

**Sveučilište u Zagrebu**

**Geodetski fakultet**

Veronika Ilić

**ANALIZA EMISIJE IZ NEPOKRETNIH IZVORA I UTJECAJA NA OKOLIŠ  
METODAMA DALJINSKIH ISTRAŽIVANJA**

Zagreb, 2021.

Ovaj rad izrađen je na Geodetskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu, Zavodu za kartografiju i fotogrametriju, Katedri za fotogrametriju i daljinska istraživanja, pod vodstvom doc. dr. sc. Matea Gašparovića te je predan na natječaj za dodjelu Rektorove nagrade Sveučilišta u Zagrebu u akademskoj godini 2020./2021.

## Popis i objašnjenje kratica korištenih u radu

CO	ugljkov monoksid
DEM	digitalni model visina (engl. Digital elevation model)
DOS1	atmosferska korekcija (engl. Dark Object Subtraction)
DU	Dobsonova jedinica (engl. Dobson unit)
EEA	Europska agencija za okoliš (engl. European Environment Agency)
EMEP	Europski program praćenja i evaluacije (engl. European Monitoring and Evaluation Programme)
GHG	staklenički plinovi (engl. Greenhouse gas)
HCHO	formaldehid
LANDSAT	Landsat (engl. Land Remote-Sensing Satellite)
LST	temperatura površine tla (engl. Land surface temperature)
NDVI	normalizirani indeks vegetacijske razlike (engl. Normalized difference vegetation indeks)
NIR	blisko infracrveno područje (engl. Near Infrared)
NO <sub>2</sub>	dušikov dioksid
O <sub>3</sub>	ozon
OLI/TIRS	operativni zemaljski snimač / termalni infracrveni senzor (engl. Operational Land Imager / Thermal Infrared Sensor)
OMI	instrument za nadzor ozona (engl. Ozone Monitoring Instrument)
PM	lebdeće čestice (engl. Particulate Matter)
QGIS	geografski informacijski sustav (engl. Quantum GIS)
SO <sub>2</sub>	sumporov dioksid
SRTM	radarska topografska misija (engl. Shuttle Radar Topography Mission)
TM	tematski kartograf (engl. Thematic Mapper)

TOA	planetarni odsjaj vrha atmosfere (engl. Top of the Atmosphere)
TROPOMI	instrument za praćenje troposfere (engl. Tropospheric Monitoring Instrument)
UHI	urbani toplinski otok (engl. Urban heat island)
USGS	Agencija za geologiju Sjedinjenih Američkih država (engl. United States Geological Survey)
WFS	mrežni servis za vektorske podatke (Web Feature Service)
WHO	Svjetska zdravstvena organizacija (engl. World Health Organization)
WMS	mrežni kartografski servis (engl. Web Map Service)

## Sadržaj

<b>1. Uvod</b> .....	1
<b>1.1. Pregled dosadašnjih istraživanja</b> .....	3
<b>1.2. Područje istraživanja</b> .....	5
<b>2. Opći i specifični ciljevi rada</b> .....	7
<b>3. Materijal i metode</b> .....	8
<b>3.1. Daljinska istraživanja</b> .....	8
<b>3.2. Izvor podataka</b> .....	9
<b>3.3. Obrada rasterskih podataka</b> .....	11
<b>3.4. Računanje LST</b> .....	13
<b>3.5. Određivanje godišnje koncentracije lebdećih čestica</b> .....	17
<b>3.6. Korišteni softver i formati podataka</b> .....	17
<b>4. Rezultati</b> .....	19
<b>5. Rasprava</b> .....	43
<b>6. Zaključak</b> .....	46
<b>Zahvala</b> .....	47
<b>Popis literature</b> .....	48
<b>Sažetak</b> .....	56
<b>Summary</b> .....	57
<b>Životopis</b> .....	58

## 1. Uvod

Pojam onečišćenje zraka veže se uz odstupanje sastava zraka zbog prisutnosti onečišćujućih tvari u onoj koncentraciji koja ne uzrokuje štetu za živa bića i okoliš. Suprotno onečišćenju zraka, zagađenje zraka uzrokuje štetu za živa bića i okoliš tijekom kraćeg ili duljeg vremenskog izlaganja, a javlja se kao posljedica ljudskog djelovanja. Prema Liu i Li (2020), pet glavnih zagađivača zraka u troposferi jesu prizemni ozon, dušikov dioksid, ugljični monoksid, sumporov dioksid i lebdeće čestice promjera 2,5 mikrometara ili manje. Navedene tvari imaju nepovoljne i ponekad fatalne učinke na zdravlje, uzrokujući rak pluća, moždani udar i kardiovaskularne bolesti. Onečišćenje zraka vodi ka smanjuju imunološkog odgovora te pogoršava respiratorni i kardiovaskularni sustav.

Izvore onečišćenja općenito dijelimo u dvije skupine: nepokretni i pokretni emisijski izvori. Cilj rada je pratiti utjecaj nepokretnih emisijskih izvora koji prema definiciji mogu biti točkasti i difuzni. Razlikuju se prema načinu ispuštanja onečišćujuće tvari u zrak, kod točkastih se ono obavlja putem posebnih ispusta, što je slučaj kod postrojenja, industrijskih pogona i dr., dok se kod difuznih tvari ispuštaju bez posebnog ispusta. Prema Ji, Jining (2009), točkasti izvori glavni su uzroci degradacije ekosustava, a mogu imati značajne učinke na ljudsko zdravlje ako nisu pravilno kontrolirani. Obično se razvrstavaju prema tipu izvora, ispušnim tvarima i zagađivačima. Osim što zagađuju zrak, uzrokuju zagađenje vode i tla, a u isto vrijeme su veliki izvor buke. Sastav ispuštenih tvari ovisi o točkastom izvoru i varira između različitih država i regija. U svrhu bolje kontrole točkastih izvora uspostavljaju se zakonska regulativa, donose pravilnici o postupanju točkastih izvora i graničnim vrijednostima ispuštanja tvari te ekonomski poticaji.

Zagađenje zraka nastaje uslijed emisija prilikom proizvodnje električne i toplinske energije, industrijskih procesa, sagorijevanja krutog otpada te iz prometa. Sagorijevanje fosilnih goriva u gradovima stvara tone pepela, čađe i drugih čestica odgovornih za sivi smog veličine gradova poput New Yorka ili Chicaga (Lu i dr. 2006). Takvi plinovi uzrokuju hrđanje metala, oštećenje građevinskog kamena, utječu na biljni i životinjski svijet. Zagađenje zraka nastalo u gradovima uzrokuje lošu kvalitetu zraka i u ruralnim područjima. Pri tome svaki industrijski proces ima vlastiti obrazac onečišćenja zraka. Rafinerije su odgovorne za veliko onečišćenje ugljikovodicima i lebdećim česticama dok tvornice željeza i čelika, kemijske tvornice, tvornice cementa i asfalta ispuštaju ogromne količine različitih čestica (Lu i dr. 2006).

S obzirom da velike količine plinova utječu na zdravlje ljudi u gradovima i dovode do prijevremenih smrti te pospješuju proces globalnog zatopljenja i stvaranja toplinskih otoka nužno je probuditi svijest o navedenoj problematici. Prema Sierra-Vargas (2012), kada bi se zagađenje zraka smanjilo u području gustim prometom učestalost astme i drugih respiratornih bolesti bila bi značajno smanjena. Opće prihvaćeno je kako će naponi u smanjenju onečišćenja zraka spriječiti daljnje promjene u okolišu, no ono neće dovesti do naglog smanjenja trenutnog zagrijavanja.

Globalno zatopljenje jedno je od vrlo bitnih pitanja današnjice. Kako bi se omogućila bolja budućnost i klimatska neutralnost donesen je Pariški sporazum. Na temelju znanstvenih istraživanja i niza političkih napora sklopljen je međunarodni ugovor s pravnim učinkom kojim je definirana granica povećanja prosječne globalne temperature na 2°C, a po mogućnosti ispod 1,5°C (Gao 2017). Njime su se države članice Europske unije obvezale donijeti dugoročne nacionalne strategije za smanjenje emisija stakleničkih plinova.

Zbog klimatskih promjena zadnjih godina svijet se suočava s povećanim brojem poplava, suša, požara te porasta razine mora. Prema Papadis i Tsatsaronis (2017), proizlazi kako su klimatske promjene rezultat ljudskog djelovanja, a glavni uzrok je izgaranje fosilnih goriva kojim se nastoji pokriti sve veća potreba za energijom. Dekarbonizacija energetskega sektora predmet je istraživanja zadnjih godina te privlači sve veću pozornost. U svrhu definiranog plana Pariškim sporazumom nužno je dekarbonizirati energetskega sektor. Socijalni, ekološki i ekonomski problemi mogli bi se efikasno riješiti prelaskom na obnovljive izvore energije budući da oni nemaju ili imaju vrlo malo emisija ispušnih i otrovnih plinova kao što su ugljikov dioksid, ugljikov monoksid, sumporov dioksid i dr. (Kumar 2020). Obnovljivi izvori energije biti će važan izvor za proizvodnju električne energije u budućnosti jer se takvi resursi mogu iznova koristiti za proizvodnju potrebne energije. Stoga se zadnjih godina sve više država okreće upotrebi čišćih i kvalitetnijih goriva, gašenju postrojenja koji ne zadovoljavaju današnjim standardima te uvođenju obnovljivih izvora energije poput energije vjetra i sunca, geotermalne energije, hidroenergije i energije biomase.

Veliki broj postojećih elektrana i postrojenja na ugljen trebat će se zamijeniti obnovljivim izvorima energije čime će se omogućiti bolja kvaliteta zraka, zdravlja, ali i energetske sigurnosti. Države koje se najviše oslanjaju na ugljen su Poljska i Njemačka (Tablica 1) koje zajedno sadrže 51% postrojenja na ugljen i 54% emisija iz ugljena unutar Europske unije.

Tablica 1. Najvećih pet elektrana na ugljen u Europskoj uniji (URL 1)

Ime postrojenja	Država	Kapacitet
Bełchatów (1998.)	Poljska	4928 MW
Neurath (1972.)	Njemačka	4424 MW
Kozienice (1998.)	Poljska	3915 MW
Niederaussem (1998.)	Njemačka	3676 MW
Opole (1993.)	Poljska	3280 MW

Poljska do sada pokazuje malo ambicija da ograniči vađenje i upotrebu ugljena što je vidljivo iz njezinog najnovijeg Nacionalnog energetskeg i klimatskog plana. Za razliku od ostalih glavnih proizvođača ugljena u Europskoj uniji kao što su Velika Britanija, Njemačka i dr. Poljska se nije obvezala okončati rudarstvo ugljena (Brauers, Yu Oei, 2020). Poljska je jedna od zemalja koja stavlja veto na politike Europske unije kojima je cilj zaštita klime. Proizlazi kako se Poljska unatoč regulativama zalaže za zaštitu industrije ugljena. Prema Brauers, Yu Oei (2020), na međunarodnoj klimatskoj konferenciji u Katowicama ponosno je predstavljen ugljen gdje je predsjednik Andrzej Duda potvrdio kako ne postoji plan da se u potpunosti odustane od ugljena te da će poljske zalihe ugljena trajati još 200 godina. Upravo zbog činjenice da je Poljska najveći proizvođač ugljena u Europskoj uniji te da se nije obvezala okončati rudarstvo ugljena pokazuje se kao vrlo zanimljiv slučaj za analiziranje.

### 1.1. Pregled dosadašnjih istraživanja

Dok se Poljska nije pridružila Europskoj uniji imala je reputaciju države s vrlo zagađenim zrakom. Pristupanjem Europskoj uniji ipak se počelo baviti navedenom temom. Uspostavljena je nova mreža postaja za mjerenje kvalitete zraka kako bi se omogućila dugoročna mjerenja kvalitete zraka i ustvrdile promjene i trend tijekom vremena (Hoffman 2019). Na temu kvalitete zraka u Poljskoj provedena su određena istraživanja. Uglavnom se istraživanja baziraju na podacima mjernih postaja, dok su u zadnje vrijeme sve popularnije metode daljinskih istraživanja.

Na temelju podataka postaja Zabrze i Rybnik koje su smještene u velikim industrijskim gradovima određivan je trend od 2005. - 2016. godine. Na navedenim postajama koncentracije većine štetnih plinova opadaju. Najveće opadanje koncentracija je zabilježeno za sumporov dioksid i to sa godišnjim padom od 4,1-6,5%. Koncentracije lebdećih čestica smanjuju se sporije dok promjene koncentracije ozona i dušikovog dioksida nisu toliko značajne tijekom vremena i ovisе o lokaciji mjerne postaje (Hoffman 2019).



Trend opadanja koncentracija štetnih plinova ustvrđen je i prema EMEP (engl. European Monitoring and Evaluation Programme) izvješću. Štetni plinovi u Poljskoj uglavnom nastaju kao rezultat proizvodnje električne energije i grijanja te iz industrijskih procesa (URL 2). Unatoč napretku po pitanju smanjenja koncentracija sumporovog dioksida u gradovima Gornje Šleske koncentracije su i dalje znatno više nego u ostalim Europskim gradovima. SO<sub>2</sub> koncentracije u ostalim velikim gradovima Poljske sa populacijom manjom od 250 tisuća ne razlikuju se od koncentracija mjerenih u Europskim gradovima. Ipak, koncentracije plina SO<sub>2</sub> daleko od naseljenih područja u Poljskoj pokazale su se više nego u Zapadnoj Europi (Mitosek i dr. 2004).

Danjim istraživanjem ustvrđeno je kako ne opadaju koncentracije svih štetnih plinova kroz godine. Prema Traczyk i Gruszecka-Kosowska (2020), koncentracije ozona su se povećale kroz godine 2005.- 2020. Također, ustvrđeno je kako su dopuštene godišnje koncentracije lebdećih čestica na svim korištenim postajama više nego dozvoljene osim za 2019. godinu. U svom radu osvrnule su se i na razliku u koncentracijama štetnih plinova tijekom ljetnih i zimskih mjeseci kada su vrijednosti znatno više. U ljetnim mjesecima značajnija odstupanja u odnosu na ostale plinove pokazala su se za ozon.

Da zagađenje zraka ima znatan utjecaj na zdravlje ljudi svjedoče i razne studije na tu temu. U periodu između 1970. - 1980. godine razina kisika u Krakovu se pokazala trajno niskom sa 18%. Tako niska razina kisika i dugotrajno izlaganje visokim koncentracijama CO i CO<sub>2</sub> uzrokovalo je kod velikog broja ljudi manjak kisika u srcu, mozgu te bubrezima. Kao rezultat 50% smrti povezano je s bolestima krvožilnog sustava, dok 20% uz karcinom. Između 1980. - 1990. godine smrtni slučajevi povezani s rakom povećali su se za 30% pri čemu je jedan od glavnih čimbenika bila visoka koncentracija policikličkih aromatskih ugljikovodika (Bokwa 2008).

Najgora kvaliteta zraka u Poljskoj je na jugozapadu gdje lebdeće čestice mogu premašiti prosjek i do 1012%. Na kvalitetu izravno utječe i sama topologija terena pa tako gradovi i mjesta koja su smještena u dolinama imaju lošiju kvalitetu zraka zbog zarobljenog zagađenog zraka. Planinski teren zastupljen je na jugu zemlje (URL 3). Prema izvješću Europske agencije za okoliš (EEA – engl. European Environment Agency) iz 2018., 36 najzagađenijih gradova nalazi se u Poljskoj. Pri tom su u pojedinim gradovima srednje koncentracije lebdećih čestica i dvostruko više od dopuštenih. Među najosjetljivijim skupinama su djeca i starije osobe, a gotovo četvrtina slučajeva bronhitisa vezana je uz lošu kvalitetu zraka. Na godišnjoj razini zabilježeno je preko 200 000 slučajeva, a prema analizama proizlazi da 44 000 Poljaka umire

svake godine od bolesti koje su povezane s lošom kvalitetom zraka. Razina smrtnosti raste s obzirom na područja gdje je zahtjev za toplinom najveći. U svom radu, Tainio i dr. (2012) bave se određivanjem prijevremenih smrti u 2000. godini uzrokovanih PM2.5 po provincijama.

Poljska je u nekoliko navrata pokušala smanjiti količine emisija reformama provedenim u elektroenergetskom sektoru i teškoj industriji no pomaci sporo teku. Ne provode i ne pridržavaju se propisa sve administrativne jedinice. Sud Europske unije ustvrdio je kako Poljska nije ispunila svoje obveze budući da plan kvalitete zraka u skladu s Direktivom nije dovoljan za skraćivanje razdoblja prekoračenja graničnih vrijednosti (Europski revizorski sud, 2018). Loša kvaliteta utječe negativno na ekosustave, vodi uništenju materijala (brža korozija), uništava usjeve i dr.. Procjenjuje se da bi smanjenje razine crnog ugljena i ozona spriječilo tri milijuna prijevremenih smrti i povećalo prinose usjeva za oko 50 milijuna tona godišnje (Sierra-Vargas 2012).

Provode se i istraživanja zagađenja zraka na temelju bioindikatora. U radu, Herpin i dr. (1996) provode analizu mahovine kako bi se ustvrdila razina pojedinog metala u biljci. Prikupljanje je obavljeno na nekoliko lokacija u okolini različitih industrijskih izvora u Nizozemskoj, Njemačkoj i Poljskoj.

Praćenje zagađenja zraka koristeći mjerne postaje sve više zamjenjuju tehnike daljinskih istraživanja. U usporedbi sa mjernim postajama na zemlji satelitska mjerenja daju na raspolaganje podatke s većom prostorno-vremenskom rezolucijom i globalnom pokrivenosti (Wang i dr. 2020). Razine pojedinih plinova moguće je odrediti na temelju podataka satelitskih instrumenata kao što je GOME (engl. Global Ozone Monitoring Experiment, 1995–2011), SCIAMACHY (engl. Scanning Imaging Absorption spectrometer for Atmospheric Chartography, 2002–2012), OMI (engl. Ozone Monitoring Instrument, od 2004) i TROPOMI (engl. Tropospheric Monitoring Instrument, od 2017) (URL 4).

## **1.2. Područje istraživanja**

Kao područje interesa za procjenu stanja kvalitete zraka i utjecaja nepokretnih izvora odabrana je Republika Poljska. Republika Poljska država je u srednjoj Europi s površinom 312 696 km<sup>2</sup> čime se veličinom izdvaja kao 9. u Europi. Republika se dijeli na 16 upravnih područja odnosno vojvodstva. Od njih najrjeđe su naseljena područja na sjeveroistoku i uz Baltičko primorje dok je najveća gustoća naseljenosti na jugu uz Šlesko industrijsko područje i u okolici Krakova (URL 5).

Upravo će naglasak na tim gušće naseljenim područjima biti i u radu, kao i na Šlesko industrijsko područje gdje je koncentracija nepokretnih izvora najveća. Prema podacima nacionalnih emisija najveće emisije u zrak ima termoelektrana Belchatow koja je ujedno i najveća termoelektrana u Europi. Navedena termoelektrana stvara znatno veće emisije u zrak nego li ostali izvori (URL 6). Prema svjetskom fondu za prirodu elektrana stvara najveće emisije ugljikovog dioksida s godišnjim emisijama od 40 milijuna tona. Europska komisija rangirala je elektranu kao najveći zagađivač koji šteti klimi u Europskoj uniji (URL 7). Smještena je u vojvodstvu Lodz i operativna je postala 1982. godine od kada kao primarno gorivo koristi lignit koji joj osigurava veliki susjedni rudnik. Prema emisijama slijedi Šleska administrativna jedinica te vodeći gradovi kao što su Krakov i Varšava.

U većini država Europske unije posljednjih pet godina 50% elektrana na ugljen se zatvorilo ili obvezalo na zatvaranje dok Poljska, Rumunjska i Bugarska nemaju u potpunosti definiran plan za ukidanje. Na području države nužna je uspostava kvalitetnog plana s obzirom da prema podacima izvješća svjetske kvalitete zraka (IQAIR – engl. International Air Quality Index) Poljska spada u 10 najzagađenijih država Europe. 2019. Poljski grad Orzesze stekao je titulu najzagađenijeg grada u Europi (EEA 2019).

Klima u Poljskoj je kontinentalna, s hladnim zimama i toplijim ljetima. Na sjeveru, uz obalu je manje izražena kontinentalna klima koja jača postupno prema jugu. Zimi su temperature iznad ništice, a u ljetnom periodu prosječna dnevna temperatura između 17° - 19° C. Zadnjih godina prosječne temperature su nešto više, a nekim gradovima temperatura može doseći do 35°C. Uz polarne hladne valove sve češća je pojava toplinskih valova kao rezultat globalnog zatopljenja. Takvi valovi traju nekoliko dana i izraženiji su u zapadnom dijelu, dok je najmanje izložena Baltička obala. Temperaturna anomalija je razlika temperature u odnosu na njenu prosječnu vrijednost. Ona je u Poljskoj pozitivna što znači da su temperature više od prosječnih (URL 8).

## 2. Opći i specifični ciljevi rada

Zagađenje zraka s kojim se svakodnevno susrećemo kao i globalnim zatopljenjem postale su danas aktualne teme. Činjenica je da su istraživanja na navedenu temu vrlo bitna za opstanak svih živih bića na Zemlji. Glavni uzrok navedenim promjenama jest čovjek i njegovo djelovanje u okolišu. S ciljem za bolje sutra čovjek šteti okolišu, ali uskoro bi se moglo dogoditi i obrnuto ukoliko se ne pozabavimo ovom problematikom.

Pregledom literature ustvrđeno je kako na području Poljske situacija nije dobra kada govorimo o kvaliteti zraka. Da su koncentracije lebdećih čestica bile premašene i do 1012% na pojedinim postajama zvuči šokantno kao i činjenica da Poljska ima jako veliki broj takvih gradova s visokim vrijednostima koncentracija. O izrazito lošem stanju govore i podaci da na godišnjoj razini umire čak 44 000 Poljaka od bolesti povezanih s lošom kvalitetom zraka (URL 3). Postavlja se pitanje da li su te vrijednosti realne ili su pak još više, koja su to područja s premašenim godišnjim koncentracijama lebdećih čestica, koji su njihovi najveći uzroci te mogu li se navedene vrijednosti smanjiti.

Cilj znanstvenog istraživanja je ustvrditi utjecaj nepokretnih izvora na kvalitetu zraka, koja su vojvodstva najpogođenija zagađenjem zraka, da li je najviše zagađenje u području termoelektrane Belchatow ili nekog drugog izvora, je li trend zagađenja tijekom godina pozitivan ili negativan, koje je područje s najvećom koncentracijom nepokretnih izvora te koja se postrojenja nalaze na danom području. Određivati će se razlika u temperaturi površine tla tijekom dužeg vremenskog perioda kao i područje toplinskih otoka, te kakav utjecaj na temperaturu ima industrijska zona. Analizirati će se i mjerne postaje kvalitete zraka kao i dostupnost podataka te kako je pandemija koronavirusa utjecala na emisije štetnih plinova.

Pretpostavka je da će najveće koncentracije biti zastupljene u području oko termoelektrane Belchatow kao i ostalim područjima koja su zastupljena velikim brojem nepokretnih izvora. Iz literature proizlazi da je južni dio države brdovitiji i industrijaliziran pa se tu i očekuju najviše koncentracije. Budući da je Europska unija 2010. godine donijela direktivu prema kojoj su sve države članice dužne uspostaviti strategiju za smanjenje emisija štetnih plinova pretpostavka je da će trend biti negativan.

### **3. Materijal i metode**

#### **3.1. Daljinska istraživanja**

Daljinsko istraživanje (engl. remote sensing) je metoda prikupljanja i interpretacije informacija o udaljenim objektima bez fizičkog dodira s objektom. Zrakoplovi, sateliti i svemirske sonde su uobičajene platforme za opažanja u daljinskim istraživanjima. Termin daljinsko istraživanje je obično ograničen na metode koje se koriste elektromagnetskom energijom kao sredstvom za otkrivanje i mjerenje značajki objekata. Takva definicija daljinskog istraživanja isključuje električna, magnetska i gravitacijska mjerenja kojima se mjeri snaga polja, a ne elektromagnetsko zračenje (Gierloff-Emden 1989).

Daljinska istraživanja obuhvaćaju prikupljanje, interpretaciju i obradu snimki objekata od interesa. Razvoj tehnologije posebice fotografije i avijacije omogućio je razvoj daljinskih istraživanja. Zahvaljujući brzom napretku u obradi digitalne slike i senzora omogućeno je prikupljanje informacija o kemijskim, fizičkim i biološkim sustavima na površini Zemlje kao i praćenje i procjenu stanja i promjena u okolišu. Preduvjet daljinskih istraživanja je zapisivanje reflektirane odnosno emitirane energije objekta. Prolaskom elektromagnetskog spektra kroz atmosferu zračenje dolazi u interakciju s objektima (Lillesand i dr. 2007). U ovisnosti o valnim duljinama spektra, veličini, gustoći čestica i dubini atmosfere zračenje se jednim dijelom raspršuje, apsorbira ili reflektira tako da samo jedan dio zračenja dolazi u interakciju s tlom. O tome do kakve će interakcije doći, ovisi o samom objektu na promatranoj sceni. Primjerice, kada zračenje dođe u interakciju s tlom, ono se uglavnom apsorbira i reflektira podjednako po valnim duljinama. Pri interakciji s vegetacijom valne duljine vidljivog dijela spektra se uglavnom apsorbiraju dok se mali dio reflektira i prenosi. Tako reflektiranu odnosno emitiranu energiju zapisuju senzori i pretvaraju u broježane vrijednosti. Senzor je sustav koji prima elektromagnetsko zračenje, registrira ga, mjeri i pohranjuje u obliku prikladnom za daljnju obradu. Spektralno područje u kojemu senzor radi je vidljivo, infracrveno ili multispektralno i ono je najčešće podijeljeno na uže isječke koje nazivamo spektralnim kanalima (Frančula i dr.1994). Informacije o sceni se prenose do medija za pohranu i obradu uz prethodno prevođenje spektralnog odziva u brojčanu vrijednost. Tako dobivene vrijednosti piksela nisu kalibrirane te je za daljnje analize potrebno odrediti koeficijent refleksije. Kasnije slijedi interpretacija i analiza do konačnog rezultata. Daljinska istraživanja općenito obuhvaćaju upotrebu različitih vrsta snimaka: fotografskih, termalnih, radarskih i dr. (Donassy i dr. 1983).

