

REPUBLIKA HRVATSKA
DRŽAVNI HIDROMETEOROLOŠKI ZAVOD

OCJENA KVALITETE ZRAKA

NA PODRUČJU REPUBLIKE HRVATSKE U RAZDOBLJU 2016. – 2020.
GODINE



Foto: Bruno Fantulin

Zagreb, veljača 2023.







Naziv dokumenta: **OCJENA KVALITETE ZRAKA NA PODRUČJU REPUBLIKE HRVATSKE 2016. – 2020.**

Naručitelj: **Ministarstvo gospodarstva i održivog razvoja**
Ul. Grada Vukovara 78, 10 000 Zagreb

Izrađivač: **Državni hidrometeorološki zavod**
Ravnice 48, 10 000 Zagreb

SEKTOR ZA KVALITETU ZRAKA

Autori: **Služba za modeliranje kvalitete zraka,
istraživanje i primjenu**

Darijo Brzoja, dipl.ing., voditelj

Vedrana Džaja Grgičin, mag. phys.-geophys.

Vesna Gugec, bacc. techn. inf.

Valentina Jagić, mag. geol.

Irena Katanec, mag. geol.

Velimir Milić, mag. phys.-geophys.

Stipica Šarčević, mag. geogr.

Odgovorna: **Jadranka Škevin-Sović**, dipl.ing.
načelnica Sektora za kvalitetu zraka



GLAVNA RAVNATELJICA

dr. sc. Branka Ivančan-Picek





S A Ž E T A K

Uvod

Dokument *Ocjena kvalitete zraka na području Republike Hrvatske u razdoblju 2016. – 2020. godine* sadrži ocjenu razina onečišćenosti zraka u Republici Hrvatskoj prema Zakonu o zaštiti zraka (NN 127/19, 57/22) (u daljem tekstu: Zakon) i Uredbi o razinama onečišćujućih tvari u zraku (NN 77/2020) (u daljem tekstu: Uredba). Procjenjivanje kvalitete zraka na teritoriju Hrvatske, sukladno članku 7. stavku 3. Zakona, provodi Državni hidrometeorološki zavod (u daljem tekstu: DHMZ) na temelju mjerila za procjenu koja su određena Pravilnikom o praćenju kvalitete zraka (NN 72/2020) (u daljem tekstu: Pravilnik), najmanje jedanput u pet godina. Ocjenu kvalitete zraka na teritoriju Republike Hrvatske za razdoblje 2016. – 2020. godine, sukladno članku 24. Zakona, donosi ministar. Postupak donošenja uključuje objavu konačnog dokumenta *Ocjena kvalitete zraka na području Republike Hrvatske u razdoblju 2016. – 2020. godine* (dalje u tekstu: Ocjena) na mrežnim stranicama Ministarstva gospodarstva i održivog razvoja (dalje u tekstu: Ministarstvo). Nakon donošenja Ocjene pokreće se, sukladno članku 19. stavku 2. Zakona, donošenje nove Uredbe o određivanju zona i aglomeracija prema razinama onečišćenosti zraka na teritoriju Republike Hrvatske.

Ocjena kvalitete zraka u zonama i aglomeracijama izrađena je na temelju podataka o kvaliteti zraka dobivenih mjerenjem na mjernim mjestima državne mreže za trajno praćenje kvalitete zraka definiranim Uredbom o utvrđivanju popisa mjernih mjesta za praćenje koncentracija pojedinih onečišćujućih tvari u zraku i lokacija mjernih postaja u državnoj mreži za trajno praćenje kvalitete zraka (NN 107/2022) te Programom mjerenja razine onečišćenosti zraka u državnoj mreži za trajno praćenje kvalitete zraka (NN 73/2016).

Razine onečišćenosti procijenjene su na osnovi rezultata mjerenja te drugih raspoloživih podataka, kao što su podaci dobiveni modeliranjem prijenosa i disperzije onečišćujućih tvari odgovarajućim atmosferskim modelima, drugim metodama procjene i mjerila koja se primjenjuju temeljem propisa na području Europske unije te podataka iz registra onečišćivanja okoliša.

Metodologija

Na postajama državne mreže mjere se koncentracije onečišćujućih tvari propisane Uredbom: **sumporov dioksid** (SO₂), **dušikovi oksidi** (NO_x), **dušikov dioksid** (NO₂), **ugljičkov monoksid** (CO), **lebdeće čestice – PM₁₀**, **lebdeće čestice – PM_{2.5}**, **prizemni ozon** (O₃), **olovo** (Pb), **kadmij** (Cd), **arsen** (As), **nikal** (Ni) i **benzo(a)piren** u PM₁₀, **ukupna plinovita živa** (Hg), **benzen** (C₆H₆), **sumporovodik** (H₂S) i **amonijak** (NH₃). Istom Uredbom propisane su i granične vrijednosti (GV) za zaštitu zdravlja ljudi, kvalitetu življenja (dodijavanje mirisom), zaštitu vegetacije i ekosustava te ciljne vrijednosti (CV) za pojedine onečišćujuće tvari u zraku te dugoročni ciljevi. Ovisno o svojstvima onečišćujuće tvari, propisani su gornji i donji pragovi procjene, ciljne vrijednosti i dugoročni ciljevi, pokazatelj



prosječne izloženosti za lebdeće čestice PM_{2.5}, ciljano smanjenje izloženosti na nacionalnoj razini, koncentracija izloženosti, kritične razine, prag upozorenja i prag obavješćivanja.

Da bi ocjena kvalitete zraka, temeljem mjerenja parametara kvalitete zraka, bila prihvatljiva, mjerenja moraju biti provedena na propisani način, odnosno biti provedena u skladu s odredbama Pravilnika o praćenju kvalitete zraka (NN 72/2020) i zadovoljiti propisane kriterije kvalitete mjerenja i mjernih postupaka te ciljanu kvalitetu podataka, uključujući kriterij obuhvata podataka. Za pravovaljanu analizu podataka i usporedbu vrijednosti s propisanim mjerilima (granične vrijednosti, ciljane vrijednosti i sl.) potreban je obuhvat podataka od 90 % za sve parametre mjerenja, na svim lokacijama mjerenja. Obuhvat podataka od 75 % i više, prihvatljiv je samo u slučajevima kada je i iz tog, manjeg, skupa vrijednosti vidljivo da je došlo do prekoračenja propisanih mjerila.

Prekoračenja gornjih i donjih pragova procjene određuju se na temelju koncentracija onečišćenja tijekom prethodnih pet godina. Smatra se da je prag procjene prekoračen ako je prekoračen tijekom najmanje tri nezavisne godine u razdoblju od prethodnih pet godina. Ako su dostupni podaci za manje od pet godina, dozvoljeno je kombinirati kratkotrajne mjerne kampanje za onu godinu i lokacije gdje su zabilježene najviše razine onečišćenja, s rezultatima dobivenim na temelju podataka iz popisa emisija i modeliranja.

U ovoj Ocjeni podaci s mjernih mjesta definiranih zakonskom regulativom nadopunjeni su proračunima kemijskog transportnog modela LOTOS-EUROS, ugođenog za područje Hrvatske u sklopu strateškog projekta Proširenje i modernizacija državne mreže za trajno praćenje kvalitete zraka – AIRQ, Ugovor br. KK.06.2.1.02.0001 (dalje u tekstu: AIRQ projekt) kojeg provodi Državni hidrometeorološki zavod, a financira Europski fond za regionalni razvoj (85 %) i Fond za zaštitu okoliša i energetska učinkovitost (15 %).

Primjena atmosferskih numeričkih modela za procjenu kvalitete zraka omogućuje tumačenje prostornih (zemljopisnih) i vremenskih varijacija prizemnih koncentracija koje nastaju uslijed vremenske i klimatske varijabilnosti kao i procjenu kolektivne izloženosti stanovništva atmosferskom onečišćenju. Pri tom, rezultati modeliranja atmosferskog prijenosa i distribucije onečišćujućih tvari služe, prije svega kao nadopuna sustavu mjerenja u područjima koja nisu izložena prekomjernom onečišćenju zraka i u kojima se stalna mjerenja kvalitete zraka mogu zamijeniti povremenim (indikativnim) mjerenjima i/ili modeliranjem. Neposredna primjena atmosferskih modela, sukladno članku 27. Zakona i člancima 6. i 9. Direktive 2008/50/EZ Europskog parlamenta i vijeća (dalje u tekstu; Direktiva 2008/50/EZ) prihvatljiva je u slučajevima kada su izmjerene vrijednosti koncentracija onečišćujućih tvari na razmatranom području ispod gornje i/ili ispod donje granice procjenjivanja za svaku onečišćujuću tvar koja se razmatra (Prilog II. Direktive 2008/50/EZ). Rezultati proračuna atmosferskim modelima mogu se koristiti ukoliko je zadovoljen kriterij s obzirom na propisanu nesigurnost modeliranja za svaku pojedinu tvar i vrijeme usrednjavanja. Kriteriji nesigurnosti definirani su u Prilogu 8 Pravilnika o praćenju kvalitete zraka (dalje u tekstu: Pravilnik), Prilogu I. Direktive 2008/50/EZ i u Prilogu I. Direktive Komisije (EU) 2015/1480 od 28. kolovoza 2015. (dalje u tekstu: Direktiva 2015/1480).



Modeliranje kvalitete zraka za potrebe ove Ocjene provedeno je za cijelo razdoblje analize 2016. – 2020. godine. Za proračun regionalnog prijenosa onečišćujućih tvari u zraku primijenjen je model LOTOS-EUROS, ugođen specifično za područje Hrvatske na rezoluciji 0.1° x 0.05°. LOTOS-EUROS model validiran je pomoću službenog računalnog alata DELTA za validaciju modela kvalitete zraka, preporučenog od strane FAIRMODE-a (eng. The Forum for Air quality Modeling, JRC). Za ocjenu kvalitete oborine primijenjen je EMEP kemijski transportni model, a za procjenu koncentracija benzo(a)pirena (B[a]P), olova (Pb), kadmija (Cd) i žive (Hg) proračun modela MSCE-HM. U analizi (Poglavlje 2. Ocjene) su prikazane srednje godišnje koncentracije onečišćujućih tvari u razdoblju 2016. – 2020., petogodišnji prosjek, te prosječne mjesečne vrijednosti, kako bi se ukazalo na varijacije u sezonalnosti pojedinih onečišćujućih tvari. U Ocjeni je, uz izmjerene i modelirane vrijednosti koncentracija korištena i ekspertna procjena te kombinacija tehnika.

Ocjena razine onečišćenosti prema granicama procjene

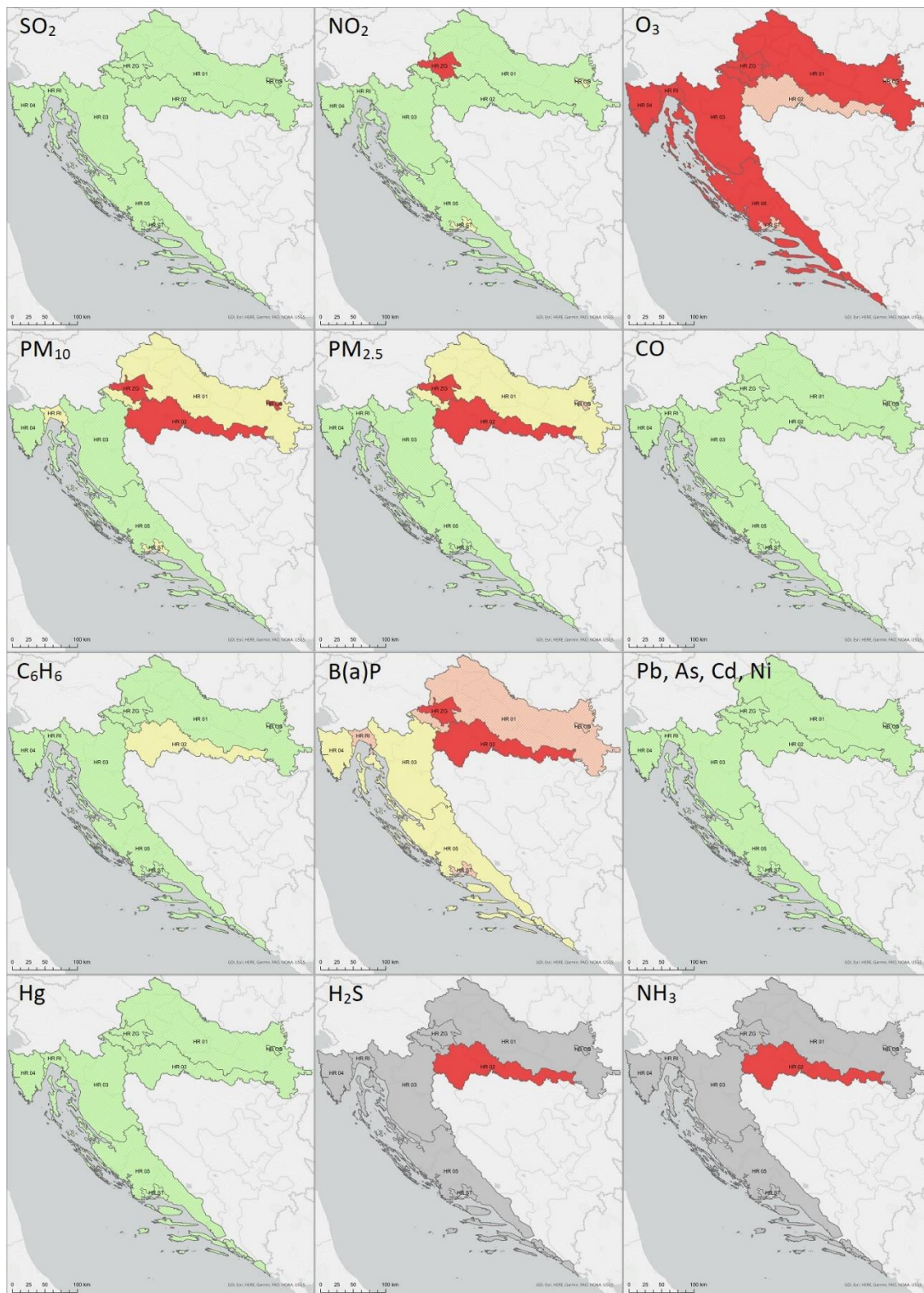
Ocjena razine onečišćenosti prema granicama procjene i ciljnoj vrijednosti za ozon obzirom na zdravlje ljudi u razdoblju od 2016. – 2020. godine u zonama i aglomeracijama sažeto je prikazana na kartogramu (Slika A), a ocjena razine onečišćenosti prema kritičnim razinama za vegetaciju u tablici (Tablica A). Kritične razine za vegetaciju se ne primjenjuju na područja aglomeracija. Glavni zaključci procjenjivanja kvalitete zraka po pojedinim onečišćujućim tvarima dani su na početku poglavlja 2. Ocjene. Usporedba Ocjene u razdoblju 2016. – 2020. godine s prethodnim razdobljem (2011. – 2015.) navedena je u posebnoj poglavlju u nastavku ovog Sažetka.

Tablica A Ocjena razine onečišćenosti prema kritičnim razinama za vegetaciju u razdoblju 2016. – 2020. godine prema važećim zonama. Kritične razine za vegetaciju se ne primjenjuju na područja aglomeracija. U nastavku su dani glavni zaključci procjenjivanja kvalitete zraka na području Hrvatske u razdoblju 2016. – 2020. godine po pojedinim onečišćujućim tvarima

Oznaka zone	Razina onečišćenosti zraka po onečišćujućim tvarima s obzirom na zaštitu vegetacije		
	SO ₂	NO _x	AOT40 parametar
HR 01	<DPP	<DPP	>DC
HR 02	<DPP	<DPP	>DC
HR 03	<DPP	<DPP	>DC
HR 04	<DPP	<DPP	>DC
HR 05	<DPP	<DPP	>DC

Legenda:

<DPP	Ispod donjeg praga procjene (DPP)
>DC	Iznad dugoročne ciljne vrijednosti (DC) za prizemni ozon



ispod donjeg praga procjene
 ispod gornjeg praga procjene
 iznad gornjeg praga procjene (prekoračen DC)
 iznad granične vrijednosti (prekoračena CV)

Slika A Kartogrami razina onečišćenosti određenih prema Uredbi (NN 77/2020)



Pokazatelj prosječne izloženosti (PPI) koncentracijama PM_{2,5}

Pokazatelj prosječne izloženosti za PM_{2,5} (PPI) izražen u $\mu\text{g}/\text{m}^3$ temelji se na mjerenjima s gradskih pozadinskih postaja za PPI u zonama i aglomeracijama na cijelom području Hrvatske. Procjenjuje se kao prosjek srednjih vrijednosti godišnjih koncentracija PM_{2,5} u tri uzastopne godine, na svim točkama uzorkovanja za PPI koje su određene prema Uredbi (NN 77/2020). PPI za referentnu godinu 2015. jednak je prosjeku srednjih vrijednosti koncentracija za 2013., 2014. i 2015. godinu i iznosi: $20.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ te je viši od zahtijevane razine izloženosti koja za 2015. godinu iznosi $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$. PPI za referentnu godinu (2015.) je odredio ciljano smanjenje izloženosti na nacionalnoj razini za 20 % do 2020. godine. U razdoblju 2016. – 2020. godine PPI se računao samo za mjernu postaju Zagreb PPI PM_{2,5}-Ksaverska cesta. Za 2020. godinu PPI je jednak prosjeku srednjih vrijednosti koncentracija u tri uzastopne godine (2018., 2019. i 2020.) i iznosi: $17.54 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Ciljano smanjenje izloženosti (20 % vrijednosti $20.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ referentne 2015. godine za izračun PPI) na nacionalnoj razini iznosi $16.45 \mu\text{g}/\text{m}^3$ i bilo ga je potrebno postići 2020. godine. Ciljano smanjenje nije postignuto, no koncentracije PM_{2,5} se postupno smanjuju.

Meteorološke prilike u razdoblju 2016. – 2020.

Meteorološke prilike znatno utječu na koncentracije onečišćujućih tvari i njihovu vremensku i prostornu razdiobu te se u konačnici ogledaju i u ocjeni kvalitete zraka. Srednja godišnja temperatura zraka u promatranom petogodišnjem razdoblju u Hrvatskoj je bila općenito iznad prosjeka. Najčešće u kategorijama *vrlo toplo* ili *ekstremno toplo*. Za razliku od temperature, gdje su trendovi porasta jasni i međusobno više korelirani na području cijele zemlje, kod oborine nailazimo na veću prostornu i vremensku heterogenost, odnosno postoje *izrazito sušna*, kao i *vrlo kišovita* razdoblja (godine), pri čemu i u pojedinoj godini dijelovi Hrvatske mogu imati manjak, odnosno višak oborine u usporedbi s višegodišnjim prosjekom. U razdoblju 2016. – 2020. nije bilo značajnijeg odstupanja od uobičajenog režima strujanja. U kontinentalnom dijelu zemlje uglavnom prevladava slab do umjeren vjetar čiji je smjer promjenjiv, a znatno ovisi o otvorenosti i obliku okolnog terena. Suprotno tome na području Jadrana jak vjetar je češći, pri čemu može postići olujnu pa čak i orkansku jačinu najčešće za vrijeme bure ili juga čiji su smjerovi ujedno i najučestaliji na tom području.

Kvaliteta oborine u razdoblju 2016. – 2020.

Opterećenje okoliša štetnim spojevima ovisi, između ostaloga, i o količini oborine i koncentracijama pojedinih iona. Prema Zakonu o zaštiti zraka (NN 127/19, 57/22), članak 31, DHMZ osigurava praćenje kvalitete zraka i fizikalno-kemijskom analizom oborine. Uz postaje državne mreže, gdje će uzorkovanje početi nakon završetka modernizacije postaja za trajno praćenje kvalitete zraka (Kopački rit, Desinić, Plitvička jezera, Višnjan, Polača/Ravni kotari i Opuzen), DHMZ uzorkuje i analizira oborinu i na dvije EMEP (Program suradnje za praćenje i procjenu daljinskog prijenosa atmosferskog onečišćenja u Europi s ciljem osiguranja informacija za donošenje odluka u području zaštite okoliša) postaje:



Puntijarka i Zavižan, te na deset glavnih meteoroloških postaja (Zadar, Ogulin, Slavonski Brod, Krapina, Rijeka, Split-Marjan, Karlovac, Dubrovnik, Zagreb-Maksimir i Komiža) i 2 radarska centra (Bilogora i Osijek). Sustavno praćenje kvalitete oborine u Republici Hrvatskoj počelo je početkom 1980-ih. Promatranjem dugogodišnjeg niza uočava se kako je na području Hrvatske prisutan opći trend smanjenja koncentracija iona sulfata, nitrata i amonija u oborini te se i taloženje tih spojeva postupno smanjuje. U posljednjem petogodišnjem razdoblju (2016. – 2020.) ne primjećuju se znatna odstupanja u taloženju spomenutih iona u usporedbi s prošlim (2011. – 2015.) razdobljem, što je posljedica usporenog smanjenja emisija i u Europi i u Hrvatskoj u odnosu na prošla desetljeća. Doprinos lokalnih izvora i prekograničnog onečišćenja u najvećoj je mjeri podložan atmosferskim uvjetima i meteorološkim karakteristikama svake pojedine godine. Može se zaključiti kako i na trend mogućeg smanjenja ili povećanja koncentracija i taloženja kroz kraća razdoblja posljednjih godina najviše utječe upravo međugodišnja varijabilnost meteoroloških prilika.

Određivanje porijekla onečišćenja (eng. Source Apportionment)

Razvoj sustava za modeliranje kvalitete zraka na području Hrvatske provodi se u sklopu AIRQ projekta. U iznimno zahtjevnom procesu, važnu komponentu predstavlja određivanje porijekla onečišćenja. Primijenjen je LOTOS-EUROS kemijski transportni model i metoda transfera mase kojom su utvrđeni glavni doprinosi pojedinih emisijskih sektora na izabrana mjesta koja odgovaraju lokacijama mjernih postaja za kvalitetu zraka. Rezultati su prikazani za najznačajnije onečišćujuće tvari: dušikov dioksid (NO_2) i lebdeće čestice (PM_{10}).

- najveći doprinos koncentracijama dušikovog dioksida u vanjskom zraku je iz sektora prometa, malih kućnih ložišta i industrije, premda onečišćenju značajno doprinosi i ono prekogranično
- veliki dio onečišćenja lebdećim česticama u Hrvatskoj također dolazi prekogranično. Najveći doprinos koncentracijama PM_{10} iz antropogenih izvora unutar Hrvatske pripada sektoru malih kućnih ložišta, posebno u gusto naseljenim područjima kontinentalnog dijela zemlje, dok se u obalnom području vidi snažan doprinos iz prirodnih izvora emisija koje pak najvećim dijelom čini morska sol.

Modeliranje u gradovima i aglomeracijama

Važnost modeliranja prepoznaje se kao ključan faktor u informacijama o prostornoj raspodjeli onečišćenja na visokoj rezoluciji te kao nužna komponenta pri određivanju budućeg urbanističkog planiranja u svrhu očuvanja zdravlja ljudi i okoliša. Na primjeru Zagreba, glavnog grada Republike Hrvatske pokazana je primjena ADMS-Urban sustava za modeliranje kvalitete zraka na visokoj rezoluciji u urbanim sredinama. Sustav je u testnoj fazi i razvija se kao dio AIRQ projekta koji je još u tijeku. Prvi rezultati proračuna ADMS-Urban modela za područje Zagreba pokazuju karakterističan otisak grada, povišene koncentracije onečišćujućih tvari u centru i na području Velike Gorice kao i visoku koncentraciju dušikovog dioksida uz važne prometnice. Najveće onečišćenje bilježi se u hladnom dijelu godine, kad su emisije veće, pa je veća i akumulacija onečišćenja u



prizemnom sloju atmosfere, osobito pri stabilnim uvjetima bez vjetera. Stoga je, za smanjenje onečišćenja u Zagrebu (a slično vrijedi i za druge gradove u kopnenom dijelu Hrvatske), potrebno djelovati prvenstveno na sektore emisija koji su značajni za zimski period, poput malih kućnih ložišta. Mala ložišta, zbog svoje blizine tlu, zajedno s emisijama iz prometa daju najveći doprinos prizemnom onečišćenju zraka. Nedostatak detaljnog emisijskog inventara izrađenog metodologijom “odozdo prema gore”, neposrednim proračunom temeljem popisa svih izvora emisija i kategorija izvora emisija za gradsko područje, predstavlja ograničenje u mogućnostima procjenjivanja koncentracija u gusto naseljenim područjima te smatramo da izradu takvog inventara treba uvrstiti u prioritete za iduće razdoblje.

Usporedba Ocjene kvalitete zraka na području Hrvatske u razdoblju 2016. – 2020. godine s prethodnim razdobljem (2011. – 2015.)

Metodologija donošenja ocjene kvalitete zraka je unaprijeđena u novom razdoblju obzirom na veću raspoloživost podataka (za prethodnu ocjenu nisu bili dostupni podaci za $PM_{2.5}$) i dodatne analize, što je predstavljeno u ovom dokumentu. Uz podatke s novoizgrađenih mjernih postaja, izrađeni su proračuni LOTOS-EUROS kemijskim transportnim modelom, specijalno ugođenim za područje Hrvatske u sklopu AIRQ projekta. LOTOS-EUROS model validiran je pomoću službenog računalnog alata DELTA za validaciju modela kvalitete zraka, preporučenog od strane FAIRMODE-a (eng. The Forum for Air quality Modeling, JRC). Usporedba proračuna modela s izmjerenim prizemnim koncentracijama ukazuje da model zadovoljava zadane uvjete za upotrebu u regulatorne svrhe (Prilog 3. dokumenta). Nadopuna Ocjeni, kao novina predstavljene su i dodatne analize: određivanje porijekla onečišćenja (eng. Source Apportionment) te primjer modeliranja u gradovima i aglomeracijama ADMS-Urban disperzijskim modelom.

Općenito se može tvrditi kako na području Hrvatske dolazi do poboljšanja kvalitete zraka u razdoblju 2016. – 2020. godine u usporedbi s prethodnim petogodišnjim razdobljem 2011. – 2015. iako i dalje postoje određene poteškoće vezane uz onečišćenje pojedinim onečišćujućim tvarima. Prije svega, lebdećim česticama PM_{10} i $PM_{2.5}$ i benzo(a)pirenom u kontinentalnom dijelu zemlje (mala ložišta i korištenje krutih goriva), dušikovim dioksidom u aglomeracijama u područjima s gustim prometom te prizemnim ozonom u većem dijelu zemlje, što je karakteristično za cijeli Mediteran. Prekoračenja graničnih vrijednosti još uvijek postoje u aglomeraciji Zagreb (NO_2 , PM_{10} , $PM_{2.5}$, B(a)P) i zoni HR 02 (PM_{10} , $PM_{2.5}$, B(a)P, H_2S , NH_3). Dugoročni cilj za prizemni ozon prekoračen je u svim zonama i aglomeracijama, a ciljna vrijednost za ozon u svim zonama i aglomeracijama osim u zoni HR 02 i aglomeraciji Osijek. Međutim, razina onečišćenosti SO_2 je ispod donjeg praga procjene u svim zonama i aglomeracijama, dok je u prethodnom razdoblju u zoni HR 02 bila iznad gornjeg praga procjene. U prethodnom razdoblju (2011. – 2016.) je u zoni HR 02 bila prekoračena granična vrijednost za benzen (Sisak-1), dok je u novom razdoblju razina onečišćenja u zoni HR 02 ispod gornjeg praga procjene. Razina onečišćenja za ugljikov monoksid (CO) i teške metale (Pb, As, Cd, Ni) je ispod donjeg praga procjene i nije se mijenjala u odnosu na prethodno razdoblje.



Analiza u odnosu na aktualnu Uredbu o određivanju zona i aglomeracija prema razinama onečišćenosti zraka na teritoriju Republike Hrvatske (NN 1/2014)

Prema aktualnoj Uredbi (NN 1/2014) određene su zone i aglomeracije te njihova klasifikacija prema razinama onečišćenosti zraka na teritoriju Republike Hrvatske. Razine onečišćenosti zraka određuju se prema donjim i gornjim pragovima procjene te ciljnim vrijednostima i dugoročnim ciljevima za prizemni ozon propisanim u Uredbi o razinama onečišćujućih tvari u zraku. Prema razinama onečišćenosti zraka teritorij Republike Hrvatske klasificiran je u pet zona (HR 01, HR 02, HR 03, HR 04 i HR 05) i četiri aglomeracije (HR ZG, HR OS, HR RI i HR ST). Razine onečišćenosti zraka u aktualnoj Uredbi određene su za sumporov dioksid (SO₂), okside dušika izražene kao dušikov dioksid (NO₂), lebdeće čestice (PM₁₀), benzen, benzo(a)piren, olovo (Pb), arsen (As), kadmij (Cd) i nikal (Ni) u PM₁₀, ugljikov monoksid (CO), ukupnu plinovitu živu (Hg) te prizemni ozon (O₃). Nova Uredba sadržavat će i razine onečišćenosti za lebdeće čestice PM_{2.5} te odvojeno razine onečišćenosti za benzen i benzo(a)piren koje su u važećoj Uredbi (NN 1/2014) prikazane zajedno.

Tablica B Ocjena razine onečišćenosti prema granicama procjene i ciljnoj vrijednosti (dugoročnom cilju) za ozon obzirom na zdravlje ljudi u razdoblju 2016. – 2020. godine prema važećim zonama i aglomeracijama uz bojom naznačenu promjenu u odnosu na važeću Uredbu (NN 1/2014)

Oznaka zone i aglomeracije	Razina onečišćenosti zraka po onečišćujućim tvarima s obzirom na zaštitu zdravlja ljudi									
	SO ₂	NO ₂	PM ₁₀	PM _{2.5}	Benzen	B(a)P	Pb,As Cd,Ni	CO	O ₃	Hg
HR ZG	<DPP	>GPP	>GPP	>GPP	<DPP	>GPP	<DPP	<DPP	>DC	<GV
HR OS	<DPP	<GPP	>GPP	>GPP	<DPP	>GPP	<DPP	<DPP	>DC	<GV
HR RI	<DPP	<DPP	<GPP	<DPP	<DPP	>GPP	<DPP	<DPP	>DC	<GV
HR ST	<DPP	<GPP	<GPP	<DPP	<DPP	>GPP	<DPP	<DPP	>DC	<GV
HR 01	<DPP	<DPP	<GPP	<GPP	<DPP	>GPP	<DPP	<DPP	>DC	<GV
HR 02	<DPP	<DPP	>GPP	>GPP	<GPP	>GPP	<DPP	<DPP	>DC	<GV
HR 03	<DPP	<DPP	<DPP	<DPP	<DPP	<GPP	<DPP	<DPP	>DC	<GV
HR 04	<DPP	<DPP	<DPP	<DPP	<DPP	<GPP	<DPP	<DPP	>DC	<GV
HR 05	<DPP	<DPP	<DPP	<DPP	<DPP	<GPP	<DPP	<DPP	>DC	<GV

Legenda:

	Niža razina onečišćenja u odnosu na važeću Uredbu (NN 1/2014)
	Viša razina onečišćenja u odnosu na važeću Uredbu (NN 1/2014)
	Razina onečišćenja nije određena važećom Uredbom (NN 1/2014)



Tablica C Ocjena razine onečišćenosti prema kritičnim razinama za vegetaciju u razdoblju 2016. – 2020. godine prema važećim zonama uz bojom naznačenu promjenu u odnosu na važeću Uredbu (NN 1/2014)

Oznaka zone	Razina onečišćenosti zraka po onečišćujućim tvarima s obzirom na zaštitu vegetacije		
	SO ₂	NO _x	AOT40 parametar
HR 01	<DPP	<DPP	>DC
HR 02	<DPP	<DPP	>DC
HR 03	<DPP	<DPP	>DC
HR 04	<DPP	<DPP	>DC
HR 05	<DPP	<DPP	>DC

Najmanji broj mjernih mjesta za trajno praćenje kvalitete zraka

Praćenje kvalitete zraka kroz dulje razdoblje (2006. – 2010., 2011. – 2015., 2016. – 2020.) omogućuje analizu mjerne mreže čiji rezultat može biti iskazivanje potrebe za uvođenjem dodatnih mjerenja (lokacija, parametara) u slijedećem razdoblju, odnosno, za ukidanjem mjerenja određenih parametara koji zadovoljavaju propisane kriterije kvalitete zraka. Jedan od kriterija za donošenje odluke o potrebi proširenja mjerne mreže je i analiza prekoračenja graničnih vrijednosti koncentracija onečišćujućih tvari te granica procjenjivanja s obzirom na zadane kriterije. Sažeti prikaz te analize za razdoblje 2016. – 2020. godine dan je po onečišćujućim tvarima na kartogramu (Slika A) te u tablici (Tablica A).

Prilogom V. Direktive 2008/50/EK propisan je najmanji broj mjernih mjesta koji u obzir uzima pragove procjene i naseljenost određene zone te druge značajke koje mogu utjecati na onečišćenje zraka na pojedinom području. Smjernice Direktive 2008/50/EZ, Direktive 2004/107/EZ i Direktive Komisije 2015/1480 od 28. kolovoza 2015. vezano uz najmanji broj mjernih mjesta prenesene su u hrvatsko zakonodavstvo kroz Zakon o zaštiti zraka (NN 127/19, 57/22), te Pravilnik o praćenju kvalitete zraka (NN 72/2020).

U tablici (Tablica D) prikazan je broj stanovnika po zonama i aglomeracijama u Republici Hrvatskoj prema službenom popisu stanovnika iz 2011. godine (izvor: Popis stanovništva 2011., Državni zavod za statistiku). Broj stanovnika direktno utječe i na zahtjev za najmanji broj točaka uzorkovanja.



Tablica D Broj stanovnika po županijama, zonama i aglomeracijama za ocjenu ispunjenja minimalnog broja mjernih mjesta u Državnoj mreži za trajno praćenje kvalitete zraka (izvor: Popis stanovništva 2011., Državni zavod za statistiku)

Zona/ Agglomeracija	Županija	Broj stanovnika po županijama 2011. (za zone)	Broj stanovnika po zonama/ Agglomeracijama 2011.
HR 01	Osječko-baranjska županija (izuzimajući aglomeraciju HR OS)	196 984	1 353 078
	Požeško-slavonska županija	78 034	
	Virovitičko-podravska županija	84 836	
	Vukovarsko-srijemska županija	179 521	
	Bjelovarsko-bilogorska županija	119 764	
	Koprivničko-križevačka županija	115 584	
	Krapinsko-zagorska županija	132 892	
	Međimurska županija	113 804	
	Varaždinska županija	175 951	
	Zagrebačka županija (izuzimajući aglomeraciju HR ZG bez Grada Zagreba)	155 708	
HR 02	Brodsko-posavska županija	158 575	331 014
	Sisačko-moslavačka županija	172 439	
HR 03	Ličko-senjska županija	50 927	260 907
	Karlovačka županija	128 899	
	Primorsko-goranska županija (izuzimajući aglomeraciju HR RI)	81 081	
HR 04	Istarska županija	208 055	208 055
HR 05	Zadarska županija	170 017	584 087
	Šibensko-kninska županija	109 375	
	Dubrovačko-neretvanska županija	122 568	
	Splitsko-dalmatinska županija (izuzimajući aglomeraciju HR ST)	182 127	
HR ZG	Grad Zagreb, Grad Dugo Selo, Grad Samobor, Grad Sveta Nedelja, Grad Velika Gorica, Grad Zaprešić	951 915	951 915
HR OS	Grad Osijek	108 048	108 048
HR RI	Grad Rijeka, Grad Bakar, Grad Kastav, Grad Kraljevica, Grad Opatija, Općina Čavle, Općina Jelenje, Općina Klana, Općina Kostrena, Općina Lovran, Općina Matulji, Općina Omišalj, Općina Viškovo	215 114	215 114
HR ST	Grad Split, Grad Kaštela, Grad Solin, Grad Trogir, Općina Klis, Općina Podstrana, Općina Seget	272 671	272 671



U tablici (Tablica E) prikazan je program obaveznih mjerenja po zonama i aglomeracijama preuzet iz prethodne Ocjene (2011. – 2015.) u svrhu usporedbe s trenutnim zahtjevima za najmanji broj mjernih mjesta koji proizlazi iz analize razdoblja 2015. – 2020. U tablici (Tablica F) prikazan je program obaveznih mjerenja po zonama i aglomeracijama za ocjenu kvalitete zraka prema Pravilniku (NN/72/2020). Obje tablice, uz broj stanovnika u obzir uzimaju i razine onečišćenja te druge uvjete propisane Pravilnikom. U tablicama je naveden: (broj obaveznih mjernih mjesta) / (broj trenutno raspoloživih mjernih mjesta).

Tablica E Najmanji obvezni broj mjernih mjesta mjerenja po zonama i aglomeracijama za ocjenu kvalitete zraka prema uvjetima iz Priloga V. Direktive 2008/50/EK (izvor: Ocjena 2011. – 2015.)

Zona / Agl.	SO ₂	NO ₂	PM ₁₀ + PM _{2.5}	C ₆ H ₆	Pb	CO	BC	O ₃	BaP+ PAU	PAU	Ni, Cd, As, Hg	PPI PM _{2.5}	Kem. PM _{2.5}	Hg	HOS
HR 01	0/1	0/2	6/4	0/2	0/im	0/M	0/0	2/3	0/im	0/1	0/im	0/0	0/M	0/0	0/0
HR 02	2/4	0/1	3/3	2/3	0/2	0/M	0/1	1/2	2/2	0/im	0/2	0/0	0/1	0/0	0/0
HR 03	0/1	0/2	0/2	0/im	0/im	0/1	0/0	1/3	0/im	0/im	0/im	0/0	1/1	0/0	0/0
HR 04	0/M	0/1	1/2	0/im	0/im	0/M	0/0	1/2	0/im	0/0	0/im	0/0	0/M	0/0	0/0
HR 05	0/2	0/1	0/2	0/im	0/im	0/1	0/0	2/4	0/im	0/0	0/im	0/0	0/0	0/0	1/0
HR ZG	0/2	3/3	4/4	3/1	0/2	0/1	1/1	2/2	3/2	0/0	0/2	1/1	0/1	1/1	0/0
HR OS	0/2	1/1	2/1	0/1	0/im	0/2	0/0	0/1	0/im	0/im	0/im	0/0	0/0	0/0	0/0
HR RI	0/1	0/1	1/2	0/1	0/im	0/1	0/0	0/1	0/im	0/im	0/im	0/1	0/0	0/0	0/0
HR ST	0/3	1/2	2/2	0/im	0/im	0/M	0/0	1/0	0/im	0/im	0/im	0/1	0/0	0/0	0/0

Legenda:

M	mjerenja se mogu nadomjestiti rezultatima modeliranja
im	trebalo bi provoditi indikativna mjerenja budući da je nesigurnost rezultata modela za te komponente velika
6/4	je podatak o broju obaveznih mjernih mjesta u pojedinoj zoni (6, crveno) u odnosu na broj trenutno raspoloživih mjernih mjesta u zoni (4, crno). Ukoliko je broj obaveznih mjernih mjesta označen crnom bojom to znači da su zadovoljeni uvjeti sukladnosti s Prilogom V. Direktive 2080/50/EK

Tablica F Najmanji obaveznih broj mjernih mjesta mjerenja po zonama i aglomeracijama za ocjenu kvalitete zraka prema uvjetima iz Pravilnika o praćenju kvalitete zraka (NN/72/2020)

Zona / Agl.	SO ₂	NO ₂	PM ₁₀ + PM _{2.5}	C ₆ H ₆	Pb	CO	O ₃	BaP+ PAU	Ni, Cd, As	PPI PM _{2.5}	Kem. PM _{2.5}	Hg	HOS
HR 01	0/1	2/2	3/8	0/2	0/0	0/1	3/3	2/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0
HR 02	0/4	1/2	3/8	1/3	0/2	0/1	2/2	2/2	0/2	0/0	0/0	0/0	0/0
HR 03	0/1	2/2	0/4	0/1	0/0	0/1	1/3	1/1	0/0	0/0	1/1	0/0	0/1
HR 04	0/0	1/1	0/2	0/0	0/0	0/0	1/2	1/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/1
HR 05	0/2	2/2	0/8	0/0	0/1	0/1	2/4	1/0	0/1	0/0	0/1	0/0	1/1
HR ZG	0/2	3/5	4/8	0/1	0/2	0/1	2/3	2/2	0/2	1/1	0/0	1/1	0/1
HR OS	0/1	1/2	2/2	0/1	0/0	0/1	1/2	1/1	0/0	0/1	0/0	0/0	0/0
HR RI	0/1	1/2	1/2	0/1	0/0	0/1	1/2	1/1	0/0	1/1	0/0	0/0	0/0
HR ST	0/2	1/2	2/4	0/0	0/0	0/1	1/2	1/1	0/0	1/1	0/0	0/0	0/0

Legenda:

0/1	je podatak o broju obaveznih mjernih mjesta u pojedinoj zoni (0, crno) u odnosu na broj trenutno raspoloživih mjernih mjesta u zoni (1, crno).
3/8	je podatak o broju obaveznih mjernih mjesta u pojedinoj zoni (3, crno) u odnosu na broj trenutno raspoloživih mjernih mjesta u zoni (8, crno). Ružičasta boja označava povećanje broja mjernih mjesta u odnosu na prethodno razdoblje (2011. – 2015.)



Državna mreža za trajno praćenje kvalitete zraka znatno je unaprijeđena u odnosu na proteklo razdoblje (2011. – 2015.). Proces proširenja i modernizacije započeo je i prije, no uspostava najvećeg broja mjernih mjesta predviđena je modernizacijom i izgradnjom tijekom strateškog projekta AIRQ – Proširenje i modernizacija državne mreže za trajno praćenje kvalitete zraka. Na taj način inkrementalno su se ispunjavale zakonske obaveze, a mreža se usklađivala s Pravilnikom o praćenju kvalitete zraka. U sklopu AIRQ projekta moderniziraju se postojeće postaje u državnoj mreži i grade nove pri čemu se proširuje i program mjerenja. Razlozi potrebe modernizacije su ispunjenje obveze zadovoljavanja minimalnog broja mjernih mjesta po zonama i aglomeracijama, ispunjenje obveze uspostave EMEP razina 1 (Puntijarka, Zavižan) i EMEP razina 2 (Polača) mjernih mjesta te ostvarenje većeg postotka zadanog opsega mjerenja na EMEP postajama, ispunjenje uvjeta kvalitete podataka – zamjena opreme bez tipskog odobrenja opremom koja je tipski odobrena (za one onečišćujuće tvari za koje postoji tipski odobrena oprema) te osiguranje minimalnog obuhvata podataka.

Uspostavom postaja Koprivnica-1 i Koprivnica-2, ispravljena je nesukladnost iz 2015. godine te broj stalnih mjernih mjesta za mjerenje lebdećih čestica u zoni HR 01 sada zadovoljava sve propisane kriterije. Međutim, razina onečišćenja u razdoblju 2016. – 2020. godine se u zoni HR 01 smanjila (< GPP) pa se prema tome smanjio i zahtjev za minimalnim brojem mjernih mjesta određen Pravilnikom. Nove postaje Koprivnica-1 i Koprivnica-2 počele su s radom u 2020. godini te zbog nedovoljnog obuhvata podataka nisu uzete u razmatranje u ovoj Ocjeni koja se odnosi na razdoblje 2016. – 2020. U 2021. godini na obje postaje bilježi se više od dozvoljenog broja prekoračenja 24-satne granične vrijednosti za PM_{10} zbog čega na je potrebno zadržati oba mjerna mjesta i u narednom razdoblju.

Usklađenost s kriterijima Pravilnika u aglomeraciji HR OS postignuta je gradnjom nove postaje Osijek-2 i uspostavom novog mjernog mjesta za mjerenje lebdećih čestica.

Trenutno postoji znatan broj automatskih analizatora lebdećih čestica koji pružaju kvalitetan pregled mjerenja na cijelom području Republike Hrvatske. Za zone HR 03, HR 04 i HR 05, neovisno o ocjeni koja je za ove zone ispod donje granice procjenjivanja, mjerenja lebdećih čestica u blizini nacionalnih parkova ili parkova prirode ima važnost radi praćenja pozadinskog onečišćenja u Republici Hrvatskoj. U zoni HR 05 će se provoditi mjerenje PM_{10} i $PM_{2.5}$ i na postaji Polača, EMEP postaji razine 2.

Dodatno, obzirom na nove strože preporuke Svjetske zdravstvene organizacije koje se odnose na granične vrijednosti koncentracije lebdećih čestica u zraku, vrijedilo bi nastaviti s ovim programom mjerenja slijedećem razdoblju.

U aglomeracijama HR OS, HR RI i HR ST te u zoni HR 03 uspostavljaju se trajna mjerna mjesta za mjerenje benzo(a)pirena, no, obzirom na razinu onečišćenja koja je u zonama HR 01, HR 04 i HR 05 uvjetno ocijenjena ispod gornjeg praga procjene, preporuča se provjera ove uvjetne ocjene mjerenjima.



U zoni HR 03 uspostavlja se mjerno mjesto za mjerenje koncentracija benzena. Istodobno, razina onečišćenja u aglomeraciji HR ZG u razdoblju 2015. – 2020. bila je ispod donjeg praga procjene te u HR ZG stoga ne postoji obveza uspostave novih mjernih mjesta.

Broj i raspored mjernih mjesta za mjerenje koncentracije ozona je u trenutnom programu kvalitetno organiziran, te bi u sljedećem razdoblju vrijedilo nastaviti sa ovim programom mjerenja. U zoni HR 04 jedno mjerno mjesto je pozadinska postaja (Višnjan), dok je druga postaja je prigradska postaja (Pula). S obzirom na specifičnost emisijskih izvora i geografsko okruženje prikladno je da u zoni postoji veći broj mjesta od matematičkog minimuma što je za zonu HR 04 jedno mjerno mjesto za prizemni ozon. Slično tumačenje primjenjivo je i za ostale zone (HR 03: Karlovac, Parg, Plitvice, HR 05: Polača, Hum, Opuzen, Žarkovica – trenutno neaktivna).

U prethodnom razdoblju (2011. – 2015.) na području Hrvatske nije bilo uspostavljeno mjerno mjesto za analizu hlapivih organskih spojeva (HOS). U procesu je uspostavljanje mjernih mjesta za mjerenje koncentracija hlapivih organskih spojeva na četiri lokacije, u aglomeraciji HR ZG te u zonama, HR 03, HR 04 i HR 05 osigurano kroz AIRQ projekt.

Nakon uspostave gradske pozadinske mjerne postaje Zagreb-4 (AIRQ projekt), u aglomeraciji HR ZG u državnoj mreži tad će biti 5 mjernih mjesta s kontinuiranim mjerenjima NO_2 .

Predlaže se zadržavanje dva mjerna mjesta za koncentracije SO_2 u zoni HR 02, obzirom na prekoračenje donjeg praga procjenjivanja koje se javlja u pojedinim godinama te uvažavajući specifične industrijske izvore onečišćenja. Trenutni program mjerenja predviđa većinom jedno mjerno mjesto po zoni ili aglomeraciji u svrhu mjerenja koncentracija SO_2 u sljedećem razdoblju.

Broj mjernih mjesta na kojima će se mjeriti koncentracije CO je smanjen, no neovisno o ocjeni prema kojoj je definirano da nije potrebno imati mjerna mjesta za mjerenje koncentracije CO, ta mjerenja su koristan indikator izvora onečišćenja i upotpunjuju sliku na mjestima na kojima postoje mjerenja drugih onečišćujućih tvari, poput benzena i lebdećih čestica.

Mjerenja koncentracija NH_3 na postaji Kutina-1 je važno nastaviti zbog blizine industrijskog izvora. Koncentracije H_2S na postajama u Slavonskom Brodu i Sisku bila su povišena u pojedinim satima tijekom promatranog razdoblja i od koristi bi bilo nastaviti provoditi mjerenja referentnom metodom u ovim gradovima. Trenutno ne postoji definiran kriterij za minimalni broj mjernih mjesta za NH_3 i H_2S .

Na područjima gdje su vrijednosti prizemnih koncentracija u promatranom razdoblju bile ispod donjeg praga procjene, ne postoji obaveza mjerenja, odnosno ocjena kvalitete zraka može se donijeti na osnovu modeliranja i/ili indikativnih mjerenja. No, obzirom da je na pojedinim mjestima infrastruktura potrebna za provođenje mjerenja osigurana u prijašnjem razdoblju, mjerenja se i dalje provode. Ti podaci vrijedni su, ne samo u užem smislu ocjene



kvalitete zraka, nego i u smislu praćenja trendova, validacije numeričkih modela te istraživanja porijekla onečišćenja.

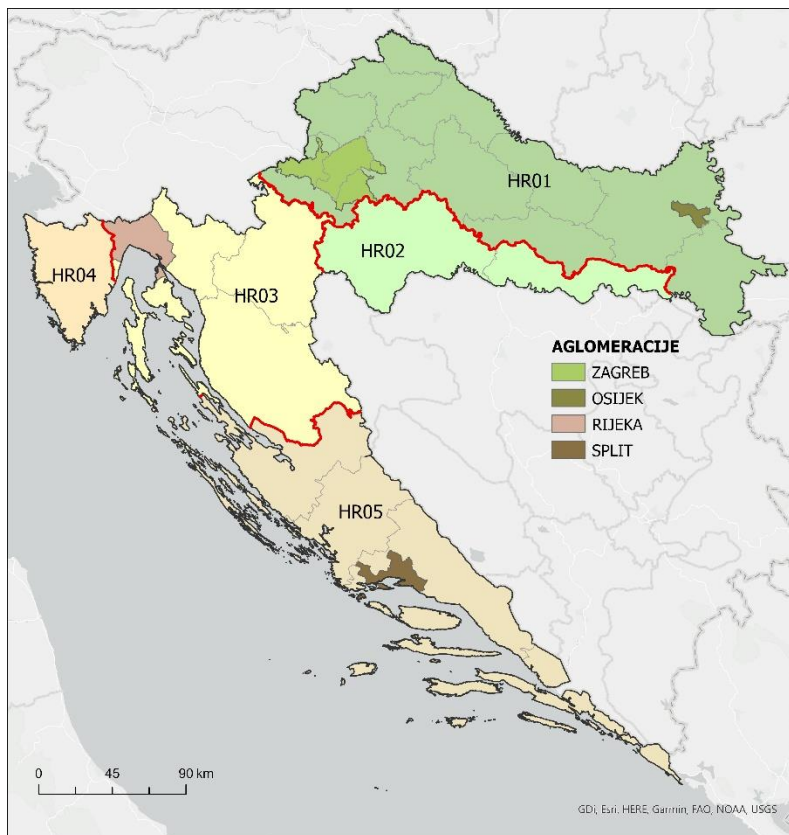
Uspostavom dodatnih mjerenja udio stanovništva u gradskim područjima obuhvaćenim podacima mjerenja će se povećati na oko 60 %. Do ciljane vrijednosti od 100 % stanovništva u gradovima s više od 10 000 stanovnika obuhvaćenog podacima o kvaliteti zraka dolazi se uspostavom sustava za modeliranje kvalitete zraka. AIRQ projekt je u podmakloj fazi, a završetak se očekuje do kraja 2022. godine. Postaje državne mreže prema statusu modernizacije prikazane su na slici (Slika B). Provedba ovog projekta osigurava usklađenost raspoloživih mjerenja s Programom mjerenja razine onečišćenosti zraka u državnoj mreži za trajno praćenje kvalitete zraka te zadovoljavanje uvjeta iz Pravilnika o praćenju kvalitete zraka (NN 72/2020).



Slika B Postaje državne mreže za trajno praćenje kvalitete zraka prema statusu modernizacije u sklopu strateškog projekta AIRQ – Proširenje i modernizacija državne mreže za trajno praćenje kvalitete zraka kojeg provodi Državni hidrometeorološki zavod, a financira Europski fond za regionalni razvoj (85 %) i Fond za zaštitu okoliša i energetska učinkovitost (15 %). Na slici su navedene i druge postaje lokalnih mreža korištene za potrebe Ocjene



Zone i aglomeracije



Slika C Zone i aglomeracije prema kriterijima propisnim u Uredbi o određivanju zona i aglomeracija prema razinama onečišćenosti zraka na teritoriju Republike Hrvatske

Uvjeti za razgraničenje teritorija Republike Hrvatske s obzirom na kvalitetu zraka u razdoblju 2016. – 2020. godine nisu se promijenili u odnosu na prijašnje razdoblje. Zbog toga predlažemo da se zadrži razgraničenje sukladno važećoj Uredbi (NN 1/2014).

Uz osnovne parametre procjene kao što su razina onečišćenja u razmatranje su uzeti i značajni čimbenici poput broja stanovnika (Tablica D), kao i klimatske i geografske karakteristike područja. Zone HR 01 i HR 02 obje pripadaju kontinentalnom dijelu Republike Hrvatske, no zona HR 02 pod snažnijim je utjecajem velikih industrijskih izvora, kao i prekograničnog onečišćenja iz susjednih država. Uz to, u stabilnim atmosferskim uvjetima, magle su najčešće i najdugotrajnije u Posavini (HR 02), gdje uz snažan pritisak emisija pogoduju zadržavanju onečišćenja. Zone HR 03 i HR 04 iako smanjenih emisija, područja su pod velikim utjecajem prekograničnog onečišćenja: HR 03 – taloženje kroz oborinu (klimatološki to je regija s najviše oborine, a time i najviše onečišćenja kroz mokro taloženje onečišćujućih tvari), HR 04 – utjecaj prekograničnog onečišćenja zraka dominantno iz smjera doline rijeke Po i Tršćanskog zaljeva. Iako je razina onečišćenja u obje zone HR 03 i HR 04 primarno određena prekograničnim onečišćenjem zone se znatno razlikuju po izvorima onečišćenja. Dok je u zoni HR 03 taloženje onečišćenja dominantni parametar u zoni HR 04 to je transport koncentracija onečišćenja u zraku.



Zona HR 05 geografski i administrativno je cjelovito područje, sličnih klimatoloških karakteristika kao i razina te izvora onečišćenja.

Status aglomeracije u Republici Hrvatskoj zadržavaju veći gradovi uz pripadajuća okolna naselja (Tablica D): Zagreb i Split s više od 250 000 stanovnika (HR ZG – 951 915 stanovnika, HR ST – 272 671 stanovnika) te Rijeka i Osijek kao veliki gradovi (HR RI – 215 114 stanovnika, HR OS – 108 048 stanovnika) s manje od 250 000 stanovnika, no obzirom da je riječ o povezanim, kompleksnim emisijskim cjelinama i velikoj gustoći naseljenosti upravljanje onečišćenjem zraka na ovim područjima treba razmatrati odvojeno od zone.



Sadržaj

S A Ž E T A K.....	I
1. Uvod	1
1.1. Kvaliteta zraka i utjecaj glavnih polutanata na zdravlje	1
1.2. Kvaliteta zraka u Hrvatskoj i Europskoj uniji	2
1.3. Utjecaj pandemije COVID-19 na kvalitetu zraka.....	3
1.4. Zakonski okvir	5
1.5. Metodologija	6
1.5.1 Rezultati mjerenja i obuhvat podataka.....	6
1.5.2 Modeliranje kvalitete zraka	8
1.5.3 Mjerila za analizu rezultata primijenjena u ocjeni	11
1.6. Administrativna područja – zone i aglomeracije.....	12
1.7. Populacija – gustoća naseljenosti po zonama i aglomeracijama	12
1.8. Lokacije i program mjerenja po postajama.....	13
2. Analiza mjerenja kvalitete zraka u Republici Hrvatskoj u razdoblju 2016. – 2020. godine.....	26
2.1. Sumporov dioksid SO ₂	30
Izvori i emisije SO ₂	30
Mjerenja i obuhvat podataka.....	31
Analiza rezultata mjerenja SO ₂ s obzirom na zaštitu zdravlja ljudi.....	33
Analiza rezultata mjerenja SO ₂ s obzirom na zaštitu vegetacije	34
Obuhvat podataka u zimskom razdoblju.....	35
Pragovi procjene kritične razine u zimskom razdoblju	37
Rezultati analize s obzirom na donju i gornju granicu procjene	37
Analiza rezultata mjerenja s obzirom na prag upozorenja	40
Analiza modeliranih koncentracija sumporovog dioksida	40
Ocjena sukladnosti zona i aglomeracija s okolišnim ciljevima.....	44
2.2. Dušikov dioksid, NO ₂	46
Izvori i emisije dušikovih oksida (NO _x).....	46
Mjerenja i obuhvat podataka.....	48
Analiza rezultata mjerenja NO ₂ s obzirom na zaštitu zdravlja ljudi	49
Rezultati analize s obzirom na donju i gornju granicu procjene	51
Analiza rezultata mjerenja s obzirom na prag upozorenja	54
Analiza rezultata mjerenja NO _x s obzirom na zaštitu vegetacije	54
Analiza modeliranih koncentracija dušikovog dioksida	55



	Ocjena sukladnosti zona i aglomeracija s okolišnim ciljevima.....	59
2.3.	Lebdeće čestice promjera manjeg od 10 µm, PM ₁₀	61
	Izvori i emisije PM ₁₀	61
	Mjerenja i obuhvat podataka.....	62
	Analiza rezultata mjerenja lebdećih čestica PM ₁₀	64
	Rezultati analize s obzirom na donju i gornju granicu procjene	70
	Analiza modeliranih koncentracija PM ₁₀	75
	Ocjena sukladnosti zona i aglomeracija s okolišnim ciljevima.....	79
2.4.	Lebdeće čestice promjera manjeg od 2.5 µm PM _{2.5}	81
	Izvori i emisije PM _{2.5}	81
	Mjerenja i obuhvat podataka.....	83
	Analiza rezultata mjerenja PM _{2.5} – automatski analizatori	84
	Analiza rezultata mjerenja PM _{2.5} – gravimetrijska metoda.....	85
	Pokazatelj prosječne izloženosti koncentracijama PM _{2.5} , PPI	87
	Rezultati analize s obzirom na donju i gornju granicu procjene	88
	Analiza modeliranih koncentracija PM _{2.5}	89
	Ocjena sukladnosti zona i aglomeracija s okolišnim ciljevima.....	93
2.5.	Prizemni (troposferski) ozon, O ₃	95
	Izvori i emisije prekursora prizemnog ozona (NMVOC)	95
	Mjerenja i obuhvat podataka.....	97
	Analiza rezultata mjerenja prizemnog ozona.....	99
	Prag obavješćivanja i prag upozorenja	102
	Procjena onečišćenja s obzirom na zaštitu vegetacije, analiza parametra AOT40	104
	Analiza modeliranih koncentracija prizemnog ozona	105
	Ocjena sukladnosti zona i aglomeracija s okolišnim ciljevima.....	109
2.6.	Benzen, C ₆ H ₆	111
	Izvori i emisije benzena	111
	Mjerenja i obuhvat podataka.....	111
	Analiza rezultata mjerenja benzena.....	113
	Rezultati analize s obzirom na donju i gornju granicu procjene	114
	Ocjena sukladnosti zona i aglomeracija s okolišnim ciljevima.....	115
2.7.	Ugljikov monoksid, CO	117
	Izvori i emisije CO	117
	Mjerenja i obuhvat podataka.....	118
	Analiza rezultata mjerenja ugljikovog monoksida.....	120



	Rezultati analize s obzirom na donju i gornju granicu procjene	120
	Analiza modeliranih koncentracija ugljikovog monoksida	121
	Ocjena sukladnosti zona i aglomeracija s okolišnim ciljevima.....	125
2.8.	Sumporovodik, H ₂ S.....	127
	Izvori i emisije H ₂ S	127
	Mjerenja i obuhvat podataka.....	127
	Analiza rezultata mjerenja sumporovodika	128
	Ocjena sukladnosti zona i aglomeracija s okolišnim ciljevima.....	130
2.9.	Amonijak, NH ₃	131
	Izvori i emisije NH ₃	131
	Mjerenja i obuhvat podataka.....	132
	Analiza rezultata mjerenja amonijaka	133
	Ocjena sukladnosti zona i aglomeracija s okolišnim ciljevima.....	133
2.10.	Benzo(a)piren, B(a)P u lebdećim česticama PM ₁₀	134
	Izvori i emisije benzo(a)pirena	134
	Analiza rezultata mjerenja benzo(a)pirena.....	135
	Rezultati analize s obzirom na donju i gornju granicu procjene	137
	Analiza modeliranih koncentracija benzo(a)pirena (MSCE-HM).....	139
	Ocjena sukladnosti zona i aglomeracija s okolišnim ciljevima.....	140
2.11.	Teški metali: olovo (Pb), arsen (As), kadmij (Cd) i nikal (Ni) u PM ₁₀	142
	Izvori i emisije teških metala.....	142
	Analiza rezultata mjerenja teških metala	145
	Rezultati analize s obzirom na donju i gornju granicu procjene	145
	Analiza modeliranih koncentracija teških metala (MSCE-HM)	147
	Ocjena sukladnosti zona i aglomeracija s okolišnim ciljevima.....	149
2.12.	Ukupna plinovita živa, Hg	151
	Izvori i emisije Hg	151
	Analiza rezultata mjerenja plinovite žive.....	152
	Rezultati analize s obzirom na donju i gornju granicu procjene	152
	Analiza modeliranih koncentracija žive (MSCE-HM).....	153
	Ocjena sukladnosti zona i aglomeracija s okolišnim ciljevima.....	154
3.	Meteorološke prilike u razdoblju 2015. – 2020.....	156
3.1.	Temperatura	157
3.2.	Oborina.....	158
3.3.	Vjetar	159



4. Kvaliteta oborine u Hrvatskoj u razdoblju 2016. – 2020.....	165
5. Određivanje porijekla onečišćenja (eng. Source Apportionment)	177
6. Modeliranje u gradovima i aglomeracijama	181
Prilozi	187
Prilog 1. Koncentracije aniona i kationa u lebdećim česticama PM _{2.5}	187
Prilog 2. Elementni i organski ugljik u lebdećim česticama PM _{2.5}	189
Prilog 3. Usporedba rezultata mjerenja i modela	190
Dušikov dioksid (NO ₂).....	191
Ozon (O ₃).....	192
Lebdeće čestice (PM ₁₀)	193
Lebdeće čestice (PM _{2.5})	194
Literatura	195
Popis slika	198
Popis tablica.....	206



1. Uvod

1.1. Kvaliteta zraka i utjecaj glavnih polutanata na zdravlje

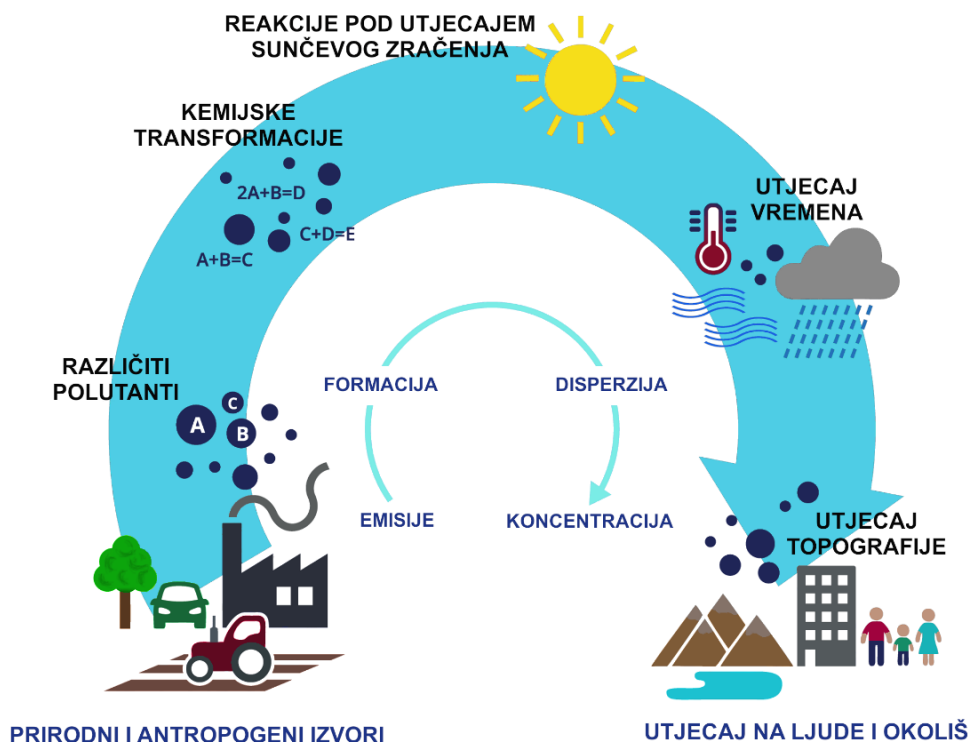
Onečišćenje zraka, kad je riječ o okolišnim temama, smatra se najvećim rizikom po zdravlje ljudi. Između ostalog, uzrokuje kardiovaskularne i respiratorne bolesti, koje u najtežim slučajevima mogu dovesti do preuranjene smrti. Unatoč znatnim naporima u smanjenju antropogenih emisija onečišćujućih tvari, onečišćen zrak i dalje značajno utječe na zdravlje europskog stanovništva, posebno u urbanim područjima. Najznačajniji polutanti u Europi, pa i u Hrvatskoj u tom smislu su lebdeće čestice (PM), dušikov dioksid (NO₂) i prizemni ozon (O₃). Pojedine grupe stanovništva su više pogođene onečišćenjem zraka od drugih, jer su osjetljivije i/ili više dugoročno izložene višim koncentracijama onečišćujućih tvari. Onečišćenju zraka su više izložene niže socio-ekonomske grupe ljudi. Stariji ljudi, djeca i oni s već postojećim zdravstvenim poteškoćama pripadaju osjetljivim skupinama. Uz utjecaj na zdravlje, zagađenje zraka ima i značajne ekonomske posljedice: smanjenje očekivanog životnog vijeka, povećanje medicinskih troškova i smanjenje produktivnosti kroz izgubljene radne dane u raznim ekonomskim sektorima (EEA, 2020.).

Procjene zdravstvenih posljedica koje se mogu pripisati onečišćenju zraka pokazuju da su koncentracije PM_{2.5} u 2016. godini bile odgovorne za oko 412 000 prijevremenih smrti uzrokovanih dugotrajnom izloženosti lebdećim česticama u Europi. Povećane koncentracije NO₂ i O₃ u 41 europskoj zemlji u 2016. uzrokovale su oko 71 000 (NO₂) prijevremenih smrti te 15 100 (O₃) prijevremenih smrti godišnje. Prema podacima Europske agencije za okoliš, u Hrvatskoj je u 2016. godini prijevremenih smrti uzrokovanih dugotrajnom izloženosti PM_{2.5}, NO₂ i O₃ bilo 5 300 (PM_{2.5}), 260 (NO₂) i 190 (O₃), što je ukupno 5 750 preuranjenih smrti u našoj zemlji uzrokovano dugotrajnom izloženosti glavnim polutantima (EEA, 2019.).

Tablica 1.1.1 Broj prijevremenih smrti uzrokovan onečišćenjem zraka u 2016. godini na području Europe i Hrvatske prema vrsti onečišćujuće tvari (izvor: EEA, 2019.)

Polutant	Europa	Hrvatska
PM _{2.5}	412 000	5300
NO ₂	71 000	260
O ₃	15 100	190

Onečišćenje zraka također znatno utječe na vegetaciju i ekosustave. Pod pritiskom polutanata pati biljni i životinjski svijet, narušava se kvaliteta vode i tla te posljedično brojni ekosustavi. Najveću štetu u tom smislu trenutno čine prizemni ozon (O₃), amonijak (NH₃) i dušikovi oksidi (NO_x). Prizemni ozon može oštetiti usjeve, šume i drugu vegetaciju, ometajući im rast i razvoj pri čemu utječe na bioraznolikost. Taloženje dušikovih spojeva može uzrokovati eutrofikaciju, prekomjernu opskrbu hranjivim tvarima koja također narušava ravnotežu ekosustava kroz promjene u raznolikosti vrsta i potencijalnu invaziju novih vrsta (EEA, 2020.).



Slika 1.1.1 Ilustracija (izvor: Explaining road transport emissions, EEA, 2016., prilagodba: DHMZ)

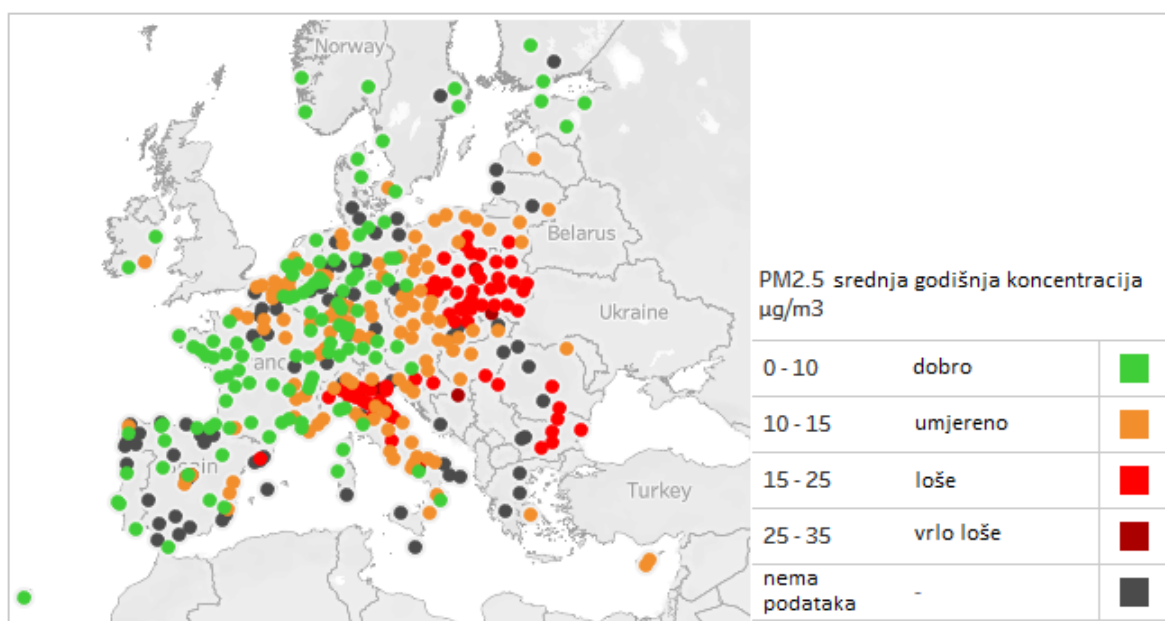
Učinkovito djelovanje na smanjenje onečišćenja zraka i njegovih utjecaja zahtijeva dobro razumijevanje njegovih izvora, procese njihovog transporta, fizičke i kemijske transformacije u atmosferi, promjene kemijskog sastava atmosfere pod njihovim utjecajem te kako onečišćujuće tvari ukupno utječu na ljude, ekosustave, klimu te u konačnici društvo i gospodarstvo u cjelini. Smanjenje onečišćenja zraka i ublažavanje posljedica traži suradnju i koordinirano djelovanje na međunarodnoj, nacionalnoj i lokalnoj razini, te koordinaciju s drugim sektorskim politikama, poput onih klimatskih i gospodarstvenih. Holistička rješenja i neophodan integrirani multidisciplinarni pristup uključuju tehnološki razvoj, strukturalne promjene te promjene u ponašanju stanovništva. Napori za postizanje većine ciljeva održivog razvoja postavljenim u UN-ovoj *2030 agendi za održivi razvoj* (UN, 2015.) izravno su ili neizravno povezani upravo s ublažavanjem emisija štetnih polutanata u zrak i promjena koje one uzrokuju u sastavu atmosfere (UNEP, 2019.).

1.2. Kvaliteta zraka u Hrvatskoj i Europskoj uniji

Politike usmjerene prema smanjenju onečišćenja zraka, poglavito one vezane uz smanjenje emisija štetnih polutanata u atmosferu, tijekom posljednja tri desetljeća dovele su do znatnog poboljšanja kvalitete zraka u Europi. Međutim, u nekim europskim regijama i gradovima onečišćenje zraka još uvijek predstavlja rizik za zdravlje. Jedan od važnijih parametara u tom smislu su i lebdeće čestice promjera manjeg od $2.5 \mu\text{m}$. Europska okolišna agencija rangirala je 323 europska grada na temelju onečišćenosti lebdećim



česticama PM_{2.5} u 2019. i 2020. godini. Na prikazu (Slika 1.2.1) se može primijetiti kako su gradovi sjeverne, centralne i zapadne Europe “čišći” u usporedbi s istočnom i sjeveroistočnom Europom te Padskom nizinom (Italija), područjem snažno opterećenim industrijom. Među 323 rangirana grada, prema podacima za 2019. i 2020. godinu najčišći je Umea na sjeveru Švedske, a najonečišćeniji Nowy Sacz na jugu Poljske. Hrvatski gradovi, Rijeka, Zagreb i Slavonski Brod zauzimaju 158., 256. i 321. mjesto, pri čemu je zrak prema ovom kriteriju u Rijeci ocijenjen kao umjereno onečišćen, za Zagreb je ocjena kvalitete zraka – loše, a stanje je za Slavonski Brod u razini – vrlo loše (EEA, 2022.). To znači da u Slavonskom Brodu nisu zadovoljeni kriteriji granične vrijednosti Europske unije, u Zagrebu je taj kriterij zadovoljen, no razina onečišćenja je iznad 15 µg/m³, dok je u Rijeci onečišćenje ispod 15 µg/m³, ali iznad granice koju propisuje Svjetska zdravstvena organizacija (World Health Organization – WHO, 10 µg/m³).



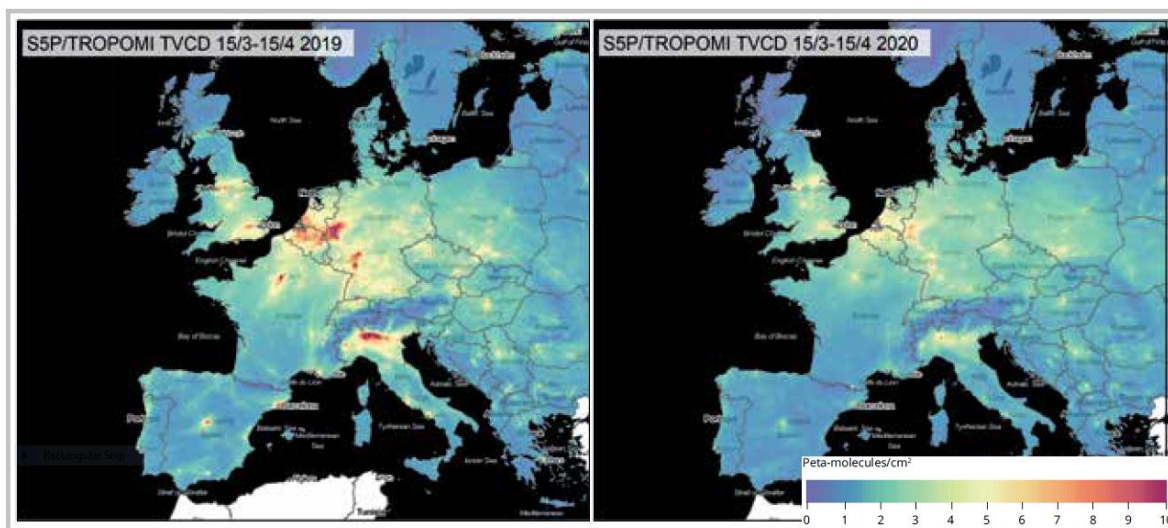
Slika 1.2.1 Kvaliteta zraka u Europskim gradovima na temelju onečišćenosti lebdećim česticama PM_{2.5} u 2019. i 2020. godini (izvor, EEA 2022.)

1.3. Utjecaj pandemije COVID-19 na kvalitetu zraka

Sredinom ožujka 2020. godine, nakon pojave i globalnog širenja korona virusa (SARS-CoV-2) većina europskih zemalja uvela je mjere izolacije. Mnoge gospodarske aktivnosti privremeno su bile obustavljene ili smanjene, što je uzrokovalo i značajno smanjenje antropogenih emisija, osobito iz cestovnog prometa, zrakoplovstva i međunarodnog prijevoza, ali dijelom i industrije te manje nekih drugih sektora, poput kućnih ložišta. Ove promjene u emisijama polutanata u atmosferu dovele su i do smanjenja koncentracija onečišćujućih tvari u zraku, pri čemu su pozitivan utjecaj na okoliš primijetili i sami građani (EEA, 2021.).



Slika 1.3.1 (desno) prikazuje satelitom opažene vertikalne stupce NO_2 u razdoblju od 15. ožujka do 15. travnja 2020., što odgovara mjesecu neposredno nakon uvođenja vladinih mjera zatvaranja u većini zemalja u Europi, dok lijevi dio slike (Slika 1.3.1) prikazuje opažanje satelita u odnosu na isto razdoblje 2019. Opažanja se temelje na podacima instrumenta za praćenje troposfere (TROPOMI) na satelitskoj platformi Sentinel-5P. Sva tipična žarišna područja, poput sjeverne Italije, zapadne Njemačke, Belgije i Nizozemske, pokazuju niže razine onečišćenja NO_2 u razmatranom razdoblju 2020. nego u istom razdoblju referentne 2019. godine (EEA, 2021.). Smanjenje onečišćenja iz prometa u 2020. godini primjećuje se i u Hrvatskoj, uglavnom na područjima velikih gradova poput Zagreba, Osijeka i Splita, što je vidljivo i na izmjeranim koncentracijama dušikovog dioksida u tim gradovima (Poglavlje **2.2. Dušikov dioksid, NO_2**). Mnoga istraživanja utjecaja pandemije COVID-19 na kvalitetu zraka koja se odnose na mjesece ožujak – lipanj, 2020. godine pokazala su kako je najveće smanjenje onečišćenja zabilježeno na područjima najvećeg opterećenja emisijama u normalnim uvjetima. Obzirom da Hrvatska svojom gustoćom stanovništva i prometnom mrežom nije toliko opterećena kao europska prometna i industrijska žarišta, ni smanjenje za vrijeme prvog vladina zatvaranja nije bilo toliko izraženo kao u zapadnoj Europi. Ipak, bilo je vidljivo i značajno (Poglavlje **2.2. Dušikov dioksid, NO_2**).

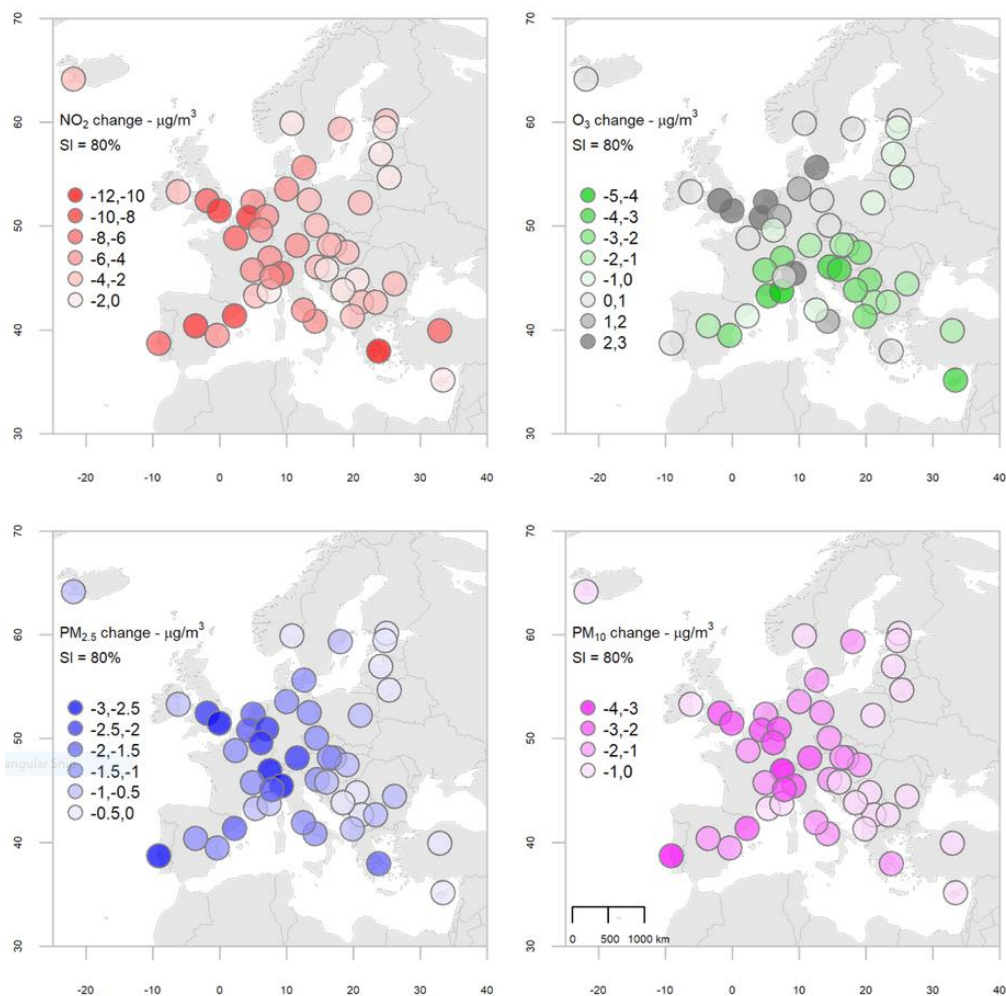


Slika 1.3.1 Prosječna razina onečišćenja NO_2 (troposferski vertikalni stupac) prema podacima Sentinel-5P/TROPOMI za razdoblje 15.3. – 15.4.2019. – lijevo, te za isto razdoblje 2020. – desno (izvor, EEA 2021.)

Istraživanje provedeno u London School of Hygiene & Tropical Medicine u suradnji s CAMS-om (Copernicus Atmosphere Monitoring Service) i drugim institucijama na temu utjecaja pandemije na kvalitetu zraka i zdravlje pokazalo je da je za vrijeme prvog vala pandemije u proljeće 2020. godine kao posljedica poboljšanja kvalitete zraka u Europi izbjegnuto više od 800 smrti (CAMS, 2022.; Mohajeri, N. et al. 2021.). Za 47 europskih gradova (Slika 1.3.2) procijenjena je povezanost između različitih vladinih mjera i smanjenja koncentracija glavnih polutanata: dušikovog dioksida – NO_2 , ozona – O_3 i lebdećih čestica $\text{PM}_{2.5}$ i PM_{10} te s tim smanjenjem onečišćenja zraka vezano i smanjenje smrtnosti. Utjecaj različitih političkih mjera na kvalitetu zraka značajno se razlikovao u ovisnosti o poduzetim



mjerama. Najjače učinke na razinu onečišćenja imale su mjere koje ograničavaju svakodnevni život, poput zatvaranja škola i radnih mjesta, dok su ograničenja unutarnjeg i međunarodnog prometa pokazala manji utjecaj na lokalne razine onečišćenja. Paris, London, Barcelona i Milano spadaju među šest gradova s najvećim brojem izbjegnutih smrtnih slučajeva. Španjolski, francuski i talijanski gradovi imali su najveće smanjenje NO_2 tijekom tog razdoblja (50 % – 60 %), a koncentracije NO_2 su u spomenutom razdoblju bile značajno smanjene u cijeloj Europi. Smanjenje za ostale onečišćujuće tvari (ozon i lebdeće čestice) bilo je manje izraženo. To je očekivano jer se oko polovice emisija NO_2 generira u cestovnom prometu, sektoru najviše pogođenim vladinim ograničenjima (CAMS, 2022.).



Slika 1.3.2 Promjena koncentracije NO_2 , ozona i lebdećih čestica ($\text{PM}_{2.5}$ i PM_{10}) u 47 gradova u Europi. Za NO_2 i lebdeće čestice prikazane su srednje dnevne koncentracije, a za O_3 dnevni maksimalni osmosatni srednjak. (izvor: London School of Hygiene & Tropical Medicine/Servis za praćenje atmosfere Copernicus)

1.4. Zakonski okvir

Prema članku 24. stavku 3. Zakona o zaštiti zraka (NN 127/19, 57/22) ocjenu kvalitete zraka na području Republike Hrvatske za razdoblje od pet godina izrađuje Državni hidro-meteorološki zavod na temelju procjenjivanja koje se provodi najmanje jednom u pet



godina. Standardi kvalitete zraka u Europskoj Uniji (EU) propisani su Direktivom 2008/50/EK o kvaliteti okolnog zraka i čišćem zraku za Europu iz 2008. godine, Direktivom o teškim metalima i policikličkim aromatskim ugljikovodicima u zraku iz 2004. godine (2004/107/EK) te Direktivom Komisije (EU) 2015/1480 iz 2015. godine o izmjeni određenih priloga Direktivama 2004/107/EK i 2008/50/EK Europskog parlamenta i Vijeća o utvrđivanju pravila za referentne metode, validaciju podataka i lokaciju točaka uzorkovanja za ocjenjivanje kvalitete zraka. Svrha ocjenjivanja u zemljama članicama je analiza trendova, procjena učinkovitosti provedenih politika i mjera, ocjena dostatnosti monitoringa i pružanje stručnih podloga za izradu novih srednjoročnih planova i strategija za daljnju zaštitu zraka.

Cilj ove studije je pružiti sveobuhvatnu analizu stanja kvalitete zraka na području Hrvatske u proteklom petogodišnjem razdoblju (2016. – 2020.) kroz analizu emisija onečišćujućih tvari u atmosferu, izmjerenih koncentracija onečišćujućih tvari te vrijednosti proračunatih kemijskim transportnim modelima LOTOS-EUROS, EMEP MSC-W i MSCE-HM, kao i disperzijskim modelom za modeliranje kvalitete zraka u urbanim sredinama ADMS-Urban. U ovoj studiji po prvi put se prikazuju i rezultati "Source Apportionment" analize, odnosno doprinos glavnih izvorišnih područja na pojedina mjesta u Hrvatskoj.

Cilj detaljne analize je osigurati što iscrpnije informacije za potrebe ocjene kvalitete zraka u zonama i aglomeracijama, ocijeniti učinkovitost sustava za praćenje kvalitete zraka i dostatnost programa mjerenja koji se provodio u razmatranom razdoblju.

Ocjena kvalitete zraka u zonama i aglomeracijama donesena je prema podacima s mjernih mjesta definiranih Uredbom o utvrđivanju popisa mjernih mjesta za praćenje koncentracija pojedinih onečišćujućih tvari u zraku i lokacija mjernih postaja u državnoj mreži za trajno praćenje kvalitete zraka (NN 65/16) te Programom mjerenja razine onečišćenosti zraka u državnoj mreži za trajno praćenje kvalitete zraka (NN 73/16). U zonama i aglomeracijama u kojima se ne provode mjerenja pojedinih parametara kvalitete zraka, ili se mjerenja provode nekom od nestandardiziranih metoda ili se provode nekom standardiziranom metodom za koju nisu provedeni testovi ekvivalencije s referentnom metodom, procjenjivanje razine onečišćenosti zraka uz analizu mjerenja provodilo se i objektivnom procjenom. Objektivna procjena se primjenjuje samo u slučaju gdje su razine koncentracija onečišćujućih tvari na razmatranom području manje od donjeg praga procjene /dugoročnog cilja sukladno Direktivi 2008/50/EK.

1.5. Metodologija

1.5.1 Rezultati mjerenja i obuhvat podataka

Ocjena je izrađena na osnovi raspoloživih podataka mjerenja na postajama državne mreže za trajno praćenje kvalitete zraka i raspoloživih podataka mjerenja na automatskim postajama gradskih i županijskih mreža za praćenje kvalitete zraka. Mjerenja obuhvaćaju onečišćujuće tvari propisane Uredbom o razinama onečišćujućih tvari u zraku (NN 77/2020), odnosno Direktivama 2008/50/EK, 2004/107/EK te 2015/1480/EK. U tablici



(Tablica 1.5.1) dan je njihov popis s mjerilima koja se koriste pri ocjeni kvalitete zraka s obzirom na zaštitu zdravlja ljudi, kvalitetu življenja i zaštitu vegetacije. Navedeni su okolišni ciljevi (OC) te mjerne jedinice za izvješćivanje.

Tablica 1.5.1 Onečišćujuće tvari, mjerila za ocjenu kvalitete zraka na području Hrvatske s obzirom na zaštitu zdravlja ljudi, kvalitetu življenja i zaštitu vegetacije, okolišni ciljevi (OC) i mjerne jedinice za izvješćivanje

Formula	Cilj zaštite	Vrsta OC (1)	Vrijeme usrednjavanja	Mjerilo za izvješćivanje o OC	Brojčane vrijednosti OC (dopušteni broj prekoračenja)
NO ₂	Zdravlje	LV	1 sat	Sati prekoračenja u kal. godini	200 µg/m ³ (18)
		LV	1 kalendarska godina	Godišnji prosjek	40 µg/m ³
		ALT	1 sat	Tri uzastopna sata prekoračenja (2)	400 µg/m ³
NO _x	Vegetacija	CL	1 kalendarska godina	Godišnji prosjek	30 µg/m ³
PM ₁₀	Zdravlje	LV	24 sata	Dani prekoračenja u kal. godini	50 µg/m ³ (35)
		LV	1 kalendarska godina	Godišnji prosjek	40 µg/m ³
PM _{2.5}	Zdravlje	ECO	Prosjek srednjih vrijednosti godišnjih koncentracija u 3 uzastopne kal. godine	Pokazatelj prosječne izloženosti (PPI, izračun prema točki A Priloga 8 Uredbe NN 77/20)	20 µg/m ³
		ERT			U skladu s točkom B Priloga 8 Uredbe NN 77/20
		LV i TV	1 kalendarska godina	Godišnji prosjek	25 µg/m ³
SO ₂	Zdravlje	LV	1 sat	Sati prekoračenja u kal. godini	350 µg/m ³ (24)
			24 sata	Dani prekoračenja u kal. godini	125 µg/m ³ (3)
		ALT	1 sat	Tri uzastopna sata prekoračenja (2)	500 µg/m ³
	Vegetacija	CL	1 kalendarska godina	Godišnji prosjek	20 µg/m ³
Zima			Prosječna vrijednost tijekom zimskih mjeseci, tj. od 1.10. godine (x-1) do 31. 3. godine (x)	20 µg/m ³	
O ₃	Zdravlje	TV	Najviša dnevna osmosatna srednja vrijednost	Dani u kojima je maksimalna 8-satna srednja koncentracija prekoračila ciljnu vrijednost, prosjek kroz 3 godine	120 µg/m ³ (25 dan/god)
		LTO	Najviša dnevna osmosatna srednja vrijednost u kalendarskoj godini	Dani u kojima je najveća dnevna 8-satna srednja vrijednost prekoračila dugoročni cilj u 1 kal. godini	120 µg/m ³
		INT	1 sat	Sati prekoračenja u kal. godini	180 µg/m ³
		ALT	1 sat	Sati prekoračenja u kal. godini	240 µg/m ³
	Vegetacija	TV	1.svibnja-31. srpnja	AOT40 (izračunato na temelju jednosatnih vrijednosti)	18 000 µg/m ³ h kao prosjek 5 godina
		LTO	1. svibnja-31. srpnja	AOT40 (izračunato iz jednosatnih vrijednosti)	6 000 µg/m ³ h
CO	Zdravlje	LV	Maksimalna dnevna osmosatna srednja koncentracija	Dani u kojima je maksimalna dnevna osmosatna srednja koncentracija prekoračila graničnu vrijednost	10 mg/m ³
Benzen C ₆ H ₆	Zdravlje	LV	1 kalendarska godina	Godišnji prosjek	5 µg/m ³
Olovo	Zdravlje	LV	1 kalendarska godina	Godišnji prosjek	0.5 µg/m ³
Kadmij	Zdravlje	TV	1 kalendarska godina	Godišnji prosjek	5 ng/m ³
Arsen	Zdravlje	TV	1 kalendarska godina	Godišnji prosjek	6 ng/m ³
Nikal	Zdravlje	TV	1 kalendarska godina	Godišnji prosjek	20 ng/m ³
B(a)P	Zdravlje	TV	1 kalendarska godina	Godišnji prosjek	1 ng/m ³
Hg	Zdravlje	LV	1 kalendarska godina	Godišnji prosjek	1 µg/m ³
H ₂ S	Zdravlje	LV	1 sat	Sati prekoračenja u kal. godini	7 µg/m ³ (24)
		LV	24 sata	Dani prekoračenja u kal. godini	5 µg/m ³ (7)
NH ₃	Zdravlje	LV	24 sata	Dani prekoračenja u kal. godini	100 µg/m ³ (7)



(1) LV: granična vrijednost (limit value), LVMT: granična vrijednost uvećana za granicu tolerancije (limit value plus margin of tolerance), TV: ciljna vrijednost (target value), LTO: dugoročni cilj (long-term objective), INT: prag obavješćivanja (information threshold), ALT: prag upozorenja (alert threshold), CL: kritična razina (critical level), NAT: procjena prirodnog doprinosa (assessment of natural contribution), WSS: procjena zimskog posipanja pijeskom i solju (assessment of winter sanding and salting), ERT: ciljano smanjenje izloženosti (exposure reduction target), ECO: zahtijevana razina izloženosti (exposure concentration obligation).

(2) Za prekoračenje praga upozorenja mora se mjeriti tijekom tri uzastopna sata na mjestima koja su reprezentativna za kvalitetu zraka na najmanje 100 km², ili na čitavoj zoni ili aglomeraciji, ovisno što je od toga manje.

Da bi ocjena kvalitete zraka, temeljem mjerenja parametara kvalitete zraka, bila prihvatljiva, mjerenja moraju biti provedena na propisani način, odnosno biti provedena u skladu s odredbama Pravilnika o praćenju kvalitete zraka (NN 72/2020) i zadovoljiti propisane kriterije kvalitete mjerenja i mjernih postupaka, a prije svega kriterij obuhvata podataka. Za pravovaljanu analizu podataka i usporedbu vrijednosti s propisanim mjerilima (granične vrijednosti, ciljne vrijednosti i sl.) potreban je obuhvat podataka od 90 % za sve parametre mjerenja, na svim lokacijama mjerenja. U obuhvat podataka od 90 % uključena su i razdoblja u kojima se mjerenja ne obavljaju zbog redovitog servisiranja i ugađanja instrumenata. Dozvoljeni postotak vremena za servisiranje i ugađanje je 5 %, tako da u realnom obračunu raspoloživih sati mjerenja stvarni obuhvat podataka treba biti 85 %. Prihvatljivi gubitak podataka koji se odnosi na 5 % vremena godišnje, a u kojem se servisiraju i ugađaju instrumenti, iznosi oko 440 sati. Drugim riječima, tijekom godine ne bi smjelo biti kvarova instrumenata i drugih objektivnih poteškoća u trajanju duljem od 18 dana, što predstavlja vrlo zahtjevan kriterij za svaki sustav mjerenja.

Obuhvat podataka od 75 % i manje prihvatljiv je samo u slučajevima kada je i iz manjeg skupa vrijednosti vidljivo da je došlo do prekoračenja propisanih mjerila (graničnih vrijednosti, ciljnih vrijednosti, itd.), u tim slučajevima obaveza je države prijaviti prekoračenje i postupiti u skladu s člancima 45. i 46. Zakona o zaštiti zraka (NN 127/19, 57/22), što je obveza jedinica lokalne samouprave i grada Zagreba. Za razine obuhvata podataka manjeg od 75 % ne prihvaćaju se izračuni srednjih godišnjih vrijednosti koncentracija, a podaci se smatraju „nepostojećima“ za sustav ocjenjivanja i kategorizaciju kvalitete zraka. Usprkos činjenici da obuhvat podataka manji od 75 % nije prihvatljiv s aspekta donošenja ocjene o statusu i klasifikacije područja (zone, aglomeracije) s obzirom na kvalitetu zraka, svi raspoloživi podaci mjerenja koji su zadovoljili kriterije validnosti podataka su dobrodošli i predstavljaju pomoć u analizi i razumijevanju atmosferskih procesa koji dovode do prekomjernog onečišćavanja zraka (DHMZ, 2017.).

1.5.2 Modeliranje kvalitete zraka

Primjena atmosferskih numeričkih modela za procjenu kvalitete zraka omogućuje tumačenje prostornih (zemljopisnih) i vremenskih varijacija prizemnih koncentracija koje



nastaju uslijed vremenske i klimatske varijabilnosti kao i izračunavanje kolektivne izloženosti stanovništva atmosferskom onečišćenju. Pri tom, rezultati modeliranja atmosferskog prijenosa i distribucije onečišćujućih tvari služe, prije svega kao nadopuna sustavu mjerenja u područjima koja nisu izložena prekomjernom onečišćenju zraka i u kojima se stalna mjerenja kvalitete zraka mogu zamijeniti povremenim (indikativnim) mjerenjima i/ili modeliranjem. Rezultati modeliranja stoga, preuzimaju težište u svim područjima gdje podaci mjerenja nisu reprezentativni pokazatelj kvalitete zraka.

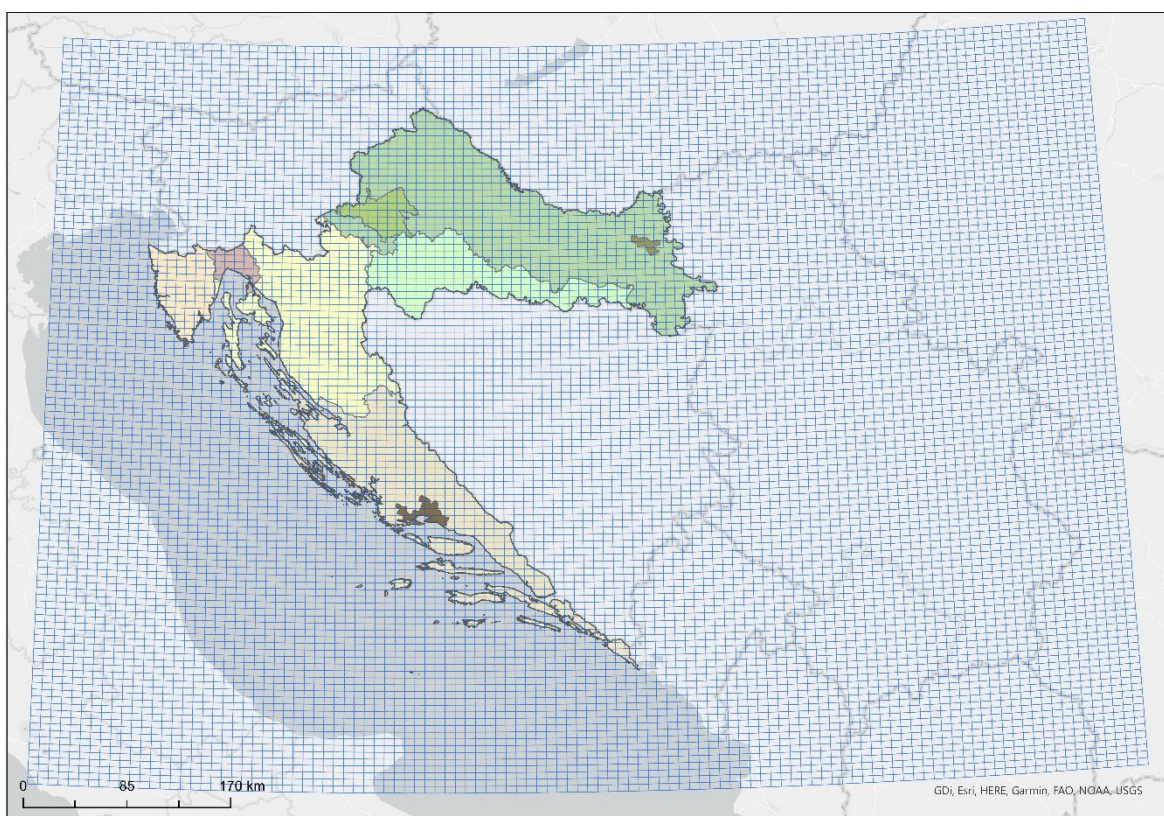
Prostorni obuhvat modela je područje cijele države, s rezolucijom prostorne mreže koja je uvjetovana dostupnim ulaznim podacima i namjeni, dok su početni i rubni uvjeti modela emisije i koncentracije onečišćujućih tvari na području cijele Europe. Model razrađen za područje države ugrađuje se u model kontinentalne skale iz kojeg se dobivaju svi relevantni rubni uvjeti koji definiraju prekogranični prijenos i donos onečišćenja, daljnji transport, distribuciju, taloženje i transformaciju unutar teritorija države. Neposredna primjena atmosferskih modela, sukladno člancima 6. i 9. Direktive 2008/50/EK prihvatljiva je u slučajevima kada su izmjerene vrijednosti koncentracija onečišćujućih tvari na razmatranom području ispod gornje i/ili ispod donje granice procjenjivanja za svaku onečišćujuću tvar koja se razmatra (Prilog II. Direktive 2008/50/EK). Rezultati proračuna atmosferskim modelima mogu se koristiti ukoliko je zadovoljen kriterij s obzirom na propisanu nesigurnost modeliranja za svaku pojedinu tvar. Kriteriji nesigurnosti definirani su u Prilogu I. Direktive 2008/50/EK i u Prilogu I. Direktive 2015/1480/EK (DHMZ, 2017.).

