

doi: [10.46793/HSE-K-26.15](https://doi.org/10.46793/HSE-K-26.15)

**MODELIRANJE KVALITETA VAZDUHA U ZONI RUDNIKA SA POVRŠINSKOM EKSPLOATACIJOM LIGNITA,
PRIMENOM METODA DALJINSKE DETEKCIJE I GIS-A**

**MODELING AIR QUALITY IN A MINE ZONE WITH SURFACE COAL EXPLOITATION, USING REMOTE SENSING
AND GIS METHODS**

dr Milisav Tomić, Ogranak RB "Kolubara" Lazarevac, EPS AD. email: milisav.tomic@eps.rs; tel: 0638685712;
ORCID iD: 0009-0001-8781-5645.;

Miodrag Tomić, Ogranak RB "Kolubara" Lazarevac, EPS AD. email: miodrag.tomic@eps.rs; ORCID iD: 0009-
0007-3653-6658;

pukovnik Milan Stefanović, MUP RS, Direkcija policije; email: milanllstefanovic@gmail.com.

APSTRAKT

U radu su prikazani rezultati modeliranja kvaliteta vazduha u zoni rudnika sa površinskom eksploatacijom kolubarskog lignita, primenom metoda daljinske detekcije (RS) i geografskih informacionih sistema (GIS-a). Istraživani prostor obuhvata prostore opština Lazarevac, Lajkovac, Ub, Obrenovac i Arandjelovac i zahvata površinu od preko 617 km². Rad je zasnovan na modeliranju rezultata kvaliteta vazduha i obradi Landsat satelitskih snimaka u softveru ArcGis. Modeliranje kvaliteta vazduha je urađeno na osnovu raspoloživih rezultata evidentiranih emitera analiziranog prostora. U zaključku su predstavljeni rezultati modeliranja zagađenja vazduha.

Ključne reči: GIS, RS, kvalitet vazduha, monitoring.

ABSTRACT

The paper presents the results of air quality modeling in the mine area with surface exploitation of Kolubara lignite, using remote sensing (RS) and geographic information systems (GIS) methods. The investigated area includes the municipalities of Lazarevac, Lajkovac, Ub, Obrenovac and Arandjelovac and covers an area of over 617 km². The work is based on modeling of air quality results and processing of Landsat satellite images in ArcGis software. Air quality modeling was done based on the available results of the recorded emitters of the analyzed area. In conclusion, the results of air pollution modeling are presented.

Keywords: GIS, RS, air quality, monitoring.

UVOD

Naselja pet opština koje su pod uticajem površinske eksploatacije i prerade lignita kolubarskog ugljenog basena su predmet analize kvaliteta vazduha. Stanje kvaliteta vazduha kao jednog od osnovnih prirodnih resursa i uslova za život dobar je pokazatelj antropogenog pritiska na životnu sredinu. Faktori životne sredine u koje spada i vazduh su uzročno posledično povezani sa antropogenim razvojem. Informacije o kvalitetu vazduha dobijene modeliranjem primenom metoda daljinske detekcije i GIS-a mogu dati osnovu za praćenje kao i njegovu dalju zaštitu i sanaciju.

Cilj ovog rada je da se primenom metoda daljinske detekcije i GIS-a, preko modeliranja kvaliteta vazduha utvrdi eventualni njihov eventualni uticaj na životnu sredinu.

Metode GIS-a i daljinske detekcije imaju praktičnu primenu u analizi životne sredine (Dutta, J., et al 2025; Pant, H., et al 2022; Pant, H., et al, 2022), kao i analizi promene namene korišćenja zemljišta (Lyons, M.B., et al 2012), analizi voda (Chawla, I., et al 2020), kao i rizika u životnoj sredini (Manfré, L. A., et al 2012).

