

Kolegij: Računalni vid

Tema: Detekcija svjetlosnog onečišćenja u gradovima

Grupa : H

Studenti : Jozo Petrović, Roberto Mijatović, Antonela Galić

Pristup: duboko učenje

# UVOD

Svjetlosno onečišćenje (engl. *light pollution*) je neželjena, prekomjerna ili nepravilno usmjerena umjetna svjetlost koja narušava prirodnu tamu noći. To je moderna vrsta zagađenja koju je čovjek stvorio razvojem gradova, industrije i javne rasvjete.

Nastaje zbog:

- pretjerane javne i privatne rasvjete,
- neadekvatno dizajniranih svjetiljki koje raspršuju svjetlo u svim smjerovima (npr. prema nebu),
- refleksije svjetla od zgrada, ceste, vode i drugih površina,
- 24-satne rasvjete na reklamnim panoima, trgovinama, sportskim objektima, itd.

Vrste svjetlosnog onečišćenja:

## 1. Svjetlosni sjaj neba

Svjetlosni sjaj neba (engl. *skyglow*) je difuzna, zamućena svjetlost koja se širi iznad urbanih područja i osvjetjava noćno nebo, čineći ga svijetlim čak i u potpunom mraku, bez Mjeseca ili oblaka. Skyglow nastaje kada umjetna svjetla iz gradova (ulične lampe, reklame, automobili, zgrade itd.) isijavaju svjetlo prema gore ili bočno, a to svjetlo se potom raspršuje u atmosferi zbog:

- čestica prašine,
- vlage,
- aerosola,
- oblačnosti.

Taj raspršeni sjaj vraća se prema tlu i osvjetjava nebo, zbog čega ono više nije tamno, već ima blijedooranžastu, sivu ili plavičastu boju (ovisno o vrsti rasvjete i uvjetima).

- Najizraženiji je u velikim gradovima i metropolama (npr. New York, Pariz, Tokio),
- Ali se vidi i desetima kilometara dalje – često i u ruralnim područjima u blizini gradova.

## Bliještanje

Bliještanje je vizualna pojava koja nastaje kada jaka ili nepravilno usmjerena svjetlost ulazi izravno u oko, stvarajući osjećaj neugode, smanjene vidljivosti ili čak privremene sljepoće.

Radi se o vrsti svjetlosnog onečišćenja koja posebno negativno utječe na ljudsku sigurnost, koncentraciju i zdravlje, osobito noću.

Gdje se najčešće pojavljuje bliještanje?

- Promet – automobilska svjetla, ulična rasvjeta, reklame.
- Zgrade i stambeni objekti – refleksija svjetla s prozora ili fasada.
- Sport i zabava – reflektori na stadionima, dvoranama, koncertima.
- Radna okruženja – loše postavljena unutarnja rasvjeta u uredima.

□ Hodate noću pločnikom, a nova LED rasvjeta vam sija ravno u oči – osjećate nelagodu i privremenu zamućenost vida.

□ Vozite, a drugi vozač ne gasi duga svjetla – ne vidite ništa par sekundi, što može biti opasno po život.

□ Radite u uredu s lošom rasvjetom i boli vas glava nakon par sati – rezultat je neugodno bliještanje s ekrana ili svjetla.

## **2. Svjetlosno prodiranje**

Svjetlosno prodiranje nastaje kada umjetna svjetlost prodire u prostor gdje nije potrebna ni poželjna, najčešće u privatne ili osjetljive prostore, kao što su:

- spavaće sobe,
- dvorišta,
- prozori stanova ili kuća,      bolnice ili škole.

To je oblik neželjene svjetlosti koji narušava privatnost, komfort i prirodne dnevno-noćne cikluse ljudi i životinja.

Zamislimo da živite u stanu, a ulična rasvjeta ili reflektor iz susjedovog dvorišta sija direktno kroz vaš prozor. Čak i s navučenim zavjesama, soba nije potpuno tamna. To je svjetlosno prodiranje.

Kako nastaje svjetlosno prodiranje?

- Loše postavljeni izvori svjetlosti – npr. reflektori koji svijetle vodoravno umjesto prema dolje.
- Bez zaštitnih poklopaca na lampama koji bi usmjeravali svjetlo samo na ciljano područje.
- Prejaka rasvjeta u stambenim zonama bez kontrole ili vremenskog ograničenja

## **3. Svjetlosno nered**

Svjetlosni nered označava pretjerano, nasumično i kaotično raspoređene izvore svjetlosti u prostoru – posebno u gradovima – koji stvaraju zbrku, vizualno zasićenje i otežavaju orijentaciju.