Modeliranje kvalitete zraka za potrebe ove studije provedeno je za cijelo razdoblje analize 2016. – 2020. godine. Za proračun regionalnog prijenosa onečišćujućih tvari u zraku primijenjen je model LOTOS-EUROS, implementiran i ugođen u sklopu AIRQ projekta specifično za područje Hrvatske na rezoluciji $0.1^\circ \times 0.05^\circ$. Za ocjenu kvalitete oborine primijenjen je EMEP MSC-W kemijski transportni model, a za procjenu koncentracija benzo(a)pirena (B(a)P), olova (Pb), kadmija (Cd) i žive (Hg) proračun modela MSCE-HM. U analizi su prikazane srednje godišnje koncentracije onečišćujućih tvari u razdoblju 2016. – 2020., petogodišnji prosjek, te prosječne mjesečne vrijednosti kao bi se ukazalo na varijacije u sezonalnosti pojedinih onečišćujućih tvari. Performanse ovih modela ne omogućuju detaljnu sliku onečišćenja u područjima s velikom gustoćom emisija na maloj skali (aglomeracije, gradovi), ali su rezultati zadovoljavajući za ruralna područja gdje gustoća emisijskih izvora ne utječe značajno na lokalne uvjete onečišćenja. Za primjenu modela fine rezolucije za sada još uvijek nisu osigurane potrebne pretpostavke (detaljni emisijski inventari izrađeni metodologijom „odozdo prema gore“, neposrednim proračunom temeljem popisa svih izvora emisija i kategorija izvora emisija za razmatrano područje). Zbog toga i rezultate (numeričke vrijednosti proračuna) treba sagledavati u kontekstu navedenih ograničenja. Rezultati proračuna i analize modeliranih vrijednosti prikazani su u slijedećem poglavlju, a validacija modela LOTOS-EUROS u prilogu Prilog 3.

LOTOS-EUROS je kemijski transportni model razvijen od TNO-a (Netherlands Organisation for Applied Scientific Research) i RIVM/MNP-a (The Environmental Assessment Agency of the Dutch National Institute for Public Health and the Environment), a nastao je sinergijom dvaju modela (LOTOS i EUROS). Od 2016. godine model je dostupan široj zajednici. Uz simulacije širokog raspona polutanata, poput dušikovog



dioksida, ozona, ugljikovog monoksida, sumporovog dioksida, lebdećih čestica i drugih, LOTOS-EUROS podržava i „labeling“ modul koji omogućava učinkovitu analizu utjecaja pojedinih emisijskih izvora na površinske koncentracije. Simulacije provedene u DHMZ-u uključivale su dvije domene. U vanjsku (Europsku) domenu ugniježđena je regionalna (Hrvatska) domena visoke rezolucije: 0.1° geografske duljine i 0.05° geografske širine, te 15 vertikalnih nivoa (Slika 1.5.2.1). Ulazni meteorološki podaci za promatrano razdoblje preuzeti su od Europskog centra za srednjoročnu prognozu vremena (ECMWF), Integrated Forecasting System, F1280 grid, a podaci o antropogenim emisijama pred procesirani CAMS-REG-AP v2.2. Izvor za podatke o zemljišnom pokrovu je Copernicus-Land Monitoring Service (Corine). Validacija modela nalazi se u odvojenoj cjelini (Prilog 3).



Slika 1.5.2.1 Mreža LOTOS-EUROS modela prostorne rezolucije $0.1^\circ \times 0.05^\circ$ nad područjem Hrvatske uz naznačene zone i aglomeracije

EMEP MSC-W model je regionalni kemijski transportni model usmjeren modeliranju disperzije i taloženja polutanata koji uzrokuju acidifikaciju i eutrofikaciju (spojevi sumpora i dušika), fotokemijskih oksidanata (prizemni ozon, hlapljivi organski spojevi) i lebdećih čestica. Model je u operativnoj upotrebi u MSC-W (Meteorological Synthesizing Centre – West) pripadajućem internacionalnom centru EMEP programa. Trenutna implementacija modela operativno radi s prostornom rezolucijom od 0.1° geografske duljine i 0.1°



geografske širine. Za potrebe ocjene, preuzeti su podaci o taloženju (mokro i suho taloženje) za godine 2016. – 2019. Validacija modela je opisana u godišnjim izvješćima MSC-W i na službenim stranicama modela.

Model MSCE-HM je regionalni kemijsko transportni model specifično razvijen za teške metale. Model se unaprjeđuje i u operativnoj je upotrebi u MSC-E (Meteorological Synthesizing Centre – East), jednom od internacionalnih centara EMEP programa. Prostorna rezolucija modela je 0.1° geografske duljine i 0.1° geografske širine. Model koristi 15 vertikalnih sigma nivoa do visine 100 hPa. U obzir uzima antropogene i prirodne emisije teških metala, transport teških metala u atmosferi, kemijske reakcije (samo za živu) u plinovitom i krutom agregatnom stanju, taloženje i resuspenziju s površine. Za potrebe ocjene, podaci o prizemnim koncentracijama preuzeti su od MSC-E centra. Validacija modela je opisana u godišnjim izvješćima MSC-E.

1.5.3 Mjerila za analizu rezultata primijenjena u ocjeni

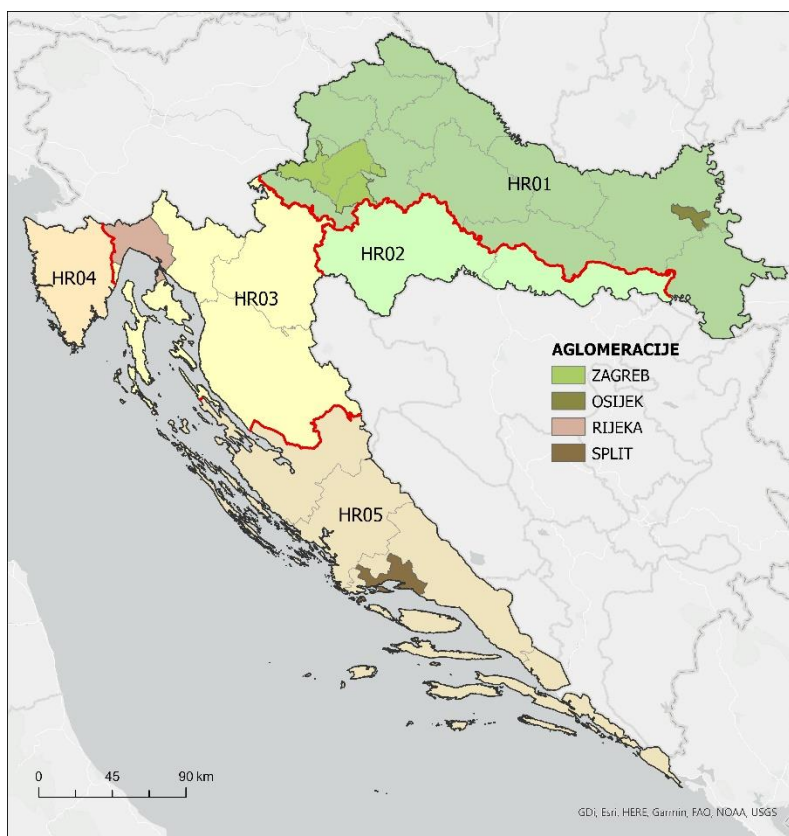
Mjerila za analizu podataka obuhvaćaju sve kriterijske vrijednosti koje su propisane Uredbom o razinama onečišćujućih tvari u zraku (NN 77/2020) i Pravilnikom o uzajamnoj razmjeni informacija i izvješćivanju o kvaliteti zraka i obvezama za provedbu Odluke Komisije 2011/850/EU (NN 3/16). Ovisno o pojedinom parametru mjerila uključuju izračun i/ili usporedbu s obzirom na:

- obuhvat podataka
- srednje godišnje vrijednosti koncentracija
- srednje dnevne vrijednosti koncentracija
- satne vrijednosti koncentracija iznad određenoga praga
- srednje 8-satne vrijednosti koncentracija
- maksimalne dnevne 8-satne vrijednosti koncentracija
- broj dana s vrijednošću iznad određenoga praga srednje dnevne vrijednosti koncentracija
- broj dana s vrijednošću iznad određenog praga srednje satne vrijednosti koncentracija
- broj dana s vrijednošću iznad maksimalne dnevne 8-satne vrijednosti koncentracija
- gornji i donji prag procjene za srednju godišnju, srednju dnevnu i satnu vrijednost koncentracija
- gornji i donji prag procjene s obzirom na zaštitu vegetacije
- AOT40 parametar za šumske ekosustave i vegetaciju
- teritorijalnu podjelu RH na zone i aglomeracije.



1.6. Administrativna područja – zone i aglomeracije

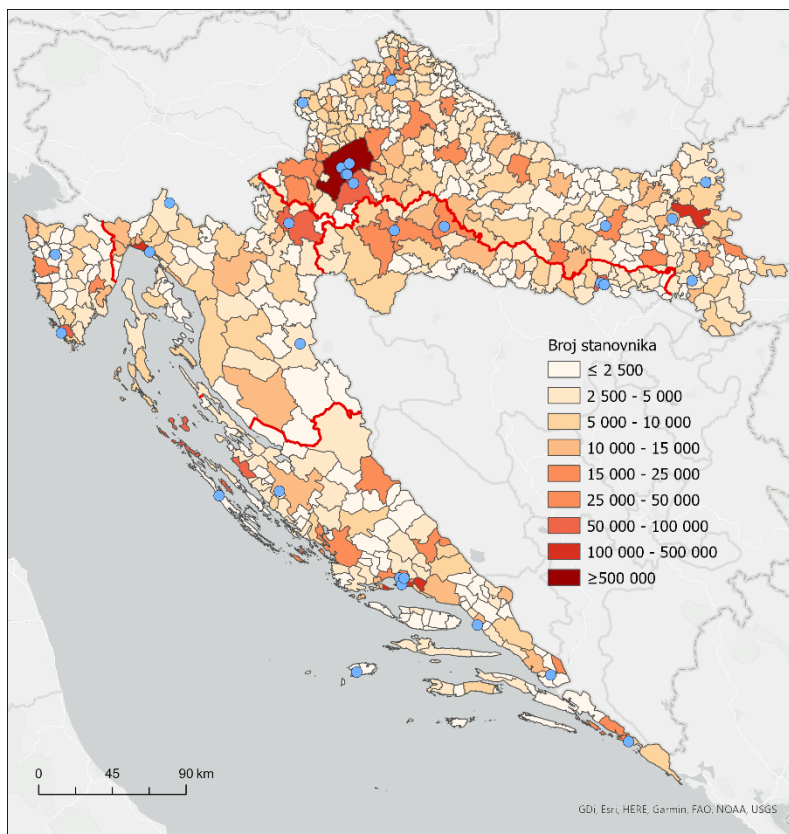
Na slici (Slika 1.6.1) prikazana je podjela Hrvatske na zone i aglomeracije prema kriterijima propisnim u Uredbi o određivanju zona i aglomeracija prema razinama onečišćenosti zraka na teritoriju Republike Hrvatske (NN 1/14). Analiza podataka i ocjena kvalitete zraka izrađena je uzimajući u obzir administrativnu podjelu na zone i aglomeracije, odnosno za mjerne postaje i kvadrante prostorne mreže modela u svakoj zoni i aglomeraciji.



Slika 1.6.1 Zone i aglomeracije prema kriterijima propisnim u Uredbi o određivanju zona i aglomeracija prema razinama onečišćenosti zraka na teritoriju Republike Hrvatske (NN 1/14)

1.7. Populacija – gustoća naseljenosti po zonama i aglomeracijama

U skladu sa zajedničkim kriterijima procjene, potrebno je slijediti harmonizirani pristup procjeni kvalitete zraka vodeći računa o broju i gustoći stanovništva te veličini ekosustava koji su izloženi onečišćenju zraka. Stoga je prikladno klasificirati područje svake države članice EU u područja (zone) ili naseljena područja (aglomeracije) koje odražavaju gustoću stanovništva. Na slici (Slika 1.7.1) prikazana je gustoća naseljenosti po općinama zajedno s lokacijama postojećih mjernih postaja. Iz slike se vidi da je položaj i broj mjernih postaja određen, između ostalog i u skladu s gustoćom naseljenosti.



Slika 1.7.1 Broj stanovnika po općinama prema popisu stanovništva iz 2011. godine s položajem mjernih postaja prikazane plavim točkama (izvor: Državni zavod za statistiku)

1.8. Lokacije i program mjerenja po postajama

U tablici (Tablica 1.8.1) dan je pregled svih mjerenja na mjernim postajama u mreži za praćenje kvalitete zraka. Slika 1.8.1 daje pregled svih postaja prema tipu postaje.

Tablica 1.8.1 Pregled svih mjerenja na mjernim postajama u mreži za praćenje kvalitete zraka

Ime postaje	Zona / Aglomeracija	Tip mreže	Tip postaje	Pokazatelj kvalitete zraka	Učestalost mjerenja
ZAGREB-1	HR ZG	državna	gradska prometna	Hg-g**	24-satni
				SO ₂	satni
				NO ₂ /NO _x	satni
				CO	satni
				benzen	satni
				PM ₁₀	satni
				PM _{2,5}	satni



Ime postaje	Zona / Aglomeracija	Tip mreže	Tip postaje	Pokazatelj kvalitete zraka	Učestalost mjerenja
ZAGREB-1				PM ₁₀ -g	24-satni
				PAU (B[a]P)-u PM ₁₀ -g	24-satni
				As u PM ₁₀ -g	24-satni
				Cd u PM ₁₀ -g	24-satni
				Ni u PM ₁₀ -g	24-satni
				Pb u PM ₁₀ -g	24-satni
				smjer i brzina vjetra	satni
				temp. zraka	satni
				rel. vlažnost zraka	satni
ZAGREB-2	HR ZG	državna	gradska prometna	CO**	satni
				SO ₂	satni
				NO ₂ /NO _x	satni
				PM ₁₀	satni
				PM _{2.5}	satni
				smjer i brzina vjetra	satni
				temp. zraka	satni
				rel. vlažnost zraka	satni
ZAGREB-3	HR ZG	državna	prigradska pozadinska	SO ₂ **	satni
				CO**	satni
				NO ₂ /NO _x	satni
				O ₃	satni
				PM ₁₀	satni
				PM _{2.5}	satni
				PM ₁₀ -g	24-satni
				PAU (B[a]P)-u PM ₁₀ -g	24-satni
				As u PM ₁₀ -g	24-satni
				Cd u PM ₁₀ -g	24-satni
				Ni u PM ₁₀ -g	24-satni
				Pb u PM ₁₀ -g	24-satni
				smjer i brzina vjetra	satni
				temp. zraka	satni
rel. vlažnost zraka	satni				
*ZAGREB-4	HR ZG	državna	prigradska pozadinska	NO ₂ /NO _x	satni
				O ₃	satni
				HOS	satni
				ukupna plinovita Hg	satni
				PM ₁₀	satni
				PM _{2.5}	satni
				PM _{2.5} -g	24-satni
				crni ugljik (BC)	satni
				smjer i brzina vjetra	satni
				temp. zraka	satni
rel. vlažnost zraka	satni				
ZAGREB KSAVERSKA CESTA PPI za PM _{2.5}	HR ZG	lokalna	prigradska pozadinska	PM _{2.5} -g	24-satni



Ime postaje	Zona / Aglomeracija	Tip mreže	Tip postaje	Pokazatelj kvalitete zraka	Učestalost mjerenja
ZAGREB KSAVERSKA CESTA PPI za PM _{2.5}				sulfati u PM _{2.5} -g	24-satni
				natrij u PM _{2.5} -g	24-satni
				amonij u PM _{2.5} -g	24-satni
				kalcij u PM _{2.5} -g	24-satni
				nitriti u PM _{2.5} -g	24-satni
				kalij u PM _{2.5} -g	24-satni
				kloridi u PM _{2.5} -g	24-satni
				magnezij u PM _{2.5} -g	24-satni
				OC u PM _{2.5} -g	24-satni
				EC u PM _{2.5} -g	24-satni
VELIKA GORICA	HR ZG	lokalna	prigradska pozadinska	NO ₂ /NO _x	satni
				O ₃	satni
				PM _{2.5} -g	24-satni
				smjer i brzina vjetra	satni
				temp. zraka	satni
				rel. vlažnost zraka	satni
PUNTIJARKA za program EMEP – Razina 1	HR ZG	državna	gradska pozadinska	sulfati u oborini	24-satni
				nitriti u oborini	24-satni
				amonij u oborini	24-satni
				H ⁺ (pH) oborine	24-satni
				natrij u oborini	24-satni
				kalij u oborini	24-satni
				kalcij u oborini	24-satni
				magnezij u oborini	24-satni
				kloridi u oborini	24-satni
				Cd u oborini	24-satni
				Pb u oborini	24-satni
				As u oborini	24-satni
				Ni u oborini	24-satni
OSIJEK-1	HR OS	državna	prigradska prometna	SO ₂ **	satni
				CO**	satni
				benzen**	satni
				NO ₂ /NO _x	satni
				O ₃	satni
				PM ₁₀	satni
				smjer i brzina vjetra	satni
				temp. zraka	satni
				rel. vlažnost zraka	satni
*OSIJEK-2	HR OS	državna	prigradska pozadinska	SO ₂	satni
				NO ₂ /NO _x	satni
				CO	satni
				benzen	satni
				O ₃	satni
				PM ₁₀	satni
				PAU (B[a]P)-u PM ₁₀ -g	24-satni
				PM _{2.5}	satni
				crni ugljik (BC)	satni
smjer i brzina vjetra	satni				



Ime postaje	Zona / Aglomeracija	Tip mreže	Tip postaje	Pokazatelj kvalitete zraka	Učestalost mjerenja
*OSIJEK-2				temp. zraka	satni
				rel. vlažnost zraka	satni
*OSIJEK-2 PPI za PM _{2.5}	HR OS	državna	prigradska pozadinska	PM _{2.5} -g	24-satni
RIJEKA-2	HR RI	državna	prigradska pozadinska	SO ₂	satni
				NO ₂ /NO _x	satni
				CO	satni
				benzen	satni
				O ₃	satni
				PM ₁₀	satni
				PM _{2.5}	satni
				PAU (B[a]P)-u PM ₁₀ -g	24-satni
				PM _{2.5} -g**	24-satni
				crni ugljik (BC)	satni
				smjer i brzina vjetra	satni
				temp. zraka	satni
rel. vlažnost zraka	satni				
Rijeka – PPI za PM _{2.5}	HR RI	državna	prigradska pozadinska	PM _{2.5} -g	24-satni
*OMIŠALJ (OTOK KRK)	HR RI	državna	prigradska pozadinska	NO ₂ /NO _x	satni
				O ₃	satni
				smjer i brzina vjetra	satni
				temp. zraka	satni
				rel. vlažnost zraka	satni
SPLIT-1	HR ST	lokalna	gradska prometna	SO ₂	satni
				NO ₂ /NO _x	satni
				O ₃	satni
				PM ₁₀ -g**	24-satni
				PM _{2.5} -g**	24-satni
				PM ₁₀	satni
				PM _{2.5}	satni
				smjer i brzina vjetra	satni
				temp. zraka	satni
				rel. vlažnost zraka	satni
AMS 1 KAŠTEL SUĆURAC	HR ST	lokalna	prigradska prometna	SO ₂	satni
				NO ₂ /NO _x	satni
				PM ₁₀ -g**	24-satni
				PM _{2.5} -g**	24-satni
				smjer i brzina vjetra	satni
				temp. zraka	satni
				rel. vlažnost zraka	satni
AMS 2 SVETI KAJO	HR ST	lokalna	prigradska industrijska	SO ₂	satni
				NO ₂ /NO _x	satni
				PM ₁₀ -g	24-satni
				PM _{2.5} -g	24-satni
				As u PM ₁₀ -g	24-satni
				Cd u PM ₁₀ -g	24-satni



Ime postaje	Zona / Aglomeracija	Tip mreže	Tip postaje	Pokazatelj kvalitete zraka	Učestalost mjerenja
AMS 2 SVETI KAJO				Ni u PM ₁₀ -g	24-satni
				Pb u PM ₁₀ -g	24-satni
*SPLIT-2	HR ST	državna	prigradska pozadinska	SO ₂	satni
				NO ₂ /NO _x	satni
				O ₃	satni
				CO	satni
				PM ₁₀	satni
				PM _{2.5}	satni
				smjer i brzina vjetra	satni
				temp. zraka	satni
rel. vlažnost zraka	satni				
*SPLIT-3	HR ST	državna	prigradska pozadinska	SO ₂	satni
				NO ₂ /NO _x	satni
				O ₃	satni
				PM ₁₀	satni
				PM _{2.5}	satni
				crni ugljik (BC)	satni
				PAU (B[a]P)-u PM ₁₀ -g	24-satni
				smjer i brzina vjetra	satni
				temp. zraka	satni
rel. vlažnost zraka	satni				
*SPLIT-3 PPI za PM _{2.5}	HR ST	državna	prigradska pozadinska	PM _{2.5} -g	24-satni
KOPAČKI RIT	HR 01	državna	ruralna regionalna pozadinska	benzen	satni
				O ₃	satni
				SO ₂	7-dnevni
				sulfati	7-dnevni
				nitrati	7-dnevni
				amonij	7-dnevni
				NH ₃ (sNO ₃ ⁻)	7-dnevni
				NH ₃ (sNH ₄ ⁺)	7-dnevni
				HCl	7-dnevni
				natrij	7-dnevni
				kalij	7-dnevni
				kalcij	7-dnevni
				magnezij	7-dnevni
				PM ₁₀	satni
				PM _{2.5}	satni
				crni ugljik (BC)	satni
				sulfati u oborini	24-satni
				nitrati u oborini	24-satni
				amonij u oborini	24-satni
				H ⁺ (pH) oborine	24-satni
natrij u oborini	24-satni				
kalij u oborini	24-satni				
kalcij u oborini	24-satni				
magnezij u oborini	24-satni				



Ime postaje	Zona / Aglomeracija	Tip mreže	Tip postaje	Pokazatelj kvalitete zraka	Učestalost mjerenja
KOPAČKI RIT				kloridi u oborini	24-satni
				Cd u oborini	24-satni
				Pb u oborini	24-satni
				As u oborini	24-satni
				Ni u oborini	24-satni
				smjer i brzina vjetra	satni
				temp. zraka	satni
				rel. vlažnost zraka	satni
GRADIŠTE	HR 01	državna	ruralna pozadinska	O ₃ **	10-minutni
ZOLJAN	HR 01	lokalna	ruralna Industrijska	SO ₂	satni
				NO ₂ /NO _x	satni
				PM ₁₀	satni
VARAŽDIN-1	HR 01	državna	prigradska pozadinska	NO ₂ /NO _x	satni
				O ₃	satni
				smjer i brzina vjetra	satni
				temp. zraka	satni
				rel. vlažnost zraka	satni
*KOPRIVNICA-1	HR 01	državna	gradska prometna	PM ₁₀	satni
				PM _{2.5}	satni
*KOPRIVNICA-2	HR 01	državna	prigradska pozadinska	PM ₁₀	satni
				PM _{2.5}	satni
DESINIĆ	HR 01	državna	ruralna regionalna pozadinska	SO ₂	satni
				NO ₂ /NO _x	satni
				benzen	satni
				O ₃	satni
				CO	satni
				SO ₂	7-dnevni
				sulfati	7-dnevni
				nitriti	7-dnevni
				amonij	7-dnevni
				NH ₃ (sNO ₃ ⁻)	7-dnevni
				NH ₃ (sNH ₄ ⁺)	7-dnevni
				HCl	7-dnevni
				natrij	7-dnevni
				kalij	7-dnevni
				kalcij	7-dnevni
				magnezij	7-dnevni
				PAU	7-dnevni
				PM ₁₀	satni
				PM _{2.5}	satni
				sulfati u oborini	24-satni
				nitriti u oborini	24-satni
				amonij u oborini	24-satni
				H ⁺ (pH) oborine	24-satni
natrij u oborini	24-satni				
kalij u oborini	24-satni				



Ime postaje	Zona / Aglomeracija	Tip mreže	Tip postaje	Pokazatelj kvalitete zraka	Učestalost mjerenja
DESINIĆ				kalcij u oborini	24-satni
				magnezij u oborini	24-satni
				kloridi u oborini	24-satni
				Cd u oborini	24-satni
				Pb u oborini	24-satni
				As u oborini	24-satni
				Ni u oborini	24-satni
				PAU u oborini	7-dnevni
				smjer i brzina vjetra	satni
				temp. zraka	satni
				rel. vlažnost zraka	satni
KUTINA-1	HR 02	državna	gradska prometna	CO**	satni
				PM _{10-g} **	24-satni
				SO ₂	satni
				NO ₂ /NO _x	satni
				H ₂ S	satni
				NH ₃	satni
				O ₃	satni
				PM ₁₀	satni
				PM _{2.5}	satni
				smjer i brzina vjetra	satni
				temp. zraka	satni
				rel. vlažnost zraka	satni
*KUTINA-2	HR 02	državna	gradska pozadinska	PM ₁₀	satni
				PM _{2.5}	satni
SISAK-1	HR 02	državna	prigradska Industrijska	CO**	satni
				SO ₂	satni
				NO ₂ /NO _x	satni
				H ₂ S	satni
				benzen	satni
				PM ₁₀	satni
				PM _{2.5}	satni
				PM _{10-g}	24-satni
				PAU (B[a]P)-u PM _{10-g}	24-satni
				As u PM _{10-g}	24-satni
				Cd u PM _{10-g}	24-satni
				Ni u PM _{10-g}	24-satni
				Pb u PM _{10-g}	24-satni
				smjer i brzina vjetra	satni
				temp. zraka	satni
rel. vlažnost zraka	satni				
SLAVONSKI BOD-1	HR 02	državna	prigradska pozadinska	SO ₂	satni
				NO ₂ /NO _x	satni
				H ₂ S	satni
				benzen	satni
				PM ₁₀	satni



Ime postaje	Zona / Aglomeracija	Tip mreže	Tip postaje	Pokazatelj kvalitete zraka	Učestalost mjerenja
SLAVONSKI BOD-1				PM _{2.5}	satni
				PM _{10-g}	24-satni
				PAU (B[a]P)-u PM _{10-g}	24-satni
				As u PM _{10-g}	24-satni
				Cd u PM _{10-g}	24-satni
				Ni u PM _{10-g}	24-satni
				Pb u PM _{10-g}	24-satni
				PM _{2.5-g}	24-satni
				crni ugljik (BC)	satni
				smjer i brzina vjetra	satni
				temp. zraka	satni
				rel. vlažnost zraka	satni
SLAVONSKI BOD-2	HR 02	državna	gradska pozadinska	SO ₂	satni
				H ₂ S	satni
				CO	satni
				benzen	satni
				PM ₁₀	satni
				PM _{2.5}	satni
				PM _{2.5-g}	24-satni
				PM _{10-g}	24-satni
				smjer i brzina vjetra	satni
				temp. zraka	satni
				rel. vlažnost zraka	satni
KARLOVAC-1	HR 03	državna	prigradska pozadinska	NO ₂ /NO _x	satni
				O ₃	satni
				smjer i brzina vjetra	satni
				temp. zraka	satni
				rel. vlažnost zraka	satni
PLITVIČKA JEZERA	HR 03	državna	ruralna regionalna pozadinska	SO ₂	satni
				NO ₂ /NO _x	satni
				O ₃	satni
				HOS	satni
				CO/CO ₂ /CH ₄	satni
				SO ₂	7-dnevni
				sulfati	7-dnevni
				nitriti	7-dnevni
				amonij	7-dnevni
				NH ₃ (sNO ₃ ⁻)	7-dnevni
				NH ₃ (sNH ₄ ⁺)	7-dnevni
				HCl	7-dnevni
				natrij	7-dnevni
				kalij	7-dnevni
				kalcij	7-dnevni
				magnezij	7-dnevni
				PM ₁₀	satni
				PM _{2.5}	satni
PM _{2.5-g}	24-satni				



Ime postaje	Zona / Aglomeracija	Tip mreže	Tip postaje	Pokazatelj kvalitete zraka	Učestalost mjerenja
PLITVIČKA JEZERA				PAU (B[a]P)-u PM ₁₀ -g	24-satni
				sulfati u PM _{2.5} -g	24-satni
				natrij u PM _{2.5} -g	24-satni
				amonij u PM _{2.5} -g	24-satni
				kalcij u PM _{2.5} -g	24-satni
				nitriti u PM _{2.5} -g	24-satni
				kalij u PM _{2.5} -g	24-satni
				kloridi u PM _{2.5} -g	24-satni
				magnezij u PM _{2.5} -g	24-satni
				OC u PM _{2.5} -g	24-satni
				EC u PM _{2.5} -g	24-satni
				sulfati u oborini	24-satni
				nitriti u oborini	24-satni
				amonij u oborini	24-satni
				H ⁺ (pH) oborine	24-satni
				natrij u oborini	24-satni
				kalij u oborini	24-satni
				kalcij u oborini	24-satni
				magnezij u oborini	24-satni
				kloridi u oborini	24-satni
				Cd u oborini	24-satni
				Pb u oborini	24-satni
				As u oborini	24-satni
Ni u oborini	24-satni				
smjer i brzina vjetra	satni				
temp. zraka	satni				
rel. vlažnost zraka	satni				
PARG	HR 03	državna	ruralna regionalna pozadinska	O ₃	satni
				PM ₁₀	satni
				PM _{2.5}	satni
				smjer i brzina vjetra	satni
				temp. zraka	satni
				rel. vlažnost zraka	satni
ZAVIŽAN za program EMEP – Razina 1	HR 03	državna	ruralna pozadinska	sulfati u oborini	24-satni
				nitriti u oborini	24-satni
				amonij u oborini	24-satni
				H ⁺ (pH) oborine	24-satni
				natrij u oborini	24-satni
				kalij u oborini	24-satni
				kalcij u oborini	24-satni
				magnezij u oborini	24-satni
				kloridi u oborini	24-satni
				Cd u oborini	24-satni
				Pb u oborini	24-satni
As u oborini	24-satni				
Ni u oborini	24-satni				



Ime postaje	Zona / Aglomeracija	Tip mreže	Tip postaje	Pokazatelj kvalitete zraka	Učestalost mjerenja
VIŠNجان	HR 04	državna	ruralna pozadinska	O ₃	satni
				HOS	satni
				PAU	7-dnevni
				SO ₂	7-dnevni
				sulfati	7-dnevni
				nitriti	7-dnevni
				amonij	7-dnevni
				NH ₃ (sNO ₃ ⁻)	7-dnevni
				NH ₃ (sNH ₄ ⁺)	7-dnevni
				HCl	7-dnevni
				natrij	7-dnevni
				kalij	7-dnevni
				kalcij	7-dnevni
				magnezij	7-dnevni
				PM ₁₀	satni
				PM _{2.5}	satni
				crni ugljik (BC)	satni
				sulfati u oborini	24-satni
				nitriti u oborini	24-satni
				amonij u oborini	24-satni
				H ⁺ (pH) oborine	24-satni
				natrij u oborini	24-satni
				kalij u oborini	24-satni
				kalcij u oborini	24-satni
				magnezij u oborini	24-satni
				kloridi u oborini	24-satni
				Cd u oborini	24-satni
				Pb u oborini	24-satni
As u oborini	24-satni				
Ni u oborini	24-satni				
PAU u oborini	7-dnevni				
smjer i brzina vjetra	satni				
temp. zraka	satni				
rel. vlažnost zraka	satni				
PULA FIŽELA	HR 04	državna	prigradska pozadinska	NO ₂ /NO _x	satni
				O ₃	satni
				smjer i brzina vjetra	satni
				temp. zraka	satni
				rel. vlažnost zraka	satni
POLAČA (RAVNI KOTARI) I POLAČA (RAVNI KOTARI) za program EMEP – Razina 2	HR 04	državna	ruralna pozadinska	SO ₂	satni
				NO ₂ /NO _x	satni
				O ₃	satni
				HOS	satni
				PAU	7-dnevni
				SO ₂	7-dnevni
				sulfati	7-dnevni
nitriti	7-dnevni				



Ime postaje	Zona / Aglomeracija	Tip mreže	Tip postaje	Pokazatelj kvalitete zraka	Učestalost mjerenja
POLAČA (RAVNI KOTARI) I POLAČA (RAVNI KOTARI) za program EMEP – Razina 2				amonij	7-dnevni
				NH ₃ (sNO ₃ ⁻)	7-dnevni
				NH ₃ (sNH ₄ ⁺)	7-dnevni
				HCl	7-dnevni
				natrij	7-dnevni
				kalij	7-dnevni
				kalcij	7-dnevni
				magnezij	7-dnevni
				PM ₁₀	satni
				PM _{2.5}	satni
				PM _{10-g}	24-satni
				As u PM _{10-g}	24-satni
				Cd u PM _{10-g}	24-satni
				Ni u PM _{10-g}	24-satni
				Pb u PM _{10-g}	24-satni
				Cr u PM _{10-g}	24-satni
				Cu u PM _{10-g}	24-satni
				Zn u PM _{10-g}	24-satni
				Si u PM _{10-g}	24-satni
				Al u PM _{10-g}	24-satni
				Fe u PM _{10-g}	24-satni
				As u PM _{10-g}	24-satni
				PM _{2.5-g}	24-satni
				sulfati u PM _{2.5-g}	24-satni
				natrij u PM _{2.5-g}	24-satni
				amonij u PM _{2.5-g}	24-satni
				kalcij u PM _{2.5-g}	24-satni
				nitriti u PM _{2.5-g}	24-satni
				kalij u PM _{2.5-g}	24-satni
				kloridi u PM _{2.5-g}	24-satni
				magnezij u PM _{2.5-g}	24-satni
				OC u PM _{2.5-g}	24-satni
				EC u PM _{2.5-g}	24-satni
				crni ugljik (BC)	satni
				sulfati u oborini	24-satni
				nitriti u oborini	24-satni
				amonij u oborini	24-satni
				H ⁺ (pH) oborine	24-satni
				natrij u oborini	24-satni
				kalij u oborini	24-satni
kalcij u oborini	24-satni				
magnezij u oborini	24-satni				
kloridi u oborini	24-satni				
Cd u oborini	24-satni				
Pb u oborini	24-satni				
As u oborini	24-satni				
Ni u oborini	24-satni				



Ime postaje	Zona / Aglomeracija	Tip mreže	Tip postaje	Pokazatelj kvalitete zraka	Učestalost mjerenja
POLAČA (RAVNI KOTARI) I za program EMEP – Razina 2				PAU u oborini	7-dnevni
				smjer i brzina vjetra	satni
				temp. zraka	satni
				rel. vlažnost zraka	satni
VELA STRAŽA (DUGI OTOK)	HR 05	državna	ruralna pozadinska	PM ₁₀	satni
				PM _{2.5}	satni
				smjer i brzina vjetra	satni
				temp. zraka	satni
				rel. vlažnost zraka	satni
MAKARSKA	HR 05	državna	gradska pozadinska	O ₃ **	10-minutni
OPUZEN (DELTA NERETVE)	HR 05	državna	ruralna pozadinska	O ₃	satni
				PAU	7-dnevni
				SO ₂	7-dnevni
				sulfati	7-dnevni
				nitriti	7-dnevni
				amonij	7-dnevni
				NH ₃ (sNO ₃ ⁻)	7-dnevni
				NH ₃ (sNH ₄ ⁺)	7-dnevni
				HCl	7-dnevni
				natrij	7-dnevni
				kalij	7-dnevni
				kalcij	7-dnevni
				magnezij	7-dnevni
				sulfati u oborini	24-satni
				nitriti u oborini	24-satni
				amonij u oborini	24-satni
				H ⁺ (pH) oborine	24-satni
				natrij u oborini	24-satni
				kalij u oborini	24-satni
				kalcij u oborini	24-satni
				magnezij u oborini	24-satni
				kloridi u oborini	24-satni
				Cd u oborini	24-satni
				Pb u oborini	24-satni
As u oborini	24-satni				
Ni u oborini	24-satni				
PAU u oborini	7-dnevni				
smjer i brzina vjetra	satni				
temp. zraka	satni				
rel. vlažnost zraka	satni				
ŽARKOVICA (DUBROVNIK)	HR 05	državna	ruralna, u blizini grada pozadinska	NO ₂ /NO _x	satni
				O ₃	satni
				PM ₁₀	satni
				PM _{2.5}	satni
				smjer i brzina vjetra	satni
				temp. zraka	satni
				rel. vlažnost zraka	satni
HUM (OTOK VIS)	HR 05	državna	ruralna regionalna pozadinska	SO ₂	satni
				NO ₂ /NO _x	satni
				O ₃	satni



Ime postaje	Zona / Aglomeracija	Tip mreže	Tip postaje	Pokazatelj kvalitete zraka	Učestalost mjerenja
HUM (OTOK VIS)				CO/CO ₂ /CH ₄	satni
				PM ₁₀	satni
				PM _{2.5}	satni
				smjer i brzina vjetra	satni
				temp. zraka	satni
				rel. vlažnost zraka	satni

* Nove postaje u izgradnji

** Pokazatelji kvalitete zraka korišteni u Ocjeni koji nisu propisani novim Programom mjerenja razine onečišćenosti u državnoj mreži za trajno praćenje kvalitete zraka

-g – mjerenje referentnom metodom gravimetrije

PAU – policiklički aromatski ugljikovodici, policiklički organski spojevi od kojih je najpoznatiji B(a)P – benzo(a)piren, uključuju barem benzo(a)antracen, benzo(b)fluoranten, benzo(j) fluoranten, benzo(k) fluoranten, indeno(1,2,3-cd)piren i dibenzo(a,h)antracen

HOS – hlapivi organski spojevi

BC – crni ugljen

EC – elementni ugljik

OC – organski ugljik



Slika 1.8.1 Pregled postaja državne i lokalne mreže prema tipu postaje



2. Analiza mjerenja kvalitete zraka u Republici Hrvatskoj u razdoblju 2016. – 2020. godine

Sažetak procjene razina onečišćenja:

Sumporov dioksid, SO₂

- u svim zonama i aglomeracijama zadovoljeni su kriteriji kvalitete zraka s obzirom na zaštitu zdravlja ljudi i kriteriji kvalitete zraka za zaštitu vegetacije te je zrak u razdoblju 2016. – 2020. godine bio I kategorije
- u promatranom razdoblju, prag upozorenja za sumporov dioksid nije niti jednom prekoračen tri sata uzastopno
- razina onečišćenosti u svim zonama i aglomeracijama je ispod donjeg praga procjene. Sve zone i aglomeracije su sukladne s graničnim vrijednostima obzirom na zaštitu zdravlja ljudi te kritičnim vrijednostima i pragovima procjene za zaštitu vegetacije.

Dušikov dioksid, NO₂

- kriteriji kvalitete zraka s obzirom na zaštitu zdravlja ljudi zadovoljeni su u svim zonama i aglomeracijama HR OS, HR RI i HR ST te je zrak bio I kategorije
- u zoni HR ZG, 2016., 2017., 2018. i 2019. godine na postaji Zagreb-1 prekoračena je srednja godišnja granična vrijednost dušikovog dioksida te je zrak bio II kategorije
- tijekom promatranog petogodišnjeg razdoblja, prag upozorenja za dušikov dioksid nije niti jednom prekoračen tri sata uzastopno
- razina onečišćenosti u aglomeraciji HR ZG je iznad gornjeg praga procjene, a u aglomeracijama HR OS i HR ST između donjeg i gornjeg praga procjene
- u svim zonama zadovoljeni su kriteriji kvalitete zraka vezano na zaštitu vegetacije.

Lebdeće čestice, PM₁₀

- srednja godišnja granična vrijednost za PM₁₀ prekoračena je u zoni HR 02 (Kutina1). 24-satne koncentracije PM₁₀ prekoračile su graničnu vrijednost više od 35 puta u aglomeracijama HR ZG (Zagreb-1, Zagreb-2, Zagreb-3) te HR OS (Osijek-1) i zoni HR 02 (Kutina-1, Sisak-1, Slavonski Brod-2)
- aglomeracije HR ZG i HR OS te zona HR 02 nesukladne su s graničnom vrijednošću PM₁₀ obzirom na zaštitu zdravlja ljudi te je zrak bio II kategorije



- kriteriji kvalitete zraka s obzirom na zaštitu zdravlja ljudi zadovoljeni su u aglomeracijama HR RI i HR ST te u zonama HR 01, HR 03, HR 04 i HR 05 te je zrak u promatranom petogodišnjem razdoblju bio I kategorije
- razina onečišćenosti u aglomeracijama HR ZG i HR OS te u zoni HR 02 je iznad gornjeg praga procjene. U aglomeracijama HR RI i HR ST te u zoni HR 01 razina onečišćenja u razdoblju 2016. – 2020. je bila između donjeg i gornjeg praga procjene.

Lebdeće čestice, PM_{2.5}

- srednja godišnja granična vrijednost za PM_{2.5} prekoračena je u zoni HR 02 (Slavonski Brod-1, Slavonski Brod-2) te u aglomeraciji HR ZG (Velika Gorica)
- zona HR 02 i aglomeracija HR ZG nesukladne su s graničnom vrijednošću PM_{2.5} obzirom na zaštitu zdravlja ljudi te je zrak bio II kategorije
- kriteriji kvalitete zraka s obzirom na zaštitu zdravlja ljudi zadovoljeni su u aglomeracijama HR RI i HR ST te u zonama HR 01, HR 03, HR 04 i HR 05 te je zrak u promatranom petogodišnjem razdoblju 2016. – 2020. bio I kategorije
- razina onečišćenosti u aglomeracijama HR ZG i HR OS te zoni HR 02 je iznad gornjeg praga procjene. U zoni HR 01 razina onečišćenja je između donjeg i gornjeg praga procjene. U aglomeracijama HR RI i HR ST te u zonama HR 03, HR 04 i HR 05 razina onečišćenja u razdoblju 2016. – 2020. je bila ispod donjeg praga procjene.

Prizemni ozon, O₃

- na mjernim postajama na području Hrvatske u razdoblju 2016. – 2020. godine prag upozorenja prekoračen je 124 puta. Prag obavješćivanja nije bio prekoračen.
- zona HR 02 i aglomeracija HR OS su sukladne s ciljnom vrijednošću za najviše dnevne osmosatne prosjeke koncentracija prizemnog ozona (usrednjeno na tri godine) obzirom na zaštitu zdravlja ljudi
- nesukladne s ciljnom vrijednošću u promatranom razdoblju su bile zone HR 01 (Desinić), HR 03 (Parg, Karlovac-1), HR 04 (Višnjan, Pula Fižela) i HR 05 (Polača, Hum, Makarska, Opuzen, Žarkovica) te aglomeracije HR ZG (Zagreb-3, Velika Gorica) i HR RI (Rijeka-2)
- dugoročni cilj obzirom na zaštitu zdravlja ljudi prekoračen je u svim zonama i aglomeracijama
- u promatranom razdoblju zone HR 04 (Višnjan) i HR 05 (Polača, Hum) nisu bile sukladne s ciljnom vrijednošću za AOT40 obzirom na zaštitu vegetacije, dok su zone HR 01 i HR 03 sukladne s ciljnom vrijednošću za AOT40
- sve zone nesukladne s dugoročnim ciljem za prizemni ozon obzirom na zaštitu vegetacije.



Benzen, C₆H₆

- u promatranom razdoblju granična vrijednost za benzen nije bila prekoračena te su sve zone i aglomeracije sukladne s okolišnim ciljevima obzirom na zaštitu zdravlja ljudi
- razina onečišćenosti u zoni HR 02 je između donjeg i gornjeg praga procjene, a u svim drugim zonama i svim aglomeracijama ispod donjeg praga procjene.

Ugljikov monoksid, CO

- sve zone i aglomeracije sukladne su s graničnom vrijednošću za maksimalne dnevne osmosatne vrijednosti koncentracija ugljikovog monoksida obzirom na zaštitu zdravlja ljudi
- razina onečišćenja u svim zonama i aglomeracijama je ispod donjeg praga procjene.

Sumporovodik, H₂S

- u razdoblju 2016. – 2020. godine kriterij kvalitete zraka za sumporovodik s obzirom na kvalitetu življenja (dodijavanje mirisom) nije zadovoljen u zoni HR 02 (Slavonski Brod-1, Slavonski Brod-2). onečišćenja u svim zonama i aglomeracijama je ispod donjeg praga procjene.

Amonijak, NH₃

- u razdoblju 2016. – 2020. godine kriterij kvalitete zraka za amonijak s obzirom na kvalitetu življenja (dodijavanje mirisom) nije zadovoljen u zoni HR 02 (Kutina-1).

Benzo(a)piren, B(a)P u lebdećim česticama PM₁₀

- srednja godišnja vrijednost benzo(a)pirena u lebdećim česticama PM₁₀ prekoračena je u zoni HR 02 (Sisak-1, Slavonski Brod-1) te u aglomeraciji HR ZG (Zagreb-1, Zagreb-3). Zona HR 02 i aglomeracija HR ZG nesukladne su s ciljnom vrijednošću B(a)P-a u PM₁₀ obzirom na zaštitu zdravlja ljudi te je zrak bio II kategorije
- razina onečišćenja u zonama HR 01 i HR 02 te u aglomeracijama HR ZG, HR OS, HR RI i HR ST procijenjena je na razinu iznad gornjeg praga, a razina onečišćenja u zonama HR 03, HR 04 i HR 05 ispod gornjeg praga procjene.



Teški metali: olovo (Pb), arsen (As), kadmij (Cd), nikal (Ni) u PM₁₀

- srednje godišnje koncentracije olova (Pb), arsena (As), kadmija (Cd) i nikla (Ni) u lebdećim česticama PM₁₀ ne premašuju Uredbom propisane granične vrijednosti na postajama u zoni HR 02 i aglomeraciji HR ZG. Sve zone i aglomeracije sukladne s okolišnim ciljevima za teške metale obzirom na zaštitu zdravlja ljudi te je zrak u razdoblju 2016. – 2020. godine bio I kategorije
- razina onečišćenja teškim metalima u svim zonama i aglomeracijama u promatranom petogodišnjem razdoblju obzirom na zaštitu zdravlja ljudi je ispod donjeg praga procjene.

Ukupna plinovita živa, Hg

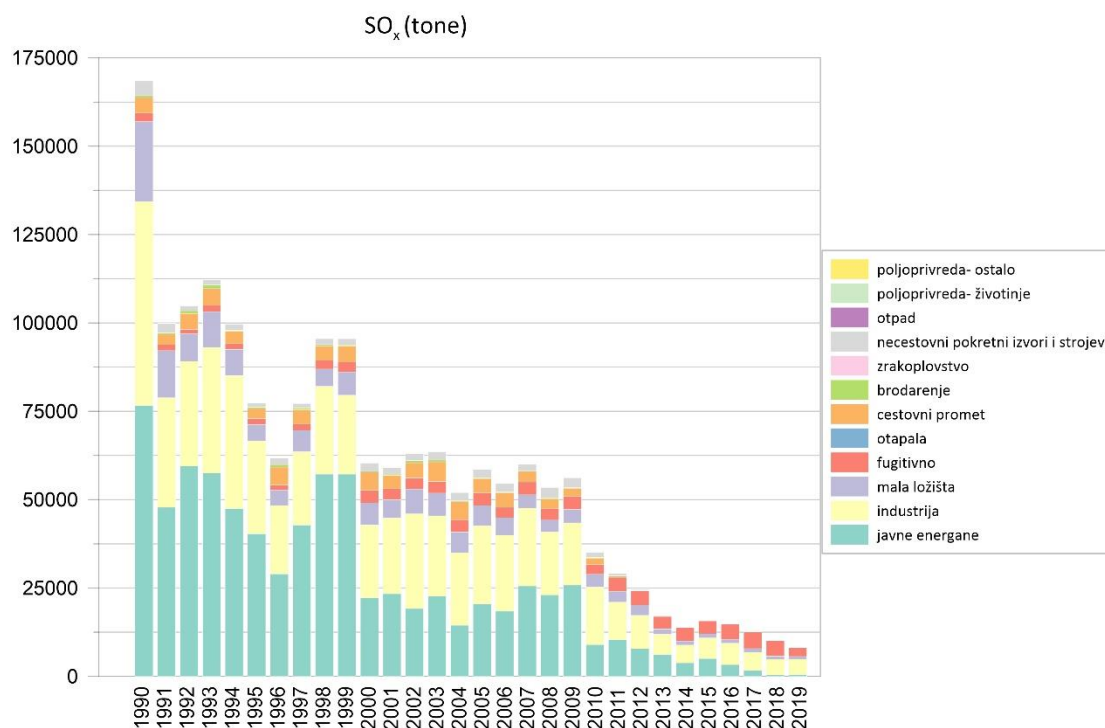
- srednje godišnje koncentracije žive (Hg) ne premašuju Uredbom propisanu graničnu vrijednost u aglomeraciji HR ZG na postaji Zagreb-1. Sve zone i aglomeracije sukladne su s okolišnim ciljevima za živu obzirom na zaštitu zdravlja ljudi te je zrak u razdoblju 2016. – 2020. godine bio I kategorije
- razina onečišćenja živom u svim zonama i aglomeracijama u promatranom petogodišnjem razdoblju obzirom na zaštitu zdravlja ljudi je ispod donjeg praga procjene.



2.1. Sumporov dioksid SO₂

Izvori i emisije SO₂

Sumporov dioksid (SO₂) je plin koji nastaje kao glavni produkt izgaranja sumpora u fosilnim gorivima. Šumski požari i vulkani najznačajniji su prirodni izvor, dok je izgaranje fosilnih goriva (ugljena i nafte) u industrijskim procesima najveći antropogeni izvor. Sumporov dioksid u atmosferi lako oksidira uz prisustvo drugih katalizatora pri čemu nastaje sumporna kiselina, a uz prisustvo vodene pare u atmosferi mogu nastati kisele kiše. Povećane vrijednosti sumporovog dioksida nepovoljno utječu na ljudsko zdravlje, posebice kod osoba s respiratornim problemima, dovode do zakiseljavanja i eutrofikacije okoliša, a djeluju i korozivno na različite građevinske materijale.

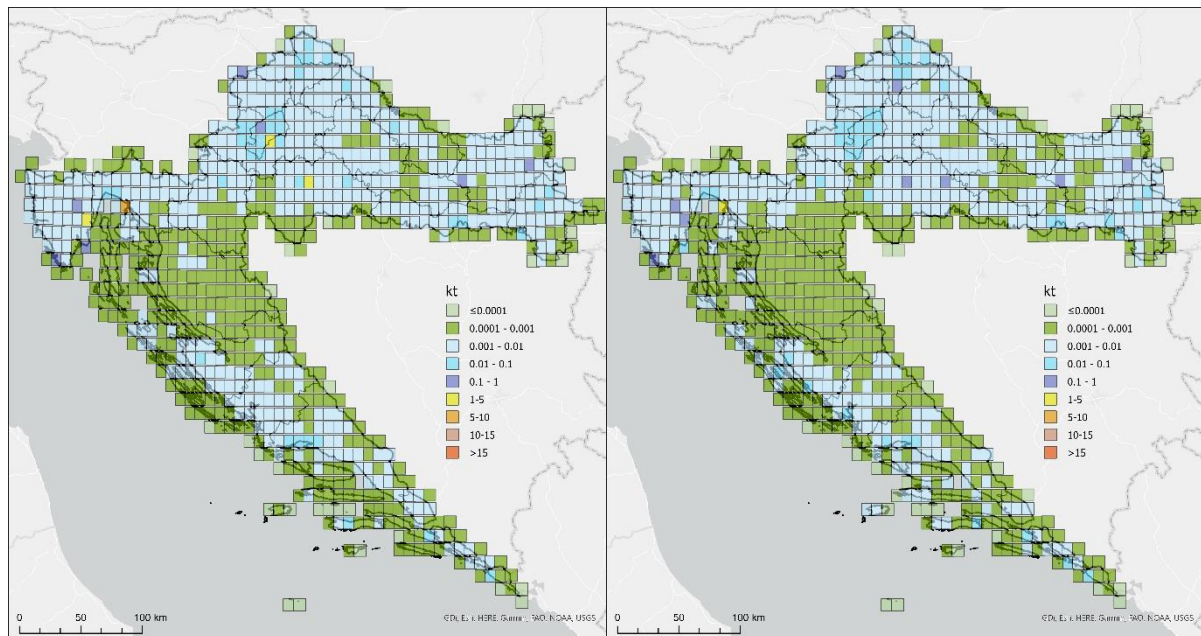


Slika 2.1.1 Emisije SO_x izražene kao SO₂ u Hrvatskoj raspodijeljene po GNFR sektorima u razdoblju 1990. – 2019. godine izražene u tonama

Emisije sumporovog dioksida na području Hrvatske u razdoblju od 1990. godine do danas značajno su smanjene. Najviše u devedesetim godinama prošlog stoljeća, no značajan trend je nastavljen i nakon 2010. godine, premda je posljednjih pet godina pad usporen. Najveći izvori, pa i najveće smanjenje emisija sumporovog dioksida u posljednjih 30 godina veže se uz sektor industrije i javnih energana (npr. implementacija filtera). Čišća goriva razlog su gotovo potpune eliminacije emisija SO₂ iz cestovnog prometa, ali i malih kućnih ložišta. U današnje vrijeme emisije iz industrije nakon smanjenja postale su usporedive s emisijama iz fugitivnih izvora, koje su se tijekom godina ipak neznatno povećale. U



konačnici, smanjenje emisija sumporovog dioksida kroz udovoljavanje prihvaćenih europskih normi o vrijednostima koje se ne smiju prekoračiti dovelo je do toga da sumporov dioksid danas ne predstavlja značajan problem ni u Europskoj uniji, niti u Hrvatskoj (Slika 2.1.1).

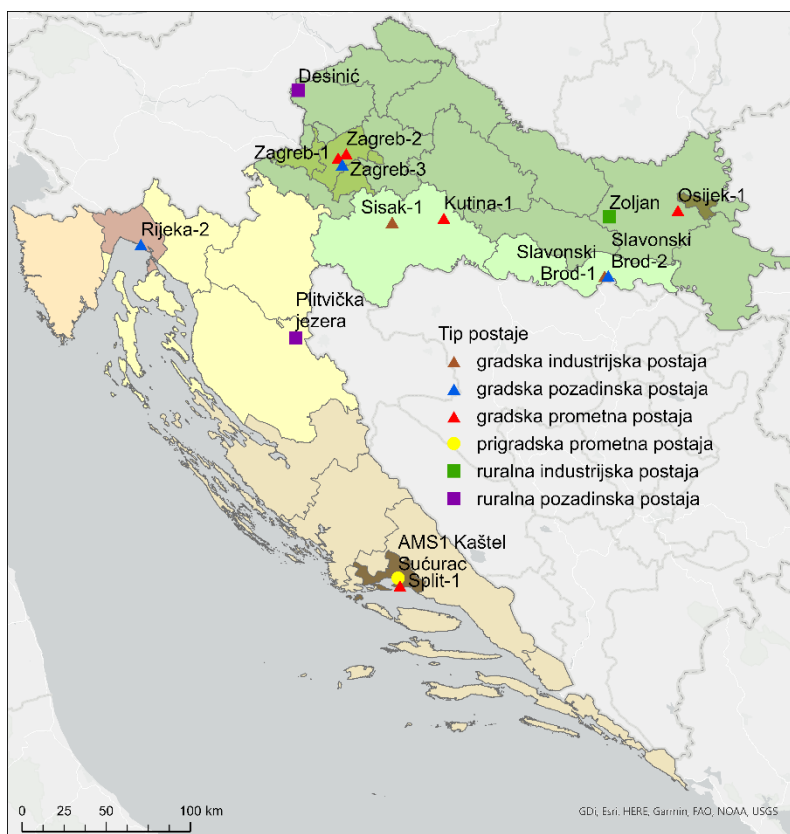


Slika 2.1.2 Prostorna razdioba emisija SO₂ na području Hrvatske u 2015. godini (slika lijevo) i 2019. godini (slika desno)

Analiza prostorne razdiobe emisija sumporovog dioksida za područje RH također pokazuje smanjenje emisija u 2019. godini u usporedbi s 2015. godinom, poglavito u blizini velikih gradova, poput Zagreba i Rijeke, ali i u Sisačko-moslavačkoj županiji. Emisije su najmanje na području Like i Gorskog kotara te unutrašnjosti Dalmacije kao i izvan gušćih i prometnijih luka jadranskih otoka (Slika 2.1.2).

Mjerenja i obuhvat podataka

Koncentracije sumporovog dioksida u razdoblju od 2016. do 2020. godine mjerene su na 11 postaja državne mreže za trajno praćenje kvalitete zraka. U ovoj studiji dodatno su korišteni podaci mjerenja sa postaje Zoljan, uspostavljene radi praćenja utjecaja pogona cementare Našicecement d.d. (sada NEXE d.d.) te sa još dvije dodatne lokalne postaje Split-1 i Kaštel Sućurac. Lokacija postaje Zoljan je u ruralnom okruženju na udaljenosti od oko 1500 m od cementare i osim u slučajevima direktnog prijenosa onečišćujućih tvari iz cementare može biti reprezentativna za praćenje stanja kvalitete zraka na regionalnoj skali. Lokacije postaja označene su na slici (Slika 2.1.3).



Slika 2.1.3 Lokacije mjernih postaja na kojima se mjere koncentracije sumporovog dioksida

U tablici (Tablica **2.1.1**) naveden je obuhvat podataka mjerenja za postaje državne mreže za trajno praćenje kvalitete zraka i lokalne postaje, u razdoblju od 2016. do 2020. godine. Sivom bojom označen je obuhvat podataka manji od 85 %.

Zbog tehničkih problema u radu postaja, obuhvat podataka na postaji Desinić je u rasponu od 75 do 84 %, a kod postaje Plitvička jezera obuhvat je u potpunosti zadovoljen samo u 2016. godini dok je u 2019. i 2020. godini valjanih podataka bilo manje od 75 %. Unatoč manjem obuhvatu ti podaci vrijedan su doprinos ocjeni te stoga nisu izuzeti iz analize. Obuhvat podataka je na većini drugih postaja veći dio promatranog razdoblja od pet godina zadovoljavajući (> 85 %).

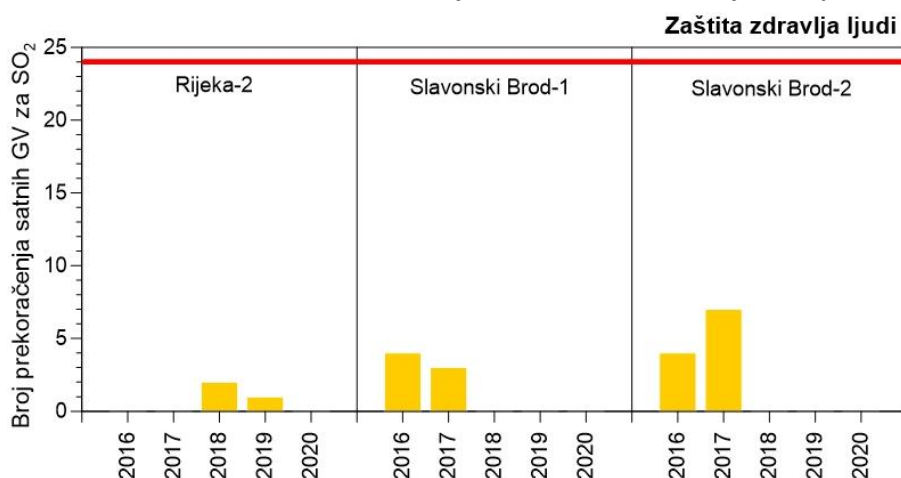


Tablica 2.1.1 Obuhvat podataka mjerenja satnih koncentracija sumporovog dioksida na analiziranim postajama u razdoblju 2016. – 2020. godine. Sivom bojom označeni su obuhvati podataka manji od 85 %

Zona/aglomeracija	Postaja	2016	2017	2018	2019	2020
HR ZG	Zagreb-1	92	89	90	92	93
	Zagreb-2	92	82	92	97	79
	Zagreb-3	90	89	96	93	98
HR OS	Osijek-1	88	87	91	96	92
HR RI	Rijeka-2	82	89	91	95	79
HR ST	Split-1	89	98	97	94	96
	AMS1 Kaštel Sućurac	95	98	92	97	97
HR 01	Desinić	81	75	80	80	84
	Zoljan	98	98	98	96	98
HR 02	Kutina-1	88	89	91	98	96
	Sisak-1	77	87	91	93	97
	Slavonski Brod-1	89	86	85	93	96
	Slavonski Brod-2	88	84	72	96	96
HR 03	Plitvička jezera	92	80	78	74	50

Analiza rezultata mjerenja SO₂ s obzirom na zaštitu zdravlja ljudi

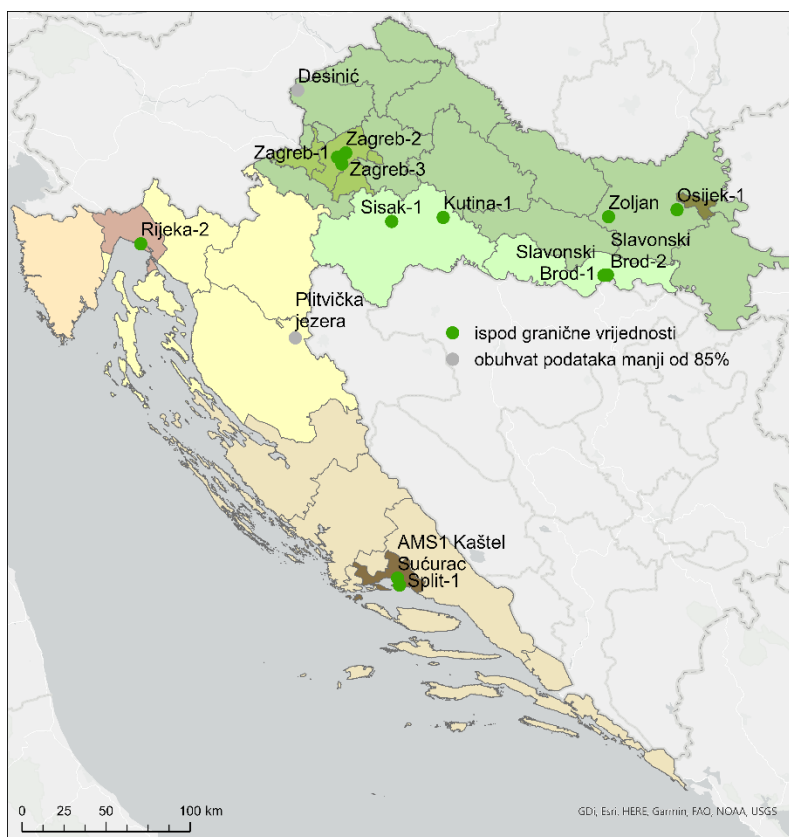
Prema Uredbi o razinama onečišćujućih tvari u zraku (NN 77/20), granična vrijednost satne koncentracije sumporovog dioksida u zraku s obzirom na zaštitu zdravlja ljudi iznosi 350 µg/m³ te ne smije biti prekoračena više od 24 puta tijekom kalendarske godine. Broj prekoračenja ove granične vrijednosti prikazan je na slici (Slika 2.1.4) isključivo na postajama na kojima je došlo do prekoračenja. Tijekom promatranog razdoblja, najveći broj prekoračenja zabilježen je na mjernoj postaji Slavonski Brod-2. Ni na jednoj postaji u analiziranom razdoblju nije prekoračen dozvoljen broj prekoračenja satne granične vrijednosti. U svim zonama i aglomeracijama u kojima se provode mjerenja zadovoljeni su kriteriji kvalitete zraka s obzirom na satne vrijednosti koncentracija sumporovog dioksida.



Slika 2.1.4 Broj prekoračenja satnih graničnih vrijednosti koncentracija sumporovog dioksida s obzirom na zaštitu zdravlja ljudi u razdoblju 2016. – 2020. godine. Crvena linija označava dozvoljen broj prekoračenih satnih graničnih vrijednosti u jednoj kalendarskoj godini



Propisana granična vrijednost za srednju dnevnu koncentraciju sumporovog dioksida s obzirom na zaštitu zdravlja ljudi iznosi $125 \mu\text{g}/\text{m}^3$ i ne smije biti prekoračena više od tri puta tijekom kalendarske godine. Tijekom promatranog razdoblja, dnevna granična vrijednost prekoračena je jedino na postajama Slavonski Brod-1 i Slavonski Brod-2 i to svaka jednom u 2017. godini. U svim zonama i aglomeracijama u kojima se provode mjerenja zadovoljeni su kriteriji kvalitete zraka s obzirom na srednje dnevne vrijednosti koncentracija sumporovog dioksida. Na slici (Slika 2.1.5) prikazani su rezultati prostorne raspodjele prekoračenja granične vrijednosti koncentracija sumporovog dioksida. Dozvoljen broj prekoračenja granične vrijednosti koncentracija sumporovog dioksida s obzirom na zaštitu zdravlja ljudi nije prekoračen ni prema jednom kriteriju niti jedne godine.



Slika 2.1.5 Rezultati analize prekoračenja granične vrijednosti SO_2 s obzirom na zaštitu zdravlja ljudi razmatranim postajama

Analiza rezultata mjerenja SO_2 s obzirom na zaštitu vegetacije

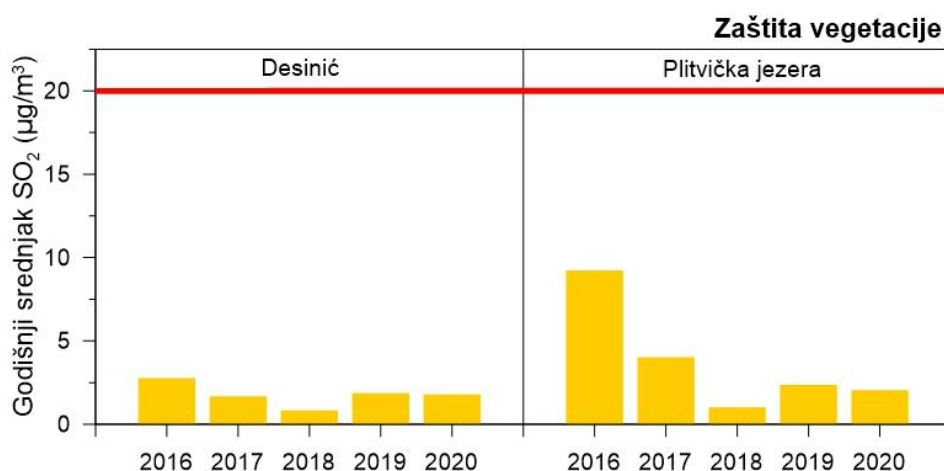
Utjecaj onečišćenja zraka na vegetaciju i ekosustave procjenjuje se na mjestima koja nisu pod direktnim utjecajem emisijskih izvora, pa se usporedba s kritičnim razinama za zaštitu vegetacije provodi s podacima mjerenim na ruralnim pozadinskim mjernim postajama.



Ovdje su korišteni podaci s mjernih postaja Desinić i Plitvička jezera. Srednje godišnje vrijednosti koncentracija sumporovog dioksida na postajama državne mreže za trajno praćenje kvalitete zraka zapisane su u tablici (Tablica 2.1.2). Isti podaci prikazani su na slici (Slika 2.1.6), pri čemu iz prikaza nisu isključene godine u kojima je obuhvat podataka bio manji od 75 %. Uredbom propisana kritična razina srednje godišnje koncentracije s obzirom na zaštitu vegetacije ($20 \mu\text{g}/\text{m}^3$) nije prekoračena niti na jednoj postaji u razdoblju od 2016. do 2020. godine. Pri tom su najmanje srednje godišnje vrijednosti koncentracija zabilježene na postaji Desinić. Postaja Plitvička jezera bilježi nešto veću vrijednost u 2016. godini ($9.24 \mu\text{g}/\text{m}^3$) no i dalje je znatno ispod kritične razine za zaštitu vegetacije.

Tablica 2.1.2 Srednje godišnje vrijednosti koncentracija SO_2 na analiziranim postajama u razdoblju 2016. – 2020. godine. Sa zvjezdicom (*) i sivom bojom označene su vrijednosti gdje je obuhvat podataka manji od 85 %

Zona/aglomeracija	Postaja	2016	2017	2018	2019	2020
HR 01	Desinić	2.76*	1.68*	0.83*	1.86*	1.79*
HR 03	Plitvička jezera	9.24	4.03*	1.01*	2.37*	2.05*



Slika 2.1.6 Srednje godišnje koncentracije SO_2 na analiziranim postajama u razdoblju 2016. – 2020. godine. Crvena linija označava vrijednost koncentracije kritične razine za zaštitu vegetacije

Obuhvat podataka u zimskom razdoblju

Zimski period obuhvaća razdoblje od 6 mjeseci koje započinje 1. listopada i završava 31. ožujka. Obuhvat podataka mjerenja zimskog razdoblja na postajama državne mreže za trajno praćenje kvalitete zraka udaljenima od urbanih područja, u razdoblju od 2016. do 2020. godine, naveden je u tablici (Tablica 2.1.3). Sivom bojom označen je obuhvat podataka manji od 85 %.



Tablica 2.1.3 Obuhvat podataka mjerenja satnih koncentracija sumporovog dioksida zimskog razdoblja na analiziranim postajama državne mreže u razdoblju 2016. – 2020. godine

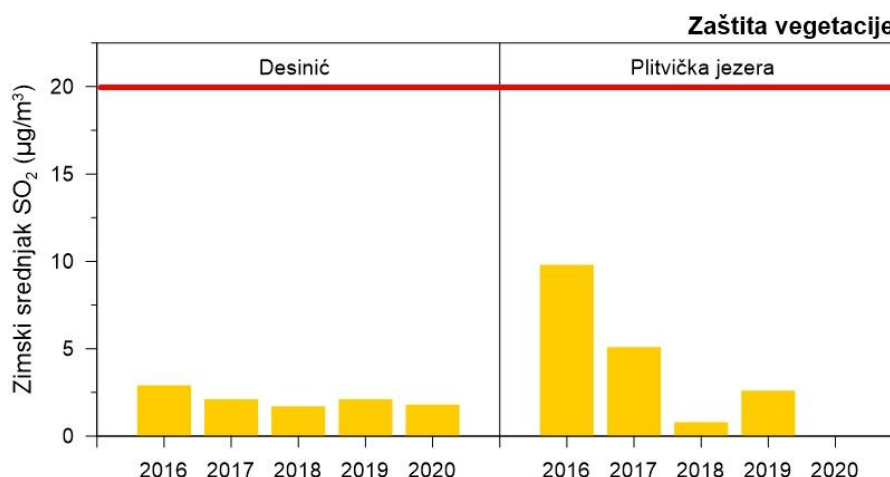
Zona/aglomeracija	Postaja	2016	2017	2018	2019	2020
HR 01	Desinić	91	83	85	94	87
HR 03	Plitvička jezera	93	84	84	85	32

U tablici (Tablica 2.1.4) dane su srednje vrijednosti koncentracija sumporovog dioksida u zimskom razdoblju. Zvezdicom (*) su označene vrijednosti u slučajevima kada je obuhvat podataka manji od 85 %.

Tablica 2.1.4 Srednja vrijednosti koncentracija SO₂ zimskog razdoblja u razdoblju 2016. – 2020. godine. Prekoračenja kritične razine (20 µg/m³) za zaštitu vegetacije nije bilo. Zvezdicom (*) i sivom bojom su označene vrijednosti u slučajevima kada je obuhvat podataka manji od 85 %

Zona/aglomeracija	Postaja	2016	2017	2018	2019	2020
HR 01	Desinić	2.94	2.15*	1.76	2.10	1.79
HR 03	Plitvička jezera	9.77	5.05*	0.78*	2.60	2.14*

Slika 2.1.7 daje grafički prikaz podataka iz tablice (Tablica 2.1.4), pri čemu su iz prikaza isključene vrijednosti u onoj godini u kojoj kriterij obuhvata podataka nije bio zadovoljen na način da se iz podataka nije moglo kvalitetno odrediti srednju vrijednost zimskog razdoblja. Srednja zimska vrijednost koncentracija sumporovog dioksida ne prelazi niti na jednoj postaji kritičnu razinu za zaštitu vegetacije u promatranom razdoblju.

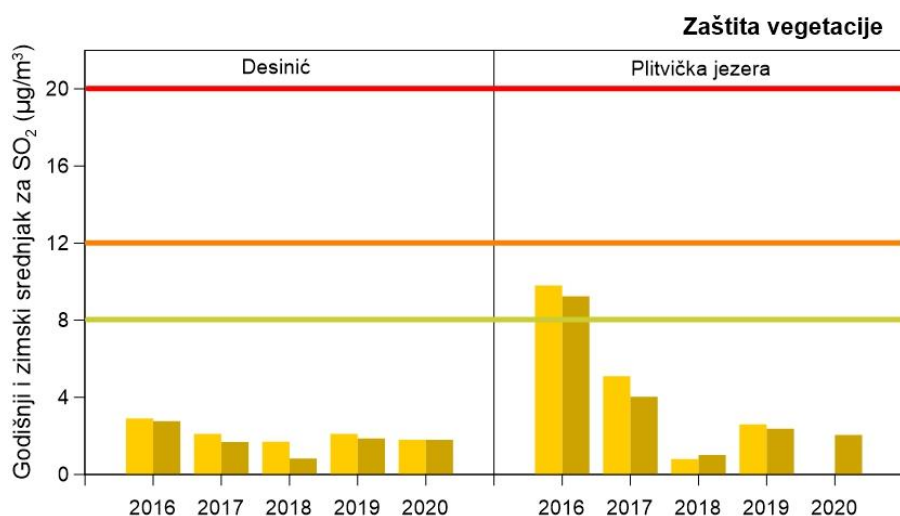


Slika 2.1.7 Srednje vrijednosti koncentracija SO₂ zimskog razdoblja na analiziranim postajama u razdoblju 2016. – 2020. godine. Crvena linija označava vrijednost koncentracija kritične razine za zaštitu vegetacije



Pragovi procjene kritične razine u zimskom razdoblju

Uredba o razinama onečišćujućih tvari u zraku (NN 77/20) propisuje kritičnu razinu za zaštitu vegetacije $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$, a gornji prag procjene kao 60 % iznosa kritične razine za zimsko razdoblje, tj. $12 \mu\text{g}/\text{m}^3$, dok je iznos donjeg praga procjene 40 % iznosa kritične razine, tj. $8 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Gornji prag procjene nije prekoračen u niti jednoj godini na niti jednoj postaji uključujući i zimsko razdoblje. Donji prag procjene prekoračen je samo na postaji Plitvička jezera za zimsko razdoblje i za cijelu godinu u 2016. godini. Smatra se da je prag procjene prekoračen ako je prekoračen tijekom najmanje tri pojedinačne godine u razdoblju od promatranih pet, stoga je u zonama HR 01 i HR 03 razina onečišćenosti ispod donjeg praga procjene u razdoblju 2016. – 2020. godine.



Slika 2.1.8 Srednje vrijednosti koncentracija SO_2 zimskog razdoblja (svijetlo žuto) i srednje godišnje koncentracije SO_2 (tamno žuto) na analiziranim postajama u razdoblju 2016. – 2020. godine. Crvena linija označava vrijednost koncentracija kritične razine za zaštitu vegetacije, narančasta linija gornju granicu procjenjivanja za zimsko razdoblje, a zelenkasto žuta linija donju granicu procjenjivanja za zimsko razdoblje

Rezultati analize s obzirom na donju i gornju granicu procjene

Prema Uredbi o razinama onečišćujućih tvari u zraku (NN 77/20) gornji i donji pragovi procjene dnevne vrijednosti koncentracija sumporovog dioksida u zraku s obzirom na zaštitu zdravlja ljudi ne smiju biti prekoračene više od tri puta u kalendarskoj godini. Gornji prag procjene iznosi $75 \mu\text{g}/\text{m}^3$, što je 60 % iznosa dnevne granične vrijednosti, a donji prag procjene iznosi $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, odnosno 40 % iznosa dnevne granične vrijednosti.

Broj prekoračenja donjeg praga procjene na promatranim postajama zapisan je u tablici (Tablica 2.1.5), dok je u tablici (Tablica 2.1.6) dan broj prekoračenja gornjeg praga procjene. Plavom bojom označene su godine u kojima je premašen dozvoljeni broj prekoračenja pragova procjene. Sivom bojom označene su godine u kojima dozvoljeni broj prekoračenja nije premašen, ali je obuhvat podataka bio manji od 85 %. Grafički prikaz podataka iz tablica (Tablica 2.1.5 i Tablica 2.1.6) daje Slika 2.1.9.



Tablica 2.1.5 Broj prekoračenja donjeg praga procjene ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, dozvoljeno 3) srednje dnevne vrijednosti koncentracija SO_2 s obzirom na zaštitu zdravlja ljudi u razdoblju 2016. – 2020. godine. Broj dana s prekomjernim prekoračenjem označen je svijetlo plavom bojom, a sivom bojom i zvjezdicom (*) godine kad je obuhvat podataka < 85 %

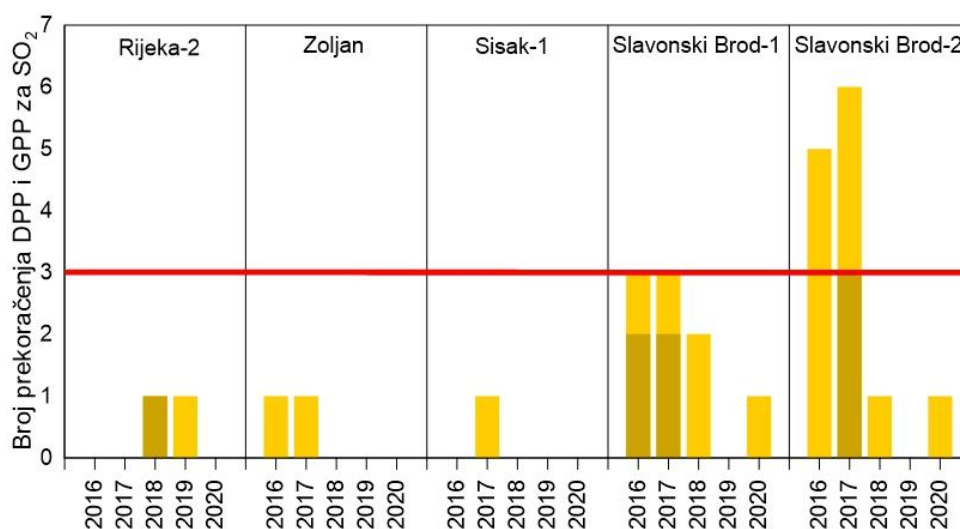
Zona/aglomeracija	Postaja	2016	2017	2018	2019	2020
HR ZG	Zagreb-1	0	0	0	0	0
	Zagreb-2	0	0*	0	0	0*
	Zagreb-3	0	0	0	0	0
HR OS	Osijek-1	0	0	0	0	0
HR RI	Rijeka-2	0*	0	1	1	0*
HR ST	Split-1	0	0	0	0	0
	AMS1 Kaštel Sućurac	0	0	0	0	0
HR 01	Desinić	0*	0*	0*	0*	0*
	Zoljan	1	1	0	0	0
HR 02	Kutina-1	0	0	0	0	0
	Sisak-1	0*	1	0	0	0
	Slavonski Brod-1	3	3	2	0	2
	Slavonski Brod-2	5	6*	1*	0	2
HR 03	Plitvička jezera	0	0*	0*	0*	0*

Tablica 2.1.6 Broj prekoračenja gornjeg praga procjene ($75 \mu\text{g}/\text{m}^3$, dozvoljeno 3) dnevne koncentracije sumporovog dioksida s obzirom na zaštitu ljudi u razdoblju 2016. – 2020. godine. Broj dana s prekomjernim prekoračenjem označen je tamno plavom bojom, a sivom bojom i * godine kad je obuhvat podataka < 85 %

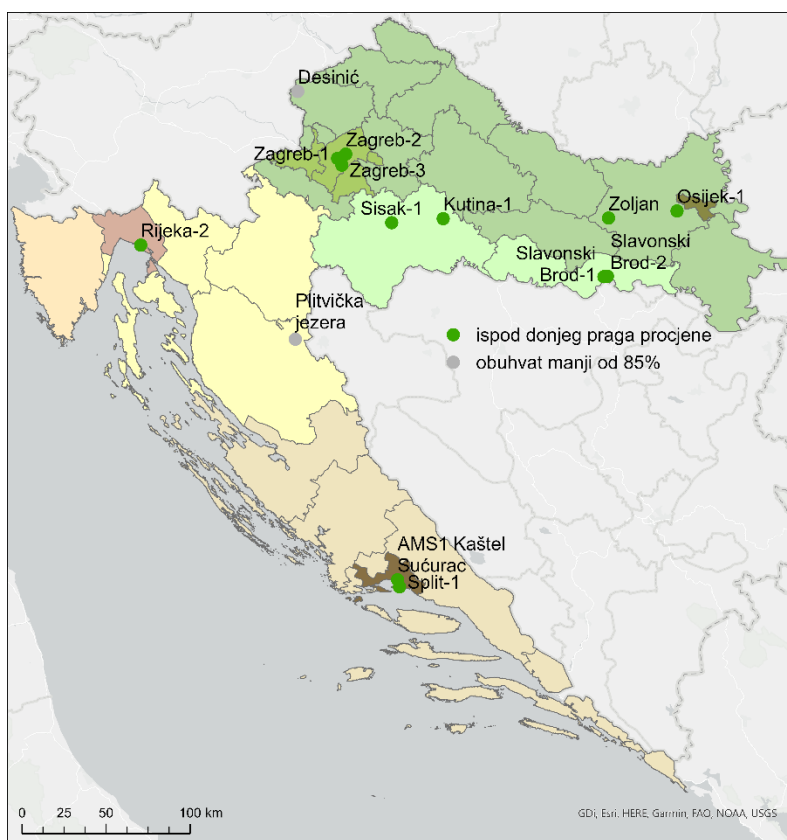
Zona/aglomeracija	Postaja	2016	2017	2018	2019	2020
HR ZG	Zagreb-1	0	0	0	0	0
	Zagreb-2	0	0*	0	0	0*
	Zagreb-3	0	0	0	0	0
HR OS	Osijek-1	0	0	0	0	0
HR RI	Rijeka-2	0*	0	1	0	0*
HR ST	Split-1	0	0	0	0	0
	AMS1 Kaštel Sućurac	0	0	0	0	0
HR 01	Desinić	0*	0*	0*	0*	0*
	Zoljan	0	0	0	0	0
HR 02	Kutina-1	0	0	0	0	0
	Sisak-1	0*	0	0	0	0
	Slavonski Brod-1	2	2	0	0	0
	Slavonski Brod-2	0	3*	0*	0	0
HR 03	Plitvička jezera	0	0*	0*	0*	0*



Analiza podataka pokazuje da do prekoračenja gornjeg praga procjene nije došlo niti na jednoj postaji. Donji prag procjene prekoračen je na postaji Slavonski Brod-2 u 2016. i 2017. godini.



Slika 2.1.9 Broj prekoračenja donjeg (svijetlo žuto) i gornjeg (tamno žuto) praga procjene srednjih dnevnih vrijednosti koncentracija sumporovog dioksida s obzirom na zaštitu ljudi u razdoblju 2016. – 2020. godine. Crvena linija označava dozvoljen broj prekoračenih dnevnih pragova procjene u jednoj kalendarskoj godini



Slika 2.1.10 Rezultati analize gornjeg i donjeg praga procjene dnevnih koncentracija sumporovog dioksida s obzirom na zaštitu zdravlja ljudi na razmatranim postajama



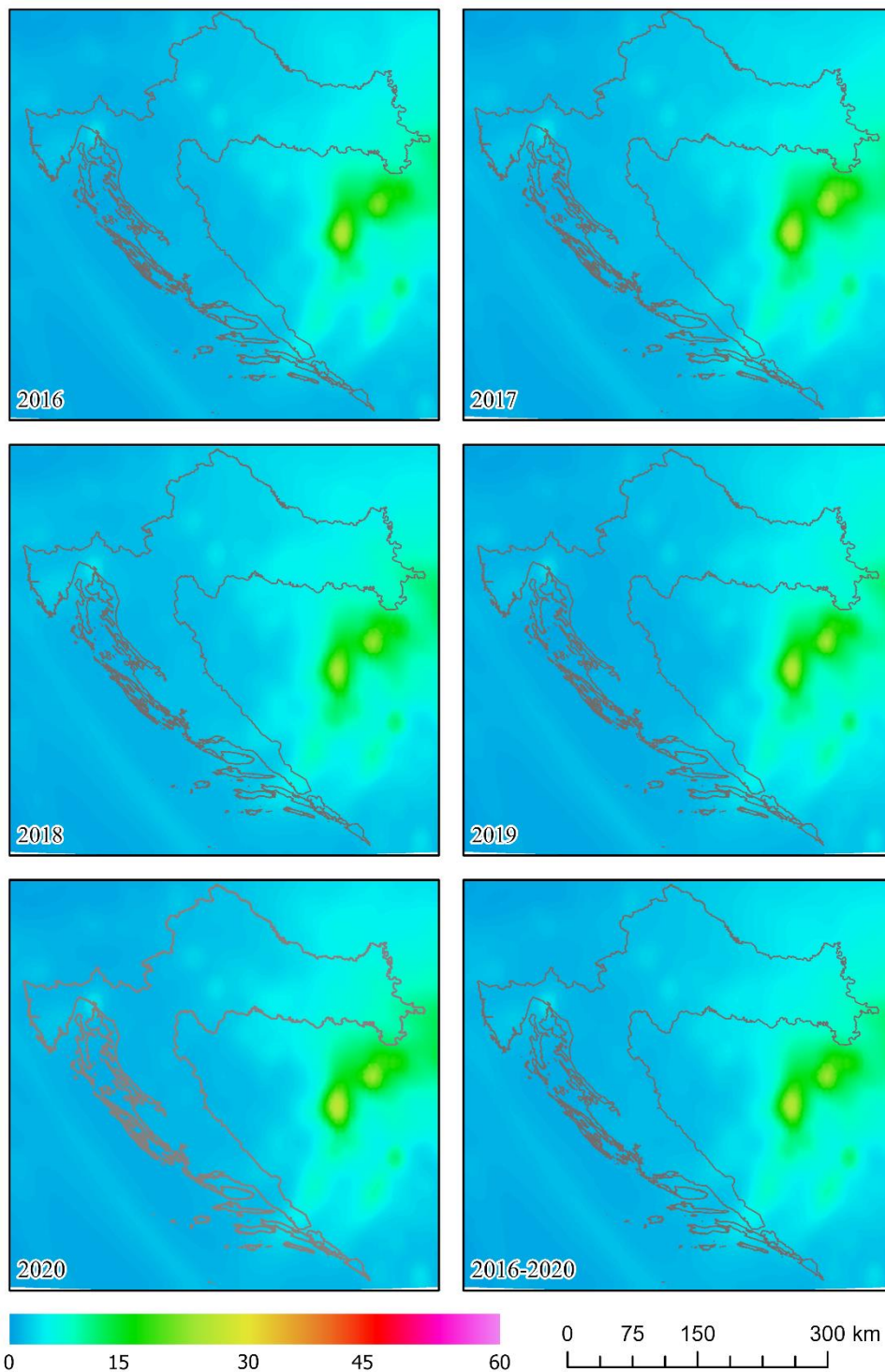
Slika 2.1.10 prikazuje prostornu raspodjelu prekoračenja gornjih i donjih pragova procjene srednjih dnevnih koncentracija sumporovog dioksida. Prag procjene smatra se prekoračenim ako je do prekoračenja došlo tijekom najmanje tri promatrane godine. Unutar aglomeracija Osijek, Rijeka i Zagreb te zona HR 01 i HR 02 nije došlo do prekoračenja tijekom promatranog razdoblja.

Analiza rezultata mjerenja s obzirom na prag upozorenja

Prema Uredbi o razinama onečišćujućih tvari u zraku (NN 77/20) propisan je prag upozorenja za satne vrijednosti koncentracije sumporovog dioksida i iznosi $500 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Ako je prag upozorenja prekoračen tijekom tri uzastopna sata potrebno je o tome pravovremeno obavijestiti javnost. Tijekom promatranog petogodišnjeg razdoblja, prag upozorenja nije niti jednom prekoračen tri sata za redom niti na jednoj mjernoj postaji.

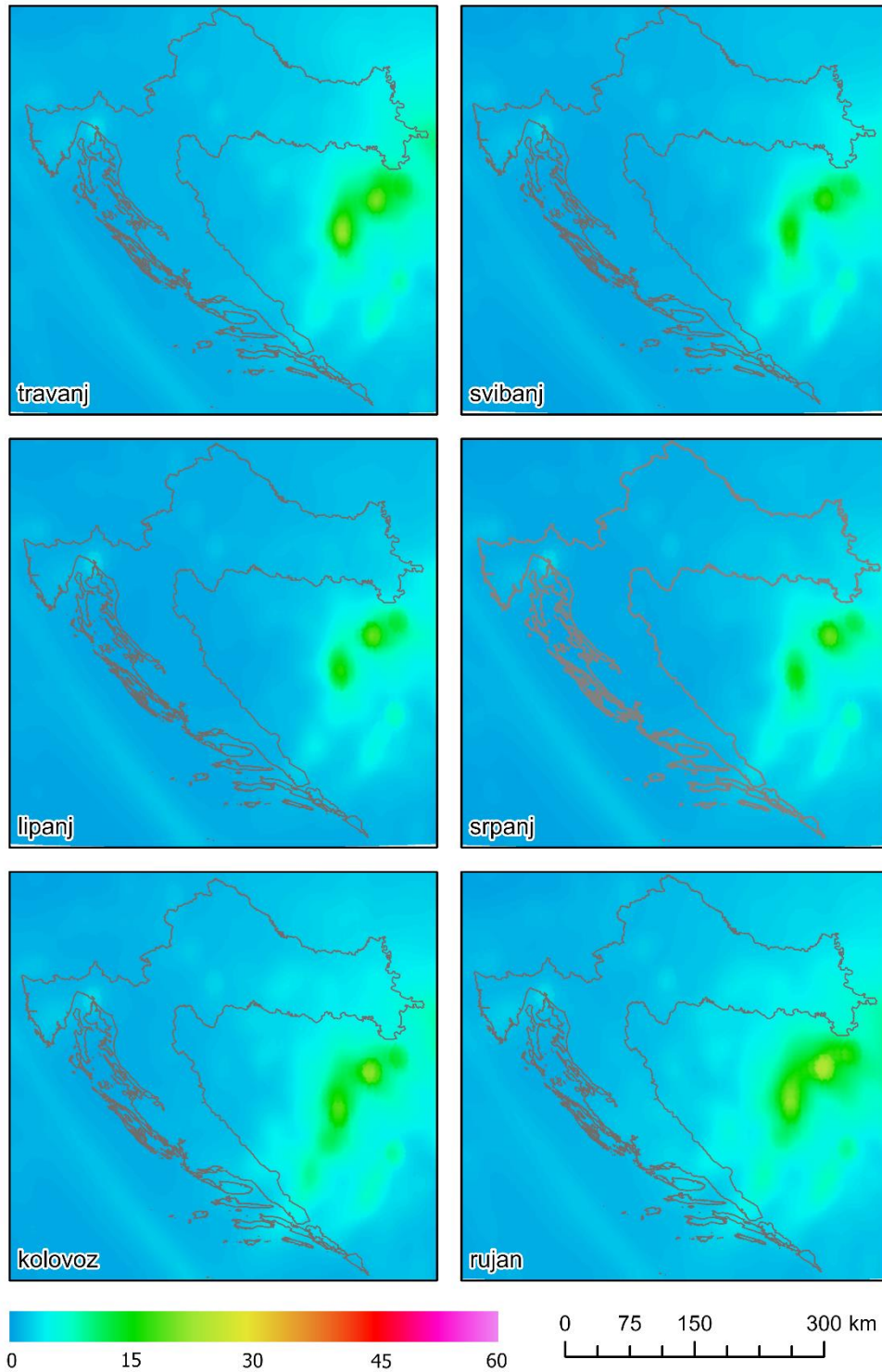
Analiza modeliranih koncentracija sumporovog dioksida

Prostorna razdioba modeliranih prizemnih koncentracija sumporovog dioksida pokazuje niske vrijednosti nad područjem Hrvatske (Slika 2.1.11). U razdoblju od 2016. do 2020. godine one se vrlo malo mijenjaju. U većem dijelu zemlje koncentracije su niže od $2.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Okolica Zagreba, Rijeke i Siska, očekivano, ima nešto veće koncentracije (ispod $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$) zbog veće prisutnosti izvora emisija sumporovih oksida (industrija, energane). U Slavoniji i Baranji model pokazuje najviše srednje godišnje prizemne koncentracije ($5 - 10 \mu\text{g}/\text{m}^3$) u usporedbi s drugim dijelovima zemlje i za njih se može reći da su najvećim dijelom posljedica prekograničnog onečišćenja iz susjednih država (Bosna i Hercegovina i Srbija) gdje se u industrijskim procesima te za ogrjev još uvijek koriste nedovoljno čista goriva.

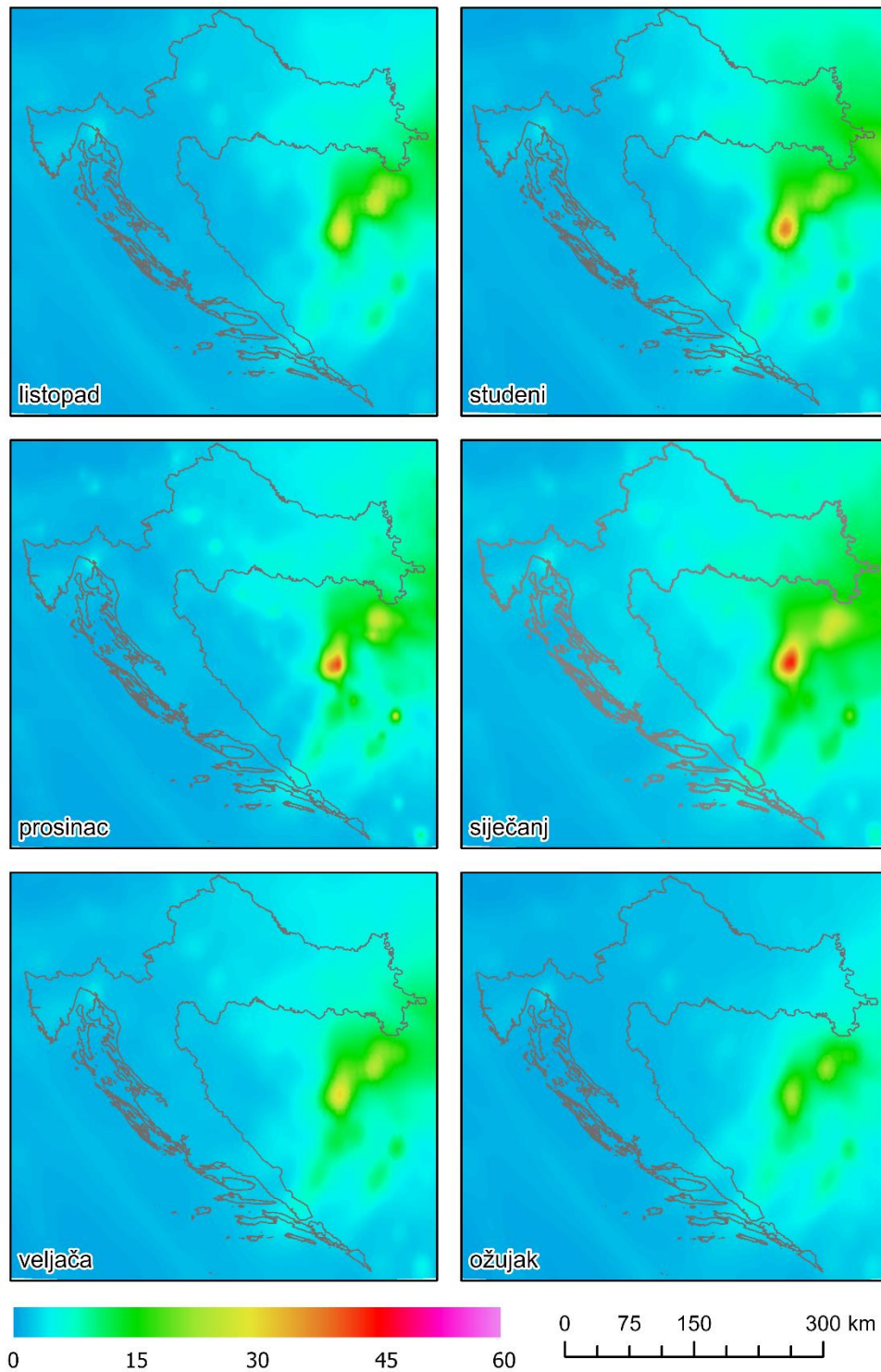


Slika 2.1.11 Prostorna raspodjela prizemnih srednjih godišnjih koncentracija SO₂ (µg/m³) na području Hrvatske u razdoblju od 2016. – 2020. godine dobivena LOTOS-EUROS kemijskim transportnim modelom

Srednje mjesečne koncentracije sumporovog dioksida pokazuju maksimalne vrijednosti koncentracija na području Slavonije i Baranje, izraženije u zimskom dijelu godine kad je pritisak emisija najveći, a meteorološki uvjeti za zadržavanje polutanata u prizemnom sloju atmosfere su povoljni (Slika 2.1.12 i Slika 2.1.13).



Slika 2.1.12 Prostorna raspodjela prizemnih srednjih mjesečnih koncentracija SO₂ (µg/m³) na području Hrvatske u razdoblju od 2016. – 2020. godine dobivena LOTOS-EUROS kemijskim transportnim modelom (mjeseci: travanj – rujan)



Slika 2.1.13 Prostorna raspodjela prizemnih srednjih mjesečnih koncentracija SO₂ (µg/m³) na području Hrvatske u razdoblju od 2016. – 2020. godine dobivena LOTOS-EUROS kemijskim transportnim modelom (mjeseci: listopad – ožujak)



Ocjena sukladnosti zona i aglomeracija s okolišnim ciljevima

U svim zonama i aglomeracijama zadovoljeni su kriteriji kvalitete zraka s obzirom na zaštitu zdravlja ljudi i kriteriji kvalitete zraka za zaštitu vegetacije te je zrak bio I kategorije u razdoblju 2016. – 2020. godine.

U zoni HR 02 u 2016. i 2017. godini prekoračen je gornji prag procjene s obzirom na zaštitu zdravlja ljudi. U 2016. godini prekoračen je donji prag procjene s obzirom na zaštitu vegetacije na postaji Plitvička jezera. Tijekom promatranog petogodišnjeg razdoblja, prag upozorenja za sumporov dioksid nije niti jednom prekoračen tri sata uzastopno.

Ocjena sukladnosti s okolišnim ciljevima te razine onečišćenosti u zonama HR 04 i HR 05 dane su ekspertnom procjenom na osnovu rezultata kemijskog transportnog modela te rezultata mjerenja u zoni HR 02.

