



B&B
VIŠJA STROKOVNA ŠOLA

Diplomsko delo višješolskega strokovnega študija
Program: Logistično inženirstvo
Modul: Distribucijska logistika

UVAJANJE EVROPSKEGA SISTEMA NADZORA VLAKOV ETCS V ŽELEZNIŠKA OMREŽJA

Mentor: mag. Tomaž Ramšak, univ. dipl. inž. tehnol. prom. Kandidat: Nejc Trontelj
Lektorica: Maja Antosiewicz Škraba, univ. dipl. slov.

Ljubljana, januar 2025

ZAHVALA

Najlepše se zahvaljujem mentorju mag. Tomažu Ramšaku, univ. dipl. inž. tehnol. prom., za strokovno pomoč, predloge, usmerjanje pri diplomskem delu in za pomoč pri vprašanjih.

Zahvaljujem se tudi lektorici ge. Maji Antosiewicz Škrabi, univ. dipl. slov., ki je mojo diplomsko nalogo jezikovno in slovnično pregledala.

IZJAVA

Študent Nejc Trontelj izjavljam, da sem avtor tega diplomskega dela, ki sem ga napisal pod mentorstvom Tomaža Ramšaka, univ. dipl. inž. tehnol. prom.

Skladno s 1. odstavkom 21. člena Zakona o avtorski in sorodnih pravicah dovoljujem objavo tega diplomskega dela na spletni strani šole.

Dne: _____

Podpis: _____

POVZETEK

Tema uvajanja ETCS-ja na železniška omrežja je že nekaj let povezana z vse številčnejšimi železniškimi prevozniki in upravljalci infrastrukture, pri katerih nastajajo velike razlike med posameznimi državami, saj pri tem vlada kar nekaj diskusij o možnostih nadaljnjega razvoja sistema v prihodnosti. V diplomskem delu bomo obravnavali dosedanji razvoj ETCS-ja na železniškem trgu v Sloveniji in ostalih evropskih državah ter med seboj primerjali primere dobrih praks.

Prvo poglavje je uvod v temo z osnovami in metodami, ki so uporabljene v nadaljnjih poglavjih. Drugo poglavje obravnava teoretične lastnosti ETCS-ja s poudarkom na uporabnosti. Obravnavane so tudi tehnične značilnosti posameznega nivoja delovanja. V tretjem poglavju so informacije iz teorije pretvorjene v praktično delovanje z ozadjem uporabe sistema s strani strojevodje. Te informacije naj bi podale odgovor na vprašanje, s katerimi problemi se ob uporabi sistema srečuje končni uporabnik in kako te probleme naslavljata prevoznik in upravljalec. Razložene so izvedbene možnosti posamezne stopnje delovanja. V četrtem poglavju so oblikovana priporočila in pričakovanja za razvoj ETCS-ja v prihodnosti, vključno s pomisleki. Na koncu sledijo še sklepne misli.

KLJUČNE BESEDE

- uvajanje ETCS-ja v železniško omrežje
- ETCS v Sloveniji
- ETCS stopnja Level 1
- uporaba ETCS-ja na tirnem vozilu
- razvoj ETCS-ja v Sloveniji

ZUSAMMENFASSUNG

Das Thema Einführung ETCS aufs Bahnnetz betrifft seit Jahren immer mehr EVUs und Netzbetreiber in Europa, wobei kommt zu heftigen Unterschieden zwischen einzelnen Länder. Es ist noch kein abgeschlossenes Thema und die Entwicklungen in der Zukunft sind auch schwer vorherzusagen. Diese Arbeit soll aber die bisherigen Entwicklungen am Schienenmarkt in Slowenien und anderen europäischen Länder durchleuchten und die Beispiele Guter Praxis miteinander zu vergleichen.

Das erste Kapitel ist eine Einführung in das Thema mit Grundlagen und Methoden die sind in weitem Kapiteln verwendet. Das zweite Kapitel behandelt die theoretischen Eigenschaften des ETCS vor allem in Bezug auf die Nützlichkeit. Es werden dort auch technische Merkmale jeweiliges Level vorgestellt. Im dritten Kapitel werden Informationen aus Theorie in die Praxis umgewandelt und Hintergründe bei Verwedung seitens Triebfahrzeugführer dargestellt. Diese Informationen sollen Antwort auf die Frage welche Probleme der eigentlicher Benutzer hat und wie EVUs und Netzbetreiber diesen Problemen entgegenwirken möchten. Auch die Ausführungsmöglichkeiten des jeweiligen Levels werden erläutert. In Kapitel 4 werden nach einer Empfehlungen und Erwartungen für die Zukunft der ETCS Entwicklung auch Bedanken vorgestellt. Abschließend folgt eine Zusammenfassung.

SCHLÜSSELWORTE

- Einführung ETCS auf das Bahnnetz
- ETCS Entwicklung in Slowenien
- ETCS Level 1 in Slowenien
- ETCS auf Slowenischen Eisenbahnen
- ETCS und Triebfahrzeugführer

KAZALO

1	UVOD	1
1.1	Predstavitev problema.....	1
1.2	Cilji naloge.....	1
1.3	Predstavitev okolja	1
1.4	Predpostavke in omejitve	2
1.5	Metode dela	2
2	TEORETIČNI DEL	4
2.1	Pomen sistema.....	4
2.2	Prednosti sistema	4
2.3	Sistemske zahteve	5
2.4	Princip delovanja	5
2.5	ETCS stopnje.....	6
2.6	Prenos informacij med progo in vozilom	8
2.7	Dovoljenje za vožnjo vlaka (MA)	9
2.8	Modusi delovanja	10
2.8.1	Modus No Power.....	10
2.8.2	Modus Stand By in Start-of-Mission	10
2.8.3	Modus Shunting	11
2.8.4	Modus Staff Responsible	11
2.8.5	Modus Full Supervision in On Sight.....	12
2.8.6	Modus Trip in Post Trip	12
2.8.7	Modus Reversing	13
2.8.8	Modus Sleeping	13
2.8.9	Modus Non Leading	13
2.8.10	Modus System Failure in Isolation.....	14
3	PRAKTIČNI DEL	15
3.1	Driver Maschine Interface (DMI)	15
3.1.1	Merilnik hitrosti / dodatne informacije	15
3.1.2	Prikaz hitrosti na podlagi zavorne krivulje.....	16
3.1.3	ETCS-Service Brake	17
3.1.4	ETCS-Emergency Brake	17
3.1.5	Release Speed	17
3.1.6	Ciljna oddaljenost.....	18
3.1.7	Nalogi.....	18
3.1.8	Nivo načrtovanja	18
3.2	Praktični primer vožnje	18
3.2.1	Priprava na vožnjo	19
3.2.2	Vožnja od postaje A do postaje B.....	20
3.2.3	Vožnja od postaje B do postaje C	20
3.2.4	Vožnja od postaje C do postaje D	21
3.3	Prednosti, slabosti in možnosti izboljšav	22

4	ZAKLJUČEK	25
5	LITERATURA IN VIRI.....	27

KAZALO SLIK

Slika 1: Shematski prikaz delovanja ETCS-ja na vozilu in infrastrukturi	6
Slika 2: Elektronika ETCS-ja, nameščena na vlečnem vozilu	7
Slika 3: ETCS-Stop Marker z balizno skupino in števcem osi	9
Slika 4: Primer proge, opremljene z ETCS Level 2 in ohranjenim sistemom PZB/Indusi ob svetlobni signalizaciji KS	14
Slika 5: Osnovni prikaz na DMI monitorju	15
Slika 6: Nivo merilnika hitrosti in pomen prikaza	16
Slika 7: Shema postaj in medpostajnih odsekov	18
Slika 8: Primerjava zavornih krivulj v sistemu PZB/Indusi in ETCS-ju	23
Slika 9: Testiranja ETCS-ja Level 3 na testni progi Annaberg–Schwarzenberg	24

