

SISTEM ZA PROCENU KVALITETA VAZDUHA I PREPORUKU MERA ZAŠTITE

Članovi tima

- Luka Farkaš, SV63/2021
- Bojan Gelić, SV30/2021

Motivacija

Kvalitet vazduha je jedan od ključnih faktora koji direktno utiče na ljudsko zdravlje i kvalitet života. Zagađenje vazduha predstavlja globalni problem, jer povišene koncentracije štetnih čestica i gasova dovode do povećanog rizika od respiratornih i kardiovaskularnih oboljenja, smanjenja produktivnosti i značajnih ekonomskih troškova za društvo. Prema podacima Svetske zdravstvene organizacije (SZO), zagađenje vazduha svake godine uzrokuje oko sedam miliona prevremenih smrti širom sveta, pri čemu su najugroženiji stanovnici urbanih područja i zemlje u razvoju.

Srbija se nalazi među najzagađenijim zemljama u Evropi, sa prosečnim nivoom PM2.5 od oko $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$, što je višestruko iznad preporuke SZO od $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Procene pokazuju da zagađenje vazduha godišnje uzrokuje više od 12.000 prevremenih smrti, a najugroženiji su građani većih gradova poput Beograda, Novog Sada, Niša i Valjeva, naročito tokom grejne sezone kada dominiraju individualna ložišta na ugalj i drva. Glavni izvori su sagorevanje fosilnih goriva, zastarela vozila i industrijske emisije, što čini problem hroničnim i teško rešivim. Iz tih razloga je odabrana tema projekta, kako bi se kroz znanjem vođeno rezonovanje građanima pružio jasan uvid u stanje vazduha i pravovremene preporuke za smanjenje zdravstvenog rizika.

Pregled problema

Kvalitet vazduha u Srbiji i regionu već godinama predstavlja ozbiljan zdravstveni i ekološki izazov. Iako građani sve više koriste aplikacije i vidžete za praćenje stanja, dostupna rešenja uglavnom nude samo osnovne informacije – trenutni nivo jednog polutanta ili zbirni AQI (*Air Quality Index*), odnosno indeks kvaliteta vazduha. Ovakva rešenja imaju više nedostataka: ne kombinuje podatke iz različitih izvora i retko pruža istorijski pregled i dinamiku zagađenja. Poseban problem je što korisnicima nude opšte preporuke, bez obzira na njihove godine, zdravstveno stanje ili pripadnost rizičnim

grupama. Dodatno trenutni sistemi su „crne kutije“: korisnik dobija broj ili status (npr. „loš vazduh“), ali ne i objašnjenje zbog čega je takva procena dodeljena, niti jasne i praktične smernice kako da se ponaša u datoj situaciji. Zbog toga građani često ne znaju koliko ozbiljno treba da shvate upozorenje, niti kako da se zaštite.

Predlog rešenja

Predloženi sistem rešava ove nedostatke korišćenjem:

- rule-based ulančavanja različitih izvora podataka (PM2.5, PM10, NO₂, O₃, CO₂, vremenski uslovi),
- accumulate mehanizama za izračunavanje satnih i dnevnih proseka i praćenje istorije,
- CEP pravila za detekciju naglih promena i eskalaciju hitnosti.

Pored toga, sistem nudi jasne i objašnjive odluke – korisnik dobija ne samo informaciju o kategoriji zagađenja, već i razloge zbog kojih je ta kategorija dodeljena, uz konkretne preporuke prilagođene različitim profilima korisnika. Na ovaj način sistem prevazilazi ograničenja postojećih rešenja i građanima nudi alat koji je praktičan, razumljiv i zdravstveno relevantan.

Metodologija rada

Tipovi korisnika

Sistem ima sledeće tipove korisnika:

- Građani – zdrave odrasle osobe: dobijaju informacije o trenutnom stanju zagađenja vazduha i opšte preporuke za ponašanje, u zavisnosti od nivoa zagađenja, u realnom vremenu.
- Rizične grupe (deca, starije osobe, hronični bolesnici, trudnice): dobijaju specijalizovane preporuke i upozorenja.
- Institucije (opciono – škole, vrtići, bolnice): mogu koristiti sistem za donošenje odluka o obustavi aktivnosti na otvorenom ili zaštiti ugroženih grupa.

