

PRIMJENA UMJETNE INTELIGENCIJE U JAVNOM PRIJEVOZU

Dr. sc. Darijan Marčetić dipl. Ing.
Voditelj projekta

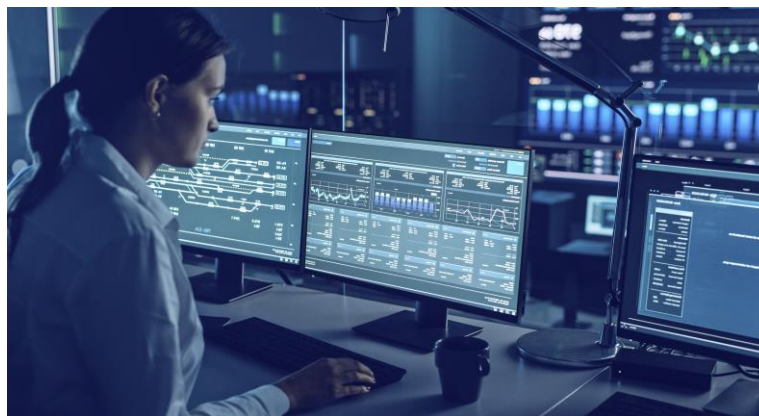


ATRON

40
YEARS
ATRON

WE SPEAK PUBLIC TRANSPORT

ATRON grupa posluje na EU tržištu u sektoru javnog prijevoza putnika. U više od **40 godina** opremljeno je preko **40.000** vozila u **300** prijevoznih poduzeća.



Dr. sc. **Darijan Mačetić** dipl. ing. voditelj je istraživanja i razvoja na projektu Analiza podataka i planiranje u javnom prijevozu primjenom umjetne inteligencije. Područja istraživanja su raspoznavanje uzoraka, strojno učenje, umjetna inteligencija, sustavi za rad u stvarnom vremenu i ekspertni sustavi.

1.Uvod

- a) Pametni javni prijevoz
- b) Siguran i pouzdan prijevoz

2.Raspored vožnje

- a) Analiza podataka
- b) Scenariji
- c) Hibridni fuzijski model
- d) Nadzor kvalitete usluge i detekcija kritičnih situacija

3.Evaluacija

- a) Primjer 1
- b) Primjer 2
- c) Rezultati

Zaključak



1. Uvod - Pametni javni prijevoz 1/2



- **Javni prijevoz** pomaže smanjenju gužvi u prometu, smanjenju zagađenja zraka i potrošnje energije.
- Moderna javna transportna vozila su opremljena sa **senzorima i komunikacijskim tehnologijama** koje pametni transportni sustavi mogu koristiti za obavješavanje putnika i operatera u **stvarnom vremenu o stanju u prometu.**
- **Senzori** u vozilima u stvarnom vremenu generiraju podatke o **poziciji, brzini, broju putnika**, tehničkim **parametrima** vozila, **vremenskim uvjetima**, vremenima **dolazaka i odlazaka** vozila sa stanica.
- **Nepredvidljivost vremena čekanja i putovanja** ima negativan učinak na percepciju **pouzdanosti i razine kvalitete** usluge javnog transporta.
- **Pametni algoritmi** se koriste za analizu podataka i poboljšanje kvalitete usluge javnog prijevoza.
- **Pametni javni prijevoz** omogućava planiranje reda vožnje, nadzor kvalitete usluge, detekciju kritičnih situacija i obavješavanje u stvarnom vremenu.

1. Uvod - Siguran i pouzdan prijevoz 2/2

- **Siguran i pouzdan** javni prijevoz zahtijeva predviđanje, nadzor i kontrolu elemenata ponude i potražnje za uslugama javnog prijevoza.
- **Obavješćavanje** putnika o točnom rasporedu vožnje u **stvarnom vremenu** može pomoći stvaranju percepcije **točnosti** i **pouzdanosti** javnog prijevoza.
- **Ponuda** javnog prijevoza je određena vremenom između dvije uzastopne vožnje na ruti, geometrijom prometnice, prometnom regulacijom, blokadama prometa, vremenom, uvjetima vidljivosti, tipom i kapacitetom vozila, procesom naplate prijevoza.
- **Potražnja** za javnim prijevozom je određena fluktuacijom broja putnika koji koriste usluge prijevoza, doba dana, dan u tjednu i mjesecu, populacijskim karakteristikama.
- **Vrijeme** trajanja vožnje je određeno ponudom i potražnjom za uslugama javnog prijevoza.
- **Vrijeme stajanja na stanicima** je određeno brojem putnika, razmakom između stanica, vrsta naplate karte, vrsta vozila, broj osoba koje ulaze i izlaze iz vozila.