KAZALO TABEL

Tabela 1: Tehnične lastnosti prenosnega sredstva	8
--	---

KRATICE IN AKRONIMI

APB:	avtomatski progovni blok
ATO:	Automatic Train Operation – avtonomna vlakovna vožnja
d. m.:	državna meja
DMI prikaz:	Driver Machine Interface – strojevodja-stroj vmesnik
EoA:	End of Authority – konec dovoljenja
ERTMS:	European Rail Traffic Management System – evropski sistem vodenja železniškega prometa
EN:	European Standard – evropski standard
FRS:	Functional Requirement Specification – funkcionalno zahtevane specifikacije
FS:	Modus Full Supervision – modus popolni nadzor
GSM-R:	Global System for Mobile Communication-Railway – globalni sistem mobilne železniške komunikacije
GZV:	glavni zavorni vod
LEU:	Lineside Electronic Unit – progovna elektronska enota
LZB:	Linienförmige Zugbeeinflussung – varnostna naprava linijskega nadzora vožnje
MA:	Movement Authority – dovoljenje za vožnjo
NBÜ:	Notbremsüberbrückung – premostitev zaviranja v sili
ÖBB:	Österreichische Bundesbahnen – Avstrijske zvezne železnice
PZB:	Punktförmige Zugbeeinflussung – varnostna naprava točkovnega nadzora vožnje
RBC:	Radio Block Center – progovna centrala
SR:	Modus Staff Responsible – modus vožnje na lastno odgovornost
SŽ:	Slovenske železnice
TEN-T:	Trans-European Transport Network – vseevropsko transportno omrežje
TSI:	Technical Specification for Interoperability – tehnični standardi za interoperabilnost
UIC:	Union internationale des chemins de fer – Mednarodna železniška unija
ZSG:	zentrale Fahrzeugsteuergerät – centralna krmilna naprava

1 UVOD

1.1 Predstavitev problema

V diplomskem delu se bomo osredotočili na problematiko različnih nacionalnovarnostih sistemov nadzora vlakov v Evropi in raziskali prednosti, ki jih prinaša uvajanje evropskega sistema za nadzor vlakov (European Train Control System – ETCS), tudi v slovenski prostor. Diplomsko delo je razdeljeno na teoretični in praktični del. V teoretičnem delu bomo predstavili osnove delovanja sistema ETCS na infrastrukturnem delu in voznih sredstvih ter izpostavili ključne elemente, iz katerih je sistem sestavljen. V praktičnem delu se bomo posvetili uporabniškemu vidiku posluževanja sistema. Želimo prikazati tudi možne rešitve in trende razvoja sistema v prihodnosti. Prednosti implementacije sistema želimo ponazoriti tudi s praktičnim primerom povečanja prepustnosti obstoječih progovnih odsekov v primeru uporabe ETCS-ja različnih stopenj (Level 1, 2 in 3). Izpostaviti velja tudi varnostni vidik, ki se sploh v primeru vožnje vlaka v poslabšani vidljivosti močno izboljša.

1.2 Cilji naloge

Cilj naloge je predstaviti sistem ETCS in njegovo uporabo skupaj z vsemi prednostmi, ki jih prinaša uporaba sistema. Še posebej bi radi poudarili varnostni vidik kontinuiranega nadzora vožnje vlakov v nasprotju s predhodnim točkovnim nadzorom. Cilji naloge so analiza sedanjega stanja delovanja sistema in možnosti njegove uporabe ob ukinitvi dosedanjih nacionalnovarnostih sistemov. Vse skupaj bi povezali tudi v večji sklop sistema ERTMS (European Rail Traffic Management System) in sledenja standardov TSI (Technical Specification for Interoperability) za omogočanje evropske interoperabilnosti na področju železniške infrastrukture in tirnih vozil. Z analizo želimo raziskati, kje se nahaja točka preloma, v kateri se vgradnja sistema na določenem progovnem odseku ekonomsko in tehnično izplača.

1.3 Predstavitev okolja

Pri izdelavi diplomskega dela bi se primarno osredotočili na slovenski prostor (Slovenske železnice – SŽ) in sosednje avstrijsko železniško omrežje (Österreichische Bundesbahn – ÖBB), ki ima podobne infrastrukturne zahteve in vozna sredstva, kot jih ima Slovenija. Med obema državama že vrsto let poteka izmenjava interoperabilnih voznih sredstev. Prav tako na večini dolžine železniškega omrežja državi uporabljata nemški sistem nadzora vlakov PZB/Indusi (Punktförmige Zugbeeinflussung), ki se v Avstriji postopoma nadomešča z ETCS-jem Level 2, v Sloveniji pa z ETCS-jem Level 1.

Obe državi zgledno sodelujeta pri skupnih infrastrukturnih čezmejnih projektih, kot je bila skupna nadgradnja predora Karavanke leta 2021 in prihodnja dvotirnost Maribor–Gradec, ki naj bi šla v izvedbeno fazo leta 2028. Na omenjenem odseku se prav tako zaključuje izvedba vgradnje ETCS-ja na celotni trasi.

Trenutno se v Sloveniji nahaja 498,5 km z ETCS-jem opremljenih prog, natančneje d. m.–Sežana–(Koper)–(Dobova, d. m.)–Pragersko–(Šentilj, d. m.)–Hodoš, d. m., z izjemo začasno izgrajene postaje Ljubljana in progovnega odseka Ljubljana–Borovnica, ki sta še v teku nadgradnje. Skladno z izvedbenim načrtom je do leta 2031 predvidena izgradnja ETCS-ja še na progi št. 20 Ljubljana–Jesenice, d. m., in na progi št. 64 Pivka–Ilirska Bistrica, d. m. (povzeto po Ministrstvo za infrastrukturo RS, 2020).

1.4 Predpostavke in omejitve

Na podlagi lastnih opažanj in izkušenj velja predpostaviti, da uvedba ETCS-ja na bolj obremenjenih odsekih prog bistveno pripore k večji varnosti odvijanja železniškega prometa, saj v nasprotju s starim točkovnim sistemom nadzora PZB/Indusi kontinuiran nadzor vožnje zmanjša vpliv človeškega faktorja. Tukaj velja izpostaviti predvsem funkcije, nadzor maksimalne progovne hitrosti, oddaljenost do progovne omejitve, prihajajoče počasne vožnje, nalog za takojšnjo zaustavitev vlaka s strani RBC-ja (Radio Block Center), javljanje morebitne okvare avtomatike za zavarovanje nivojskega prehoda ipd.

Omejitve, s katerimi se soočamo, so povezane predvsem s kompleksnostjo sistema. Uporabniki namreč dojemamo sistem precej bolj ozko, kot je bil zastavljen, z vrsto odvisnosti in spremenljivk, ki so jasne zgolj poznavalcu sistema.