Ulazi u sistem (input)

Ulazi u sistem su:

- Merenje polutanata, koncentracija zagađujućih materija: PM2.5, PM10, NO₂, O₃, CO₂, sa vremenskom oznakom.

- Vremeski uslovi: temperatura, vlažnost, brzina vetra, padavine, pritisak.
- Kontekstualni podaci (opciono): gustina saobraćaja, industrijska aktivnost, doba dana, sezona (zimski/letnji period).
- Korisnički profil: osnovne karakteristike korisnika ili grupe (dete, starija osoba, osoba sa hroničnim bolestima disajnih puteva, zdrava odrasla osoba).

Izlazi iz sistema (output)

Izlazi iz sistema su:

- Kategorija kvaliteta vazduha: dobar, umeren, loš, opasan.
- Objašnjenje odluke: evidencija (koji polutanti i uslovi su doveli do zaključka).
- Preporuke za ponašanje (npr. „Izbegavajte napor na otvorenom“, „Nosite masku P2/P3“, „Ostanite u zatvorenom prostoru“).
- Personalizovane preporuke po tipu korisnika (deca, hronični bolesnici, stariji).
- Upozorenja u realnom vremenu (ako se detektuju nagli skok zagađenja – CEP pravilo).
- Izveštaji i trendovi: istorijski podaci o kvalitetu vazduha, poređenje po periodima, analiza uzorka.

Baza znanja

Ontologija domena:

- Polutanti: PM_{2.5}, PM₁₀, NO₂, O₃, CO₂
- Vremenski uslovi: temperatura, vetar (slab, umeren, jak), padavine (kiša, sneg), vlažnost, pritisak
- Kategorije kvaliteta vazduha: dobar, umeren, loš, veoma loš, opasan
- Tipovi korisnika: opšta populacija, deca, stariji, hronični bolesnici, institucije
- Preporuke: opšte (za sve) i personalizovane (po tipu korisnika)

Pravila u bazi znanja:

1. Pravila za mapiranje koncentracija → nivo rizika

- $PM_{2.5} \leq 15 \rightarrow DOBAR$
- $15 < PM_{2.5} \leq 35 \rightarrow UMEREN$

- $35 < PM_{2.5} \leq 55 \rightarrow LOŠ$
- $PM_{2.5} > 55 \rightarrow OPASAN$
- $PM_{10} \leq 25 \rightarrow DOBAR$
- $25 < PM_{10} \leq 50 \rightarrow UMEREN$
- $50 < PM_{10} \leq 100 \rightarrow LOŠ$
- $PM_{10} > 100 \rightarrow OPASAN$

```

IF PM2.5 <= 15 THEN PM2.5_status = "DOBAR".
IF PM2.5 > 15 AND PM2.5 <= 35 THEN PM2.5_status =
"UMEREN".
IF PM2.5 > 35 AND PM2.5 <= 55 THEN PM2.5_status =
"LOŠ".
IF PM2.5 > 55 THEN PM2.5_status = "OPASAN".

IF PM10 <= 25 THEN PM10_status = "DOBAR".
IF PM10 > 25 AND PM10 <= 50 THEN PM10_status =
"UMEREN".
IF PM10 > 50 AND PM10 <= 100 THEN PM10_status =
"LOŠ".
IF PM10 > 100 THEN PM10_status = "OPASAN".

```

- Slično se definišu granice za NO_2 , O_3 , uzete iz EU i WHO standarda).