2. Raspored vožnje - Analiza podataka 1/4

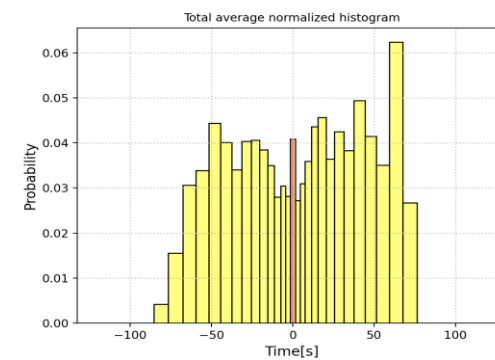
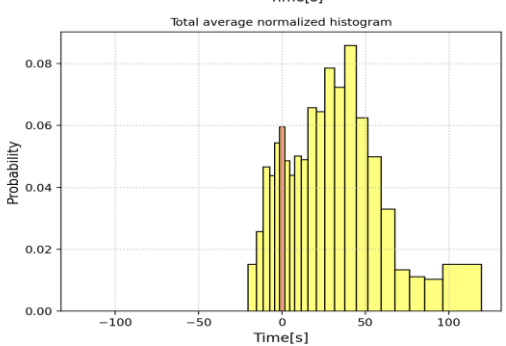
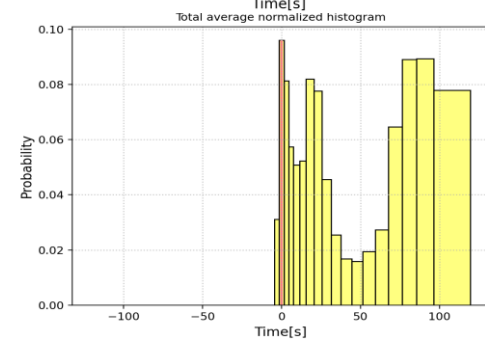
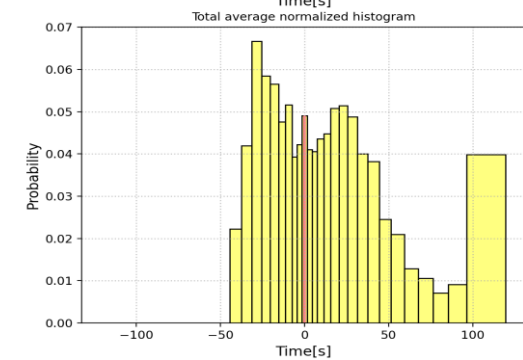
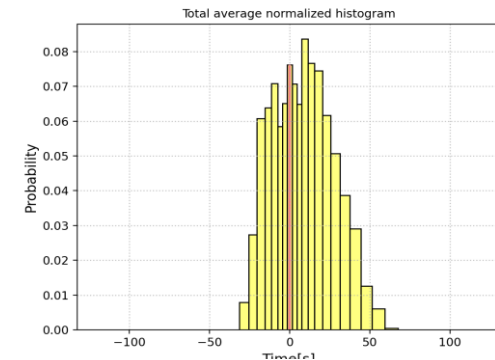
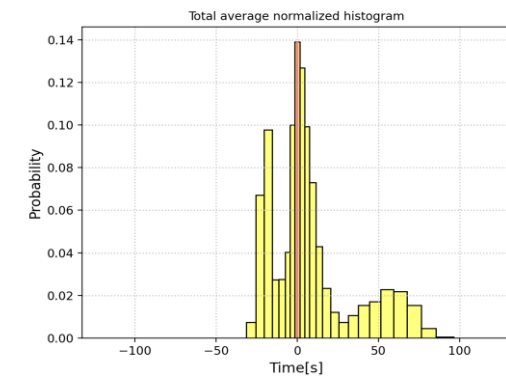
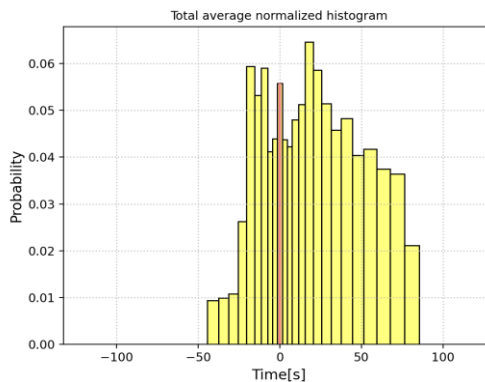
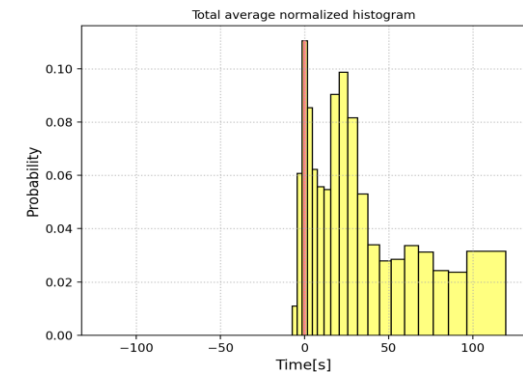
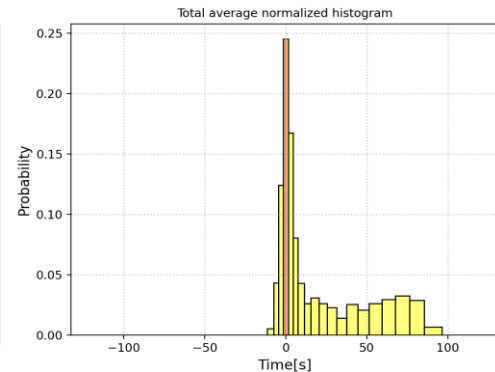
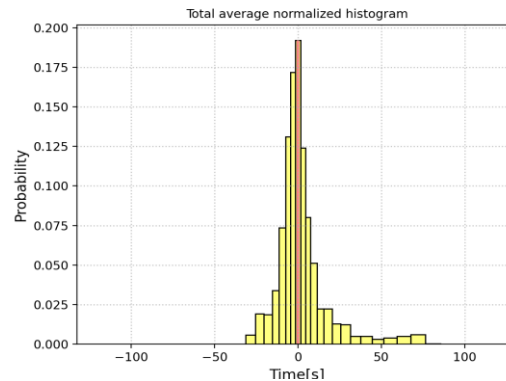
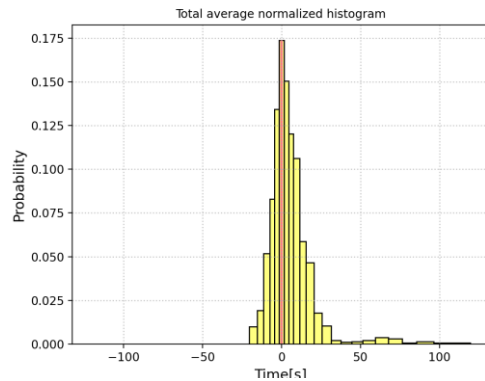
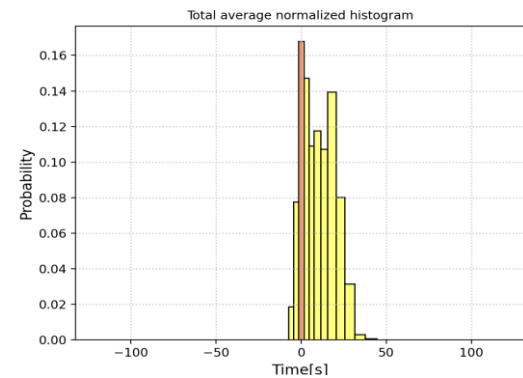
- **Senzori** u vozilu dojavljaju u stvarnom vremenu vrijeme dolaska i odlaska sa stanice, otvaranja i zatvaranja vrata, lokaciju na ruti, informacije o stanici, udaljenost od stanice, procijenjeno vrijeme dolaska na stanicu, odstupanje od planiranog rasporeda.
- **Nedostaci** popularnih metoda analize podataka su nedostatak interperabilnosti (crna kutija), računaska složenost, teško se prilagođavaju novim situacijama, koriste povijesne podatke ne uzimajući u obzir trenutne podatke, nove situacije mogu rezultirati nepredvidljivim rezultatima.
- **Umjetna inteligencija** se koristi za analizu podataka.
- **Hibridni fuzijski model** je baziran na scenarijima. Svakom scenariju se eksperimentalno pronalazi i pridružuje optimalni model za analizu.
- **Analize** koriste višegodišnje povijesne podatke.
- **Ekspertno znanje** prometnih stručnjaka se koristi za analizu i planiranje.



