

# Modeliranje sustava podrške za regulaciju željezničkog prometa u kolodvorskom području

---

**Petrlić, Josip**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2020**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Transport and Traffic Sciences / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:119:355326>

*Rights / Prava:* [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-07-10**



*Repository / Repozitorij:*

[Faculty of Transport and Traffic Sciences - Institutional Repository](#)



**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU**  
**FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI**

**Josip Petrić**

**MODELIRANJE SUSTAVA PODRŠKE ZA  
REGULACIJU ŽELJEZNIČKOG PROMETA U  
KOLODVORSKOM PODRUČJU**

**DIPLOMSKI RAD**

**Zagreb, 2020.**



**Sveučilište u Zagrebu**  
**FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI**  
**Vukelićeva 4, 10000 Zagreb**  
**DIPLOMSKI STUDIJ**

Diplomski studij: Željeznički promet  
Katedra: Katedra za sigurnost željezničkog prometa  
Predmet: Inteligentni transportni sustavi u željezničkom prometu

## **ZADATAK DIPLOMSKOG RADA**

Pristupnik: Josip Petrić  
Matični broj: 0135236411  
Smjer: Promet

Zadatak: Modeliranje sustava podrške za regulaciju željezničkog prometa u kolodvorskom području

---

Engleski naziv zadatka: Modeling of decision support system for railway traffic control in station area

---

Opis zadatka:

U radu je potrebno objasniti primjenu umjetne inteligencije u okviru regulaciji željezničkog prometa te izraditi i objasniti sustav podrške za regulaciju željezničkog prometa u kolodvorskom području.

Nadzorni nastavnik:

---

Predsjednik povjerenstva za završni ispit

---

Djelovođa:

---

Sveučilište u Zagrebu  
Fakultet prometnih znanosti

**DIPLOMSKI RAD**

**MODELIRANJE SUSTAVA PODRŠKE ZA  
REGULACIJU ŽELJEZNIČKOG PROMETA U  
KOLODVORSKOM PODRUČJU**

**MODELING OF DECISION SUPPORT SYSTEM  
FOR RAILWAY TRAFFIC CONTROL IN STATION  
AREA**

Mentor: izv. prof. dr. sc. Hrvoje Haramina

Student: Josip Petrić

JMBAG: 0135236411

Zagreb, rujan 2020.

# MODELIRANJE SUSTAVA PODRŠKE ZA REGULACIJU ŽELJEZNIČKOG PROMETA U KOLODVORSKOM PODRUČJU

## SAŽETAK

S povećanjem broja vlakova proces regulacije željezničkog prometa postaje kompleksniji i povećava radno opterećenje čovjeka u tom procesu što može dovesti do pogrešaka u radu koje rezultiraju kašnjenjem vlakova, poremećajima u prometu te, u nekim slučajevima, ugrožavanjem sigurnosti željezničkog prometa. Kako bi se povećala efikasnost željezničkog sustava i olakšao rad čovjeka razvijaju se sustavi podrške pri regulaciji željezničkog prometa. U ovom radu osmišljen je sustav za pomoć u donošenju odluka u procesu regulacije željezničkog prometa koji se temelji na primjeni umjetne inteligencije. Pri tome razvijen je model sustava neizrazitog zaključivanja koji je testiran na primjeru iz prakse, a rezultati testiranja pokazuju da je sustav funkcionalan.

**KLJUČNE RIJEČI:** regulacija željezničkog prometa; sustav podrške u zaključivanju, neizrazita logika

## SUMMARY

As the number of trains increases, the process of railway traffic control becomes more complex and increases the workload of man in the process, which can lead to operational errors that result in train delays, traffic disruptions and, in some cases, endangering railway safety. In order to increase the efficiency of the railway system and facilitate human work, support systems for the regulation of railway traffic are being developed. In this thesis, a decision support system in the process of railway traffic control based on the application of artificial intelligence is designed. In doing so, a model of a fuzzy inference system was developed and tested on a practical example, and the test results show that the system is functional.

**KEYWORDS:** railway traffic control; decision support system; fuzzy logic

# Sadržaj

<b>1. Uvod</b> .....	1
<b>2. Proces reguliranja željezničkog prometa</b> .....	2
2.1. Mjesno upravljanje .....	2
2.1.1. Kolodvori s mehaničkim postavljanjem elemenata i osiguranjem puta vožnje .....	3
2.1.2. Kolodvori osigurani mehaničkim ss uređajem .....	4
2.1.3. Kolodvori osigurani elektro-relejnim ss uređajem .....	6
2.1.4. Kolodvori osigurani elektroničkim ss uređajem.....	6
2.2. Centralizirano upravljanje.....	7
2.2.1. Praćenje putem zauzeća prostornih odsjeka.....	9
2.2.2. Praćenje putem radioveze .....	9
2.3. Lokalno upravljanje .....	9
<b>3. Umjetna inteligencija</b> .....	10
3.1. Ekspertni sustavi.....	10
3.1.1. Temeljne značajke i prednosti ekspertnih sustava .....	12
3.2. Neizrazita logika .....	12
3.2.1. Osnovne operacija nad skupovima .....	13
3.2.2. Proces zaključivanja u neizrazitom ekspertnom sustavu.....	16
<b>4. Modeliranje sustava podrške za regulaciju željezničkog prometa u kolodvorskom području baziranog na neizrazitoj logici</b> .....	18
4.1. Problematika reguliranja prometa u kolodvorskom području .....	18
4.2. Struktura sustava podrške za donošenje odluka .....	19
4.2.1. Razlike između rangiranja vlakova.....	20
4.2.2. Kašnjenje vlakova.....	22
4.2.3. Vrijeme postavljanja voznog puta.....	24
4.2.4. Gubitak vremena i energije ukoliko se vlaku ne da prioritet.....	25
4.2.5. Vrijeme razrješenja puta vožnje .....	26
4.3. Baza znanja sustava.....	27
4.4. Testiranje sustava.....	28
<b>5. Zaključak</b> .....	30
<b>Literatura</b> .....	31
<b>Popis slika</b> .....	32

# 1. Uvod

Kako bi se željeznički promet odvijao sigurno i nesmetano potrebno ga je nadzirati i regulirati. Reguliranje prometa vlakova u željezničkom sustavu podrazumijeva mogućnost zaustavljanja, pokretanja, pretjecanja te mimoilaženja vlakova iz suprotnih smjerova u službenim mjestima. Važnu ulogu u reguliranju željezničkog prometa imaju dispečeri te prometnici vlakova, čiji je zadatak donošenje odluka u procesu upravljanja željezničkim prometom na određenom dijelu mreže ili kolodvoru. Čovjek je, zbog negativnih utjecaja iz okoline, sklon krivoj procjeni te donošenju odluka koje mogu dovesti do ugrožavanja sigurnosti i nastanka poremećaja u odvijanju željezničkog prometa. Kako bi se eliminirala mogućnost krive procjene, a samim time povećavala učinkovitost i sigurnost željezničkog prometa primjenjuju se sustavi podrške pri regulaciji željezničkog prometa.

Sustavi podrške pri regulaciji željezničkog prometa podrazumijevaju računalne programe koji mogu temeljiti i na primjeni tehnika umjetne inteligencije kao što su neizrazita logika, neuronske mreže, genetski algoritmi i dr. Poseban izazov predstavlja regulacija prometa na jednokolosiječnim prugama s izrazito velikim brojem vlakova gdje je postupak donošenja odluka ovisan o velikom broju kriterija. U takvim situacijama postoji velik broj mogućih rješenja no samo će određeni dio njih zadovoljiti kriterij učinkovite regulacije prometa.

Cilj diplomskog rada je objasniti proces regulacije željezničkog prometa, opisati umjetnu inteligenciju, te prikazati rezultate dobivene korištenjem neizrazite logike u rješavanju problematike određivanja prioriteta vlakova za kolodvorsko područje. Rad je podijeljen u 5 cjelina:

1. Uvod
2. Proces reguliranja željezničkog prometa
3. Umjetna inteligencija
4. Modeliranje sustava podrške za regulaciju željezničkog prometa u kolodvorskom području baziranog na neizrazitoj logici
5. Zaključak

## 2. Proces reguliranja željezničkog prometa

Reguliranje željezničkog prometa ne bi bilo moguće bez postojanja kolodvora. Kolodvori su službena mjesta u kojima se vrše radnje vezane za pružanje usluga korisnicima željeznice kao što su ukrcaj i iskrcaj putnika te radnje vezane za regulaciju prometa kao što su pokretanje, zaustavljanje, pretjecanje i mimoilaženje vlakova. Kolodvori zajedno s pripadajućim prugama i ostalim službenim mjestima čine željeznički sustav kao jednu cjelinu. Ovisno o tehničkoj opremljenosti i potrebama sustava za reguliranje željezničkog prometa koriste se 3 metode upravljanja:

- mjesno upravljanje
- centralizirano upravljanje
- lokalno upravljanje

### 2.1. Mjesno upravljanje

Kod mjesnog upravljanja željezničkim prometom kolodvori predstavljaju najmanje organizacijske komponentne u regulaciji prometa. Kolodvori su zaposjednuti kolodvorskim osobljem koje je odgovorno za reguliranje prometa u kolodvorskom području te reguliranje prometa na otvorenoj pruzi između 2 susjedna kolodvora. Kolodvorsko područje je prostor između ulaznog signala s jedne strane do ulaznog signala s druge strane dok je otvorena pruga, odnosno međukolodvorski odsjek, prostor između dvaju ulaznih signala susjednih kolodvora.

Samo upravljanje prometom odvija se tako da prometnici samostalno postavljaju put vožnje u kolodvorskom području dok u međukolodvorskim odsjecima put vožnje postavljaju u komunikaciji s prometnicima vlakova iz susjednih kolodvora. Komunikacija prometnika vrši se putem propisanih telefonskih linija pri čemu se razgovori između prometnika snimaju putem registrofona te se, ukoliko je potrebno, snimka može naknadno preslušati kako bi se utvrdila odgovornost za moguće pogreške tijekom regulacije prometa. Za sve vlakove koji se otpremaju mora se tražiti privola susjednog kolodvora. Na prugama opremljenim automatskim pružnim blokom (APB) ili međukolodvorskom ovisnošću (MO) privola se traži putem signalno-sigurnosnih (SS) uređaja. Kod pruga opremljenim telekomandom (TK) privola nije potrebna s obzirom da promet regulira TK dispečer. Na prugama koje nisu opremljene APB ili MO uređajima privola se traži putem fonograma i to najranije 10 minuta prije polaska odnosno prolaska vlaka. Davanjem privole svi signali (izlazni, prostorni ili štitni) signaliziraju signalni znak za dopuštenu vožnju u traženom smjeru. Izlazni signali kolodvora koji je dao privolu ne dopuštaju vožnju u smjeru kolodvora iz kojeg je tražena privola.



Sam tehnološki proces postavljanja putova vožnje i manevarskih putova izvodi se u četiri faze:

- prometnik donosi odluku o vrsti vožnje
- kolodvorsko osoblje ili SS uređaj pripremaju i osiguravaju put vožnje
- vozilo ili vlak obavlja vožnju
- postavljanje vanjskih elemenata kolodvorskog SS uređaja u početno (redovito) stanje

Prometni dispečer, iako kod mjesnog upravljanja nema izravan utjecaj na promet vlakova, koordinira rad prometnika te ucrtava podatke o dolascima i odlascima vlakova iz kolodvora u grafikon realiziranog voznog reda. Podatke o prometu dispečer dobiva direktno od prometnika ili putem specijalnog uređaja za evidenciju kretanja vlaka.

