

# UTJECAJ PROMETA NA KONCENTRACIJE LEBDEĆIH ČESTICA (PM 2.5) U NACIONALNOM PARKU PLITVIČKA JEZERA

---

**Franjković, Jelena**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2020**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Rijeka, Faculty of Medicine / Sveučilište u Rijeci, Medicinski fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:184:755629>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-02-18**



*Repository / Repozitorij:*

[Repository of the University of Rijeka, Faculty of Medicine - FMRI Repository](#)



SVEUČILIŠTE U RIJECI  
MEDICINSKI FAKULTET  
DIPLOMSKI SVEUČILIŠNI STUDIJ  
SANITARNOG INŽENJERSTVA

Jelena Franjković

UTJECAJ PROMETA NA KONCENTRACIJE LEBDEĆIH ČESTICA ( $PM_{2.5}$ )  
U NACIONALNOM PARKU PLITVIČKA JEZERA

Diplomski rad

Rijeka, 2020. godina

UNIVERSITY OF RIJEKA  
MEDICAL FACULTY  
GRADUATE UNIVERSITY STUDY OF  
SANITARY ENGINEERING

Jelena Franjković

TRAFFIC IMPACT ON PARTICULATE MATTER 2.5 CONCENTRATIONS  
IN THE PLITVICE LAKES NATIONAL PARK

Graduate thesis

Rijeka, 2020.

Mentor rada: Doc.dr.sc. Željko Linšak dipl.sanit.ing

Diplomski rad obranjen je dana 15.07.2020. u Rijeci, na Medicinskom fakultetu Sveučilišta u Rijeci na Studiju sanitarnog inženjerstva, pred povjerenstvom u sastavu:

1. izv.prof.dr.sc. Aleksandar Bulog, dipl.sanit.ing,
2. izv.prof.dr.sc. Sandra Pavičić Žeželj, dipl.sanit.ing.
3. doc.dr.sc. Željko Linšak, dipl.sanit.ing.

Rad sadrži 38 stranica, 12 slika, 5 tablica, 31 literaturni navod.

# SADRŽAJ

1.	UVOD.....	1
1.1.	Onečišćenje zraka.....	1
1.1.1.	Lebdeće čestice .....	3
1.1.2.	Utjecaj lebdećih čestica na zdravlje .....	4
1.1.3.	Utjecaj lebdećih čestica na okoliš .....	5
1.1.4.	Promet.....	6
1.2.	Nacionalni park Plitvička jezera .....	8
1.2.1.	Prostorni položaj i opće karakteristike Parka .....	9
1.2.2.	Sedra i sedrotvorni organizmi.....	10
1.2.3.	Zoniranje Nacionalnog parka Plitvička jezera .....	12
1.2.4.	Flora i fauna .....	14
1.2.5.	Prometni sustav .....	15
2.	CILJ RADA.....	18
3.	MATERIJALI I METODE .....	19
3.1.	Mjerenje koncentracije lebdećih čestica PM 2,5.....	20
3.2.	Brojanje prometa.....	22
4.	REZULTATI.....	23
4.1.	Koncentracije lebdećih čestica (PM 2,5) u NP Plitvička jezera .....	23
4.2.	Promet.....	25
5.	RASPRAVA.....	27
6.	ZAKLJUČAK.....	30
7.	SAŽETAK.....	31
8.	SUMMARY.....	32
9.	LITERATURA .....	33
11.	ŽIVOTOPIS .....	38

# 1. UVOD

Nacionalni parkovi spadaju u zaštićena područja od državnog značaja te imaju znanstvenu, kulturnu, odgojno-obrazovnu i rekreativnu namjenu (1). Plitvička jezera su naš najveći i najstariji Nacionalni park, koji svojim impresivnim prirodnim ljepotama privlači mnoge posjetitelje iz cijelog svijeta (2). Zbog stalnog porasta broja posjetitelja (dvostruko povećanje u zadnjih 10 godina) i tranzitnog prometa državnim cestama koje prolaze kroz Park, dolazi do prometnog pritiska u neposrednoj blizini samih jezera i ulaznih recepcija (2,3). Promet, a osobito cestovni, jedan je od najznačajnijih izvora stalne emisije onečišćenja u okolni zrak, tlo i vodu. Onečišćenja izazvana prometom utječu na zdravlje ljudi, uzrokuju trajne fizičke promijene krajolika te narušavaju prirodne uvjete biljnih i životinjskih zajednica. Uz ostale onečišćivače, prometom se emitiraju i lebdeće čestice (PM) različite veličine i sastava koje imaju negativan utjecaj na zdravlje ljudi i kvalitetu okoliša (4,5).

## 1.1. Onečišćenje zraka

Disanje je neophodan proces kako za ljude tako i za čitav život na Zemlji (6). Zdravlje ljudi je u neposrednoj vezi sa zdravljem okoliša, stoga je čist zrak temeljna pretpostavka za ljudsko blagostanje i kvalitetu života (7,8). Zrak loše kvalitete narušava zdravlje ljudi i zdravlje okoliša, uzrokujući i gospodarske gubitke.

Atmosfera je dinamični, plinoviti omotač našeg planeta kojeg čine slojevi različite gustoće plinova. S obzirom na temperaturu zraka može se podijeliti na nekoliko slojeva, od kojih je najniži troposfera. Troposfera je prizemni sloj koji se proteže od 7 do 17 kilometara u visinu i u njoj žive biljke i životinje. Nošen vjetrom, zrak putuje oko planeta, a promjenom visine mijenja se gustoća i kemijski sastav zraka. Osnovne tvari u suhom zraku su: dušik (78%), kisik (21%), argona (1%), plinovi u tragovima (ugljični dioksid, metan itd.) te čestice (čada, metali

itd.). Sastav zraka se neprestano mijenja jer su neke tvari u zraku vrlo reaktivne te, uz toplinu kao katalizator, s drugim tvarima tvore nove tvari pa u zraku nalazimo širok spektar raznih spojeva (6).

Zakonom o zaštiti zraka (NN 127/19) je onečišćeni zrak definiran kao zrak koji svojom kvalitetom može ugroziti zdravlje ljudi, kvalitetu življenja i/ili štetno djelovati na okoliš (9). Izvori onečišćenja zraka mog biti prirodni i antropogeni. Prirodni izvori onečišćenja u zraku su: vulkanski pepeo i plinovi, plinovi šumskih požara, pustinjska prašina nošena vjeterom i drugi prirodni fenomeni. Pokretni i nepokretni izvori emisije spadaju u onečišćenja uzrokovana čovjekovim djelovanjem, odnosno u antropogene izvore (8,9). Pokretnim izvorima onečišćenja pripadaju prijevozna sredstva, kao što su: automobili, plovila, željeznička vozila, zrakoplovi i necestovni mobilni strojevi. U nepokretnim izvorima onečišćenja spadaju točkasti i difuzni izvori. Točkastim se izvorima onečišćivač ispušta oblikovanim ispuštima u zrak, kao što je slučaj u tehnološkim procesima, industrijskim pogonima, uređajima i zgradama, dok difuzni izvori nemaju ispuste i u njih ubrajamo određene djelatnosti, površine i slično (9).

Bez obzira na vrstu izvora, onečišćujuće tvari u zraku moguće je svrstati u plinove (ugljikovi oksidi, sumporovi oksidi, dušikovi oksidi, ozon itd.), lebdeće čestice, radioaktivne tvari, metale i polumetale, organske onečišćivače (PCB, PCDD, PCDF itd.), otpadnu toplinu i ostalo (8). Od navedenih, lebdeće čestice i ozon se danas najviše ističu jer se smatraju izuzetno opasnim onečišćivačima koji smanjuju trajanje života i utječu na njegovu kvalitetu (6,8).

Zakon o zaštiti zraka (NN 127/19) temeljni je dokument kojim se, između ostalog, određuje praćenje i procjenjivanje kvalitete zraka, a iz kojeg proistječu svi ostali podzakonski akti. Za ovaj rad bitno je navesti Pravilnik o praćenju kvalitete zraka (NN 79/17) i Uredbu o razinama onečišćujućih tvari u zraku (NN 117/12) kojom se definiraju granične (GV) i ciljne vrijednosti (CV) za svaki pojedinačni onečišćivač u zraku. Granična vrijednost (GV) je razina onečišćenosti koju treba dostići u zadanom periodu ispod koje, temeljem znanstvenih saznanja,

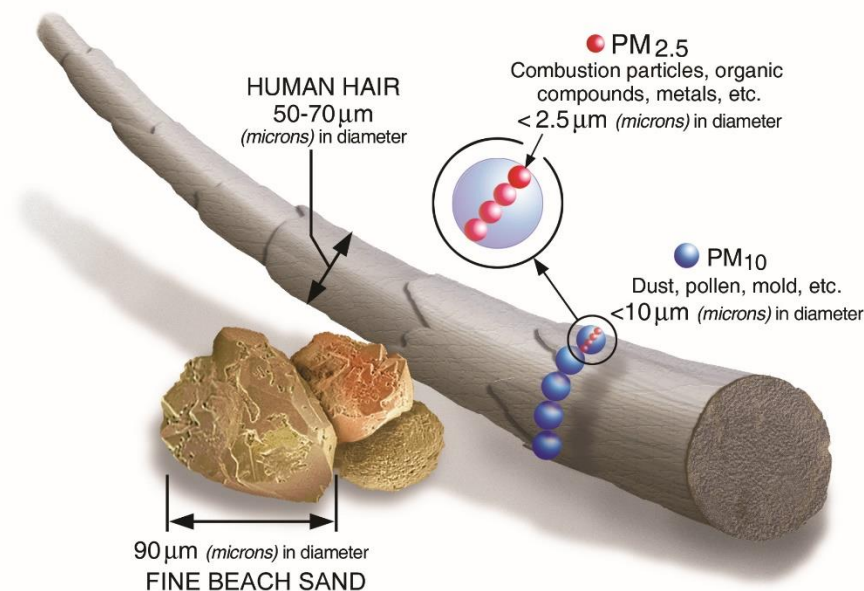
rizik od štetnih utjecaja na zdravlje ljudi i/ili okoliš u cijelosti ne postoji ili je minimalan i jednom kada je postignuta, ne smije se prekoračiti. Ciljna vrijednost (CV) je razina onečišćenosti koju je poželjno dostići u zadanom periodu, a koja se određuje da se izbjegne, spriječi ili minimalizira štetan utjecaja na zdravlje ljudi i/ili okoliš u cijelosti (9).

