

UTJECAJ TURIZMA NA OKOLIŠ U ZAKONOM ZAŠTIĆENIM PODRUČJIMA – STUDIJA POVEZANOSTI UGLJIKOVA OTISKA CESTOVNOG PROMETA I TURIZMA NA PRIMJERU TUNELA UČKA U PARKU PRIRODE UČKA

Sažetak

Emisije stakleničkih plinova nastale zbog domaćih i međunarodnih turističkih kretanja mogu značajno opteretiti okoliš. Taj problem pojačava se kada većina posjetitelja koristi pretežno cestovni promet, kao što je slučaj u Hrvatskoj. Utjecaj turizma na okoliš i zaštićena područja zahtijeva dublje sagledavanje utjecaja i veza, pri čemu čimbenici vezani za ugljikov otisak nisu dovoljno istraženi. Kad bi se svi utjecaji turizma na okoliš sveli na lokalnu mjeru nosivosti okoliša, tada bi i globalni utjecaj turizma na okoliš postao održiv. U tom svjetlu, ovo istraživanje ima za cilj izračunati lokalni utjecaj cestovnog prometa na okoliš ugljikovim otiskom na primjeru studije slučaja tunela Učka unutar Parka prirode *Učka* u Hrvatskoj.

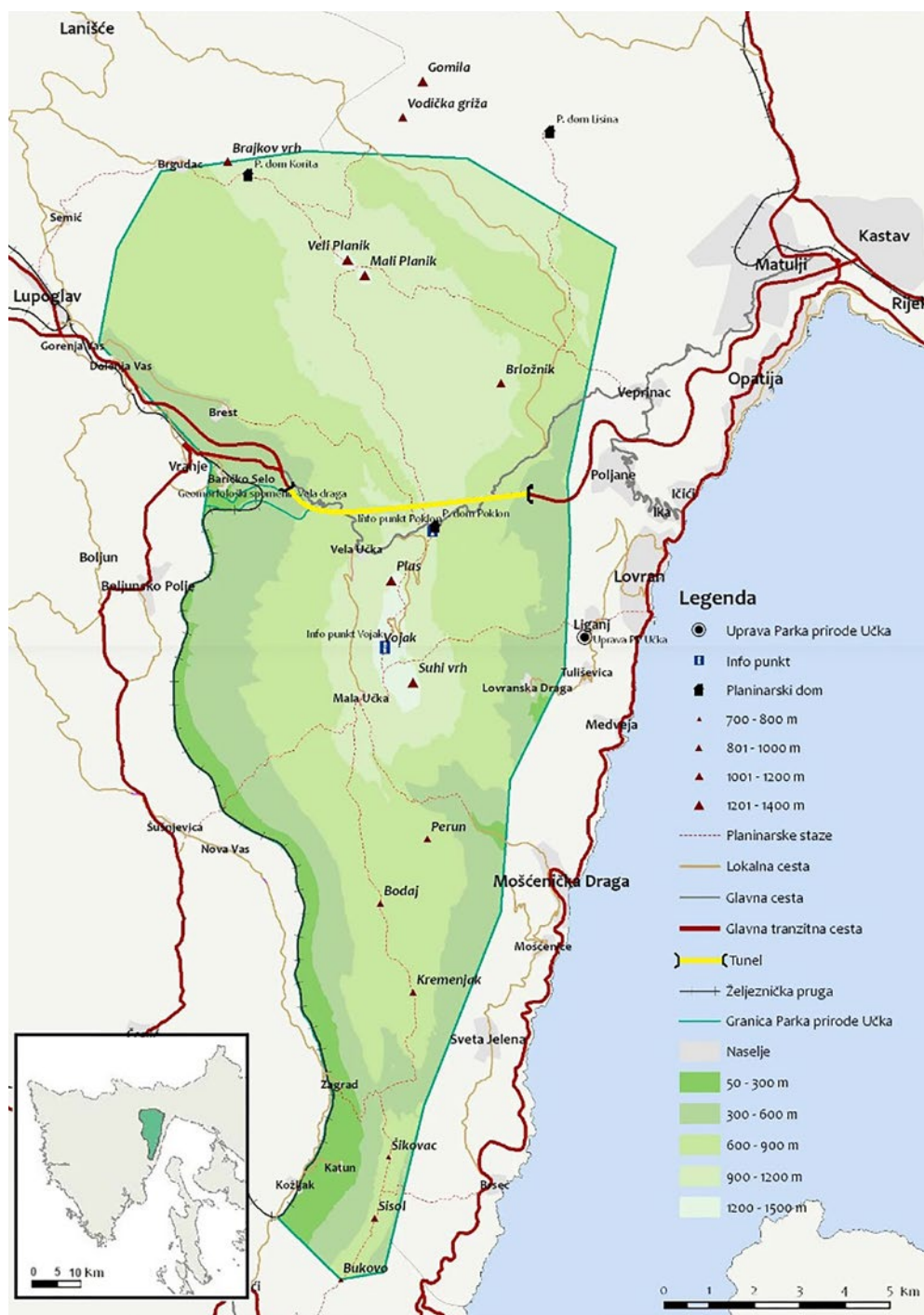
Glavna prometna veza između hrvatskog istarskog poluotoka i matičnog državnog teritorija prolazi tunelom Učka kroz zaštićeno područje Parka prirode *Učka*. U ovom je istraživanju izračunat ukupni ugljikov otisak cestovnog prometa kroz tunel Učka, a unutar njega posebno je izdvojen udio ugljikova otiska turizma. Ovo istraživanje identificira čimbenike koji utječu na ugljikov otisak i godišnji tijek intenziteta utjecaja turizma na okoliš kroz generiranje cestovnog prometa unutar Parka prirode *Učka*. Rad ima za cilj potaknuti znanstvenu zajednicu na provođenje više istraživanja s konkretnim vrijednostima lokalnog utjecaja na okoliš, što će dovesti do stvaranja baze podataka za nastavak praćenja utjecaja prometa i turizma na okoliš u zaštićenim područjima prirode. Takva baza podataka omogućit će objektivno donošenje odluka za poticanje održivog upravljanja koje smanjuje pritiske na okoliš.

Ključne riječi: okoliš, turizam, cestovni promet, ugljikov otisak, Park prirode *Učka*