To uključuje preveliki broj:

- reklamnih panoa,
- reflektora,
- neonskih znakova,
- uličnih svjetiljki koje su postavljene bez jasnog plana ili usmjerenja

Kako prepoznati svjetlosni nered?

Zamisli:

- Voziš se autocestom i ispred tebe bliješte deseci različitih izvora svjetlosti – lampi, reklama, svjetala zgrada, trgovina, automobila...
- Teško ti je fokusirati se jer te svaka nova svjetlost odvlači pažnju.

To je svjetlosni nered.

Gdje se najčešće pojavljuje?

- U gradskim centrima s mnogo reklamnih panoa (npr. Times Square, Las Vegas).
- Na prometnicama s nizovima svjetiljki, svjetlećih znakova i farova.
- U trgovačkim zonama i industrijskim parkovima, gdje tvrtke postavljaju reflektore i svjetleće natpise da bi bili uočljiviji.

Utjecaj na okoliš ☐ Remeti cirkadijalni ritam (unutarnji biološki sat) kod ljudi, životinja i biljaka.

- Neke životinje (npr. ptice, kornjače, kukci) gube orijentaciju, što može ugroziti njihovo preživljavanje.

☒ Utjecaj na zdravlje ☐ Umjetno svjetlo noću smanjuje proizvodnju melatonina, hormona koji regulira san.

- Posljedice: nesanica, stres, slabiji imunitet, pa čak i povećan rizik za neke bolesti.

☒ Utjecaj na astronomiju

- Onemogućava ili otežava gledanje neba i zvijezda, pa je sve teže baviti se astronomijom u blizini gradova.

💡 Energetska potrošnja

- Neefikasna rasvjeta troši velike količine električne energije, što povećava troškove i emisiju CO<sub>2</sub>.

## Zašto je važno detektirati svjetlosno onečišćenje

U suvremenim gradovima, gdje svjetla gotovo nikad ne prestaju sjajiti, svjetlosno onečišćenje postaje sve ozbiljniji problem. Rijetko tko danas ima priliku pogledati u noćno nebo i jasno vidjeti zvijezde. Umjesto toga, ono što dominira jesu umjetna svjetla – ulična rasvjeta, reklame, reflektori i bljeskajuće reklame – koja stvaraju pretjeranu i često nepotrebnu svjetlosnu emisiju. Detekcija takvog onečišćenja ključan je korak kako bismo razumjeli razmjere problema i pronašli rješenja.

Jedan od glavnih razloga zašto je detekcija svjetlosnog onečišćenja važna jest utjecaj koji ono ima na zdravlje ljudi. Umjetna svjetlost, posebno noću, remeti naš prirodni biološki ritam, poznat kao cirkadijalni ciklus. To dovodi do poremećaja spavanja, smanjene proizvodnje melatonina i dugoročnih zdravstvenih posljedica poput nesanice, stresa i slabljenja imuniteta. Detekcijom se može točno utvrditi gdje je svjetlosna emisija najintenzivnija, te se tim informacijama može bolje planirati smanjenje štetnog utjecaja.

Osim zdravlja, svjetlosno onečišćenje utječe i na sigurnost. Pretjerana ili loše usmjerena rasvjeta može izazvati bliještanje i smanjiti vidljivost u prometu, što ugrožava vozače, bicikliste i pješake. Detekcijom se mogu identificirati najrizičnije prometne točke gdje je potrebno prilagoditi osvjetljenje.

Ne smijemo zaboraviti ni prirodni okoliš. Mnoge životinjske vrste ovise o prirodnoj izmjeni dana i noći. Ptice selice, šišmiši, kukci i morske kornjače često se dezorientiraju zbog prejakog umjetnog svjetla, što utječe na njihovu sposobnost preživljavanja. Detekcijom svjetlosnog onečišćenja moguće je prepoznati i zaštititi ekološki osjetljiva područja.

Još jedan važan aspekt je energetska učinkovitost. Velik dio javne i privatne rasvjete troši električnu energiju bez potrebe. Prejako ili loše usmjereno svjetlo ne samo da šteti, već i stvara nepotrebne troškove. Detekcija pomaže u identificiranju područja gdje se energija može racionalizirati, čime se smanjuju troškovi i emisija štetnih plinova.