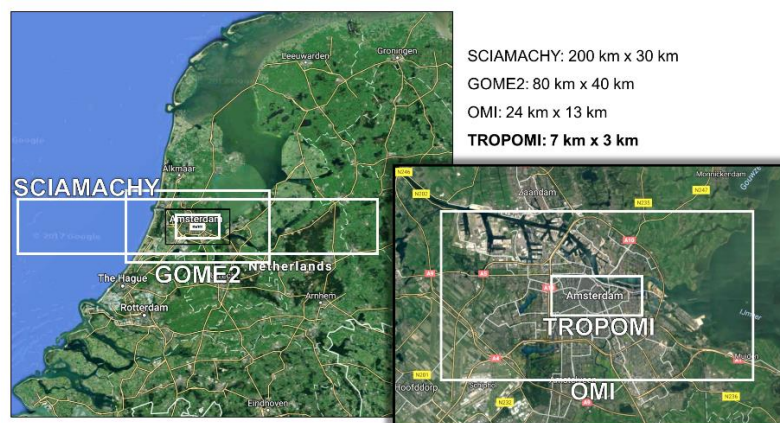
### 3.2. Izvor podataka

Sentinel-5P (engl. Sentinel-5 Precursor) je misija Europskog programa za promatranje Zemlje Copernicus-a, a ostvarena je suradnjom između Europske svemirske agencije (ESA – engl. European Space Agency) i Nizozemskog svemirskog ureda (NSO – engl. Netherlands Space Office). Osnovni cilj misije je praćenje atmosferskog sastava. Nalazi sa suncem sinkronoj orbiti na visini od 824 km, a prikuplja podatke scene na širini 2600 km. Instrument za praćenje troposfere TROPOMI mjeri zračenje ultraljubičastog, vidljivog (270–500 nm), bliskog infracrvenog (675–775 nm) i kratkovalnog infracrvenog (2305–2385 nm) dijela spektra. Spektralna razlučivost je u dosegu 0,25 – 0,55 nm, dok je prostorna razlučivost dana pikselom veličine 7 km x 3,5 km (URL 9). U odnosu na OMI instrument TROPOMI ima veći spektralni doseg u bliskom infracrvenom (NIR - engl. Near infrared) i kratkovalnom infracrvenom (SWIR – engl. Short-wave infrared kanalu). Kanali TROPOMI instrumenta uz mogućnost detekcije pojedine razine plina prikazani su u tablici 2. Zahvaljujući sensorima TROPOMI instrumenta omogućeno je mjerenje razine plinova na dnevnoj bazi. TROPOMI se trenutno izdvaja kao najbolji instrument na satelitu koji može prikupljati podatke NO<sub>2</sub> koncentracija sa poboljšanom prostornom razlučivosti i malim šumom instrumenta (Wang i dr. 2020). Prikuplja podatke o plinovima: dušikov oksid, ozon, formaldehid, sumporni dioksid, metan, ugljični monoksid i aerosoli (URL 10). Navedeni podaci dostupni su putem Službe za praćenje atmosfere (CAMS – engl. Copernicus Atmosphere Monitoring Service) u svrhu izrade prognoza kvalitete zraka i kao podrška kod donošenja odluka (URL 11). Za što bolje rezultate potrebno je prije korištenja snimke provjeriti Qa (engl. quality assurance value) vrijednost. Vrijednost je u rasponu između 0 i 1, a veća vrijednost znači i bolju snimku. Qa vrijednost iznad 0,5 znači izdvajanje dijelova scene koji su pokriveni snijegom, ledom, greškama ili problematičnim dohvaćanjima (Wang i dr. 2020).

Tablica 2. Spektralni kanali TROPOMI instrumenta

Kanali	Valna duljina [nm]	Produkti
Kanal UV1	270 – 320	Ozon
Kanal UV2	295 – 380	Ozon, Sumporov dioksid, Formaldehid
Kanal VIS	360 – 495	Dušikov dioksid, O <sub>2</sub> – O <sub>2</sub> izdvajanje oblaka
Kanal NIR	710 – 775	Frakcija oblaka, Aerosoli, Voda
Kanal SWIR	2305 – 2385	Ugljikov monoksid, Metan

OMI (engl. Ozone Monitoring Instrument) je instrument za praćenje ozona na platformi Aura. Rezultat je Nizozemske agencije za zrakoplovni program (NIVR – njem. Nederlands Instituut voor Vliegtuigontwikkeling en Ruimtevaart) i Finskog meteorološkog zavoda (FMI – engl. Finnish Meteorological Institute). Omogućava mjerenja ozona, dušikovog dioksida, sumpornog dioksida i aerosola. Aura je lansirana 15.07.2004. godine, a s obzirom na svoju dobru operabilnost omogućila je prikupljanje podataka sve do danas. Na temelju snimaka moguće je ustvrditi razlike u emisijama tijekom godina na globalnoj razini (URL 12). Odnos prostorne razlučivosti instrumenata za praćenje atmosferskog sastava dan je na slici 1.



Slika 1. Odnos rezolucija instrumenata za praćenje atmosfere (URL 9)

U radu će se analizirati sljedeći plinovi: dušikov dioksid  $\text{NO}_2$ , sumporov dioksid  $\text{SO}_2$ , ozon  $\text{O}_3$ , formaldehid  $\text{HCHO}$  i ugljikov monoksid  $\text{CO}$ . Dušikov dioksid se oslobađa u atmosferu prilikom izgaranja goriva iz elektran, industrijskih postrojenja, vozila i može imati vrlo veliki utjecaj na ljudsko zdravlje, posebice na razvoj respiratornih problema. Za prisutnost sumpornog dioksida u atmosferi zaslužni su vulkanski procesi, ali i ljudske aktivnosti povezane sa sagorijevanjem fosilnih goriva u elektranama. Ugljikov dioksid je plin koji je najobilniji i najviše doprinosi klimatskim promjenama (Hodžić i dr. 2020). Iza njega slijedi metan, kojeg ima dosta manje, ali je vrlo snažan plin koji veže toplinu za sebe. Najveći izvori emisija metana u atmosferu su energetska sektor i industrija fosilnih goriva (osobito velike količine nastaju prilikom vađenja i transporta ugljena, nafte i plina), odlagališta otpada te poljoprivreda. Prema podacima Međunarodne agencije za energiju samo industrija fosilnih goriva proizvela je 70 mt metana u atmosferu, a njegova koncentracija u atmosferi raste brzinom oko 1%. Također, trenutne vrijednosti ugljikovog dioksida i metana u atmosferi čine i do 250% emisije proizvedene u odnosu na 1750. godinu (URL 13).

Na pojedine plinove veliki utjecaj imaju i vremenski uvjeti: temperatura, vjetar, tlak čime se koncentracije plinova razlikuju na dnevnoj bazi. Zbog toga će se podaci opažati tijekom dužeg vremenskog perioda kako bi se omogućila kvalitetnija analiza. Od pojave pandemije koronavirusa ljudska i industrijska aktivnost kao i koncentracije zagađujućih tvari značajno su se smanjile u pojedinim državama, primjerice u Indiji, najvećem proizvođaču sumpornog dioksida za oko 40% (URL 14).

Na stranicama poljskog geoportala dani su podaci URL servisa za WFS (engl. Web Feature Service), WMS (engl. Web Map Service) i WCS (Web Coverage Service) usluge (URL 15). Za izradu rada korišteni su vektorski podaci administrativnih granica i granice države. Podaci su dani u službenom referentnom koordinatnom sustavu Poljske ETRS89 / Poland CS92 (EPSG – engl. European Petroleum Survey Group: 2180).

Nadalje, podaci kvalitete zraka preuzeti su putem stranice Glavnog inspektorata zaštite okoliša (GIOŚ – polj. Główny Inspektorat Ochrony Środowiska). Sustav je temeljen na mrežama mjernih postaja koje su raspoređene s obzirom na udio osjetljivih područja. Lokacije postaja i njihov mjerni program definira inspektorat. Mjerenja se obavljaju na 280 mjernih postaja od čega se na 190 postaja provode automatska mjerenja onečišćenja zraka. Arhivski podaci o mjerenim podacima sumpornog, dušikovog dioksida, ugljikovog monoksida, ozona, benzena i dr. dostupni su po godinama od 2000., dostupni su unutar baze, a sadrže i statistiku kao i metapodatke mjernih stanica (URL 16).

Na stranici Europske agencije za okoliš dostupan je industrijski izvještaj u skladu s direktivom o industrijskim emisijama (Direktiva 2010/75/EU) i Europskom uredbom o registru onečišćujućih tvari (EZ br. 166/2006). Baza podataka sadrži lokacijske i administrativne podatke najvećih industrijskih kompleksa u Europi, njihova ispuštanja. Dostupna je zadnja verzija iz 2020. godine, za period 2017. - 2019. godine, no u arhivi su dostupni i stariji podaci. Za Poljsku su dostupni podaci o nazivu pojedinog postrojenja i proizvođača, tipu postrojenja (elektrana, rafinerija, odlagalište i dr.), koordinate, adresa, mjesto, ukupna količina pojedine onečišćujuće tvari u kilogramima (URL 6).

### **3.3. Obrada rasterskih podataka**

Korištene satelitske snimke Sentinel-5P dostupne su putem stranice Sentinel Open Hub-a (URL 17). Podaci su dostupni s obzirom na datum prikupljanja, a za potrebe izrade rada preuzeti su dostupni podaci za ljetne periode, srpanj i kolovoz. Za realizaciju znanstvenog istraživanja korišteni su produkti NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub>, HCHO i CO čije su razine više na danom području u odnosu



na razine ostalih produkata koje nisu zamjetljive. Preporuča se korištenje podataka procesiranih sa L2 (engl. Level 2) razinom budući da za njih nije potrebno provoditi atmosfersku korekciju, već je ona obavljena te korištenje OFFL (engl. – offline) verzije te u stvarnom vremenu (NRTI – engl. near-real-time). NRTI obuhvaćaju snimke dostupne unutar 3 sata, a namijenjene generiranju prognostičkih podataka. OFFL verzija daje rezultate nakon 2 tjedna istraživanja (Garane i dr. 2019). Odabrana pločica se preuzima u .nc formatu kojeg je moguće otvoriti koristeći Python, Panoply ili VISAN. Za pristup podacima u QGIS-u rasterski podaci o razini pojedinog plina na području od interesa korišten je i EO Browser putem kojeg je moguće preuzimanje snimki pohranjenih u GeoTIFF formatu u visokoj rezoluciji, EPSG: 4326 (WGS84). Snimke je moguće preuzeti za vremenski period od 2018. godine (URL 18).

Za analizu istih podataka za snimke ranijeg vremenskog perioda od 2004. godine korišteni su podaci dostupni putem stranice EarthData – Giovanni (URL 19). Podaci se odnose na instrument OMI, a za pristup pojedinim potrebno je definirati vremenski period opažanja i područje od interesa. Snimke je moguće preuzeti uz GeoTIFF format, u PNG i KMZ formatu.

Po preuzimanju rasterskih podataka i učitavanju obavljeno je spajanje rastera, izrezivanje na područje od interesa na temelju vektorskih podataka granica države te određivanje rastera prosječne koncentracije za ljetni period (srpanj i kolovoz), a sve kako bi se dobiveni podaci mogli uspoređivati kroz godine i ustvrditi smanjuju li se emisije u skladu s Direktivom 2010/75/EU. Prvotno su obrađeni podaci dušikovog dioksida pri čemu je za godine od 2004. korišten OMI instrument, a za podatke od 2018. godine korišten TROPOMI. Konačni prikaz ostvaren je mijenjanjem kontrasta, svjetline, zasićenosti boje i dr.. Za potrebe određivanja vrijednosti na onim područjima na kojim nedostaje podatka zbog primjerice naoblake provedena je interpolacijska metoda IDW (engl. Inverse distance weighting). Cilj interpolacijskih metoda je predviđanje vrijednosti na lokacijama na kojima mjerenja nisu obavljena (Mitas i Mitsova, 2005). Kako bi se ona mogla predvidjeti potrebno je imati podatke mjerenja na temelju kojih se određuju predviđene vrijednosti. U slučaju IDW interpolacijske metode koja se bazira na udaljenosti između lokacije na kojoj je mjerenje obavljeno te one na kojoj nije. IDW interpolacija pretpostavlja da su bliži objekti ujedno i sličniji te sukladno udaljenosti dodjeljuje težine. Što je udaljenost veća to se smanjuje i težina. IDW interpolacija je osjetljiva na ekstremne vrijednosti te zahtjeva blisku okolinu.

Nad rasterima je koristeći raster kalkulator obavljena i konverzija u druge mjerne jedinice. Kako bi se ustvrdila prihvatljivost koncentracija na području obavljena je pretvorba za ozon. Ozon se obično iskazuje u Dobsonovim jedinicama (DU – engl. Dobson unit), gdje prosječne normalne

vrijednosti iznose 300 DU. S obzirom da su jedinice Sentinel-5P dane u mol /m<sup>2</sup> obavljena je konverzija prema činjenici da je 1 DU jednak  $4.4615 \times 10^{-4}$  mol/m<sup>2</sup> (URL 20). Kako bi se ustvrdile vrijednosti ozona na tom području kao i utjecaj koronavirusa na smanjenje emisija izrađen je prikaz iz Sentinel-5P snimki za lipanj 2018., 2019. i 2020. godinu.

Nadalje, na zadržavanje onečišćenog zraka veliki utjecaj ima topografija terena. Gradovi koji se nalaze u dolinama znatno više su pogođeni onečišćenim zrakom budući da takav zrak ostaje zarobljen. Brdoviti teren utvrđen je na jugu zemlje pa se tamo očekuje i veće zagađenje nego u nizinskom području. Kako bi se dobila topografija preuzete su SRTM (engl. Shuttle Radar Topography Mission) pločice za područje Poljske. SRTM je satelitska misija koja je za cilj imala snimanje čitave Zemlje. Dobiveni su podaci digitalnog modela reljefa na širinama od 60° sjeverne geografske širine do 60° južne geografske širine, a pokrivaju 80% Zemljine površine (URL 21). Podaci se preuzimaju u obliku pločica 5 x 5 stupnjeva, formata ESRI ASCII s prostornom rezolucijom 90 m. Pločice su spojene u jedan raster, obavljeno je sjenčanje te je generirana proizvoljna skala boja kako bi se naglasila brdovitija područja. Sjenčanje je obavljeno definiranjem kuta visine sunca nad horizontom te azimuta. Svaki piksel DEM-a (engl. digital elevation model) sadrži vrijednost koja predstavlja visinu. Sjene se mijenjaju u ovisnosti o položaju izvora sunca, one su veće što se kut visine sunca nalazi bliže 0, a smanjuju se što je kut visine sunca bliži 90. Za potrebu izrade znanstvenog istraživanja odabrani su parametar visine sunca postavljen na 15, a azimut na 300.

### **3.4. Računanje LST**

Urbani toplinski otok je urbano područje koje je znatno toplije od ruralnih područja uzrokovano ljudskim aktivnostima (Adinna i dr. 2009). Među uzrocima javljanja toplinskih otoka jesu materijali koji tvore urbana područja (asfalt, krovovi) koja imaju drukčija toplinska i reflektivna svojstva površine od ruralnih područja (Akbari i dr. 2001). Visina zgrada isto tako ima utjecaj, što su zgrade više to se više sunčeve svjetlosti upija pa se i povećava zagrijavanje. Visoke vrijednosti UHI koreliraju s visokim koncentracijama zagađivača zraka koji se skupljaju preko noći i uzrokuju lošu kvalitetu zraka sljedeći dan. Spajanjem onečišćenih tvari kao što su ugljikov monoksid i dioksid, dušikov oksid i dr. u kombinaciji s visokim temperaturama uzrokuju stvaranje ozona (Coates i dr. 2016).

Za određivanje temperature površine tla i urbanih toplinskih otoka koristi se nekoliko metoda, direktnih i indirektnih. Direktne se temelje na točkastim mjerenjima temperature zraka mjerenih na meteorološkim stanicama na tlu, prednost im je dobra vremenska razlučivost, dok je

nedostatak rijetka pokrivenost područja. Za bolje rezultate primjenjuje se indirektna metoda koja se temelji na obradi satelitskih snimaka (Duplančić Leder i dr. 2016). Za određivanje temperature površine tla korištene su snimke Landsat misija s boljom prostornom razlučivosti. Landsat 5 TM i Landsat 8 snimke pohranjuju se na stranicama Agencije za geologiju Sjedinjenih Američkih država (USGS – engl. United States Geological Survey). Na istoj stranici moguće je pregledavanje i preuzimanje snimki s obzirom na željene postavke prikupljanja snimki i naoblake. Za utvrđivanje toplinskih otoka i temperaturnih razlika tijekom godina biti će korištene snimke Landsat Collection 1 Level 1: Landsat 4 – 5 TM i Landsat 8 OLI/TIRS.

Landsat 8 sateliti prikupljaju podatke o zemljinoj površini svakih 16 dana. Na temelju podataka prikupljenih s iste lokacije, ali u različitim vremenskim periodima moguće je utvrđivanje promjena. Za razliku od ranijih Landsat satelita, Landsat 8 nudi šire mogućnosti u pogledu količine prikupljenih snimki. Landsat 8 može napraviti i do 740 snimaka pa snima gotovo sva područja pa i ona udaljena koja se prije nije moglo dobro snimiti (Antartika). Nalazi se u skoro polarnoj orbiti na visini od 705 km i inklinacijom od 98.2°. Također, ima veću osjetljivost te bolje određuje razliku u zemljišnim teksturama i sjeni. Lansiran je 2013. g. i osmi je satelit u sklopu Landsat programa. Landsat 8 posjeduje dva senzora, a to su OLI (engl. Operational Land Imager) i TIRS (engl. Thermal Infrared Sensor). TIRS je termalni infracrveni sensor prostorne rezolucije 100 m koji je izradila Američka svemirska agencija. Prikuplja podatke dva dugovalna infracrvena kanala koji se primjenjuju za određivanje temperature zemljine površine i za studije o globalnom zagrijavanju dok OLI koji prikuplja podatke devet kratkovalnih kanala s prostornom rezolucijom 30 m i pankromatskim 15 m (Tablica 3).

Tablica 3. Kanali Landsat 8 sustava

Senzor	Kanali	Valna duljina [ $\mu\text{m}$ ]	Prostorna rezolucija [m]
OLI	Kanal 1	0,43-0,45	30
	Kanal 2 - plavi	0,45-0,51	30
	Kanal 3 - zeleni	0,53-0,59	30
	Kanal 4 - crveni	0,64-0,67	30
	Kanal 5 - NIR	0,85-0,88	30
	Kanal 6 - SWIR	1,57-1,65	30
	Kanal 7 - SWIR	2,11-2,29	30
	Kanal 8 - pankromatski	0,50-0,68	15
	Kanal 9	1,36-1,38	30

TIRS	Kanal 10 - TIRS	10,60-11,19	100
	Kanal 11 - TIRS	11,50-12,51	100

Uz danas najkorišteniji Landsat 8 sustav u radu je korišten i Landsat 5 TM zbog svoje operabilnosti i pružanja satelitskih snimki od 1984. godine na temelju kojeg je omogućena detekcija promjena kroz duži vremenski period. Kanali tematskog kartografa Landsat 5 satelita dani su u tablici 4.

Tablica 4. Kanali tematskog kartografa Landsat 5 satelita

Kanali	Valna duljina [ $\mu\text{m}$ ]	Prostorna rezolucija [m]
Kanal 1 - plavi	0,45-0,52	30
Kanal 2 - zeleni	0,52-0,60	30
Kanal 3 - crveni	0,63-0,69	30
Kanal 4 - NIR	0,76-0,90	30
Kanal 5 - SWIR	1,55-1,75	30
Kanal 6 - TIR	10,40-12,50	120* (30)
Kanal 7 - SWIR	2,08-2,35	30

Odabrane su dvije snimke: Landsat 5 TM i Landsat 8 sustava za period 12.06.2019. godine te 17.06.1986.godine. Naoblaka na snimkama je iznosila manje od 20%, a i nije obuhvaćala područje na koje je raster izrezan za usporedbu temperature površine tla (LST – engl. Land surface temperature) kroz godine (područje prikazano na slici 12). Provedena je DOS1 atmosferska korekcija unutar Semi-Automatic Plugina nad korištenim kanalima. Ona pretpostavlja da refleksija od tamnih predmeta uključuje značajnu komponentu raspršivanja atmosfere. Raspršivanje se uklanja oduzimanjem najtamnije vrijednosti od svakog piksela.

Za Landsat 8 snimku korišteni su kanali: 4 – crveni, 5 – infracrveni i 10 – termalni kanal dok su za Landsat 5 TM korišteni kanali: 3 – crveni, 4 – infracrveni i 6 – termalni. Iz tablica moguće je ustvrditi i razliku između rezolucija termalnih kanala kod Landsat 8 i Landsat 5 TM snimki. Za izračunavanje temperature površine tla korišteni su koeficijenti dostupni unutar MTL datoteke, a prema Jeevalakshmi i dr. (2017), (URL 22) provodi se po sljedećim formulama:

Provodi se konverzija Landsat level -1 snimke u radijancu vrha atmosfere (TOA – engl. Top of the Atmosphere) prema formuli:

$$L_{\lambda} = M_L * Q_{cal} + A_L \quad (1)$$

gdje su  $M_L$  (RADIANCE\_MULTI\_BAND\_x; x -termalni kanal) i  $A_L$  konstante (RADIANCE\_ADD\_BAND\_x; x-termalni kanal),  $Q_{cal}$  vrijednosti piksela produkta odnosno pripadni kanal.

Refleksija na vrhu atmosfere javlja se kao rezultat međudjelovanja elektromagnetskog zračenja koje dolazi sa Sunca, s tla s kojeg se reflektira zračenje, atmosfere kroz koju prolazi zračenje. Za snimke koje su prikupljene u drugom vremenskom periodu kako bi se eliminirale razlike provodi se konverzija nivoa svjetlosti u refleksiju na vrhu atmosfere (Rumora i dr. 2016).

Spektralni odsjaj (radijanca) se pretvara u odsjaj temperature koristeći Planckovu jednadžbu:

$$T = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L_\lambda} + 1\right)} \quad (2)$$

gdje je T satelitski odsjaj temperature u Kelvinima,  $L_\lambda$  - TOA,  $K_1$  i  $K_2$  termalne konstante konverzije ( $K1\_CONSTANT\_BAND\_x,x$  -termalni kanal,  $K2\_CONSTANT\_BAND\_x,x$  -termalni kanal). Dobiveni rezultat je u Kelvinima, pa je potrebno oduzeti s 273,15 kako bi se pretvorio raster u stupnjeve celzija. Korištene vrijednosti konstanti dane su u tablici 5.

Računanje NDVI vegetacijskog indeksa u svrhu određivanja proporcije vegetacije odnosno emisivnosti. Vegetacijski indeks dobiva preko infracrvenog i crvenog kanala satelitske snimke.

$$NDVI = (NIR - Red) / (NIR + Red) \quad (3)$$

$$Pv = ((NDVI - NDVImin) / (NDVImax - NDVImin))^2 \quad (4)$$

Za računanje emisivnosti potrebne su konstante emisivnosti golog tla i vegetacije. Na temelju podataka o emisivnosti računa se konačna temperatura površine tla u Celzijevim stupnjevima, koristeći konstantu  $\rho$ .

$$\epsilon = \epsilon V * PV + \epsilon S * (1 - PV) \quad (5)$$

$$LST = BT / (1 + [(\lambda BT / \rho) \ln(\epsilon)]) \quad (6)$$

gdje je  $\rho = H * C / S$ ; H= Plankova konstanta ( $6.626 * 10^{-34}$  Js) S= Boltzmannova konstanta ( $1.38 * 10^{-23}$  J/K) i C = brzina svjetlosti ( $2.998 * 10^8$  m/s)

Tablica 5. Korištene konstante iz MTL datoteke

Korištene konstante (.MTL)	Landsat 5 TM (kanal 6)	Landsat 8 (kanal 10)
K1_CONSTANT_BAND_X	607.76	774.8853
K2_CONSTANT_BAND_X	1260.56	1321.0789
RADIANCE_MULT_BAND_X	5.5375E-02	3.3420E-04
RADIANCE_ADD_BAND_X	1.18243	0.10000

### 3.5. Određivanje godišnje koncentracije lebdećih čestica

Utjecaj onečišćenja na ljude najbolje se ocrtava iz podataka o lebdećim česticama. Lebdeće čestice su kombinacija organskih i anorganskih tvari mikroskopskih veličina što omogućava njihovo prodiranje u dišne putove i alveole te na taj način vode ka ozbiljnim problemima posebice ako sadrže štetne spojeve kao metal. Razlikujemo PM10 i PM2.5 što asocira na njihov promjer od 10  $\mu\text{m}$  odnosno 2,5  $\mu\text{m}$ . Ukoliko koncentracije navedenih čestica prelaze dopuštenu granicu i to tijekom dužeg vremenskog perioda negativne posljedice po zdravlje ljudi biti će vidljive. Što su čestice manjeg promjera to su i osjetljivije te je njihov prag samim time i manji. Posljedica su sagorijevanja fosilnih goriva, a sadrže nitrata, sulfata, teške metale, olovo, amonijak te druge kancerogene tvari (URL 23).

Kako bi se smanjile koncentracije Europska unija donijela je direktivu o kvaliteti zraka (2008/EC/50) prema kojoj je definirana maksimalna godišnja koncentracija lebdećih čestica u zraku u svrhu očuvanja ljudskog zdravlja. Prema navedenoj direktivi srednja godišnja vrijednost PM2.5 ne bi smjela prelaziti 25 mikrograma po metru kubičnom ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), dok za PM10 ne bi smjela prelaziti 40  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (URL 24). Na temelju baze podataka prikupljene na stranicama Inspektorata za određivanje kvalitete zraka određene su godišnje koncentracije lebdećih čestica po godinama.