Vprašanja, ki se porajajo, so povezana predvsem z izbiro najbolj ekonomsko in varnostno smiselne stopnje sistema ETCS in vprašanjem vgradnje sistema na lokalnih progah, kjer so hitrosti vožnje praviloma nižje, proge pa manj obremenjene. Postavili bi hipotezo, da bi bilo na jedrnem omrežju TEN-T (Trans-European Transport Network) najbolj smiselno implementirati sistem ETCS Level 2, na lokalnih progah pa ne vidimo zadostnih prednosti, ki bi upravičevale stroške teh investicij.

1.5 Metode dela

Pri izdelavi diplomskega dela smo informacije pridobivali na podlagi opazovanja, raziskovanja in primerjanja vseh informacij, ki so bile na voljo na to temo. Uporabili smo sledeče raziskovalne metode: analize, primerjanja, opise, združevanje in induktivno-deduktivno metodo.

V teoretičnem delu smo uporabili metodo analize pri literaturi, ki smo jo med sabo primerjali s primerjalno metodo. To na konkretnem primeru pomeni ovrednotenje literature in primerjavo informacij med sabo, saj se pri sistemu ETCS redno pojavljajo izboljšave in novosti.

V praktičnem (raziskovalnem) delu je uporabljena opisna metoda, kjer smo opisali eksploatacijo in težave ETCS-ja s stališča uporabnika, predvsem strojevodje. V zaključku so predstavljeni posamezni elementi ETCS-ja s pomočjo sintetične metode, z induktivno-deduktivno metodo pa so oblikovana konkretna priporočila za možnost nadaljnjega razvoja sistema.

2 TEORETIČNI DEL

2.1 Pomen sistema

ETCS je eden od ukrepov vzpostavitve notranjega trga Evropske unije za zagotavljanje interoperabilnosti evropskega železniškega omrežja. To pomeni zagotavljanje enakih infrastrukturnih standardov, kot so osna obremenitev, svetli in nakladalni profil, vozno omrežje, operativno vodenje železniškega prometa in poenotenje tehničnih sredstev za nadzor in vodenje vlakov.

Namen projekta ERTMS/ETCS sta izgradnja in vzpostavitev enotnega ter standardiziranega podsistema, ki zagotavlja interoperabilnost signalizacije in komunikacije na evropskih železniških omrežjih. Pod sistemi so definirani v tehničnih specifikacijah za interoperabilnost (TSI) in v evropskih standardih (EN).

Trenutno imajo države članice vgrajene nacionalne sisteme za nadzor in vodenje vlakov (več kot 20 različnih nacionalnih sistemov), ki onemogočajo neprekinjen čezmejni železniški promet, saj je treba zaradi tega menjati lokomotivo ali nanjo vgraditi drage nacionalne sisteme za nadzor in vodenje vlakov. Z uvedbo sistema ETCS bo omogočen čezmejni železniški promet brez ustavljanja vlakov na meji, kar bo pomenilo dodatno konkurenčno sposobnost tako v tovornem kot tudi v potniškem prometu. Ob tem se bo zmanjšal potovalni čas zaradi neprekinjenega čezmejnega prometnega toka, prav tako pa se bodo zmanjšali tudi stroški železniškega prometa (povzeto po Ministrstvo za infrastrukturo RS, 2016).

2.2 Prednosti sistema

Prednosti sistema so sledeče (Ministrstvo za infrastrukturo RS, 2016):

- zagotavljanje interoperabilnosti (poenotenje pravilnikov, tehnologije prometa, infrastrukture, sistemov na voznih sredstvih itd.),
- vzpostavitev čezmejnega železniškega prometa brez postankov na mejah,
- preusmeritev tovora s cest na železnice,
- povečanje hitrosti in prepustnosti železniškega prometa,
- zmanjšanje emisij toplogrednih plinov,
- zmanjšanje porabe energije, saj železniški promet porabi do osemkrat manj energije na enoto tovora kot cestni promet,
- zmanjšanje potovalnih časov na železnici,
- zmanjšanje stroškov železniškega transporta,
- dodatno povečanje varnosti v železniškem prometu.

2.3 Sistemske zahteve

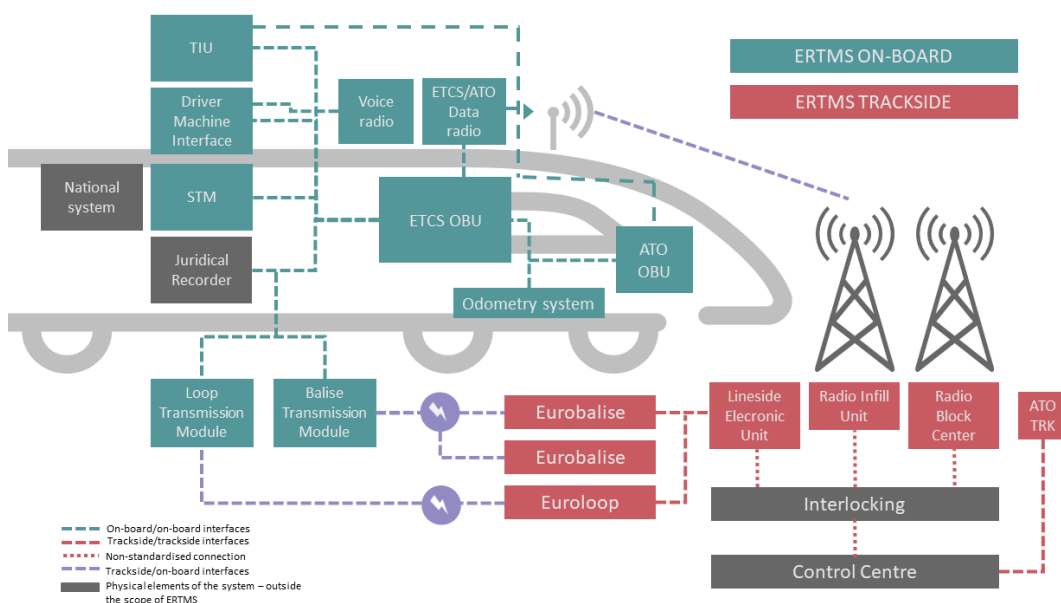
Sistemske zahteve, ki so prišle v končno verzijo kompatibilnosti za Baseline 3 FRS (Functional Requirement Specification) in so bile potrjene s strani UIC-ja (Union internationale des chemins de fer), so v glavnem sestavljene iz naslednjih poudarkov (povzeto po DB Netz AG, 2018b):

- Opremljenost proge naj bo prilagodljiva za različne progovne obremenitve in progovne posebnosti.
- Že vgrajeni nacionalnovarnostni sistemi naj bodo kompatibilni z novovgrajenim.
- Novovgrajene progovne varnostne naprave naj bodo kompatibilne z obstoječimi postavljalnicami.
- Progovni svetlobni signali naj ne bodo zahtevani.
- Če je na progi poleg ETCS vgrajen tudi že predhodni nacionalnovarnostni sistem, naj bo omogočen mešani promet z vozili brez ETCS opreme.
- Najvišja progovna hitrost in mesta ustavitve morajo biti nadzorovana kontinuirano.
- Omogočene morajo biti hitrosti do 500 km/h.
- Sistem naj bo izvedljiv na vseh progah, neodvisno od nacionalnih lastnosti železniških prog, kot so razdalje progovnih blokov, prepeljevanih poti itd.
- Predelava prog na nov sistem naj bo kar se da enostavna in naj se izvede pod prometom.
- Omogočeni morajo biti načini vožnje z zasedenimi in nezasedenimi spregami kot tudi upravljanje iz krmilnega vagona.
- Omogočene morajo biti posebne vožnje, kot so vožnje na zasedene prostorne odseke, spenjanje in odpenjanje delov vlaka, vožnje mimo nerabnih signalov, in izpraznjenje nevarnega odseka.
- Integrirane morajo biti dodatne funkcije nacionalnih sistemov (npr. najava za dvig in spust odjemnika toka, premostitve zaviranja v sili NBÜ ipd.).
- Vsna vozila ne glede na vrsto (potniška garnitura, tovorni vlak, vagonski vlak z lokomotivo in krmilnim vagonom ali vlak za visoke hitrosti, neodvisno na vrsto pogona) morajo imeti možnost nadgradnje z ETCS-jem.