ANALIZIRANI PROSTOR

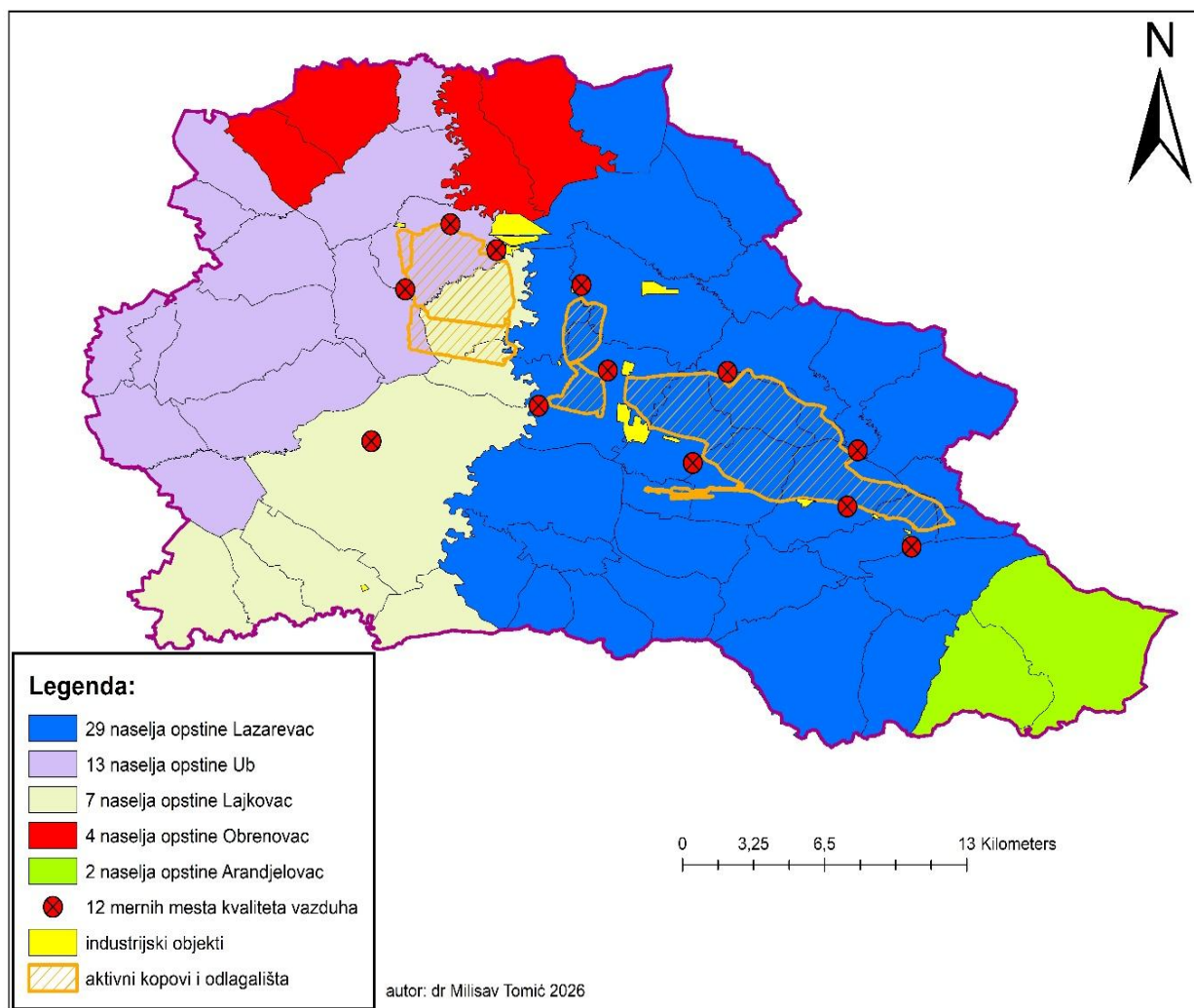
Analizirani prostor 50 km jugozapadno od Beograda obuhvata deo Kolubarskog ugljenog basena koji se nalazi u Republici Srbiji (slika 1). Kolubarski ugljeni basen zauzima delove teritorije opština Lazarevac, Lajkovac, Ub, Koceljeva i Obrenovac.

Prostor koji je analiziran zahvata površinu od oko 617 km² koji je u oblasti pod uticajem površinskih kopova lignita Ogranka Rudarski basen (RB) „Kolubara“, Lazarevac, kao i termoenergetskog sektora elektrane Kolubara A u Velikim Crljenima, zahvata površinu od 55 naselja koja administrativno pripadaju opštinama Lazarevac, Lajkovac, Ub, Obrenovac i Aranđelovac (slika 2).



Slika 1. Lokacija analiziranog prostora (Srbija) (Izvor: autori, 2026)

Slika 1 prikazuje položaj analiziranog prostora u Republici Srbiji.