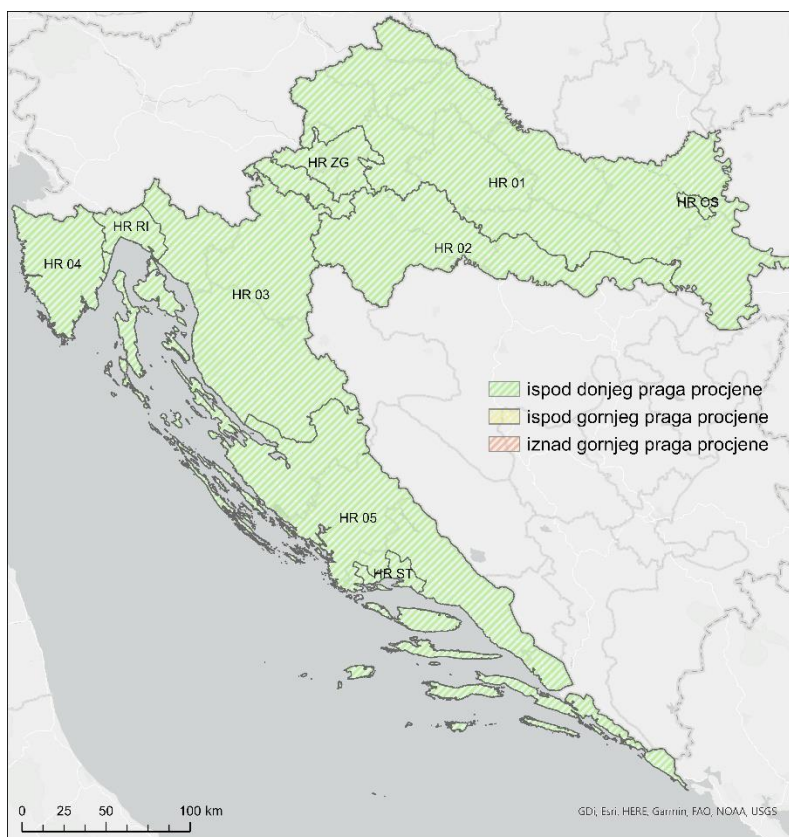
Tablica 2.1.7 Razine onečišćenosti zraka određene prema pragovima procjene te ocjena onečišćenosti za SO₂ s obzirom na zaštitu zdravlja ljudi. Crvenom bojom označena je nesukladnost s ciljevima zaštite okoliša – prekoračenje GV, zelena boja označava sukladnost s ciljevima zaštite okoliša – nije prekoračena GV, dok je sivom označena neocijenjena zona ili aglomeracija

SO ₂ – zaštita zdravlja ljudi		
Zona / aglomeracija	Razina onečišćenosti	Ocjena onečišćenosti (sukladnosti)
HR ZG	<DPP	●
HR OS	<DPP	●
HR RI	<DPP	●
HR ST	<DPP	●
HR 01	<DPP	●
HR 02	<DPP	●
HR 03	<DPP	●
HR 04	<DPP	●
HR 05	<DPP	●



Tablica 2.1.8 Razine onečišćenosti zraka određene prema pragovima procjene te ocjena onečišćenosti za SO₂ s obzirom na zaštitu vegetacije. Crvenom bojom označena je nesukladnost s ciljevima zaštite okoliša – prekoračenje kritične razine, zelena boja označava sukladnost s ciljevima zaštite okoliša – nije prekoračena kritična razina, dok je sivom označena neocijenjena zona ili aglomeracija

SO ₂ – zaštita vegetacije		
Zona	Razina onečišćenosti	Ocjena onečišćenosti (sukladnosti)
HR 01	<DPP	●
HR 02	<DPP	●
HR 03	<DPP	●
HR 04	<DPP	●
HR 05	<DPP	●



Slika 2.1.14 Kartogram ocjena razina onečišćenosti sa SO₂ po svim zonama i aglomeracijama obzirom na zaštitu zdravlja ljudi

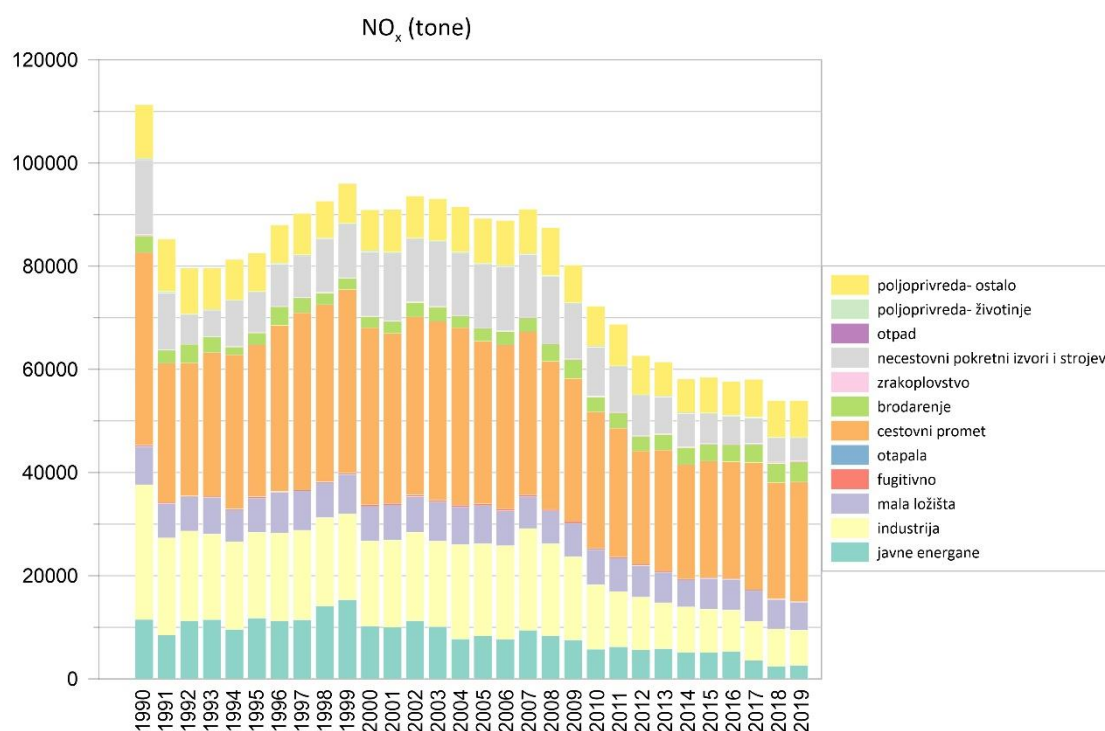
Razina onečišćenosti je ispod donjeg praga procjene u svim zonama i aglomeracijama. Sve zone i aglomeracije su sukladne s graničnim vrijednostima obzirom na zaštitu zdravlja ljudi te kritičnom vrijednosti za zaštitu okoliša.



2.2. Dušikov dioksid, NO₂

Izvori i emisije dušikovih oksida (NO_x)

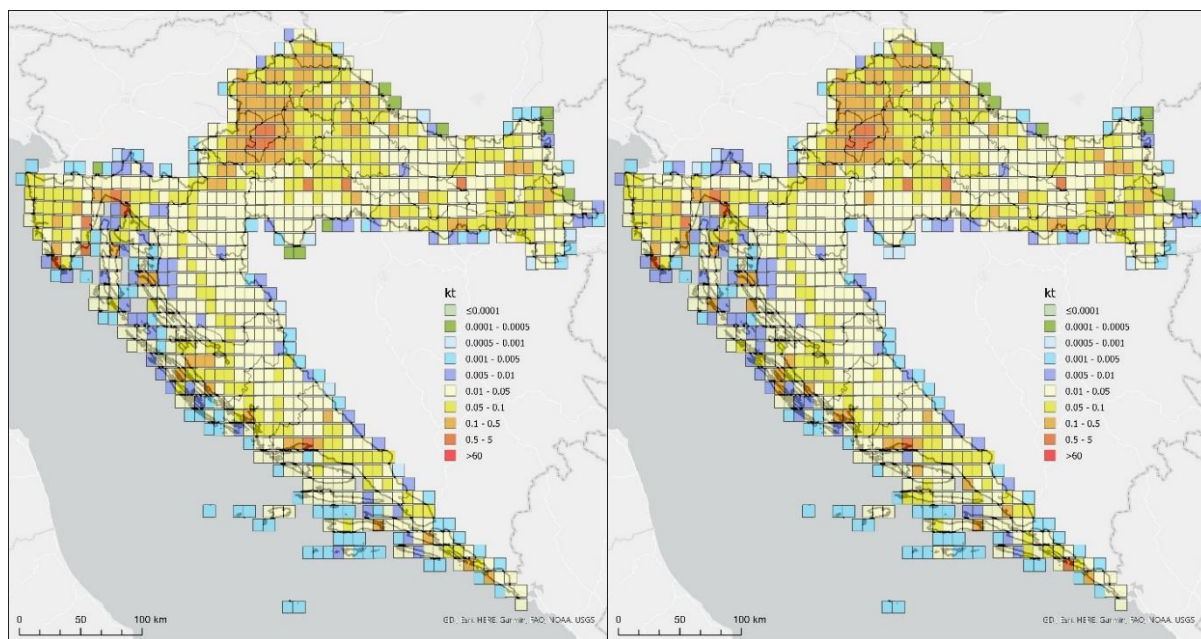
Dušikov dioksid (NO₂) je visoko reaktivan plin, crvenosmeđe boje. Zajedno s dušikovim monoksidom (NO) ima važnu ulogu u atmosferi kao regulator oksidacijskog kapaciteta, kontrolirajući stvaranje i sudbinu slobodnih radikala u troposferi. U visokim koncentracijama štetan je za ljudsko zdravlje, u prekomjernoj količini nadražuje ljudske dišne organe, a nastaje prirodnim (munje, kozmičke zrake) i industrijskim procesima (oksidacija dušika pri izgaranju fosilnih goriva na visokim temperaturama, npr. u prometu). Kao i sumporov dioksid u suvišku sudjeluje u stvaranju kiselih kiša koje, pak, uz štetan utjecaj na prirodne ekosustave djeluju korozivno na građevni materijal (kamen, metal, fasade zgrada i drugo). Dušikov dioksid atmosferu zagađuje i stvaranjem fotokemijskog smoga; važan je prekursor u procesu nastanka prizemnog ozona. Staklenički je plin, utječe na klimatske promjene, a kao glavni izvor nitratnih aerosola, čini i važnu frakciju lebdećih čestica PM_{2.5}. Praćenje koncentracija dušikovih oksida uspostavljeno je kao zakonska obveza u svim zemljama Europske Unije i kao zaštitni mehanizam propisane su granične vrijednosti s obzirom na zdravlje ljudi te zaštitu vegetacije.



Slika 2.2.1 Emisije NO_x izražene kao NO₂ u Hrvatskoj raspodijeljene po GNFR sektorima u razdoblju 1990. – 2019. godine izražene u tonama



Emisije dušikovih oksida povećavale su se u devedesetim godinama prošlog stoljeća, nakon čega slijedi stagnacija te od 2008. godine i postupan trend smanjenja. Najveće smanjenje bilježi se u sektorima industrije, javnih energana te necestovnih pokretnih izvora i strojeva, dok je kod malih ložišta i poljoprivrede smanjenje slabije izraženo. Temeljem Uredbe o emisijskim kvotama za određene onečišćujuće tvari u zraku u RH, propisane emisijske kvote za dušikove okside, odnosno vrijednost od 87 kilotona (u nastavku kt) više od desetljeća nije prekoračena (Slika 2.2.1).



Slika 2.2.2 Prostorna razdioba emisija NO_x prikazanog kao NO_2 na području Hrvatske u 2015. godini (slika lijevo) i 2019. godini (slika desno)

Prema prostornoj razdiobi emisija na području Hrvatske veće vrijednosti uočavaju se na područjima gušće naseljenosti, gdje posebnu ulogu imaju veliki gradovi i važne državne prometnice, ukazujući važnost cestovnog prometa u ukupnom doprinosu emisija dušikovih oksida. Paralelna usporedba emisija iz 2015. i 2019. godine ne pokazuje značajne razlike u prostornoj razdiobi. Može se primijetiti tek povećanje emisija na pojedinim lokacijama na području jadranskih otoka, najvjerojatnije zbog većeg opterećenja cestovnog i brodskog prometa kao posljedica jačanja turizma (Slika 2.2.2).



Mjerenja i obuhvat podataka

Za potrebe ove studije korišteni su podaci s mjernih postaja državne mreže te s lokalnih mjernih postaja Zoljan, Split-1, Kaštel Sućurac te Velika Gorica. Upravljanje postajom Velika Gorica DHMZ je preuzeo u travnju 2017. godine zbog čega nedostaju podaci za 2016. te dio 2017. godine. Mjerne postaje s kojih su prikupljeni podaci o koncentracijama dušikovog dioksida u razdoblju između 2016. – 2020. prikazane su na slici (Slika 2.2.3). U promatranom petogodišnjem razdoblju mjerenja su se provodila u svim aglomeracijama te zonama HR 01, HR 02, HR 03 i HR 04. U zoni HR 05 mjerenja nisu provedena.



Slika 2.2.3 Prostorni raspored postaja na kojima se provode mjerenja dušikovog dioksida

U tablici (Tablica 2.2.1) prikazan je obuhvat podataka satnih vrijednosti koncentracija dušikovog dioksida na postajama državne mreže i odabranim lokalnim postajama. Posebno su, sivom bojom označene vrijednosti kad je obuhvat bio manji od 85 %. U promatranom razdoblju, obuhvat podataka nije bio dostatan na postajama Desinić i Plitvička jezera, no podaci s tih pozadinskih postaja smatraju se vrijednima te su također uzeti u obzir u donošenju ocjene.



Tablica 2.2.1 Obuhvat podataka mjerenja koncentracija dušikovog dioksida na analiziranim postajama u razdoblju 2016. – 2020. godine. Sa (–) označene su godine u kojima nije bilo mjerenja

Zona/aglomeracija	Postaja	2016	2017	2018	2019	2020
HR ZG	Zagreb-1	90	88	91	96	95
	Zagreb-2	90	82	93	97	78
	Zagreb-3	87	86	89	93	89
	Velika Gorica	–	53	81	93	91
HR OS	Osijek-1	81	83	94	95	97
HR RI	Rijeka-2	86	83	93	95	78
HR ST	Split-1	96	97	96	95	90
	AMS1 Kaštel Sućurac	95	96	97	98	97
HR 01	Desinić	67	66	63	81	85
	Varaždin-1	86	87	90	90	92
	Zoljan	96	98	97	94	98
HR 02	Kutina-1	82	74	88	95	96
	Sisak-1	61	81	93	97	98
	Slavonski Brod-1	84	87	86	47	87
HR 03	Karlovac-1	92	87	92	82	92
	Plitvička jezera	51	76	76	71	71
HR 04	Pula Fižela	87	90	91	93	76

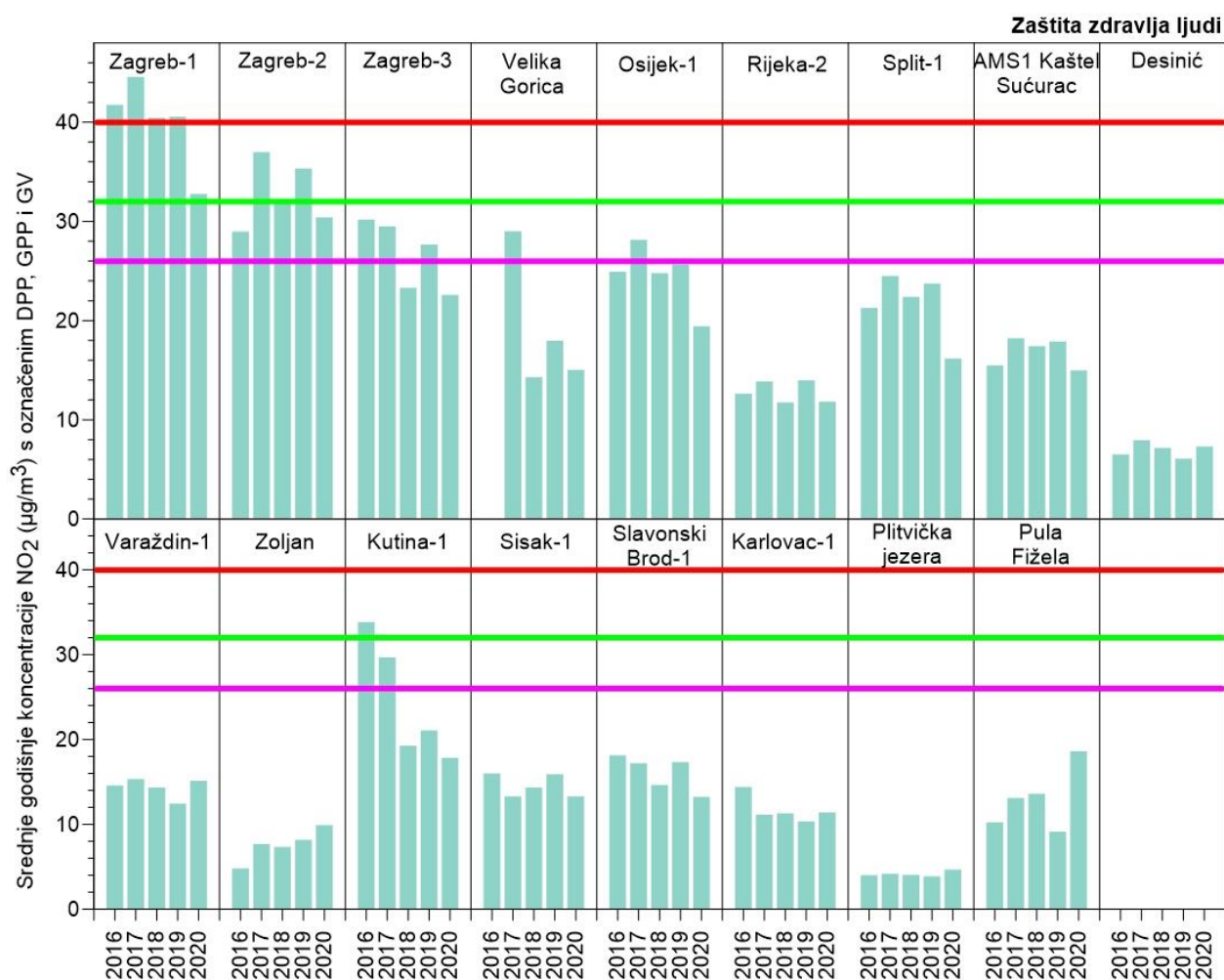
Analiza rezultata mjerenja NO₂ s obzirom na zaštitu zdravlja ljudi

Uredbom o razini onečišćujućih tvari u zraku (NN 77/2020) definirane su godišnje i satne granične vrijednosti te učestalost dozvoljenih prekoračenja propisanih pragova (donji i gornji prag procjene) za dušikov dioksid. Propisana godišnja granična vrijednost za dušikov dioksid iznosi 40 µg/m³. Granična vrijednost za satne koncentracije iznosi 200 µg/m³, pri čemu ona ne smije biti prekoračena više od 18 puta u jednoj kalendarskoj godini. U tablici (Tablica 2.2.2) prikazan je broj prekoračenja satne granične vrijednosti na postajama na kojima je došlo do najmanje jednog prekoračenja u promatranom razdoblju. Na niti jednoj postaji satna granična vrijednost nije prekoračena više od 18 puta. Na slici (Slika 2.2.4) su prikazane srednje godišnje koncentracije dušikovog dioksida na mjernim postajama. Prekoračenje granične vrijednosti srednje godišnje koncentracije zabilježeno je samo na postaji Zagreb-1 (2016., 2017., 2018. i 2019.). Obzirom da je riječ o gradskoj prometnoj postaji koja se nalazi na jednom od najprometnijih raskrižja u gradu Zagrebu, visoke koncentracije dušikovog dioksida pripisuju se upravo gustom gradskom prometu. U 2020. godini, srednja godišnja koncentracija dušikovog dioksida na postaji Zagreb-1 bila je ispod granične vrijednosti, za što je najvjerojatniji uzrok smanjen promet u većem dijelu godine uzrokovan pandemijom COVID-19. Manje onečišćenje zraka kao posljedica smanjenog prometa u 2020. godini bilježi se i u drugim europskim i svjetskim metropolama.



Tablica 2.2.2 Broj prekoračenja satne granične vrijednosti ($200 \mu\text{g}/\text{m}^3$) dušikovog dioksida na postajama na kojima je došlo do najmanje jednog prekoračenja u razdoblju 2016. – 2020. godine. Dozvoljeni broj prekoračenja je 18. Zvezdicom su označene godine s obuhvatom manjim od 85 %, a (–) označene su godine u kojima nije bilo mjerenja

Zona/aglomeracija	Postaja	2016	2017	2018	2019	2020
HR ZG	Velika Gorica	–	6*	0*	0	0
HR 02	Kutina-1	0*	3*	0	0	0
	Slavonski Brod-1	1*	2	0	0*	0
HR 03	Karlovac-1	0	0	0	0*	1



Slika 2.2.4 Srednje godišnje koncentracije dušikovog dioksida u razdoblju 2016. – 2020. godine. Crvena linija označava graničnu srednju godišnju vrijednost koncentracija GV = $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$, linija ljubičaste boje donji prag procjene ($26 \mu\text{g}/\text{m}^3$), a linija zelene boje gornji prag procjene ($32 \mu\text{g}/\text{m}^3$)



Rezultati analize s obzirom na donju i gornju granicu procjene

Uredbom su pragovi procjene za dušikov dioksid određeni za godišnje vrijeme usrednjavanja te za satne vrijednosti. Donji prag procjene za srednju godišnju vrijednost iznosi 65 % srednje godišnje granične vrijednosti, a gornji prag procjene 80 % godišnje granične vrijednosti, odnosno $26 \mu\text{g}/\text{m}^3$ i $32 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Satna vrijednost gornjeg praga procjene iznosi 70 % propisane granične vrijednosti, a donjeg praga 50 % vrijednosti odnosno $140 \mu\text{g}/\text{m}^3$ i $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Za satnu vrijednost, gornji i donji pragovi, ne smiju biti prekoračeni više od 18 puta u kalendarskoj godini. Prag procjene se smatra prekoračenim ako je prekoračen u bilo koje tri od pet promatranih godina.

U tablici (Tablica 2.2.3) te na slici (Slika 2.2.4) prikazane su srednje godišnje koncentracije dušikovog dioksida. Prekoračenje donjeg praga procjene označeno je svijetlo plavom, a gornjeg tamno plavom bojom. Prema zadanom kriteriju, gornji prag procjene prekoračen je na postaji Zagreb-1, a donji na postajama Zagreb-2 i Zagreb-3.

Tablica 2.2.3 Srednja godišnja vrijednost koncentracije dušikovog dioksida. Prekoračenja donjeg praga procjene godišnjeg ($26 \mu\text{g}/\text{m}^3$) su označena svijetlo plavom bojom, a gornjeg – tamno plavom bojom ($32 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Prekoračenje granične vrijednosti označeno je crvenom bojom. Zvezdicom su označene postaje i razdoblja s obuhvatom podataka manjim od 85 %, a (–) označene su godine u kojima nije bilo mjerenja

Zona/aglomeracija	Postaja	2016	2017	2018	2019	2020
HR ZG	Zagreb-1	41.73	44.56	40.44	40.56	32.76
	Zagreb-2	28.98	36.98*	31.84	35.33	30.40*
	Zagreb-3	30.17	29.48	23.29	27.67	22.58
	Velika Gorica	–	29.00*	14.30*	17.96	15.01
HR OS	Osijek-1	24.93*	28.16*	24.78	25.66	19.42
HR RI	Rijeka-2	12.63	13.87*	11.76	13.97	11.85*
HR ST	Split-1	21.27	24.50	22.40	23.73	16.18
	AMS1 Kaštel Sućurac	15.48	18.22	17.44	17.88	14.98
HR 01	Desinić	6.52*	7.94*	7.17*	6.07*	7.32
	Varaždin-1	14.56	15.32	14.33	12.44	15.12
	Zoljan	4.80	7.67	7.32	8.17	9.90
HR 02	Kutina-1	33.82*	29.66*	19.25	21.06	17.83
	Sisak-1	15.98*	13.29*	14.32	15.91	13.31
	Slavonski Brod-1	18.14*	17.18	14.63	17.32*	13.22
HR 03	Karlovac-1	14.39	11.12	11.31	10.33*	11.38
	Plitvička jezera	3.98*	4.17*	4.02*	3.87*	4.66*
HR 04	Pula Fižela	10.21	13.10	13.60	9.12	18.61*



Slika 2.2.5 te tablice (Tablica 2.2.4 i Tablica 2.2.5) prikazuju broj prekoračenja donjeg i gornjeg praga procjene obzirom na satne vrijednosti koncentracija dušikovog dioksida. Prema satnom kriteriju, donji prag procjene prekoračen je na postajama Zagreb-1, Zagreb-2, Zagreb-3, Osijek-1 i Split-1.

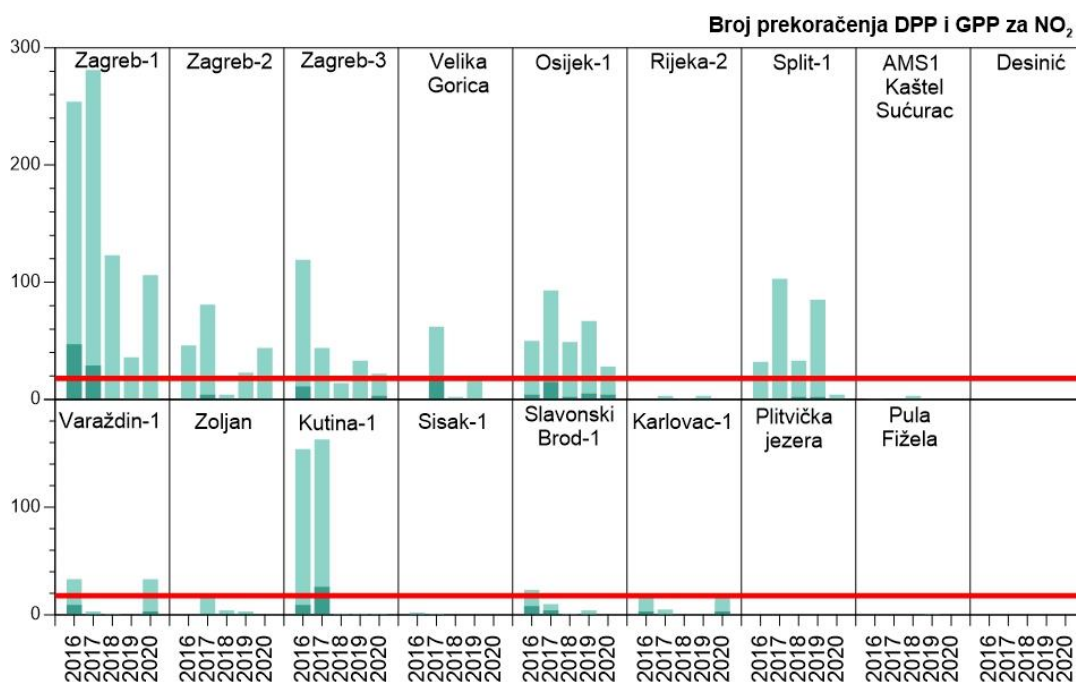
Tablica 2.2.4 Broj prekoračenja donjeg praga procjene ($100 \mu\text{g}/\text{m}^3$, dozvoljeno 18) za satne vrijednosti koncentracija NO_2 . Prekoračene vrijednosti su označene svijetlo plavom bojom, a zvjezdicom (*) su označene postaje i razdoblja s obuhvatom podataka manjim od 85 %, a (-) označene su godine u kojima nije bilo mjerenja

Zona/aglomeracija	Postaja	2016	2017	2018	2019	2020
HR ZG	Zagreb-1	254	281	123	36	106
	Zagreb-2	46	81*	4	23	44*
	Zagreb-3	119	44	14	33	22
	Velika Gorica	–	62*	2*	17	0
HR OS	Osijek-1	50*	93*	49	67	28
HR RI	Rijeka-2	0	3*	1	3	0*
HR ST	Split-1	32	103	33	85	4
	AMS1 Kaštel Sućurac	1	0	3	0	0
HR 01	Desinić	0*	0*	0*	0*	0
	Varaždin-1	33	3	1	0	33
	Zoljan	0	17	4	3	0
HR 02	Kutina-1	154*	163*	1	1	1
	Sisak-1	2*	1*	0	0	0
	Slavonski Brod-1	23*	10	1	4*	0
HR 03	Karlovac-1	17	5	0	0*	18
	Plitvička jezera	0*	0*	0*	0*	0*
HR 04	Pula Fižela	0	0	0	1	0*



Tablica 2.2.5 Broj prekoračenja gornjeg praga procjene ($140 \mu\text{g}/\text{m}^3$, dozvoljeno 18) iz satnih vrijednosti koncentracija NO_2 . Prekoračene vrijednosti su označene tamno plavom bojom, a zvjezdicom (*) su označene postaje i razdoblja s obuhvatom podataka manjim od 85 %, a (-) označene su godine u kojima nije bilo mjerenja

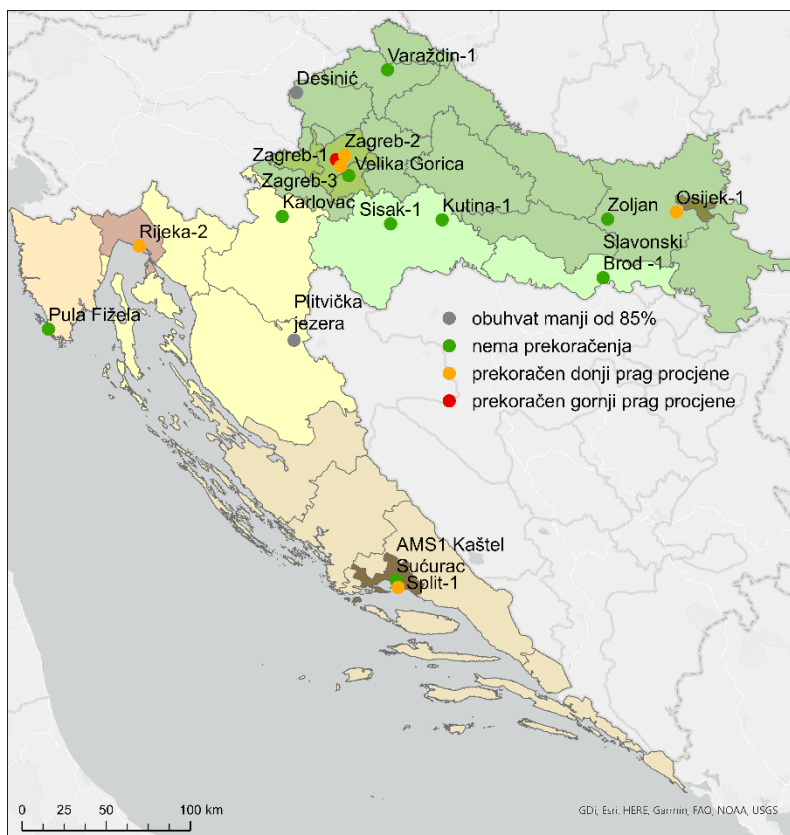
Zona/aglomeracija	Postaja	2016	2017	2018	2019	2020
HR ZG	Zagreb-1	47	29	1	0	0
	Zagreb-2	0	4*	0	0	0*
	Zagreb-3	11	0	0	0	3
	Velika Gorica	-	20*	0*	0	0
HR OS	Osijek-1	4*	15*	2	5	4
HR RI	Rijeka-2	0	0*	0	0	0*
HR ST	Split-1	0	1	2	2	0
	AMS1 Kaštel Sućurac	0	0	0	0	0
HR 01	Desinić	0*	0*	0*	0*	0
	Varaždin-1	9	0	0	0	3
	Zoljan	0	1	1	1	0
HR 02	Kutina-1	9*	26*	0	0	0
	Sisak-1	0*	0*	0	0	0
	Slavonski Brod-1	8*	4	0	0*	0
HR 03	Karlovac-1	3	0	0	0*	3
	Plitvička jezera	0*	0*	0*	0*	0*
HR 04	Pula Fižela	0	0	0	0	0*



Slika 2.2.5 Broj prekoračenja donjeg praga procjene (svijetlo zelena, $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$) i gornjeg praga procjene (tamno zelena, $140 \mu\text{g}/\text{m}^3$) iz satnih vrijednosti koncentracija dušikovog dioksida 2016. – 2020. godine. Crvenom linijom prikazan je dozvoljeni broj satnih prekoračenja (18)



Slika 2.2.6 prikazuje postaje i razinu onečišćenja (pragove procjene) u razdoblju 2016. – 2020. godine prema kriterijima propisanim Uredbom o razinama onečišćujućih tvari u zraku (NN 77/2020).



Slika 2.2.6 Mjerne postaje na kojima je prekoračen gornji i donji prag procjene

Analiza rezultata mjerenja s obzirom na prag upozorenja

Prag upozorenja za satnu vrijednost koncentracija dušikovih oksida iznosi $400 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Ako je prag upozorenja prekoračen tijekom tri uzastopna sata potrebno je o tome pravovremeno obavijestiti javnost. Tijekom promatranog petogodišnjeg razdoblja prag upozorenja nije niti jednom prekoračen tri puta zaredom.

Analiza rezultata mjerenja NO_x s obzirom na zaštitu vegetacije

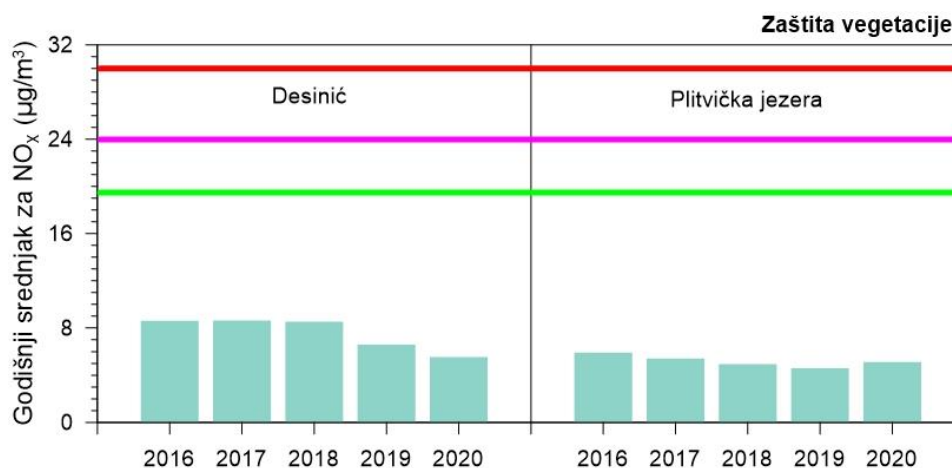
Utjecaj onečišćenja zraka na vegetaciju i ekosustave procjenjuje se na mjestima koja nisu pod direktnim utjecajem emisijskih izvora, pa se usporedba s kritičnim razinama za zaštitu vegetacije provodi s podacima mjerenim na ruralnim pozadinskim mjernim postajama. Ovdje su korišteni podaci s mjernih postaja Desinić i Plitvička jezera. Uredbom o razini



onečišćujućih tvari u zraku, kritična razina dušikovih oksida za zaštitu vegetacije iznosi 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, gornji prag procjene iznosi 24 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, a donji 19.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Smatra se da je prag procjene prekoračen, ukoliko postoji prekoračenje u najmanje tri od pet promatranih godina. Rezultati analize mjerenih koncentracija NO_x s obzirom na zaštitu vegetacije prikazani su u tablici (Tablica 2.2.6), te na slici (Slika 2.2.7). Razina onečišćenja u zonama HR 01 i HR 03 je ispod donjeg praga procjene za zaštitu vegetacije.

Tablica 2.2.6 Srednje godišnje vrijednosti koncentracija **dušikovih oksida (NO_x)**. Prekoračenja donjeg praga procjene (19.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) i gornjeg praga procjene (24 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) te kritične razine za zaštitu vegetacije (30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) nije bilo. Zvezdicom je označen obuhvat podataka manji od 85 %

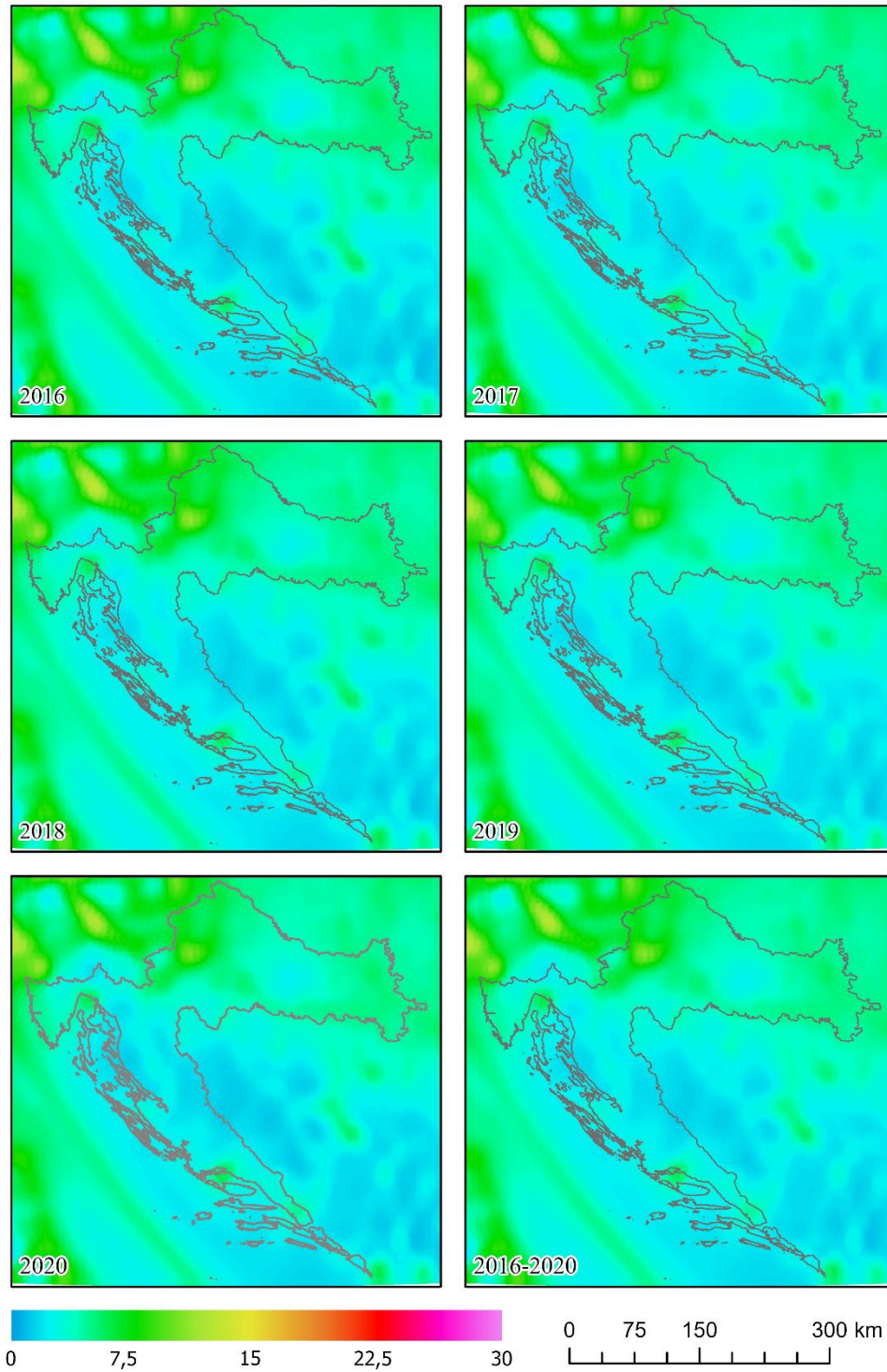
Zona/aglomeracija	Postaja	2016	2017	2018	2019	2020
HR 01	Desinić	8.61*	8.64*	8.53*	6.59*	5.55
HR 03	Plitvička jezera	5.92*	5.42*	4.93*	4.58*	5.11*



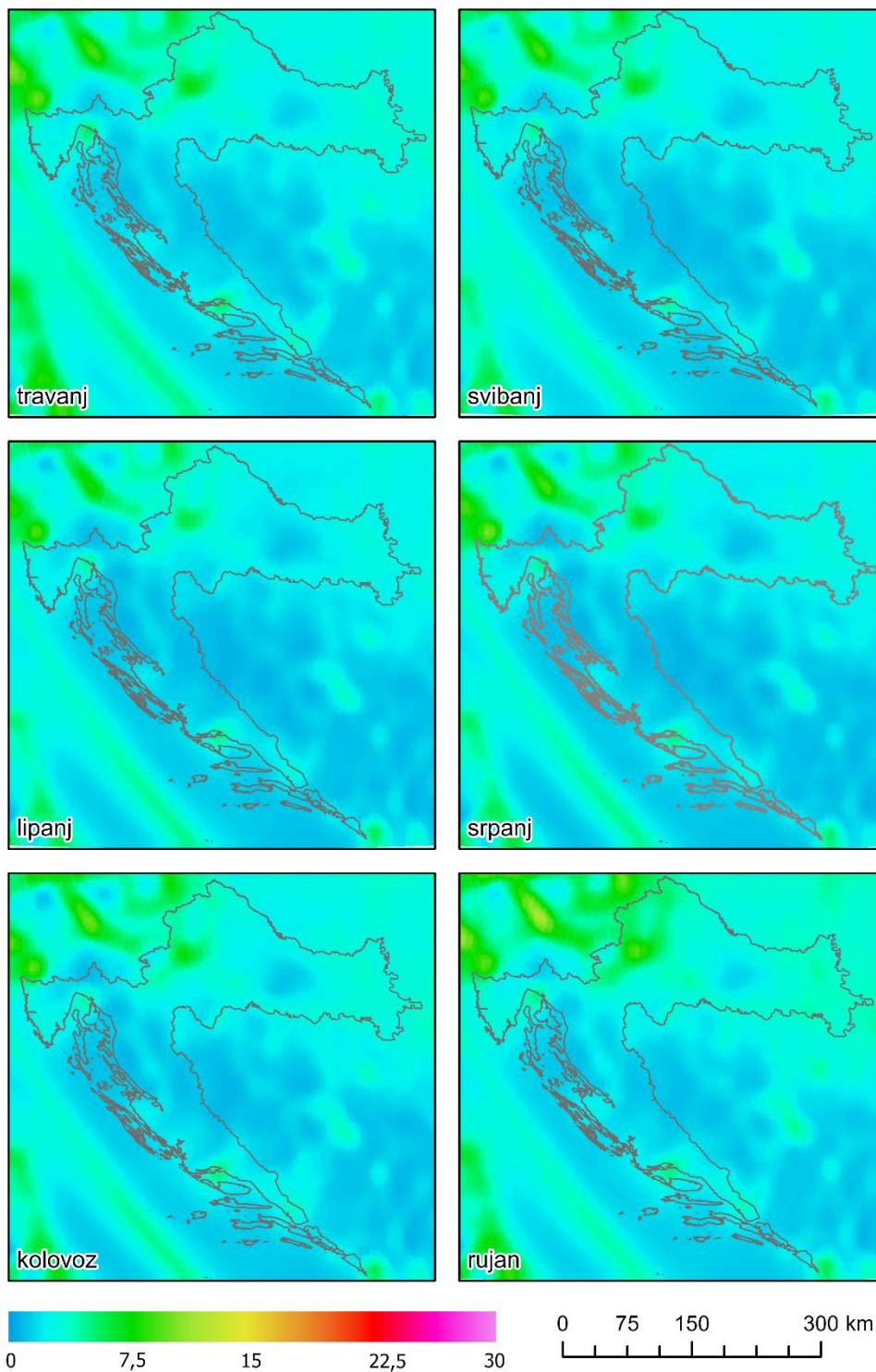
Slika 2.2.7 Srednja godišnja koncentracija dušikovih oksida za razdoblje 2016. – 2020. godine. Prekoračenja kritične razine za zaštitu vegetacije (30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) je crvena linija, gornji prag procjene (24 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) je ljubičasta linija, a donji prag procjene (19.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) je zelena linija

Analiza modeliranih koncentracija dušikovitog dioksida

Prostorna razdioba modeliranih prizemnih koncentracija dušikovitog dioksida pokazuje niske vrijednosti nad područjem Republike Hrvatske (Slika 2.2.8). Nad većinom teritorija koncentracije su niže od 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Sjeverni dio Republike Hrvatske i veći gradovi se ističu iz pozadinske razine onečišćenja s nešto višim koncentracijama (do 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Najviše srednje koncentracije se mogu pronaći u dijelovima aglomeracije Zagreb gdje su srednje površinske koncentracije do 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Srednje godišnje koncentracije malo se mijenjaju od godine do godine.

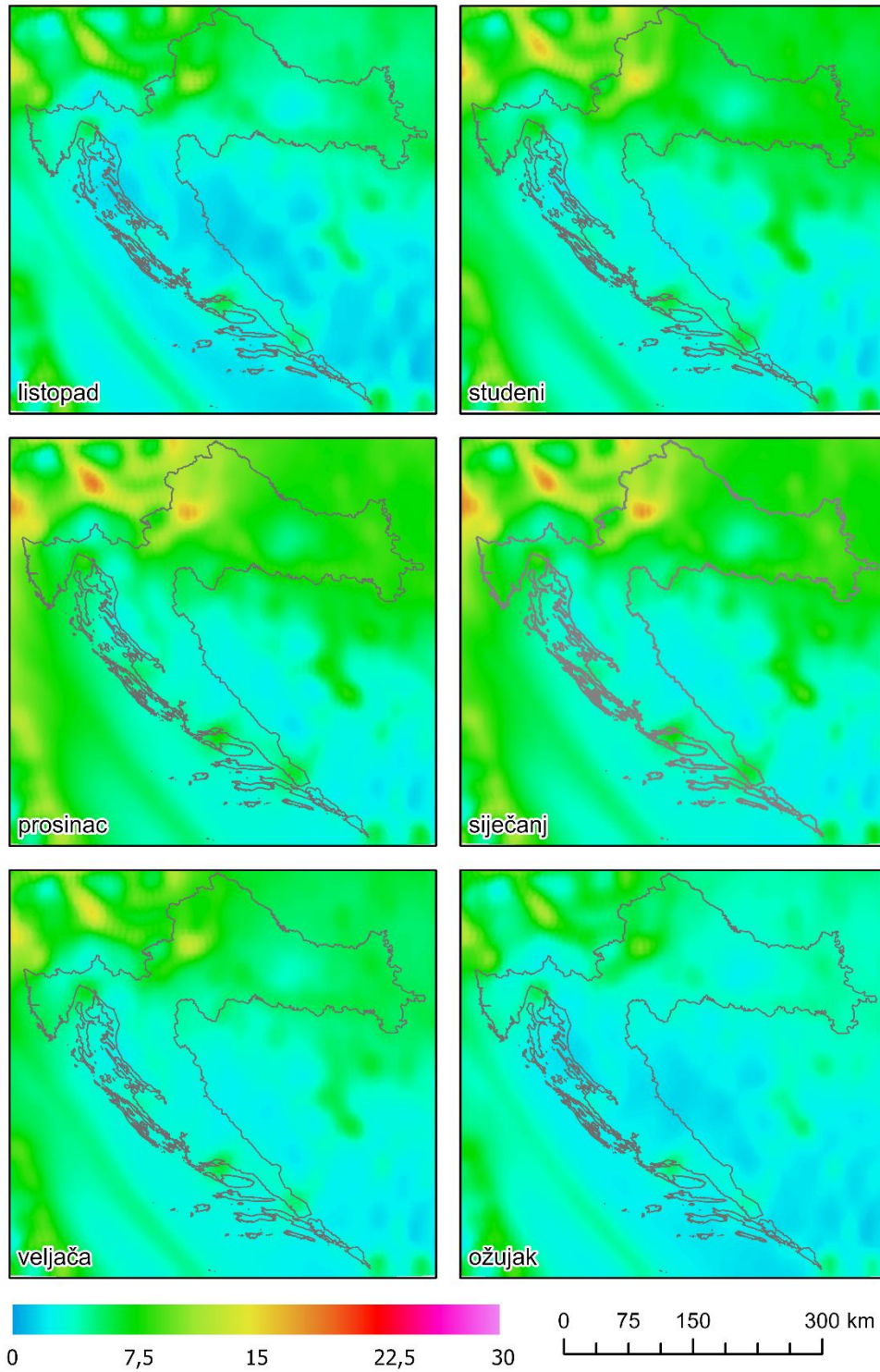


Slika 2.2.8 Prostorna raspodjela prizemnih srednjih godišnjih koncentracija NO₂ (µg/m³) na području Hrvatske u razdoblju od 2016. – 2020. godine dobivena LOTOS-EUROS kemijskim transportnim modelom



Slika 2.2.9 Prostorna raspodjela prizemnih srednjih mjesečnih koncentracija NO_2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) na području Hrvatske u razdoblju od 2016. – 2020. godine (petogodišnji prosjek, travanj – rujanj) dobivena LOTOS-EUROS kemijskim transportnim modelom

Prostorna raspodjela prizemnih srednjih mjesečnih koncentracija dušikovog dioksida za promatrani period pokazuje sezonalni karakter (Slika 2.2.9 i Slika 2.2.10). Koncentracije su više tijekom zimskog dijela godine, posebno u kopnenom dijelu zemlje te uz značajnije jadranske luke. Na slikama se mogu razabrati i glavni cestovni i pomorski prometni pravci.



Slika 2.2.10 Prostorna raspodjela prizemnih srednjih mjesečnih koncentracija NO₂ (µg/m³) na području Hrvatske u razdoblju od 2016. – 2020. godine (petogodišnji prosjek, listopad – ožujak) dobivena LOTOS-EUROS kemijskim transportnim modelom



Ocjena sukladnosti zona i aglomeracija s okolišnim ciljevima

Kriteriji kvalitete zraka s obzirom na zaštitu zdravlja ljudi zadovoljeni su u svim zonama te u aglomeracijama HR OS, HR RI i HR ST te je zrak bio I kategorije. U zoni HR ZG, 2016., 2017., 2018. i 2019. godine na postaji Zagreb-1 prekoračena je srednja godišnja granična vrijednost dušikovog dioksida te je zrak bio II kategorije.



U svim zonama zadovoljeni su kriteriji kvalitete zraka za zaštitu vegetacije u razdoblju 2016. – 2020. godine. Razine onečišćenosti za zaštitu vegetacije u zonama HR 02, HR 04 i HR 05 dane su ekspertnom procjenom na osnovu rezultata kemijskog transportnog modela te rezultata mjerenja na ruralnim pozadinskim postajama u zonama HR 01 i HR 03.

U aglomeraciji HR ZG prekoračen je gornji prag procjene, a u aglomeracijama HR OS i HR ST prekoračen je donji prag procjene u promatranom razdoblju.

Ocjena sukladnosti s okolišnim ciljevima te razina onečišćenosti u zoni HR 05 dana je ekspertnom procjenom na osnovu rezultata kemijskog transportnog modela te rezultata mjerenja u zoni HR 04.

Tijekom promatranog petogodišnjeg razdoblja, prag upozorenja za dušikov dioksid nije niti jednom prekoračen tri sata uzastopno.

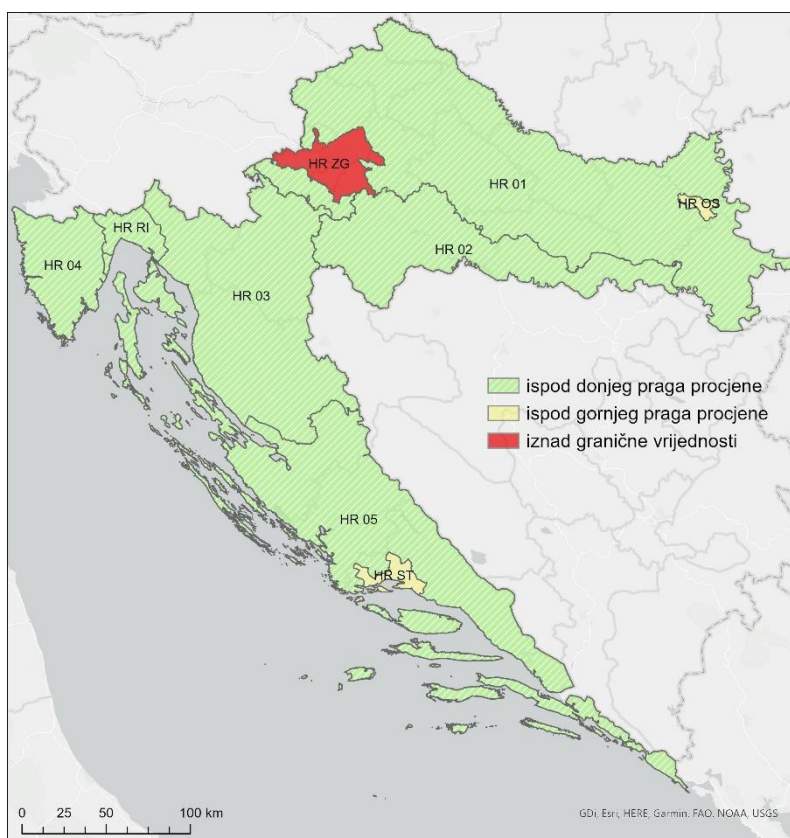
Tablica 2.2.7 Razine onečišćenosti zraka određene prema pragovima procjene te ocjena onečišćenosti za NO₂ s obzirom na zaštitu zdravlja ljudi. Crvenom bojom označena je nesukladnost s ciljevima zaštite okoliša – prekoračenje GV, zelena boja označava sukladnost s ciljevima zaštite okoliša – nije prekoračena GV, dok je sivom označena neocijenjena zona ili aglomeracija

NO ₂ – zaštita zdravlja ljudi		
Zona / aglomeracija	Razina onečišćenosti	Ocjena onečišćenosti (sukladnosti)
HR ZG	>GPP	
HR OS	<GPP	
HR RI	<DPP	
HR ST	<GPP	
HR 01	<DPP	
HR 02	<DPP	
HR 03	<DPP	
HR 04	<DPP	
HR 05	<DPP	



Tablica 2.2.8 Razine onečišćenosti zraka određene prema pragovima procjene te ocjena onečišćenosti za NO_x s obzirom na zaštitu vegetacije. Crvenom bojom označena je nesukladnost s ciljevima zaštite okoliša – prekoračenje kritične razine, zelena boja označava sukladnost s ciljevima zaštite okoliša – nije prekoračena kritična razina, dok je sivom označena neocijenjena zona ili aglomeracija

NO_x – zaštita vegetacije		
Zona	Razina onečišćenosti	Ocjena onečišćenosti (sukladnosti)
HR 01	<DPP	●
HR 02	<DPP	●
HR 03	<DPP	●
HR 04	<DPP	●
HR 05	<DPP	●



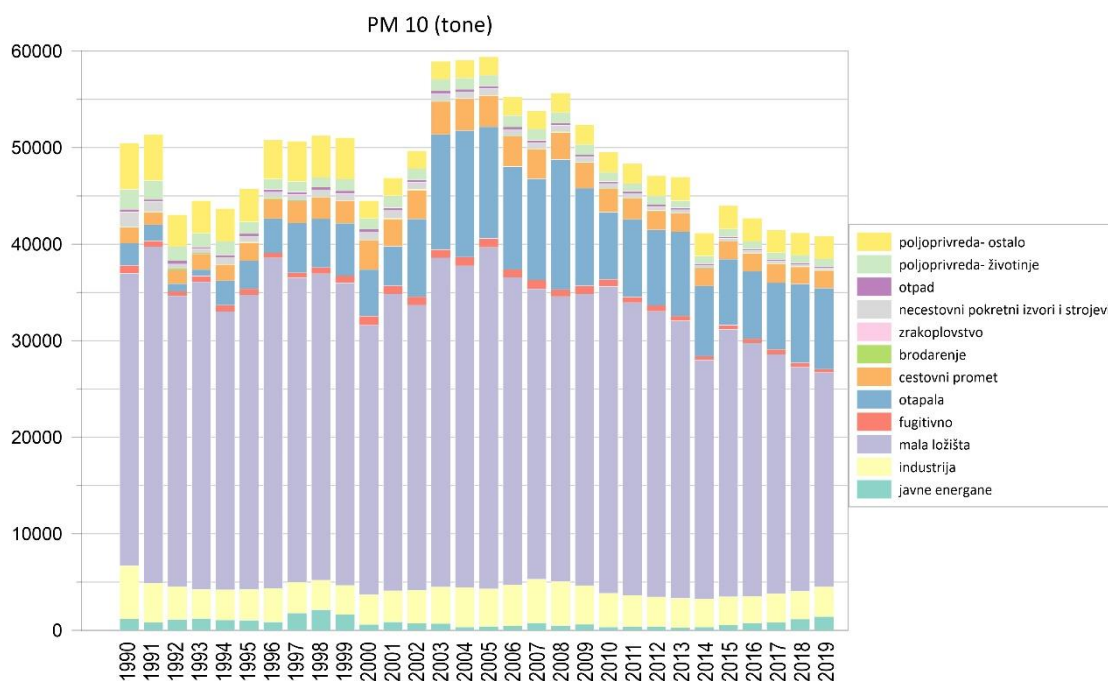
Slika 2.2.11 Kartogram ocjena razina onečišćenosti s NO_2 po svim zonama i aglomeracijama obzirom na zaštitu zdravlja ljudi



2.3. Lebdeće čestice promjera manjeg od 10 µm, PM₁₀

Izvori i emisije PM₁₀

Lebdeće čestice su mješavina kemijskih spojeva, vodene pare i drugih krutih primjesa različitih veličina i sastava. Po svojim svojstvima i značaju najčešće ih dijelimo na one kojima je aerodinamički promjer manji od 1 µm, 2.5 µm i 10 µm. Krupnije čestice se zadržavaju u gornjim dijelovima respiratornog sustava dok sitnije čestice mogu doći i do krvožilnog sustava. Izvori emisija lebdećih čestica su mnogobrojni, mogu nastati prirodnim putem, emisijom iz poznatih izvora, ali i kemijskim reakcijama u atmosferi (sekundarni procesi stvaranja lebdećih čestica). Prirodni izvori uključuju morską sol, prašinu, šumske požare i vulkanski pepeo, dok antropogeni izvori, koji su dominantni u urbaniziranim područjima, nastaju zbog izgaranja fosilnih goriva i biomase iz kućnih i drugih ložišta, motora s unutarnjim izgaranjem, pri prometovanju vozila (trošenje ceste, guma, kočionih elemenata), pri spaljivanju otpada, u poljoprivredi i drugim aktivnostima. U prekomjernoj količini lebdeće čestice imaju nepovoljan utjecaj na ljudsko zdravlje.

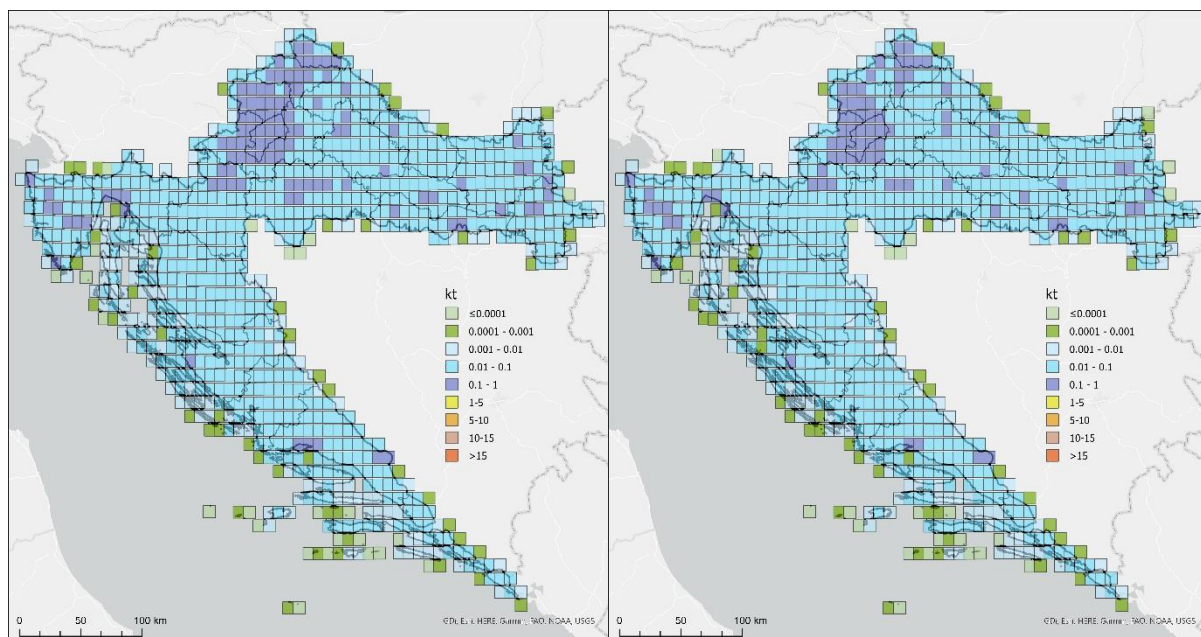


Slika 2.3.1 Emisije PM₁₀ u Hrvatskoj raspodijeljene po GNFR sektorima u razdoblju 1990. – 2019. godine izražene u tonama

Emisije lebdećih čestica promjera manjeg od 10 µm posljednjih 15 godina su u padu, nakon sredine dvijetisućitih, kad emisije u Hrvatskoj imaju maksimum s gotovo 60 kt godišnje. Više od polovice godišnjih emisija otpada na mala kućna ložišta (između 23 i 35 kt godišnje). Drugi najveći izvor dolazi iz sektora otapala, s prosječno 8 kt posljednjih desetak godina. Emisije iz industrijskog sektora (oko 3 kt godišnje) i cestovnog prometa (oko 2 kt



godišnje) malo su se mijenjale u posljednjih 10 godina, dok su se znatno povećale emisije iz sektora javnih energana, između 2010. i 2019. godine s 0.4 kt godišnje na prosječno 1.4 kt godišnje (Slika 2.3.1).

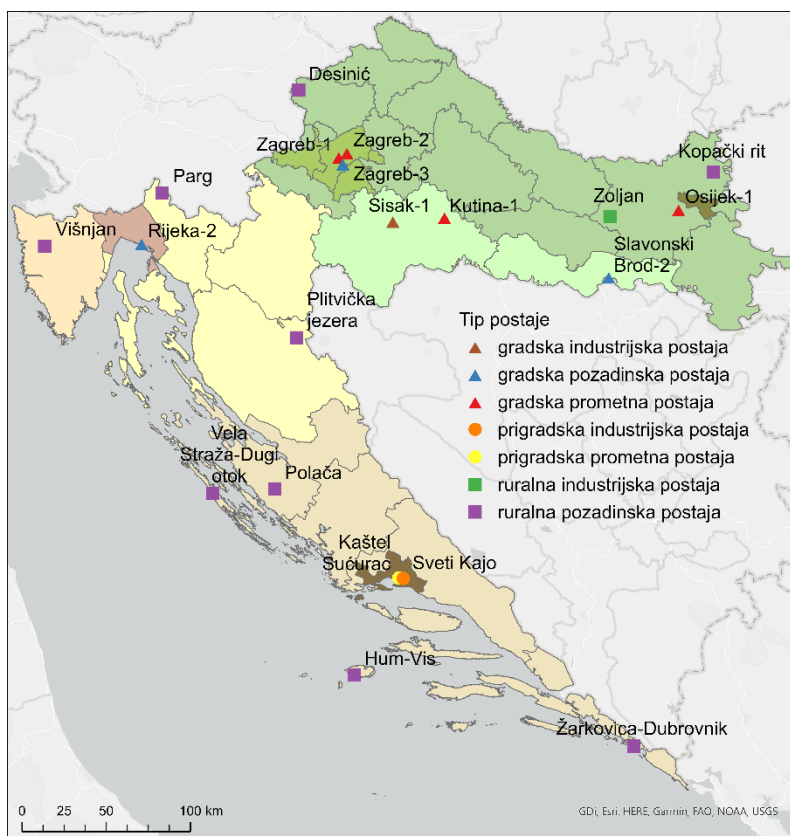


Slika 2.3.2 Prostorna razdioba emisija PM_{10} na području Hrvatske u 2015. godini (slika lijevo) i 2019. godini (slika desno)

Prema prostornoj razdiobi emisija lebdećih čestica PM_{10} , uočava se da je njihovom emisijom najviše opterećen sjeverozapadni dio zemlje, područja većih gradova, posebno područje aglomeracije Zagreb, te pojedini dijelovi kopnenih krajeva Hrvatske. Najvećim dijelom riječ je o emisijama iz malih kućnih ložišta pa se i količina emisija najvećim dijelom podudara s gustoćom naseljenosti. Emisijama lebdećih čestica najmanje su opterećena područja jadranskih otoka. Iz prostorne razdiobe vidi se i kako su emisije u 2019. godini niže u odnosu na 2015. godinu (Slika 2.3.2).

Mjerenja i obuhvat podataka

U Republici Hrvatskoj na postajama državne mreže za trajno praćenje kvalitete zraka koncentracije lebdećih čestica mjere se na pozadinskim i gradskim postajama u aglomeracijama Zagreb, Osijek, Rijeka i Split te u svim zonama HR 01, HR 02, HR 03, HR 04 i HR 05. Mjerenja se provode pomoću automatskih analizatora kontinuirano i primjenom referentne gravimetrijske metode za određivanje dnevnih vrijednosti razina koncentracija (Slika 2.3.3).



Slika 2.3.3 Prostorni raspored postaja na kojima se provode mjerenja koncentracija lebdećih čestica PM₁₀

U tablici (Tablica 2.3.1) prikazan je obuhvat podataka mjerenja na svim postajama u razdoblju 2016. – 2020. godine. Na većini postaja državne mreže za trajno praćenje kvalitete zraka obuhvat podataka je veći od 85 %. Sivom bojom u tablici su naznačene vrijednosti obuhvata u godinama kad je obuhvat bio nedovoljan za objektivnu analizu (< 85 %). Na postajama Rijeka-2, Hum i Polača u cijelom promatranom razdoblju obuhvat je manji od 85 %. Za analizu su uzete u obzir one postaje na kojima je obuhvat podataka bio najmanje 50 – 75 % pri čemu su godine u kojima nije bilo traženog obuhvata izostavljene. Na sve podatke mjerenja, prethodno analizi, primijenjena je korekcija vrijednosti prema referentnoj gravimetrijskoj metodi.



Tablica 2.3.1 Obuhvat podataka mjerenja koncentracija PM₁₀ na analiziranim postajama u razdoblju 2016. – 2020. godine. Sivom bojom je označen obuhvat manji od 85 %, a (–) označene su godine u kojima nije bilo mjerenja

Automatski analizatori						
Zona/aglomeracija	Postaja	2016	2017	2018	2019	2020
HR ZG	Zagreb-1	98	97	96	97	95
	Zagreb-2	98	93	98	94	41
	Zagreb-3	93	92	96	88	77
HR OS	Osijek-1	96	96	84	97	94
HR RI	Rijeka-2	80	73	40	–	21
HR 01	Desinić	71	86	83	78	95
	Kopački rit	85	89	86	86	90
	Zoljan	95	93	92	94	91
HR 02	Kutina-1	85	79	86	81	6
	Sisak-1	89	95	97	95	92
	Slavonski Brod-2	99	100	95	69	25
HR 03	Parg	74	99	89	92	97
	Plitvička jezera	90	84	73	76	90
HR 04	Višnjan	89	89	89	91	99
HR 05	Hum (otok Vis)	81	76	37	76	83
	Polača (Ravni kotari)	73	69	65	77	76
	Vela straža (Dugi otok)	91	92	85	88	95
	Žarkovica (Dubrovnik)	86	93	86	–	–
Gravimetrijska metoda						
Zona/aglomeracija	Postaja	2016	2017	2018	2019	2020
HR ZG	Zagreb-1	100	96	100	100	99
	Zagreb-3	98	100	96	91	99
HR ST	Split-1	100	100	100	100	99
	AMS1 Kaštel Sućurac	100	100	100	100	100
	AMS2 Sveti Kajo	100	100	93	100	–
HR 02	Kutina-1	–	100	100	100	96
	Sisak-1	98	100	96	100	100

Analiza rezultata mjerenja lebdećih čestica PM₁₀

Granične vrijednosti za srednje dnevne i godišnje koncentracije definirane su Uredbom o razinama onečišćujućih tvari u zraku (NN 77/20). Prema Uredbi, srednja dnevna vrijednost koncentracija ne smije prijeći 50 µg/m³ više od 35 puta u jednoj godini, dok je granica za srednju godišnju vrijednost koncentracija 40 µg/m³. Gornji prag procjene koncentracija



određen je kao 70 % iznosa granične vrijednosti, a donji prag procjene kao 50 %. Učestalost dozvoljenih prekoračenja za pragove procjene također je 35 puta u godini.

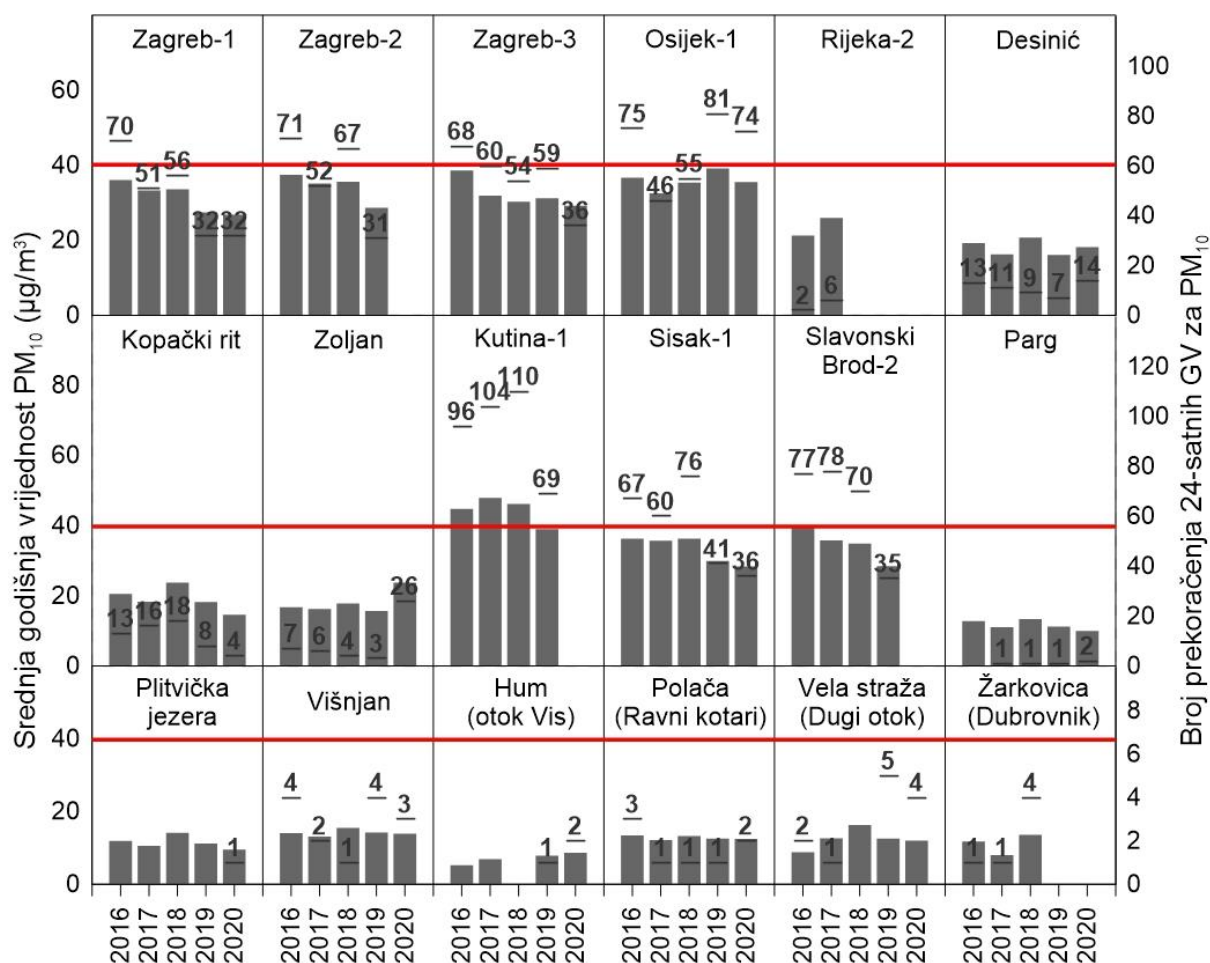
U tablici (Tablica 2.3.2) prikazane su srednje godišnje vrijednosti koncentracija PM₁₀ za razdoblje 2016. – 2020. godine. U istoj tablici prikazana su prekoračenja donjeg i gornjeg praga procjene obzirom na srednju godišnju vrijednost koncentracije.

Tablica 2.3.2 Srednje godišnje vrijednosti PM₁₀ koncentracija za razdoblje 2016. – 2020. godine. Prekoračenja donjeg praga procjene (20 µg/m³) označena su svijetlo plavom, a gornjeg tamno plavom bojom (28 µg/m³). Zvezdicom (*) su naznačene godine u kojima nije bio zadovoljen obuhvat podataka. Oznaka (- *) označava da podataka ima, ali su izostavljeni jer je obuhvat nezadovoljavajući dok (-) označava da nije bilo mjerenja. Crvenom bojom označeno je prekoračenje srednje godišnje koncentracije

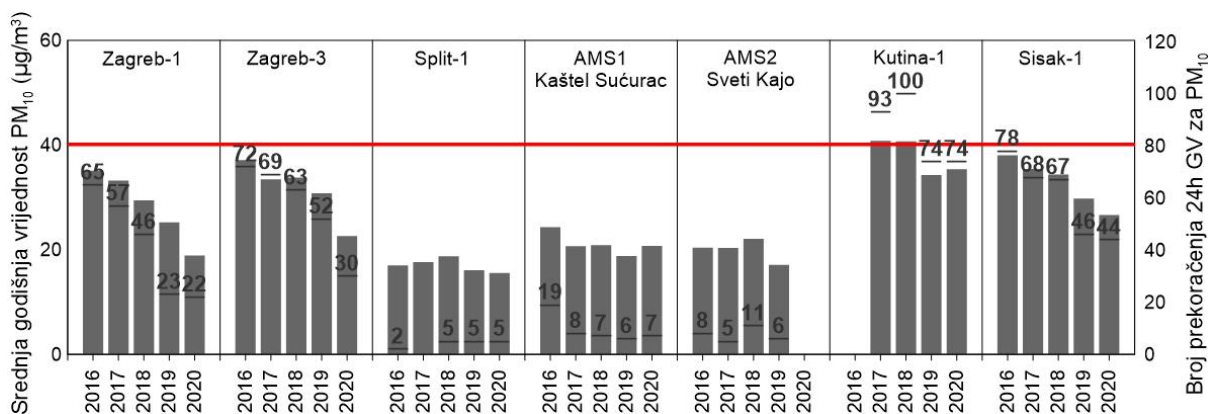
Automatski analizatori						
Zona/aglomeracija	Postaja	2016	2017	2018	2019	2020
HR ZG	Zagreb-1	36.08	33.27	33.59	27.47	26.79
	Zagreb-2	37.45	35.11	35.61	28.68	- *
	Zagreb-3	38.61	31.87	30.31	31.19	29.21*
HR OS	Osijek-1	36.71	32.50	35.41*	39.17	35.55
HR RI	Rijeka-2	21.24*	25.98*	- *	-	- *
HR 01	Desinić	19.23*	16.27	20.74*	16.11*	18.20
	Kopački rit	20.58	18.35	23.73	18.20	14.62
	Zoljan	16.77	16.22	17.84	15.66	23.77
HR 02	Kutina-1	44.79	47.93*	46.20	39.03*	- *
	Sisak-1	36.32	35.72	36.33	29.97	28.39
	Slavonski Brod-2	39.61	35.83	34.89	28.48*	- *
HR 03	Parg	12.76*	11.03	13.41	11.20	9.98
	Plitvička jezera	11.97	10.57*	14.12*	11.18*	9.51
HR 04	Višnjan	14.06	13.11	15.53	14.23	13.93
HR 05	Hum (otok Vis)	5.25*	6.96*	- *	7.89*	8.68*
	Polača (Ravni kotari)	13.44*	12.13*	13.26*	12.53*	12.50*
	Vela straža (Dugi otok)	8.82	12.61	16.32	12.57	12.02
	Žarkovica (Dubrovnik)	11.79	8.01	13.59	-	-
Gravimetrijska metoda						
Zona/aglomeracija	Postaja	2016	2017	2018	2019	2020
HR ZG	Zagreb-1	35.09	33.19	29.44	25.22	18.88
	Zagreb-3	37.11	33.44	33.77	30.76	22.61
HR ST	Split-1	16.99	17.61	18.71	16.08	15.53
	AMS1 Kaštel Sućurac	24.29	20.67	20.86	18.76	20.70
	AMS2 Sveti Kajo	20.40	20.31	22.08	17.11	-
HR 02	Kutina-1	-	40.79	40.67	34.27	35.35
	Sisak-1	38.04	35.42	34.37	29.76	26.61



Analiza koncentracija lebdećih čestica frakcije 10 μm na promatranim postajama ukazuje na prekoračenje srednje godišnje granične vrijednosti od 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ u razdoblju od 2016. do 2020. godine jedino u zoni HR 02. Srednje godišnje vrijednosti koncentracija prikazane su u tablici (Tablica 2.3.2) te na slikama (Slika 2.3.4 i Slika 2.3.5). Vrijednosti koncentracija očekivano su niže na ruralnim i prigradskim nego na gradskim postajama. Na pozadinskim postajama koncentracije lebdećih čestica su i znatno ispod godišnje granične vrijednosti: u rasponu 5 – 24 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Na gradskim postajama vrijednosti su u intervalu 27 – 48 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, s iznimkom nižih vrijednosti 16 – 26 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ na postaji Rijeka-2. Najniže koncentracije zabilježene su u zoni HR 05, a najviše u zoni HR 02 i aglomeracijama HR ZG i HR OS s naglaskom na Zagreb, Osijek, Kutinu, Sisak i Slavonski Brod.



Slika 2.3.4 Srednja godišnja vrijednost koncentracija PM_{10} (tamno sivo) i broj prekoračenja 24-satne granične vrijednosti (svijetlo sivo) prema mjerenjima automatskih analizatora. Srednja godišnja GV = 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. 24-satna GV = 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, a dozvoljen broj prekoračenja u godini je 35. Na svim postajama državne mreže za trajno praćenje kvalitete zraka provedena je korekcija izmjerenih vrijednosti prema referentnoj gravimetrijskoj metodi



Slika 2.3.5 Srednja godišnja koncentracija PM₁₀ (tamno sivo) i broj prekoračenja 24-satne dnevne granične vrijednosti (svijetlo sivo) prema referentnoj gravimetrijskoj metodi

Iz grafičkog prikaza izostavljena su godišnja razdoblja na postajama gdje nije bio zadovoljen obuhvat podataka kao primjerice postaja Hum u 2018. godini u kojoj je srednja koncentracija od 11.89 µg/m³ dobivena na samo 37 % podataka pa nije uzeta u obzir. Slično je i s postajom Kutina-1 u 2020. godini kad je obuhvat podataka bio samo 6 %. Postaje koje nisu imale traženi obuhvat podataka od 85 %, ali veći od 50 % su uzete u obzir, ali s posebnom pažnjom. Postaje Rijeka-2 2017. godine, Desinić i Parg 2016. te Polača 2016. – 2018. imaju približne srednje godišnje vrijednosti kao i godine s obuhvatom 75 – 85 %.

Na slikama (Slika 2.3.4 i Slika 2.3.5) te u tablici (Tablica 2.3.3) prikazan je i broj prekoračenja dnevne granične vrijednosti (GV = 50 µg/m³), što je drugi kriterij za lebdeće čestice PM₁₀ zadan prema Uredbi (NN 77/20). Dnevna granična vrijednost ne smije biti prekoračena više od 35 puta u kalendarskoj godini. Prema tom kriteriju, u razdoblju 2016. – 2020. srednja dnevna granična vrijednost prekoračena je na postajama Zagreb-1, Zagreb-2, Zagreb-3, Osijek-1, Kutina-1, Sisak-1 i Slavonski Brod-2 (Tablica 2.3.3). Kao i kod srednje godišnje koncentracije, na većini postaja primjećuje se smanjenje broja prekoračenja u promatranom razdoblju, no na karakterističnim mjestima, u zoni HR 02 te u aglomeracijama HR ZG i HR OS lebdeće čestice i dalje predstavljaju značajan problem te je zrak na tim područjima ocijenjen kao onečišćen, odnosno II kategorije.

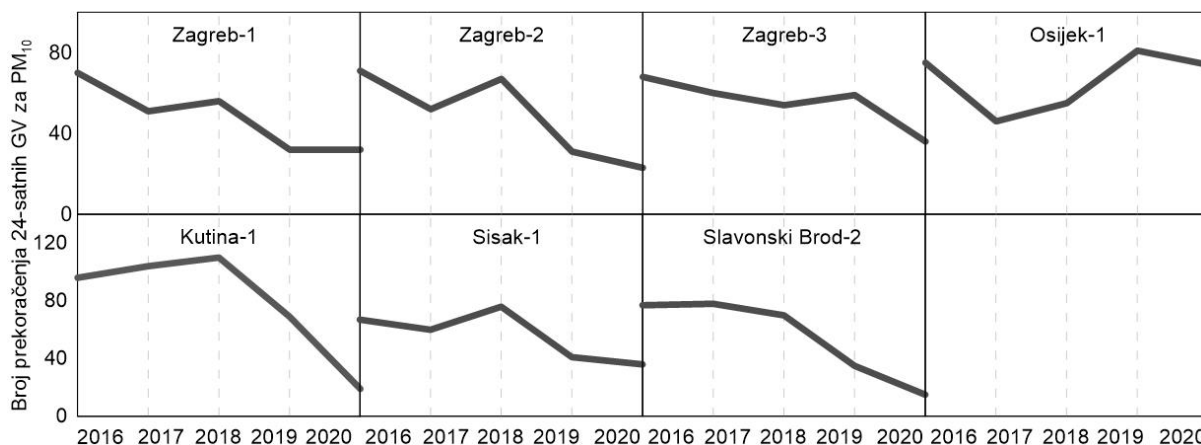
Na slici (Slika 2.3.6) su prikazane postaje za koje je u najmanje jednoj godini promatranog razdoblja prekoračen dozvoljeni broj dana (35) sa srednjom dnevnom vrijednošću višom od 50 µg/m³. Riječ je uglavnom o gradskim postajama, unutar gušće naseljenih područja. Najveći broj prekoračenja 24-satne GV prema automatskim mjeracima, 110, bilježi postaja Kutina-1 u 2018. godini (Slika 2.3.4). Prema gravimetrijskim podacima srednja dnevna GV najviše puta prekoračena je u Kutini (100 puta) u 2018. godini kad je dozvoljeni broj prekoračenja premašen gotovo 3 puta (Slika 2.3.5).



Uvidom u gravimetrijske podatke vidljivo je kako se ukupno onečišćenje lebdećim česticama postepeno smanjuje od 2016. do 2020. godine, iako u gradovima (Zagreb, Sisak, Kutina) koncentracije PM₁₀ i dalje ostaju izvan dozvoljenih graničnih vrijednosti (Slika 2.3.5).

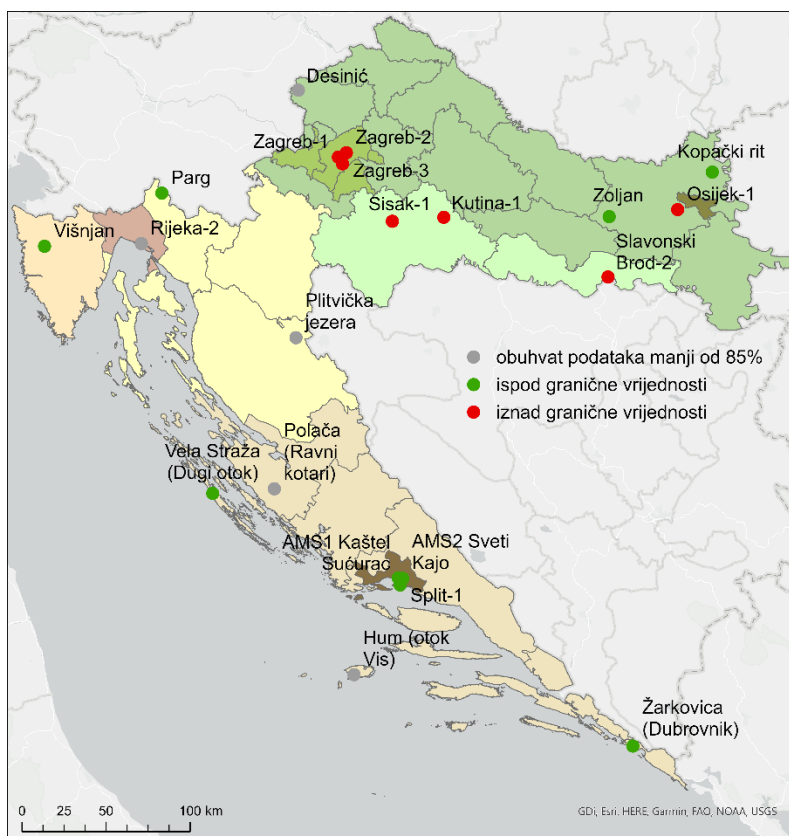
Tablica 2.3.3 Broj prekoračenja 24-satne granične vrijednosti (50 µg/m³, dozvoljeno 35) za razdoblje 2016. – 2020. godine za PM₁₀ izmjerenih automatskim mjerenjima i PM₁₀ iz gravimetrijski određenih koncentracija. Prekoračene vrijednosti su označene crvenom bojom, a zvjezdicom (*) obuhvat manji od 85 %. Oznaka (– *) označava da podataka ima, ali su izostavljeni jer je obuhvat nezadovoljavajući dok (–) označava da nije bilo mjerenja

Automatski analizatori						
Zona/aglomeracija	Postaja	2016	2017	2018	2019	2020
HR ZG	Zagreb-1	70	51	56	32	31
	Zagreb-2	71	52	67	31	– *
	Zagreb-3	68	60	54	59	37*
HR OS	Osijek-1	75	46	55*	81	77
HR RI	Rijeka-2	2*	6*	– *	–	– *
HR 01	Desinić	13*	11	9*	7*	14
	Kopački rit	13	16	18	8	5
	Zoljan	7	6	4	3	26
HR 02	Kutina-1	96	104*	110	69*	– *
	Sisak-1	67	60	76	41	36
	Slavonski Brod-2	77	78	70	35*	– *
HR 03	Parg	0*	1	1	1	2
	Plitvička jezera	0	0*	0*	0*	1
HR 04	Višnjan	4	2	1	4	3
HR 05	Hum (otok Vis)	0*	0*	– *	1*	2*
	Polača (Ravni kotari)	3*	1*	1*	1*	2*
	Vela straža (Dugi otok)	2	1	0	5	3
	Žarkovica (Dubrovnik)	1	1	4	–	–
Gravimetrijska metoda						
Zona/aglomeracija	Postaja	2016	2017	2018	2019	2020
HR ZG	Zagreb-1	65	57	46	23	22
	Zagreb-3	72	69	63	52	30
HR ST	Split-1	2	0	5	5	5
	AMS1 Kaštel Sućurac	19	8	7	6	7
	AMS2 Sveti Kajo	8	5	11	6	–
HR 02	Kutina-1	–	93	100	74	74
	Sisak-1	78	68	67	46	44



Slika 2.3.6 Trend broja dana s prekoračenjem srednje dnevne granične vrijednosti. Na slici su prikazane one postaje za koje je u najmanje jednoj godini iz promatranog razdoblja 2016. – 2020. prekoračen dozvoljen broj dana (35) s 24-satnom srednjom vrijednošću iznad $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$

Sumarni rezultati analize prekoračenja srednje godišnje vrijednosti koncentracija i broja prekoračenja propisane srednje dnevne vrijednosti za PM_{10} ukazuju na postojanje prekoračenja u zoni HR 02 (Sisak, Kutina i Slavonski Brod) te u aglomeracijama HR ZG i HR OS. U zonama HR 03, HR 04 i HR 05, kao i u aglomeraciji Rijeka nisu zabilježena prekoračenja srednje godišnje koncentracije niti je propisana srednja dnevna granična vrijednost bila prekoračena više od 35 puta u promatranom razdoblju 2016. – 2020. godine (Slika 2.3.7).



Slika 2.3.7 Prostorni prikaz mjernih postaja na kojima su izmjerena prekoračenja srednje godišnje vrijednosti PM_{10} ili je zabilježen broj dana s prekoračenjem dnevne granične vrijednosti od $50 \mu g/m^3$ veći od 35. Zelenom bojom označene su postaje na kojima nisu izmjerena prekoračenja, a crvenom, lokacije na kojima je prekoračenje zabilježeno

Rezultati analize s obzirom na donju i gornju granicu procjene

Prema srednjim godišnjim koncentracijama PM_{10} , gornji prag procjene (Tablica 2.3.2) prekoračen je u zoni HR 02 (Kutina-1, Sisak-1, Slavonski Brod-2) te u aglomeracijama HR ZG (Zagreb-1, Zagreb-2, Zagreb-3) i HR OS (Osijek-1). Donji prag procjene prekoračen je u aglomeraciji HR ST (Kaštel Sućurac) dok je u aglomeraciji HR RI (Rijeka-2) donji prag procjene obzirom na srednju godišnju koncentraciju prekoračen u dvije godine (2016. i 2017.) nakon čega nije bio zadovoljen obuhvat podataka.

Prema kriteriju za broj prekoračenja srednje dnevne koncentracije lebdećih čestica PM_{10} (Tablica 2.3.4 te Slika 2.3.8 i Slika 2.3.9) donji prag procjene prekoračen je u zonama HR 01 (Desinić, Kopački rit, Zoljan) i HR 02 (Kutina-1, Sisak-1, Slavonski Brod-2) te u aglomeracijama HR ZG (Zagreb-1, Zagreb-2, Zagreb-3), HR OS (Osijek-1) i HR ST (Split-1, Kaštel Sućurac, Sveti Kajo), dok je donji prag procjene u aglomeraciji HR RI (Rijeka-2) prekoračen u dvije od pet godina (2016. i 2017.), no u drugim godinama na postaji Rijeka-2 nije bio zadovoljen obuhvat podataka.



Tablica 2.3.4 Broj prekoračenja donjeg praga procjene ($25 \mu\text{g}/\text{m}^3$, dozvoljeno 35) za razdoblje 2016. – 2020. godine za srednju dnevnu vrijednost koncentracija PM_{10} . Prekoračene vrijednosti su označene svijetlo plavom bojom dok su sa zvjezdicom (*) označene postaje i razdoblja s nedovoljnim obuhvatom podataka (< 85 %). Oznaka (– *) označava da podataka ima, ali su izostavljeni jer je obuhvat nezadovoljavajući dok (–) označava da nije bilo mjerenja

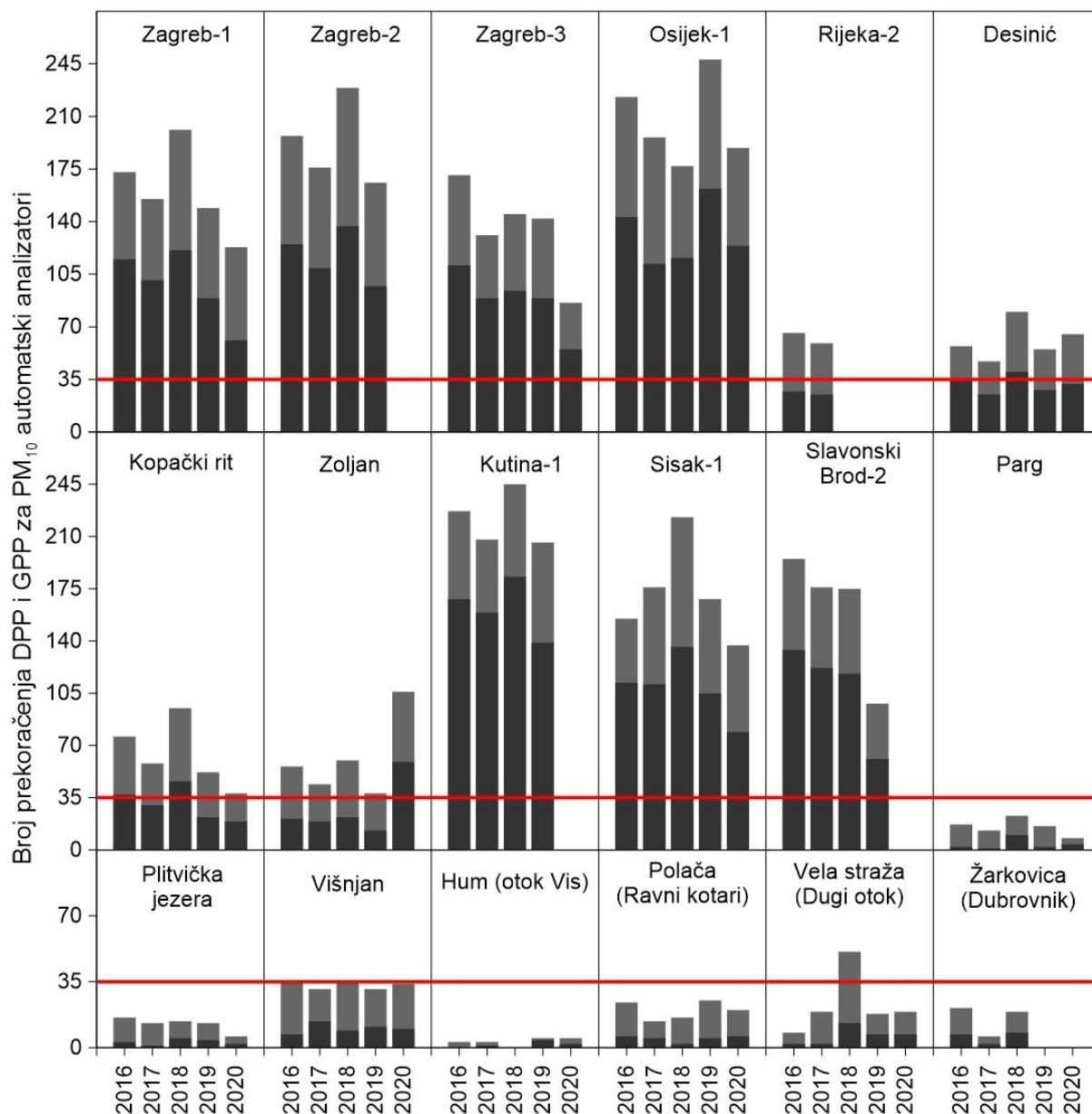
Automatski analizatori						
Zona/aglomeracija	Postaja	2016	2017	2018	2019	2020
HR ZG	Zagreb-1	173	155	201	149	123
	Zagreb-2	197	176	229	166	– *
	Zagreb-3	171	131	145	142	86*
HR OS	Osijek-1	223	196	177*	248	189
HR RI	Rijeka-2	66*	59*	– *	–	– *
HR 01	Desinić	57*	47	80*	55*	65
	Kopački rit	76	58	95	52	38
	Zoljan	56	44	60	38	106
HR 02	Kutina-1	227	208*	245	206*	– *
	Sisak-1	155	176	223	168	137
	Slavonski Brod-2	195	176	175	98*	– *
HR 03	Parg	17*	13	23	16	8
	Plitvička jezera	16	13*	14*	13*	6
HR 04	Višnjan	35	31	35	31	34
HR 05	Hum (otok Vis)	3*	3*	– *	5*	5*
	Polača (Ravni kotari)	24*	14*	16*	25*	20*
	Vela straža (Dugi otok)	8	19	51	18	19
	Žarkovica (Dubrovnik)	21	6	19	–	–
Gravimetrijska metoda						
Zona/aglomeracija	Postaja	2016	2017	2018	2019	2020
HR ZG	Zagreb-1	163	161	170	137	69
	Zagreb-3	175	153	189	159	98
HR ST	Split-1	55	56	72	39	41
	AMS1 Kaštel Sućurac	136	101	85	80	99
	AMS2 Sveti Kajo	92	100	109	58	–
HR 02	Kutina-1	–	213	228	194	189
	Sisak-1	190	182	189	173	128

Gornji prag procjene, prema istom kriteriju (Tablica 2.3.5, Slika 2.3.8 i Slika 2.3.9) prekoračen je u zoni HR 02 (Kutina-1, Sisak-1, Slavonski Brod-2) te u aglomeracijama HR ZG (Zagreb-1, Zagreb-2, Zagreb-3) i HR OS (Osijek-1). Prag procjene smatra se prekoračenim, ako je prekoračen u najmanje tri od pet promatranih godina.