### **1.1.1. Lebdeće čestice**

Lebdeće čestice se sastoje od složen, heterogene mješavine krutih i tekućih komponenti čiji se sastav (raspodjela veličina čestica, kemijske karakteristike) mijenja u vremenu i prostoru, a ovisi o emisijskim izvorima te atmosferskim i vremenskim uvjetima (10,11). Neke od njih su primarni onečišćivači jer se izravno otpuštaju u atmosferu, a druge se iz prekursora, poput sumporovog dioksida, dušičnih oksida, amonijak i hlapljivih organskih spojeva, formiraju u atmosferi pa ih nazivamo sekundarnim onečišćivačima (6,8). Primarne lebdeće čestice i njihovi prekursori mogu biti prirodnog i antropogenog podrijetla. Antropogeni izvori uključuju sagorijevanje motornih goriva ( dizel i benzin), izgaranje krutih goriva (ugljena, lignita, teške nafte i biomase) za proizvodnju energije u domaćinstvima i industriji, ostale industrijske aktivnosti (građevinarstvo, rudarstvo, proizvodnja cementa, keramike i opeke, i topljenje) i eroziju kolnika i abrazije kočnica i guma. Izvori prekursora lebdećih čestica dušičnih oksida su uglavnom promet i određeni industrijski procesi, a sumporovog dioksida izgaranje goriva koje sadrži sumpor. Atmosfersko resuspendiranje tla i prašine također je izvor lebdećih čestica, posebno u sušnim područjima ili u epizodama transporta prašine na velike udaljenosti, na primjer, od Sahare do južne Europe (10). Ovisno o klimatskim i topografskim uvjetima, fine lebdeće čestice mogu ostati u zraku danima i mjesecima, a mogu se prenositi tisućama kilometara od izvora dovodeći do miješanja gradskog i ruralnog onečišćenja (12). Sastav čestica se mijenja ovisno o klimatskim uvjetima, njihovoj veličini, starosti i izvoru (5). Kemijski spojevi koji se mogu naći u lebdećim česticama su: teški metali (arsen, kadmij, živa, nikal),



nitriti, sulfati, organski spojevi i anorganski ioni poput iona natrija, kalija, kalcija, magnezija i klorida (5,6,10). Osim navedenog, lebdeće čestice mogu sadržavati i biološke komponente poput alergena i mikroba (10). S obzirom na veličinu, lebdeće se čestice dijele na grube čestice čiji je aerodinamički promjer manji od  $10\ \mu\text{m}$  ( $\text{PM}_{10}$ ) i čestice promjera manjeg od  $2,5\ \mu\text{m}$  ( $\text{PM}_{2,5}$ ), koje se još zovu fine čestice (8,10). U posljednje vrijeme sve veću pažnju privlače ultrafine čestice (UF) čiji je promjer manji od  $0,1\ \mu\text{m}$ , a za koje ne postoje epidemiološki podaci o odnosu izloženosti i odgovora pa se njihove koncentracije u zraku još uvijek zakonski ne reguliraju, iako postoje značajni toksikološki dokazi o potencijalnim štetnim učincima (7). Raspon veličina lebdećih čestica prikazan je na slici 1.



Slika 1. Raspon veličina lebdećih čestica

Izvor: <https://www.epa.gov/pm-pollution/particulate-matter-pm-basics#PM>

### 1.1.2. Utjecaj lebdećih čestica na zdravlje

Sastav i veličina čestica izravno su povezani sa njihovim utjecajem na zdravlje ljudi i kvalitetu okoliša (5). Veće lebdeće čestice se nakon udisaja uglavnom zaustavljaju na dlačicama i sluznicama gornjeg dišnog sustava, čestice od nekoliko mikrometara se talože na stjenkama

bronhija, dok sitne, fine čestice (PM<sub>2.5</sub>) imaju sposobnost prodiranja do donjih dišnih puteva odnosno do alveola (8). Raspon zdravstvenih učinaka lebdećih čestica je širok, a najviše su pogođeni dišni i kardiovaskularni sustav (7). Istraživanjima Svjetske zdravstvene organizacije dokazano je da dugoročna izloženost finim česticama može izazvati aterosklerozu, neželjen ishod trudnoće i respiratorni morbiditet kod djece, dokazana je i veza između izloženosti finim česticama i smrti uzrokovanih bolestima dišnih puteva (6). Smatra se da izloženost PM<sub>2.5</sub> u prosjeku smanjuje očekivani životni vijek stanovništva za oko 8,6 mjeseci. Najosjetljivije su skupine sa već postojećim plućnim ili srčanim bolestima, starije osobe i djeca. Trenutno nema dokaza o sigurnoj razini izloženosti ili pragu ispod kojeg se ne javljaju štetni zdravstveni učinci, kao ni identificiranih razlika u učinku čestica različitog kemijskog sastava ili različitog izvora. Međutim, dokazi o opasnosti lebdećih čestica čiji je izvor izgaranje iz mobilnih i stacionarnih izvora su najdosljedniji (10).

### **1.1.3. Utjecaj lebdećih čestica na okoliš**

Lebdeće čestice, izuzev zdravlja ljudi, negativnu utječu i na okoliš. Izloženost određenoj koncentraciji lebdećih čestica, ovisno o njihovom sastavu, može dovesti do raznih fitotoksičnih reakcija. Kod biljaka koje su izložene lebdećim česticama zabilježeno je smanjenje rasta, prinosa, cvjetanja i reprodukcije (12). Lebdeće čestice na površini listova mogu izazvati abraziju, smanjiti protok fotosintetskih aktivnih protona do tkiva i povećati temperaturu listova zbog promijenjenih površinskih optičkih svojstava (12,13). Kiseli i alkalni spojevi mogu uzrokovati ozljede listova, a neki se spojevi mogu prenijeti preko kutikule u biljku. Značajni su i neizravni učinci lebdećih čestica kroz rizosferu jer mogu mijenjati kruženje hranjivih tvari, posebno dušika, i inhibirati unos hranjivih tvari u biljku (12).

Jedan od čestih sastojaka finih lebdećih čestica je ugljik, prisutan u obliku elementnog (EC), organskog (OC) i karbonatnog (CC) ugljika (5,6). Elementni ugljik je adsorbens velike

specifične površine na koju se pričvršćuju razni onečišćujući plinovi i čestice iz zraka koje često imaju kancerogena i mutagena svojstva. Organski ugljik je jedna od frakcija organske tvari u zraku koja sadrži na stotine raznih organskih spojeva, topivih ili netopivih u vodi. Izvori ugljika u zraku su nepotpuno izgaranje fosilnih goriva i biomase, kao i šumski požari i vulkanske erupcije (14). Ugljik upija toplinu Sunca i zagrijava atmosferu te tako, osim štetnog utjecaja na zdravlje, doprinosi i globalnim klimatskim promjenama (6,14).

U sastav finih lebdećih čestica često ulaze i sulfati i nitrati koji mokrim taloženjem mogu utjecati na sastav i kvalitetu vode, te na smanjenje brzine rasta sedrenih barijera, kao i na njihovo otapanje i uništavanje (15,16).

#### **1.1.4. Promet**

Promet, a osobito cestovni, jedan je od najznačajnijih izvora stalne emisije onečišćenja u okolni zrak, tlo i vodu. Onečišćenja izazvana prometom utječu na zdravlje ljudi, uzrokuju trajne fizičke promijene krajolika te narušavaju prirodne uvjete biljnih i životinjskih zajednica. Onečišćujuće tvari lokalno rezultiraju pojavom smoga, na nivou regije pojavom kiselih kiša, a na globalnom nivou klimatskim promjenama (4).

Emisije iz cestovnog prometa sastoje se od čestičnih (PM) i plinovitih komponenti, a aktivni ugljikovi spojevi prisutni su u obje faze (17). Ispušni plinovi sadrže preko pet stotina različitih organskih i anorganskih tvari, a neki od njih su dušikovi oksidi, ugljikov monoksid, ugljikovodici, sumporov dioksid itd (4).

Emisije lebdećih čestica iz prometa na cestama mogu se podijeliti u dvije različite skupine:

(1) primarne i sekundarne čestice ispušnih plinova motora (uključujući isparavanje goriva);

(2) primarne i sekundarne čestice nastale trošenjem obloga kočnica, guma i ceste.

Čestice iz ispušnih plinova dizelskih i benzinskih motora sastoje se uglavnom od elementarnog ugljika, organskog materijala, anorganskih soli i tragova metalnih spojeva. Topive organske frakcije čestica sadrže uglavnom policikličke aromatske ugljikovodike, heterocikličke spojeve, fenole i druge derivate koji sadrže kisik i dušik. Vrsta i stanje motora, sastav goriva i aditiva, radni uvjeti i uređaji za kontrolu emisije uvjetuju sastav i količinu emitiranih čestica iz motora. Čestice koje se ispuštaju iz Ottovih motora razlikuju se od čestica ispušnih plinova Dizelskih motora po svojoj raspodjeli veličina, površinskim svojstvima i kemijskom sastavu. Dizelski motori emitiraju veće koncentracije lebdećih čestica i NO<sub>x</sub> u odnosu na benzinske automobile. Važne razlike između benzina i dizela odnose se i na njihov utjecaj na stvaranje sekundarnih organskih i anorganskih spojeva, pa tako benzin više doprinosi stvaranju sekundarnog organskog aerosola.

Osim iz ispušne cijevi, lebdeće čestice se emitiraju i trošenjem obloga kočnica, guma i kolnika. Istraživanja o emisiji iz toga izvora još uvijek su dosta ograničena, ali poznato je da na emisije takvih čestica najviše utječu meteorološki uvjeti kao što su oborine, vlaga na cestama, vjetar, suša itd. Utemeljeno je i da lebdeće čestice nastale trošenjem kočnica i guma često sadrže toksične anorganske i organske spojeve, kao i teške metale poput željeza, bakra, barij i antimon (17).

Uz onečišćenje zraka, promet degradira okoliš bukom i vibracijama, a otjecanjem površinske vode sa kolnika može doći do onečišćenja vodnih tokova, jezera i podzemnih voda (18).