2.4 Princip delovanja

ETCS je enotni evropski sistem nadzora vlakov. Nadzor vožnje poteka prek kontinuirane kontrole hitrosti, upravljanje vožnje pa s pomočjo kabinske signalizacije. Strojvodja spremlja vozne odredbe prek DMI prikaza (Driver Machine Interface) na monitorju v kabini. Informacije se iz infrastrukturnega dela prenašajo na tirno vozilo prek telegramov, ki jih tirno vozilo prejme prek ETCS antene, nameščene na košu tirnega vozila. Za namen oddaje informacij so v medtirju nameščene eurobalize, ki informacije o signalnem znaku svetlobnega signala

prejmejo prek vmesnika LEU (Lineside Electronic Unit), nameščenega v omarici na stebru svetlobnega signala. Alternativno se lahko informacije prenašajo tudi prek podatkovnega kabla Euroloop, katerega prednost je kontinuiran prenos informacij, vendar je ob tem potrebno progovno kabliranje vse tja do 1000 m razdalje, podobno kot pri sistemu LZB (Linienförmige Zugbeeinflussung). V sistemu Level 2 pa svetlobna signalizacija ni več potrebna, saj se ob uporabi digitalnega radijskega omrežja GSM-R (Global System for Mobile Communication-Railway) sporoča tudi točno pozicijo vlaka na progovno centralo RBC, ki dobljeno informacijo v ETCS centrali obdela in kot povratno informacijo pošilja progovne podatke nazaj na tirno vozilo (na DMI prikaz). V primeru delovanja povezane stopnje Level 2 in GSM-R govorimo o implementaciji ERTMS (povzeto po Trinckauf, Kahl in Maschek, 2024).



Slika 1: Shematski prikaz delovanja ETCS-ja na vozilu in infrastrukturi
(Vir: TECA Srl, 2024)

2.5 ETCS stopnje

Stopnja Level 0: Za vožnje na progah brez vlakovne varnostne naprave in za vožnje na progah z okvarjenim PZB progovnim delom oz. okvarjenim PZB tirnega vozila. Ta sistem je uporabljen pri nekaterih tipih vozil, tudi za premikalne vožnje.

Stopnja Level 1: Proga je opremljena z varnostno napravo zasedenosti progovnih odsekov (števcji osi) in signali. Prenos informacij poteka točkovno s pomočjo eurobaliz oz. kontinuirano prek podatkovnega kabla Euroloop.

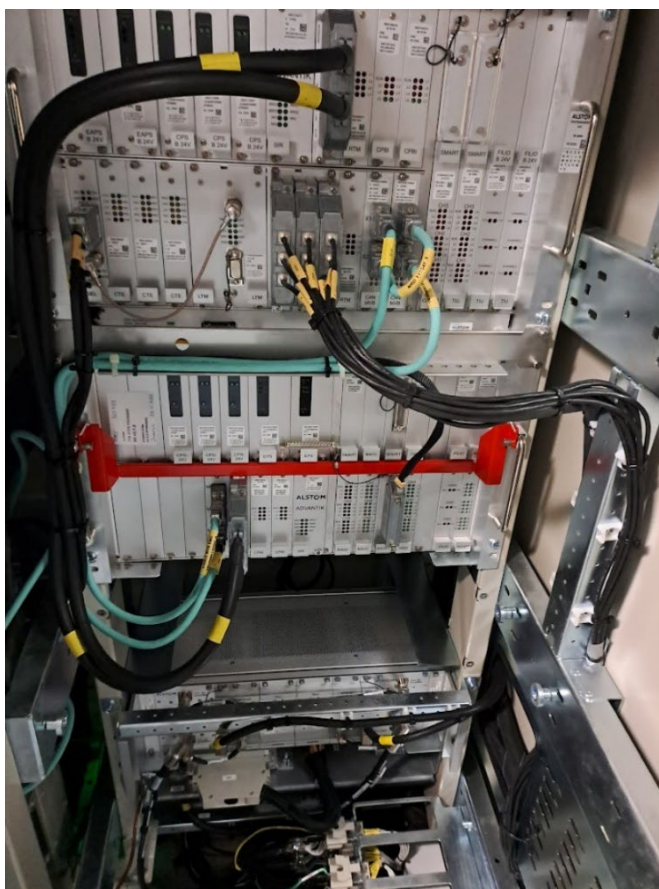
Stopnja Level 2: Proga je opremljena z varnostno napravo zasedenosti progovnih odsekov (števcu osi), signali so lahko tudi nadalje prisotni, niso pa potrebni. Prenos informacij poteka predvsem prek GSM-R sistema, eurobalize se uporabljajo samo za prenos sistemskih ukazov in lociranja.

Stopnja Level 3: Proga ni opremljena z varnostno napravo zasedenosti progovnih odsekov (števcu osi), tudi signali niso prisotni. Celovitost vlaka nadzoruje elektronika tirnega vozila. Prenos informacij poteka prek GSM-R sistema, eurobalize niso potrebne. Sistem je zaenkrat implementiran samo na testnih progah brez rednega prometa. Temelji na vzdrževanju zadostne zavorne razdalje med fiktivnimi blokovni odseki dveh zaporedno vozečih vlakov.

Stopnji Level STM in Level NTC: Za vožnje po progah brez ETCS-ja, a opremljene z nacionalnovarnostnim sistemom (npr. PZB). Vožnja bo nadzorovana prek nacionalnovarnostnega sistema (STM).

B2: ta stopnja je imenovana Level STM.

B3: ta stopnja je imenovana Level NTC.



Slika 2: Elektronika ETCS-ja, nameščena na vlečnem vozilu
(Lastni vir)

2.6 Prenos informacij med progo in vozilom

Z ETCS-jem opremljeni odseki v stopnji Level 1 uporabljajo za prenos informacij eurobalize ali izbirno tudi podatkovni kabel Euroloop (zaenkrat samo na ÖBB Infra). Pri stopnji ETCS Level 2/3 pa kot primarni nosilec prenosa informacij nastopi Euro-Radio (GSM-R). Tako v primeru vožnje po progi, opremljeni s stopnjo Level 1, delovanje GSM-R ni potrebno, saj vozilo prejme novovozno odredbo šele na naslednji balizni skupini oz. Eurolopu. Tako sta stopnji Level 2/3 bolj primerni za proge z veliko obremenitvijo in omogočata nekoliko večjo varnost kot stopnja Level 1, seveda ob večjih stroških investicije in vzdrževanja.

Pogosto je zmotno poudarjeno, da je pri stopnji ETCS Level 1 potrebna svetlobna signalizacija, pri stopnjah Level 2/3 pa ne, kar ne drži povsem. Pri vseh treh stopnjah je namreč svetlobna signalizacija potrebna le v modusu Staff Responsible (postajno področje). Na odprti progi pa je ob posluževanju Eurolopa in GSM-R-ja (Radio-Infill) možna vožnja brez svetlobnih signalov, tudi pri stopnji ETCS Level 1.