Mjesno upravljanje željezničkim prometom ovisi o načinu osiguranja kolodvorskog područja. Osiguranje kolodvorskog područja s obzirom na elemente upravljanja možemo podijeliti na:

- kolodvore s mehaničkim postavljanjem elemenata i osiguranjem puta vožnje
- kolodvore osigurane mehaničkim signalno-sigurnosnim (u nastavku SS) uređajem
- kolodvore osigurane elektro-relejnim SS uređajem
- kolodvore osigurane elektroničkim SS uređajem [1,2]

#### 2.1.1. Kolodvori s mehaničkim postavljanjem elemenata i osiguranjem puta vožnje

U kolodvorima u kojima se putovi vožnje postavljaju mehaničkim putem ispravan položaj skretnica garantiraju ključevi skretničkih brava doneseni u prometni ured čime je prometniku omogućeno postavljanje ulaznih signala i predsignala na slobodno. Signali se postavljaju putem mehaničke postavnice koja je osigurana dvjema bravama i jednim ključem. Prilikom postavljanja signala, prometnik stavlja ključ u bravu te postavlja signale na slobodno pri čemu ključ ostaje zarobljen sve dok se signali ponovno ne vrate u prvotni položaj. Zbog korištenja samo jednog ključa nemoguće je istovremeno postaviti ulaz vlaku s obje strane kolodvora. Sigurnost i pouzdanost reguliranja prometa ovim tipom osiguranja ovisi isključivo o savjesnosti kolodvorskog osoblja i osoblja vlaka. Na slici 1 u nastavku prikazan je takav tip osiguranja kolodvora. [2]



Slika 1. Uređaj za postavljanje puta s mehanički postavljanjem elemenata

*Izvor: Filip Belančić*

### 2.1.2. Kolodvori osigurani mehaničkim ss uređajem

Kod kolodvora osiguranim mehaničkim ss uređajem postavljanje skretnica i signala obavlja se daljinskim putem iz prometnog ureda pomoću poluga i žicovoda. Ulazni signali su mehanički te dvoručni te mogu pokazivat ulaz u pravac i skretanje. Izlazni signali su također mehanički no jednoručni i grupni što znači da jedan signal pokazuje izlazne vožnje za sve kolosijeke. Mehanički ss uređaj koristili su se u prošlosti, uglavnom za manje kolodvore zbog ograničene pouzdanosti rada žicovoda te ograničenja u lokalnom radu kolodvora. Na slici 2 u nastavku prikazane su poluge kojima se postavlja put vožnje. [2]

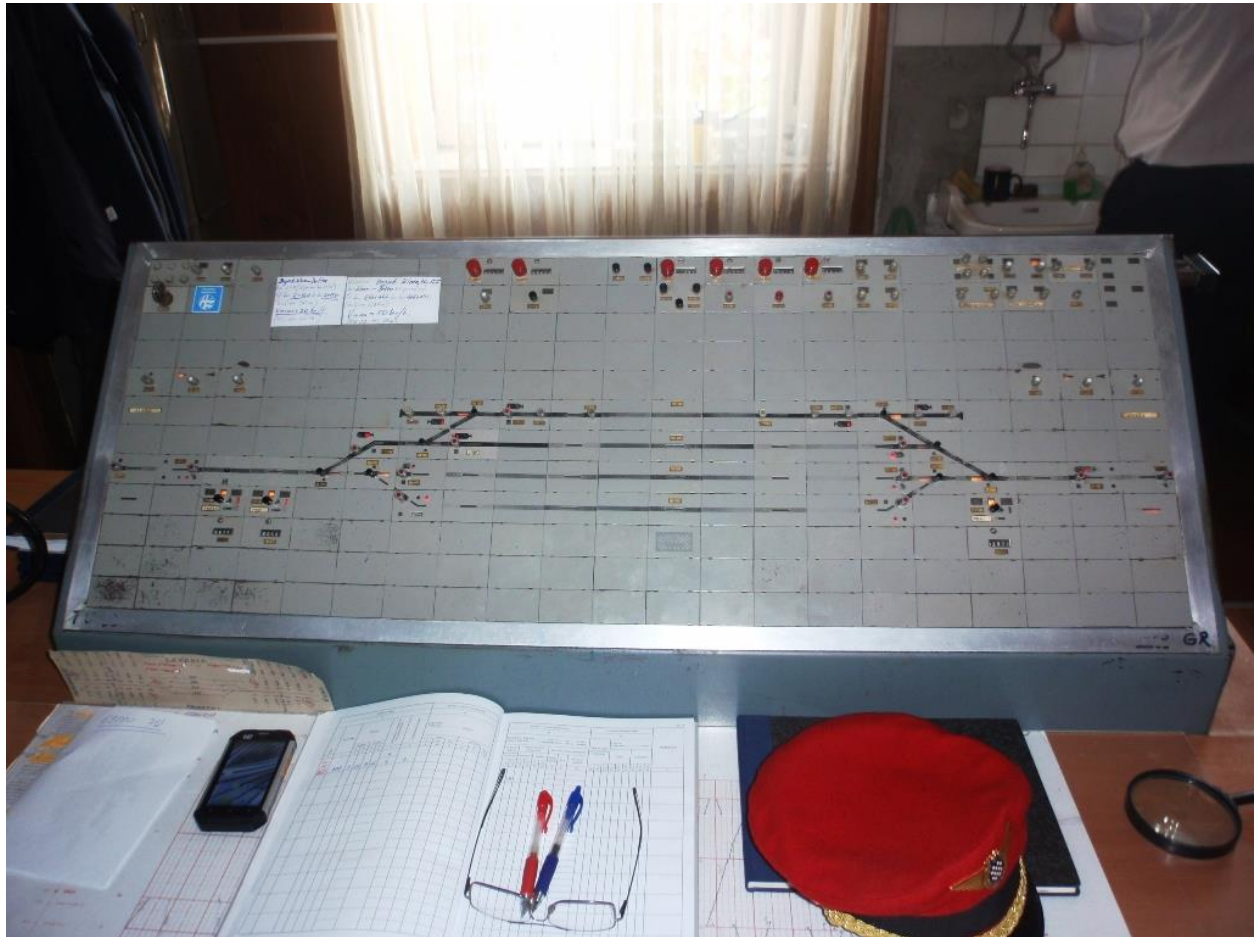


Slika 2. Mehanički ss uređaj

*Izvor: Dragutin Staničić*

### 2.1.3. Kolodvori osigurani elektro-relejnim ss uređajem

Kod kolodvora osiguranim elektro-relejnim ss uređajem prometnici putove vožnje vlakova postavljaju putem tastera na komandnom stolu smještenom u prometnom uredu kako je i prikazano na slici 3 u nastavku. Sam uređaj temelji se na elektromehaničkim sklopovima, odnosno relejima koji su u potpunosti odgovarali zahtjevima za sigurno i kontinuirano odvijanje željezničkog prometa. [2]



Slika 3. Komandni stol elektro-relejnog ss uređaj

*Izvor: Stanko Budisavljević*

### 2.1.4. Kolodvori osigurani elektroničkim ss uređajem

Kolodvori osigurani elektroničkim ss uređajem koriste računala putem kojih se postavljaju putevi vožnje. Računala moraju biti projektirana na način da razina sigurnosti

i pouzdanosti bude jednaka ili veća nego kod relejnih ss uređaja. Za razliku od relejnih uređaja, računala mogu imati greške koje nije moguće predvidjeti zbog čega se cijeli sustav izvodi u tzv. „fail-safe“ izvedbi. „Fail-safe“ izvedba podrazumijeva rad paralelnih sklopova što znači da će jedan sklop preuzeti funkciju drugog ukoliko dođe do njegovog kvara. Na slici 4 u nastavku prikazana je postavnica elektroničkog ss uređaja. [2]



Slika 4. Postavnica elektroničkog ss uređaja

*Izvor: Mario Beljo*

## 2.2. Centralizirano upravljanje

Za razliku od mjesnog upravljanja, centralizirano upravljanje prometom predstavlja veću organizacijsku komponentu od kolodvora koja podrazumijeva regulaciju prometa na određenom području željezničke mreže iz jednog mjesta. Centralizirano upravljanje ne može biti uvedeno ako nisu ispunjeni sljedeći uvjeti:

- svi kolodvori na području upravljanja moraju biti osigurani elektro-relejnim ili elektroničkim ss uređajima te svjetlosnim signalima i centraliziranim postavljanjem putova vožnje
- otvorena pruga, neovisno radi li se o više prostornih odsjeka kod sustava automatskog pružnog bloka ili o jednom bloku kod sustava međukolodvorske ovisnosti, na području upravljanja mora biti kontrolirana na zauzeće
- ugrađen telekomunikacijski kabel uz prugu

Cilj centraliziranog upravljanja je postići što veći stupanj učinkovitosti pri korištenju raspoloživih kapaciteta, povećati kapacitete pruga i kolodvora, povećati energetske učinkovitost vožnje vlaka te smanjiti troškove eksploatacije sustava. Mjesno upravljanje ne može ispuniti gore spomenute parametre. Razlog tome je što prometnici nemaju mogućnost praćenja prometa na nekom širem području te ne mogu utjecati na promet van svog područja upravljanja.

Stoga je uloga centraliziranog upravljanja prometom zamijeniti mjesno upravljanje prometom putem na način da se željeznička mreža podijeli na nekoliko područja centraliziranog upravljanja željezničkim prometom. Širina područja koja obuhvaća centralno upravljanje ovisi o kompleksnosti upravljanja prometom pa stoga to može biti dio pruge, cijela pruga ili željeznički čvor. Kod centraliziranog upravljanja željezničkim prometom jedan dispečer zamjenjuje sve prometnike na području kojim upravlja. Posao dispečera je da konstantno prati pokazatelje iz prometnog procesa kako bi mogao pravovremeno i učinkovito reagirati u slučaju nastanka problema koji mogu uzrokovati poremećaje i neželjene situacije u odvijanju željezničkog prometa. Ukoliko neki vlak kasni, odnosno ima veće odstupanje od planiranog voznog reda, dispečer može promijeniti mjesta mimoilaženja ili sastajanja, skratiti vremena zadržavanja vlaka u službenim mjestima te odrediti da vlak vozi po kraćim voznim vremenima ako je tako predviđeno prilikom izrade trase u voznom redu za taj vlak.

Dispečer upravlja prometom vlakova na način da uspoređuje podatke iz voznog reda s podacima o trenutnom stanju u prometu u svom, ali i u dijelovima mreže koji mogu direktno utjecati na odvijanje prometa vlakova u njegovom području upravljanja. Na temelju dobivenih podataka i njihove usporedbe te određenih pravila dispečer donosi odluke o kretanju vlakova na području kojim upravlja.

Kretanje vlakova i njihova pozicija predočeni su brojem vlaka na detaljnom geografskom prikazu (kolosijeci u kolodvoru, prostorni odsjeci između 2 kolodvora). Praćenje kretanja vlaka omogućava sustav opisivača vlaka. Opisivač vlaka putem ss uređaja u kolodvorima i međukolodvorskim područjima prikuplja sve važne podatke od vanjskih elemenata temeljem kojih za svaki vlak bilježi podatke o njegovom boravku u pojedinim prostornim odsjecima, signalnom znaku koji je bio aktivan za vrijeme prolaska

vlaka te vremenu prolaska pored pojedinih signala. Za detekciju vlaka na pruži postoje 2 načina:

- Praćenje putem zauzeća prostornih odsjeka
- Praćenje putem radioveze

Zbog odgovornosti koju snosi i kompleksnosti posla, donošenje odluka temelji se na visokoj razini znanja, iskustva i vještine dispečera. Analizom podataka izvršenog voznog reda te njegova usporedba s planiranim vidljiva je učinkovitost rada dispečera. [1]

#### 2.2.1. Praćenje putem zauzeća prostornih odsjeka

Praćenje putem zauzeća prostornih odsjeka podrazumijeva prethodno unesen broj vlaka prilikom ulaska u određeno područje centraliziranog upravljanja. Broj vlaka unosi se u opisivač vlaka prilikom njegovog formiranja. Detekcija vlaka očituje se u kao broj vlaka koji mijenja svoj položaj na dispečerskom sučelju ili komandnim stolovima koristeći podatke o zauzeću pojedinih odsjeka pruge. [2]

#### 2.2.2. Praćenje putem radioveze

Kod praćenja putem radioveze podatci o položaju vlaka dolaze iz uređaja smještenih na vlaku koji se šalju direktno u upravljački centar radijskim putem. Ovakav način praćenja omogućava kontinuirano praćenje i prikupljanje podataka kao što su položaj i brzina vlaka što dispečeru omogućava predviđanje vožnje vlaka u kraćem budućem vremenu. Zahvaljujući ovakvom načinu praćenje, prepoznavanje i rješavanje mogućih neželjenih događaja uvelike je lakše i brže. [2]

### 2.3. Lokalno upravljanje

Lokalno upravljanje najmanja je organizacijska komponenta koja podrazumijeva upravljanje skretnicama na jednom dijelu kolodvorskog područja. Ovakav način upravljanja obično obuhvaća kontrolu do 3 skretnice. Lokalno upravljanje najčešće se koristi tijekom manevriranja pri čemu lokalnim postavljačem može rukovati rukovatelj manevre ili vlakovođa. Skretničar također može rukovati skretnicama prilikom čišćenja i podmazivanja skretnica. Lokalni postavljač nalazi se u manjim nezaposjednutim kolodvorima na objema stranama kolodvora po jedan. Ukoliko se radi o većem kolodvoru

tada se može postaviti i veći broj postavljača. Ovlast rukovoditeljima manevre i vlakovođama za rad lokalnim postavljačem daje TK dispečer. [1]

### 3. Umjetna inteligencija

Umjetna inteligencija jest znanstvena disciplina koja se bavi razvojem sposobnosti računala da obavljaju zadaće za koje je potreban neki oblik inteligencije. Pod time se podrazumijeva da računalo može učiti nove koncepte, donositi zaključke, razumjeti prirodni jezik, raspoznavati prizore, snalaziti se u novim prilikama i dr. Termin umjetne inteligencija koristi se i za nežive sustave koji pokazuju inteligenciju. Takvi sustavi nazivaju se inteligentni sustavi za koje je karakteristično da pokazuju prilagodljivo ponašanje, uče na temelju iskustva, koriste velike količine znanja, pokazuje svojstva svjesnosti, dopušta pogreške i nejasnoće i dr. [3]

Iako mlada znanost, umjetna inteligencija naslijedila je mnoge zamisli, pristupe i tehnike iz drugih disciplina, a posebice onih se bave istraživanjem načina ljudskog razmišljanja kao što su kognitivne znanosti, logika, psihologija, filozofija, biologija, matematika i dr. Odnedavno je sve popularnija primjena zakonitosti iz prirode (npr. genetski algoritmi, algoritmi kolonije mrava, neuronske mreže i dr.).