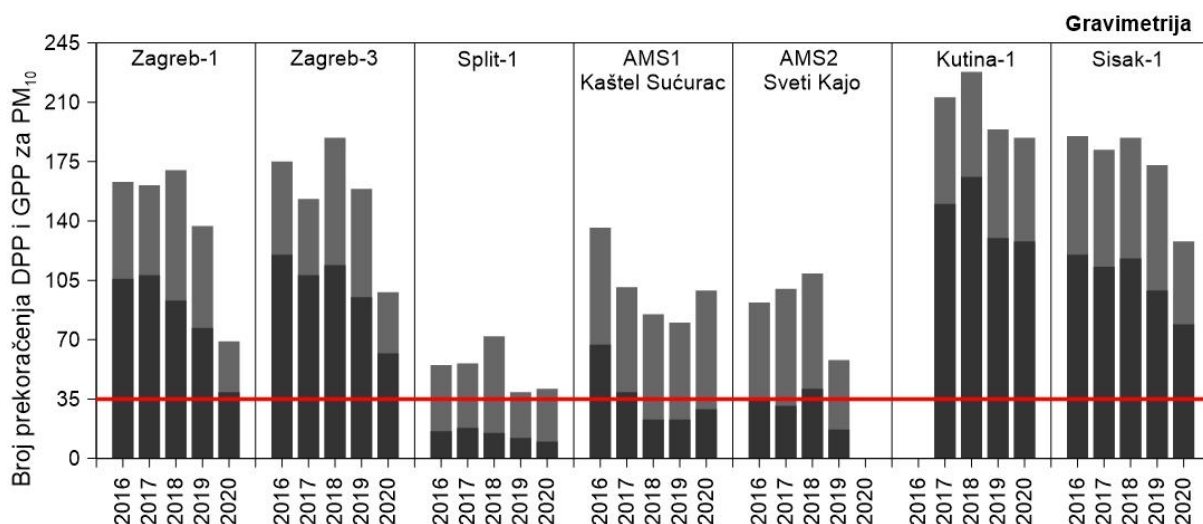


Tablica 2.3.5 Broj prekoračenja gornjeg praga procjene ($35 \mu\text{g}/\text{m}^3$, dozvoljeno 35) za razdoblje 2016. – 2020. godine za srednje dnevne vrijednosti koncentracije PM_{10} . Prekoračene vrijednosti su označene tamno plavom bojom dok su sa zvjezdicom (*) označene postaje i razdoblja s nedovoljnim obuhvatom podataka (< 85 %). Oznaka (– *) označava da podataka ima, ali su izostavljeni jer je obuhvat nezadovoljavajući dok (–) označava da nije bilo mjerenja

Automatski analizatori						
Zona/aglomeracija	Postaja	2016	2017	2018	2019	2020
HR ZG	Zagreb-1	115	101	121	89	61
	Zagreb-2	125	109	137	97	– *
	Zagreb-3	111	89	94	89	55*
HR OS	Osijek-1	143	112	116*	162	124
HR RI	Rijeka-2	27*	25*	– *	–	– *
HR 01	Desinić	34*	25	40*	28*	32
	Kopački rit	37	30	46	22	19
	Zoljan	21	19	22	13	59
HR 02	Kutina-1	168	159*	183	139*	– *
	Sisak-1	112	111	136	105	79
	Slavonski Brod-2	134	122	118	61*	– *
HR 03	Parg	2*	1	10	2	4
	Plitvička jezera	3	1*	5*	4*	2
HR 04	Višnjan	7	14	9	11	10
HR 05	Hum (otok Vis)	0*	1*	– *	4*	2*
	Polača (Ravni kotari)	6*	5*	2*	5*	6*
	Vela straža (Dugi otok)	2	2	13	7	7
	Žarkovica (Dubrovnik)	7	2	8	–	–
Gravimetrijska metoda						
Zona/aglomeracija	Postaja	2016	2017	2018	2019	2020
HR ZG	Zagreb-1	106	108	93	77	39
	Zagreb-3	120	108	114	95	62
HR ST	Split-1	16	18	15	12	10
	AMS1 Kaštel Sućurac	67	39	23	23	29
	AMS2 Sveti Kajo	36	31	41	17	–
HR 02	Kutina-1	–	150	166	130	128
	Sisak-1	120	113	118	99	79

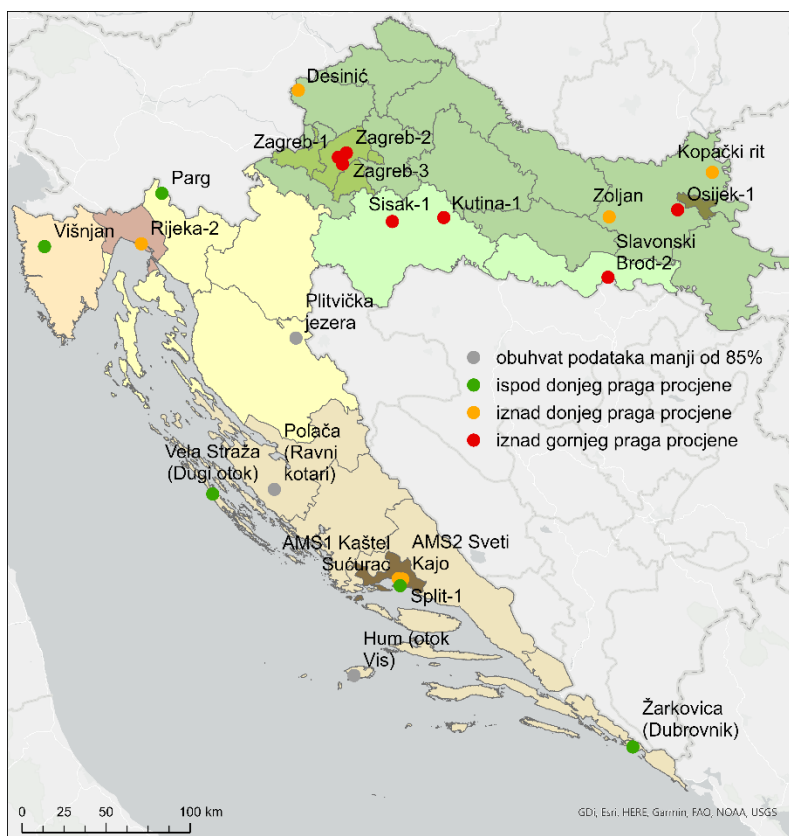


Slika 2.3.8 Broj prekoračenja gornjeg (tamno sivo) i donjeg praga procjene (svijetlo sivo) za PM₁₀ prema rezultatima automatskih mjerenja obzirom na srednju dnevnu koncentraciju lebdećih čestica PM₁₀ (automatska mjerenja)



Slika 2.3.9 Broj prekoračenja gornjeg (tamno sivo) i donjeg praga procjene (svijetlo sivo) za PM_{10} prema rezultatima automatskih mjerenja obzirom na srednju dnevnu koncentraciju lebdećih čestica PM_{10} (gravimetrija)

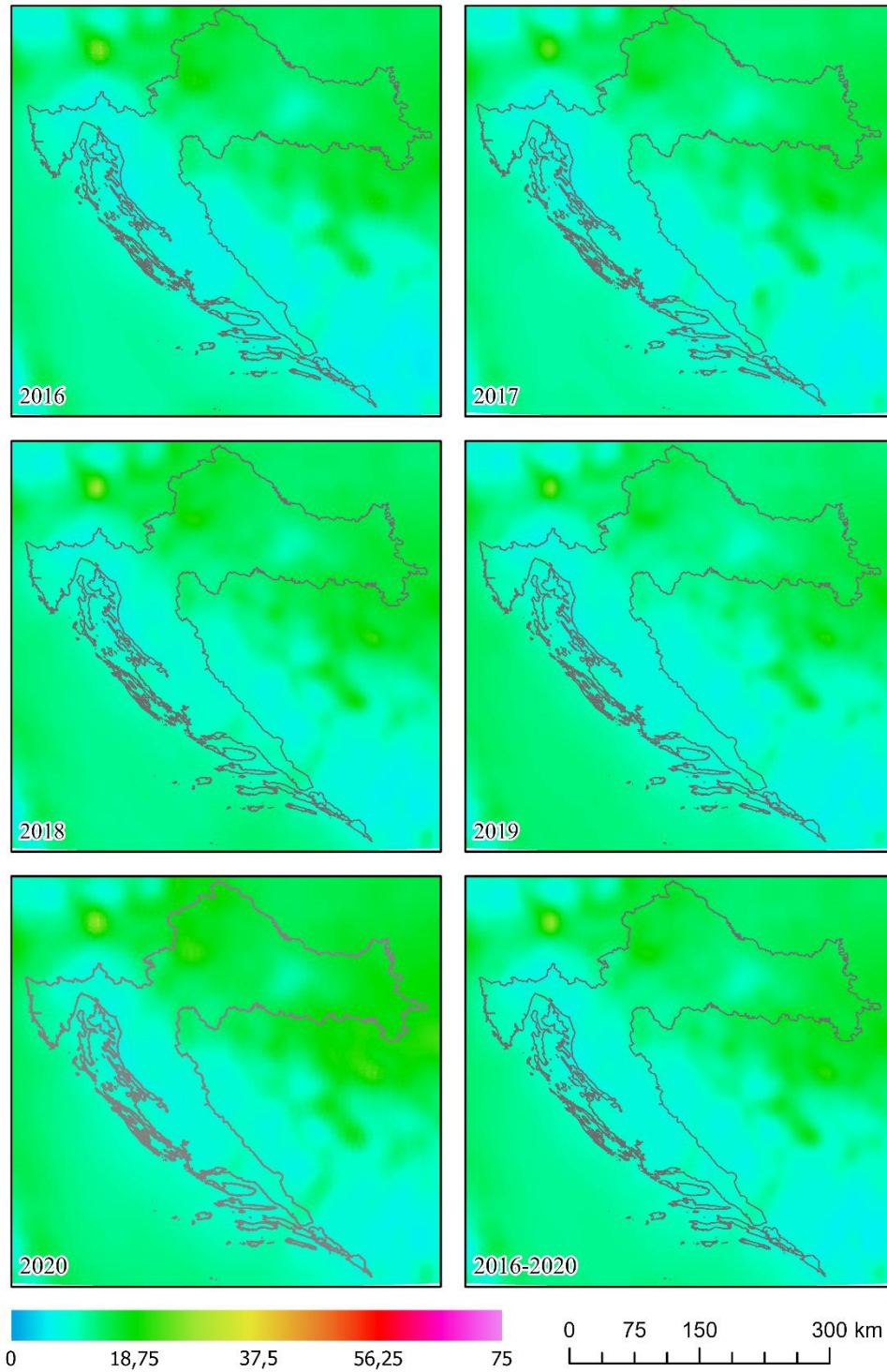
Sumarni rezultati analize gornjeg i donjeg praga procjene za PM_{10} prema raspoloživim mjerenjima prikazani su na slici (Slika 2.3.10). Gornji prag procjene prekoračen je u zoni HR 02 te u aglomeracijama HR ZG i HR OS. Razina onečišćenja u zoni HR 01 te u aglomeracijama HR ST i HR RI je ispod gornjeg praga procjene, dok je razina onečišćenja u zonama HR 03, HR 04 i HR 05 ispod donjeg praga procjene. Razina onečišćenja za aglomeraciju HR RI dana je na osnovu mjerenja u 2016. i 2017. godini te ekspertnom procjenom uzimajući u obzir razinu onečišćenja u aglomeraciji HR ST, kao aglomeraciji sa sličnim meteorološkim uvjetima i procijenjenom razinom onečišćenja prema raspoloživom emisijskom inventaru i rezultatima modeliranja.



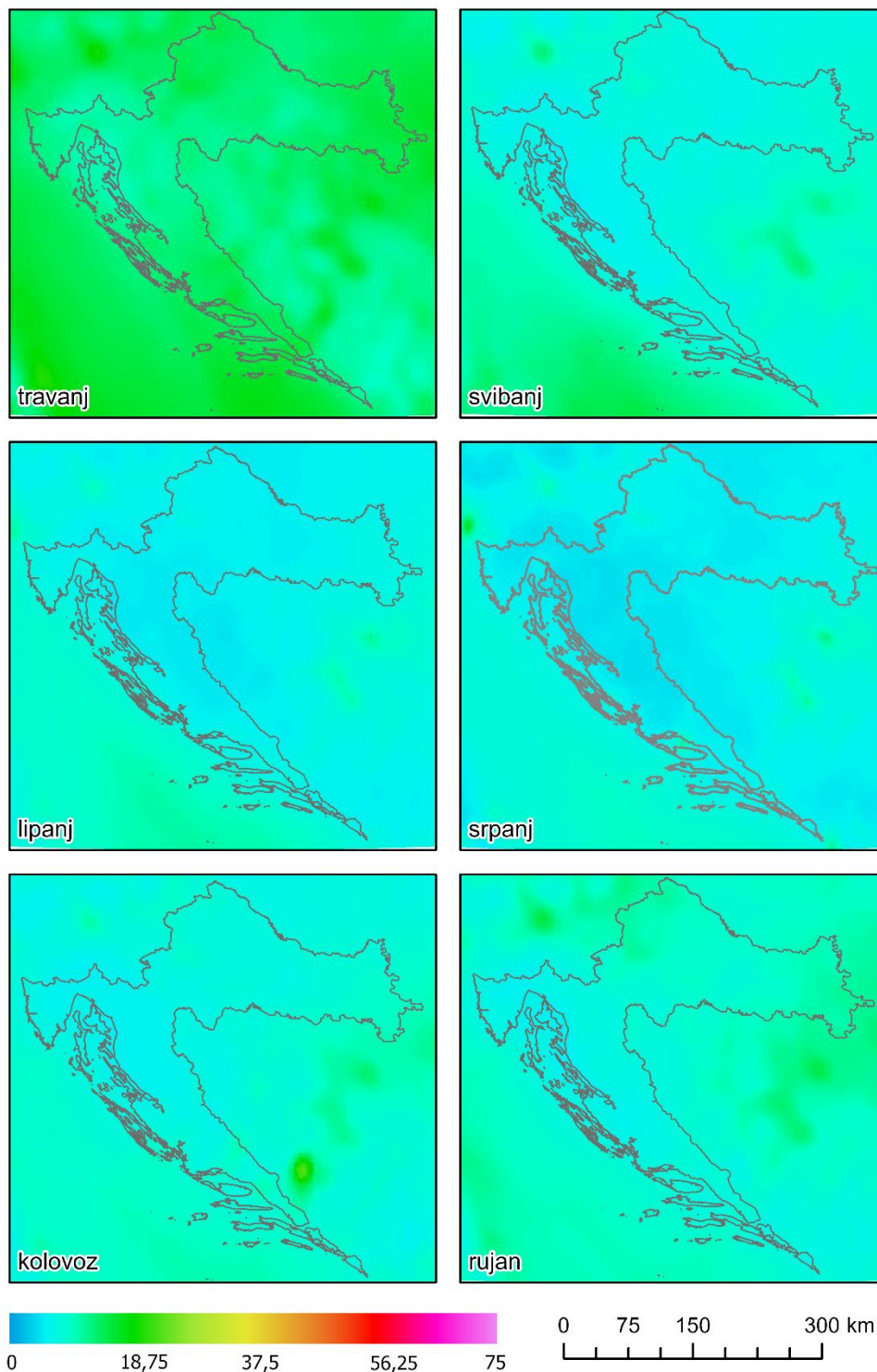
Slika 2.3.10 Gornji i donji prag procjene za PM₁₀ prema rezultatima mjerenja

Analiza modeliranih koncentracija PM₁₀

Prostornu razdiobu modeliranih prizemnih koncentracija lebdećih čestica PM₁₀ karakterizira regionalni karakter klimatskog podneblja. Najviše srednje godišnje koncentracije bilježe se u sjeverozapadnim kopnenim krajevima, te na istoku zemlje i u Posavini, na područjima uz granice sa susjednim zemljama Srbijom i Bosnom i Hercegovinom. Razlog za to su povećan pritisak emisija u gušće naseljenim područjima te emisije iz susjednih zemalja gdje se još uvijek koriste nedovoljno čista goriva u industrijskim procesima, te za ogrjev. Dodatno, kopneni krajevi Hrvatske, a posebno mjesta uz rijeke imaju tendenciju zadržavanja polutanata u prizemnom sloju za stabilnih meteoroloških situacija, osobito u zimskom dijelu godine, što povećava prizemne koncentracije. Za razliku od kopnenog dijela zemlje, obalni dio, kao i gorski krajevi nisu opterećeni lebdećim česticama u tolikoj mjeri. Na tim područjima, manje su emisije, a na Jadranu je izraženo i provjetranje tijekom godine zbog prisutnosti čestih i jakih vjetrova (bura, jugo). Nešto veće koncentracije od obalnog dijela mogu se vidjeti na otvorenom moru Jadrana za što je razlog pomorski promet i velike količine morske soli koju u zrak s morske površine raspršuje vjetar (Slika 2.3.11).

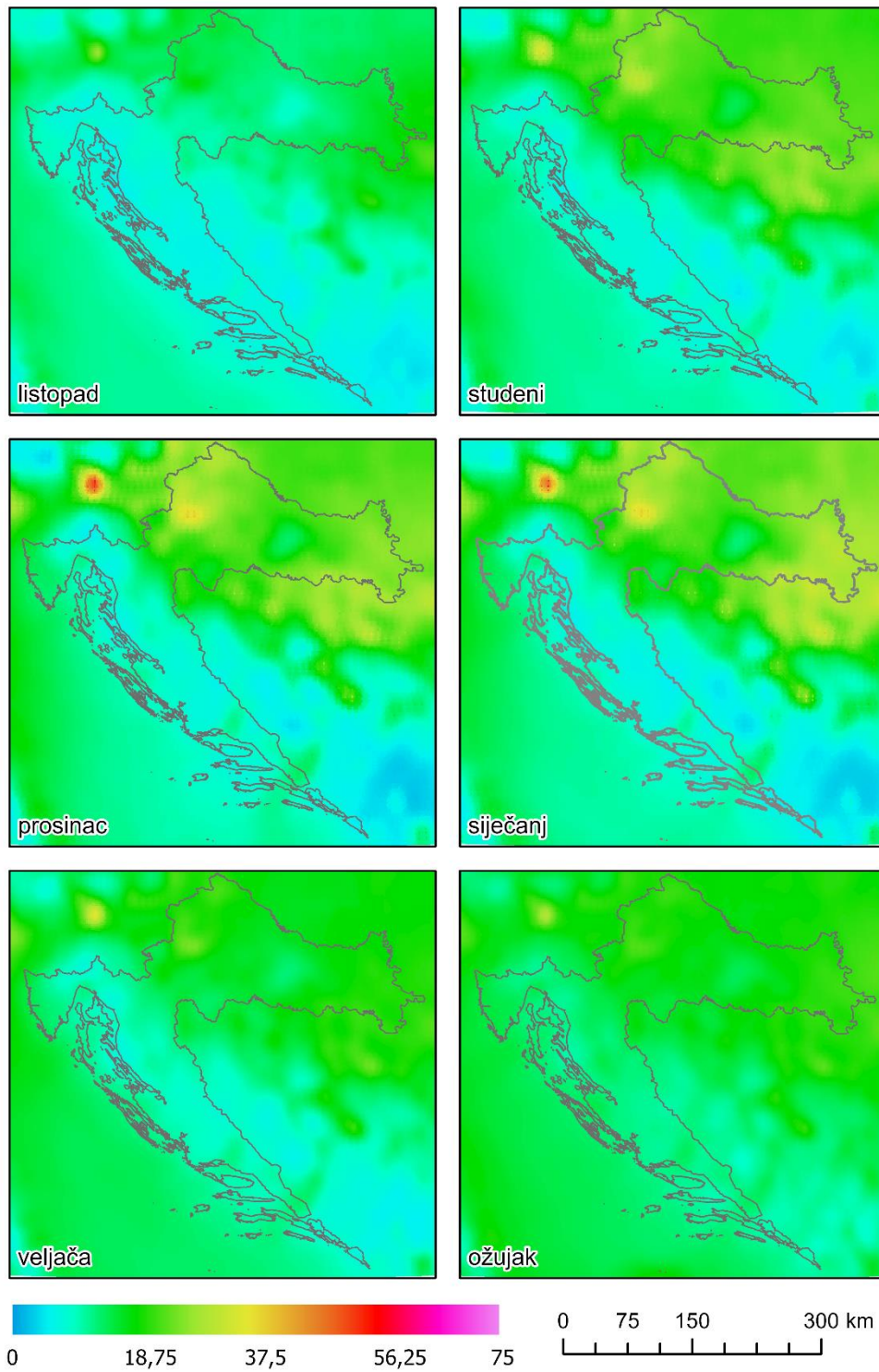


Slika 2.3.11 Prostorna raspodjela prizemnih srednjih godišnjih koncentracija PM₁₀ (µg/m³) na području Hrvatske u razdoblju od 2016. – 2020. godine dobivena LOTOS-EUROS kemijskim transportnim modelom



Slika 2.3.12 Prostorna raspodjela prizemnih srednjih mjesečnih koncentracija PM₁₀ (µg/m³) na području Hrvatske u razdoblju od 2016. – 2020. godine (petogodišnji prosjek, travanj – rujan) dobivena LOTOS-EUROS kemijskim transportnim modelom

Prostorna raspodjela prizemnih srednjih mjesečnih koncentracija PM₁₀ za promatrani period pokazuje izraženi sezonalni karakter. Srednje mjesečne koncentracije su znatno niže od godišnjeg prosjeka tijekom ljetnih mjeseci kada su koncentracije prilično uniformne i rijetko prelaze 10 µg/m³.



Slika 2.3.13 Prostorna raspodjela prizemnih srednjih mjesečnih koncentracija PM₁₀ (µg/m³) na području Hrvatske u razdoblju od 2016. – 2020. godine (petogodišnji prosjek, listopad – ožujak) dobivena LOTOS-EUROS kemijskim transportnim modelom



Tijekom zimskih mjeseci, srednje mjesečne koncentracije su znatno više od godišnjeg prosjeka te u prosincu i siječnju dosežu prosječne vrijednosti i do 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ na području aglomeracije Zagreb. Jedan od glavnih razloga za tako izraženu prostornu i vremensku razdiobu prizemnih koncentracija PM_{10} je što tijekom zime u kontinentalnom dijelu Hrvatske postoji snažan pritisak emisija iz sektora malih kućnih ložišta uz veliki promet i pogodne meteorološke uvjete (stabilna atmosfera) za akumulaciju onečišćenja.

Ocjena sukladnosti zona i aglomeracija s okolišnim ciljevima

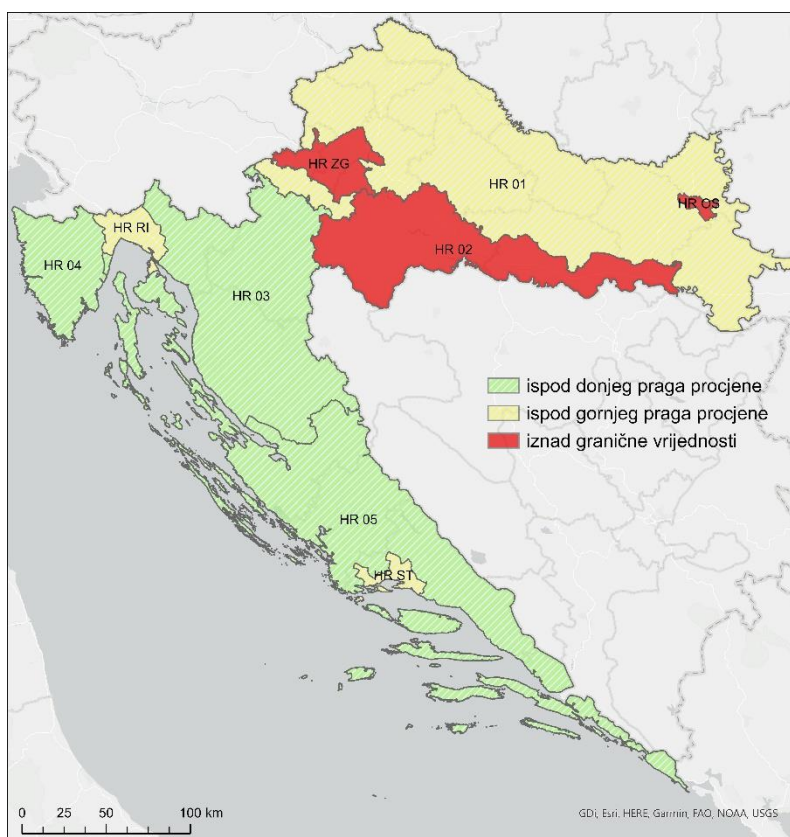
Srednja godišnja vrijednost PM_{10} prekoračena je u zoni HR 02 (Kutina-1). 24-satne koncentracije PM_{10} prekoračile su graničnu vrijednost više od 35 puta u aglomeracijama HR ZG (Zagreb-1, Zagreb-2, Zagreb-3) te HR OS (Osijek-1) i zoni HR 02 (Kutina-1, Sisak-1, Slavonski Brod-2). Aglomeracije HR ZG i HR OS te zona HR 02 nesukladne su s graničnom vrijednošću PM_{10} obzirom na zaštitu zdravlja ljudi te je zrak bio II kategorije. Kriteriji kvalitete zraka s obzirom na zaštitu zdravlja ljudi zadovoljeni su u aglomeracijama HR RI i HR ST te u zonama HR 01, HR 03, HR 04 i HR 05 je zrak u promatranom petogodišnjem razdoblju 2016. – 2020. bio I kategorije.

U aglomeracijama HR ZG i HR OS te u zoni HR 02 prekoračen je gornji prag procjene. U aglomeracijama HR RI i HR ST te u zoni HR 01 razina onečišćenja u razdoblju 2016. – 2020. je bila ispod gornjeg praga procjene, pri čemu je razina onečišćenja u aglomeraciji HR RI procijenjena ekspertno uzimajući u obzir mjerenja u 2016. i 2017. godini, vrijednosti dobivene procjenom kemijskog transportnog modela, razdiobu emisija te razinu onečišćenja u aglomeraciji HR ST, kao aglomeraciji s najslabijim meteorološkim uvjetima. U zonama HR 03, HR 04 i HR 05 razina onečišćenja u promatranom petogodišnjem razdoblju je ispod donjeg praga procjene (Tablica 2.3.6 i Slika 2.3.14).



Tablica 2.3.6 Razine onečišćenosti zraka određene prema pragovima procjene te ocjena onečišćenosti za NO_2 s obzirom na zaštitu zdravlja ljudi. Crvenom bojom označena je nesukladnost s ciljevima zaštite okoliša – prekoračenje GV, zelena boja označava sukladnost s ciljevima zaštite okoliša – nije prekoračena GV, dok je sivom označena neocijenjena zona ili aglomeracija

PM ₁₀ – zaštita zdravlja ljudi		
Zona / aglomeracija	Razina onečišćenosti	Ocjena onečišćenosti (sukladnosti)
HR ZG	>GPP	●
HR OS	>GPP	●
HR RI	<GPP	●
HR ST	<GPP	●
HR 01	<GPP	●
HR 02	>GPP	●
HR 03	<DPP	●
HR 04	<DPP	●
HR 05	<DPP	●



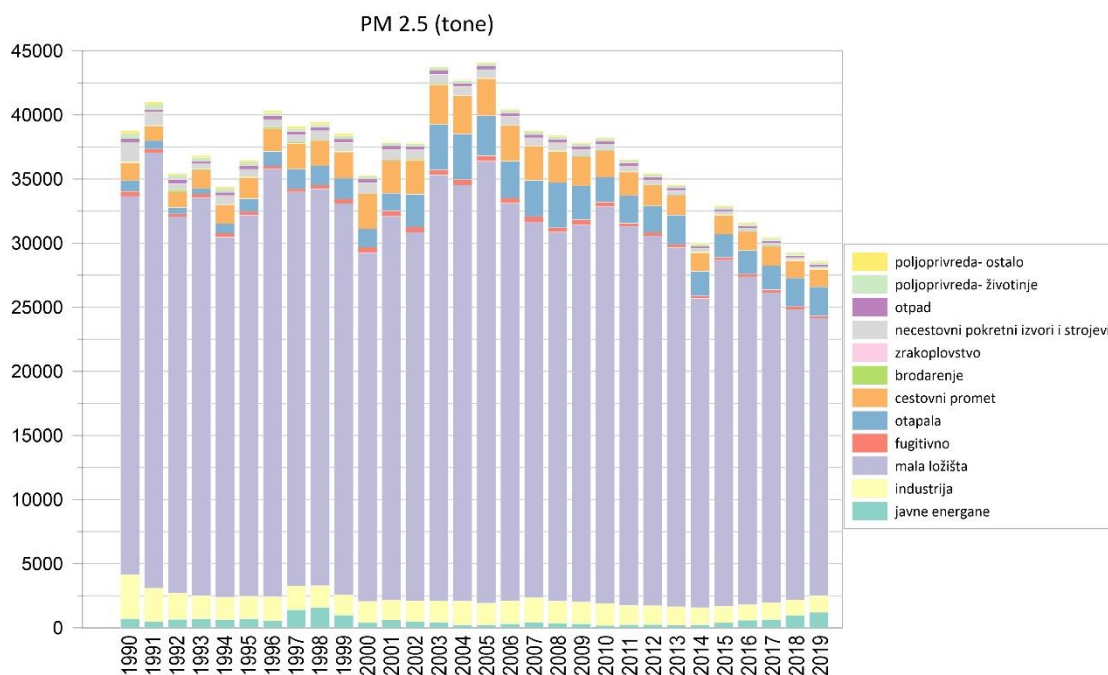
Slika 2.3.14 Kartogram ocjena razina onečišćenosti s PM₁₀ po svim zonama i aglomeracijama obzirom na zaštitu zdravlja ljudi



2.4. Lebdeće čestice promjera manjeg od 2.5 μm PM_{2.5}

Izvori i emisije PM_{2.5}

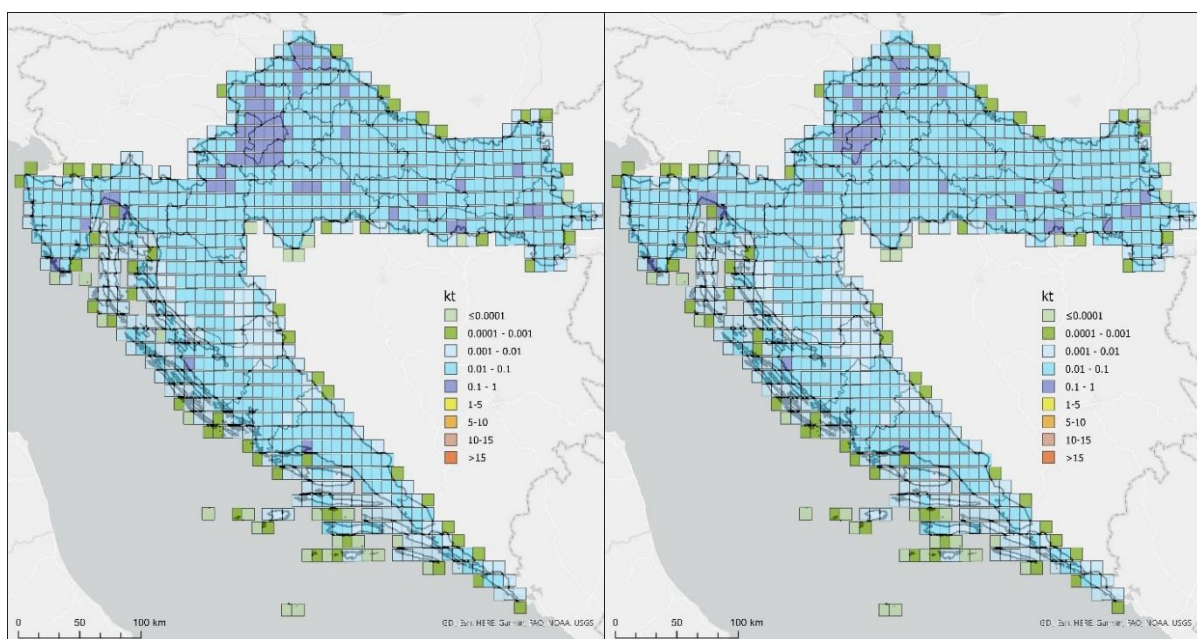
Lebdeće čestice PM_{2.5} su finija frakcija lebdećih čestica, promjera manjeg od 2.5 μm . Kao i PM₁₀, nastaju kao produkt izgaranja u manjim i većim kućnim ložištima, poljoprivrednom i industrijskom aktivnosti te izgaranjem fosilnih goriva u prometu. Indikator su daljinskog prijenosa onečišćujućih tvari, a njihovo prisustvo u atmosferi i količina ovise o geografskim uvjetima područja, koncentraciji drugih spojeva u atmosferi te atmosferskim meteorološkim uvjetima. Lebdeće čestice fine frakcije u atmosferi nastaju kemijskim transformacijama pri konverziji spojeva iz plinovite u čestičnu fazu (de/resublimacija). Brzina i opseg tih procesa ovisit će prvenstveno o atmosferskim uvjetima, dobu godine (temperaturi, vlažnosti zraka) kao i emisijama prekursora (npr. amonijaka i sumpornih spojeva). Stoga je važno analizirati njihov kemijski sastav i pratiti porijeklo njihova nastanka. Za razliku od PM₁₀, lebdeće čestice promjera manjeg od 2.5 mikrona zbog svoje veličine su još štetnije za ljudsko zdravlje jer mogu doprijeti dublje u dišne organe i oštetiti respiratorni sustav. Također, nositelji su raznih alergena koji predstavljaju sve veći problem kod stanovništva. Štetnom utjecaju lebdećih čestica posebno su izložene osjetljive skupine ljudi poput male djece i populacije starije životne dobi. Uz štetnost za zdravlje, u visokim koncentracijama mogu stvoriti i pojavu „zamućenosti“ atmosfere te smanjiti vidljivost u područjima s visokom koncentracijom, prekograničnim onečišćenjem te povoljnim meteorološkim uvjetima.



Slika 2.4.1 Emisije PM_{2.5} u Hrvatskoj raspodijeljene po GNFR sektorima u razdoblju 1990. – 2019. godine izražene u tonama



Emisije lebdećih čestica $PM_{2.5}$ su u grubo oko 15 kt niže od emisija PM_{10} , no, obzirom da je riječ o najvećim dijelom zavisnim emisijama, prate se međusobni trendovi smanjenja posljednjih 15 godina. Emisije su najveće i iznosom i u postotku u sektoru kućnih ložišta, dok je značajno manji doprinos u sektorima industrije, otapala i cestovnog prometa. Smanjenje emisija posljednjih godina bilježi se u sektoru malih ložišta, necestovnih pokretnih izvora i strojeva te sektoru poljoprivreda – ostalo, dok u sektorima javnih energana, brodarenja, zrakoplovstva i otapala dolazi do porasta vrijednosti emisija. U ostalim sektorima (industrija, fugitivi, cestovni promet, otpad i poljoprivreda – životinje) posljednjih pet godina trend nije izražen (Slika 2.4.1).



Slika 2.4.2 Prostorna razdioba emisija PM_{10} na području Hrvatske u 2015. godini (slika lijevo) i 2019. godini (slika desno)

Prostorna razdioba emisija $PM_{2.5}$ u najvećoj mjeri prati prostornu razdiobu emisija PM_{10} na području Hrvatske, tako da su i ovdje emisijama najviše opterećeni sjeverozapadni dio zemlje, područja većih gradova, posebno područje aglomeracije Zagreb, te pojedini dijelovi kopnenih krajeva Hrvatske. No, uočava se i smanjenje emisija u 2019. godini u usporedbi s 2015. godinom. Smanjenje je najuočljivije na području aglomeracije Zagreb, odnosno u sjeverozapadnom dijelu Hrvatske, na području zone HR 01 (Slika 2.4.2).



Mjerenja i obuhvat podataka

Na postajama državne mreže za trajno praćenje kvalitete zraka mjerenja koncentracije lebdećih čestica u atmosferi provode se pomoću automatskih analizatora, optičkom metodom i referentnom gravimetrijskom metodom. Na pozadinskim postajama koristi se optička metoda dok se na gradskim postajama u aglomeracijama koriste automatski analizatori s trenutnim odzivom i gravimetrijska metoda. Prostorni raspored postaja na području republike Hrvatske na kojima se provode mjerenja lebdećih čestica promjera manjeg od 2.5 μm ($\text{PM}_{2.5}$), a koje se koriste u ovoj analizi, prikazan je na slici (Slika 2.4.5).



Slika 2.4.3 Prostorni raspored postaja na kojima se provode mjerenja koncentracija lebdećih čestica $\text{PM}_{2.5}$

U tablici (Tablica 2.4.1) prikazan je obuhvat podataka mjerenja po godinama i postajama. Sivom bojom označene su godine u kojima je obuhvat podataka manji od 85 %.



Tablica 2.4.1 Obuhvat podataka mjerenja koncentracija PM_{2.5} na postajama državne mreže za trajno praćenje kvalitete zraka i lokalnim postajama u razdoblju 2016. – 2020. Oznaka (–) označava da nije bilo mjerenja

Automatski analizatori						
Zona/aglomeracija	Postaja	2016	2017	2018	2019	2020
HR 01	Desinić	71	86	83	78	95
	Kopački rit	85	89	86	86	90
HR 02	Slavonski Brod-1	83	91	88	96	95
HR 03	Parg	74	99	89	92	97
	Plitvička jezera	90	84	73	76	90
HR 04	Višnjan	89	89	89	91	99
HR 05	Hum (otok Vis)	81	76	37	76	83
	Polača (Ravni kotari)	73	69	65	77	76
	Vela straža (Dugi otok)	91	92	85	88	95
	Žarkovica (Dubrovnik)	86	93	86	–	–
Gravimetrijska metoda						
Zona/aglomeracija	Postaja	2016	2017	2018	2019	2020
HR ZG	Ksaverska cesta PPI	100	100	100	100	100
	Velika Gorica	96	99	100	99	100
HR RI	Rijeka-2	100	100	100	100	91
HR ST	Split-1	100	100	100	99	99
	AMS1 Kaštel Sućurac	99	100	100	100	99
	AMS2 Sveti Kajo	100	100	92	100	–
HR 02	Slavonski Brod-1	100	100	99	100	100
	Slavonski Brod-2	96	100	100	100	85
HR 03	Plitvička jezera	100	100	100	99	99

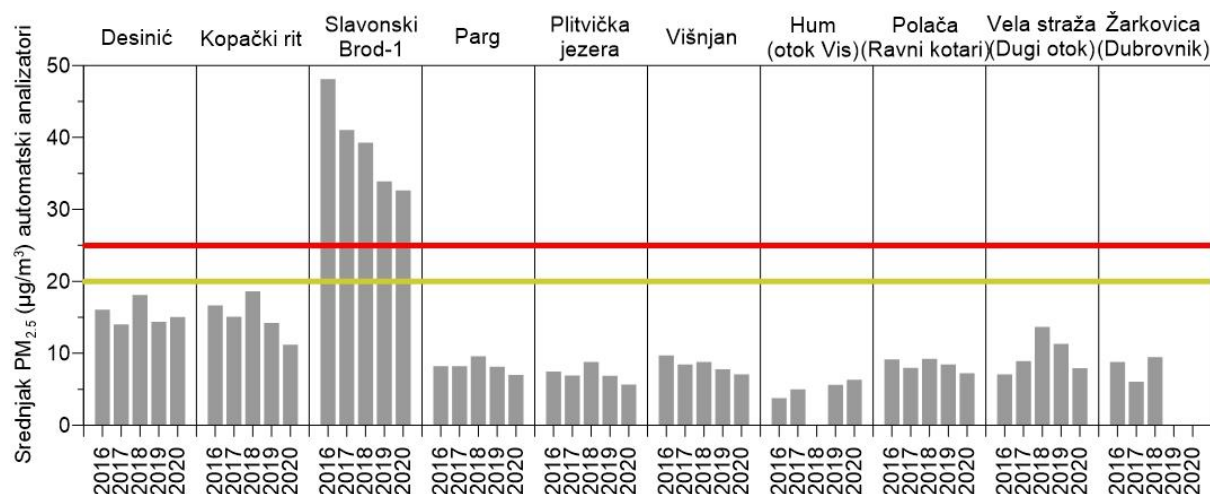
Smanjeni obuhvat podataka s postaja Desinić, Plitvička jezera, Hum i Polača uzet je u obzir u ovoj analizi, uz ocjenu eksperta i rezultate modeliranja kemijskim transportnim modelom. Postaja Žarkovica privremeno je prestala s radom u 2019. godini te podaci s te postaje za 2019. i 2020. godinu nisu dostupni.

Analiza rezultata mjerenja PM_{2.5} – automatski analizatori

Srednje godišnje vrijednosti koncentracija PM_{2.5} na postajama državne mreže dobivene analizom podataka izmjerenih automatskim analizatorima prikazane su na slici (Slika 2.4.4) i tablici (Tablica 2.4.2). Granična vrijednost od 25 µg/m³ s obzirom na zaštitu zdravlja ljudi propisana je Uredbom o razinama onečišćujućih tvari u zraku (NN 77/2020), a prekoračena je na postaji Slavonski Brod-1 (HR 02) u svih pet promatranih godina (2016. – 2020.). Na postaji Slavonski Brod-1 prekoračena je i indikativna granična vrijednost od



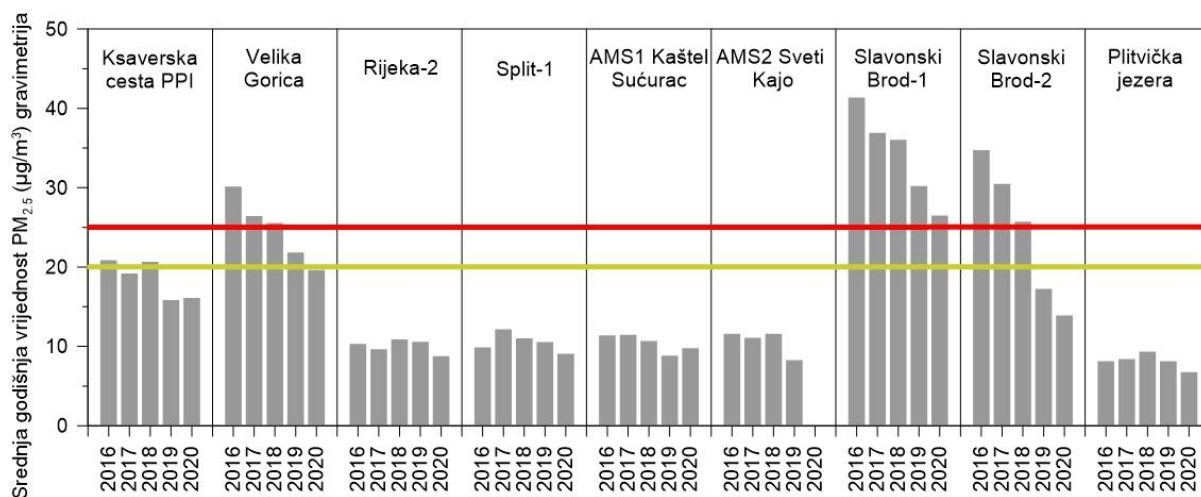
20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Vidljiv je negativan trend (smanjenje koncentracija), no vrijednosti su još uvijek iznad dozvoljenih. Na ruralnim pozadinskim postajama u središnjoj i istočnoj Hrvatskoj koje pripadaju zoni HR 01 (Desinić i Kopački rit), srednje godišnje koncentracije su u intervalu između 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ i 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, dok su na drugim postajama, u zonama HR 03 (Parg, Plitvička jezera), HR 04 (Višnjan) i HR 05 (Hum, Polača, Vela straža, Žarkovica) srednje godišnje koncentracije uglavnom ispod 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.



Slika 2.4.4 Srednje godišnje vrijednosti koncentracija $\text{PM}_{2.5}$ (automatski analizatori) na postajama državne mreže u razdoblju 2016. – 2020. godine. Crvenom linijom označena je granična vrijednost za $\text{PM}_{2.5}$ (25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), a zelenkasto žutom indikativna granična vrijednost (20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Analiza rezultata mjerenja $\text{PM}_{2.5}$ – gravimetrijska metoda

Analiza srednjih godišnjih vrijednosti koncentracija $\text{PM}_{2.5}$ dobivenih referentnom gravimetrijskom metodom na postajama državne mreže i lokalnim postajama prikazana je na slici (Slika 2.4.5) i tablici (Tablica 2.4.1). Granična vrijednost propisana Uredbom prekoračena je u zoni HR 02 na postajama Slavonski Brod-1 (2016. – 2020.) i Slavonski Brod-2 (2016. – 2018.) te u aglomeraciji HR ZG na postaji Velika Gorica (2016. – 2018.). Na postajama Slavonski Brod-1, Slavonski Brod-2, Velika Gorica te Ksaverska cesta PPI prekoračena je i indikativna granična vrijednost od 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.



Slika 2.4.5 Srednje godišnje vrijednosti koncentracija PM_{2.5} dobivene na osnovi mjerenja referentnom gravimetrijskom metodom u razdoblju 2016. – 2020. Crvenom linijom označena je granična vrijednost za PM_{2.5} (25 µg/m³), a zelenkasto žutom indikativna granična vrijednost (20 µg/m³)



Slika 2.4.6 Prostorni raspored postaja državne mreže s obzirom na analizu prekoračenja granične vrijednosti lebdećih čestica PM_{2.5} u razdoblju 2016. – 2020

Rezultati analize prekoračenja srednje godišnje granične vrijednosti na postajama državne mreže i lokalnih mreža prikazani su na slici (Slika 2.4.6). Zelenom bojom naznačene su postaje na kojima nije došlo do prekoračenja granične vrijednosti od 25 µg/m³ niti u jednoj

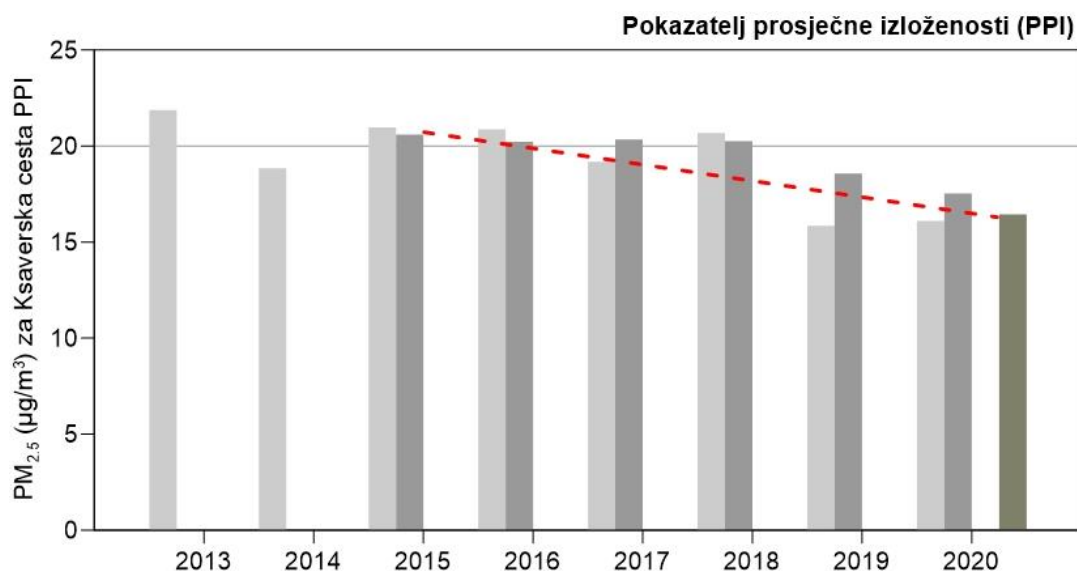


od pet promatranih godina. Crvenom bojom naznačene su one postaje u kojima je došlo do prekoračenja u najmanje jednoj od pet godina promatranog razdoblja 2016. – 2020. Postaje s obuhvatom podataka manjim od 85 % označene su sivom bojom.

Pokazatelj prosječne izloženosti koncentracijama PM_{2,5}, PPI

Pokazatelj prosječne izloženosti izražen u $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (PPI) temelji se na mjerenjima s gradskih pozadinskih postaja u zonama i aglomeracijama na cijelom području Hrvatske. Procjenjuje se kao prosjek srednjih vrijednosti godišnjih koncentracija u tri uzastopne godine, na svim točkama uzorkovanja koje su određene prema Uredbi (NN 77/2020). U razdoblju 2016. – 2020. godine PPI se računao samo za mjernu postaju Zagreb Ksaverska cesta PPI za PM_{2,5}. PPI za referentnu 2015. godinu jednak je srednjoj vrijednosti koncentracije u tri uzastopne godine (2013.: 21.87 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 2014.: 18.84 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ i 2015.: 20.98 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) i iznosi: 20.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Vrijednost je viša od zahtijevane razine izloženosti koja za 2015. godinu iznosi 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Prema Uredbi i vrijednosti PPI za referentnu 2015. godinu određeno je ciljano smanjenje izloženosti na nacionalnoj razini za 20 % do 2020. godine.

Za 2020. godinu PPI je jednak prosjeku srednjih vrijednosti koncentracija u tri uzastopne godine (2018.: 20.68 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 2019.: 15.85 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ i 2020.: 16.10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) i iznosi: 17.54 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Ciljano smanjenje izloženosti (20 % vrijednosti 20.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) na nacionalnoj razini iznosi 16.45 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ i potrebno ga je bilo postići 2020. godine (Slika 2.4.7).



Slika 2.4.7 Pokazatelj prosječne izloženosti u razdoblju 2015. – 2020. na postaji Ksaverska cesta PPI. Svjetlo sivom bojom naznačena je srednja godišnja koncentracija, tamno sivom – trogodišnji srednjak, te najtamnijom sivom ciljano smanjenje izloženosti



Rezultati analize s obzirom na donju i gornju granicu procjene

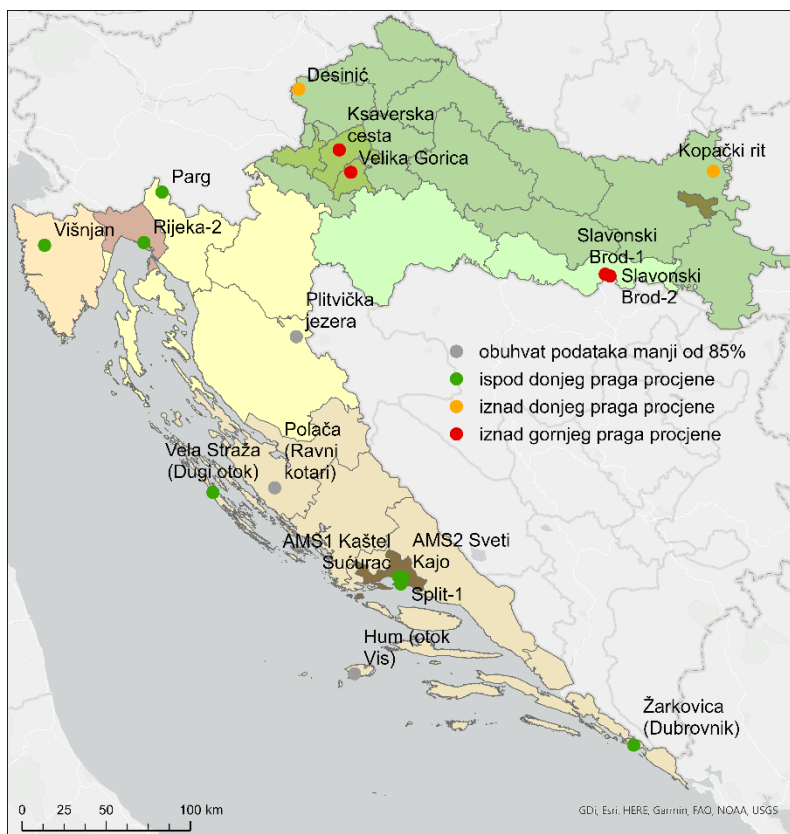
Prema Uredbi (NN 77/2020) gornji prag procjene određen je kao 70 % granične vrijednosti srednje godišnje koncentracije PM_{2.5} i iznosi 17 µg/m³, a donji prag procjene kao 50 % granične vrijednosti srednje godišnje koncentracije PM_{2.5} i iznosi 12 µg/m³. Analiza razine onečišćenja s obzirom na gornji i donji prag procjene prikazana je u tablici (Tablica 2.4.2) i na slici (Slika 2.4.8). Prekoračenja donjeg praga procjene u tablici su označena svijetlo plavom bojom, a prekoračenja gornjeg praga procjene tamno plavom bojom. Crvenom je označeno prekoračenje granične vrijednosti. Postaje čiji je obuhvat podataka manji od 85 % označene su zvjezdicom (*). Prag procjene smatra se prekoračen ukoliko je prekoračen u najmanje u tri od pet promatranih godina.

Tablica 2.4.2 Srednje godišnje vrijednosti koncentracija PM_{2.5} za razdoblje 2016. – 2020. godine. Prekoračenja donjeg praga procjene (12 µg/m³) označena su svijetlo plavom bojom, a prekoračenja gornjeg praga (17 µg/m³) tamno plavom. Crvenom su označena prekoračenja granične vrijednosti (25 µg/m³), a zvjezdicom postaje čiji je obuhvat podataka manji od 85 %. Oznaka (–) označava da nije bilo mjerenja

Automatski analizatori						
Zona/aglomeracija	Postaja	2016	2017	2018	2019	2020
HR 01	Desinić	16.05*	14.02	18.09*	14.35*	15.03
	Kopački rit	16.65	15.08	18.61	14.20	11.17
HR 02	Slavonski Brod-1	48.10*	41.02	39.26	33.89	32.65
HR 03	Parg	8.20*	8.21	9.59	8.13	6.99
	Plitvička jezera	7.45	6.90*	8.81*	6.86*	5.64
HR 04	Višnjan	9.69	8.45	8.78	7.79	7.08
HR 05	Hum (otok Vis)	3.77*	4.98*	8.16*	5.63*	6.31*
	Polača (Ravni kotari)	9.13*	7.95*	8.44*	7.19*	7.22*
	Vela straža (Dugi otok)	7.07	8.92	13.67	11.31	7.94
	Žarkovica (Dubrovnik)	8.81	6.06	9.46	–	–
Gravimetrijska metoda						
Zona/aglomeracija	Postaja	2016	2017	2018	2019	2020
HR ZG	Ksaverska cesta PPI	20.87	19.19	20.68	15.85	16.10
	Velika Gorica	30.16	26.44	25.57	21.85	19.62
HR RI	Rijeka-2	10.32	9.65	10.87	10.59	8.78
HR ST	Split-1	9.89	12.15	11.03	10.54	9.06
	AMS1 Kaštel Sućurac	11.38	11.45	10.67	8.84	9.79
	AMS2 Sveti Kajo	11.59	11.09	11.57	8.27	–
HR 02	Slavonski Brod-1	41.36	36.91	36.06	30.22	26.49
	Slavonski Brod-2	34.73	30.48	25.72	17.25	13.90
HR 03	Plitvička jezera	8.14	8.39	9.34	8.12	6.76



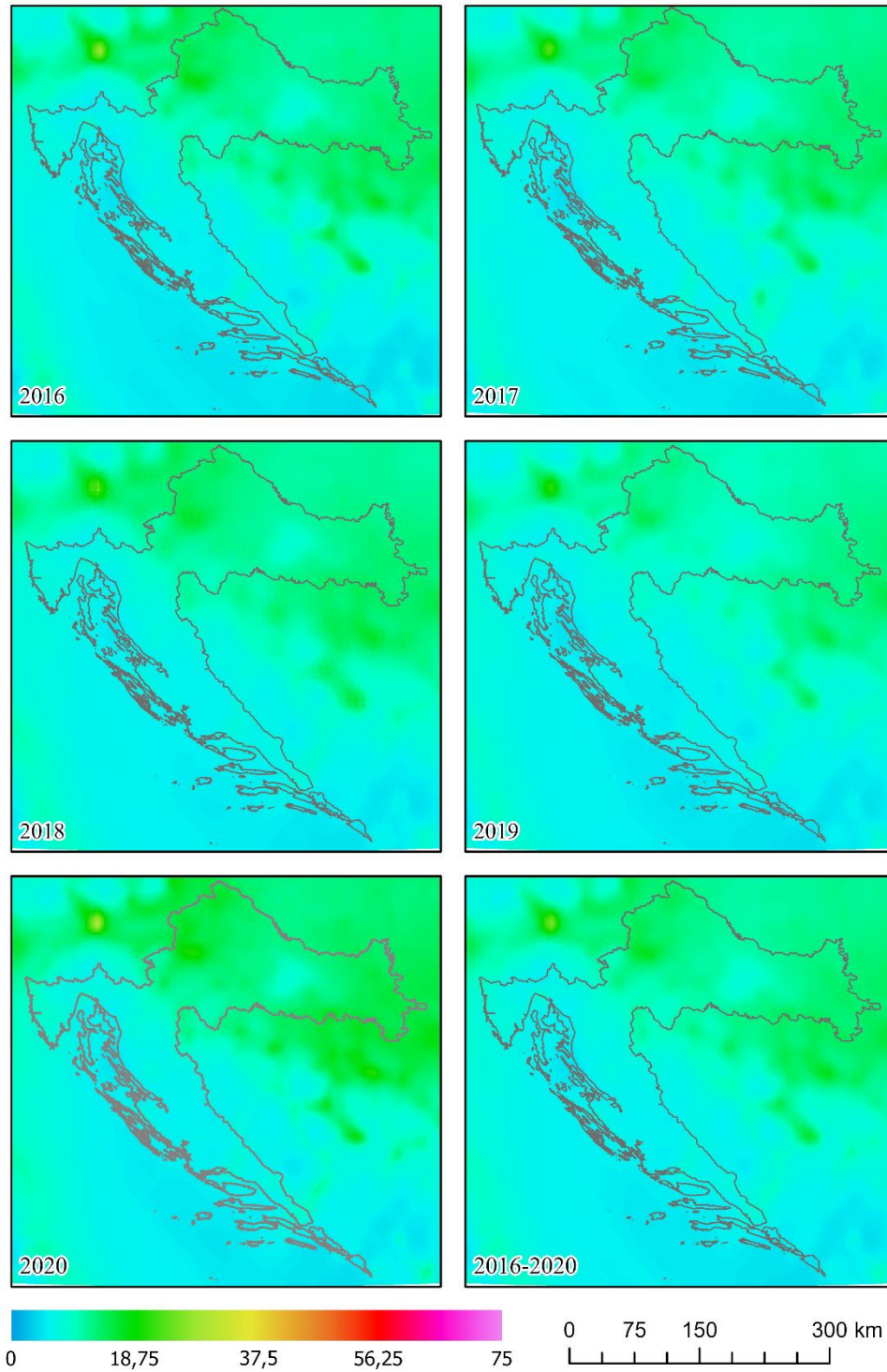
Na postajama Slavonski Brod-1 i Slavonski Brod-2 u zoni HR 02 te na postaji Velika Gorica u aglomeraciji HR ZG prekoračena je granična vrijednosti. Na postaji Zagreb Ksaverska cesta PPI za $PM_{2.5}$ u aglomeraciji HR ZG prekoračen je gornji prag procjene, a na postajama Desinić i Kopački rit u zoni HR 01 prekoračen je donji prag procjene u promatranom petogodišnjem razdoblju 2016. – 2020. godine. Analiza rezultata razine onečišćenja obzirom na granice procjene prikazana je i na slici (Slika 2.4.8).



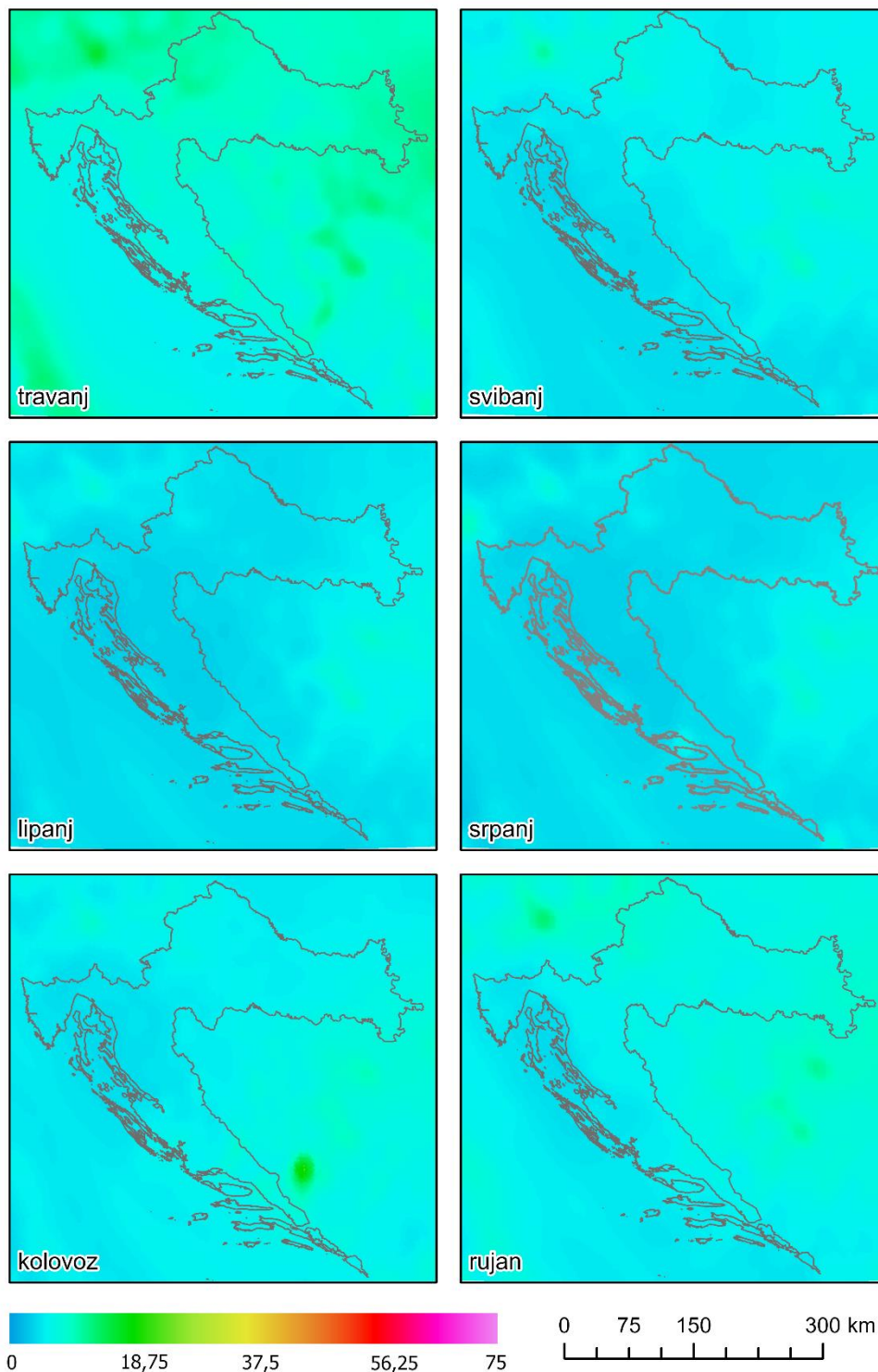
Slika 2.4.8 Prostorni prikaz postaja s obzirom na analizu donje i gornje granice procjene. Crvenom bojom označene su postaje s vrijednostima iznad gornjeg praga procjene. Žutom bojom označene su postaje s vrijednostima ispod gornjeg praga procjene. Zelenom bojom označene su postaje s vrijednostima ispod donjeg praga procjene. Sivom bojom označene su postaje na kojima nije zadovoljen kriterij obuhvata podataka

Analiza modeliranih koncentracija $PM_{2.5}$

Prema rezultatima kemijskog transportnog modela LOTOS-EUROS, srednje godišnje koncentracije lebdećih čestica promjera manjeg od $2.5 \mu m$ nisu se značajno mijenjale u razdoblju 2016. – 2020. godine (Slika 2.4.9). Prostorna razdioba pokazuje veće vrijednosti u kontinentalnom dijelu zemlje, posebno na području aglomeracije Zagreb, za što je razlog povećan pritisak emisija te meteorološki uvjeti povoljni za akumulaciju onečišćenja, posebno izraženo u zimskom dijelu godine. Koncentracije pokazuju izraženu sezonsku varijabilnost.



Slika 2.4.9 Prostorna raspodjela prizemnih srednjih godišnjih koncentracija PM_{2.5} (µg/m³) na području Hrvatske u razdoblju od 2016. – 2020. godine dobivena LOTOS-EUROS kemijskim transportnim modelom

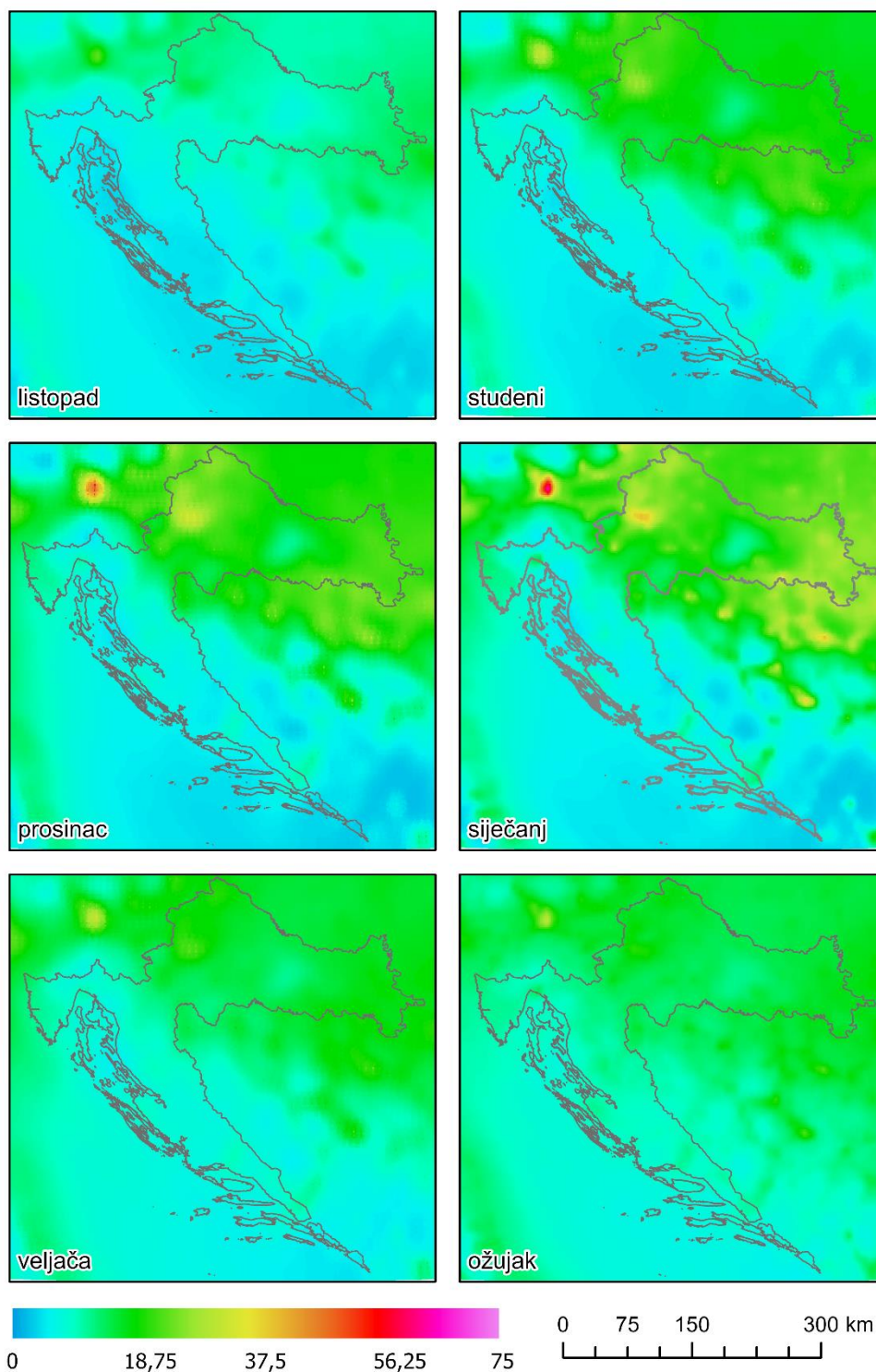


Slika 2.4.10 Prostorna raspodjela prizemnih srednjih mjesečnih koncentracija PM_{2.5} (µg/m³) na području Hrvatske u razdoblju od 2016. – 2020. godine (petogodišnji prosjek, travanj – rujan) dobivena LOTOS-EUROS kemijskim transportnim modelom

Srednje mjesečne vrijednosti su znatno niže od godišnjeg prosjeka tijekom ljetnih mjeseci kada koncentracije rijetko prelaze 10 µg/m³ (Slika 2.4.10). Tijekom zimskih mjeseci,



srednje mjesečne koncentracije su znatno više od godišnjeg prosjeka te čak dosežu i $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ na području aglomeracije Zagreb te $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ u gusto naseljenim dijelovima kontinentalne Hrvatske (Slika 2.4.11).



Slika 2.4.11 Prostorna raspodjela prizemnih srednjih mjesečnih koncentracija $\text{PM}_{2.5}$ na području Hrvatske u razdoblju od 2016. – 2020. godine (petogodišnji prosjek, listopad – ožujak) dobivena LOTOS-EUROS kemijskim transportnim modelom



Najznačajniji razlog izražene prostorne i sezonalne razdiobe prizemnih koncentracija $PM_{2.5}$ je visoka emisija u zimskom dijelu godine zajedno s prekograničnim onečišćenjem i akumulacijom onečišćenja u stabilnim atmosferskim situacijama u kopnenom nizinskom dijelu zemlje (Slika 2.4.11).

Ocjena sukladnosti zona i aglomeracija s okolišnim ciljevima

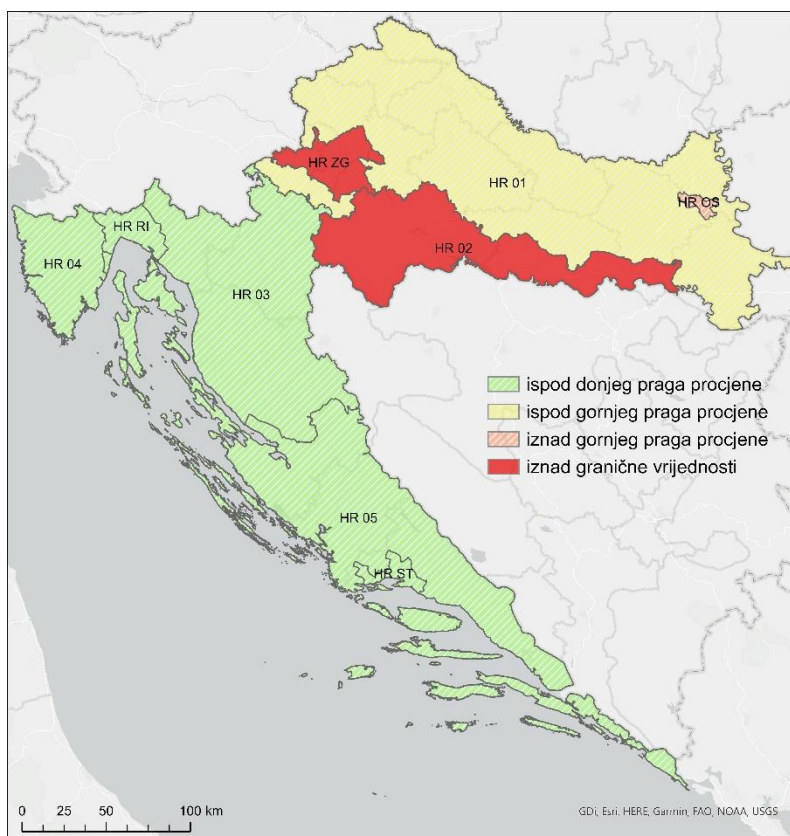
Srednja godišnja vrijednost $PM_{2.5}$ prekoračena je u zoni HR 02 (Slavonski Brod-1, Slavonski Brod-2) te u aglomeraciji HR ZG (Velika Gorica). Zona HR 02 i aglomeracija HR ZG nesukladne su s graničnom vrijednošću $PM_{2.5}$ obzirom na zaštitu zdravlja ljudi te je zrak bio II kategorije. Kriteriji kvalitete zraka s obzirom na zaštitu zdravlja ljudi zadovoljeni su u aglomeracijama HR RI i HR ST te u zonama HR 01, HR 03, HR 04 i HR 05 te je zrak u promatranom petogodišnjem razdoblju 2016. – 2020. bio I kategorije. Za aglomeraciju HR OS nije dana ocjena sukladnosti zbog nepostojanja mjerenja u promatranom razdoblju i nemogućnosti primjene objektivne procjene. U aglomeraciji HR OS u 2021. godini uspostavljena je nova mjerna postaja u državnoj mreži za trajno praćenje kvalitete zraka Osijek-2 PPI za $PM_{2.5}$ u sklopu projekta AIRQ.

U aglomeraciji HR ZG i u zoni HR 02 prekoračen je gornji prag procjene. Razina onečišćenosti, uzimajući u obzir pritisak emisija, regionalnu klimatologiju i rezultate kemijskog transportnog modela u aglomeraciji HR OS ekspertno je procijenjena na razinu iznad gornjeg praga procjene. U zoni HR 01 razina onečišćenja je ispod gornjeg praga procjene. U aglomeracijama HR RI i HR ST te u zonama HR 03, HR 04 i HR 05 razina onečišćenja u razdoblju 2016. – 2020. je bila ispod donjeg praga procjene (Tablica 2.4.3 i Slika 2.4.12).



Tablica 2.4.3 Razine onečišćenosti zraka određene prema pragovima procjene te ocjena onečišćenosti za $PM_{2.5}$ s obzirom na zaštitu zdravlja ljudi. Crvenom bojom označena je nesukladnost s ciljevima zaštite okoliša – prekoračenje GV, zelena boja označava sukladnost s ciljevima zaštite okoliša – nije prekoračena GV, dok je sivom označena neocijenjena zona ili aglomeracija

PM _{2.5} - zaštita zdravlja ljudi		
Zona / aglomeracija	Razina onečišćenosti	Ocjena onečišćenosti (sukladnosti)
HR ZG	>GPP	●
HR OS	>GPP	●
HR RI	<DPP	●
HR ST	<DPP	●
HR 01	<GPP	●
HR 02	>GPP	●
HR 03	<DPP	●
HR 04	<DPP	●
HR 05	<DPP	●



Slika 2.4.12 Kartogram ocjena razina onečišćenosti s $PM_{2.5}$ po svim zonama i aglomeracijama obzirom na zaštitu zdravlja ljudi



2.5. Prizemni (troposferski) ozon, O₃

Ozon je alotropska modifikacija kisika, molekula sastavljena od tri atoma kisika (O₃). Prirodni je plin blijedo plave boje karakterističnog mirisa i vrlo je kemijski nestabilan. Na visokim temperaturama (105 °C) se brzo raspada uz izdvajanje jednog atoma kisika što ga čini jakim oksidacijskim sredstvom u atmosferi. U stratosferi čini poznati ozonski omotač, važan sloj za život na Zemlji jer apsorbira najveći dio štetnog sunčeva ultraljubičastog zračenja.

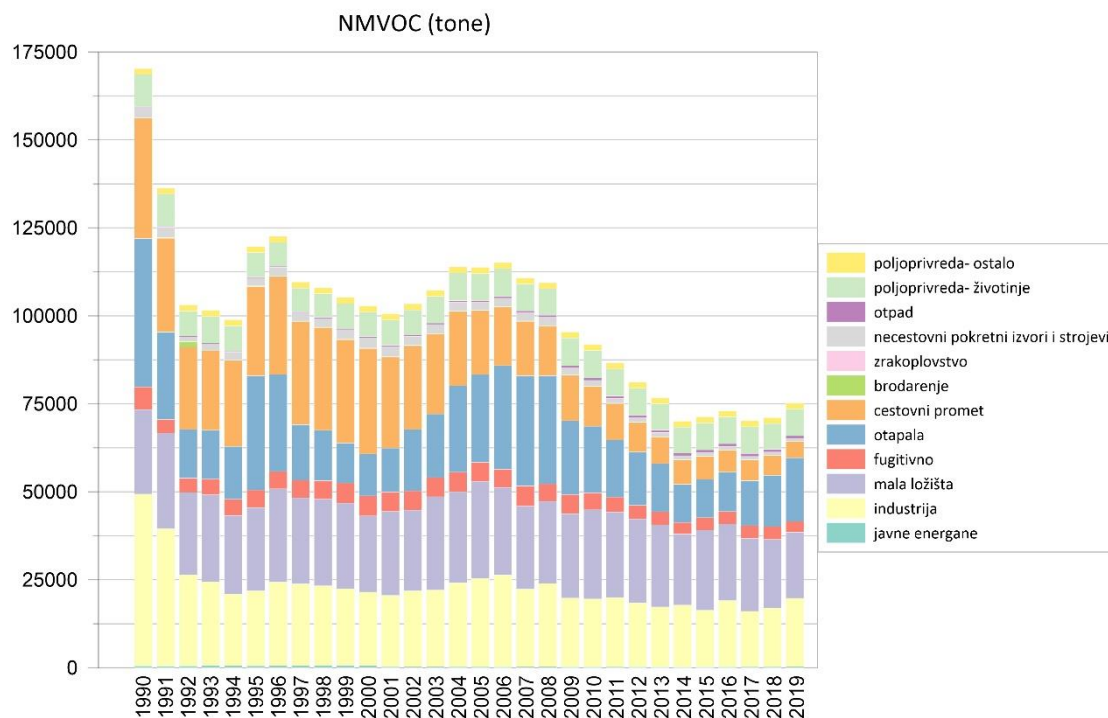
Prizemni (troposferski) ozon sekundarni je polutant koji nastaje fotokemijskim reakcijama njegovih prekursora: dušikovih oksida (NO_x), metana (CH₄), ugljikovog monoksida (CO), hlapljivih ugljikovih spojeva (VOC) i/ili nemetanskih ugljikovih spojeva (NMHC). Povećane koncentracije dušikovih oksida (NO_x) vezane su uz industriju i prometnice te su u blizini tih izvora koncentracije prizemnog ozona u pravilu niže zbog viška dušikovih oksida kod postizanja „nul-ciklusa“, tj. stabilne ravnoteže O₃ i NO_x gdje ne dolazi do dodatnog stvaranja molekula. Više se prekursora ozona formira pod utjecajem antropogenih aktivnosti (VOC: promet, kućanstvo, industrija) nego prirodno (VOC i CO: šume, oceani, gorenje biomasa, munje), zato su i visoke koncentracije prizemnog troposferskog ozona najizraženije u velikim gradovima s velikom gustoćom prometa tijekom sunčanih dana uz nisku relativnu vlagu unutar ljetnog smoga (zagađeni zrak bogat navedenim prekursorima), pogotovo u područjima s jakom fotokemijskom aktivnosti (Sredozemlje).

Prizemni ozon štetan je za ljudsko zdravlje i vegetaciju. U većim koncentracijama može usporiti rast i reprodukciju biljaka što šteti prinosu usjeva i dovodi do smanjenja šumskih površina te smanjenja biološke raznolikosti. Izloženost visokim koncentracijama ozona ljudskom zdravlju šteti u vidu pojave respiratornih bolesti te smanjenju funkcionalnosti pluća. Neki od simptoma mogu biti krvarenje iz nosa i glavobolja. Ozon oštećuje i materijale organskog porijekla mijenjajući im svojstva te smanjujući im vijek trajanja.

Izvori i emisije prekursora prizemnog ozona (NMVOC)

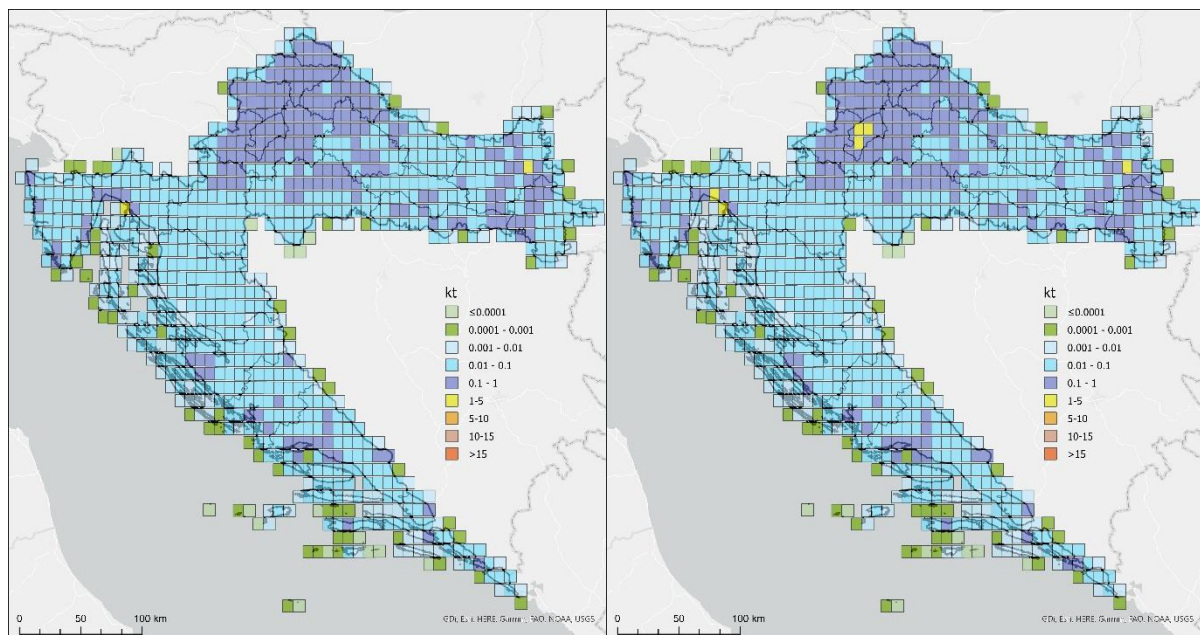
Prizemni ozon nema direktnih emisija, no produkcija prizemnog ozona ovisi o emisijama njegovih prekursora. Emisije dušikovih oksida obrađene su u poglavlju **2.2. Izvori i emisije dušikovih oksida (NO_x)**.

Nemetanski hlapljivi organski spojevi (NMVOC) skup su organskih spojeva koji se međusobno uvelike razlikuju po svom kemijskom sastavu, ali pokazuju slično ponašanje u atmosferi. Emitiraju se u atmosferu iz velikog broja izvora uključujući industrijska postrojenja, proizvodnju i upotrebu boja i lakova, te promet. Uz doprinos stvaranju prizemnog (troposferskog) ozona, i sami onečišćuju vodu, tlo i zrak. Određene vrste lako hlapljivih organskih spojeva, poput benzena i 1,3 butadiena opasne su i za ljudsko zdravlje.



Slika 2.5.1 Emisije NMVOC-ova u Hrvatskoj raspodijeljene po GNFR sektorima u razdoblju 1990. – 2019. godine izražene u tonama

Emisije nemetanskih lako hlapivih organskih spojeva od sredine dvijetisućitih do 2014. godine u Hrvatskoj su se smanjivale (od 113 kt u 2016. do 70 kt u 2014.). Nakon 2014. godine trend nije značajno izražen, odnosno postoji blagi porast u emisijama NMVOC-a. Posljednjih godina javlja se porast emisija u sektorima: javne energane, industrija, fugitivno, otapala, brodarenje i zrakoplovstvo, a pad u sektorima: mala ložišta, cestovni promet te necestovni pokretni izvori i strojevi. Emisije u sektorima otpad, poljoprivreda – životinje i poljoprivreda – ostalo u posljednjem razdoblju malo su se mijenjale (Slika 2.5.1).



Slika 2.5.2 Prostorna razdioba emisija NMVOC na području Hrvatske u 2015. godini (slika lijevo) i 2019. godini (slika desno)

Prema prostornoj razdiobi emisija NMVOC-a u 2015. i 2019. godini (Slika 2.5.2), uočljivo je ukupno povećanje na području grada Zagreba i grada Rijeke. Veće emisije pripadaju sjeverozapadnom dijelu zemlje i istočnim krajevima kopnene Hrvatske, te gušće naseljenim područjima, posebice gradovima.

Mjerenja i obuhvat podataka

Koncentracije prizemnog ozona mjerene su na ukupno 20 postaja državne mreže za trajno praćenje kvalitete zraka. Postaje Gradište, Makarska i Žarkovica su obustavile rad s krajem 2017. odnosno 2018. godine. Od 20 postaja devet je gradskih, a jedanaest pozadinskih. Na slici (Slika 2.5.3) prikazan je prostorni raspored mjernih postaja po zonama i aglomeracijama.



Slika 2.5.3 Prostorni raspored postaja na kojima se provode mjerenja koncentracija prizemnog ozona

U tablici (Tablica 2.5.1) prikazan je obuhvat podataka mjerenja na svim postajama na kojima su se mjerile koncentracije prizemnog ozona u razdoblju 2016. – 2020. godine. Sivom bojom su označene postaje s obuhvatom manjim od 85 %. U studiji su analizirani podaci postaja na kojima je obuhvat podataka bio veći od 75 %. Obuhvat podataka ispod 75 % za neke od godina u promatranom petogodišnjem razdoblju imaju postaje Velika Gorica, Gradište, Polača, Hum, Opuzen, Žarkovica i Makarska.

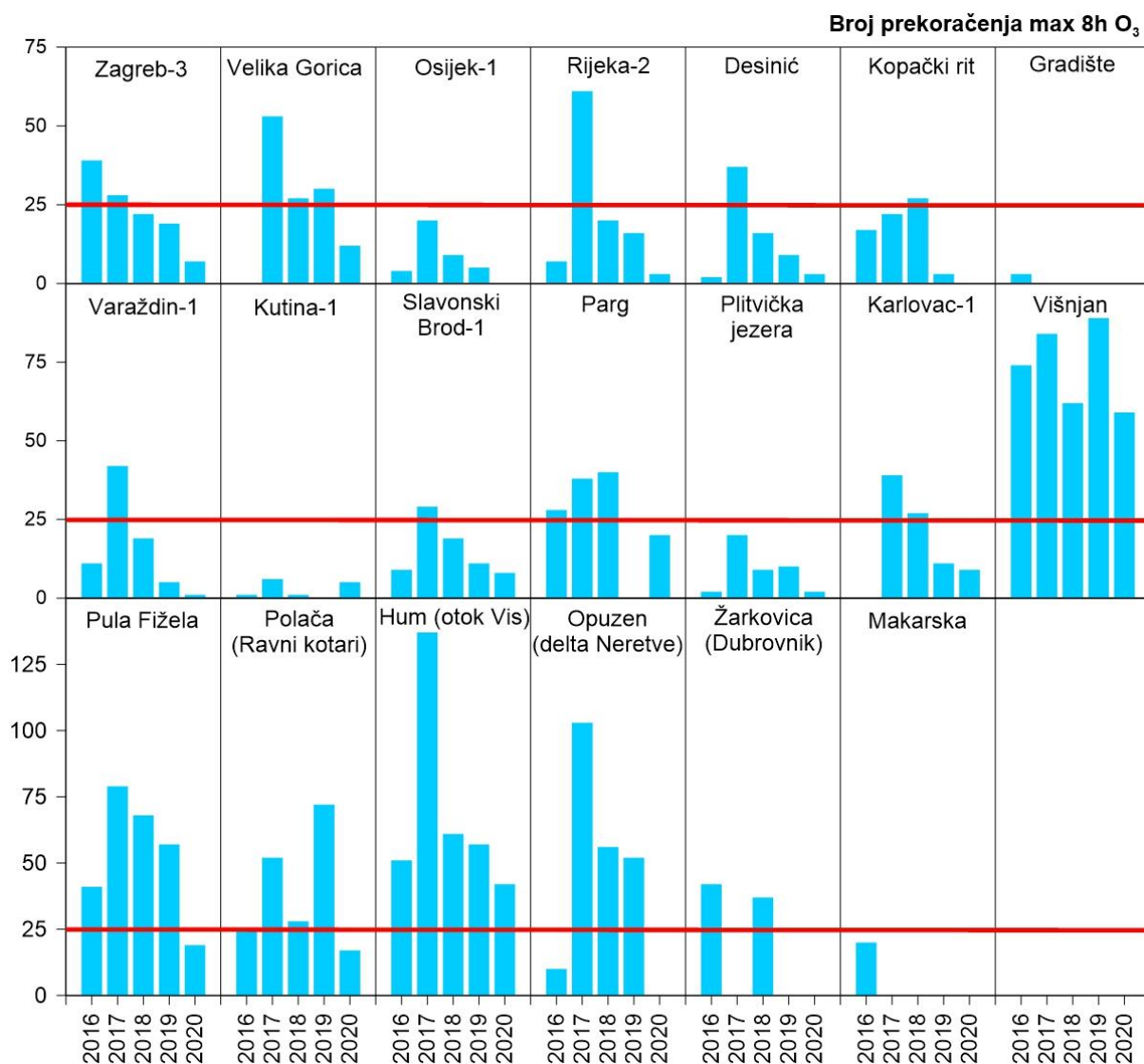


Tablica 2.5.1 Obuhvat podataka mjerenja (%) koncentracija ozona na mjernim postajama u razdoblju 2016. – 2020. godine. Sivom bojom označeni su obuhvati manji od 85 %. Oznaka (–) označava da nije bilo mjerenja

Zona/aglomeracija	Postaja	2016	2017	2018	2019	2020
HR ZG	Zagreb-3	86	90	88	94	97
	Velika Gorica	–	65	79	94	97
HR OS	Osijek-1	89	89	94	92	91
HR RI	Rijeka-2	84	89	93	93	77
HR 01	Desinić	82	82	83	88	88
	Kopački rit	89	89	93	88	94
	Gradište	93	57	–	–	–
	Varaždin-1	85	82	83	90	92
HR 02	Kutina-1	89	86	91	85	96
	Slavonski Brod-1	92	84	86	86	91
HR 03	Parg	96	86	96	95	97
	Plitvička jezera	81	84	84	81	78
	Karlovac-1	92	91	92	84	91
HR 04	Višnjan	96	92	96	95	91
	Pula Fižela	94	88	89	91	77
HR 05	Polača (Ravni kotari)	71	73	79	89	77
	Hum (otok Vis)	82	80	85	61	79
	Opuzen (Delta Neretve)	53	96	98	97	95
	Žarkovica (Dubrovnik)	73	28	90	–	–
	Makarska	99	57	–	–	–

Analiza rezultata mjerenja prizemnog ozona

Najviša dnevna osmosatna srednja vrijednost koncentracije prizemnog ozona izračunava se na osnovi osmosatnih pomičnih prosjeka, izračunatih iz satnih podataka mjerenja. Svaki na taj način izračunat prosjek pripada danu u kojem završava, tj. prvo razdoblje za bilo koji dan je razdoblje od 17:00 h prethodnog dana do 24:00 h tog istog dana. Prema članku 7., stavak 3., Uredbe o razinama onečišćujućih tvari u zraku (NN 77/20) propisana je ciljna vrijednost (CV) i dugoročni cilj za najviše dnevne osmosatne srednje vrijednosti. U skladu s tim, najviša dnevna osmosatna srednja vrijednost ne smije prekoračiti ciljnu vrijednost od 120 µg/m³ više od 25 puta u kalendarskoj godini, usrednjeno na 3 godine. U skladu s propisanim dugoročnim ciljem, ciljna vrijednost od 120 µg/m³ ne smije biti prekoračena u kalendarskoj godini. Za ocjenu trogodišnjeg prosjeka koriste se podaci s mjernih mjesta koja imaju zadovoljavajući obuhvat podataka ili je broj prekoračenja u promatranoj godini bio veći od dozvoljenih 25 puta, iako je obuhvat podataka bio smanjen. Na postajama na kojima nema podataka o koncentracijama ozona u prethodnom trogodišnjem razdoblju, broj prekoračenja određuje se na temelju valjanih podataka iz razdoblja raspoloživih mjerenja (najmanje godina dana mjerenja).



Slika 2.5.4 Godišnji broj dana s prekoračenjem najviše osmosatne srednje dnevne vrijednosti. Crvena linija označava broj dozvoljenih prekoračenja (25)

Na slici (Slika 2.5.4) prikazan je broj prekoračenja najviše dnevne osmosatne srednje vrijednosti za postaje koje imaju dovoljan obuhvat podataka (> 85 %) te postaje na kojima je došlo do prekoračenja ciljne vrijednosti više od 25 puta u jednoj kalendarskoj godini s obuhvatom podataka od minimalno 50 %.

Do prekoračenja propisane ciljne vrijednosti došlo je na gotovo svim postajama. Iznimke su postaje Osijek-1, Gradište, Kutina-1, Plitvička jezera i Makarska. Valja napomenuti kako su za postaje Gradište i Makarska dostupni podaci samo za 2016. i 2017. godinu, a za postaju Žarkovica dostupni su podaci iz prve tri godine (2016. – 2018.) budući da su se mjerenja koncentracije prizemnog ozona na tim postajama prestala provoditi. Postaja Žarkovica će u sklopu projekta AIRQ biti izmještena na drugu lokaciju.

Godišnji broj prekoračenja ciljne vrijednosti najveći je na postajama uz Jadransko more i u većim gradovima, dok je broj prekoračenja manji na pozadinskim postajama u



kontinentalnoj Hrvatskoj. Veći broj prekoračenja na postajama smještenima u mediteranskoj klimi je očekivan zbog veće fotokemijske aktivnosti u tom području pa stoga i povećane produkcije prizemnog ozona, no udio otpada i na prekogranično onečišćenje iz susjednih mediteranskih zemalja. U tablici (Tablica 2.5.2) prikazan je broj dana s prekoračenjem ciljne vrijednosti po godinama, te broj dana prekoračenja primjenom 3-godišnjeg pomičnog srednjaka.

Tablica 2.5.2 Broj prekoračenja ciljne vrijednosti ($120 \mu\text{g}/\text{m}^3$, dozvoljeno 25) najviših dnevnih osmosatnih srednjih vrijednosti ozona po godinama za razdoblje 2016. – 2020. godine, po godinama (lijevo) i usrednjeno na 3 godine (desno). Crveno su osjenčane vrijednosti s prekoračenim ciljnim vrijednostima za ozon, a sa zvjezdicom (*) obuhvat podataka manji od 85 %. Oznaka (–) označava da nije bilo mjerenja, a (–*) označava da podataka ima, ali su izostavljeni jer je obuhvat nezadovoljavajući ili podaci kojih ima nisu mjerodavni

Zona/ Agglomeracija	Postaja	Broj prekoračenja ciljne vrijednosti					Trogodišnji pomični srednjak				
		2016	2017	2018	2019	2020	2016	2017	2018	2019	2020
HR ZG	Zagreb-3	39	28	22	19	7	32	39	30	23	16
	Velika Gorica	–	53*	27*	30	12	0	18	27	37	23
HR OS	Osijek-1	4	20	9	5	0	7	14	11	11	5
HR RI	Rijeka-2	7*	61	20	16	3*	22	41	29	32	13
HR 01	Desinić	2*	37*	16*	9	3	27	37	18	21	9
	Kopački rit	17	22	27	3	0	6	13	22	17	10
	Gradište	3	–*	–	–	–	14	14	–	–	–
	Varaždin-1	11	42*	19*	5	1	4	18	24	22	8
HR 02	Kutina-1	1	6	1	0	5	8	9	3	2	2
	Slavonski Brod-1	9	29*	19	11	8	13	15	19	20	13
HR 03	Parg	28	38	40	0	20	31	35	35	26	20
	Plitvička jezera	2*	20*	9*	10*	2*	6	10	10	13	7
	Karlovac-1	0	39	27	11*	9	0	13	22	26	16
HR 04	Višnjan	74	84	62	89	59	41	69	73	78	70
	Pula Fižela	41	79	68	57	19*	43	69	63	68	48
HR 05	Polača (Ravni kotari)	25*	52*	28*	72	17*	27	44	35	51	39
	Hum (otok Vis)	51*	137*	61	57*	42*	66	93	83	85	53
	Opuzen (delta Neretve)	10*	103	56	52	0	3	38	56	70	36
	Žarkovica (Dubrovnik)	42*	6*	37	–	–	40	34	28	14	12
	Makarska	20	–*	–	–	–	32	25	–	–	–



Prag obavješćivanja i prag upozorenja

Prag obavješćivanja (PO) prekoračen je ako izmjerena satna vrijednost koncentracije prizemnog ozona premaši $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$, a prag upozorenja (PU) ako satna vrijednost premaši $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$. U tablici (Tablica 2.5.3) prikazane su postaje i vremenska razdoblja u kojima je zabilježeno prekoračenje praga obavješćivanja i/ili praga upozorenja s obzirom na koncentracije ozona. U analiziranom razdoblju 2016. – 2020. prag obavješćivanja prekoračen je na postajama Karlovac-1, Osijek-1, Rijeka-2, Varaždin-1, Zagreb-3, Desinić, Hum, Parg, Polača, Pula, Višnjan i Velika Gorica, a takvih epizoda je bilo ukupno 124. Sva prekoračenja dogodila su se tijekom ljetnih mjeseci (lipanj, srpanj ili kolovoz) u razdobljima karakterističnim za najveću produkciju prizemnog ozona.

Prekoračenje praga upozorenja (PU) od $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$ nije zabilježeno niti na jednoj postaji u promatranom razdoblju 2016. – 2020. godine.



Tablica 2.5.3 Postaje i termini u kojima je satna koncentracija ozona bila iznad 180 µg/m³ (prag obavješćivanja za ozon) i izmjerene vrijednosti koncentracija u tim terminima

Datum	Sat (h)	C (O ₃)	Datum	Sat (h)	C (O ₃)	Datum	Sat (h)	C (O ₃)
Karlovac-1			Hum (otok Vis)			Višnjan		
2.8.2017	15:00	186.04	22.6.2017	20:00	181.56	22.6.2017	14:00	194.44
2.8.2017	16:00	187.49	9.7.2017	4:00	182.27	22.6.2017	15:00	181.72
Osijek-1			9.7.2017	5:00	187.29	22.6.2017	17:00	181.50
16.6.2019	9:00	181.56	9.7.2017	11:00	192.17	22.6.2017	18:00	180.67
16.6.2019	10:00	212.77	9.7.2017	12:00	184.04	22.6.2017	22:00	186.77
16.6.2019	11:00	200.90	9.7.2017	13:00	181.66	22.6.2017	23:00	182.41
Rijeka-2			9.7.2017	22:00	180.66	23.6.2017	3:00	191.50
2.8.2017	13:00	186.96	20.7.2017	16:00	180.68	23.6.2017	4:00	189.64
4.8.2017	12:00	184.15	20.7.2017	19:00	184.29	23.6.2017	12:00	187.28
Varaždin-1			27.8.2017	17:00	185.73	23.6.2017	13:00	191.63
23.6.2017	18:00	187.48	27.8.2017	18:00	182.37	23.6.2017	14:00	199.53
11.7.2017	14:00	193.93	2.7.2019	19:00	191.36	23.6.2017	15:00	204.68
1.8.2017	18:00	182.99	2.7.2019	20:00	189.92	23.6.2017	16:00	193.65
2.8.2017	9:00	183.70	2.7.2019	21:00	185.65	23.6.2017	17:00	186.41
2.8.2017	10:00	214.91	Parg			27.6.2019	12:00	180.72
2.8.2017	13:00	210.06	22.6.2017	23:00	183.18	27.6.2019	13:00	187.97
2.8.2017	14:00	204.68	23.6.2017	0:00	180.66	27.6.2019	14:00	189.60
2.8.2017	15:00	215.28	23.6.2017	2:00	189.12	27.6.2019	15:00	197.82
2.8.2017	16:00	191.25	23.6.2017	3:00	200.47	27.6.2019	16:00	205.14
2.8.2017	17:00	183.36	23.6.2017	4:00	197.97	27.6.2019	17:00	191.93
3.8.2017	14:00	183.71	23.6.2017	5:00	191.39	27.6.2019	18:00	182.63
3.8.2017	15:00	199.65	23.6.2017	6:00	185.95	27.6.2019	19:00	203.38
3.8.2017	16:00	208.54	Pula Fižela			27.6.2019	20:00	203.48
3.8.2017	17:00	223.60	23.6.2017	15:00	190.87	27.6.2019	21:00	203.68
3.8.2017	18:00	222.02	23.6.2017	16:00	194.49	27.6.2019	22:00	188.51
11.8.2017	13:00	182.16	23.6.2017	17:00	189.94	27.6.2019	23:00	193.38
Zagreb-3			30.6.2018	14:00	182.24	28.6.2019	0:00	187.63
3.7.2016	4:00	194.12	30.6.2018	16:00	195.59	28.6.2019	1:00	181.14
25.7.2016	13:00	193.24	30.6.2018	17:00	184.86	5.7.2019	17:00	191.47
25.7.2016	14:00	184.38	18.7.2018	14:00	180.88	5.7.2019	18:00	190.67
30.7.2018	11:00	182.17	18.7.2018	15:00	189.21	5.7.2019	19:00	198.29
30.7.2018	12:00	185.63	18.7.2018	16:00	211.10	5.7.2019	20:00	202.53
30.7.2018	13:00	186.32	18.7.2018	17:00	225.28	5.7.2019	21:00	198.90
30.7.2018	16:00	181.67	18.7.2018	18:00	223.97	6.7.2019	8:00	196.97
31.7.2018	9:00	184.27	18.7.2018	19:00	195.34	6.7.2019	9:00	197.13
Desinić			18.7.2018	20:00	194.67	6.7.2019	10:00	193.93
22.6.2017	23:00	183.16	29.8.2019	16:00	182.41	6.7.2019	11:00	191.97
23.6.2017	0:00	187.97	29.8.2019	17:00	180.77	6.7.2019	12:00	188.57
23.6.2017	1:00	183.82	Polaća (Ravni kotari)			6.7.2019	17:00	190.56
4.8.2017	16:00	182.14	27.8.2017	12:00	184.83	6.7.2019	18:00	181.96
Velika Gorica			27.8.2017	13:00	181.04	25.7.2019	1:00	184.22
23.6.2017	11:00	183.56	Višnjan			25.7.2019	12:00	192.09
23.6.2017	12:00	183.35	22.6.2017	9:00	184.18	25.7.2019	13:00	191.78
3.8.2017	13:00	181.27	22.6.2017	10:00	190.06	29.07.2020	15:00	186.94
			22.6.2017	13:00	184.06	29.07.2020	16:00	182.53

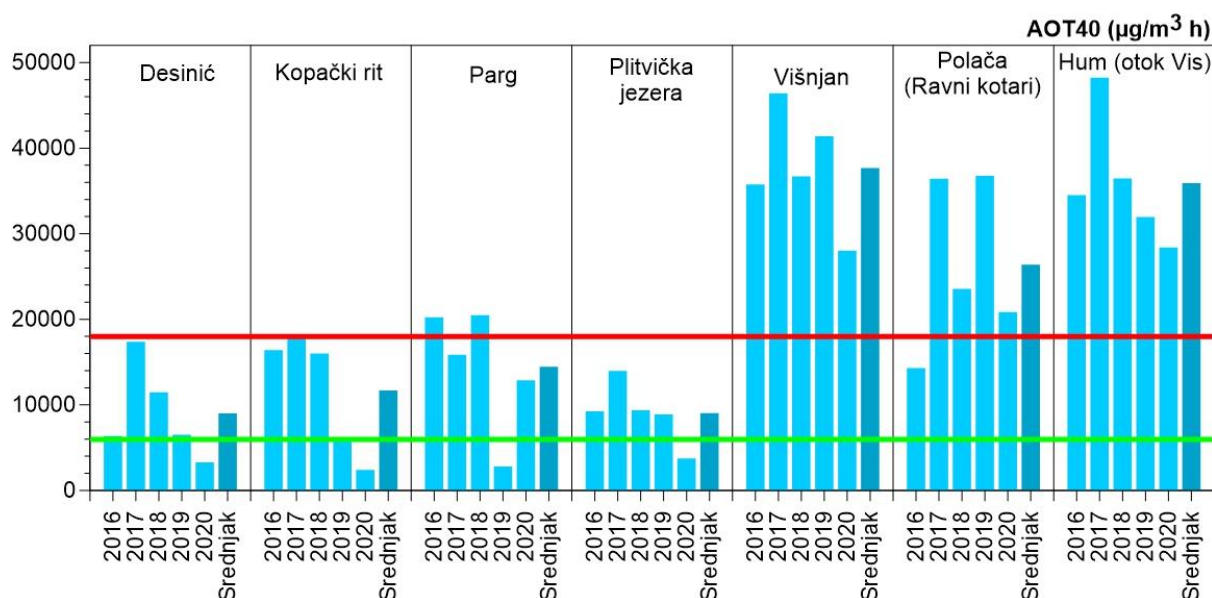


Procjena onečišćenja s obzirom na zaštitu vegetacije, analiza parametra AOT40

Opasnosti utjecaja onečišćenja zraka na vegetaciju i prirodne ekosustave procjenjuju se na mjestima koja su daleko od urbanih područja. U svrhu procjene utjecaja onečišćenja na vegetaciju razmatra se parametar AOT40 (eng. *Accumulated Ozone exposure over a Threshold 40 ppb*). AOT40 parametar, izražen je u $\mu\text{g}/\text{m}^3 \text{ h}$, a izračunava se kao zbroj razlike satnih vrijednosti koncentracija prizemnog ozona iznad vrijednosti od $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (40 dijelova na milijardu, ppb) i $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ tijekom određenog razdoblja. Pri tome uzimaju se u obzir satne vrijednosti izmjerene između 8:00 i 20:00 sati po srednjoeuropskom vremenu.