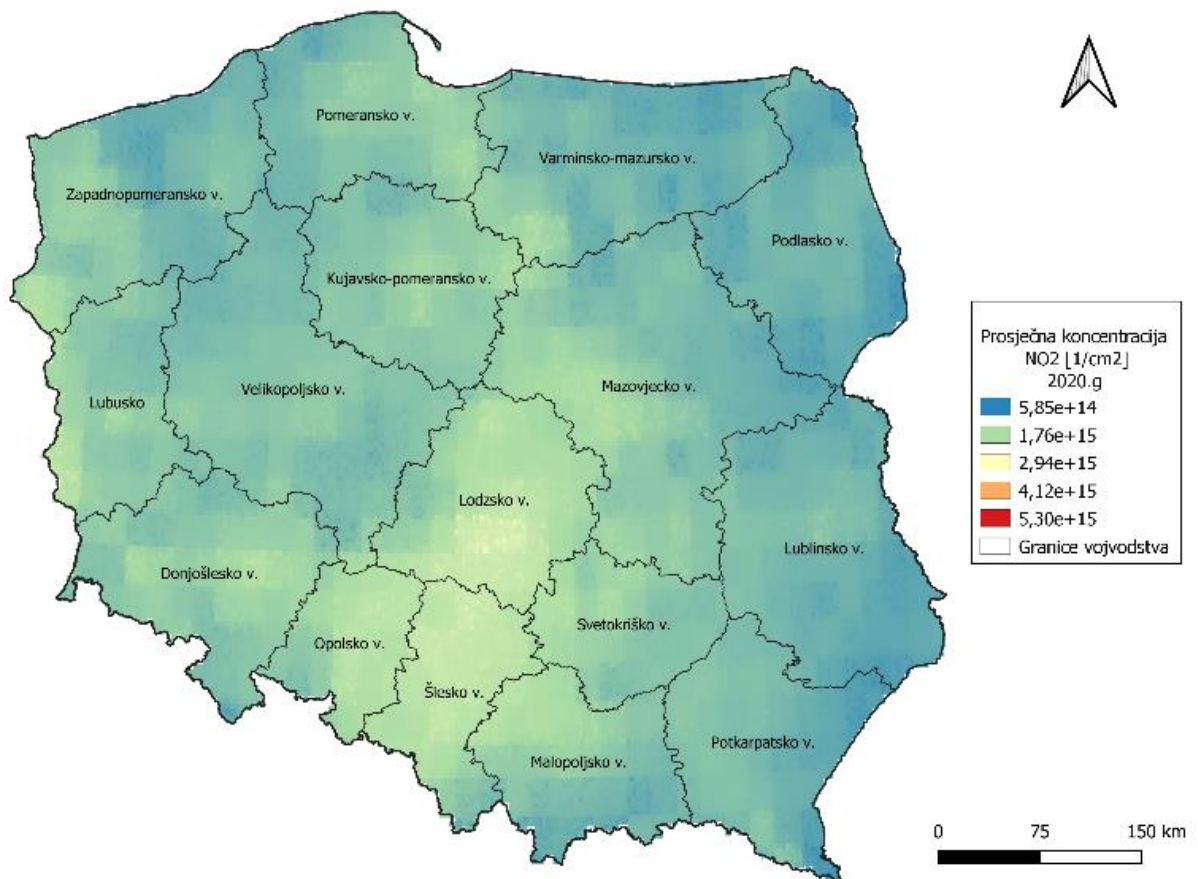
### 3.6. Korišteni softver i formati podataka

Svi podaci i softveri koji su korišteni za realizaciju znanstvenog istraživanja su javno dostupni i besplatni, moguć je pregled i preuzimanje podataka. Kao glavni softver za realizaciju istraživanja korišten je Quantum GIS, verzija 3.8.. GIS je geoinformacijski sustav koji omogućava prikupljanje, pohranjivanje, analiziranje, upravljanje i prikazivanje prostornih podataka. Omogućava različite rasterske i vektorske analize te vizualizaciju podataka koristeći različite stilove.

Podacima poljskog geoportala pristupa se putem WFS i WMS usluge unutar QGIS-a. Podatke kvalitete zraka po godinama i postaja koji su dostupni na službenoj stranici Glavnog inspektorata zaštite okoliša je moguće preuzeti u zip formatu i dalje obrađivati koristeći Excel. Bazu podataka o nepokretnim izvorima i emisijama moguće je preuzeti u zip formatu te isto obraditi unutar Excel-a. Navedenu bazu moguće je preuzeti i otvoriti preko drugih besplatnih alata. Za preuzimanje snimki Sentinela 1,2,3 potrebno se prijaviti putem Sentinel Open Hub-a dok se snimkama Sentinela-5P pristupa kao gost (username i password: s5pguest). EO browser za Sentinel-5P snimke isto tako zahtjeva registraciju, kao i Giovanni NASA, a podaci su dostupni u GeoTIFF formatu. Landsat 5 TM, Landsat 8 georeferencirane snimke preuzimaju se putem EarthExplorer-a koji zahtjeva registraciju. Podaci su dani u formatu tar.gz, a može im se pristupiti preko QGIS-a. Za pristup ostalim podacima biti će korišteni različiti dodaci sadržani unutar QGIS-a kao što su Zonal Statistic, Semi-Automatic Plugin, Raster kalkulator i dr.. Dodatke koje nisu dostupni u verziji QGIS-a moguće je prethodno preuzeti s interneta i učitati u QGIS.

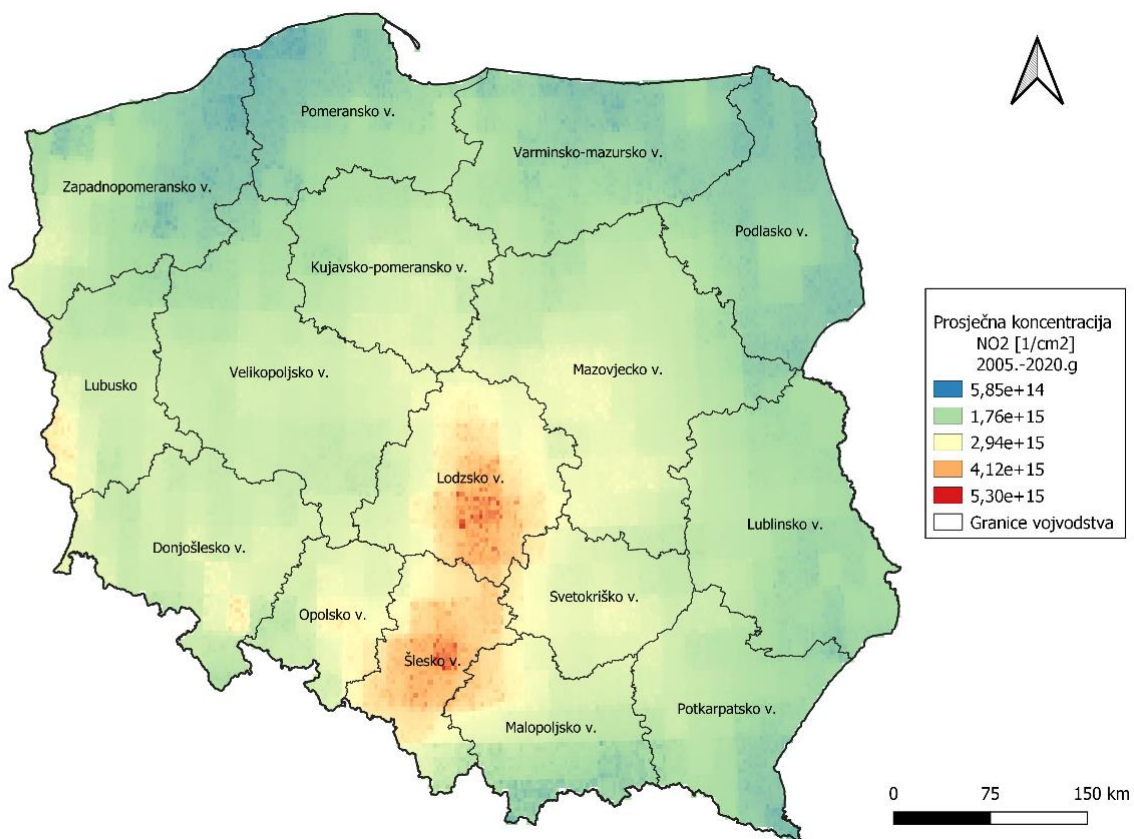
#### 4. Rezultati

Prikupljeni vektorski i rasterski podaci transformirani su u referentni koordinatni sustav Poljske. Nad snimkama dobivenim pomoću TROPOMI i OMI instrumenta obavljeno je izdvajanje na područje od interesa na temelju administrativnih granica. Izrađeni su rasteri emisija dušikovog dioksida za period od 2005. do 2020. godine. Preuzete snimke su obrađene u QGIS, obavljeno je filtriranje, spajanje i dodjeljivanje skale boje. Analize i prikazi nad rasterskim podacima provedeni su korištenjem dodatka Zonal statistics i Raster kalkulatora. Jesu li se emisije smanjile u skladu s Direktivom 2010/75/EU prikazano je kroz sljedeće rezultate.

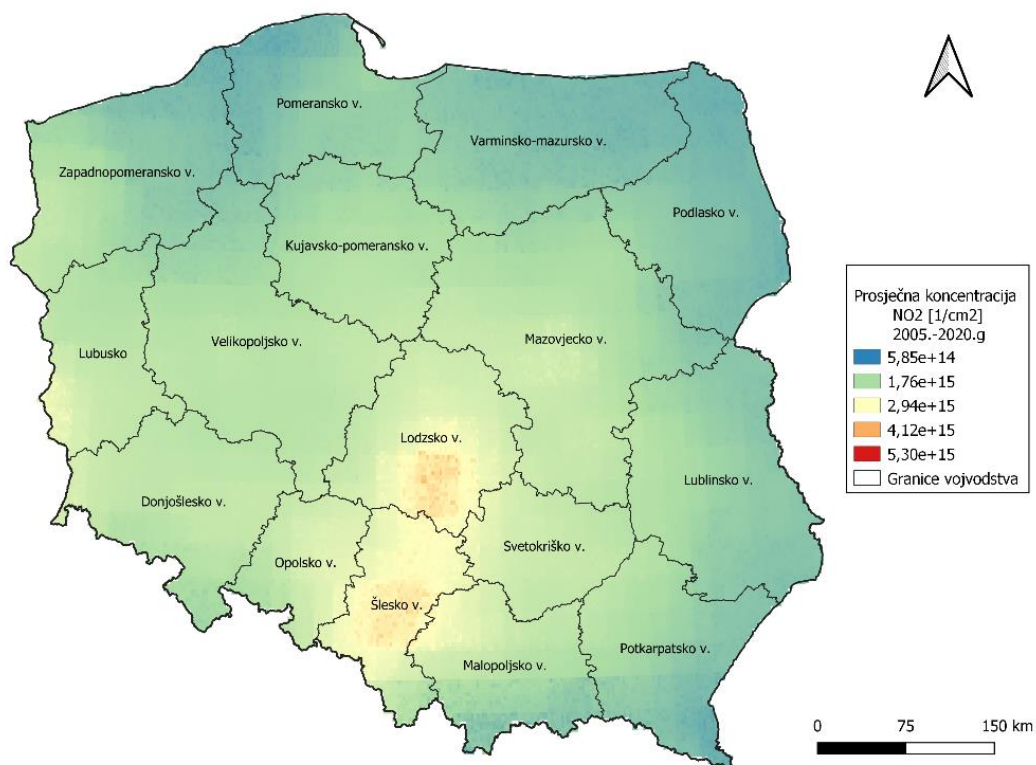


Slika 2. Koncentracija NO<sub>2</sub> za ljetni period 2020. godina





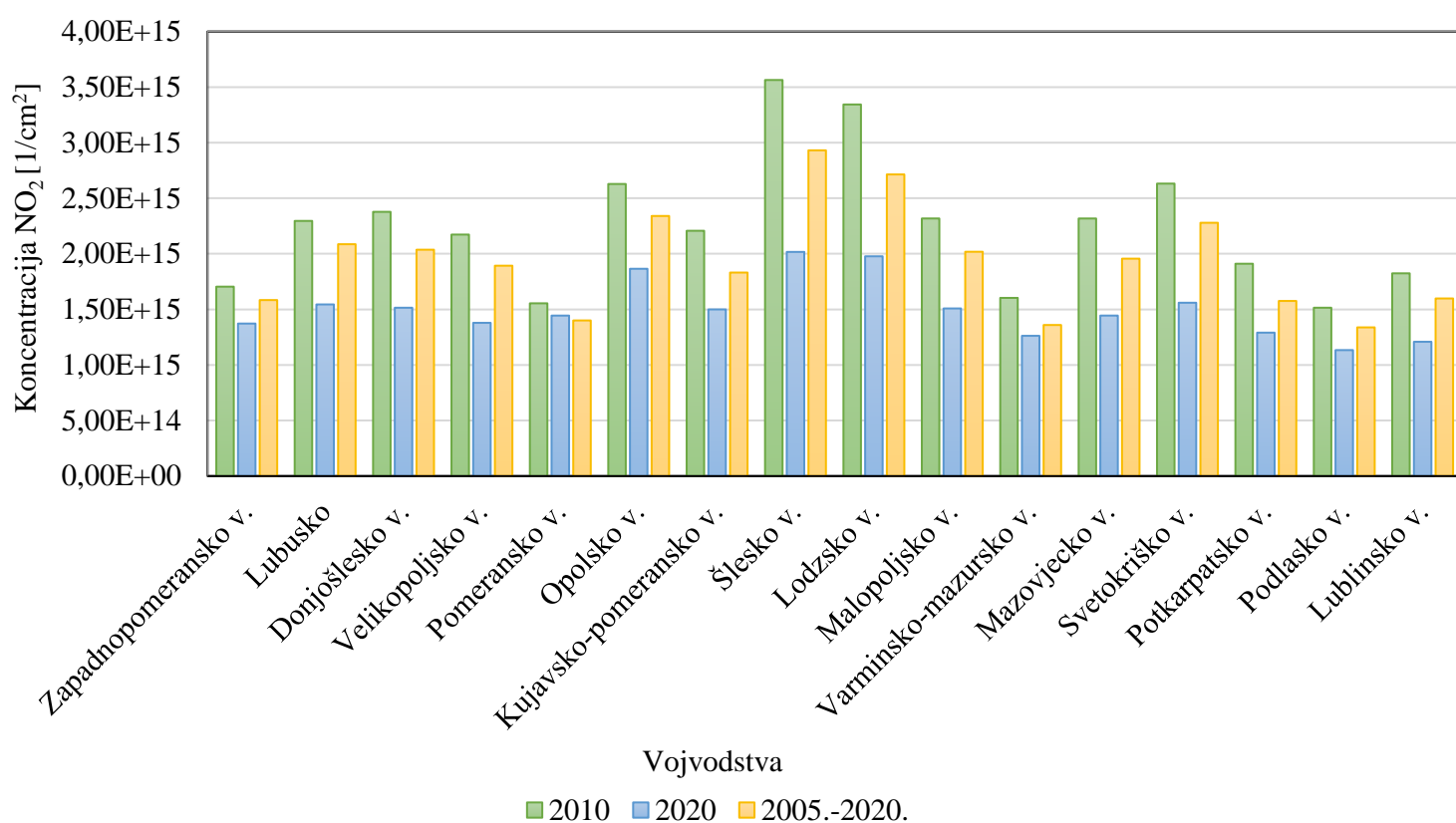
Slika 3. Koncentracija NO<sub>2</sub> za ljetni period 2010. godina



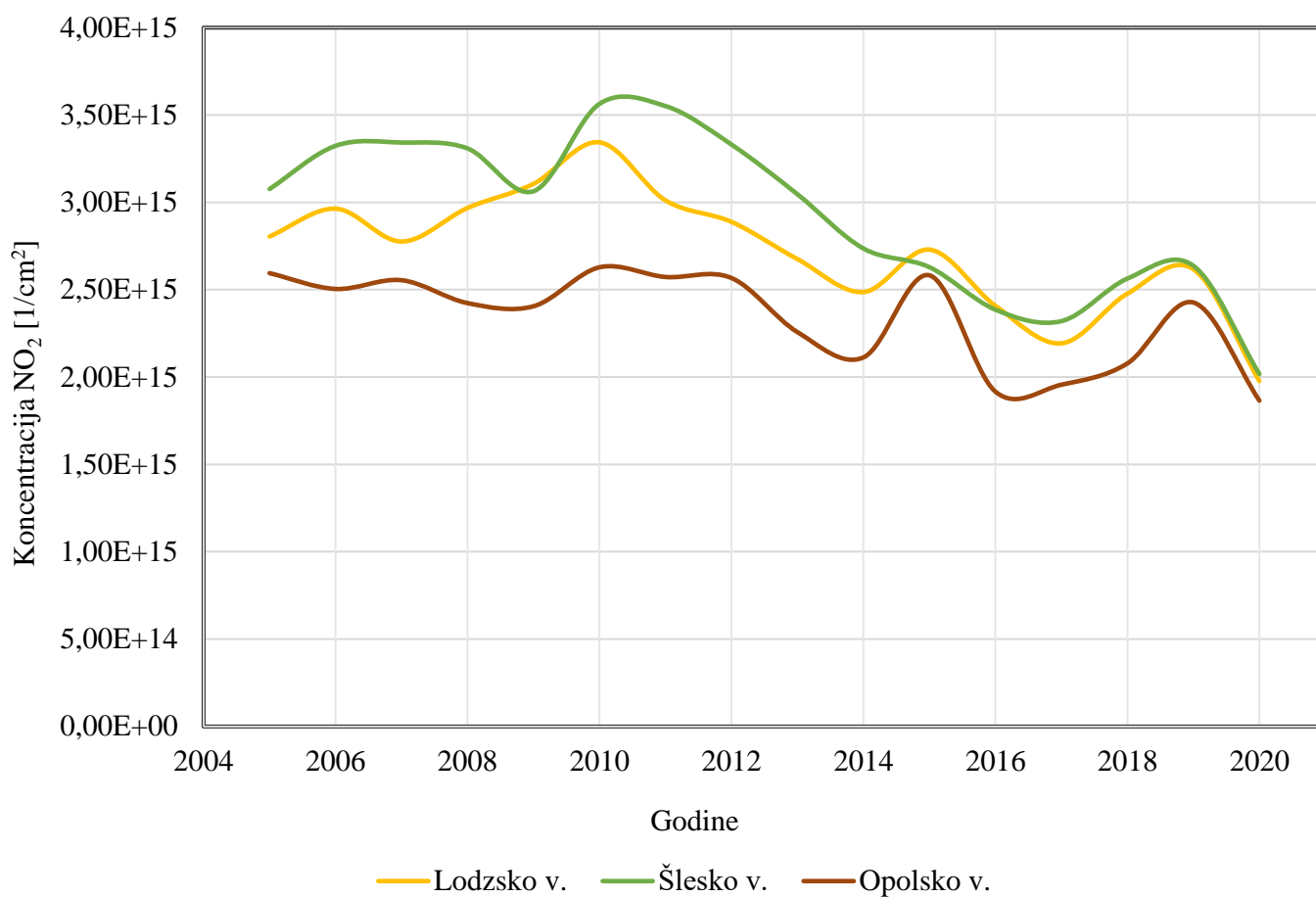
Slika 4. Raster prosječne koncentracije u ljetnom periodu (2005. g. – 2020. g.)

Usporedbom slike 2 i 3 vidljiva je drastična promjena u pogledu koncentracija NO<sub>2</sub> u zraku tijekom 10 godina, a na slici 4 prosjek mjerenih koncentracija u periodu 2005. – 2020. godine. Iz dobivenih prikaza i grafa moguće je ustvrditi najugroženija vojvodstva prema koncentracijama NO<sub>2</sub>. Najviši prosjek zabilježen je unutar Šleskog i Lodskog vojvodstva koje je dom najvećoj termoelektrani u Europi. Upravo su na području oko termoelektrane zabilježene najviše koncentracije. Koncentracija dušikovog dioksida raste od 2005. godine do 2010. godine. U periodu između 2010. i 2011. godine zabilježene i najviše koncentracije NO<sub>2</sub> vrijednosti tijekom perioda razmatranja (2005. – 2020.). Od tada vrijednosti uglavnom opadaju te su najmanje koncentracije zabilježene za 2020. godinu. Utjecaj na takav pad vrijednosti imala je zasigurno i COVID pandemija. Najmanje koncentracije zabilježene su na sjeveru i to za Podlasko i Pomeransko vojvodstvo. Broj nepokretnih izvora unutar navedenih vojvodstava je mali te su oni rijetko raspoređeni.

Na temelju dobivenih rastera izrađen je sljedeći grafikon s prikazom prosječnih NO<sub>2</sub> koncentracija po vojvodstvima na temelju kojeg je moguće ustvrditi ponašanje emisija tijekom godina (slika 5).



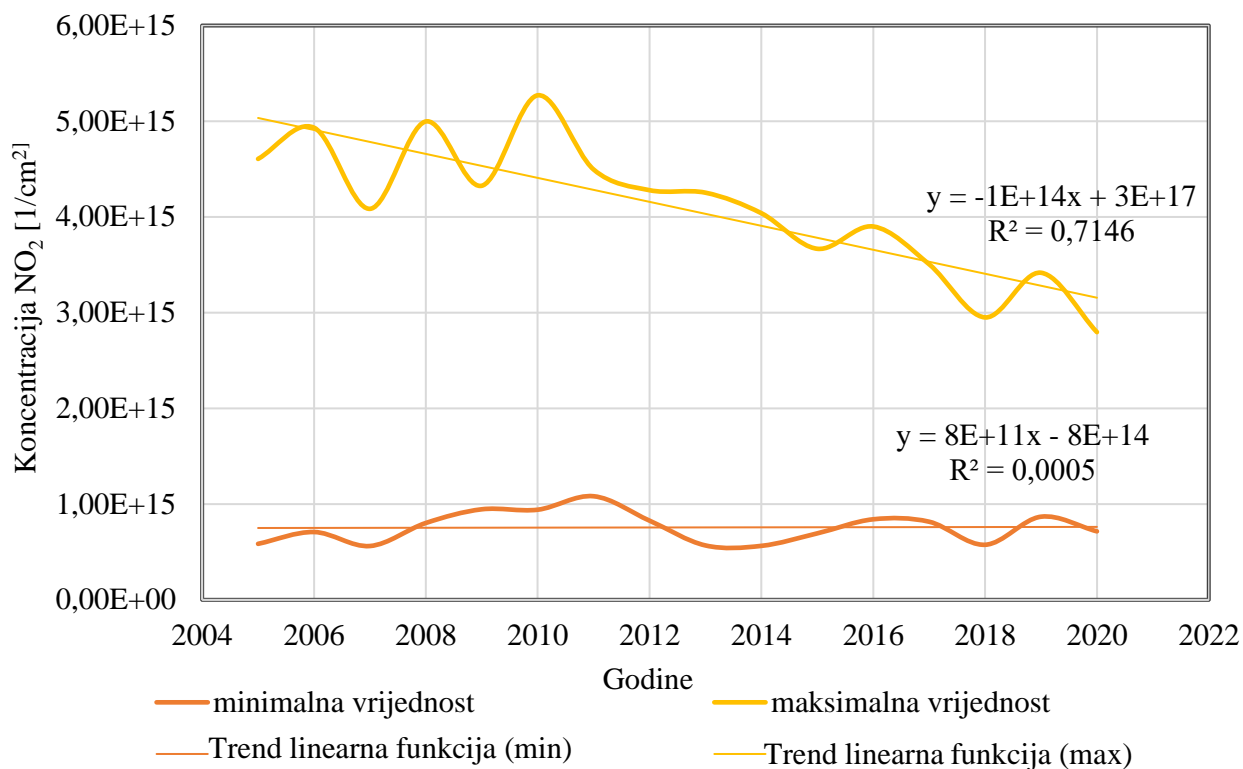
Slika 5. Prosječna koncentracija NO<sub>2</sub> [1/cm<sup>2</sup>] OMI po vojvodstvu



Slika 6. Trend koncentracija NO<sub>2</sub> (2005. – 2020.)

