka* na lokaciji TU10 je 1.411. Ispod donjeg ruba brkova nalazi se jedna opservacija koja se označava kao stršilo (količina *enterokoka* iznosi 0).

Raspon vrijednosti količine *enterokoka* na lokaciju TU11 je u rasponu od 0.3 do 2.4. Prosječna vrijednost količine *enterokoka* iznosi 1,528. 25 % opservacija manje je od 1.1, a 25% je veće od 1.9. Na lokaciji TU11 postoji jedna opservacija označena kao stršilo (količina *enterokoka*: 0.3).

Lokacija označena kao TU12 distribuirana u rasponu od 0.6 do 2.45. Distribucija je iskošena u lijevu stranu. Ispod donjeg ruba brkova nalaze se tri opservacije (količina *enterokoka* 0.3, 0.6 i 0.85). 25 % opservacija manje je od 1.35, a 25% je veće od 2. Prosječna vrijednost količine *enterokoka* je 1.641.

Raspon varijacije unutar koje se nalazi srednjih 50% razdiobe najveći je za lokaciju TU09, a najmanji za lokaciju TU08.

Jednofaktorska analiza varijance provedena je kako bi se istražilo postoji li razlika u razini prisutnosti bakterije *crijevnog enterokoka* s obzirom na točke uzorkovanja. U tablici 13 prikaza je ovisnost mikrobioloških pokazatelja *crijevnog enterokoka* o točkama uzorkovanja na jezeru Bunde. Ovisnost za sve točke uzorkovanja računala se je statističkom metodom jednofaktorske analize varijance ili ANOVE.

Tablica 13. Ovisnost aritmetičke sredine o točkama uzorkovanja uzetim na jezeru Budek

<i>Izvor rasipanja</i>	<i>Broj stupnjeva slobode</i>	<i>Zbroj kvadrata odstupanja</i>	<i>Korigirana varijanca</i>	<i>Vrijednost test-statistike</i>	<i>P vrijednost</i>	<i>Kritična vrijednost test-statistike</i>
<i>Razlika među nizovima</i>	2	1,008	0,504	1,415	0,250	3,124
<i>Slučajna greška</i>	72	25,639	0,356			
<i>Ukupno</i>	74	26,647				

P vrijednost prikazana u *tablici 13* izračunata statističkom metodom analize varijance iznosi $p = 0.250$. P vrijednost je veća od razine značajnosti α (0.05). To ukazuje da ne postoji statistički značajna razlika između srednjih vrijednosti zavisne varijable s obzirom na tri ispitane lokacije.

Iako postoji razlika u razini odstupanja između točaka uzorkovanja, ne postoji statistički značajna razlika u odstupanju razine prisutnosti bakterije *crijevnog enterokoka* s obzirom na točke uzorkovanja. U tablice je prikazana kritična vrijednost test – statistike koja iznosi 3.124. Ona je manja od vrijednosti test – statistike (1.415), te se prema pravilima jednofaktorske analize varijance pretpostavka prihvaća što znači da aritmetička sredina količine *crijevnog enterokoka* ne ovisi o lokaciji uzorkovanja.

U *tablici 14* prikaza je ovisnost mikrobioloških pokazatelja *crijevnog enterokoka* o točkama uzorkovanja na jezeru Jarun (Veliko jezero).

Tablica 14. Ovisnost aritmetičke sredine o točkama uzorkovanja uzetim na jezeru Jarun (Veliko jezero)

<i>Izvor rasipanja</i>	<i>Broj stupnjeva slobode</i>	<i>Zbroj kvadrata odstupanja</i>	<i>Korigirana varijanca</i>	<i>Vrijednost test-statistike</i>	<i>P vrijednost</i>	<i>Kritična vrijednost test-statistike</i>
<i>Razlika među nizovima</i>	5	1,565	0,313	1,083	0,372	2,277
<i>Slučajna greška</i>	144	41,627	0,289			
<i>Ukupno</i>	149	43,192				

Vjerojatnost odbacivanja istinite tvrdnje (p vrijednost) izračunata u *tablici 14* iznosi $p = 0.372$ što je veće od 0.05 koliko iznosi razina značajnosti. Postoji statistički značajna razlika između srednjih vrijednosti zavisne varijable s obzirom na šest točaka uzorkovanja.