## **1.2. Nacionalni park Plitvička jezera**

Prema Zakonu o zaštiti prirode zaštićenim dijelovima prirode pripadaju zaštićena područja, zaštićene vrste te zaštićeni minerali i fosili. Zaštićeno područje je područje jasno određenih geografskih granica koje je namijenjeno zaštititi prirode i kojim se upravlja zbog dugoročnog očuvanja prirode i pratećih usluga ekološkog sustava. Kategorije zaštićenih područja su: spomenici parkovne arhitekture, park-šume, značajni krajobrazi, spomenici prirode, regionalni parkovi, parkovi prirode, posebni rezervati, nacionalni parkovi i strogi rezervati. Nacionalni park je prostorno, najvećim dijelom nepromijenjeno kopneno i/ili morsko područje izuzetnih i višestrukih prirodnih vrijednosti koje uključuje jedan ili više očuvanih ili neznatno promijenjenih ekosustava, a primarna mu je namijenjena očuvanje izvornih prirodnih i krajobraznih vrijednosti. Nacionalni parkovi spadaju u zaštićena područja od državnog značaja koja uz znanstvenu, imaju i kulturnu, odgojno-obrazovnu i rekreativnu funkciju. Nacionalni parkovi i parkovi prirodi se zakonom proglašavaju od strane Hrvatskog sabora, a uredbom Vlade osnivaju se javne ustanove koje upravljaju parkovima. Javne ustanove u cilju zaštite i očuvanja prirode vrše djelatnost održavanja i promicanja zaštićenog područja, osiguravanja nesmetanog odvijanja procesa u prirodi i održive uporabe prirodnih dobara, nadziru provođenje mjera zaštite prirode te učestvuju u monitoring stanja prirode.

Prema podacima iz Upisnika zaštićenih područja trenutno je u Republici Hrvatskoj zaštićeno 8,61% njene površine podijeljene u 409 zaštićenih područja (19).

Nacionalni park Plitvička jezera (slika) najveći je i najstariji nacionalni park u Republici Hrvatskoj. Plitvička jezera svojom iznimnom prirodnom ljepotom predstavljaju neprocjenjivu nacionalnu vrijednost te je još prije više od 70 godina, točnije 08. travnja 1949. godine, došlo do proglašenja toga područja nacionalnim parkom (2,20). Park je, prvenstveno radi neporemećenog nastajanja sedre, koja oblikuje hidrološki sustav i čitavi krajobraz, prepoznat i izvan nacionalnih okvira te ga je 1979. godine Organizacija Ujedinjenih naroda za obrazovanje,

znanost i kulturu (eng. UNESCO) uvrstila na Listu svjetske prirodne baštine (3,21). Osim toga Park je Uredbom o ekološkoj mreži uvršten na Natura 2000 područje značajno na razini Europske unije te je proglašen (POP) Područjem očuvanja koje je značajno za ptice i (POVS) Područjem očuvanja koje je značajno za vrste i stanišne tipove (2).



Slika 2. Plitvička jezera

Izvor: Plan upravljanja Nacionalnim parkom Plitvička jezera 2019. – 2028.

### **1.2.1. Prostorni položaj i opće karakteristike Parka**

Plitvička jezera smještena su u gorskoj Hrvatskoj, između masiva Mala Kapela na sjeverozapadu i planine Lička Plješevica na jugoistoku, na prosječnoj nadmorskoj visini od oko

600 metara (21). Administrativno se park nalazi na području dvije županije - najvećim dijelom (91%) u Ličko - senjskoj županije te manjim dijelom (9%) u Karlovačkoj županiji. Popisom stanovništva 2011. godine utvrđeno je da na području Parka živi 1411 ljudi u 20 naselja, a s obzirom na negativne demografske trendove, taj je broj danas još manji.

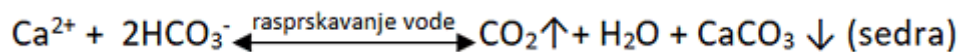
Šume su površinom najzastupljeniji ekosustav koji prekriva 81% površine parka, ostatak čine travnjačke površine udjelom od 15 %, zatim površine značajnije izmijenjene antropogenim djelovanjem (3%), a vodene površine, po kojima Park i je najpoznatiji, zauzimaju tek oko 1% ukupne površine (2). Park obuhvaća šesnaest jezera koja se kaskadno prelijevaju preko sedrenih barijera s visinskom razlikom od 134 metra od prvog do posljednjeg jezera. Jezera se dijele na Gornja (12 jezera), koja su formirana na slabije propusnim dolomitima i Donja (4 jezera), formirana u vapnenačkom kanjonu sa strmim obalama (2,21). Oko 89% volumena vode u Parku pripada jezeru Kozjak i Prošćanskom jezeru koja se nalaze na Gornjim jezerima. Najznačajniji stalni hidrološki izvori vode koji snabdijevaju površinske tokove jesu Bijela i Crna rijeka (koje se združuju u rijeku Maticu) te izvor potoka Plitvica (2). Na području Plitvičkih jezera prevladava umjereno topla vlažna klima s toplim ljetima, dok na područjima iznad 1200 metara nadmorske visine prevladava vlažna snježno - šumska klima. Prosječna godišnja temperatura zraka iznosi 9,4 °C. Prosječna godišnja količina oborina iznosi 1592 ± 371 mm što pokazuje visok stupanj promjenjivosti oborina. Najveće količine kiše padnu u proljeće i jesen, dok snijeg uglavnom pada od studenog do ožujka. Prosječna relativna vlažnost zraka iznosi 77,5%, s nižim vrijednostima od proljeća do ljeta, a višim zimi (2,22).

### **1.2.2. Sedra i sedrotvorni organizmi**

Sedra je porozna, šupljikava stijena koja uz pomoć mahovina, bakterija i algi nastaje taloženjem kalcijevog karbonata koji je otopljen u vodi (23). Proces stalnog i neprekinutog stvaranja fitogene sedre na Plitvičkim jezerima ono je što ih čini iznimno vrijednim i specifičnim

svjetskim fenomenom (3). Proces osedranja moguće je pratiti u daleku geološku prošlost, a s obzirom da je topla i vlažna klima jedan od uvjeta za isti, može se procijeniti da su aktivne sedrene barijere u današnjim vodotocima nastale poslije zadnjeg ledenog doba, odnosno prije 6 do 7 tisuća godina. Međutim, postoje i ostatci sedrenih barijera na području kanjona Korane, čija je starost procijenjena na 300 tisuća godina (2,21). Biodinamičkim procesom osedranja nastaju i rastu sedrene barijere, rastom barijera podiže se i razina vode što dovodi do stvaranje kaskadnog jezerskog sustava i brojnih slapova – najvažnijih krajobraznih pojava u Parku (2,24). Sam procesa osedranja vrlo je kompliciran i nije u potpunosti razjašnjen, no potvrđeno je da je zbog krške podloge (vapnenca i dolomita) Plitvička voda prezasićena kalcijevim karbonatom što dovodi do taloženja kalcita u obliku sitnih kristala na brzacima i sedrenim barijerama (2,21).

Kemijska formula taloženja sedre:



Za proces osedranja neophodni su razni fizičko - kemijski, klimatski i biološki preduvjeti.

Glavni fizičko - kemijski uvjeti koji moraju biti ispunjeni za proces osedranja :

1. povišene koncentracije otopljenog kalcijevog karbonata u vodi (indeks zasićenja veći od 3)
2. bazična pH vrijednost (> 8,0)
3. niska koncentracija otopljene organske tvari u vodi (< 10 mg/L ugljika )

Biogeni element procesa osedranja predstavlja životna zajednica koja raste na kamenju i sedrotvornim mahovinama, a koju čine modrozeleno alge (Cyanobacteria), alge kremenjašice (Diatomeae), bakterije te jednostanični i višestanični organizmi (2,23). Ovi mikroorganizmi izlučuju galertu - ljepljivu tvar na bazi polisaharida na koju se „ljepe“ mikro kristali kalcijeva



karbonata (kalcita) koji se talože i na sebe nakupljaju ljušturice i skeletne mikroorganizme dovodeći tako do nastanka sedrene makrostrukture. Najčešća mahovina koja sudjeluje u stvaranju sedri je *Cratoneuron commutatum*, koja im, uz druge mikro i makrofite ličinke kukaca i beskralježnjake, daje i oblik (2,21). Taloženje jezerskog sedimenta dovodi do smanjivanja dubine jezera, odnosno do njihovog zatrpavanja. Međutim, brzina rasta sedrenih barijera je i do 17 puta veća od brzine taloženja jezerskog sedimenta, što rezultira porastom vodostaja na svim jezerima (25). Zahvaljujući dinamici rasta i eroziji sedrenih barijera, Plitvička su jezera podložna stalnim promjenama kroz prošlost, a i danas. Nije neuobičajena ni pojava pucanja dijelova sedrenih barijera kao posljedica visokih voda s jakim protocima što dovodi do promijene toka vode i morfoloških svojstava jezera i sedrenih barijera (2).

### **1.2.3. Zoniranje Nacionalnog parka Plitvička jezera**

U zaštićenom je području vrlo važno utjecati na aktivnosti, odnosno upravljati ljudskim djelatnostima jer se samim proglašenjem zaštićenog područja ne postiže očuvanje vrijednosti istih (19). Upravljanje zaštićenim područjem postiže se planom upravljanja kojeg sukladno Zakonu o zaštiti prirode donosi upravno vijeće nadležne javne ustanove. Planom upravljanja određuju se ciljevi upravljanja, način postizanja ciljeva i procjena uspješnosti upravljanja (1). Planom je izrađena upravljačka zonacija kojom su unutar Parka određene 3 glavne zone, uz dodatne podzone zaštite. Upravljačke zone i podzone prikazane su u tablici 1.

Zona stroge zaštite (Zona I) čini 80,73% površine Parka, obuhvaća područja za čiju zaštitu nije potrebno primjenjivati aktivne mjere upravljanja jer obilježja i stanje očuvanosti staništa nisu izmijenjeni antropogenim djelovanjem. Dopuštene aktivnosti u ovoj zoni su istraživanje, praćenje, nadzor, limitirano posjećivanje te intervencije u hitnim slučajevima. Zona stroge zaštite podijeljena je na dvije podzone - Podzonu bez posjećivanja (IA) te Podzonu s ograničenim posjećivanjima (IB).

Zona umjerene zaštite (Zona II) zauzima 17,12 % površine Parka i obuhvaća područja u kojima je došlo do promjena u ekosustavima zbog antropogenog djelovanja pa je potrebno aktivno upravljati tim područjem. Aktivnosti koje su dopuštene u ovoj zoni su: ispaša ili košnja travnatih površina, sječa stabala koja smetaju te održavanje lokvi. Posjećivanje je također dopušteno, ali uz pridržavanje zakonskih odredbi. Zona II podijeljena je 3 podzone: Podzona Vodeni ekosustavi (IIA), Podzona Travnjaci i cretovi (IIB) i Podzona Kulturni krajobraz (IIC) (2,3).