Sredstvo	Tehnične specifikacije	Uporaba
Eurobaliza	<ul style="list-style-type: none"> Točkovni prenos informacij s proge na vozilo. Nekatere balize prenašajo venomer iste informacije, zato niso povezane s postavljalnico, druge so povezane prek LEU. Hitrost prenosa podatkov do 564,48 kBit/s in frekvenca 27 MHz. 	Vse stopnje. Level 1: za vse nadzore. Level 2/3: predvsem samo za lociranje.
Euroloop	<ul style="list-style-type: none"> Kratki podatkovni kabel (maks. 1000 m). Linjski prenos informacij s proge na vozilo. Povezan z eurobalizo in prenaša enako informacijo. Hitrost prenosa podatkov do 9567,4 bit/s in frekvenca 27 MHz. 	Level 1: predvsem za prenos novega MA (<i>Movement Authority</i>).
Euro-Radio (GSM-R)	<ul style="list-style-type: none"> Kontinuiran prenos podatkov iz postavljalnice in vanjo prek povezanega Radio Block Centre (RBC) 	Level 1: izjemoma za prenos MA (Radio Infill). Praktično neuporabljen. Level 2/3: za vse nadzore in vse potrebne informacije.

Tabela 1: Tehnične lastnosti prenosnega sredstva
(Vir: Brunnengräber, 2022)



*Slika 3: ETCS-Stop Marker z balizno skupino in števcem osi
(Vir: Störfix, 2016)*

2.7 Dovoljenje za vožnjo vlaka (MA)

Ključni element ETCS-ja je tako imenovano dovoljenje za vožnjo Movement Authority (MA), ki ga zajema telegram. Sestavljeno je iz naslednjih informacij:

- Do katere točke se lahko vozi (End of Authority, EoA)?
- Kako hitro se lahko vozi do te točke?
- Se do te točke obeta sprememba progovne hitrosti (hitrostni profil, Speed profile)?
- Kako veliki so nagibi proge do konca EoA (nagibi, Gradient)?
- Do kje se mora vozilo v vsakem primeru ustaviti: nevarna točka (Danger Point), prepeljevalna pot (Overlap)?

V primerjavi z LZB sistemom, ki pozna samo ciljno oddaljenost, ciljno hitrost in zavorno krivuljo, je bistvena prednost tega sistema njegova natančnost, ki se prilagodi geometriji posamezne proge in krajevnim posebnostim. Tako velik nagib, skrajšana prepeljevalna ali zavorna pot vplivajo na končni MA posameznega vlaka. Če slučajno vozilo ni prejelo MA, lahko vozi v modusu Staff Responsible, ki omeji vožnjo pri 30 km/h (povzeto po Bührsch in Schlichting, 2018)

2.8 Modusi delovanja

2.8.1 Modus No Power

V modusu No Power ("izključen") je ETCS naprava vozila brez napajanja, ETCS sproži zaviranje v sili, glavni zavorni vod (GZV) se tako ne da napolniti. V takem stanju se vozilo nahaja v izključenem stanju ali ob aktivaciji zaščitnega stikala. Tudi zagonska faza sistema poteka prek tega stanja (konfiguracija in interni testi).

Hladni prevoz vozila je tako možen le ob posluževanju premostitvenega ventila.

2.8.2 Modus Stand By in Start-of-Mission

V primeru vseh uspešno opravljenih internih testov naprava preide v modus Stand By. V tem modusu ETCS naprava nadzoruje hitrost pri nič kilometrih na uro (V maks. = 0 km/h), v primeru premika ($V > 0$ km/h) pa sproži zaviranje v sili.

Ob prehodu na modus Start of Mission so na voljo naslednje možnosti delovanja:

- Kot upravljalno vozilo pri premikalni vožnji.
- Kot upravljalno vozilo pri vlakovni vožnji.
- Kot upravljana lokomotiva v spregi ali upravljani krmilni vagon.
- Kot s strojevodjo zasedene lokomotive, toda neupravljalne.

Za različne naloge so definirani različni modusi, ki bodo opisani v nadaljevanju. Izbor je glede na vrsto vožnje prepuščen strojevodji z izjemo vrste modus SL, ki je pod določenimi pogoji avtomatsko določen s strani ETCS naprave. Pred začetkom vlakovne vožnje morajo prav tako biti vneseni vlakovni podatki.

Izbira in vnos podatkov se nahajata v delu modusa, imenovanem Start-of-Mission, ki se nahaja v modusu Stand By in se zažene avtomatsko takoj ob zasedbi upravljalnega mesta. Po izvedbi dela SoM preklopi ETCS na moduse Shunting (izbran s strani strojevodje), Non Leading (izbran s strani strojevodje), Staff responsible (v primeru stopnje Level 1/2/3) ali Unfitted (v primeru stopnje Level 0) in dopušča možnost premika.

V stopnjah Level 2/3 se bo med izvajanjem SoM že vzpostavila radijska povezava z Radio-Block-Center (RBC). Če telefonska številka zadnjega vklopa ETCS-ja ni več veljavna, jo mora strojevodja ponovno prijaviti.

2.8.3 Modus Shunting

Modus Shunting (“premikalna vožnja”) je namenjen premikalni vožnji v stopnjah ETCS Level 0/1/2/3. Ker za premikalno vožnjo ni zahtevan noben vpis podatkov, je lahko modus SH izbran že na začetku modusa Start-of-Mission.

V modusu SH nadzoruje ETCS najvišjo hitrost premika, ki je določena za vsako omrežje posebej. Premikalno območje je omejeno z eurobalizo, ki v primeru prevoza meje območja posreduje stop informacijo. Pri prevozu te balize ETCS preide v modus delovanja Trip in sproži zaviranje v sili.

2.8.4 Modus Staff Responsible

Ob želeni vlakovni vožnji v stopnjah ETCS Level 1, 2 in 3 strojevodja izbere naslednji modul delovanja, vnese vlakovne podatke in v stopnjah Level 2/3 vzpostavi tudi RBC povezavo. Toda vlakovni del ETCS naprave nima informacije, kje se vozilo nahaja. Ker vozilo ne ve, kje se nahaja, tudi ne ve, do katere točke lahko vozi. Za določitev lokacijske informacije mora vozilo prevoziti vsaj dve balizi, in sicer zato, ker iz prevoza samo ene balize ne more določiti smeri vožnje. Kot posledica tega mora biti strojevodji omogočena vožnja brez MA. S tem namenom je bil ustvarjen modus Staff Responsible (“vožnja na lastno odgovornost”, SR), ki ga ETCS po vnosu vlakovnih podatkov avtomatsko prevzame.

V modusu Staff Responsible omejuje ETCS najvišjo hitrost vožnje na progi, ki je lahko dosežena v tem modusu (infrastrukturno pogojena).

