

<https://doi.org/10.15255/KUI.2022.070>

KUI-30/2023

Izlaganje sa znanstvenog skupa

Prispjelo 16. listopada 2022.

Prihvaćeno 1. veljače 2023.

Ovo djelo je dano na korištenje pod
Creative Commons Attribution 4.0
International License

3. ZORH SUSRET

Onečišćenje bukom i svjetlošću na području grada Splita – sadašnje stanje i vizija budućnosti

M. Marušić,^{a*} I. Tojčić^b i L. M. Alešković^a^a Sveučilište u Splitu, Kemijsko-tehnološki fakultet, Zavod za fiziku, Ruđera Boškovića 35, 21 000 Split^b Institut Ruđer Bošković, Zavod za istraživanje mora i okoliša, Bijenička 54, 10 000 Zagreb

Sažetak

Svjetlosno i zvučno onečišćenje rastući su globalni problem, čije posljedice variraju od narušavanja bioraznolikosti i poremećaja u ekološkom sustavu, preko sigurnosnih problema, do utjecaja na ljudsko zdravlje. U ovom radu analizira se onečišćenje bukom i svjetlosno onečišćenje na području grada Splita. Sustavno mjerenje razine buke postoji samo u određenim dijelovima grada Splita, dok mjerenja za svjetlosno zagađenje uopće ne postoje. Rezultati sumarne analize podataka sa strateških karata buke o izloženosti stanovništva grada Splita buci pokazuju da je 42 % stanovnika izloženo prekomjernim razinama buke cestovnog prometa u razdoblju dana, večeri i noći. Analizom javno dostupnih satelitskih mjerenja pokazano je da je po svjetlosnom zagađenju nebo nad gradom Splitom klasificirano u razred gradskog neba, s tendencijom odlaska u najviši razred svjetlosnog zagađenja. Takvi rezultati upućuju na potrebu za što skorijom primjenom mjera koje omogućavaju smanjenje zagađenja bukom i svjetlosnog onečišćenja, s ciljem poboljšanja kvalitete života na području grada Splita.

Ključne riječi

Svjetlosno zagađenje, zagađenje bukom, buka cestovnog prometa, gradsko nebo, ublažavanje urbanog onečišćenja

1. Uvod

Ljudi su, ubrzano povećavajući stopu i opseg urbanizacije, modificirali većinu Zemljine površine.^{1,2} Taj proces izmijenio je obrasce u svjetlosnim, bučnim i temperaturnim uvjetima na Zemlji.³ Umjetna noćna rasvjeta oblikuje mrežu koja se širi cijelim svijetom,^{4,5} a povišene razine buke koju proizvode promet i industrija su sveprisutne^{6,7} i karakteriziraju ekosustave kojima dominiraju ljudi.⁸

Svjetlosno i zvučno onečišćenje prepoznati su kao rastući globalni problem, čije posljedice mogu biti vrlo teške – od narušavanja bioraznolikosti i poremećaja u ekološkom sustavu, preko sigurnosnih problema, prevelike potrošnje električne energije, pa sve do utjecaja na ljudsko zdravlje.⁹ *Chepesiuk*¹⁰ je pokazao da umjetno svjetlo može smanjiti proizvodnju melatonina noću i povećati rizik od razvoja karcinoma. Zagađenje bukom dokazano negativno utječe na razne ljudske kognitivne sposobnosti,^{11,12} kao i na dijelove mozga za govor, radno pamćenje te kardiovaskularni sustav.^{13,14} Također, izaziva pojavu umora, smanjuje koncentraciju i sigurnost na radu. U Republici Hrvatskoj gradovi s više od 100 000 stanovnika dužni su periodički izrađivati strateške karte buke (SKB) za procjenu izloženosti stanovništva buci različitih vrsta prometa. Na temelju rezultata strateške karte buke izrađuje se akcijski plan upravljanja bukom. S obzirom na pozicioniranje Splita kao važne turističke destinacije u proteklih nekoliko godina, što

kao posljedicu ima povećan promet i broj ljudi koji borave u gradu, u ovom radu napravljena je analiza trenutnog onečišćenja bukom i svjetlošću na području grada.

2. Onečišćenje bukom

Pod bukom, za čovjeka, smatramo vrlo glasne, neugodne, čak i bolne zvukove. Zvuk je mehanički val u intervalu frekvencija od 16 Hz do 20 000 Hz koji nastaje periodičnim titranjem izvora zvuka. Širenjem od izvora dolazi do promjene lokalne gustoće i tlaka duž smjera širenja. U plinovima i kapljevinama zvuk se širi u obliku longitudinalnih valova, dok se u čvrstim tijelima širi u obliku longitudinalnih i transverzalnih valova. Pri širenju valova dolazi do prijenosa impulsa i energije, ali ne i mase. Brzina širenja ovisi o svojstvima tromosti i svojstvima elastičnosti sredine kroz koju se šire. Pri širenju zvuka očituju se pojave svojstvene svakom valnom gibanju, kao što su apsorpcija, refleksija, refrakcija, ogib, Dopplerov efekt.^{15,16} Osnovne značajke buke određene su njezinim intenzitetom, kakvoćom (dodatni šumovi), visinom, trajanjem, isprekidanosti ili kontinuiranosti. Stupanj negativnog utjecaja buke ovisi o psihološkim čimbenicima slušatelja. Svaka buka intenziteta većeg od 85 do 90 dB može uzrokovati oštećenja nakon duge izloženosti njezinu djelovanju.

