

# Utjecaj sustava podrške u vožnji i automatske vožnje vlaka na učinkovitost željezničkog prometa

---

**Dolenec-Čižmek, Kristijan**

**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:119:721120>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-03-09**



*Repository / Repozitorij:*

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



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

**Kristijan Dolenc-Čižmek**

**UTJECAJ SUSTAVA PODRŠKE U VOŽNJI I AUTOMATSKE  
VOŽNJE VLAKA NA UČINKOVITOST ŽELJEZNIČKOG  
PROMETA**

**DIPLOMSKI RAD**

**Zagreb, 2020.**

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

DIPLOMSKI RAD

**UTJECAJ SUSTAVA PODRŠKE U VOŽNJI I AUTOMATSKE VOŽNJE  
VLAKA NA UČINKOVITOST ŽELJEZNIČKOG PROMETA**

**IMPACT OF TRAIN DIVER ADVISORY SYSTEMS AND AUTOMATIC  
TRAIN OPERATION ON RAIL TRAFFIC EFFICIENCY**

Mentor:

Izv. prof. dr.sc. Hrvoje Haramina

Student:

Kristijan Dolenc-Čižmek, 0135217337

Zagreb, 2020

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU**  
**FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI**  
**POVJERENSTVO ZA DIPLOMSKI ISPIT**

Zagreb, 2. travnja 2020.

Zavod: **Zavod za željeznički promet**  
Predmet: **Automatizacija u željezničkom prometu**

**DIPLOMSKI ZADATAK br. 5589**

Pristupnik: **Kristijan Dolenc-Čižmek (0135217337)**  
Studij: **Promet**  
Smjer: **Željeznički promet**

Zadatak: **Utjecaj sustava podrške u vožnji i automatske vožnje vlaka na učinkovitost željezničkog prometa**

Opis zadatka:

U radu je potrebno istražiti i opisi dosadašnji razvoj i primjenu sustava podrške u vožnji i automatske vožnje vlaka. Na temelju toga posebno je analizirati utjecaj primjene sustava podrške u vožnji vlaka i automatizacije procesa vožnje na kvalitetu željezničkog prometa.

Mentor:

Predsjednik povjerenstva za  
diplomski ispit:

---

izv. prof. dr. sc. Hrvoje Haramina

## SAŽETAK

Zahtjevi za sve većim kapacitetima prijevoza i smanjenjem zagađenja okoliša te potrošnje pogonske energije stavljaju nove ciljeve pred prijevozne procese. Optimizacija željezničkog prometa neophodna je za njegovu konkurentnost prema ostalim modovima prijevoza. Sustavi podrške u vožnji vlaka i automatske vožnje vlaka mogu značajno doprinijeti pozitivnim učincima u procesima željezničkog sustava. Oba sustava (DAS) i (ATO) podrazumijevaju različite razine njihove primjene, pa tako polučuju i različite rezultate. U radu je analiziran razvoj ovakvih sustava, te njihove funkcijske karakteristike. Također, na primjerima postojećih implementacija ovih sustava analizirane su njihove stvarne značajke te princip rada. U posljednjem dijelu rada opisan je utjecaj sustava podrške u vožnji i sustava automatske vožnje vlaka na željeznički promet kroz njihove prednosti i nedostatke.

**KLJUČNE RIJEČI:** *sustav podrške u vožnji vlaka, automatska vožnja vlaka, kapacitet prijevoza, zagađenje okoliša, pogonska energija*

## SUMMARY

Increasing demands of transportation capacity, the need for reducing and driving energy consumption have set new goals for the transportation process. Optimization of the railway system is necessary for its competitiveness in relation to other modes of transport. Driver advisory system and automatic train operation, can bring significant positive effects in the railway system. Both systems have different levels of their application, therefore both systems give different results. In this thesis development of systems like these is analyzed, as well as their functional characteristics. Also, the working principles and real features of DAS and ATO systems is analyzed. In the final part of the thesis, the effect that the driver advisory system and automatic train operation has on the railway system, was explained through its advantages and disadvantages.

**KEY WORDS:** *Driver advisory system, automatic train operation, driving energy, transportation capacity, environmental pollution*

## SADRŽAJ

1. UVOD.....	1
2. ANALIZA RAZVOJA I PRIMJENE SUSTAVA PODRŠKE U VOŽNJI VLAKA .....	2
2.1. Razvoj sustava podrške u vožnji vlaka.....	2
2.1.1. Statički sustavi podrške u vožnji vlaka.....	3
2.1.2. Dinamički autonomni sustavi podrške u vožnji vlaka.....	5
2.1.3. Dinamički mrežno orijentirani sustavi podrške u vožnji vlaka .....	7
2.2. Primjena sustava podrške u vožnji vlaka .....	10
CATO.....	10
3. ANALIZA RAZVOJA I PRIMJENE AUTOMATSKE VOŽNJE VLAKOVA.....	12
3.1 Razvoj sustava automatske vožnje vlaka.....	13
3.1.1. Prvi stupanj automatizacije GoA1 .....	15
3.1.2. Drugi stupanj automatizacije GoA2.....	16
3.1.3. Treći stupanj automatizacije GoA3.....	17
3.1.4. Četvrti stupanj automatizacije GoA4.....	19
3.2. Primjena sustava automatske vožnje vlaka .....	20
3.2.1. Zatvoreni željeznički sustavi.....	21
CBTC .....	21
RIO TINTO (GoA4) .....	24
3.2.2. Otvoreni željeznički sustavi.....	26
THAMESLINK (GoA2).....	27
4. ANALIZA UTJECAJA PRIMJENE SUSTAVA PODRŠKE U VOŽNJI I AUTOMATSKE VOŽNJE VLAKA NA UČINKOVITOST ŽELJEZNIČKOG PROMETA .....	31
4.1. Utjecaj sustava podrške u vožnji vlaka na željeznički promet.....	32
4.2. Utjecaj sustava automatske vožnje vlaka na željeznički promet .....	35
5. ZAKLJUČAK.....	38
LITERATURA.....	39
POPIS SLIKA .....	41

# 1. UVOD

Željeznički promet smatra se jednim od najprihvatljivijih modova prometa. Upotreba električne energije kao pogonske te mali otpori kretanja vozila prednosti su u ekološkom i ekonomskom pogledu. Također, željeznički je promet idealan za prijevoz velikog broja ljudi i robe što utječe na smanjenje opterećenja cestovnog prometa. Ipak, u željezničkom prijevozu postoji mnogo prostora za povećanje efikasnosti u smislu potrošnje energije te povećanja učinkovitosti operacija i procesa koji mogu biti optimalniji.

Sve veći broj stanovnika, a posebno dio naseljen u središtima i okolici velikih gradova, postavio je visoke zahtjeve u smislu kapaciteta kojeg postojeća željeznička infrastruktura ne može zadovoljiti. S obzirom na regulative i zahtjeve koji su postavljeni u smislu smanjenja potrošnje energije danas se diljem svijeta primjenjuju razne tehnologije i strategije koje pridonose ovom cilju.

U mnogim operacijama u željezničkom sustavu čovjek je ključan faktor. On je odgovoran za vođenje i upravljanje svim ključnim i odgovornim radnjama, kao što su vožnja samih vozila, upravljanje signalizacijskim sustavom, te planiranje stanja i odvijanja prometa kao i rješavanje trenutnih izvanrednih situacija. Naime, iako je čovjek vrlo dobar u brzom snalaženju te djelovanju u novonastalim okolnostima, vrlo se loše snalazi u izvanrednim situacijama gdje je prisutna izloženost stresu ili preopterećenost poslom. Također nerijetko griješi u repetitivnim radnjama i nije u mogućnosti izvršavati precizne upravljačke aktivnosti koje su ključne u optimizaciji željezničkih operacija.

Zahvaljujući razvoju računalnih i informacijskih znanosti i tehnologija, te primjeni umjetne inteligencije, čovjekova se uloga u svakodnevnim procesima i obavljanju poslova zamjenjuje upotrebom različitih uređaja i računala koja se koriste različitim naprednim tehnologijama. Implementacija takvih ekspertnih sustava koji sudjeluju u procesu automatizacije omogućio nam je široku primjenu automatski reguliranih i vođenih sustava i procesa u raznim industrijama, pa tako i u prijevoznoj industriji.

## **2. ANALIZA RAZVOJA I PRIMJENE SUSTAVA PODRŠKE U VOŽNJI VLAKA**

### **2.1. Razvoj sustava podrške u vožnji vlaka**

Jedno od rješenja za povećanje efikasnosti, te što bolje funkcioniranje cijelog željezničkog sustava je primjena sustava podrške u vožnji vlaka (eng. Driver Advisory System - DAS). Glavni razlog primjene sustava podrške u vožnji vlaka je omogućiti najučinkovitije vođenje prometa vlakova. Ciljevi takvog optimalnog vođenja mogu biti različiti, no primarni su smanjiti utrošak pogonske energije i povećati robusnost tj. stabilnost voznog reda. Osnovna funkcija sustava podrške u vožnji vlaka je dodijeliti strojovođi savjete i upute za što efikasniju i energetske efikasniju vožnju vlaka. Grafičko sučelje u kabini strojovođe ili čak ispis na papiru strojovođi pružaju detaljne savjete o tome kako pratiti profil brzine na određenoj dionici. Savjeti mogu biti upućeni strojovođi u stvarnom vremenu ili mogu biti statički, odnosno nepromjenjivi u realnom vremenu. Bitno je napomenuti da ovakvi sustavi podrške u vožnji imaju savjetodavnu ulogu jer ni u jednoj fazi ne upravljaju željezničkim vozilom, već samo savjetuju strojovođu, koji u svakome trenutku može odlučiti nastaviti vožnju prema vlastitom nahođenju. S obzirom na tehnologiju i principe rada kojima se koriste možemo prepoznati različite vrste sustava za podršku u vožnji vlaka. Najčešća je podjela ovisno o tome reagiraju li u stvarnom vremenu ili ne, te imaju li podršku kontrolnog ureda. Prvi statički sustavi razvijeni su 70-ih godina kada specifikacije putnih računala u vozilu nisu zadovoljavala zahtjeve potrebne za proračun složenih algoritama koji bi za rezultat davali podatke o energetske učinkovitoj vožnji vlaka u stvarnom vremenu. Zbog tog razloga proračuni su izvedeni prije početka vožnje te su informacije strojovođi predstavljane u pisanom obliku na papiru ili prikazom na ekranu putnog računala gdje su prethodno bili pohranjeni. Proračuni ovakvih sustava temelje se samo na karakteristikama pruge (nagibi, radijusi) i ograničenjima brzine te značajkama vlaka. Strategije vožnje s optimalnom potrošnjom pogonske energije unaprijed su proračunate, te u tiskanom obliku na papiru dane strojovođi koji kasnije prilikom vožnje pokušava realizirati energetske optimalnu vožnju vlaka. Bitno je napomenuti da su ovi podaci o optimalnoj vožnji vlaka upotrebljivi samo uz uvjet da je vlak krenuo na vrijeme prema voznom redu.

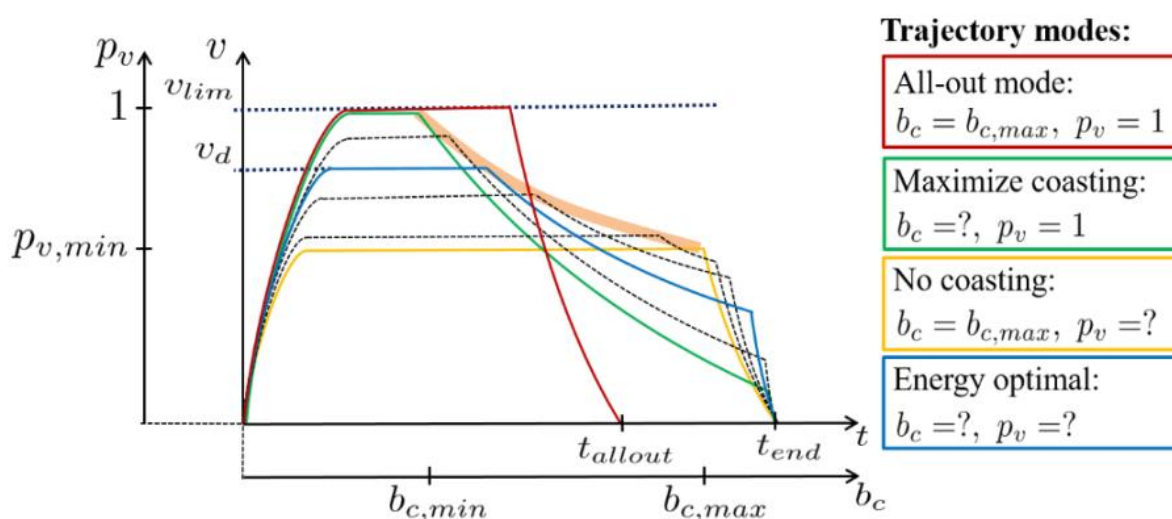


## 2.1.1. Statički sustavi podrške u vožnji vlaka

Primjena statičkih sustava podrazumijeva pripremu više strategija vožnje koje strojovođa može primjenjivati ovisno o aktualnom stanju prometa na dijelu mreže, odnosno više različitih režima kretanja vlaka. Naime, s ciljem odvijanja što učinkovitije vožnje vlaka u odvijanju željezničkog prometa mogući su različiti poremećaji koji zahtijevaju drukčije parametre vožnje od onih inicijalnih koji su određeni u situacijama idealnog voznog reda. Režimi su proračunati s obzirom na moguće poremećaje koji se mogu dogoditi. Između dvije pozicije, koje mogu biti dvije uzastopne stanice u vožnji vlaka, moguća su četiri režima vožnje:

- Ubrzanje (eng. acceleration)
- Vožnja ustaljenom brzinom(eng. cruising)
- Vožnja sa zaletom(bez gasa)(eng. coasting)
- Kočenje(eng. braking)

Za proračune različitih režima vožnje vlakova potrebni su podaci o željezničkim vozilima kao što su ubrzanje, maksimalne vozne brzine i zaustavni put željezničkih vozila, kao i informacije o karakteristikama pruge poput zavoja i različitih nagiba pruge koji utječu na otpore prilikom kretanja vozila te lokacije oznaka ograničenja brzine.