2. Raspored vožnje – Scenariji 2/4

- **Složeni javni prijevozni sustavi** mogu imati tisuće stanica i segmenata na rutama, svaka od kojih ima svoje jedinstvene prostorno-vremenske i ostale karakteristike.
- **Scenarij** u fizičkom svijetu odgovara opisu moguće aktivnosti ili događaja u budućnosti.
- Scenarij u javnom prijevozu je apstraktno karakteriziran uzorcima podataka koji opisuju i predviđaju aktivnosti i događanja karakteristična za **stanice** i **segmente**.
- Scenariji omogućavaju **interpretabilnost** ako prometni stručnjaci pridruže objašnjenje svakom scenariju.
- **Grupiranje** se koristi za pronalaženje scenarija koji najbolje opisuju podatke.
- **Stanice** i **segmenti** koji imaju slične karakteristike su opisane istim scenarijem.
- Svakom scenariju je pridružen optimalan postupak za analizu i predviđanje podataka.

2. Raspored vožnje - Scenariji 2/4



2. Raspored vožnje – Hibridni fuzijski modeli 3/4

- **Regresijski modeli** se koriste za predviđanje jednostavnih prometnih scenarija.
- **Modeli umjetne inteligencije** se koriste za predviđanje složenih prometnih scenarija.
- **Jednostavni scenariji** imaju malu standardnu devijaciju vremena putovanja i karakteristični su za ruralna područja i urbana područja s malim intezitetom prometa.
- **Složeni scenariji** imaju veliku standardnu devijaciju vremena putovanja i karakteristični su za urbana područja u blizini centra i područja s intezivnim prometom i složenim sustavom regulacije prometa.
- **Semafori** imaju veliki utjecaj na promet i složenost pripadnog scenarija.
- Svakoj stanici i segmentu se pridružuje prikladni scenarij postupkom **grupiranja**.
- Scenariju se ovisno o složenosti pridružuje **optimalni** postupak analize podataka.

2. Raspored vožnje – Kvaliteta i kritične situacije 4/4

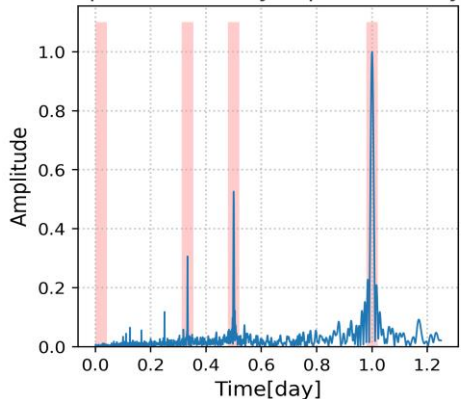
- Broj i fluktuacija **putnika** se nadziru, modeliraju i predviđaju.
- Pozicije **vozila**, učestalost dolazaka na stanice i slobodni kapaciteti se nadziru, modeliraju i predviđaju.
- **Zadovoljstvo putnika** uslugom se procjenjuje mjerenjem odstupanja planiranog od ostvarenog rasporeda vožnje.
- Umjetna inteligencija **detektira i predviđa zastoje** na temelju aktualnih i povijesnih podataka.
- Definiraju se **strategije** postupanja kod **prekida** prometne veze.
- Utjecaj prekida pružanja usluge zbog kvara se **propagira** na sva povezana predviđanja rasporeda vožnje.