Jakost zvuka (I) fizikalna je veličina koja određuje energiju koja prođe okomito kroz jediničnu površinu u jedinici vremena. Mjerna jedinica je 1 W m^{-2} . Najmanja jakost zvuka koje ljudsko uho može čuti naziva se prag čujnosti i iznosi $I_0 = 10^{-12} \text{ W m}^{-2}$. Razina jakosti zvuka (L) mjerna je veličina izražena u decibelima (dB), prilagođena osjetljivosti ljudskog uha i dana relacijom: $L = 10 \log(I/I_0)$.

* Autor za dopisivanje: dr. sc. Mirko Marušić

e-pošta: mmarusic@ktf-split.hr, ORCID ID: 0000-0002-1461-4228

Napomena: Istraživanje u ovom radu prezentirano su na 3. međunarodnom susretu znanstvenika, stručnih djelatnika i studenata na temu zaštite okoliša u Republici Hrvatskoj (3. ZORH Susret), održanom 28. – 29. travnja 2022. na Kemijsko-tehnološkom fakultetu Sveučilišta u Splitu.

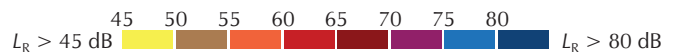
Mjerač razine zvuka, odnosno bukomjer, mjerni je instrument koji se upotrebljava za procjenu buke ili razine jačnosti zvuka mjerenjem zvučnog tlaka. Pomoću mikrofona zvuk se detektira i potom pretvara u neki drugi signal, najčešće električni. Često se naziva i mjerač razine zvučnog tlaka, mjerač razine zvuka u decibelima (dB), mjerač šuma ili dozimetar buke.¹⁷

Buka motornih vozila, zračnog i željezničkog prometa, građevinskih strojeva te rekreacijskih plovila i opreme za vanjsku uporabu predstavlja značajan izvor onečišćenja okoliša bukom. Pri izradi akcijskog plana upravljanja bukom u gradu Splitu određuju se prioritarna područja i aktivnosti za smanjenje broja stanovnika izloženih prekomjernoj buci cestovnog i željezničkog prometa te industrijskih pogona i postrojenja. Strateška karta buke koja je metodološki izrađena u punom suglasju sa Smjernicama Europske komisije (EK) iz područja ocjene i upravljanja bukom daje objektivnu ocjenu opterećenosti okoliša određenim razinama buke koje potječu od glavnih izvora buke i koje se primjenjuju u daljnjim postupcima akcijskog planiranja upravljanja bukom. Za grad Split stratešku kartu buke, s ocjenom godinom 2016., izradio je DARH 2 d.o.o. za arhitekturu i akustiku, u prosincu 2017. Prema dostupnim podacima, na promatranom području proračuna strateške karte buke grada Splita za ocjensku godinu 2016. živi 178 102 stanovnika. Izrađeni elaborat sadrži grafičke prikaze indikatora buke, L_{day} , $L_{evening}$, L_{night} i L_{den} , cestovnog i željezničkog prometa te industrijskih pogona i postrojenja grada Splita, a indikatori imaju sljedeće značenje. L_{day} opisuje dnevne uvjete rada od 7:00 do 19:00 sati, $L_{evening}$ opisuje večernje uvjete rada od 19:00 do 23:00 sati, L_{night} opisuje noćne uvjete rada od 23:00 do 7:00 sati, a L_{den} opisuje cjelod-

nevno opterećenje bukom, uvažavajući prilagodbu radi ocjenskog razdoblja.

Metodologija provedbe analize izloženosti stanovništva i stambenih jedinica izrađene strateške karte buke izravno slijedi iz odredbi Pravilnika o načinu i sadržaju karata buke i akcijskih planova te o načinu izračuna dopuštenih indikatora buke (NN 75/09). Metodologija zahtijeva navođenje vrijednosti L_{den} i L_{night} proračunate na visini 4 m iznad tla i izražene u decibelima (dB). Ti parametri primjenjuju se prilikom procjene izloženosti buci.

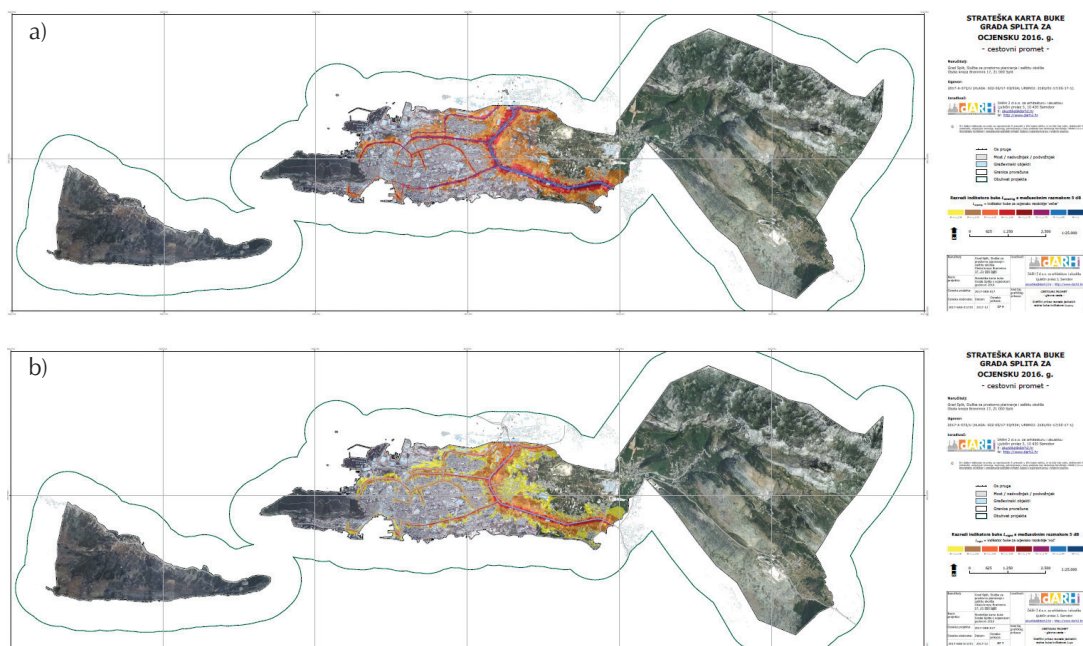
Strateška karta buke grada Splita za ocjensku godinu 2016. daje grafičke prikaze onečišćenja bukom primjenjujući predstavljanje pomoću pojasa buke širine 5 dB, koji su prikazani različitim bojama (slika 1).¹⁸