Iako postoji razlika u razini odstupanja između točaka uzorkovanja, ne postoji statistički značajna razlika u odstupanju razine prisutnosti bakterije *crijevnog enterokoka* s obzirom na točke uzorkovanja. U *tablici 14* prikazana je kritična vrijednost test – statistike (2.277). Ona je veća od vrijednosti test – statistike (1.083), te se ponovno prema pravilima jednofaktorske analize varijance pretpostavka prihvaća, to jest ne postoji ovisnost aritmetičke sredine i lokacije uzorkovanja.

U *tablici 15* prikaza je ovisnost mikrobioloških pokazatelja *crijevnog enterokoka* o točkama uzorkovanja na jezeru Jarun (Malo jezero).

Tablica 15. Ovisnost aritmetičke sredine o točkama uzorkovanja uzetim na jezeru Jarun (Malo jezero)

<i>Izvor rasipanja</i>	<i>Broj stupnjeva slobode</i>	<i>Zbroj kvadrata odstupanja</i>	<i>Korigirana varijanca</i>	<i>Vrijednost test-statistike</i>	<i>P vrijednost</i>	<i>Kritična vrijednost test-statistike</i>
<i>Razlika među nizovima</i>	5	1,452	0,290	1,032	0,401	2,277
<i>Slučajna greška</i>	144	40,532	0,281			
<i>Ukupno</i>	149	41,984				

Vjerojatnost odbacivanja nulte pretpostavke prikazana u *tablici 15* iznosi $p = 0.401 > \alpha (0.05)$, što znači da ne postoji statistički značajna razlika između srednjih vrijednosti zavisne varijable s obzirom na šest točaka uzorkovanja. Iako razlika u razini odstupanja između točaka uzorkovanja postoji, ne postoji statistički značajna razlika u odstupanju razine prisutnosti bakterije *crijevnog enterokoka* s obzirom na točke uzorkovanja. Iz tablice je vidljivo da je kritična vrijednost test – statistike (2.277) manja od vrijednosti test – statistike (1.032), pa ponovno barem jedna točka uzorkovanja ne ovisi o aritmetičkoj sredini količine *crijevnog enterokoka*.

Kada bi se uspoređivale vrijednost odbacivanja istinite nulte hipoteze (p vrijednosti) za tri točke uzorkovanja za dvije zavise varijable (bakterija *E. coli* i *crijevni enterokok*) na istoj lokaciji, u prvom slučaju jezero Bunde, zaključuje se da iako kod obje varijable ne postoji statistički značajna razlika, ona je nešto veća kod bakterije *E. coli* ($p_{E.Coli} = 0.256 > p_{enterokok} = 0.250$). Srednja vrijednost rezultata u grupama uzoraka za bakteriju *E. coli* na lokaciji Bunde više se razlikuje nego za bakteriju *crijevnog enterokoka*.

Također, kada bi bile uspoređivane vrijednost odbacivanja istinite nulte hipoteze (p vrijednosti) za dvije zavise varijable (bakterija *E. coli* i *crijevni enterokok*) na Velikom jezeru Jarun, zaključuje se da kod obje varijable ne postoji statistički značajna razlika, ona je u ovom slučaju nešto veća za bakteriju *crijevnog enterokoka* ($p_{E.Coli} = 0.135 < p_{enterokok} = 0.372$).

Kada bi se uspoređivale p vrijednosti za šest točaka uzorkovanja za dvije zavise varijable (bakterija *E. coli* i *crijevni enterokok*) na Malom jezeru Jarun, zaključuje se da iako kod obje varijable ne postoji statistički značajna razlika, ali je neznatno veća za bakteriju *crijevnog enterokoka* ($p_{E.coli} = 0.135 < p_{enterokok} = 0.401$).

Promatrajući trogodišnju razinu *crijevnog enterokoka* na ispitivanim lokacijama utvrđeno je da u nijednoj godini ne postoji statistički značajna razlika između dobivenih vrijednosti količina *enterokoka*. Pomoću ANOVE utvrđeno je da vrijednosti aritmetičkih sredina količine *enterokoka* uzorkovane tijekom tri godine ne ovise o lokacijama na kojima su uzimane. Razlozi zbog kojih se to događa su brojni. Najčešće na to utječu promjene temperatura, količine kiša i slično. Primjerice, visoke temperature pogoduju razvoju većeg broja bakterija pa se na određenoj lokaciji količina bakterija u vrlo kratkom vremenu može udvostručiti. Tijekom kišnog razdoblja dolazi do razrjeđenja bakterija na nekoj lokaciji u vodi. Tijekom vjetera bakterije se kreću i premještaju na druge lokacije (primjerice na lokacije gdje je vjerojatnost pojave bakterija jako mala).