Uvod

Promjene okoliša sve su češći predmet znanstvenih istraživanja u području održivog razvoja (Mensah, 2019). U kontekstu suvremenih klimatskih promjena emisije stakleničkih plinova, posebno ugljikova dioksida, ističu se u istraživanjima različitih segmenata globalnog gospodarstva, pa tako i turizma. Globalni rast i razvoj turizma značajno potiču globalno kretanje roba i ljudi, a oslonjenost turizma, prometa i gospodarstava na upotrebu fosilnih goriva implicira značajne emisije stakleničkih plinova. Navedeno je prvenstveno vidljivo u promjenama energetske bilance, odnosno jačanju atmosferskog efekta staklenika (Lenzen i dr., 2018). Metoda izračuna količine emitiranog ugljikova dioksida u okoliš koja se stavlja u omjer s bioapsorpcijskim kapacitetom vegetacije, koja apsorbira ugljikov dioksid iz atmosfere, naziva se metodom ugljikova otiska (engl. *Carbon Footprint*, pokrata CF). Ova se metoda u globalnim istraživanjima koristi za izračun prosječnog globalnog bioapsorpcijskog kapaciteta. Ipak, za lokalna istraživanja održivosti prikladniji je pristup izračuna omjera između emisija i bioapsorpcijskog kapaciteta na lokalnoj razini te će se upravo on dalje koristiti u ovom radu. Utjecaj emisija stakleničkih plinova na okoliš, koji su direktan ili indirektan produkt turističkih kretanja, zbog fizikalnih obilježja zemljine atmosfere, globalnog je karaktera. Bez obzira na globalni karakter atmosferskih procesa, kada bi se svi lokalni utjecaji turizma na okoliš sveli na mjeru nosivosti biokapaciteta okoliša u kojem se turizam neposredno odvija, tada bi i globalni utjecaj turizma na okoliš postao u potpunosti održiv. Bez obzira na prednosti lokalnih studija, među suvremenim znanstvenim istraživanjima prevladavaju ona koja mjere održivost velikih sustava, često na nacionalnoj ili globalnoj razini (Gühnemann i dr., 2021; Lenzen i dr., 2018; Yang i Jia, 2022). Nedostatak globalnog pristupa u nižoj je pouzdanosti i usporedivosti dobivenih podataka. Kod većine sustava kod kojih se utjecaj njihovih proizvoda i usluga na okoliš istražuje od početka do kraja proizvodno-uslužnog lanca, postoji uz izravne (lokalne) i velik broj indirektnih (alociranih) utjecaja na okoliš, o kojima se vodi malo računa. Kod izrazito kompleksnih sustava, kao što su primjerice gradska područja i njihov okolišni otisak, daljnje korištenje podataka i usporedba njihovih otisaka otežani su ili onemogućeni jedinstvenošću takvih sustava, odnosno specifičnim alociranim utjecajima na okoliš. Uz navedeno, istraživanja čak i naoko sličnih sustava imaju problem usporedivosti zbog razlika u metodologiji i obuhvatu podataka (detaljnosti ulaženja u sustave), a da bi se na razini pojedinih istraživanja prikazali podatci, često se poseže za visokim stupnjem generalizacije koji u konačnici ne daje pouzdane i usporedive podatke.

Za razliku od opisanog istraživačkog pristupa s višim stupnjem generalizacije podataka, rješenje za podizanje pouzdanosti u istraživanju utjecaja na okoliš nalazi se u provođenju većeg broja manjih, time i jednostavnijih, studija slučaja, koje bi jasnom metodologijom bile usporedive i kompatibilne. Kada bi se takav istraživački koncept dovoljno proširio, tada bi baza podataka o lokalnom utjecaju na okoliš postala dovoljno velika da se izvuku po-



Slika 1. Smještaj tunela Učka i prostorni obuhvat Parka prirode Učka
Izvor: Doradeno na osnovi predložka s <https://www.pp-ucka.hr/ucka-map/>

uzdani zaključci i da se oni pretoče u mjere aktivne modifikacije sustava u smjeru realizacije lokalne, a u idućem koraku i globalne okolišne održivosti.

Republika je Hrvatska prepoznata turistička destinacija na Mediteranu, a Istarska županija vodeća je turistička regija na istočnoj obali Jadranskog mora. Hrvatski je turizam i na nacionalnoj i na regionalnoj razini Istarske županije dominantno oslonjen na cestovni promet (Marušić i dr., 2019; Maršanić i dr., 2021). Suvremene strategije općeg i turističkog razvoja intenzivno tragaju za postizanjem održivosti unutar koje su istaknuti elementi okolišne održivosti i emisija stakleničkih plinova (Ali i dr., 2021). U odnosu turizma i cestovnog prometa te socioekonomskih čimbenika uočene su određene vremenske, prostorne i posljedične pravilnosti (Grofelnik i Kovačić, 2023a; Grofelnik i Kovačić, 2023b). Upravo su izdvajanje veza između turizma i socioekonomskih čimbenika te utjecaj turizma na okoliš preko emisija stakleničkih plinova (metodom izračuna ugljikova otiska) predmet ovog rada.

Da bi se upotpunio uočeni nedostatak proučavanja odnosa između lokalnog bioapsorpcijskog kapaciteta i ugljikova otiska pod utjecajem turizma, ovaj rad ima cilj prikazati lokalni utjecaj na okoliš odabranog velikog objekta cestovne infrastrukture kroz izračun i analizu ugljikova otiska na primjeru tunela Učka koji se nalazi unutra Parka prirode *Učka* (Slika 1). Tunel Učka ima dvije tunnelske cijevi, stariju otvorenu 1981. godine duljine 5062 m, te novoizgrađenu tunnelsku cijev duljine 5630 m, puštenu u promet 2024. godine. Obje tunnelske cijevi započinju i završavaju unutar PP *Učka* koji se prostire na 160,5 km² te povezuje Istarsku i Primorsko-goransku županiju (Plan upravljanja PP *Učka*, 2023).

Objekt, cilj i metodologija istraživanja

Objekt istraživanja ovog rada godišnje su i mjesečne emisije CO₂ cestovnog prometa na primjeru tunela Učka s daljnjim korakom izdvajanja udjela opterećenja vezanog za turizam te izdvajanje lokalnih i nacionalnih čimbenika koji su vezani za mjesečni hod emisija, nakon čega su dobivene emisije uspoređene i s nosivosti zakonom zaštićenog područja.

Rad cilja na osvješćivanje i poticanje znanstvene zajednice na izradu većeg broja studija slučaja koje će mjeriti lokalni utjecaj turizma na okoliš. Aplikativni doprinos rada izražen je kroz izračunatu vrijednost ukupnoga i specifično izdvojenoga turističkog ugljikova otiska, povezanost mjesečnih razlika intenziteta otiska s odgovarajućim socioekonomskim čimbenicima te širenje baze podatka na čijoj se osnovi može objektivno, mjerljivo i održivo upravljati infrastrukturnim sustavima i njihovim utjecajem na okoliš.

Da bi se ostvarili ciljevi istraživanja, formulirani su sljedeći istraživački zadatci:

1. izračunati godišnje vrijednosti ugljikova otiska cestovnog prometa u tunelu Učka
2. izdvojiti mjesečne vrijednosti ugljikova otiska cestovnog prometa u tunelu Učka

3. izdvojiti pojedine socioekonomske čimbenike koji su povezani s intenzitetom prometa u tunelu Učka
4. izdvojiti udio ugljikova otiska cestovnog prometa u tunelu Učka koji je vezan za turistička kretanja
5. izračunati lokalni ugljikov otisak ukupnog cestovnog prometa u tunelu Učka usporedbom s biokapacitetom Parka prirode Učka.

Da bi se ostvarili navedeni zadatci, u istraživanju je korištena metoda izračuna ugljikova otiska. Otisak je izračunat za razdoblje od 2015. do 2020. godine na mjesečnoj razini da bi se dobila osnova za analizu sezonalnosti emisija CO₂, vodeći računa o lokalnom biokapacitetu okoliša. Analiza ulaznih podataka vezanih za intenzitet cestovnog prometa, turistička kretanja i izlaznih vrijednosti ugljikova otiska izvršena je na razini mjesečnih pokazatelja i karakterističnih sezonskih razdoblja. Rezultati istraživanja interpretirani su na osnovi ulaznih čimbenika i izračunatih varijabli ugljikova otiska, bioapsorpcijskih kapaciteta i turističkih pokazatelja koji mjesečno modeliraju kretanje ugljikova otiska u promatranom razdoblju.

Da bi podatci o emitiranom ugljikovu otisku u tunelu Učka bili realniji, za koeficijente u postupku pretvorbe i izračuna emisija koristila se baza Spritmonitor.de koja prati realnu potrošnju goriva izrazito velikog broja vozila. Kao referentna osnova uzeto je područje Njemačke, koja je najveće emitivno turističko tržište za Istarsku županiju. Bazi Spritmonitor.de pristupljeno je 8. veljače 2023. godine te su uz pomoć funkcije filtera baze dobiveni podatci o prosječnoj potrošnji vozila s više od 20 000 prijeđenih kilometara (Spritmonitor.de, 2023). Iz podataka utemeljenih na realnoj potrošnji 266 379 vozila i sukladno metodologiji izračuna ugljikova otiska u tunelu Učka u prijašnjim radovima, kao što je Grofelnik i Kovačić 2023b, izračunata je prosječna emisija za cestovna vozila u iznosu od 180,9 g CO₂ po km te je navedena emisija dalje korištena za izračun mjesečnih i godišnjih ugljikovih otisaka cestovnih vozila u tunelu Učka.