Slika 1 – Grafički prikaz pojasa buke širine 5 dB¹⁸

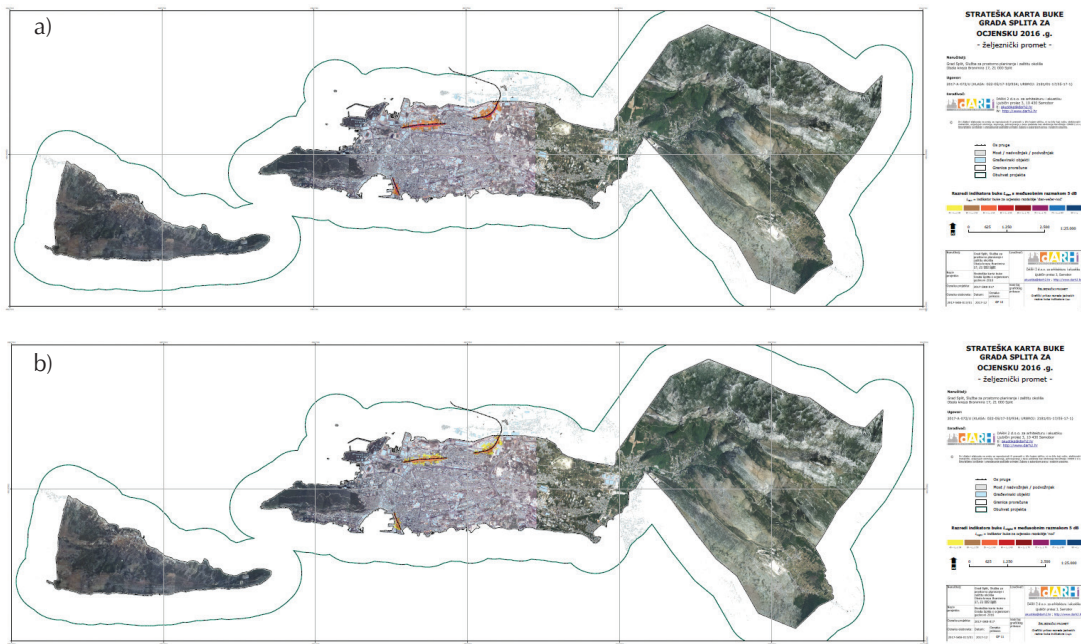
Fig. 1 – Graphical representation of a noise band with a width of 5 dB¹⁸

Dominantno onečišćenje bukom za grad Split je ono koje dolazi od cestovnog prometa (slika 2). Područja s najvećim odstupanjem od 55 dB su sljedeća: Ulica kralja Stjepana Držislava, Ulica Zbora narodne garde, Poljička cesta, Ulica Domovinskog rata, Ulica Hrvatske mornarice, Solinska ulica te Gradska i Sjeverna luka.



Slika 2 – Strateška karta buke grada Splita, onečišćenja bukom od cestovnog prometa: a) razred indikatora buke L_{den} ; b) razred indikatora buke L_{night} ¹⁸

Fig. 2 – Strategic map of noise in the city of Split, noise pollution from road traffic: a) noise indicator class L_{den} ; b) noise indicator class L_{night} ¹⁸



Slika 3 – Strateška karta buke grada Splita, onečišćenja bukom od željezničkog prometa: a) razred indikatora buke L_{den} ; b) razred indikatora buke L_{night} ¹⁸

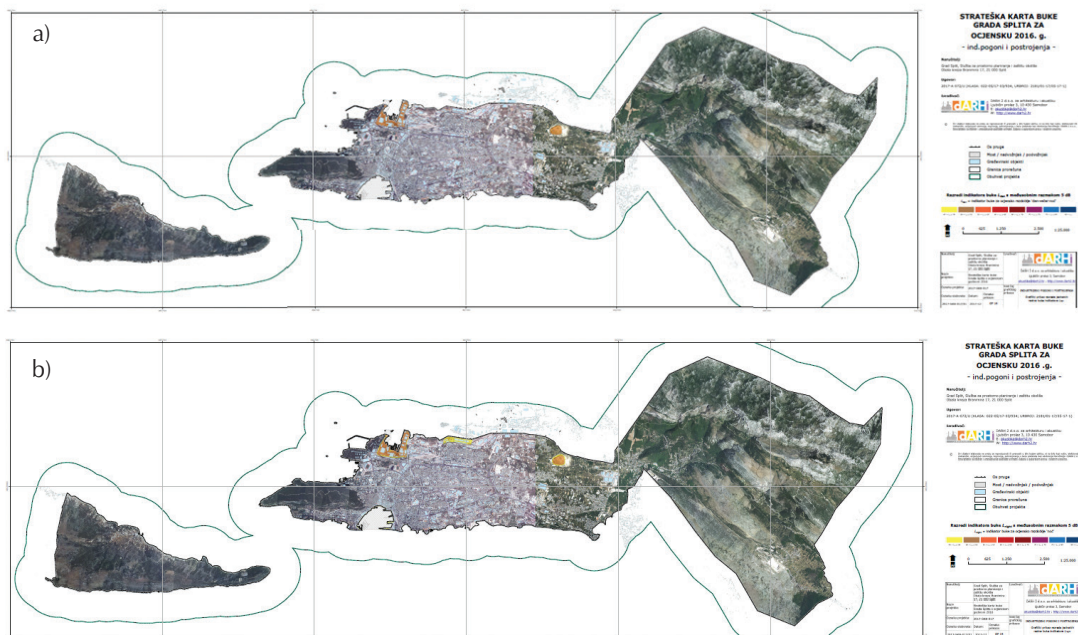
Fig. 3 – Strategic map of noise in the city of Split, noise pollution from railway traffic: a) noise indicator class L_{den} ; b) noise indicator class L_{night} ¹⁸