AOT40 parametar računa se za dva razdoblja, od 1. svibnja do 31. srpnja za zaštitu vegetacije te od 1. travnja do 30. rujna za zaštitu šuma. Člankom 7. st. 3 Uredbe o razinama onečišćujućih tvari u zraku propisana je ciljna vrijednost i dugoročni cilj AOT40 parametra za zaštitu vegetacije. Ciljna vrijednost iznosi $18\ 000 \mu\text{g}/\text{m}^3 \text{ h}$ uprosječno kroz razdoblje od pet godina. Dugoročni cilj za AOT40 iznosi $6\ 000 \mu\text{g}/\text{m}^3 \text{ h}$ za razdoblja računanja.

Izračunate godišnje vrijednosti i petogodišnji srednjaci AOT40 parametra za zaštitu vegetacije na raspoloživim podacima s mjernih postaja prikazane su na slici (Slika 2.5.5), i u tablici (Tablica 2.5.4). Petogodišnji srednjak AOT40 parametra izračunat je za 7 postaja koje imaju dovoljno dugačak niz (najmanje 3 godine) s obuhvatom podataka većim od 85 %.



Slika 2.5.5 Godišnje vrijednosti i pripadni srednjaci AOT40 parametra za zaštitu vegetacije. Crvenom linijom označena je ciljna vrijednost od $18\ 000 \mu\text{g}/\text{m}^3 \text{ h}$, a zelenom, dugoročni cilj koji iznosi $6\ 000 \mu\text{g}/\text{m}^3 \text{ h}$



Godišnje vrijednosti AOT40 parametra za zaštitu vegetacije očekivano su više na postajama uz obalu Jadranskog mora, a niže na postajama u kopnenom dijelu zemlje (gorska i nizinska Hrvatska). Najviše vrijednosti su na postajama Višnjan, Hum i Polača. Dugoročni cilj prekoračen je na svim postajama. U zonama HR 04 i HR 05 prekoračena je ciljna vrijednost.

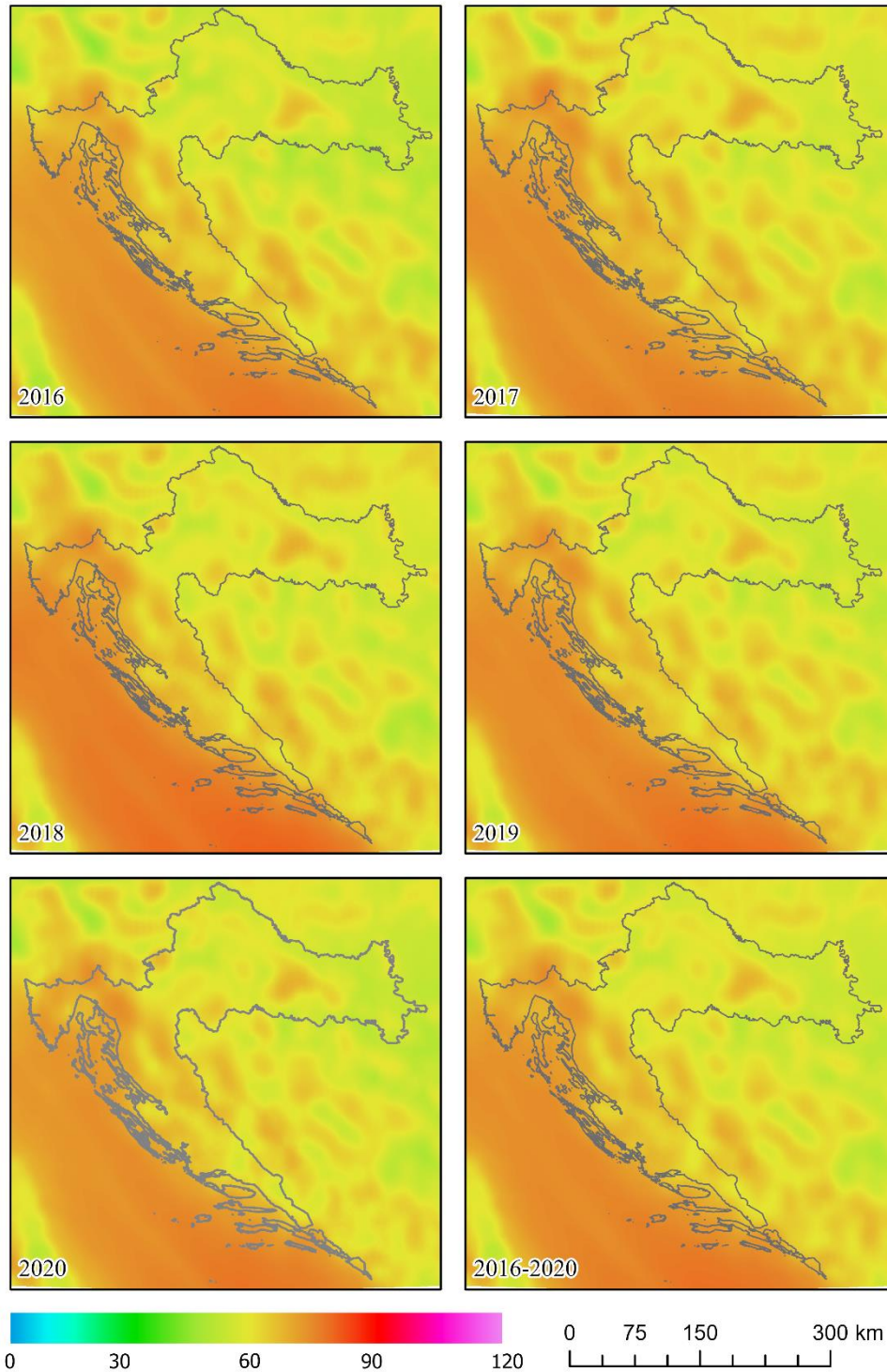
Tablica 2.5.4 AOT40 po godinama i za razdoblje 2016. – 2020. godine na raspoloživim podacima analiziranih postaja. Vrijednosti više od ciljne vrijednosti za zaštitu vegetacije (18 000 $\mu\text{g}/\text{m}^3 \text{ h}$) označene su crveno, sivo su označene vrijednosti ispod dugoročnog cilja (6000 $\mu\text{g}/\text{m}^3 \text{ h}$), a sa zvjezdicom (*) obuhvat podataka < 85 %

Zona	Postaja	2016	2017	2018	2019	2020	5-godišnji srednjak
HR 01	Desinić	6352*	17365*	11473*	6514	3287	8998
	Kopački rit	16400	17857	15997	5740	2398	11678
HR 03	Parg	20248	15859	20467	2784	12862	14444
	Plitvička jezera	9264*	13977*	9362*	8872*	3755*	9046
HR 04	Višnjan	35768	46410	36694	41398	28036	37661
HR 05	Polača (Ravni kotari)	14313*	36438*	23560*	36751	20835*	26380
	Hum (otok Vis)	34511*	48241*	36459	31954*	28396*	35912

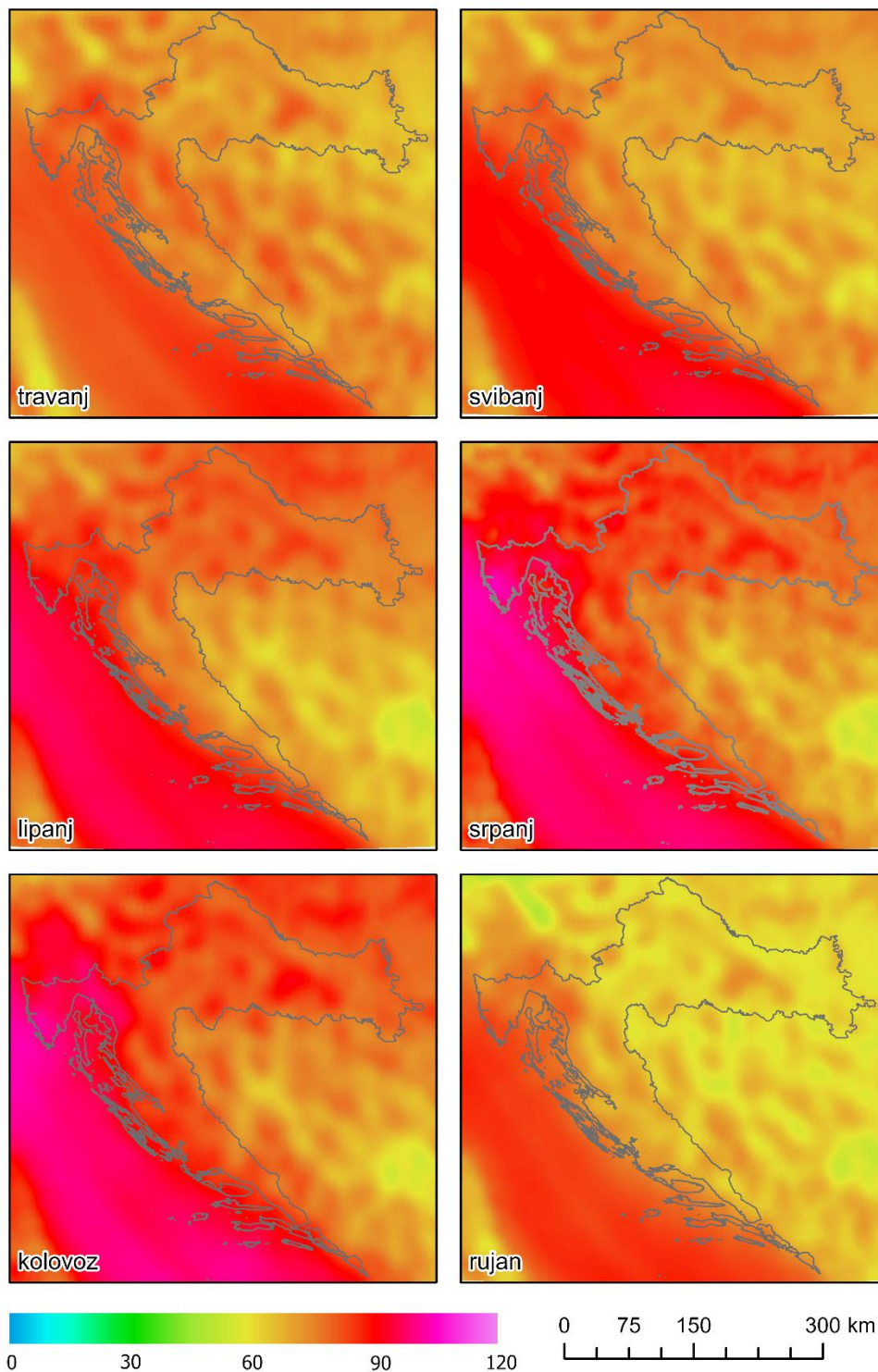
Analiza modeliranih koncentracija prizemnog ozona

Prema rezultatima kemijskog transportnog modela LOTOS-EUROS, koncentracije prizemnog ozona najviše su u priobalnom, mediteranskom dijelu Hrvatske, a najniže u nizinskim kopnenim krajevima. Srednje godišnje koncentracije u rasponu su između 50 i 80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ i malo se mijenjaju u promatranom razdoblju 2016. – 2020. (Slika 2.5.6).

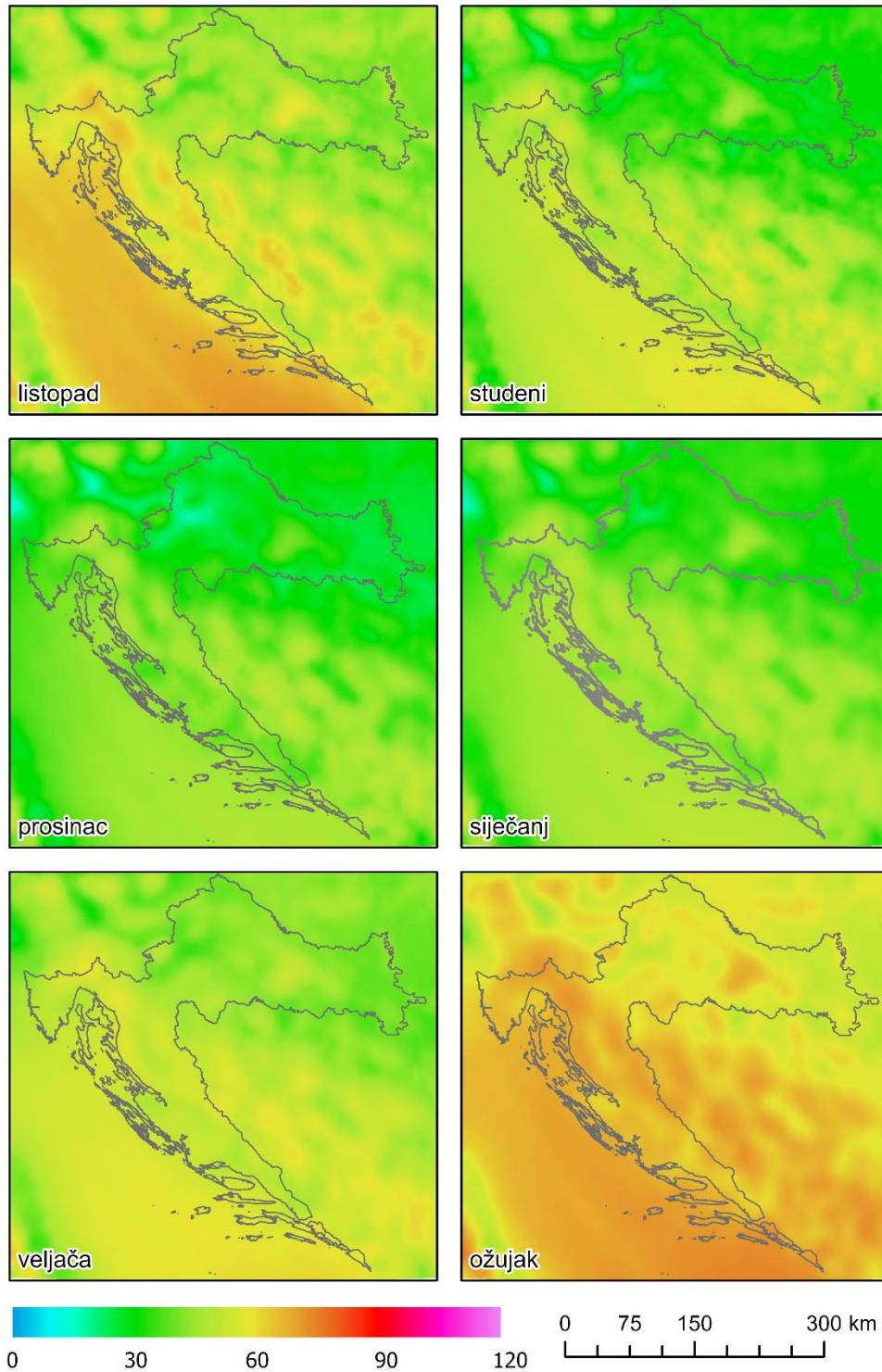
Iz uprosječenih mjesečnih vrijednosti u petogodišnjem razdoblju može se vidjeti sezonalni karakter prizemnih koncentracija ozona na području Hrvatske. Koncentracije su najviše u ljetnom dijelu godine (Slika 2.5.7), posebice na Jadranu kad je uz prisustvo velike količine sunčeva zračenja (dulji dan, više sunčana vremena) i prekursora (pomorski i cestovni promet) i produkcija ozona najviša. Međutim, tome valja pridodati i prekogranično onečišćenje iz susjednih mediteranskih zemalja, gdje zbog jake industrije i prometa također postoji snažan pritisak emisija prekursora ozona pa je i ondje pojačan nastanak ovog sekundarnog polutanta. Obzirom na njegovu dugotrajnost, zračnim strujanjima može se prenijeti na velike udaljenosti. Tijekom zime (Slika 2.5.8), čak i u primorju, srednje mjesečne koncentracije spuštaju se ispod 60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Razlog je smanjena produkcija ozona koja uz dovoljnu količinu prekursora ovisi prije svega o količini sunčeva zračenja i temperaturi.



Slika 2.5.6 Prostorna raspodjela prizemnih srednjih godišnjih koncentracija O₃ (µg/m³) na području Hrvatske u razdoblju od 2016. – 2020. godine dobivena LOTOS-EUROS kemijskim transportnim modelom



Slika 2.5.7 Prostorna raspodjela prizemnih srednjih mjesečnih koncentracija O₃ (µg/m³) na području Hrvatske u razdoblju od 2016. – 2020. godine (petogodišnji prosjek, travanj – rujan) dobivena LOTOS-EUROS kemijskim transportnim modelom



Slika 2.5.8 Prostorna raspodjela prizemnih srednjih mjesečnih koncentracija O_3 na području Hrvatske u razdoblju od 2016. – 2020. godine (petogodišnji prosjek, listopad – ožujak) dobivena LOTOS-EUROS kemijskim transportnim modelom



Ocjena sukladnosti zona i aglomeracija s okolišnim ciljevima

Na mjernim postajama na području Hrvatske u razdoblju 2016. – 2020. godine prag upozorenja prekoračen je 124 puta. Prag obavješćivanja nije bio prekoračen.

U promatranom razdoblju 2016. – 2020. zona HR 02 i aglomeracija HR OS su bile sukladne s ciljnom vrijednošću za najviše dnevne osmosatne prosjeke koncentracija prizemnog ozona (usrednjeno na tri godine) obzirom na zaštitu zdravlja ljudi. Nesukladne s ciljnom vrijednošću su bile zone HR 01 (Desinić), HR 03 (Parg, Karlovac-1), HR 04 (Višnjan, Pula Fižela) i HR 05 (Polača, Hum, Makarska, Opuzen, Žarkovica) i aglomeracije HR ZG (Zagreb-3, Velika Gorica) i HR RI (Rijeka-2). Objektivnom, ekspertnom procjenom, na osnovi rezultata mjerenja sa mjerne postaje Rijeka-2 kao najbliže gradske pozadinske mjerne postaje te uzimajući u obzir rezultate modeliranja, emisije prekursora i klimatologiju podneblja, ocijenjeno je da je aglomeracija HR ST nesukladna s ciljevima zaštite okoliša odnosno da je prekoračen dugoročni cilj. Ocjenu sukladnosti s ciljnom vrijednošću u aglomeraciji HR ST nije bilo moguće provesti zbog neprovođenja mjerenja u promatranom razdoblju (Tablica 2.5.5 i Slika 2.5.9).

U promatranom razdoblju 2016. – 2020. zone HR 04 (Višnjan) i HR 05 (Polača, Hum) nisu bile sukladne s ciljnom vrijednošću za AOT40 obzirom na zaštitu vegetacije, dok su zone HR 01 i HR 03 sukladne s ciljnom vrijednošću za AOT40. Objektivnom procjenom za zonu HR 02, a na temelju mjerenja na pozadinskim postajama u drugim zonama ocijenjeno je da su sve zone nesukladne s dugoročnim ciljem za prizemni ozon obzirom na zaštitu vegetacije (Tablica 2.5.6).

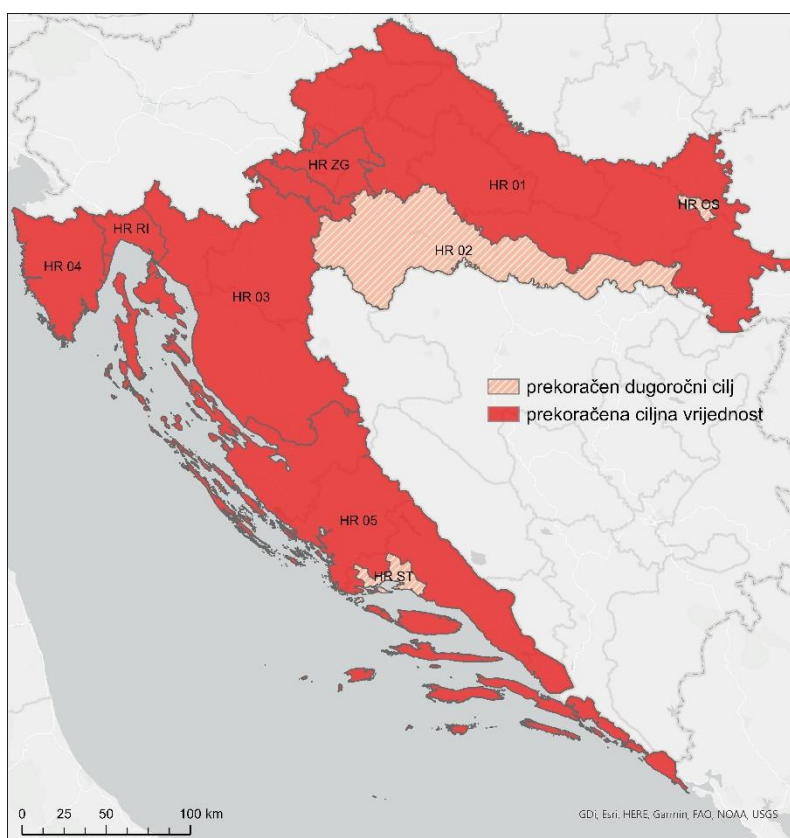
Tablica 2.5.5 Razine onečišćenosti zraka određene prema pragovima procjene te ocjena onečišćenosti za O₃ s obzirom na zaštitu zdravlja ljudi. Crvenom bojom označena je nesukladnost s ciljevima zaštite okoliša – prekoračenje ciljne vrijednosti – CV, tj. dugoročnog cilja – DC, zelena boja označava sukladnost s ciljevima zaštite okoliša – nije prekoračena CV (tj. DC), dok je sivom označena neocijenjena zona ili aglomeracija

O ₃ – zaštita zdravlja ljudi		
Zona / aglomeracija	Razina onečišćenosti	Ocjena onečišćenosti (sukladnosti)
HR ZG	>DC	●
HR OS	>DC	●
HR RI	>DC	●
HR ST	>DC	●
HR 01	>DC	●
HR 02	>DC	●
HR 03	>DC	●
HR 04	>DC	●
HR 05	>DC	●



Tablica 2.5.6 Razine onečišćenosti zraka određene prema pragovima procjene te ocjena onečišćenosti za O₃ s obzirom na zaštitu vegetacije. Crvenom bojom označena je nesukladnost s ciljevima zaštite okoliša – prekoračenje CV za AOT40, zelena boja označava sukladnost s ciljevima zaštite okoliša – nije prekoračena CV, dok je sivom označena neocijenjena zona

O ₃ – zaštita vegetacije		
Zona	Razina onečišćenosti	Ocjena onečišćenosti (sukladnosti)
HR 01	>DC	●
HR 02	>DC	●
HR 03	>DC	●
HR 04	>DC	●
HR 05	>DC	●



Slika 2.5.9 Kartogram ocjena razina onečišćenosti s O₃ po svim zonama i aglomeracijama obzirom na zaštitu zdravlja ljudi.



2.6. Benzen, C₆H₆

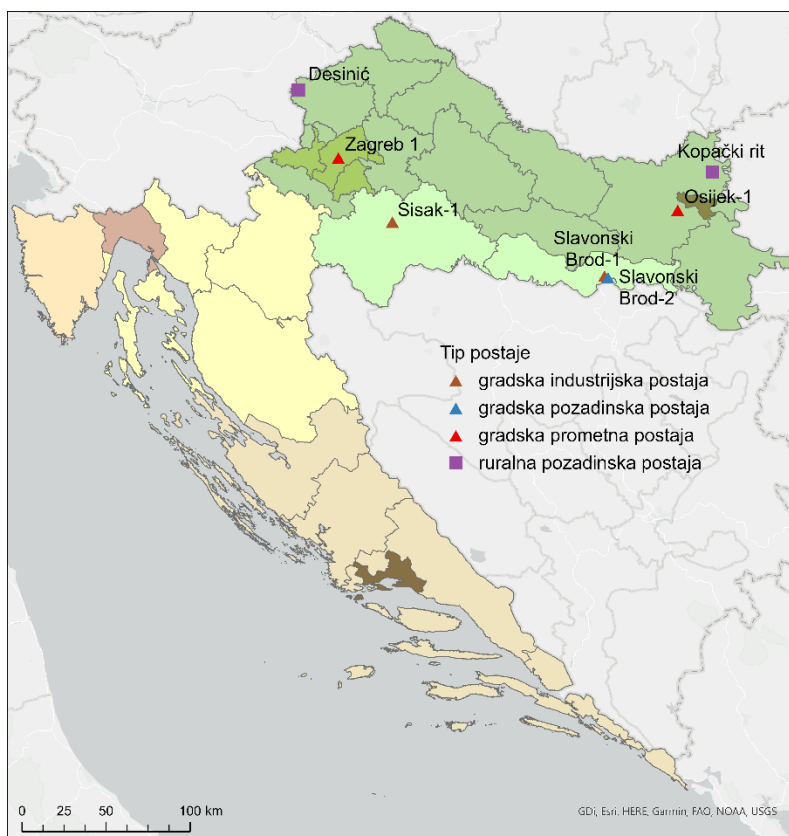
Izvori i emisije benzena

Benzen, C₆H₆, je aromatski ugljikovodik prstenaste strukture. Na sobnoj temperaturi nalazi se u tekućem stanju, iako je lako hlapiv. Bezbojan je, izraženog mirisa, iznimno zapaljiv, otrovan i kancerogen. Zbog obilježja lake hlapivosti benzen je prisutan u zraku, a obzirom da nije dobro topiv u vodi, kišom se mogu isprati iz zraka samo male količine.

Najveći izvor emisija benzena dolazi iz sektora prometa. Sirova nafta može sadržavati do 4 g/l benzena zbog čega proizvodnja tekućih goriva na bazi sirove nafte te izgaranje tih goriva značajno doprinosi emisijama. Drugi najveći izvor emisija benzena je industrija, prije svega proizvodnja aromata, proizvodnja tekućih goriva, petrokemijska industrija, prerađivačka industrija, drvena industrija i lakirnice. U industrijskoj proizvodnji benzen se koristi i kao organsko otapalo ili kao sirovina za proizvodnju ostalih organskih kemikalija, pesticida, lubrikanata itd. Treći značajan izvor emisija benzena je potrošnja goriva u ložištima unutar industrijskih objekata, kućnim ložištima i ložištima raznih uslužnih djelatnosti. Prisutan je i u dimu cigareta.

Mjerenja i obuhvat podataka

U razdoblju 2016. – 2020. mjerenja koncentracije benzena provodila su se na postajama za trajno praćenje kvalitete zraka u aglomeracijama HR ZG (Zagreb-1) i HR OS (Osijek-1), te u zonama HR 01 (Desinić, Kopački rit) i HR 02 (Sisak-1, Slavonski Brod-1, Slavonski Brod-2). Na svim postajama mjerenja se provode pomoću automatskih analizatora. Prostorni raspored i tip postaja prikazan je na slici (Slika 2.6.1), dok je obuhvat podataka na izdvojenim postajama prikazan u tablici (Tablica 2.6.1).



Slika 2.6.1 Prostorni raspored postaja državne mreže za trajno praćenje kvalitete zraka na kojima se provode mjerenja koncentracije benzena

Tablica 2.6.1 Obuhvat podataka mjerenja koncentracija benzena na postajama državne mreže za trajno praćenje kvalitete zraka u razdoblju 2016. – 2020. godine. Sivom bojom naznačen je obuhvat manji od 85 %. Oznaka (–) označava da nije bilo mjerenja

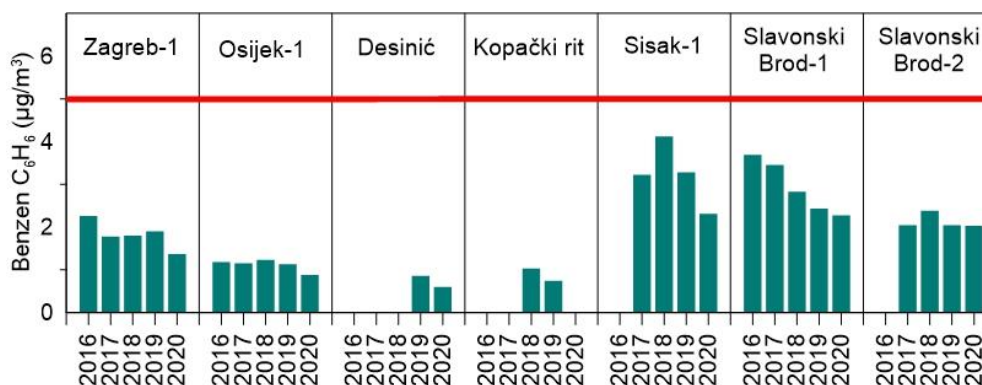
Zona/aglomeracija	Postaja	2016	2017	2018	2019	2020
HR ZG	Zagreb-1	96	83	83	89	82
HR OS	Osijek-1	86	85	77	83	87
HR 01	Desinić	–	27	46	66	68
	Kopački rit	–	–	76	63	33
HR 02	Sisak-1	20	68	86	87	94
	Slavonski Brod-1	88	71	80	88	91
	Slavonski Brod-2	–	72	76	81	93

Mjerenja benzena su zahtjevna, a mjerni instrumenti osjetljivi i podložni kvarovima. Zbog toga je i obuhvat podataka kad je riječ o benzenu niži od obuhvata za druge polutante i često niži od Uredbom propisanih 85 %. U tablici (Tablica 2.6.1) su godine u kojima je obuhvat manji od 85 % označene sivom bojom. Ruralne pozadinske postaje Desinić i Kopački rit ni u jednoj od pet godina promatranog razdoblja nemaju zadovoljavajući obuhvat podataka zbog učestalih poteškoća s radom instrumenata. Unatoč nedovoljnom obuhvatu, podaci sa svih postaja uzeti su u obzir kao vrijedan doprinos ocjeni.

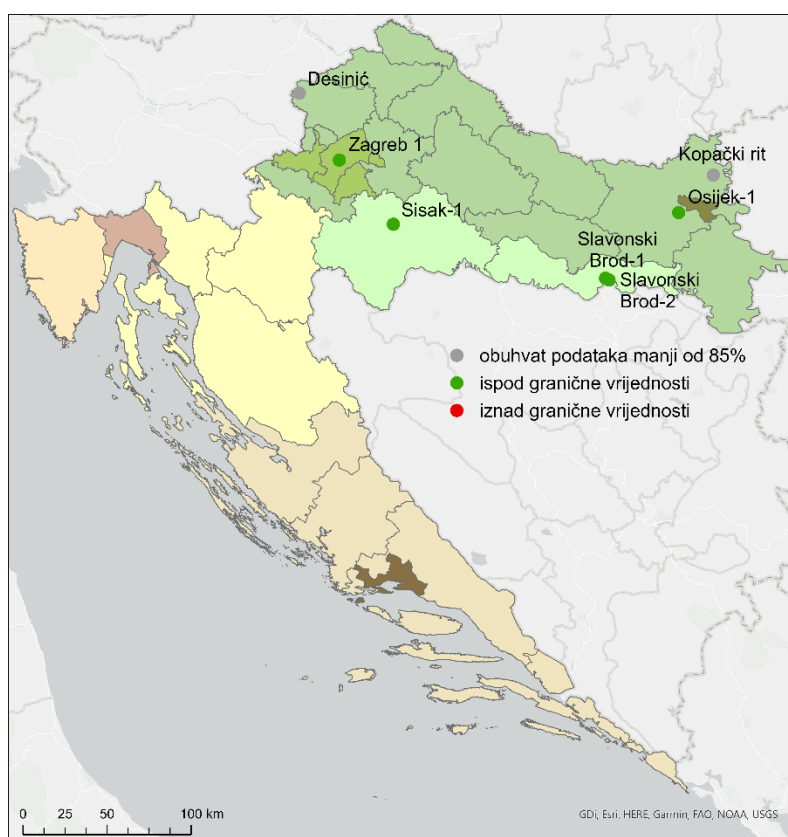


Analiza rezultata mjerenja benzena

Na slici (Slika 2.6.2) su prikazane srednje godišnje vrijednosti koncentracije benzena na analiziranim postajama državne mreže. U razdoblju 2016. – 2020. godine srednja godišnja koncentracija benzena nije prekoračila propisanu graničnu vrijednost od $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ na niti jednoj postaji. Sve srednje vrijednosti prikazane su u tablici (Tablica 2.6.2). Prostorni raspored svih postaja s obzirom na prekoračenje granične vrijednosti prikazan je na slici (Slika 2.6.3).



Slika 2.6.2 Srednja godišnja vrijednost koncentracija benzena u razdoblju 2016. – 2020. godine. Crvenom linijom je označena granična vrijednost ($\text{GV} = 5 \mu\text{g}/\text{m}^3$)



Slika 2.6.3 Prostorni raspored postaja u državnoj mreži za trajno praćenje kvalitete zraka. Zelenom bojom označene su postaje na kojima granična vrijednost nije prekoračena u razdoblju 2016. – 2020. godine, crvenom bojom postaje na kojima je granična vrijednost prekoračena, a sivom bojom postaje sa obuhvatom podataka mjerenja manjim od 85 %



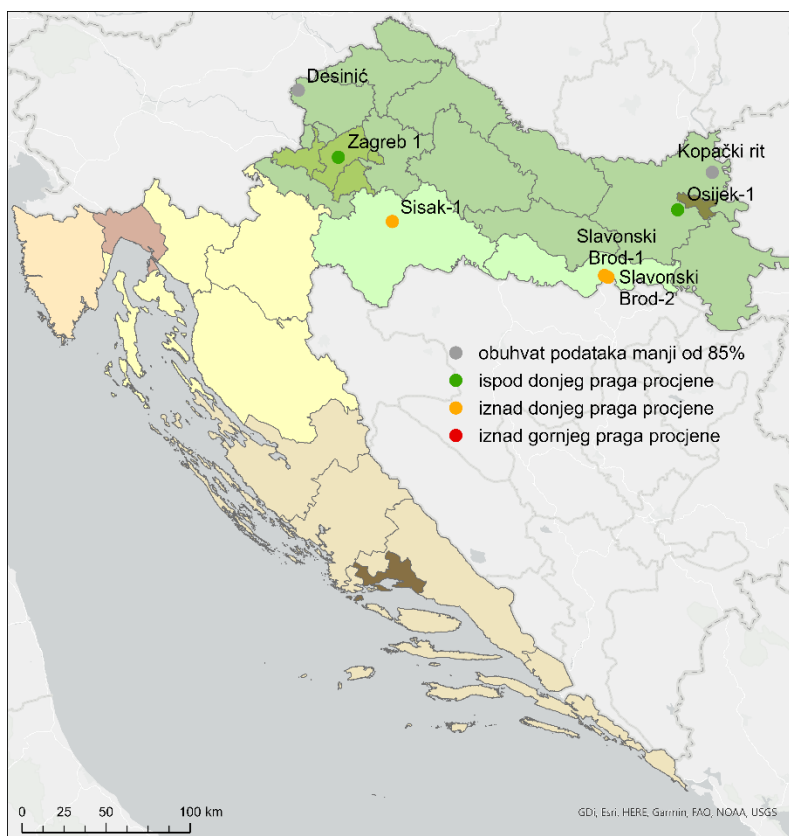
Rezultati analize s obzirom na donju i gornju granicu procjene

U tablici (Tablica 2.6.2) prikazane su srednje godišnje vrijednosti koncentracija benzena za postaje na kojima je bio zadovoljen obuhvat podataka u razdoblju 2016. – 2020. godine. Zadržani su i podaci s postaja u kojima obuhvat podataka nije bio zadovoljen, a čiji podaci se smatraju vrijednim doprinosom u donošenju ocjene. Postaje i godine gdje je obuhvat podataka bio manji od 50 % izostavljene su iz tablice. Donji prag procjene ($2 \mu\text{g}/\text{m}^3$) prekoračen je u zoni HR 02 na postajama Slavonski Brod-1, Slavonski Brod-2 i Sisak-1. Razina onečišćenja u aglomeracijama HR ZG i HR OS je ispod donjeg praga procjene. Razina onečišćenja u zoni HR 01 obzirom na nedostatan obuhvat podataka procijenjena je objektivnom ekspertnom procjenom na razinu ispod donjeg praga procjene.

Prostorni raspored svih postaja s prekoračenjima donjeg i gornjeg praga prikazan je na slici (Slika 2.6.4).

Tablica 2.6.2 Srednje godišnje vrijednosti koncentracija benzena za razdoblje 2016. – 2020. godine. Prekoračenja donjeg praga procjene ($2 \mu\text{g}/\text{m}^3$) su označene svijetlo plavom bojom, a prekoračenja gornjeg praga procjene tamno plavom bojom ($3.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Nedostatan obuhvat podataka (< 85 %) označen je sa zvjezdicom, oznaka (–) označava da nije bilo mjerenja, a (–*) označava da podataka ima, ali su izostavljeni jer je obuhvat nezadovoljavajući ili podaci kojih ima nisu mjerodavni

Zona/aglomeracija	Postaja	2016	2017	2018	2019	2020
HR ZG	Zagreb-1	2.26	1.78*	1.80*	1.90	1.37*
HR OS	Osijek-1	1.18	1.15	1.23*	1.13*	0.88
HR 01	Desinić	–	–*	–*	0.86*	0.60*
	Kopački rit	–	–	1.03*	0.74*	–*
HR 02	Sisak-1	–*	3.22*	4.12	3.28	2.31
	Slavonski Brod-1	3.69	3.45*	2.83*	2.43	2.27
	Slavonski Brod-2	–	2.04*	2.38*	2.04*	2.03



Slika 2.6.4 Prostorni prikaz postaja s obzirom na analizu donje i gornje granice procjene. Crvenom bojom označene su postaje s vrijednostima iznad gornjeg praga procjene. Žutom bojom označene su postaje s vrijednostima ispod gornjeg praga procjene. Zelenom bojom označene su postaje s vrijednostima ispod donjeg praga procjene. Sivom bojom označene su postaje na kojima nije zadovoljen kriterij obuhvata podataka

Ocjena sukladnosti zona i aglomeracija s okolišnim ciljevima

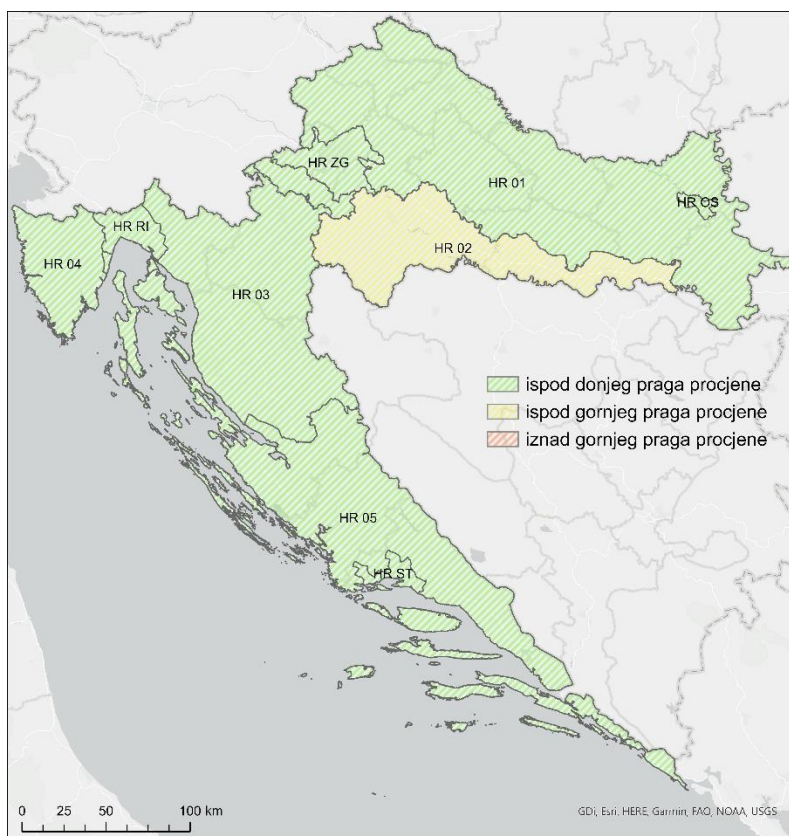
Prema rezultatima mjerenja koncentracija benzena u proteklom petogodišnjem razdoblju 2016. – 2020. godine, zona HR 02 te aglomeracije HR ZG i HR OS su sukladne s okolišnim ciljevima obzirom na zaštitu zdravlja ljudi, odnosno u niti jednoj godini nije bila prekoračena granična vrijednost od $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Na postajama u zoni HR 01 nije bio zadovoljen obuhvat podataka u promatranom razdoblju. Uzimajući u obzir raspodjelu emisija lako hlapivih organskih spojeva na području Hrvatske te klimatološke uvjete i ocjenu u zoni HR 02 i aglomeracijama HR ZG i HR OS, objektivnom ekspertnom ocjenom procijenjeno je da su koncentracije benzena u zonama HR 01, HR 03, HR 04 i HR 05 te aglomeracijama HR RI i HR ST bile niže od propisane granične vrijednosti u promatranom razdoblju 2016. – 2020. godine (Tablica 2.6.3).

Razina onečišćenosti prema rezultatima mjerenja koncentracija benzena u zoni HR 02 je ispod gornjeg praga procjene, a u aglomeracijama HR ZG i HR OS ispod donjeg praga procjene. Objektivnom ekspertnom ocjenom procijenjena razina onečišćenosti u zonama HR 01, HR 03, HR 04 i HR 05 te aglomeracijama HR RI i HR ST je ispod donjeg praga procjene (Slika 2.6.5).



Tablica 2.6.3 Razine onečišćenosti zraka određene prema pragovima procjene te ocjena onečišćenosti za C_6H_6 s obzirom na zaštitu zdravlja ljudi. Crvenom bojom označena je nesukladnost s ciljevima zaštite okoliša – prekoračenje GV, zelena boja označava sukladnost s ciljevima zaštite okoliša – nije prekoračena GV, dok je sivom označena neocijenjena zona ili aglomeracija

Benzen (C_6H_6) – zaštita zdravlja ljudi		
Zona / aglomeracija	Razina onečišćenosti	Ocjena onečišćenosti (sukladnosti)
HR ZG	<DPP	●
HR OS	<DPP	●
HR RI	<DPP	●
HR ST	<DPP	●
HR 01	<DPP	●
HR 02	<GPP	●
HR 03	<DPP	●
HR 04	<DPP	●
HR 05	<DPP	●



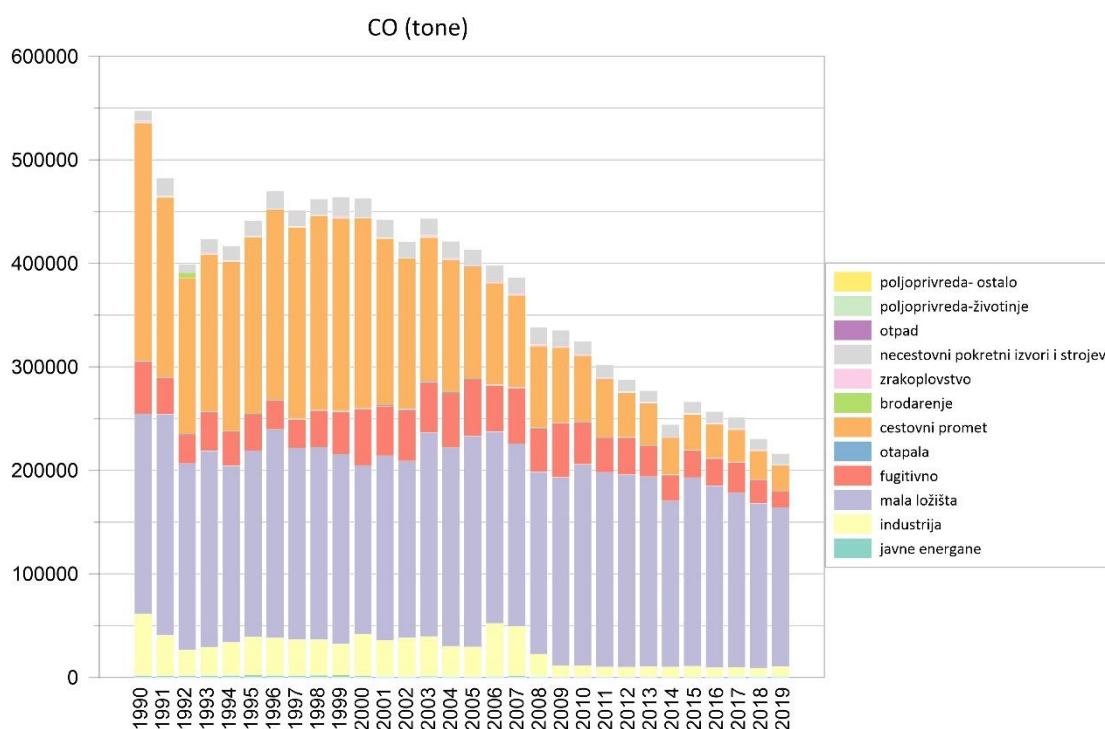
Slika 2.6.5 Kartogram ocjena razina onečišćenosti benzenom po svim zonama i aglomeracijama obzirom na zaštitu zdravlja ljudi



2.7. Ugljikov monoksid, CO

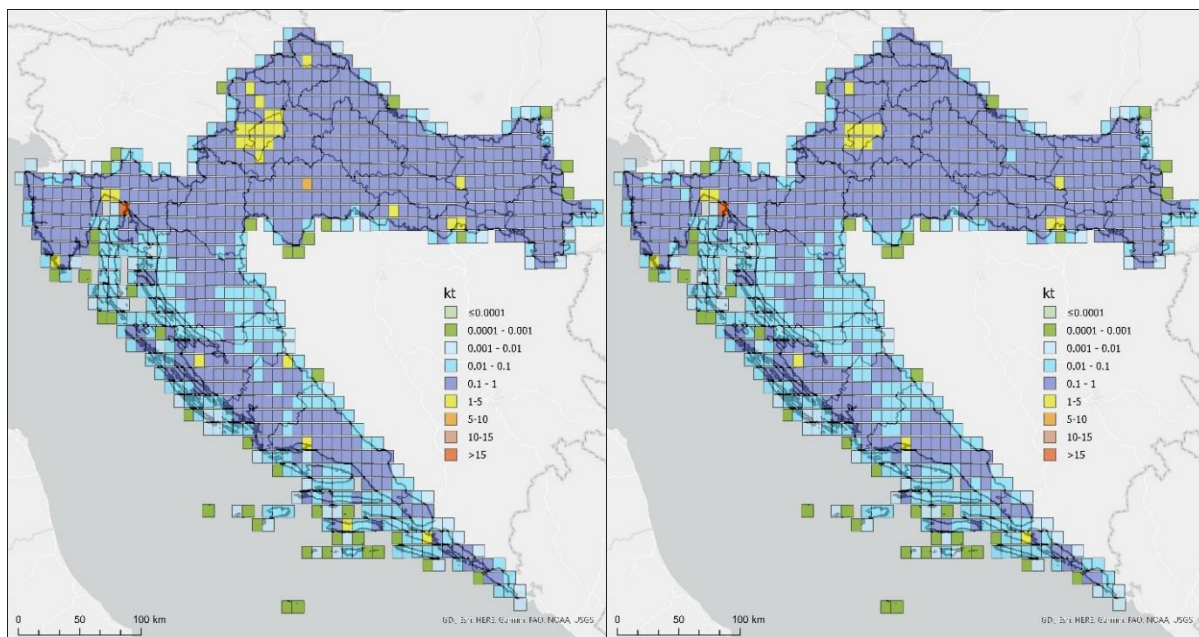
Izvori i emisije CO

Ugljikov monoksid je plin bez boje i mirisa. Nastaje izgaranjem organskog materijala, ugljena, plina, drva, otpada i drugih tvari koje sadrže ugljik uz nedovoljnu količinu kisika. Najveći antropogeni izvor ugljikovog monoksida su mala kućna ložišta, a potom ispušni plinovi automobila. Prirodni izvor su vulkani. U metalnoj industriji CO se koristi za dobivanje metala iz oksidnih ruda. Izrazito je opasan, toksičan za zdravlje ljudi jer se u tijelu veže za hemoglobin brže od kisika, čime se smanjuje količina kisika u krvi i izaziva stanično gušenje. Jedan od izvora je i dim cigarete. Smatra se da pušači imaju dva do tri puta veću koncentraciju ugljikovog monoksida u krvi nego nepušači.



Slika 2.7.1 Emisije CO u Hrvatskoj raspodijeljene po GNFR sektorima u razdoblju 1990. – 2019. godine izražene u tonama

Emisije CO na području Hrvatske se kontinuirano smanjuju od početka dvijetisućitih godina. Danas one iznose oko 200 kt godišnje, što je za oko 250 kt manje nego 2000. godine. U prosjeku, posljednjih godina, smanjenje emisija CO je oko 12 kt godišnje. Naviše emisija pripada sektoru malih kućnih ložišta (70 %), dok je preostalih 30 % najvećim dijelom raspodijeljeno na sektore: cestovni promet, fugitivno, necestovni pokretni izvori i strojevi te industrija (Slika 2.7.1).



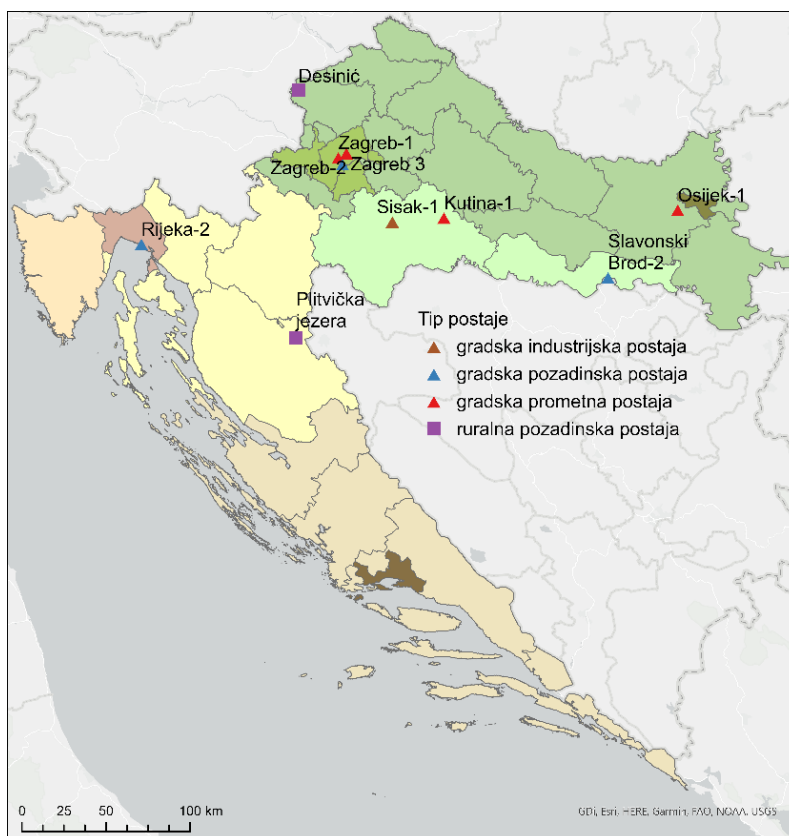
Slika 2.7.2 Prostorna razdioba emisija CO na području Hrvatske u 2015. godini (slika lijevo) i 2019. godini (slika desno)

Na području Hrvatske, emisije ugljikovog monoksida najviše su na području grada Zagreba i drugih većih gradova, te lokalno na područjima gdje postoji značajna industrija (npr. Sisak – 2015., Bakar). Usporedbom prostorne razdiobe emisija CO u 2015. i 2019. godini uočava se smanjenje emisija na području aglomeracije Zagreb. Emisije su najmanje na području Like i unutrašnjosti Dalmacije, dalje od važnijih prometnica, te na jadranskim otocima (Slika 2.7.2).

Mjerenja i obuhvat podataka

U sklopu državne mreže za trajno praćenje kvalitete zraka mjerenje koncentracije ugljikovog monoksida, u razdoblju 2016. – 2020. godine, provodilo se u aglomeracijama HR ZG (Zagreb-1, Zagreb-2, Zagreb-3), HR OS (Osijek-1) i HR RI (Rijeka-2) te zonama HR 01 (Desinić), HR 02 (Sisak-1, Kutina-1, Slavonski Brod-2) i HR 03 (Plitvička jezera). U svim zonama i aglomeracijama mjerenja se provode pomoću automatskih analizatora. Prostorni raspored i tip postaja prikazan je na slici (Slika 2.7.3).

U tablici (Tablica 2.7.1) je prikazan obuhvat podataka po godinama i postajama na kojima se mjeri koncentracija ugljikovog monoksida. U promatranom razdoblju obuhvat podataka je na većini postaja zadovoljavajući.



Slika 2.7.3 Prostorni raspored postaja na kojima se provode mjerenja ugljikovog monoksida (CO)

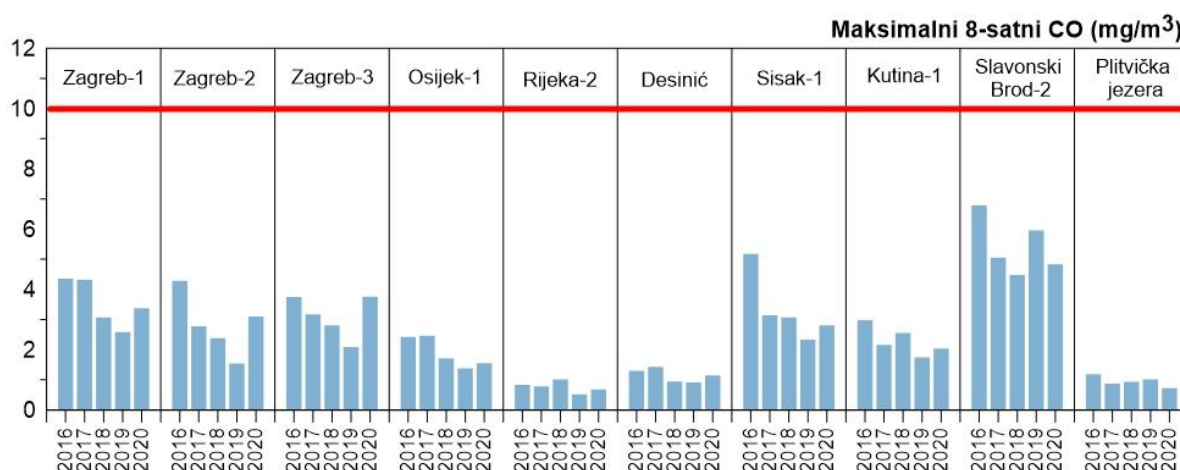
Tablica 2.7.1 Obuhvat podataka mjerenja satnih koncentracija ugljikovog monoksida (CO) na postajama državne mreže u razdoblju 2016. – 2020. godine. Sivo su označeni obuhvati manji od 85 %

Zona/aglomeracija	Postaja	2016	2017	2018	2019	2020
HR ZG	Zagreb-1	90	88	89	94	94
	Zagreb-2	86	84	96	98	79
	Zagreb-3	83	89	96	97	98
HR OS	Osijek-1	88	90	91	92	96
HR RI	Rijeka-2	85	89	91	93	79
HR 01	Desinić	86	84	87	91	86
HR 02	Sisak-1	79	91	97	97	98
	Kutina-1	87	91	97	96	96
	Slavonski Brod-2	89	70	88	95	95
HR 03	Plitvička jezera	95	81	82	79	86



Analiza rezultata mjerenja ugljikovog monoksida

Za ocjenu kvalitete zraka prema zahtjevima Uredbe o razinama onečišćujućih tvari u zraku (NN 77/2020) određivala se najviša dnevna osmosatna vrijednost koncentracije ugljikovog monoksida. Granična vrijednost od 10 mg/m³ propisana Uredbom nije prekoračena ni na jednoj mjernoj postaji u promatranom razdoblju. Najviše dnevne osmosatne vrijednosti prikazane su na slici (Slika 2.7.4). Na području Hrvatske najviše koncentracije ugljikovog monoksida mjerene su na postaji Slavonski Brod-2, no i one su znatno ispod propisane granične vrijednosti.



Slika 2.7.4 Najviše dnevne osmosatne koncentracije CO na postajama državne mreže za trajno praćenje kvalitete zraka u razdoblju od 2016. – 2020. godine. Crvenom linijom označena je granična vrijednost za ugljikov monoksid propisana Uredbom (10 mg/m³)

Rezultati analize s obzirom na donju i gornju granicu procjene

Prema Uredbi (NN 77/2020) propisane granice procjene odnose se na najvišu osmosatnu srednju vrijednost koncentracije ugljikovog monoksida i iznose 50 % granične vrijednosti za donju granicu procjene (5 mg/m³) te 70 % granične vrijednosti za gornju granicu procjene (7 mg/m³). Rezultati analize razine onečišćenja s obzirom na zaštitu zdravlja ljudi prikazani su u tablici (Tablica 2.7.2). Donja granica procjene prekoračena je na postaji Slavonski Brod-2 u godinama 2016. i 2019. Gornja granica procjene nije prekoračena ni na jednoj mjernoj postaji. Prema tome, razina onečišćenja na svim mjestima na kojima se provodilo mjerenje koncentracija ugljičnog monoksida u promatranom petogodišnjem razdoblju (2016. – 2020.) je ispod donje granice procjene.



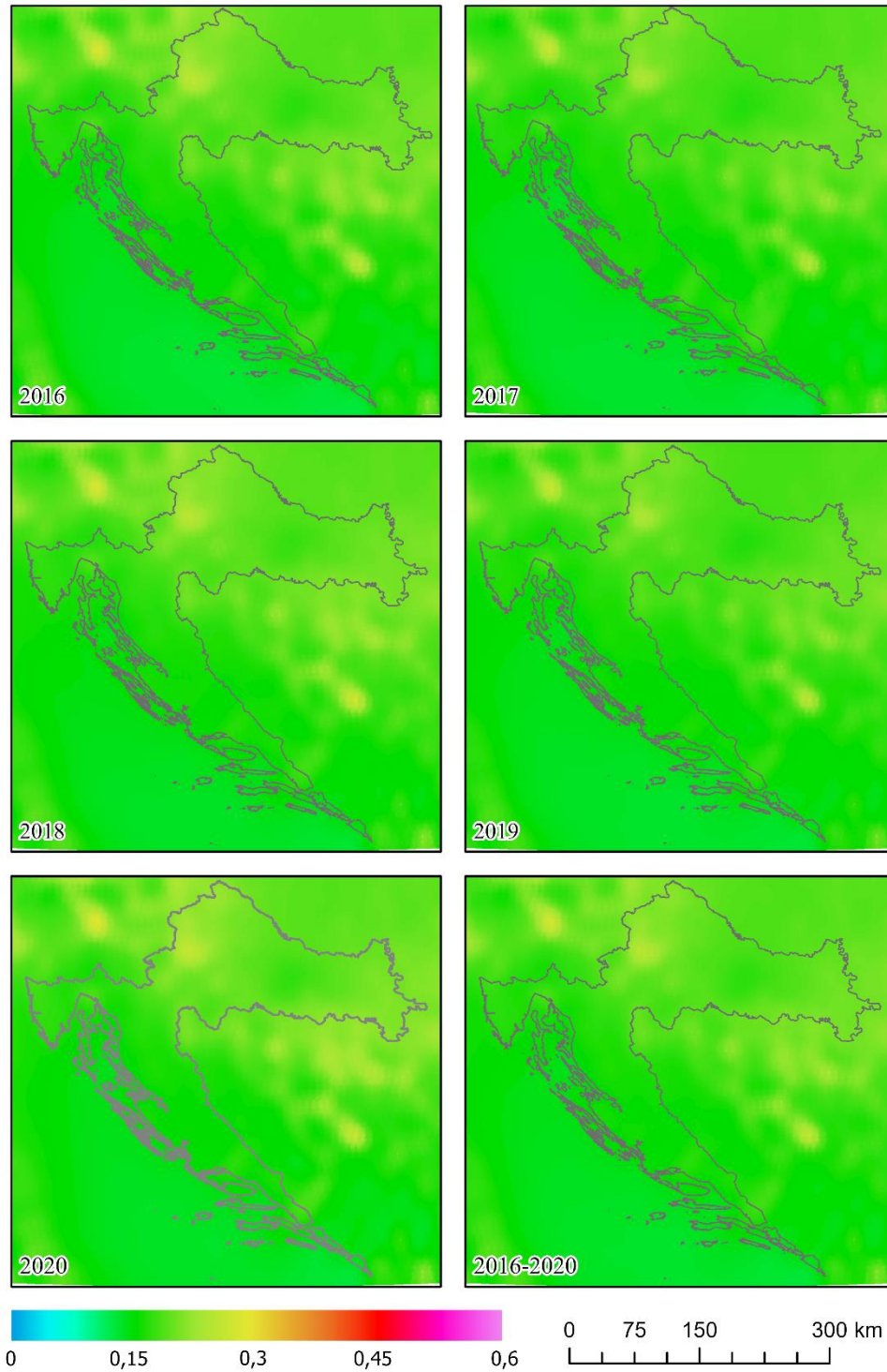
Tablica 2.7.2 Najviši dnevni osmosatni pomični srednjaci na razini godine dana za razdoblje 2016. – 2020. godine. Svijetlo plavom bojom označena su prekoračenja donje granice procjene, a sa zvjezdicom (*) obuhvat podataka manji od 85 %

Zona/aglomeracija	Postaja	2016	2017	2018	2019	2020
HR ZG	Zagreb-1	4.36	4.31	3.07	2.58	3.37
	Zagreb-2	4.28	2.78*	2.38	1.54	3.10*
	Zagreb-3	3.75*	3.17	2.81	2.09	3.76
HR OS	Osijek-1	2.42	2.46	1.71	1.38	1.55
HR RI	Rijeka-2	0.83	0.78	1.01	0.52	0.68*
HR 01	Desinić	1.30	1.43*	0.94	0.91	1.15
HR 02	Sisak-1	5.18*	3.14	3.07	2.33	2.81
	Kutina-1	2.98	2.16	2.55	1.74	2.04
	Slavonski Brod-2	6.79	5.05*	4.48	5.96	4.83
HR 03	Plitvička jezera	1.19	0.87*	0.93*	1.01*	0.72

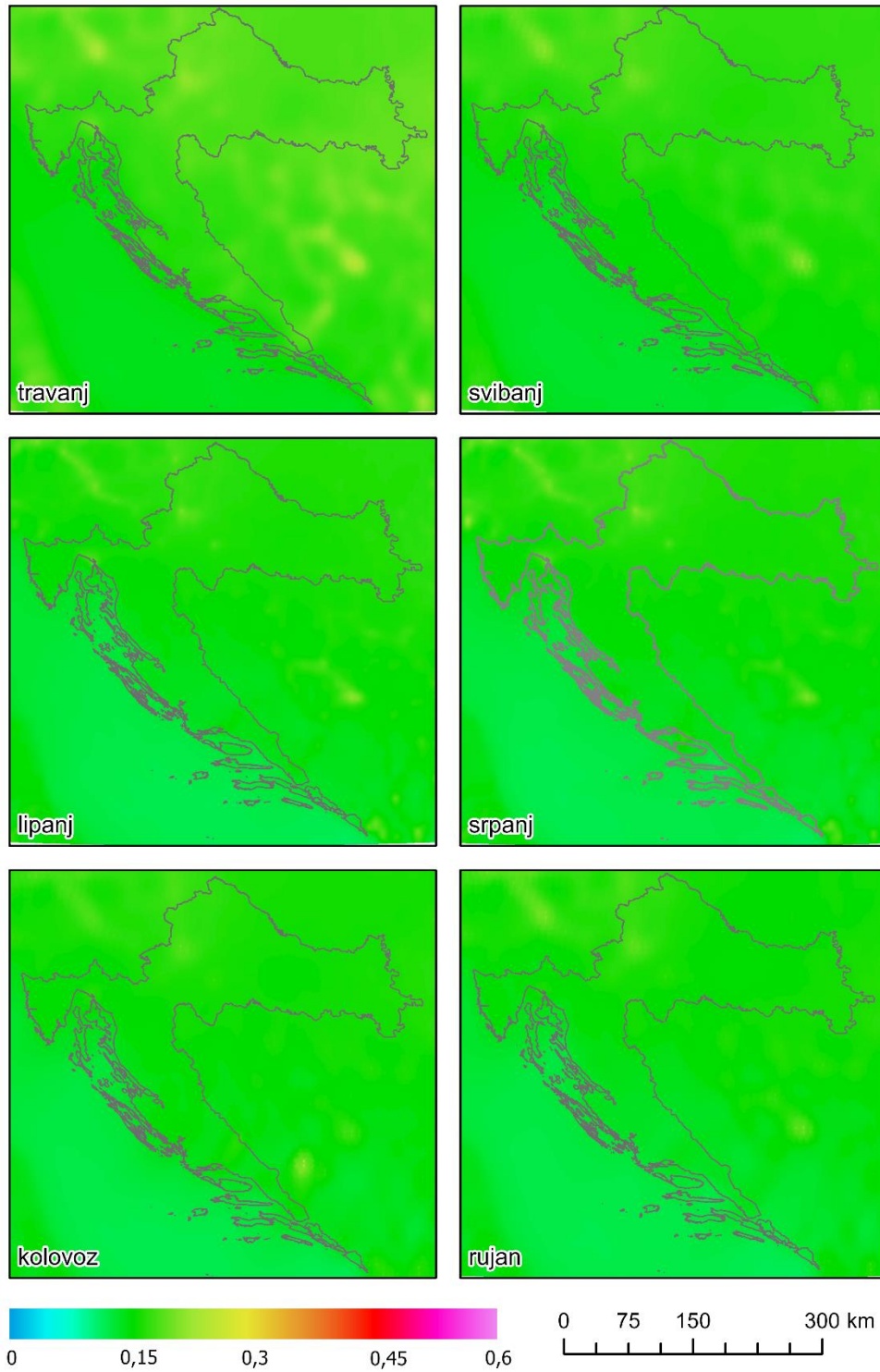
Analiza modeliranih koncentracija ugljikovog monoksida

Prema rezultatima kemijskog transportnog modela LOTOS-EUROS, prizemne koncentracije ugljikovog monoksida su vrlo niske na području Hrvatske. Srednje godišnje koncentracije nad cijelim teritorijem zemlje su niže od 0.5 mg/m^3 , što je dva reda veličine manje od godišnje granične vrijednosti koja iznosi 10 mg/m^3 . U usporedbi s drugim regijama, malo veće koncentracije nego drugdje mogu se uočiti na području grada Zagreba (Slika 2.7.5).

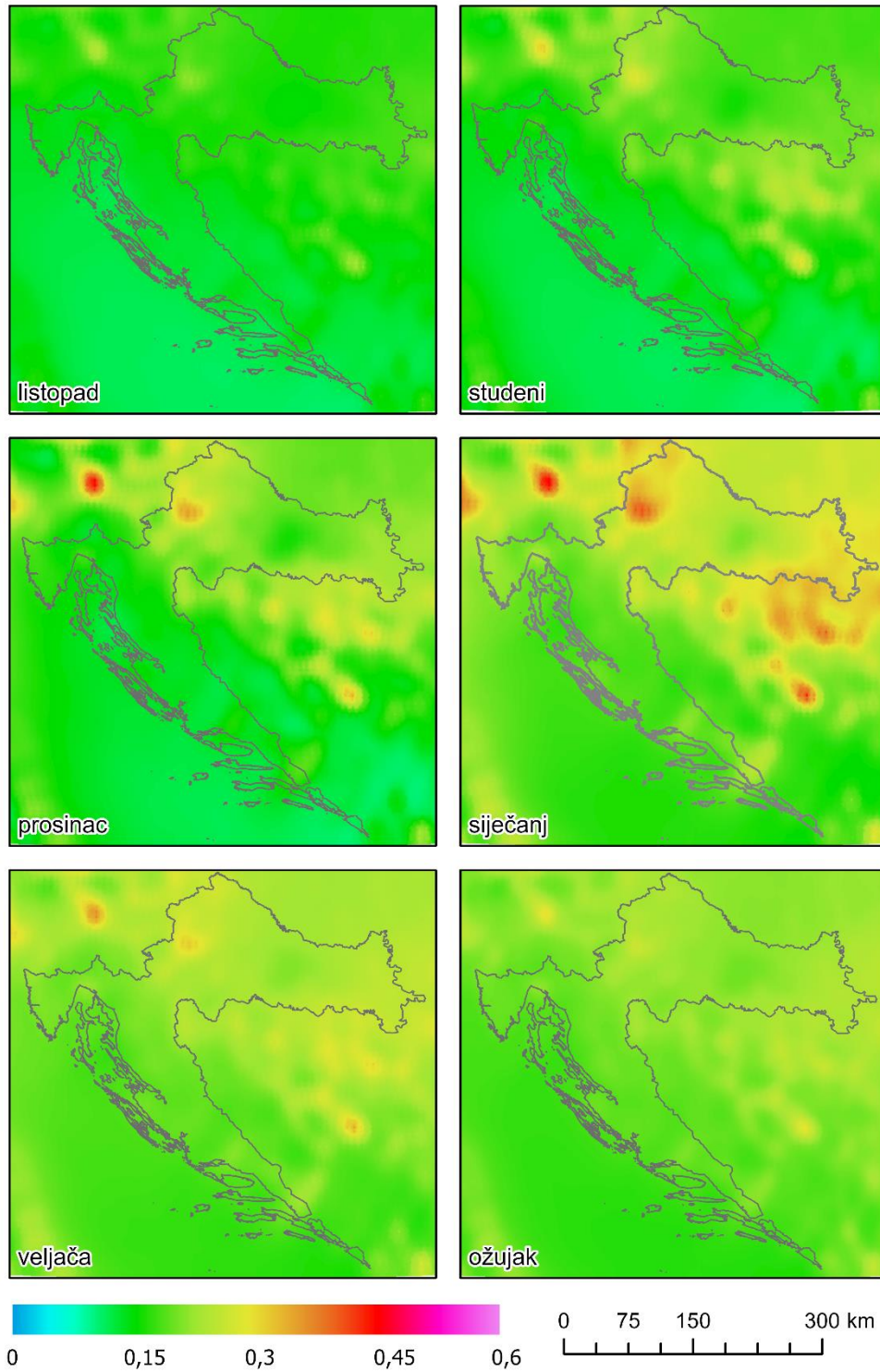
Koncentracije ugljikovog monoksida imaju jasno izračeni sezonalni karakter. Veće vrijednosti bilježe se u zimskom dijelu godine, zbog povećanih emisija i meteoroloških uvjeta povoljnih za akumulaciju prizemnih koncentracija. Slično se odnosi na sve polutante koji su produkt nepotpunog izgaranja fosilnih goriva, bilo da je riječ o malim kućnim ložištima, toplanama ili prometu, jer su to sektori koji u pravilu imaju povećane emisije u zimskom dijelu godine. Iako su koncentracije ugljikovog monoksida u usporedbi s drugim mjesecima u godini zimi više, čak ni tad one ne prelaze 0.5 mg/m^3 (Slika 2.7.6 i Slika 2.7.7).



Slika 2.7.5 Prostorna raspodjela prizemnih srednjih godišnjih koncentracija CO (mg/m^3) na području Hrvatske u razdoblju od 2016. – 2020. godine dobivena LOTOS-EUROS kemijskim transportnim modelom



Slika 2.7.6 Prostorna raspodjela prizemnih srednjih mjesečnih koncentracija CO (mg/m³) na području Hrvatske u razdoblju od 2016. – 2020. godine (petogodišnji prosjek, travanj – rujan) dobivena LOTOS-EUROS kemijskim transportnim modelom



Slika 2.7.7 Prostorna raspodjela prizemnih srednjih mjesečnih koncentracija CO (mg/m³) na području Hrvatske u razdoblju od 2016. – 2020. godine (petogodišnji prosjek, listopad – ožujak) dobivena LOTOS-EUROS kemijskim transportnim modelom

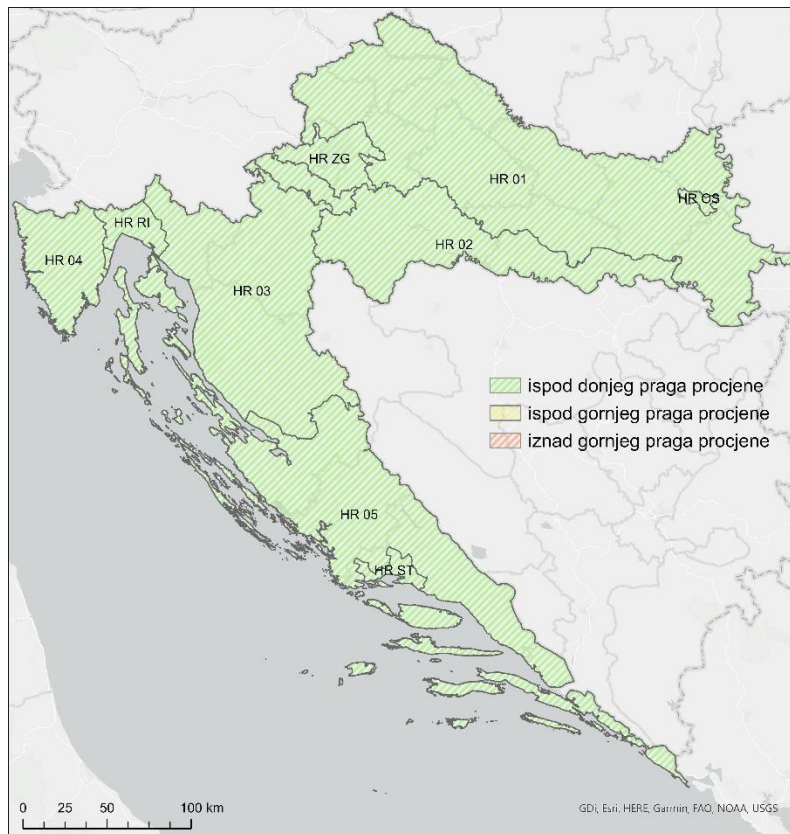


Ocjena sukladnosti zona i aglomeracija s okolišnim ciljevima

Na osnovi analize mjerenja zone HR 01, HR 02 i HR 03 te aglomeracije HR ZG, HR OS i HR RI sukladne su s graničnom vrijednošću za maksimalne dnevne osmosatne vrijednosti koncentracija ugljikovog monoksida obzirom na zaštitu zdravlja ljudi. Objektivnom ekspertnom ocjenom, uzimajući u obzir izmjerene vrlo niske koncentracije ugljikovog monoksida na cijelom području Hrvatske, potom rezultate kemijskog transportnog modela LOTOS-EUROS i prostornu raspodjelu emisija te klimatološke karakteristike podneblja, ocijenjeno je da su i aglomeracija HR ST te zone HR 04 i HR 05 također sukladne s graničnom vrijednošću za maksimalne dnevne osmosatne vrijednosti koncentracija ugljikovog monoksida obzirom na zaštitu zdravlja ljudi. Razina onečišćenja u svim zonama i aglomeracijama je ispod donjeg praga procjene (Tablica 2.7.3 i Slika 2.7.8).

Tablica 2.7.3 Razine onečišćenosti zraka određene prema pragovima procjene te ocjena onečišćenosti za CO s obzirom na zaštitu zdravlja ljudi. Crvenom bojom označena je nesukladnost s ciljevima zaštite okoliša – prekoračenje GV, zelena boja označava sukladnost s ciljevima zaštite okoliša – nije prekoračena GV, dok je sivom označena neocijenjena zona ili aglomeracija

CO – zaštita zdravlja ljudi		
Zona / aglomeracija	Razina onečišćenosti	Ocjena onečišćenosti (sukladnosti)
HR ZG	<DPP	●
HR OS	<DPP	●
HR RI	<DPP	●
HR ST	<DPP	●
HR 01	<DPP	●
HR 02	<DPP	●
HR 03	<DPP	●
HR 04	<DPP	●
HR 05	<DPP	●



Slika 2.7.8 Kartogram ocjena razina onečišćenosti s CO po svim zonama i aglomeracijama obzirom na zaštitu zdravlja ljudi



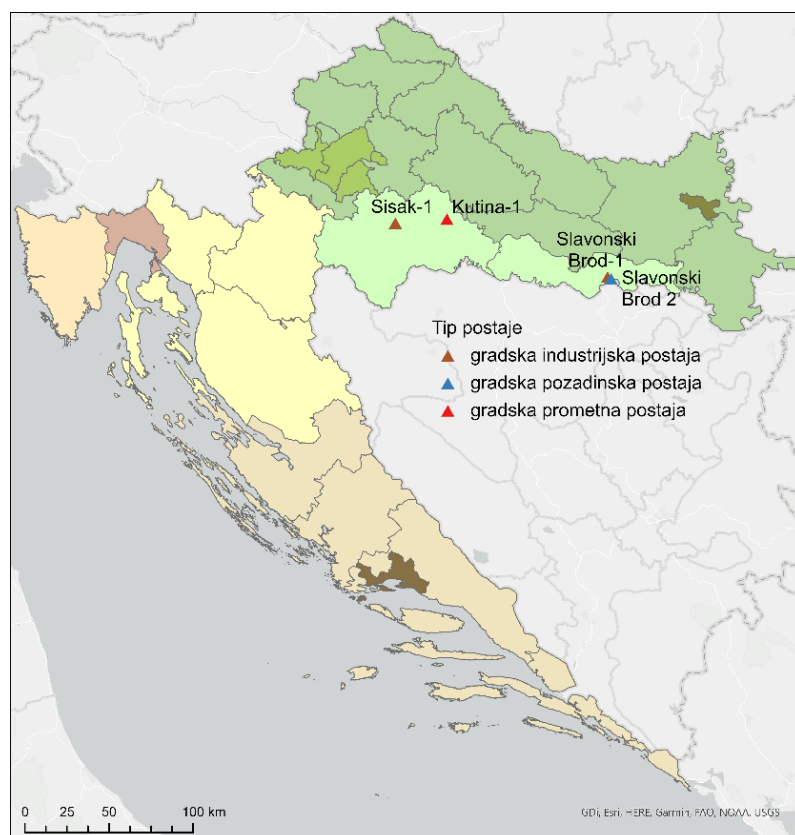
2.8. Sumporovodik, H₂S

Izvori i emisije H₂S

Sumporovodik (H₂S) je bezbojan, zapaljiv i otrovan plin. Teži od zraka, mirisa "pokvarenih jaja". Lako se otapa u vodi pa se prirodno javlja u podzemnim vodama. Većina sumporovodika u zrak dolazi iz prirodnih izvora, iz sirove nafte, prirodnog plina, vulkanskim plinovima i termalnim izvorima. Može nastati i bakterijskom razgradnjom organske tvari u stajaćim vodama s niskim postotkom kisika. Također nastaje iz organskog otpada u niskim i zatvorenim, slabo prozračenim prostorima kao što su podrumi, šahtovi, kanalizacijski vodovi, septičke jame. Industrijski izvori sumporovodika uključuju proizvodnju nafte i prirodnog plina, proizvodnju celuloze, natronskog (kraft/pak/omotnog) papira i rajonskog tekstila, koksne peći, kožare, kemijsku proizvodnju te pročišćavanje otpadnih voda i zbrinjavanje građevinskog otpada. Glavni učinci izloženosti sumporovodiku su iritacija očiju i dišnih puteva te glavobolja, razdražljivost i umor. Otapanjem u vodi tvori slabu kiselinu, izvor je vodikovih iona i korozivan je za čelik zbog čega uzrokuje operative probleme na naftnim i plinskim poljima.

Mjerenja i obuhvat podataka

Koncentracija sumporovodika u razdoblju 2016. – 2020. godine mjerila se na postajama



državne mreže za trajno praćenje kvalitete zraka u zoni HR 02 na postajama Kutina-1, Sisak-1 te Slavonski Brod-1 i Slavonski Brod-2. Na svim navedenim postajama mjerenja se provode pomoću automatskih analizatora. Prostorni raspored postaja na kojima se provode mjerenja prikazan je na slici (Slika 2.8.1.).

Slika 2.8.1 Prostorni raspored postaja na kojima se provode mjerenja sumporovodika



Obuhvat podataka mjerenja po godinama i postajama prikazan je u tablici (Tablica 2.8.1). Na svim postajama, veći dio promatranom razdoblja obuhvat podataka je bio zadovoljavajući. Sivom bojom u tablici (Tablica 2.8.1) naznačene su godine kad je obuhvat podataka bio manji od 85 %.

Tablica 2.8.1 Obuhvat podataka mjerenja sumporovodika na postajama državne mreže u razdoblju 2016. – 2020. godine (%). Sivom bojom označene su godine i postaje sa obuhvatom podataka manjim od 85 %

Zona/aglomeracija	Postaja	2016	2017	2018	2019	2020
HR 02	Kutina-1	83	89	91	92	91
	Sisak-1	79	81	91	87	98
	Slavonski Brod-1	92	83	85	92	98
	Slavonski Brod-2	87	92	90	97	97

Analiza rezultata mjerenja sumporovodika

Prema Uredbi o razinama onečišćujućih tvari u zraku (NN 77/2020), granične vrijednosti koncentracija sumporovodika definirane su s obzirom na kvalitetu življenja (dodijavanje mirisom). Satna granična vrijednost koncentracije H₂S iznosi GV = 7 µg/m³ i ne smije biti prekoračena više od 24 puta u kalendarskoj godini, dok srednja dnevna granična vrijednost GV = 5 µg/m³ ne smije biti prekoračena više od 7 puta u godini. Rezultati analize izmjerenih koncentracija sumporovodika u razdoblju 2016. – 2020. godine prikazani su u tablicama (Tablica 2.8.2 i Tablica 2.8.3) te na slikama (Slika 2.8.2 i Slika 2.8.3).

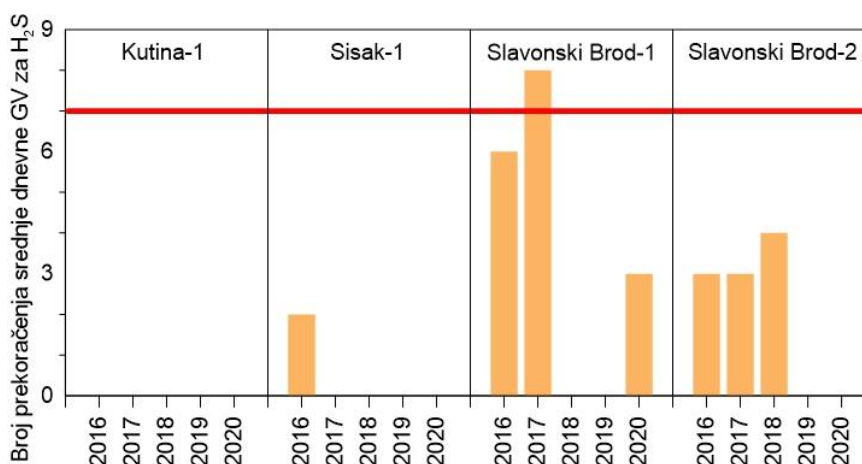
Tablica 2.8.2 Broj prekoračenja dnevne granične vrijednosti (5 µg/m³, dozvoljeno 7) koncentracije sumporovodika u razdoblju 2016. – 2020. godine na postajama državne mreže za trajno praćenje kvalitete zraka. Prekoračenje dozvoljenog broja dnevne GV u kalendarskoj godini prikazano je crvenom bojom, zvjezdicom (*) godine s obuhvatom podataka manjim od 85 %

Zona/aglomeracija	Postaja	2016	2017	2018	2019	2020
HR 02	Kutina-1	0*	0	0	0	0
	Sisak-1	2*	0*	0	0	0
	Slavonski Brod-1	6	8*	0	0	3
	Slavonski Brod-2	3	3	4	0	0

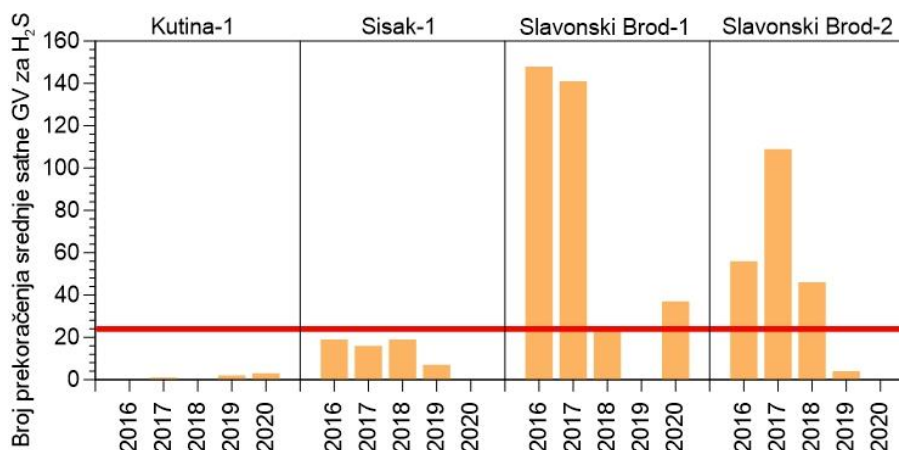


Tablica 2.8.3 Broj prekoračenja satne granične vrijednosti ($7 \mu\text{g}/\text{m}^3$, dozvoljeno 24) koncentracije sumporovodika u razdoblju 2016. – 2020. godine na postajama državne mreže za trajno praćenje kvalitete zraka. Prekoračenje dozvoljenog broja satne GV u kalendarskoj godini prikazano je crvenom bojom, zvjezdicom (*) godine s obuhvatom podataka manjim od 85 %

Zona/aglomeracija	Postaja	2016	2017	2018	2019	2020
HR 02	Kutina-1	0*	1	0	2	3
	Sisak-1	19*	16*	19	7	0
	Slavonski Brod-1	148	141*	23	0	36
	Slavonski Brod-2	56	109	46	4	0



Slika 2.8.2 Broj prekoračenja dnevne GV za sumporovodik na postajama državne mreže za trajno praćenje kvalitete zraka u razdoblju 2016. – 2020. godine. Crvenom linijom označen je dozvoljen broj prekoračenja (7)



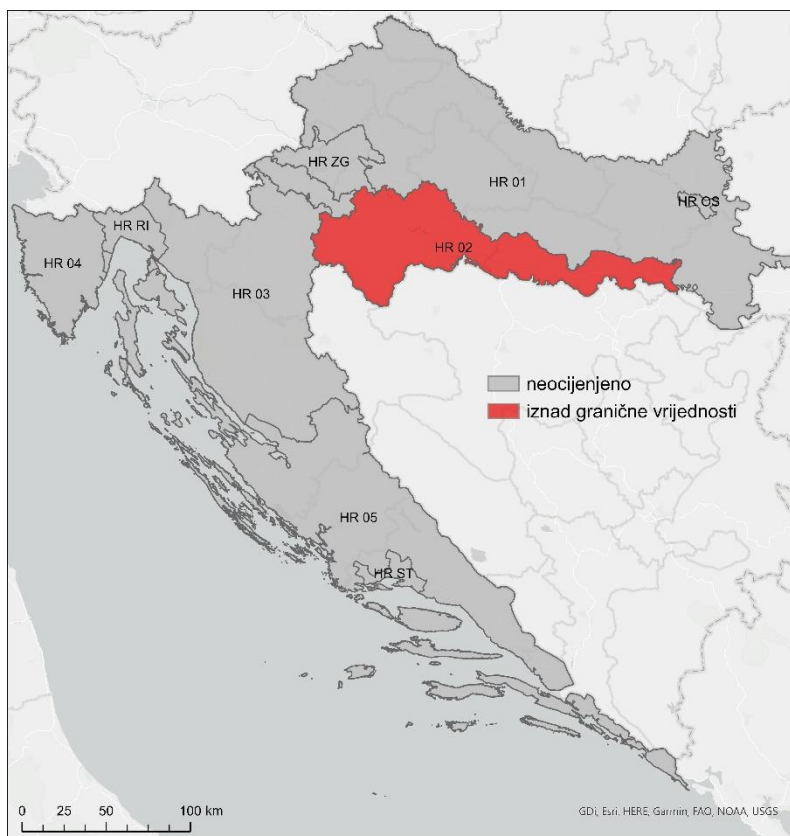
Slika 2.8.3 Broj prekoračenja satne GV za sumporovodik na postajama državne mreže za trajno praćenje kvalitete zraka u razdoblju 2016. – 2020. godine. Crvenom linijom označen je dozvoljen broj prekoračenja (24)



Tijekom promatranog razdoblja 2016. – 2020. dozvoljen broj prekoračenja dnevne granične vrijednosti premašen je samo na postaji Slavonski Brod-1 u 2017. godini. Dozvoljen broj prekoračenja satne granične vrijednosti premašen je na postajama Slavonski Brod-1 (2016., 2017. i 2020.) te na postaji Slavonski Brod-2 (2016., 2017. i 2018.).

Ocjena sukladnosti zona i aglomeracija s okolišnim ciljevima

U razdoblju 2016. – 2020. godine kriterij kvalitete zraka za sumporovodik s obzirom na kvalitetu življenja (dodijavanje mirisom) nije zadovoljen u zoni HR 02 (Slavonski Brod-1, Slavonski Brod-2). U svim drugim zonama i aglomeracijama mjerenja koncentracije sumporovodika nisu provođena (Slika 2.8.4).



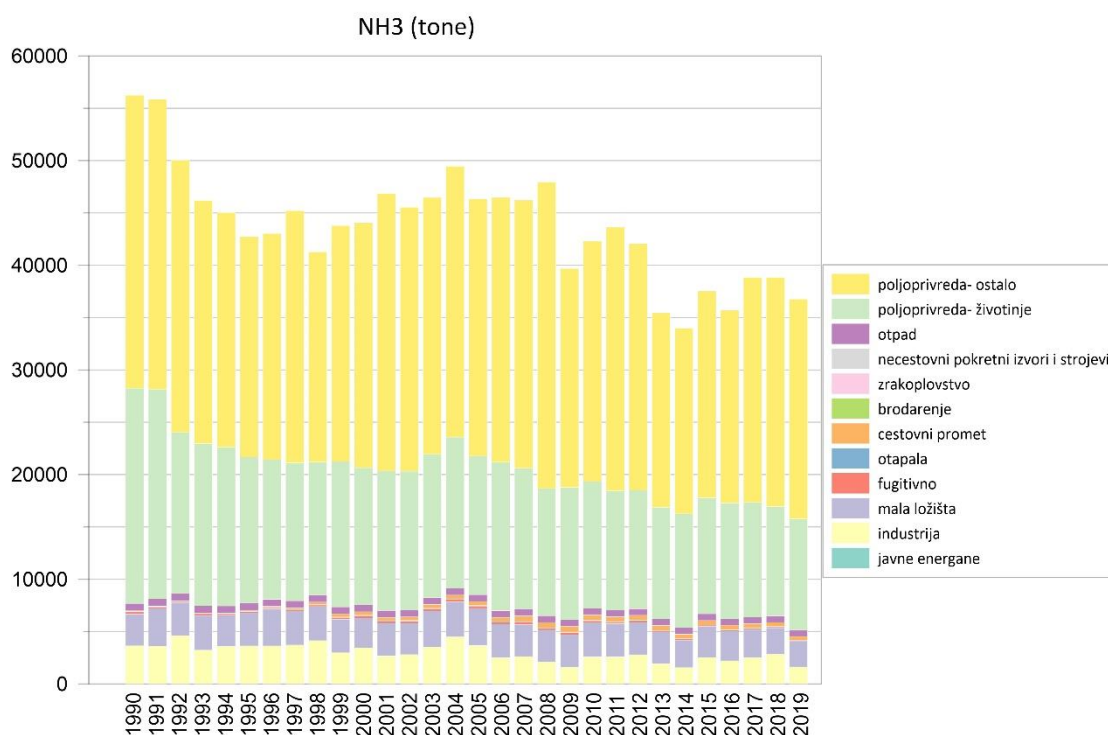
Slika 2.8.4 Kartogram ocjena razina onečišćenosti sa H₂S po svim zonama i aglomeracijama obzirom na zaštitu zdravlja ljudi



2.9. Amonijak, NH₃

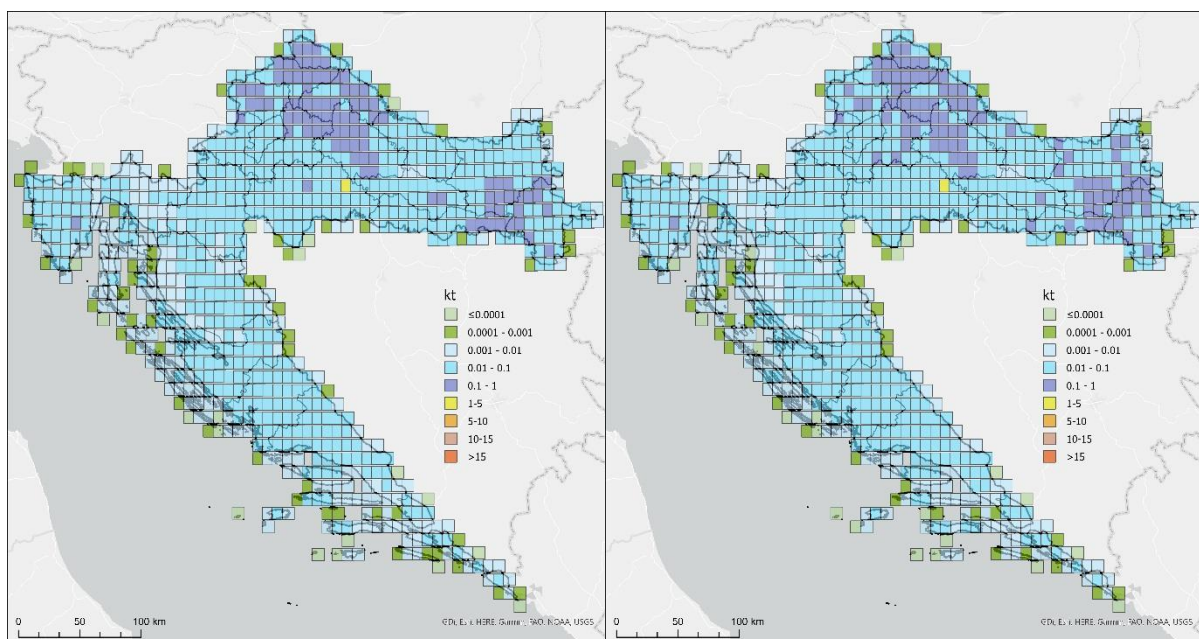
Izvori i emisije NH₃

Amonijak (NH₃), je bezbojan plin oštrog, karakterističnog mirisa, lakši od zraka i lako topiv u vodi. U prirodi se u atmosferi nalazi u malim količinama, a nastaje procesom raspadanja tvari biljnog i životinjskog porijekla te vulkanskom aktivnošću. Zajedno sa sumporovim dioksidom (SO₂), dušikovim dioksidom (NO₂) i drugim kemijskim spojevima sudjeluje u nastanku lebdećih čestica. Upotreba amonijaka široko je rasprostranjena, najvećim dijelom koristi se za pripremu umjetnih gnojiva, a u manjoj mjeri u rashladnim uređajima, metalurgiji i slično.



Slika 2.9.1 Emisije NH₃ u Hrvatskoj raspodijeljene po GNFR sektorima u razdoblju 1990. – 2019. godine izražene u tonama

Emisije amonijaka na području Hrvatske u današnje vrijeme su niže nego u dvijetisućitim godinama u grubo za 5 – 10 kt, međutim ne postoji linearan trend smanjivanja emisija. Razlog je povećanje emisija u sektoru poljoprivreda – ostalo koje se bilježi posljednjih 7 godina, a obzirom da je riječ o daleko najdominantnijem sektoru emisija amonijaka, ukupne emisije znatno ovise upravo o tom sektoru. Drugi značajan sektor je poljoprivreda – životinje, no u tom sektoru ne postoji značajno izražen trend posljednjih desetak godina. Vidljiv doprinos emisijama amonijaka dolazi i iz sektora malih ložišta te industrije (Slika 2.9.1).



Slika 2.9.2 Prostorna razdioba emisija NH_3 na području Hrvatske u 2015. godini (slika lijevo) i 2019. godini (slika desno)

Prema prostornoj raspodjeli emisija amonijaka (Slika 2.9.2), najviše vrijednosti emisija u Hrvatskoj pripadaju području Kutine, gdje se nalazi Petrokemija d.d., proizvodnja gnojiva. Na taj dio mreže Hrvatske otpada čak 4 % ukupne emisije amonijaka u zemlji. Više vrijednosti pripadaju kopnenom dijelu zemlje, sjevernim dijelovima središnje Hrvatske te istočnim krajevima zemlje, dok su drugdje emisije amonijaka niže i relativno podjednako raspodijeljene. Iz usporedbe 2015. i 2019. godine, vidljivo je i povećanje emisija amonijaka u istočnom dijelu zemlje. Bez obzira na povećanje emisija amonijaka, one su i dalje mnogo ispod propisane emisijske kvote za amonijak koja iznosi 30 kt (Uredba o emisijskim kvotama za određivanje onečišćujućih tvari u zrak u Republici Hrvatskoj, NN 108/13).

Mjerenja i obuhvat podataka

Mjerenje koncentracije amonijaka provodi se samo u zoni HR 02 na postaji Kutina-1. Mjerenje se obavlja pomoću automatskog analizatora. Obuhvat podataka u razdoblju 2016. – 2020. godine prikazan je u tablici (Tablica 2.9.1). U 2016. i 2017. godini obuhvat podataka nije bio dostatan, dok je u razdoblju 2018. – 2020. bio iznad 85 %.