Za mjesečni izračun ugljikova otiska cestovnog prometa u tunelu Učka korištena je sljedeća formula: *ugljikov otisak (tone CO₂) = mjesečni broj vozila (N) × duljina tunela Učka (5,062 km) × vrijednost emisije po vozilu CO₂ (180,9 tone CO₂/km)*

Dobivene vrijednosti ugljikova otiska povezane su metodom linearne regresije s odgovarajućim socioekonomskim čimbenicima na lokalnoj i nacionalnoj razini. Nadalje, izmjerene vrijednosti emisija CO₂ metodologijom ugljikova otiska uspoređene su s biokapacitetom lokalnih površina te je izračunat lokalni ugljikov otisak cestovnog prometa tunela Učka. Istraživanjem je obuhvaćeno pretpandemijsko i pandemijsko razdoblje od 2015. do 2020. godine te je obrađen sjeveroistočni krak Istarskog ipsilona s tunelom Učka kao strateški najznačajnijim objektom cestovne povezanosti Istarske županije s ostatkom nacionalnog teritorija, opskrbnim logističkim pravcem te koridorom za povezivanje Istre kao turističke destinacije s domaćim, ali i stranim turističkim tržištima srednje Europe.

Otisak je izračunat na mjesečnoj razini da bi se dobila osnova za analizu sezonalnosti emisija CO₂ vodeći računa da i biokapacitet okoliša pokazuje sezonalnost. Mjereni podatci o cestovnom prometu su, jednako kao i prikupljeni županijski i lokalni sekundarni statistički podatci (u direktnom kontaktu s tvrtkom BINA-Istra, Državnim zavodom za statistiku i Hrvatskim zavodom za mirovinsko osiguranje), pretvoreni u specifične vrijednosti emisija CO₂ koje su dalje metodologijom ugljikova otiska pretvorene u lokalne hektare. Lokalni hektari, u metodologiji ugljikova otiska, mjera su kapaciteta konkretne bioapsorpcije CO₂ lokalne vegetacije (u metodologiji ugljikova otiska često se koriste i globalni hektari koji predstavljaju mjeru kapaciteta bioapsorpcije CO₂ na prosječnoj globalnoj razini).

Uz izračun ugljikova otiska i udjela turizma u emisijama CO₂ u tunelu Učka tijekom analize otisak je na mjesečnoj razini za razdoblje od 2015. do 2020. godine povezan i s pojedinačnim čimbenicima/varijablama koji su u regresijskim modelima izdvojeni da bi se dobila najpouzdanija kombinacija čimbenika/varijabli za primjenu u budućim projekcijama utjecaja na okoliš i kao pomoć u procesu upravljanja infrastrukturom. Testirani modeli 0, 1 i 2 oslanjaju se na prijašnja istraživanja Grofelnik i Kovačić (Grofelnik i Kovačić, 2023a).

U početni (**Model 0 – ukupno_2015-2020**) višestruki regresijski model uvrštene se sljedeće nezavisne apsolutne numeričke varijable:

- (β_1 dtd) domaći turistički dolasci – broj turista (u tisućama) u Istarskoj županiji
- (β_2 std) strani turistički dolasci – broj turista (u tisućama) u Istarskoj županiji
- (β_3 dtn) domaća turistička noćenja – broj turista (u tisućama) u Istarskoj županiji
- (β_4 stn) strana turistička noćenja – broj turista (u tisućama) u Istarskoj županiji
- (β_5 zap) zaposleni – broj zaposlenih osoba (u tisućama) u Istarskoj županiji
- (β_6 nez) nezaposleni – broj nezaposlenih osoba (u tisućama) u Istarskoj županiji
- (β_7 ceiz) CEIZ indeks¹ – mjesečni kompozitni indikator poslovnog ciklusa (Republika Hrvatska)
- (β_8 covid) COVID-19 – mjesečni broj oboljelih od bolesti COVID-19 u Istarskoj županiji

Model 0 – ukupno_2015-2020 ($\ln CF = \beta_0 + \beta_1 dtd + \beta_2 std + \beta_3 dtn + \beta_4 stn + \beta_5 zap + \beta_6 nez + \beta_7 ceiz + \beta_8 covid$) koji je obuhvaćao sve varijable odbačen je nakon provjere preduvjeta za provedbu linearne regresije. Model 0 nije zadovoljio uvjete heteroskedastičnosti, nezavisnosti reziduala te je imao visoki stupanj autokorelacije.

¹ CEIZ indeks jest koincidentni ekonomski indikator, odnosno kompozitni ekonomski pokazatelj dinamičkog modela koji pruža informacije o nacionalnim uvjetima poslovnog ciklusa, a razvijen je na Ekonomskom institutu u Zagrebu (Rašić Bakarić i dr., 2016).

Nakon analize utjecaja pojedinih varijabli na početni model regresije u inačicu **Model 1 – 2015_2020** ($\ln CF = \beta_0 + \beta_1 \text{dtd} + \beta_2 \text{std} + \beta_3 \text{zap} + \beta_7 \text{ceiz}$) stavljene su odabrane nezavisne varijable da bi zadovoljio preduvjete za regresijsku analizu. U sljedećem koraku, da bi se izdvojila razlika utjecaja pojedinih varijabli u uobičajenim godinama u odnosu na 2020. godinu u izmijenjenim uvjetima zbog pojave pandemije koronavirusa, napravljen je **Model 2 – 2015_2019** (Tablica 4).

Prije daljnje interpretacije rezultata modela napravljena je provjera uvjeta regresijske heteroskedastičnosti provođenjem Breusch-Pagan i Abried-Whites testova. Da bi se provjerilo jesu li reziduali iz regresijske analize neovisni, koristio se Durbin-Watsonov test (DW). DW vrijednost za **Model 0** iznosi 1,58 za **Model 1** iznosi 1,19 te za **Model 2** iznosi 1,30 što ukazuje na to da nema značajne autokorelacije. Za detektiranje uvjeta multikolinearnosti korišten je Pearsonov koeficijent korelacije i faktor inflacije varijance (FIV). Vrijednosti Pearsonovih koeficijenata korelacije su između 0,10 i 0,18 (što ukazuje na to da kolinearnost vjerojatno ne postoji između varijabli), a FIV vrijednosti su između 1,05 i 2,41 (što također ukazuje na nisku međusobnu korelaciju korištenih varijabli).

Prethodna istraživanja

Turizam je recentno jedna od brzorastućih djelatnosti koja utječe na globalno povećanje emisija ugljikova dioksida (Lenzen i dr., 2018). U ukupnom utjecaju turizma na okoliš prije svega sudjeluju emisije CO₂ vezane za prijevoz ljudi i kretanje dobara na koje je oslonjen suvremeni turizam (Gössling i Peeters, 2015). U istraživanjima utjecaja turizma na okoliš emisijama CO₂ u atmosferu prvenstveno se koristi metoda određivanja ugljikova otiska (Lenzen i dr., 2018). Ugljikov otisak mjeri se na svjetskoj razini prema prosječnom bioapsorpcijskom kapacitetu globalnog ekosustava ili pak lokalno prema biokapacitetu apsorpcije određenog izdvojenog područja (Grofelnik, 2015; Liu i dr., 2016). Novija znanstvena istraživanja bave se većinom utjecajima turizma emisijama ugljika na sistemskoj, teorijskoj, globalnoj ili pak nacionalnoj razini (Gühnemann i dr., 2021; Lenzen i dr., 2018; Yang i Jia, 2022). Također, sve je veći interes za temu emisija CO₂ koje stvara cestovni promet u kontekstu klimatskih promjena (Lyu i dr., 2021) što je u skladu s činjenicom da promet globalno sudjeluje s oko 29 % ukupnih emisija stakleničkih plinova (Zhang i dr., 2019). Cestovni promet sudjeluje s oko 77 % u ukupnim emisijama stakleničkih plinova povezanih s prometom u EU-u (European Environment Agency, 2023).