#### 3.1. Ekspertni sustavi

Računalni sustavi kojima se, primjenom znanja i postupaka zaključivanja stručnjaka (eksperata), rješavanju problemi iz određenog područja nazivaju se ekspertni sustavi. Ekspertni sustavi na određeni način oponašaju znanje eksperata te su nastali kao rezultat istraživanja iz područja umjetne inteligencije.

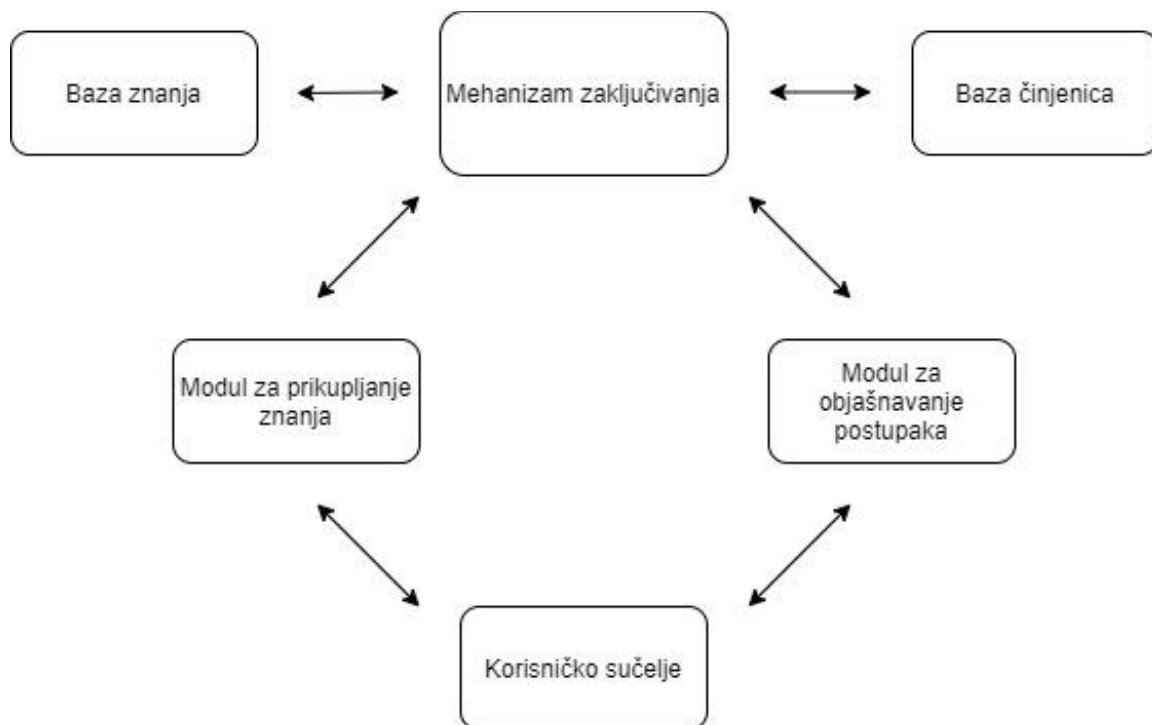
Ekspertni sustavi namijenjeni su za rad u područjima ljudskih djelatnosti. Korištenjem znanja pohranjenog u bazama, ekspertni sustavi bi trebali moći rješavati zadatke i probleme jednako kvalitetno kao što ih rješavaju i stručnjaci iz istog područja. Kako bi ekspertni sustav efikasno radili znanja koja koriste moraju biti zapisana u obliku prikladnom za rad na računalima. Znanja koja ekspertni sustavi koriste prikupljaju se od samih stručnjaka a čini ih skup činjenica informacija i vještina stečenih učenjem te iskustvom u praksi. Zapisivanje znanja o rješavanju problema najčešće se zapisuje u obliku pravila, stoga se baza znanja još naziva i baza pravila. Također, znanja se mogu zapisivati i prikazivati na druge načine:

- stabla odlučivanja,
- okviri,



- semantičke mreže,
- školska ploča,
- scenariji.

Ekspertni sustav sastoji se od sljedećih elemenata, prikazanih na slici 5: baza znanja, baza činjenica, mehanizam za zaključivanje, korisničko sučelje te modeli za prikupljanje znanja i objašnjavanje postupka rješavanja problema. [1]



Slika 5. elementi ekspertnog sustava [4]

Baza znanja sadrži znanja za određeno područje koja ostaju stabilna tijekom dužeg vremena. Znanja se iskazuju u obliku pravila (npr. „Za vlak koji prvi dolazi u kolodvor tijekom križanja, neovisno o smjeru dolaska, treba mu postaviti put vožnje na 1. kolosijek“).

Baza činjenica sadrži činjenice o stanju zadatka, odnosno problema, u realnom vremenu tijekom njegovog rješavanja (npr. Vlak 5004 za Zagreb kasni u dolasku 15 minuta“).

Putem mehanizma zaključivanja rješava problema na način da činjenice iz baze činjenica pridružuju pravilima iz baze znanja pri čemu određuje redoslijed aktiviranja pravila kada je u određenim situacijama više pravila aktivirano

Ekspertni sustavi u željezničkom prometu koriste se kao sustavi podrške kod centraliziranog upravljanja željezničkim prometom. Namijenjeni su za pomoć dispečeru u donošenju odluka tijekom regulacije željezničkog prometa. [1]

### 3.1.1. Temeljne značajke i prednosti ekspertnih sustava

Pod temeljne značajke ekspertnih sustava podrazumijevaju se visoke performanse, primjereno vrijeme reakcije, pouzdanost u radu i razumljivost. Visoke performanse se manifestiraju u postizanju određene razine zaključivanja sustava. Primjereno vrijeme reakcije podrazumijeva rješavanje problema u razumnom vremenskom okviru te je važno za sustave u kojima se problemi rješavaju u stvarnom vremenu. Pouzdanost predstavlja rad ekspertnog sustava bez otkazivanja, dok razumljivost podrazumijeva mogućnost objašnjenja svih koraka u postupku zaključivanja.

Prednosti ekspertnih sustava su:

- raspoloživost
- ekonomska isplativost
- mogućnost trajnog korištenja znanja
- višestruka ekspertiza
- brza reakcija bez utjecaja ljudskih emocija na proces zaključivanja [1]

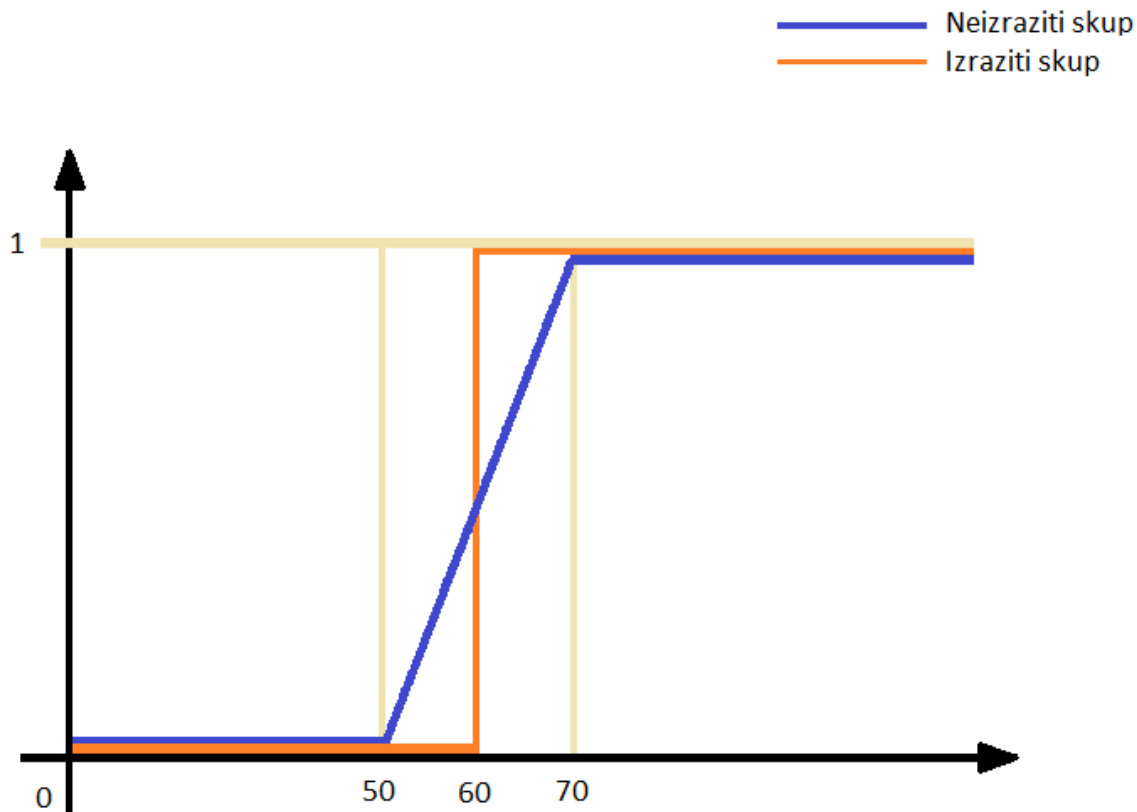
### 3.2. Neizrazita logika

Razvojem umjetne inteligencije dolazi do prevođenja ljudskog načina zaključivanja u računalni program, no za to je bilo potrebno premostiti razliku u logici zaključivanju čovjeka i računala. Računalu zaključuju putem izrazitih skupova čije su ulazne vrijednosti precizno definirane. Na temelju ulaznih vrijednosti rezultat je nedvosmislena izlazna vrijednost kao npr. „ISTINA (engl. TRUE)“ odnosno „LAŽ (engl. FALSE)“.

Ljudski način zaključivanja koristi i druge vrijednosti između ove dvije krajnosti kao što su npr. vrlo vjerojatno da, vjerojatno da, nije posve sigurno, vjerojatno ne i vrlo vjerojatno ne.

Kod neizrazitog zaključivanja ulazne varijable formiraju se u skupove, a ovisno o pripadnosti nekog elementa skupu izračunava se izlazna vrijednost. Tako se, uz to što se

određuje pripada li element nekom skupu A, određuje koliko pripada tom skupu te pripada ili uz to i nekom drugom skupu i u kojoj mjeri, dok kod izrazitog zaključivanja element može pripadati samo jednom od skupova što se može vidjeti iz slike 6 u nastavku.