Onečišćenje bukom od željezničkog prometa (slika 3) prisutno je jedino u Kopilici te na području Željezničkog kolodvora Split.

U službenim podacima nema mjerenja onečišćenja bukom od pomorskog prometa. Ujedno, treba napomenuti da nedostaju mjerenja prekomjernih razina buke od pro-

metnih aktivnosti vezanih za Helidrom KBC-a Split, koje znatno povećavaju razinu buke u okolnim gradskim kvartovima (Zenta, Firule, Trstenik, Blatine, Split 3).

Sa slika 4a i 4b vidljivo je da su onečišćenja bukom od industrijskih pogona i postrojenja prisutna samo u noćnim satima (23:00 – 7:00) i to u malom pojasu buke od 50



Slika 4 – Strateška karta buke grada Splita, onečišćenja bukom od industrijskih pogona i postrojenja: a) razred indikatora buke L_{den} ; b) razred indikatora buke L_{night} ¹⁸

Fig. 4 – Strategic map of noise in the city of Split, noise pollution from industrial activities: a) noise indicator class L_{den} ; b) noise indicator class L_{night} ¹⁸

do 55 dB. Za to su odgovorni sljedeći industrijski pogoni i postrojenja: Gradska luka, odlagalište otpada "Karepovac", Sjeverna luka te brodogradilište "Brodosplit". Zanemarivost onečišćenja bukom od industrijskih pogona i postrojenja potvrđuju i podatci *NOISE* (engl. *Noise Observation & Information Service for Europe*)¹⁹ službe za promatranje i informiranje o buci u Europi.

Procijenjen je i broj škola i bolnica koje su izložene povećanim vrijednostima indikatora buke (tablica 1). Vidljivo je da cjelodnevno opterećenje bukom iznad 55 dB ima 12 škola na području grada Splita. S druge strane, u tom vremenskom intervalu bolnice nisu opterećene bukom. Kod noćnih uvjeta rada prekomjernim razinama buke izložene su obje splitske bolnice, kao i osam škola. S obzirom na to da se u školama u tom vremenu ne obavlja nikakva djelatnost, taj podatak nije od većeg značaja u kontekstu broja osjetljive populacije izložene prekomjernim razinama buke.

Budući da su L_{den} i L_{night} referentni parametri koji se primjenjuju prilikom procjene stupnja neugode od buke, dana je tablica 2 s najnovijim službenim podacima za grad Split.

Rezultati sumarne analize podataka tablice 2, odnosno izloženosti stanovništva grada Splita buci iz različitih izvora, pokazuju da je u Splitu 42 % stanovništva izloženo prekomjernim razinama buke cestovnog prometa tijekom cijelog dana i noći. Prekomjernim razinama buke od željezničkog prometa izloženo je 1,9 % stanovnika grada Splita, dok je njih 1,4 % izloženo buci koju proizvode industrijski pogoni i postrojenja.

3. Svjetlosno onečišćenje

Vidljiva svjetlost je elektromagnetsko zračenje u intervalu od 380 do 780 nm. To zračenje ljudsko oko razlikuje kao boje, od ljubičaste do crvene. Svjetlost se širi konačnom

Tablica 1 – Analiza izloženosti objekata osjetljive namjene grada Splita razinama buke cestovnog prometa, indikator buke L_{den} i indikator buke L_{night} .¹⁸

Table 1 – Analysis of the exposure of buildings of sensitive use in the city of Split to road traffic noise levels, noise indicator L_{den} and noise indicator L_{night} .¹⁸

Analiza izloženosti objekata osjetljive namjene – L_{den} Analysis of the exposure of buildings of sensitive use – L_{den}		
Razred indikatora buke L_{den} /dB Noise indicator class	Bolnice Hospitals	Škole Schools
55–59	0	4
60–64	0	4
65–69	0	2
70–74	0	2
> 75	0	0
Analiza izloženosti objekata osjetljive namjene – L_{night} Analysis of the exposure of buildings of sensitive use – L_{night}		
Razred indikatora buke L_{night} /dB Noise indicator class	Bolnice Hospitals	Škole Schools
55–59	0	2
60–64	2	4
65–69	0	2
70–74	0	0
> 75	0	0

brzinom, c , koja u vakuumu iznosi $299\,792\,458\text{ m s}^{-1}$. U svakom drugom prozirnom mediju brzina svjetlosti je manja i dana je izrazom $c_{\text{medij}} = c/n$, gdje je n indeks loma prozirnog medija. Svjetlost se u homogenom izotropnom sredstvu širi pravocrtno. Osnovne pojave vezane za širenje svjetlosti su refleksija, refrakcija, ogib, interferencija i polarizacija svjetlosti.²⁰

Tablica 2 – Izloženost buci prema broju stanovnika po dobnim skupinama za grad Split za indikatore L_{night} i L_{den} .¹⁸