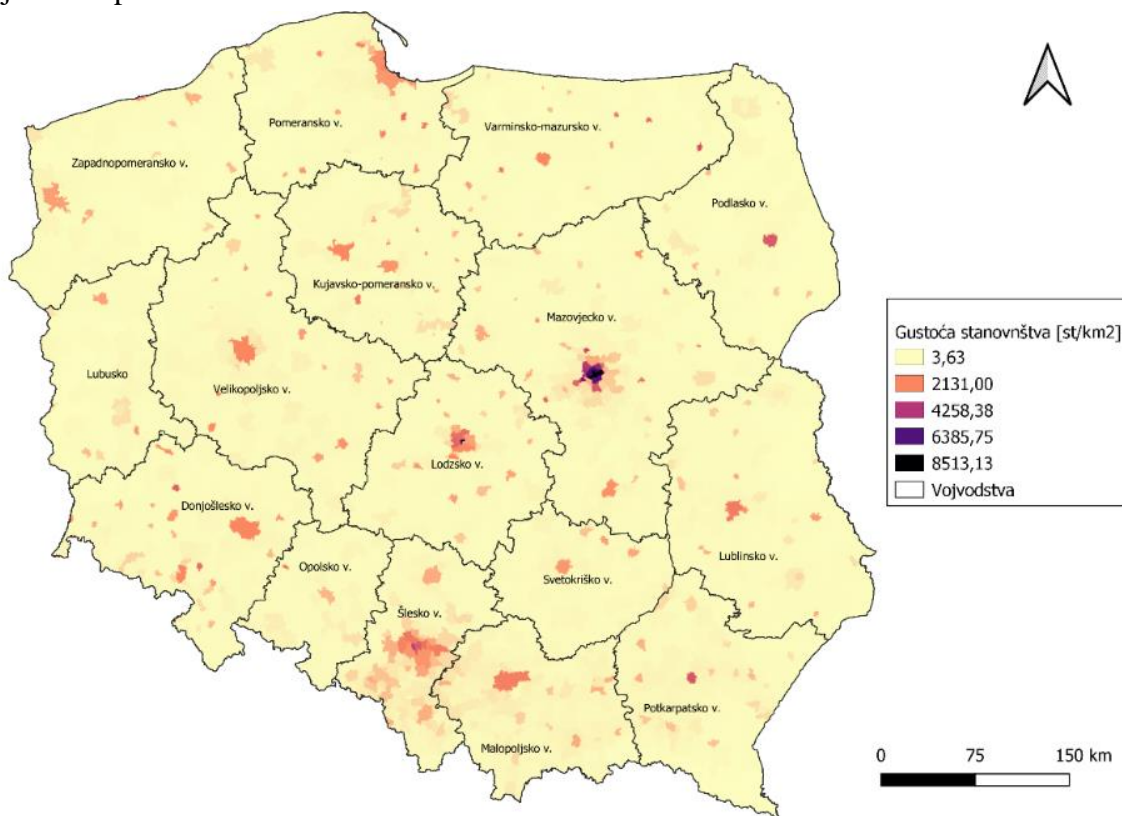
Za vojevodstva s najvećim koncentracijama: Šlesko, Łódzsko i Opolsko određene su prosječne vrijednosti za svaku godinu u periodu 2005. – 2020. g. te je na slici 6 prikazan trend dobivenih vrijednosti. Analogno, prethodnim dobivenim slikama gdje je bilo moguće ustvrditi najmanje i najveće koncentracije sada je moguće odrediti kako variraju navedene vrijednosti kroz godine za određena vojevodstva. Na temelju slike 6 moguće je ustvrditi kako Šlesko vojevodstvo ima najveće koncentracije koje opadaju od 2010. godine te se približavaju koncentracijama NO<sub>2</sub> Łódzskom vojevodstvu. Łódzsko i Opolsko vojevodstvo karakteriziraju uz pad koncentracija i blagi porasti između 2014. i 2016. godine te tijekom COVID pandemije.

Na slici 7 prikazan je i trend minimalnih i maksimalnih vrijednosti kroz godine. Minimalne vrijednosti variraju oko određene vrijednosti dok se maksimalne smanjuju te pokazuju snažnu korelaciju,  $R^2=0,71$ . Na temelju regresijskog pravca i jednadžbe moguće je obaviti predviđanja budućih vrijednosti na danom području.

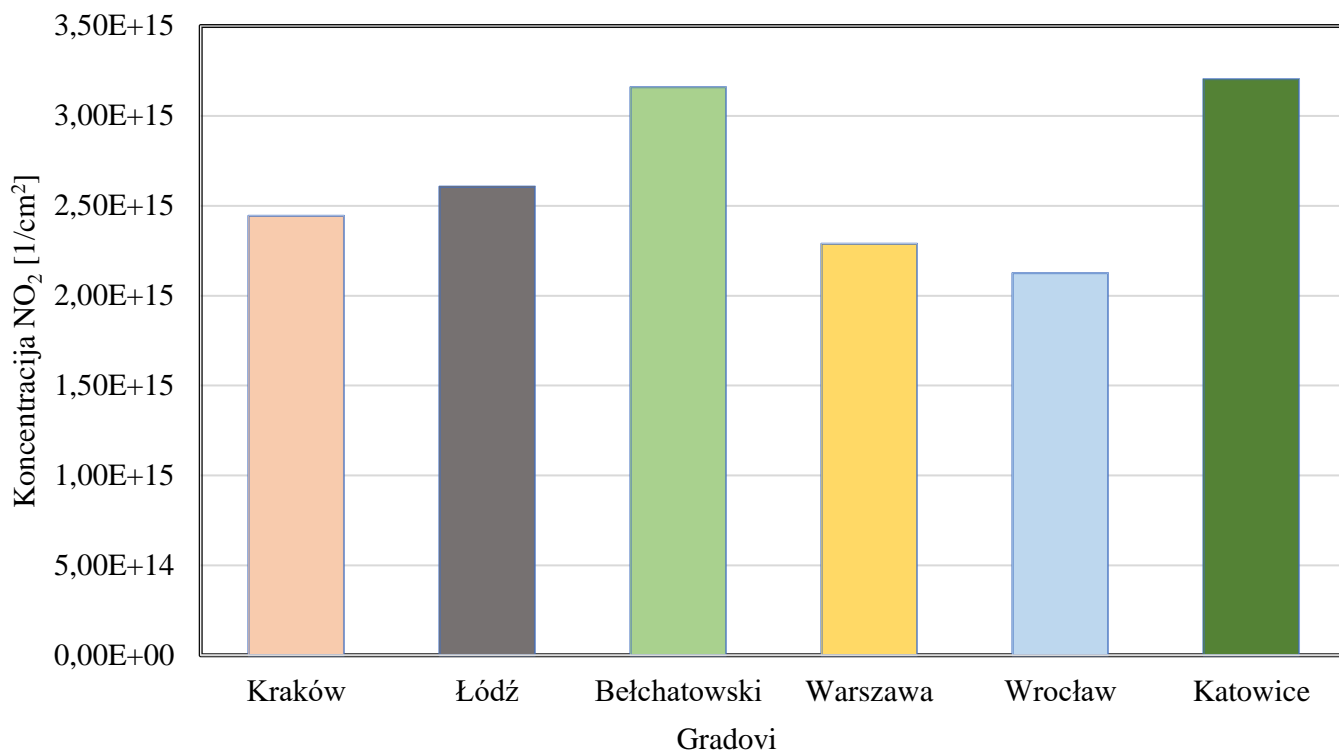


Slika 7. Raspon minimalnih i maksimalnih NO<sub>2</sub> vrijednosti (2005. – 2020.)

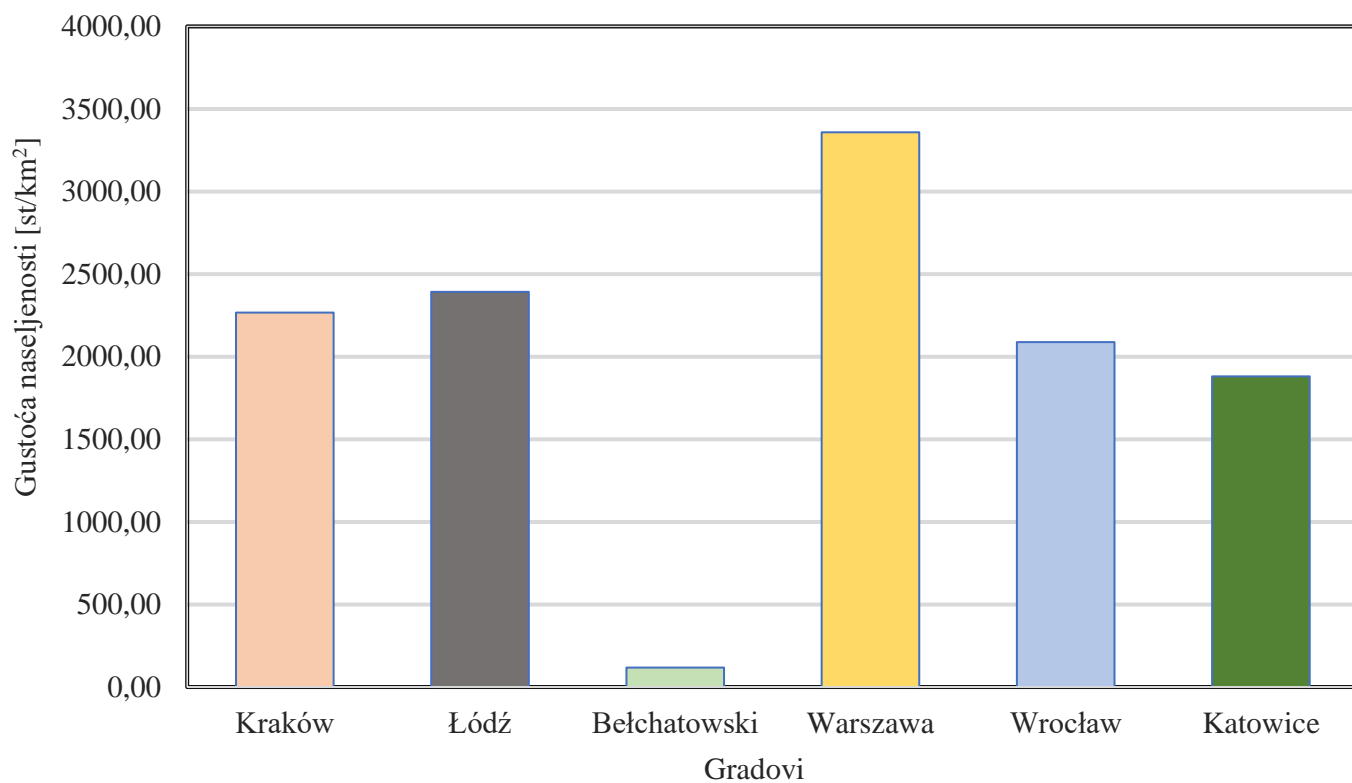
Nadalje, izrađen je prikaz gustoće naseljenosti (slika 8) po vojvodstvima kako bi se podaci usporedili s koncentracijama štetnih tvari i ustvrdilo postoje li vojvodstva s manjom gustoćom naseljenosti i manjim gradovima, a većom emisijom štetnih tvari što bi upućivalo na emisije potencijalnih nepokretnih izvora.



Slika 8. Gustoća naseljenosti (2005. – 2020.)



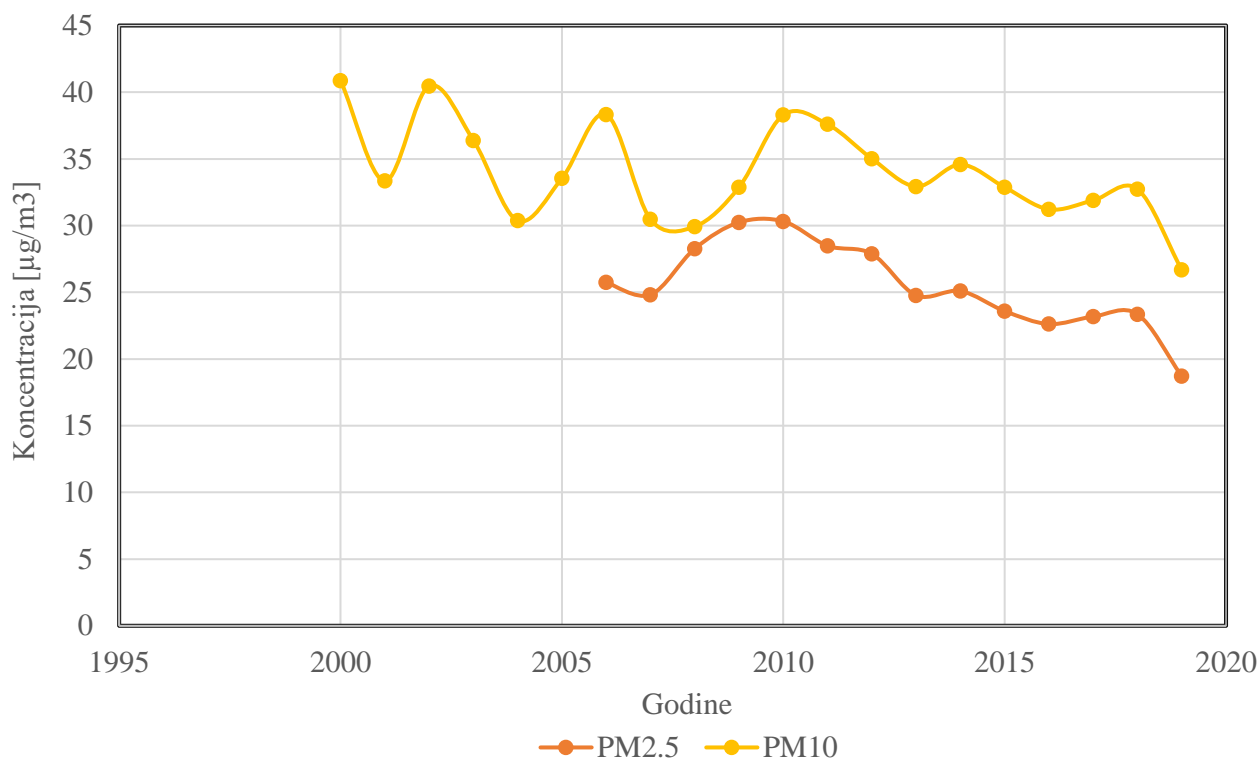
Slika 9. Distribucija gustoće naseljenosti po gradovima (2005.-2020.)



Slika 10. Distribucija koncentracija NO<sub>2</sub> po gradovima (2005.-2020.)

Šlesko vojvodstvo uz velike emisije NO<sub>2</sub> ima i visoku gustoću naseljenosti što nije slučaj za preostala dva vojvodstva koja imaju visoke emisije. Najgušće naseljena su ona vojvodstva u kojima se nalaze i najveći gradovi (Malopoljsko i Mazovjetsko), a iz koncentracija onečišćujućih tvari proizlazi da se onečišćenje na tom području nalazi neposredno uz velike gradove. Analiza gustoće naseljenosti i koncentracija NO<sub>2</sub> za velike gradove i industrijalizirana područja prikazana je na slici 9 i 10. Proizlazi kako najveću gustoću naseljenosti ima Varšava, zatim Lodz, Krakov, Vorclav, Katowice. Najmanju gustoću naseljenosti pak ima područje uz termoelektranu Belchatów, ali zato najviše koncentracije NO<sub>2</sub>. Analogno, velikom broju postrojenja slijedi Katowice prema emisijama. Usporedbom emisija NO<sub>2</sub> na području Varšave i Krakova proizlazi kako Krakov ima veće emisije NO<sub>2</sub>, a za što su jednim dijelom zaslužni i veći broj postrojenja kao i topologija terena. Opolsko vojvodstvo pokazuje isto tako veće emisije NO<sub>2</sub> u odnosu na druga vojvodstva, a ima znatno manju gustoću naseljenosti.

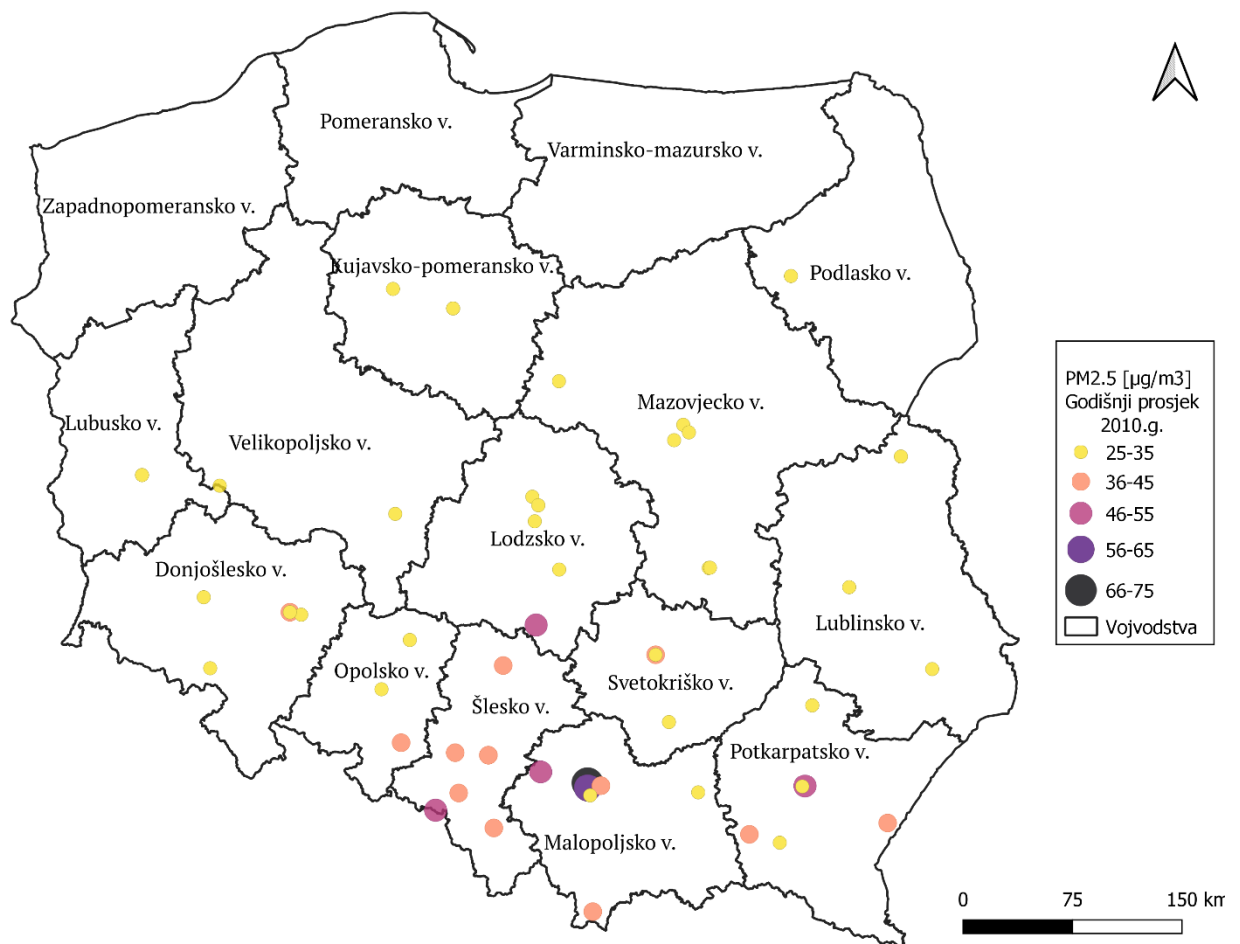
Prekoračenje emisija najviše se uočava iz podataka srednjih godišnjih vrijednosti lebdećih čestica. Statističkim izračunom dostupne baze podataka Inspektorata za određivanje kvalitete zraka ustvrđeno je kako se srednja godišnja koncentracija lebdećih čestica smanjuje kroz godine.



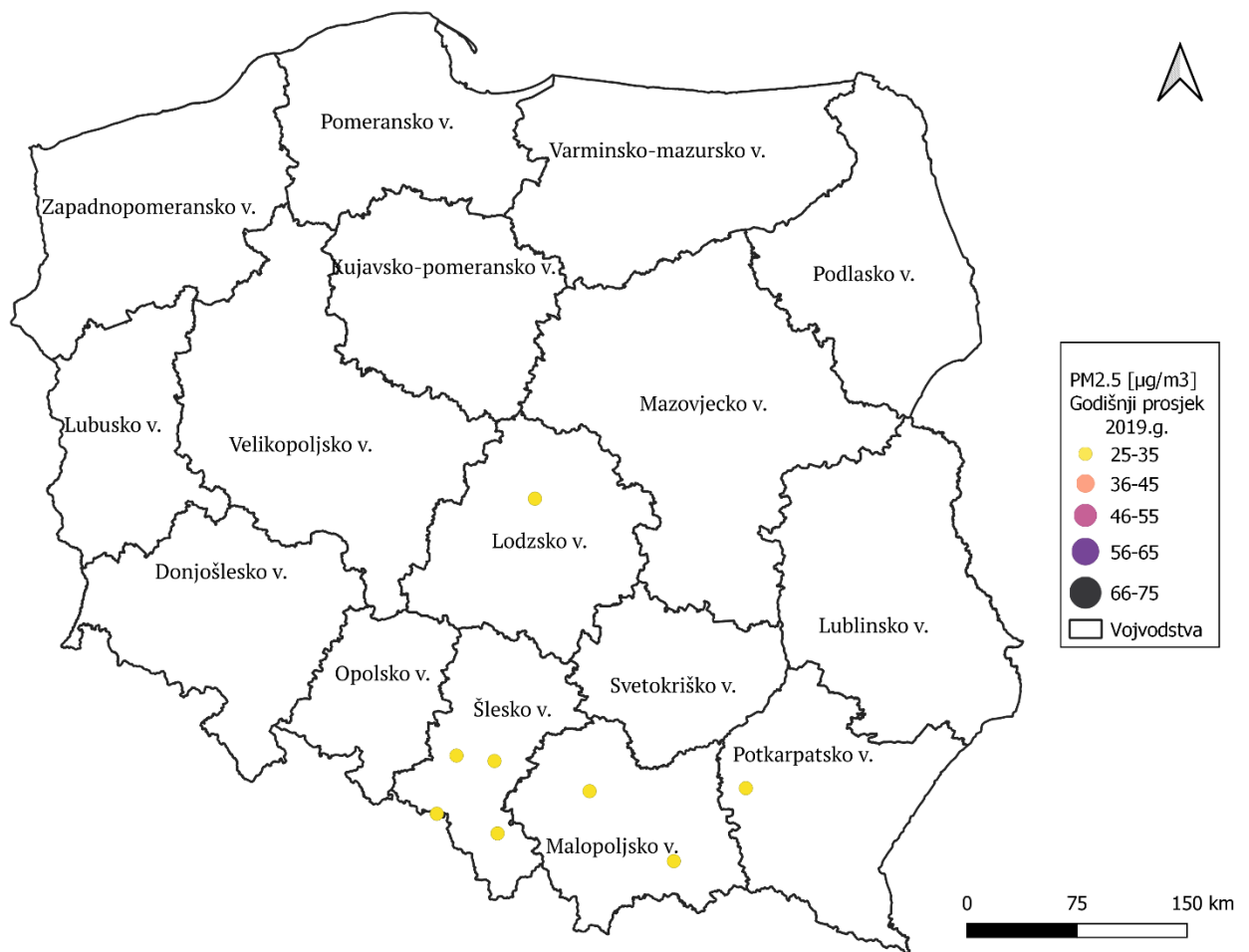
Slika 11. Srednja godišnja koncentracija lebdećih čestica (µg/m<sup>3</sup>) (2000. – 2019.)

Najmanje godišnje koncentracije lebdećih čestica zabilježene su u 2019. godini. Prema direktivi srednja godišnja vrijednost PM2.5 ne bi smjela prelaziti 25 mikrograma po metru kubičnom ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), dok za PM10 ne bi smjela prelaziti  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . U odnosu granične vrijednosti za PM2.5 vidljivo je da su one premašene tijekom više godina u razdoblju od 2008. – 2013. godine (slika 11). Isto tako proizlazi kako su za PM10 godišnje koncentracije, dobivene na temelju vrijednosti svih postaja na danom području, premašene granične vrijednosti dva puta i to u razdoblju do 2005. godine.

Podaci na slici 11 odnose se na godišnje vrijednosti u odnosu na sve mjerne postaje, a kako bi se odredile koje su to mjerne postaje koje imaju godišnje vrijednosti iznad dopuštenih vrijednosti izrađen je prikaz postaja nedozvoljenih koncentracija lebdećih čestica po vojvodstvima. Budući da su lebdeće čestice veoma štetne ustvrditi će se u kojim je gradovima veći rizik od zdravstvenih tegoba povezanih s onečišćenjem.



Slika 12. Mjerne postaje s prekoračenim PM2.5 godišnjim vrijednostima (2010.)

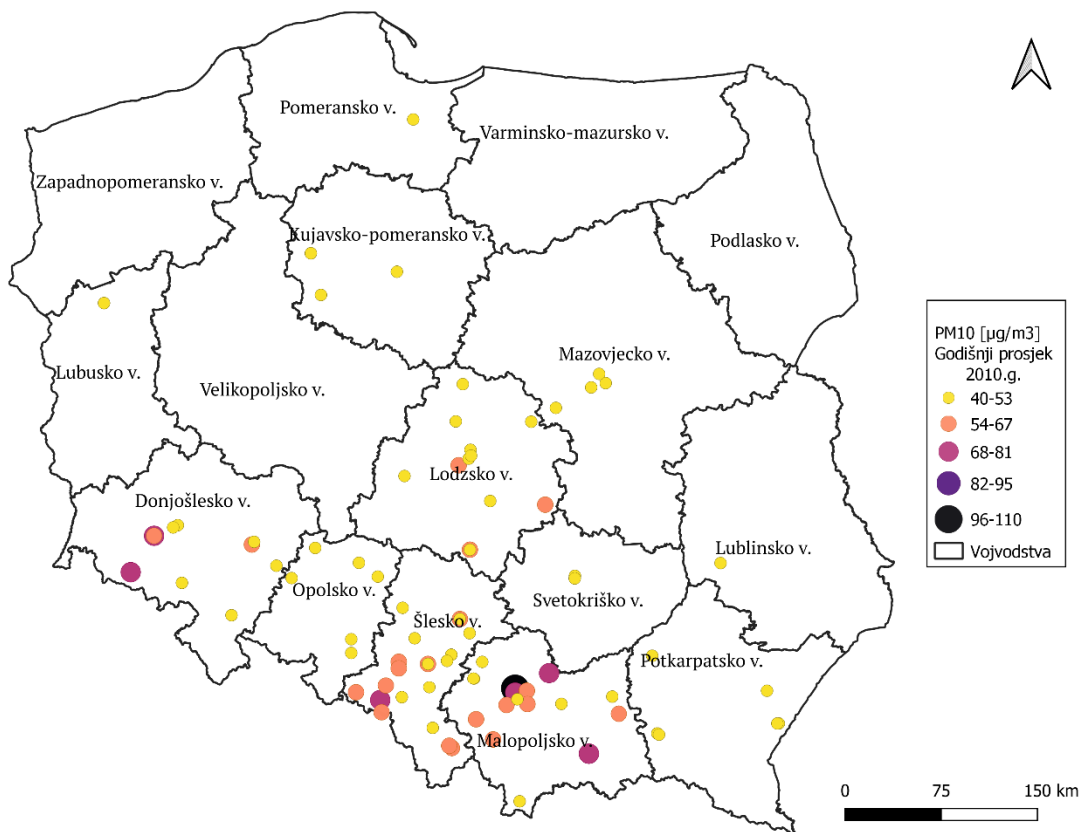


Slika 13. Mjerne postaje s prekoračenim PM2.5 godišnjim vrijednostima (2019. g.)