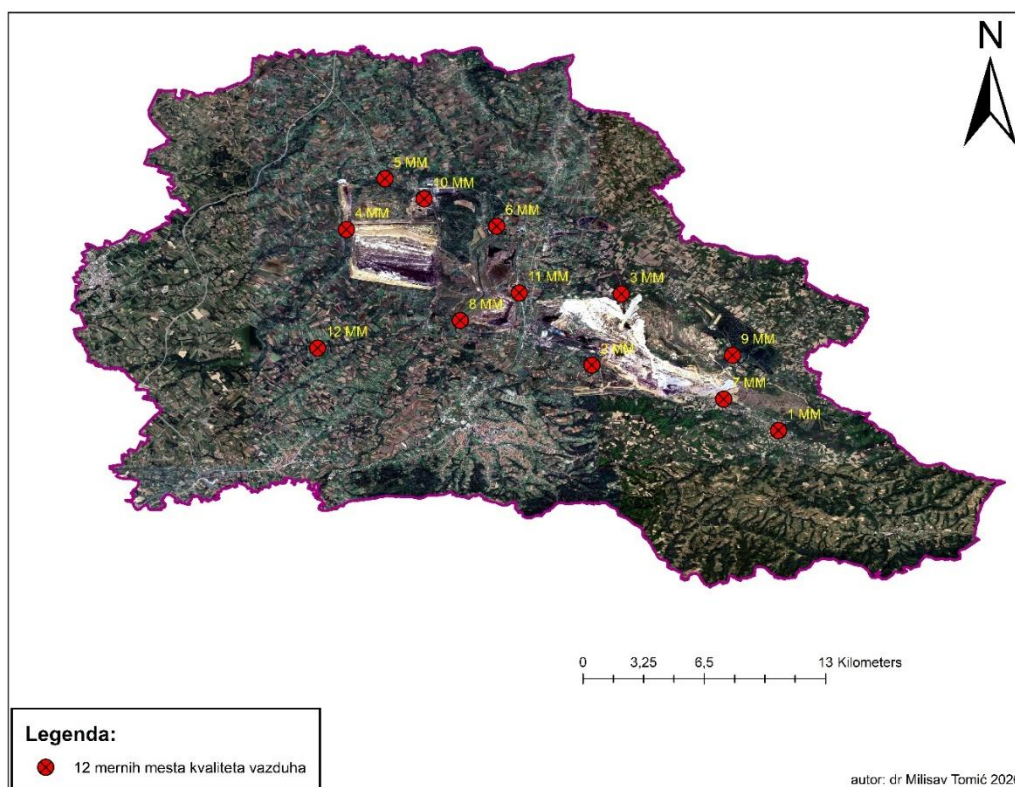
Slika 2. Granica analiziranog prostora sa položajem mernih tačaka prema naseljima, kopovima i industriji (Izvor: autor, 2026)

Slika 2, prikazuje analizirani prostor površine od oko 617 km² sa 55 naselja koja administrativno pripadaju opštinama Lazarevac, Lajkovac, Ub, Obrenovac i Arandjelovac i položaja mernih mesta merenja kvaliteta vazduha prema naseljima, površinskim kopovima i industriji.

MATERIJALI I METODE

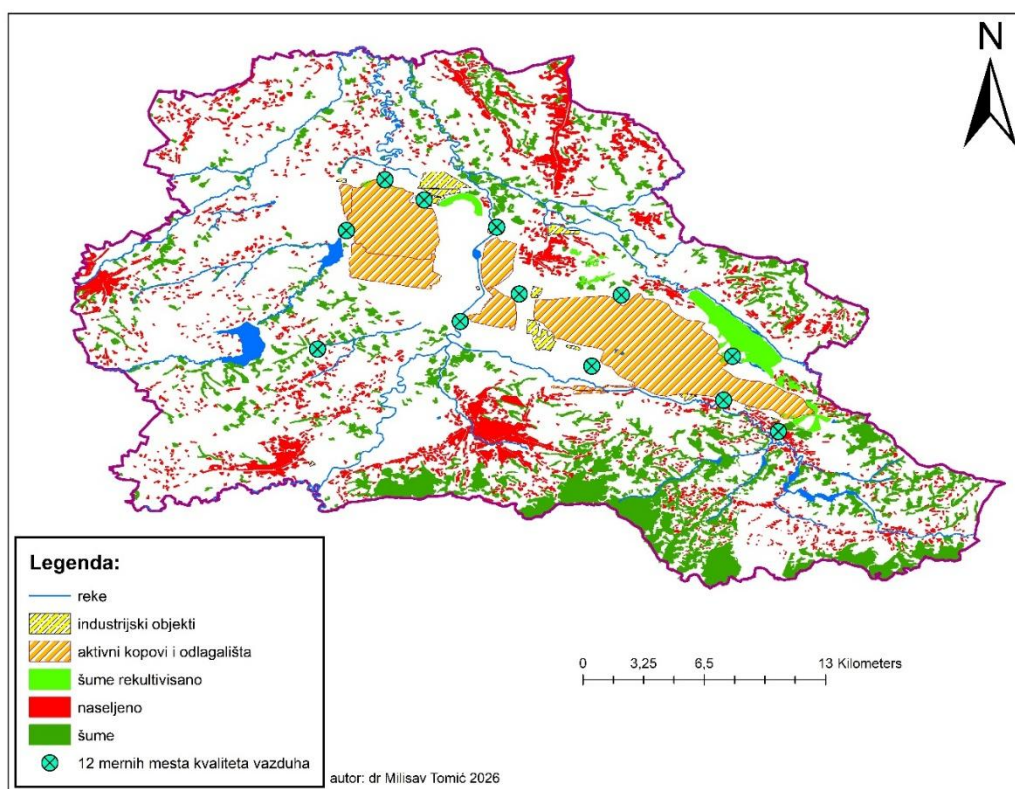
Materijali korišćeni u radu obuhvataju rezultate merenja kvaliteta vazduha, digitalizovane satelitske LANDSAT 8 snimke (Slika 3), čija scena zahvata analizirani prostor. U radu je korišćen softver ArcGIS 10.