Konačno, svjetlosno onečišćenje narušava ljepotu noćnog neba. Zvjezdano nebo, koje je tisućama godina inspiriralo ljude, postaje sve manje vidljivo. Astronomi sve teže promatraju svemir, a obični građani gube vezu s prirodom. Kroz detekciju možemo mapirati područja s

najvećim onečišćenjem i zaštititi preostale „tamne zone“ koje još uvijek omogućuju doživljaj pravog noćnog neba.

Detekcija svjetlosnog onečišćenja stoga nije luksuz, već nužnost. Bez točnih podataka i razumijevanja problema, nije moguće učinkovito djelovati. Samo kroz mjerjenje, analiziranje i odgovorno planiranje možemo graditi gradove koji su sigurni, zdravi i u skladu s prirodom – gradove u kojima će noć ponovno imati svoju tamu, a svjetlost svoje pravo mjesto.

## Izazovi u automatskoj obradi slika svjetlosnog onečišćenja

Automatska obrada slika u kontekstu detekcije svjetlosnog onečišćenja postaje sve važnija jer omogućuje analizu velikih područja brzo i učinkovito. Međutim, ova tehnologija nosi i niz izazova koji utječu na točnost i pouzdanost dobivenih rezultata.

Jedan od glavnih izazova jest **raznolikost izvora svjetlosti**. Gradovi koriste različite vrste rasvjete – LED, natrijeve lampe, halogene reflektore – koje emitiraju svjetlost različitih boja i intenziteta. Algoritmi za obradu slika moraju biti dovoljno sofisticirani da prepoznaju i razlikuju te izvore, što zahtijeva preciznu kalibraciju senzora i modela.

Drugi izazov je **refleksija i raspršenje svjetla**. Umjetna svjetlost se često odbija od oblaka, zgrada i površina, što stvara šum u slikama i otežava preciznu lokalizaciju izvora svjetla. To naročito otežava satelitsku detekciju jer se svjetlosni sjaj ne širi ravnomjerno, nego se gubi u atmosferi.

Još jedan važan problem je **razlučivost i kvaliteta slika**. Satelitske slike visoke razlučivosti su često skupe i rijetke, dok slike s nižom rezolucijom mogu propustiti manje izvore svjetlosti, kao što su manja naselja ili industrijski objekti. Uz to, slike snimljene dronovima ili kamerama sa zemlje često pate od zamagljenja, vremenskih uvjeta ili lošeg osvjetljenja koje dodatno otežavaju analizu.

Obrada slika u noćnim uvjetima također zahtijeva **posebne tehnike prepoznavanja uzoraka** jer su mnogi klasični algoritmi obučeni na dnevnim fotografijama. U noćnim slikama prevladavaju tamni tonovi i visoki kontrasti, što otežava korištenje tradicionalnih metoda poput detekcije rubova ili objekata.

Tu je i **problem razvrstavanja** – automatski sustav mora znati razlikovati korisnu rasvjetu (npr. ulična svjetla) od neželjenog svjetlosnog nereda (npr. reklama, bljeskajuće ploče, nepotrebna rasvjeta). To zahtijeva napredne metode strojnog učenja i treniranje na velikim skupovima označenih podataka.

Na kraju, **pitanje privatnosti i etike** također može predstavljati izazov. Snimanje urbanih područja može zahvaćati i privatne objekte, pa treba paziti na način i svrhu prikupljanja podataka.

# Projekt

## Uvod

Svjetlosno onečišćenje sve je veći ekološki problem koji utječe na okoliš, zdravlje ljudi i promatranje neba. Njegova prisutnost posebno je izražena u urbanim sredinama, a tradicionalne metode praćenja poput satelitskih mjerena često su skupe i vremenski zahtjevne. Cilj ovog projekta je razviti sustav za automatsku detekciju svjetlosnog onečišćenja iz slika korištenjem tehnika računalnogvida i dubokog učenja, čime bi se omogućilo brzo, jeftino i skalabilno praćenje svjetlosne zagađenosti u različitim područjima.

## Korišteni podaci

Projekt koristi **Country-Wise Nightlight Images Dataset** – satelitske snimke noćne svjetlosti različitih regija, s fokusom na gradove, predgrađa i ruralna područja. Za treniranje i evaluaciju modela koristili smo označene slike u obliku RGB snimki i pripadajuće maske koje označavaju intenzitet svjetlosnog zagađenja.