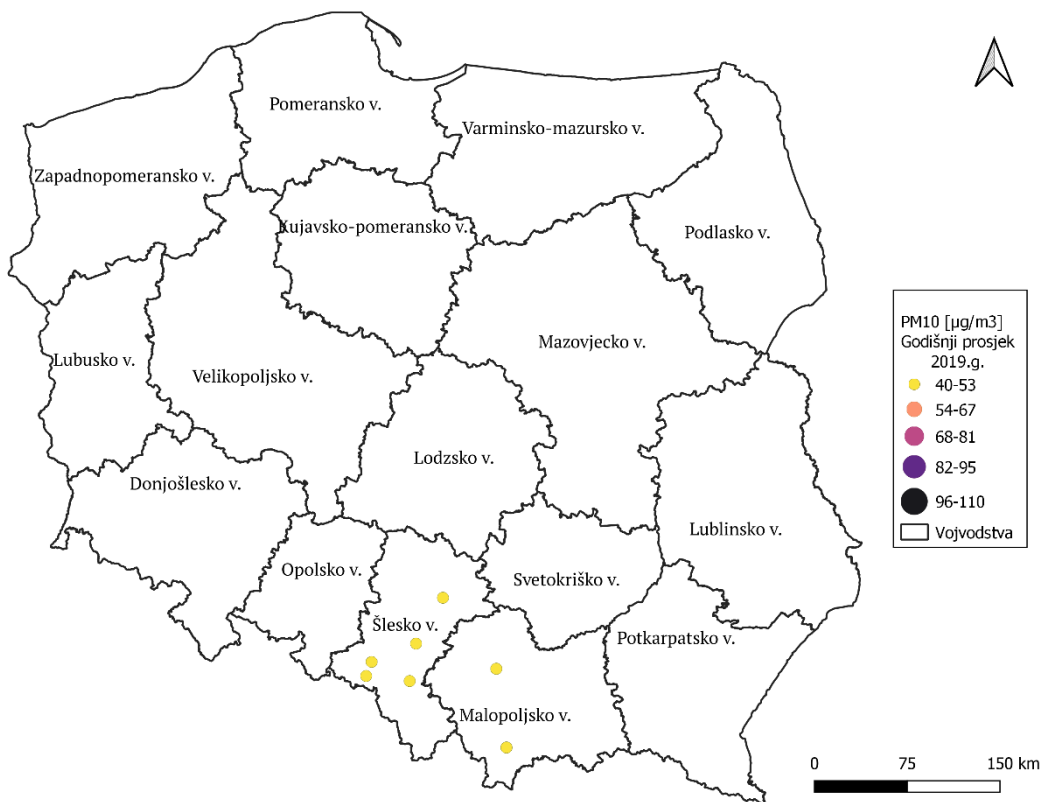
Iz dobivenih prikaza (slika 12 i 13) uočljivo je kako su se godišnje koncentracije PM2.5 čestica znatno smanjile. Za usporedbu je odabrana 2010. godina kada su zabilježene najviše godišnje koncentracije, analogno i već spomenutim rezultatima za NO<sub>2</sub> koncentracije. Na prikazanim postajama koncentracije su znatno više nego dozvoljene (25 µg/m<sup>3</sup>) gdje je najviša koncentracija od 75 µg/m<sup>3</sup> zabilježena na postaji Malopoljskog vojvodstva u Krakovu.

Isti prikazi su izrađeni za godišnje koncentracije PM10. Rezultati su prilično slični s ranije spomenutim. Veliki broj postaja za 2010. godinu bilježi godišnje koncentracije više od dopuštenih 40 µg/m<sup>3</sup>. Maksimalna koncentracija je isto tako mjerena u Krakovu, a iznosi 107 µg/m<sup>3</sup> (slika 14). Za 2019. godinu svega je nekoliko postaja s višim godišnjim koncentracijama, a nalaze se na području Šleskog i Malopoljskog vojvodstva (slika 15).





Slika 14. Mjerne postaje s prekoračenim PM10 godišnjim vrijednostima (2010. g.)

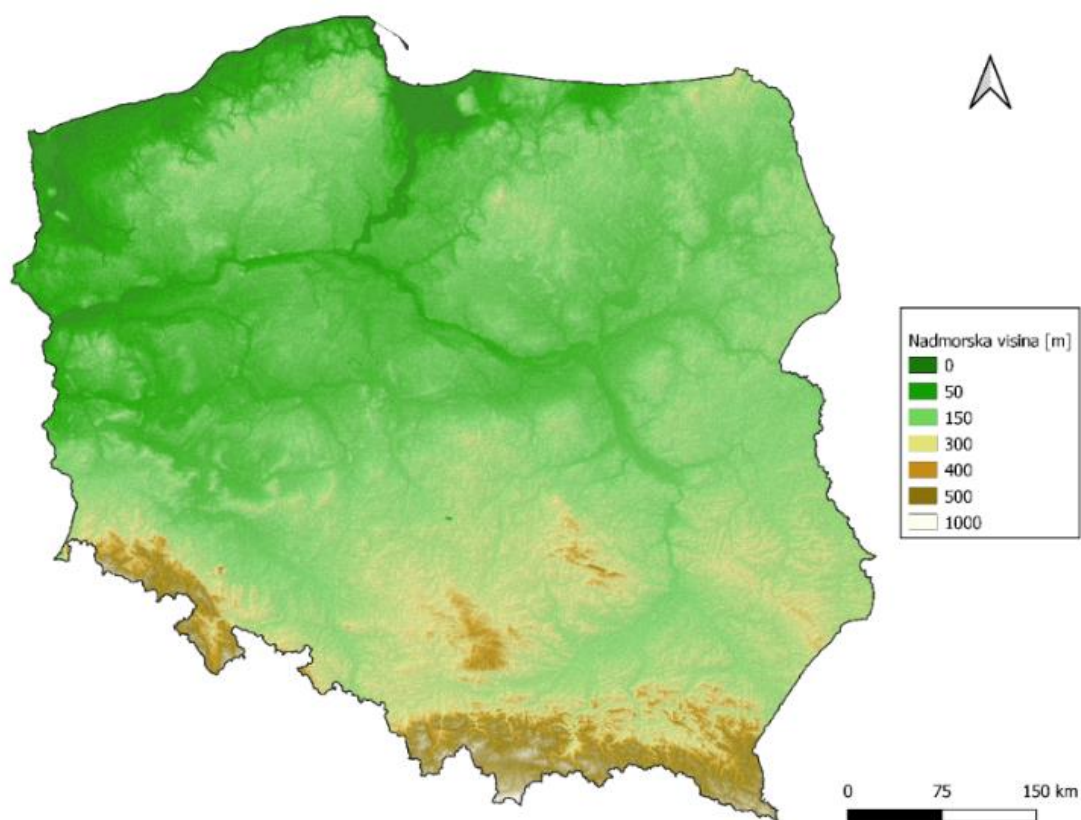


Slika 15. Mjerne postaje s prekoračenim PM10 godišnjim vrijednostima (2019. g.)

Na zadržavanje onečišćenog zraka veliki utjecaj ima topografija terena. Gradovi koji se nalaze u dolinama znatno više su pogođeni onečišćenim zrakom budući da takav zrak ostaje zarobljen. S obzirom da se Krakov prethodno izdvojio prema nedopuštenim koncentracijama lebdećih čestica izrađen digitalni model terena (slika 17) i profil terena (slika 16) za područje grada Krakova. Iz profila je vidljivo da se grad nalazi u dolini pa je samim time i mogućnost zagađenja zraka veća u odnosu na druga mjesta koja su u nizinama.

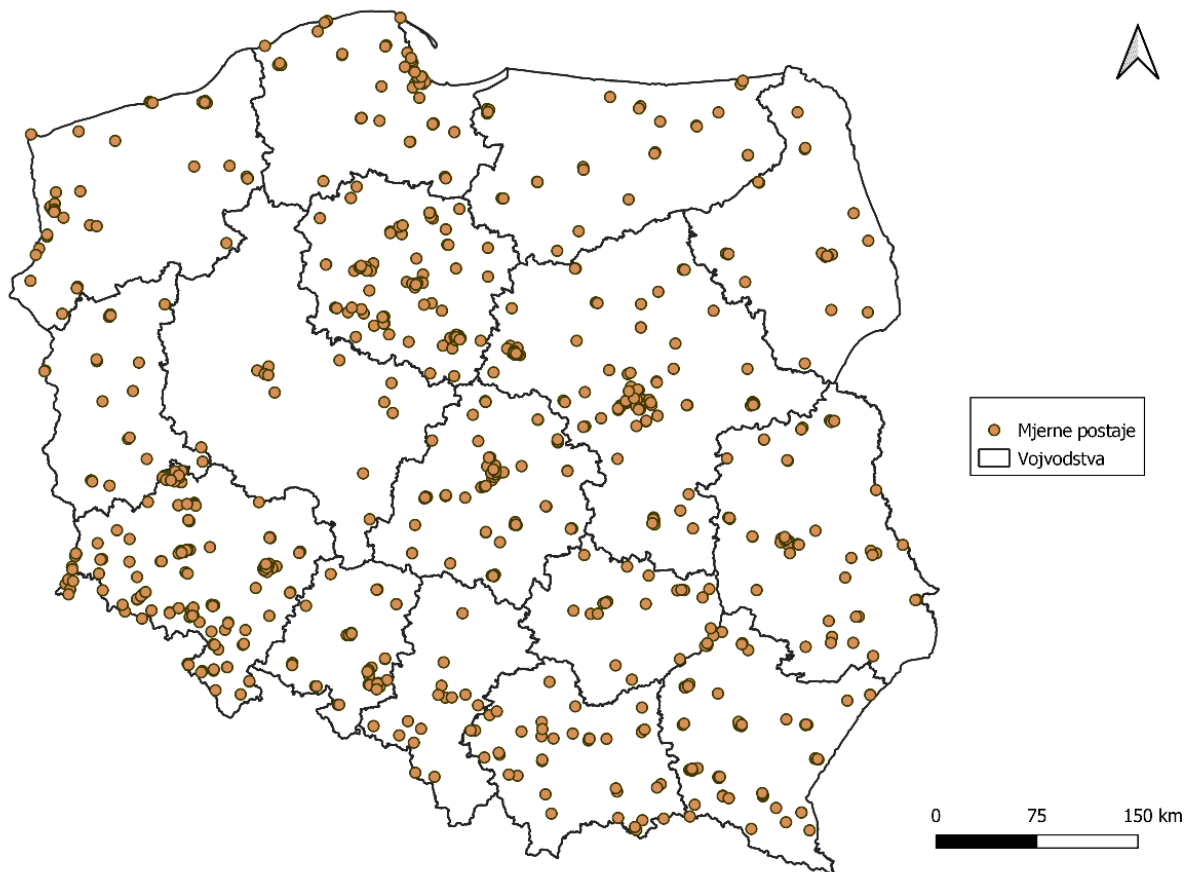


Slika 16. Profil terena na području Krakova



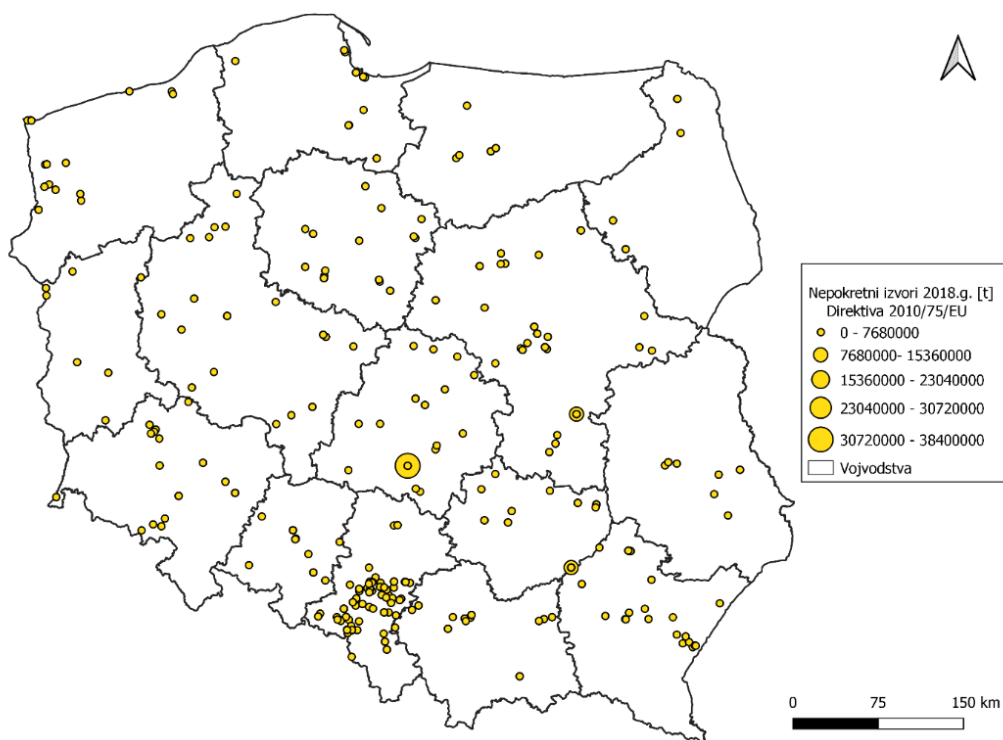
Slika 17. Digitalni model terena u hipsometrijskoj skali boja

Dobiveni rezultati su u skladu s onim dobivenim sa satelitskih snimki gdje je vidljivo smanjenje zagađenja kroz godine. Činjenica je da mjerne stanice nisu sve ravnomjerno raspoređene te da za pojedina područja, kao što je Lodzsko vojvodstvo, mjerene vrijednosti na postajama ne pokazuju zagađenje kao ono ustvrđeno na temelju analize snimke Sentinel-5P. Distribucija mjernih postaja dana je na slici 18. Nisu svi plinovi mjereni na svim postajama, a najveći broj postaja je distribuiran po najvećim gradovima. Kroz godine broj mjernih stanica za praćenje kvalitete zraka se povećava kao i mjerenja razina štetnih tvari.



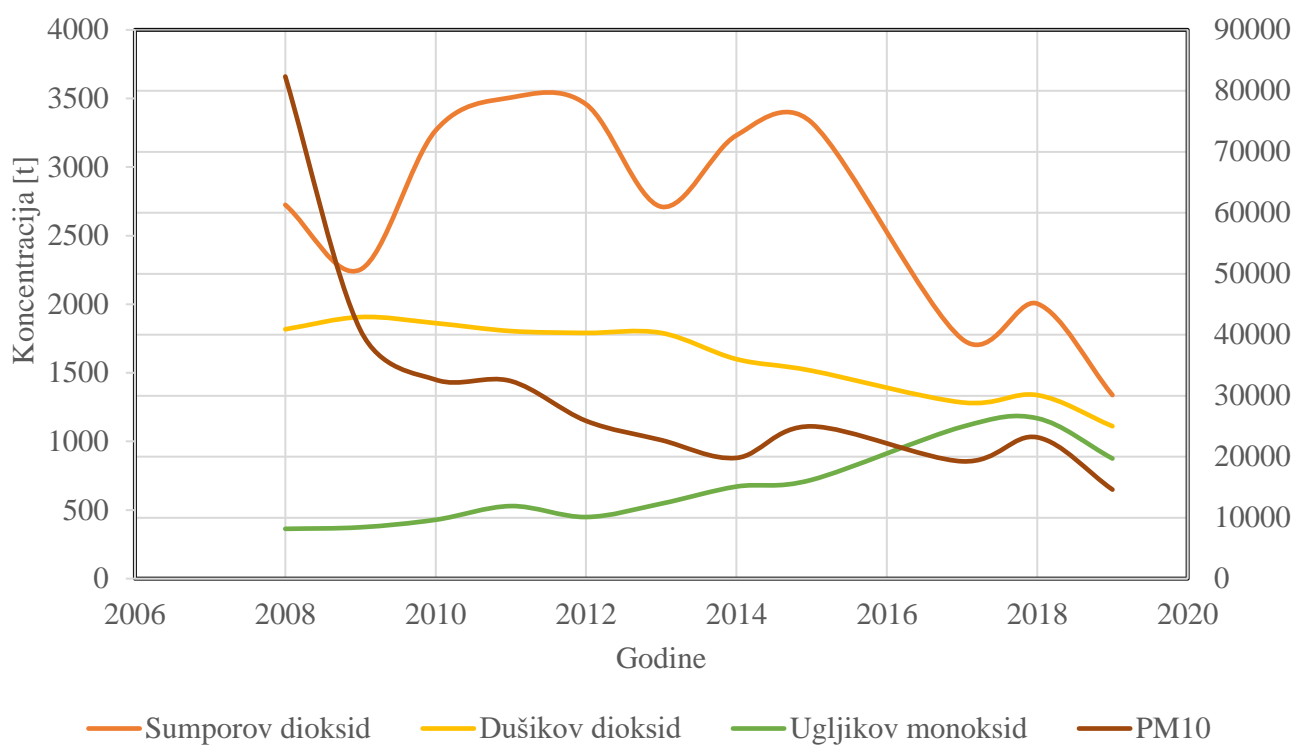
Slika 16. Mjerne postaje kvalitete zraka

Na slici 19 prikazana je distribucija nepokretnih izvora koji su prema Europskoj direktivi 2010/75/EU dužni dostaviti izvješće o emisijama. Iz dobivenog prikaza proizlazi kako je najgušća koncentracija nepokretnih izvora na području Šleskoj vojvodstva. Prikazana je njihova distribucija te količina emisija u tonama za 2018. godinu na slici 19.



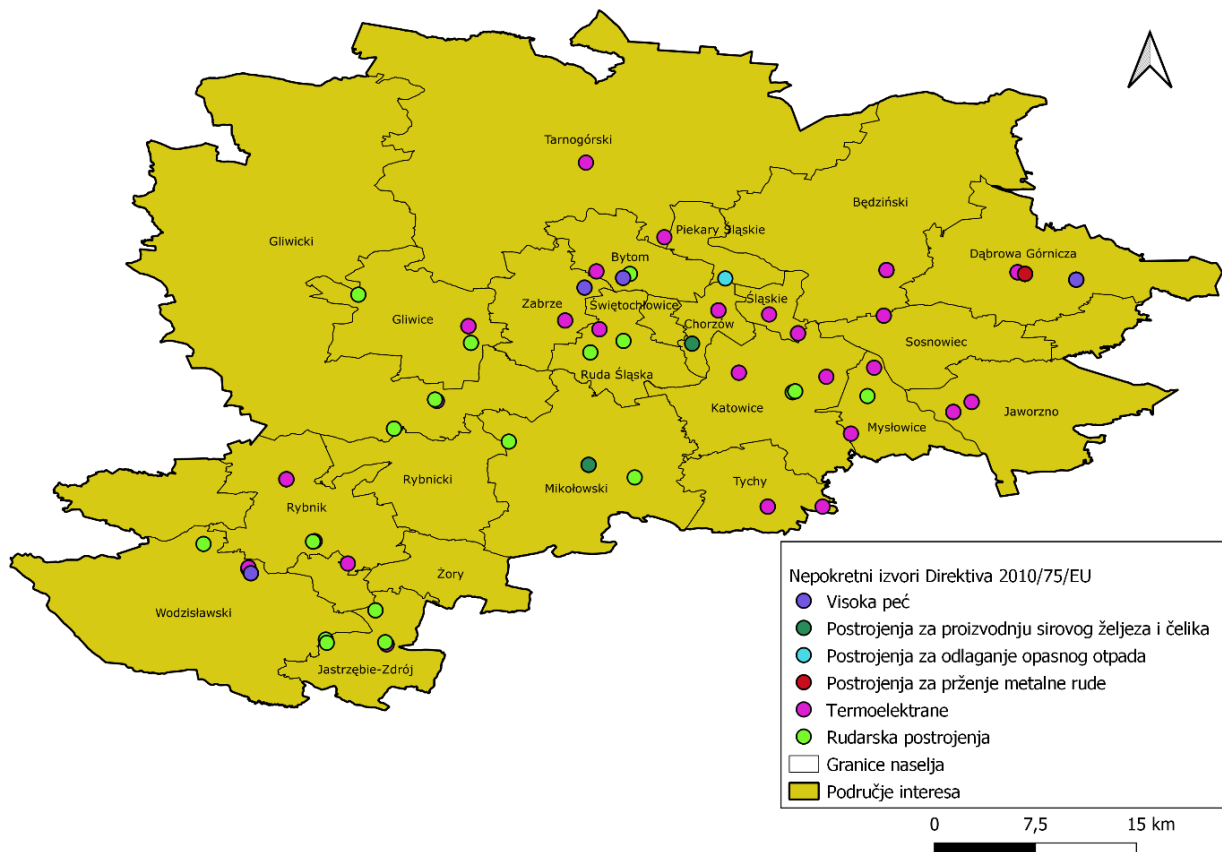
Slika 17. Nepokretni izvori prema Direktivi 2010/75/EU (2018. g.)

Daleko najveće emisije u odnosu na druga postrojenja ima termoelektrana Bełchatów (PGE Górnictwo i Energetyka Konwencjonalna S.A. - Oddział Elektrownia Bełchatów).



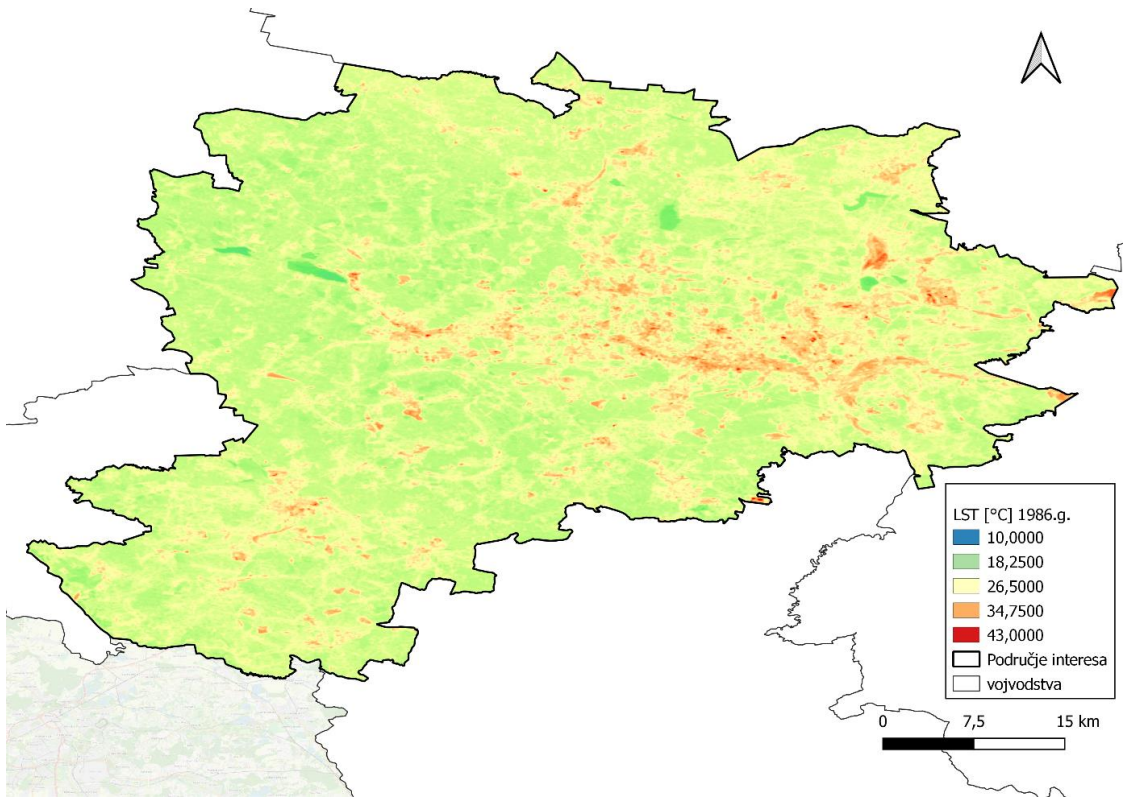
Slika 18. Trend emisija termoelektrane Bełchatów (2008. – 2019.)

S obzirom na tu činjenicu izrađen je prikaz na slici 20 koji pokazuje trend emisija termoelektrane Belchatow. Od prikazanih plinova termoelektrana najviše ispušta sumporovog dioksida, zatim slijedi dušikov dioksid, ugljikov monoksid i PM10. Osim navedenih plinova, termoelektrana ispušta i značajne količine amonijaka, žive, arsena, kroma, nikala, bakra, ali u odnosu na prikazane plinove u neznatnim količinama. Dok se za SO<sub>2</sub> i NO<sub>2</sub> smanjuju emisije u zrak, za CO pokazuje se porast emisija prema 2018. godini. Ipak najveće emisije se odnose na ugljikov dioksid koji je i najviše doprinosi klimatskim promjenama, a za 2018. godinu emisije iz termoelektrane iznosile su 38400000 tona. Raster temperature površine tla izrađen je za područje unutar Šleskog vojvodstva na području najveće koncentracije nepokretnih izvora. Područje od interesa prikazano je na slici 21 kao i distribucija nepokretnih izvora. Na danom području nalaze se postrojenja: za proizvodnju sirovog željeza i čelika, za odlaganje opasnog otpada, za prženje metalne rude, termoelektrane, visoke peći i rudarska postrojenja.