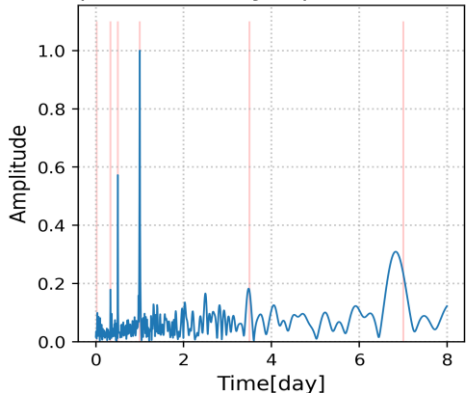
3. Evaluacija - Primjer 1

- Broj ruta **113**, stanica na ruti **2382**
- Segmenti na ruti **2269**, jedinstveni segmenti **304**
- Duljina segmenata: ukupno **134 km**, min **37 m**, max **1038 m**, prosječno **441 m**, standardna devijacija **163 m**,
- Segmenti vrijeme putovanja: ukupno **9 sati**, min **7 s**, max **296 s**, prosječno **107 s**, standardna devijacija **42 s**
- Detektirana su **37** prometna scenarija
- Poboljšanje predviđanja rasporeda vožnje je bilo **20.39%**

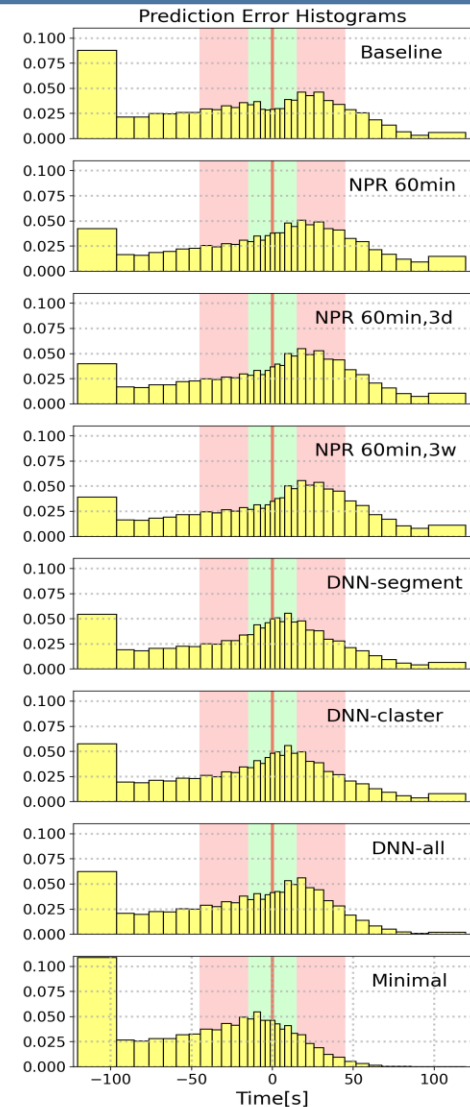
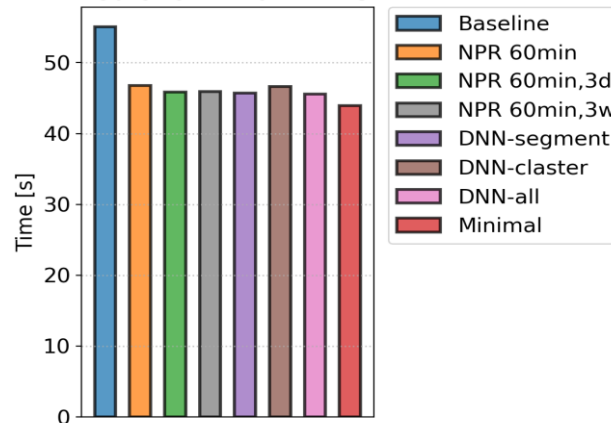
Spectral density trip time 1 day