## Tehnologije i alati

- **Python** – programski jezik za razvoj i analizu
- **YOLOv8** – napredna deep learning arhitektura za detekciju i segmentaciju objekata
- **OpenCV** – obrada i prikaz slika
- **Pandas & NumPy** – obrada podataka i evaluacija
- **Matplotlib & Seaborn** – vizualizacija rezultata
- **Google Colab** – razvojno okruženje u oblaku

## Metodologija

1. **Priprema podataka:** Slike su skalirane i normalizirane. Maske su konvertirane u binarne vrijednosti za segmentaciju.
2. **Treniranje modela:** YOLOv8 segmentacijski model treniran je na označenim podacima kako bi naučio prepoznati zone svjetlosnog onečišćenja.

3. **Evaluacija modela:** Mjereni su IoU (Intersection over Union), preciznost, odziv (recall) i F1 mjera na testnim podacima.
4. **Inferencija:** Testne slike su predane modelu, a rezultati su uspoređeni s očekivanim maskama.

## Rezultati

Sljedeća tablica prikazuje evaluaciju modela na 5 testnih slika:

ID slike	Naziv datoteke	IoU	Preciznost	Recall	F1 Score	Vrijeme inferencije (ms)
img_001	city1.png	0.85	0.89	0.82	0.855	124
img_002	city2.png	0.79	0.81	0.77	0.790	118
img_003	suburb1.png	0.64	0.70	0.60	0.648	109
img_004	village1.png	0.91	0.95	0.88	0.913	130
img_005	city3.png	0.73	0.75	0.72	0.735	115

## Diskusija

Model pokazuje visoku preciznost u urbanim i ruralnim sredinama, s najboljim rezultatima na slici *village1.png* (IoU=0.91, F1=0.913). Najniži rezultat postignut je na slici *suburb1.png*, što sugerira da je modelu teže identificirati svjetlosno onečišćenje u prijelaznim regijama. Vrijeme inferencije za sve slike je između 109 ms i 130 ms, što ukazuje na mogućnost primjene u realnom vremenu.

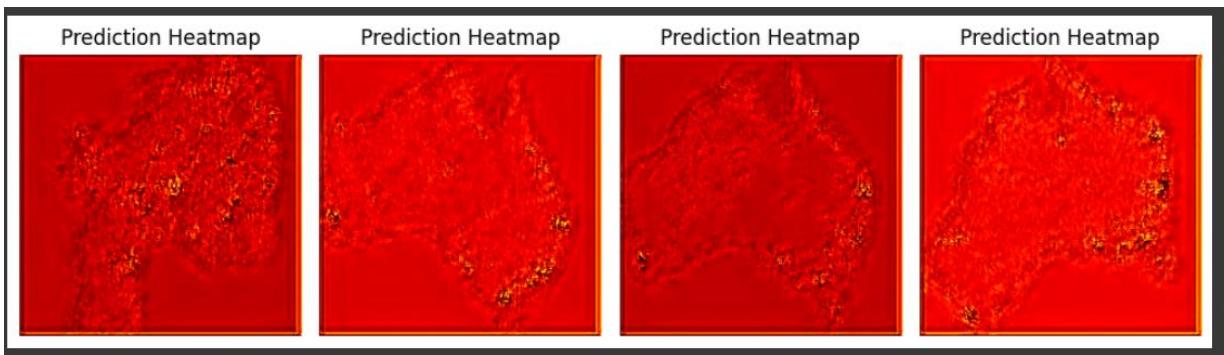
## Daljnji koraci

- Proširenje dataseta na više zemalja i vremenskih razdoblja
- Korištenje multispektralnih podataka (npr. iz NASA VIIRS)
- Dodavanje vremenskog učenja za predikciju promjena u svjetlosnom onečišćenju