Tablica 2.9.1 Obuhvat podataka mjerenja satnih koncentracija amonijaka (%) i broj prekoračenja srednje dnevne vrijednosti koncentracija ($100 \mu\text{g}/\text{m}^3$, dozvoljeno 7 puta) na postaji Kutina-1. Prekoračene vrijednosti označene su crvenom bojom. Sivom bojom naznačene su godine s obuhvatom podataka manjim od 85 %. Oznaka (–) označava da nije bilo mjerenja

	NH ₃		HR 02 (Kutina-1)		
Godina	2016	2017	2018	2019	2020
Obuhvat podataka	–	4	91	93	88
Broj prekoračenja	–	1	15	7	7

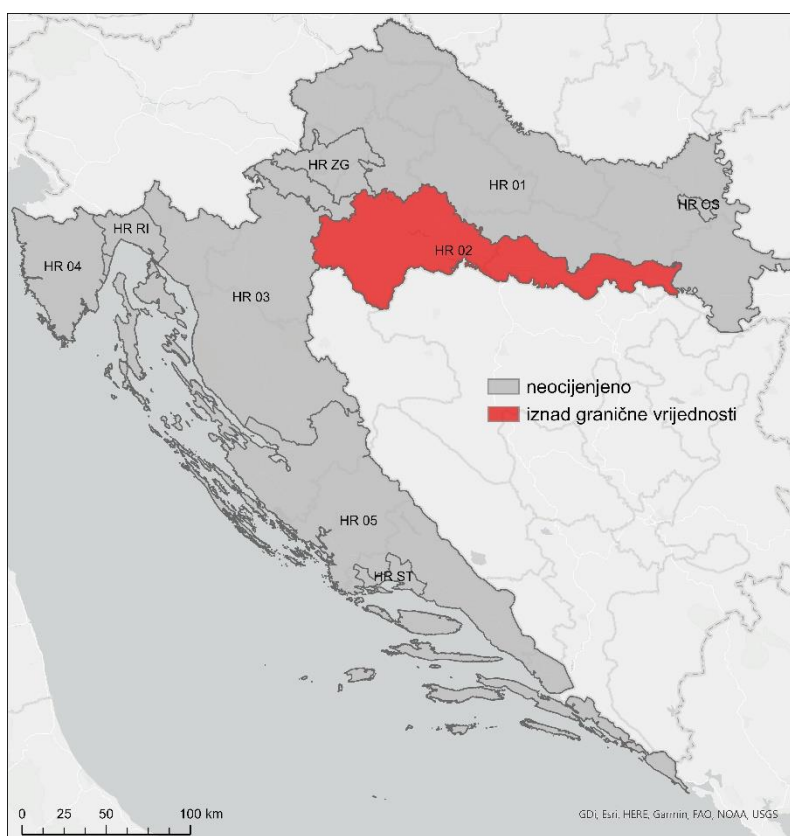


Analiza rezultata mjerenja amonijaka

Prema Uredbi o razinama onečišćujućih tvari u zraku (NN 77/2020), granična vrijednost koncentracije amonijaka definirana je s obzirom na kvalitetu življenja (dodijavanje mirisom). Srednja dnevna granična vrijednost $GV = 100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ne smije biti prekoračena više od 7 puta u kalendarskoj godini. Rezultati analize izmjerenih koncentracija amonijaka u razdoblju 2016. – 2020. godine prikazani su u tablici (Tablica 2.9.1). Prema analizi, broj dozvoljenih prekoračenja (7) srednje dnevne koncentracije od $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ premašen je u 2018. godini i iznosi 15.

Ocjena sukladnosti zona i aglomeracija s okolišnim ciljevima

U razdoblju 2016. – 2020. godine kriterij kvalitete zraka za amonijak s obzirom na kvalitetu življenja (dodijavanje mirisom) nije zadovoljen u zoni HR 02 (Kutina-1). U svim drugim zonama i aglomeracijama mjerenja koncentracije amonijaka nisu provođena (Slika 2.9.3).



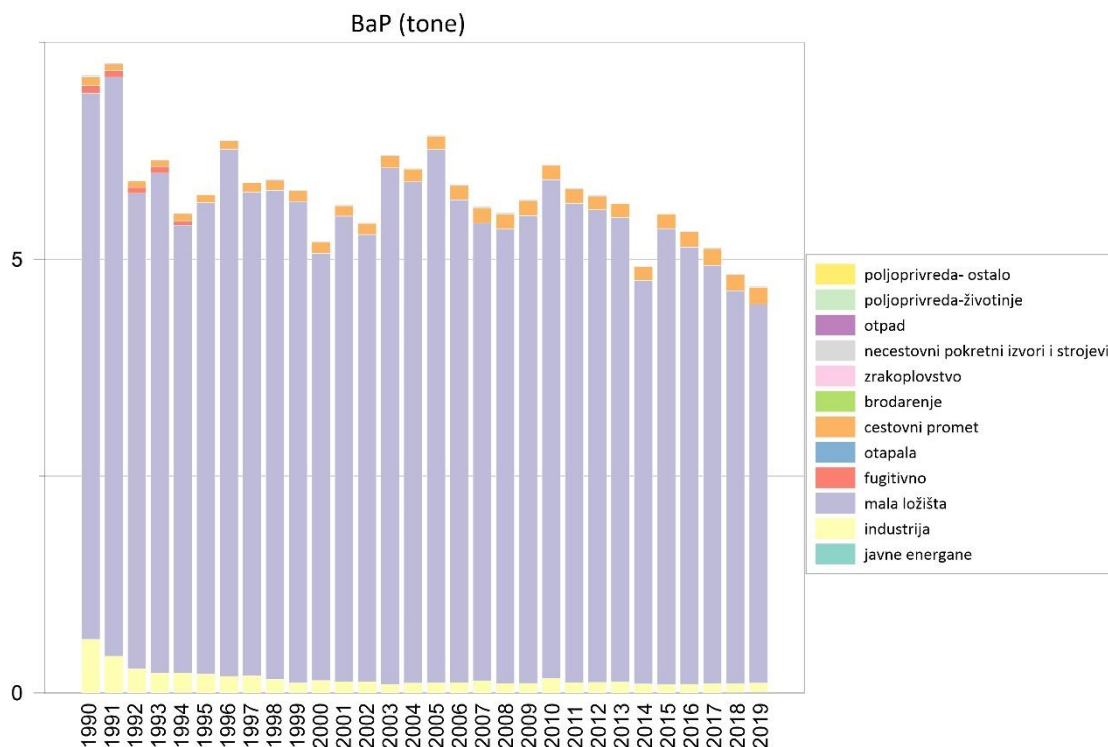
Slika 2.9.3 Kartogram ocjena razina onečišćenosti s NH_3 po svim zonama i aglomeracijama obzirom na zaštitu zdravlja ljudi



2.10. Benzo(a)piren, B(a)P u lebdećim česticama PM₁₀

Izvori i emisije benzo(a)pirena

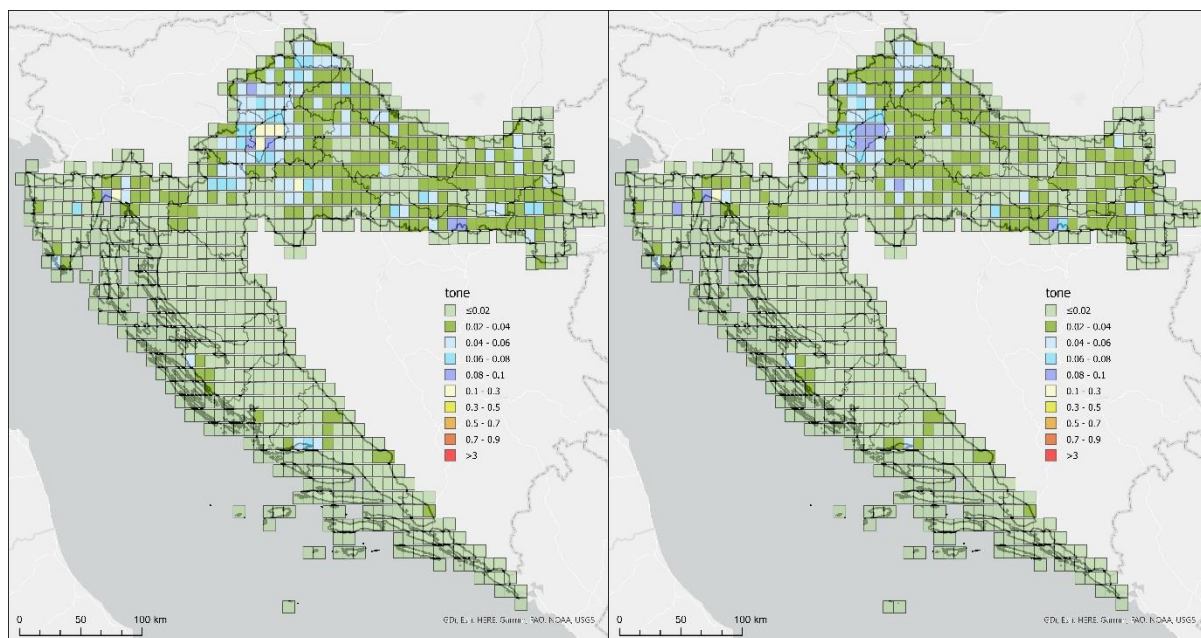
Benzo(a)piren je policiklički aromatski ugljikovodik sastavljen od pet benzenskih prstena. Smatra se najopasnijim predstavnikom policikličkih aromatskih ugljikovodika (PAU, eng. PAH), skupine spojeva s dva ili više benzenskih prstena. PAU-ovi se razlikuju prema svojoj toksičnosti za čovjeka i okoliš, a veću toksičnost pokazuju oni s više benzenskih prstena u svojoj strukturi. B(a)P i ostali PAU-ovi prirodno nastaju tijekom šumskih požara i vulkanskih erupcija, dok su antropogeni izvori ispušni plinovi motornih vozila, sagorijevanje ugljena, drveta i druge organske tvari s nedovoljnom količinom kisika u kućnim ložištima, duhan, nadalje, industrijski procesi proizvodnje ugljena, sirove nafte, benzina, prirodnog plina te proizvodnja teških i lakih metala (željeza, čelika, aluminija) kao i spaljivanje otpada i raznih plastičnih masa u nekontroliranim uvjetima. Čim dospiju u okoliš, PAU-ovi onečišćuju vode, zrak i tlo, a potom i u hranu uzgojenu u njime zagađenom okolišu. Najviše benzo(a)pirena i ostalih PAU-ova u hranu dopijeva zagrijavanjem, prženjem, sušenjem, dimljenjem, roštiljanjem, pečenjem. Imaju štetno djelovanje na čovjekovo zdravlje, toksični su, izazivaju imunotoksičnost, karcinome i arteriosklerozu. Čestice B(a)P-a iz ispušnih plinova manje su od čestica nastalih izgaranjem ugljena te su time opasnije za ljudsko zdravlje jer ulaze dublje u dišni sustav.



Slika 2.10.1 Emisije B(a)P u Hrvatskoj raspodijeljene po GNFR sektorima u razdoblju 1990. – 2019. godine izražene u tonama



Emisije benzo(a)pirena smanjile su se u proteklih 10-ak godina za oko 5 kt na području Hrvatske. U prethodnom razdoblju, između 1990. i 2010. godine nije bilo izraženog trenda, odnosno količina emisije nije se znatno mijenjala. Čak 93 % emisije benzo(a)pirena u Hrvatskoj danas otpada na sektor malih ložišta. Drugi izvori su cestovni promet i industrija (Slika 2.10.1).



Slika 2.10.2 Prostorna razdioba emisija PAU-ova na području Hrvatske u 2015. godini (slika lijevo) i 2019. godini (slika desno)

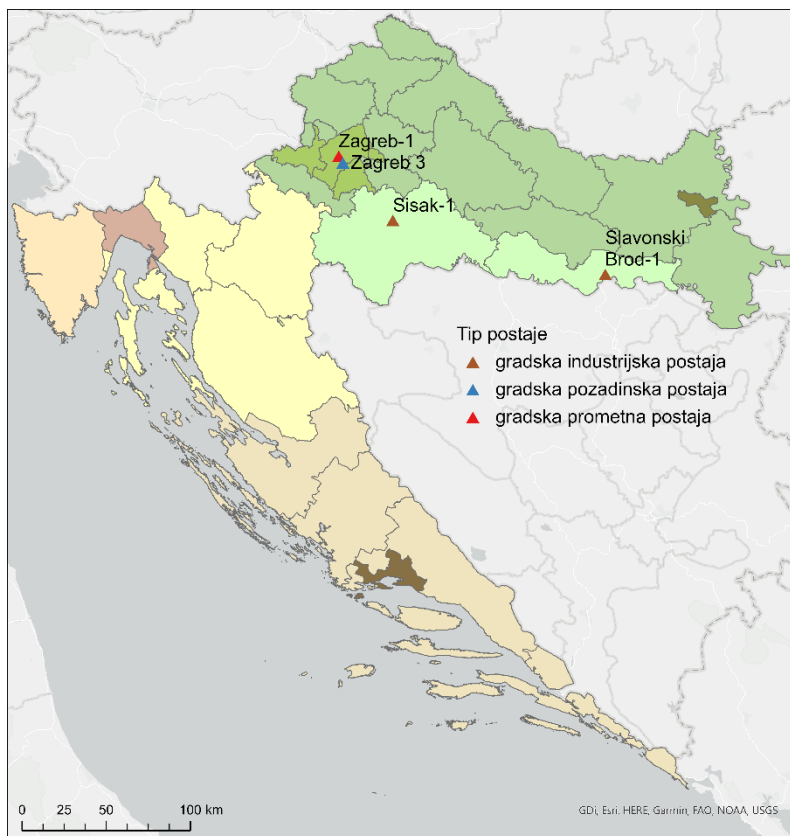
Prema prostornoj razdiobi PAU-ova na području Hrvatske (Slika 2.10.2), čiji je B(a)P najznačajnija komponenta i na kojeg otpada oko 35 % ukupne emisije PAU-ova, može se uočiti kako su emisijama policikličkih aromatskih ugljikovodika opterećeni najviše veliki gradovi, odnosno gusto naseljena područja Hrvatske. Općenito su veće emisije vezane uz kopneni dio zemlje, nego primorski, opravdavajući i sektor na koji otpada većina emisija, a to su mala ložišta. Naime, zbog klimatskih karakteristika kontinentalnog dijela zemlje (hladne i duge zime), upravo u tim krajevima pojačana je i potreba za grijanjem.

Analiza rezultata mjerenja benzo(a)pirena

Analiza sadržaja benzo(a)pirena u lebdećim česticama provodila se tijekom cijelog razdoblja 2016. – 2020. godine u zoni HR 02 na postajama Sisak-1 i Slavonski Brod-1 te u aglomeraciji HR ZG na postajama Zagreb-1 i Zagreb-3. Prostorni raspored postaja na kojima se provode mjerenja benzo(a)pirena na području Republike Hrvatske prikazan je na slici (Slika 2.10.3). Obuhvat podataka na svim postajama u promatranom razdoblju je bio zadovoljavajući, a prikazan je u tablici (Tablica 2.10.1).



Prema Uredbi o razinama onečišćujućih tvari u zraku (NN 77/20) propisana je ciljna vrijednost srednje godišnje koncentracije benzo(a)pirena u lebdećim česticama PM₁₀ s obzirom na zaštitu zdravlja ljudi i ona iznosi CV = 1 ng/m³. Srednja godišnja koncentracija B(a)P-a ne smije prekoračiti CV u kalendarskoj godini, a pri računu se zaokružuje na jednaki broj decimalnih mjesta koliko ih ima propisana ciljna vrijednost prema pravilu zaokruživanja. Rezultati analize prikazani su u tablici (Tablica 2.10.2) i na slici (Slika 2.10.4).



Slika 2.10.3 Prostorni raspored postaja na kojima se provode mjerenja benzo(a)pirena

Tablica 2.10.1 Obuhvat podataka mjerenja koncentracija benzo(a)pirena u PM₁₀ na analiziranim postajama u razdoblju 2016. – 2020. godine. Sivom bojom je označen obuhvat manji od 85 %

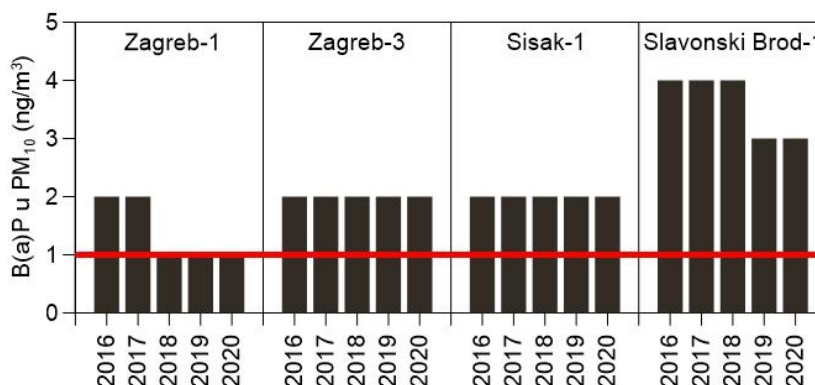
Zona/aglomeracija	Postaja	2016	2017	2018	2019	2020
HR ZG	Zagreb-1	100	97	100	100	100
	Zagreb-3	97	100	96	91	100
HR 02	Sisak-1	98	100	96	100	98
	Slavonski Brod-1	100	100	99	100	98



Tablica 2.10.2 Srednje godišnje vrijednosti koncentracija benzo(a)pirena u PM₁₀ za razdoblje 2016. – 2020. godine. Srednje godišnje vrijednosti koje su prekoračile ciljnu vrijednost od 1 ng/m³ označene su crvenom bojom. Pri tom se gleda zaokružena vrijednost srednje godišnje koncentracije na jednaki broj decimalnih mjesta koliko ih ima propisana ciljna vrijednost

Zona/aglomeracija	Postaja	2016	2017	2018	2019	2020
HR ZG	Zagreb-1	1.68	1.55	1.22	1.20	1.33
	Zagreb-3	2.22	2.09	1.98	1.71	1.80
HR 02	Sisak-1	2.04	2.19	2.17	1.72	1.98
	Slavonski Brod-1	4.18	4.27	4.30	3.28	2.99

Srednje godišnje koncentracije benzo(a)pirena u lebdećim česticama prekoračuju ciljnu vrijednost na svim postajama u promatranom razdoblju. Jedino na postaji Zagreb-1, zbog pravila zaokruživanja, srednje godišnje koncentracije u razdoblju 2018. – 2020. nalaze se na ciljnoj vrijednosti, odnosno, ne premašuju je. Analiza je prikazana i na slici (Slika 2.10.4).



Slika 2.10.4 Srednje godišnje vrijednosti koncentracija benzo(a)pirena u razdoblju 2016. – 2020 (zaokružene na cijeli broj). Crvenom linijom označena je propisana ciljna vrijednost za benzo(a)piren (ng/m³)

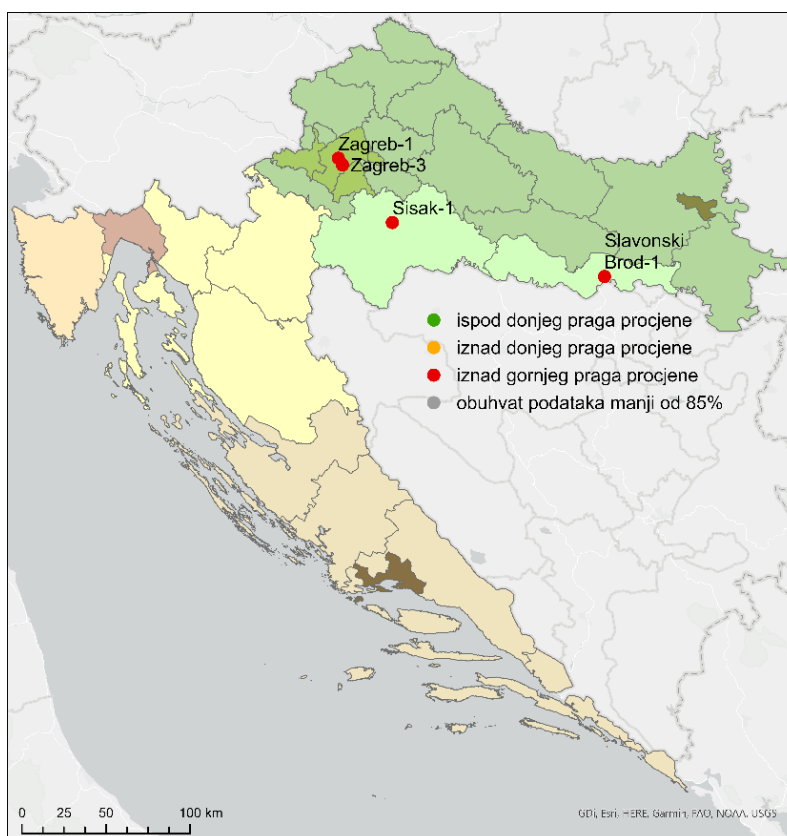
Rezultati analize s obzirom na donju i gornju granicu procjene

Uredbom (NN 77/20) su propisane granice procjene za B(a)P u PM₁₀ na 40 % granične ciljne vrijednosti za donji prag procjene (0.4 ng/m³) te 60 % granične ciljne vrijednosti za gornji prag procjene (0.6 ng/m³) s obzirom na zaštitu zdravlja ljudi. Analiza razine onečišćenja prikazana je u tablici (Tablica 2.10.3). Gornji prag procjene prekoračen je u svim godinama promatranog razdoblja na svim postajama na kojima su se provodila mjerenja. Rezultati analize s obzirom na granice procjene prikazani su i na slici (Slika 2.10.5).



Tablica 2.10.3 Srednje godišnje vrijednosti koncentracija benzo(a)pirena za razdoblje 2016. – 2020. godine. Donji prag procjene iznosi 0.4 ng/m^3 , a gornji 0.6 ng/m^3 . Svijetlo plavom bojom označene su godine u kojima je došlo do prekoračenja donjeg, a tamno plavom gornjeg praga procjene

Zona/aglomeracija	Postaja	2016	2017	2018	2019	2020
HR ZG	Zagreb-1	1.68	1.55	1.22	1.20	1.33
	Zagreb-3	2.22	2.09	1.98	1.71	1.80
HR 02	Sisak-1	2.04	2.19	2.17	1.72	1.98
	Slavonski Brod-1	4.18	4.27	4.30	3.28	2.99



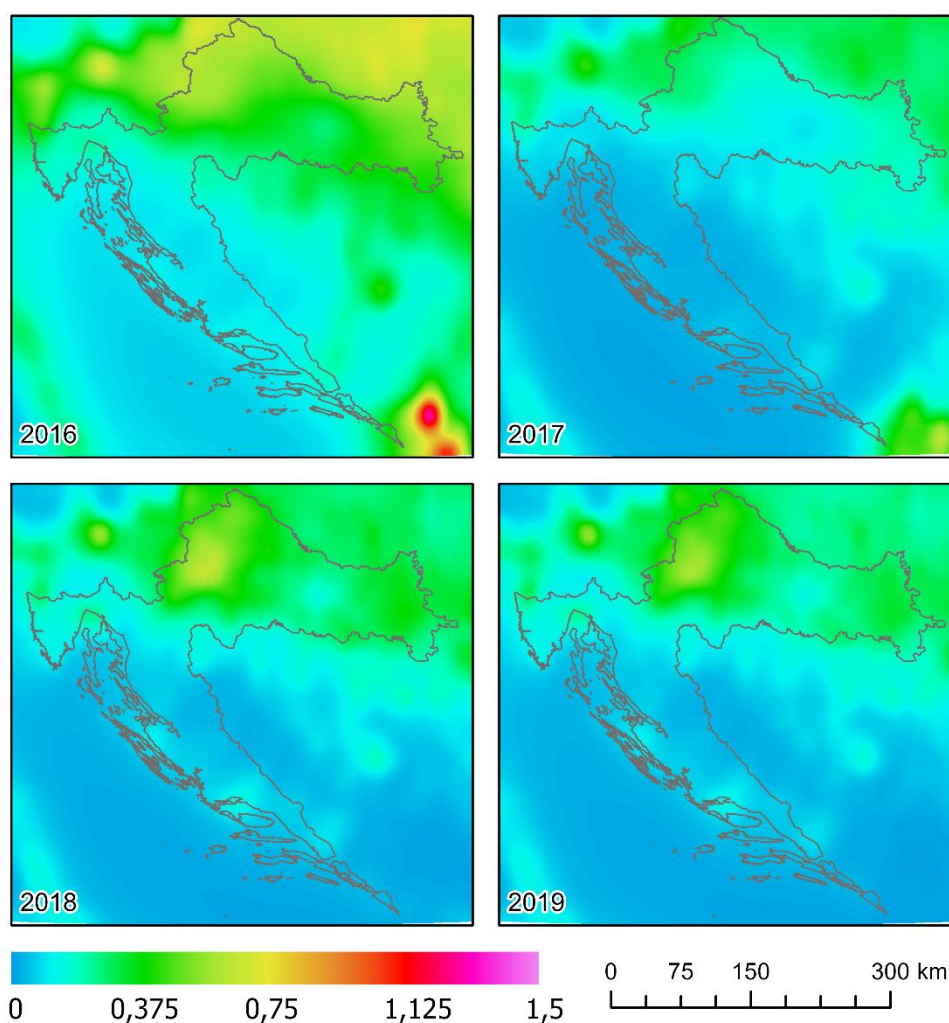
Slika 2.10.5 Rezultati analize gornjeg i donjeg praga procjene za benzo(a)piren na raspoloživim mjernim mjestima na prostoru Republike Hrvatske. Gornji prag procjene prekoračen je na svim raspoloživim mjernim mjestima u zoni HR 02 i aglomeraciji HR ZG



Analiza modeliranih koncentracija benzo(a)pirena (MSCE-HM)

Osnovan prema UNECE LRTAP konvenciji, MSC-E (Meteorološki sintetizirajući centar – istok) razvio je posebnu inačicu EMEP modela (MSCE-HM) kojom se modelira prekogranično onečišćenje atmosfere teškim metalima (HM) i dugoživućim organskim spojevima (POPs). Srednje godišnje površinske koncentracije benzo(a)pirena u PM_{10} preuzete su od MSC-E za razdoblje 2016. – 2019. godine.

Prema rezultatima modela, srednje godišnje vrijednosti benzo(a)pirena ne prelaze 0.8 ng/m^3 u niti jednoj od četiri godine za koje su bili dostupni modelirani podaci. Iako model podcjenjuje izmjerene vrijednosti, prostorna raspodjela koncentracija sugerira znatno više koncentracije u kontinentalnom nizinskom dijelu zemlje ($<0.65 \text{ ng/m}^3$), nego u gorskim krajevima i na Jadranu gdje su srednje godišnje vrijednosti ispod 0.25 ng/m^3 (Slika 2.10.6).



Slika 2.10.6 Prostorna raspodjela prizemnih srednjih godišnjih koncentracija benzo(a)pirena u PM_{10} (ng/m^3) na području Hrvatske u razdoblju od 2016. – 2019. godine dobivena MSCE-HM modelom











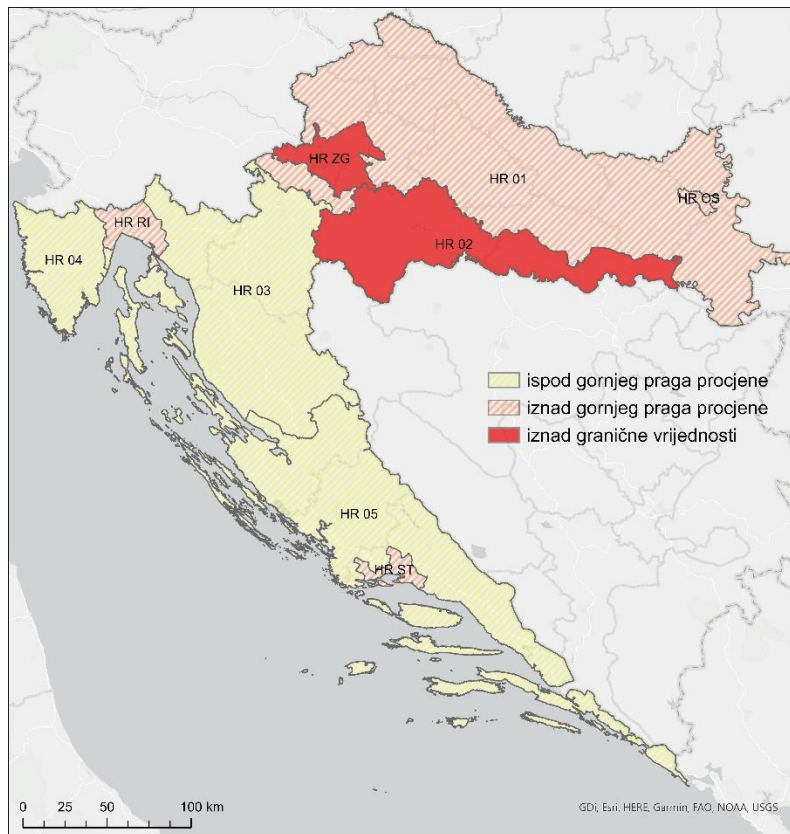
Ocjena sukladnosti zona i aglomeracija s okolišnim ciljevima

Srednja godišnja vrijednost benzo(a)pirena u lebdećim česticama PM₁₀ prekoračena je u zoni HR 02 (Sisak-1, Slavonski Brod-1) te u aglomeraciji HR ZG (Zagreb-1, Zagreb-3). Zona HR 02 i aglomeracija HR ZG nesukladne su s ciljnom vrijednošću B(a)P-a u PM₁₀ s obzirom na zaštitu zdravlja ljudi, te je zrak bio II kategorije. U zonama HR 01, HR 03, HR 04 i HR 05 te aglomeracijama HR OS, HR RI i HR ST u promatranom razdoblju mjerenja se nisu provodila te za njih nije dana ocjena sukladnosti (Tablica 2.10.4).

U zoni HR 02 i aglomeraciji HR ZG u promatranom petogodišnjem razdoblju 2016. – 2019. godine prekoračen je gornji prag procjene. Uzimajući u obzir rezultate analize u zoni HR 02 i aglomeraciji HR ZG, te prostorni raspored emisija benzo(a)pirena u promatranom razdoblju, rezultate modela te klimatološke karakteristike podneblja, objektivnom ekspertnom ocjenom razina onečišćenja u zoni HR 01 te u aglomeracijama HR OS, HR RI i HR ST procijenjena je iznad gornjeg praga procjene, a razina onečišćenja u zonama HR 03, HR 04 i HR 05 ispod gornjeg praga procjene (Slika 2.10.7).

Tablica 2.10.4 Razine onečišćenosti zraka određene prema pragovima procjene te ocjena onečišćenosti za B(a)P u PM₁₀ s obzirom na zaštitu zdravlja ljudi. Crvenom bojom označena je nesukladnost s ciljevima zaštite okoliša – prekoračenje CV, zelena boja označava sukladnost s ciljevima zaštite okoliša – nije prekoračena CV, dok je sivom označena neocijenjena zona ili aglomeracija

B(a)P u PM ₁₀ – zaštita zdravlja ljudi		
Zona / aglomeracija	Razina onečišćenosti	Ocjena onečišćenosti (sukladnosti)
HR ZG	>GPP	
HR OS	>GPP	
HR RI	>GPP	
HR ST	>GPP	
HR 01	>GPP	
HR 02	>GPP	
HR 03	<GPP	
HR 04	<GPP	
HR 05	<GPP	



Slika 2.10.7 Kartogram ocjena razina onečišćenosti s B(a)P po svim zonama i aglomeracijama obzirom na zaštitu zdravlja ljudi



2.11. Teški metali: olovo (Pb), arsen (As), kadmij (Cd) i nikal (Ni) u PM₁₀

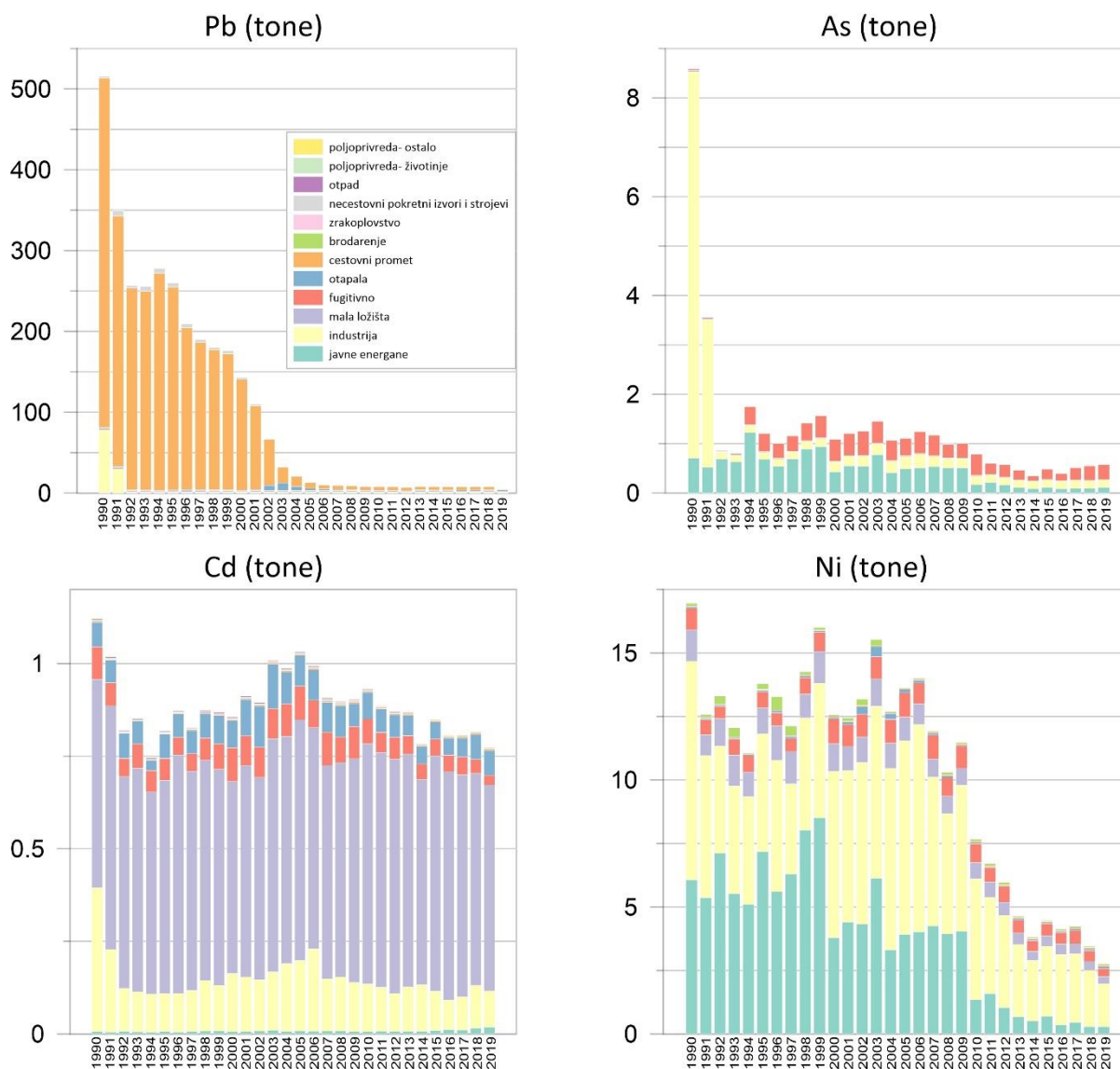
Izvori i emisije teških metala

Olovo (Pb) je u prirodi vrlo rasprostranjeno, a izvori onečišćenja olovom su brojni. Najznačajniji su oni industrijskog porijekla, benzinske pare, hrana iz onečišćenog tla, a nalazi se i u dimu cigarete. Olovo pripada među najotrovnije elemente za živi svijet, jer štetno djeluje na mnoge biokemijske procese. U ljudskom organizmu zamjenjuje se s važnim esencijalnim elementima, primjerice s kalcijem u kostima, ometa biosintezu hemoglobina, te izaziva teške neurološke i psihičke smetnje. Jednom apsorbiran, teško se izlučuje iz organizma.

Arsen (As) je otrovan polumetal, rijetko se javlja u elementarnom obliku, većinom je vezan za druge tvari, a u zraku se može pronaći kao komponenta lebdećih čestica. Emisije arsena uglavnom su antropogenog podrijetla, nastaju pri sagorijevanju kamenog ugljena, smeđeg ugljena (lignita) ili mineralnog ulja, upotrebom pesticida te u metalnoj industriji. Arsen se prirodno emitira pri vulkanskim erupcijama i šumskim požarima, a u tragovima se nalazi u svim živim bićima, atmosferi, vodi, geološkim formacijama te u rudama. Arsenove soli i plinovi su vrlo otrovni. U malim dozama arsen djeluje kao stimulator metabolizma, ali je teratogen i karcinogena tvar. Apsorpcija visokih koncentracija arsena, oštećuje sluznicu i dišne puteve te može uzrokovati rak pluća.

Kadmij (Cd) je otrovan i kancerogen teški metal koji se najčešće javlja vezan za druge tvari, a u zraku se može pronaći kao komponenta lebdećih čestica. Kadmij se uglavnom emitira procesima izgaranja proizvodnjom energije ili u rafinerijama, izgaranjem goriva u prometu te industrijskim procesima, proizvodnji akumulatora i baterija. U ruralnim područjima ga je mnogo manje nego u urbanim i industrijskim područjima. Prirodno u manjim količinama se može emitirati pri vulkanskim erupcijama. U tlu se akumulira u biljkama, a u tijelo se uglavnom unosi prehranom. Nakon apsorpcije veće količine kadmija i njegovih anorganskih spojeva disanjem može se oštetiti sluznica nosa. Kadmij je otrovan za bubrege i remeti metabolizam kostiju, a obzirom da kod ljudi izaziva povraćanje, teško se apsorbira u tijelu pa se smrtonosno trovanje događa rijetko.

Nikal (Ni) pripada teškim metalima, također se najčešće nalazi vezan uz druge tvari, a u zraku se može pronaći kao komponenta lebdećih čestica. Emitira se pri procesima izgaranja, preradom nafte, ali i izgaranjem fosilnih goriva u prometu ili u elektranama te u metalnoj industriji. U organizam se može unijeti kontaminiranom hranom, a probavni trakt ga teško apsorbira. Udisanje para nikla može uzrokovati degeneraciju nosne sluznice, astmu i pneumokoniozu. Nikal je poznati kontaktni alergen, a spojevi nikla klasificirani su kao kancerogeni.



Slika 2.11.1 Emisije teških metala u Hrvatskoj raspodijeljene po GNFR sektorima u razdoblju 1990. – 2019. godine izražene u tonama

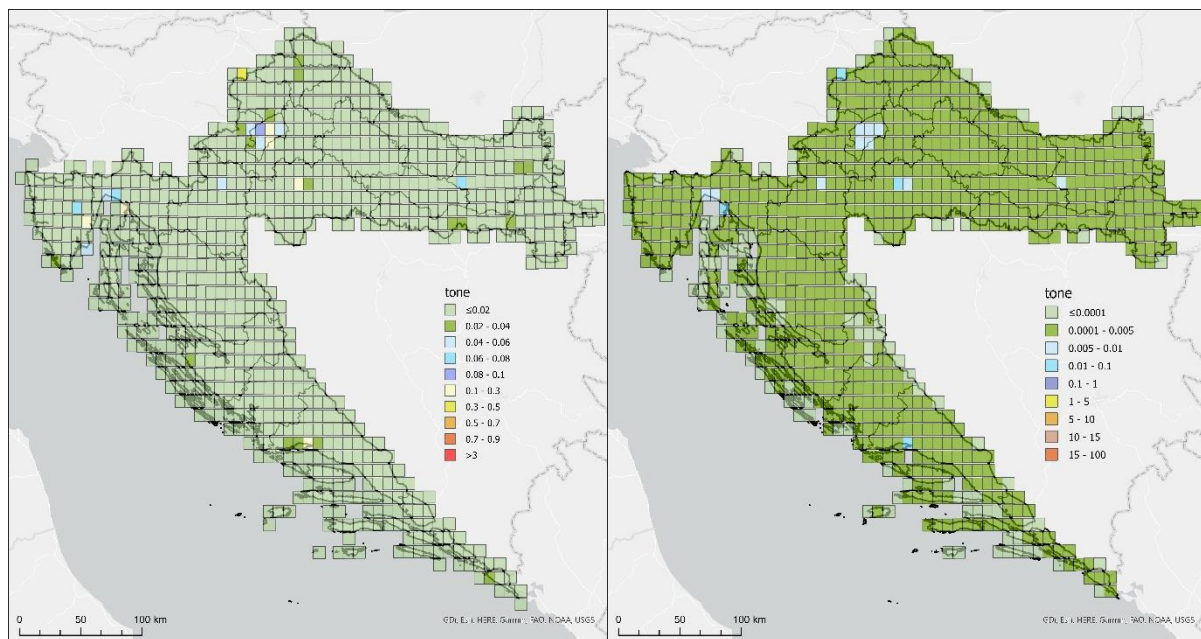
Emisije olova (Pb) na području Hrvatske, ali i u Europi, znatno su smanjene u devedesetim godinama 20. stoljeća, prije svega zahvaljujući čistim gorivima u sektoru cestovnog prometa. Nekad je to bio znatan izvor emisija olova, obzirom da se olovo dodavalo u gorivo kako bi pomoglo radu motora. Danas je u Europi najznačajniji izvor olova industrija, dok je u Hrvatskoj to i dalje cestovni promet. Emisije su u 15 godina (1990. – 2019.) na području Hrvatske smanjene 50 puta, a danas iznose oko 5 t godišnje (Slika 2.11.1).

Emisije arsena (As) u Hrvatskoj vežu se uz industriju, javne energane i sektor fugalitva, pri čemu su velike količine s početka devedesetih godina eliminirane iz industrije. Danas najveći dio ukupne emisije arsena u Hrvatskoj otpada na fugalitve (50 %), no ukupno godišnja emisija je vrlo niska i iznosi 0.59 t (2019.) (Slika 2.11.1).



Emisije kadmija (Cd) u Hrvatskoj u posljednjih 20 godina su u rasponu 0.8-1 t godišnje, što je otprilike 1.3 % ukupne emisije u Europi. Najviše (oko 71 %) otpada na sektor malih ložišta, potom industriju (13 %) i otapala (9 %) (Slika 2.11.1).

Emisije nikla (Ni) čiji najveći doprinos dolazi iz sektora industrije i nekad javnih energana znatno su smanjene u posljednjem desetljeću (2010.: 11.52 t, 2019.: 2.79 t godišnje). Nikal je gotovo u potpunosti eliminiran u sektoru javnih energana, i danas najveći doprinos ima industrija (60 %), potom fugitivi (11 %) te mala ložišta (10 %) i javne energane (10 %) (Slika 2.11.1).



Slika 2.11.2 Prostorna razdioba emisija olova (Pb) na području Hrvatske u 2019. godini (slika lijevo) i kadmija (Cd) – slika desno

Emisije olova (Pb) na području Hrvatske vrlo su niske. Prostorno, više vrijednosti (relativno, u usporedbi s ostatkom zemlje) nalaze se na mjestima pojačane industrije (proizvodnja stakla, čelika itd.) zračnog, brodskog i cestovnog prometa te javnih energana (Slika 2.11.2 – lijevo).

I emisije kadmija (Cd) pokazuju vrlo uniformnu raspodjelu emisija na području Hrvatske, a dodatno, malo veće vrijednosti vežu se također uz industriju, zatim fugitive i otapala te područja gdje se djelatnosti u tim sektorima obavljaju (Slika 2.11.2 – desno).



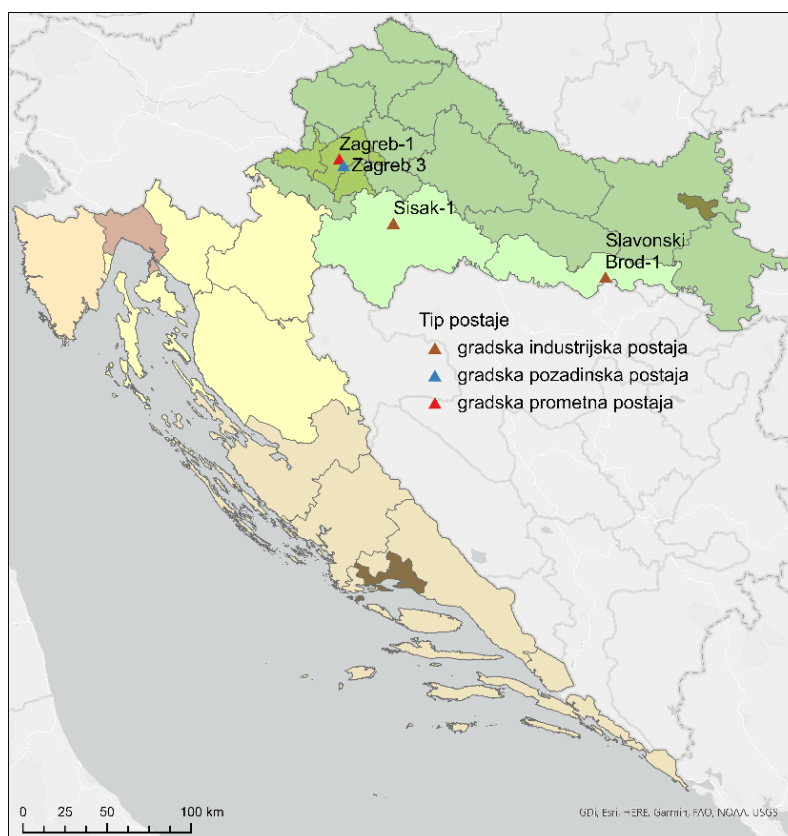
Analiza rezultata mjerenja teških metala

Rezultati analize s obzirom na donju i gornju granicu procjene

Koncentracije teških metala u lebdećim česticama PM₁₀ u razdoblju 2016. – 2020. godine mjerile su se u aglomeraciji HR ZG na postajama Zagreb-1 i Zagreb-3, te u zoni HR 02 na postajama Sisak-1 i Slavonski Brod-1. Na svim postajama obuhvat podataka mjerenja je zadovoljavajući i veći je od 90 %. Prostorni raspored postaja na području Republike Hrvatske prikazan je na slici (Slika 2.11.3). Propisane srednje godišnje granične vrijednosti koncentracija dane su u tablici (Tablica 2.11.1), a izmjerene srednje godišnje koncentracije u tablicama (Tablica 2.11.2 – Tablica 2.11.5).

Tablica 2.11.1 Granične vrijednosti srednjih godišnjih koncentracija teških metala u lebdećim česticama prema Uredbi o razinama onečišćujućih tvari u zraku (NN 77/20)

Onečišćujuća tvar	olovo	arsen	kadmij	nikal
Granična vrijednost u ng/m ³	500	6	5	20



Slika 2.11.3 Prostorni raspored postaja na kojima se provode mjerenja teških metala



Analiza sadržaja olova u lebdećim česticama počela se sustavno provoditi 2015. godine. U promatranom razdoblju nije bilo prekoračenja propisanih graničnih vrijednosti niti pragova procjene (Tablica 2.11.2).

Tablica 2.11.2 Srednje godišnje vrijednosti koncentracija olova (ng/m³) za razdoblje 2016. – 2020. godine. Donji prag procjene iznosi 250 ng/m³, a gornji 350 ng/m³

Zona/aglomeracija	Postaja	2016	2017	2018	2019	2020
HR ZG	Zagreb-1	0.002	0.003	0.001	0.001	0.003
	Zagreb-3	0.004	0.002	0.008	0.002	0.004
HR 02	Sisak-1	0.006	0.005	0.006	0.005	0.006
	Slavonski Brod-1	0.008	0.010	0.007	0.009	0.008

Analiza sadržaja arsena u lebdećim česticama provodila se tijekom cijelog razdoblja na postajama Zagreb-1, Zagreb-3, Sisak-1 i Slavonski Brod-1. Mjerenja na postaji Slavonski Brod-1 uspostavljena su 2015. godine. Nije bilo prekoračenja propisane granične vrijednosti niti pragova procjene u promatranom petogodišnjem razdoblju. Veće koncentracije arsena u pravilu se mjere u blizini industrijskih područja (Tablica 2.11.3).

Tablica 2.11.3 Srednje godišnje vrijednosti koncentracija arsena (ng/m³) za razdoblje 2016. – 2020. godine. Donji prag procjene iznosi 2.4 ng/m³, a gornji 3.6 ng/m³

Zona/aglomeracija	Postaja	2016	2017	2018	2019	2020
HR ZG	Zagreb-1	0.12	0.32	0.08	0.08	0.13
	Zagreb-3	0.26	0.14	0.41	0.10	0.15
HR 02	Sisak-1	0.54	0.54	0.49	0.39	0.41
	Slavonski Brod-1	0.91	0.80	0.77	0.69	0.64

Analiza sadržaja kadmija u lebdećim česticama provodila se tijekom cijelog razdoblja na postajama Zagreb-1, Zagreb-3, Sisak-1 i Slavonski Brod-1. Mjerenja na postaji Slavonski Brod-1 uspostavljena su 2015. godine. Nije bilo prekoračenja propisane granične vrijednosti niti pragova procjene. Veće koncentracije kadmija često se u blizini rudarske industrije (Tablica 2.11.4).

Tablica 2.11.4 Srednje godišnje vrijednosti koncentracija kadmija (ng/m³) za razdoblje 2016. – 2020. godine. Donji prag procjene iznosi 2 ng/m³, a gornji 3 ng/m³

Zona/aglomeracija	Postaja	2016	2017	2018	2019	2020
HR ZG	Zagreb-1	0.06	0.11	0.03	0.04	0.07
	Zagreb-3	0.18	0.06	0.21	0.06	0.10
HR 02	Sisak-1	0.21	0.19	0.18	0.18	0.19
	Slavonski Brod-1	0.25	0.23	0.22	0.25	0.23

Analiza sadržaja nikla u lebdećim česticama provodila se tijekom cijelog razdoblja na postajama Zagreb-1, Zagreb-3, Sisak-1 i Slavonski Brod-1. Mjerenja na postaji Slavonski Brod-1 uspostavljena su 2015. godine. Nije bilo prekoračenja propisane granične vrijednosti niti pragova procjene. Općenito se veće koncentracije nikla izmjere u blizini industrijskih područja (Tablica 2.11.5).

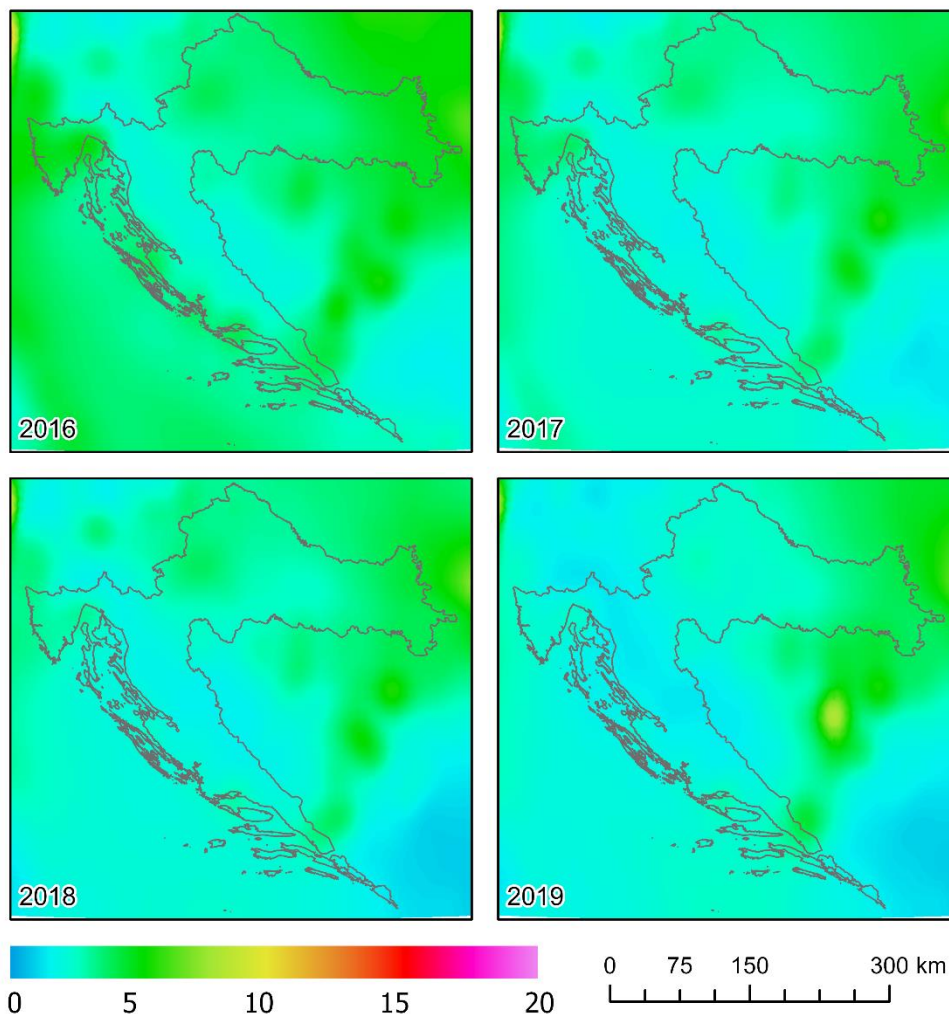


Tablica 2.11.5 Srednje godišnje vrijednosti koncentracija nikla (ng/m^3) za razdoblje 2016. – 2020. godine. Donji prag procjene iznosi $10 \text{ ng}/\text{m}^3$, a gornji $14 \text{ ng}/\text{m}^3$

Zona/aglomeracija	Postaja	2016	2017	2018	2019	2020
HR ZG	Zagreb-1	0.13	0.37	0.03	0.08	0.14
	Zagreb-3	0.10	0.19	0.65	0.11	0.17
HR 02	Sisak-1	6.64	5.90	1.79	1.23	0.37
	Slavonski Brod-1	2.56	2.43	1.76	1.43	1.58

Analiza modeliranih koncentracija teških metala (MSCE-HM)

Prekogranično onečišćenje atmosfere teškim metalima zbog svoje specifičnosti modelira se posebnom vrstom modela razvijenim za tu svrhu. Srednje godišnje površinske koncentracije olova (Pb) i kadmija (Cd) preuzete su od MSC-E (Meteorološki sintetizirajući centar – istok) za razdoblje 2016. – 2019. godine.

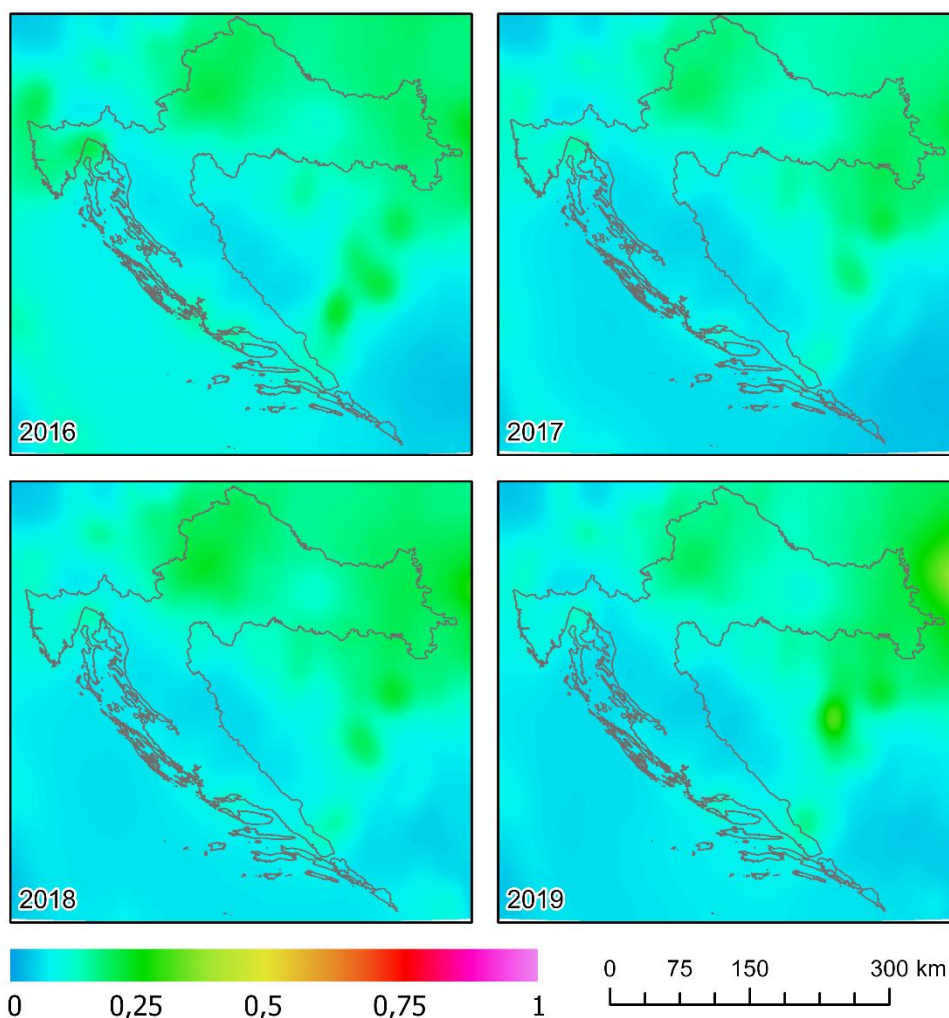


Slika 2.11.4 Prostorna raspodjela prizemnih srednjih godišnjih koncentracija olova (Pb) (ng/m^3) na području Hrvatske u razdoblju od 2016. – 2019. godine dobivena MSCE-HM modelom



Prema rezultatima modela, u promatranom razdoblju na području Hrvatske ne dolazi do prekoračenja granične vrijednosti za olovo od 500 ng/m^3 (Slika 2.11.4). Najviše modelirane srednje godišnje koncentracije ne prelaze 7.5 ng/m^3 što je više od 60 puta manje od propisane granične vrijednosti. Relativno više koncentracije, u međusobnoj usporedbi regija, vidljive su na područjima većih gradova, aglomeracija te posebno na krajnjem istoku zemlje, u blizini područja s nedovoljno čistom industrijom susjednih zemalja (Srbije i Bosne i Hercegovine), ali i na području Istre (blizina sjeverne Italije – jaka industrija, luke).

Prema rezultatima MSC-E modela, srednje godišnje koncentracije kadmija na području Hrvatske ne premašuju propisanu ciljnu vrijednost od 5 ng/m^3 (Slika 2.11.5). Najviše modelirane srednje godišnje koncentracije ne prelaze 0.3 ng/m^3 . Kao i kod olova, srednje godišnje koncentracije kadmija vežu se uz regionalna područja u blizini snažnije industrije (sjeverna Italija), industrije s nedovoljno čistim sirovinama (Srbija, Bosna i Hercegovina) te gušće naseljena urbana područja (Zagreb, Osijek, Rijeka, Split). Relativno više koncentracije model predviđa u kontinentalnom dijelu zemlje, a niže na području Jadrana.



Slika 2.11.5 Prostorna raspodjela prizemnih srednjih godišnjih koncentracija kadmija (Cd) (ng/m^3) na području Hrvatske u razdoblju od 2016. – 2019. godine dobivena MSCE-HM modelom



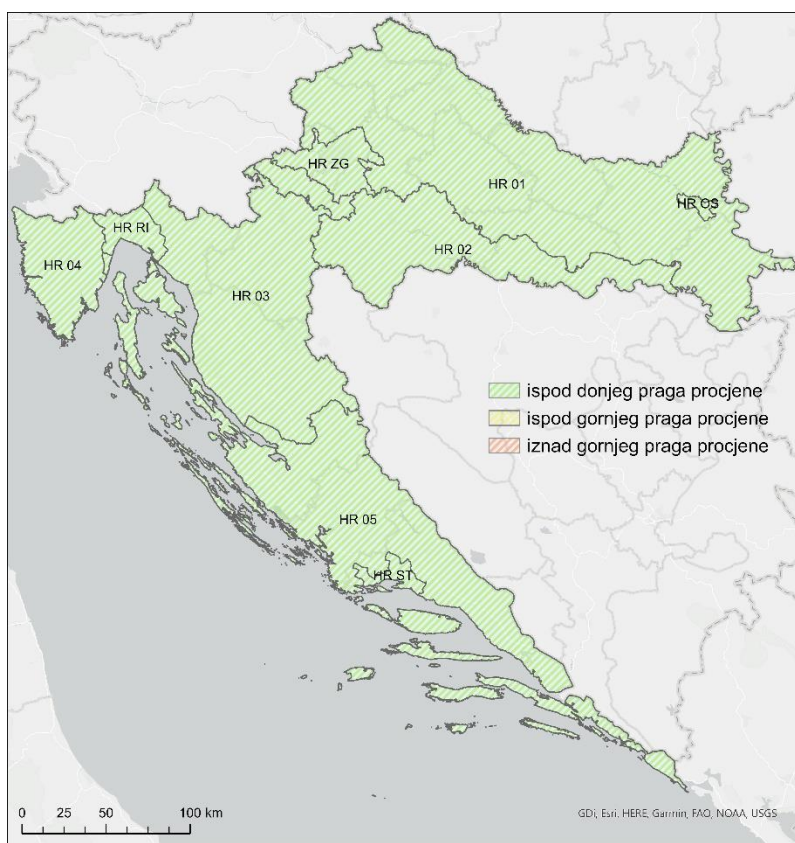
Ocjena sukladnosti zona i aglomeracija s okolišnim ciljevima

Srednje godišnje koncentracije olova (Pb), arsena (As), kadmija (Cd) i nikla (Ni) u lebdećim česticama PM10 ne premašuju Uredbom propisane granične vrijednosti na postajama u zoni HR 02 i aglomeraciji HR ZG gdje se provode mjerenja teških metala. Objektivnom ekspertnom ocjenom, uzimajući u obzir rezultate analize izmjerenih koncentracija u zoni HR 02 i aglomeraciji HR ZG, te prostorni raspored emisija kao i rezultate modela MSC-E procijenjeno je da su sve zone i aglomeracije sukladne s okolišnim ciljevima za teške metale obzirom na zaštitu zdravlja ljudi te je zrak u razdoblju 2016. – 2020. godine bio I kategorije (Tablica 2.11.6).

Razina onečišćenja u zoni HR 02 i aglomeraciji HR ZG u razdoblju 2016. – 2020. godine je bila ispod donjeg praga procjene. Objektivnom ekspertnom ocjenom procijenjeno je da je na cijelom području Hrvatske razina onečišćenja u promatranom petogodišnjem razdoblju za teške metale obzirom na zaštitu zdravlja ljudi ispod donjeg praga procjene (Slika 2.11.6).

Tablica 2.11.6 Razine onečišćenosti zraka određene prema pragovima procjene te ocjena onečišćenosti za teške metale (Pb, As, Cd, Ni) s obzirom na zaštitu zdravlja ljudi. Crvenom bojom označena je nesukladnost s ciljevima zaštite okoliša – prekoračenje GV, zelena boja označava sukladnost s ciljevima zaštite okoliša – nije prekoračena GV, dok je sivom označena neocijenjena zona ili aglomeracija

Pb, As, Cd, Ni – zaštita zdravlja ljudi		
Zona / aglomeracija	Razina onečišćenosti	Ocjena onečišćenosti (sukladnosti)
HR ZG	<DPP	●
HR OS	<DPP	●
HR RI	<DPP	●
HR ST	<DPP	●
HR 01	<DPP	●
HR 02	<DPP	●
HR 03	<DPP	●
HR 04	<DPP	●
HR 05	<DPP	●



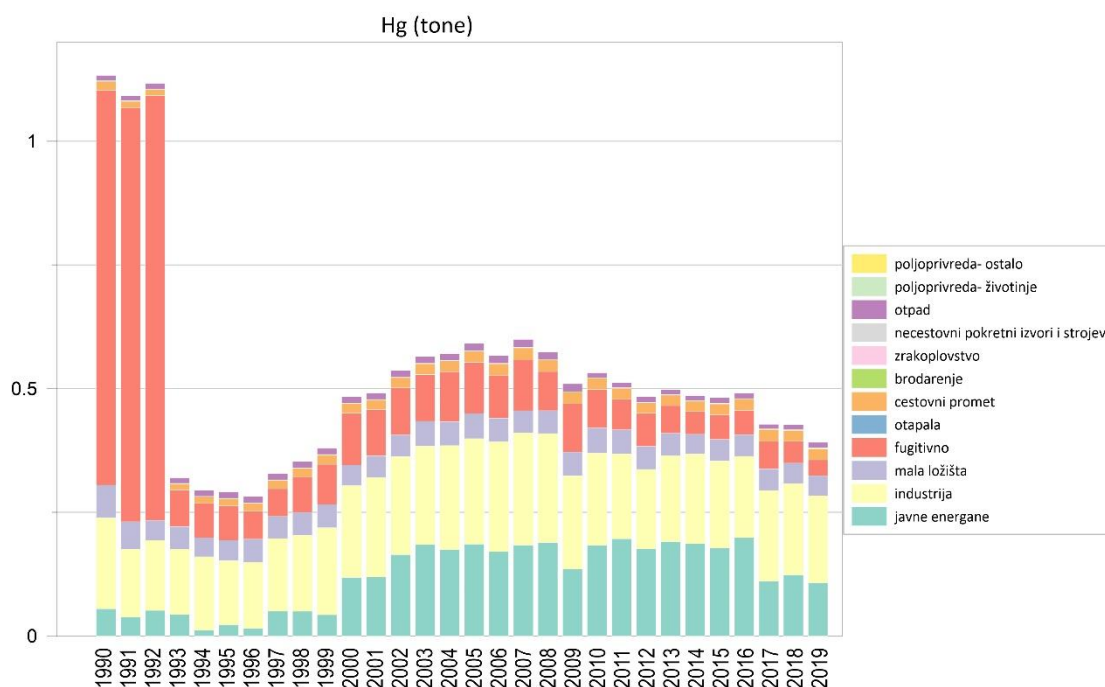
Slika 2.11.6 Kartogram ocjena razina onečišćenosti teškim metalima (Pb, As, Cd, Ni) po svim zonama i aglomeracijama obzirom na zaštitu zdravlja ljudi



2.12. Ukupna plinovita živa, Hg

Izvori i emisije Hg

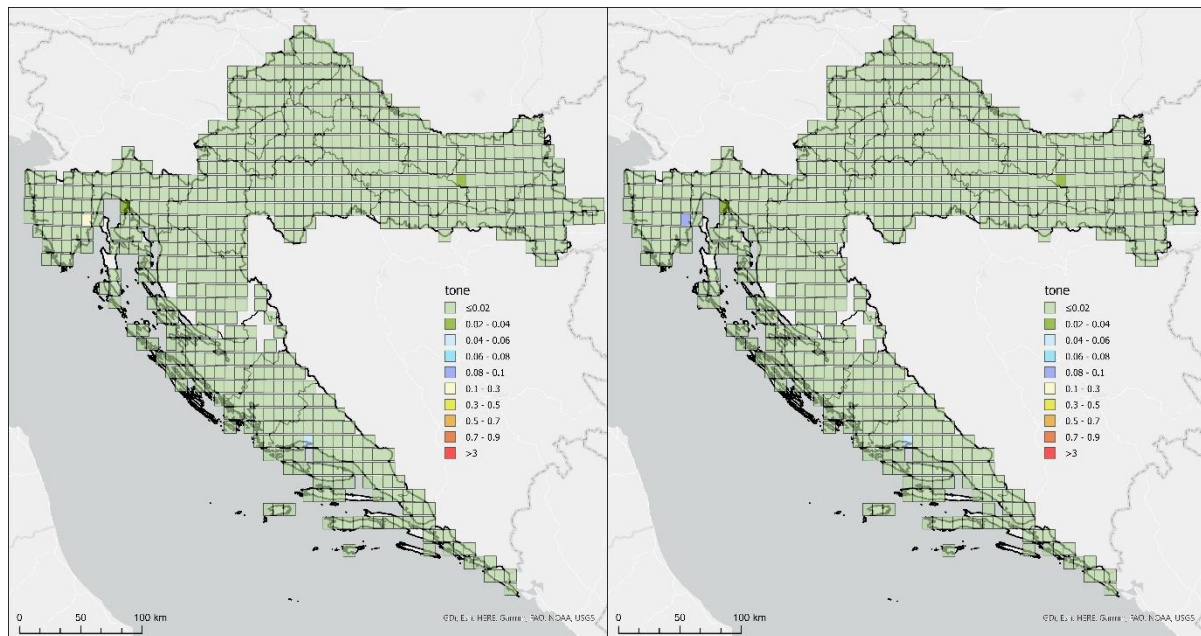
Ukupna plinovita živa označava pare elementarne žive (Hg – metal u tekućem agregatnom stanju na sobnoj temperaturi srebrne boje) i reaktivnu živu, odnosno vrste žive topive u vodi s dovoljno visokim tlakom para da mogu postojati u plinovitom stanju. Plinovita živa nastaje izgaranjem fosilnog goriva, dok se u okolišu prirodno nalazi u mineralima u bezopasnim količinama. Ljudskim djelovanjem znatne količine ispuštaju se u okoliš gdje se zadržavaju u vodi i sedimentu u iznimno toksičnom obliku. Na taj način živa ulazi u prehrambeni lanac gdje ostaje tisućama godina. Ljudi su joj direktno izloženi konzumacijom morskih plodova i većih riba grabežljivica (tuna ili sabljarka) koje u svom tijelu sadržavaju veće koncentracije žive obzirom da konzumiraju manje životinje (koje su u svoj organizam živu također unijele i nakupile svojom prehranom). Kruta goriva (ugljen, lignit, treset i drvo) sadržavaju male količine žive i ispuštaju je u okoliš pri sagorijevanju te u industriji i kućanstvima predstavljaju jedan od najvećih izvora onečišćenja živom u svijetu. Glavni izvor emisija uključuju aktivnosti termoelektrana te proizvodnja cementa i metala. U ljudskom organizmu živa štetno djeluje na živčani sustav, mozak u razvoju (pamćenje, jezične sposobnosti, moć opažanja) te se zbog svoje toksičnosti postupno izbacuje iz proizvoda u Europi (npr. zubne ispune u stomatologiji), no još uvijek je prisutna u zraku, vodi, tlu i ekosustavu. U nekim drugim dijelovima svijeta emisije žive se povećavaju kao posljedica gospodarskog razvoja i industrijalizacije, pri čemu u glavne izvore pripada sagorijevanje ugljena te rudarenje zlata.



Slika 2.12.1 Emisije žive (Hg) u Hrvatskoj raspodijeljene po GNFR sektorima u razdoblju 1990. – 2019. godine



Emisije žive na području Hrvatske su niske, danas iznose manje od 1 % ukupne emisije u Europi (2019.: Hrvatska 0.39 t, EU27+UK 41.51 t). Od sredine dvijetisućitih emisije žive u Hrvatskoj su se smanjile za 34 % (2005.: 0.59 t, 2019.: 0.39 t godišnje). Danas najviše emisija otpada na industriju (46 %), potom javne energane (28 %), zatim mala ložišta (10 %), fugitive (8 %) i transport (5 %) (Slika 2.12.1).



Slika 2.12.2 Prostorna razdioba emisija žive (Hg) na području Hrvatske u 2015. godini (slika lijevo) i 2019. godini (slika desno)

Emisije žive na području Hrvatske su uglavnom vrlo ravnomjerno raspoređene. Ističe se svega nekoliko područja u mreži emisija: TE Plomin II (Istra), Cemex (Split), Našicecement (sada NEXE d.d.)(Zoljan). Najveće smanjenje u postotku između 2015. i 2019. godine na području Hrvatske bilježi se u sektoru javnih energana (Slika 2.12.2).

Analiza rezultata mjerenja plinovite žive

Rezultati analize s obzirom na donju i gornju granicu procjene

Analiza sadržaja ukupne plinovite žive provodila se tijekom cijelog razdoblja u aglomeraciji HR ZG na postaji Zagreb-1.

Direktive za ukupnu plinovitu živu (Hg) ne propisuju graničnu i/ili ciljnu vrijednost te se ne određuje ocjena sukladnosti prema zahtjevima Direktive. Uredbom o razinama onečišćujućih tvari u zraku propisana je srednja granična vrijednost za ukupnu plinovitu živu (Hg) i ona iznosi 1000 ng/m^3 , tj. $1 \text{ } \mu\text{g/m}^3$. Srednja godišnja vrijednost izmjerena na mjernejoj postaji Zagreb-1 u svim godinama bila je daleko ispod propisane granične vrijednosti. Rezultati analize prikazani su u tablici (Tablica 2.12.1).

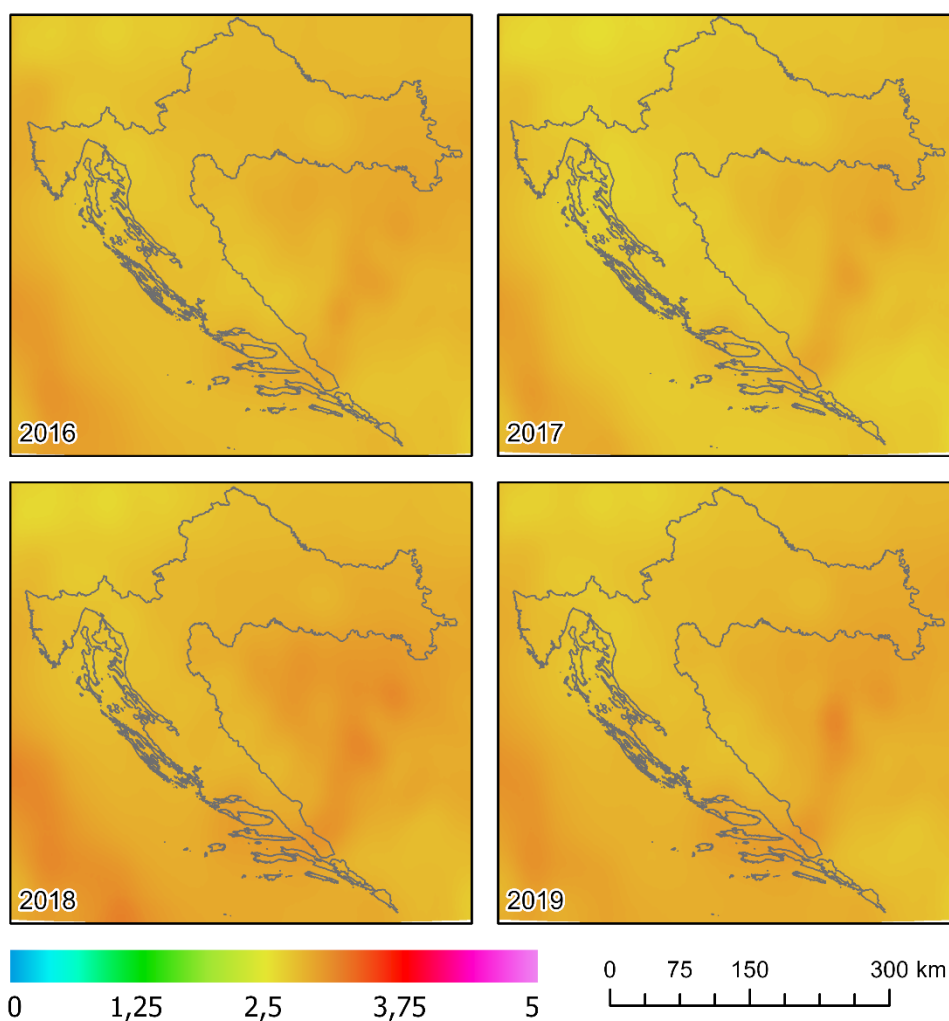


Tablica 2.12.1 Srednje godišnje validiranih satnih vrijednosti koncentracija žive ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) za razdoblje 2016. – 2020. godine

Godina	Hg ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		HR ZG (Zagreb-1)		
	2016	2017	2018	2019	2020
Obuhvat	99	97	96	100	98
Srednja god. vrijednost	0.009	0.012	0.006	0.009	0.01

Analiza modeliranih koncentracija žive (MSCE-HM)

Srednje godišnje koncentracije žive (Hg) preuzete su od MSC-E (Meteorološki sintetizirajući centar – istok) za razdoblje 2016. – 2019. godine. U sve četiri godine na području Hrvatske ne dolazi do prekoračenja propisane granične vrijednosti od $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Modelirane vrijednosti su vrlo niske i ravnomjerno raspoređene na području Hrvatske što je vidljivo na slici (Slika 2.12.3). I maksimalne koncentracije su ispod $1.8 \text{ ng}/\text{m}^3$ što je više od 500 puta manje od propisane granične vrijednosti.



Slika 2.12.3 Prostorna raspodjela prizemnih srednjih godišnjih koncentracija žive (Hg) ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) na području Hrvatske u razdoblju od 2016. – 2019. godine dobivena MSCE-HM modelom



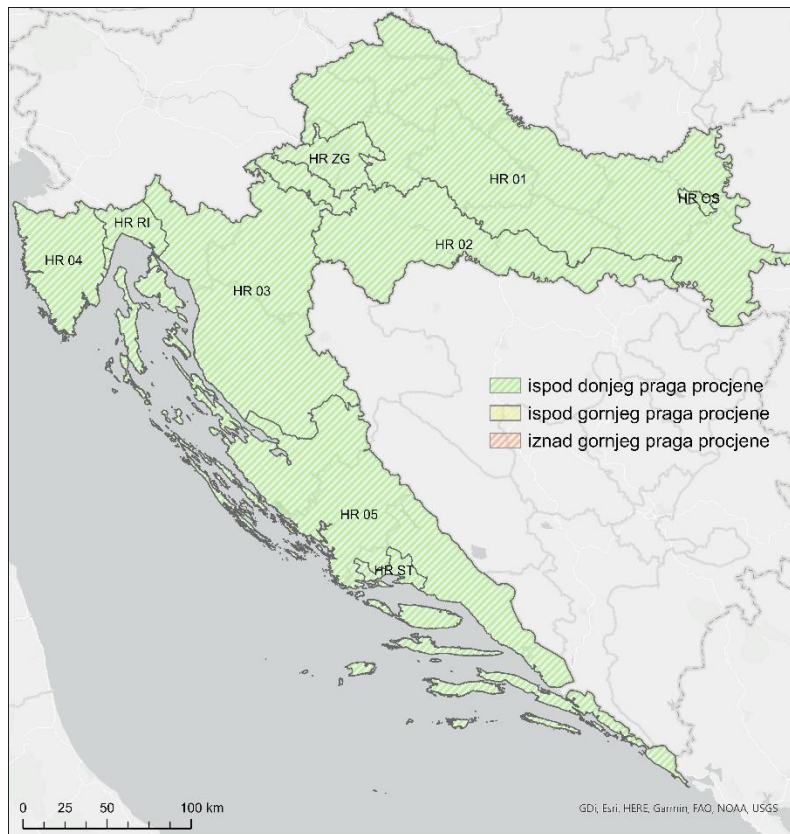
Ocjena sukladnosti zona i aglomeracija s okolišnim ciljevima

Srednje godišnje koncentracije žive (Hg) ne premašuju Uredbom propisanu graničnu vrijednost u aglomeraciji HR ZG na postaji Zagreb-1 gdje se provode mjerenja. Objektivnom ekspertnom ocjenom, uzimajući u obzir rezultate analize izmjerenih koncentracija u aglomeraciji HR ZG, te prostorni raspored emisija kao i rezultate modela MSC-E procijenjeno je da su sve zone i aglomeracije sukladne s okolišnim ciljevima za živu na zaštitu zdravlja ljudi te je zrak u razdoblju 2016. – 2020. godine bio I kategorije (Tablica 2.12.2).

Razina onečišćenja u aglomeraciji HR ZG u razdoblju 2016. – 2020. godine je bila ispod donjeg praga procjene. Objektivnom ekspertnom ocjenom procijenjeno je da je na cijelom području Hrvatske razina onečišćenja u promatranom petogodišnjem razdoblju za živu obzirom na zaštitu zdravlja ljudi ispod donjeg praga procjene (Slika 2.12.4).

Tablica 2.12.2 Razine onečišćenosti zraka određene prema pragovima procjene te ocjena onečišćenosti za živu (Hg) s obzirom na zaštitu zdravlja ljudi. Crvenom bojom označena je nesukladnost s ciljevima zaštite okoliša – prekoračenje GV, zelena boja označava sukladnost s ciljevima zaštite okoliša – nije prekoračena GV, dok je sivom označena neocijenjena zona ili aglomeracija

Hg – zaštita zdravlja ljudi		
Zona / aglomeracija	Razina onečišćenosti	Ocjena onečišćenosti (sukladnosti)
HR ZG	<DPP	●
HR OS	<DPP	●
HR RI	<DPP	●
HR ST	<DPP	●
HR 01	<DPP	●
HR 02	<DPP	●
HR 03	<DPP	●
HR 04	<DPP	●
HR 05	<DPP	●



Slika 2.12.4 Kartogram ocjena razina onečišćenosti živom po svim zonama i aglomeracijama obzirom na zaštitu zdravlja ljudi

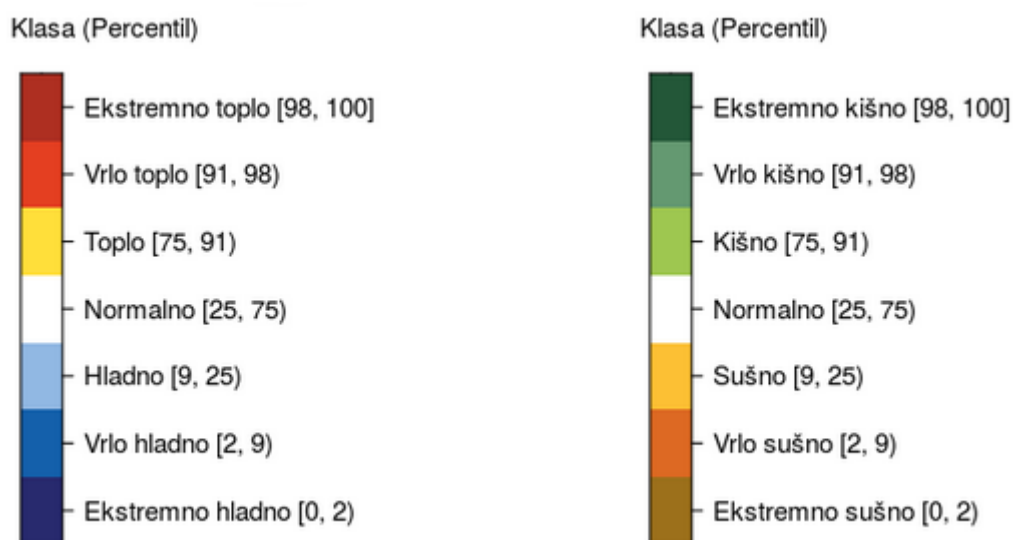


3. Meteorološke prilike u razdoblju 2015. – 2020.

Meteorološki i klimatski uvjeti značajno utječu na kvalitetu zraka. Onečišćenje atmosfere u različitim vremenskim prilikama može se bitno pogoršati ili poboljšati, dok klimatski uvjeti također govore o sklonosti određenog područja ka akumulaciji onečišćenja i/ili formiranju sekundarnih polutanata poput ozona, lebdećih čestica. Hrvatska je geografski i klimatološki vrlo raznolika, pa su različita područja pod različitim pritiskom onečišćenja, gdje uz lokalne emisije, velik utjecaj imaju i meteorološki uvjeti. Premještanje zračnih masa pogoduje prekograničnom onečišćenju, u stabilnoj atmosferi bez prisutnosti vjetera polutanti se u prizemnom sloju akumuliraju, dok veća količina sunčevog zračenja i visoke temperature favoriziraju produkciju prizemnog ozona.

Za ocjenu klimatskih prilika na lokacijama meteoroloških postaja u Hrvatskoj prikazana su odstupanja srednje dnevne temperature zraka (°C) i količine oborine (%) u odnosu na srednju vrijednost referentnog klimatološkog razdoblja, tzv. normalu i pripadajući percentili. Referentno klimatološko razdoblje za ocjenu 2015., 2016., 2017. i 2018. godine bilo je 1961.-1990., a od 2019. godine, kao referentno uzima se razdoblje 1981. – 2010.

Za klimatsku ocjenu koristi se klasifikacijska skala s granicama određenim prema vrijednostima 2., 9., 25., 75., 91. i 98. percentila dobivenih iz teorijskih razdiobi koje na najbolji mogući način aproksimiraju osnovna obilježja svih podataka referentnog razdoblja (Slika 3.1). Na osnovi tako dobivenih razdioba moguće je svakoj izmjerenoj vrijednosti pridružiti odgovarajuću teorijsku kumulativnu čestinu ili percentil koji možemo interpretirati kao rang (ili redni broj mjesta) koji bi ta vrijednost imala u hipotetskom nizu od sto vrijednosti skupa koje ta razdioba opisuje. Rang koji promatrana vrijednost ima u skupu svih višegodišnjih vrijednosti mjerenja omogućuje uvid u to da li je ta vrijednost uobičajena ili predstavlja rijedak događaj. Za ocjenu temperaturnih prilika korištena je normalna razdioba, a za ocjenu oborinskih prilika korištena je normalna razdioba drugim korijenom (Cindrić et al., 2019.).



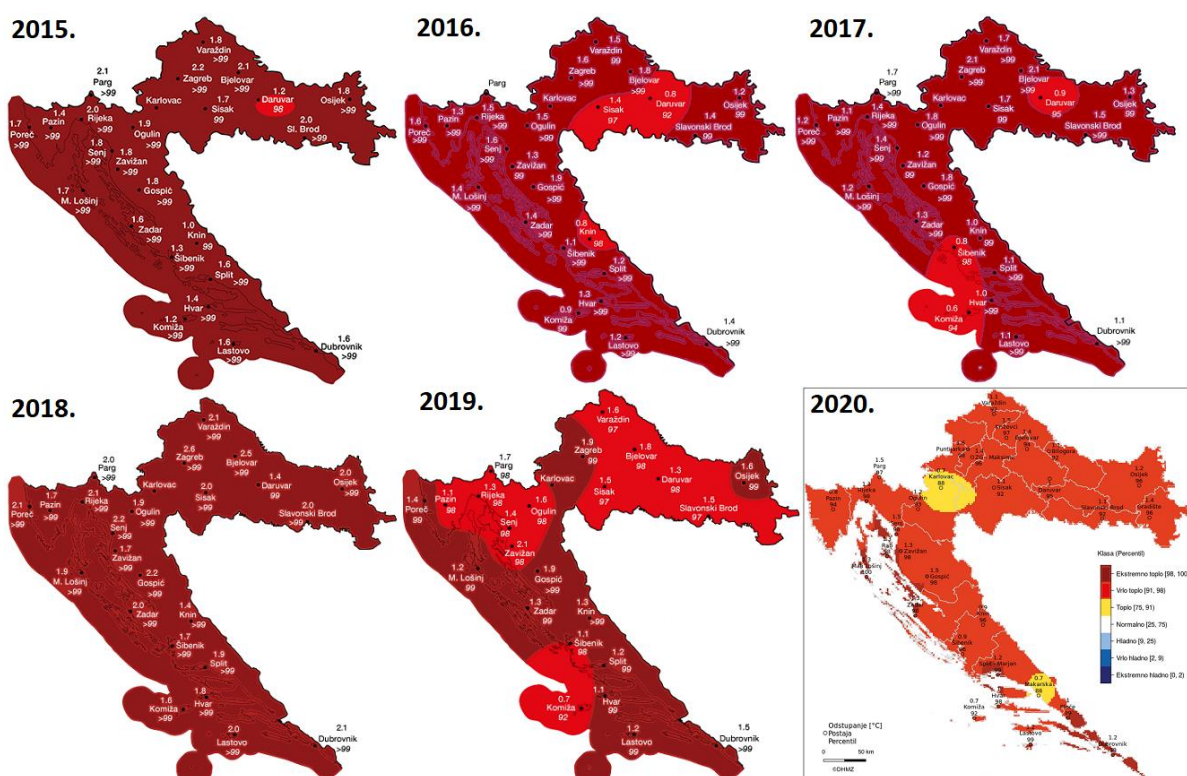
Slika 3.1 Klasifikacija ocjena klimatskih prilika (uz Sliku 3.1.1 i Sliku 3.2.1) prikazanih kroz odstupanje srednje godišnje temperature zraka i godišnje količine oborine prema raspodjeli percentila (Praćenje klime, DHMZ, www.meteo.hr)



Na temelju klimatske ocjene izrađene su karte odstupanja srednjih godišnjih temperatura (Slika 3.1.1) i godišnjih količina oborine (Slika 3.2.1) od srednjih tridesetogodišnjih vrijednosti za Hrvatsku. Na kartama je uz svaku postaju naznačeno odstupanje od srednjaka standardnog klimatskog razdoblja (iznad oznake postaje), za temperaturu u (°C) i za oborinu u (%), dok je ispod oznake postaje naveden pripadajući percentil prema kojem je klimatskom elementu pridijeljena odgovarajuća ocjena.

3.1. Temperatura

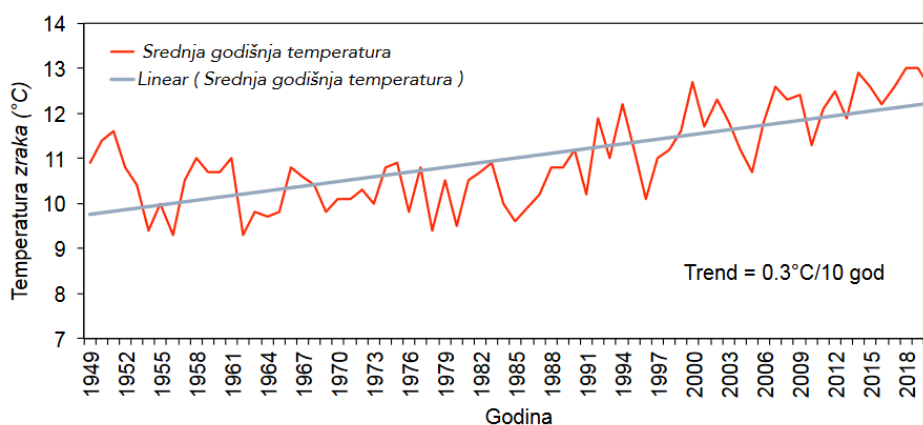
Srednja godišnja temperatura zraka u razdoblju 2015. – 2020. godine u Hrvatskoj je bila općenito iznad prosjeka. Anomalije srednje godišnje temperature u 2015. bile su u rasponu od 1.0 °C (Knin) do 2.2 °C (Zagreb-Grič). Prema raspodjeli percentila, toplinske prilike u Hrvatskoj za 2015. godinu opisane su dominantnom kategorijom *ekstremno toplo*, a jedino je šire područje Daruvara svrstano u kategoriju *vrlo toplo*.



Slika 3.1.1 Odstupanje srednjih godišnjih temperatura zraka (°C) od prosječnih vrijednosti referentnog klimatološkog razdoblja te percentili za 2015., 2016., 2017., 2018., 2019. i 2020. godinu (Praćenje klime, DHMZ, www.meteo.hr)



Slične temperaturne prilike nastavile su se i u slijedećim godinama. Ekstremno tople u većem dijelu Hrvatske su bile 2016., 2017., 2018. i dijelom 2019. godina. Jedino 2020. bilježi manje odstupanje, no i dalje u kategoriji *vrlo toplo*. Valja uzeti u obzir da se u 2019. i 2020. godini odstupanje računalo u odnosu na novu klimatsku normalu (razdoblje 1981. – 2010.) što ne umanjuje natprosječno visoku srednju godišnju temperaturu na našem području. Najviše odstupanje u razdoblju 2016. – 2018. zabilježeno je na postaji Zagreb-Grič (+ 2.6 °C) za 2018. godinu koja je u cijeloj zemlji ocijenjena kao *ekstremno topla*. U 2019. i 2020. godini za čiju ocjenu je korišten tridesetogodišnji srednjak 1981. – 2010. maksimalno odstupanje zabilježeno je također na postaji Zagreb-Grič, te na postaji Gospić (obje postaje: + 1.6 °C, 2019. godina).



Slika 3.1.2 Srednja godišnja temperatura zraka (°C) na postaji Zagreb-Maksimir u razdoblju 1949. – 2018. godine i pripadajući trend (DHMZ, 2021., www.meteo.hr)

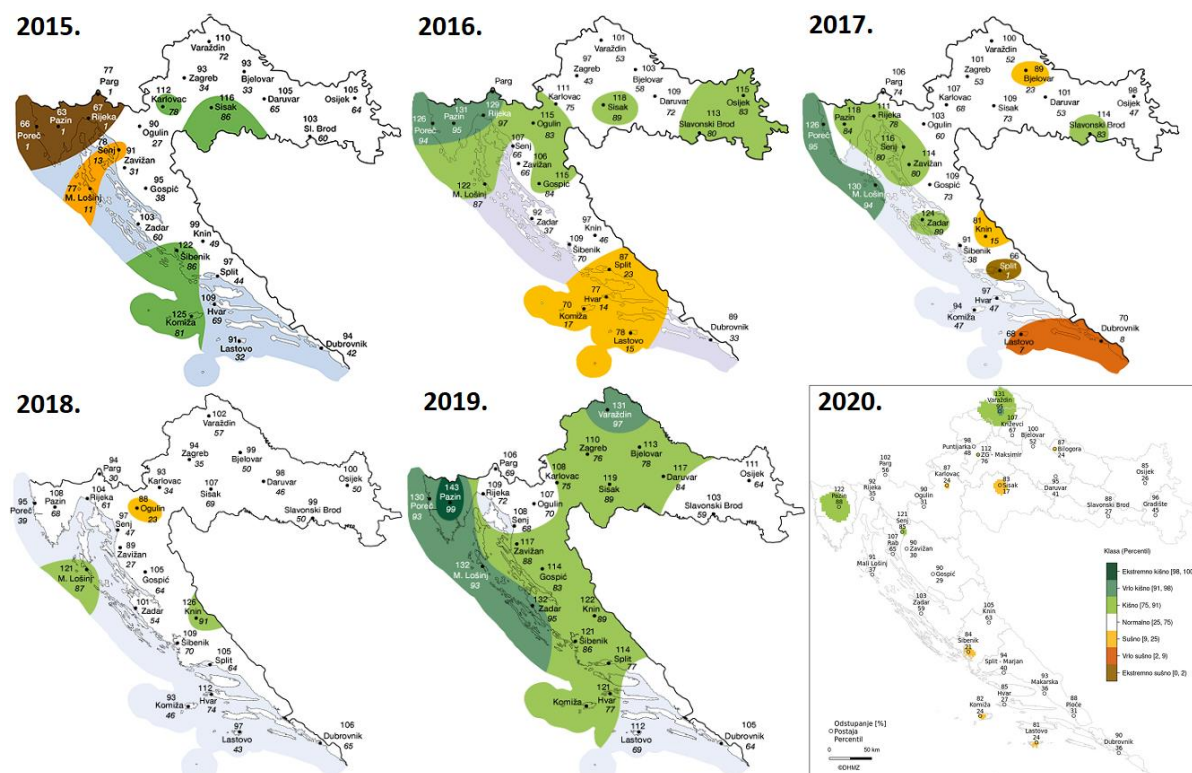
I prema dugogodišnjim nizu podataka s postaje Zagreb-Maksimir (Slika 3.1.2), pozitivan trend srednje godišnje temperature zraka (0.3 °C/10 god) se nastavlja. Navedeno ukazuje na činjenicu da temperatura zraka u Hrvatskoj i dalje prati trend globalnog zatopljenja s izvjesnim međugodišnjim kolebanjima.

3.2. Oborina

Odstupanje godišnje količine oborine od prosječnih vrijednosti referentnog razdoblja prikazano je na slici (Slika 3.2.1). Za razliku od temperature, gdje su trendovi porasta međusobno više korelirani na području cijele zemlje, oborina je klimatski element koji je više lokalnog karaktera pa češće nailazimo na razdoblja u kojima jedan dio zemlje oborinu ima u višku, dok je drugi dio izrazito sušan. Dodatno, analiza godišnje količine oborine i odstupanje od tridesetogodišnjeg srednjaka ne uzima u obzir varijabilnosti unutar godine, pa godina ocijenjena ocjenom *normalno* može sadržavati ekstreme koji se u ukupnoj ocjeni ne zamjećuju. U kontekstu kvalitete zraka značajni su mnogi parametri, pa tako i kraće vremenske skale, odnosno razdoblja i sezone u kojima su različiti meteorološki parametri imali veći, odnosno manji utjecaj na koncentracije onečišćujućih tvari u zraku, te posljedično njihovo suho i mokro taloženje.



U razdoblju 2015. – 2020. dvije se godine općenito mogu svrstati u kategoriju *normalno*, 2018. i 2020. Godina 2019. je u većini zemlje bila *kišna* ili *vrlo kišna*, dok je područje Pazina te godine svrstano u kategoriju *ekstremno kišno* sa 143 % višegodišnjeg prosjeka (1981. – 2010.). U 2015. je pak područje Pazina, Rijeke i Poreča bilo ekstremno sušno sa samo 63 % – 67 % višegodišnjeg prosjeka oborine (1961.-1990.). U 2017. godini područje sjevernog Jadrana bilo je *kišno* ili *vrlo kišno*, dok su dijelovi Dalmacije kategorizirani kao *sušni*, *vrlo sušni* ili čak *ekstremno sušni*, pa je tako u Splitu te godine palo samo 66 % višegodišnjeg prosjeka oborine, a u Malom Lošinj 130 %.



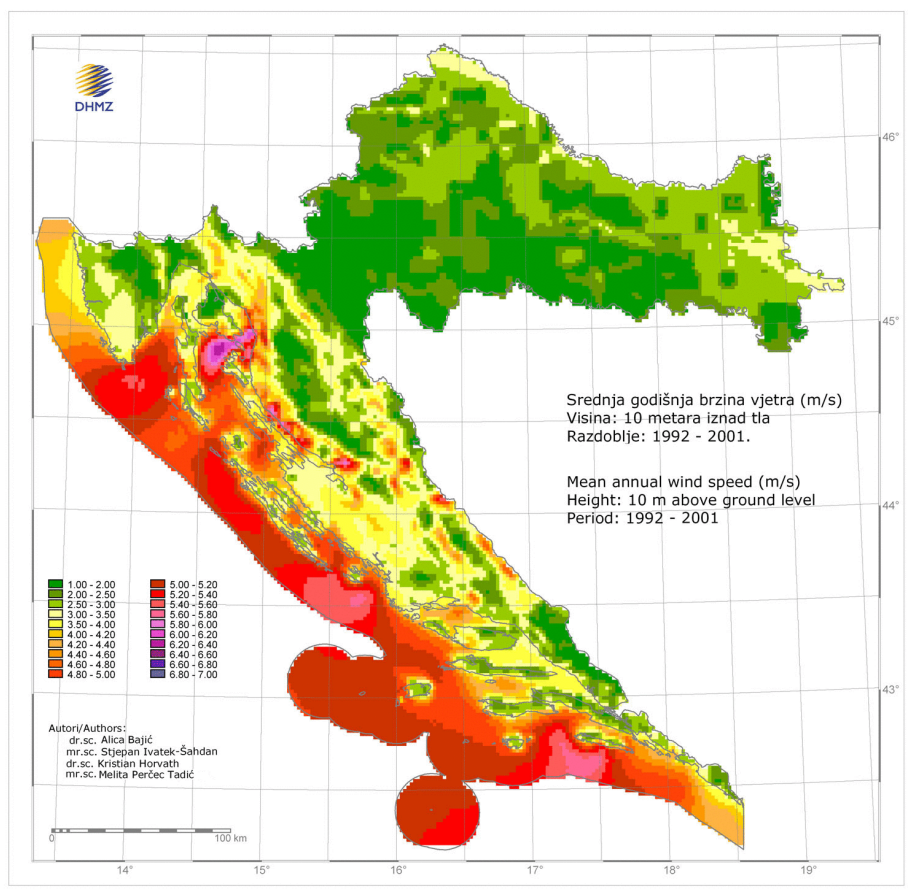
Slika 3.2.1 Odstupanje godišnje količine oborine (%) od prosječnih vrijednosti referentnog klimatološkog razdoblja te percentili za 2015., 2016., 2017., 2018., 2019. i 2020. godinu (Praćenje klime, DHMZ, www.meteo.hr)

3.3. Vjetar

Strujanje zraka u najvećoj mjeri određuje sudbinu onečišćujućih tvari. U mirnoj i stabilnoj atmosferi onečišćujuće tvari se ne mogu raspršiti pa će se, uz konstantan pritisak emisija, koncentracija tih zagađivača prirodno povećati. S druge strane, jaki i turbulentni vjetrovi rezultiraju brzim raspršenjem onečišćujućih tvari te u konačnici nižim koncentracijama polutanata i čistim zrakom. Podaci o brzini i smjeru vjetra stoga su od iznimne važnosti za kvalitetu zraka, između ostalog jer daju i informaciju o području i općem smjeru iz kojeg dolaze emisije onečišćujućih tvari. Identificiranje emisijskih izvora prvi je korak u planiranju smanjenja njihova utjecaja na kvalitetu zraka.