Zona korištenja (Zona III) zauzima najmanji udio u površini Parka (2,15%), podijeljena je u 4 podzone sukladno područjima koje obuhvaća, a to su: naseljena područja, prometne ceste, šetnice za posjetitelje i ugostiteljski objekti. U ovim je područjima priroda značajno izmijenjena korištenjem višeg ili nižeg intenziteta stoga je cilj upravljanja ovim područjem održivost prisutnog i planiranog korištenja (2).

Tablica 1. Zone i podzone u NP Plitvička jezera

Zona	Podzona	Površina (ha)	Udio u površini Parka u %	
I	Zona stroge zaštite	IA Bez posjećivanja	3 986,9	13,4
		IB S ograničenim posjećivanjem	19 934,8	67,3
		<b>Ukupno Zona I</b>	<b>23 921,7</b>	<b>80,7</b>
II	Zona usmjerene zaštite	IIA Vodeni ekosustavi	278,3	0,9
		IIB Travnjaci i cretovi	4 384,5	14,8
		IIC Kulturni krajobraz	405	1,4
		<b>Ukupno Zona II</b>	<b>5 067,8</b>	<b>17,1</b>
III	Zona korištenja	IIIA Područja naselja	375,6	1,3
		IIIB Prometnice	115,3	0,4
		IIIC Izgrađena područja s uslugama za posjetitelje	79,3	0,3
		IIID Staze, putevi i pristaništa kojima upravlja JU	71,1	0,2
		<b>Ukupno Zona III</b>	<b>641,3</b>	<b>2,2</b>
<b>Sveukupno</b>		<b>29 630,8</b>	<b>100,0</b>	

Izvor: Plan upravljanja Nacionalnim parkom Plitvička jezera 2019. – 2028.

#### 1.2.4. Flora i fauna

Pored geomorfoloških i geoloških vrijednosti, Plitvička se jezera mogu pohvaliti i raznolikom florom i faunom, uključujući endemske vrste i zdrave populacije ugroženih vrsta (3). Na području Plitvica registrirano je čak 30% svih biljnih vrsta koje su zabilježene u Hrvatskoj, to čini oko 1400 vaskularnih biljnih vrsta i podvrsta (2). Broj endemičnih svojti koje su zabilježene u Parku iznosi 75 (2,3). Postotak florističkih vrsta i podvrsta koje su strogo zaštićene je oko 5 %, od čega je više od 60 vrsta orhideja (23). Osim toga, Park je, u Hrvatskoj i na području jugoistočne Europe, jedino nalazište nekih iznimno zanimljivih, kritično ugroženih vrsta (3,23). Takvom bogatstvu vrsta pridonose geografski položaj, geološka i hidrološka obilježja, ekološki procesi i klimatske prilike u Parku (3). Šume zauzimaju oko  $\frac{3}{4}$  površine Parka. Na području Nacionalnog parka najzastupljenije su šume obične bukve (*Fagus sylvatica*) i obične jele (*Abies alba*), a prisutne su i vrste poput vrba, crnih joha, crnog graba, smreke, običnog bora itd (23). Na području Parka nalazi se i prašuma Čorkova uvala. Svrstava se u sekundarne prašume s posrednim utjecajem čovjeka, bez utjecaja na značajke izvornosti. Zbog očuvanja prirodne baštine, biološke raznolikosti i potencijalne genetske raznolikosti Čorkova je uvala 1965. godine proglašena posebnim rezervatom šumske vegetacije. Šume čine zaštitni pojas oko jezera, imaju važnu ulogu u sprječavanju nastanka erozije tla, pročišćavanju oborinske vode i zrak, utječu na klimatske i hidrološke prilike te su staništa brojnim biljnim i životinjskim vrstama stoga zauzimaju važno mjesto u zaštiti prirode (2,3).

Zahvaljujući raznolikosti i očuvanosti staništa, Park se može pohvaliti bogatim životinjskim svijetom s brojnim rijetkim i ugroženim vrstama koje su važne za očuvanje bioraznolikosti. Od 50 vrsta sisavaca većinu (22 vrste) čine šišmiši, a prisutne su i velike strogo zaštićene i na globalnom nivou ugrožene zvijeri - ris (*Lynx lynx*) prikazan na slici 3, medvjed (*Ursus arctos*) i vuk (*Canis lupus*). Zabilježeno je i desetak vrsta gmazova, vodozemaca i riba, preko 150 vrsta ptica, kao i par stotina vrsta kukaca i leptira (2).

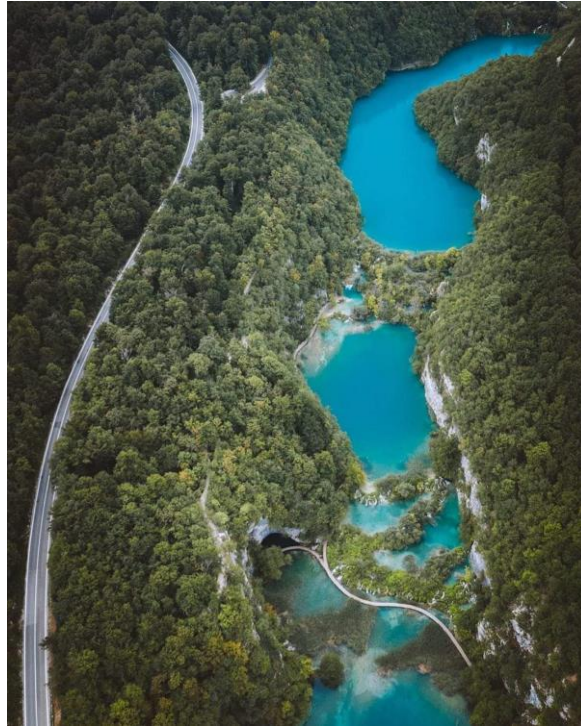


Slika 3. Ris (*Lynx lynx*) u Nacionalnom parku Plitvička jezera

Izvor: <https://np-plitvicka-jezera.hr/prirodna-i-kulturna-bastina/prirodna-bastina/fauna/>

### **1.2.5. Prometni sustav**

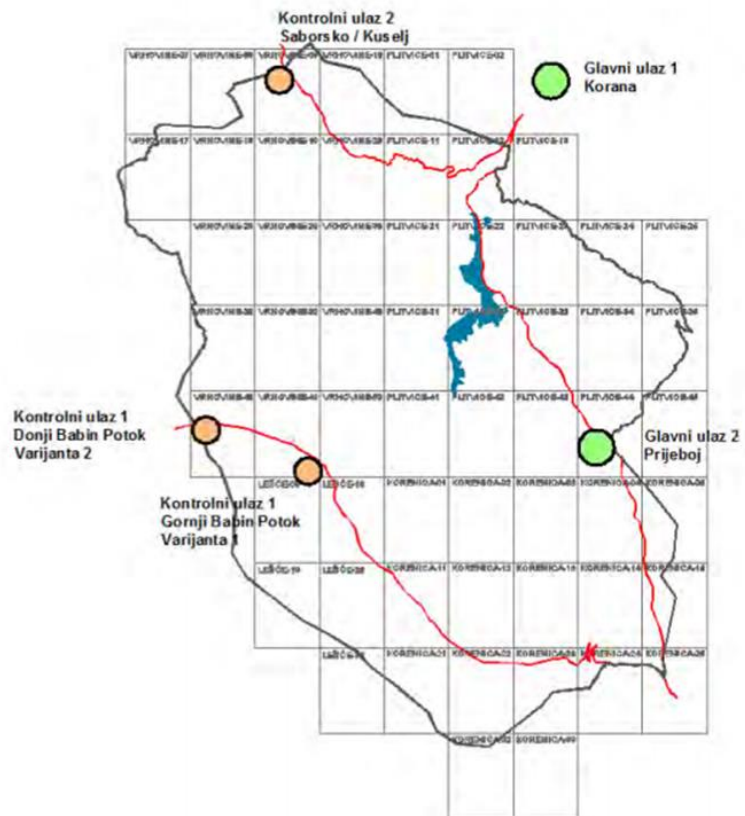
Nacionalni se park nalazi uz državnu cestu D429/D1 (Zagreb – Split) između Slunja i Korenice. Kroz područje Nacionalnog parka također prolaze državne ceste D42 (dionica Kuselj – Poljanak - Korana), D504 (dionica Ličko Petrovo Selo - Prijeboj), D52 (dionica Donji Babin Potok – Homoljac - Vrelo Koreničko). Zbog stalnog porasta broja posjetitelja (dvostruko povećanje u zadnjih 10 godina) i tranzitnog prometa državnim cestama koji nije povezan sa posjećivanjem parka dolazi do prometnog pritiska u neposrednoj blizini samih jezera i ulaznih recepcija (2,3). Državnom cestom D52, koja se nalazi uz slivno područje Crne i Bijele rijeke, i dalje prometuju opasna i teška teretna vozila. Promet na cesti koja povezuje Plitvica Selo i Veliki slap ugrožava stabilnost sedrenih barijera, posebice tijekom ljetnih razdoblja kada je povećano posjećivanje Parka. Državna cesta D1 se nalazi u neposrednoj blizini jezera (slika 4), a intenzivan promet dovodi do mnogih negativnih učinaka kao što su onečišćenje zraka i vode, buka, uznemiravanje i stradavanje divlje faune i sl (3).



Slika 4. Udaljenost državne ceste D1 i Donjih jezera

Izvor: <https://www.facebook.com/plitviceblog>

Iz tog se razloga Prostornim planom Područja posebnih obilježja Nacionalnog parka „Plitvička jezera“ određuje trasa obilaznice na dionici Grabovac - Ličko Petrovo Selo - Prijeboj te trasiranje nove dionice državne ceste D42 Saborsko - Rakovica. Na ovim bi se dionicama realizirale nove glavne ulazne recepcije u Park u mjestima Grabovca i Prijeboja, kao i kontrolni ulazi u mjestima Kuselja i Gornjeg/Donjeg Babinog Potoka (slika 5). Tako bi lokalne ceste na području Parka bile otvorene za lokalno stanovništvo i Javnu ustanovu, a zatvorene za sav drugi promet. Posjetiteljima bi bio omogućen parking na rubnim dijelovima Parka kod kontrolnih i glavnih ulaza, a daljnji bi obilazak bio organiziran od strane javne ustanove na ekološki najprihvatljiviji način (3). Iako se navedeno još nije ostvarilo, ulažu se naponi u rješavanje gorućih problema. 2019. godine uveden je novi sustav posjećivanja kojim je ograničen broj posjetitelja kako bi se očuvale vrijednosti ovog područja (2).