6. ZAKLJUČAK

Kakvoća vode podrazumijeva mjerenje prikladnosti vode za određene namjene na temelju odabranih fizikalnih, kemijskih, bioloških te mikrobioloških pokazatelja. Kako bi se utvrdila kakvoća vode potrebno je mjerenje i analiza karakteristika vode (temperatura, otopljeni minerali, količina bakterija). Neki od pokazatelja kao na primjer temperatura, kiselost (pH), otopljeni kisik i električna vodljivost određuju se izravno na terenu, dok se analize ostalih pokazatelja uglavnom obavljaju u laboratoriju. Kakvoća vode pratila se je i na poznatim zagrebačkim jezerima Jarunu i Bundeku koji su okupljalište velikog broja Zagrepčana. Uzorkovanje se je provodilo u razdoblju od tri godine. Za analizu je odabrano ukupno devetnaest lokacija, od toga tri na jezeru Bundek i šesnaest na jezeru Jarun s kojih su se od travnja do rujna uzimali uzorci i odnosili u laboratorij na analizu kako bi se utvrdilo da li su u vodi prisutne bakterije *E. coli* i *crijevni enterokoki* te ako jesu u kojim je to količinama. *E. coli* i *crijevni enterokoki* su bakterije prisutne u crijevima ljudi i životinja koje u vodu dospijevaju ispuštanjem septičkih jama ili od životinjskog otpada. Pomoću rezultata dobivenih uzorkovanjem vode određena je ovisnost mikrobioloških parametara (*E. coli* i *crijevnih enterokoka*) o točkama uzorkovanja. Ovisnost se je određivala pomoću statističkog postupka analize varijance (ANOVA). Analizom varijance utvrđeno je da vrijednost aritmetičke sredine količine *E. coli* i *crijevnog enterokoka* ne ovisi o točkama uzimanja uzoraka. Dakle, ako je neka lokacija izravno izložena velikom broju bakterija, a druga nije, zbog raznih čimbenika kao što su vjetar, kiša, temperaturne razlike, tok vode i slično postoji vjerojatnost da će bakterije kretanjem dospjeti na tu lokaciju i rasprostraniti se čime ona postaje onečišćena i neupotrebljiva za rekreacijske i druge aktivnosti. Da bi se voda u jezerima održala čistom i mogla koristiti za rekreacijske aktivnosti neophodno je stalno praćenje kakvoće vode, odnosno praćenje mikrobioloških parametara. Posebice se to odnosi na razdoblje kada traje kupališna sezona, te na tim lokacijama boravi veliki broj ljudi. O rezultatima analize potrebno je redovito obavještavati javnost. U slučaju povećane količine bakterija ili nekog drugog onečišćenja u vodi, plaža se mora zatvoriti do daljnjega i pokušati otkriti izvor zbog kojeg je do toga došlo.

7. LITERATURA

1. Mayer, D. *Voda, od nastanka do upotrebe*. Zagreb: Prosvjeta; 2004
2. Sewell, H. G. *Environmental Quality Menagement*. New York: Prentice – Hall Inc. VIII – 311; 1977.
3. Mayer, D. *Mogućnost zagađenja vodonosnih slojeva kao posljedica hidrodinamičkih značajki na području Save u SR Hrvatskoj*. Zagreb: Sveučilište u Zagrebu; 1980
4. Štrkalj, A. *Onečišćenje i zaštita voda*. Sisak: Metalurški fakultet. Sveučilište u Zagrebu; 2014.
5. Tedeschi, S. *Zaštita voda*. Zagreb: Hrvatsko društvo građevinskih inženjera. (1997).
6. Uredba o standardu kakvoće voda (NN 73/13, 51/14 i 78/15)
7. Benšić, M., Šuvak, N. (2013): *Primijenjena statistika*. Osijek: Sveučilište J. J. Strossmayer, Odjela za matematiku.;2013.
8. Pauše, Ž. *Uvod u matematički statistiku*, Zagreb: Školska knjiga, 1993.
9. Petz, B. *Osnovne statističke metode za nematematičare*. 6. izdanje. Zagreb: Naklada slap; 2006.
10. Bubić, A. *Osnove statistike u društvenim i obrazovnim znanostima*. Split: Filozofski fakultet, Sveučilište u Splitu; 2015.
11. Landau, S., and Everitt, B. *A Handbook of Statistical Analyses using SPSS*. Washington D.C.: Chapman & Hall/CRC Press LLC; (2004.)
12. Zagreb-Službena stranica grada Zagreba, BundeK, dostupno na:
<http://www.zagreb.hr/default.aspx?id=34185> (14.2.2017.)
13. Ustanova Upravljanje sportskim objektima, Objekti, Jerun – Sportsko rekreacijski centar BundeK, dostupno na:
<http://www.sportskiobjekti.hr/default.aspx?id=122> (14.2.2017.)
14. Nastavni zavod za javno zdravstvo dr. Andrija Štampar, Rezultati ispitivanja kakvoće vode za kupanje tijekom sezone kupanja, dostupno na:
<http://www.stampar.hr/hr/kakvoce-voda-za-kupanje> (18.2.2017.)
15. Planiraj–Jarun, Zagreb, dostupno na:
<http://www.planiraj.com/component/k2/109-poznata-turisticka-mjesta/jarun.html> (18.2.2017.)