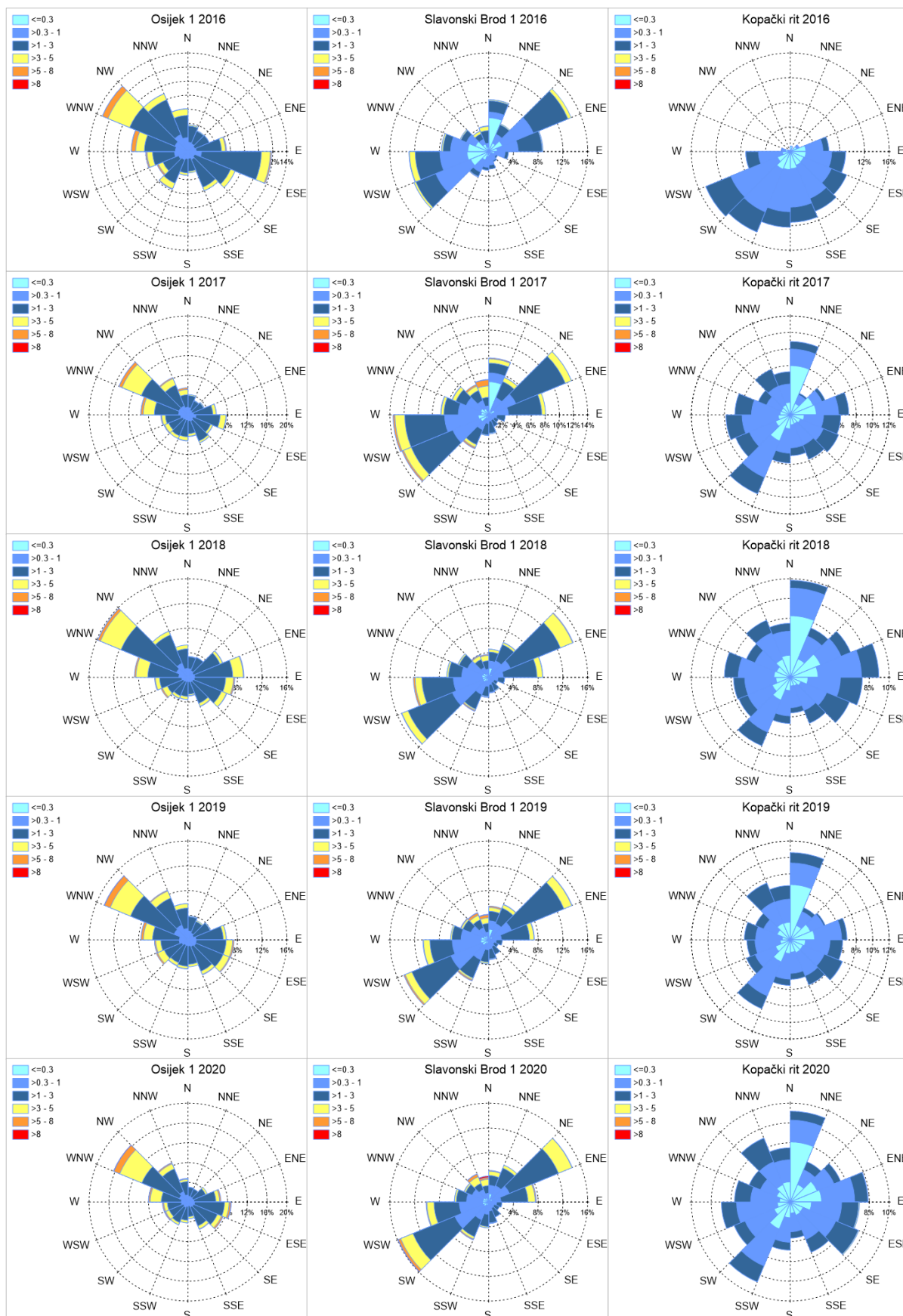


U Hrvatskoj postoje dva osnovna režima strujanja. U kontinentalnom dijelu zemlje uglavnom prevladava slab do umjeren vjetar čiji je smjer promjenjiv (Slika 3.3.1). Stoga prevladavajući smjer vjetra u unutrašnjosti Hrvatske znatno ovisi o otvorenosti i obliku okolnog terena, što se vidi i na godišnjim ružama vjetra postaja u unutrašnjosti Hrvatske (Slika 3.3.2). Na tom području brzine vjetra nisu velike. Pojava jakog vjetra je vrlo rijetka, a povezan je s prodorom hladnog zraka iz polarnih ili sibirskih krajeva u hladnom dijelu godine ili se javlja kratkotrajno i lokalno za vrijeme ljetnih oluja. Suprotno tome na istočnoj jadranskoj obali jak vjetar je češći, a može postići olujnu pa čak i orkansku jačinu najčešće za vrijeme bure ili juga čiji su smjerovi ujedno i najučestaliji na tom području (Slika 3.3.1).

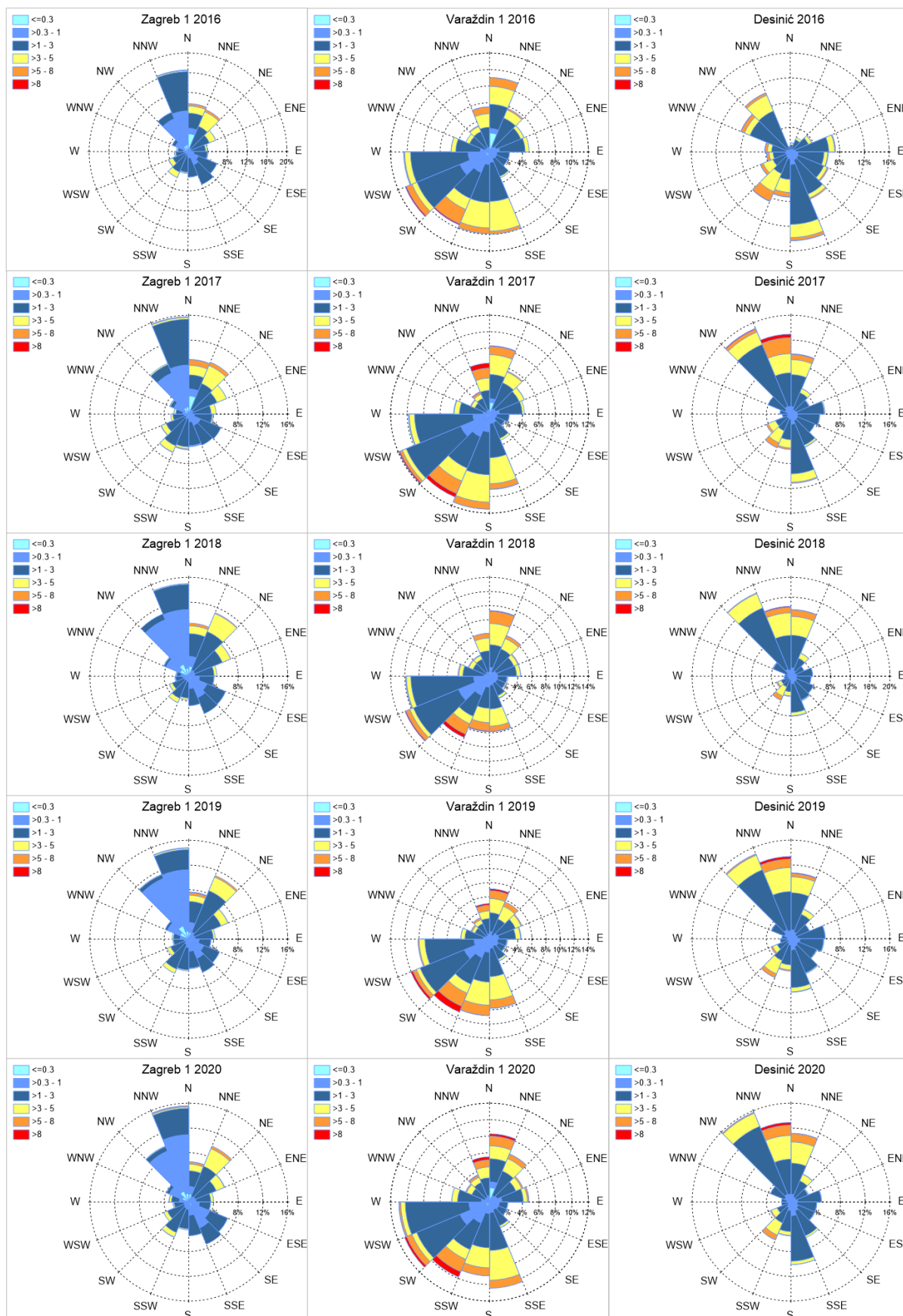


Slika 3.3.1 Srednja godišnja brzina vjetra (m/s) na visini 10 m iznad tla. (Atlas vjetra, DHMZ, www.meteo.hr)

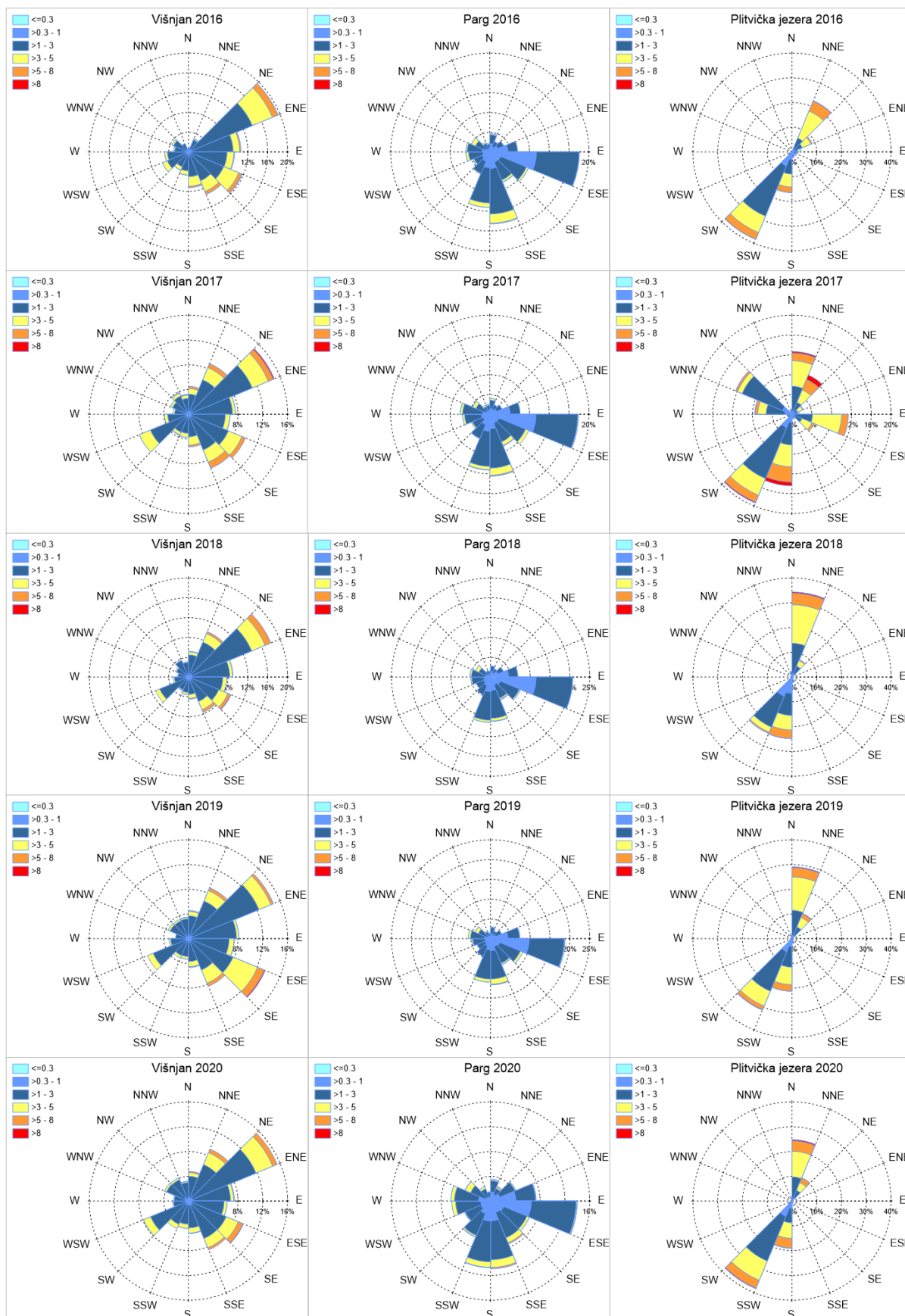
Općenito se relativna čestina jake bure smanjuje od sjevernog Jadrana prema južnom Jadrano kao i od kopnenog zaleđa prema otvorenom moru. Obrnuto je s jugom gdje je jako jugo češće na južnom nego sjevernom Jadrano (DHMZ, 2012.). Navedene karakteristike vjetrovne klime u Hrvatskoj opažene su i na ružama smjera i brzine vjetra s glavnih postaja i postaja za mjerenje kvalitete zraka (Slika 3.3.2). U svim godinama razdoblja 2016. – 2020. nije bilo značajnijeg odstupanja od utvrđenog režima strujanja.



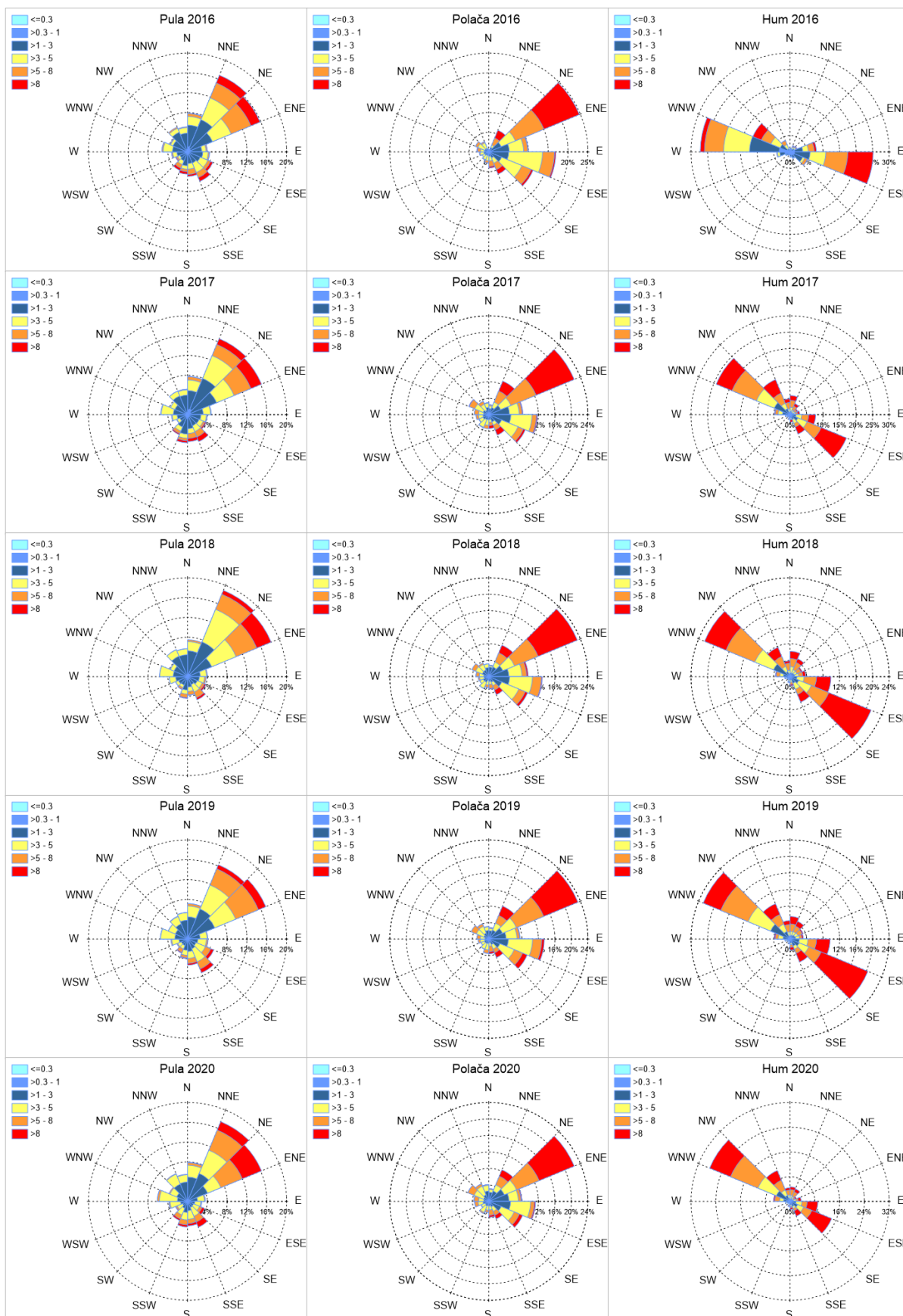
Slika 3.3.2 Ruže čestine smjera i brzine vjetra na postajama Osijek 1, Slavonski Brod 1 i Kopački rit u razdoblju 2016. – 2020. godine



Slika 3.3.2. – nastavak: Ruže čestine smjera i brzine vjetra na postajama Zagreb 1, Varaždin 1 i Desinić u razdoblju 2016. – 2020. godine



Slika 3.3.2. – nastavak: Ruže čestine smjera i brzine vjetra na postajama Višnjan, Parg i Plitvička jezera u razdoblju 2016. – 2020. godine

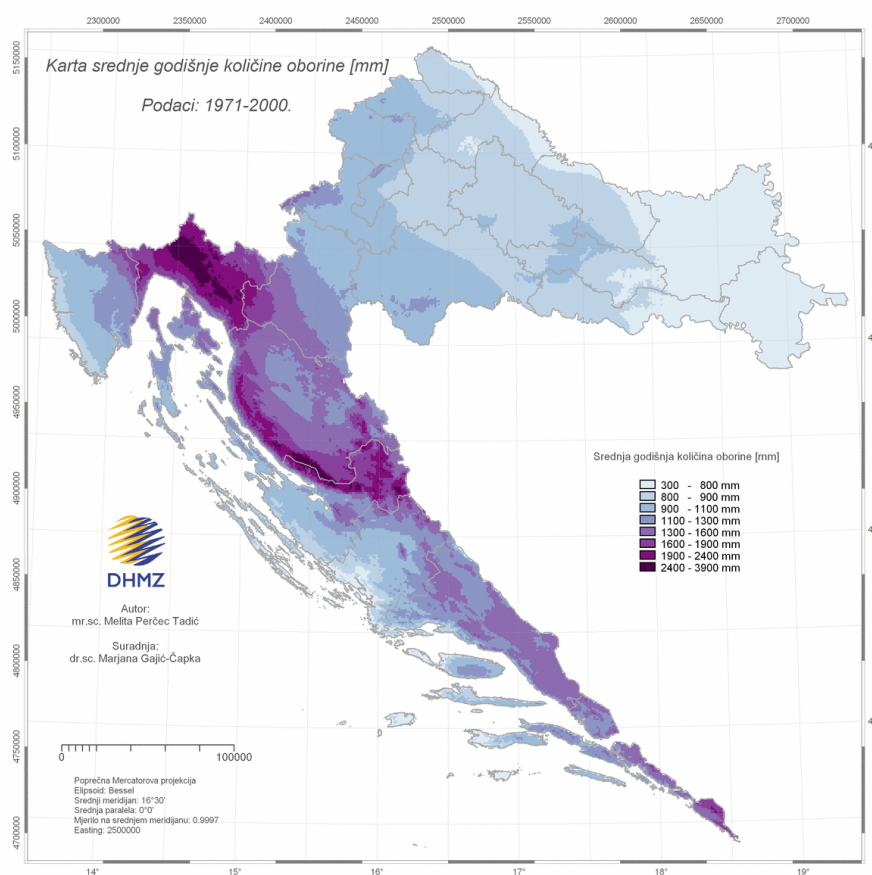


Slika 3.3.2. – nastavak: Ruže čestine smjera i brzine vjetra na postajama Pula, Polača i Hum u razdoblju 2016. – 2020. godine



4. Kvaliteta oborine u Hrvatskoj u razdoblju 2016. – 2020.

Oborina predstavlja jednu od najznačajnijih komponenti za život na Zemlji zbog svog direktnog i indirektnog utjecaja na čovjeka te biljni i životinjski svijet. Onečišćenje zraka i onečišćenje oborine može utjecati na vitalnost ekosustava kroz suho i mokro taloženje. Najvažniji izvor onečišćenja predstavljaju antropogene emisije polutanata u atmosferu, no uz njih, veliku ulogu u ukupnoj koncentraciji i razinama taloženja onečišćujućih tvari imaju zemljopisni položaj, zemljišni pokrov te klimatski uvjeti. Prekomjerno onečišćenje putem taloženja dovodi do zakiseljavanja, eutrofikacije i nitrifikacije okoliša koja se reflektira na bioraznolikost ekosustava, a u konačnici potencijalno i promjene u regionalnoj i globalnoj klimi.

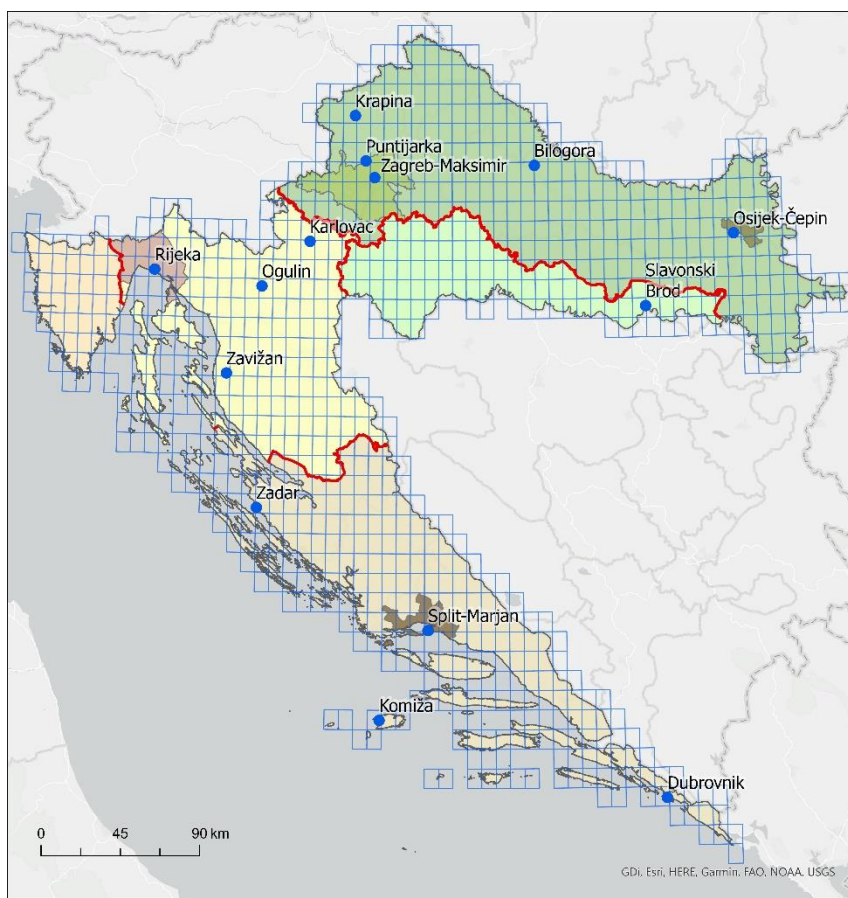


Slika 4.1 Srednja godišnja količina oborine na području Republike Hrvatske za klimatsko razdoblje 1971. – 2000. (DHMZ, Klima Hrvatske, www.meteo.hr)

Većina onečišćenja (preko 70 %) u Republici Hrvatskoj rezultat je dalekosežnih atmosferskih prijenosa i procesa taloženja. Koncentracije sumpora i dušika nisu samo posljedica nacionalnih emisija, već su pod utjecajem i emisija diljem Europe te njihovih promjena. To potvrđuje tezu kako je prijenos onečišćujućih tvari na velike udaljenosti važno međunarodno ekološko pitanje te da rješenja za očuvanje ekosustava treba tražiti u združenim naporima lokalne, nacionalne i međunarodne zajednice.



Na temelju preporuka Svjetske meteorološke organizacije, DHMZ je uspostavio mrežu za praćenje kvalitete oborine kasnih 70-ih godina (Slika 4.1). Broj postaja varirao je sve do 2012. kad je nakon optimizacije mreže stabiliziran i do danas u obzir uzima 14 lokacija (Slika 4.2). Hrvatska je geografski i klimatološki vrlo raznolika, pri čemu su najvažniji modifikatori klime Jadransko more, Dinarske Alpe i Panonska nizina. Lokacije za uzorkovanje oborine Državnog hidrometeorološkog zavoda odabrane su upravo na način kako bi se obuhvatile glavne geografske i klimatološke raznolikosti. Ta mjesta dio su dugoročne mreže kontinuiranog praćenja taloženja. Dvije postaje, Puntijarka i Zavižan, uključene su u EMEP program praćenja i evaluacije LRTAP konvencije (Konvencija o dalekosežnom prekograničnom onečišćenju zraka iz 1979. godine).



Slika 4.2 Mreža meteoroloških postaja za praćenje kvalitete oborine u razdoblju od 2017.–2020. godine (uz naznačene zone i aglomeracije) i mreža EMEP MSC-W kemijskog transportnog modela rezolucije $0.1^\circ \times 0.1^\circ$ za proračun pozadinskih vrijednosti koncentracija onečišćujućih tvari u zraku i oborini

Kvaliteta oborine analizirana je za razdoblje 2016. – 2020. godine s 14 mjernih postaja na kojima se kemijski sastav oborine kontinuirano prati s dnevnom frekvencijom uzorkovanja. Uzorci oborine prikupljaju se svakog jutra, pri čemu se kemijski sastav oborine, odnosno glavni ioni (sulfati: SO_4^{2-} , nitrati: NO_3^- , klorid: Cl^- , amonij: NH_4^+ , kalcij: Ca^{2+} , magnezij: Mg^{2+} , kalij: K^+ , natrij: Na^+) analiziraju metodom ionske kromatografije. Uz to, određuje se i pH te električna vodljivost oborine. Taloženje se izračunava kao umnožak godišnje količine

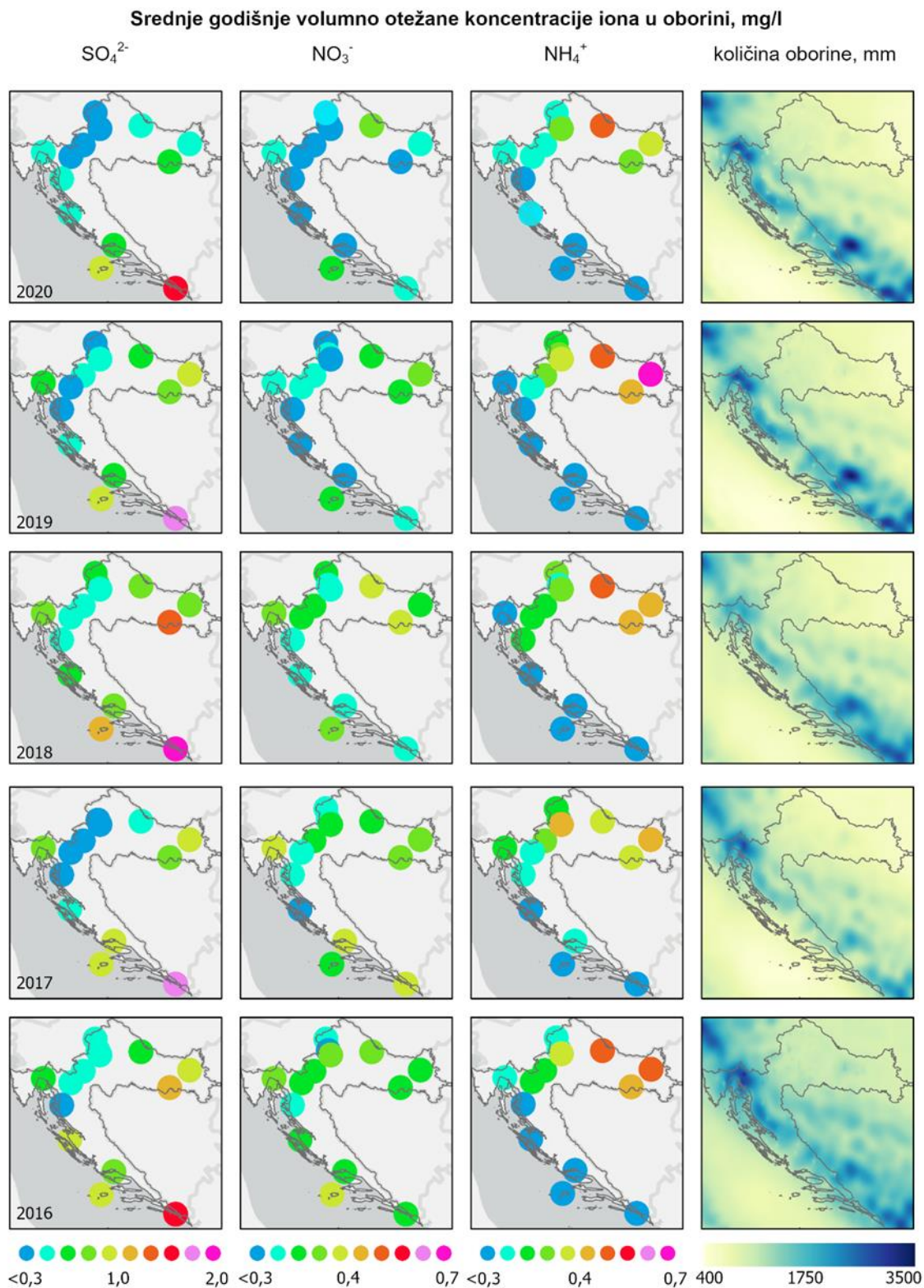


oborine i srednje, volumno otežane koncentracije pojedine ionske komponente za tu godinu i izražava u miligramima po metru kvadratnom (mg/m^2) ili kilogramima na hektar (kg/ha).

Izmjerenim vrijednostima, u ovoj analizi, komplementiraju rezultati kemijskog transportnog modela EMEP MSC-W prostorne rezolucije $0.1^\circ \times 0.1^\circ$ za područje Hrvatske u razdoblju 2016. – 2019. Za 2020. godinu ti podaci nisu bili dostupni, no zbog malih međugodišnjih razlika u emisijama i proračunu modela, kao podloga za izmjerene vrijednosti u 2020. godini, upotrijebljen je proračun EMEP MSC-W modela iz 2019. godine, a u svrhu boljeg pregleda prostorne razdiobe taloženja te određivanja prosječne opterećenosti okoliša u razdoblju 2016. – 2020. Dodatno, za svaku pojedinu godinu priložena je i karta prostorne razdiobe količine oborine na području Hrvatske. Za prikaz prostorne raspodjele georeferenciranih podataka primijenjena je Krigging metoda interpolacije. Kombiniranim prostornim prikazom mjerenih i modeliranih vrijednosti izbjegnuta je nerealna ekstrapolacija podataka na područja za koja podaci mjernog mjesta nisu reprezentativni. Usporedni prikaz modeliranih, mjerenih i kombiniranih rezultata pokazuje važnost primjene modela kako bi se dobila realnija slika prostorne raspodjele onečišćenja, a osobito u područjima gdje je prisutno značajnije lokalno onečišćenje.

Vrijednosti izmjerenih koncentracija iona sulfata, nitrata i amonija u oborini prikazani su na slici (Slika 4.3). Broj dana s oborinom na razmatranim postajama kreće se u rasponu od 100-130 dana u kalendarskoj godini, tako da informacija o stupnju onečišćenja oborine obuhvaća oko 30 % vremena godišnje, raspoređenog tijekom godine u ovisnosti o karakteristikama oborinskog režima. Posljedično, informacija o kvaliteti oborine ima veću težinu tijekom jeseni, zime i proljeća nego ljeti kada je učestalost oborine manja. Zbog toga je informacija modela o suhom taloženju važan parametar za sagledavanje ukupnog opterećenja nekog područja onečišćenjem sumporovih i dušikovih spojeva (DHMZ, 2012.). Vrijednosti suhog taloženja dobivene su primjenom EMEP MSC-W modela (Slika 4.4) i komplementarne su vrijednostima koncentracija iona u oborini. Karakterističan oborinski režim u Hrvatskoj pokazuje da će u područjima s velikom količinom oborine i niskim koncentracijama vrijednosti taloženja biti više (npr. riječko područje) kao i u slučaju područja s razmjerno malom količinom oborine (Posavina, istočna Hrvatska), gdje su pak koncentracije tih spojeva više (Slika 4.3).

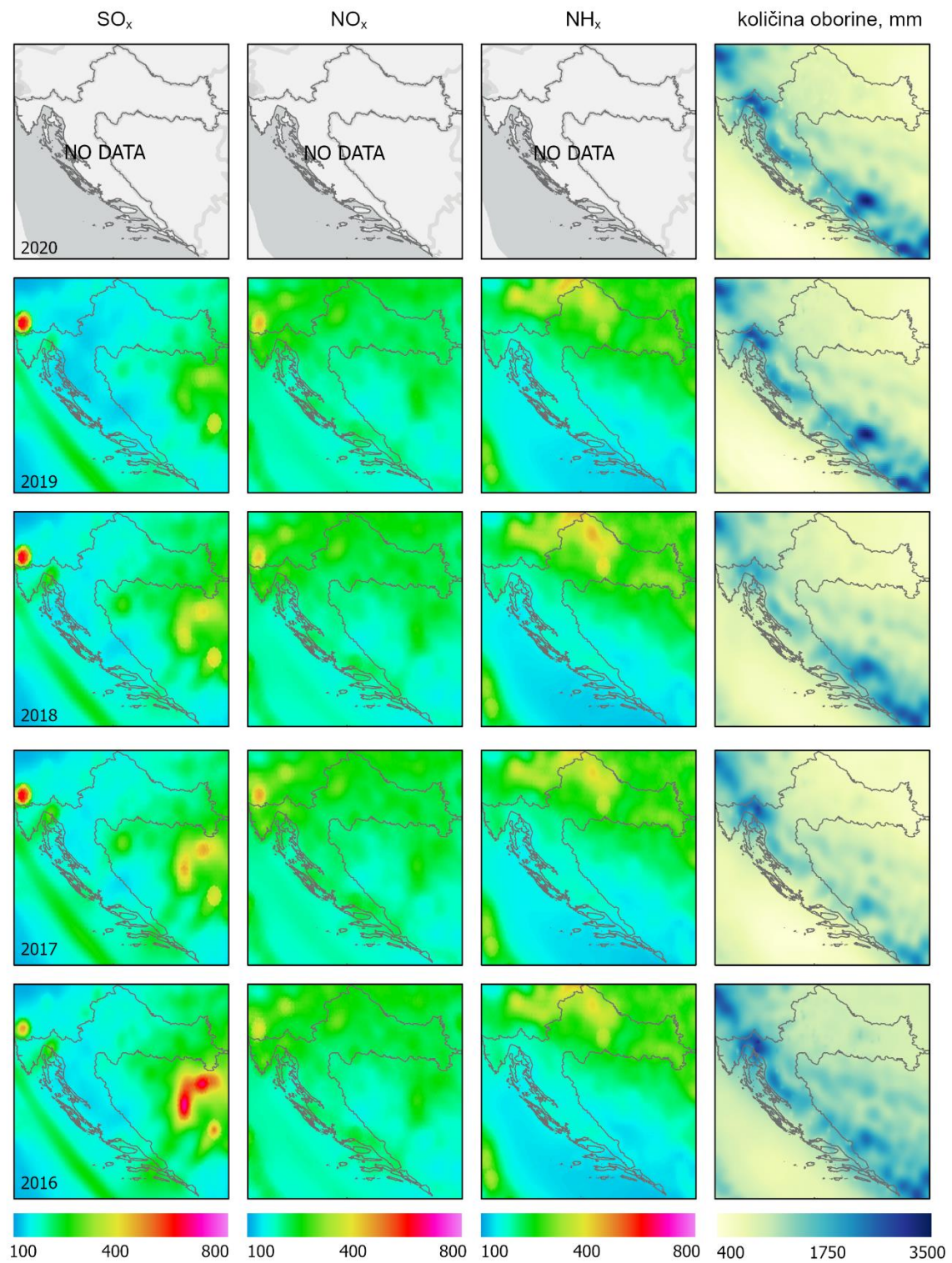
Komponenta suhog taloženja (Slika 4.4) je važna jer se odnosi na cijelu godinu, a ne samo na dane s oborinom. Ona ukazuje na procese koji nisu dovoljno prepoznatljivi kroz analizu oborinskog taloženja pa je od posebne važnosti u područjima s manjom količinom oborine. Emisije sumporovih i dušikovih spojeva se tijekom posljednjih godina i u Europi i u Hrvatskoj nisu značajnije mijenjale, točnije, u blagom su padu, pa je i međugodišnja varijabilnost najvećim dijelom posljedica atmosferskih uvjeta i transporta. Prema proračunu EMEP MSC-W modela, pod najvećim pritiskom suhog taloženja sumporovih spojeva u Hrvatskoj je istok zemlje (blizina izvora iz Bosne i Hercegovine i Srbije) te područje Jadrana, udaljenije od obale koje karakteriziraju vrlo prometni pomorski pravci. Povišene vrijednosti u odnosu na ostatak zemlje primjećuju se i na području grada Rijeke (luka), te mnogo više vrijednosti na području vrlo prometne talijanske luke, grada Trsta (Slika 4.4).



Slika 4.3 Prostorna razdioba srednjih godišnjih volumno otežanih koncentracija sulfatnih (SO_4^{2-}), nitratnih (NO_3^-) i amonij (NH_4^+) iona u oborini za razdoblje 2016. – 2020., izraženih u mg/l i izračunatih na osnovi mjerenja količine oborine i određivanje kemijskog sastava oborine na postajama DHMZ-a



Srednje godišnje suho taloženje, modelirane vrijednosti (EMEP), mg/m^2



Slika 4.4 Prostorna razdioba srednjeg godišnjeg suhog taloženja oksidiranih spojeva sumpora (SO_x), oksidiranih spojeva dušika (NO_x), i reduciranih spojeva dušika (NH_x) za razdoblje 2016. – 2019. izraženih u mg/m^2 dobivena proračunom EMEP MSC-W modela. Prostorna razdioba godišnje količine oborine dana je radi usporedbe



Oksidirani spojevi dušika, najviše se talože u blizini prometnih pravaca te gradova velike gustoće naseljenosti (Zagreb, Rijeka) dok se reducirani spojevi dušika u obliku suhog taloženja prema proračunu modela u najvišim koncentracijama nalaze na području kopnenog dijela zemlje (središnja i istočna Hrvatska) na putanjama zračnih masa iz okolnih zemalja gdje postoji razvijena poljoprivreda, uz neizbježan utjecaj lokalnih izvora (npr. Petrokemija, Kutina) na tom području (Slika 4.4).

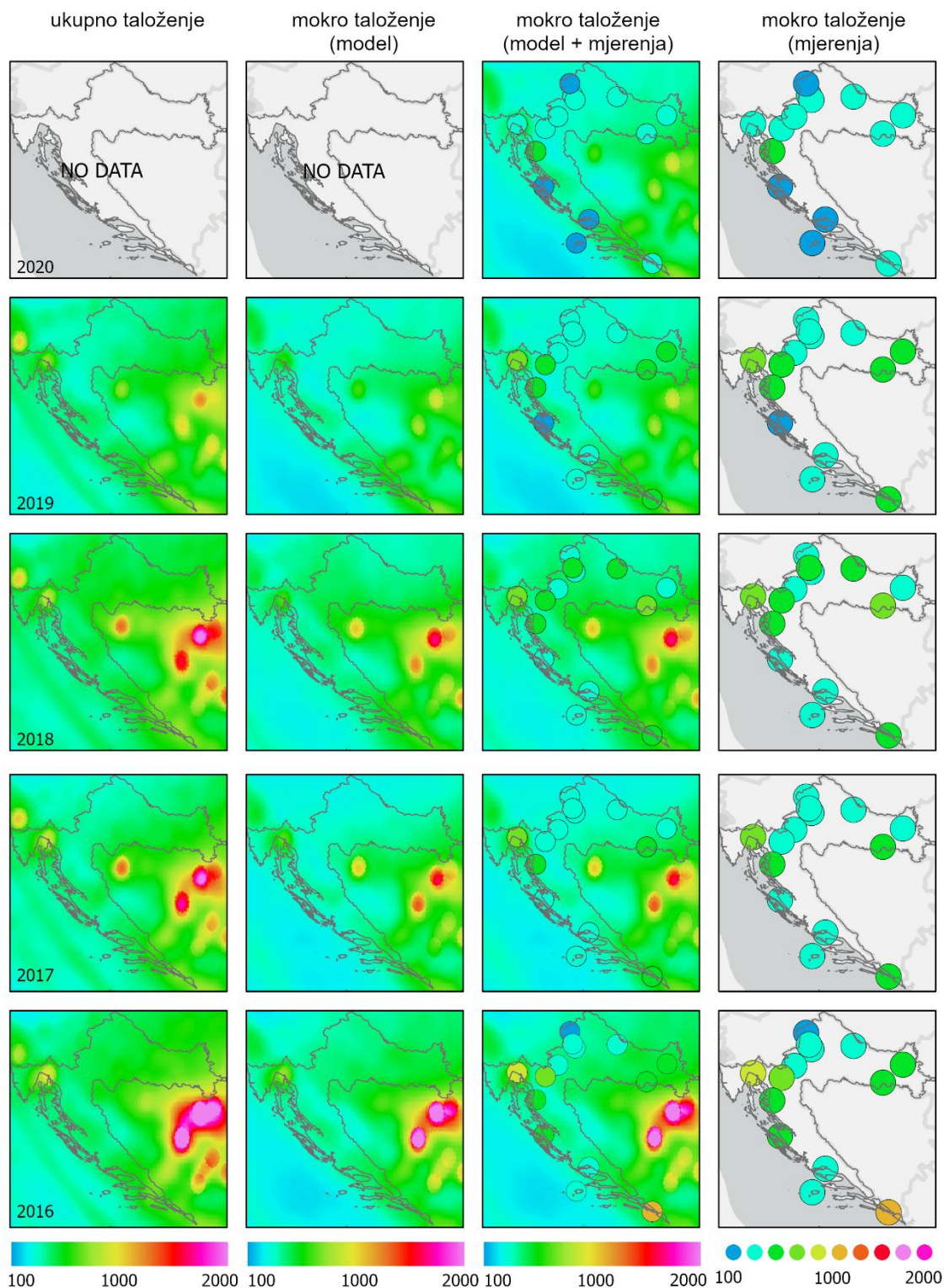
Rezultati mjerenja u Slavonskom Brodu (SO_4^{2-} , 2016. i 2018. godina, Slika 4.3) te rezultati EMEP MSC-W modela (SO_x , Slika 4.4 i Slika 4.5) pokazuju kako je područje Hrvatske uz sjevernu granicu s Bosnom i Hercegovinom (Posavina) pod utjecajem izvora sumporovih spojeva iz Bosne i Hercegovine. Najvidljivije na kartama ukupnog (suhog i mokrog) taloženja (Slika 4.5). Rijeka, Zavižan i Dubrovnik pak više izmjerene vrijednosti mokrog taloženja u usporedbi s drugim postajama između ostalog bilježe i zbog velike godišnje količine oborine (Slika 4.3 i Slika 4.5). Na slikama je vidljivo i smanjenje taloženja sumporovih spojeva na području Bosne i Hercegovine tijekom razdoblja 2016. – 2020.

Analiza taloženja oksidiranih dušikovih spojeva (NO_x , Slika 4.3, Slika 4.4 i Slika 4.6), pokazuje prilično dobro podudaranje prostorne raspodjele mjerenih i modeliranih vrijednosti, iako se može uočiti i da model podcjenjuje najviše izmjerene vrijednosti (Rijeka, Zavižan, Ogulin). Mokro taloženje oksidiranih dušikovih spojeva nije se značajnije mijenjalo u razdoblju 2016. – 2019. godine, na većini mjernih postaja iznosilo je od 200 do 400 mg/m^2 , pri čemu najviše odudaraju Zavižan i Ogulin s rasponom od 400 do 600 mg/m^2 te Rijeka čiji je maksimum bio u 2017. godini kad je izmjereno 800 mg/m^2 (Slika 4.8). Naj snažniji utjecaj i ovdje je vezan prvenstveno uz veliku količinu oborine. Međugodišnja varijabilnost više se ističe kroz kemijskom analizom određene vrijednosti koncentracija u oborini i taloženje nego kroz modelirane vrijednosti. U 2020. godini primjetno je smanjenje količine mokrog taloženja (Slika 4.6), čemu razlog može biti i smanjena antropogena aktivnost (promet, industrija) u razdoblju prvih mjeseci pandemije uzrokovane virusom COVID-19.

Prostorna razdioba taloženja reduciranih dušikovih spojeva (NH_x , Slika 4.3, Slika 4.4 i Slika 4.7), stavlja težište ukupnog taloženja na područje kopnenog dijela zemlje, gdje su dominantne emisije amonijaka (NH_3) što je posljedica poljoprivredne proizvodnje i stočarstva (primjena umjetnih i stajskih gnojiva) ne samo na području Hrvatske, nego i u Mađarskoj i Srbiji. To se vidi i u razdiobi mjerenih koncentracija amonij iona u oborini (NH_4^+ , Slika 4.3). Karakteristična raspodjela koncentracija i taloženja amonij iona najizraženija je u sjevernoj i istočnoj Hrvatskoj, pri čemu važan doprinos daje i suho taloženje.



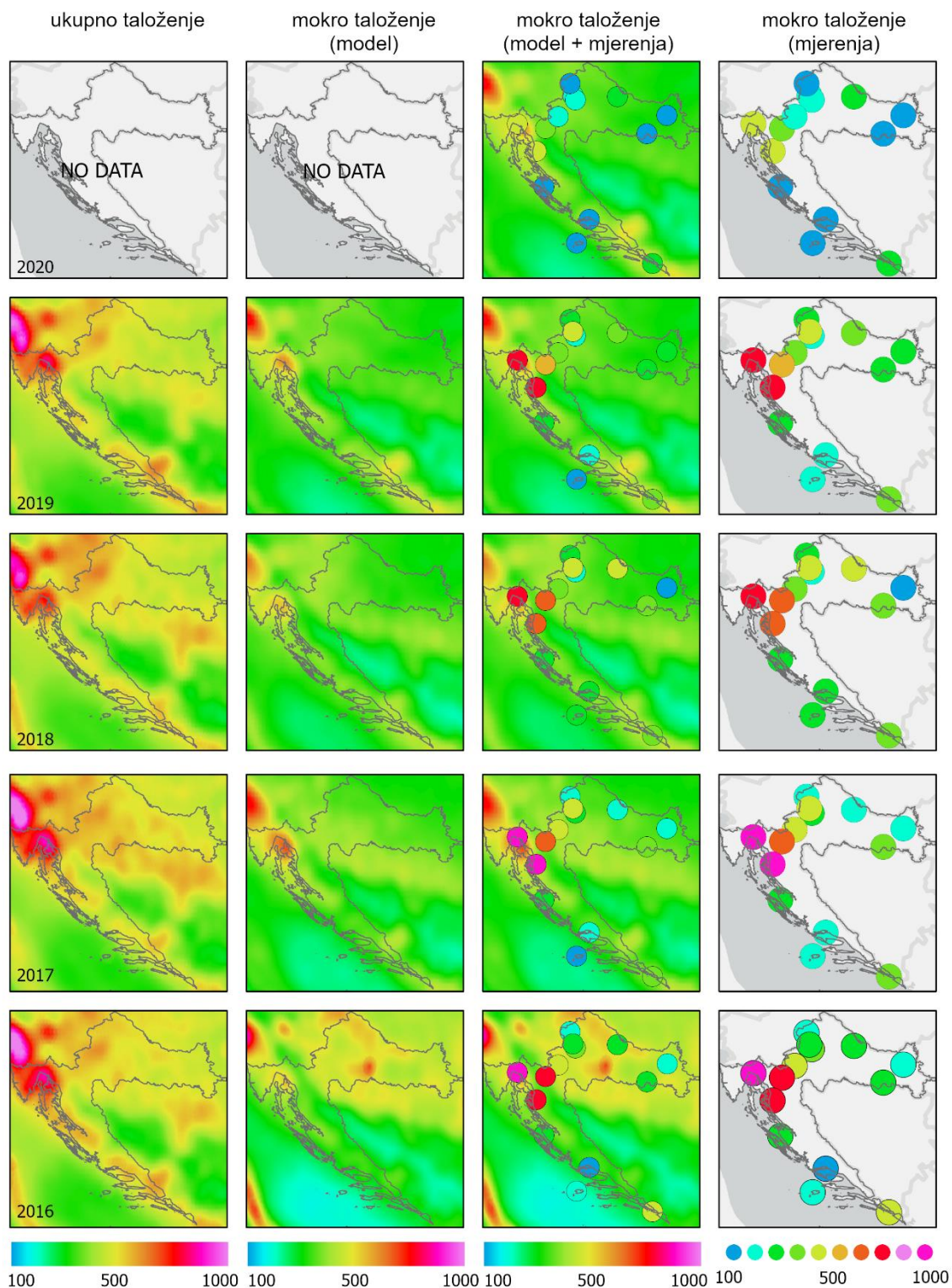
Taloženje oksidiranih sumporovih spojeva, SO_x, mg/m²



Slika 4.5 Prostorna razdioba srednjeg godišnjeg taloženja oksidiranih sumporovih spojeva (SO_x) za razdoblje 2016. – 2020. izražena u mg/m²: ukupno (suho i mokro taloženje) prema proračunu EMEP MSC-W modela; mokro taloženje prema proračunu EMEP MSC-W modela; mokro taloženje (zajednički prikaz proračuna EMEP MSC-W modela i mjerenja na postajama DHMZ-a i mokro taloženje prema rezultatima mjerenja na postajama DHMZ-a



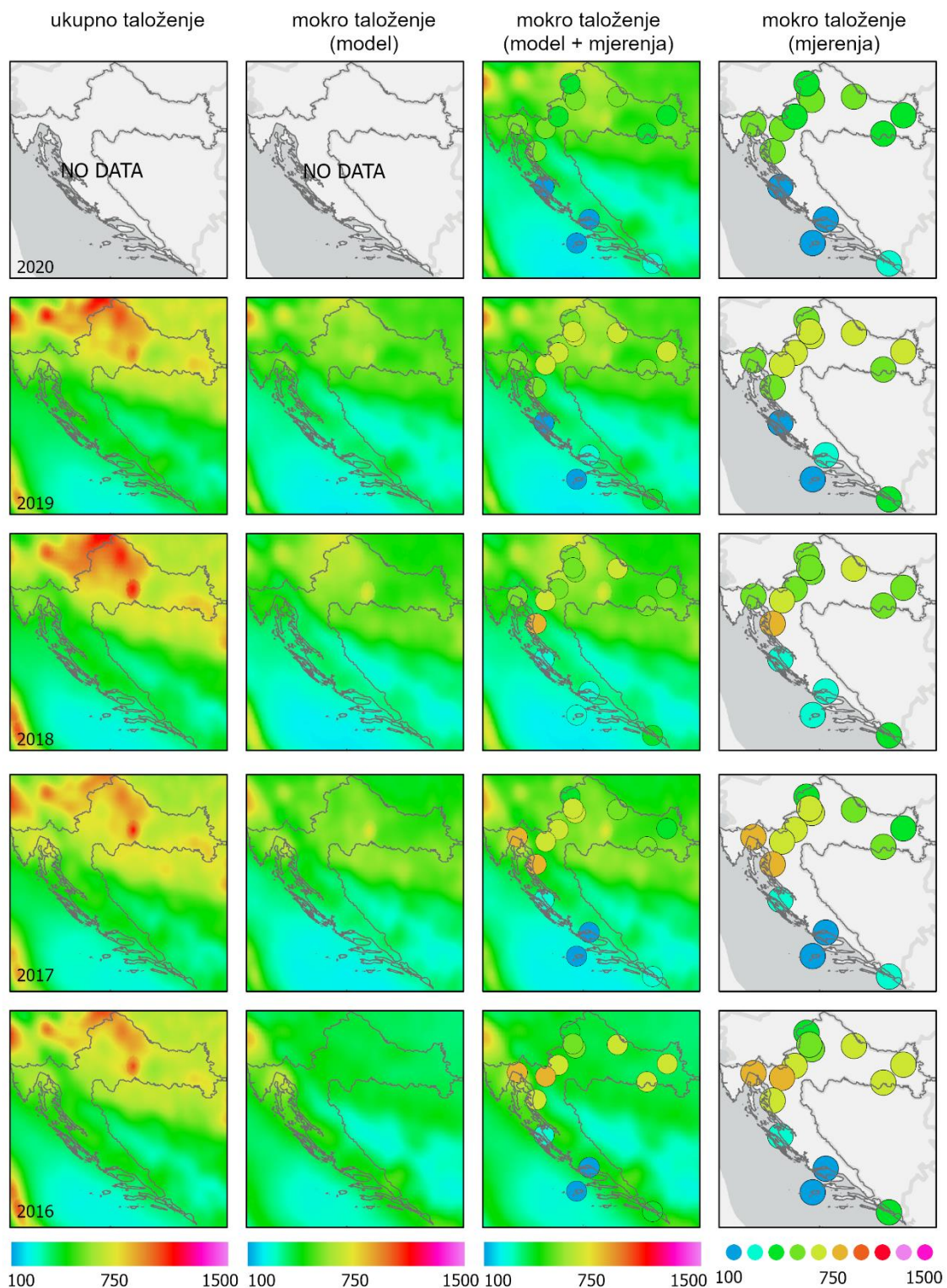
Taloženje oksidiranih dušikovih spojeva, NO_x , mg/m^2



Slika 4.6 Prostorna razdioba srednjeg godišnjeg taloženja oksidiranih dušikovih spojeva (NO_x) za razdoblje 2016. – 2020. izražena u mg/m^2 : ukupno (suho i mokro taloženje) prema proračunu EMEP MSC-W modela; mokro taloženje prema proračunu EMEP MSC-W modela; mokro taloženje (zajednički prikaz proračuna EMEP MSC-W modela i mjerenja na postajama DHMZ-a i mokro taloženje prema rezultatima mjerenja na postajama DHMZ-a



Taloženje reduciranih dušikovih spojeva, NH_x , mg/m^2



Slika 4.7 Prostorna razdioba srednjeg godišnjeg taloženja reduciranih dušikovih spojeva (NH_x) za razdoblje 2016. – 2020. izražena u mg/m^2 : ukupno (suho i mokro taloženje) prema proračunu EMEP MSC-W modela; mokro taloženje prema proračunu EMEP MSC-W modela; mokro taloženje (zajednički prikaz proračuna EMEP MSC-W modela i mjerenja na postajama DHMZ-a i mokro taloženje prema rezultatima mjerenja na postajama DHMZ-a



Slika 4.8 Godišnje taloženje iona sulfata, nitrata i amonija u razdoblju 2005. – 2020. prema izmjenjenim koncentracijama na postajama mreže za praćenje kvalitete oborine u Republici Hrvatskoj



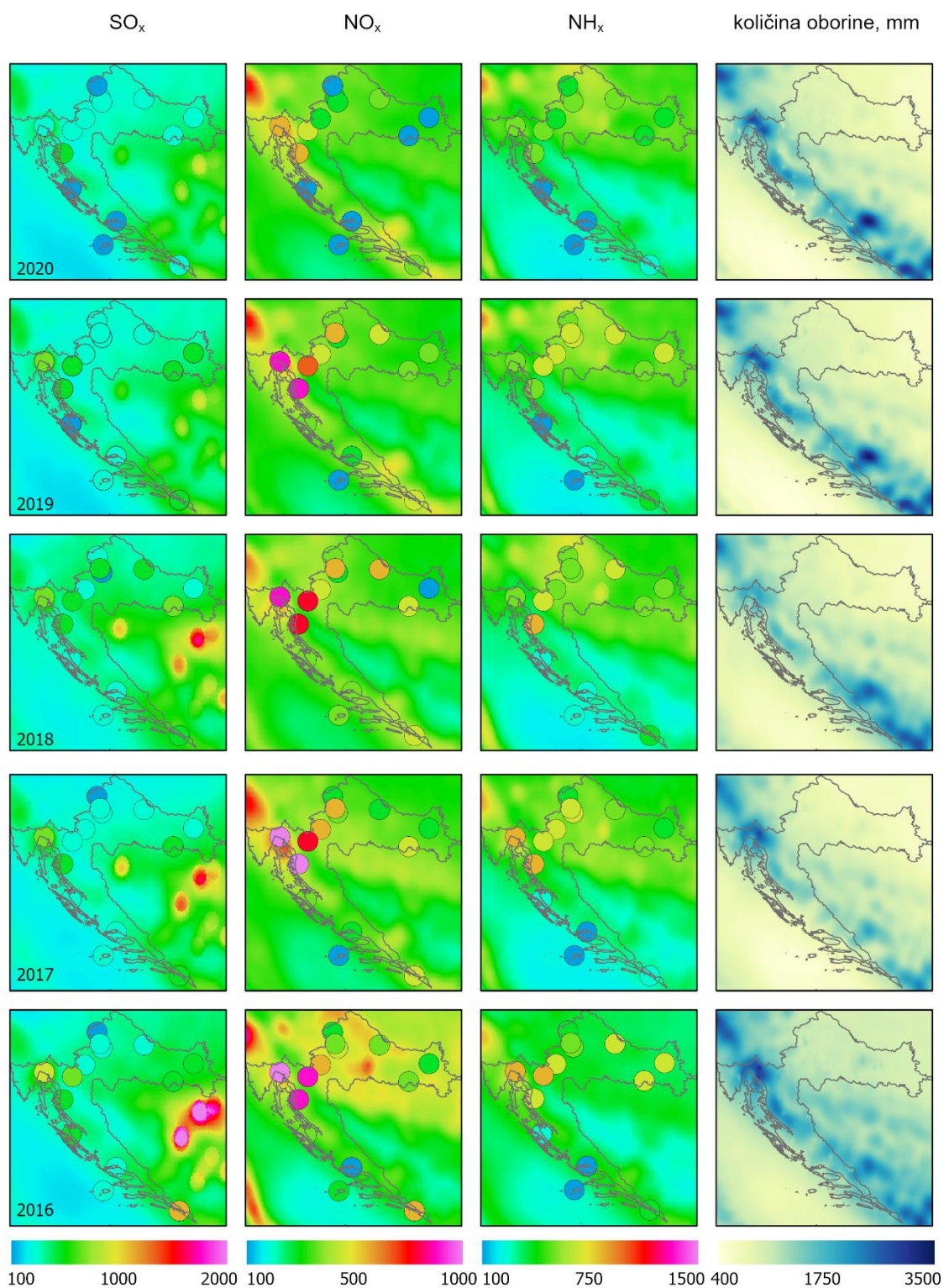
Jedan od strateških ciljeva monitoringa kvalitete zraka i oborine je analiza i procjena trendova s obzirom na pojedine parametre onečišćenja. Da bi se trendovi mogli utvrditi potrebno je osigurati praćenje i mjerenje parametara kvalitete zraka kroz dugo vremensko razdoblje. Opterećenje okoliša štetnim spojevima ovisi u najvećoj mjeri o količini oborine, a zatim o koncentracijama pojedinih iona. S obzirom da je oborina vrlo varijabilan meteorološki element, količina taloženja može značajno varirati iz godine u godinu pa je procjene o opterećenju okoliša potrebno analizirati ne samo u propisanom četverogodišnjem razdoblju, nego i u odnosu na dugogodišnji period mjerenja jer se u dugogodišnjem nizu te varijacije manje ističu i s ostalim podacima daju realniju sliku stanja. Međugodišnje varijacije u koncentracijama iona su također prisutne, ali u manjoj mjeri. Mokro taloženje iona sulfata, nitrata i amonija s 14 aktivnih mjernih postaja za kvalitetu oborine za razdoblje 2005. – 2020. godine prikazano je na slici (Slika 4.8).

Promatranjem dugogodišnjeg niza, uočava se kako je na području Hrvatske prisutan opći trend smanjenja koncentracija iona sulfata, nitrata i amonija u oborini, te se i taloženje tih spojeva postupno smanjuje (Slika 4.9). Najznačajnije smanjenje bilježi se ranijih godina, dok za posljednjih desetak godina možemo reći da je smanjenje slabije izraženo te da ovisi u prvoj mjeri o godišnjoj količini oborine. Tijekom 80-ih godina prošlog stoljeća taloženje je iznosilo više od 2000 – 4000 mg/m² za sulfate, dok danas ne prelazi 700 mg/m². Taloženje dušikovih spojeva se smanjilo s prijašnjih 1200 – 1400 mg/m² na maksimalno 800 mg/m² (Rijeka, 2017.), dok je na većini postaja ono i mnogo manje. Trend smanjenja koncentracija i taloženja iona nitrata i amonija je znatno sporiji.

U posljednjem petogodišnjem razdoblju (2016. – 2020.) ne primjećuju se znatna odstupanja u taloženju sulfata, nitrata i amonija, u usporedbi s prošlim (2011. – 2015.) što je posljedica usporenog smanjenja emisija i u Europi i u Hrvatskoj u odnosu na prošla desetljeća, pa je i doprinos lokanih izvora i prekograničnog onečišćenja u najvećoj mjeri podložan atmosferskim uvjetima i meteorološkim karakteristikama svake pojedine godine. Na taj način da se zaključiti kako i na trend mogućeg smanjenja ili povećanja koncentracija i taloženja kroz kraća razdoblja posljednjih godina najviše utječe upravo međugodišnja varijabilnost meteoroloških prilika. Na gotovo svim postajama, izračunate vrijednosti mokrog taloženja prema izmjerenim koncentracijama u 2020. godini su niže nego u 2019. (izuzev Rijeke, SO₄²⁻, Slika 4.8) što se može pripisati i utjecaju smanjenja antropogenih emisija u regiji za vrijeme prvih mjeseci pandemije uzrokovane virusom COVID-19.



Mokro taloženje sumporovih i dušikovih spojeva, mg/m²



Slika 4.9 Usporedni prikaz mokrog taloženja (modelirane i izmjerene vrijednosti) sumporovih i dušikovih spojeva uz godišnju količinu oborine na području Hrvatske u razdoblju 2016. – 2020



5. Određivanje porijekla onečišćenja (eng. Source Apportionment)

Poznavanje izvora onečišćenja zraka kao i doprinosa različitih izvora emisija na određenom području od ključne je važnosti za planiranje smanjenja onečišćenja i usklađivanja kvalitete zraka s okolišnim ciljevima. Određivanje porijekla podrazumijeva upravo kvantificiranje utjecaja emisijskih izvora na onečišćenje zraka na nekom području. Budući da je riječ o vrlo kompleksnom problemu, razvijene su mnoge metode među kojima se ističe nekoliko različitih pristupa: gradijentne metode, metoda redukcije emisija i metode transfera mase.

Gradijentne metode (eng. incremental methods) imaju uporište u usporedbi prostornih gradijenata koncentracija između dvije točke u prostoru, od kojih je jedna pod utjecajem emisijskog izvora, a druga nije. **Metode redukcije emisija** (eng. emission reduction impacts, brute force) temelje se na razlici dvije simulacije modela kvalitete zraka od kojih jedna ima smanjene (ili povećane) emisije polutanata u odnosu na kontrolni slučaj. Zbog potrebe za velikim brojem simulacija primjena ove metode zahtjeva znatne računalne resurse. **Metode transfera mase** (eng. mass transfer methods) mogu se grubo svrstati u dvije kategorije, modele orijentirane na receptore i modele orijentirane na izvore. **Modeli orijentirani na receptore** kvantificiraju doprinose statističkim metodama, ovisno o mjerenjima u receptoru (tj. točki u prostoru), koristeći specifične fizikalne i kemijske karakteristike pojedinih emisijskih izvora. **Modeli orijentirani na izvore** (eng. source oriented models, tagging, labeling) su kemijsko transportni modeli koji imaju sposobnost da „označe“ pojedine izvore emisija i da prate njihov doprinos onečišćenju zraka kroz tijek simulacije. Zbog složenosti, metoda zahtjeva više računalnih resursa od uobičajene simulacije, ali je značajno manje zahtjevnost od metode redukcija emisija.

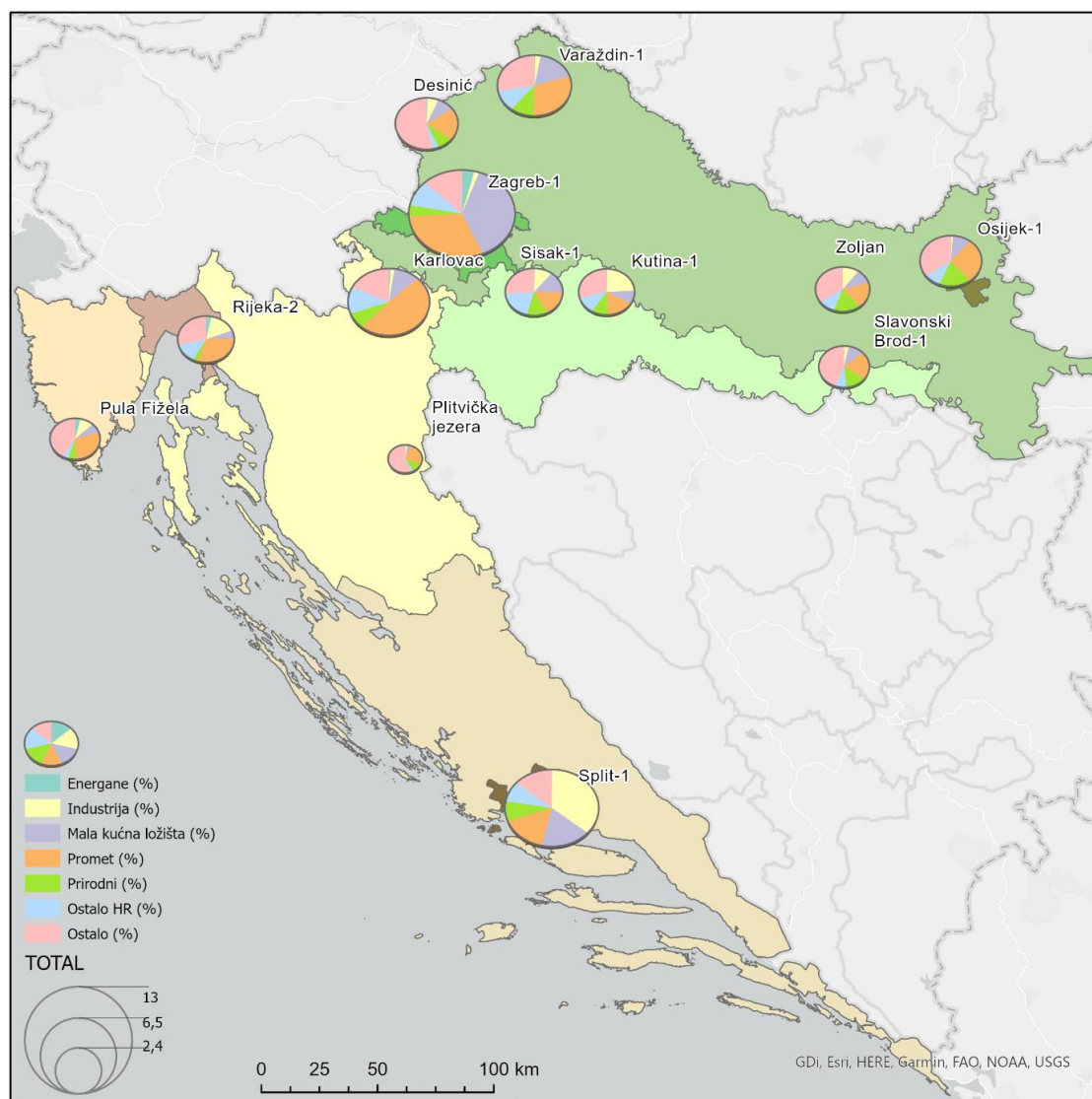
Svaka od ovih metoda ima svoje prednosti i nedostatke, a rezultati dobiveni različitim metodama mogu se razlikovati naglašavajući kompleksnost problema, nesigurnosti u podacima o emisijama, kao i nesigurnosti u pojedinim koracima karakterističnima za svaku od navedenih metoda.

LOTOS-EUROS kemijski transportni model podržava rad s metodama redukcija emisija i model transfera mase orijentiran na izvore emisija. Obje metode, iako temeljene na različitim principima, u većini slučajeva daju slične rezultate. Optimalan pristup rješavanja problema određivanja porijekla onečišćenja bio bi korištenjem obje, no zbog zahtjevnih računalnih kapaciteta potrebnih za provedbu simulacija, metoda transfera mase, tzv. eng. labeling ima više praktičnu primjenu. Označavanje pojedinih izvora emisija daje nam dobar prostorni pregled bitnih doprinosa prizemnom onečišćenju pa detaljnom analizom rezultata možemo dobiti uvid u glavne izvore onečišćenja.

Kao ogledni primjer, možemo navesti simulacije LOTOS-EUROS modelom, kojima su za 2018. godinu, labeling metodom određeni glavni doprinosi pojedinih emisijskih sektora na izabrana mjesta u Hrvatskoj koja odgovaraju lokacijama mjernih postaja za kvalitetu zraka. Rezultati su prikazani za najznačajnije polutante, dušikov dioksid (NO₂) i lebdeće čestice (PM₁₀). U simulacijama su označeni emisijski sektori za koje se procjenjuje da imaju



najznačajniji utjecaj. Pri tom model razlikuje prirodne od antropogenih izvora, kao i onečišćenje domaćeg porijekla od onog prekograničnog. U Hrvatskoj su označeni: sektor energana (GNFR A), industrija (GNFR B), mala kućna ložišta (GNFR C) i cestovni promet (GNFR F). Svi ostali antropogeni izvori emisija unutar granica Republike Hrvatske zbrojeni su u zajedničku kategoriju – Ostalo HR. U zasebnim kategorijama su također prirodni izvori emisija (kategorija – Prirodni), kao i svi antropogeni izvori i sektori izvan granica Republike Hrvatske (kategorija – Ostalo).

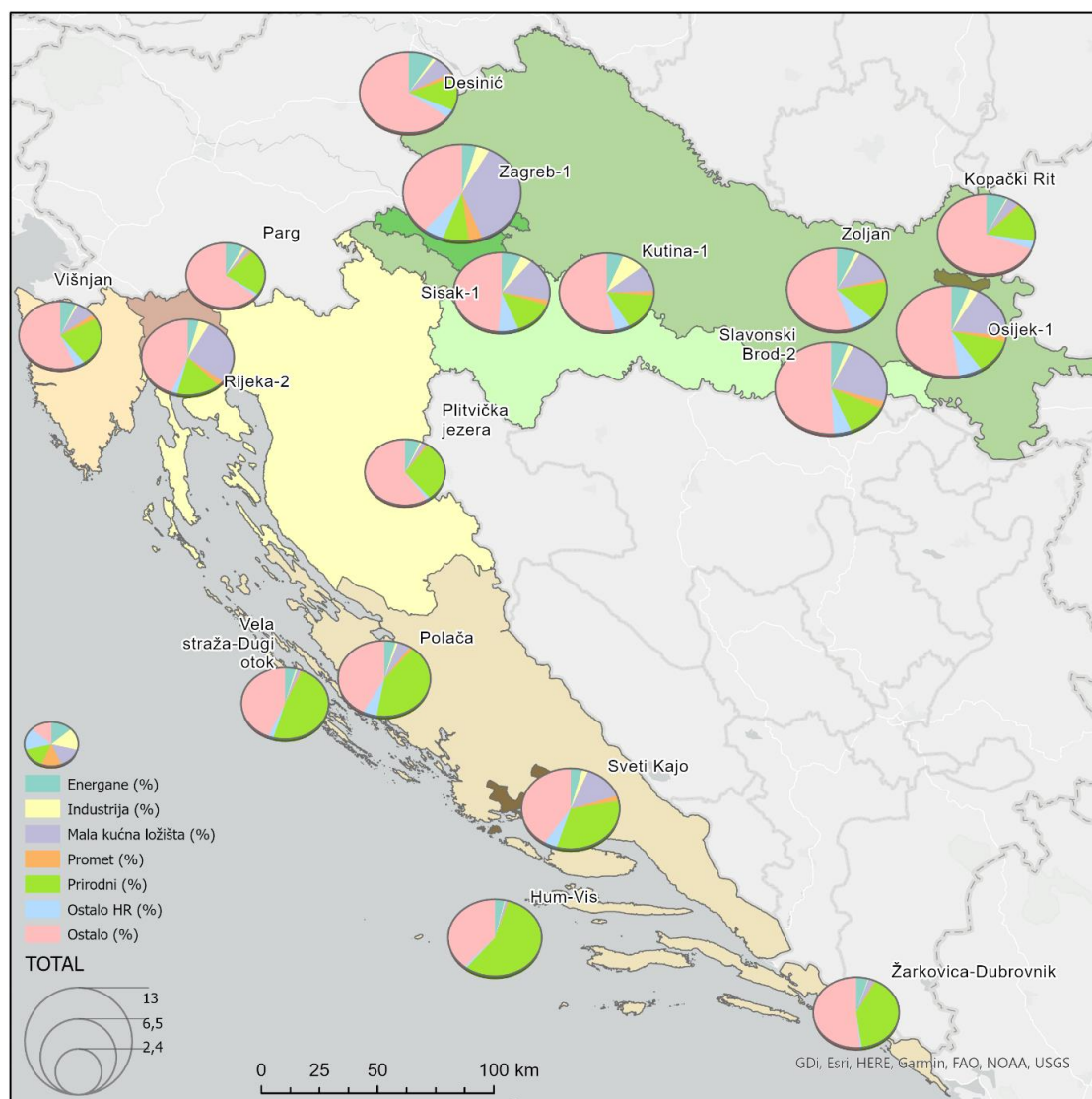


Slika 5.1 Relativni doprinos različitih sektora emisijskih izvora koncentracijama NO_2 na odabranim lokacijama u Hrvatskoj za 2018. godinu proračunat LOTOS-EUROS modelom (labeling metoda)

Površinske koncentracije dušikovog dioksida (NO_2) su pod velikim utjecajem lokalnih emisija, te zbog toga možemo vidjeti znatne razlike doprinosa raznih izvora ovisno o regiji i tipu lokacije za koju je proračun izrađen. Najveći doprinos površinskim koncentracijama NO_2 je iz sektora prometa, malih kućnih ložišta i industrije (Slika 5.1 i Tablica 5.1).


Tablica 5.1 Detaljan prikaz doprinosa sektora koncentracijama NO₂ u Hrvatskoj za 2018. godinu (LE model)

Zona/ aglomeracija	Mjerna postaja	NO ₂ dio izražen u (%)						
		Energane	Industrija	Mala ložišta	Promet	Prirodni	Ostalo HR	Ostalo
HR ZG	Zagreb-1	4.4	1.7	36.5	31.5	3.5	8.7	13.6
HR OS	Osijek-1	0.3	1.0	10.7	26.2	19.0	8.9	34.0
HR RI	Rijeka-2	3.6	16.0	4.8	31.2	3.1	13.0	28.3
HR ST	Split-1	0.1	34.8	19.0	16.3	7.2	7.7	14.8
HR 01	Desinić	0.6	6.5	9.2	18.3	8.2	3.6	53.6
	Zoljan	0.2	10.8	9.6	17.0	18.4	10.5	33.5
	Varaždin-1	0.4	2.8	17.5	29.7	11.6	10.3	27.7
HR 02	Sisak-1	0.5	11.1	13.6	16.1	13.3	19.2	26.1
	Kutina-1	0.4	23.8	8.1	16.8	10.8	11.5	28.6
	Slavonski Brod-1	0.2	3.2	11.0	19.5	14.4	8.3	43.5
HR 03	Karlovac-1	0.8	1.9	11.1	48.9	7.5	11.2	18.7
	Plitvička jezera	0.7	2.0	3.4	24.1	10.4	2.7	56.7
HR 04	Pula Fižela	4.0	9.4	6.8	29.2	5.7	4.1	40.7


Slika 5.2 Relativni doprinos različitih sektora emisijskih izvora koncentracijama PM₁₀ na odabranim lokacijama u Hrvatskoj za 2018. godinu proračunat LOTOS-EUROS modelom (labeling metoda)



Također vidljiv je znatan prekogranični prijenos, osobito u pograničnim područjima. Primjerice, preko 60 % dušikovog dioksida na postaji Desinić nije povezano s antropogenim izvorima iz Hrvatske, nego s antropogenim izvorima iz okolnih zemalja te prirodnim izvorima, dok na lokaciji gdje je smještena postaja Zagreb-1 u gradu Zagrebu više od 60 % NO₂ može se povezati s cestovnim prometom te malim kućnim ložištima hrvatskog porijekla.

Tablica 5.2 Detaljan prikaz doprinosa sektora koncentracijama PM₁₀ u Hrvatskoj za 2018. godinu (LE model)

Zona/ aglomeracija	Mjerna postaja	PM ₁₀ dio izražen u (%)						
		Energane	Industrija	Mala ložišta	Promet	Prirodni	Ostalo HR	Ostalo
HR ZG	Zagreb-1	4.6	4.2	34.7	4.2	8.4	6.1	37.8
HR OS	Osijek-1	6.3	2.9	17.1	2	11.4	7.7	52.6
HR RI	Rijeka-2	4.5	4.4	26	2.3	17.2	2.4	43.3
HR ST	AMS2 Sveti Kajo	4.4	2.3	13.8	1.8	33	4.9	39.8
HR 01	Desinić	9.5	1.2	7.1	1.7	11.7	3.1	65.7
	Zoljan	7.3	1.4	12.5	1.2	13.7	8	55.8
	Kopački Rit	7.8	0.5	4.4	0.5	14.1	3	69.7
HR 02	Sisak-1	7.7	4.2	15.8	1.8	13.8	7.8	48.8
	Kutina-1	6.7	8	9.9	1.5	14.6	5.7	53.5
	Slavonski Brod-2	5.8	1.8	21.4	2.3	11.8	5.8	51
HR 03	Parg	8.4	1.4	2.5	0.8	20.4	1.2	65.2
	Plitvička jezera	7.1	0.8	2.2	0.8	27.2	1.5	60.5
HR 04	Višnjan	7.1	0.9	7.6	2.3	20.9	4.1	57.1
HR 05	Vela straža (Dugi otok)	4.7	0.6	1.7	0.6	47.5	2.2	42.8
	Polača (Ravni kotari)	4.6	1	5	1.2	41.3	5.5	41.4
	Hum-Vis	3.9	0.3	1.1	0.3	56.2	0.8	37.4
	Žarkovica (Dubrovnik)	5.2	0.3	2.6	0.4	39.1	0.7	51.7

Lebdeće čestice se mogu dugo zadržavati u atmosferi i prenositi preko velikih udaljenosti. Zbog geografskog položaja i razvedenosti Hrvatske, dobar dio onečišćenja lebdećim česticama do nas dolazi iz područja izvan granica zemlje. Najveći doprinos površinskim koncentracijama PM₁₀ iz antropogenih izvora unutar Republike Hrvatske pripada sektoru malih kućnih ložišta, posebno u gusto naseljenom područjima kontinentalnog dijela zemlje. U obalnom području Hrvatske vidi se snažan doprinos iz prirodnih izvora emisija koje najvećim dijelom čini morska sol nošena vjetrom (Slika 5.2 i Tablica 5.2).

Rezultati ovakve inicijalne analize daju regionalni uvid u određivanje porijekla onečišćenja i premda se smatraju izrazito važnim doprinosom u razumijevanju porijekla onečišćenja iz njih se teško može donijeti zaključak o utjecajima na lokalnoj skali. Dodatno, procjena kemijskim transportnim modelima u najvećoj mjeri ovisi o preciznosti i ispravnosti emisijskih inventara koji, objektivno, i u najboljoj procjeni nose određenu nesigurnost, a ona se pak onda direktno odražava i na nesigurnost u proračunu modela, što treba uzeti u obzir.



6. Modeliranje u gradovima i aglomeracijama

Prekoračenja graničnih vrijednosti lebdećih čestica ($PM_{2.5}$ i PM_{10}) i dušikovog dioksida (NO_2) karakteristična su u mnogim krajevima svijeta upravo za gradska područja gdje je pritisak emisija u atmosferu najjači, pa tim i izloženost stanovništva najveća. Gradijenti koncentracija polutanata u gradovima su veliki, posebno uz prometnice. Obzirom da su postaje za mjerenje kvalitete zraka u urbanim sredinama i u najboljem slučaju reprezentativne tek za nekoliko kvadratnih kilometara, i to za gradske pozadinske lokacije, kao komplement mjerenjima potiče se procjena koncentracija disperzijskim modelima na visokoj rezoluciji.

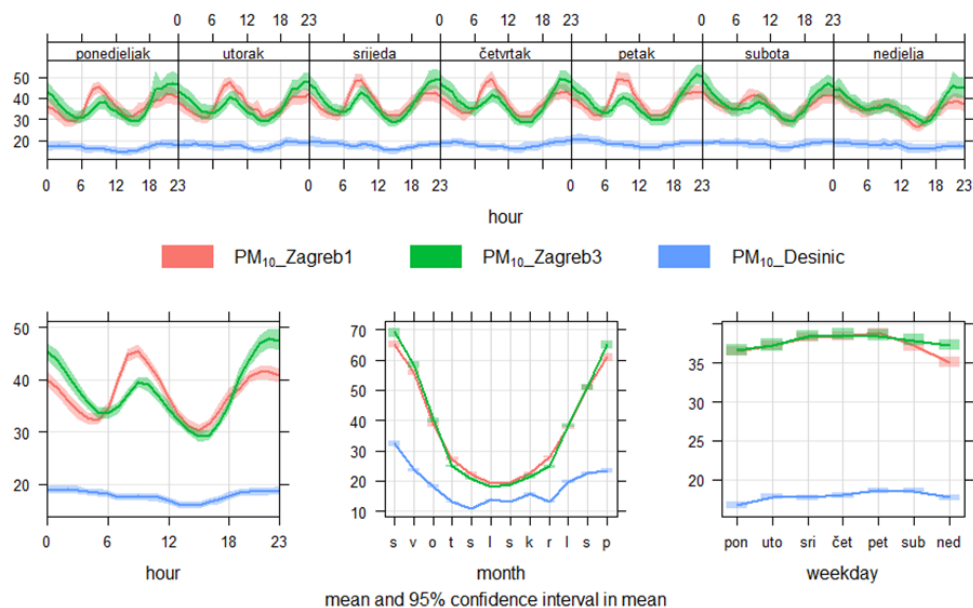
Na primjeru Zagreba, glavnog grada Republike Hrvatske pokazana je primjena ADMS-Urban sustava za modeliranje kvalitete zraka na visokoj rezoluciji u urbanim sredinama. Grad Zagreb ima skoro 800 000 stanovnika i sadrži 18 % stanovništva cijele zemlje. Stoga su i informacije o kvaliteti zraka u Zagrebu od iznimne važnosti.



Slika 6.1 Geografski smještaj pozadinske postaje Desinić u odnosu na aglomeraciju Zagreb, te položaj gradskih prometnih postaja Zagreb-1 (prometni centar grada) i Zagreb-3 (izvan prometnog centra grada) u gradu Zagrebu

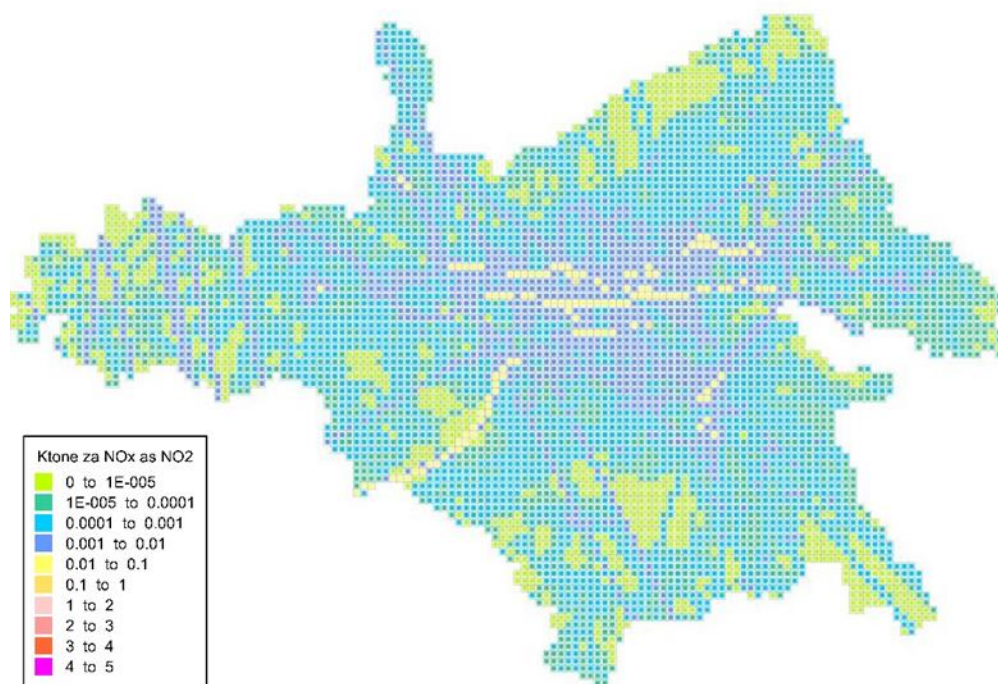


Za modeliranje ADMS-Urban modelom kao pozadinske koncentracije karakteristične za regiju i prekogranično onečišćenje korištene su izmjerene vrijednosti s mjerne postaje Desinić (Slika 6.1), službeni emisijski inventar za aglomeraciju Zagreb na rezoluciji 500 m x 500 m (izvor: Ministarstvo gospodarstva i održivog razvoja) te detaljne emisije iz prometa. Meteorološki podaci za 2017. godinu za koju je izračun napravljen, preuzeti su s postaje Zagreb-Maksimir te se smatraju reprezentativnima za cijelu domenu.



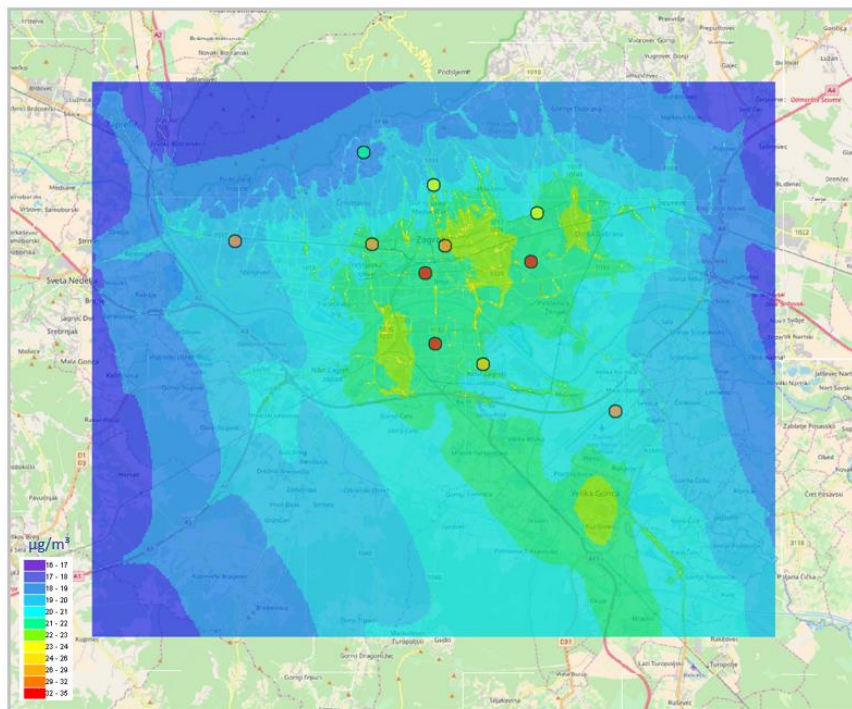
Slika 6.2 Dnevni, mjesečni i tjedni hod koncentracije lebdećih čestica PM₁₀ za postaje Zagreb-1 (gradska-prometna postaja u centru grada, prometno žarište), Zagreb-3 (gradska prometna postaja izvan prometnog centra) i Desinić (ruralna-pozadinska postaja, 40 km sjeverozapadno od grada), prosjek za razdoblje 2011. – 2018. godine

Na slici (Slika 6.2) prikazan je prosječni dnevni, mjesečni i tjedni hod koncentracije lebdećih čestica PM₁₀ za postaje Zagreb-1, Zagreb-3 i Desinić dobiven na osnovi izmjerenih koncentracija na tim postajama u razdoblju 2011. – 2018. godine. Postaja Zagreb-1 nalazi se u prometnom centru grada, postaja Zagreb-3 smještena je uz prometnicu, ali izvan prometnog centra dok se postaja Desinić nalazi oko 40 km sjeverozapadno od centra Zagreba (Slika 6.1). Gradske postaje reflektiraju dnevni hod emisija gusto naseljenog područja (promet, grijanje – kućna ložišta), dok je taj hod na pozadinskoj postaji Desinić slabo izražen. Među postajama su značajne i mjesečne, odnosno sezonske razlike. Koncentracije lebdećih čestica PM₁₀ su u ljetnim mjesecima mnogo niže i međusobno više usporedive, nego zimi kad je pritisak emisija, prije svega iz malih kućnih ložišta i prometa u gradu mnogo veći.

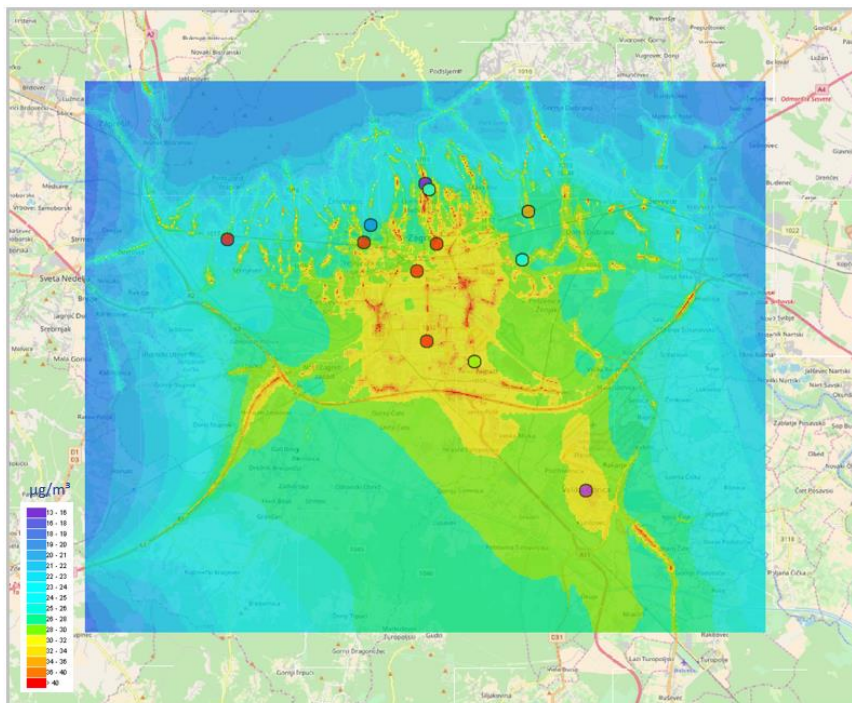


Slika 6.3 Emisije dušikovih oksida (NO_x izražen kao NO_2) u aglomeraciji Zagreb prema službenom emisijskom inventaru za 2015. godinu (rezolucija 500 m x 500 m)

Proračuni modela za kvalitetu zraka, kako kemijskih transportnih (CTM) na regionalnoj skali, tako i onih disperzijskih na lokalnoj skali, u najvećoj mjeri ovise o emisijskom inventaru, rezoluciji, detaljnosti i njihovoj kvaliteti. Može se reći kako je upravo emisijski inventar osnovni ulazni podatak za modeliranje kvalitete zraka. U Hrvatskoj ne postoje detaljni emisijski inventari izrađeni metodologijom „odozdo prema gore“, neposrednim proračunom temeljem popisa svih izvora emisija i kategorija izvora emisija za razmatrano područje, što znatno otežava i ograničava mogućnosti modeliranja na visokoj rezoluciji. Za aglomeraciju Zagreb dostupan je emisijski inventar rezolucije 500 m x 500 m izrađen za 2015. godinu kombiniranom „bottom up“ i „top down“ metodologijom (Slika 6.3), što je svakako primjerenije od nacionalnog emisijskog inventara (rezolucija: $0.1^\circ \times 0.1^\circ$), no za precizne proračune, nije dostatno. Dodatno, ni u gradu Zagrebu ni u drugim gradovima ne postoje dostupni mjerači prometa na glavnim prometnicama (brojanje prometa u Hrvatskoj se obavlja samo na autocestama i državnim cestama) što je hendikep u određivanju detaljnih emisija iz prometa, čiji je ukupan doprinos za urbana središta, izuzetno značajan. Emisije iz prometa su za potrebe ovog rada procijenjene ekspertno. Dva velika točkasta izvora (eng. LPS – large point source) na području grada, TE-TO (Termoelektrana-toplana Zagreb) i EL-TO (Elektrana-toplana Zagreb) modelirana su eksplicitno, uz dostupne godišnje vrijednosti emisija (izvor: Ministarstvo gospodarstva i održivog razvoja), dok su svi ostali potrebni parametri za ove točkaste izvore ekspertno procijenjeni.



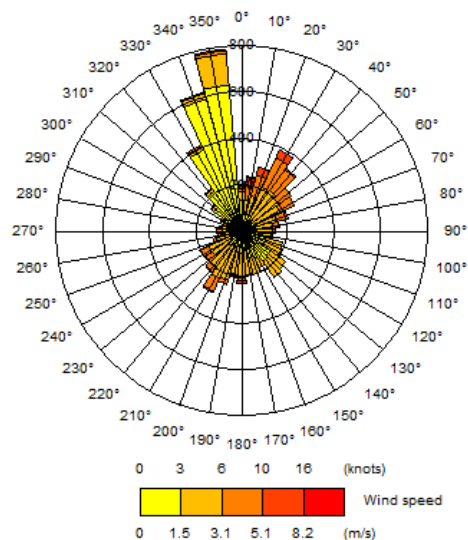
Slika 6.4 Prostorna raspodjela prizemnih srednjih godišnjih koncentracija PM_{10} na području Zagreba u 2017. godini prema proračunu ADMS-Urban modela uz srednje godišnje koncentracije PM_{10} izračunate prema izmjenjenim koncentracijama na postajama državne mreže za trajno praćenje kvalitete zraka te lokalnih mreža u gradu Zagrebu



Slika 6.5 Prostorna raspodjela prizemnih srednjih godišnjih koncentracija NO_2 na području Zagreba u 2017. godini prema proračunu ADMS-Urban modela uz srednje godišnje koncentracije NO_2 izračunate prema izmjenjenim koncentracijama na postajama državne mreže za trajno praćenje kvalitete zraka te lokalnih mreža u gradu Zagrebu

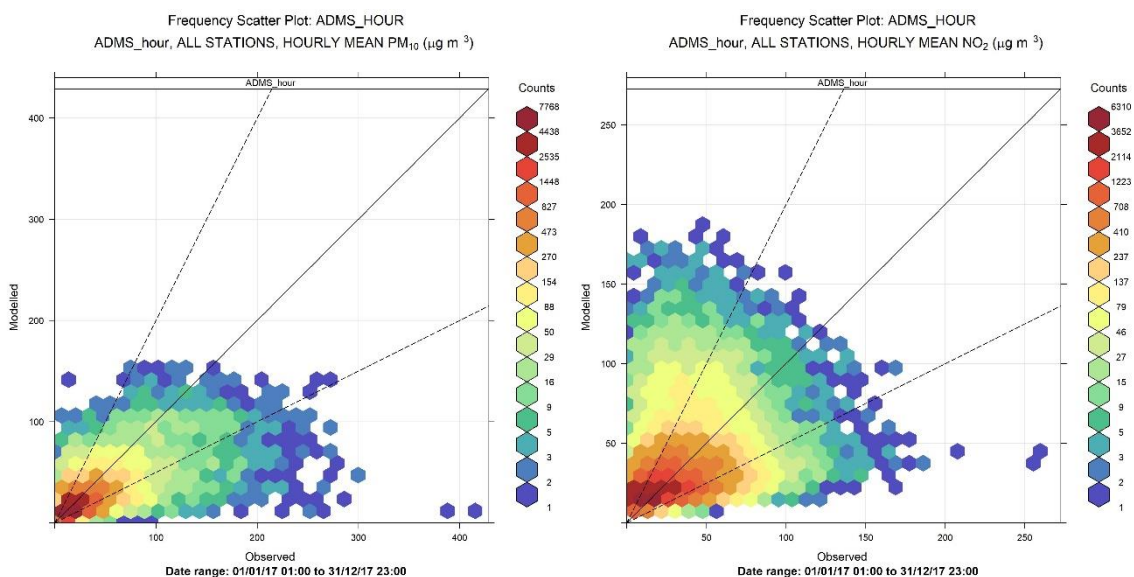


Prvi rezultati proračuna ADMS-Urban modela za područje Zagreba pokazuju karakterističan otisak grada, povišene koncentracije u centru, na području Velike Gorice (Slika 6.4) kao i visoku koncentraciju dušikovog dioksida uz važne prometnice (Slika 6.5). Iz prikaza se može vidjeti i utjecaj lokalne meteorologije te za Zagreb karakteristično strujanje sa sjevera koje onečišćenje rasprostranjuje prema jugu (Slika 6.6).

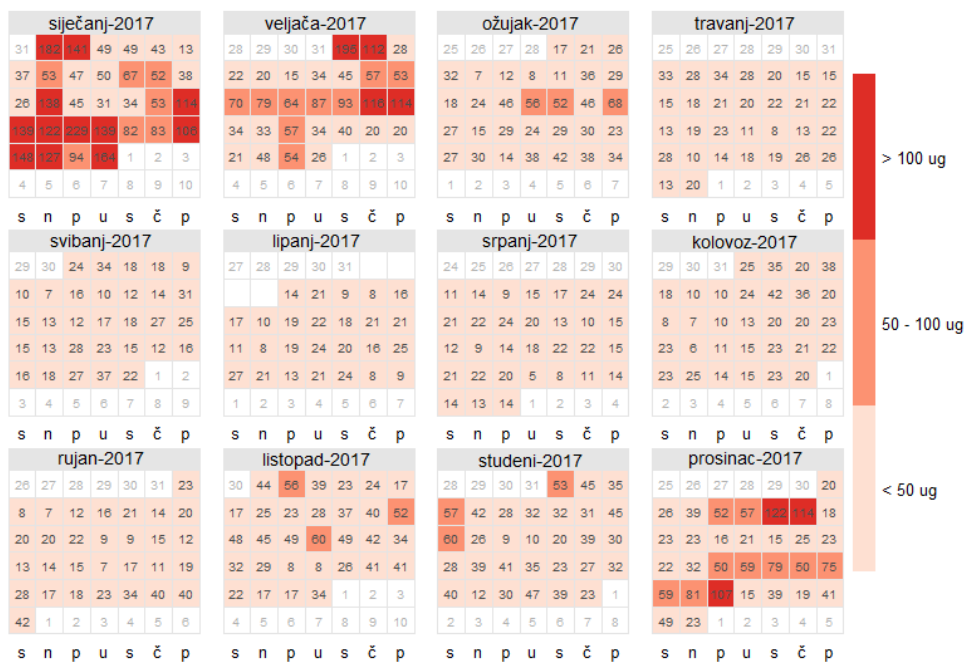


Slika 6.6 Ruža čestine smjera i brzine vjeta na postaji Zagreb-Maksimir za 2017. godinu (ADMS-Urban)

Model dijelom podcjenjuje izmjerene vrijednosti, vidljivo za lebdeće čestice (Slika 6.4 i Slika 6.7), no slaganja su dobra i pokazuju potencijal za daljnji napredak.