Table 2 – Exposure to noise in relation to the number of inhabitants by age group for city of Split, for indicators L_{night} and L_{den} .¹⁸

Broj stanovnika: Number of inhabitants 178102	Dobne skupine/godine Age groups/years	56 – 65		66 – 75		> 75	
		L_{night} /dB	L_{den} /dB	L_{night} /dB	L_{den} /dB	L_{night} /dB	L_{den} /dB
Izvor buke Noise source ceste/roads	< 14	5977	8611	932	2691	0	97
	15–64	26960	38694	4092	12189	0	372
	> 65	6520	9287	912	2941	0	0
željeznice railways	< 14	322	353	108	130	0	1
	15–64	1573	1725	527	638	0	5
	> 65	347	381	116	141	0	0
industrija industry	< 14	313	400	0	2	0	0
	15–64	1371	1725	0	6	0	0
	> 65	237	304	0	0	0	0



Slika 5 – Prikaz svjetlosnog onečišćenja za grad Split uz odgovarajuću legendu²²
 Fig. 5 – Display of light pollution for the city of Split with the corresponding legend²²

Širenje i svjetlosti i buke možemo tumačiti kroz temeljni princip širenja valova – Huygensov princip (1678.), koji kaže da je u homogenim sredstvima svaka točka valne fronte izvor novog kuglastog vala. Taj novi val širi se istom brzinom kao i osnovni val, a sekundarni valovi nastali u različitim točkama međusobno interferiraju.

Fotometrijske veličine kvantitativno opisuju svjetlost kao zračenu energiju koju percipira oko. Glavne fotometrijske veličine su: svjetlosni tok (Φ , mjerna jedinica lumen – lm), rasvijetljenost (E , mjerna jedinica luks – lx), jakost svjetlosti (I , mjerna jedinica kandela – cd) i luminancija (L , mjerna jedinica cd m^{-2}).²¹ Te veličine se računaju da bi se dobile potrebne informacije za daljnji razvoj rasvjete, a time i smanjenje nastanka svjetlosnog onečišćenja. Kod procjene količine svjetlosnog onečišćenja najvažniji podatak je ocjena sjaja nebeskih objekata. Mjera sjaja zvijezde, planeta ili drugog nebeskog tijela dana je veličinom koja se zove magnituda (m).

Nacionalna mjerenja svjetlosnog onečišćenja u Hrvatskoj ne provode se sustavno i kontinuirano. Stoga su uzeti podatci s internetske stranice “Light pollution map” za mapiranje svjetlosnog onečišćenja koji se temelje na satelitskim snimkama radiometara za vidljivu infracrvenu sliku i obrambenog meteorološkog satelitskog programa.^{22–24} Instrument VIIRS (engl. *Visible Infrared Imaging Radiometer Suite*, VIIRS) prikuplja podatke globalnih satelitskih mjerenja koja obuhvaćaju vidljive i infracrvene valne duljine elektromagnetskog zračenja preko kopna, oceana i atmosfere. VIIRS također posjeduje jedinstveni dnevno/noćni pojas (engl. *Day Night Belt*, DNB), koji je izrazito osjetljiv u uvjetima slabog osvjetljenja te omogućuje prikupljanje podataka o intenzitetu noćnih svjetala s boljom prostornom i vremenskom razlučivosti u odnosu na podatke o noćnim svjetlima koje daje obrambeni meteorološki satelitski program (engl. *Defense Meteorological Satellite Program*, DMSP). Sateliti DMSP-a bilježe svojstva okoliša kao što su oblaci, vodene mase, snijeg, vatra i zagađenje u vidljivom i infracrvenom dijelu spektra.

Mjerač kvalitete neba (engl. *Sky Quality Meter*, SQM) instrument je koji se upotrebljava za mjerenje svjetline noćnog neba i kvantificiranje aspekta sjaja noćnog neba zbog svjetlosnog onečišćenja. Mjerna jedinica za vrijednost svjetline je standardna astronomska mjera “magnituda po kvadratnoj lučnoj sekundi” (mag arcsec^{-2}).²⁵

Da bi se dobio cjelovit pogled u problem svjetlosnog onečišćenja, primjenjuju se kalibrirani podatci visoke razlučivosti i širokog dinamičkog raspona iz VIIRS-a i nove baze podataka mjerenja SQM.

J. E. Bortle je 2001. definirao numeričku ljestvicu koja provodi klasifikaciju mjerenih svjetlina noćnog neba nad pojedinih mjestom, te provodi procjenu tame opservacijskog mjesta kao i usporedbu s mjerenjima na različitim lokacijama. Ljestvica ima raspon od 1 (iznimno tamno nebo) do 9 (nebo nad središtem grada).²⁶

U tablici 3 dane su vrijednosti svjetline noćnog neba, granične magnituda vidljive golim okom te granične magnituda (za teleskop otvora 320 mm) za svaku od devet Bortleovih kategorija. Granična magnituda vidljiva golim okom odnosi se na najslabije zvijezde koje se mogu vidjeti golim okom blizu zenita za vedrih noći bez mjesečine. Najčešće se primjenjuje kao ukupni pokazatelj svjetline neba. Granična magnituda je najslabija prividna magnituda nebeskog tijela koja se može detektirati određenim instrumentom.²⁷

Mjerenja pokazuju da je po svjetlosnom zagađenju nebo nad gradom Splitom klasificirano u razred gradskog neba (slika 5, tablica 3) s tendencijom prelaska u najviši razred svjetlosnog zagađenja.