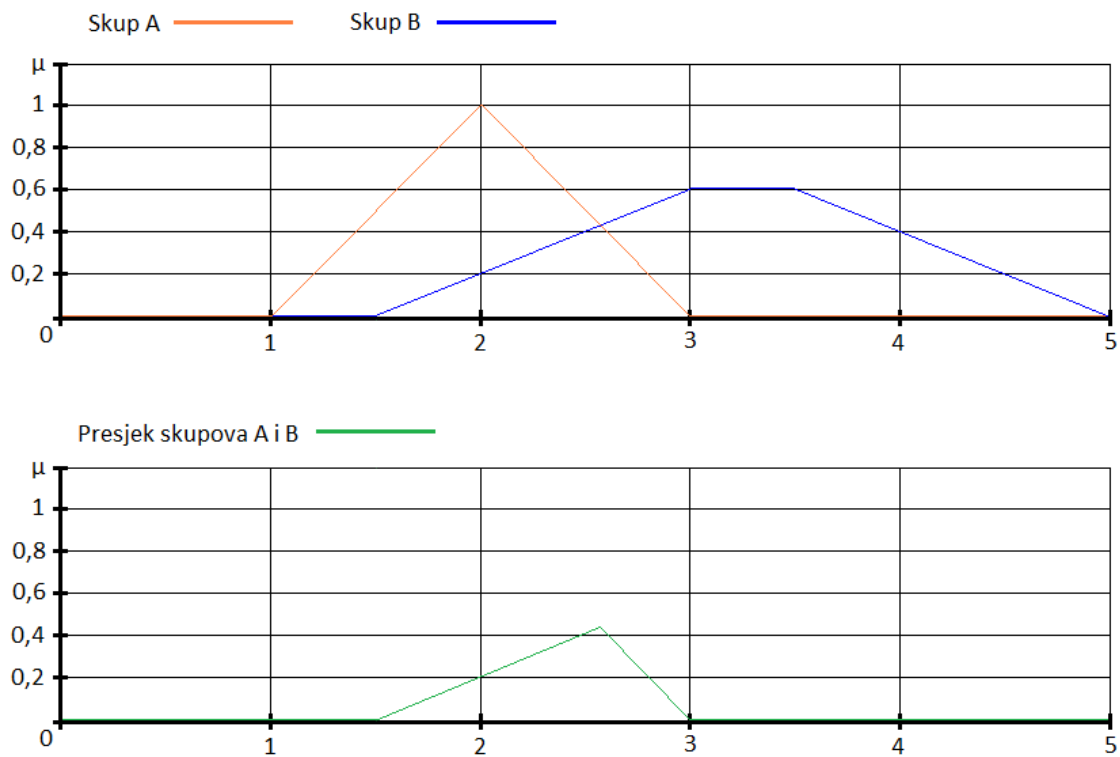
Slika 6. Odnos izrazitog skupa u odnosu na neizraziti skup [3]

Daljnja istraživanja neizrazite logike dovela su do zaključka da povećanjem složenosti sustava smanjuje mogućnost brzog i preciznog zaključivanja tj. preciznost više nije ni bita ukoliko je brzina rješavanja nedovoljna. Za uspješno rješavanje problema brzina može biti od presudne važnosti za razliku od preciznosti. [1]

### 3.2.1. Osnovne operacija nad skupovima

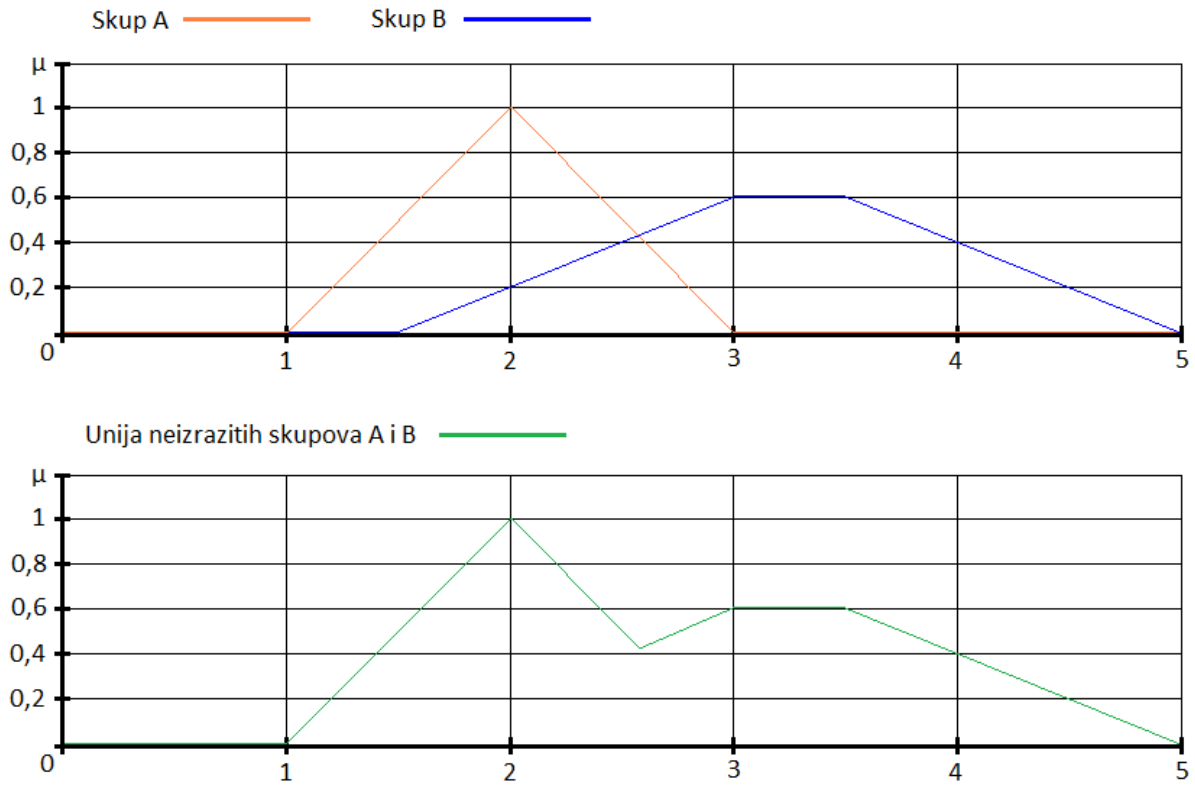
Osnovne operacije nad neizrazitim skupovima su: presjek i unija dvaju skupova te komplement skupa.

Presjekom skupova dobiva novi skup kojem pripadaju samo zajednički elementi što je i vidljivo iz slike 7.



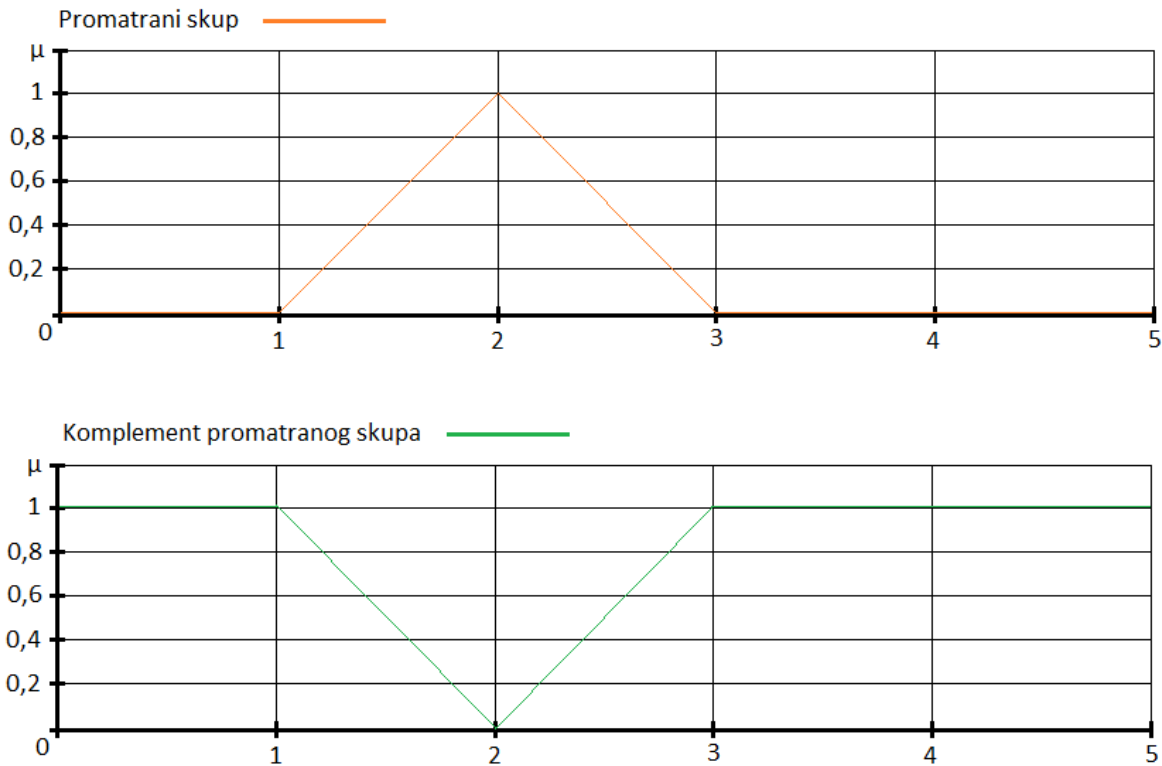
Slika 7. Presjek neizrazitih skupova A i B [1]

Unijom se također dobiva novi skup, no ovdje ga čine svi elementi obaju skupova što je i vidljivo iz slike 8.



Slika 8. Unija neizrazitih skupova A i B [1]

Komplement skupa je skup svih elemenata koji nisu sadržani u promatranom skupu što je također vidljivo iz slike 9.



Slika 9. Komplement neizrazitog skupa A (-A) [1]

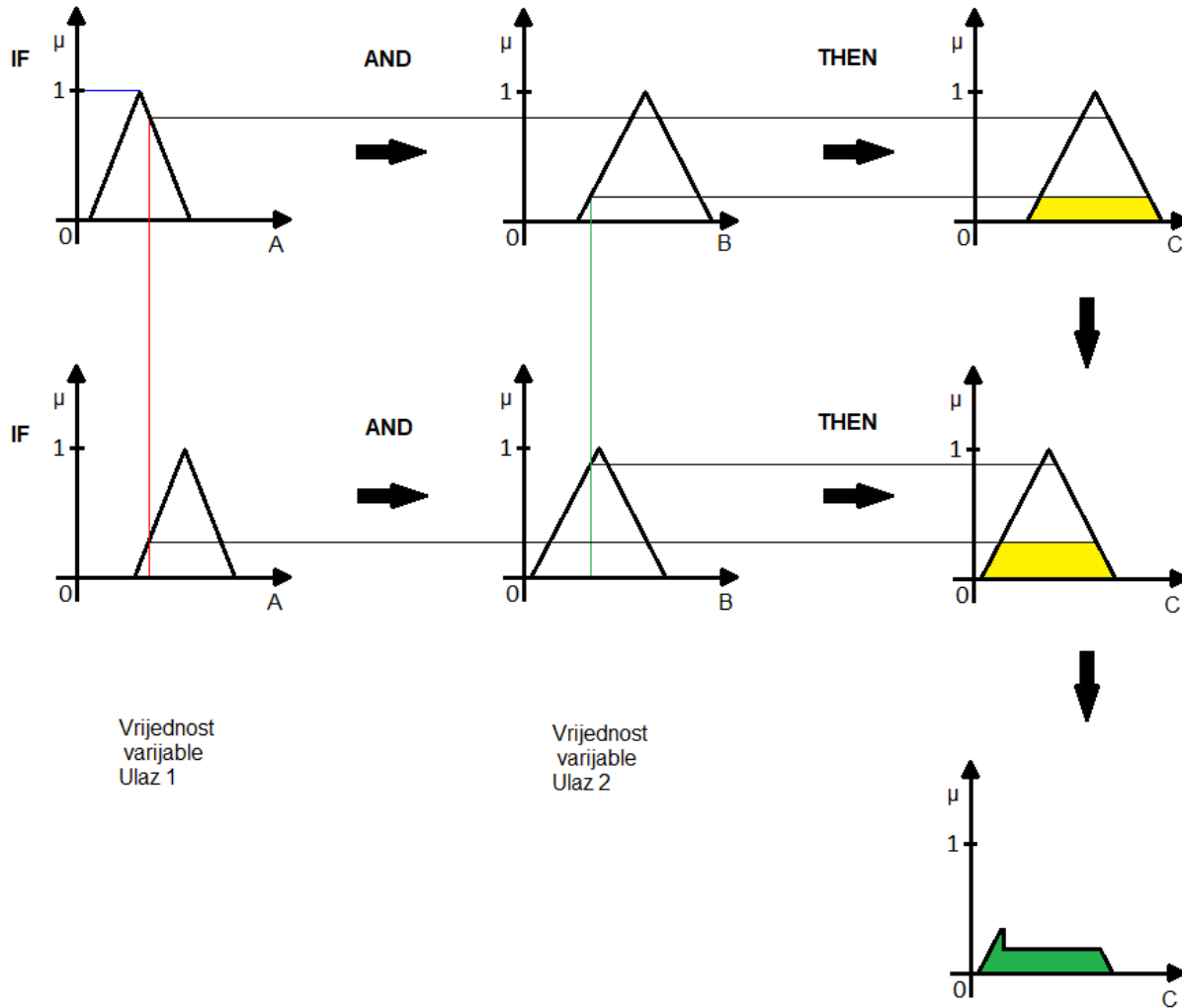
### 3.2.2. Proces zaključivanja u neizrazitom ekspertnom sustavu

Zaključivanje kod neizrazitog ekspertnog sustava provodi se u nekoliko koraka:

- pridruživanje vrijednosti funkcije pripadnosti
- interferencija (miješanje)
- agregacija (združivanje)
- računanje pripadne čvrste vrijednosti

Kod računanja vrijednosti pripadnosti ulazne veličine provode se kroz funkcije pripadnosti kako bi se pridružile vrijednosti za svaku funkciju pripadnosti. Stupanj istinitosti može biti u intervalu  $[0, 1]$  i naziva se težina pravila ili istinitost pravila. Pravilo djeluje ako ima veću istinitost od 0, te se njegovim djelovanjem svakom zaključku pridružuje jedan neizraziti podskup.