Na postajen območju se pojavlja problem ob vožnji na izključno ETCS signalizaciji. V današnjih časih svetlobne signalizacije je strojevodji dovoljenje za vlakovno vožnjo podano z izvoznim signalom za dovoljeno vožnjo, ki zagotavlja, da je vozna pot postavljena. Tako bo tudi v prihodnjem ETCS obdobju ostala potreba po svetlobnih signalih vsaj na večjih postajah. Pri manjših postajah pa bo prometnik obvestil strojevodjo o alternativni postavitvi vlakovne poti prek GSM-R-ja. Prve balize so lahko prevožene le z zmanjšano hitrostjo, tako da je določena pozicija. Po določitvi pozicije je informacija o postavljeni trasi pri stopnji ETCS Level 1 posredovana prek eurobalize z MA telegramom, pri stopnji Level 2/3 postavi vlakovna ETCS naprava zahtevo prek GSM-R za posredovaje MA na RBC. Ob pogoju, da je vozna pot v nadaljevanju prosta, preklopi ETCS na modus Full Supervision. V primeru, da je naslednji odsek javljen kot zaseden, preklopi ETCS v modus On Sight.

2.8.5 Modus Full Supervision in On Sight

Vožnja v načinu modus Full Supervision (“popolni nadzor”, FS) je običajen način vožnje pri stopnjah ETCS-ja Level 1/2/3. V tem modusu delovanja je hitrost vožnje kontinuirano nadzorovana v celotnem poteku vožnje.

Najvišja dovoljena hitrost vožnje in ciljna hitrost sta strojevodji prikazani na merilniku hitrosti, kjer je prikazana tudi razdalja, v kateri mora biti dosežena ciljna hitrost. Na prihodnja znižanja hitrosti je strojevodja opozorjen pravočasno, in sicer tako optično kot tudi akustično.

Posebno omembo si zasluži tudi Release Speed (“sproščena hitrost”). Ta funkcija pride v poštev posebej pri stopnji Level 1 v povezavi s svetlobno signalizacijo namesto RBC-ja in Euroloopa: najprej mora biti netočnost merjenja razdalj s strani tirnega vozila vračunana s toleranco pri ugotavljanju dejanske pozicije, nato mora vlak še pred iztekom MA priti do stanja ustavitve. To pripelje do tega, da je nadzorovana hitrost na balizi z naslednjim MA zelo majna ali pa je celo pred samo balizo zahtevano stanje ustavitve. Prevoz balize in tako normalno odvijanje prometa bi bilo praktično nemogoče. Za sprejem naslednjega MA je tako omogočena vožnja z zmanjšano hitrostjo, vendar samo tako hitro, da se nevarna točka oz. konec prepeljevalne poti v nobenem primeru ne more prevoziti. Slednja hitrost, imenovana Release Speed, je določena bodisi s strani proge ali tirnega vozila na podlagi progovnih informacij o prepeljevalnih poteh in nevarnih točkah. Pogoj za odvijanje prometa v stopnji Level 1 s svetlobnimi signali je tako urejenost prepeljevalnih poti. Če je nevarna točka neposredno ob EoA, mora biti Euroloop ali Radio Infill ustrezno prilagojen.

Modus On Sight (“po preglednosti”) se razlikuje od FS samo v tem, da RBC oz. postavljalnica nima nobene informacije o tem, če je naslednji odsek prost, zato se sme voziti le po preglednosti proge (nadzorovana hitrost, določena s strani upravljalca omrežja).

Pri obeh modusih lahko naloge strojevodje, npr. glede glavnega stikala, odjemnika toka, NBÜ območja itd., izvede tudi vozilo samostojno.

2.8.6 Modus Trip in Post Trip

V primeru prevoza ETCS mesta nadzora preklopi ETCS v modus Trip (“izlet”). To tega pride lahko v modusih delovanja EoA, SR ali Shunting ob prevozu balize, ki prepoveduje nadaljevanje vožnje.

V modusu Trip bo sproženo zaviranje v sili, ki se ga do ustavitve ne da razrešiti. Po ustavitvi mora strojevodja izvesti potrditev, da ETCS lahko preklopi v modus Post Trip (“po izletu”).

Če je s strani vodenja prometa to omogočeno, lahko v modusu Post Trip izvedemo premik nekaj metrov nazaj, da dosežemo nepravilno prevoženo balizo, ki že oddaja podatke z novim MA (smiselno le pri stopnji Level 1). Pogoji za to je dovoljenje vodenja prometa s potrditvijo, da so za rinjeno premikalno vožnjo izpolnjeni vsi pogoji. Prometnik oz. postavljalca mora v tem primeru razrešiti vlakovno vozno pot.

Če pri stopnji Level 1 premik nazaj ni možen, ostane le možnost preklopa prek funkcije Override EoA v modus SR. Z nalogo prometnika se lahko nadaljuje v modusu SR do naslednje balizne skupine z MA informacijo.

2.8.7 Modus Reversing

Modus Reversing (“vzratna vožnja”) je bil ustvarjen z namenom hitre zapustitve nevarnega območja, na primer predora, vseka, mostu, viadukta itd. V tem modusu delovanja lahko vlak z zmanjšano hitrostjo vozi tudi vzvratno, ne da bi zato potreboval nalogo prometnika. Progovna varnostna naprava, se pravi postavljalnica, mora zagotavljati prostost predhodno prevoženih odsekov. Med vzvratno vožnjo se telegram prejme s privolitvijo prek RBC-ja ali eurobalize.

2.8.8 Modus Sleeping

Modus Sleeping (“spanje”) nastavi ETCS naprava avtomatsko takrat, kadar ni aktivirana nobena strojevodska kabina ali ko je vozilo upravljano iz drugega upravljalnega mesta. Izvajanje tega modusa tako strojevodji ni vidno. Tipičen primer uporabe tega modusa so na primer krmilni vagoni in tandemi.

ETCS tega vozila v tem času ne izvaja nobenega nadzora, kajti to vlogo v celoti prevzame vodilno (Master) vozilo.

2.8.9 Modus Non Leading

Modus Non Leading (“ne vodeče”) je ročno izbran s strani strojevodje, ko ta posluhuje lokomotive (v nasprotju z modusom Sleeping je kabina zasedena), ki se ne nahajajo na čelu vlaka.

ETCS tega vozila v tem času ne izvaja nobenega nadzora, kajti to vlogo v celoti prevzame vodilno (Master) vozilo.

2.8.10 Modus System Failure in Isolation

V modusu System Failure (“sistemska napaka”) je ETCS naprava vključena, vendar je ta prepoznala interno napako in sprožila zaviranje v sili. Ta modus lahko odpravimo le s ponovnim zagonom celotne ETCS naprave vlečnega vozila.

Modus Isolation (“izolacija”) se lahko vključi na vlečnem vozilu avtomatsko ali ročno, odvisno od izvedbe ETCS-ja. Namen tega modusa je izolacija funkcije zaviranja v sila iz delovanja ETCS naprave (povzeto po Brunnengräber, 2022)



*Slika 4: Primer proge, opremljene z ETCS Level 2 in ohranjenim sistemom PZB/Indusi ob svetlobni signalizaciji KS
(Vir: Störfix, 2018)*

3 PRAKTIČNI DEL

3.1 Driver Maschine Interface (DMI)

Driver Machine Interface (strojevodja-stroj vmesnik, DMI) je osnovno sredstvo prikaza poteka vožnje na zaslonu, prek katerega ob ustrezni programski opremi strojevodja razbere vse pomembne informacije. DMI je lahko skladno z UIC standardom 612-0x izveden prek zaslona na dotik ali softkey tipkovnice. Zaslona mora biti izveden vsaj v velikosti 10,4 col in v ločljivosti 640 × 480 slikovnih točk (povzeto po ÖBB Produktion GmbH, 2017a).