Slika 6.7 Grafovi raspršenja satnih vrijednosti koncentracija lebdećih čestica – PM₁₀ (lijevo) i dušikovog dioksida – NO₂ (desno). Modelirane vrijednosti su na ordinati, a izmjerene na apscisi



Slika 6.8 Kalendar srednjih dnevnih koncentracija lebdećih čestica PM₁₀ u 2017. godini na postaji Zagreb-1. Vrijednosti iznad 50 µg/m³ (granična vrijednost prema Uredbi o razinama onečišćujućih tvari u zraku, ne smije se prekoračiti više od 35 puta godišnje) su prikazane narančastom, a epizode iznad 100 µg/m³ crvenom bojom.

Urbane sredine su generalno pod velikim pritiskom antropogenih emisija onečišćujućih tvari u atmosferu koje u kombinaciji s nepovoljnim meteorološkim prilikama rezultiraju s lošom kvalitetom zraka. Slika 6.8 prikazuje kalendar srednjih dnevnih koncentracija lebdećih čestica frakcije manje od 10 mikrona izmjerenih na postaji Zagreb-1 u 2017. godini. Prema EU Direktivi o kvaliteti zraka i čistom zraku za Europu i Uredbi o razinama onečišćujućih tvari u zraku srednja dnevna koncentracija PM₁₀ ne smije prijeći graničnu vrijednost 50 µg/m³ više od 35 puta u kalendarскоj godini. U 2017. ta je vrijednost na postaji Zagreb-1 prekoračena preko 50 puta, dok je epizoda onečišćenja zraka sa srednjom dnevnom koncentracijom preko 100 µg/m³ bilo čak 19. Pri tom se najveće onečišćenje bilježi u hladnom dijelu godine, kad su emisije veće, pa je veća i akumulacija onečišćenja u prizemnom sloju atmosfere, osobito pri stabilnim uvjetima bez vjetera. Stoga, za smanjenje onečišćenja u Zagrebu (a slično vrijedi i za druge gradove u kopnenom dijelu Hrvatske), potrebno je djelovati prvenstveno na sektore emisija koji su značajni za zimski period, poput malih kućnih ložišta. Mala ložišta, zbog svoje blizine tlu, zajedno s emisijama iz prometa daju najveći doprinos prizemnom onečišćenju zraka.

Važnost modeliranja prepoznaje se kao ključan faktor u informacijama o prostornoj raspodjeli onečišćenja na visokoj rezoluciji te kao nužna komponenta pri određivanju budućeg urbanističkog planiranja u svrhu očuvanja zdravlja ljudi i okoliša. No za to je neophodan detaljan emisijski inventar izrađen metodologijom „odozdo prema gore“, neposrednim proračunom temeljem popisa svih izvora emisija i kategorija izvora emisija za gradsko područje, kao i dovoljan broj pravilno raspoređenih gradskih postaja s kojima bi se proračuni modela mogli ocijeniti.



Prilozi

Prilog 1. Koncentracije aniona i kationa u lebdećim česticama PM_{2.5}

Koncentracije iona u lebdećim česticama daju informaciju o kemijskim procesima u atmosferi i potencijalu za stvaranje sekundarnih polutanata, odnosno njihovom prijenosu na velike udaljenosti. Sumarni statistički podaci 24-satnih koncentracija aniona Cl⁻, NO₃⁻ i SO₄²⁻ i kationa Na⁺, NH₄⁺, K⁺, Mg²⁺ i Ca²⁺ u frakciji lebdećih čestica PM_{2.5} u zraku izmjereni u razdoblju 2016. – 2020. na postajama Zagreb PPI PM_{2.5}, Rijeka – PPI PM_{2.5} i Plitvička jezera prikazani su u tablicama (Tablica Prilog 1.1 i Tablica Prilog 1.2)

Tablica Prilog 1.1 Obuhvat podataka aniona i kationa u PM_{2.5} u razdoblju 2016. – 2020

Zona/ Aglomeracija	Postaja	Onečišćujuća tvar	Obuhvat podataka (%)				
			2016	2017	2018	2019	2020
HR ZG	Ksaverska cesta PPI	Cl ⁻	100	100	100	99.5	99
HR RI	Rijeka – PPI PM _{2.5}		–	100	99.5	98.9	100
HR O3	Plitvička jezera		100	99.2	99.2	98.6	100
HR ZG	Ksaverska cesta PPI	NO ₃ ⁻	100	100	100	99.5	99
HR RI	Rijeka – PPI PM _{2.5}		–	100	99.5	98.9	100
HR O3	Plitvička jezera		100	99.2	99.2	98.6	100
HR ZG	Ksaverska cesta PPI	SO ₄ ²⁻	100	100	100	99.5	99
HR RI	Rijeka – PPI PM _{2.5}		–	100	99.5	98.9	100
HR O3	Plitvička jezera		100	99.2	99.2	98.6	100
HR ZG	Ksaverska cesta PPI	Na ⁺	100	100	100	99.5	99
HR RI	Rijeka – PPI PM _{2.5}		–	100	99.5	98.9	100
HR O3	Plitvička jezera		100	99.2	99.2	98.6	100
HR ZG	Ksaverska cesta PPI	NH ₄ ⁺	100	100	100	99.5	99
HR RI	Rijeka – PPI PM _{2.5}		–	100	99.5	98.9	100
HR O3	Plitvička jezera		100	99.2	99.2	98.6	100
HR ZG	Ksaverska cesta PPI	K ⁺	100	100	100	99.5	99
HR RI	Rijeka – PPI PM _{2.5}		–	100	99.5	98.9	100
HR O3	Plitvička jezera		100	99.2	99.2	98.6	100
HR ZG	Ksaverska cesta PPI	Mg ²⁺	100	100	100	99.5	99
HR RI	Rijeka – PPI PM _{2.5}		–	100	99.5	98.9	100
HR O3	Plitvička jezera		100	99.2	99.2	98.6	100
HR ZG	Ksaverska cesta PPI	Ca ²⁺	100	100	100	99.5	99
HR RI	Rijeka – PPI PM _{2.5}		–	100	99.5	98.9	100
HR O3	Plitvička jezera		100	99.2	99.2	98.6	100



Iz pregleda srednjih vrijednosti je vidljivo da i u gradskim uvjetima i na pozadinskim postajama postoje podjednako izraženi uvjeti za stvaranje sekundarnih spojeva koji utječu na zakiseljavanje i eutrofikaciju okoliša (visoke vrijednosti sulfata, nitrata i amonij iona). Srednje vrijednosti su na Plitvicama manje za sve ione osim magnezija i natrija što može biti posljedica prijenosa morskih soli u aerosolima na postaju Plitvice koja je bliža morskoj obali. Koncentracije nitrata su u Zagrebu četiri do pet puta više nego u ruralnoj sredini, što može biti posljedica velike emisije dušikovih spojeva (promet), dok je razlika u koncentracijama sulfata i amonij iona znatno manja. U gradskim uvjetima ovo onečišćenje će znatno utjecati na propadanje materijala (fasada na zgradama, spomenika i sl.), dok će se u ruralnoj sredini učinci pratiti na vegetaciji i biljnom pokrovu (DHMZ, 2017.).

Tablica Prilog 1.2 Srednje godišnje koncentracije aniona i kationa u PM_{2.5} u razdoblju 2016. – 2020

Zona/ Aglomeracija	Postaja	Polutant	Godišnja koncentracija (µg/m ³)					Maksimalna koncentracija (µg/m ³)				
			2016	2017	2018	2019	2020	2016	2017	2018	2019	2020
HR ZG	Ksaverska cesta PPI	Cl ⁻	0.059	0.039	0.038	0.031	0.050	0.90	1.56	0.59	0.65	1.02
HR RI	Rijeka – PPI PM _{2.5}		–	0.019	0.011	0.014	0.009	–	1.30	0.46	0.55	0.28
HR O3	Plitvička jezera		0.006	0.005	0.007	0.010	0.007	0.24	0.21	0.36	0.40	0.26
HR ZG	Ksaverska cesta PPI	NO ₃ ⁻	1.963	1.403	1.437	1.101	1.2	29.62	15.75	12.66	8.62	21.50
HR RI	Rijeka – PPI PM _{2.5}		–	0.497	0.248	0.256	0.31	–	11.71	5.70	11.87	5.64
HR O3	Plitvička jezera		0.351	0.326	0.300	0.293	0.20	7.20	5.29	7.53	3.73	3.16
HR ZG	Ksaverska cesta PPI	SO ₄ ²⁻	2.148	2.332	2.657	1.681	1.5	13.20	50.31	19.64	9.26	8.67
HR RI	Rijeka – PPI PM _{2.5}		–	2.026	2.593	1.876	1.3	–	10.32	12.57	11.22	6.64
HR O3	Plitvička jezera		1.397	1.430	2.046	1.222	1.1	12.07	10.51	13.74	8.54	6.64
HR ZG	Ksaverska cesta PPI	Na ⁺	0.031	0.038	0.042	0.030	0.040	0.24	0.39	0.36	0.39	1.15
HR RI	Rijeka – PPI PM _{2.5}		–	0.063	0.048	0.057	0.047	–	1.13	0.62	0.85	1.61
HR O3	Plitvička jezera		0.024	0.028	0.029	0.034	0.032	0.26	0.36	0.35	0.58	0.44
HR ZG	Ksaverska cesta PPI	NH ₄ ⁺	1.497	1.303	1.452	0.972	0.93	12.00	20.77	8.53	4.89	7.29
HR RI	Rijeka – PPI PM _{2.5}		–	0.9118	1.090	0.811	0.62	–	4.96	4.94	4.45	2.43
HR O3	Plitvička jezera		0.731	0.666	0.932	0.586	0.51	4.21	3.72	4.17	3.33	2.88
HR ZG	Ksaverska cesta PPI	K ⁺	0.208	0.199	0.207	0.168	0.21	1.96	2.09	1.31	2.03	3.58
HR RI	Rijeka – PPI PM _{2.5}		–	0.085	0.079	0.071	0.078	–	1.40	0.64	1.17	0.45
HR O3	Plitvička jezera		0.063	0.064	0.075	0.056	0.060	0.57	0.54	0.80	0.32	0.26
HR ZG	Ksaverska cesta PPI	Mg ²⁺	0.006	0.008	0.010	0.009	0.012	0.20	0.23	0.12	0.14	0.32
HR RI	Rijeka – PPI PM _{2.5}		–	0.010	0.008	0.011	0.009	–	0.20	0.09	0.13	0.26
HR O3	Plitvička jezera		0.004	0.005	0.006	0.008	0.008	0.04	0.06	0.06	0.11	0.22
HR ZG	Ksaverska cesta PPI	Ca ²⁺	0.095	0.137	0.121	0.032	0.087	1.33	0.90	0.89	0.47	2.06
HR RI	Rijeka – PPI PM _{2.5}		–	0.140	0.139	0.041	0.051	–	1.05	1.71	0.44	2.16
HR O3	Plitvička jezera		0.063	0.118	0.104	0.028	0.046	0.63	1.17	0.96	0.76	1.23



Prilog 2. Elementni i organski ugljik u lebdećim česticama PM_{2.5}

Ugljik koji sadrže lebdeće čestice obično se klasificira u dvije glavne frakcije, organski ugljik (OC) i elementni ugljik (EC), s obzirom na njihova kemijska svojstva. Elementni ugljik (EC) je primarni polutant, koji se emitira izravno tijekom nepotpunog izgaranja fosilnih goriva. Europske Direktive i Uredba o razinama onečišćujućih tvari u zraku ne propisuju granične vrijednosti za OC i EC, no podaci o izmjerenim koncentracijama mogu poslužiti u procjeni lokalne i prekogranične onečišćenosti, analizu raspodjele izvora onečišćenja i slično.

Sumarni statistički podaci 24-satnih koncentracija elementnog i organskog ugljika u frakciji lebdećih čestica PM_{2.5} u zraku izmjereni u razdoblju 2016. – 2020. godine na postajama Zagreb PPI PM_{2.5}, Rijeka – PPI PM_{2.5} i Plitvička jezera prikazani su u tablicama (Tablica Prilog 2.1 i Tablica Prilog 2.2).

Tablica Prilog 2.1 Obuhvat podataka elementnog i organskog ugljika u PM_{2.5} u razdoblju 2016. – 2020

Zona/ Agglomeracija	Postaja	Onečišćujuća tvar	Obuhvat podataka (%)				
			2016	2017	2018	2019	2020
HR ZG	Ksaverska cesta PPI	Elementni ugljik EC	100	100	100	100	99
HR RI	Rijeka – PPI PM _{2.5}		–	100	100	100	96
HR O3	Plitvička jezera		100	99	90	96	100
HR ZG	Ksaverska cesta PPI	Organski ugljik OC	100	100	100	100	99
HR RI	Rijeka – PPI PM _{2.5}		–	100	100	100	96
HR O3	Plitvička jezera		100	99	90	96	100

Tablica Prilog 2.2 Srednje godišnje koncentracije elementarnog i organskog ugljika u PM_{2.5} u razdoblju 2016. – 2020

Zona/ Agglomeracija	Postaja	Onečišćujuća tvar	Godišnja koncentracija (µg/m ³)					Maksimalna koncentracija (µg/m ³)				
			2016	2017	2018	2019	2020	2016	2017	2018	2019	2020
HR ZG	Ksaverska cesta PPI	Elementni ugljik EC	1.22	0.93	0.86	0.78	0.99	5.41	3.21	5.38	3.20	4.26
HR RI	Rijeka – PPI PM _{2.5}		–	0.51	0.46	0.46	0.54	–	1.43	1.74	2.07	2.52
HR O3	Plitvička jezera		0.28	0.20	0.19	0.17	0.17	1.51	1.18	0.89	1.04	0.76
HR ZG	Ksaverska cesta PPI	Organski ugljik OC	7.47	6.80	6.60	4.93	5.4	59.35	45.96	33.20	19.02	31.05
HR RI	Rijeka – PPI PM _{2.5}		–	2.81	3.00	2.53	2.6	–	9.93	10.95	9.32	7.83
HR O3	Plitvička jezera		2.63	2.18	2.29	2.08	2.1	12.97	12.12	13.84	11.56	8.32



Prilog 3. Usporedba rezultata mjerenja i modela

Kao dopuna mjerenjima, u ocjeni onečišćenja primijenjen je kemijski transportni model LOTOS-EUROS. Proračun modela uspoređen je s izmjerenim vrijednostima u svrhu validacije, odnosno procjene uspješnosti modela u reprodukciji prizemnih koncentracija onečišćujućih tvari na točnosti propisanoj Direktivom 2008/50/EC. Mogućnost primjene modeliranja u svrhu ocjene onečišćenja u velikoj mjeri određuje prostorna skala. Rezultati kemijskog transportnog modela LOTOS-EUROS na rezoluciji $0.1^\circ \times 0.05^\circ$ prihvatljivi su u usporedbi s mjerenjima na regionalnoj skali budući da i same vrijednosti mjerenih koncentracija u tom slučaju više ovise o regionalnom i daljinskom prijenosu onečišćenja nego o lokalnom. Ovaj model stoga nije korišten u ocjeni onečišćenja u gradovima i aglomeracijama jer je ovisnost o lokalnim emisijama u tom slučaju iznimno velika.

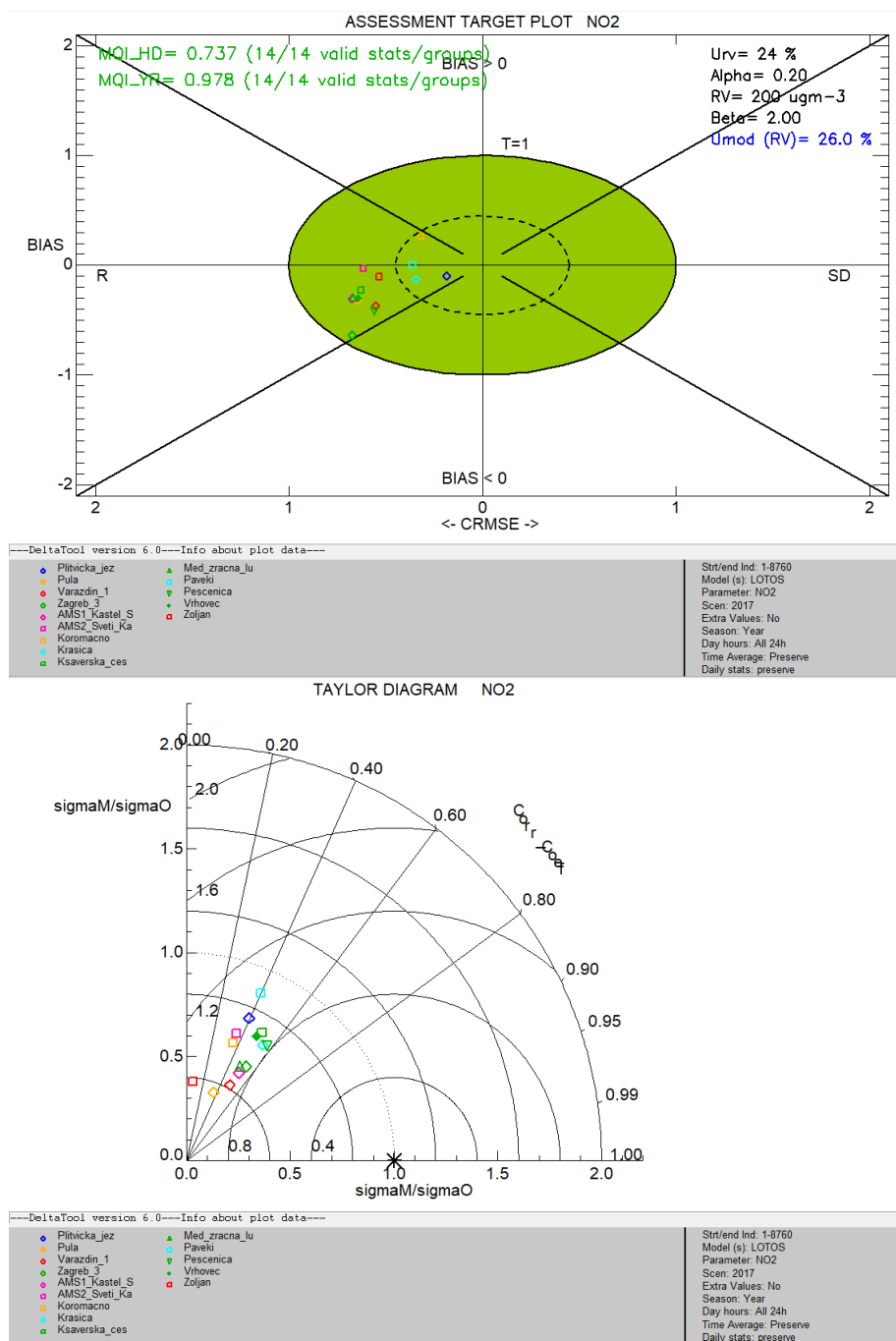
LOTOS-EUROS model validiran je pomoću službenog računalnog alata DELTA za validaciju modela kvalitete zraka, preporučenog od strane FAIRMODE-a (eng. The Forum for Air quality Modeling, JRC). DELTA program, usporedbom mjerenih i modeliranih vrijednosti, dijagnosticira uspješnost modela i proizvodi različite numeričke statističke indikatore i grafičke prikaze u okviru preporuka Direktive 2008/50/EC.

Evaluacija LOTOS-EUROS modela prikazana je Target dijagramom i Taylorovim dijagramom. **Target dijagram**, za svaku postaju, prikazuje odnos normalizirane centrirane srednje kvadratne pogreške i normalizirane pristranosti. Udaljenost od centra dijagrama prikazuje normaliziranu srednju kvadratnu pogrešku. Dijagram je podijeljen na četiri dijela koja daju uvid u glavni izvor pogreške modela (negativna i pozitivna pristranost, korelacija, standardna devijacija). Markeri unutar zelenog kruga smatraju se ispravnima, odnosno model zadovoljava propisanu točnost na lokaciji predstavljenoj markerom. **Taylorov dijagram** na učinkovit način prikazuje tri statistička parametra za svaku mjernu postaju. Kut nagiba daje mjeru vremenske korelacije mjerenih i modeliranih podataka. Omjer standardne devijacije mjerenih i modeliranih podataka se može vidjeti na koncentričnim kružnicama s ishodištem u (0.0, 0.0), dok udaljenost između točke koja označava pojedinu mjernu postaju i oznake na x-osi daje mjeru normalizirane centrirane srednje kvadratne pogreške (CRMSE) te se može ocijeniti uz pomoć koncentričnih kružnica s ishodištem (1.0, 0.0).

Rezultati usporedbe izmjerenih prizemnih koncentracija dušikovog dioksida (NO_2), ozona (O_3) te lebdećih čestica PM_{10} i $\text{PM}_{2.5}$ s vrijednostima proračunatim LOTOS-EUROS kemijskim transportnim modelom prikazani su u nastavku. Validacija provedena s DELTA programom ukazuje da je LOTOS-EUROS model dovoljno dobar za primjenu u regulativne svrhe. Unatoč tome, treba uzeti u obzir blagu tendenciju modela da podcjenjuje površinske koncentracije prilikom donošenja zaključaka o kvaliteti zraka na području Republike Hrvatske.

Dušikov dioksid (NO₂)

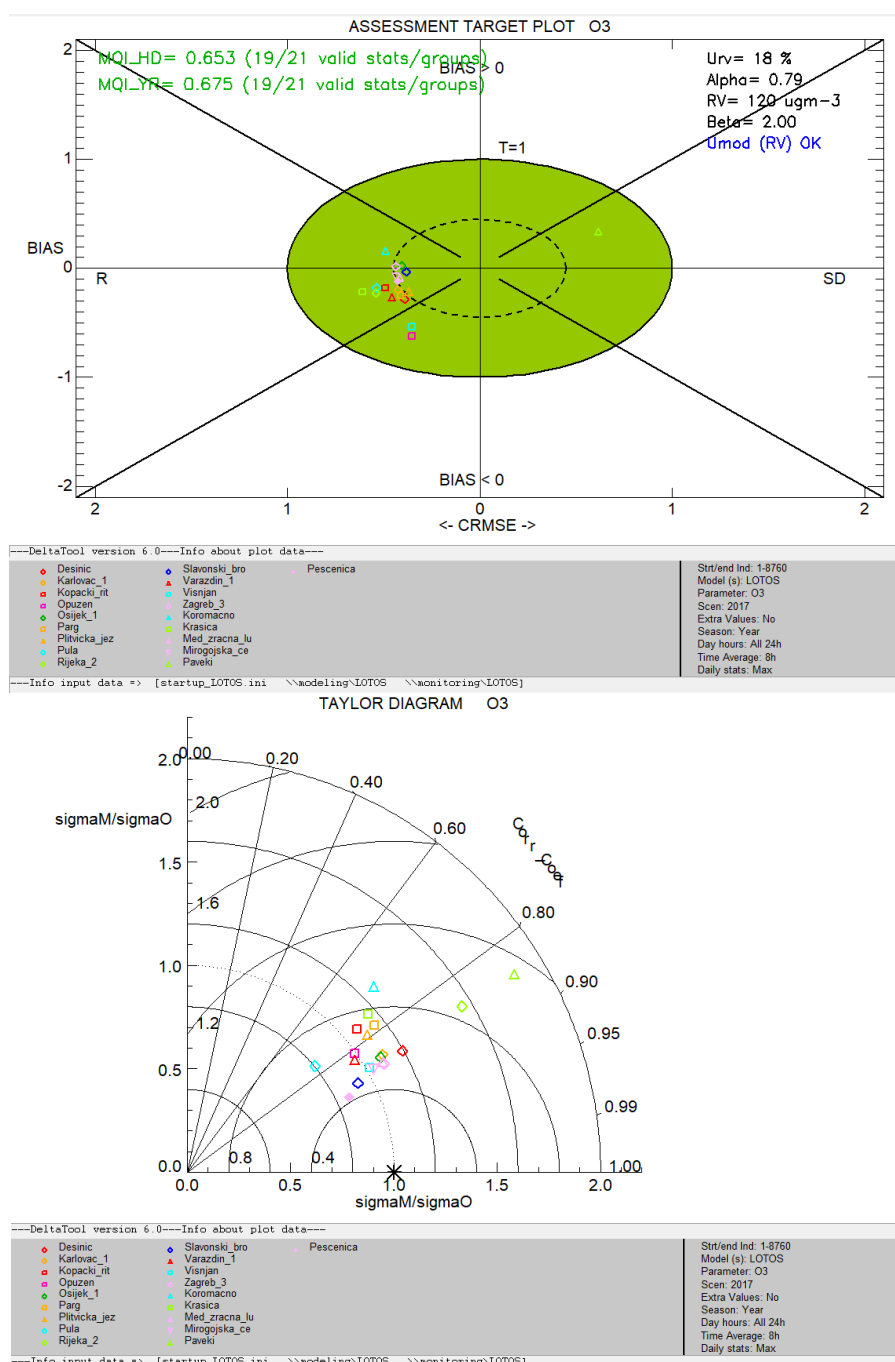
Validacija površinske koncentracije dušikovog dioksida uključuje usporedbu satnih vrijednosti izmjerenih i modeliranih vrijednosti. Target dijagram pokazuje dobro podudaranje satnih koncentracija. Većina neslaganja između izmjerenih i modeliranih koncentracija je u vremenskoj korelaciji. Također, model blago podcjenjuje površinske koncentracije. Taylorov dijagram potvrđuje gornje zaključke (Slika Prilog 3.1).



Slika Prilog 3.1 Target dijagram (gore) i Taylorov dijagram (dolje) – usporedba izmjerenih prizemnih koncentracija dušikovog dioksida i modeliranih vrijednosti (LOTOS-EUROS)

Ozon (O₃)

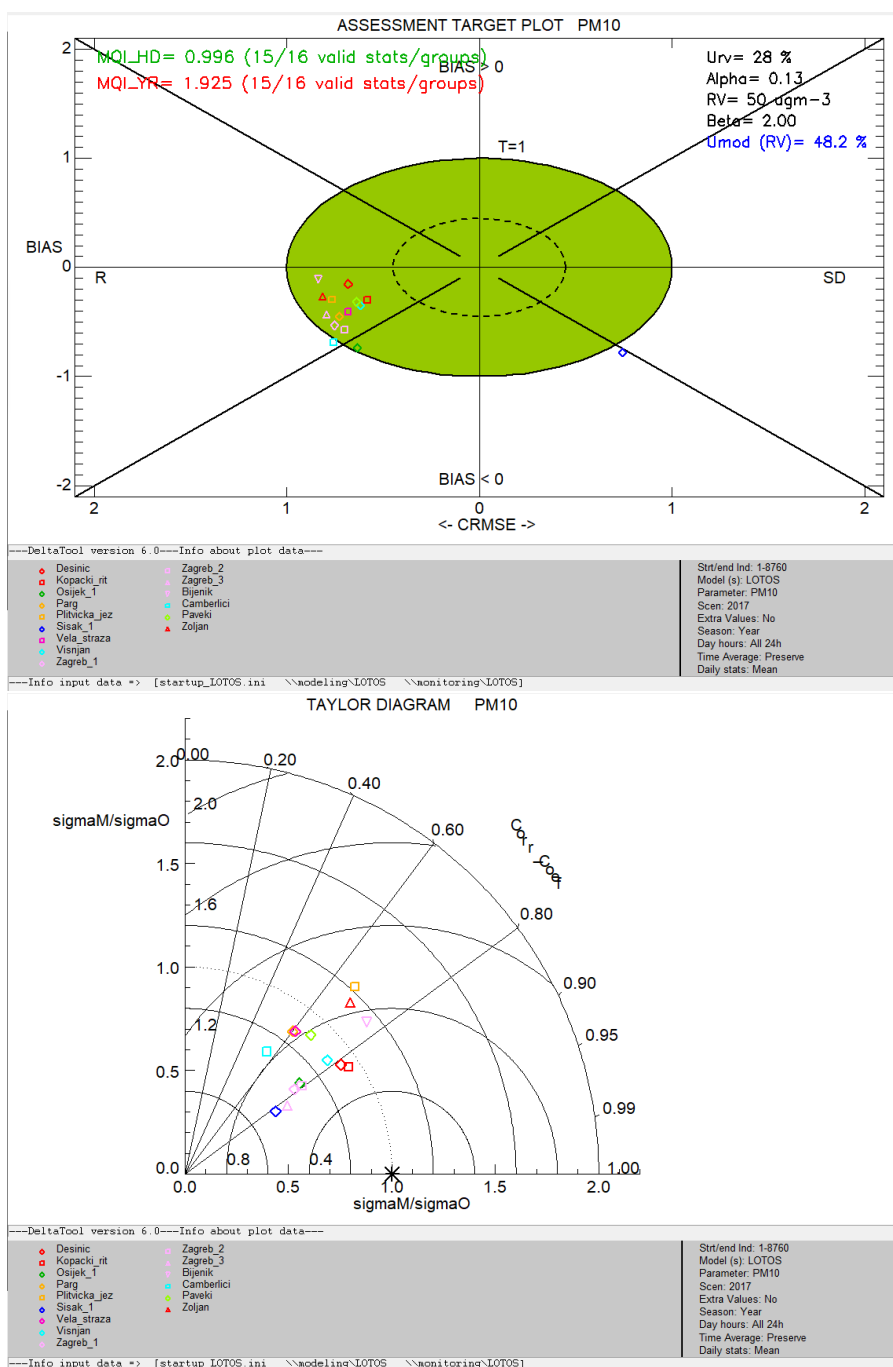
Validacija površinske koncentracije ozona uključuje promatranje podudaranja između dnevnog maksimuma kliznog osmosatnog srednjaka izmjerenih i modeliranih koncentracija. Analiza target dijagrama pokazuje dobro podudaranje između modela i mjerenja. Većina pogreške sadržana je u korelaciji između modeliranih vrijednosti i mjerenja. Taylorov dijagram potvrđuje gornje zaključke (Slika Prilog 3.2).



Slika Prilog 3.2 Target dijagram (gore) i Taylorov dijagram (dolje) – usporedba izmjerenih prizemnih koncentracija ozona i modeliranih vrijednosti (LOTOS-EUROS)

Lebdeće čestice (PM₁₀)

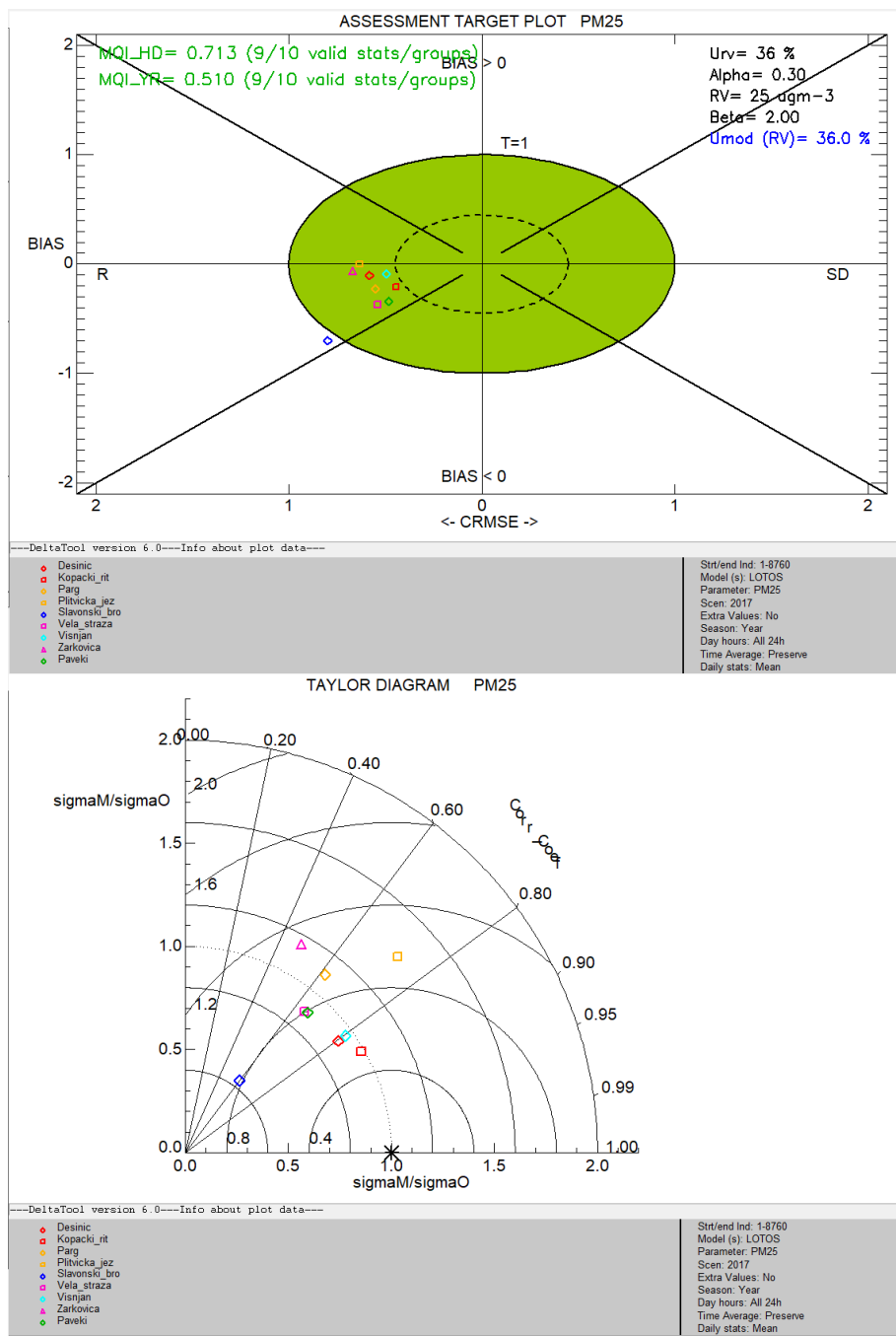
Validacija površinske koncentracije lebdećih čestica (PM₁₀) uključuje promatranje podudaranja između dnevno usrednjenih izmjerenih i modeliranih koncentracija. Analiza target dijagrama pokazuje dobro podudaranje između modela i mjerenja. Većina pogreške sadržana je u korelaciji između modeliranih vrijednosti i mjerenja. Također, model pokazuje tendenciju podcjenjivanja koncentracija u odnosu na izmjerene vrijednosti. Taylorov dijagram potvrđuje gornje zaključke (Slika Prilog 3.3).



Slika Prilog 3.3 Target dijagram (gore) i Taylorov dijagram (dolje) – usporedba izmjerenih prizemnih koncentracija lebdećih čestica PM₁₀ i modeliranih vrijednosti (LOTOS-EUROS)

Lebdeće čestice (PM_{2.5})

Validacija površinske koncentracije lebdećih čestica (PM_{2.5}) uključuje promatranje podudaranja između dnevno usrednjenih izmjerenih i modeliranih koncentracija. Analiza target dijagrama pokazuje dobro podudaranje između modeliranih i izmjerenih vrijednosti. Većina pogreške sadržana je u vremenskoj korelaciji. Taylorov dijagram potvrđuje gornje zaključke (Slika Prilog 3.4).



Slika Prilog 3.4 Target dijagram (gore) i Taylorov dijagram (dolje) – usporedba izmjerenih prizemnih koncentracija lebdećih čestica PM_{2.5} i modeliranih vrijednosti (LOTOS-EUROS)



Literatura

Cindrić, K., Juras, J. & Pasarić, Z. On precipitation monitoring with theoretical statistical distributions. *Theor Appl Climatol* 136, 145–156 (2019) <https://doi.org/10.1007/s00704-018-2477-6>

COMMISSION IMPLEMENTING DECISION of 12 December 2011 laying down rules for Directives 2004/107/EC and 2008/50/EC as regards the reciprocal exchange of information and reporting on ambient air quality, *Official Journal of the European Union*, 2011, L 335/86

Copernicus (2022): <https://atmosphere.copernicus.eu/more-800-deaths-may-have-been-avoided-due-air-quality-improvement-during-first-lockdown-phase>, preuzeto 01. veljače 2022.

DHMZ (2012) Ocjena kvalitete zraka na području Republike Hrvatske u razdoblju 2006.-2010. godine prema EU Direktivi 2008/50/EC

DHMZ (2017) Ocjena kvalitete zraka na području Republike Hrvatske 2011.-2015.

DHMZ (2021) Prikazi br. 32 – Praćenje i ocjena klime u 2020. godini. Zagreb: Državni hidrometeorološki zavod, (https://klima.hr/razno/publikacije/prikazi/prikazi_32_2020.pdf) pristupljeno 16. veljače 2022.

DHMZ (2022) Digitalne klimatske karte – razdoblje 1971. – 2000. Državni hidrometeorološki zavod. <http://meteo.hr> (preuzeto 20. siječnja 2022.)

DHMZ (2022) Mjesečni meteorološki i hidrološki bilten. Državni hidrometeorološki zavod. <http://meteo.hr> (preuzeto 20. siječnja 2022.)

Directive 2004/107/EC, *Official Journal of the European Union*, 2004, L 337/13

Directive 2008/50/EC, *Official Journal of the European Union*, 2008, L 152/1

Directive 2015/1480 of 28 August 2015 amending several annexes to Directives 2004/107/EC and 2008/50/EC, *Official Journal of the European Union*, 2015, L 226/4

European Environment Agency (2019) Air quality in Europe – 2019 report. Luxembourg: Publications Office of the European Union

European Environment Agency (2020) Air quality in Europe – 2020 report. Luxembourg: Publications Office of the European Union

European Environment Agency (2022): <https://www.eea.europa.eu/themes/air/urban-air-quality/european-city-air-quality-viewer>, preuzeto 17. siječnja 2022. (EEA, 2022.)

HAOP (2017) Godišnje izvješće o praćenju kvalitete zraka na području Republike Hrvatske za 2016. godinu



HAOP (2018) Izvješće o praćenju kvalitete zraka na području Republike Hrvatske za 2017. godinu

Hood C., MacKenzie I., Stocker J., Johnson K., Carruthers D., Vieno M., and Doherty R. (2018) Air quality simulations for London using a coupled regional-to-local modelling system, *Atmospheric Chemistry and Physics*, 18, 11221–11245

Manders, A. M. M. et al. (2017) Curriculum vitae of the LOTOS–EUROS (v2.0) chemistry transport model, *Geosci. Model Dev.*, 10, 4145–4173, <https://doi.org/10.5194/gmd-10-4145-2017>, 2017.

MINGOR (2020) Izvješće o praćenju kvalitete zraka na području Republike Hrvatske za 2019. godinu

MINGOR (2020) Izvješće o praćenju kvalitete zraka na području Republike Hrvatske za 2020. godinu

Modelling Air Pollution (2011): The EMEP model, Fagerli, H., and Wind, P., *META*, 2011, 4, 20 – 23

Mohajeri, N., Walch, A., Gudmundsson, A., Heaviside, C., Askari, S., Wilkinson, P., & Davies, M. (2021) Covid-19 mobility restrictions: impacts on urban air quality and health. *Buildings and Cities*, 2(1), pp. 759 – 778. DOI: <https://doi.org/10.5334/bc.124>

Monks, P., Simpson, D., et al., (2009) Atmospheric composition change – global and regional air quality, *Atmos. Environ.*, 43, 5268 – 5350, doi:DOI:10.1016/j.atmosenv.2009.08.021

MZOE (2019) Izvješće o praćenju kvalitete zraka na području Republike Hrvatske za 2018. godinu

Pravilnik o praćenju kvalitete zraka (NN 72/2020)

Program mjerenja razine onečišćenosti u državnom mreži za trajno praćenje kvalitete zraka (NN 73/2016)

Stidworthy, A., Jackson, M., Johnson, K., Carruthers, D., and Stocker, J. (2017) Evaluation of local and regional air quality forecasts for London, 18th International Conference on Harmonisation within Atmospheric Dispersion Modelling for Regulatory Purposes, Bologna, Italy, 9–12 October 2017, H18 – 174

Špoler Čanić K., Vidić S., Bencetić Klaić Z. (2009) Precipitation Chemistry in Croatia during the period 1981-2006. *Journal of Environmental Monitoring*, DOI: 10.1039/b816432k

The EMEP MSC-W chemical transport model – technical description (2012), D. Simpson, A. Benedictow, H. Berge, R. Bergström, L. D. Emberson, H. Fagerli, C. R. Flechard, G. D. Hayman, M. Gauss, J. E. Jonson, M. E. Jenkin, A. Nyíri, C. Richter, V. S. Semeena, S. Tsyro, J.-P. Tuovinen, Á. Valdebenito, and P. Wind, *Atmos. Chem. Phys.*, 12, 7825-7865, 2012, *Atmospheric Chemistry and Physics Special Issue “EMEP – an integrated system*



of models and observations in support of European air quality and policy“ Editor(s): A. S. H. Prevot, D. Simpson, M. Sutton, H. C. Hansson, and M. Beekmann

Travnikov O. and I. Ilyin (2005) Regional Model MSCE-HM of Heavy Metal Transboundary Air Pollution in Europe. EMEP/MSC-E Technical Report 6/2005, p.59.

UN (2015) Transforming our world: The 2030 Agenda for Sustainable Development, Resolution adopted by the United Nations General Assembly, 25 September 2015 (http://www.un.org/ga/search/view_doc.asp?symbol=A/RES/70/1&Lang=E) accessed 31 May 2019.

UNEP (2019) Global environment outlook – GEO-6 – Healthy planet, healthy people, United Nations Environment Programme, Cambridge University Press, Cambridge, UK (<https://doi.org/10.1017/9781108627146>) accessed 20 May 2020.

Uredba o određivanju zona i aglomeracija prema razinama onečišćenosti zraka na teritoriju Republike Hrvatske (NN 1/2014)

Uredba o razinama onečišćujućih tvari u zraku (NN 77/2020)

Uredba o utvrđivanju popisa mjernih mjesta za praćenje koncentracija pojedinih onečišćujućih tvari u zraku i lokacija mjernih postaja u državnoj mreži za trajno praćenje kvalitete zraka (NN 65/2016)

Zakon o izmjenama i dopunama Zakona o zaštiti zraka (NN 57/2022)

Zakon o zaštiti zraka (NN 127/2019)



Popis slika

Slika A Kartogrami razina onečišćenosti određenih prema Uredbi (NN 77/2020)	IV
Slika B Postaje državne mreže za trajno praćenje kvalitete zraka prema statusu modernizacije u sklopu strateškog projekta AIRQ – Proširenje i modernizacija državne mreže za trajno praćenje kvalitete zraka kojeg provodi Državni hidrometeorološki zavod, a financira Europski fond za regionalni razvoj (85 %) i Fond za zaštitu okoliša i energetska učinkovitost (15 %). Na slici su navedene i druge postaje lokalnih mreža korištene za potrebe Ocjene	XIV
Slika C Zone i aglomeracije prema kriterijima propisnim u Uredbi o određivanju zona i aglomeracija prema razinama onečišćenosti zraka na teritoriju Republike Hrvatske	XV
Slika 1.1.1 Ilustracija (izvor: Explaining road transport emissions, EEA, 2016., prilagodba: DHMZ)	2
Slika 1.2.1 Kvaliteta zraka u Europskim gradovima na temelju onečišćenosti lebdećim česticama PM _{2.5} u 2019. i 2020. godini (izvor, EEA 2022.)	3
Slika 1.3.1 Prosječna razina onečišćenja NO ₂ (troposferski vertikalni stupac) prema podacima Sentinel-5P/TROPOMI za razdoblje 15.3. – 15.4.2019. – lijevo, te za isto razdoblje 2020. – desno (izvor, EEA 2021.).....	4
Slika 1.3.2 Promjena koncentracije NO ₂ , ozona i lebdećih čestica (PM _{2.5} i PM ₁₀) u 47 gradova u Europi. Za NO ₂ i lebdeće čestice prikazane su srednje dnevne koncentracije, a za O ₃ dnevni maksimalni osmosatni srednjak. (izvor: London School of Hygiene & Tropical Medicine/Servis za praćenje atmosfere Copernicus).....	5
Slika 1.5.2.1 Mreža LOTOS-EUROS modela prostorne rezolucije 0.1° x 0.05° nad područjem Hrvatske uz naznačene zone i aglomeracije	10
Slika 1.6.1 Zone i aglomeracije prema kriterijima propisnim u Uredbi o određivanju zona i aglomeracija prema razinama onečišćenosti zraka na teritoriju Republike Hrvatske (NN 1/14).....	12
Slika 1.7.1 Broj stanovnika po općinama prema popisu stanovništva iz 2011. godine s položajem mjernih postaja prikazane plavim točkama (izvor: Državni zavod za statistiku)	13
Slika 1.8.1 Pregled postaja državne i lokalne mreže prema tipu postaje.....	25
Slika 2.1.1 Emisije SO _x izražene kao SO ₂ u Hrvatskoj raspodijeljene po GNFR sektorima u razdoblju 1990. – 2019. godine izražene u tonama	30
Slika 2.1.2 Prostorna razdioba emisija SO ₂ na području Hrvatske u 2015. godini (slika lijevo) i 2019. godini (slika desno).....	31
Slika 2.1.3 Lokacije mjernih postaja na kojima se mjere koncentracije sumporovog dioksida.....	32
Slika 2.1.4 Broj prekoračenja satnih graničnih vrijednosti koncentracija sumporovog dioksida s obzirom na zaštitu zdravlja ljudi u razdoblju 2016. – 2020. godine. Crvena linija označava dozvoljen broj prekoračenih satnih graničnih vrijednosti u jednoj kalendarskoj godini.....	33
Slika 2.1.5 Rezultati analize prekoračenja granične vrijednosti SO ₂ s obzirom na zaštitu zdravlja ljudi razmatranim postajama.....	34
Slika 2.1.6 Srednje godišnje koncentracije SO ₂ na analiziranim postajama u razdoblju 2016. – 2020. godine. Crvena linija označava vrijednost koncentracije kritične razine za zaštitu vegetacije	35
Slika 2.1.7 Srednje vrijednosti koncentracija SO ₂ zimskog razdoblja na analiziranim postajama u razdoblju 2016. – 2020. godine. Crvena linija označava vrijednost koncentracija kritične razine za zaštitu vegetacije..	36
Slika 2.1.8 Srednje vrijednosti koncentracija SO ₂ zimskog razdoblja (svijetlo žuto) i srednje godišnje koncentracije SO ₂ (tamno žuto) na analiziranim postajama u razdoblju 2016. – 2020. godine. Crvena linija	



označava vrijednost koncentracija kritične razine za zaštitu vegetacije, narančasta linija gornju granicu procjenjivanja za zimsko razdoblje, a zelenkasto žuta linija donju granicu procjenjivanja za zimsko razdoblje 37

Slika 2.1.9 Broj prekoračenja donjeg (svijetlo žuto) i gornjeg (tamno žuto) praga procjene srednjih dnevnih vrijednosti koncentracija sumporovog dioksida s obzirom na zaštitu ljudi u razdoblju 2016. – 2020. godine. Crvena linija označava dozvoljen broj prekoračenih dnevnih pragova procjene u jednoj kalendarskoj godini 39

Slika 2.1.10 Rezultati analize gornjeg i donjeg praga procjene dnevnih koncentracija sumporovog dioksida s obzirom na zaštitu zdravlja ljudi na razmatranim postajama..... 39

Slika 2.1.11 Prostorna raspodjela prizemnih srednjih godišnjih koncentracija SO₂ (µg/m³) na području Hrvatske u razdoblju od 2016. – 2020. godine dobivena LOTOS-EUROS kemijskim transportnim modelom 41

Slika 2.1.12 Prostorna raspodjela prizemnih srednjih mjesečnih koncentracija SO₂ (µg/m³) na području Hrvatske u razdoblju od 2016. – 2020. godine dobivena LOTOS-EUROS kemijskim transportnim modelom (mjeseci: travanj – rujan)..... 42

Slika 2.1.13 Prostorna raspodjela prizemnih srednjih mjesečnih koncentracija SO₂ (µg/m³) na području Hrvatske u razdoblju od 2016. – 2020. godine dobivena LOTOS-EUROS kemijskim transportnim modelom (mjeseci: listopad – ožujak) 43

Slika 2.1.14 Kartogram ocjena razina onečišćenosti sa SO₂ po svim zonama i aglomeracijama obzirom na zaštitu zdravlja ljudi..... 45

Slika 2.2.1 Emisije NO_x izražene kao NO₂ u Hrvatskoj raspodijeljene po GNFR sektorima u razdoblju 1990. – 2019. godine izražene u tonama 46

Slika 2.2.2 Prostorna razdioba emisija NO_x prikazanog kao NO₂ na području Hrvatske u 2015. godini (slika lijevo) i 2019. godini (slika desno) 47

Slika 2.2.3 Prostorni raspored postaja na kojima se provode mjerenja dušikovog dioksida 48

Slika 2.2.4 Srednje godišnje koncentracije dušikovog dioksida u razdoblju 2016. – 2020. godine. Crvena linija označava graničnu srednju godišnju vrijednost koncentracija GV = 40 µg/m³, linija ljubičaste boje donji prag procjene (26 µg/m³), a linija zelene boje gornji prag procjene (32 µg/m³)..... 50

Slika 2.2.5 Broj prekoračenja donjeg praga procjene (svijetlo zelena, 100 µg/m³) i gornjeg praga procjene (tamno zelena, 140 µg/m³) iz satnih vrijednosti koncentracija dušikovog dioksida 2016. – 2020. godine. Crvenom linijom prikazan je dozvoljeni broj satnih prekoračenja (18)..... 53

Slika 2.2.6 Mjerne postaje na kojima je prekoračen gornji i donji prag procjene 54

Slika 2.2.7 Srednja godišnja koncentracija dušikovih oksida za razdoblje 2016. – 2020. godine. Prekoračenja kritične razine za zaštitu vegetacije (30 µg/m³) je crvena linija, gornji prag procjene (24 µg/m³) je ljubičasta linija, a donji prag procjene (19.5 µg/m³) je zelena linija..... 55

Slika 2.2.8 Prostorna raspodjela prizemnih srednjih godišnjih koncentracija NO₂ (µg/m³) na području Hrvatske u razdoblju od 2016. – 2020. godine dobivena LOTOS-EUROS kemijskim transportnim modelom 56

Slika 2.2.9 Prostorna raspodjela prizemnih srednjih mjesečnih koncentracija NO₂ (µg/m³) na području Hrvatske u razdoblju od 2016. – 2020. godine (petogodišnji prosjek, travanj – rujan) dobivena LOTOS-EUROS kemijskim transportnim modelom 57

Slika 2.2.10 Prostorna raspodjela prizemnih srednjih mjesečnih koncentracija NO₂ (µg/m³) na području Hrvatske u razdoblju od 2016. – 2020. godine (petogodišnji prosjek, listopad – ožujak) dobivena LOTOS-EUROS kemijskim transportnim modelom 58



Slika 2.2.11 Kartogram ocjena razina onečišćenosti s NO ₂ po svim zonama i aglomeracijama obzirom na zaštitu zdravlja ljudi.....	60
Slika 2.3.1 Emisije PM ₁₀ u Hrvatskoj raspodijeljene po GNFR sektorima u razdoblju 1990. – 2019. godine izražene u tonama.....	61
Slika 2.3.2 Prostorna razdioba emisija PM ₁₀ na području Hrvatske u 2015. godini (slika lijevo) i 2019. godini (slika desno)	62
Slika 2.3.3 Prostorni raspored postaja na kojima se provode mjerenja koncentracija lebdećih čestica PM ₁₀	63
Slika 2.3.4 Srednja godišnja vrijednost koncentracija PM ₁₀ (tamno sivo) i broj prekoračenja 24-satne granične vrijednosti (svijetlo sivo) prema mjerenjima automatskih analizatora. Srednja godišnja GV = 40 µg/m ³ , 24-satna GV = 50 µg/m ³ , a dozvoljen broj prekoračenja u godini je 35. Na svim postajama državne mreže za trajno praćenje kvalitete zraka provedena je korekcija izmjerenih vrijednosti prema referentnoj gravimetrijskoj metodi	66
Slika 2.3.5 Srednja godišnja koncentracija PM ₁₀ (tamno sivo) i broj prekoračenja 24-satne dnevne granične vrijednosti (svijetlo sivo) prema referentnoj gravimetrijskoj metodi.....	67
Slika 2.3.6 Trend broja dana s prekoračenjem srednje dnevne granične vrijednosti. Na slici su prikazane one postaje za koje je u najmanje jednoj godini iz promatranog razdoblja 2016. – 2020. prekoračen dozvoljen broj dana (35) s 24-satnom srednjom vrijednošću iznad 50 µg/m ³	69
Slika 2.3.7 Prostorni prikaz mjernih postaja na kojima su izmjerena prekoračenja srednje godišnje vrijednosti PM ₁₀ ili je zabilježen broj dana s prekoračenjem dnevne granične vrijednosti od 50 µg/m ³ veći od 35. Zelenom bojom označene su postaje na kojima nisu izmjerena prekoračenja, a crvenom, lokacije na kojima je prekoračenje zabilježeno.....	70
Slika 2.3.8 Broj prekoračenja gornjeg (tamno sivo) i donjeg praga procjene (svijetlo sivo) za PM ₁₀ prema rezultatima automatskih mjerenja obzirom na srednju dnevnu koncentraciju lebdećih čestica PM ₁₀ (automatska mjerenja)	73
Slika 2.3.9 Broj prekoračenja gornjeg (tamno sivo) i donjeg praga procjene (svijetlo sivo) za PM ₁₀ prema rezultatima automatskih mjerenja obzirom na srednju dnevnu koncentraciju lebdećih čestica PM ₁₀ (gravimetrija)	74
Slika 2.3.10 Gornji i donji prag procjene za PM ₁₀ prema rezultatima mjerenja	75
Slika 2.3.11 Prostorna raspodjela prizemnih srednjih godišnjih koncentracija PM ₁₀ (µg/m ³) na području Hrvatske u razdoblju od 2016. – 2020. godine dobivena LOTOS-EUROS kemijskim transportnim modelom 76	
Slika 2.3.12 Prostorna raspodjela prizemnih srednjih mjesečnih koncentracija PM ₁₀ (µg/m ³) na području Hrvatske u razdoblju od 2016. – 2020. godine (petogodišnji prosjek, travanj – rujanj) dobivena LOTOS-EUROS kemijskim transportnim modelom	77
Slika 2.3.13 Prostorna raspodjela prizemnih srednjih mjesečnih koncentracija PM ₁₀ (µg/m ³) na području Hrvatske u razdoblju od 2016. – 2020. godine (petogodišnji prosjek, listopad – ožujak) dobivena LOTOS-EUROS kemijskim transportnim modelom	78
Slika 2.3.14 Kartogram ocjena razina onečišćenosti s PM ₁₀ po svim zonama i aglomeracijama obzirom na zaštitu zdravlja ljudi.....	80
Slika 2.4.1 Emisije PM _{2.5} u Hrvatskoj raspodijeljene po GNFR sektorima u razdoblju 1990. – 2019. godine izražene u tonama.....	81
Slika 2.4.2 Prostorna razdioba emisija PM ₁₀ na području Hrvatske u 2015. godini (slika lijevo) i 2019. godini (slika desno)	82



Slika 2.4.3 Prostorni raspored postaja na kojima se provode mjerenja koncentracija lebdećih čestica PM _{2.5}	83
Slika 2.4.4 Srednje godišnje vrijednosti koncentracija PM _{2.5} (automatski analizatori) na postajama državne mreže u razdoblju 2016. – 2020. godine. Crvenom linijom označena je granična vrijednost za PM _{2.5} (25 µg/m ³), a zelenkasto žutom indikativna granična vrijednost (20 µg/m ³)	85
Slika 2.4.5 Srednje godišnje vrijednosti koncentracija PM _{2.5} dobivene na osnovi mjerenja referentnom gravimetrijskom metodom u razdoblju 2016. – 2020. Crvenom linijom označena je granična vrijednost za PM _{2.5} (25 µg/m ³), a zelenkasto žutom indikativna granična vrijednost (20 µg/m ³)	86
Slika 2.4.6 Prostorni raspored postaja državne mreže s obzirom na analizu prekoračenja granične vrijednosti lebdećih čestica PM _{2.5} u razdoblju 2016. – 2020.....	86
Slika 2.4.7 Pokazatelj prosječne izloženosti u razdoblju 2015. – 2020. na postaji Ksaverska cesta PPI. Svijetlo sivom bojom naznačena je srednja godišnja koncentracija, tamno sivom – trogodišnji srednjak, te najtamnijom sivom ciljano smanjenje izloženosti	87
Slika 2.4.8 Prostorni prikaz postaja s obzirom na analizu donje i gornje granice procjene. Crvenom bojom označene su postaje s vrijednostima iznad gornjeg praga procjene. Žutom bojom označene su postaje s vrijednostima ispod gornjeg praga procjene. Zelenom bojom označene su postaje s vrijednostima ispod donjeg praga procjene. Sivom bojom označene su postaje na kojima nije zadovoljen kriterij obuhvata podataka	89
Slika 2.4.9 Prostorna raspodjela prizemnih srednjih godišnjih koncentracija PM _{2.5} (µg/m ³) na području Hrvatske u razdoblju od 2016. – 2020. godine dobivena LOTOS-EUROS kemijskim transportnim modelom 90	
Slika 2.4.10 Prostorna raspodjela prizemnih srednjih mjesečnih koncentracija PM _{2.5} (µg/m ³) na području Hrvatske u razdoblju od 2016. – 2020. godine (petogodišnji prosjek, travanj – rujanj) dobivena LOTOS-EUROS kemijskim transportnim modelom	91
Slika 2.4.11 Prostorna raspodjela prizemnih srednjih mjesečnih koncentracija PM _{2.5} na području Hrvatske u razdoblju od 2016. – 2020. godine (petogodišnji prosjek, listopad – ožujak) dobivena LOTOS-EUROS kemijskim transportnim modelom	92
Slika 2.4.12 Kartogram ocjena razina onečišćenosti s PM _{2.5} po svim zonama i aglomeracijama obzirom na zaštitu zdravlja ljudi.....	94
Slika 2.5.1 Emisije NMVOC-ova u Hrvatskoj raspodijeljene po GNFR sektorima u razdoblju 1990. – 2019. godine izražene u tonama	96
Slika 2.5.2 Prostorna razdioba emisija NMVOC na području Hrvatske u 2015. godini (slika lijevo) i 2019. godini (slika desno)	97
Slika 2.5.3 Prostorni raspored postaja na kojima se provode mjerenja koncentracija prizemnog ozona.....	98
Slika 2.5.4 Godišnji broj dana s prekoračenjem najviše osmosatne srednje dnevne vrijednosti. Crvena linija označava broj dozvoljenih prekoračenja (25)	100
Slika 2.5.5 Godišnje vrijednosti i pripadni srednjaci AOT40 parametra za zaštitu vegetacije. Crvenom linijom označena je ciljna vrijednost od 18 000 µg/m ³ h, a zelenom, dugoročni cilj koji iznosi 6 000 µg/m ³ h.....	104
Slika 2.5.6 Prostorna raspodjela prizemnih srednjih godišnjih koncentracija O ₃ (µg/m ³) na području Hrvatske u razdoblju od 2016. – 2020. godine dobivena LOTOS-EUROS kemijskim transportnim modelom	106
Slika 2.5.7 Prostorna raspodjela prizemnih srednjih mjesečnih koncentracija O ₃ (µg/m ³) na području Hrvatske u razdoblju od 2016. – 2020. godine (petogodišnji prosjek, travanj – rujanj) dobivena LOTOS-EUROS kemijskim transportnim modelom.....	107



Slika 2.5.8 Prostorna raspodjela prizemnih srednjih mjesečnih koncentracija O ₃ na području Hrvatske u razdoblju od 2016. – 2020. godine (petogodišnji prosjek, listopad – ožujak) dobivena LOTOS-EUROS kemijskim transportnim modelom	108
Slika 2.5.9 Kartogram ocjena razina onečišćenosti s O ₃ po svim zonama i aglomeracijama obzirom na zaštitu zdravlja ljudi.....	110
Slika 2.6.1 Prostorni raspored postaja državne mreže za trajno praćenje kvalitete zraka na kojima se provode mjerenja koncentracije benzena.....	112
Slika 2.6.2 Srednja godišnja vrijednost koncentracija benzena u razdoblju 2016. – 2020. godine. Crvenom linijom je označena granična vrijednost (GV = 5 µg/m ³).....	113
Slika 2.6.3 Prostorni raspored postaja u državnoj mreži za trajno praćenje kvalitete zraka. Zelenom bojom označene su postaje na kojima granična vrijednost nije prekoračena u razdoblju 2016. – 2020. godine, crvenom bojom postaje na kojima je granična vrijednost prekoračena, a sivom bojom postaje sa obuhvatom podataka mjerenja manjim od 85 %.....	113
Slika 2.6.4 Prostorni prikaz postaja s obzirom na analizu donje i gornje granice procjene. Crvenom bojom označene su postaje s vrijednostima iznad gornjeg praga procjene. Žutom bojom označene su postaje s vrijednostima ispod gornjeg praga procjene. Zelenom bojom označene su postaje s vrijednostima ispod donjeg praga procjene. Sivom bojom označene su postaje na kojima nije zadovoljen kriterij obuhvata podataka	115
Slika 2.6.5 Kartogram ocjena razina onečišćenosti benzenom po svim zonama i aglomeracijama obzirom na zaštitu zdravlja ljudi.....	116
Slika 2.7.1 Emisije CO u Hrvatskoj raspodijeljene po GNFR sektorima u razdoblju 1990. – 2019. godine izražene u tonama.....	117
Slika 2.7.2 Prostorna razdioba emisija CO na području Hrvatske u 2015. godini (slika lijevo) i 2019. godini (slika desno).....	118
Slika 2.7.3 Prostorni raspored postaja na kojima se provode mjerenja ugljikovog monoksida (CO)	119
Slika 2.7.4 Najviše dnevne osmosatne koncentracije CO na postajama državne mreže za trajno praćenje kvalitete zraka u razdoblju od 2016. – 2020. godine. Crvenom linijom označena je granična vrijednost za ugljikov monoksid propisana Uredbom (10 mg/m ³)	120
Slika 2.7.5 Prostorna raspodjela prizemnih srednjih godišnjih koncentracija CO (mg/m ³) na području Hrvatske u razdoblju od 2016. – 2020. godine dobivena LOTOS-EUROS kemijskim transportnim modelom	122
Slika 2.7.6 Prostorna raspodjela prizemnih srednjih mjesečnih koncentracija CO (mg/m ³) na području Hrvatske u razdoblju od 2016. – 2020. godine (petogodišnji prosjek, travanj – rujanj) dobivena LOTOS-EUROS kemijskim transportnim modelom	123
Slika 2.7.7 Prostorna raspodjela prizemnih srednjih mjesečnih koncentracija CO (mg/m ³) na području Hrvatske u razdoblju od 2016. – 2020. godine (petogodišnji prosjek, listopad – ožujak) dobivena LOTOS-EUROS kemijskim transportnim modelom	124
Slika 2.7.8 Kartogram ocjena razina onečišćenosti s CO po svim zonama i aglomeracijama obzirom na zaštitu zdravlja ljudi.....	126
Slika 2.8.1 Prostorni raspored postaja na kojima se provode mjerenja sumporovodika	127
Slika 2.8.2 Broj prekoračenja dnevne GV za sumporovodik na postajama državne mreže za trajno praćenje kvalitete zraka u razdoblju 2016. – 2020. godine. Crvenom linijom označen je dozvoljen broj prekoračenja (7)	129



Slika 2.8.3 Broj prekoračenja satne GV za sumporovodik na postajama državne mreže za trajno praćenje kvalitete zraka u razdoblju 2016. – 2020. godine. Crvenom linijom označen je dozvoljen broj prekoračenja (24)	129
Slika 2.8.4 Kartogram ocjena razina onečišćenosti sa H ₂ S po svim zonama i aglomeracijama obzirom na zaštitu zdravlja ljudi.....	130
Slika 2.9.1 Emisije NH ₃ u Hrvatskoj raspodijeljene po GNFR sektorima u razdoblju 1990. – 2019. godine izražene u tonama	131
Slika 2.9.2 Prostorna razdioba emisija NH ₃ na području Hrvatske u 2015. godini (slika lijevo) i 2019. godini (slika desno)	132
Slika 2.9.3 Kartogram ocjena razina onečišćenosti s NH ₃ po svim zonama i aglomeracijama obzirom na zaštitu zdravlja ljudi.....	133
Slika 2.10.1 Emisije B(a)P u Hrvatskoj raspodijeljene po GNFR sektorima u razdoblju 1990. – 2019. godine izražene u tonama	134
Slika 2.10.2 Prostorna razdioba emisija PAU-ova na području Hrvatske u 2015. godini (slika lijevo) i 2019. godini (slika desno)	135
Slika 2.10.3 Prostorni raspored postaja na kojima se provode mjerenja benzo(a)pirena.....	136
Slika 2.10.4 Srednje godišnje vrijednosti koncentracija benzo(a)pirena u razdoblju 2016. – 2020 (zaokružene na cijeli broj). Crvenom linijom označena je propisana ciljna vrijednost za benzo(a)piren (ng/m ³)	137
Slika 2.10.5 Rezultati analize gornjeg i donjeg praga procjene za benzo(a)piren na raspoloživim mjernim mjestima na prostoru Republike Hrvatske. Gornji prag procjene prekoračen je na svim raspoloživim mjernim mjestima u zoni HR 02 i aglomeraciji HR ZG.....	138
Slika 2.10.6 Prostorna raspodjela prizemnih srednjih godišnjih koncentracija benzo(a)pirena u PM ₁₀ (ng/m ³) na području Hrvatske u razdoblju od 2016. – 2019. godine dobivena MSCE-HM modelom	139
Slika 2.10.7 Kartogram ocjena razina onečišćenosti s B(a)P po svim zonama i aglomeracijama obzirom na zaštitu zdravlja ljudi.....	141
Slika 2.11.1 Emisije teških metala u Hrvatskoj raspodijeljene po GNFR sektorima u razdoblju 1990. – 2019. godine izražene u tonama	143
Slika 2.11.2 Prostorna razdioba emisija olova (Pb) na području Hrvatske u 2019. godini (slika lijevo) i kadmija (Cd) – slika desno	144
Slika 2.11.3 Prostorni raspored postaja na kojima se provode mjerenja teških metala.....	145
Slika 2.11.4 Prostorna raspodjela prizemnih srednjih godišnjih koncentracija olova (Pb) (ng/m ³) na području Hrvatske u razdoblju od 2016. – 2019. godine dobivena MSCE-HM modelom	147
Slika 2.11.5 Prostorna raspodjela prizemnih srednjih godišnjih koncentracija kadmija (Cd) (ng/m ³) na području Hrvatske u razdoblju od 2016. – 2019. godine dobivena MSCE-HM modelom	148
Slika 2.11.6 Kartogram ocjena razina onečišćenosti teškim metalima (Pb, As, Cd, Ni) po svim zonama i aglomeracijama obzirom na zaštitu zdravlja ljudi.....	150
Slika 2.12.1 Emisije žive (Hg) u Hrvatskoj raspodijeljene po GNFR sektorima u razdoblju 1990. – 2019. godine	151
Slika 2.12.2 Prostorna razdioba emisija žive (Hg) na području Hrvatske u 2015. godini (slika lijevo) i 2019. godini (slika desno)	152



Slika 2.12.3 Prostorna raspodjela prizemnih srednjih godišnjih koncentracija žive (Hg) ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) na području Hrvatske u razdoblju od 2016. – 2019. godine dobivena MSCE-HM modelom	153
Slika 2.12.4 Kartogram ocjena razina onečišćenosti živom po svim zonama i aglomeracijama obzirom na zaštitu zdravlja ljudi.....	155
Slika 3.1 Klasifikacija ocjena klimatskih prilika (uz Slika 3.1.1 i Slika 3.2.1) prikazanih kroz odstupanje srednje godišnje temperature zraka i godišnje količine oborine prema raspodjeli percentila (Praćenje klime, DHMZ, www.meteo.hr)	156
Slika 3.1.1 Odstupanje srednjih godišnjih temperatura zraka ($^{\circ}\text{C}$) od prosječnih vrijednosti referentnog klimatološkog razdoblja te percentili za 2015., 2016., 2017., 2018., 2019. i 2020. godinu (Praćenje klime, DHMZ, www.meteo.hr)	157
Slika 3.1.2 Srednja godišnja temperatura zraka ($^{\circ}\text{C}$) na postaji Zagreb-Maksimir u razdoblju 1949. – 2018. godine i pripadajući trend (DHMZ, 2021., www.meteo.hr)	158
Slika 3.2.1 Odstupanje godišnje količine oborine (%) od prosječnih vrijednosti referentnog klimatološkog razdoblja te percentili za 2015., 2016., 2017., 2018., 2019. i 2020. godinu (Praćenje klime, DHMZ, www.meteo.hr)	159
Slika 3.3.1 Srednja godišnja brzina vjetra (m/s) na visini 10 m iznad tla. (Atlas vjetra, DHMZ, www.meteo.hr)	160
Slika 3.3.2 Ruže čestine smjera i brzine vjetra na postajama Osijek 1, Slavonski Brod 1 i Kopački rit u razdoblju 2016. – 2020. godine.....	161
Slika 4.1 Srednja godišnja količina oborine na području Republike Hrvatske za klimatsko razdoblje 1971. – 2000. (DHMZ, Klima Hrvatske, www.meteo.hr).....	165
Slika 4.2 Mreža meteoroloških postaja za praćenje kvalitete oborine u razdoblju od 2017.–2020. godine (uz naznačene zone i aglomeracije) i mreža EMEP MSC-W kemijskog transportnog modela rezolucije $0.1^{\circ} \times 0.1^{\circ}$ za proračun pozadinskih vrijednosti koncentracija onečišćujućih tvari u zraku i oborini.....	166
Slika 4.3 Prostorna razdioba srednjih godišnjih volumno otežanih koncentracija sulfatnih (SO_4^{2-}), nitratnih (NO_3^-) i amonij (NH_4^+) iona u oborini za razdoblje 2016. – 2020., izraženih u mg/l i izračunatih na osnovi mjerenja količine oborine i određivanje kemijskog sastava oborine na postajama DHMZ-a.....	168
Slika 4.4 Prostorna razdioba srednjeg godišnjeg suhog taloženja oksidiranih spojeva sumpora (SO_x), oksidiranih spojeva dušika (NO_x), i reduciranih spojeva dušika (NH_x) za razdoblje 2016. – 2019. izraženih u mg/m^2 dobivena proračunom EMEP MSC-W modela. Prostorna razdioba godišnje količine oborine dana je radi usporedbe	169
Slika 4.5 Prostorna razdioba srednjeg godišnjeg taloženja oksidiranih sumporovih spojeva (SO_x) za razdoblje 2016. – 2020. izražena u mg/m^2 : ukupno (suho i mokro taloženje) prema proračunu EMEP MSC-W modela; mokro taloženje prema proračunu EMEP MSC-W modela; mokro taloženje (zajednički prikaz proračuna EMEP MSC-W modela i mjerenja na postajama DHMZ-a i mokro taloženje prema rezultatima mjerenja na postajama DHMZ-a	171
Slika 4.6 Prostorna razdioba srednjeg godišnjeg taloženja oksidiranih dušikovih spojeva (NO_x) za razdoblje 2016. – 2020. izražena u mg/m^2 : ukupno (suho i mokro taloženje) prema proračunu EMEP MSC-W modela; mokro taloženje prema proračunu EMEP MSC-W modela; mokro taloženje (zajednički prikaz proračuna EMEP MSC-W modela i mjerenja na postajama DHMZ-a i mokro taloženje prema rezultatima mjerenja na postajama DHMZ-a	172
Slika 4.7 Prostorna razdioba srednjeg godišnjeg taloženja reduciranih dušikovih spojeva (NH_x) za razdoblje 2016. – 2020. izražena u mg/m^2 : ukupno (suho i mokro taloženje) prema proračunu EMEP MSC-W modela; mokro taloženje prema proračunu EMEP MSC-W modela; mokro taloženje (zajednički prikaz proračuna EMEP	



MSC-W modela i mjerenja na postajama DHMZ-a i mokro taloženje prema rezultatima mjerenja na postajama DHMZ-a	173
Slika 4.8 Godišnje taloženje iona sulfata, nitrata i amonija u razdoblju 2005. – 2020. prema izmjerenim koncentracijama na postajama mreže za praćenje kvalitete oborine u Republici Hrvatskoj.....	174
Slika 4.9 Usporedni prikaz mokrog taloženja (modelirane i izmjerene vrijednosti) sumporovih i dušikovih spojeva uz godišnju količinu oborine na području Hrvatske u razdoblju 2016. – 2020.....	176
Slika 5.1 Relativni doprinos različitih sektora emisijskih izvora koncentracijama NO ₂ na odabranim lokacijama u Hrvatskoj za 2018. godinu proračunat LOTOS-EUROS modelom (labeling metoda)	178
Slika 5.2 Relativni doprinos različitih sektora emisijskih izvora koncentracijama PM ₁₀ na odabranim lokacijama u Hrvatskoj za 2018. godinu proračunat LOTOS-EUROS modelom (labeling metoda)	179
Slika 6.1 Geografski smještaj pozadinske postaje Desinić u odnosu na aglomeraciju Zagreb, te položaj gradskih prometnih postaja Zagreb-1 (prometni centar grada) i Zagreb-3 (izvan prometnog centra grada) u gradu Zagrebu.....	181
Slika 6.2 Dnevni, mjesečni i tjedni hod koncentracije lebdećih čestica PM ₁₀ za postaje Zagreb-1 (gradska-prometna postaja u centru grada, prometno žarište), Zagreb-3 (gradska prometna postaja izvan prometnog centra) i Desinić (ruralna-pozadinska postaja, 40 km sjeverozapadno od grada), prosjek za razdoblje 2011. – 2018. godine	182
Slika 6.3 Emisije dušikovih oksida (NO _x izražen kao NO ₂) u aglomeraciji Zagreb prema službenom emisijskom inventaru za 2015. godinu (rezolucija 500 m x 500 m).....	183
Slika 6.4 Prostorna raspodjela prizemnih srednjih godišnjih koncentracija PM ₁₀ na području Zagreba u 2017. godini prema proračunu ADMS-Urban modela uz srednje godišnje koncentracije PM ₁₀ izračunate prema izmjerenim koncentracijama na postajama državne mreže za trajno praćenje kvalitete zraka te lokalnih mreža u gradu Zagrebu.....	184
Slika 6.5 Prostorna raspodjela prizemnih srednjih godišnjih koncentracija NO ₂ na području Zagreba u 2017. godini prema proračunu ADMS-Urban modela uz srednje godišnje koncentracije NO ₂ izračunate prema izmjerenim koncentracijama na postajama državne mreže za trajno praćenje kvalitete zraka te lokalnih mreža u gradu Zagrebu.....	184
Slika 6.6 Ruža čestine smjera i brzine vjetra na postaji Zagreb-Maksimir za 2017. godinu (ADMS-Urban) ..	185
Slika 6.7 Grafovi raspršenja satnih vrijednosti koncentracija lebdećih čestica – PM ₁₀ (lijevo) i dušikovog dioksida – NO ₂ (desno). Modelirane vrijednosti su na ordinati, a izmjerene na apscisi.....	185
Slika 6.8 Kalendar srednjih dnevnih koncentracija lebdećih čestica PM ₁₀ u 2017. godini na postaji Zagreb-1. Vrijednosti iznad 50 µg/m ³ (granična vrijednost prema Uredbi o razinama onečišćujućih tvari u zraku, ne smije se prekoračiti više od 35 puta godišnje) su prikazane narančastom, a epizode iznad 100 µg/m ³ crvenom bojom.	186
Slika Prilog 3.1 Target dijagram (gore) i Taylorov dijagram (dolje) – usporedba izmjerenih prizemnih koncentracija dušikovog dioksida i modeliranih vrijednosti (LOTOS-EUROS)	191
Slika Prilog 3.2 Target dijagram (gore) i Taylorov dijagram (dolje) – usporedba izmjerenih prizemnih koncentracija ozona i modeliranih vrijednosti (LOTOS-EUROS)	192
Slika Prilog 3.3 Target dijagram (gore) i Taylorov dijagram (dolje) – usporedba izmjerenih prizemnih koncentracija lebdećih čestica PM ₁₀ i modeliranih vrijednosti (LOTOS-EUROS).....	193
Slika Prilog 3.4 Target dijagram (gore) i Taylorov dijagram (dolje) – usporedba izmjerenih prizemnih koncentracija lebdećih čestica PM _{2.5} i modeliranih vrijednosti (LOTOS-EUROS).....	194



Popis tablica

Tablica A Ocjena razine onečišćenosti prema kritičnim razinama za vegetaciju u razdoblju 2016. – 2020. godine prema važećim zonama. Kritične razine za vegetaciju se ne primjenjuju na područja aglomeracija III

Tablica B Ocjena razine onečišćenosti prema granicama procjene i ciljnoj vrijednosti (dugoročnom cilju) za ozon obzirom na zdravlje ljudi u razdoblju 2016. – 2020. godine prema važećim zonama i aglomeracijama uz bojom naznačenu promjenu u odnosu na važeću Uredbu (NN 1/2014) VIII

Tablica C Ocjena razine onečišćenosti prema kritičnim razinama za vegetaciju u razdoblju 2016. – 2020. godine prema važećim zonama uz bojom naznačenu promjenu u odnosu na važeću Uredbu (NN 1/2014) IX

Tablica D Broj stanovnika po županijama, zonama i aglomeracijama za ocjenu ispunjenja minimalnog broja mjernih mjesta u Državnoj mreži za trajno praćenje kvalitete zraka (izvor: Popis stanovništva 2011., Državni zavod za statistiku) X

Tablica E Najmanji obvezni broj mjernih mjesta mjerenja po zonama i aglomeracijama za ocjenu kvalitete zraka prema uvjetima iz Priloga V. Direktive 2008/50/EK (izvor: Ocjena 2011. – 2015.) XI

Tablica F Najmanji obavezni broj mjernih mjesta mjerenja po zonama i aglomeracijama za ocjenu kvalitete zraka prema uvjetima iz Pravilnika o praćenju kvalitete zraka (NN/72/2020) XI

Tablica 1.1.1 Broj prijevremenih smrti uzrokovan onečišćenjem zraka u 2016. godini na području Europe i Hrvatske prema vrsti onečišćujuće tvari (izvor: EEA, 2019.) 1

Tablica 1.5.1 Onečišćujuće tvari, mjerila za ocjenu kvalitete zraka na području Hrvatske s obzirom na zaštitu zdravlja ljudi, kvalitetu življenja i zaštitu vegetacije, okolišni ciljevi (OC) i mjerne jedinice za izvješćivanje 7

Tablica 1.8.1 Pregled svih mjerenja na mjernim postajama u mreži za praćenje kvalitete zraka 13

Tablica 2.1.1 Obuhvat podataka mjerenja satnih koncentracija sumporovog dioksida na analiziranim postajama u razdoblju 2016. – 2020. godine. Sivom bojom označeni su obuhvati podataka manji od 85 % 33

Tablica 2.1.2 Srednje godišnje vrijednosti koncentracija SO₂ na analiziranim postajama u razdoblju 2016. – 2020. godine. Sa zvjezdicom (*) i sivom bojom označene su vrijednosti gdje je obuhvat podataka manji od 85 % 35

Tablica 2.1.3 Obuhvat podataka mjerenja satnih koncentracija sumporovog dioksida zimskog razdoblja na analiziranim postajama državne mreže u razdoblju 2016. – 2020. godine 36

Tablica 2.1.4 Srednja vrijednosti koncentracija SO₂ zimskog razdoblja u razdoblju 2016. – 2020. godine. Prekoračenja kritične razine (20 µg/m³) za zaštitu vegetacije nije bilo. Zvjezdicom (*) i sivom bojom su označene vrijednosti u slučajevima kada je obuhvat podataka manji od 85 % 36

Tablica 2.1.5 Broj prekoračenja donjeg praga procjene (50 µg/m³, dozvoljeno 3) srednje dnevne vrijednosti koncentracija SO₂ s obzirom na zaštitu zdravlja ljudi u razdoblju 2016. – 2020. godine. Broj dana s prekomjernim prekoračenjem označen je svijetlo plavom bojom, a sivom bojom i zvjezdicom (*) godine kad je obuhvat podataka < 85 % 38

Tablica 2.1.6 Broj prekoračenja gornjeg praga procjene (75 µg/m³, dozvoljeno 3) dnevne koncentracije sumporovog dioksida s obzirom na zaštitu ljudi u razdoblju 2016. – 2020. godine. Broj dana s prekomjernim prekoračenjem označen je tamno plavom bojom, a sivom bojom i * godine kad je obuhvat podataka < 85 % 38

Tablica 2.1.7 Razine onečišćenosti zraka određene prema pragovima procjene te ocjena onečišćenosti za SO₂ s obzirom na zaštitu zdravlja ljudi. Crvenom bojom označena je nesukladnost s ciljevima zaštite okoliša – prekoračenje GV, zelena boja označava sukladnost s ciljevima zaštite okoliša – nije prekoračena GV, dok je sivom označena neocijenjena zona ili aglomeracija 44



- Tablica 2.1.8** Razine onečišćenosti zraka određene prema pragovima procjene te ocjena onečišćenosti za SO₂ s obzirom na zaštitu vegetacije. Crvenom bojom označena je nesukladnost s ciljevima zaštite okoliša – prekoračenje kritične razine, zelena boja označava sukladnost s ciljevima zaštite okoliša – nije prekoračena kritična razina, dok je sivom označena neocijenjena zona ili aglomeracija 45
- Tablica 2.2.1** Obuhvat podataka mjerenja koncentracija dušikovog dioksida na analiziranim postajama u razdoblju 2016. – 2020. godine. Sa (–) označene su godine u kojima nije bilo mjerenja..... 49
- Tablica 2.2.2** Broj prekoračenja satne granične vrijednosti (200 µg/m³) dušikovog dioksida na postajama na kojima je došlo do najmanje jednog prekoračenja u razdoblju 2016. – 2020. godine. Dozvoljeni broj prekoračenja je 18. Zvezdicom su označene godine s obuhvatom manjim od 85 %, a (–) označene su godine u kojima nije bilo mjerenja..... 50
- Tablica 2.2.3** Srednja godišnja vrijednost koncentracije dušikovog dioksida. Prekoračenja donjeg praga procjene godišnjeg (26 µg/m³) su označena svijetlo plavom bojom, a gornjeg – tamno plavom bojom (32 µg/m³). Prekoračenje granične vrijednosti označeno je crvenom bojom. Zvezdicom su označene postaje i razdoblja s obuhvatom podataka manjim od 85 %, a (–) označene su godine u kojima nije bilo mjerenja..... 51
- Tablica 2.2.4** Broj prekoračenja donjeg praga procjene (100 µg/m³, dozvoljeno 18) za satne vrijednosti koncentracija NO₂. Prekoračene vrijednosti su označene svijetlo plavom bojom, a zvezdicom (*) su označene postaje i razdoblja s obuhvatom podataka manjim od 85 %, a (–) označene su godine u kojima nije bilo mjerenja 52
- Tablica 2.2.5** Broj prekoračenja gornjeg praga procjene (140 µg/m³, dozvoljeno 18) iz satnih vrijednosti koncentracija NO₂. Prekoračene vrijednosti su označene tamno plavom bojom, a zvezdicom (*) su označene postaje i razdoblja s obuhvatom podataka manjim od 85 %, a (–) označene su godine u kojima nije bilo mjerenja 53
- Tablica 2.2.6** Srednje godišnje vrijednosti koncentracija **dušikovih oksida (NO_x)**. Prekoračenja donjeg praga procjene (19.5 µg/m³) i gornjeg praga procjene (24 µg/m³) te kritične razine za zaštitu vegetacije (30 µg/m³) nije bilo. Zvezdicom je označen obuhvat podataka manji od 85 %..... 55
- Tablica 2.2.7** Razine onečišćenosti zraka određene prema pragovima procjene te ocjena onečišćenosti za NO₂ s obzirom na zaštitu zdravlja ljudi. Crvenom bojom označena je nesukladnost s ciljevima zaštite okoliša – prekoračenje GV, zelena boja označava sukladnost s ciljevima zaštite okoliša – nije prekoračena GV, dok je sivom označena neocijenjena zona ili aglomeracija 59
- Tablica 2.2.8** Razine onečišćenosti zraka određene prema pragovima procjene te ocjena onečišćenosti za NO_x s obzirom na zaštitu vegetacije. Crvenom bojom označena je nesukladnost s ciljevima zaštite okoliša – prekoračenje kritične razine, zelena boja označava sukladnost s ciljevima zaštite okoliša – nije prekoračena kritična razina, dok je sivom označena neocijenjena zona ili aglomeracija 60
- Tablica 2.3.1** Obuhvat podataka mjerenja koncentracija PM₁₀ na analiziranim postajama u razdoblju 2016. – 2020. godine. Sivom bojom je označen obuhvat manji od 85 %, a (–) označene su godine u kojima nije bilo mjerenja 64
- Tablica 2.3.2** Srednje godišnje vrijednosti PM₁₀ koncentracija za razdoblje 2016. – 2020. godine. Prekoračenja donjeg praga procjene (20 µg/m³) označena su svijetlo plavom, a gornjeg tamno plavom bojom (28 µg/m³). Zvezdicom (*) su naznačene godine u kojima nije bio zadovoljen obuhvat podataka. Oznaka (– *) označava da podataka ima, ali su izostavljeni jer je obuhvat nezadovoljavajući dok (–) označava da nije bilo mjerenja. Crvenom bojom označeno je prekoračenje srednje godišnje koncentracije 65
- Tablica 2.3.3** Broj prekoračenja 24-satne granične vrijednosti (50 µg/m³, dozvoljeno 35) za razdoblje 2016. – 2020. godine za PM₁₀ izmjerenih automatskim mjerenjima i PM₁₀ iz gravimetrijski određenih koncentracija. Prekoračene vrijednosti su označene crvenom bojom, a zvezdicom (*) obuhvat manji od 85 %. Oznaka (– *) označava da podataka ima, ali su izostavljeni jer je obuhvat nezadovoljavajući dok (–) označava da nije bilo mjerenja 68



- Tablica 2.3.4** Broj prekoračenja donjeg praga procjene ($25 \mu\text{g}/\text{m}^3$, dozvoljeno 35) za razdoblje 2016. – 2020. godine za srednju dnevnu vrijednost koncentracija PM_{10} . Prekoračene vrijednosti su označene svijetlo plavom bojom dok su sa zvjezdicom (*) označene postaje i razdoblja s nedovoljnim obuhvatom podataka ($< 85\%$). Oznaka (–*) označava da podataka ima, ali su izostavljeni jer je obuhvat nezadovoljavajući dok (–) označava da nije bilo mjerenja 71
- Tablica 2.3.5** Broj prekoračenja gornjeg praga procjene ($35 \mu\text{g}/\text{m}^3$, dozvoljeno 35) za razdoblje 2016. – 2020. godine za srednje dnevne vrijednosti koncentracije PM_{10} . Prekoračene vrijednosti su označene tamno plavom bojom dok su sa zvjezdicom (*) označene postaje i razdoblja s nedovoljnim obuhvatom podataka ($< 85\%$). Oznaka (–*) označava da podataka ima, ali su izostavljeni jer je obuhvat nezadovoljavajući dok (–) označava da nije bilo mjerenja 72
- Tablica 2.3.6** Razine onečišćenosti zraka određene prema pragovima procjene te ocjena onečišćenosti za NO_2 s obzirom na zaštitu zdravlja ljudi. Crvenom bojom označena je nesukladnost s ciljevima zaštite okoliša – prekoračenje GV, zelena boja označava sukladnost s ciljevima zaštite okoliša – nije prekoračena GV, dok je sivom označena neocijenjena zona ili aglomeracija80
- Tablica 2.4.1** Obuhvat podataka mjerenja koncentracija $\text{PM}_{2.5}$ na postajama državne mreže za trajno praćenje kvalitete zraka i lokalnim postajama u razdoblju 2016. – 2020. Oznaka (–) označava da nije bilo mjerenja ..84
- Tablica 2.4.2** Srednje godišnje vrijednosti koncentracija $\text{PM}_{2.5}$ za razdoblje 2016. – 2020. godine. Prekoračenja donjeg praga procjene ($12 \mu\text{g}/\text{m}^3$) označena su svijetlo plavom bojom, a prekoračenja gornjeg praga ($17 \mu\text{g}/\text{m}^3$) tamno plavom. Crvenom su označena prekoračenja granične vrijednosti ($25 \mu\text{g}/\text{m}^3$), a zvjezdicom postaje čiji je obuhvat podataka manji od 85% . Oznaka (–) označava da nije bilo mjerenja..... 88
- Tablica 2.4.3** Razine onečišćenosti zraka određene prema pragovima procjene te ocjena onečišćenosti za $\text{PM}_{2.5}$ s obzirom na zaštitu zdravlja ljudi. Crvenom bojom označena je nesukladnost s ciljevima zaštite okoliša – prekoračenje GV, zelena boja označava sukladnost s ciljevima zaštite okoliša – nije prekoračena GV, dok je sivom označena neocijenjena zona ili aglomeracija 94
- Tablica 2.5.1** Obuhvat podataka mjerenja (%) koncentracija ozona na mjernim postajama u razdoblju 2016. – 2020. godine. Sivom bojom označeni su obuhvati manji od 85% . Oznaka (–) označava da nije bilo mjerenja 99
- Tablica 2.5.2** Broj prekoračenja ciljne vrijednosti ($120 \mu\text{g}/\text{m}^3$, dozvoljeno 25) najviših dnevnih osmosatnih srednjih vrijednosti ozona po godinama za razdoblje 2016. – 2020. godine, po godinama (lijevo) i usrednjeno na 3 godine (desno). Crveno su osjenčane vrijednosti s prekoračenim ciljnim vrijednostima za ozon, a sa zvjezdicom (*) obuhvat podataka manji od 85% . Oznaka (–) označava da nije bilo mjerenja, a (–*) označava da podataka ima, ali su izostavljeni jer je obuhvat nezadovoljavajući ili podaci kojih ima nisu mjerodavni 101
- Tablica 2.5.3** Postaje i termini u kojima je satna koncentracija ozona bila iznad $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (prag obavješćivanja za ozon) i izmjerene vrijednosti koncentracija u tim terminima 103
- Tablica 2.5.4** AOT40 po godinama i za razdoblje 2016. – 2020. godine na raspoloživim podacima analiziranih postaja. Vrijednosti više od ciljne vrijednosti za zaštitu vegetacije ($18\,000 \mu\text{g}/\text{m}^3 \text{ h}$) označene su crveno, sivo su označene vrijednosti ispod dugoročnog cilja ($6000 \mu\text{g}/\text{m}^3 \text{ h}$), a sa zvjezdicom (*) obuhvat podataka $< 85\%$ 105
- Tablica 2.5.5** Razine onečišćenosti zraka određene prema pragovima procjene te ocjena onečišćenosti za O_3 s obzirom na zaštitu zdravlja ljudi. Crvenom bojom označena je nesukladnost s ciljevima zaštite okoliša – prekoračenje ciljne vrijednosti – CV, tj. dugoročnog cilja – DC, zelena boja označava sukladnost s ciljevima zaštite okoliša – nije prekoračena CV (tj. DC), dok je sivom označena neocijenjena zona ili aglomeracija109
- Tablica 2.5.6** Razine onečišćenosti zraka određene prema pragovima procjene te ocjena onečišćenosti za O_3 s obzirom na zaštitu vegetacije. Crvenom bojom označena je nesukladnost s ciljevima zaštite okoliša – prekoračenje CV za AOT40, zelena boja označava sukladnost s ciljevima zaštite okoliša – nije prekoračena CV, dok je sivom označena neocijenjena zona..... 110



Tablica 2.6.1 Obuhvat podataka mjerenja koncentracija benzena na postajama državne mreže za trajno praćenje kvalitete zraka u razdoblju 2016. – 2020. godine. Sivom bojom naznačen je obuhvat manji od 85 %. Oznaka (–) označava da nije bilo mjerenja..... 112

Tablica 2.6.2 Srednje godišnje vrijednosti koncentracija benzena za razdoblje 2016. – 2020. godine. Prekoračenja donjeg praga procjene ($2 \mu\text{g}/\text{m}^3$) su označene svijetlo plavom bojom, a prekoračenja gornjeg praga procjene tamno plavom bojom ($3.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Nedostatan obuhvat podataka ($< 85 \%$) označen je sa zvjezdicom, oznaka (–) označava da nije bilo mjerenja, a (– *) označava da podataka ima, ali su izostavljeni jer je obuhvat nezadovoljavajući ili podaci kojih ima nisu mjerodavni..... 114

Tablica 2.6.3 Razine onečišćenosti zraka određene prema pragovima procjene te ocjena onečišćenosti za C_6H_6 s obzirom na zaštitu zdravlja ljudi. Crvenom bojom označena je nesukladnost s ciljevima zaštite okoliša – prekoračenje GV, zelena boja označava sukladnost s ciljevima zaštite okoliša – nije prekoračena GV, dok je sivom označena neocijenjena zona ili aglomeracija 116

Tablica 2.7.1 Obuhvat podataka mjerenja satnih koncentracija ugljikovog monoksida (CO) na postajama državne mreže u razdoblju 2016. – 2020. godine. Sivo su označeni obuhvati manji od 85 %..... 119

Tablica 2.7.2 Najviši dnevni osmosatni pomični srednjaci na razini godine dana za razdoblje 2016. – 2020. godine. Svijetlo plavom bojom označena su prekoračenja donje granice procjene, a sa zvjezdicom (*) obuhvat podataka manji od 85 %..... 121

Tablica 2.7.3 Razine onečišćenosti zraka određene prema pragovima procjene te ocjena onečišćenosti za CO s obzirom na zaštitu zdravlja ljudi. Crvenom bojom označena je nesukladnost s ciljevima zaštite okoliša – prekoračenje GV, zelena boja označava sukladnost s ciljevima zaštite okoliša – nije prekoračena GV, dok je sivom označena neocijenjena zona ili aglomeracija 125

Tablica 2.8.1 Obuhvat podataka mjerenja sumporovodika na postajama državne mreže u razdoblju 2016. – 2020. godine (%). Sivom bojom označene su godine i postaje sa obuhvatom podataka manjim od 85 %..... 128

Tablica 2.8.2 Broj prekoračenja dnevne granične vrijednosti ($5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, dozvoljeno 7) koncentracije sumporovodika u razdoblju 2016. – 2020. godine na postajama državne mreže za trajno praćenje kvalitete zraka. Prekoračenje dozvoljenog broja dnevne GV u kalendarskoj godini prikazano je crvenom bojom, zvjezdicom (*) godine s obuhvatom podataka manjim od 85 %..... 128

Tablica 2.8.3 Broj prekoračenja satne granične vrijednosti ($7 \mu\text{g}/\text{m}^3$, dozvoljeno 24) koncentracije sumporovodika u razdoblju 2016. – 2020. godine na postajama državne mreže za trajno praćenje kvalitete zraka. Prekoračenje dozvoljenog broja satne GV u kalendarskoj godini prikazano je crvenom bojom, zvjezdicom (*) godine s obuhvatom podataka manjim od 85 %..... 129

Tablica 2.9.1 Obuhvat podataka mjerenja satnih koncentracija amonijaka (%) i broj prekoračenja srednje dnevne vrijednosti koncentracija ($100 \mu\text{g}/\text{m}^3$, dozvoljeno 7 puta) na postaji Kutina-1. Prekoračene vrijednosti označene su crvenom bojom. Sivom bojom naznačene su godine s obuhvatom podataka manjim od 85 %. Oznaka (–) označava da nije bilo mjerenja..... 132

Tablica 2.10.1 Obuhvat podataka mjerenja koncentracija benzo(a)pirena u PM_{10} na analiziranim postajama u razdoblju 2016. – 2020. godine. Sivom bojom je označen obuhvat manji od 85 %..... 136

Tablica 2.10.2 Srednje godišnje vrijednosti koncentracija benzo(a)pirena u PM_{10} za razdoblje 2016. – 2020. godine. Srednje godišnje vrijednosti koje su prekoračile ciljnu vrijednost od $1 \text{ ng}/\text{m}^3$ označene su crvenom bojom. Pri tom se gleda zaokružena vrijednost srednje godišnje koncentracije na jednaki broj decimalnih mjesta koliko ih ima propisana ciljna vrijednost137

Tablica 2.10.3 Srednje godišnje vrijednosti koncentracija benzo(a)pirena za razdoblje 2016. – 2020. godine. Donji prag procjene iznosi $0.4 \text{ ng}/\text{m}^3$, a gornji $0.6 \text{ ng}/\text{m}^3$. Svijetlo plavom bojom označene su godine u kojima je došlo do prekoračenja donjeg, a tamno plavom gornjeg praga procjene..... 138



Tablica 2.10.4 Razine onečišćenosti zraka određene prema pragovima procjene te ocjena onečišćenosti za B(a)P u PM ₁₀ s obzirom na zaštitu zdravlja ljudi. Crvenom bojom označena je nesukladnost s ciljevima zaštite okoliša – prekoračenje CV, zelena boja označava sukladnost s ciljevima zaštite okoliša – nije prekoračena CV, dok je sivom označena neocijenjena zona ili aglomeracija	140
Tablica 2.11.1 Granične vrijednosti srednjih godišnjih koncentracija teških metala u lebdećim česticama prema Uredbi o razinama onečišćujućih tvari u zraku (NN 77/20)	145
Tablica 2.11.2 Srednje godišnje vrijednosti koncentracija olova (ng/m ³) za razdoblje 2016. – 2020. godine. Donji prag procjene iznosi 250 ng/m ³ , a gornji 350 ng/m ³	146
Tablica 2.11.3 Srednje godišnje vrijednosti koncentracija arsena (ng/m ³) za razdoblje 2016. – 2020. godine. Donji prag procjene iznosi 2.4 ng/m ³ , a gornji 3.6 ng/m ³	146
Tablica 2.11.4 Srednje godišnje vrijednosti koncentracija kadmija (ng/m ³) za razdoblje 2016. – 2020. godine. Donji prag procjene iznosi 2 ng/m ³ , a gornji 3 ng/m ³	146
Tablica 2.11.5 Srednje godišnje vrijednosti koncentracija nikla (ng/m ³) za razdoblje 2016. – 2020. godine. Donji prag procjene iznosi 10 ng/m ³ , a gornji 14 ng/m ³	147
Tablica 2.11.6 Razine onečišćenosti zraka određene prema pragovima procjene te ocjena onečišćenosti za teške metale (Pb, As, Cd, Ni) s obzirom na zaštitu zdravlja ljudi. Crvenom bojom označena je nesukladnost s ciljevima zaštite okoliša – prekoračenje GV, zelena boja označava sukladnost s ciljevima zaštite okoliša – nije prekoračena GV, dok je sivom označena neocijenjena zona ili aglomeracija	149
Tablica 2.12.1 Srednje godišnje validiranih satnih vrijednosti koncentracija žive (µg/m ³) za razdoblje 2016. – 2020. godine	153
Tablica 2.12.2 Razine onečišćenosti zraka određene prema pragovima procjene te ocjena onečišćenosti za živu (Hg) s obzirom na zaštitu zdravlja ljudi. Crvenom bojom označena je nesukladnost s ciljevima zaštite okoliša – prekoračenje GV, zelena boja označava sukladnost s ciljevima zaštite okoliša – nije prekoračena GV, dok je sivom označena neocijenjena zona ili aglomeracija	154
Tablica 5.1 Detaljan prikaz doprinosa sektora koncentracijama NO ₂ u Hrvatskoj za 2018. godinu (LE model)	179
Tablica 5.2 Detaljan prikaz doprinosa sektora koncentracijama PM ₁₀ u Hrvatskoj za 2018. godinu (LE model)	180
Tablica Prilog 1.1 Obuhvat podataka aniona i kationa u PM _{2.5} u razdoblju 2016. – 2020	187
Tablica Prilog 1.2 Srednje godišnje koncentracije aniona i kationa u PM _{2.5} u razdoblju 2016. – 2020	188
Tablica Prilog 2.1 Obuhvat podataka elementnog i organskog ugljika u PM _{2.5} u razdoblju 2016. – 2020	189
Tablica Prilog 2.2 Srednje godišnje koncentracije elementarnog i organskog ugljika u PM _{2.5} u razdoblju 2016. – 2020	189