Uzroci povećanog svjetlosnog zagađenja često su neodgovarajući dizajn i nepravilna montaža rasvjetnih tijela.²⁸ Brojna rasvjetna tijela dizajnirana su tako da svjetlost emitiraju u gotovo svim smjerovima. Kvalitetna rasvijetljenost postiže se uporabom rasvjetnih tijela čiji je dizajn takav da usmjerava svjetlost na željenu površinu. Grad Split je

s ciljem smanjenja troškova sustava javne rasvjete i smanjenja emisije CO₂ pokrenuo niz projektnih inicijativa za modernizaciju javne rasvjete primjenom mjera energetske učinkovitosti.²⁹

Tablica 3 – Klasifikacija neba u ovisnosti o svjetlosnom zagađenju³⁰

Table 3 – Sky classification depending on light pollution³⁰

Klasa Class	Oznaka Label	Svjetlina neba Sky Magnitude SQM	Granična magnituda vidljiva golim okom Naked Eye Limit Magnitude	320 mm Granična magnituda Limit Magnitude
1	Iznimno tamno nebo Excellent dark sky	22,00 – 21,99	≥ 7,5	> 17
2	Prosječno tamno nebo Typical dark sky	21,99 – 21,89	7,0 – 7,49	16,5
3	Ruralno nebo Rural sky	21,89 – 21,69	6,5 – 6,99	16,0
4	Prijelaz između ruralnog i predgrađa Rural/suburban transition	21,69 – 20,49	6,0 – 6,49	15,5
5	Predgrađe Suburban sky	20,49 – 19,50	5,5 – 5,99	14,5 – 15,0
6	Svjetlo predgrađe Bright suburban sky	19,50 – 18,94	5,0 – 5,49	14,0 – 14,5
7	Prijelaz između predgrađa i grada Suburban/urban transition	18,94 – 18,38	4,5–4,99	14,0
8	Gradsko nebo City sky	< 18,38	4,0–4,49	13
9	Nebo središta grada Inner-city sky	–	≤ 4,0	–

Tako je u razdoblju od 2016. do 2019. u sklopu EU projekta CitiEnGov (engl. *Cities for a Good Energy Governance*) proveden Pilot-projekt pametne javne rasvjete i to na području gradskog kotara Bačvice, koji se pokazao kao jedan od najboljih primjera modernizacije javne rasvjete na području Srednje Europe primjenom najnovijih tehnologija. Postignuti su iznimni rezultati u smanjenju potrošnje električne energije, povećanju ugodnosti i sigurnosti za građane i posjetitelje grada kao i smanjenju emisije CO₂ (tablica 4).

Tablica 4 – Postignuti rezultati projekta CitiEnGov (2016. – 2019.)²⁹

Table 4 – Achieved results of the CitiEnGov project (2016 – 2019)²⁹

	Stanje prije projekta State before the project	Stanje poslije projekta State after the project
Broj lampi javne rasvjete Number of public lighting lamps	79	82
Ukupna snaga Total power	15,95 kW	3,05 kW
Godišnja emisija CO ₂ Annual CO ₂ emission	15,35 t	2,90 t
Godišnja potrošnja energije Annual energy consumption	65 379 kWh	12 476 kWh

Potaknut konkretno dokazanim rezultatima na provedenom pilot-zahvatu, Grad Split je pokrenuo inicijativu za razvoj projekta primjene mjera energetske učinkovitosti na cijelom sustavu javne rasvjete koji se sastoji od preko 18 000 svjetiljki, da bi povećao sigurnost i ugodu građana i posjetitelja grada, smanjio troškove sustava javne rasvjete, ali i uskladio sustav javne rasvjete sa strogim uvjetima iz Zakona o zaštiti od svjetlosnog onečišćenja (NN 14/19), koji je na snazi od 1. travnja 2019. Osnovna odrednica projekta je uvođenje moderne i energetski učinkovite LED rasvjete na cijelom području grada Splita, usklađenje rasvjete s tehničkim normama, ali i pozitivnim zakonskim propisima. Jedan od najznačajnijih elemenata tog projekta je i nastavak razvoja grada Splita, po strateškoj odrednici "Smart City", pametnog grada budućnosti uvođenjem novih tehnologija u gradsku svakodnevicu. Takvim bi se projektom na cjelokupnom zahvatu velikih, ključnih prometnica u gradu implementirao sustav pametne javne rasvjete. To tehničko rješenje temeljni je element u uvođenju rješenja pametnog grada, a u potpunosti je kompatibilno i nadogradivo na sustave sigurnosti, nadzora i upravljanja prometom, odnosno Inteligentni transportni sustav (ITS), koji ima cilj stvaranje učinkovitijeg i sigurnijeg prometa te smanjenje prometnih zagušenja. ITS podrazumijeva optimizirano upravljanje prometom i semaforskim sustavom, videonadzor prometa, usluge informiranja putnika i vozača o stanju u prometu putem mobilne aplikacije, umreženost sa sustavima za praćenje vremenskih uvjeta i stanja okoliša, kao i davanje prednosti vozilima javnog gradskog prijevoza i žurnih službi³¹. Za projekt "Modernizacija javne rasvjete Grada Splita primjenom modela energetske usluge" predviđa se nabava 15 159 novih LED svjetiljki. Tim brojem obuhvatilo bi se 81 % gradske rasvjete te bi se na godišnjoj razini ostvarilo smanjenje emisije CO₂ u iznosu 1770 t.