2. Pravila za kombinovanje indikatora

- Ukupna kategorija određuje se prema najgorem rezultatu (ili najvišem „score-u“).
- Ako su vrednosti različitih polutanata u različitim kategorijama, konačna kategorija se određuje prema najgorem rezultatu.
- Ako dva ili više polutanata prelazi prag za „loš“ ili više, stanje se dodatno pogoršava, degradira se kategorija za dodatni nivo (npr. iz „loš“ u „veoma loš“).

```

IF dva ili više polutanata = LOŠ ili gore
THEN Kvalitet = "VEOMA LOŠ".

IF Kvalitet = "LOŠ" AND UserType = "Dete"
THEN Preporuka = "Ostati unutra".

```

3. Accumulate pravila

- Ako je prosečan $PM_{2.5}$ u poslednjih 24h veći od $35 \mu g/m^3 \rightarrow$ degradirati kategoriju za jedan nivo.

- Ako je u poslednja 3 sata više od 2 puta $PM_{10} > 100 \mu g/m^3 \rightarrow$ generisati upozorenje za dugotrajno zagađenje.
 - Ako se tokom 7 dana uzastopno beleži „loš“ kvalitet vazduha \rightarrow preporuka institucijama da razmotre ograničavanje saobraćaja.
4. CEP pravila (dinamika – detekcija događaja u realnom vremenu)
- Ako u poslednjih 30 minuta $PM_{2.5}$ naglo skoči za više od $20 \mu g/m^3 \rightarrow$ generisati upozorenje „nagli porast zagađenja“.
 - Ako je vazduh opasan duže od 6 sati zaredom \rightarrow upozorenje za institucije (vrtiće, škole).
 - Ako su vetar = slab i $PM_{2.5}$ konstantno visok preko $55 \mu g/m^3$ tokom 12h \rightarrow preporuka da se očekuju dugotrajno zadržavanje smoga.
5. *Forward chaining* (planiranje/preporuke)
- Forward chaining počinje od sirovih podataka (aktuelna očitavanja senzora) i kroz niz ulančanih pravila dolazi do eskalacije i konačnih akcija.
- Od merenja i kombinovanja pravila sistem zaključuje kategoriju i kreira preporuke:
 - Umeren: izbegavanje naporne aktivnosti napolju.
 - Loš: osetljive grupe da ostanu unutra.
 - Opasan: svi da izbegavaju boravak napolju, prozori ratvoreni.

Forward lanac: $PM_{2.5} = 40$, LOŠ kvalitet, slab vetar, 3h bez poboljšanja

Korak 1 – inicijalno očitavanje

IF $PM_{2.5} \geq 35$ AND $PM_{2.5} \leq 55$

THEN Kvalitet = "LOŠ"

Rezultat: Kvalitet = LOŠ

Korak 2 – proveriti meteorološke uslove (vetar)

IF Kvalitet = "LOŠ" AND Vetar = "SLAB"

THEN situacija = "STABILNO LOŠA"

Rezultat: situacija = STABILNO LOŠA

Korak 3 – primena CEP pravila (kontinuirano stanje)

IF situacija = "STABILNO LOŠA" AND

trajanje_bez_poboljšanja $\geq 3h$

THEN Kvalitet = "VEOMA LOŠ"

Rezultat: Kvalitet = VEOMA LOŠ

Korak 4 – generisanje preporuka za građane

IF Kvalitet = "VEOMA LOŠ"

THEN Preporuka_Građani = "Izbegavati napolje, prozore držati zatvorene"

Rezultat: Građani – Izbegavati napolje

Korak 5 – generisanje preporuka za osetljive grupe

IF Kvalitet = "VEOMA LOŠ"

THEN Preporuka_Osetljive = "Obavezno ostati unutra, koristiti prečišćivače vazduha"

Rezultat: Osetljive grupe – Obavezno ostati unutra

Korak 6 – generisanje preporuka za institucije

IF Kvalitet = "VEOMA LOŠ"

THEN Preporuka_Institucije = "Upozoriti škole i vrtiće, razmotriti online nastavu"

Rezultat: Institucije – Upozoriti škole i vrtiće

Forward lanac: Detekcija naglog porasta i eskalacija (CEP korisnik – institucije)

• IF PM2.5_porast_u_30min > 20 µg/m³ THEN trigger = "NAGLI_PORAST".