Spectral density trip time 1 week



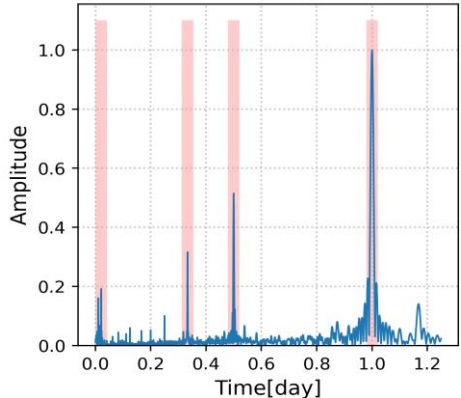
Prediction Error - RMSE



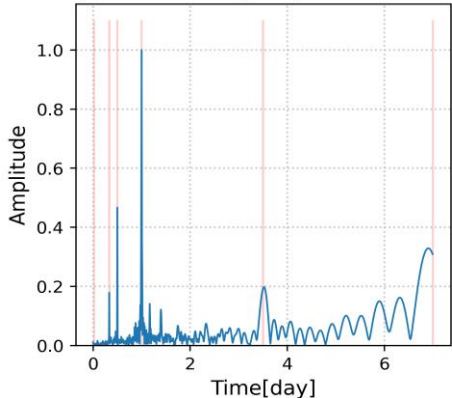
3. Evaluacija – Primjer 2

- Broj ruta **533**, stanica na ruti **7099**
- Segmenti na rutama **6566**, jedinstveni segmenti **2820**,
- Duljina segmenata: ukupno **2414** km, min **100** m, max **35** km, prosječno **856** m, standardna devijacija **1674** m,
- Segmenti vrijeme putovanja: ukupno **80** sati, min **20s**, max **1** sati, prosječno **102** s, standardna devijacija **183** s
- Detektirana su **34** prometna scenarija
- Poboljšanje predviđanja rasporeda vožnje je bilo **34.20%**