4. Zaključak

Za razliku od drugih oblika onečišćenja, onečišćenje bukom i svjetlom relativno je lako ublažiti: prestaje onog trenutka kad zaustavimo emitiranje smetnje. Isto se ne može

reći za plastiku ili kemijske zagađivače, kojima, nakon što uđu u trofički lanac, treba dugi niz godina da iz njega nestanu. Stoga istraživanja koja donesu konkretne zaključke o ovoj relativno novoj problematici mogu potaknuti na trenutne promjene i smanjenje onečišćenja. Činjenice utvrđene u ovom radu: da je nebo nad gradom Splitom klasificirano u razred gradskog neba, s tendencijom prelaska u najviši razred svjetlosnog zagađenja te da je 42 % stanovništva Splita izloženo prekomjernim razinama buke cestovnog prometa u razdoblju dana, večeri i noći, nalažu da se što hitnije primjene mjera koje će poboljšati kvalitetu akustičnog i svjetlosnog okoliša u gradu Splitu. Modernizacijom, odnosno zamjenom zastarjelih neekoloških svjetiljki s novim, energetski učinkovitim i ekološkim LED svjetiljkama te upotrebom kvalitetne regulacije i upravljanja, mogu se postići znatne uštede u energiji koje mogu biti veće i od 40 %. Povećavaju se standardi osvjetljenosti, unaprjeđuje sigurnost prometa te ujedno znatno reducira svjetlosno zagađenje. Split je, kao što se vidi iz rezultata projekta *CitiEnGov* i iz inicijative *Split Smart City*, na dobrom putu da smanji svjetlosno onečišćenje te spriječi ulazak u najviši razred zagađenja. Također, s obzirom na to da najveći dio onečišćenja bukom dolazi iz cestovnog prometa, primjena nekih od najpopularnijih mjera za smanjenje buke u gradovima – zamjena starog asfalta na cestama tihim kolničkim konstrukcijama, bolje upravljanje prometnim tokovima i ograničenja brzine u gradu na niže od trenutno dozvoljenih – pridonijelo bi smanjenju razine buke. Također, razvojem infrastrukture i mjerama koje potiču stanovništvo na uporabu javnog prijevoza ili manje bučnih načina prijevoza, kao što su vožnja biciklom, električna vozila ili pješaćenje, može se pozitivno utjecati na razinu onečišćenja bukom.

Svakako, u budućnosti je potrebno pratiti razine onečišćenja bukom i svjetlošću i utvrditi smanjuju li ga primijenjene metode u dovoljnoj mjeri. Ako se utvrdi da je onečišćenje unatoč mjerama na vrijednosti višoj od propisane, potrebno je prilagoditi i nadograditi strategiju njegova ublažavanja.

Popis kratica

List of abbreviations

DNB	– dnevno/noćni pojas – Day Night Belt
DMSP	– Obrambeni meteorološki satelitski program – Defense Meteorological Satellite Program
EK	– Europska komisija – European Comission
ITS	– Intelligentni transportni sustav – Intelligent Transport System
LED	– svjetleća dioda – light emitting diode
NOISE	– Služba za promatranje i informiranje o buci u Europi – Noise Observation & Information Service for Europe
SKB	– strateške karte buke – Strategic Noise Maps
SQM	– mjerač kvalitete neba – Sky Quality Meter

VIIRS – Visible Infrared Imaging Radiometer Suite

HAOP – Hrvatska agencija za okoliš i prirodu
– Croatian Agency for the Environment and Nature

MZOE – Ministarstvo zaštite okoliša i energetike
– Ministry of Environmental Protection and Energy

Literatura References

1. N. B. Grimm, S. F. Faeth, N. E. Golubiewski, C. L. Redman, J. Wu, X. Bai, J. M. Briggs, Global change and the ecology of cities, *Science* **319** (2008) 756–760, doi: <https://doi.org/10.1126/science.1150195>.
2. E. C. Ellis, Anthropogenic transformation of the terrestrial biosphere, *Phil. Trans. R. Soc.* **369** (2008) 1010–1035, doi: <https://doi.org/10.1098/rsta.2010.0331>.
3. M. L. McKinney, Urbanization, Biodiversity, and Conservation, *Bioscience* **52** (2002) 883–890, doi: [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2002\)052\[0883:UBAC\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2002)052[0883:UBAC]2.0.CO;2).
4. T. Longcore, C. Rich, Ecological light pollution, *Front. Ecol. Environ.* **2** (2004) 191–198, doi: [https://doi.org/10.1890/1540-9295\(2004\)002\[0191:ELP\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1540-9295(2004)002[0191:ELP]2.0.CO;2).
5. C. D. Elvidge, F. C. Hsu, K. Baugh, T. Ghosh, National trends in satellite observed lighting: 1992–2012 Global Urban Monitoring and Assessment through Earth Observation. CRC Press Boca Raton, FL, 2014., doi: <https://doi.org/10.1201/b17012>.
6. J. R. Barber, C. L. Burdett, S. E. Reed, K. A. Warner, C. Formichella, K. R. Crooks, D. M. Theobald, K. M. Fristrup, Anthropogenic noise exposure in protected natural areas: estimating the scale of ecological consequences, *Landscape Ecol.* **26** (2011) 1281–1295, doi: <https://doi.org/10.1007/s10980-011-9646-7>.
7. C. P. Ortega, Chapter 2: Effects of noise pollution on birds: A brief review of our knowledge, *Ornithol. Monogr.* **74** (2012) 6–22, doi: <https://doi.org/10.1525/om.2012.74.1.6>.
8. P. S. Warren, M. Katti, M. Ermann, A. Brazel, Urban bioacoustics: it's not just noise, *Anim. Behav.* **71** (2006) 491–502, doi: <https://doi.org/10.1016/j.anbehav.2005.07.014>.
9. Z. U. R. Farooqi, I. Ahmad, A. Ditta, P. Ilic, M. Amin, A. B. Naveed, A. Gulzar, Types, sources, socioeconomic impacts, and control strategies of environmental noise: a review, *Environ. Sci. Pollut. Res.* **29** (2022) 81087–81111, doi: <https://doi.org/10.1007/s11356-022-23328-7>.
10. R. Chepesiuk, Missing the dark: Health effects of light pollution, *Environ. Health Persp.* **117** (2009) A20–A27, doi: <https://doi.org/10.1289/ehp.117-a20>.
11. R. Thompson, R. B. Smith, Y. B. Karim, C. Shen, K. Drummond, C. Teng, M. B. Toledano, Noise pollution and human cognition: An updated systematic review and meta-analysis of recent evidence, *Environ. Int.* **158** (2022) 1–27, doi: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2021.106905>.
12. A. L. Brown, K. C. Lam, I. V. Kamp, Quantification of the exposure and effects of road traffic noise in a dense Asian city: a comparison with western cities, *Environ. Health* **14** (2015) 22, doi: <https://doi.org/10.1186/s12940-015-0009-8>.
13. B. Wright, E. Peters, U. Ettinger, E. Kuipers, V. Kumari, Effects of environmental noise on cognitive (dys)functions in schizophrenia: A pilot within-subjects experimental study, *Schizophr. Res.* **173** (2016) 101–108, doi: <https://doi.org/10.1016/j.schres.2016.03.017>.
14. T. Münzel, M. Sørensen, F. Schmidt, E. Schmidt, S. Steven, S. Kröller-Schön, A. Daiber, The Adverse Effects of Environ-