16. Povijest Jaruna, dostupno na:
http://atlas.geog.pmf.unizg.hr/gkp/jarun_pirc/povijest.html (18.2.2017.)
17. Sartorius. *Microbiological Testing of Foods, Beverages and Pharmaceuticals*. Germany: Sartorius AG; 2015.
18. Kalenić, S., Mlinarić – Missoni E. *Medicinska bakteriologija i mikologija*; Zagreb: Merkur A. B. D.; 2001.
19. Pliva zdravlje – Escherichia coli, dostupno na:
<http://www.plivazdravlje.hr/aktualno/clanak/20356/Entero-hemoragicna-Escherichia-coli.html> (13.4.2017.)
20. Johnson T, E. *Coli in our lakes: What does it really mean?* Dostupno na:
<HTTPS://WWW.HEALTHTALK.UMN.EDU/2014/08/11/MEANING-OF-E-COLI-IN-LAKES/> (13.4.2017.)
21. Sampson W., Swiatnicki S., McDermott C. M., McDermott, C., Kleinheinz G. *E. coli at Lake Superior Recreational Beaches*. Volume 31. Issue 1. 2005. pp. 116-121.
22. Rompre, A., Servais, P., Baudart, J., de Roubin, M.R., Laurent, P. *Detection and enumeration of coliforms in drinking water: current methods and emerging approaches*; 2002. 47, pp. 31-54.
23. Plan upravljanja vodnim područjima 2016. – 2021.
24. Shematski prikaz klasifikacije stanja površinskih voda; Dostupno na:
<http://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/dodatni/426969.pdf>, (17.4.2017.)
25. The volume of freshwater resources on Earth; Dostupno na:
<http://www.unwater.org/statistics/statistics-detail/en/c/211801/>, (15.5.2017.)
26. Kakvoća vode: Uzorkovanje za mikrobiološku analizu (ISO 19458:2006)
27. Institut Ruđer Bošković - Uzorkovanje vode, dostupno na:
<https://www.irb.hr/Istrazivanje/Zavodi/Zavod-za-istrazivanje-mora-i-okolisa/>
28. Zaštita cijevi i uređaja od kamenca Zagreb. Dostupno na:
<http://www.vodoinstalater-zg.com/kamenac.aspx>
29. Petrokemija Kutina – Mineralna gnojiva. Dostupno na:
<http://www.petrokemija.hr/Temeljnjedjelatnosti/Mineralnagnojiva.aspx>

8. POPIS SLIKA

Slika 1. Izvori onečišćenja vode [1]

Slika 2. Imhoffov stožac za mjerenje raspršenih tvari u vodi [5]

Slika 3. Turbidimetar za mjerenje mutnoće vode [5]

Slika 4. Voda onečišćena otpadnim tvarima [5]

Slika 5. Termometar za mjerenje temperature vode [5]

Slika 6. Lakmus papir za mjerenje pH vrijednosti [5]

Slika 7. Talog na cijevima [28]

Slika 8. Filter kupaonske miješalice: a) onečišćen kamencom i nečistoćama iz vodovoda b)čisti [28]

Slika 9. Tvari za poboljšanje rasta usjeva [29]