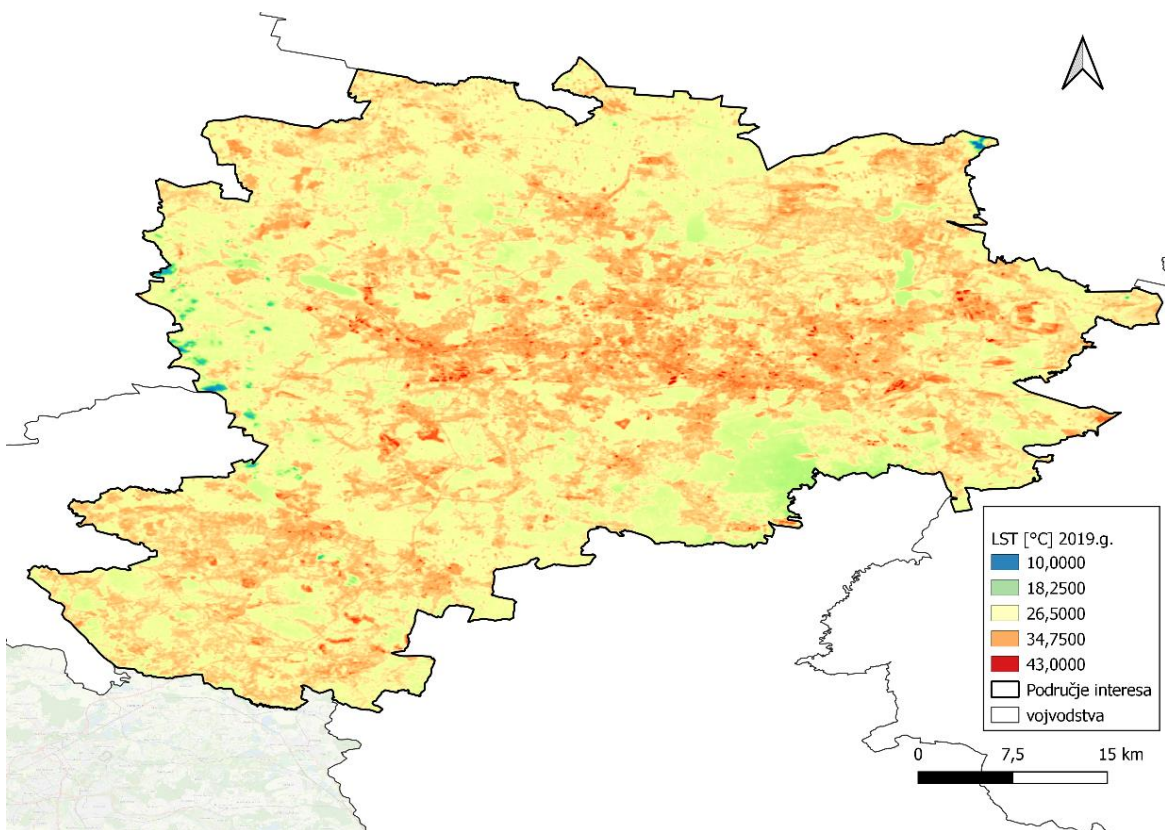


Slika 19. Područje s najvećom koncentracijom točkastih izvora za koju će se određivati LST

Za područje na slici 21 prema formulama iz poglavlja 3.3. dobiveni su prikazi temperature površine tla za 1986. godinu te 2019. godinu (slika 22 i 23).

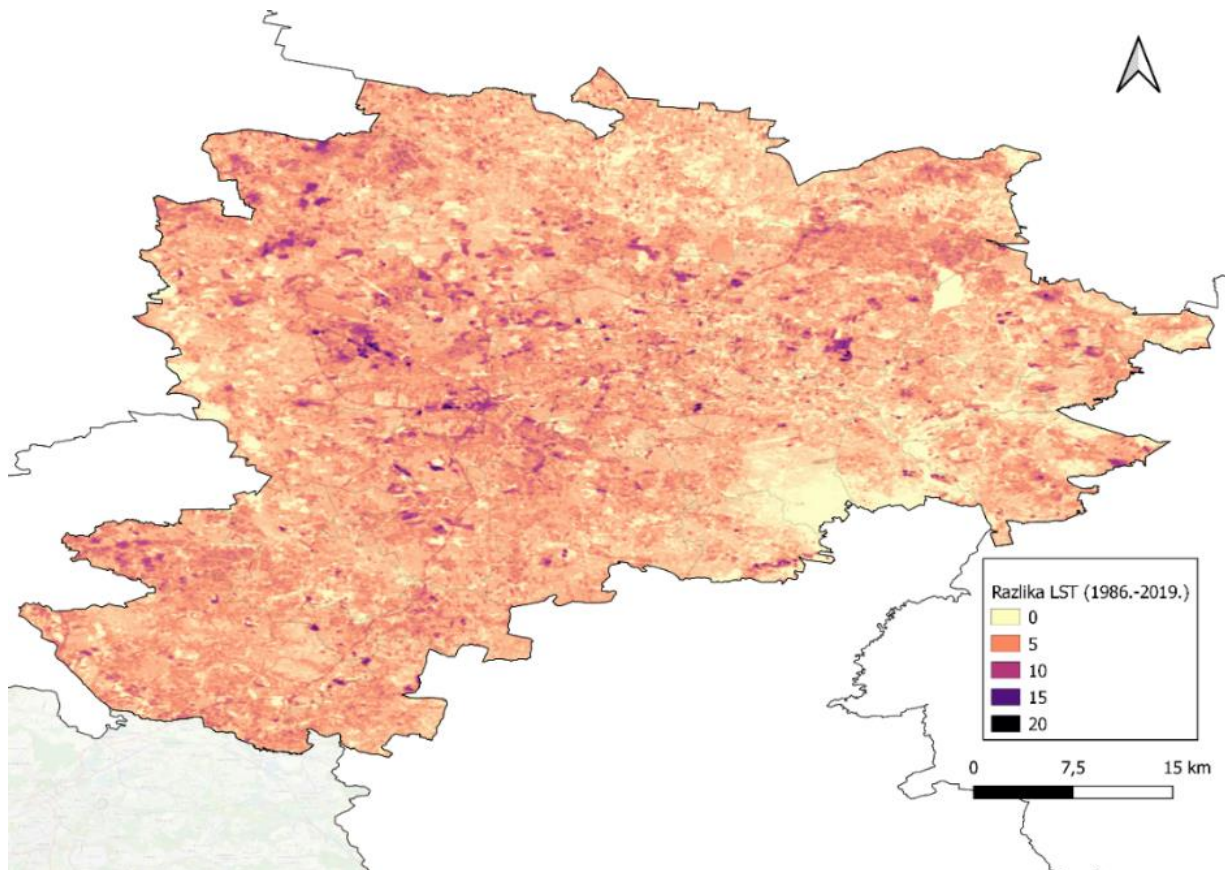


Slika 20. LST područja od interesa za 1986. godinu

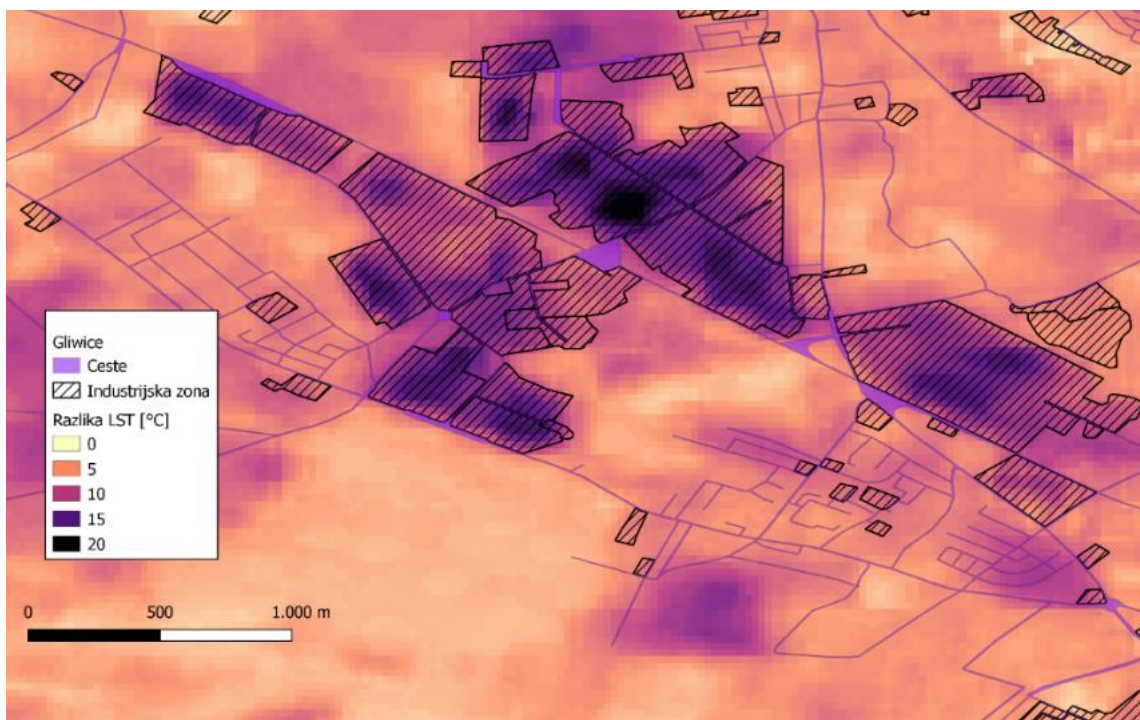


Slika 21. LST područja od interesa za 2019. godinu

Za potrebe usporedbe rastera dodijeljena je ista skala boja i interval. Iz dobivenog prikaza uočljiva je velika razlika na području od interesa. Pojedina područja imaju vrlo malu razliku u temperaturi dok se pojedina posebice izdvajaju. Posebice su uočljiva područja koja su u 1986. činila vegetaciju, a 2019. čine izgrađeno područje. Razlike su izrazite zbog izgrađenog područja, a kako bi se ustvrdilo kako se kreću razlike temperatura na području industrijske zone i stacionarnih izvora (prema Direktivi 2010/75/EU) korišteni su podaci urbanih područja Copernicusa (CLMS – Copernicus Land monitoring service) iz kojih je obavljena reklasifikacija i izdvajanje industrijske zone. Iz rastera razlike LST-a (slika 24) proizlazi da se najveće razlike nalaze na području industrijske zone (slika 25) što je posljedica materijala od kojeg su građeni te njihove visine koja više zadržava toplinu u odnosu na ostale zgrade pa se samim time na području koje je znatno industrijalizirano povećava utjecaj toplinskih otoka.

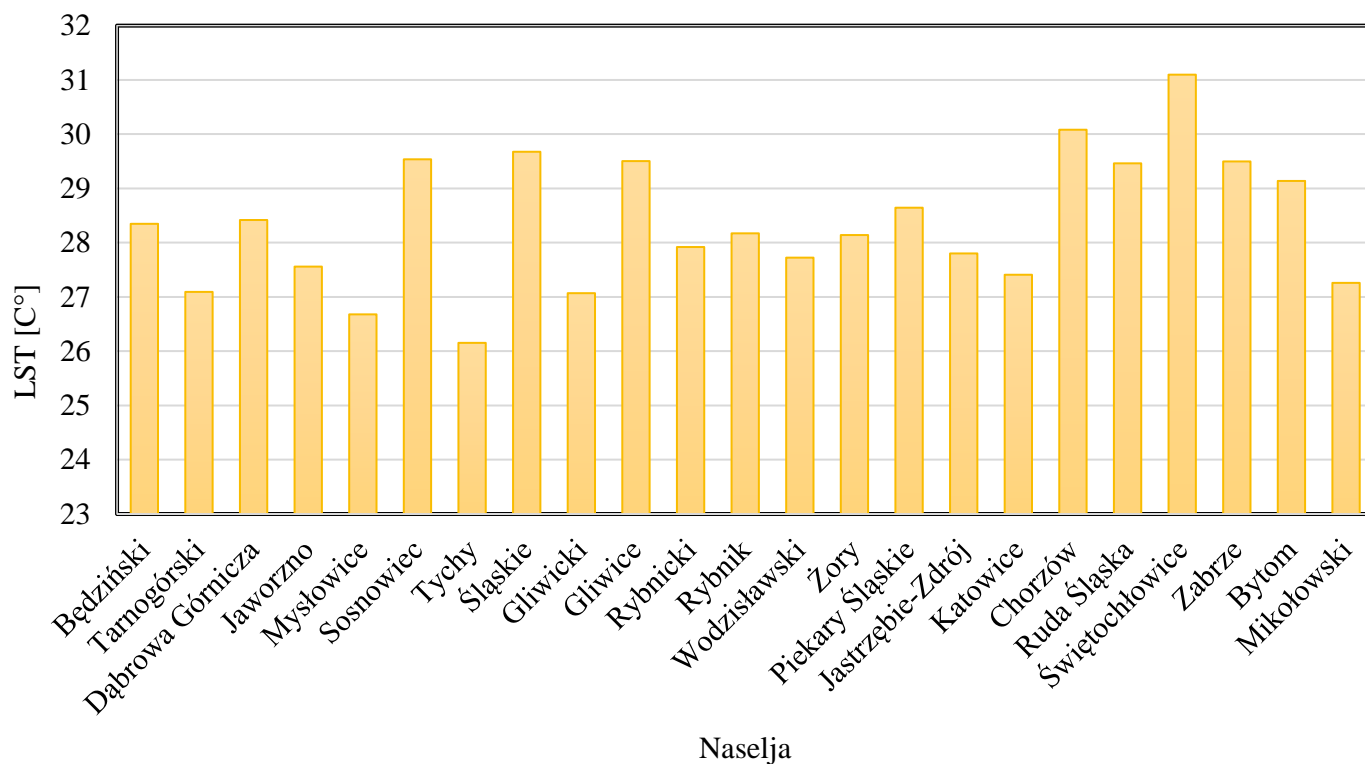


Slika 22. Raster razlike površine temperature tla (1986. – 2019.)



Slika 23. Temperaturne razlike na području industrijske zone (1986. – 2019.)

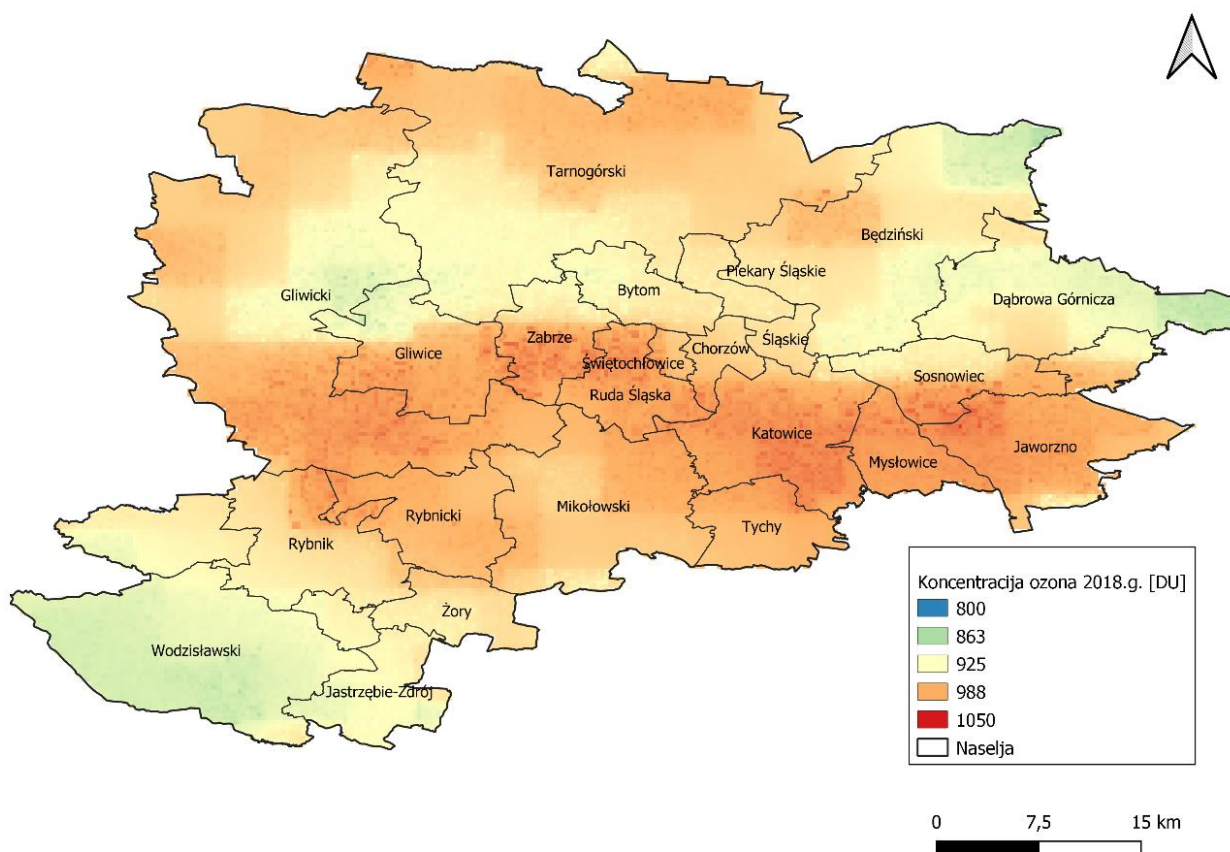
Za navedeno područje određene su prosječne vrijednosti po naseljima unutar područja od interesa. Sa slike 26 proizlazi kako najviše prosječne vrijednosti ima mjesto Swietochlowice.



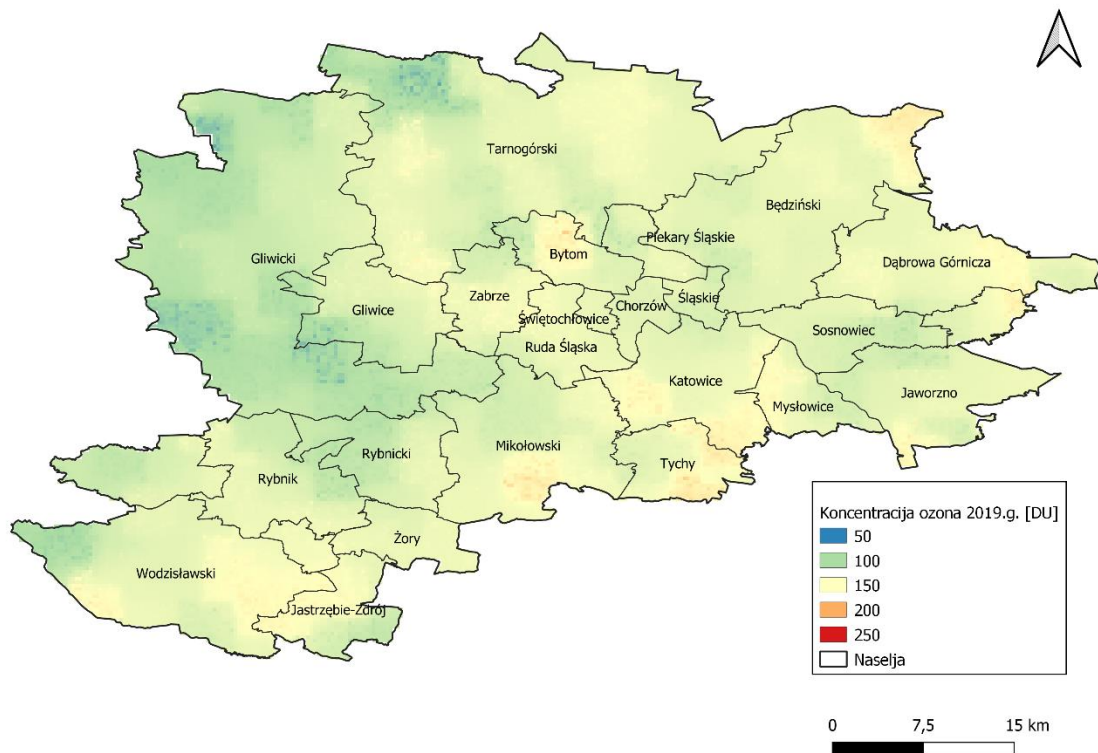
Slika 24. Prosječne LST vrijednosti za 2019. g. po naseljima



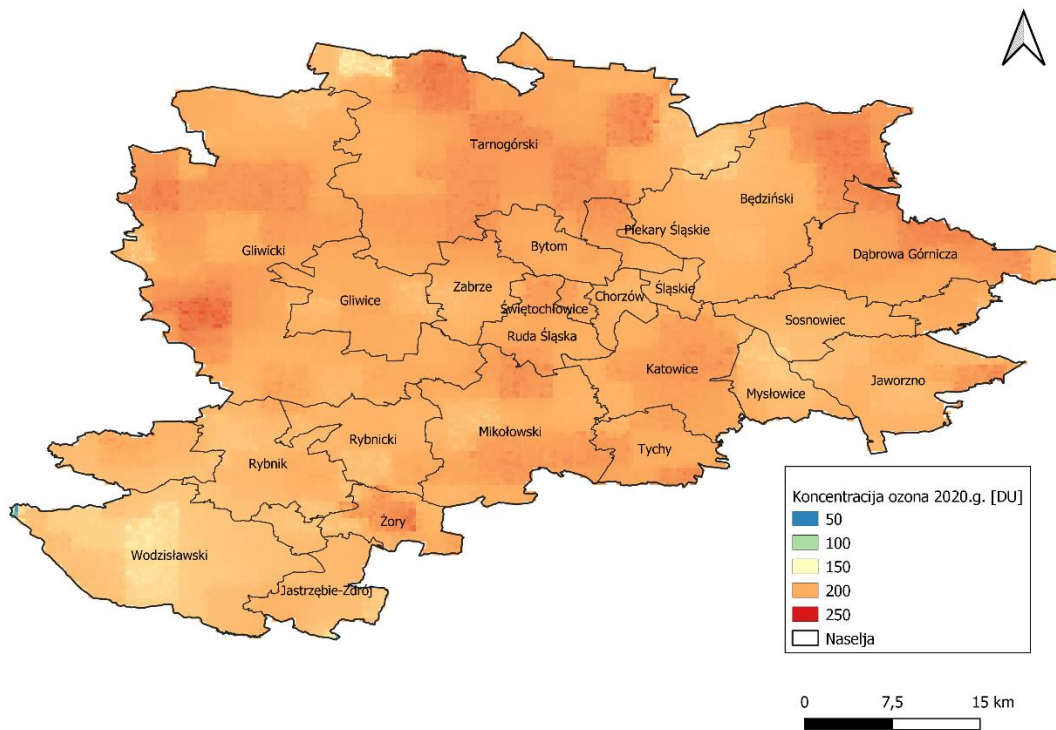
Izrazito štetan plin kojem pogoduje povišenje temperature jest ozon. Po provedenoj konverziji u Dobsonove jedinice na temelju Sentinel-5P snimki izrađeni su prikazi na slici 27, 28 i 29 za ljetni period 2018., 2019. i 2020. godine kako bi se ustvrdile vrijednosti ozona i utjecaj koronavirusa na smanjenje emisija. Proizlazi da su za 2018. godinu vrijednosti ozona bile najviše i čak znatno više od prosječnih. Minimalna vrijednost iznosila je 800 DU što je znatno više od prosjeka (300 DU), ali se isto tako pokazao vrlo veliki pad u 2019. kada su zabilježene najmanje vrijednosti. Vrijednosti ozona u 2020. godini sa popuštanjem mjera su nešto više, ali i dalje ispod prosjeka. Najveće koncentracije ozona nalaze se na području mjesta Zabrze i Katowice. Prosjek koncentracija za ozon po naseljima dan je na slici 30.