Primena programa ArcGIS 10 u radu ogleda se kroz nekoliko koraka. Polazi se od uvoza podataka (rasterskih slika), preko georeferenciranja, pa sve do kreiranja baze podataka analiziranog prostora (Slika 4 i 5). Klasifikacija snimaka primenjena u radu podrazumevala je nadgledanu (pikseli se upoređuju i stavljaju u klasu kojoj najviše liče), klasifikaciju (Hongying Zhang et al 2023; Tomić M., 2022). Sledeći korak je izrada modela kvaliteta vazduha u softveru ArcGIS na osnovu rezultata merenja kvaliteta vazduha analiziranog prostora. Dobijeni model za 4 merenih elemenata je preklapan sa slojevima izdvojenih prostornih atributa objekata analiziranog prostora.



Slika 3. LANDSAT 8 satelitski snimak iz 2025. god. sa položajem mernih tačaka (Izvor snimka: <http://landsatlook.usgs.gov>)

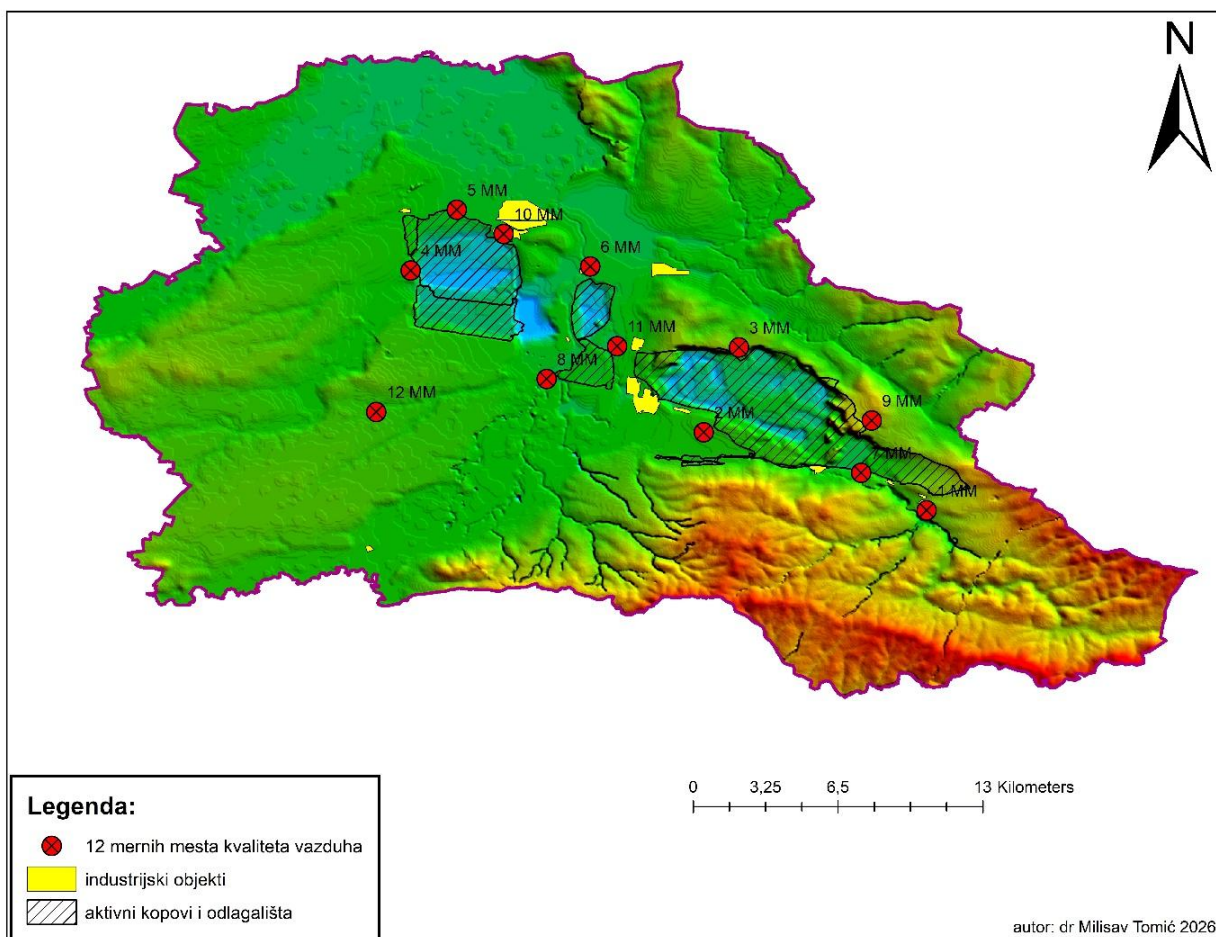
Slika 3, prikazuje obrađivani satelitski LANDSAT 8 snimak od 2025 godine.



Slika 4. Korišćenje zemljišta. (Izvor: autor, 2026)

Slika 4, prikazuje korišćenje zemljišta istraživanog prostora, kao posledice intenzivnih radova površinske eksploatacije lignita. Mapa korišćenja zemljišta urađena u GIS softveru pomoću obrade satelitskih snimaka analiziranog prostora.