Slika 1. Proračuni različitih režima vožnje

Izvor: [21]

Slika 1 prikazuje (v/t) grafikon sa različitim načinima, odnosno strategijama vožnje vlaka. Zelena linija predstavlja vožnju s maksimalnom upotrebom vožnje sa zaletom, plava predstavlja energetske najefikasniju vožnju, dok žuta linija predstavlja kretanje vlaka koje isključuje vožnju sa zaletom. Način vožnje vlaka kod kojeg se ona ostvaruje u najkraćem voznom vremenu prikazana je crvenom linijom. Kod takve strategije vožnja se odvija u tri faze:

- vožnja maksimalnim ubrzanjem do razine postizanja najveće brzine vlaka koja je dopuštena na tom dijelu pruge ili brzini koju vlak može postići
- vožnja najvećom brzinom do mjesta početka faze kočenja
- početak kočenja vlaka od točke potrebne za najkraće zaustavljanje do ciljne točke zaustavljanja

Dakle, ova strategija vožnje predstavlja najkraće moguće vrijeme potrebno za njegovu vožnju između mjesta pokretanja do mjesta na kojemu se predviđa njegovo zaustavljanje s obzirom na sva postavljena ograničenja, dodaju se i određeni vremenski dodaci koji služe za nadoknadu eventualnog produljenja vremena u vožnji u odnosu na čisto vozno vrijeme. Regularne vremenske rezerve najčešće su dio voznog vremena svakog vlaka i mogu biti distribuirane tijekom cijelog putovanja ili koncentrirane na kraju putovanja nekog vlaka. U gradsko-prigradskome prijevozu regularne vremenske rezerve obično nisu samo sastavni dio voznog vremena vlaka, nego se ugrađuju i u vrijeme zadržavanja vlaka na stajalištu. To otvara mogućnost korištenja vremena raspoloživog za zadržavanje vlaka u slučaju kada treba nadoknaditi vrijeme korišteno za vožnju s uštedom pogonske energije [7].

U tome pogledu postoji mogućnost da se period između trenutka polaska gradsko-prigradskog vlaka iz prethodnog odnosno sljedećeg stajališta podjeli na njegovo vrijeme u vožnji i na vrijeme njegova zadržavanja na sljedećem stajalištu. Pritom se može odrediti više različitih režima vožnje vlaka između tih dvaju stajališta te u skladu s time i više različitih vremena zadržavanja na sljedećem stajalištu. Jedan od predviđenih režima vožnje smatra se inicijalnim i on se koristi prilikom planiranja trase vlaka u voznome redu. U slučajevima da se dogodi situacija koja nije mogla biti predviđena prilikom planiranja voznog reda (npr. kašnjenje vlaka pri polasku iz prethodnog stajališta, ili povećani broj putnika u vlaku ili na sljedećem stajalištu, što otvara mogućnost produljenja planiranog vremena za ulazak u vlak i/ili izlazak iz

njega), vlak za svoju vožnju može koristiti jedan od unaprijed određenih alternativnih režima vožnje [7]. Moguće je generirati različite strategije vožnje ovisno o situacijama koje se mogu dogoditi, a utječu na poremećaj prometa vlakova, odnosno narušavanju planiranog voznog reda. Strojovođa može odabrati strategiju ovisno o potrebama i trenutnom stanju na pruzi koja može biti prikazana na vizualnom sučelju, ili može biti tiskana na papiru.

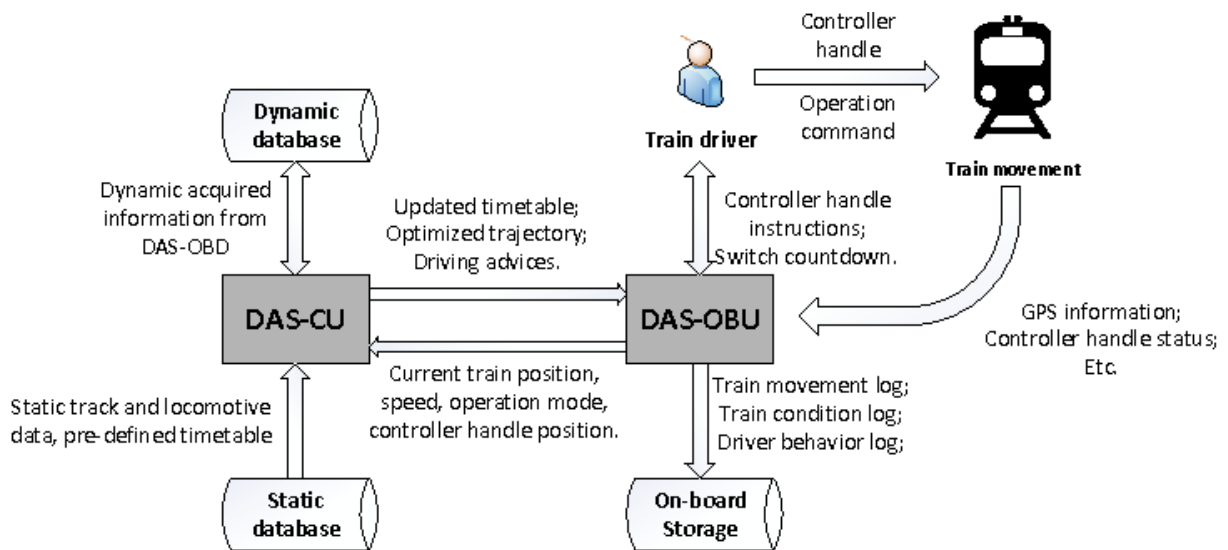
### **2.1.2. Dinamički autonomni sustavi podrške u vožnji vlaka**

Razvojem i primjenom novih računalnih tehnologija moguće je izvoditi složenije algoritme koji su u svojim proračunima uključuju i trenutne podatke o kretanju vozila. Takve sustave nazivamo dinamički autonomni sustavi podrške vlaka.

Cilj primjene ovakvih sustava je unutar okvira planiranog voznog reda predvidjeti optimalnu vožnju vlaka, a da vozni red pritom ostane stabilan. Autonomni sustavi ne zahtijevaju nikakvu infrastrukturnu opremu kao ni komunikaciju s kontrolnim centrom. U slučajevima kada je glavni prioritet ušteda pogonske energije najčešća je primjena ovakvog sustava. Strojovođa na temelju periodičnih izmjena voznog reda koristi proračunate strategije vožnje, koje su mu uručene prije početka vožnje. Postoje dvije razine autonomnih sustava, a one su S-DAS i N-DAS.

Primjena S-DAS (eng. Standalone Driver Advisory System) odnosi se na princip dodjeljivanja strategija vožnje strojovođi prije samog putovanja, na temelju izmijenjenog voznog reda. Za razliku od S-DAS sustava, N-DAS (eng. Networked Driver Advisory System) sustav omogućava komunikaciju s jednim ili više kontrolnih centara željezničkih prijevoznika, čime se omogućuje slanje podataka vlaku, uključujući ažurirane vozne redove ili usmjeravanje vlaka, iako to nisu podaci u stvarnom vremenu, već se periodično mijenjaju. Primjenom takvih sustava moguće je odrediti optimalan način kretanja vozila čak i ako vozilo odstupa od zadane trase. Vozila su opremljena računalom koje sadrži softwara koji pomoću naprednih algoritama na temelju statičkih i u stvarnom vremenu prikupljenih dinamičkih podataka proračunava optimalan režim kretanja vozila. Također, vozilo je opremljeno odometrom, GPS sustavom ili

ECTS sustavom (eurobaliza) kako bi moglo očitati podatke o položaju i brzini vozila. Uzimajući u obzir te podatke, izvršava se proračun na temelju kojeg se odabire strategija što energetski učinkovitije vožnje vlaka. Ovaj sustav je autonoman, što znači da je neovisan o trasama drugih vlakova s kojima dijeli infrastrukturu.



**Slika 2.** Shema N-DAS sustava

Izvor: [8]

### **2.1.3. Dinamički mrežno orijentirani sustavi podrške u vožnji vlaka**

Dinamički mrežno orijentirani sustav podrške u vožnji vlaka može se smatrati najvišom razinom ovakvih sustava. Ovakvi se sustavi nazivaju još i C-DAS (eng. Connected Driver Advisory System). Ovaj koncept omogućava komunikacijsku vezu između DAS jedinice na vozilu i centra za upravljanje prometom (TMS) u svakom kontroliranom području u kojem se vlak nalazi. Odabir strategije vožnje ne ovisi samo o trasi pojedinog vlaka koja je predviđena voznim redom, već se strategija, odnosno režim vožnje definira na temelju trenutnog stanja cjelokupnog prometa na određenom dijelu mreže. Ovakve sustavi podrške u vožnji vlaka zapravo čine dva podsustava [1]. Prvi podsustav je TMS koji definira zahtjeve vremenskog raspona u stvarnom vremenu s obzirom na raspored i pridržavanje voznog reda, dok DAS definira optimalni stil vožnje u granicama vremenskih zahtjeva.

TMS (eng. Traffic Management System) u željezničkom sustavu predstavlja centralizirani način upravljanja prometom koji omogućuje dispečeru da iz jednog mjesta, kontrolnog ureda, preko upravljačkog sučelja sudjeluje u procesu regulacije prometa i vođenja vlakova na dijelu željezničke mreže za koju je nadležan. Kada je cilj optimalno vođenje i upravljanje željezničkim prometom, prometnici konvencionalnim načinom nemaju uvid u trenutno stanje prometa na širem području mreže te ne mogu poduzeti zadovoljavajuće aktivnosti u regulaciji prometa. Pristupom centraliziranog upravljanja željezničkim prometom moguće je pratiti trenutno stanje prometnog procesa što je preduvjet za učinkovito odvijanje željezničkog prometa. Dispečeri u kontrolnim centrima putem prilagođenih sučelja (Slika 3.) mogu analizirati trenutna stanja na mreži za koju su odgovorni. Također, mogu stupiti i u glasovnu komunikaciju sa strojovođom. U slučaju neočekivanih izvanrednih događaja dispečeri koji reguliraju promet u mogućnosti su pravodobnom i učinkovitom reakcijom spriječiti daljnje poremećaje koji mogu biti rezultat neočekivane situacije. [18]



**Slika 3.** TMS kontrolni ured sa potrebnim sučeljima

Izvor: [22]

TMS u stvarnom vremenu prenosi informacije o ažuriranom voznom redu, preusmjeravanjima i ograničenjima brzine DAS u. Također informacije sa vlaka u realnom vremenu šalju podatke TMS-u, a na temelju tih trenutnih podataka moguće je donošenje preciznijih i točnijih odluka u regulaciji prometa. Ovakav koncept vođenja i upravljanja željezničkim prometom omogućava dinamičko ažuriranje voznog reda, preusmjeravanje vozila i ograničenja njihove brzine u stvarnom vremenu, na temelju informacija poslanih iz vlakova u kontrolni centar kako bi se poboljšale odluke regulacije. Cilj ovog sustava je optimizirati protok i odvijanje željezničkog prometa u cjelini dinamičkom prilagodbom voznog reda kako bi se izbjegli mogući konflikti vlakova.