Slika 5: Osnovni prikaz na DMI monitorju
(Vir: ÖBB Produktion GmbH, 2017a)

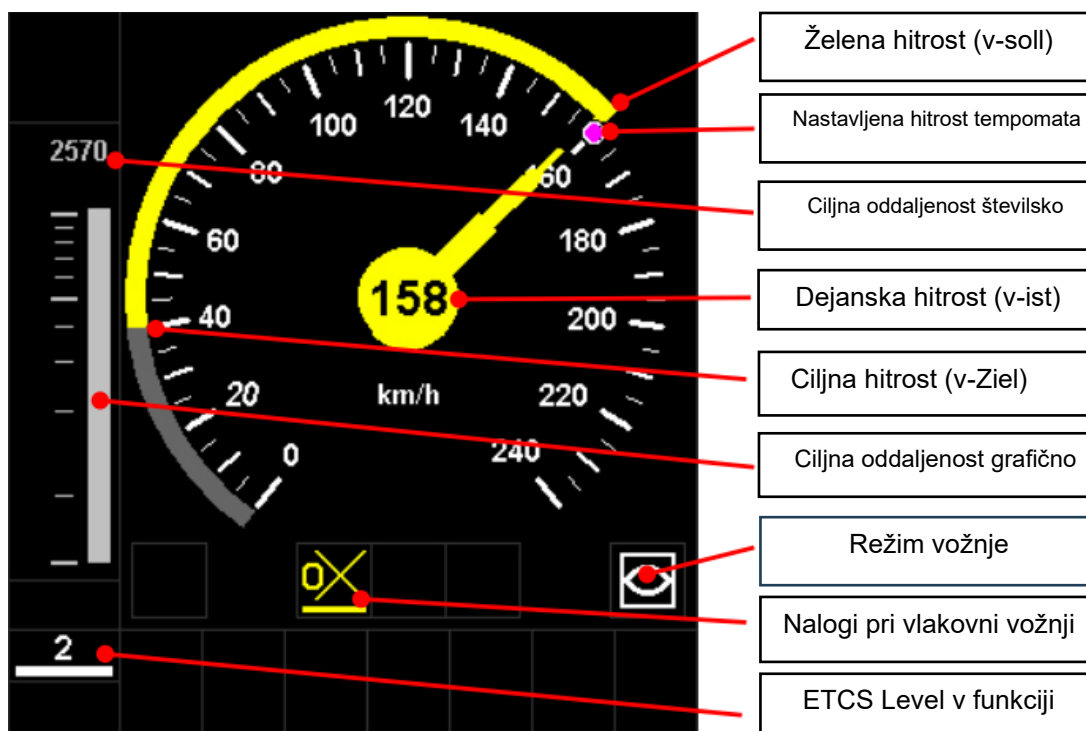
3.1.1 Merilnik hitrosti / dodatne informacije

Območje merilnika hitrosti in dodatnih informacij nas obvešča o:

- želeni hitrosti (v-soll),
- trenutni hitrosti (v-ist),
- ciljni hitrosti (v-Ziel),
- nadzorovani hitrosti,
- ciljni oddaljenosti,
- različnih nalogih vlakovne vožnje,
- tehničnem stanju ETCS naprave,

- aktualni ETCS stopnji,
- aktualni varnostni napravi v funkciji.

Želena hitrost (v-soll), ciljna hitrost (v-Ziel) in ciljna oddaljenost so v načinu delovanja Full Supervision ("popolni nadzor", FS) označene kot ETCS ključni elementi. Želena hitrost (v-soll) ustreza maksimalni dovoljeni hitrosti vožnje. Izračunana je na podlagi tehničnih lastnosti proge in vozila ter upoštevana pri izračunu zavorne krivulje.



Slika 6: Nivo merilnika hitrosti in pomen prikaza
(Vir: ÖBB Produktion GmbH, 2017a)

Ciljna hitrost (v-Ziel) kaže v ciljni točki (po prevoztvi ciljne razdalje) dovoljeno ciljno hitrost. Ciljna hitrost 0 km/h kaže na pričakovano ciljno točko ETCS-STOP (konec dovoljenja za vožnjo; End of Authority = EoA). Ciljna razdalja kaže oddaljenost do kraja (ciljna točka), pri kateri mora biti izveden prehod na nižjo hitrost. Številsko podana oddaljenost dopolnjuje črtni grafični prikaz, ki podrobneje zajema 1000 m razdalje.

3.1.2 Prikaz hitrosti na podlagi zavorne krivulje

Lok hitrosti je izven zavorne krivulje obarvan temno sivo. Pri zadnji programski različici Baseline 3 se spremeni hitrostni lok za prednajavo nekaj sekund pred

dosegom točke mesta zaviranja na belo obarvanost. Ob doseženem mestu zaviranja pa bo hitrosti lok prešel na rumeno obarvanost.

V primeru, da je ciljna hitrost jasno pod mejo ali če je že predhodno dosežena, je lok obarvan belo. Glede na vnesene vlakovne podatke (vrsta zaviranja in dolžina vlaka) se začne ciljna hitrost (v-Ziel) po nekaj sekundah zniževati. Točka mesta zaviranja je nato izračunana na podlagi dovoljene hitrosti (ne na podlagi dejanske hitrosti).

Slabi adhezijski pogoji so pri upoštevanju izračuna mesta točke zaviranja upoštevani le delno. V primeru spodrsavanja kolesnih dvojic se more zaviranje izvesti že pred dosegom točke mesta zaviranja. Informacija o razdalji do izračunane točke mesta zaviranja je vidna v prikazu nivoja načrtovanja.

3.1.3 ETCS-Service Brake

V primeru, da je zelena hitrost (v-soll) izven zavorne krivulje, se sproži ETCS-Service Brake (sistemsko delovno zaviranje), tlak v GVZ se avtomatsko spusti na 3,5 bara. Ta vrsta zaviranja je avtomatsko razrešena, ko je dejanska hitrost (v-ist) manjša kot zelena (v-soll).

3.1.4 ETCS-Emergency Brake

Ko dejanska hitrost vozila (v-ist) prekorači krivuljo nadzora zaviranja v sili, je s strani ETCS sproženo prisilno zaviranje. Toleranca znaša približno 3 km/h, pri čemer pride sprva samo do zvočnega opozorila, ob ne ukrepanju pa sledi še zapora vleke (ne pride do zaviranja v sili). V primeru nastalega prisilnega zaviranja pri hitrostni prekoračitvi pa nastopi funkcija avtomatske razrešitve, ko je dejanska hitrost (v-ist) nižja kot zelena (v-soll).

3.1.5 Release Speed

Release Speed (sproščena hitrost) omogoča vožnjo proti signalom, ki kažejo signalni znak za prepovedano vožnjo z višjo kot z zeleno hitrostjo (v-soll). Praviloma ta znaša 20 km/h. Sproščena hitrost je nadzorovana analogno prek ozkega sivega loka na merilniku hitrosti in tudi dodatno z digitalnim prikazom.

Malo preden dejanska hitrost (v-ist) doseže maksimalno sproščeno hitrost, pride najprej do zvočnega opozorila in pri nadaljnjem povečevanju dejanske hitrosti (v-ist) sledi zapora vleke. V primeru, da bi bila maksimalna sproščena hitrost v katerem koli času prekoračena, se sproži zaviranje v sili brez opozorila.

3.1.6 Ciljna oddaljenost

Ciljna oddaljenost prikazuje ob zavorni krivulji oddaljenost do cilja; zgoraj 1000 m samo v digitalni obliki, spodaj 1000 m analogno in digitalno.