Slika 10. Bakterija *Escherichiae coli* [19]

Slika 11. Bakterija *crijevni enterokoki* [19]

Slika 12.Elementi ocjene ekološkog stanja jezera[6]

Slika 13.Shematski prikaz klasifikacije stanja površinskih voda [24]

Slika 14. Histogram [7]

Slika 15. Kružni dijagram [7]

Slika 16. Stupićasti dijagram [7]

Slika 17. Pravokutni (kutijasti) dijagram [7]

Slika 18. Jezero Bundek [13]

Slika 19. Jezero Jarun [15]

Slika 20. Mjesta uzorkovanja na jezeru Bundek [14]

Slika 21. Jezero Jarun s označenim točkama uzimanja uzoraka [14]

Slika 22. Uzorkovanje vode [27]

Slika 23. Mikrotitarska ploča s jažicama [26]

Slika 24. a) Grafički prikaz vrijednosti količine *Escherichiae coli* uzetih na devetnaest lokacija 2014. godine

b) Grafički prikaz vrijednosti količine *Escherichiae coli* uzetih na devetnaest lokacija 2015. godine

c) Grafički prikaz vrijednosti količine *Escherichiae coli* uzetih na devetnaest lokacija 2016. godine

Slika 25. a) Grafički prikaz vrijednosti količine *crijevnog enterokoka* uzetih na devetnaest lokacija 2014. godine

b) Grafički prikaz vrijednosti količine *crijevnog enterokoka* uzetih na devetnaest lokacija 2015. godine

c) Grafički prikaz vrijednosti količine *crijevnog enterokoka* uzetih na devetnaest lokacija 2016. godine

Slika 26. Kutijasti dijagram količine *E. coli* na jezeru Bunde

Slika 27. Kutijasti dijagram količine *E. coli* na Velikom jezeru (Jarun)

Slika 28. Kutijasti dijagram količine *E. coli* na Malom jezeru (Jarun)

Slika 29. Kutijasti dijagram za količinu *crijevnog enterokoka* na jezeru Bunde

Slika 30. Kutijasti dijagram za količinu *crijevnog enterokoka* na Velikom jezeru (Jarun)

Slika 31. Kutijasti dijagram za količinu *E. coli* na Malom jezeru (Jarun)

9. POPIS TABLICA

Tablica 1. Standardi kakvoće za ocjenu kemijskog stanja površinskih voda – prioritetne tvari [2]

Tablica 2. Opći oblik ANOVA tablice za jednofaktorski model analize varijance [8]

Tablica 3. Datumi uzorkovanja na lokacijama B1, B2 i B3 u razdoblju od 2014. do 2016. godine

Tablica 4. Datumi uzorkovanja na lokacijama TU 01 – TU 16 u razdoblju od 2014. do 2016. godine

Tablica 5. Preporučeno i prihvatljivo vrijeme čuvanja uzoraka prije analize [26]

Tablica 6. Raspon detekcije za mikroorganizme prisutne u vodi za kupanje [26]

Tablica 7. Raspon detekcije za mikroorganizme prisutne u vodi za kupanje [26]

Tablica 8. Vrijednosti aritmetičke sredine količine *E. coli* na jezeru Bunde, Veliko i Malo jezero Jarun

Tablica 9. Vrijednosti aritmetičke sredine količine *crijevnog enterokoka* na jezeru Bunde te Velikom i Malom jezeru Jarun

Tablica 10. Ovisnost aritmetičke sredine o točkama uzorkovanja uzetim na jezeru Bunde

Tablica 11. Ovisnost aritmetičke sredine o točkama uzorkovanja uzetim na jezeru Jarun (Veliko jezero)

Tablica 12. Ovisnost aritmetičke sredine o točkama uzorkovanja uzetim na jezeru Jarun (Malo jezero)

Tablica 13. Ovisnost aritmetičke sredine o točkama uzorkovanja uzetim na jezeru Bunde

Tablica 14. Ovisnost aritmetičke sredine o točkama uzorkovanja uzetim na jezeru Jarun (Veliko jezero)

Tablica 15. Ovisnost aritmetičke sredine o točkama uzorkovanja uzetim na jezeru Jarun (Malo jezero)

10. PRILOG

Vrijednosti $F_{rs}^{-1}(p)$. (F_{rs} – f.r.v. za F-razdiobu sa (r, s) stupnjeva slobode.)