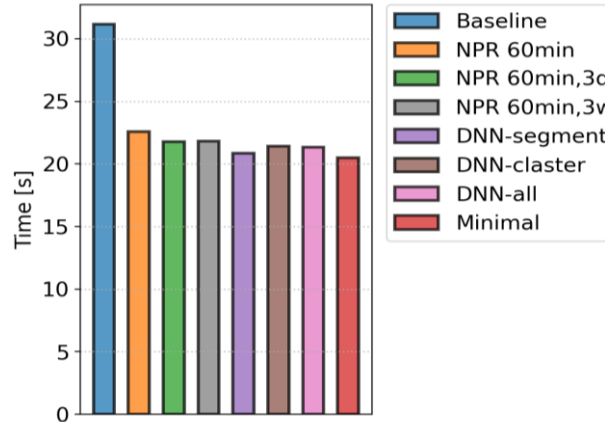
Spectral density trip time 1 day



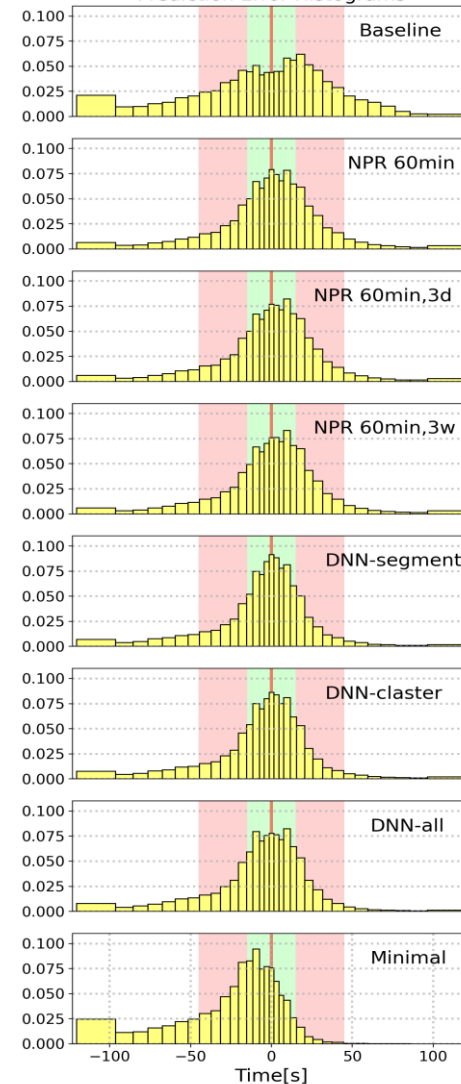
Spectral density trip time 1 week



Prediction Error - RMSE



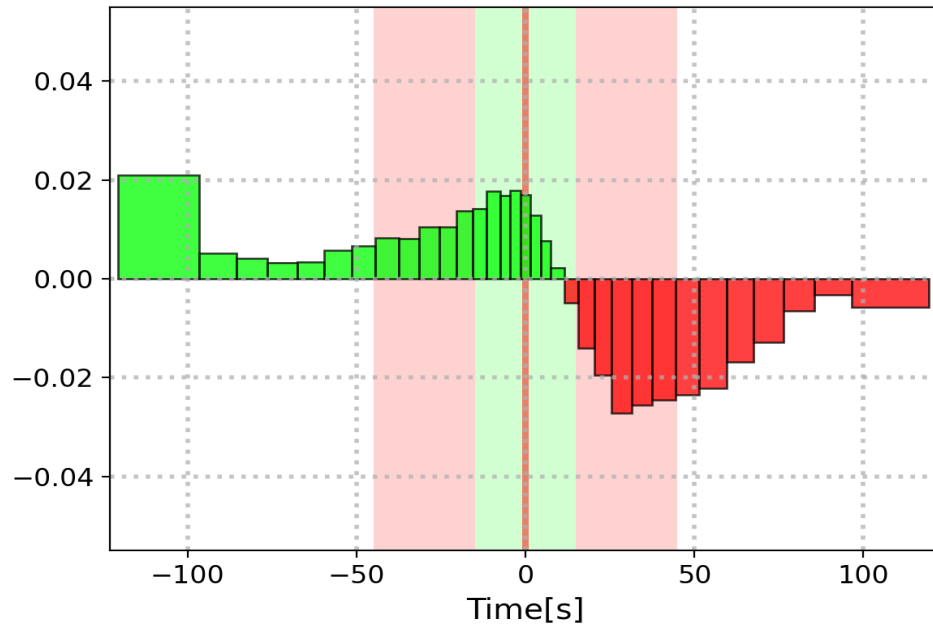
Prediction Error Histograms



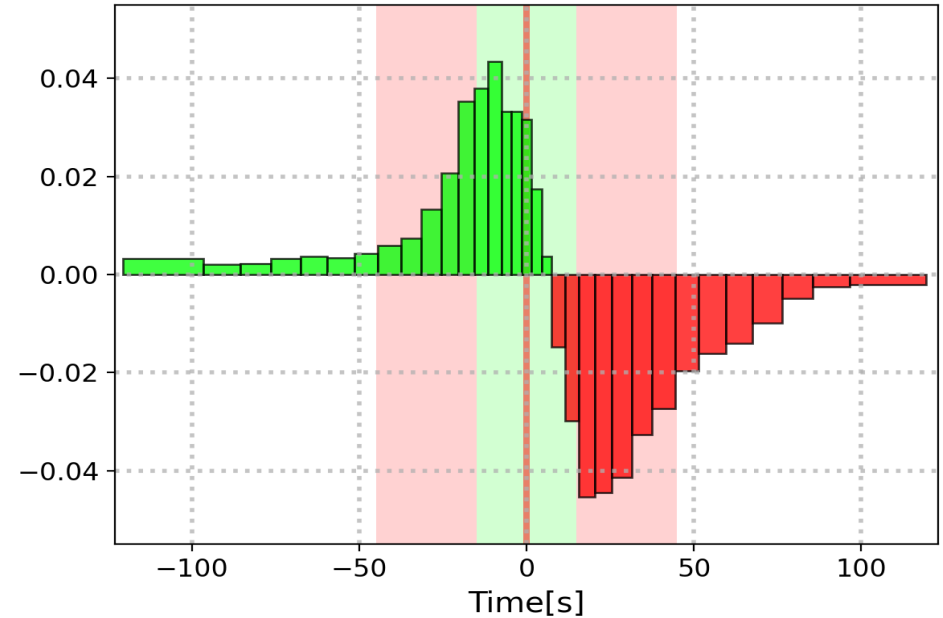
3. Evaluacija - Rezultati

- Poboľšanje predviđanja rasporeda vožnje za primjer 1 je bilo **20.39%**, za primjer 2 je bilo **34.20%**.

Primjer 1



Primjer 2



- **Pametni javni prijevoz** omogućava planiranje reda vožnje, nadzor kvalitete usluge, detekcija kritičnih situacija i obavještanje u stvarnom vremenu.
- Umjetna inteligencija koristi dostupne podatke za predviđanje **planiranog rasporeda vožnje**.
- Sustav predviđa i prilagođava se **novim događajima** koji odstupaju od povijesnih vrijednosti. Predviđanja sustava se poboljšavaju učenjem na novim podacima.
- Modeli umjetne inteligencije koji se koriste za analizu i planiranje se podvrgavaju kontinuiranom procesu samoevaluacije kako bi se ostvarila **garancija kvalitete usluge**.
- Poboljšanja predviđanja rasporeda vožnje za primjer 1 je bilo **20.39%**, za primjer 2 je bilo **34.20%**.