• IF trigger = "NAGLI_PORAST" AND PM2.5_current > 35 THEN stanje = "POGORSANJE".

• IF stanje = "POGORSANJE" AND korisnik_tip = "rizična_grupa" THEN preporuka = "OSTATI_UNUTRA".

• IF stanje = "POGORSANJE" AND vremeIzlozenosti_predviđeno > 30min THEN preporuka += "KORISTITI_MASKU_P2".

• IF stanje = "POGORSANJE" AND broj_sati_pogorsanja >= 3 THEN notify = "POSLAT_UPOZORENJE_INSTITUCIJAMA".

• IF notify = "POSLAT_UPOZORENJE_INSTITUCIJAMA" THEN generisi_report + log_CEP_event.

Nagli spike aktivira CEP pravilo – menja se interni status – personalizovane preporuke – ako problem potraje, automatsko obaveštenje institucijama i arhiviranje događaja.

Forward lanac: Dugotrajno zagađenje – institucionalne mere

• IF prosecan_PM2.5_24h > 35 THEN degradiraj_Kvalitet().

<ul style="list-style-type: none"> • IF degradiraj_Kvalitet() results in Kvalitet >= "LOŠ" AND count_days_Kvalitet_LOŠ_in_week >= 3 THEN preporuka_institucijama = "PREGLED_MERA". • IF preporuka_institucijama = "PREGLED_MERA" AND lokalni_saobracaj_visok THEN akcija = "PREDLOZITI_OGRANICENJE_SAOBRACAJA". • IF akcija = "PREDLOZITI_OGRANICENJE_SAOBRACAJA" THEN posalji_izvestaj_gradskim_sluzbama. • IF posalji_izvestaj_gradskim_sluzbama THEN schedule_followup_check(24h).

<p>Accumulate + dnevni prosek vodi do degradacije kategorije; ponavljajuće loše stanje pokreće preporuke za lokalne politike i automatsko obaveštavanje.</p>
--

6. *Backward chaining* (dijagnostika/upiti)

U našem sistemu backward chaining radi tako što krene od moguće preporuke (na primer: „dete može napolje“ ili „potrebno je nositi masku“) i zatim proverava da li postoje uslovi koji je podržavaju. Na ovaj način sistem postepeno isključuje manje verovatne ishode i fokusira se na onu preporuku koja najtačnije odgovara trenutnim vrednostima senzora i kontekstu korisnika.

Na primer:

- Ako sistem želi da potvrdi da je bezbedno da dete izađe napolje, proverava nivo PM2.5 i PM10, kategoriju kvaliteta vazduha i trajanje izlaganja.
- Ako postoji sumnja da treba ograničiti fizičku aktivnost, sistem proverava da li je indeks kvaliteta vazduha u kategoriji „LOŠ“ ili gore, da li postoje dugotrajna zagađenja i da li korisnik pripada osetljivoj grupi. Tek kada su svi uslovi pristuni, preporuka se potvrđuje.
- Ako je u pitanju preporuka „koristite masku napolju“, sistem proverava da li je kvalitet „OPASAN“ i da li je korisnik izložen duže od 30 minuta.

Na ovaj način, backward chaining omogućava sistemu da dođe do najtačnije preporuke tako što ide od pretpostavljenog saveta ka uslovima koji ga potvrđuju ili isključuju.

<p>Primer 1: Preporuka – „Dete može napolje“ (rekurzivna provera)</p> <p>Nivo 1 – glavni cilj: Hipoteza: „Dete može napolje“ Upit: „Da li je kvalitet vazduha dobar ili umeren?“ Pravilo: IF Kvalitet \in {DOBAR, UMEREN} AND RizikZaDecu = nizak THEN Preporuka = "Dete može napolje".</p>
<p>Nivo 2 – procena rizika za decu: Hipoteza: „Rizik za decu je nizak“ Pitanja: <ul style="list-style-type: none"> • Da li je $PM_{2.5} \leq 35$? • Da li je $PM_{10} \leq 50$? • Da li je trajanje izloženosti manje od 2h? Pravilo: IF $PM_{2.5} \leq 35$ AND $PM_{10} \leq 50$ AND vremeIzloženosti < 2h THEN RizikZaDecu = nizak.</p>
<p>Nivo 3 – konkretna provera senzora Simptomi koje sistem direktno prooverava: <ul style="list-style-type: none"> • $PM_{2.5}$ senzor = $28 \mu g/m^3$ • PM_{10} senzor = $40 \mu g/m^3$ • Vremeizloženosti = 1h 30min </p>
<p>Zaključak: Svi kriterijumi zadovoljeni – Preporuka potvrđena: „Deca mogu biti napolju“.</p>