Slika 5. Novi glavni i kontrolni ulazi u NP Plitvička jezera

Izvor: Prostorni plan Područja posebnih obilježja Nacionalnog parka «Plitvička jezera»

## 2. CILJ RADA

U radu će se:

- utvrditi dnevni promet u 2018. godini na području Nacionalnog parka Plitvička jezera,
- utvrditi dnevni promet u 2019. godini na području Nacionalnog parka Plitvička jezera,
- utvrditi dnevna koncentracija lebdećih čestica aerodinamičkog promjera 2,5  $\mu\text{m}$  (PM<sub>2.5</sub>) u 2018. godini na području Nacionalnog parka Plitvička jezera,
- utvrditi dnevna koncentracija lebdećih čestica aerodinamičkog promjera 2,5  $\mu\text{m}$  (PM<sub>2.5</sub>) u 2019. godini na području Nacionalnog parka Plitvička jezera,
- utvrditi postoji li povezanost između dnevnog prometa i dnevne koncentracije lebdećih čestica (PM<sub>2.5</sub>) u 2018. i 2019. godini na području Nacionalnog parka Plitvička jezera.

### 3. MATERIJALI I METODE

Ovisnost dnevnog prometa i dnevne koncentracije lebdećih čestica (PM<sub>2,5</sub>) tijekom 2018. i 2019. godine u radu je utvrđena korelacijskom analizom, točnije Spearmanovim koeficijentom korelacije ( $\rho$ ). Spearmanovim koeficijentom korelacije se pokazuje u kojoj mjeri promjena vrijednosti jedne varijable dovodi do promijene vrijednosti druge varijable, a pozitivan ili negativan predznak opisuje smjer povezanosti. Koristi se kada podaci nisu linearno povezani, a računa se prema formuli:

$$\rho = 1 - \frac{6 \sum d_i^2}{n(n^2 - 1)} \quad [1]$$

gdje je:

$\rho$  = Spearmanov koeficijent korelacije

$d_i$  = razlika između rangova odgovarajućih varijabli

$n$  = broj mjerenja

Vrijednost Spearmanovog koeficijenta korelacije tumači se prema tablici 2.

Tablica 2. Tumač vrijednosti Spearmanovog koeficijenta korelacije.

Vrijednost Spearmanovog koeficijenta korelacija ( $\rho$ )	Povezanost
od 0 do $\pm 0,25$	Nema povezanosti
od 0,25 do 0,50 ili od $-0,25$ do $-0,50$	Slaba
od 0,50 do 0,75 ili od $-0,50$ do $-0,75$	Umjerena do dobra
od 0,75 do 1 ili od $-0,75$ do $-1$	Vrlo dobra do izvrsna

Statistička značajnost koeficijenta korelacije iskazana je vrijednošću  $t$ , prema formuli:

$$t = \rho \frac{\sqrt{N - 2}}{\sqrt{1 - \rho^2}}$$



gdje je:

t- statistička značajnost povezanosti

$\rho$ - Spearmanov koeficijent korelacije

N- broj parova (26,27).

Podaci o dnevnim koncentracijama lebdećih čestica PM<sub>2,5</sub> na mjernoj postaji Plitvička jezera dobiveni su iz Baze podataka o kvaliteti zraka u Republici Hrvatskoj pri Ministarstvu zaštite okoliša i energetike. Podaci o dnevnom prometu sa brojačkog mjesta 4315 Selište Drežničko dobiveni su od strane Hrvatskih cesta d.o.o.

Svi podaci koji su korišteni u svrhu izrade rada obrađeni su u programu Microsoft Excel.

### **3.1. Mjerenje koncentracije lebdećih čestica PM<sub>2,5</sub>**

Temeljem Zakona o zaštiti zraka (NN 127/19), a sukladno Programu mjerenja razine onečišćenosti u državnoj mreži za trajno praćenje kvalitete zraka (NN 73/16) od 2014. godine se na mjernoj postaji Plitvička jezera gravimetrijski određuju masene koncentracije lebdećih čestica aerodinamičkog promjera manjeg od 2,5  $\mu\text{m}$  (PM<sub>2,5</sub>), sadržaj aniona, kationa te elementnog (EC) i organskog (OC) ugljika u PM<sub>2,5</sub> frakciji lebdećih čestica.

Postaja se nalazi u mjestu Plitvica Selo, na 44°53'57,60'' geografske širine i 15°36'35,20'' geografske dužine i svrstava se u ruralno-regionalnu, pozadinsku postaju.

Uzorci se sakupljaju od podneva do podneva gravimetrijskom metodom prema HRN EN 12341:2014 (EN 12341: 2014), a analiziraju se automatski pomoću uređaja GRIMM model EDM 180 for PM<sub>10</sub> and PM<sub>2,5</sub> (28).

Izmjereni podaci statistički se obrađuju i analiziraju prema Zakonu o zaštiti zraka, Pravilniku o praćenju kvalitete zraka, Uredbi o razinama onečišćujućih tvari u zraku te se godišnji objavljuju u Izvješćima o praćenju kvalitete zraka na postajama državne mreže koji su dostupni na internetu (29).

U ovom se radu koriste dnevni validirani podaci o koncentracijama lebdećih čestica PM<sub>2,5</sub> na postaji Plitvička jezera tijekom 2018. i 2019. godine.

Granične vrijednosti (GV) i ciljne vrijednosti (CV) za PM<sub>2,5</sub> obzirom na zaštitu zdravlja ljudi prikazane su u tablici 3.

Tablica 3. Granične vrijednosti (GV) i ciljne vrijednosti (CV) za PM<sub>2,5</sub> obzirom na zaštitu zdravlja ljudi.

Onečišćujuća tvar	Vrijeme usrednjavanja	Ciljna vrijednost (CV)	Granična vrijednost (GV)	Datum do kojeg treba postići graničnu vrijednost
Lebdeće čestice PM <sub>2,5</sub>	Kalendarska godina	25 µg/m <sup>3</sup>	25 µg/m <sup>3</sup>	1.siječnja 2015. godine
			20 µg/m <sup>3</sup>	1.siječnja 2020. godine

Zakonom o zaštiti zraka (NN 127/19) se, prema razinama onečišćenosti, propisanim graničnim vrijednostima (GV), ciljnim vrijednostima i ciljnim vrijednostima za prizemni ozon, definiraju dvije kategorije kvalitete zraka:

- prva kategorija – ukoliko nije došlo do prekoračenja graničnih vrijednosti (GV), ciljnih vrijednosti i ciljnih vrijednosti za prizemni ozon zrak se smatra čistim ili neznatno onečišćenim
- druga kategorija – ukoliko je došlo do prekoračenja graničnih vrijednosti (GV), ciljnih vrijednosti i ciljnih vrijednosti za prizemni ozon zrak se smatra onečišćenim.

### 3.2. Brojanje prometa

Brojanje prometa se vrši prema preporukama Ekonomske komisije Ujedinjenih naroda, Odlukama nadležnog Ministarstva te prema Programu statističkih istraživanja Republike Hrvatske.

Na oko 950 brojačkih mjesta se prikupljaju podaci sa državnih, županijskih i lokalnih cesta, kao i autocesta, koji se nakon obrade od strane Hrvatskih cesta d.o.o. javno objavljuju. Publikacija se izdaje svake godine i dostupna je na internetu (30,31).

U ovom su radu korišteni podaci o dnevnoj distribuciji prometa sa brojačkog mjesta 4315 u Selištu Drežničkom tijekom 2018. i 2019. godine. Metoda brojanja prometa je neprekidno automatsko brojanje (NAB) kojim se bilježi količina prometa kumulativno u satima te po smjerovima tijekom cijele godine. Prolazak svakoga vozila registrira se uz pomoć elektromagnetskih petlji, na principu indukcije, koje su ugrađene u kolnik ceste, a koje su spojene sa brojačkim uređajem. Lokacija brojačkog mjesta 4315 prikazana je na slici 6.



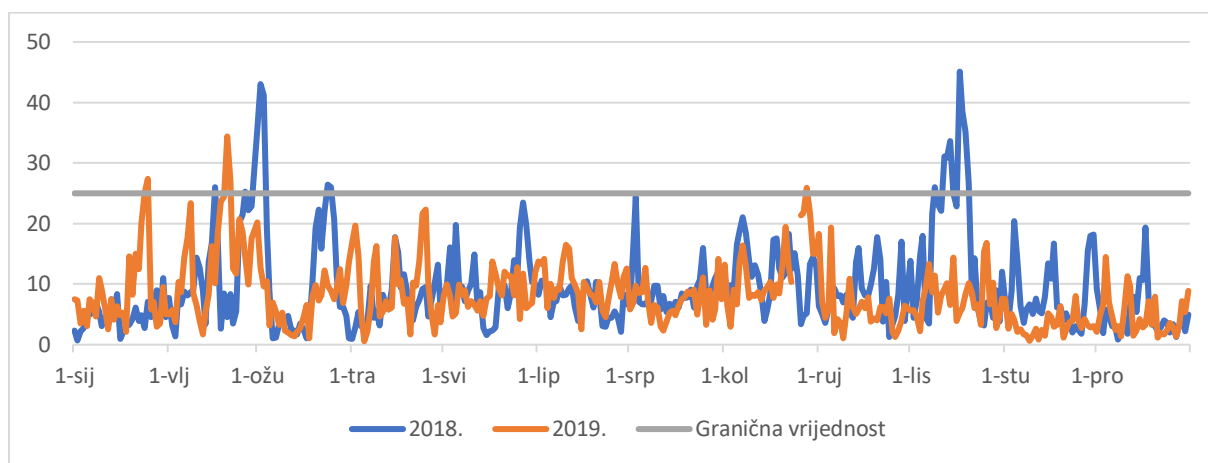
Slika 6. Lokacija brojačkog mjesta 4315

Izvor: Brojanje prometa na cestama Republike Hrvatske godine 2018.