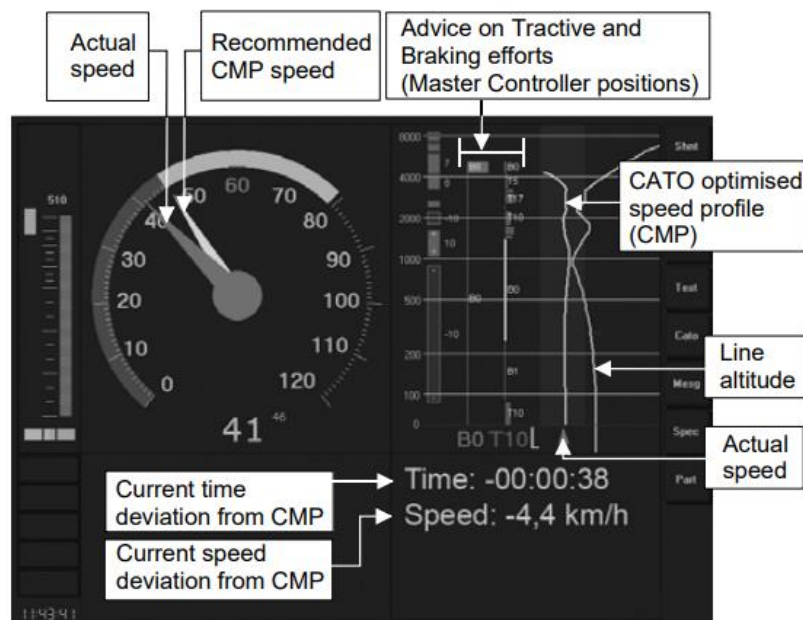
Konfiguracija mrežno orijentiranih sustava podrške u vožnji može se mijenjati ovisno o vrsti aplikacije, no uglavnom se sastoji od dvije jedinice, na vozilu, te jedinice na pruzi. Pružna jedinica odgovorna je za prikupljanje i raspoređivanje podataka dobivenih od TMS-a. Jedinica na vozilu je odgovorna za izvršavanje proračuna optimalnog profila vožnje i za predstavljanje savjetodavnih informacija preko DMI (eng. Driver Machine Interface) strojovođi na temelju primljenih informacija. DMI predstavlja vizualno sučelje preko kojeg strojovođa može očitati razumljive podatke o savjetima koji mu se upućuju. Sučelja mogu biti integrirana u već postojeće zaslone ERTMS/ETCS-a.

Režim vožnje vlakova određuje se djelovanjem sustava podrške u vožnji vlaka instaliranog u vlaku. Taj sustav određuje režim kretanja vlaka na temelju prihvaćenog rješenja za prilagodbu voznog reda koja se kontinuirano prenose u vlak iz TMS kontrolnog ureda. Na taj se način vožnja vlaka pravodobno prilagođava stvarnome stanju u prometu. Jedinica DAS-a instalirana na vlak izračunava energetski učinkovit profil brzine za postizanje unaprijed planiranih ili dinamički ažuriranih voznih vremena vlaka i generira detaljne savjete strojovođi kako bi slijedio profil vožnje i postigao zahtijevani vozni red. Kontrolni centar odgovoran je za otkrivanje konflikata i izračunavanje novog ciljanog vremena vlaka [3].

## 2.2. Primjena sustava podrške u vožnji vlaka

### CATO

Krajem 1990-ih Švedska kompanija Transrail je započela istraživački projekt razvoja sustava s ciljem minimiziranja potrošnje energije i operativnih troškova uz maksimalno povećanje preciznosti i infrastrukturnih kapaciteta. Prva velika ispitivanja sa sustavom, nazvanim CATO (eng. Computer-Aided Train Operation Cato), provedena su s rudarskim željezničkim operatorom LKAB na teretnim prugama na sjeveru Švedske 2010. godine, a Transrail je tehnologiju komercijalizirao 2015. godine. Ova tehnologija spada u mrežno orijentirane sustave podrške u vožnji vlaka ili C-DAS sustave [4].



**Slika 4.** Prikaz sučelja(DMI) CATO jedinice u vozilu preko ECTS-a

Izvor: [4]

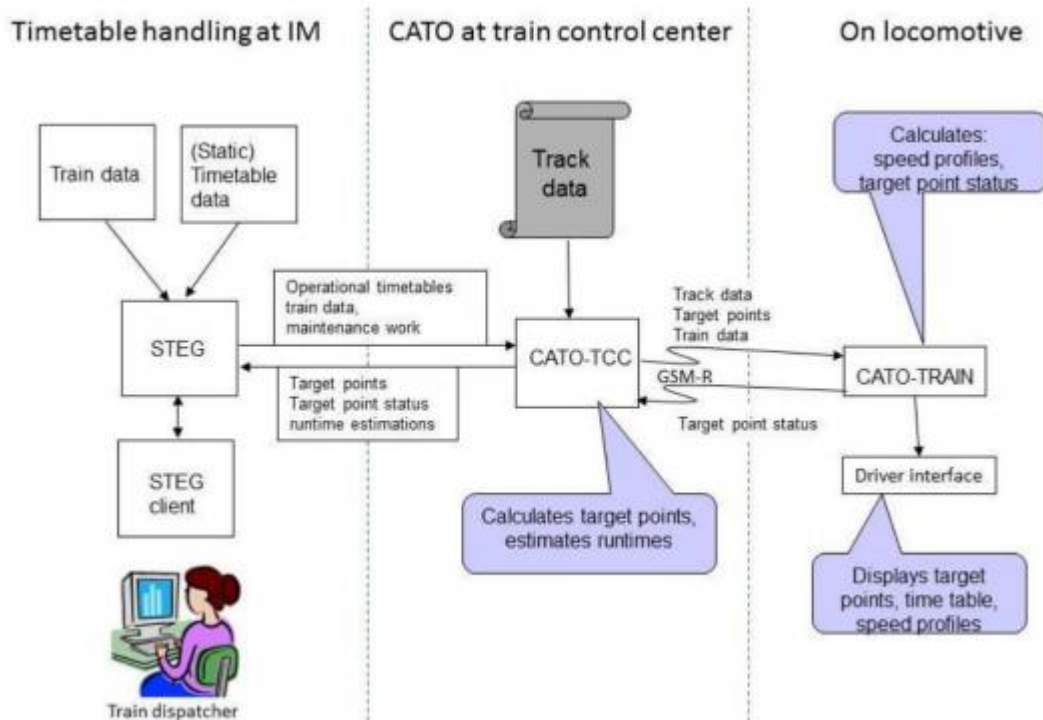
Cato sustav sastoji se od dva osnovna elementa. Prvi element je modul (Cato-TCC) koji izravno komunicira sa TMS-om, a drugi je element modul u kabinama strojovođa (Cato-Train). Ove dvije jedinice komuniciraju putem digitalne radio komunikacije GSM-R. Također, za strojovođu je nužno vizualno sučelje CATO sustava pa je u vozilu instaliran zaslon odnosno DMI (eng. Driver Machine Interface (Slika 4)) koji čini značajan dio ovog sustava jer preko njega



strojovođa može očitati i razumjeti informacije koje mu pomažu u što efikasnijoj vožnji vlaka. Također je moguća integracija DMI-a u postojeće sučelje ECTS-a u upravljačnici [4].

Cato TCC je kontrolna jedinica povezana s centralnim sustavom za upravljanje željezničkog prometa (TMS) te kontinuirano prima ažurirane informacije o aktualnim voznim redovima koje su prilagodili dispečeri ovisno o trenutnom stanju prometa na željezničkoj mreži. Podaci o voznim redovima šalju se svakom vozilu koje opremljenom Catom [4].

Cato-Train na temelju primljenih podataka od Cato TCC-a izračunava profil optimalne brzine te određuje režim vožnje koja je potrebna kako bi vlak na vrijeme stigao na odredište, a pritom poštujući zadani vozni red te ostvarujući što efikasniju potrošnju pogonske energije [4].



**Slika 5.** Shema procesa CATO DAS sustava

Izvor: [4]

### **3. ANALIZA RAZVOJA I PRIMJENE AUTOMATSKE VOŽNJE VLAKOVA**

Osobe koje upravljaju željezničkim vozilima čak i kada dobiju točne i optimalne upute za upravljanje i vožnju vlaka, teško ih mogu prenijeti u precizne i pouzdane upravljačke unose. U mnogim industrijama čovjek je zamijenjen naprednim automatskim sustavima koji zamjenjuju njegove djelovanje u raznim procesima.

U cilju povećanja učinkovitosti u procesima odvijanja željezničkog prometa, osim primjene sustava podrške u vožnji vlaka, danas je zahvaljujući tehnološkom razvoju sve prisutnija primjena sustava automatske vožnje vlaka (eng. Automatic Train Operation - ATO). Taj sustav predstavlja sljedeći korak u optimizaciji regulacije prometa i vođenja vlakova.

Automatizacija podrazumijeva upotrebu upravljačkih sustava i informacijskih tehnologija u svrhu smanjenja potrebe za ljudskom intervencijom. Općenito, kada je riječ o primjeni automatizacije u industriji, gotovo da ne postoji grana u kojoj ona nije zastupljena. Također, sve je veća primjena i uloga AI (eng. Artificial Intelligence), umjetne inteligencije, u odlučivanju vođenja različitih automatiziranih procesa. Implementacija takvih znanja i tehnologija može ponuditi mnoge prednosti u vođenju procesa željezničkog sustava bilo kroz primjenu u operacijama vožnje vlaka, u procesu centraliziranog upravljanja željezničkim prometom ili različitim radnjama u službenim mjestima.

### 3.1 Razvoj sustava automatske vožnje vlaka

Primjena automatskog sustava upravljanja željezničkim prometom te operacijama vožnje vlaka prisutna je već gotovo pedeset godina. Još 1967. otvorena je linija londonske podzemne željeznice Victoria Line, te je postala prva linija na svijetu koja je koristila automatski upravljana željeznička vozila.

Operacije vožnje željezničkih vozila na ovoj liniji bila su izvedena poluautomatskim načinom upravljanja STO (eng. Semi - Automatic Train Operation). Vrata kabine strojovođe bila su u potpunosti zapečaćena te je ulazak u kabinu strojovođe bio moguć samo kroz vrata kojima se koriste putnici. Budući da je vlakovima trebala upravljati samo jedna osoba, komande na vratima premještene su sa stražnjeg dijela vozila u kabinu strojovođe. Oprema za kontrolu vlaka bila je postavljena ispod središnjih sjedala, a sastojala se od "crne kutije" koja je obrađivala, odnosno interpretirala signale primljenih s tračnica. Kako bi detektirala signale s tračnica, vozila su bila opremljena sensorima (zavojnica) koje su bile smještene na podvozju vlaka. Jedna je tračnica prenosila sigurnosne signale, odnosno informacije, koje su neprekidno stizale do vlaka. U slučaju prekida toka tih sigurnosnih informacija vlak bi se trenutno počeo zaustavljati. Prekid prijenosa sigurnosnih signala s tračnica na vozilo automatski bi aktivirao kočnicu. Druga tračnica prenosila je upravljačke signale, odnosno podatke o zadanoj brzini kretanja vlaka, te podatke potrebne za procese optimalnog pokretanja i zaustavljanje vlaka. Strojovođama, odnosno vozačima koji su upravljali na ovoj liniji, status je promijenjen u prijevoznike vlakova jer više nisu imali svrhu upravljanja vožnjom vlaka već su bili odgovorni za funkcije otvaranja i zatvaranja vrata, te odobravanje pokretanja vlaka. Svi ostali postupci kao što su zaustavljanje na signalima, pokretanje vozila, regulacija brzine vožnje te zaustavljanje vlaka bili su potpuno automatizirani.

Prva u cjelini potpuno automatizirana željeznička mreža za javni prijevoz putnika bez vozača je Port Island Line u gradu Kobe u Japanu. Prvi automatizirani metro u Europi otvoren je u gradu Lille-u na sjeveru Francuske 1983. Činile su ga dvije linije koje su povezivale 60 stanica, a ukupna duljina linije iznosila je 45 km. 1985. u Vancouveru u Kanadi uveden je potpuno automatizirani metro Sky-Train koji ima tri linije i 47 stanica. Tijekom 1990-ih izgrađena su tri nova francuska automatizirana metro sustava i četiri nova azijska automatizirana metro sustava, a ukupna duljina automatiziranih linija dosegla je 196 km.

2016. godine u radu je bilo 789 km automatiziranog metroa koji se sastoji od 53 linije i 822 postaje u 36 gradova, gdje se 50% koncentriralo u četiri zemlje, uključujući Francusku, Koreju, Singapur i Ujedinjenih Arapskih Emirata. Među tim zemljama Francuska je na prvom mjestu po duljini metro linija sa DTO sustavom (vidi opis na str. 17), a udio je oko 16%. Danas je u prometu već više od 1000 km metro linija diljem svijeta. [19]

Prema Međunarodnom udruženju za javni prijevoz (UITP eng. The International Association of Public Transport), u željezničkom prometu definirano, je pet stupnjeva automatizacije (eng. Grades of Automation - GoA). U Tablici 1. prikazani su stupnjevi automatizacije sa svim značajkama pojedinog razreda. Također postoji i nulti GoA0 stupanj automatizacije koji podrazumijeva klasični sustav upravljanja željezničkim prometom s vožnjom na pogled bez upotrebe ikakvih automatskih ili naprednih sustava upravljanja. Pojedini razred automatizacije definira udio ljudske odgovornosti u vođenju i upravljanju određenim operacijama željezničkog prometnog procesa.