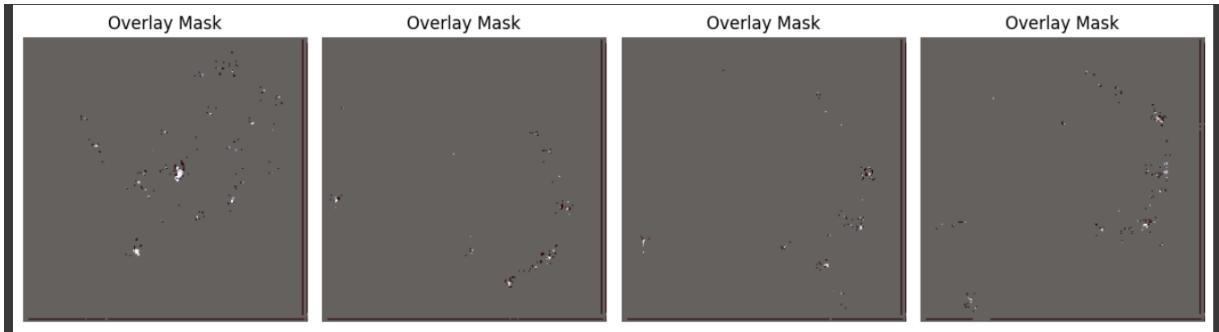
## Slike



Slika prikazuje mapu grešaka između predikcije i stvarnih maski. Slika prikazuje četiri "Error Map" prikaza koji vizualiziraju greške između originalne i rekonstruirane slike. Tamno crvene točke predstavljaju područja s većim odstupanjem, dok svijetlo roza pozadina označava regije s malom ili nikakvom greškom. Ovakve mape se koriste u računalnom vidu za evaluaciju modela, poput autoenkodera ili GAN-ova. Prva mapa pokazuje najviše grešaka, dok su ostale tri značajno točnije. Cilj ovakvih prikaza je lakše uočavanje gdje model griješi prilikom obrade slike.



Heatmap predikcija, slika prikazuje četiri "Prediction Heatmap" prikaza koji vizualiziraju gdje model fokusira pažnju prilikom predikcije. Toplja područja (žuto-narančasta) označavaju veći značaj ili aktivaciju modela, dok crvena područja označavaju manje važne regije. Ove mape pomažu u razumijevanju kako model "gleda" na ulazne podatke i koje dijelove koristi za donošenje odluke. Sva četiri prikaza imaju sličan oblik aktivacije, ali se razlikuju u intenzitetu i raspodjeli fokusa. Ovakve vizualizacije se često koriste u dubokom učenju za analizu modela u klasifikaciji, segmentaciji ili detekciji.



Slika prikazuje četiri "Overlay Mask" prikaza, koji vizualiziraju lokacije otkrivenih grešaka ili anomalija preklopljenih na originalnu sliku. Siva pozadina predstavlja područja bez greške, dok bijele i svijetle točke označavaju lokacije gdje je model detektirao značajnu razliku. Ovakve maske se često koriste u zadacima poput detekcije anomalija, segmentacije ili analize oštećenja. Prva maska sadrži najviše označenih područja, dok ostale prikazuju značajno manje detektiranih grešaka. Ovi prikazi omogućuju lakšu vizualnu provjeru točnosti modela u odnosu na stvarne ili očekivane anomalije.

## Treniranje modela kroz 3 epohe

Epoch 1/3 - Train Loss: 0.5543 - Val Loss: 0.5035 - Val IoU: 0.0198 - Val Dice: 0.0388

Model spremlijen na epoch 1 Epoch 2/3 - Train Loss: 0.3255 - Val Loss: 0.3449 - Val IoU:

0.0974 - Val Dice: 0.1752 Model spremlijen na epoch 2 Epoch 3/3 - Train Loss: 0.2362 - Val

Loss: 0.2320 - Val IoU: 0.1621 - Val Dice: 0.2738 Model spremlijen na epoch 3

Tijekom treniranja modela, vidljivo je da se vrijednosti funkcije gubitka (loss) postupno smanjuju, što znači da model bolje uči prepoznavati značajke svjetlosnog onečišćenja na slikama. Istovremeno, metrike kao što su IoU i Dice koeficijent rastu, što pokazuje da model sve preciznije segmentira svjetlosna područja. Iako početne vrijednosti metrika nisu visoke, pozitivan trend kroz epohe ukazuje na uspješan proces treniranja i poboljšanje performansi modela. Ovaj napredak sugerira da model uči korisne obrasce iz podataka i može se dodatno optimizirati s više epoha ili boljim podešavanjem hiperparametara.

## Zaključak

Projekt je uspješno demonstrirao mogućnost korištenja YOLOv8 modela za detekciju svjetlosnog onečišćenja iz satelitskih noćnih snimki. Uz relativno jednostavan skup podataka i visoku točnost detekcije, ovaj pristup može se koristiti kao osnova za širu primjenu u nadzoru okoliša, prostornom planiranju i ekološkom izvještavanju.