Iz gore navedenog slijedi da su smanjenje ugljikova otiska i ekološka učinkovitost ključni izazovi prometnog sustava. Uz mnoge jasne pozitivne socioekonomske utjecaje gradnje tunela, potrebno je imati u vidu i utjecaj na okoliš velikih objekata cestovne infrastrukture u cijelom uporabnom vremenu ovih velikih objekata (Phillips, 2016; Namin i dr., 2014; Huymajer i dr., 2022). Prethodna istraživanja pokazala su da tunnelska infrastruktura

ima potencijal pridonijeti tržištu rada (Bjarnason, 2014; Bjarnason, 2021), a u kontekstu pozitivnih utjecaja ističe se i bolja prometna povezanost kao faktor smanjenja vremena putovanja (Samuelsen i Grøv, 2018), ublažavanja regionalne izolacije i negativnih demografskih procesa (Bjarnason, 2014). Tunel Učka u 40 godina od svoga otvaranja i dalje pokazuje svoju stratešku, gospodarsku, političku i društvenu vrijednost ujedinjujući nacionalni prometni sustav (Marinčić, 2016). Ovo se istraživanje nastavlja na prikaz rezultata ranijih istraživanja (Grofelnik i Kovačić, 2023a; Grofelnik i Kovačić, 2023b) te proširuje bazu dobivenih rezultata dodatnim tumačenjima rezultata i mogućim uporabnim vrijednostima u upravljanju turizmom i cestovnom infrastrukturom.

Rezultati i rasprava

Rezultati mjerenja intenziteta i strukture cestovnog prometa u tunelu Učka obuhvaćaju razdoblje od 2015. do 2020. godine. Podatci objedinjeni po kategorijama vozila i njihove specifične emisije CO₂ metodologijom ugljikova otiska u ovom su radu pretvoreni u konkretne vrijednosti lokalnog utjecaja na okoliš s obzirom na odgovarajući biokapacitet okoliša.

Izračun apsolutnog i relativnog ugljikova otiska turizma u tunelu Učka

Prosječni godišnji promet vozila u tunelu Učka za razdoblje od 2015. do 2020. godine iznosi 3 204 375 vozila godišnje. Za izračun emisija CO₂ po vozilu uzeta je baza vozila s područja Savezne Republike Njemačke, Spritmonitor.de, kao jedna od najvećih neovisnih baza koja prati potrošnju vozila na području Europske unije te ujedno pokriva najveće emitivno turističko tržište (Turistička zajednica Istarske županije, 2023) i najveće uvozno tržište polovnih vozila za područje Republike Hrvatske. Prosječni godišnji ugljikov otisak u promatranom razdoblju iznosio je 2934,3 tone CO₂ (Tablica 1).

Tablica 1. Godišnji ugljikov otisak prometa u tunelu Učka za razdoblje 2015. – 2020.

Godine	2015.	2016.	2017.	2018.	2019.	2020.	Prosjek
Ugljikov otisak CO ₂ (tona)	2647,0	2827,6	3036,8	3223,9	3357,1	2513,4	2934,3

Izvor: Izračun autora

Da bi se uz ukupni ugljikov otisak dobio i uvid u sezonske varijacije utjecaja prometa na okoliš, mjereni pokazatelji svedeni su na mjesečnu razinu (Tablica 2) te je tako omogućena analiza sezonalnosti emisija CO₂.

Tablica 2. Mjesečni ugljikov otisak prometa u tunelu Učka za razdoblje 2015. – 2020.

Godine	CF emisije CO ₂ po mjesecima (tone)											
	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.
2015.	145,9	143,9	181,6	205,8	234,1	254,1	320,9	335,6	258,6	209,7	179,8	176,9
2016.	151,4	163,6	197,5	215,3	247,4	262,6	348,4	364,3	275,5	227,8	186,4	187,4
2017.	158,5	175,6	216,9	245,2	269,6	300,4	373,1	371,2	284,4	250,4	200,3	191,1
2018.	188,7	171,0	222,5	262,8	295,4	315,5	382,7	391,2	311,1	266,4	213,4	203,1
2019.	189,3	195,0	242,6	270,9	294,9	332,4	391,4	407,0	319,3	280,1	220,6	213,4
2020.	200,3	209,7	146,3	77,8	174,7	255,4	310,2	330,6	251,5	222,7	184,3	149,9
Prosjek	172,4	176,4	201,3	213,0	252,7	286,8	354,4	366,6	283,4	242,9	197,5	187,0

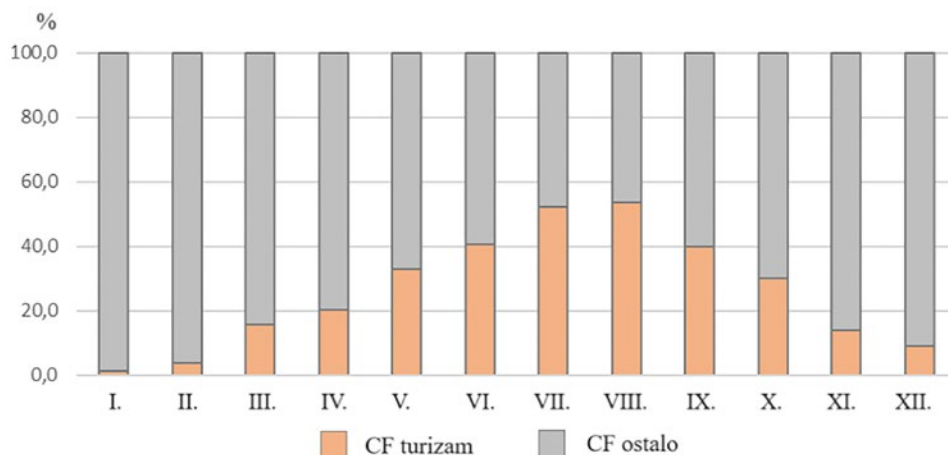
Izvor: Izračun autora

Analizom sezonalnosti ugljikova otiska omogućeno je sagledavanje turističkih utjecaja na okoliš koji proizlaze iz prostornih kretanja turista koji se koriste cestovnom vezom kroz tunel Učka. Da bi se odredila lokalna bilanca emisija CO₂ cestovnog prometa u odnosu na bioapsorpcijski kapacitet, korištene su površine pod izvornom vegetacijom na području Parka prirode *Učka* unutar kojeg se nalazi tunel Učka. Za izračun ukupnog godišnjeg biokapaciteta Parka prirode *Učka* uzete su površine pod kategorijama šume, livade i pašnjaci (Tablica 3) koje obuhvaćaju 97 % površine Parka. Poljoprivredne su površine iz izračuna ukupnog bioapsorpcijskog kapaciteta Parka prirode *Učka* izuzete zbog nemogućnosti utvrđivanja njihova tipa vegetacije te sezonskih promjena u usjevima, što u konačnici onemogućava izračun količina ugljikova dioksida koje te površine apsorbiraju iz atmosfere. Potrebno je također naglasiti da je udio poljoprivrednih površina unutar Parka prirode vrlo malen te iznosi 0,63 % (Tablica 3).