**Tablica 1.** Stupnjevi automatizacije željezničkog prometa

GoA	NADZOR VLAKA	POKRETANJE VLAKA I VOŽNJA	ZAUSTAVLJANJE VLAKA	ZATVARANJE VRATA	UPRAVLJANJE U HITNIM SITUACIJAMA
GOA1	ATP/STROJOVOĐA	RUČNO (STROJOVOĐA)	RUČNO (STROJOVOĐA)	RUČNO (STROJOVOĐA)	RUČNO (STROJOVOĐA)
GOA2	ATO/ STROJOVOĐA	AUTOMATSKI	AUTOMATSKI	RUČNO (STROJOVOĐA)	RUČNO (STROJOVOĐA)
GOA3	ATO/OSOBLJE VLAKA	AUTOMATSKI	AUTOMATSKI	RUČNO (OSOBLJE)	RUČNO (OSOBLJE)
GOA4	ATO	AUTOMATSKI	AUTOMATSKI	AUTOMATSKI	AUTOMATSKI

Stupanj automatizacije ovisi o udjelu automatiziranih operacija koje sudjeluju u prometnom procesu. ATO – automatska vožnja vlaka samo je jedan od procesa koji je nužan na putu do potpuno autonomnog upravljanja i vođenja prometa, odnosno četvrtog razreda automatizacije GoA4. Različiti stupnjevi automatizacije podrazumijevaju korištenje određenih podsustava koji su odgovorni za samostalno upravljanje ili vođenje pojedinih procesa, i sigurnost odvijanja prometa. Uz ATO postoje različiti automatizirani sustavi koji su odgovorni za određene sigurnosne ili upravljačke funkcije [5].

### **3.1.1. Prvi stupanj automatizacije GoA1**

Prvi stupanj automatizacije željezničkog prometa GoA1 (eng. Grade of Automation 1) ne podrazumijeva automatsku vožnju vlaka, već samo uporabu sigurnosnih sustava za prevenciju mogućih nedozvoljenih situacija koji mogu narušiti sigurnost željezničkog prometa. Sve radnje i naredbe potrebne za upravljanje vožnjom vlaka dolaze od strane strojovođe, osim u slučaju kada strojovođa ne reagira u skladu s trenutnom situacijom u prometu, kao što je nepoštivanje signala ili ograničenja brzine. U takvim izvanrednim situacijama kada strojovođa ignorira zadana ograničenja, kontrolu nad vozilom preuzima sustav automatske zaštite vlaka.

#### **3.1.1.1. ATP - automatska zaštita vlaka**

Automatska zaštita vlaka (eng. Automatic Train Protection – ATP) prva je i najniža razina te ujedno i prvi korak pri uvođenju automatizacije procesa u željezničkom sustavu. Temeljna zadaća ovog sustava je sprečavanje prelaska preko crvenog signala te prekoračenja ograničenja brzine. Obavlja se nadzor nad vozilom tako što se kontinuirano provjerava je li brzina vlaka kompatibilna s dozvoljenom brzinom na određenom dijelu otvorene pruge ili u nekom službenom mjestu. Također se provodi prevencija prelaska preko crvenog signala. ATP sustavi koriste i zvučna upozorenja kako bi upozorili strojovođu da vlak vozi nedozvoljenom brzinom nakon vremenske provjere pokrenute u trenutku kada je prošao pored signala ograničene brzine ili u najgorem slučaju pored signala koji pokazuje zabranjenu vožnju. Ukoliko dođe do jednog od ovih scenarija, automatski se aktivira kočenje te se vlak zaustavlja.

Sustav ATP se sastoji od dva elementa, jedinice na pruzi i u vozilu. Element na pruzi naziva se baliza, koja predstavlja elektronički uređaj koji šalje signal ATP jedinici na vozilu. Ovisno o potrebnoj aktivnosti, baliza šalje određeni signal vozilu koji se razlikuje ovisno o frekvenciji elektromagnetskog polja koje generira baliza. Primjena sustava automatske zaštite vlaka prisutna je širom svijeta te postoji mnogo različitih proizvođača opreme sustava ATP-a. U svijetu i Europi razvijeno je te se koristi mnogo raznih ATP sustava koji se razlikuju ovisno o nacionalnim zahtjevima, tehničkim standardima ili prometnim pravilnicima. U svrhu bolje interoperabilnosti u Europi je razvijen ETCS (eng. European Train Control System) sustav koji podrazumijeva standardizirani ATP sustav, te nalazi sve veću primjenu baš zbog te karakteristike. Automatska zaštita vlaka predstavlja sigurnosnu komponentu svake razine sustava automatske vožnje vlaka.

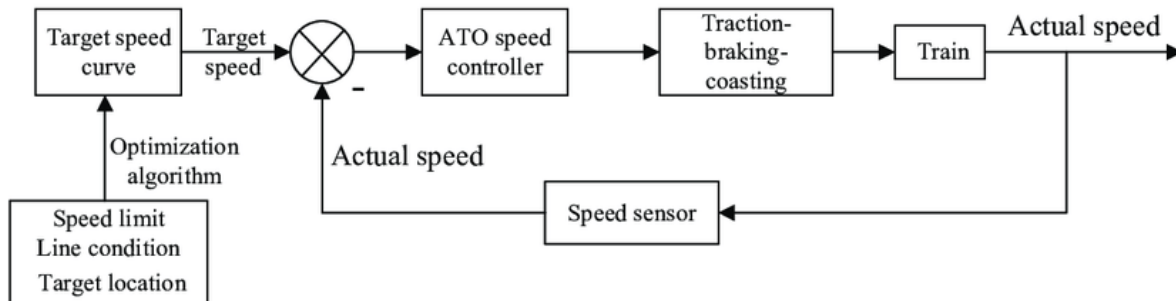
### **3.1.2. Drugi stupanj automatizacije GoA2**

Ovaj stupanj automatizacije može smatrati prekretnicom između ručne i automatske vožnje vlaka. GoA2 stupanj automatizacije željezničkog prometa podrazumijeva princip poluautomatske vožnje vlaka (STO - eng. Semi-Automatic Train Operation). Takav koncept upravljanja vozilom najbliži je sustavu autopilota kod zrakoplova u zračnom prometu. U normalnim, predvidivim okolnostima primjena ovog stupnja automatizacije djelomično isključuje strojovođu iz procesa vožnje vlaka. Strojovođa je prisutan u upravljačkoj kabini, ali ne upravlja vozilom već nadgleda vožnju te kontrolira otvaranje i zatvaranje vrata za ulaz i izlaz putnika. U hitnim slučajevima ili kada je to potrebno, strojovođa može preuzeti nadzor nad vozilom te nastaviti vožnju na temelju njegovih upravljačkih naredbi.

#### **3.1.2.1. ATO – automatska vožnja vlakom**

Sustav automatske vožnje vlaka ključan je kako bi se omogućilo upravljanje vozilom bez ljudskog unosa upravljačkih naredbi. To je sustav instaliran na samom vozilu. Na temelju primljenih podataka o voznom redu, ograničenjima brzine ATO proračunava optimalan režim vožnje u definiranim uvjetima te poduzima upravljačke akcije pogonskim sustavom

željezničkih vozila i kočničkim sustavom i tako omogućava automatizirano pokretanje, ubrzanje, ustaljenu vožnju, vožnju sa zaletom, kočenje i zaustavljanje vlaka.



**Slika 6.** Shema strukture ATO putne jedinice instalirane na vozilu

Izvor: [23]

Na slici 6 prikazan je dijagram koji opisuje proces izvršavanja operacije automatske vožnje vlaka. TMS kontinuirano prenosi najnovije informacije ATO sustavu, tako da se profil optimalne brzine može izračunati u bilo kojem trenutku. Na temelju ovog profila brzine izračunava se optimalna vozna strategija. Tada sustav pretvara informacije u točne naredbe za pogonski sustav te za upravljanje kočnicom. To osigurava da se svi postupci ubrzanja i kočenja vozila izvršavaju na temelju optimiziranih profila brzine, kao i ažurnih podataka o trasi vlaka i voznom redu. Kretanje vlaka s obzirom na zadanu trasu konstantno je praćeno, kako bi se mogle poduzeti akcije u slučaju odstupanja od trase.

### 3.1.3. Treći stupanj automatizacije GoA3

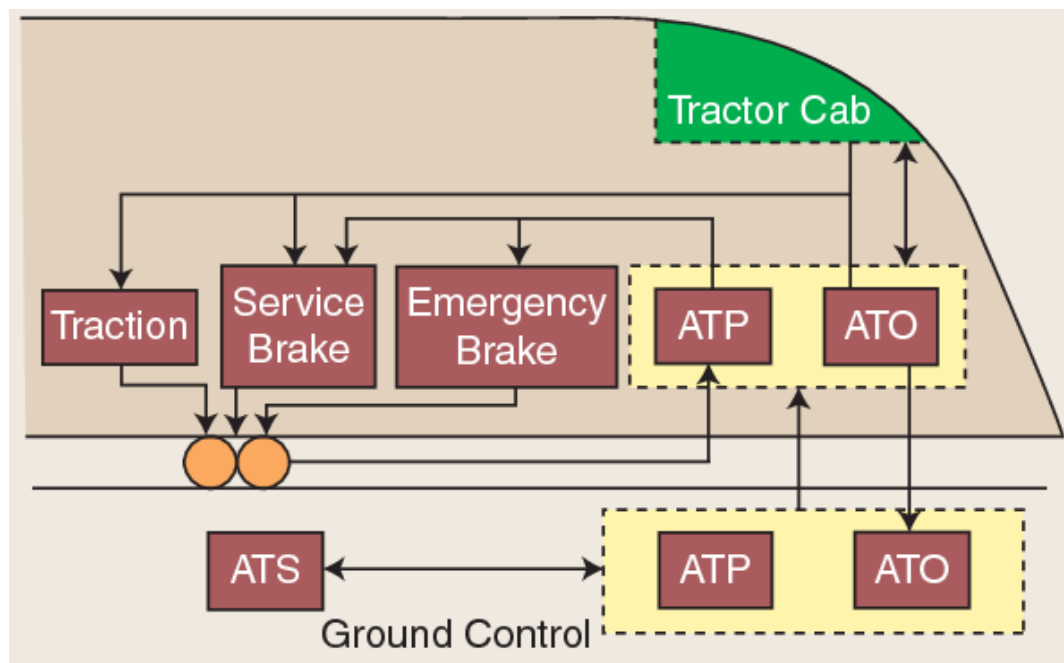
Treći razred automatizacije upravljanja željezničkim prometom sličan je GoA2 razredu, ali ključna je razlika u tome što sada strojovođa više nije uopće prisutan u vozilu. Takav način automatske vožnje vlaka naziva se DTO (eng. Driverless Train Operation). Njega zamjenjuje osoblje vlaka koje ne mora biti nužno prisutno u upravljačkoj kabini vozila, već može biti na

usluzi putnicima ako je potrebno. Također, u slučaju neplaniranih događaja u željezničkom prometu, osoblje vlaka preuzima kontrolu nad upravljanjem vlaka.

Kako bi se postigla potrebna razina sigurnosti za takvu vožnju, potrebno je cjelokupno djelovanje svih sustava ATC-a. Dakle, osim već spomenutih ATP i ATO, ova razina automatizacije vožnje vlaka podrazumijeva integraciju ATS sustava koji će biti odgovoran za automatsko vođenje vlakova na mreži.

#### 3.1.4.1. ATS - automatski nadzor vlaka

ATS (eng. Automatic Train Supervision) sustavi su ekspertni sustavi koji pomoću računalne tehnologije reguliraju željeznički promet na temelju informacija o trenutnom stanju na mreži kojoj je TMS nadležan. ATS pomoću algoritama generira optimalan ishod prometnog stanja na temelju kojeg donosi odluku o trenutnim izmjenama voznog reda, promjenama trasa vlakova i te informacije prosljeđuje ATO i ATP jedinicama instaliranim na pruzi koje prenose informacije ATP i ATO jedinicama na vozilu, a oni poduzimaju aktivnosti na temelju proračuna, te dalje izvršavaju akcije za koje su odgovorni. Također, promet preko ATS može regulirati TMS iz kontrolnog ureda, dok će ATS nadzirati i alarmirati ako pronade moguću grešku.



Slika 7. Struktura elemenata ATC-a

Izvor: [24]



Automatska kontrola vlaka (ATC eng. Automatic Train Control) podrazumijeva zajedničko međudjelovanje ATO, ATP i ATS sustava pri izvođenju operacija potrebnih za automatsku vožnju vlaka. Svi sustavi ATC-a (Slika 7.) zajednički sudjeluju u regulaciji prometa i vođenju vlakova, unutar definiranog voznog reda međusobnom interakcijom pritom svaki obavljajući svrhu za koju je odgovoran. Sustav ATP sigurnosna je komponenta, dok je ATO odgovoran za upravljanje željezničkim vozilom bez strojovođe. ATS nadzire trenutno stanje prometa na pruzi te razmjenjuje informacije sa TMS-om. ATS samostalno, ili u suradnji sa TMS-om uspoređuje trenutna i planirana stanja u prometu, te na temelju odstupanja generira optimalne trase vlakova, koje će omogućiti najučinkovitije odvijanje prometa.