$p = 0.95$		r																	
s	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20	24	30	40	60	120	∞
1	161,4	199,5	215,7	224,6	230,2	234,0	236,8	238,9	240,5	241,9	243,9	245,9	248,0	249,1	250,1	251,1	252,2	253,3	254,3
2	18,51	19,00	19,16	19,25	19,30	19,33	19,35	19,37	19,38	19,40	19,41	19,43	19,45	19,45	19,46	19,47	19,48	19,49	19,50
3	10,13	9,55	9,28	9,12	9,01	8,94	8,89	8,85	8,81	8,79	8,74	8,70	8,66	8,64	8,62	8,59	8,57	8,55	8,53
4	7,71	6,94	6,59	6,39	6,26	6,16	6,09	6,04	6,00	5,96	5,91	5,86	5,80	5,77	5,75	5,72	5,69	5,66	5,63
5	6,61	5,79	5,41	5,19	5,05	4,95	4,88	4,82	4,77	4,74	4,68	4,62	4,56	4,53	4,50	4,46	4,43	4,40	4,36
6	5,99	5,14	4,76	4,53	4,39	4,28	4,21	4,15	4,10	4,06	4,00	3,94	3,87	3,84	3,81	3,77	3,74	3,70	3,67
7	5,59	4,74	4,35	4,12	3,97	3,87	3,79	3,73	3,68	3,64	3,57	3,51	3,44	3,41	3,38	3,34	3,30	3,27	3,23
8	5,32	4,46	4,07	3,84	3,69	3,58	3,50	3,44	3,39	3,35	3,28	3,22	3,15	3,12	3,08	3,04	3,01	2,97	2,93
9	5,12	4,26	3,86	3,63	3,48	3,37	3,29	3,23	3,18	3,14	3,07	3,01	2,94	2,90	2,86	2,83	2,79	2,75	2,71
10	4,96	4,10	3,71	3,48	3,33	3,22	3,14	3,07	3,02	2,98	2,91	2,85	2,77	2,74	2,70	2,66	2,62	2,58	2,54
11	4,84	3,98	3,59	3,36	3,20	3,09	3,01	2,95	2,90	2,85	2,79	2,72	2,65	2,61	2,57	2,53	2,49	2,45	2,40
12	4,75	3,89	3,49	3,26	3,11	3,00	2,91	2,85	2,80	2,75	2,69	2,62	2,54	2,51	2,47	2,43	2,38	2,34	2,30
13	4,67	3,81	3,41	3,18	3,03	2,92	2,83	2,77	2,71	2,67	2,60	2,53	2,46	2,42	2,38	2,34	2,30	2,25	2,21
14	4,60	3,74	3,34	3,11	2,96	2,85	2,76	2,70	2,65	2,60	2,53	2,46	2,39	2,35	2,31	2,27	2,22	2,18	2,13
15	4,54	3,68	3,29	3,06	2,90	2,79	2,71	2,64	2,59	2,54	2,48	2,40	2,33	2,29	2,25	2,20	2,16	2,11	2,07
16	4,49	3,63	3,24	3,01	2,85	2,74	2,66	2,59	2,54	2,49	2,42	2,35	2,28	2,24	2,19	2,15	2,11	2,06	2,01