## 4. REZULTATI

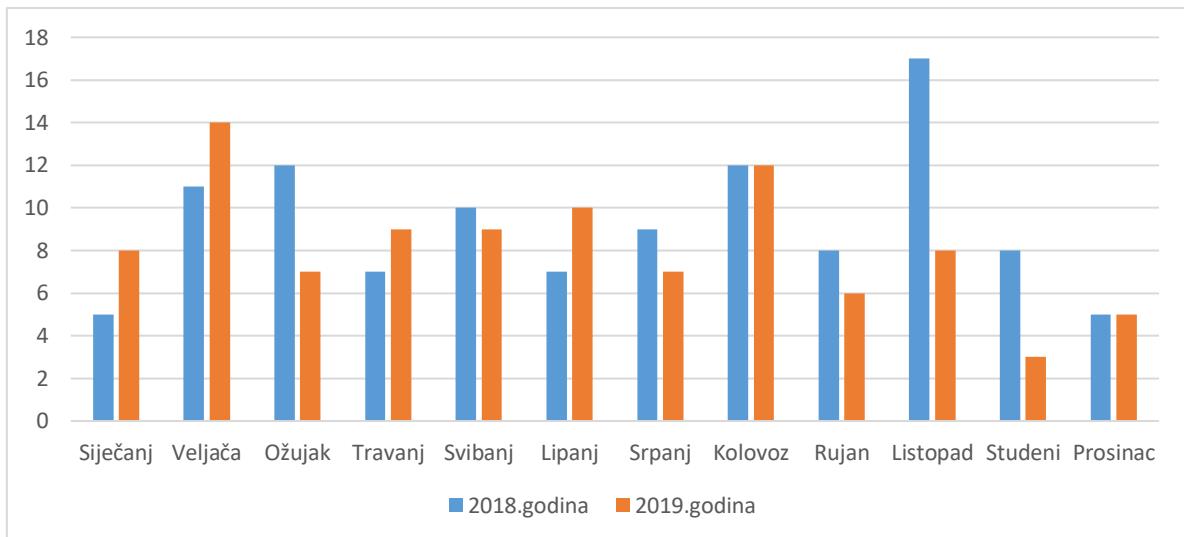
### 4.1. Koncentracije lebdećih čestica (PM<sub>2,5</sub>) u NP Plitvička jezera

Na slici 7 je prikazano kretanje srednjih dnevnih koncentracija lebdećih čestica (PM<sub>2,5</sub>) na mjernoj postaji Plitvička jezera tijekom 2018. i 2019. godini. Prekoračenja graničnih vrijednosti u 2018. godini su najčešća tijekom ožujka i listopada, a u 2019. godini tijekom veljače.



Slika 7. Grafički prikaz kretanja srednjih dnevnih koncentracija lebdećih čestica (PM<sub>2,5</sub>) na mjernoj postaji Plitvička jezera tijekom 2018. i 2019. godini.

Na slici 8 su prikazane srednje mjesečne 24-satne koncentracije PM<sub>2,5</sub> frakcije lebdećih čestica u zraku na mjernoj postaji Plitvička jezera za 2018. i 2019. godinu. U 2018. godine je u listopadu srednja mjesečna 24-satna koncentracija najveća, sa vrijednošću od 17 µg/m<sup>3</sup>, a u 2019. godini u veljači kada je iznosila 14 µg/m<sup>3</sup>.



Slika 8. Grafički prikaz srednjih mjesečnih 24-satnih koncentracija PM<sub>2,5</sub> frakcije lebdećih čestica u zraku na mjernoj postaji Plitvička jezera u 2018. i 2019. godinu.

U tablici 4 se nalaze podaci o srednjim godišnjim 24 - satnim koncentracijama, minimalnim i maksimalnim vrijednostima dnevnih koncentracija finih lebdećih čestica i broju prekoračenja granične vrijednosti za 2018. i 2019. godinu na mjernoj postaji Plitvička jezera.

Tablica 4. Sumarne vrijednosti koncentracija lebdećih čestica na mjernoj postaji Plitvička jezera

	2018.godina	2019.godina
<b>C</b> (µg/m <sup>3</sup> )	9,3	8,1
<b>Min</b> (µg/m <sup>3</sup> )	0,7	0,6
<b>Max</b> (µg/m <sup>3</sup> )	45,1	34,4
<b>N</b>	15	5

C - srednja godišnja 24-satna koncentracija

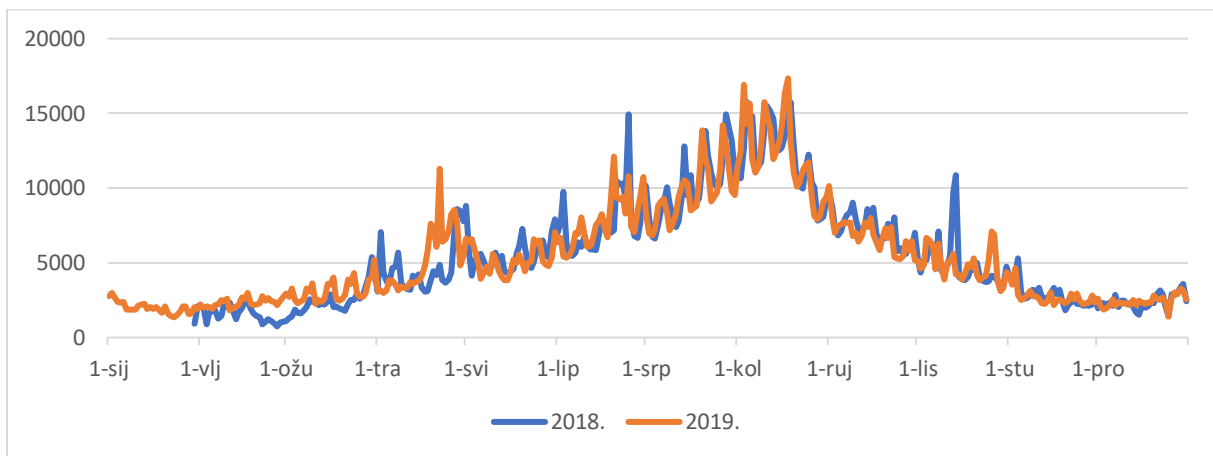
Min – najmanja srednja 24-satna koncentracija

Max – najveća srednja 24-satna koncentracija

N - broj prekoračenja granične vrijednosti

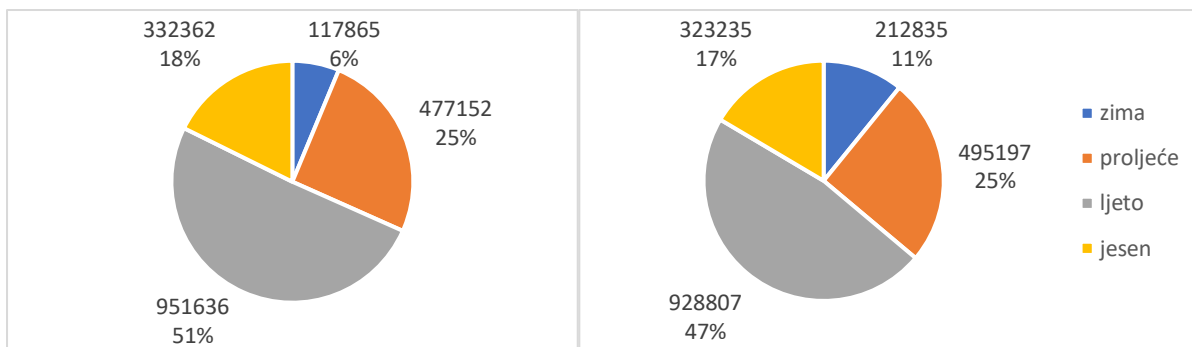
## 4.2. Promet

Na slici 9 je prikazan ukupni dnevni promet u oba smjera na brojilu prometa 4315 tijekom 2018. i 2019. godine. Promet je tijekom obje godine najintenzivniji od travnja do listopada. U 2018. godine najveći broj vozila u danu zabilježen je 04.kolovoza kada je iznosio 15 791, a u 2019. vrhunac je dosegnut 18.kolovoza sa 17 344 vozila. Oko 83% prometa tijekom obje godine čine osobna vozila sa ili bez prikolice (30,31).



Slika 9. Grafički prikaz ukupnog dnevnog prometa u oba smjera na brojilu prometa 4315 tijekom 2018. i 2019. godine.

Na slici 10 je prikazana raspodjela prometa po godišnjim dobima u 2018. (lijevo) i 2019. (desno) godini na brojilu prometa 4315. Najprometnije je tijekom ljeta, koje u obje godine čini oko 50 % ukupnog godišnjeg prometa.



Slika 10. Grafički prikaz raspodjele prometa po godišnjim dobima u 2018. (lijevo) i 2019.

(desno) godini na broju prometa 4315.

U tablici 5 se nalaze podaci o prosječnom godišnjem dnevnom promet, prosječnom ljetnom dnevnom prometu te minimalnom i maksimalnom prometu tijekom 2018. i 2019. godine.

Tablica 5. Sumarni podaci o prometu na broju prometa 4315.

	2018.godina	2019.godina
<b>PGDP</b>	5592	5370
<b>PLDP</b>	10123	10935
<b>Min</b>	740	1352
<b>Max</b>	15791	17344

PGDP - prosječni godišnji dnevni promet

PLDP - prosječni ljetni dnevni promet

Min – minimalni broj prometnih vozila u danu

Max - maksimalni broj prometnih vozila u danu

## 5. RASPRAVA

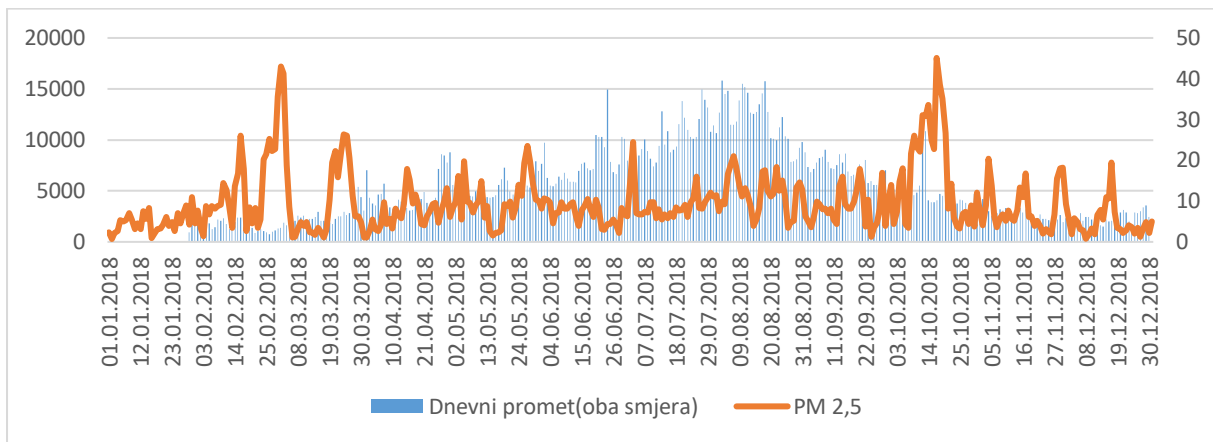
Koncentracije lebdećih čestica PM<sub>2,5</sub> na postaji Plitvička jezera tijekom 2018. i 2019. godine ne pokazuju sezonsku promjenu već koncentracije osciliraju tijekom godine, u 2018. godini u rasponu od 0,7 µg/m<sup>3</sup> do 45,1 µg/m<sup>3</sup>, a u 2019. godine u rasponu od 0,6 µg/m<sup>3</sup> do 34,4 µg/m<sup>3</sup>. Srednja mjesečna 24-satne koncentracija je u 2018. godini najviše u listopadu sa koncentracijom od 17 µg/m<sup>3</sup>, a u 2019. godini u veljači kada je iznosila 14 µg/m<sup>3</sup>. Tijekom 2018. godine zabilježeno je 15 prekoračenja granične vrijednosti, najviše tijekom ožujka i listopada, a u 2019. godini dolazi do 5 prekoračenja, najviše tijekom veljače. No ta su prekoračenja zanemariva s obzirom da srednja godišnja koncentracija lebdećih čestica PM<sub>2,5</sub> na mjernoj postaji Plitvička jezera u 2018. godini iznosi 9,3 µg/m<sup>3</sup>, a u 2019. godini 8,1 µg/m<sup>3</sup>, dakle znatno ispod razine koja se ne smije prekoračiti (GV od 25 µg/m<sup>3</sup>). S obzirom na to, zrak se za obje godine svrstava u I. kategoriju kvalitete prema onečišćivaču lebdeće čestice PM<sub>2,5</sub>.