#### **3.1.4. Četvrti stupanj automatizacije GoA4**

Četvrti stupanj automatizacije predstavlja ujedno i zadnju fazu odnosno postignuće potpuno autonomnog upravljanja željezničkim vozilima. Sustavi koji spadaju u GoA4 razred, proces vožnje vlaka izvršavaju u potpunosti bez prisustva strojovođe ili bilo kakvog osoblja vlaka. Takav način vožnje vlaka naziva se UTO (eng. Unattended Train Operation). Ovi sustavi opremljeni su i koriste se uglavnom svom opremom kao i u GoA3 koja podrazumijeva ATC sustava. Dakle, u GoA4 budući da nema osoblja, funkcije upravljanja vlakom u izvanrednim situacijama i zatvaranju vrata za putnike sada obavlja sustav ATC u potpunosti. Peroni stanica omeđeni su ogradama (slika 8.) koje imaju klizna vrata na mjestima gdje će se nalaziti vrata vlaka kada se zaustavi. Takve su ograde nužne budući da više nema strojovođe koji može reagirati u slučaju problema s ulaskom i izlaskom putnika iz vozila ili slučajnim događajima gdje se putnik može naći na tračnicama vlaka.

### 3.2. Primjena sustava automatske vožnje vlaka

Sustavi automatske vožnje vlaka primjenu, kao što je spomenuto, imaju već dugu tradiciju. Različiti sustavi željezničkog prometa u smislu nacionalnog, regionalnog, gradskog i prigradskog prijevoza, te različitih značajki gradova ili zemalja (ekonomski, demografski, industrijski, prometni) zahtijevaju i različita rješenja implementacije automatskih sustava upravljanja vlakovima. Postojeći željeznički sustavi mogu biti zatvoreni kao što su sustavi podzemnih željeznica, a mogu biti i otvoreni što smatramo konvencionalnim mješovitim željezničkim prijevozom na glavnim linijama pruga gradsko-prigradskog i regionalnog prijevoza.



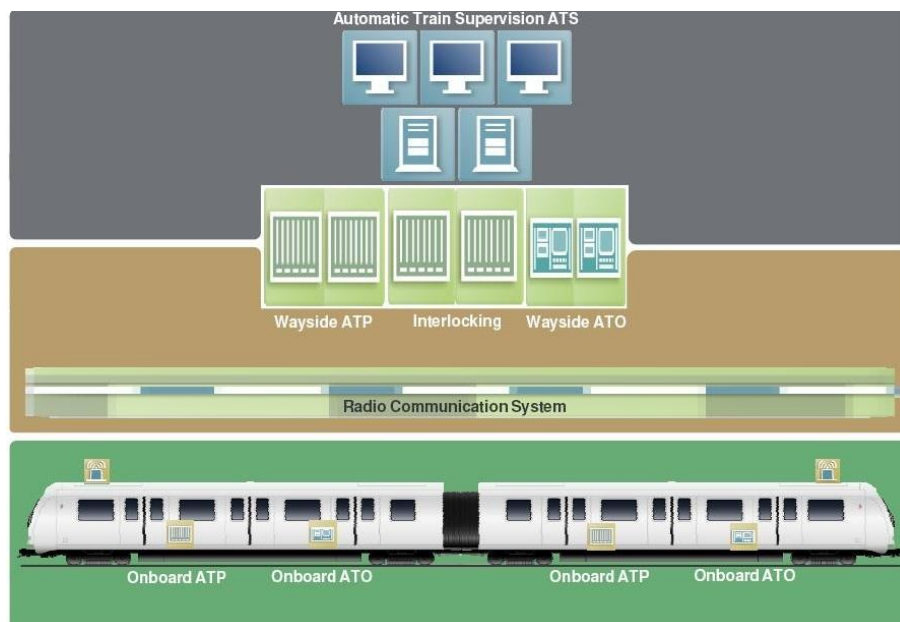
**Slika 8.** Ograde na GoA4 ATO sustavima metroa

Izvor: [25]

### 3.2.1. Zatvoreni željeznički sustavi

#### CBTC

CBTC sustavi najčešće se koriste u gradskim zatvorenim željezničkim sustavima kao što su metro sustavi i sustavi lakih željeznica, no njihova primjena je moguća i u konvencionalnom željezničkom prometu. U modernim sustavima CBTC (on-board) putna računala konstantno vrše proračune i razmjenjuju podatke potrebne za upravljanje vožnje vlaka, te regulaciju cjelokupnog prometa na mreži. Vozila i signalno-sigurnosni uređaji na pruzi opremljeni su opremom za prijenos informacija putem radio komunikacije. Podaci koji se razmjenjuju sadržavaju mnogo parametra, no najznačajniji su položaj vlaka, njegova brzina, smjer vožnje i zaustavni put. Ti podatci omogućuju proračun o zauzeću dijela pruge pojedinim vozilom. Također, podaci su potrebni kako bi kolosiječni sigurnosni uređaji definirali točke koje će osigurati slobodan dio pruge za određeno željezničko vozilo. Vlakovi kontinuirano primaju podatke o prostornom razmaku između njih, te prilagođavaju vožnju u cilju postizanja sigurne udaljenosti. Na slici 9. je prikazana arhitektura CBTC sustava, a ispod su definirani njezini sastavni dijelovi [20].



**Slika 9.** Arhitektura CBTC sustava

Izvor: [20]

Putna ATP jedinica ugrađena na vozilo odgovorna je za kontinuiranu regulaciju brzine vlaka u skladu s ograničenom brzinom i aktiviranjem kočnice u izvanrednim situacijama ako je potrebno. ATP je također zadužen za komunikaciju s pružnim ATP podsustavom što omogućuje razmjenu informacija potrebnih za sigurno odvijanje procesa vožnje.

Putni ATO (on-board) je uređaj ATO sustava na vozilu koji je odgovoran za automatsko upravljanje pogonskim i kočničkim sustavima vozila koji na temelju informacija prikupljenih od ATP-a održava trasu vlaka u zahtijevanim granicama. Njegova je glavna zadaća upravljati vlakom dok vozač ili osoblje nadziru vožnju i upravljaju vratima ili čak u potpunosti samostalno upravljati vozilom bez prisutnosti ikakvog osoblja. ATO uređaj na vozilu u okviru zadanih uvjeta od strane ATP i ATS sustava proračunava optimalnu strategiju automatske vožnje, kako bi vozilo prilagodilo vrijeme vožnje, vremenu potrebnom za održavanje stabilnosti voznog reda ili smanjenju potrošnje pogonske energije [20].

Pružni ATP preuzima funkciju komunikacije sa vozilima na određenom području. ATP vlaku šalje podatke o ograničenjima kretanja koja vlak mora poštovati dok vozi na određenom području.

Pružni ATO zadužen je za kontrolu odredišta i ciljeva regulacije svakog vlaka. Putna funkcionalnost ATO-a je pružanje podataka svim vlakovima o njihovim odredištima, aktualnim voznim redovima te vremenu boravka na nadolazećim stanicama [20].

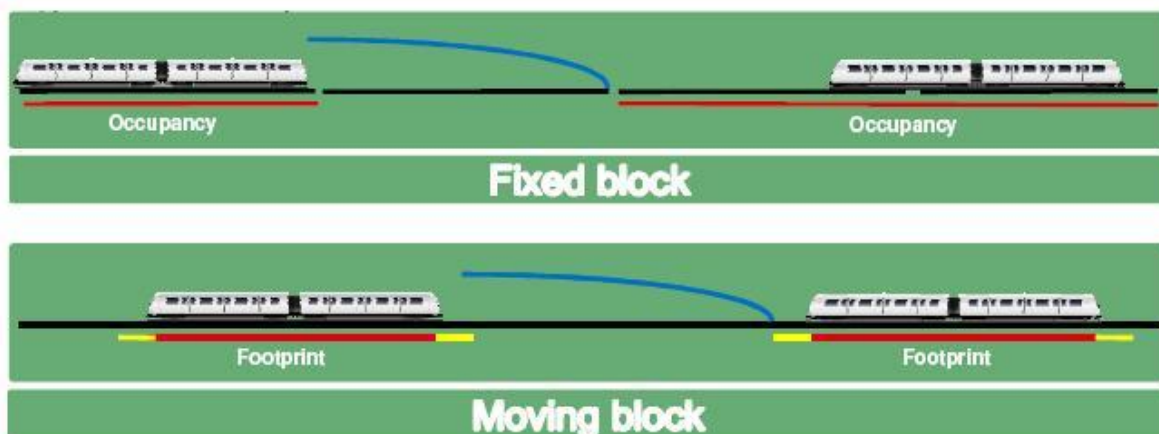
Većina CBTC sustava podrazumijeva integraciju ATS sustava u procesu automatske vožnje vlaka. Njegova glavna zadaća je omogućiti komunikaciju između TMS-a, odnosno dispečera, i ostatka sustava. ATS predlaže optimalna rješenja koja sam sustav ili dispečer primjenjuje u regulaciji prometa [20].

CBTC sustavi primjenjuju različite komunikacijske tehnologije. Komunikacija svih vitalnih dijelova sustava ATP, ATO i ATS može se ostvariti fizički upotrebom kabela instaliranog uzduž kolosijeka ili primjenom digitalnih umreženih radio sustava koji najčešće koriste frekvencije 2,4GHz, iako se mogu koristiti i druge frekvencije, te ostali načini komunikacije bežičnom tehnologijom.

Kod CBTC sustava automatske vožnje vlaka pojavljuje se uporaba pokretnih (virtualnih) blokova. Takav princip regulacije vlakova omogućen je korištenjem brzih i točnijih načina bežične komunikacije između vlakova i kontrolnog ureda (TMS) kao što su GSM-R, 4G i dr. On

doprinosi znatnom povećanju kapaciteta pruge s obzirom na to da smanjuje vrijeme uzastopnih polazaka vlakova, tj. intervale slijeđenja. Dosadašnjom signalizacijom između kolodvora i stajališta otvorena pruga može biti podijeljena prostornim signalima koji određuju granice prostornih odsjeka. Kroz svaki se prostorni odsjek ili blok istodobno može kretati samo jedno željezničko vozilo. Kada ono napusti blok, tek je onda on slobodan za ulazak sljedećeg vozila u njega. Svaki prostorni signal je fiksni i ako se u odsjeku kojeg predstavlja taj signal nalazi vozilo, on će pokazivati stop na početku odsjeka. Takav način vođenja vlakova prikazan je na slici 10 (gore). Crvena linija ispod vozila prikazuje odsjek u kojemu se nalazi vlak i taj je odsjek zauzet. Ispred njega je još dodana linija koja predstavlja zaustavni put sljedećeg vlaka koji nailazi. Ovakva metoda vođenja vlakova znatno smanjuje kapacitet pruge, s obzirom na to da jedan vlak zauzima veliki dio kolosijeka te iz sigurnosnih razloga taj dio pruge mora biti zaštićen [20].

Za razliku od upotrebe metode stalnih, fiksnih blokova, korištenjem pokretnih blokova više nisu potrebni prostorni signali, već se primjenjuje signalizacija u kabini strojovođe. Intervali slijeđenja mogu biti kraći jer se u svakom trenutku može izračunati i odrediti pozicija vlaka na pruzi te njegova brzina. Budući da nema prostornih signala, vlak zauzima dio pruge koji je njegove duljine te sigurnosni dodatak oko vozila (žute linije oko vlaka), odnosno minimalni razmak između vlakova jednak je maksimalnom zaustavnom putu sljedećeg vlaka ovisno o brzini kojom se kreće.



**Slika 10.** Prikaz vođenja vlakova fiksnim blokom i pokretnim blokom

Izvor: [20]

## RIO TINTO (GoA4)

Prva primjena ATO sustava GoA4 razine u konvencionalnom željezničkom prometu primjenu je našla u teretnom transportu. Rio Tinto je rudarska i željeznička tvrtka koja upravlja flotom od oko 200 dizel-električnih lokomotiva koje prevoze željeznu rudu iz 16 rudnika do četiri lučka terminala. Vlakovi na povratnom putovanju prosječno prolaze oko 800 km, s prosječnim ciklusom putovanja, uključujući utovar i istovar, oko 40 sati. Svaki vlak od 240 vagona, dugačak 2,4 km, zahtijeva vuču od dvije ili tri lokomotive, koje prevoze oko 28 000 tona željezne rude. Kako bi povećali efikasnost prijevoza i bolju profitabilnost kompanije, smanjenjem troškova i povećanjem kapaciteta prijevoza, kompanija se odlučila za automatizaciju svoje teretne željezničke mreže na razinu GoA4 [13].

Tehnologija koja se koristi u implementaciji na ovoj liniji nazvana je AutoHaul, a razvio ju je Ansaldo STS. Temelji se na ETCS Level 2 i ATO u 4. stupnju automatizacije (GoA4). Ovo je ujedno i prva primjena GoA4 stupnja ATO-a na konvencionalnoj željeznici. Implementacija i testiranja izvođena su od 2015.-e i odvijala su se u četiri faze [13].