17	4,45	3,59	3,20	2,96	2,81	2,70	2,61	2,55	2,49	2,45	2,38	2,31	2,23	2,19	2,15	2,10	2,06	2,01	1,96
18	4,41	3,55	3,16	2,93	2,77	2,66	2,58	2,51	2,46	2,41	2,34	2,27	2,19	2,15	2,11	2,06	2,02	1,97	1,92
19	4,38	3,52	3,13	2,90	2,74	2,63	2,54	2,48	2,42	2,38	2,31	2,23	2,16	2,11	2,07	2,03	1,98	1,93	1,88
20	4,35	3,49	3,10	2,87	2,71	2,60	2,51	2,45	2,39	2,35	2,28	2,20	2,12	2,08	2,04	1,99	1,95	1,90	1,84
21	4,32	3,47	3,07	2,84	2,68	2,57	2,49	2,42	2,37	2,32	2,25	2,18	2,10	2,05	2,01	1,96	1,92	1,87	1,81
22	4,30	3,44	3,05	2,82	2,66	2,55	2,46	2,40	2,34	2,30	2,23	2,15	2,07	2,03	1,98	1,94	1,89	1,84	1,78
23	4,28	3,42	3,03	2,80	2,64	2,53	2,44	2,37	2,32	2,27	2,20	2,13	2,05	2,01	1,96	1,91	1,86	1,81	1,76
24	4,26	3,40	3,01	2,78	2,62	2,51	2,42	2,36	2,30	2,25	2,18	2,11	2,03	1,98	1,94	1,89	1,84	1,79	1,73
25	4,24	3,39	2,99	2,76	2,60	2,49	2,40	2,34	2,28	2,24	2,16	2,09	2,01	1,96	1,92	1,87	1,82	1,77	1,71
26	4,23	3,37	2,98	2,74	2,59	2,47	2,39	2,32	2,27	2,22	2,15	2,07	1,99	1,95	1,90	1,85	1,80	1,75	1,69
27	4,21	3,35	2,96	2,73	2,57	2,46	2,37	2,31	2,25	2,20	2,13	2,06	1,97	1,93	1,88	1,84	1,79	1,73	1,67
28	4,20	3,34	2,95	2,71	2,56	2,45	2,36	2,29	2,24	2,19	2,12	2,04	1,96	1,91	1,87	1,82	1,77	1,71	1,65
29	4,18	3,33	2,93	2,70	2,55	2,43	2,35	2,28	2,22	2,18	2,10	2,03	1,94	1,90	1,85	1,81	1,75	1,70	1,64
30	4,17	3,32	2,92	2,69	2,53	2,42	2,33	2,27	2,21	2,16	2,09	2,01	1,93	1,89	1,84	1,79	1,74	1,68	1,62
40	4,08	3,23	2,84	2,61	2,45	2,34	2,25	2,18	2,12	2,08	2,00	1,92	1,84	1,79	1,74	1,69	1,64	1,58	1,51
60	4,00	3,15	2,76	2,53	2,37	2,25	2,17	2,10	2,04	1,99	1,92	1,84	1,75	1,70	1,65	1,59	1,53	1,47	1,39
120	3,92	3,07	2,68	2,45	2,29	2,17	2,09	2,02	1,96	1,91	1,83	1,75	1,66	1,61	1,55	1,50	1,43	1,35	1,25
∞	3,84	3,00	2,60	2,37	2,21	2,10	2,01	1,94	1,88	1,83	1,75	1,67	1,57	1,52	1,46	1,39	1,32	1,22	1,00