Tablica 3. Struktura površina Parka prirode Učka

Površine	Kategorija površina					
	Naselja	Površine gospodarske namjene	Infrastrukturne površine	Poljoprivredne površine	Šume	Livade i pašnjaci
ha	67,46	32,91	277,89	100,43	12127,65	3331,54
%	0,42	0,20	1,75	0,63	76,10	20,90

Izvor: Prostorni plan Park prirode *Učka*, 2006.



Slika 2. CF mjesečni udio za regionalne i turističke potrebe na bazi 170 tona CO₂ za regionalne potrebe
Izvor: Izračun autora

Da bi se biokapacitet šumskih zajednica Parka prirode *Učka* pretvorio u bioapsorpcijsku vrijednost po jedinici površine, korišten je faktor konverzije od 4,5 tona CO₂ po hektaru koji je preuzet od Bernal i dr. (2018), odnosno prema razini bioapsorpcije zrelih šuma umjerenih geografskih širina Europe, starosti od 20 do 60 godina. Za biokapacitet travnatih zajednica po jedinici površine Parka prirode uzet je faktor konverzije od 3,43 tona CO₂ po hektaru, koji je preuzet od Phillips i dr. (2023), odnosno razina bioapsorpcije zrelih travnatih površina umjerenih geografskih širina, starosti 30 godina. Temeljem navedenih faktora konverzije ukupni biokapacitet Parka prirode *Učka* izračunat je na razini 66.001,6 tona CO₂/godišnje, odnosno bioapsorpcijski kapacitet šumskih površina godišnje Parka prirode *Učka* iznosi 54.574,4 tona CO₂/godišnje, dok je biokapacitet travnatih površina 11.427,2 tona CO₂/godišnje. S obzirom na to da je prosječna godišnja emisija CO₂ u tunelu *Učka* za razdoblje od 2015. do 2020. godine iznosila 2934,3 tona CO₂, za apsorpciju emisija iz tunela *Učka* potrebno je 4,5 % biokapaciteta Parka prirode *Učka*, odnosno 687,9 ha na razini lokalnog biokapaciteta (Grofelnik i Kovačić, 2023b).

Udio prosječnih turističkih dolazaka u Istru za razdoblje 2015. – 2020. u zimskom minimumu mjeseca siječnja iznosi 0,6 % (u odnosu na prosjek cjelogodišnjeg broja turističkih dolazaka). Iz navedenog minimuma turističkih dolazaka u siječnju, za potrebe ovog istraživanja zanemario se doprinos turizma na cestovni promet u tunelu *Učka* te se vrijednost ugljikova otiska tijekom ostalih mjeseci oduzela od bazne vrijednosti siječnja ($CF_{\text{siječanj}} = 170$ tona CO₂). Tako se dobije ostatak ugljikova otiska koji je dominantno pod utjecajem turizma te je u godišnjem prosjeku tijekom razdoblja 2015. – 2020. iznosio prosječno 891,9 tona CO₂ ili 30,4 % (Slika 2).

Utvrđena je izrazita sezonalnost udjela ugljikova otiska turizma tijekom godine što je prvenstveno posljedica značaja turizma za lokalno gospodarstvo, odnosno s njime povezanih promjena u intenziteta i strukture cestovnog pro-

meta kroz tunel Učka. Također, u analizi godišnjeg hoda lako je uočiti maksimalne vrijednosti turističkog otiska u ljetnoj sezoni (srpanj i kolovoz, kada udio turizma u CF-u prelazi 50 %) te minimalne vrijednosti tijekom zimskih mjeseci (siječanj i veljača, kada je udio turizma u CF-u ispod 5 %).

Izdvajanje čimbenika utjecaja na promet i CF tunela Učka

Tablica 4. Regresijska analiza ugljikova otiska prometa u tunelu Učka (lnCF)

Varijable	Model 1, 2015. – 2020.	Model 2, 2015. – 2019.
β_0	12,414	12,528
	koeficijenti	
β_1 dtd, (domaći turističkih dolasci)	0,00808*	0,00423*
β_2 std, (strani turističkih dolasci)	0,00042*	0,00045*
β_3 nez, (nezaposlenost)	- 0,04818*	- 0,05752*
β_7 ceiz, (CEIZ index)	0,03146*	0,00624**
n	72	60
R ²	0,895	0,958
adj R ²	0,888	0,955
F	142,023	310,660
p	< 0,001	< 0,001

* p < 0,05; ** varijable bez statističke značajnosti

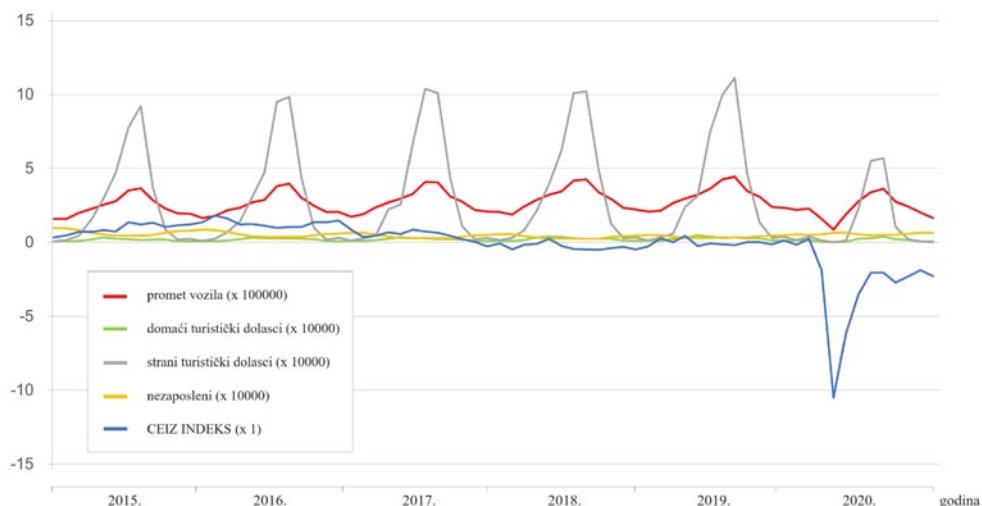
Izvor: Grofelnik i Kovačić, 2023a

Zbirnom analizom obaju regresijskih modela (Tablica 5) može se izdvojiti da je broj nezaposlenih (na razini Istarske županije) najpouzdanija varijabla za predikciju intenziteta cestovnog prometa u tunelu Učka i shodno tome utjecaja na okoliš. Kretanje mjesečnih vrijednosti broja nezaposlenih na prostoru Istarske županije usko je vezano za opću gospodarsku aktivnost (unutar koje primarni značaj ima turizam). Naime, povećanjem sezonske turističke aktivnosti povećava se aktivnost i drugih pratećih djelatnosti (trgovina, ugostiteljstvo, promet...) te je to popraćeno smanjenjem nezaposlenosti na području Istarske županije. Iz navedene veze turizma i nezaposlenosti važno je uočiti mogućnost predikcije intenziteta prometa u tunelu Učka (i s njime povezanim emisijama CO₂) u turističkoj predsezoni. Praćenje vrijednosti predsezonskog smanjenja nezaposlenih i usporedbu nezaposlenosti s prethodnim godinama moguće je iskoristiti kao alat za projiciranje intenziteta prometa u sezoni koja predstoji. Uz praćenje broja nezaposlenih kod prediktorskih varijabli moguće je koristiti i kretanje broja turističkih dolazaka kod kojih je vidljivo da broj domaćih gostiju na području Istre mnogo značajnije utječe na ugljikov otisak cestovnog prometa tunela Učka nego povećanje dolazaka stranih gostiju. Navedeno je usko povezano s prometnim položajem tunela Učka koji povezuje Istarsku županiju s matičnim nacionalnim teritorijem.