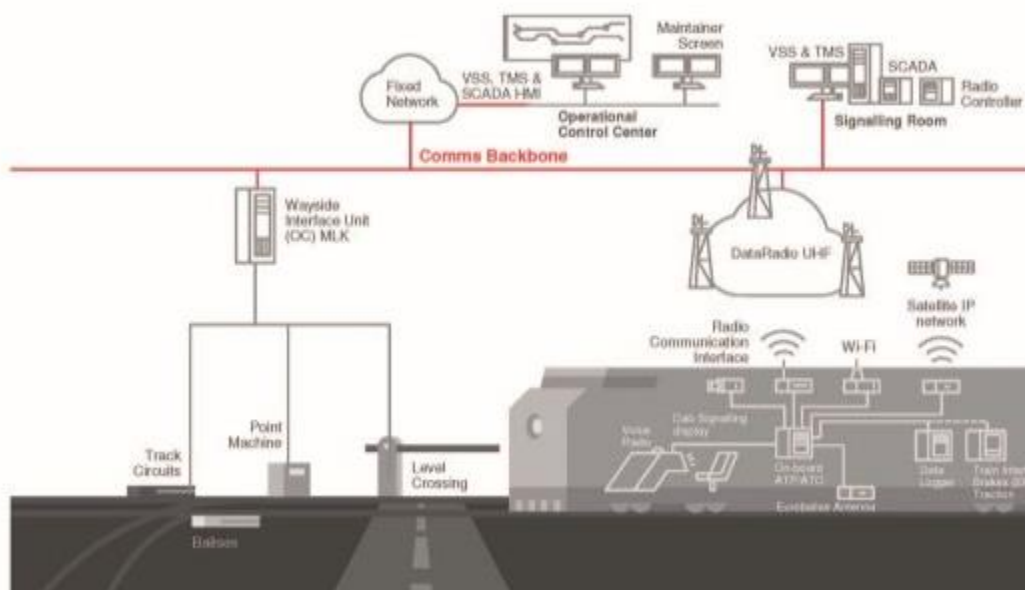
Prva faza bilo je predstavljanje ATP sustava kao vitalnog sigurnosnog sustava koji pokriva cijelu mrežu, što je pružalo okvir za naknadno uvođenje ATO-a. U drugoj fazi strojovođa je ostao zadužen za vožnju, ubrzanje i kočenje vlaka. Međutim, ATO sustav bio je spojen s upravljačkim sučeljem vozača (DMI), s tim da je algoritam predložio optimalni profil vožnje prema unaprijed određenoj strategiji vožnje. U trećem i četvrtom stupnju ATO je bio zadužen za kontrolu gasa i kočnice, te za sva DMI sučelja lokomotiva, kako bi se omogućila samostalna vožnja vlaka. U trećoj fazi, strojovođa je bio prisutan u upravljačnici, u funkciji nadzora nad vlakom dok, je u četvrtoj fazi vožnja izvršena u potpunosti bez strojovođe [9].

ATP sustav kao i ETCS koristi mrežu baliza za grupno referenciranje i pokretanje elemenata na pruzi. ATO element oslanja se na dva odvojena kanala, jedan iz upravljačkog centra, a drugi iz unutarnje jedinice, koji su međusobno povezani i komuniciraju. Kod implementacije ETCS-a napravljena je izmjena u komunikaciji te je GSM-R zamijenjen UHF (eng. Ultra High Frequency) komunikacijom, koja je već bila instalirana u svrhu upravljanja željezničko-cestovnim prijelazima. Budući da ETCS u ovom slučaju nije instaliran na europskom području, ovu izmjenu bilo je moguće provesti, odnosno nisu se morali poštovati europski protokoli [2].

ATO sustav prikuplja informacije od ATP sustava o trenutnom putovanju, brzini i lokaciji vlaka, iz kojeg sustav obavlja vlastiti proračun za rad. Proračuni tih trasa putem drugog kanala šalju se TMS-u. Za razliku od ATP podataka, ove informacije nemaju sigurnosnu ulogu, ali su potrebne za samo upravljanje vozilima. One uključuju podatke o voznom redu definirane od strane operatera i informacije potrebne za strategiju vožnje. ATO uključuje podatke o trasi vožnje, bazu podataka o cijeloj mreži i algoritam koji nadgleda putovanje vlaka i proračunava upravljačke informacije. Na temelju toga izlaznim informacijama upravlja kretanjem željezničkog vozila. Posebna je pozornost posvećena na interakciji s osobnim vozilima na ŽCP-ima, pa je sustav opremljen još i laserskim sustavom za otkrivanje prepreka koji je spojen na ATP te 4K HD kamerama koje pružaju jasan pogled na željezničko-cestovne prijelaze. Lokomotive opremljene softverom AutoHaul također imaju ugrađene kamere za omogućavanje stalnog praćenja iz operativnog centra TMS-a u Perthu, više od 1500 km južno od regije Pilbara, gdje se odvija prijevoz [13].

Implementacijom ATO-a vlakovi su smanjili potrošnju pogonske energije za čak 20%. Do listopada prošle godine autonomna vožnja povećala se na prosječno 34 vlaka dnevno, što je iznosilo 290.000 km ili 45% dnevno prijeđenih kilometara. Rio Tinto neprestano povećava broj autonomnih putovanja preko svoje mreže, a do sada je pređeno već milijun kilometara autonomno, iako nekoliko vlakova i dalje vozi sa strojovođom prisutnim u vlaku. Potpuna automatizacija vožnje vlaka doprinijela je uštedi vremena putovanja od čak jednog sata dnevno, samo iz razloga jer nije bio potreban transfer osoblja između smjena. Automatizacija će također omogućiti tvrtki Rio Tinto da svoj proizvod lakše prilagodi promjenama tržišnih uvjeta, s obzirom na to da može točno raspolagati zaposlenošću strojovođa koji još upravljaju vlakovima [2,9].

## AutoHaul® System at a Glance



Slika 11. Arhitektura AutoHaul sustava automatske vožnje vlaka

Izvor: [9]

### 3.2.2. Otvoreni željeznički sustavi

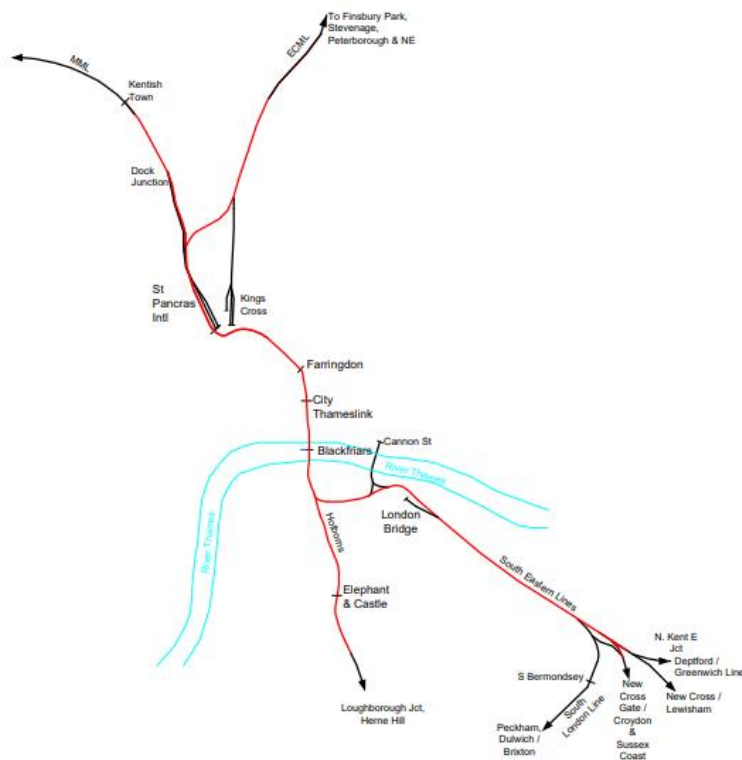
Za razliku od zatvorenih sustava, otvoreni željeznički sustav podrazumijeva mnogo složenije procese upravljanja, što implementaciju sustava automatske vožnje vlaka čini vrlo zahtjevnom. Željeznički sustav koji podrazumijeva gradski-prigradski, regionalni te međunarodni prijevoz, karakteriziraju različiti tipovi i serije željezničkih vozila koji koriste različite sustave zaustavljanja i upravljanja vozilom. Široka rasprostranjenost željezničke mreže zahtijeva veliku količinu infrastrukturne komunikacijske opreme potrebne za funkcioniranje sustava. Preopterećeni vozni redovi, čije trase nerijetko mogu biti u konfliktu te interakcija više različitih željezničkih operatera, uključujući putnički i teretni prijevoz, također predstavljaju specifične zahtjeve.



Vrlo značajan čimbenik u uvođenju ATO sustava je interoperabilnost. Mješoviti željeznički promet zahtijeva mogućnost standardiziranih operacija koje su potrebne za sigurno odvijanje vožnje vlakova. U Europi je prisutna upotreba ETCS-a (eng. European Traffic Control System), no sve se češće koristi i u željezničkim sustavima i u ostalim dijelovima svijeta. Navedene karakteristike zahtijevaju kompleksna rješenja u uvođenju automatske vožnje vlaka u sustave mješovitog željezničkog prometa, te postepenu automatizaciju željezničkih procesa.

## **THAMESLINK (GoA2)**

Govia Thameslink Railway GTR, u suradnji sa Network Rail i Siemensom, ostvarili su prvu primjenu ATO (Automatic Train Operation) uz podršku ETCS (European Train Control System) sustava na glavnim linijama kojim prometuju vlakovi gradsko-prigradskog prometa kroz London. Mreža Thameslink (Slika 9.) se prostire od sjevera do juga Londona obuhvaćajući strogu jezgru grada koja ima jako velike zahtjeve za kapacitetom prijevoza gradskom željeznicom. Razvoj implementacije ATO sustava je bio desetogodišnja zajednička suradnja između Network Rail i Siemens kao dobavljača voznog parka i signalizacijskog sustava te vlasnika željezničke pruge Govia Thameslink (GTR), koja je razvila operativni koncept. Glavni je razlog za pokretanje ovog projekta bio povećanje polaska vlakova sa 16 vlakova/sat na 24 vlaka/sat, što je povećalo kapacitet prijevoza putnika za gotovo 30% [6].



**Slika 12.** Shema željezničke mreže Thameslink

Izvor: [12]

Thameslink sustav gradskog prijevoza se povezuje na željeznice magistralnih linija MML (eng. Middleland Main Line) i ECML (eng. East Coast Main Line). ATO je predviđen na dijelu mreže između stanice Kentish Town na sjeveru i Elephant & Castle i London Bridge na jugu u samo 4 kilometara kratkom središnjem dijelu mreže Thameslinka. Iz tog razloga odlučeno je koristiti ECTS Level 2 Full Supervisor sustav, koji se koristi na glavnim linijama pruga, a u kojeg će se integrirati ATO. Poboľšanje normalne ETCS infrastrukture nije bilo zahtjevno, ali bila je neophodna instalacija posebnih baliza kako bi se postigla točnost potrebna za precizno zaustavljanje vlaka na peronima stanica [11,12].

Uvođenje kombinacije ETCS-a i ATO-a uslijedilo je nakon programa integracije i testiranja sustava. Prva faza ovog postupka završena je u laboratoriju systemske integracije, programskom okruženju za testiranje hardvera koje je Siemens osmislio i izgradio u suradnji s Network Railom. S uspješnim rezultatima, daljnja opsežna ispitivanja provedena su u ETCS Nacionalnoj integracijskoj bazi (ENIF), gdje je također počela upotreba novog vlaka Siemens Class 700. U ENIF-u proveden je i niz testova u samoj jezgri mreže Thameslinka, odnosno

centru Londona. Network Rail je u jesen 2015. godine završio prva ispitivanja opreme ETCS-a gdje je proveo niz testova između stanica Elephant-a i Castle-a a i Kentish Town. Oprema je radila prvi put i demonstrirala tehnički zahtjevan prijelaz s tradicionalne signalizacije na ETCS. Tijekom 2016. i 2017. godine uspješno su provedena daljnja testiranja s novim željezničkim vozilima Siemens Class 700 koji su prometovala između stanica Blackfriar i St. Pancras. U ožujku 2018. uspješno je završena prva testna vožnja vlakom koji je opremljen sustavom automatske vožnje vlaka nad ETCS sustavom. Siemensov sustav automatske zaštite vlaka (ATP), koji je dio ETCS-a, osigurava da se svi procesi u prometu odvijaju uz visoku razinu zaštite [11,12].