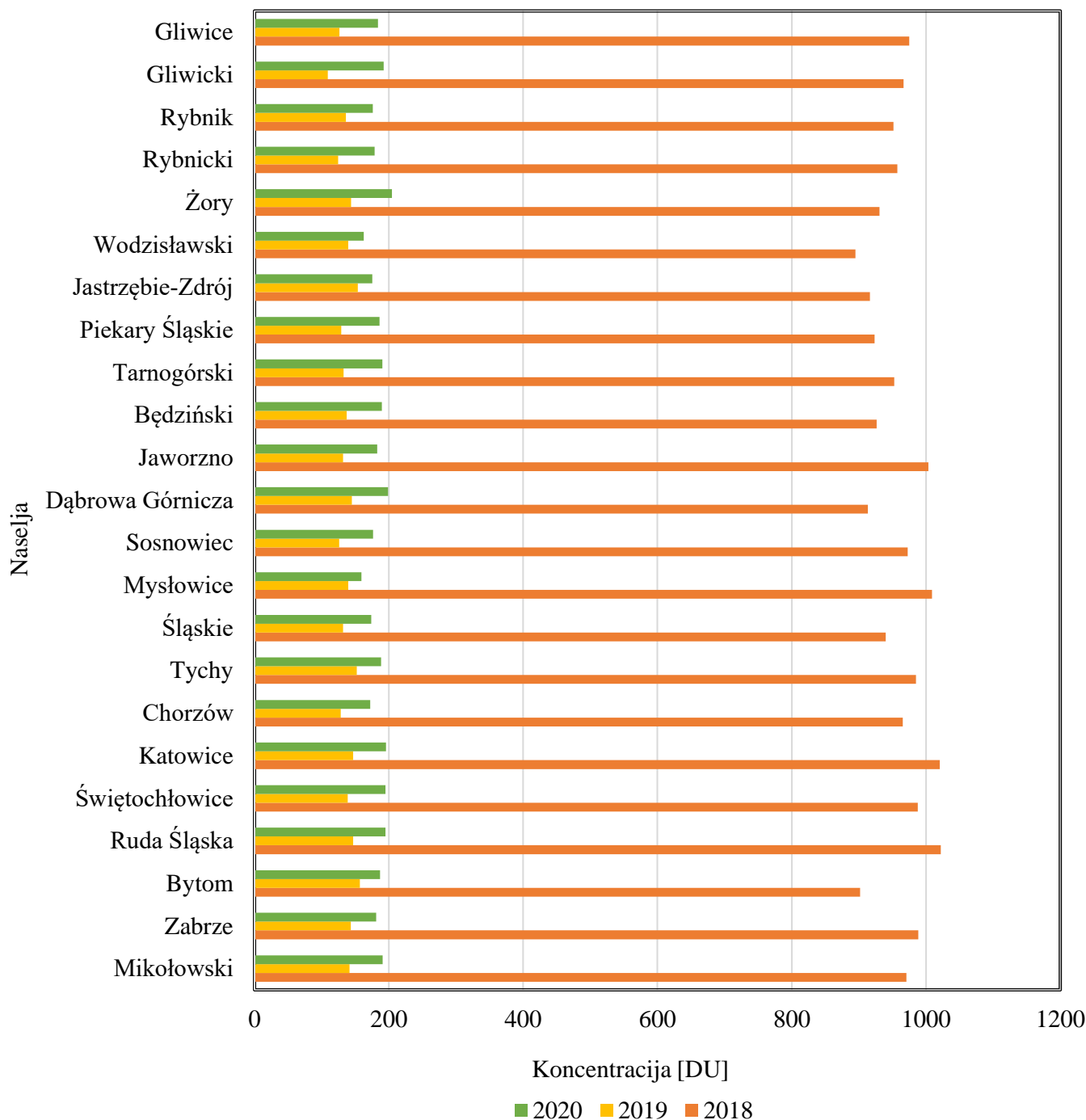
Slika 25. Koncentracija ozona za lipanj 2018. godine



Slika 26. Koncentracija ozona za lipanj 2019. godine

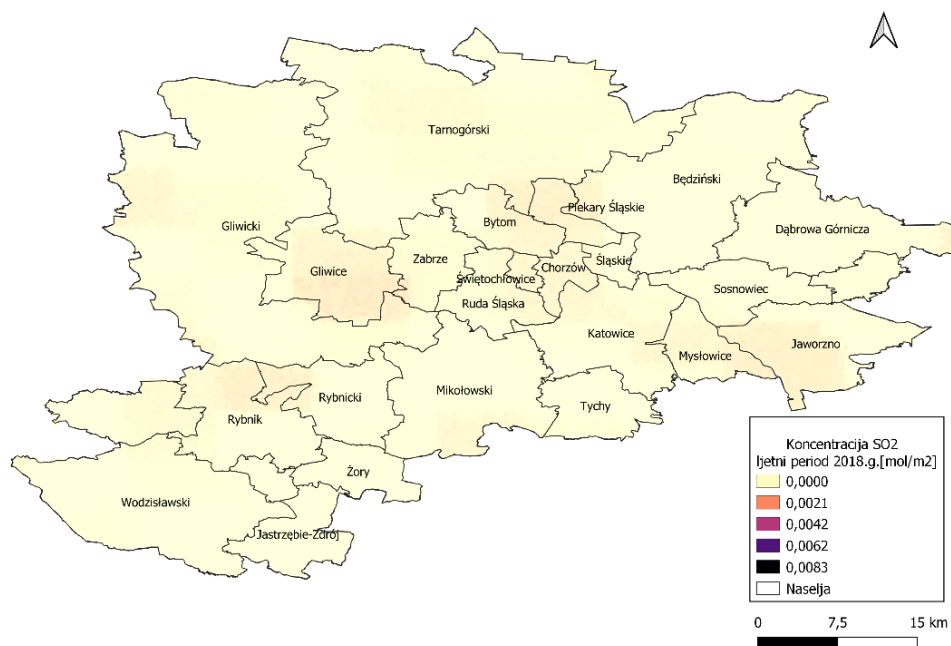


Slika 27. Koncentracija ozona za lipanj 2020. godine

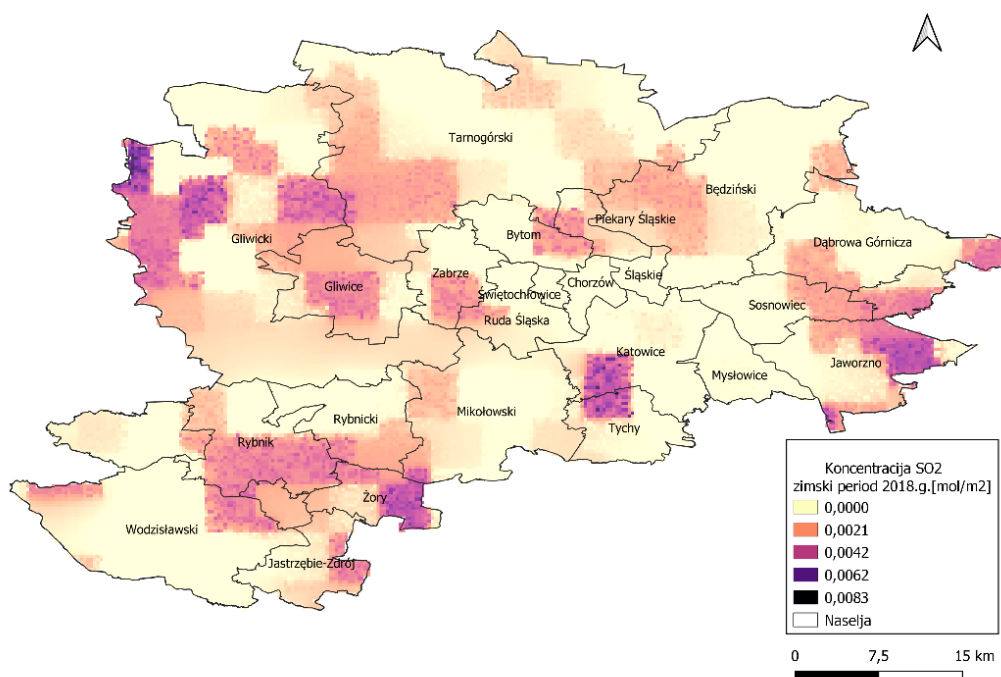


Slika 28. Prosjek koncentracija po mjestima izračunat iz dobivenih rastera [DU]

Nadalje, ustvrđeno je kako su koncentracije štetnih plinova su različite kroz godinu. Obično su koncentracije štetnih plinova veće u zimskim mjesecima nego li u ljetnim. U tu svrhu izrađeni su prikazi za sumporov dioksid za zimski i ljetni period. Iz slika 31 i 32 jasno je uočljiva razlika između koncentracija  $SO_2$ , one su znatno više u zimskom periodu te je unutar područja moguće odrediti koja su to naselja. Proizlazi kako više koncentracije nisu pravilo, primjerice za ranije analizirani ozon pokazalo se da su koncentracije veće ljeti zbog visokih temperatura koje pogoduju njegovom stvaranju.

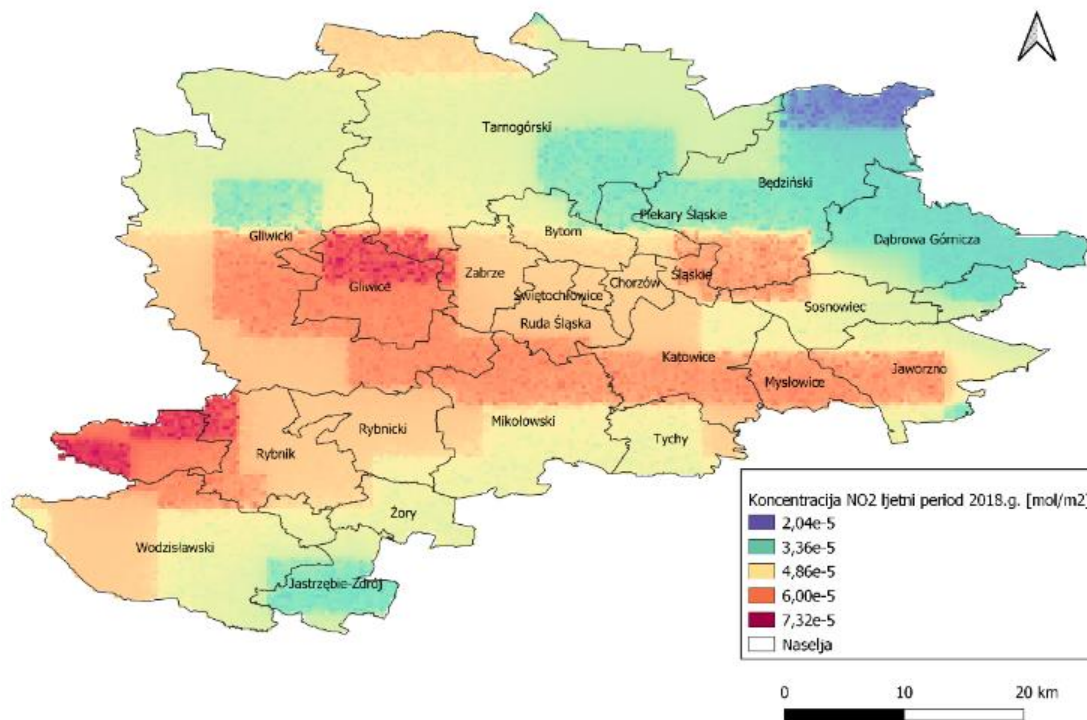


Slika 29. Koncentracija SO<sub>2</sub> ljetni period 2018. g.



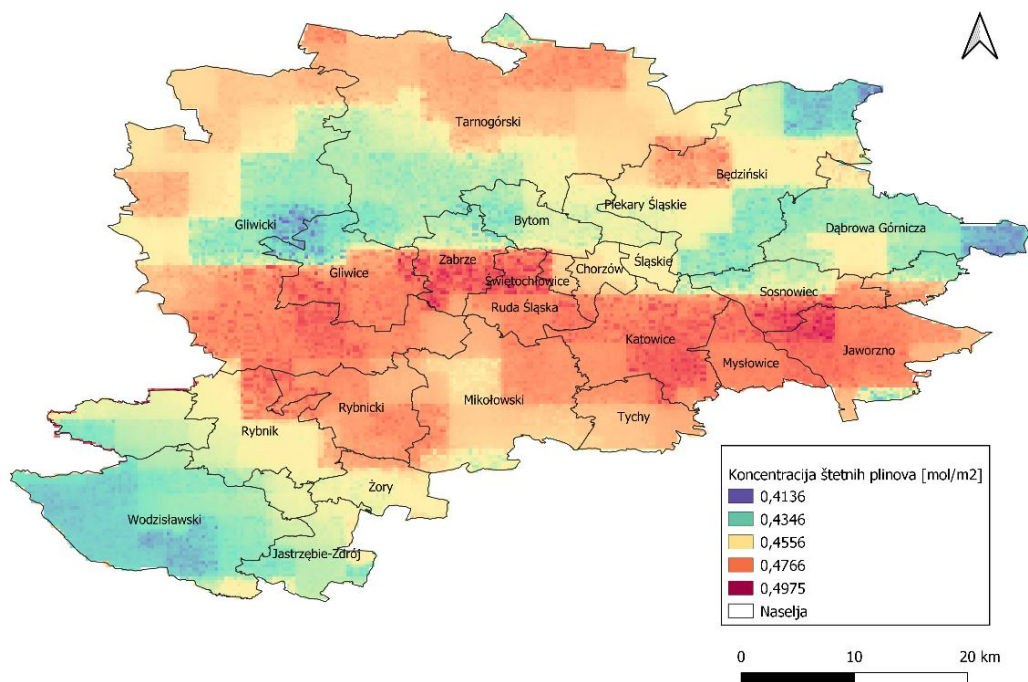
Slika 30. Koncentracija SO<sub>2</sub> zimski period 2018. g.

Uz navedene prikaze izrađeni su i rasteri koncentracije ugljikovog dioksida, formaldehida te već spomenutog dušikovog dioksida (slika 33) za ljetni period 2018. godine. Ukupna koncentracija štetnih plinova na području od interesa dobivena je koristeći Raster kalkulator, a prikazana je na slici 34.



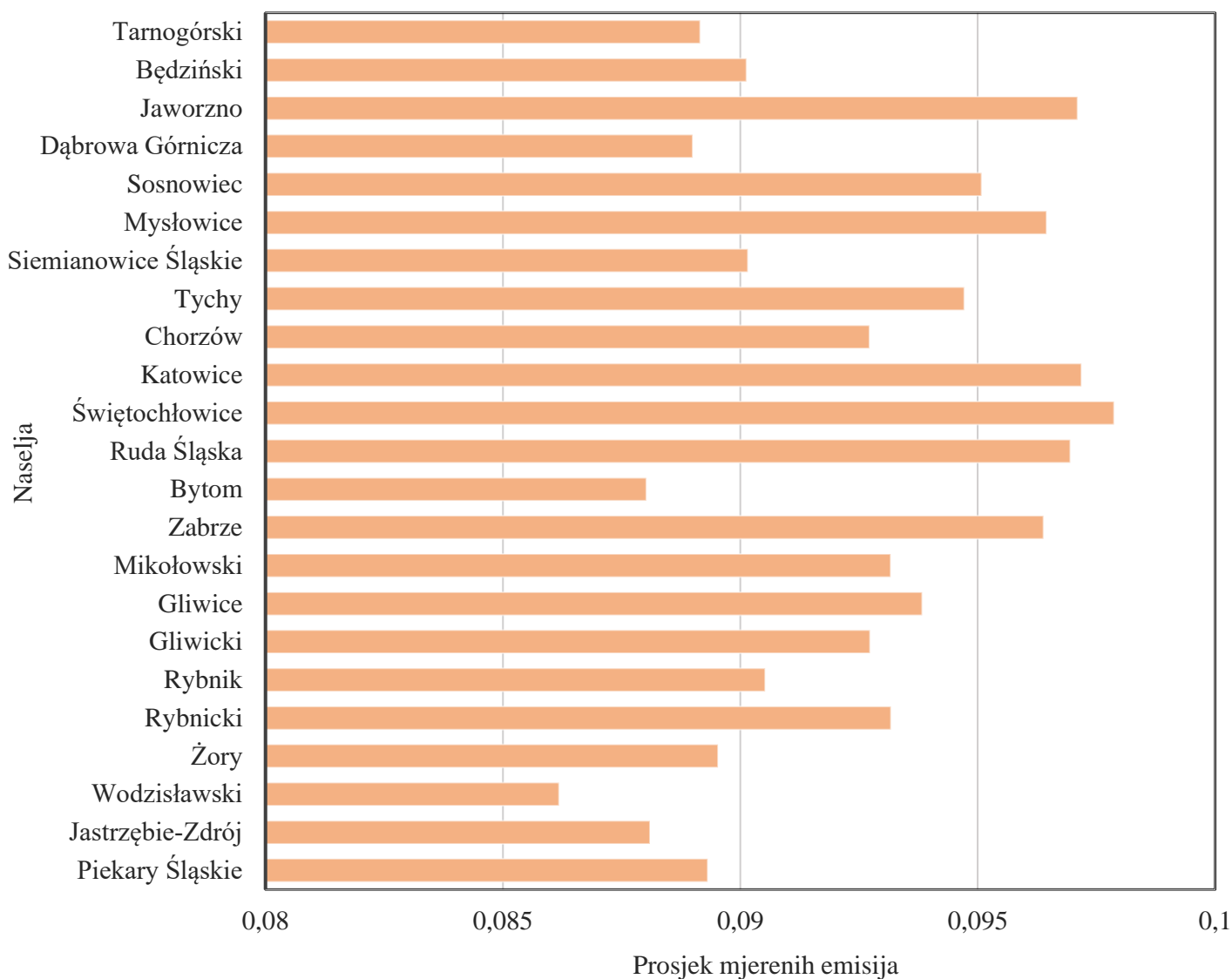
Slika 31. Koncentracija NO<sub>2</sub> ljetni period 2018. g.

Konačni prikaz (slika 34) odnosi se na koncentracije ugljikovog dioksida, sumporovog dioksida, dušikovog dioksida, formaldehida i ozona.



Slika 32. Koncentracija štetnih plinova za lipanj 2018.

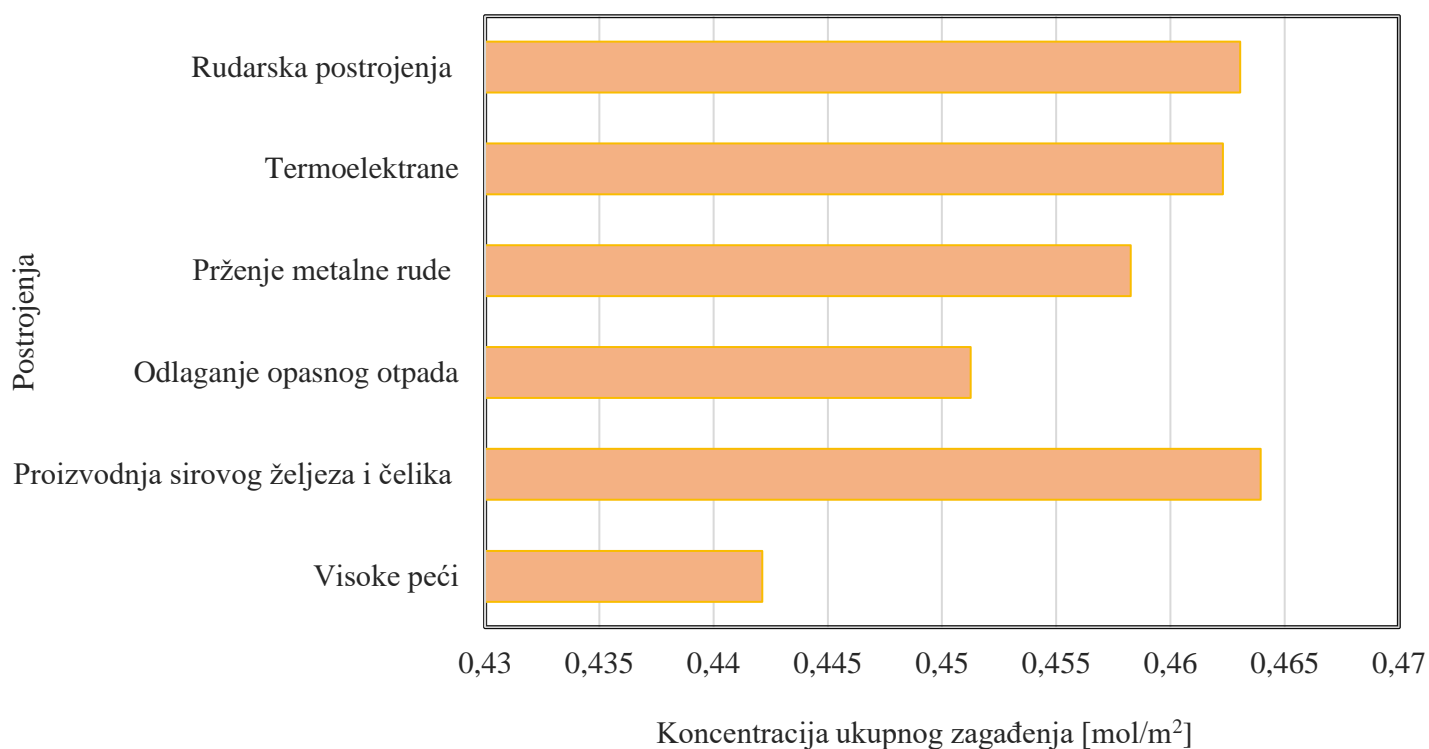
Na temelju dobivenog prikaza na slici 31 određena je prosječna vrijednost štetnih plinova prema kojoj najviši prosjek ima mjesto Swietochlowice. Distribucija prosječnih vrijednosti po mjestu prikazana je na slici 35. Najmanje koncentracije zabilježene su na jugozapadnom dijelu područja od interesa i to za mjesto Wodzislawski.



Slika 33. Prosječne vrijednosti štetnih plinova po mjestima lipanj 2018. g.

Na temelju nepokretnih izvora sa slike 22 i konačnog prikaza koncentracija štetnih plinova za 2018. godinu određene su prosječne vrijednosti koncentracija u području nepokretnih izvora. Iz dobivene slike 36 proizlazi kako se najveće koncentracije štetnih plinova nalaze u okolini postrojenja za proizvodnju sirovog željeza i čelika zatim slijede rudarska postrojenja,

termoelektrane, postrojenja za prženje metalne rude, postrojenja za odlaganje opasnog otpada te u konačnici na području visokih peći su zabilježene najmanje koncentracije štetnih plinova.



Slika 34. Prosječne koncentracije štetnih plinova po postrojenjima lipanj 2018. g.

## 5. Rasprava

Istraživanja i prikupljanje podataka na ovu temu od velikog su značaja za čitavu populaciju, s ciljem postizanja klimatske neutralnosti, izbjegavanja manipulacija nad izvješćima, omogućavanja boljih kontrola postrojenja i donošenja novih mjera i odluka koje će proizvođači biti dužni ispoštovati. Istraživanja kvalitete zraka uglavnom se baziraju na podacima postojećih mjernih postaja. Nova mreža mjernih postaja kvalitete zdravlja u Poljskoj je uspostavljena nakon 2000. godine (Hoffman 2019). Analizom lokacija mjernih postaja utvrđeno je kako nisu pravilno raspoređene po državi. Dok veći gradovi imaju priličan broj postaja, unutar industrijske zone broj postaja manjka. Primjerice, za područje oko termoelektrane Belchatow nema dovoljno mjernih postaja za adekvatnu analizu ili podaci postoje, ali nisu dostupni. Putem stranice Glavnog inspektorata zaštite okoliša dostupan je samo dio podataka. Osim što je utvrđeno da podaci baze nisu potpuni, uočene su i određene greške. U zagađenim područjima trebao bi se osigurati veći broj mjernih postaja.

Kao alternativa podacima mjernih postaja u zadnje vrijeme sve više se koriste metode daljinskih istraživanja. Kod određivanja razine štetnih plinova kao što su ozon, dušikov dioksid, sumporov dioksid i dr. odličnim su se pokazali podaci Sentinel-5P satelita. TROPOMI, instrument na satelitu trenutno je najbolji instrument za prikupljanje kemijskih podataka scene. TROPOMI u odnosu na OMI koji je isto tako korišten za realizaciju ovog rada daje preciznije podatke i mjeri nešto više razina plinova. Detekcija SO<sub>2</sub> emisija je za 4 puta bolja kod TROPOMI instrumenta nego OMI. Budući da se SO<sub>2</sub> koncentracije koriste za praćenje globalnih vulkanskih aktivnosti, koristeći TROPOMI omogućeno je bolje detektiranje i razumijevanje vulkanskih procesa i utjecaja (Theys 2019). S druge strane prednost OMI instrumenta je u njegovoj dužoj operabilnosti pa se može koristiti za usporedbu stanja tijekom dužeg vremenskog perioda. No, svakako su se pokazali pogodnijim za određivanje kvalitete zraka kada se radi o većem području i više zagađenom području nego određivanjem koristeći mjerne postaje kvalitete zraka.

Prema provedenim istraživanjima proizlazi kako podaci dobiveni putem OMI i TROPOMI instrumenta s podacima mjernih postaja daju snažnu korelaciju. Usporedbom satelitskih podataka i podataka prikupljenih mjernim postajama kvalitete zraka utvrđena je velika povezanost podataka, gdje vrijednosti R iznose 0,8 na dnevnoj razini i 0,95 na mjesečnoj razini (Wang i dr. 2020).

U radu se htjelo osvrnuti i na tu problematiku, ali budući da su za Šlesko vojvodstvo koje je analizirano kasnije kroz rad bila dostupna samo nekolicina postaja na kojima je uglavnom mjerena samo koncentracija sumporovog dioksida navedena problematika se nije dalje



analizirala. Da bi se navedeno provelo potrebno je podatke Sentinel-5P konvertirati iz mol/m<sup>2</sup> u µg/m<sup>3</sup>, a za to su potrebni podaci o visini troposferske kolone dostupni u .nc datoteci koja se preuzima za pristup Sentinel-5P snimkama.

Kako je provedeno u radu, za što bolje podatke Sentinel-5P nužno je koristiti podatke s Qa vrijednosti većom od 0,5 jer ne sadržavaju greške, područja pod ledom ili snijegom, problematična dohvaćanja (Wang i dr. 2020) te provoditi analize za duži vremenski period, a ne na dnevnoj razini budući da su tada vrijednosti vrlo varijabilne i ovise o atmosferskim uvjetima.

Za razliku od ostalih satelitskih sustava Sentinel-5P nije još u upotrebi kao ostali sustavi, ali u vrlo skorjoj budućnosti bi mogao biti. Da se usavršavanje konstantno provodi govori i činjenica da se tijekom kolovoza 2019. godine TROPOMI instrumentu poboljšala prostorna razlučivost sa 7 km na 5,5 km što je omogućilo detekciju još više detalja. Daljnji napredci mogu se očekivati kod budućih instrumenata koji obećavaju još bolju prostornu rezoluciju poput geostacionarnog satelita TEMPO za područje Amerike te Sentinel-4 za Europu. Satelitski podaci spomenutih satelita fine razlučivosti mogu uvelike poboljšati praćenje kakvoće zraka iz svemira te će omogućiti bolje zaključivanje o koncentracijama NO<sub>2</sub> potrebnij za poboljšanje studija o utjecajima na zdravlje (Cooper i dr. 2020).

Korištenjem TROPOMI / OMI instrumenata u radu, a u skladu s već nekim spomenutim radovima, na početku rada, uspostavljeno je kako je korištenjem druge metode na području Poljske trend zagađenja negativan. Europski parlament 2010. godine donosi Direktivu 2010/75/EU kojim nastoji smanjiti industrijske emisije i omogućiti kontrolu onečišćenja. Zabilježeni pozitivni trend nad NO<sub>2</sub> koncentracijama nakon 2010. godine postaje negativan. Smanjenje koncentracija od 2005. – 2020. godine utvrđeno je i za lebdeće čestice. Kao i prema podacima literature, prosječne godišnje koncentracije lebdećih čestica u periodu 2010. – 2011. godine znatno su premašivale dopuštene vrijednosti. Prema podacima mjernih postaja za 2019. je i dalje uočeno nekoliko postaja s prekoračenjima za razliku od rezultata Traczyk i Gruszecka-Kosowska (2020) gdje je utvrđeno kako godišnje koncentracije lebdećih čestica jedino za 2019. godinu nisu bile prekoračene.