Za razliku od koncentracije lebdećih čestica PM<sub>2,5</sub>, dnevna količina prometa na brojačkom mjestu 4315 u Selištu Drežničkom tijekom obje godine pokazuje sezonski trend. Najveći broj prometnih vozila u danu zabilježen je u kolovozu, te je 2018. godine iznosio 15 791, a 2019. godine 17 344. Najmanji broj prometnih vozila zabilježen je tijekom zimskih mjeseci te je u 2018. iznosio 740, a u 2019. godini 1352 prometna vozila u danu. Dakle dnevna količina prometa se tijekom godine povećava, sa vrhuncem u kolovozu, nakon kojeg do kraja godine dolazi do umjerenog pada. Promet je najintenzivniji tijekom ljeta, koje čini oko 50% ukupnog godišnjeg prometa.

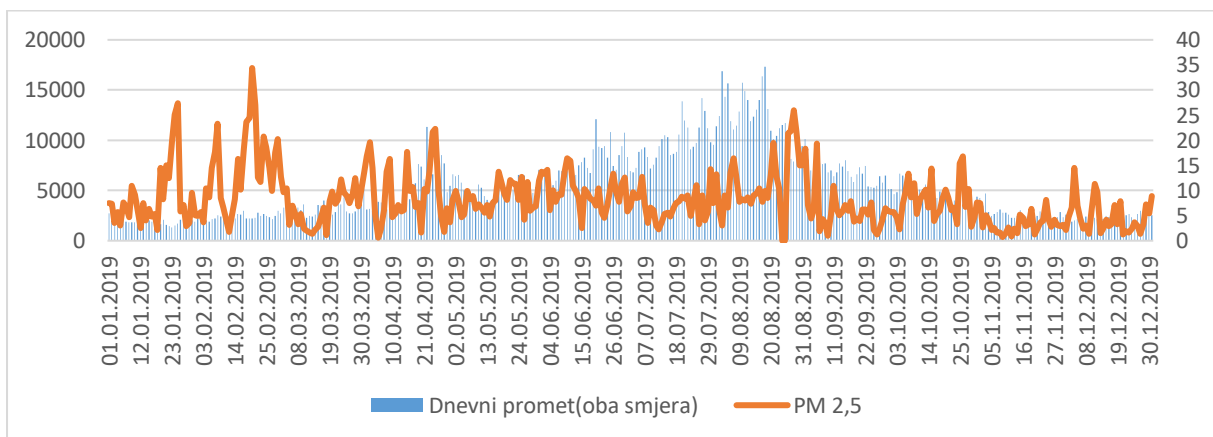
Na slikama 11 i 12 su grafički prikazi podataka o dnevnom prometu i srednjim dnevnim koncentracijama lebdećih čestica aerodinamičkog promjera manjeg od 2,5 µm za 2018. i 2019. godinu. Vidljivo je da dnevne koncentracije lebdećih čestica tijekom 2018. i 2019. godine ne



prate trend rasta i pada intenziteta prometa, odnosno može se zaključiti da povećanjem prometa ne dolazi do povišenja koncentracije lebdećih čestica.



Slika 11. Grafički prikaz dnevnog prometa i srednjih dnevnih koncentracija lebdećih čestica u 2018. godini



Slika 12. Grafički prikaz dnevnog prometa i srednjih dnevnih koncentracija lebdećih čestica u 2019. godini

Osim grafičkog prikaza, ovisnost prometa i koncentracije lebdećih čestica utvrđena je i korelacijskom analizom, odnosno Spearmanovim koeficijentom korelacije prema jednadžbi [1]. Vrijednost Spearmanvog koeficijenta korelacije za 2018. godinu iznosi  $\rho = 0.18$ , a za 2019. godinu iznosi  $\rho = 0.19$ , koeficijente je statistički značajan ( $t < 0.01$ ), a s obzirom da se

vrijednost Spearmanovog koeficijenta korelacije nalazi u rasponu od 0 do + 0.25 prema tablici 2 se može zaključiti da nema povezanosti između varijabli.

Glavni izvor finih lebdećih čestica na području Plitvičkih jezera nije promet, a s obzirom da se radi o području koje nije industrijski razvijeno niti gusto naseljeno, može se pretpostaviti da koncentracijama lebdećih čestica pridonose prirodni izvori i transmisija čestica iz drugih područja.

Potrebno je kontinuirano praćenje lebdećih čestica i kvalitete zraka općenito kako bi, u slučaju onečišćenja, bilo moguće pravovremeno djelovanje.

## 6. ZAKLJUČAK

Plitvička jezera su naš najveći i najstariji Nacionalni park, koji svojom iznimnom prirodnom ljepotom privlači mnoge posjetitelje iz cijelog svijeta. Rastom broja posjetitelja i čovjekovim utjecajem dolazi do raznih pritiska na ekosustave, a jedan od njih je i intenzivan promet.

U radu je utvrđeno kako tijekom 2018. i 2019. godine nije bilo povezanosti između dnevnog prometa i onečišćenja zraka lebdećim česticama PM<sub>2,5</sub> na području Parka, dakle sezonsko povećanje količine prometa nije dovelo do povećanja koncentracije finih lebdećih čestica.

Srednje godišnje koncentracije lebdećih čestica u 2018. i 2019. godini na mjernoj postaji Plitvička jezera nisu prelazile graničnu vrijednost te se okolni zrak svrstava u I. kategoriju kvalitete.

Iako promet nije značajno pridonio onečišćenju lebdećim česticama, on može na razne načine negativno utjecati na okoliš. Promet može onečistiti zrak, degradirati okoliš bukom i vibracijama, ugroziti stabilnost sedrenih barijera, dovesti do stradavanja divlje faune, a otjecanjem površinske vode sa kolnika može doći do onečišćenja jezera i podzemnih voda. Iz tih je razloga izmještanje tranzitnog prometa izvan područja Parka od iznimne važnosti za zaštitu ovog svjetskog fenomena neprocjenjive nacionalne vrijednosti.

## 7. SAŽETAK

Lebdeće čestice se sastoje od složen, heterogene mješavine krutih i tekućih komponenti čiji se sastav mijenja u vremenu i prostoru, a ovisi o emisijskim izvorima i vremenskim uvjetima. S obzirom na veličinu, dijele se na grube čestice čiji je aerodinamički promjer manji od 10  $\mu\text{m}$  ( $\text{PM}_{10}$ ) i fine čestice promjera manjeg od 2,5  $\mu\text{m}$  ( $\text{PM}_{2,5}$ ). Jedan od glavnih izvora lebdećih čestica je promet, a emitirane čestice imaju negativan utjecaj na zdravlje ljudi i kvalitetu okoliša. Emisije lebdećih čestica iz cestovnog prometa mogu se podijeliti na primarne i sekundarne čestice ispušnih plinova motora te na primarne i sekundarne čestice nastale trošenjem obloga kočnica, guma i ceste. Plitvička jezera su naš najveći i najstariji Nacionalni park, koji svojom iznimnom prirodnom ljepotama privlači mnoge posjetitelje iz cijelog svijeta. Zbog stalnog porasta broja posjetitelja (dvostruko povećanje u zadnjih 10 godina), i tranzitnog prometa državnim cestama koji nije povezan sa posjećivanjem parka, dolazi do prometnog pritiska u neposrednoj blizini samih jezera i ulaznih recepcija. Cilj rada bio je ispitati povezanost između dnevnog prometa i dnevne koncentracije lebdećih čestica ( $\text{PM}_{2,5}$ ) na području Nacionalnog parka Plitvička jezera u 2018. i 2019. godini. Utvrđeno je da sezonsko povećanje količine promet ne dovodi do povećanja koncentracije finih lebdećih čestica, odnosno da nema povezanosti između ovih varijabli. Iako promet nije značajno pridonio onečišćenju lebdećim česticama, on može degradirati okoliš bukom i vibracijama, ugroziti stabilnost sedrenih barijera, dovesti do stradavanja divlje faune, a otjecanjem površinske vode sa kolnika može doći do onečišćenja jezera i podzemnih voda. Iz tih je razloga izmještanje tranzitnog prometa izvan područja Parka od iznimne važnosti za zaštitu ovog svjetskog fenomena.