Tablica 5. Interpretacija regresijske analize ugljikova otiska prometa u tunelu Učka (lnCF)

Varijable	Model 1 – 2015-2020		Model 2 – 2015-2019	
	Relativna promjena	Apsolutna promjena	Relativna promjena	Apsolutna promjena
Nezaposlenost	CF pada 4,818 % za rast nezaposlenih od 1000 osoba	za povećanje nezaposlenih od 1000 osoba na cjelogodišnjoj razini ugljikov se otisak smanjuje za 139 108 kg CO ₂	CF pada 5,752 % na rast nezaposlenih od 1000 osoba	za povećanje nezaposlenih od 1000 osoba na cjelogodišnjoj razini ugljikov se otisak smanjuje za 166 075 kg CO ₂
CEIZ indeks	CF raste 3,146 % za rast CEIZ indeksa od jednog postotnog boda	za povećanje CEIZ indeksa za jedan postotni bod na cjelogodišnjoj razini ugljikov se otisak povećava za 90 833 kg CO ₂	kretanja CEIZ indeksa za promatrano razdoblje nisu se pokazala statistički značajna za interpretaciju	
Turistički dolasci domaćih gostiju	CF raste 0,808 % za rast domaćih dolazaka od 1000 gostiju	za povećanje od 1000 dolazaka domaćih gostiju na godišnjoj razini ugljikov se otisak povećava za 23 329 kg CO ₂	CF raste za 0,423 % za rast domaćih dolazaka od 1000 gostiju	za povećanje od 1000 dolazaka domaćih gostiju na godišnjoj razini ugljikov se otisak povećava za 12 213 kg CO ₂
Turistički dolasci stranih gostiju	CF raste 0,042 % za rast stranih dolazaka od 1000 gostiju	za povećanje od 1000 dolazaka stranih gostiju na godišnjoj razini ugljikov se otisak povećava za 1213 kg CO ₂	CF raste za 0,045 % za rast stranih dolazaka od 1000 gostiju	za povećanje od 1000 dolazaka stranih gostiju na godišnjoj razini ugljikov se otisak povećava za 1299 kg CO ₂

Usporedbom razlika na koje ukazuju model 1 i 2 (Tablica 4 i 5) vidljiv je utjecaj pandemije bolesti COVID-19 na cirkulaciju stanovništva, ali i na poremećaje ukupnog turističkog prometa. Zbog nacionalnih protuepidemijskih mjera tijekom proljeća 2020. godine u Republici Hrvatskoj, pa tako i u Istarskoj županiji, došlo je do smanjenja intenziteta cestovnog prometa. Također je uočljivo smanjenje turističkih kretanja u pandemijskim okolnostima te je vidljiv značajan pad broja turističkih dolazaka tijekom ljetne sezone 2020. godine. Slijedom navedenih promjena, iz usporedbe modela 1 i 2 (Tablica 4 i 5) vidljivo je povećanje utjecaja varijable dolazaka domaćih turista u modelu 1 (koji uključuje pandemijsku 2020. godinu). Navedeno ukazuje ne samo na smanjenje ukupnog godišnjeg ugljikova otiska pod utjecajem pandemije nego i na promjenu strukture turističkih dolazaka u Istru tijekom turističke sezone 2020. godine. Ipak, bez obzira na to što modeli pokazuju relativno veći utjecaj domaćih turističkih dolazaka na okoliš, ipak je značajno veći apsolutni utjecaj dolazaka stranih turista na ugljikov otisak cestovnog prometa u tunelu Učka. Prosječni godišnji broj dolazaka stranih turi-



Slika 3. Mjesečno kretanje izdvojenih čimbenika utjecaja na intenzitet prometa u tunelu Učka za razdoblje 2015. – 2020.

Izvor: Izračun autora

sta na područja Istarske županije u uobičajenim je okolnostima turističke sezone veći za gotovo 15 puta (Vojnović, 2018; Šulc i Fuerst-Bjeliš, 2021; DZS, 2022). Opisana razlika utjecaja domaćih i stranih turističkih dolazaka na područje Istre posljedica je i smještaja tunela Učka koji strateški povezuje Istru s ostatkom nacionalnog teritorija te se navedeno očituje u povećanom utjecaju domaćih gostiju na ugljikov otisak tunela. Za razliku od domaćih turista, strani turistički dolasci na područje Istre značajno su vezani za cestovne smjerove koji ne uključuju tunel Učka ili se koriste nekim drugim oblikom prijevoza.

Za razliku od opisanih utjecaja na regionalnoj razini (Tablica 4 i 5), na nacionalnoj razini utjecaja varijabla CEIZ indeks (Rašić Bakarić i dr., 2016) pokazala se statistički značajna za predikciju intenziteta prometa u tunelu Učka u modelu 1 (koji obuhvaća pandemijsku 2020. godinu) te bi se moglo zaključiti da ona dobiva na značaju kao varijabla predikcije u slučaju većih poremećaja ekonomskih kretanja na nacionalnoj razini koji se prelijevaju i na ekonomiju Istarske županije. Stoga se analiza utjecaja varijable CEIZ indeks može koristiti kao pomoć pri iznimnim kriznim situacijama upravljanja tunelom Učka s obzirom na to da se radi o značajnom strateškom nacionalnom infrastrukturnom objektu.

Istraživanjem je utvrđena jasna pozitivna veza između intenziteta turizma na regionalnoj razini Istarske županije i njegova utjecaja na intenzitet cestovnog prometa u tunelu Učka (Tablica 4 i 5). Iz rezultata istraživanja vidljiva je izražena sezonalnost turizma na području Istre s ljetnim maksimumom turističkih dolazaka koji direktno utječu na mjesečne varijacije ugljikova otiska i negativan utjecaj na okoliš unutar Parka prirode Učka. Istraživanje je također potvrdilo pozitivan utjecaj opće gospodarske aktivnosti na razini nacionalnog gospodarstva (CEIZ indeks) na povećanje intenziteta prometa u tunelu Učka (Slika 3).

Olakotna je okolnost što u istom razdoblju porasta intenziteta prometa (posljedično tome i emisija CO₂) i bioapsorpcijska baza (većinom listopadne vegetacije) ulazi u fazu intenzivne vegetacije te prati potrebe za povećanom apsorpcijom emisija CO₂.

Podatci iz ovog istraživanja, posebice oni koji se odnose na mjesečne varijacije intenziteta prometa u tunelu Učka i udio prometa koji je vezan za turistička kretanja (Slika 2), mogu se primijeniti pri oblikovanju modela upravljanja lokalnim i regionalnim prometnim tokovima s naglaskom na specifična razdoblja saturacije prometnica tijekom razdoblja u kojima se očekuju vršna opterećenja prometnica (turističke vikend-cirkulacije), razdoblja planiranih održavanja infrastrukture ili iznenadnih okolnosti (pri kojima se smanjuje protočnost i propusna moć tunela i prilaznih prometnica). Rezultati istraživanja ukazuju na to da je trenutna izgradnja druge cijevi tunela Učka opravdana i poželjna te da s obzirom na relativno malen otisak prometa u odnosu na biokapacitet Parka prirode *Učka* neće u skoroj budućnosti jače ugroziti okoliš. U kontekstu trenda povećanja udjela vozila s manjim ili nultim emisijama CO₂ u prolasku kroz tunel Učka, može se pretpostaviti da će očekivano povećanje intenziteta prometa u tunelu Učka (s rastom turizma i ostalih djelatnosti), ostati unutar prihvatljivih granica po okoliš.