Sadržaj tema u GIS okruženju za analizirani prostor, rađen je u programu ArcGIS i predstavljen je u bazi podataka preko osnovnih geometrijskih entiteta baze podataka (tačke, linije, poligoni i opisi). Objekti hidrografske mreže, šuma, naseljenog prostora, kopova i industrijskih objekata izdvojeni su na slici 4 i digitalni model terena sa položajem industrijskih objekata i površinskih kopova na slici 5.

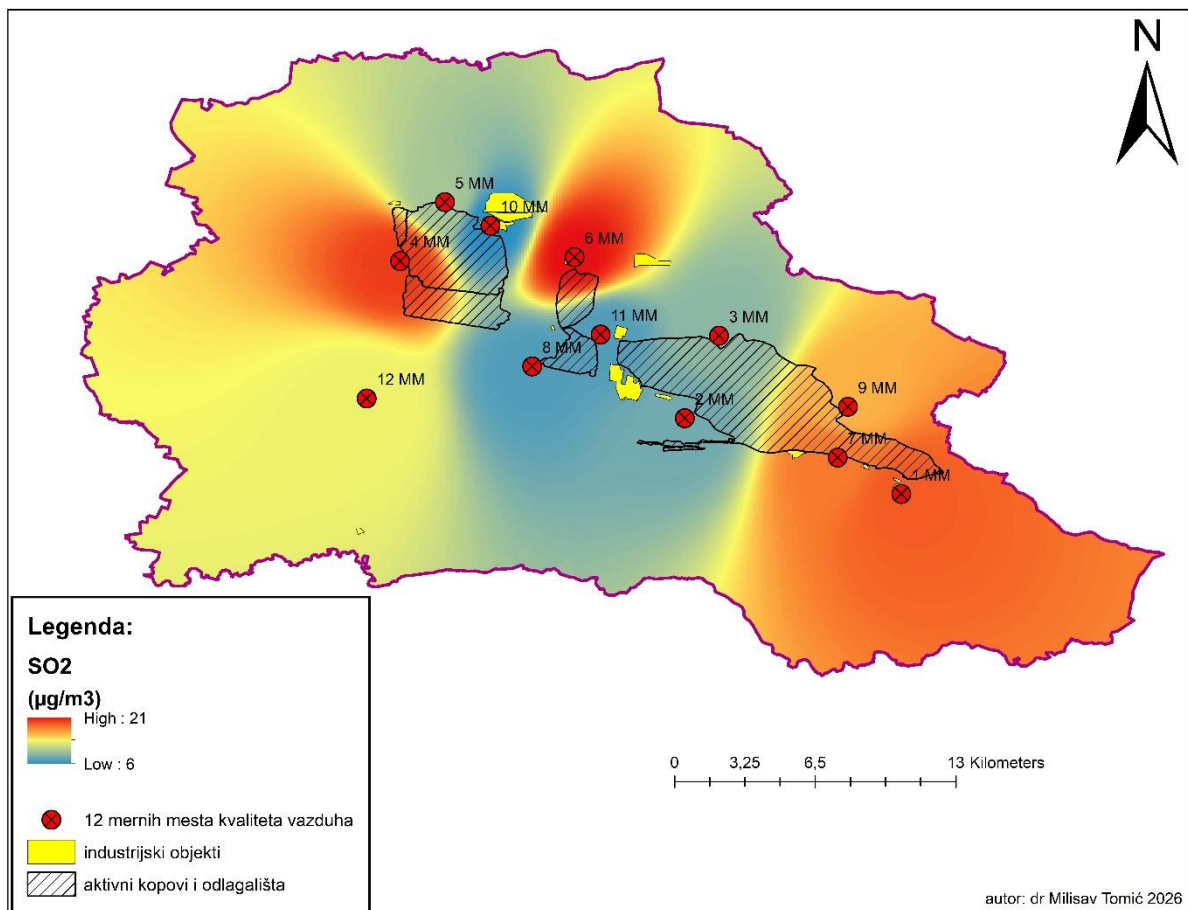


Slika 5. Digitalni model terena sa položajem mernih mesta prema kopovima i industrijskim objektima. (Izvor: autor, 2026)

Slika 5, prikazuje digitalni model terena sa položajem mernih mesta prema kopovima i industrijskim objektima.