**Slika 13.** Prikaz kontrola u Siemens Class 700 vozilima opremljenim ATO sustavom

Izvor: [12]

ATO predstavlja element koji prvenstveno ima namjenu tumačenja ETCS naredbi i na temelju kojih upravlja pogonskim sustavom i zaustavljanjem vlaka. Poboljšanje normalne ETCS infrastrukture prilično je minimalno, ali zahtijeva instalaciju posebnih baliza kako bi se postigla potrebna točnost kako bi se vlakovi precizno zaustavljali na peronima stanica. ATO je

odgovoran za upravljanje vožnjom vlaka unutar zadanih ograničenja brzine i održavanje potrebnog sigurnosnog razmaka između vozila, koje je odredio ETCS sustav. ETCS Level 2, u okviru cjelokupnog ERTMS paketa, omogućuje ATP sustav SIL4 (razina sigurnosti integracije 4) koji vozaču omogućuje informacije o brzini i udaljenosti od kretanja putem GSM-R radija za praćenje vlaka. Takav princip omogućava sigurno upravljanje vlakovima u kraćim intervalima slijeđenja, što rezultira povećanjem protoka prometa. U slučajevima prekoračenja dozvoljene brzine ili sigurnosnog razmaka između vozila ATP jedina ETCS sustava će poduzeti akcije kako bi vlak sigurno nastavio vožnju ili se zaustavio.

TMS ima ulogu otkrivanja konflikata u voznom redu i kašnjenja vlakova, te na temelju toga treba ponuditi rješenje za optimalnu regulaciju prometa vlakova s ciljem da se potencijalni poremećaji svedu na minimum. Nakon što je određeno rješenje potvrđeno, na temelju njega se daju naredbe, automatski ili od strane dispečera, ostalim sustavima koji sudjeluju u procesu automatske vožnje. Od automatske regulacije vlaka ATR (eng. Automatic Train Regulation) unutar upravljačkog sustava TMS, ATO jedinica prima ciljno vrijeme dolaska za sljedeću postaju, omogućujući joj precizno podešavanje brzine vlaka, kako bi se postigla što energetski učinkovitija i preciznija vožnja.

## **4. ANALIZA UTJECAJA PRIMJENE SUSTAVA PODRŠKE U VOŽNJI I AUTOMATSKE VOŽNJE VLAKA NA UČINKOVITOST ŽELJEZNIČKOG PROMETA**

Utjecaj koji sustavi podrške u vožnji vlaka i sustavi automatske vožnje vlaka imaju na željeznički promet prvenstveno se razmatra u pogledu smanjenja potrošnje električne energije i povećanja kapaciteta prijevoza na postojećoj mreži. Potencijal DAS i ATO rješenja uglavnom ovisi o vrsti i značajkama usluge.

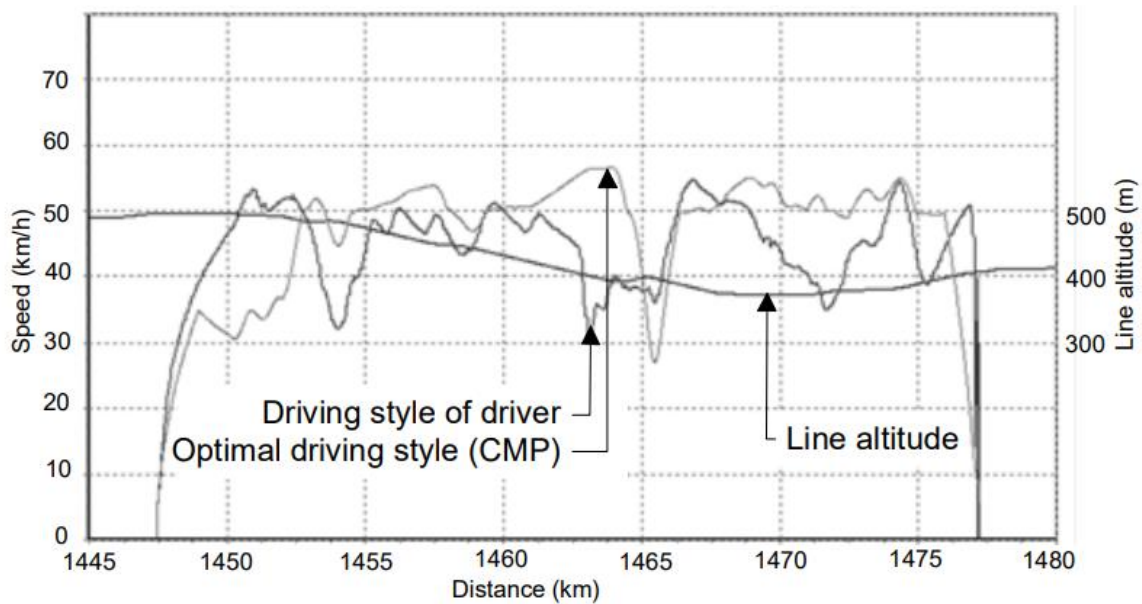
UIC (Međunarodna željeznička unija) i CER (Zajednice europskih željezničkih i infrastrukturnih poduzeća) postavile su ciljeve za smanjenje potrošnje energije i emisije CO<sub>2</sub> u željezničkom sektoru za 30% do 2020. te smanjenje od 50% do 2030. godine u odnosu potrošnju iz 1990. (UIC 2012.). Također, Europske željeznice imaju za cilj do 2050. godine u potpunosti izbaciti ugljikovodike kao pogonsku energiju za željeznička vozila. Naime, 85% od ukupne energije koja je potrebna za djelovanje željezničkog sustava odlazi na energiju potrebnu za vuču željezničkih vozila. Ostatak energije otpada na potrošnju u službenim mjestima te opskrbu infrastrukturne i signalizacijske opreme.

S obzirom na regulative i zahtjeve koji su postavljeni u smislu smanjenja potrošnje energije, danas se diljem svijeta primjenjuju razne tehnologije i strategije koje pridonose ovom cilju. Postoji širok raspon rješenja koja nude koncepte postizanja što ekonomičnijeg i efikasnijeg odvijanja željezničkog prometa. Najčešća je primjena regenerativnog kočenja, praćenje potrošnje energije željezničkih vozila, pametno upravljanje energijom te uporaba obnovljivih izvora energije za pogonsku energiju.

#### **4.1. Utjecaj sustava podrške u vožnji vlaka na željeznički promet**

Svaka implementacija bilo kojeg od u radu već spomenutih sustava podrške u vožnji vlaka, bilo statičkih ili dinamičkih (S-DAS, N-DAS ili C-DAS) polučiti će pozitivne rezultate u kvaliteti, troškovima i efikasnosti odvijanja željezničkog prometa, a pritom ne narušavajući stabilnost voznog reda, već nasuprot, čak povećava njegovu robusnost. Ipak, najznačajniji je ekonomski učinak u smislu smanjenja potrošnje pogonske energije koji značajno smanjuje operativne troškove. Potencijalne uštede energije primjenom DAS sustava uglavnom ovise o vrsti željezničkog prometa kojeg obuhvaća (gradski, prigradski, regionalni, međugradski, velikih brzina i teretni), razini tehnologije sustava (S-DAS, N-DAS, C-DAS), raspoloživim vremenskim rezervama u voznom redu te stvarnom stanju potrošnje energije i energetske učinkovitosti prije implementacije [18].

Vrlo je bitna uloga strojovođe u vožnji vlaka gdje su implementirani ovakvi sustavi, s obzirom na to da je on odgovoran za upravljanje vozilom. Učinkovitost vožnje vlaka ovisi o tome koliko strojovođa precizno može slijediti i prenositi upravljačke akcije na temelju savjeta danih od strane DAS-a. Kod primjene sustava podrške u vožnji vlaka potrebno je unaprijed strojovođi najaviti koju upravljačku aktivnost treba poduzeti, tako da on može spremno reagirati i poduzeti upravljačke aktivnosti. Informacije moraju biti razumljive i nedvosmislene kako bi strojovođa razumio savjet i postupio u skladu s njim. Neovisno o iskustvu strojovođe, te njegovom poznavanju karakteristika pruge nemoguće je postići tako precizne upravljačke unose na temelju izračuna optimalne vožnje vlaka, kao što je moguće upotrebom DAS-a.



**Slika 14.** Usporedba stilova vožnje između strojovođe i DAS-a

Izvor: [4]

Na grafu (v/s) brzine u ovisnosti s udaljenosti prikazanom na slici 14, prikazana je usporedba stilova vožnje strojovođe bez upotrebe DAS sustava podrške u vožnji vlaka i proračunate optimalne strategije vožnje vlaka od strane CATO. Može se uočiti kako funkcija njegove vožnje ima veći broj promjena trendova brzine, nego što je slučaj kod idealne vožnje preporučene od sustava podrške. Također, možemo zamijetiti značajnu razliku u strategiji vožnje od 1460 km gdje je pruga u padu. Vlak kojim upravlja strojovođa počinje gubiti brzinu, dok vlak koji se kreće idealnom strategijom podiže brzinu s obziromna to da na 1465 km dolazi do kratkog uspona koji će uzrokovati potrošnju kinetičke energije, pa samim time i povećanu potrošnju pogonske energije za ponovno postizanje brzine kako bi se zadovoljilo vrijeme predviđenog dolaska na cilj [4].

Primjena sustava podrške u vožnji vlaka ima mnoge prednosti koje možemo sagledati sa više različitih aspekata:

- Sigurnost
  - upozorenje o nadolazećim lokacijama i stanjima signala
  - niže operativne brzine vlakova
  - upozorenja o nadolazećim lokacijama, gdje se mijenjaju ograničenja brzine
  - niže prilazne brzine stajalištima i kolodvorima
  - upozorenja o nadolazećem stajalištu što smanjuje mogućnost slučajnog prolaska bez zaustavljanja
  
- Ekonomičnost:
  - smanjenje potrošnje pogonskog goriva (čak do 15% niža potrošnja dizelskih vlakova), ovisno o karakteristikama infrastrukture i željezničkih vozila
  - trajnost voznog parka i niži troškovi održavanja:
    - manje trošenje kočnica zbog nižih tehničkih brzina
    - niže tehničke brzine željezničkih vozila uzrokuju manja trošenja potrošnih komponenti vozila

Budući da su dinamički mrežno orijentirani sustavi podrške u vožnji vlaka integrirani s kontrolnim uredom koji omogućuje konstantan trenutni pregled stanja prometa, oni osim navedenih imaju još neke prednosti, i to:

- ažuriranja voznog reda u stvarnom vremenu
- bolji oporavak prometa u slučaju poremećaja koji mogu izazivati posljedična kašnjenja vlakova
- smanjenje zaustavljanja na signalima
- poboljšano rješavanje konflikata u voznom redu (na temelju predviđene vožnje vlakova)

Također, bitno je napomenuti kako je još jedna od bitnih prednosti upotrebe sustava podrške u vožnji vlaka smanjenje perioda potrebnih za izobrazbu strojovođa. Budući da primjena ovakvih sustava strojovođi savjetuje najbolje strategije vožnje, nije nužno detaljno poznavati karakteristike pruga i naučiti strategije vožnje na dionicama za koje se strojovođa osposobljava.



Nedostatci uporabe ovakvih sustava su neprecizni upravljačke akcije strojovođe koji ne mogu u potpunosti pratiti savjete dobivene od strane DMS-a. Također, postoji mogućnost da strojovođa iz bilo kojih razloga zanemaruje savjete za vožnju vlaka.

Danas je u svijetu najraširenija upotreba statičkih sustava podrške u vožnji vlaka budući da ne iziskuju velika financijska ulaganja, dok mogu polučiti značajne rezultate u smanjenju operativnih troškova.

#### **4.2. Utjecaj sustava automatske vožnje vlaka na željeznički promet**

Primjena automatske vožnje vlaka značajno utječe na povećanje efikasnosti i učinkovitosti željezničkog prometa. Osim što kao i kod primjene DAS-a uvelike smanjuje potrošnju pogonske energije, primjena ATO-a značajno povećava kapacitet prometa te smanjuje operativne troškove u vidu radne snage potrebne za izvršavanje procesa vožnje vlaka.

Primjenom metode pokretnih blokova koji se primjenjuju u sustavima ATO može se povećati broj vlakova budući da su sada mogući mnogo kraći intervali polaska vlakova. Konvencionalne prigradske linije imaju prosječna slijeđenja vlakova između 180 i 200 sekundi dok se kod nekih metro ATO sustava kao što je na primjer Moskovski metro ti intervali mogu smanjiti na čak 90 sekundi. Također, na glavnim linijama željezničke mreže Thameslink upotrebom ATO GoA2 kapacitet se podigao sa 16 vlakova/sat na 24 vlaka na sat [19].

ATO sustavi nude mnogo veću fleksibilnost voznog reda, budući da se on formira u realnom vremenu, čime se postiže znatno bolja usklađenost s potražnjom u vršnim satima i izvan njih. Ove prednosti izravno utječu na mnogo bolju prijevoznu uslugu putnicima i povećavanju broja potencijalno novih putnika. Pozitivni utjecaji sustava automatske vožnje vlaka odražavaju se i u potrebnoj količini radne snage za vožnju vlakova. Implementacija ATO sustava koji su na razini GoA2 doprinosi smanjenju radnog opterećenja strojovođe, jer su upravljački zadaci automatizirani, iako će vozač možda trebati preuzeti odgovornost nad upravljanjem u slučaju izvanrednih okolnosti kojih ATO sustav ne može biti svjestan.