<p>Primer 2: Preporuka – „Preporučuje se maska na otvorenom“ (rekurzivna provera)</p> <p>Nivo 1 – glavni cilj: Hipoteza: „Preporučuje se maska“ Upit: Da li je kvalitet vazduha OPASAN? Pravilo: IF Kvalitet = OPASAN AND vremeIzloženosti \geq 30min THEN Preporuka = "Koristite masku".</p>
<p>Nivo 2 – procena kvaliteta vazduha: Hipoteza: „Kvalitet vazduha je OPASAN“ Pitanja: <ul style="list-style-type: none"> • Da li je $PM_{2.5} > 55$? • Da li je $PM_{10} > 100$? • Da li su dva ili više polutanta u kategoriji LOŠ ili gore? Pravilo: IF $PM_{2.5} > 55$ OR $PM_{10} > 100$ OR brojLošihPolutanata \geq 2 THEN Kvalitet = OPASAN.</p>
<p>Nivo 3 – rekurzivna potvrda: Simptomi koje sistem direktno priverava: <ul style="list-style-type: none"> • $PM_{2.5}$ senzor = $80 \mu g/m^3$ </p>

<ul style="list-style-type: none"> • PM10 senzor = $120 \frac{\mu g}{m^3}$ • Vreme izloženosti = 45 min
Zaključak: Svi kriterijumi zadovoljeni – Preporuka potvrđena: „Nošenje maske je neophodno“.

Primer rezonovanja

Korisnik sa astmom otvara aplikaciju kako bi proverio trenutni kvalitet vazduha. U poslednjih sat vremena merenja pokazuju:

- PM2.5 = $42 \frac{\mu g}{m^3}$
- PM10 = $58 \frac{\mu g}{m^3}$
- NO₂ = $34 \frac{\mu g}{m^3}$
- O₃ = $52 \frac{\mu g}{m^3}$
- Slab vetar (1.1 m/s)
- Bez padavina.

Sistem prvo primenjuje pravila za klasifikaciju svakog polutanta, pri čemu PM2.5 i PM10 ulaze u kategoriju „LOŠ“, a NO₂ i O₃ u „UMEREN“. Kombinacijom tih vrednosti i uzimajući u obzir loše vremenske uslove, ukupan rezultat prelazi prag za „OPASAN“ kvalitet vazduha. Dodatno, prosečne vrednosti PM2.5 u prethodnom satu potvrđuju da zagađenje traje duže vreme, dok se detektuje i nagli skok PM2.5 u poslednjih 30 minuta (CEP pravilo).

Na osnovu svih ovih faktora, sistem zaključuje da je vazduh trenutno u kategoriji „OPASAN“ i generiše preporuke prilagođene korisniku:

- Ostanak u zatvorenom,
- Zatvaranje prozora,
- Nošenje zaštitne maske prilikom izlaska,
- Izbegavanje napora.

Ako korisnik postavi pitanje „Da li je bezbedno da dete provede 30 minuta napolju?“, sistem primenjuje backward chaining kako bi proverio uslove – trenutna kategorija, prethodne promene i vremenski faktori – i zaključuje da uslovi nisu bezbedni, uz jasno obrazloženje i savet da se sačeka stabilizacija. Ovim se demonstrira kako sistem koristi pravila, obrađuje ulaze, povezuje podatke i generiše personalizovane, logički izvedene preporuke.