Buduće teme koje ovo istraživanje otvara jesu potreba detaljnijeg uvida u sezonske varijacije intenziteta – s jedne strane djelatnosti koje su logistička potpora turizmu (npr. promet, trgovina...) i s druge strane ostalih djelatnosti na području Istarske županije bilo da je riječ o komplementarnim djelatnostima (npr. poljoprivreda) bilo nekim drugim djelatnostima koje bi mogle imati sličan (ili suprotan) godišnji hod intenziteta djelatnosti – te posljedično tome u potrebu prostornog kretanja ljudi i dobara kroz tunel Učka (sjeveroistočni krak Istarskog ipsilona). U budućim istraživanjima prometnog ugljikova otiska trebalo bi proširiti prostorni obuhvat utjecaja njegova intenziteta na područje cjelokupne Istarske županije, imajući u vidu važnost turističkog i ostalog prometa vezanog za sjeverozapadni krak Istarskog ipsilona. Izdvajanjem navedenog dobili bi se točniji rezultati utjecaja turizma na okoliš putem ugljikova otiska što bi moglo biti zanimljivo kao ulazni podatak u uobičajenim i alternativnim modelima upravljanja Istarskim ipsilonom i tunelom Učka, a posebice u menadžmentu kriznih situacija.

Zaključak

Bez obzira na suvremeni strateški cilj održivog razvoja i tehnološki napredak u snižavanju emisija CO₂, održiv i ugljično neutralan cestovni promet još dugo neće biti ostvaren. Prostorna cirkulacija ljudi i dobara s vidljivim udjelom rastićih turističkih kretanja ima značajnu ulogu u suvremenom opterećenju okoliša. U ovom se radu unutar ukupnog utjecaja cestovnog prometa na okoliš posebno istražio utjecaj turističke mobilnosti na atmosferske emisije CO₂ na primjeru studije slučaja Parka prirode *Učka*. U provedenom istraživanju fokus je na cestovnom prometu i s njime povezanim ugljikovim otiskom u nacionalno strateški vrlo važnom tunelu Učka koji povezuje vodeću turističku regiju Istre s ostatkom hrvatskog nacionalnog teritorija.

Istraživanjem je dokazan direktan i indirektan utjecaj turizma na intenzitet prometa u tunelu Učka i, posljedično, na emisije CO₂ u Parku prirode *Učka*. U radu je prikazan ukupni godišnji ugljikov otisak prometa u tunelu Učka, izdvojene su mjesečne vrijednosti emisija, izračunat je udio turizma kao generatora sezonalnosti te su izdvojeni pojedinačni faktori koji različitim intenzitetom utječu na generiranje ugljikova otiska. S obzirom na postavljena istraživačka pitanja, provedenu analizu i rezultate zaključno je moguće ustvrditi da su godišnje vrijednosti ugljikova otiska prometa u tunelu Učka sukladne intenzitetu prometa te u promatranom razdoblju od 2015. do 2020. godine iznose u prosjeku 2934,3 tone CO₂/godišnje. Mjesečne varijacije vrijednosti ugljikova otiska cestovnog prometa u tunelu Učka imaju pravi godišnjih hod s maksimumom tijekom ljeta i minimumom tijekom zime te su pod direktnim utjecajem turističkih cirkulacija koje su dominantno oslonjene na cestovni promet. Rezultati istraživanja ukazuju na to da su od promatranih varijabli koje se mogu povezati s intenzitetom prometa u tunelu Učka statistički značajne varijable: regionalni broj nezaposlenih, regionalni broj dolazaka domaćih turista, regionalni broj dolazaka stranih turista i, na nacionalnoj razini, CEIZ indeks. Godišnji udio otiska cestovnog prometa u tunelu Učka vezan za turistička kretanja iznosi 30,4 % te tijekom vrhunca ljetne turističke sezone prelazi i 50 % ugljikova otiska. Istraživanjem je izračunato da lokalni ugljikov otisak ukupnog cestovnog prometa u tunelu Učka u odnosu na biokapacitet Parka prirode *Učka* iznosi 4,5 %, odnosno 687,9 ha na razini lokalnog biokapaciteta.

Rezultati istraživanja predstavljeni u ovom radu prvenstveno su namijenjeni domaćoj znanstvenoj zajednici kao poticaj za provedbu sličnih studija slučaja na lokalnoj razini s ciljem širenja baze mjerenih utjecaja na okoliš. Na teorijskoj razini rezultati rasvjetljuju veze između gospodarsko-društvenih čimbenika i cestovnog prometa u razvijenim turističkim područjima te se mogu aplikativno upotrijebiti za predviđanje okolišnih utjecaja i ekonomskih parametara koji utječu na upravljanje velikim infrastrukturnim cestovnim objektima.

Usporedbom oblikovanih regresijskih modela 1 i 2 moguće je istaknuti dvije varijable kojima se može obaviti predikcija prometa i utjecaja na okoliš u uobičajenim i kriznim situacijama gospodarsko-društvenih poremećaja. U uobičajenim okolnostima predviđanja prometa varijabla nezaposlenosti na području Istarske županije pokazala se najstabilnijom i statistički značajnom za predikciju intenziteta prometa i ugljikova otiska prometa u tunelu Učka. Varijabla CEIZ indeks dobiva na značaju kao varijabla predikcije u slučaju većih poremećaja ekonomskih kretanja na nacionalnoj razini koji se prelijevaju i na gospodarstvo Istarske županije što je moguće iskoristiti kao pomoć pri upravljanju kod kriznih situacija općenito te uže, pri predviđanju intenziteta prometa u tunelu Učka.

Opći društveni doprinos ovog istraživanja usklađen je s ciljem širenja svijesti o utjecaju turizma i prometa na okoliš u kontekstu Europskog zelenog plana 2050 Europske komisije u segmentu emisije stakleničkih plinova. Specifični doprinos istraživanja vidljiv je u širenju baze mjerenih podataka i povezanih čimbenika utjecaja na okoliš da bi se dobila šira aplikativna baza za znanstveno utemeljeno održivo upravljanje prostorom i njemu pripadajućih procesa.

Literatura

- Ali, Q., Yaseen, M. R., Anwar, S., Makhdum, M. S. A., Khan, M. T. I. (2021). The impact of tourism, renewable energy, and economic growth on ecological footprint and natural resources: A panel data analysis, *Resources Policy*, 74, 102365. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2021.102365>
- Bernal, B., Murray, L. T., Pearson, T. R. (2018). Global carbon dioxide removal rates from forest landscape restoration activities, *Carbon balance and management*, 13 (1), 1–13.
- Bjarnason, T. (2014). The effects of road infrastructure improvement on work travel in northern Iceland, *Journal of Transport Geography*, 41, 229–238. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2014.09.009>
- Bjarnason, T. (2021). Tunnelling the Peninsula of Trolls: A Case Study of Road Infrastructure Improvement and Demographic Dynamics in Northern Iceland, *European Countryside*, 3 (2), 368–387. <https://doi.org/10.2478/euco-2021-0023>
- Državni zavod za statistiku (2023). Granični promet, URL: <https://podaci.dzs.hr/media/ohzkghyn/transport-05-granicni-promet.xlsx>, (21. studenoga 2023.)
- European Environment Agency (2023). Greenhouse gas emissions from transport in Europe. URL: <https://www.eea.europa.eu/ims/greenhouse-gas-emissions-from-transport> (15. siječnja 2023.)
- Gössling, S., Peeters, P. (2015). Assessing tourism's global environmental impact 1900–2050, *Journal of Sustainable Tourism*, 23 (5), 639–659. <https://doi.org/10.1080/09669582.2015.1008500>
- Grofelnik, H. (2015). A regular annual sea transport carbon footprint for the islands of Cres and Lošinj, *Hrvatski geografski glasnik*, 77 (2), 73–83. <https://doi.org/10.21861/HGG.2015.77.02.04>
- Grofelnik, H., Kovačić, N. (2023a). Factors Influencing the Carbon Footprint of Major Road Infrastructure – A Case Study of the Učka Tunnel, *Sustainability* 15 (5), 4461. <https://doi.org/10.3390/su15054461>
- Grofelnik, H., Kovačić, N. (2023b). Determining the Impact of Tourism on the Environment by Extracting the Carbon Footprint of Road Infrastructure in Natural Protected Areas-Case Study of the Učka Nature Park. U: Bašan, L., Lončarić, D. i Soldić Frleta, D. (ur.), *Proceedings of the Tourism in Southern and Eastern Europe 2023*, Opatija: Fakultet za menadžment u turizmu i ugostiteljstvu, 143–153. <https://doi.org/10.20867/tosee.07.10>
- Gühnemann, A., Kurzweil, A., Mailer, M. (2021). Tourism mobility and climate change-a review of the situation in Austria, *Journal of Outdoor Recreation and Tourism*, 34, 100382. <https://doi.org/10.1016/j.jort.2021.100382>
- Huymajer, M., Woegerbauer, M., Winkler, L., Mazak-Huemer, A., Biedermann, H. (2022). An Interdisciplinary Systematic Review on Sustainability in Tunneling – Bibliometrics, Challenges, and Solutions, *Sustainability*, 14, 2275. <https://doi.org/10.3390/su14042275>
- Lenzen, M., Sun, Y. Y., Faturay, F., Ting, Y. P., Geschke, A., Malik, A. (2018). The carbon footprint of global tourism, *Nature climate change*, 8 (6), 522–528. <https://doi.org/10.1038/s41558-018-0141-x>