U GoA3 razini automatske vožnje vlaka uloga strojovođe zamijenjena je osobljem vlaka koje više ne mora stalno biti prisutno u upravljačnici vlaka. To otvara mogućnost da osoblje vlaka bude na raspolaganju putnicima poboljšavajući kvalitetu usluge. Njihova prisutnost može pomoći u smislu stvarne i percipirane osobne sigurnosti putnika. Razina GoA4 u vozilu nema prisutno nikakvo osoblje koje je zaduženo za nadzor ili upravljanje što smanjuje troškove radne snage. Također, smanjuju se i granični troškovi uvođenja dodatnih vlakova jer je strategija zapošljavanja strojovođa predvidljiva ili je u potpunosti nema, što sustav čini otpornijim na promjene tržišta.

Osim prednosti, bitno je istaknuti i neke nedostatke primjene ATO sustava. Dok iz jednog aspekta viši stupanj automatizacije pruža velike prednosti u smisli operativnih troškova i poboljšanja kvalitete usluge prijevoza, s druge strane sve je veća odgovornost za sigurnost prometa na računalnim, elektroničkim, mehaničkim i komunikacijskim sustavima koji omogućuju takve automatizirane koncepte. U GoA2 strojovođa je zadužen za preuzimanje upravljanja vlakom ukoliko dođe do izvanrednog događaja kao što je prepreka na kolosijeku, prekid komunikacije sa TMS-om ili pak prilikom zatvaranja vrata na stanici gdje postoji opasnost da putnik nesigurno ulazi u vlak. U GoA3 osoblje vlaka ne mora biti u upravljačnici vlaka za vrijeme putovanja, te u hitnim slučajevima ne može odmah preuzeti upravljanje vozilom. U UTO GoA4 gdje se vožnja vlaka odvija bez ikakvog osoblja pitanje sigurnosti vrlo je značajno.

U hitnim situacijama vlakom upravljaju i dalje automatski sustavi ili eventualno TMS ako komunikacija nije ugrožena. Također, postoji mogućnost od hakerskih napada u vidu terorizma na sustave automatske vožnje vlaka koji mogu ugroziti živote putnika. Kočnice u slučaju opasnosti koje su aktivirali putnici bez potrebe pokazuje se kao veliki uzročnik kašnjenja vlakova u UTO sustavima. Bitan je i problem zatvaranja vrata gdje putnici mogu onemogućiti njihovo zatvaranje te prouzrokovati kašnjenje vlaka.

S jedne strane financijskog aspekta energetske optimizirana vožnja vlaka uvođenjem ATO sustava može značajno smanjiti operacijske troškove željezničkih operatera budući da se mogu postići znatne uštede pogonske energije. Također, takvo strateško upravljanje željezničkim vozilima rezultira ugrađenijom vožnjom, što dovodi do manjeg trenja između tračnica i kotača, manjim trošenjem voznog parka pa samim time i manjim troškovima održavanja vozila, te duljim radnim vijekom voznog parka.

S druge strane za implementaciju ovakvih sustava potrebne su vrlo visoke investicije budući da je potrebna tehnološki vrlo razvijena oprema signalno-sigurnosnih uređaja, komunikacijskih uređaja, sama vozila opremljena svim potrebnim sustavima, senzorikom, te komunikacijskim sustavima. Također, financijski su zahtjevna i održavanja takve sofisticirane opreme.

Postavlja se i pitanje kako uvođenje sustava automatizacije GoA3 i GoA4 razine utječe na tržište rada budući da stručni kadar potreban za odvijanje prometa više nema svoju ulogu u vožnji vlaka. Naime, GoA3 i GoA4 razine automatizacije prometa željezničkim operaterima smanjuju troškove radnog osoblja, što sa strane strojovođa i osoblja vlaka znači velik broj otpuštanja. Političke akcije i sindikati mogli bi imati utjecaj na usporavanje ili odbijanje implementacije ovakvih sustava.

## 5. ZAKLJUČAK

Pregledom postojećeg stanja i analizom različitih sustava podrške u vožnji te automatske vožnje vlaka može se uvidjeti niz njihovih prednosti koje utječu na unaprjeđenje željezničkog prijevoza. U cijelome svijetu implementacija ovakvih sustava u uzlaznom je trendu. Primjena DAS-a je već u velikoj primjeni kod mnogih željezničkih operatera budući da značajno smanjuje operativne troškove u vidu smanjenja potrošnje energije. Najčešća je primjena autonomnih dinamičkih sustava budući da ne iziskuju velika ulaganja, a donose pozitivne rezultate po pitanju smanjenja operativnih troškova.

Mnogi sustavi podzemnih željeznica i metroa već su uveli koncept ATO sustava, dok je primjena kod konvencionalne željeznice koja podrazumijeva gradsko-prigradski i regionalni prijevoz tek na početku svoje šire primjene. Razlog tomu je problem interoperabilnosti svih sustava i elemenata koji sudjeluju u prometnom procesu otvorenih sustava. Također, centralizirano upravljanje željezničkim prometom neizostavan je preduvjet za prijelaz na ATO način upravljanja vlakovima. ECTS kao podrška za ovakve sustave može biti dobar temelj u uvođenju što samostalnijeg odvijanja željezničkog prometa.

Različiti željeznički sustavi zahtijevaju i različita rješenja u cilju optimizacije prometnih procesa primjenom DAS i ATO sustava. Kada govorimo o zahtjevima za povećanje kapaciteta željezničkog prijevoza u velikim metropolitanskim područjima, ATO sa svojom značajkom kratkih intervala polaska vlakova apsolutno je najbolje, a nerijetko i jedino prihvatljivo rješenje. Može se pretpostaviti da će željeznički operateri prvo pristupiti ka uvođenju DAS sustava koji su mrežno orijentirani te podrazumijevaju regulaciju prometa od strane TMS-a. Naknadno bi se mogli uvoditi ATO sustavi GoA2 (STO) razine. GoA3 i GoA4 razine ATO sustava prisutne su isključivo kod zatvorenih željezničkih sustava za prijevoz putnika i tereta, dok će sustavi za mješoviti željeznički promet još pričekati na takav koncept u široj primjeni.

## LITERATURA

1. International Railway Journal. Preuzeto sa: [https://www.railjournal.com/in\\_depth/c-das-taking-driver-advisory-systems-to-the-next-level](https://www.railjournal.com/in_depth/c-das-taking-driver-advisory-systems-to-the-next-level) Pristupljeno: 28.5.2020
2. International Railway Journal. Preuzeto sa: [https://www.railjournal.com/in\\_depth/automatic-for-the-people-unlocking-the-benefits-of-automated-operation-on-the-main-line](https://www.railjournal.com/in_depth/automatic-for-the-people-unlocking-the-benefits-of-automated-operation-on-the-main-line) Pristupljeno: 28.5.2020.
3. Digital Railway, Preuzeto sa: <http://digitalrailway.co.uk/wp-content/uploads/2019/04/153821-NWR-SPE-ESE-000009-C-DAS-System-Definition-v3.0.pdf> Pristupljeno: 6.6.2020.
4. CATO - Computer aided Train Operation, TRANSRAIL SWEDEN AB,2005.
5. Apta. Preuzeto sa: [https://www.apta.com/wp-content/uploads/RC17-Keevill\\_Dave.pdf](https://www.apta.com/wp-content/uploads/RC17-Keevill_Dave.pdf) Pristupljeno: 8.6.2020.
6. My New Desk. Preuzeto sa: <http://www.mynewsdesk.com/uk/govia-thameslink-railway/pressreleases/world-first-for-ato-on-mainline-railway-2453777> Pristupljeno: 13.6.2020.
7. Haramina H. *Inteligentni transportni sustavi u željezničkom prometu, Sveučilište u Zagrebu, 2018.*
8. UIC Energy Efficiency Days 2014. Preuzeto sa: [http://energyefficiencydays.org/IMG/pdf/eco\\_driving\\_and\\_das.pdf](http://energyefficiencydays.org/IMG/pdf/eco_driving_and_das.pdf) Pristupljeno: 11.6.2020.
9. International Railway Journal. Preuzeto sa: [https://www.railjournal.com/in\\_depth/rise-machines-rio-tinto-autohaul](https://www.railjournal.com/in_depth/rise-machines-rio-tinto-autohaul) Pristupljeno: 14.6.2020.
10. International Railway Journal. Preuzeto sa: [https://www.railjournal.com/in\\_depth/thameslink-strengthening-londons-railway-backbone](https://www.railjournal.com/in_depth/thameslink-strengthening-londons-railway-backbone). Pristupljeno: 12.6.2020
11. International Railway Journal. Preuzeto sa: <https://www.railjournal.com/signalling/first-commercial-use-of-ato-over-etc-in-london/> Pristupljeno: 17.6.2020.
12. Railwaygazette: Preuzeto sa: <https://www.railwaygazette.com/traction-and-rolling-stock/thameslink-first-with-ato-over-etc/46156.article> Pristupljeno: 13.6.2020.

13. Railwayage. Preuzeto sa: <https://www.railwayage.com/cs/ptc/rio-tinto-completes-pilbara-automation/> Pristupljeno: 11.6.2020.
14. Online-science. Preuzeto sa: <https://www.online-sciences.com/robotics/driverless-train-technology-features-uses-advantages-disadvantages/> Pristupljeno: 22.6.2020.
15. RAILWAY TECHNOLOGY AND INNOVATION – DRIVERLESS TRAINS (Alan Trestour – Customer Director, Alstom Transport and Alan De-Reuck – Customer Director, Alstom Transport)
16. GlobalRailway. Preuzeto sa: <https://www.globalrailwayreview.com/article/86087/c-das-connected-on-board-train-energy-optimisation/> Pristupljeno: 13.6.2020.
17. Railway-technical. Preuzeto sa: <http://www.railway-technical.com/signalling/automatic-train-control.html> Pristupljeno: 15.6.2020.
18. Railwaysignaling. Preuzeto sa: <http://www.railwaysignalling.eu/das-driver-advisory-system-for-energy-saving-and-traffic-management> Pristupljeno: 13.6.2020.
19. International Railway Journal. Preuzeto sa: <https://www.railjournal.com/opinion/rail-autonomous-trains> Pristupljeno: 18.6.2020.
20. Railsystem. Preuzeto sa: <http://www.railsystem.net/communications-based-train-control-cbtc/> Pristupljeno: 18.6.2020.
21. Zi Qian, Roberto Palacin (OPEUS,Shift2Rail). *Modelling and strategies for the assessment and Optimisation of Energy Usage aspects of rail innovation,2017*
22. Siemens. Preuzeto sa: <https://www.mobility.siemens.com/global/en/portfolio/rail/automation/operations-control-systems/controlguide-ocs.html> Pristupljeno: 15.6.2020.
23. ReasearchGate. Preuzeto sa: [https://www.researchgate.net/figure/Control-principle-of-the-automatic-train-operation-ATO-system\\_fig1\\_336458426](https://www.researchgate.net/figure/Control-principle-of-the-automatic-train-operation-ATO-system_fig1_336458426) Pristupljeno: 15.6.2020.
24. Semantic scholar. Preuzeto sa: <https://www.semanticscholar.org/paper/Automatic-Train-Control-System-Development-and-for-Dong-Ning/60fd200e17582db512e0c812cc2ebb623e45862d> Pristupljeno: 15.6.2020.
25. CatchNews. Preuzeto sa: <http://www.catchnews.com/india-news/lucknow-metro-repeats-history-in-metro-rail-project-execution-145285.html> Pristupljeno: 13.6.2020.

## POPIS SLIKA

Slika 1. Proračuni različitih režima vožnje.....	3
Slika 2. Shema N-DAS sustava.....	6
Slika 3. TMS kontrolni ured sa potrebnim sučeljima.....	8
Slika 4. Prikaz sučelja(DMI) CATO jedinice u vozilu preko ECTS-a.....	10
Slika 5. Shema procesa CATO DAS sustava.....	11
Slika 6. Shema strukture ATO putne jedinice instalirane na vozilu .....	17
Slika 7. Struktura elemenata ATC-a.....	18
Slika 8. Ograde na GoA4 ATO sustavima metroa .....	20
Slika 9. Arhitektura CBTC sustava .....	21
Slika 10. Prikaz vođenja vlakova fiksnim blokom i pokretnim blokom .....	23
Slika 11. Arhitektura AutoHaul sustava automatske vožnje vlaka .....	26
Slika 12. Shema željezničke mreže Thameslink .....	28
Slika 13. Prikaz kontrola u Siemens Class 700 vozilima opremljenim ATO sustavom .....	29
Slika 14. Usporedba stilova vožnje između strojovođe i DAS-a .....	33



Sveučilište u Zagrebu  
Fakultet prometnih znanosti  
10000 Zagreb  
Vukelićeva 4

### 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 **UTJECAJ SUSTAVA PODRŠKE U VOŽNJI I AUTOMATSKE VOŽNJE  
VLAKA NA UČINKOVITOST ŽELJEZNIČKOG PROMETA**

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

Student/ica:

U Zagrebu, 7/7/2020

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