- mental Noise Exposure on Oxidative Stress and Cardiovascular Risk, *Antioxid Redox Signal*. **28** (2018) 873–908, doi: <https://doi.org/10.1089/ars.2017.7118>.
15. URL: <http://www.enciklopedija.hr/Natuknica.aspx?ID=10060> (17. 1. 2023.).
 16. URL: <http://www.enciklopedija.hr/Natuknica.aspx?ID=67594> (17. 1. 2023.).
 17. URL: <https://zastitanaradu.com.hr/novosti/Buka-i-zastita-naradu-14> (15. 7. 2021.).
 18. URL: <http://www.haop.hr/hr/baze-i-portali/informacijski-sustav-strateskih-karata-buke-i-akcijskih-planova> (14. 2. 2020.).
 19. URL: <http://noise.eea.europa.eu/> (18. 2. 2020.).
 20. URL: <http://www.enciklopedija.hr/Natuknica.aspx?ID=59121> (17. 1. 2023.).
 21. URL: <http://www.enciklopedija.hr/Natuknica.aspx?ID=20266> (17. 1. 2023.).
 22. URL: www.lightpollutionmap.info (18. 2. 2020.).
 23. URL: <https://ladsweb.modaps.eosdis.nasa.gov/missions-and-measurements/viirs/> (14. 4. 2020.).
 24. URL: <https://directory.eoportal.org/web/eoportal/-/dmisp> (12. 4. 2020.).
 25. A. Sánchez de Miguel, M. Aubé, J. Zamorano, M. Kocifaj, J. Roby, C. Tapia, Sky Quality Meter measurements in a colour-changing world, *Mon. Notices Royal Astron. Soc.* **467** (2017) 2966–2979, doi: <https://doi.org/10.1093/mnras/stx145>.
 26. J. E. Bortle, Introducing the Bortle Dark-Sky Scale, *Sky Telescope* **129** (2001) 126–129, url: <https://wapps.umd.edu/winapps/media2/wilderness/toolboxes/documents/night/Bortle%20Dark-Sky%20Scale.pdf>.
 27. URL: <https://www.astronomics.com/info-library/astronomical-terms> (17. 1. 2023.).
 28. URL: <https://www.ekologija.com.hr/svjetlosno-zagadenje/> (17. 1. 2023.).
 29. URL: <https://www.split.hr/clanak/modernizacija-javne-rasvjete-usteda-energetska-ucinkovitost-ocuvanje-okolisa> (25. 2. 2020.).
 30. URL: <https://www.handprint.com/ASTRO/bortle.html> (24. 2. 2020.).
 31. URL: <https://split.hr/gradska-uprava/gradski-projekti/detalj-projekta/uvodjenje-inteligentnih-transportnih-sustava-na-funkcionalnom-prometnom-podrucju-grada-splita-kk0742300002> (20. 1. 2023.).

SUMMARY

Noise and Light Pollution in the Area of the City of Split – Current State and Vision of the Future

Mirko Marušić,^a Iva Tojčić,^b and Luka Marijan Alešković^a

Light and noise pollution are a growing global problem, with consequences varying from the destruction of biodiversity and disturbances in the ecological system, security problems, to the impact on human health. This paper analyses noise pollution and light pollution in the area of the city of Split. In this area, there are no systematic measurements of the noise level in all parts of the city, while there are no measurements of light pollution at all. Results of the analysis of the data from the strategic noise maps, on the exposure of the population of the city of Split to noise pollution, show that 42 % of the population is exposed to excessive levels of road traffic noise during the day, evening, and night. The analysis of publicly available satellite measurements showed that, according to light pollution classification, the sky above the city of Split falls within the city sky class, with a tendency toward the highest light pollution class. These results point to the urgent need for implementation of measures that enable the reduction of noise pollution and light pollution, with the aim of improving the quality of life in the area of the city of Split.

Keywords

Light pollution, noise pollution, road traffic noise, city sky, urban pollution mitigation

^a *University of Split, Faculty of Chemistry and Technology, Department of Physics, Ruđera Boškovića 35, 21 000 Split, Republic of Croatia*

^b *Ruđer Bošković Institute, Division for Marine and Environmental Research, Bijenička 54, 10 000 Zagreb, Republic of Croatia*

Conference paper
Received October 16, 2022
Accepted February 1, 2023