-ključne riječi: fine lebdeće čestice ( $\text{PM}_{2,5}$ ), cestovni promet, Nacionalni park Plitvička jezera

## 8. SUMMERY

Particulate matter consist of a complex, heterogeneous mixture of solid and liquid components whose composition changes in time and space, and depends on emission from various sources and weather conditions. According to size, they are divided into coarse particles whose aerodynamic diameter is less than  $10\ \mu\text{m}$  ( $\text{PM}_{10}$ ) and fine particles with a diameter less than  $2.5\ \mu\text{m}$  ( $\text{PM}_{2.5}$ ). Emitted particles have a negative impact on human health and the quality of the environment. One of the main sources of suspended particles is traffic. Emissions from road traffic can be divided into primary and secondary particles from combustion engines, and into primary and secondary particles from brake, tyre and road wear Plitvice Lakes is the largest and oldest Croatian National Park, which with its exceptional natural beauty attracts many visitors from all over the world. Due to the constant increase in the number of visitors (a double increase in the last 10 years), and the transit traffic on state roads that is not related to visiting the park, there is traffic pressure in the immediate vicinity of the lakes and entrance receptions. The aim of the study was to examine the relationship between daily traffic and daily concentration of particulate matter ( $\text{PM}_{2.5}$ ) in the Plitvice Lakes National Park in 2018 and 2019. It was found that the seasonal increase in the amount of traffic does not lead to an increase in the concentration of fine particulate matter, ie that there is no correlation between these variables. Although traffic has not significantly contributed to particulate matter pollution, it can degrade the environment with noise and vibration, jeopardize the stability of travertine barriers, endanger wildlife, and cause lake and groundwater pollution. Therefore, relocating transit traffic outside the Park area is of utmost importance for the protection of this global phenomenon.

-keywords: fine particulate matter ( $\text{PM}_{2.5}$ ), road traffic, Plitvice Lakes National Park

## 9. LITERATURA

- (1) Zakon o zaštiti prirode (NN 80/13, 15/18, 14/19, 127/19)
- (2) Javna ustanova Nacionalni park Plitvička jezera: Plan upravljanja Nacionalnim parkom Plitvička jezera 2019. – 2028. Plitvička jezera, 2019. [citirano 30.04.2020.]. Dostupno na: <https://np-plitvicka-jezera.hr/wp-content/uploads/2019/10/Plan-upravljanja-NP-Plitvi%C4%8Dka-jezera.pdf>
- (3) Republika Hrvatska, Ministarstvo graditeljstva i prostornoga uređenja: Prostorni plan Područja posebnih obilježja Nacionalnog parka «Plitvička jezera». Zagreb, 2014. [citirano 30.04.2020.]. Dostupno na: <https://mgipu.gov.hr/prostorno-uredjenje-3335/prostorni-planovi-8193/prostorni-planovi-drzavne-razine/prostorni-planovi-nacionalnih-parkova/prostorni-plan-np-plitvicka-jezera/3441>
- (4) Šimunović Lj, Bošnjak I, Božičević S, Pancirov I. Utjecaj cestovnog prometa na onečišćenje zraka. *Suvremeni promet*. Vol. 22, 337- 436, Zagreb, 2002.
- (5) Šimić I, Godec R, Bešlić I, Davila S. Masena koncentracija ugljika u zraku na području Nacionalnog parka Plitvička jezera. *Kemija u industriji*. 2018; (13):127-133.
- (6) Europska agencija za okoliš: Svaki naš udisaj - Pобоljšanje kvalitete zraka u Europi. Luksemburg, 2013. [citirano: 15.05.2020.]. Dostupno na: <https://www.eea.europa.eu/hr/publications/eea-signali-2013-svaki-nas-udisaj>
- (7) World Health Organization: WHO Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide. Geneva, 2006. [citirano: 15.05.2020.]. Dostupno na: [https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/69477/WHO\\_SDE\\_PHE\\_OEH\\_06.02\\_eng.pdf?sequence=1](https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/69477/WHO_SDE_PHE_OEH_06.02_eng.pdf?sequence=1)

- (8) Sofilić T. Zdravlje i okoliš. Sveučilište u Zagrebu, Metalurški fakultet, Sisak, 2015.
- (9) Zakon o zaštiti zraka (NN 127/19)
- (10) World Health Organization: Health effects of particulate matter. Copenhagen, 2013.  
[citirano: 15.05.2020.]. Dostupno na:  
[https://www.euro.who.int/\\_data/assets/pdf\\_file/0006/189051/Health-effects-of-particulate-matter-final-Eng.pdf](https://www.euro.who.int/_data/assets/pdf_file/0006/189051/Health-effects-of-particulate-matter-final-Eng.pdf)
- (11) World Health Organization: Health relevance of particulate matter from various sources. Bonn, Germany, 2007. [citirano: 26.06. 2020.]. Dostupno na:  
<https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/107846/E90672.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- (12) Grantz D.A, Garner J.H.B, Johnson D.W. Ecological effects of particulate matter. [Internet] Environment International 29 (2003) 213–239. [citirano: 18.05.2020.]. Dostupno na: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0160412002001812>
- (13) Prajapati S. Ecological effect of airborne particulate matter on plants. [Internet] Environmental Skeptics and Critics, 2012, 1(1):12-22. [citirano: 18.05.2020.]. Dostupno na: [https://www.researchgate.net/publication/257836928\\_Ecological\\_effect\\_of\\_airborne\\_particulate\\_matter\\_on\\_plants](https://www.researchgate.net/publication/257836928_Ecological_effect_of_airborne_particulate_matter_on_plants)
- (14) Godec R. Ugljik u lebdećim česticama u zraku. [Internet] Arh Hig Rada Toksikol 2008;59:309-318. [citirano: 19.05.2020.]. Dostupno na: <https://hrcak.srce.hr/29565>
- (15) Kovač-Andrić E, Matasović B, Radanović T, Šrajter Gajdošik M. Low Threat by Sulphate Particles and Ozone on Tufa at Plitvice Lakes National Park. [Internet]. Water Air and Soil Pollution 2019 230(12):284. [citirano: 22.05.2020.]. Dostupno na:

<https://www.researchgate.net/publication/337672738> Low Threat by Sulphate Particles and Ozone on Tufa at Plitvice Lakes National Park

(16) Qiao X, Du J, Lugli S, Ren J, Xiai W, Chen P, i sur. Are Climate Warming and Enhanced Atmospheric Deposition of Sulfur and Nitrogen Threatening Tufa Landscapes in Jiuzhaigou National Nature Reserve, Sichuan, China? [Internet]. The Science of the total environment 2016 15;562:724-731. [citirano: 22.05.2020]. Dostupno na:

<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27110983/>

(17) Amato F, Schaap M, Reche C, Querol X. Road Traffic: A Major Source of Particulate Matter in Europe. Urban Air Quality in Europe. Viena, 165–194, 2013. [citirano: 15. 06. 2020.]. Dostupno na:

<https://www.researchgate.net/publication/278702005> Road Traffic A Major Source of Particulate Matter in Europe

(18) Sršen M. Utjecaj cestovnog prometa na okoliš i mjere ublažavanja. Suvremeni promet. Suvremeni promet. Vol. 22, 161-336, Zagreb, 2002.

(19) Haop.hr [Internet]. Ministarstvo zaštite okoliša i energetike. Zavod za zaštitu okoliša i prirode. Zaštićena područja [ažurirano 01.05.2020., citirano 10.05.2020.] Dostupno na: <http://www.haop.hr/hr/tematska-podrucja/zasticena-podrucja/zasticena-podrucja>

(20) Zakon o proglašenju Plitvičkih jezera nacionalnim parkom (NN 29/49)

(21) Prpić J, Kosić D. Plitvička jezera - 40 godina od upisa na UNESCO-ovu Listu svjetske kulturne i prirodne baštine. Hrvatske vode, 2019. [citirano 01.05.2020.]. Dostupno na: <https://hrcak.srce.hr/232957>



- (22) Gušić B, Marković M. Plitvička jezera - čovjek i priroda. Nacionalni park Plitvička jezera, Zagreb, 1974.
- (23) Np-plitvicka-jezera.hr [Internet]. Nacionalni park Plitvička jezera, Prirodna i kulturna baština. [citirano: 05.05.2020.]. Dostupno na: <https://np-plitvicka-jezera.hr/prirodna-i-kulturna-bastina/prirodna-bastina/sedra/>
- (24) Geografija.hr [Internet]. Plitvička jezera – tamo gdje voda prkosi kršu. [ažurirano 08.04.2009.; citirano 05.05.2020.]. Dostupno na: <https://www.geografija.hr/hrvatska/plitvicka-jezera-tamo-gdje-voda-prkosi-krsu/>
- (25) Barešić J. Primjena izotopnih i geokemijskih metoda u praćenju globalnih i lokalnih promjena u ekološkom sustavu Plitvičkih jezera [d disertacija]. Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije; 2009.
- (26) Udovičić M, Baždarić K, Bilić-Zulle L, Petrovečki M. Što treba znati kada izračunavamo koeficijent korelacije? Biochemia Medica 2007;17(1):1–138. Dostupno na: <https://hrcak.srce.hr/>
- (27) Petz B. Osnovne statističke metode za nematematičare. VI. izdanje. Zagreb: Naklada Slap; 1997.
- (28) Iszz.haop.hr [Internet]. Hrvatska agencija za okoliš i prirodu. Kvaliteta zraka u Republici Hrvatskoj. Dostupno na: <http://iszz.azo.hr/iskzl/index.html>
- (29) Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada Zagreb: Izvještaj o praćenju kvalitete zraka na postajama državne mreže (Izvještaj za 2018. godinu). Zagreb, 2019. Dostupno na: <http://iszz.azo.hr/iskzl/godizvrpt.htm?pid=0&t=1>
- (30) Hrvatske ceste d.o.o.: Brojenje prometa na cestama Republike Hrvatske godine 2018. Zagreb, 2019. Dostupno na:

[https://hrvatskeceste.hr/uploads/documents/attachment\\_file/file/485/Brojenje\\_prometa\\_na\\_cestama\\_Republike\\_Hrvatske\\_godine\\_2018.pdf](https://hrvatskeceste.hr/uploads/documents/attachment_file/file/485/Brojenje_prometa_na_cestama_Republike_Hrvatske_godine_2018.pdf)

(31) Hrvatske ceste d.o.o.: Brojenje prometa na cestama Republike Hrvatske godine 2019. Zagreb, 2020. Dostupno na:

[https://hrvatskeceste.hr/uploads/documents/attachment\\_file/file/887/Brojenje\\_prometa\\_na\\_cestama\\_Republike\\_Hrvatske\\_godine\\_2019.pdf](https://hrvatskeceste.hr/uploads/documents/attachment_file/file/887/Brojenje_prometa_na_cestama_Republike_Hrvatske_godine_2019.pdf)

## **10. ŽIVOTOPIS**

Zovem se Jelena Franjković, rođena sam 12. svibnja 1996. godine u Karlovcu. Srednjoškolsko obrazovanje stekla sam u općoj gimnaziji u Slunju, nakon kojeg se upisujem na stručni studij Sanitarnog inženjerstva na Zdravstvenom veleučilištu u Zagrebu. Završetkom preddiplomskog studija 2018. godine se upisujem na Diplomski sveučilišni studij Sanitarnog inženjerstva na Medicinskom fakultetu u Rijeci.