Interferencija u postupku neizrazitog zaključivanja kod neizrazitih skupova prikazana je na slici 10. Iz slike je vidljivo korištenje *i* (engl. and) metode čiji je rezultat presjek neizrazitih skupova koji su podređeni određenom pravilu, dok se za postupak agregacije koristi metoda algebarske sume ( $\text{suma}(a,b) = a + b - ab$ ).



Slika 10. Prikaz interferencije neizrazitih skupova u postupku neizrazitog zaključivanja [1]

Skup koji je nastao nakon procesa agregacija potrebno je pretvoriti u brojčanu vrijednost procesom dekodiranja neizrazitosti. Za proces dekodiranja neizrazitosti najčešće se koristi metoda težišta kojom se izračunava težište lika koji opisuje dobiveni skup dok se njegovom projekcijom na apscisu dobiva izlazna vrijednost koja je ujedno i rješenje u postupku zaključivanja nekog neizrazitog ekspertnog sustava. [1]

## 4. Modeliranje sustava podrške za regulaciju željezničkog prometa u kolodvorskom području baziranog na neizrazitoj logici

Kako je ranije već spomenuto, reguliranje željezničkog prometa ne bi bilo moguće bez postojanja službenih mjesta. Regulacija željezničkog prometa podrazumijeva moderan pristup i centralno upravljanju prometom na gotovo svim glavnim pravcima. Cilj ovakvog sustava je smanjiti radno opterećenje na dispečera te povećati efikasnost u procesu regulacija željezničkog prometa kako na cijeloj mreži tako i u kolodvorima. Ovakav sustav bazira se na korištenju umjetne inteligencije, odnosno neizrazite logike kao jedne od njezinih grana, koja za cilj ima dati najoptimalnije rješenje za određeni problem. Za izradu sustava korišten je računalni program Matlab.

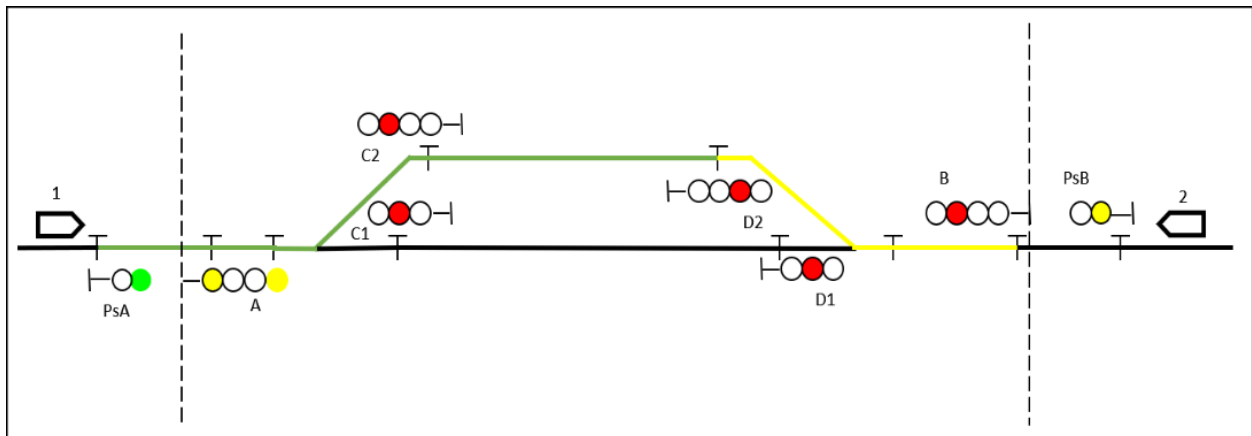
### 4.1. Problematika reguliranja prometa u kolodvorskom području

U kolodvorima se osim zaustavljanja i pokretanje obavlja i pretjecanja te mimoilaženje vlakova. Kada dva vlaka prilaze kolodvoru, u kojem će se izvršiti križanje vlakova, u većini slučajeva ne mogu ući istovremeno u kolodvor zbog puta pretrčavanja kao jednog od elemenata sigurnosti. Put proklizavanja je slobodni dio kolosijeka iza međnika ili izlaznog signala te je potreban u slučaju da se zaustavni put vlaka iz nekog razloga produži. Putevi pretrčavanja definirani su tablicom ovisnosti koja se određuje iz sljedećih elemenata:

- osnovnih pravila sigurnog puta vožnje
- položaja skretnica i iskliznica
- stanja putnih prijelaza
- stanja izoliranih signala [2]

Iz tog razloga, prilikom prilaska kolodvoru, jedan vlak će ulaziti u stanicu, dok će drugi vlak stajati na ulaznom signalu sve dok se prvi vlak ne zaustavi te oslobodi put vožnje a samim time i put proklizavanja. Slika 12. u nastavku zelenom linijom prikazuje je put vožnje vlaka koji ulazi u kolodvor a žuta linija predstavlja put proklizavanja.





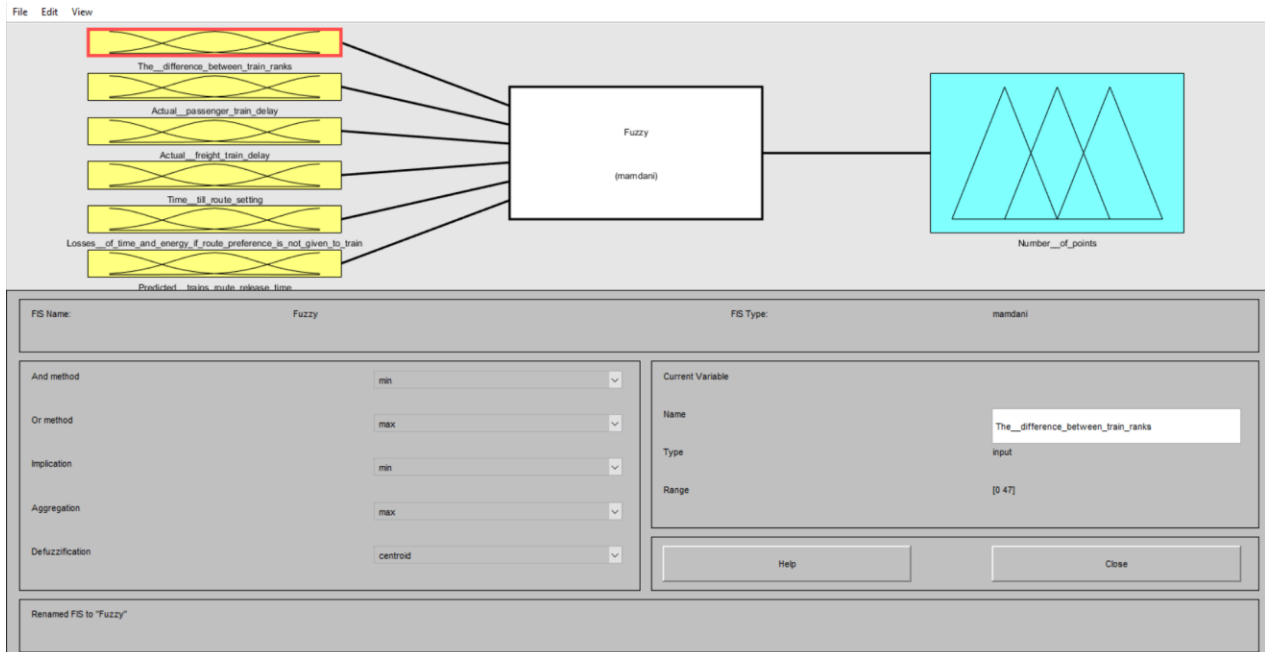
Slika 11. Vozni put i pripadajući put proklizavanja

Dispečer donosi odluku o tome koji vlak ima prednost prilikom ulaska u kolodvor, a proces odlučivanja uvelike ovisi o znanju, iskustvu i vještinama dispečera. Kvaliteta rada ovisi o njegovom kognitivnom opterećenju te utjecaju faktora iz okoline.

Zbog gore spomenutih razloga moguće je razviti sustav koji će pomagati dispečerima u donošenju odluka ili ih potpuno zamijeniti. Sam sustav moguće je dodatno nadograditi i poboljšati komunikacijskim vezama sa sustavom podrške strojovođama putem GSM-R-a.

#### 4.2. Struktura sustava podrške za donošenje odluka

Struktura sustava podrške sastoji se od 6 ulaznih varijabli i jedne izlazne kao što je prikazano na slici 13. u nastavku.



Slika 12. Struktura sustava podrške

Ulazne varijable predstavljene su faktorima koji utječu na proces donošenja odluka za odabir prioriteta vlaka. Faktori koji su odabrani kao ulazne varijable su:

- razlike između rangiranja vlakova
- kašnjenje vlakova
- vrijeme postavljanja puta vožnje u kolodvoru
- gubitak vremena i energije ukoliko se vlaku ne da odgovarajući prioritet
- vrijeme razrješenja puta vožnje u kolodvoru

#### 4.2.1. Razlike između rangiranja vlakova

Rangiranje vlakova uvelike utječu na regulaciju željezničkog prometa. Za modeliranje ovog modela ulazna varijabla razlike između rangiranja vlakova odabrana je za željeznički sustav Republike Hrvatske. Rangiranje vlakova specifično je za svaku državu te je u slučaju modeliranja modela za neku drugu državu potrebnu primijeniti njihovu klasifikaciju rangiranja vlakova.

Prema Prometnom pravilniku Republike Hrvatske (Ministarstvo mora, prometa i infrastrukture) u hrvatskoj postoji 21 rangova vlakova koji su navedeni redom:

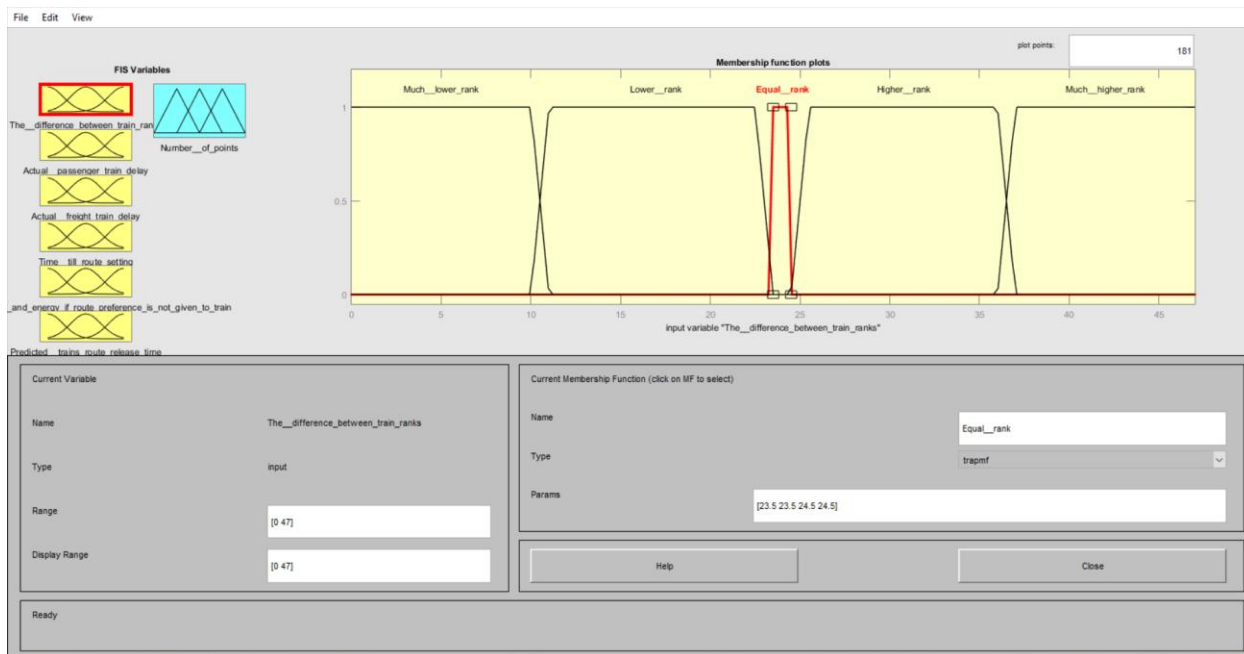
- Eurocity (EC) vlak
- Intercity (IC) vlak
- ekspresni vlak