- Liu, C., Wang, T., Lin, X., Zhao, R. (2016). Allocating and mapping carbon footprint at the township scale by correlating industry sectors to land uses, *Geographical Review*, 106 (3), 441–464. <https://doi.org/10.1111/j.1931-0846.2016.12159.x>
- Lyu, P., Wang, P. (S.), Liu, Y., Wang, Y. (2021). Review of the studies on emission evaluation approaches for operating vehicles, *Journal of Traffic and Transportation Engineering*, 8 (4), 493–509, <https://doi.org/10.1016/j.jtte.2021.07.004>
- Marinčić, P. (2016). Izgradnja tunela Učka. Od ideje do realizacije (1964–1981), *PI-LAR –Časopis društvene humanističke studije*, 22, 113–125.
- Maršanic, R., Mrnjavac, E., Pupavac, D., Krpan, L. (2021). Stationary traffic as a factor of tourist destination quality and sustainability, *Sustainability*, 13 (7), 3965. <https://doi.org/10.3390/su13073965>
- Marušić, Z., Čorak, S., Ivandić, N., Beroš, I., Ambrušec, M. (2019). *Attitudes and Expenditures of Tourist in Croatia*, Zagreb: Institute for Tourism, TOMAS Summer 2019.
- Mensah, J. (2019). Sustainable development: Meaning, history, principles, pillars, and implications for human action: Literature review, *Cogent social sciences*, 5 (1), 1653531. <https://doi.org/10.1080/23311886.2019.1653531>
- Namin, F.S., Ghafari, H., Dianati, A. (2014). New Model for Environmental Impact Assessment of Tunneling Projects, *Journal of Environmental Protection*, 5, 530–550. <http://dx.doi.org/10.4236/jep.2014.56056>
- Phillips, J. (2016). A quantitative evaluation of the sustainability or unsustainability of three tunnelling projects, *Tunnelling and Underground Space Technology*, 51, 387–404. <https://doi.org/10.1016/j.tust.2015.09.009>
- Phillips, C. L., Wang, R., Mattox, C., Trammell, T. L., Young, J., Kowalewski, A. (2023). High soil carbon sequestration rates persist several decades in turfgrass systems: A meta-analysis, *Science of the Total Environment*, 858, 159974.
- Prostorni plan Parka prirode Učka* (2006). Zavod za prostorno planiranje – Ministarstvo zaštite okoliša, prostornog uređenja i graditeljstva, Županijski zavod za održivi razvoj i prostorno planiranje Primorsko-goranske županije, Zagreb – Rijeka.
- Plan upravljanja Parkom prirode Učka i pridruženim zaštićenim područjima i područjima ekološke mreže (PU 6018)* (2023). Javna ustanova Park prirode Učka, Liganj.
- Rašić Bakarić, I., Tkalec, M., Vizek, M. (2016). Constructing a Composite Coincident Indicator for a Post-Transition Country. *Ekonomika istraživanja*, 29, 434–445, doi:10.1080/1331677X.2016.1174388.
- Samuelsen, T., Grønv, E. (2018). Subsea road tunnels in the Faroe Islands, *Proceedings of the Institution of Civil Engineers*, 171, 25–30. <https://doi.org/10.1680/jcien.17.00032>
- Yang, G., Jia, L. (2022). Estimation of Carbon Emissions from Tourism Transport and Analysis of Its Influencing Factors in Dunhuang, *Sustainability*, 14 (21), 14323. <https://doi.org/10.3390/su142114323>
- Spritmonitor.de (2023). Baza potrošnje vozila, URL: Verbrauch: Alle Hersteller – Alle Modelle – Spritmonitor.de (pristupljeno 8. veljače 2023.)

- Šulc, I., Fuerst-Bjeliš, B. (2021). Changes of tourism trajectories in (post) covidian world: Croatian perspectives. *Research in Globalization*, 3, 100052:9, doi:10.1016/j.resglo.2021.100052.
- Turistička zajednica Istarske županije (2023). Dolasci i noćenja turista u Istri prema zemljama porijekla, https://www.istra.hr/hr/business-information/istra-u-medijima/statistika/arhiva?_gl=1*1m75sqq*_up*MQ..*_ga*ODE-zNTAwMzA1LjE3MDI3NDIxNzE.*_ga_4VVKPV5SWJ*MTcwMjc0MjE3MS4xLjAuMTcwMjc0MjE3MS4wLjAuMA. (pristupljeno 12. travnja 2023.).
- Vojnović, N. (2018). Tourist intensity in Croatia's leading tourist towns and municipalities, *Geoadria*, 23 (1), 29–50, doi:10.15291/geoadria.1453.
- Zhang, L., Long, R., Chen, H., Geng, J. (2019). A review of China's road traffic carbon emissions, *Journal of Cleaner Production*, 207, 569–581. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.10.003>

THE IMPACT OF TOURISM ON THE ENVIRONMENT IN LEGALLY PROTECTED AREAS – A STUDY OF THE CONNECTION BETWEEN THE CARBON FOOTPRINT OF ROAD TRAFFIC AND TOURISM USING THE EXAMPLE OF THE UČKA TUNNEL IN THE UČKA NATURE PARK

Abstract

Greenhouse gas emissions generated due to domestic and international tourist movements can significantly burden the environment. This issue can intensify when the most frequent pattern in visitor movement is road traffic. The impact of tourism on natural protection requires a deeper insight into the influence of cause-and-effect relationships, including the factors related to carbon footprint which are still insufficiently investigated. If all environmental impacts of tourism could be reduced to a local measure of the environment's carrying capacity, then the global impact of tourism on the environment would be better sustained. In this light, this research aims to calculate the local environmental impact of road traffic carbon footprint on the case study of the Učka Nature Park in Croatia.

The main transport thoroughway connection between Croatia's Istrian Peninsula and its mainland passes through the protected area of the Učka Nature Park. Such tourism-driven traffic inevitably affects the environment. In the research, the total carbon footprint of the road traffic through the Učka Tunnel was calculated, with the specific calculation of the share of the carbon footprint of tourism. This research identifies factors influencing the carbon footprint and the intensity of the annual impact of tourism on the environment generated by the road traffic in the Učka Nature Park. The work aims to encourage the scientific community to conduct more research that would include specific measured values of local environmental impact. This will lead to the creation of a database to continue to track the environmental impact of traffic and tourism in nature protected areas. This outcome can lead to objective decision making in sustainable management that would reduce pressures on the environment.

Keywords: *environment, tourism, road traffic, carbon footprint, Učka Nature Park*