Kako je i sam Europski revizorski sud 2018. ustvrdio, unatoč smanjenju koncentracija, ono je još uvijek dosta veliko, posebice na području Šleskog i Lodzskog vojvodstva koja su najveće industrijske zone u zemlji. Dok je često najveće zagađenje zraka u najgušće naseljenim gradovima u Poljskoj se pokazalo kako Varšava, grad s znatno većom gustoćom stanovništva

ima manje koncentracije NO<sub>2</sub> nego Belchathow, Krakov. Krakov je grad koji se posebice izdvaja i zbog izrazito prekoračenih godišnjih koncentracija lebdećih čestica tijekom godina. Njegova dodatna karakteristika je i smještaj u dolini što je prikazano iz profila na slici 18 zbog čega štetni plinovi imaju tendenciju zadržavanja. Područje sa slabom korelacijom gustoće stanovništva i koncentracija NO<sub>2</sub> je Lodsko vojvodstvo. Analizom spomenutih varijabli vrlo lako se može uočiti kako je rezultat zagađenja vojvodstva rezultat emisija termoelektrane Belchathow. Iz podataka EEA proizlazi kako navedena termoelektrana ima višestruko veće emisije u zrak u odnosu na ostala postrojenja. Emisije termoelektrane pariraju gotovo emisijama svih postrojenja Šleskog vojvodstva. Također, se pokazalo kako su emisije iz termoelektrane kroz godine uglavnom smanjene što bi dalo naznaku da se u Poljskoj provode mjere protiv zagađenja.

Razlika u temperaturi tijekom 33 godine se pokazala vrlo velikom, jedan od razloga je i izgrađenost područja. No, također se pokazalo da se na području industrijske zone nalaze i najveće razlike u temperaturi. Svakako da je temperatura u uskoj vezi s zagađenjem. Plinovima kao što je ozon pogoduje visoka temperatura. Korelacija između temperature i koncentracija štetnih plinova se nije određivala jer bi navedeno zahtijevalo preciznije podatke i podatke na dnevnoj razini. No, ipak se pokazalo kako su najviše prosječne vrijednosti temperature površine tla zabilježene su u mjestu Swietochlowice u kojem su ujedno i ukupne prosječne koncentracije štetnih plinova najviše. Prema radu Øvrebø i dr. (1995), Šleska je industrijalizirana regija koja se izdvaja kao jedna od najzagađenijih u Europi zbog izgaranja fosilnih goriva od strane industrijskih postrojenja te grijanja na crni ugljen tijekom zimskih mjeseci. U njihovom radu uspostavljeno je kako je upravo na području mjesta Swietochlowice određena najveća stopa smrtnosti na 100000 stanovnika te da postoji značajna razlika u odnosu na neindustrijalizirana područja. O smanjenju emisija na području konurbacije Katowica svjedoči i istraživanje Kowalske i dr. (2007) prema kojoj 14 naselja (Katowice, Bytom, Chorzów, Czeladź, Dąbrowa Górnicza, Gliwice, Mysłowice, Piekary Śląskie, Ruda Śląska, Siemianowice Śląskie, Sosnowiec, Świętochłowice, Wojkowice, Zabrze) ne prelaze kritične vrijednosti u odnosu na one mjerene prije 20 – 30 godina, ali i dalje ostaju visoke posebice tijekom sezone grijanja.

## 6. Zaključak

Zagađenje zraka jedno je od temeljnih problema današnjice. Među najveće proizvođače emisija u zrak svrstavaju se nepokretni izvori. Među najvećim zagađivačima izdvajaju se postrojenja na ugljen, a vrlo su zastupljena u Poljskoj. Na tom području nalazi se i najveća termoelektrana u Europi koja je i rangirana kao najveći zagađivač u Europskoj uniji. Da je pitanje kvalitete zdravlja vrlo bitan problem proizlazi iz koncentracija lebdećih čestica koje premašuju prosjek i do 1012%, kao i činjenice da godišnje umre 44000 Poljaka od bolesti povezane s lošom kvalitetom zraka. Zagađenje je u uskoj vezi sa povišenjem temperature, njihovim spajanjem nastaju posebice štetni spojevi kao ozon. Iz prikupljenih podataka i analize proizlazi kako je zagađenje bilo najviše u 2010. godini kada su koncentracije mjerenih plinova bile najviše. Do 2010. godine koncentracije rastu od kada se zamjećuje opadanje. Ustvrdeno je kako su najpogođenija područja Lodzsko i Šlesko vojvodstvo za razliku od vojvodstava na sjeveru koja bilježe znatno manje koncentracije čime su potvrđene prvotne hipoteze kao i ona da je trend zagađenja negativan. Iz utjecaja na zdravlje ljudi određeno na temelju godišnjih koncentracija lebdećih čestica PM2.5 i PM10 proizlazi kako je na području bilo dosta prekoračenja i to dvostrukih. One su izraženije bile oko 2010. godine, dok su se sada prekoračenja značajno smanjila i najmanja su za 2019. godinu. Najveća prekoračenja mjerena su u Krakovu koji se ujedno nalazi u dolini pa ima i veću mogućnost od zagađenja. Usporedbom temperature površine tla 1986. g. i 2019. g. vidljiva je velika razlika. Najviše temperature mjerene su upravo na području industrijske zone što je rezultat materijala i visine od kojih su građeni objekti. Najviše prosječne vrijednosti temperature površine tla zabilježene su u mjestu Swietochlowice u kojem su ujedno i ukupne prosječne koncentracije štetnih plinova najviše. Također, ustvrđeno je kako najviše prosječne koncentracije nalaze se u okolini postrojenja za proizvodnju sirovog željeza i čelika. Daljnjom analizom ustvrđene su i razlike u koncentracijama u ljetnom i zimskom periodu kao i smanjenje emisija koje je povezano s pandemijom koronavirusa. Na danom području razine mjerenih plinova su općenito više nego dopuštene zbog čega je potrebno omogućiti mjerenja kvalitete zraka u onim kritičnim područjima. S pojavom pandemije koncentracije plinova su se značajno smanjile te s opadanjem mjera ponovno rastu, ali su i dalje ispod prosjeka. Uzevši u obzir situaciju na području Poljske uz smanjenje emisija neophodno je uspostaviti pravilan sustav kontrole i definirati strategije na temelju kojih će se emisije još smanjiti te omogućiti bolju kvalitetu zraka stanovnicima vrlo zagađenih područja.

## **Zahvala**

Zahvaljujem se mentoru doc. dr. sc. Mateu Gašparoviću na pruženoj prilici, pomoći i utrošenom vremenu prilikom izrade rada. Svojim stručnim savjetima, idejama i poticanjima proširio je moje vidike i volju za daljnjim učenjem, usavršavanjem i istraživanjem.

## Popis literature

1. Adinna, E. N., Christian, E. I., Okolie, A. T. (2009). Assessment of urban heat island and possible adaptations in Enugu urban using landsat-ETM. *Journal of Geography and Regional Planning*, 2(2), 030-036.
2. Akbari, H., Pomerantz, M., Taha, H. (2001). Cool surfaces and shade trees to reduce energy use and improve air quality in urban areas. *Solar Energy*, 70(3), 295-310.
3. Bokwa, A. (2008). Environmental Impacts of Long-Term Air Pollution Changes in Kraków, Poland. *Polish J. of Environ.* 17(5), 673-686.
4. Brauers, H., Oei, P. (2020). The political economy of coal in Poland: Drivers and barriers for a shift away from fossil fuels. *Energy Policy*, 144, 1-12.
5. Chunjiao, W., Wang, T., Wang, P., Rakitin, V. (2020). Comparison and Validation of TROPOMI and OMI NO<sub>2</sub> Observations over China. *Atmosphere* 2020, 11(6), 1-19.
6. Coates, J., Mar, K. A., Ojha, N., Butler, T. M. (2016). The influence of temperature on ozone production under varying NO<sub>x</sub> conditions – a modelling study. *Atmos. Chem. Phys.*, 16 (18), 11601–11615.
7. Cooper, M. J., Martin, R.V., McLinden, C. A., Brook, J. R. (2020). Inferring ground-level nitrogen dioxide concentrations at fine spatial resolution applied to the TROPOMI satellite instrument. *Environmental Research Letters*, 15(10), 1-13.
8. Donassy, V., Oluić, M., Tomašegović, Z. (1983). Daljinska istraživanja u geoznanostima. Zagreb: Jugoslavenska akademija znanosti i umjetnosti.
9. Duplančić Leder, T., Leder, N., Hećimović, Ž. (2016). Određivanje površinske temperature tla područja Splita metodom daljinske detekcije. *Građevinar*, 68 (11), 895-905.
10. EEA (2018). Air quality in Europe — 2018 report. EEA Report, 11, Luxembourg: Publications Office of the European Union.
11. EEA (2019). Air quality in Europe — 2019 report. EEA Report,10, Copenhagen K: Publications Office of the European Union.
12. Europski revizorski sud (2018). Tematsko izvješće: Onečišćenje zraka: naše zdravlje još uvijek nije dovoljno zaštićeno.
13. Frančula, N., Lapaine, M., Vučetić, N. (1994). Primjena daljinskih istraživanja u kartografiji. *Geodetski list*, 48(71), 265-276.
14. Gao, Y., Gao, X., Zhang, X. (2017). The 2°C Global Temperature Target and the Evolution of the Long-Term Goal of Addressing Climate Change—From the United

- Nations Framework Convention on Climate Change to the Paris Agreement. *Engineering*, 3(2), 272-278.
15. Garane, K., Koukouli, M., Verhoelst, T., Balis, D., Bais, A. (2019). TROPOMI/S5P total ozone column data: global ground-based validation and consistency with other satellite missions. *Atmos. Meas. Tech.*, 12 (10), 5263–5287.
  16. Gierloff-Emden, H. G. (1989): Fernerkundungskartographie mit Satellitenaufnahmen - Allgemeine Grundlagen und Anwendungen. *Enzyklopedie der Kartographie*, Band IV/1, Franz Deuticke, Wien.
  17. Herpin, U., Berlekamp, J., Markert, B., Wolterbeek, B., Grodzinska, K., Siewers, U., Lieth, H., Weckert, V. (1996). The distribution of heavy metals in a transect of the three states the Netherlands, Germany and Poland, determined with the aid of moss monitoring. *The Science of the Total Environment*, 187 (3), 185-198.
  18. Hodžić, E., Alić, E., Horozić, E. (2020). Monitoring emisija onečišćujućih tvari na području grada Tuzle. *Časopis kemičara i kemijskih inženjera Hrvatske*, 69 (13), 57-64.
  19. Hoffman, S. (2019). Long-term trends of air pollutant concentrations in Poland. *E3S Web of Conferences* 116, 1-7.
  20. IEA (2017). *Coal Information 2017*. Paris: OECD/IEA.
  21. Jeevalakshmi, D., Reddy, N., Manikiam, B. (2017). Land Surface Temperature Retrieval from LANDSAT data using Emissivity Estimation. *International Journal of Applied Engineering Research*, 12(20), 9679-9687.
  22. Kowalska, M., Hubicki, L., Zejda, J. E., Ośródk, L., Krajny, E., Wojtylak, M. (2006). Effect of Ambient Air Pollution on Daily Mortality in Katowice Conurbation, Poland. *Polish J. of Environ. Stud.*, 16(2), 227-232.
  23. Kumar, A. (2020). Social, Economic, and Environmental Impacts of Renewable Energy Resource. U., Okedu, K. E., Tahour, A., Aissaou, G. (11). *Wind Solar Hybrid Renewable Energy System* (222 - 230). London: IntechOpen.
  24. Lillesand, T. M., Kiefer, R.W., Chipman, J. W. (2007). *Remote Sensing and Image Interpretation*, John Wiley & Sons, 7, 1-86.
  25. Liu, S., Li, M. (2020). Ambient air pollutants and their effect on COVID-19 mortality in the United States of America. *Revista panamericana de salud publica = Pan American journal of public health*, 44, e159.
  26. Lu, L., Wong, T., Lin, B. (2006). *Air Pollution in Asia*: Worcester Polytechnic Institute.

27. Mitas, L., Mitasova, H. (1999): Spatial Interpolation. U Longley, P., Goodchild, M. F., Rhind, D. W., Geographical Information Systems: Principles, Techniques, Management and Applications, GeoInformation International, Willey, 481 - 492.
28. Mitosek, G., Degorska, A., Iwanek, J., Przybylska, G., Skotak, K. (2004). EMEP Assessment Report Poland. EMEP Assessment Report – Part II, 2, 176-188.
29. Øvrebø, S., Fjeldstad, P. E., Grzybowska, E., Kure, E. H., Chorąży, M., Haugen, A. (1995). Biological Monitoring of Polycyclic Aromatic Hydrocarbon Exposure in a Highly Polluted Area of Poland. *Environmental Health Perspectives*, 103(9), 838-843.
30. Papadis, E., Tsatsaronis, G. (2017). Challenges in the decarbonization of the energy sector. *Energy*, 205, 1-12.
31. Rumora, L., Medved, I., Pilaš, I. (2016). Usporedba vrijednosti vegetacijskog indeksa dobivenog na temelju digitalnog broja i refleksije na vrhu atmosfere. *Geodetski list*, 70 (93), 59-74.
32. SIERRA-VARGAS, M. P., Teran, L. M. (2012). Air pollution: impact and prevention. *Respirology*, 17(7), 1031-1038.
33. Tainio, M., Juda-Rezler, K., Reizer, R., Warchałowski, A., Trapp, W., Skotak, K. (2012). Future climate and adverse health effects caused by fine particulate matter air pollution: case study for Poland. *Reg Environ Change*, 13, 705–715.
34. Theys, N., Hedelt, P., De Smedt, Lerot, C., Pedernana, M., Arellano, S., Galle, B., Fernandez, D., Barrington, C. Taisne, D., Delgado-Granados, H., Loyola, D. Van Roozendaal, M. (2019). Global monitoring of volcanic SO<sub>2</sub> degassing with unprecedented resolution from TROPOMI onboard Sentinel-5 Precursor. *Sci Rep* 9, 2643.
35. Traczyk, P., Gruszecka-Kosowska, A. (2020). The Condition of Air Pollution in Kraków, Poland, in 2005–2020, with Health Risk Assessment. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(17), 6063.
36. Wang, C., Wang, T., Wang, P., Rakitin, V. (2020). Comparison and Validation of TROPOMI and OMI NO<sub>2</sub> Observations over China. *Atmosphere*, 11(6), 636.
37. Yi, Q., Jining, C. (2009). Point Sources of Pollution: Local Effects and Control. Yi, Q. (2009) POINT SOURCES OF POLLUTION: LOCAL EFFECTS AND IT'S CONTROL (1 - 11). Oxford: Eolss Publishers Co.Ltd..

## Mrežne adrese

URL 1: Coal phase out in the European Union, <https://climateanalytics.org/briefings/eu-coal-phase-out/> , (15.05.2021.).

URL 2: CO<sub>2</sub> and Greenhouse Gas Emissions, <https://ourworldindata.org/co2/country/poland> , (17.06.2021.).

URL 3: Air Quality in Poland, <https://www.iqair.com/poland> , (15.06.2021.).

URL 4: TROPOspheric Monitoring Instrument (TROPOMI), <https://julien-chimot-research.blog/tropospheric-monitoring-instrument-tropomi/>,(20.06.2021.).

URL 5: Poljska, <https://hr.wikipedia.org/wiki/Poljska>, (15.05.2021.).

URL 6: Izvješće industrijskih postrojenja, EEA <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/industrial-reporting-under-the-industrial-2>, (17.06.2021.).

URL 7: Europe's biggest polluters, <https://airclim.org/acidnews/europe%E2%80%99s-biggest-polluters-0> ,(20.06.2021.).

URL 8: Poland Climate: <https://www.climatestotravel.com/climate/poland> ,(20.06.2021.).

URL 9: Sentinel-5P Status and Imagery for the period 2019, <https://eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/c-missions/copernicus-sentinel-5p-2019> ,(20.06.2021.).

URL 10: Tropomi, <http://www.tropomi.eu/data-products> ,(15.05.2021.).

URL 11: Sentinel – 5P, <https://eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/c-missions/copernicus-sentinel-5p-2019> , (15.05.2021.).

URL 12: Ozone Monitoring Instrument, <https://aura.gsfc.nasa.gov/omi.html> ,(17.06.2021.).

URL 13: Klimatska politika, [https://ec.europa.eu/clima/change/causes\\_hr](https://ec.europa.eu/clima/change/causes_hr) ,(20.06.2021.).

URL 14: Copernicus: Sentinel-5P, <https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/c-missions/copernicus-sentinel-5p> ,(15.05.2021.).

URL 15: Geoportal: <https://geoportal.gov.pl/en/> , (17.06.2021.).

URL 16: Kvaliteta zraka: <http://powietrze.gios.gov.pl/pjp/archives> , (17.06.2021.).

URL 17: Copernicus Open Access Hub, <https://scihub.copernicus.eu> , (17.06.2021.).



- URL 18: EO browser, [Sentinel Hub EO Browser \(sentinel-hub.com\)](https://sentinel-hub.com), (15.05.2021.).
- URL 19: GES DISC, <https://disc.gsfc.nasa.gov/>, (17.06.2021.).
- URL 20: What is the Dobson Unit (DU)?, <https://sacs.aeronomie.be/info/dobson.php>, (20.06.2021.).
- URL 21: Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) 1 Arc-Second Global, [https://www.usgs.gov/centers/eros/science/usgs-eros-archive-digital-elevation-shuttle-radar-topography-mission-srtm-1-arc?qt-science\\_center\\_objects=0#qt-science\\_center\\_objects](https://www.usgs.gov/centers/eros/science/usgs-eros-archive-digital-elevation-shuttle-radar-topography-mission-srtm-1-arc?qt-science_center_objects=0#qt-science_center_objects), (20.06.2021.).
- URL 22: Using the USGS Landsat Level-1 Data Product, <https://www.usgs.gov/core-science-systems/nli/landsat/using-usgs-landsat-level-1-data-product>, (17.06.2021.).
- URL 23: Understanding Particulate Matter and How It Impacts Our Health, <https://airveda.com/blog/Understanding-Particulate-Matter-and-Its-Associated-Health-Impact>, (15.05.2021.).
- URL 24: EEA: PM2.5 - Annual target value for the protection of human health, [https://www.bing.com/search?q=\(PM2.5++Annual+target+value+for+the+protection+of+human+health++European+Environment+Agency+\(europa.eu\)\)&cvid=3296354a900c47d48fe77082fd21dbc1&aqs=edge..69i57.1074j0j4&FORM=ANAB01&PC=HCTS](https://www.bing.com/search?q=(PM2.5++Annual+target+value+for+the+protection+of+human+health++European+Environment+Agency+(europa.eu))&cvid=3296354a900c47d48fe77082fd21dbc1&aqs=edge..69i57.1074j0j4&FORM=ANAB01&PC=HCTS), (20.06.2021.).

## Popis slika

Slika 1. Odnos rezolucija instrumenata za praćenje atmosfere (URL 9) .....	10
Slika 2. Koncentracija NO <sub>2</sub> za ljetni period 2020. godina.....	19
Slika 3. Koncentracija NO <sub>2</sub> za ljetni period 2010. godina .....	20
Slika 4. Raster prosječne koncentracije u ljetnom periodu (2005. g. – 2020. g.).....	20
Slika 5. Prosječna koncentracija NO <sub>2</sub> [1/cm <sup>2</sup> ] OMI po vojvodstvu .....	21
Slika 6. Trend koncentracija NO <sub>2</sub> (2005. – 2020.).....	22
Slika 7. Raspon minimalnih i maksimalnih NO <sub>2</sub> vrijednosti (2005. – 2020.).....	23
Slika 8. Gustoća naseljenosti (2005. – 2020.) .....	23
Slika 9. Distribucija gustoće naseljenosti po gradovima (2005.-2020.).....	24
Slika 10. Distribucija koncentracija NO <sub>2</sub> po gradovima (2005.-2020.).....	24
Slika 11. Srednja godišnja koncentracija lebdećih čestica (μg/m <sup>3</sup> ) (2000. – 2019.).....	25
Slika 12. Mjerne postaje s prekoračenim PM <sub>2.5</sub> godišnjim vrijednostima (2010.).....	26
Slika 13. Mjerne postaje s prekoračenim PM <sub>2.5</sub> godišnjim vrijednostima (2019. g.).....	27
Slika 14. Mjerne postaje s prekoračenim PM <sub>10</sub> godišnjim vrijednostima (2010. g.).....	28
Slika 15. Mjerne postaje s prekoračenim PM <sub>10</sub> godišnjim vrijednostima (2019. g.).....	28
Slika 18. Mjerne postaje kvalitete zraka .....	30
Slika 19. Nepokretni izvori prema Direktivi 2010/75/EU (2018. g.).....	31
Slika 20. Trend emisija termoelektrane Bełchatów (2008. – 2019.).....	31
Slika 21. Područje s najvećom koncentracijom točkastih izvora za koju će se određivati LST .....	32
Slika 22. LST područja od interesa za 1986. godinu .....	33
Slika 23. LST područja od interesa za 2019. godinu .....	33
Slika 24. Raster razlike površine temperature tla (1986. – 2019.).....	34
Slika 25. Temperaturne razlike na području industrijske zone (1986. – 2019.).....	35
Slika 26. Prosječne LST vrijednosti za 2019. g. po naseljima .....	35
Slika 27. Koncentracija ozona za lipanj 2018. godine .....	36
Slika 28. Koncentracija ozona za lipanj 2019. godine .....	37
Slika 29. Koncentracija ozona za lipanj 2020. godine .....	37
Slika 30. Prosjek koncentracija po mjestima izračunat iz dobivenih rastera [DU].....	38
Slika 31. Koncentracija SO <sub>2</sub> ljetni period 2018. g.....	39
Slika 32. Koncentracija SO <sub>2</sub> zimski period 2018. g.....	39
Slika 33. Koncentracija NO <sub>2</sub> ljetni period 2018. g.....	40

Slika 34. Koncentracija štetnih plinova za lipanj 2018. ....	40
Slika 35. Prosječne vrijednosti štetnih plinova po mjestima lipanj 2018. g.....	41
Slika 36. Prosječne koncentracije štetnih plinova po postrojenjima lipanj 2018. g.....	42

## **Popis tablica**

Tablica 1. Najvećih pet elektrana na ugljen u Europskoj uniji (URL 1).....	3
Tablica 2. Spektralni kanali TROPOMI instrumenta.....	9
Tablica 3. Kanali Landsat 8 sustava.....	14
Tablica 4. Kanali tematskog kartografa Landsat 5 satelita .....	15
Tablica 5. Korištene konstante iz MTL datoteke .....	17

## **Analiza emisije iz nepokretnih izvora i utjecaja na okoliš metodama daljinskih istraživanja**

Veronika Ilić

### **Sažetak**

Zagađenje zraka jedno je od temeljnih pitanja današnjice. Za klimatsku neutralnost i bolju budućnost nužno je uspostaviti kontrolu nad najvećim onečišćivačima. Poljska se izdvaja kao jedna od deset najzagađenijih u Europi, a ujedno je i izvor najvećih emisija štetnih plinova iz termoelektrane Belchatow u cijeloj Europi. Da situacija nije dobra svjedoče i podaci premašenih koncentracija lebdećih čestica, a i istraživanje prema kojemu 44000 Poljaka umire svake godine od bolesti povezane s lošom kvalitetom zraka. Uz povećanje zagađenja temperaturna anomalija je zadnjih godina pozitivna što je usko povezano s zagađenjem budući da spojem visokih temperatura i zagađenja nastaju vrlo štetni spojevi. Uz analizu promjene temperature površine tla u ovom radu se određivalo zagađenje na području Poljske te su se ustvrdila vojvodstva s najvećim zagađenjem. Dana je analiza koncentracija kroz godine za dušikov dioksid i lebdeće čestice s ciljem utvrđivanja smanjuju li se emisije prema Direktivi EU ili ne. Kako je na sve utjecala pandemija koronavirusa prikazano je kroz koncentracije ozona te je obavljena analiza za područje s najvišom koncentracijom nepokretnih izvora pri čemu je određeno koja se postrojenja nalaze na danom području i okolini kojeg postrojenja je zabilježeno najveće zagađenje. Dobiveni rezultati temelje se na podacima mjernih postaja kvalitete zraka te Sentinel-5P, Aura i Landsat satelitske misije.

Ključne riječi: zagađenje, loša kvaliteta zraka, LST, satelitske misije, Poljska

# **Analysis of emissions from stationary sources and environmental impact by remote sensing methods**

Veronika Ilić

## **Summary**

Air pollution is one of the biggest problems of today. To provide climate neutrality and a better future, it is necessary to establish control over the biggest polluters. Poland stands out as one of the ten most polluted countries in Europe and is also the source of the largest emissions of harmful gases from the Belchatow thermal power plant. According to literature the situation is not good, in Poland the permissible concentrations of PM particles are significantly higher and almost 44000 people die every year by disease associated with poor air quality. Recent years it appears that the temperature anomaly has been positive as well, which is closely related to pollution, since the combination of high temperatures and pollution creates very harmful compounds. Among analysis of changes in land surface temperature in the project, the pollution in Poland is determined, the highest and lowest affected parts. Analysis of the concentration throughout the year for nitrogen dioxide and particulate matter is given in order to determine the emission reductions. It is shown how coronavirus pandemic has affected air quality through the concentrations of ozone. For area with the highest concentration of stationary sources it is determined which sources are located around highest concentrations of harmful gases. The results were obtained using data from air quality measuring stations, Sentinel-5P, Aura and Landsat satellite missions.

Key words: pollution, poor air quality, LST, satellite missions, Poland

## **Životopis**

Veronika Ilić rođena je 1. prosinca 1998. godine u Splitu. Opću gimnaziju upisuje na Visu 2013. godine te sudjeluje na Državnim natjecanjima iz biologije u kategoriji istraživački radovi. Po završetku srednje škole nastavlja daljnje školovanje na Geodetskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu. Preddiplomski studij Geodezije i geoinformatike završava 2020. godine te stječe naziv sveučilišna prvostupnica (baccalaurea) inženjerka geodezije i geoinformatike. Uspješno pohađa fakultet, među 10% najuspješnijih na godini. Iste godine se upisuje na diplomski studij Geodezije i geoinformatike, usmjerenje Geoinformatika. U slobodno vrijeme bavi se pjevanjem, a članica je i dva kulturno-umjetnička društva.