- brzi vlak
- ubrzani vlak
- putnički vlak
- pogranični vlak
- prigradski vlak
- teretni vlak iz međunarodnog prometa
- ekspresni teretni vlak
- brzi teretni vlak
- vlak za prijevoz željezničkih radnika
- vojni vlak
- maršrutni vlak
- direktni vlak
- dionički vlak
- vlak za posebne namjene
- sabirni vlak
- kružni vlak
- industrijski vlak i
- službeni vlak

Rangiranje vlakova podrazumijeva i sljedeća pravila kojima se regulira njihovo prometovanje:

1. Vlakovi iz međunarodnog prometa imaju prednost ispred vlakova istog ranga iz unutarnjeg prometa.
2. Pojedinih vlakovima za prijevoz putnika s obzirom na njihovu namjenu, teretnim vlakovima iz međunarodnog prometa ili teretnim vlakovima komercijalno-poslovne važnosti te vojnim vlakovima može se dati ili odrediti viši rang.
3. Vlakovi za posebne namjene mogu imati prednost ispred svih vlakova kada su uvedeni u promet radi pružanja pomoći ili uklanjanja smetnji na pruzi. Ako vlakovi kasne ili se otpremaju prije vremena, vlak nižeg ranga ne smije ometati kretanje vlaka višeg ranga.
4. Prednost vlaku nižeg ranga može se dati ako se time izbjegava povećanje kašnjenja, a vlak višeg ranga nastalo zakašnjenje može nadoknaditi na daljnjem putu.
5. Kod vlakova istog ranga prednost ima onaj vlak koji bi zbog kašnjenja izgubio veze na priključnim kolodvorima. Ako veze nisu u pitanju, prednost ima onaj vlak kojemu predstoji dulji put do njegova krajnjeg kolodvora odnosno koji vozi na vrijeme.
6. Kašnjenje vlakova može se nadoknaditi skraćivanjem zadržavanja u službenim mjestima. [5]

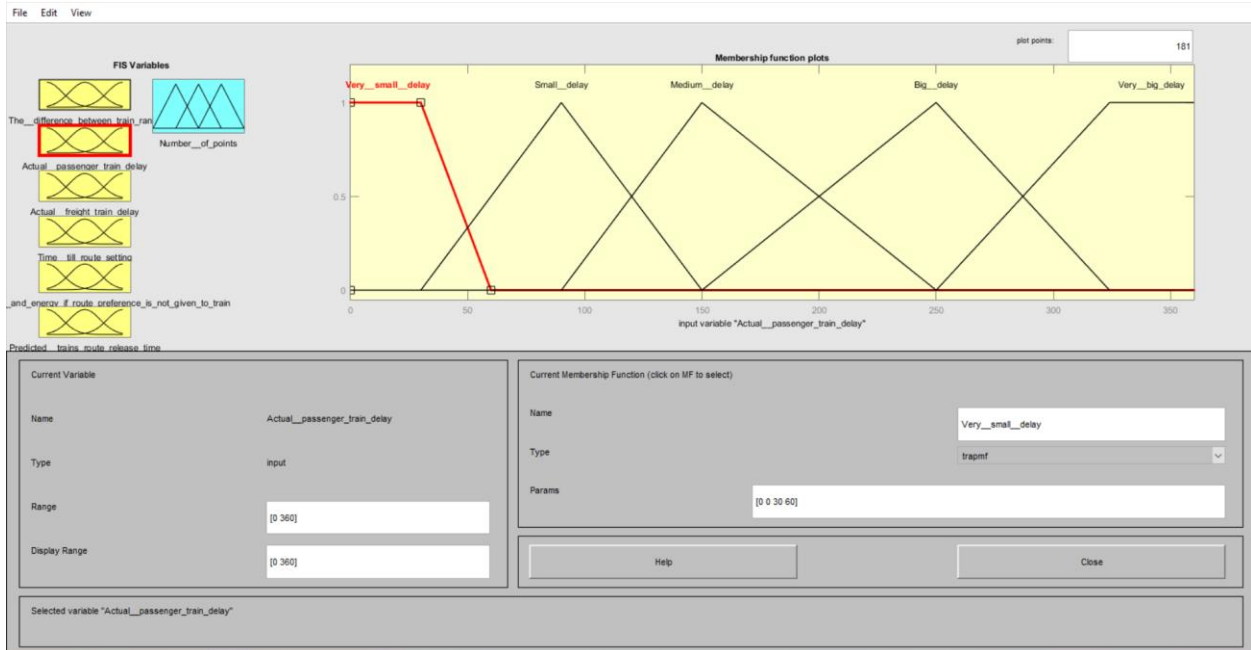
S obzirom na gore navedena pravila postoje 24 razine prioriteta vlakova. U modelu su razlike između prioriteta vlakova definirane su rasponom od 47 stupnjeva iz razloga što razlika u rangu može pogodovati jednom ili drugom vlaku kod ove ulazne varijable. Taj raspon podijeljen je u 7 neizrazitih skupova koji su definirani funkcijama pripadnosti što je prikazano u slici 13.



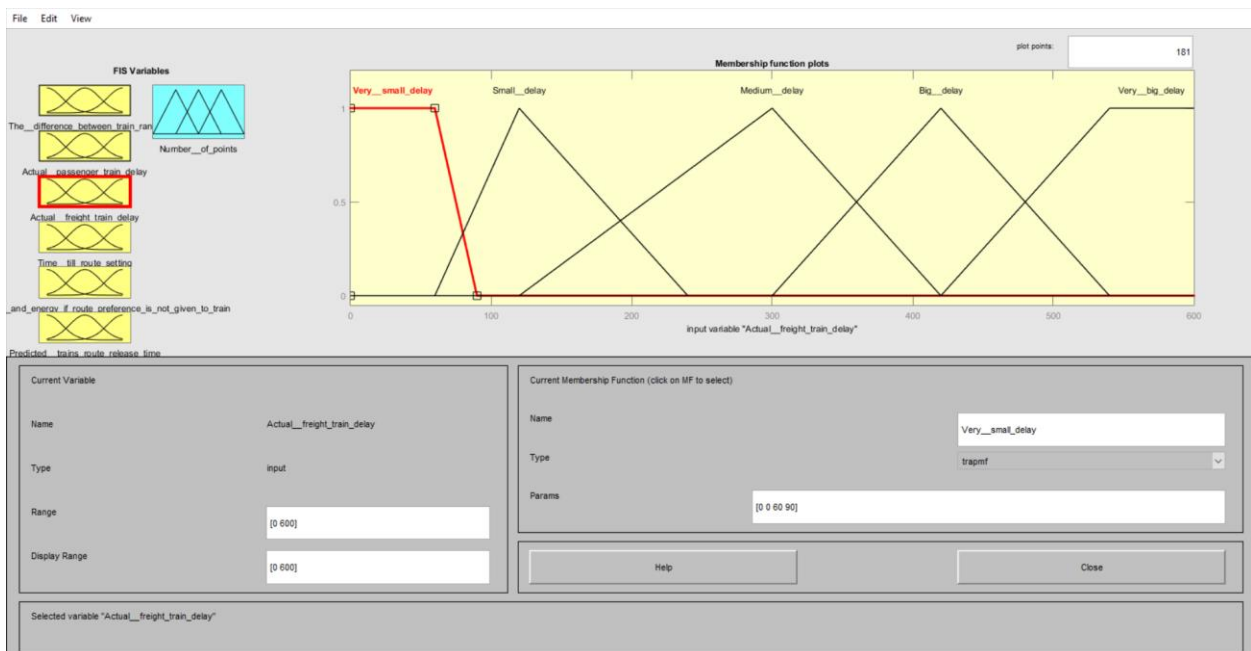
Slika 13. Prikaz rasporeda rangova vlaka u neizrazite skupove

#### 4.2.2. Kašnjenje vlakova

Kašnjenje vlakova može uzrokovati neželjene situacije koje mogu dovesti do poremećaja odvijanja prometa i kašnjenja vlakova na odsjeku pruge ili čitavoj dionici. Kašnjenje vlakova može utjecati na proces određivanja prioriteta vlakova za kolodvorsko područje. Vlakovi s velikim kašnjenjima trebali bi smanjiti kašnjenje koliko god je to moguće ili ga, ako to nije moguće, ne povećati. Kašnjenje se u željezničkom prometu najviše odnosi na putničke vlakova, ali isto tako i na vlakove višeg ranga koji mogu dovesti do kašnjenja svih ostalih vlakova. Na slici 14 prikazano je stvarno kašnjenje putničkih vlakova, a na slici 15 stvarno kašnjenje teretnih vlakova.



Slika 14. Stvarno kašnjenje putničkih vlakova



Slika 15. Stvarno kašnjenje teretnih vlakova

### 4.2.3. Vrijeme postavljanja voznog puta

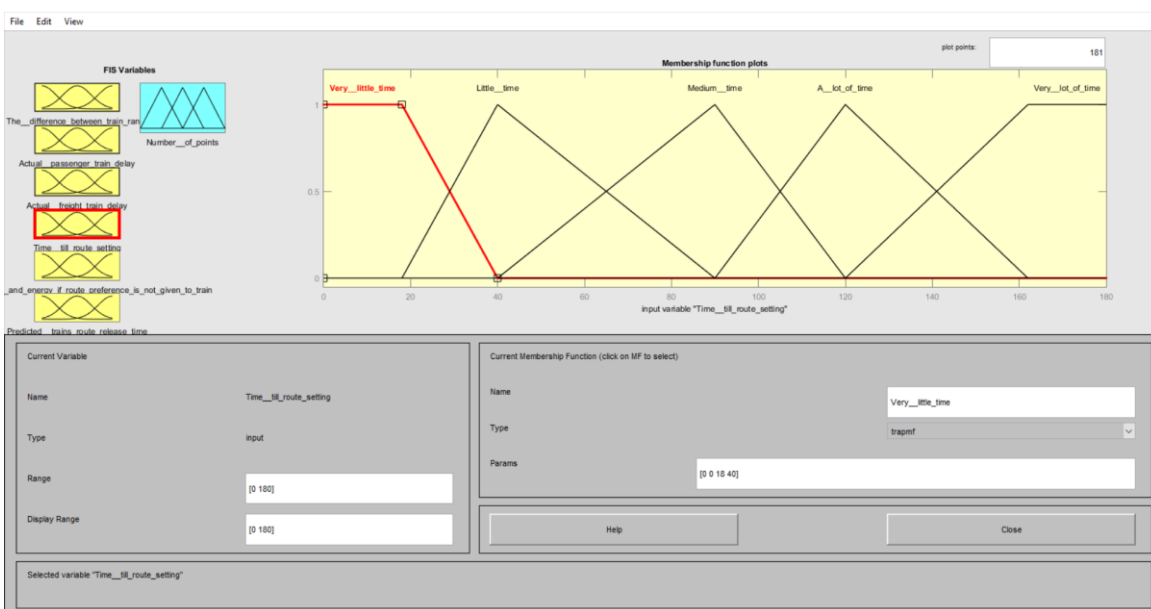
Vrijeme potrebno za postavljanja voznog puta ima utjecaj na redovno odvijanje prometa te kapacitet same pruge. Vlakovni vozni put u kolodvorskom području može biti: ulazni, izlazni, složeni te redovni odnosno obilazni. Ulazni vozni put započinje kod ulaznog signala, a završava kod izlaznog ili graničnog signala. Izlazni vozni put započinje od izlaznog ili signala do posljednjeg odsjeka kojeg kontrolira kolodvor. Složeni vozni put sastoji se od dva ili više istovremeno postavljenih voznih puteva za isti vlak koji se nastavljaju jedan na drugi. Obilazni vozni put je vrsta voznog puta kod kojeg se osigurava alternativna trasa redovnog voznog puta, ako postoji. Postavljanjem voznog puta istovremeno se postavlja i put proklizavanja kojim se vozni put dodatno osigurava. Razrješavanjem voznog puta po zaustavljanju vlaka razrješava se i put proklizavanja.