REZULTATI I DISKUSIJA

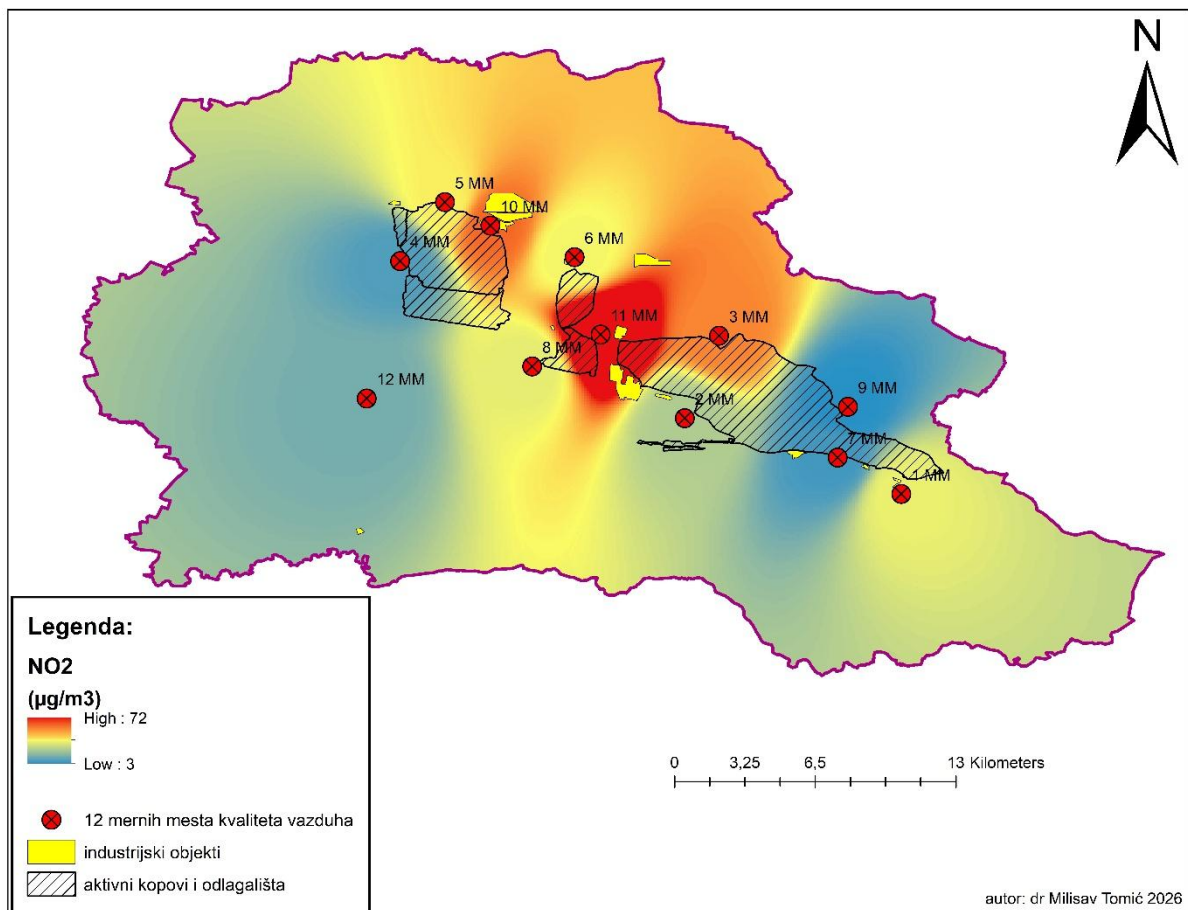
Obradom satelitskih snimaka, metodama daljinske detekcije i GIS-a, izradom modela kvaliteta vazduha i uporednom analizom došlo se do sledećih rezultata (Slika 6, 7, 8 i 9).



Slika 6. Model SO2 od 6 do 21 µg/m³. (Izvor: autor, 2026)

Tabela 1., SO2 (µg/m³)