TABLICA VII. (nastavak)

s	r																	∞
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20	24	30	40	60	120
1	4052	4999,5	5403	5625	5764	5859	5928	5981	6022	6056	6106	6157	6209	6235	6261	6287	6313	6339
2	98,50	99,00	99,17	99,25	99,30	99,33	99,36	99,37	99,39	99,40	99,42	99,43	99,45	99,46	99,47	99,48	99,49	99,50
3	34,12	30,82	29,46	28,71	28,24	27,91	27,67	27,49	27,35	27,23	27,05	26,87	26,69	26,60	26,50	26,41	26,32	26,22
4	21,20	18,00	16,69	15,98	15,52	15,21	14,98	14,80	14,66	14,55	14,37	14,20	14,02	13,93	13,84	13,75	13,65	13,56
5	16,26	13,27	12,06	11,39	10,97	10,46	10,46	10,29	10,16	10,05	9,89	9,72	9,55	9,47	9,38	9,29	9,20	9,11
6	13,75	10,92	9,78	9,15	8,75	8,47	8,26	8,10	7,98	7,87	7,72	7,56	7,40	7,31	7,23	7,14	7,06	6,97
7	12,25	9,55	8,45	7,85	7,46	7,19	6,99	6,84	6,72	6,62	6,47	6,31	6,16	6,07	5,99	5,91	5,82	5,74
8	11,26	8,65	7,59	7,01	6,63	6,37	6,18	6,03	5,91	5,81	5,67	5,52	5,36	5,28	5,20	5,12	5,03	4,95
9	10,56	8,02	6,99	6,42	6,06	5,80	5,61	5,47	5,35	5,26	5,11	4,96	4,81	4,73	4,65	4,57	4,48	4,40
10	10,04	7,56	6,55	5,99	5,64	5,39	5,20	5,06	4,94	4,85	4,71	4,56	4,41	4,33	4,25	4,17	4,08	4,00
11	9,66	7,21	6,22	5,67	5,32	5,07	4,89	4,74	4,63	4,54	4,40	4,25	4,10	4,02	3,94	3,86	3,78	3,69
12	9,33	6,93	5,95	5,41	5,06	4,82	4,64	4,50	4,39	4,30	4,16	4,01	3,86	3,78	3,70	3,62	3,54	3,45
13	9,07	6,70	5,74	5,21	4,86	4,62	4,44	4,30	4,19	4,10	3,96	3,82	3,66	3,59	3,51	3,43	3,34	3,25
14	8,86	6,51	5,56	5,04	4,69	4,46	4,28	4,14	4,03	3,94	3,80	3,66	3,51	3,43	3,35	3,27	3,18	3,09
15	8,68	6,36	5,42	4,89	4,56	4,32	4,14	4,00	3,89	3,80	3,67	3,52	3,37	3,29	3,21	3,13	3,05	2,96
16	8,53	6,23	5,29	4,77	4,44	4,20	4,03	3,89	3,78	3,69	3,55	3,41	3,26	3,18	3,10	3,02	2,93	2,84
17	8,40	6,11	5,18	4,67	4,34	4,10	3,93	3,79	3,68	3,59	3,46	3,31	3,16	3,08	3,00	2,92	2,83	2,75
18	8,29	6,01	5,09	4,58	4,25	4,01	3,84	3,71	3,60	3,51	3,37	3,23	3,08	3,00	2,92	2,84	2,75	2,66
19	8,18	5,93	5,01	4,50	4,17	3,94	3,77	3,63	3,52	3,43	3,30	3,15	3,00	2,92	2,84	2,76	2,67	2,58
20	8,10	5,85	4,94	4,43	4,10	3,87	3,70	3,56	3,46	3,37	3,23	3,09	2,94	2,86	2,78	2,69	2,61	2,52
21	8,02	5,78	4,87	4,37	4,04	3,81	3,64	3,51	3,40	3,31	3,17	3,03	2,88	2,80	2,72	2,64	2,55	2,46
22	7,95	5,72	4,82	4,31	3,99	3,76	3,59	3,45	3,35	3,26	3,12	2,98	2,83	2,75	2,67	2,58	2,50	2,40
23	7,88	5,66	4,76	4,26	3,94	3,71	3,54	3,41	3,30	3,21	3,07	2,93	2,78	2,70	2,62	2,54	2,45	2,35
24	7,82	5,61	4,72	4,22	3,90	3,67	3,50	3,36	3,26	3,17	3,03	2,89	2,74	2,66	2,58	2,49	2,40	2,31
25	7,77	5,57	4,68	4,18	3,85	3,63	3,46	3,32	3,22	3,13	2,99	2,85	2,70	2,62	2,54	2,45	2,36	2,27
26	7,72	5,53	4,64	4,14	3,82	3,59	3,42	3,29	3,18	3,09	2,96	2,81	2,66	2,58	2,50	2,42	2,33	2,23
27	7,68	5,49	4,60	4,11	3,78	3,56	3,39	3,26	3,15	3,06	2,93	2,78	2,63	2,55	2,47	2,38	2,29	2,20
28	7,64	5,45	4,57	4,07	3,75	3,53	3,36	3,23	3,12	3,03	2,90	2,75	2,60	2,52	2,44	2,35	2,26	2,17
29	7,60	5,42	4,54	4,04	3,73	3,50	3,33	3,20	3,09	3,00	2,87	2,73	2,57	2,49	2,41	2,33	2,23	2,14
30	7,56	5,39	4,51	4,02	3,70	3,47	3,30	3,17	3,07	2,98	2,84	2,70	2,55	2,47	2,39	2,30	2,21	2,11
40	7,31	5,18	4,31	3,83	3,51	3,29	3,12	2,99	2,89	2,80	2,66	2,52	2,37	2,29	2,20	2,11	2,02	1,92
60	7,08	4,98	4,13	3,65	3,34	3,12	2,95	2,82	2,72	2,63	2,50	2,35	2,20	2,12	2,03	1,94	1,84	1,73
120	6,85	4,79	3,95	3,48	3,17	2,96	2,79	2,66	2,56	2,47	2,34	2,19	2,03	1,95	1,86	1,76	1,66	1,53
∞	6,63	4,61	3,78	3,32	3,02	2,80	2,64	2,51	2,41	2,32	2,18	2,04	1,88	1,79	1,70	1,59	1,47	1,32