Istovremeno postavljanje dva vozna puta moguće je ukoliko se:

1. vozni put ili manevarski vozni put se ne sijeku, dodiruju ili preklapaju s nekim već postavljenim voznim putem (uključujući i put pretrčavanja)
2. put proklizavanja jednog voznog puta se ne siječe, dodiruje ili preklapa sa drugim vlakovnim voznim putem

Vozni put mora biti postavljen u optimalnom vremenu, tj. kada vlak naiđe na daljinu vidljivosti predsignala. Ukoliko se vozni put vlaka postavi prerano dolazi do smanjenja kapaciteta te iskorištenja propusne moći pruge. U obrnutom slučaju kada se vozni put postavi prekasno dolazi do kašnjenja vlaka za koji je put postavljen, a samim time dolazi i do poremećaja prometovanja ostalih vlakova. Na slici 16. prikazane su funkcije raspona i funkcije pripadnosti ulazne varijable vremena potrebnog za postavljanje voznog puta.

[5]

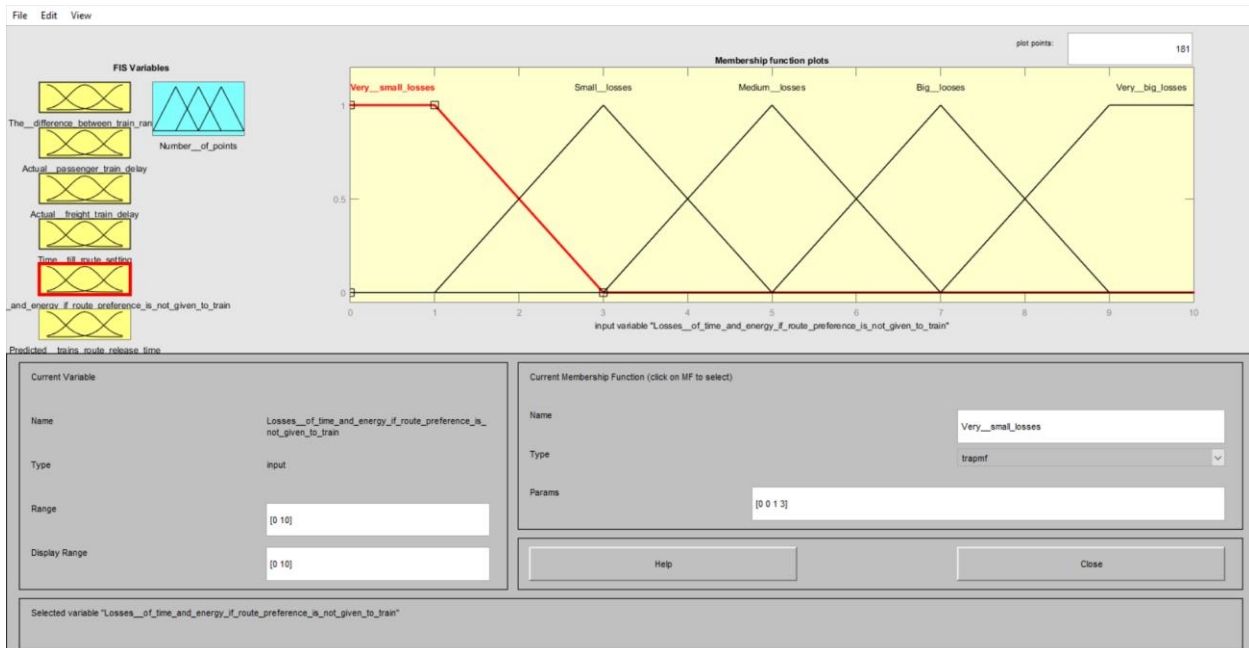


Slika 16 Funkcije raspona i funkcije pripadnosti ulazne varijable „Vrijeme postavljanja voznog puta“

#### 4.2.4. Gubitak vremena i energije ukoliko se vlaku ne da prioritet

Rangiranjem vlakova putnički vlakovi, zbog svoje namijene, gotovo uvijek imaju viši rang od teretnih vlakova, a samim time imaju veći prioritet nad teretnim vlakovima. Putnički vlakovi su, u odnosu na teretne, relativno malih masa te je za njihovo pokretanje i zaustavljanje potrebno dovesti manju količinu energije. Masa je također bitan faktor u ubrzavanju i usporavanju vlakova pa shodno tome putnički vlakovi imaju puno bolje ubrzanje i usporavanje u odnosu na teretne. Putnički vlakovi koriste tzv. kočnice brzog djelovanja koje omogućavaju istodobno aktiviranje svih kočnica na vlaku i jednoliko pražnjenje glavnog voda te brzo otkočivanje tj. punjenje glavnog voda. Teretni vlakovi pak, koriste kočnice sporog djelovanja čije vrijeme aktiviranja kočnica 6 puta duže u odnosu na putničke (putnički vlakovi 3-5 s, teretni vlakovi 18-30 s) a vrijeme otkočivanja 3 puta duže (putnički vlakovi 15-20 s, teretni vlakovi 45-60 s). Zbog toga su vremenski gubitci kod putničkih vlakova gotovo zanemarivi. [6]

Iako teretni vlakovi imaju niži rang, odnosno prioritet, od putničkih, davanje prioriteta teretnom vlaku u određenim situacijama ima određenu prednost. Ovakvim načinom regulacije teretni vlak uštedjeti će na vremenu vožnje i potrošnji energije, a kašnjenje koje bi putnički vlak u tom slučaju generirao, može biti nadoknađeno na daljnjem putu. Na slici 17. u nastavku prikazane su funkcije pripadnosti ulaznog parametra „gubitak vremena i energije u slučaju da vlak ne dobije prioritet kod postavljanja puta vožnje“.

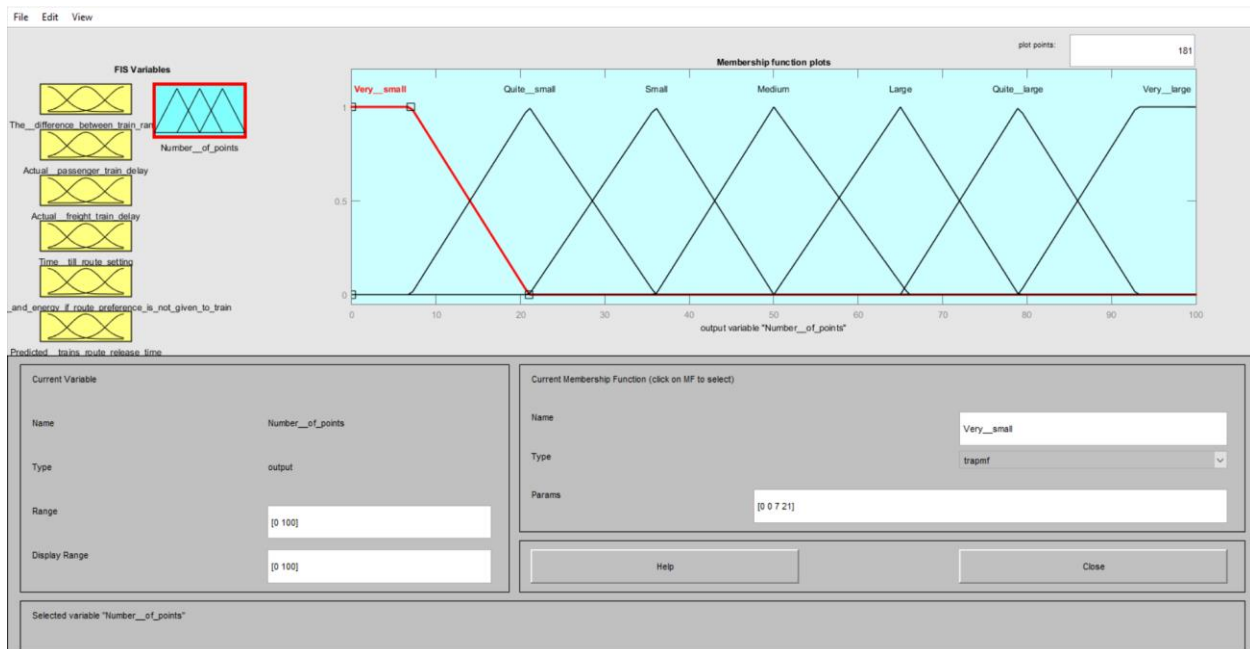


Slika 17 Gubitak vremena i energije ukoliko se vlaku ne da odgovarajući prioritet

#### 4.2.5. Vrijeme razrješenja puta vožnje

Vrijeme razrješenja voznog puta vlaka može se predvidjeti iz podataka o vremenu postavljanja rute te o vremenu vožnje vlaka koje protekne prilikom prolaska vlaka od početka (u nekom idealnom slučaju to bi trebala biti udaljenost vidljivosti predsignala) do kraja ulaznog voznog puta (u ovom slučaju to je ispred izlaznog signala). To vrijeme temelji se na podacima o infrastrukturi i dinamici vlakova (npr. u tu svrhu za izračunavanje vremena vožnje vlakova mogu se koristiti mikro-simulacijski modeli izrađeni u programima OpenTrack ili RailSys) te na vremenu potrebnom za međusobno zaključavanje kako bi se vozni put i pripadajući put proklizavanja razriješili što ovisi o vrsti ss uređaja i primijenjenoj metodi upravljanja prometom (npr. s prometnikom ili s dispečerom za centraliziranu kontrolu vlakova i prometa).

Izlazna varijabla dizajnirana je na način da se neki vlak može usporediti sa svojim konkurentnim vlakom i time doseže između 0 i 100 bodova. Vlak koji dosegne više bodova dobit će prednost u odnosu na svoj konkurentni vlak. U slučaju da oba vlaka postignu isti broj bodova, prednost će imati vlak s višim rangom što je prikazano na slici 18.

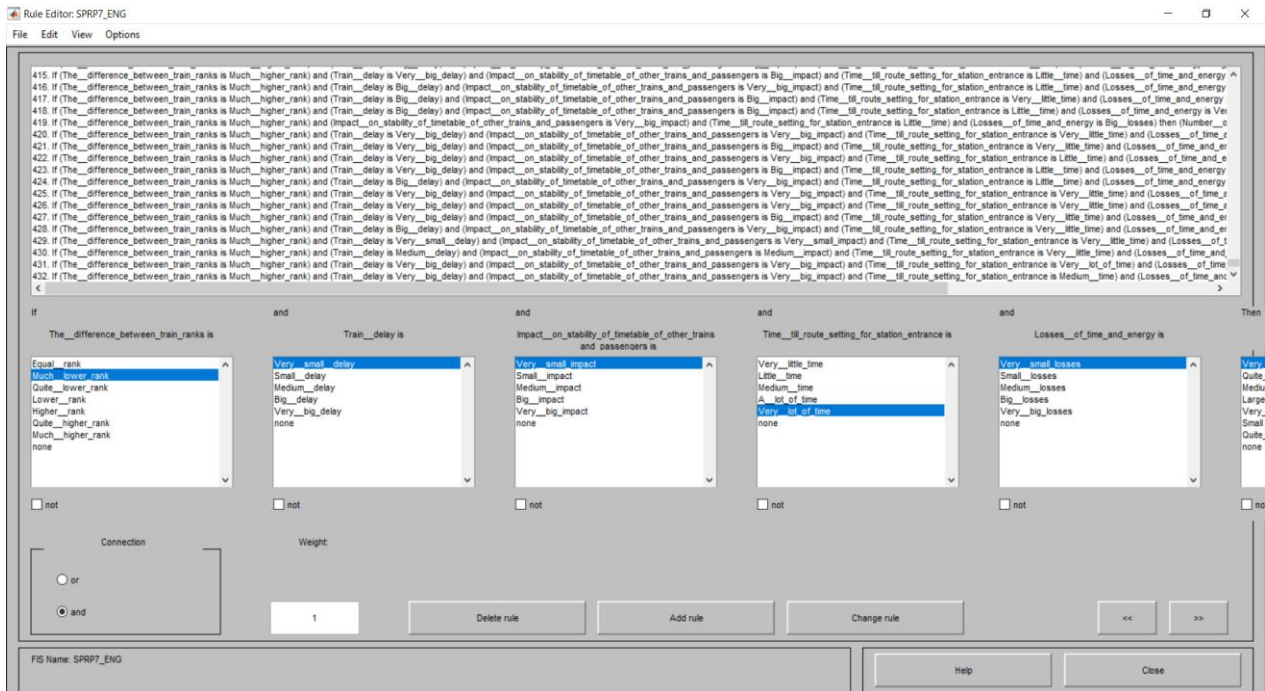


Slika 18 Prikaz izlazne varijable sustava



### 4.3. Baza znanja sustava

U bazi znanja, prikazanoj na slici 19, pohranjena su pravila za zaključivanje, a u postupku zaključivanja osim pravila koriste se i podaci o vlakovima u stvarnom vremenu. Pravila se kreiraju na temelju iskustva u regulaciji željezničkog prometa te odnosa između ulaznih i izlaznih varijabli. Odnosi između ulaznih i izlaznih varijabli izvedeni su s logičkim operatorima. Osnovni podaci vlaka prikupljaju se iz voznih redova, podaci o kašnjenju vlaka iz baze podataka sustava za praćenja realizacije voznog reda. Informacije o trenutnom položaju i brzini vlaka mogu se prikupljati u stvarnom vremenu pomoću sustava opisivača vlakova koji podatke prikuplja putem sustava detekcije vlaka ili, ako je implementiran, putem sustava vođenja vlakova s kontinuiranim prijenosom podataka o brzini i poziciji vlakova (npr. ERTMS / ETCS razina 2). [6]