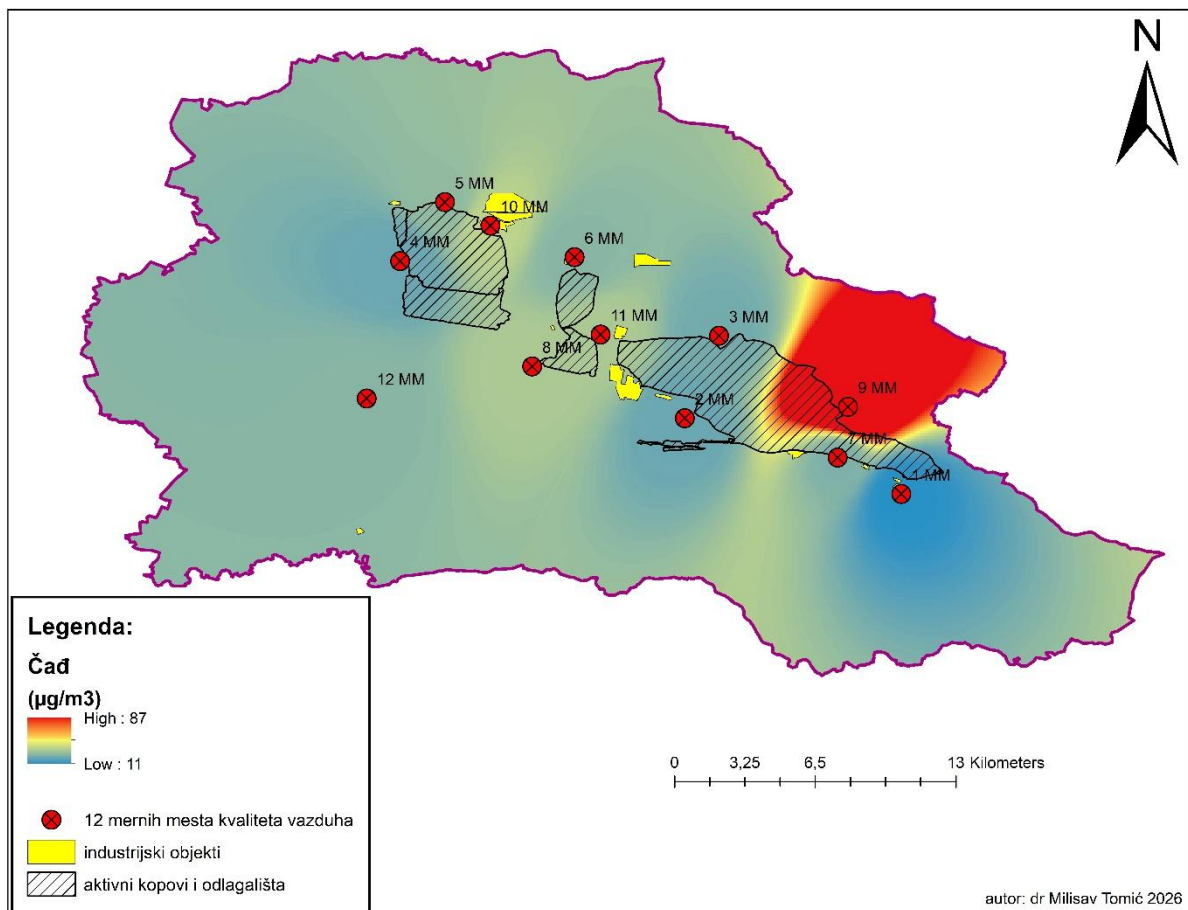
R.br.	Merno mesto	SO2 (µg/m³)
1.	MM 1	19
2.	MM 2	8
3.	MM 3	9
4.	MM 4	20
5.	MM 5	10
6.	MM 6	21
7.	MM 7	18
8.	MM 8	7
9.	MM 9	16
10.	MM 10	6
11.	MM 11	7
12.	MM 12	13



Slika 7. Model NO2 od 3 do 72 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. (Izvor: autor, 2026)

Tabela 2., NO2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

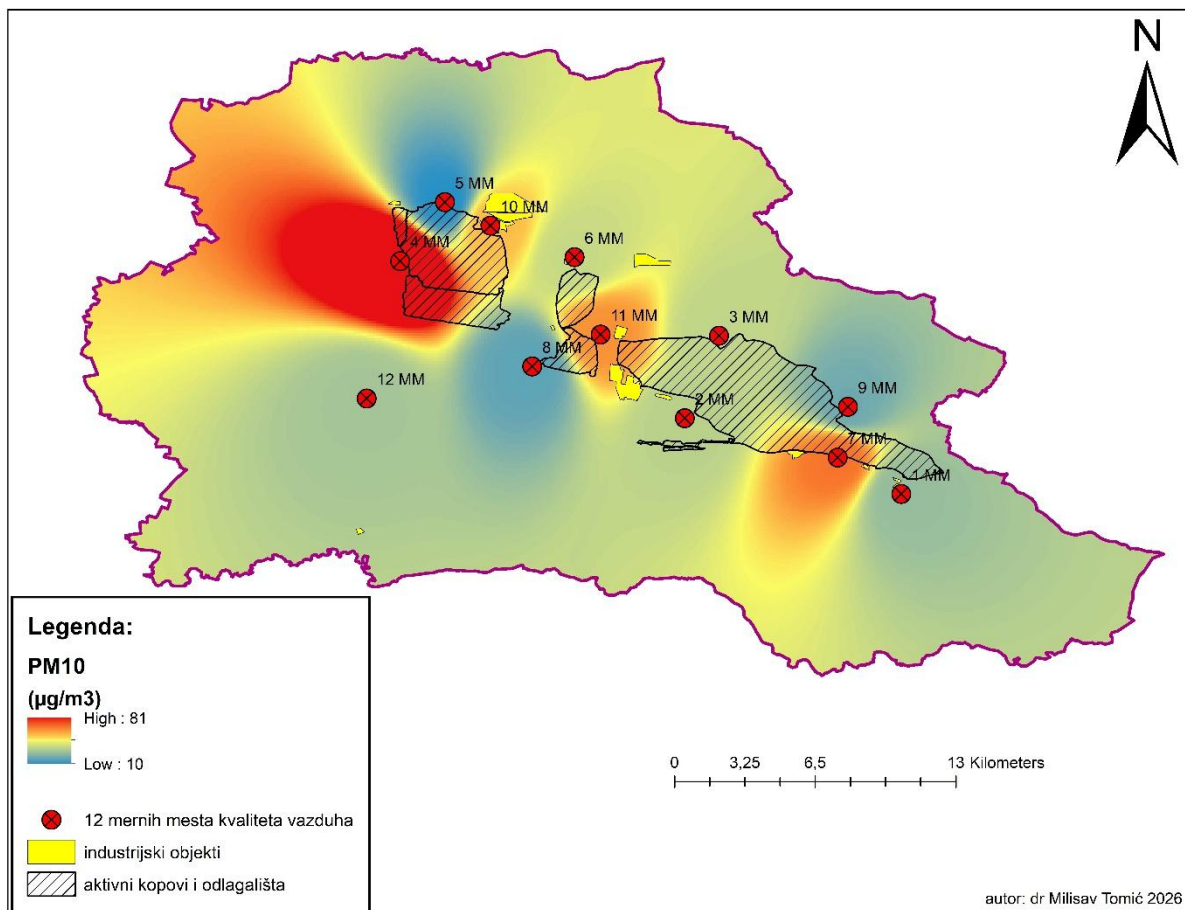
R.br.	Merno mesto	NO2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
1.	MM 1	25
2.	MM 2	17
3.	MM 3	40
4.	MM 4	6
5.	MM 5	28
6.	MM 6	26
7.	MM 7	5
8.	MM 8	24
9.	MM 9	3
10.	MM 10	43
11.	MM 11	72
12.	MM 12	10



Slika 8. Model Čađi od 11 do 87 µg/m³. (Izvor: autor, 2026)

Tabela 3., Čaš (µg/m³)

R.br.	Merno mesto	Čađ (µg/m³)
1.	MM 1	11
2.	MM 2	16
3.	MM 3	17
4.	MM 4	16
5.	MM 5	20
6.	MM 6	19
7.	MM 7	18
8.	MM 8	23
9.	MM 9	87
10.	MM 10	25
11.	MM 11	23
12.	MM 12	19



Slika 9. Model PM10 od 10 do 81 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. (Izvor: autor, 2026)

Tabela 4., PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

R.br.	Merno mesto	PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
1.	MM 1	22
2.	MM 2	27
3.	MM 3	28
4.	MM 4	81
5.	MM 5	10
6.	MM 6	29
7.	MM 7	53
8.	MM 8	15
9.	MM 9	17
10.	MM 10	44
11.	MM 11	49
12.	MM 12	24

ZAKLJUČAK

Rezultati dobijeni modeliranjem kvaliteta vazduha koje je rađeno za 4 vrednosti: SO₂, NO₂, Čađ i PM₁₀ čestice, pokazuju znatne oscilacije na svih 12 analiziranih mernih tačaka. Specifičan prostorni raspored rudnika sa površinskom eksploatacijom uglja, industrijskih i termoelektričnih objekata kao i naseljenih zona utiču na kvalitet vazduha analiziranog prostora. Modeliranje kvaliteta vazduha u zoni rudnika sa površinskom eksploatacijom kolubarskog lignita, primenom metoda daljinske detekcije i GIS-a, pokazalo je praktičnost korišćenja obe metode.

LITERATURA/REFERENCES

1. Dutta, J.; Medhi, S.; Gogoi, M.; Borgohain, L.; Maboud, N.G.A.; Muhameed, H.M. (2025): „Application of Remote Sensing and GIS in Environmental Monitoring and Management“. In Remote Sensing and GIS Techniques in Hydrology; IGI Global: Hershey, PA, USA, 2025; pp. 1–34.
2. Hongying Zhang et al (2023): “Comparing Three Methods of Selecting Training Samples in Supervised Classification of Multispectral Remote Sensing Images”; Sensors 2023, 23(20), 8530; <https://doi.org/10.3390/s23208530>
3. Tomić M. (2022): „Modeliranje zagađenja zemljišta u zoni rudnika sa površinskom eksploatacijom lignita, primenom daljinske detekcije i GIS-a“, XIII SIMPOZIJUM sa međunarodnim učešćem „RUDARSTVO 2022“, 23-26 maj, Vrnjačka Banja. str. 307-315.
4. Pant, H., Verma, J., & Richhariya, S. (2022): „Wildlife Conservation and Management using GIS and Remote Sensing“. Geospatial Technology and its Applications in Resource Management, 279-286.
5. Chawla, I.; Karthikeyan, L.; Mishra, A.K. A (2020): „Review of Remote Sensing Applications for Water Security: Quantity, Quality, and Extremes“. J. Hydrol. 2020,585, 124826.
6. Contreras, D., Blaschke, T., Tiede, D., & Jilge, M. (2016): „Monitoring recovery after earthquakes through the integration of remote sensing, GIS, and ground observations: The case of L'Aquila (Italy)“. Cartography and Geographic Information Science, 43(2), 115-133.
7. Lyons, M.B., Phinn, S.R., & Roelfsema, C.M. (2012): „Long term land cover and seagrass mapping using Landsat and object-based image analysis from 1972 to 2010 in the coastal environment of South East Queensland, Australia“. ISPRS J. Photogramm. Remote Sens., 71, 34-46.
8. Manfré, L. A., Hirata, E., Silva, J. B., Shinohara, E. J., Giannotti, M. A., Larocca, A. P. C., & Quintanilha, J. A. (2012): „An analysis of geospatial technologies for risk and natural disaster management“. ISPRS International Journal of Geo-Information, 1(2), 166-185.