Slika 19. Baza znanja sustava

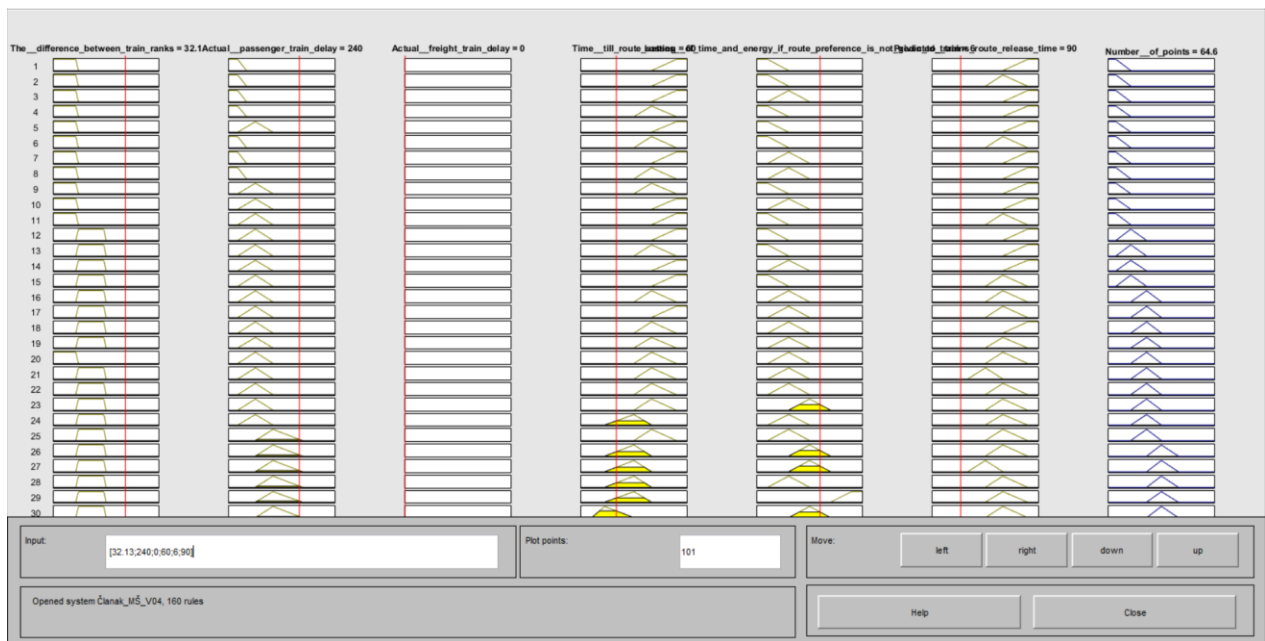
#### 4.4. Testiranje sustava

Za testiranje sustava, prikazanog na slikama 20 i 21, odabran je scenarij u kojem se radi usporedba dva vlaka koji pretendiraju na ulazak u kolodvorsko područje iz suprotnih smjerova. Sustav mora odabrati koji vlak treba dobiti prioritet za prvi ulazak u kolodvorsko područje.

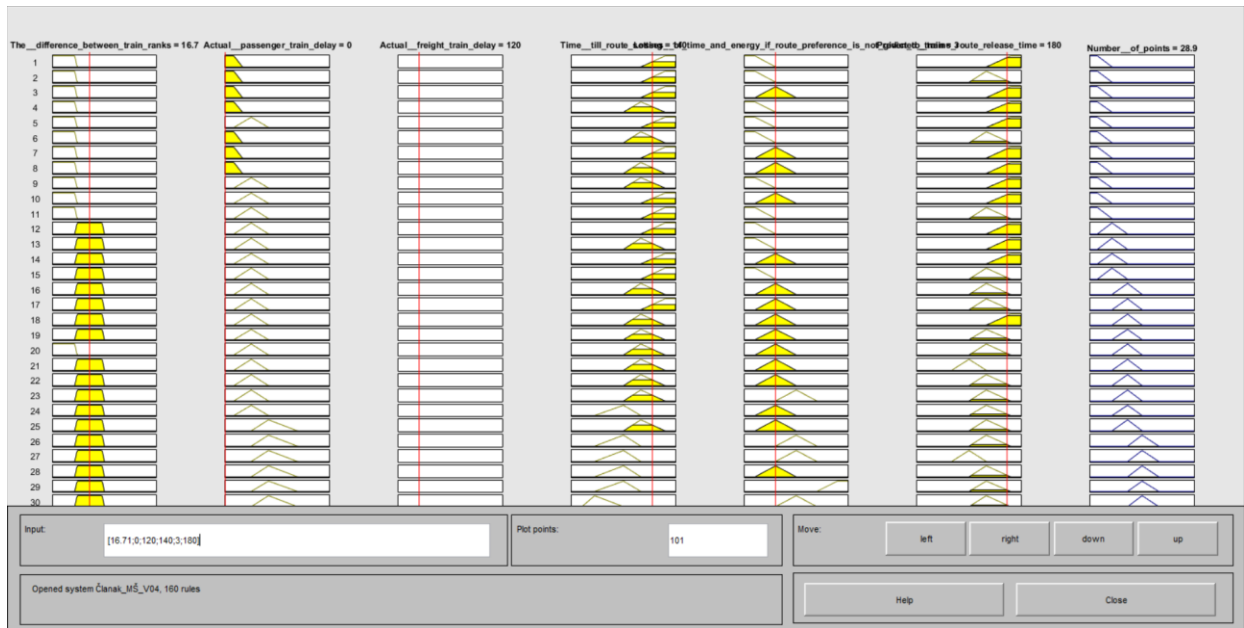
Prvi vlak je putnički s kašnjenjem od 240 sekundi. Vrijeme potrebno za postavljanje njegovog voznog puta iznosi 60 sekundi, gubitak vremena ako se vlaku ne da prioritet iznosi 6 sekundi, te predviđeno vrijeme razrješenja voznog puta iznosi 90 sekundi.

Drugi vlak je međunarodni teretni vlak kašnjenjem od 120 sekundi. Vrijeme potrebno za postavljanje njegovog voznog puta iznosi 140 sekundi, gubitak vremena ako se vlaku ne da prioritet iznosi 3 sekunde, te predviđeno razrješenja voznog puta iznosi 180 sekundi.

Rezultat postupka zaključivanja pokazao je da je putnički vlak postigao 64,6 bodova dok je teretni postigao 28,9 bodova što se vidi na slici. Putnički vlak ima 35,7 više bodova od teretnog vlaka zbog čega ima prioritet ulaska u kolodvorsko područje.



Slika 20. Testiranje rada sustava



Slika 21. Testiranje rada sustava

## 5. Zaključak

Prometovanje vlakova regulira službeno osoblje u službenim mjestima s ciljem redovnog i sigurnog odvijanja prometa. S povećanjem broja vlakova reguliranje prometa postaje značajnije kompleksno i izazovno za čovjeka posebice zbog toga što se promet mora odvijati redovno i sigurno. Postojeće metode regulacije direktno su podređene utjecaju čovjeka koji je sklon greškama.

Razvojem računala dolazi do razvoja umjetne inteligencije koja je sposobna učiti i oponašati čovjekovo razmišljanje i zaključivanje. Jedna od poznatijih metoda umjetne inteligencije je neizrazita logika koja pokazuje dobru perspektivu primjene u željezničkom sustavu između ostalog i u okviru razvoja sustava podrške u regulaciji željezničkog prometa.

S obzirom na to u okviru ovog istraživanja razvijen je model sustava podrške za reguliranje željezničkog prometa u kolodvorskom području koji se temelji na neizrazitoj logici čiji je cilj odrediti prioritet ulaska u kolodvorsko područje jednom od dvaju suprotstavljenih vlakova. Sustav funkcionira na način da unesene ulazne varijable uspoređuje s prethodno definiranim pravilima na temelju kojih kreira izlaznu varijablu. U sustav se unose parametri vlakova, a rezultat zaključivanja, prikazan u bodovima, određuje koji vlak ima prioritet ulaska u kolodvorsko područje. Sustav je testiran na primjeru iz prakse, a rezultat testiranja potvrđuje da je sustav funkcionalan. S obzirom na to može se zaključiti da ovakav sustav može unaprijediti kvalitetu rada prometnika vlakova odnosno u perspektivi i TK dispečera te uz to dodatno povećati sigurnost prometa kao i kapacitet i efikasnost željezničkog sustava te eliminirati nepotrebne gubitke vremena i energije.

## Literatura

1. Haramina, H.: Inteligentni transportni sustavi u željezničkom prometu, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2018.
2. Toš, Z.: Signalizacija u željezničkom prometu, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2013.
3. Umjetna inteligencija. Preuzeto sa stranice:  
<https://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=63150>
4. Uska umjetna inteligencija. Preuzeto sa stranice:  
<https://www.frontslobode.ba/vijesti/tehnologija/145431/razumijevanje-umjetne-inteligencije-tri-vrste-umjetne-inteligencije-i-pitanja-roboetike>
5. Republika Hrvatska, Ministarstvo mora, prometa i infrastrukture.: Pravilnik o načinu i uvjetima za obavljanje sigurnoga tijeka željezničkoga prometa, NN133/09.
6. Törnquist, J.: Computer based decision support for railway traffic scheduling and dispatching: A review of models and algorithms

## Popis slika

Slika 1. Uređaj za postavljanje puta s mehanički postavljanjem elemenata .....	4
Slika 2. Mehanički ss uređaj .....	5
Slika 3. Komandni stol elektro-relejnog ss uređaj .....	6
Slika 4. Postavnica elektroničkog ss uređaja .....	7
Slika 5. elementi ekspertnog sustava .....	11
Slika 6. Odnos izrazitog skupa u odnosu na neizraziti skup .....	13
Slika 7. Presjek neizrazitih skupova A i B .....	14
Slika 8. Unija neizrazitih skupova A i B .....	15
Slika 9. Komplement neizrazitog skupa A (-A) .....	16
Slika 10. Prikaz interferencije neizrazitih skupova u postupku neizrazitog zaključivanja .....	17
Slika 11. Vozni put i pripadajući put proklizavanja .....	19
Slika 12. Struktura sustava podrške .....	20
Slika 13. Prikaz rasporeda rangova vlaka u neizrazite skupove .....	22
Slika 14. Stvarno kašnjenje putničkih vlakova .....	23
Slika 15. Stvarno kašnjenje teretnih vlakova .....	23
Slika 16. Funkcije raspona i funkcije pripadnosti ulazne varijable „Vrijeme postavljanja voznog puta“ .....	25
Slika 17. Gubitak vremena i energije ukoliko se vlaku ne da odgovarajući prioritet .....	25
Slika 18. Prikaz izlazne varijable sustava .....	26
Slika 19. Baza znanja sustava .....	27
Slika 20. Testiranje rada sustava .....	28
Slika 21. Testiranje sustava .....	29



Sveučilište u Zagrebu  
Fakultet prometnih znanosti  
Vukelićeva 4  
10000 Zagreb

### IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI I SUGLASNOST

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem kako je ovaj \_\_\_\_\_ diplomski rad  
isključivo rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na mojim istraživanjima i oslanja se na  
objavljenu literaturu što pokazuju korištene bilješke i bibliografija.

Izjavljujem kako nijedan dio rada nije napisan na nedozvoljen način, niti je prepisan iz  
necitiranog rada, te nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava.

Izjavljujem također, kako nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj  
visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.

Svojim potpisom potvrđujem i dajem suglasnost za javnu objavu \_\_\_\_\_ diplomskog rada  
pod naslovom **Modeliranje sustava podrške za regulaciju željezničkog  
prometa u kolodvorskom području**

na internetskim  
stranicama i repozitoriju Fakulteta prometnih znanosti, Digitalnom akademskom repozitoriju (DAR) pri  
Nacionalnoj i sveučilišnoj knjižnici u Zagrebu.

Student/ica:

U Zagrebu, 6.9.2020.

\_\_\_\_\_  
(potpis)