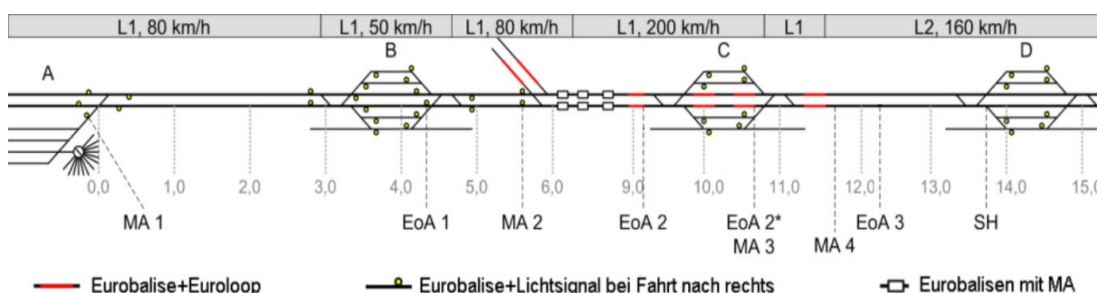
3.1.7 Nalogi

Pod merilnikom hitrosti se nahajajo nalogi, ki morajo biti izvedeni ročno s strani strojevodje ali avtomatsko s strani vlečnega vozila.

3.1.8 Nivo načrtovanja

Nivo načrtovanja prikazuje informacije za prihajajoči potek vožnje in strojevodjo obvešča o počasni vožnji, nivojskih prehodih, spremembah hitrosti, nagibnih razmerah itd.

3.2 Praktični primer vožnje



Slika 7: Shema postaj in medpostajnih odsekov
(Vir: Brunnengräber, 2022)

Vožnja se odvija v naslednjem zaporedju od postaje A do postaje D:

- Ugasnjena lokomotiva se nahaja na kurilniškem tiru depoja, ki spada pod ranžirno postajo A.
- Lokomotiva v načinu premikalne vožnje zapusti kurilniški tir in na ranžirni postaji A zapreže tovorni vlak.
- V stopnji Level 1 pelje tovorni vlak od ranžirne postaje A do postaje B. Ker ima na postaji B predviden izvoz potniški vlak, se MA našega tovornega vlaka konča pred izvoznim signalom postaje B. Ker postaja ni močno prometno obremenjena, ni na izvozni strani opremljena ne z *Euroloopom* ne z *Radio-Infillom* (RBC), temveč samo s svetlobnimi signali in balizno skupino (Eurobalise). Na postaji so urejene prepeljevalne poti.

- Nato se vožnja nadaljuje v stopnji Level 1 proti postaji C, ki leži na glavni progi. Postaja je opremljena z Euroloopom pri uvozni in izvozni balizni skupini.
- Po izvozu s postaje C se izvede tranzicija na stopnjo Level 2.
- Tako vozi vlak v stopnji Level 2 do postaje D, kjer se tovorni vlak odpne, lokomotiva pa se kot premikalna vožnja premakne na odstavni tir in tam ugasne.

3.2.1 Priprava na vožnjo

Ker ima lokomotiva izključene baterije, se ETCS naprava ne napaja in se nahaja v modusu No Power. Ob vklopu baterij ETCS naprava avtomatsko izvede različne teste in po njihovi izvedbi preide v modus Stand By. To je razvidno tudi iz prikaza na DMI.

Ob zasedbi strojevodske kabine sta najprej potrebna vpis osebne številke strojevodje in izbira stopnje Level 1/2. Ker bo lokomotiva na prvem odseku vožnje vozila po progi, opremljeni s stopnjo Level 1, izberemo in potrdimo to stopnjo. V nadaljevanju so na voljo naslednje možnosti izbire:

- Vnos podatkov vlaka in začetek vlakovne vožnje.
- Izbira modusa Shunting in začetek premikalne vožnje.
- Izbira modusa Non Leading za nevodilno lokomotivo brez nadzora (doprežna služba).

Premik iz depoja na tovorni vlak izvedemo z izbiro modusa Shunting. Ta modus bo takoj prevzet s strani ETCS-ja, možna je vožnja v obe smeri brez omejitev, razen hitrostne, ki je postavljena pri 40 km/h. Premikalna vožnja na tovorni vlak poteka brez zamenjave kabin, lokomotiva se stisne na odbojnice vlaka, izvedeta se spetje in zavorni preizkus.

Z zapreženim tovornim vlakom naj bi odpeljali s postaje na progo, opremljeno s stopnjo ETCS Level 1, in v tej stopnji nadaljevali do postaje B. To v modusu Shunting ni mogoče, ker se pri izvoznih signalih nahaja balizna skupina, ki bi v modusu Shunting sprožila zaviranje v sili. Zato izberemo 'Modus Shunting končan' in preklopimo nazaj na ETCS modus Standby. Po potrditvi strojevodske personalne številke (vmes je lahko prišlo do menjave) in že prej vnesene stopnje sledi vnos podatkov vlaka. Takoj ko so vlakovni podatki vneseni, preklopi ETCS v modus Staff Responsible. Vlak se v tem režimu lahko premika samo v smeri naprej in z manjšo hitrostjo (standardna omejitev V maks. = 30 km/h).

Na območju izvoznih ali kritnih signalov se nahaja balizna skupina (min. dve balizi), ki ob navozu le-teh oddaja telegram z Movement Authority (MA). Strojvodja mora

pred navozom baliz upoštevati signalne znake svetlobnih signalov, ker se še vedno nahaja v modusu SR in s tem v načinu Limited Supervision.

3.2.2 Vožnja od postaje A do postaje B

Ko glavni signal kaže signalne znake za dovoljeno vožnjo, prevozimo balizno skupino in prejmemo Movement Authority MA1. Ker je naslednji odsek do postaje B javljen kot prost, ETCS preklopi v modus Full Supervision. Naš MA1 vsebuje informacijo o najvišji progovni hitrosti 80 km/h za prve 3 km proge, nato 50 km/h prek kretniškega območja pred postajo B. MA se konča pred izvoznim signalom postaje B, ker je pred našim vlakom predviden izvoz potniškega vlaka. Na podlagi vnesenih vlakovnih podatkov v DMI, informacij od MA telegrama o prepeljevalni poti 150 m in na podlagi javljenega nagiba proge 4 promilov izračuna naprava ETCS Release Speed hitrost 18 km/h.

Nato namerno pospešimo na hitrost, višjo kot 80 km/h. Pri hitrosti 85 km/h smo zvočno opozorjeni, pri hitrosti 90 km/h pa ETCS od centralne krmilne naprave (zentrale Fahrzeugsteuergerät, ZSG) zahteva sprožitev popolnega zavrtja (Zwangs-Betriebsbremsung). Lokomotiva tako spusti tlak v glavnem zavornem vodu (GZV) na 3,5 bara, naš vlak tako zavre pod hitrost 80 km/h in ETCS po izpolnitvi tega pogoja ponovno sprosti vleko. Pravočasno, in sicer pred kretniškim območjem, zmanjšamo hitrost na 50 km/h in prav tako pred EoA1 pod Release Speed na 18 km/h.

3.2.3 Vožnja od postaje B do postaje C

Opazimo, da izvozni signal pri izvozni balizni skupini dovoljuje nadaljevanje vožnje, in tako prevozimo izvozno balizno skupino s hitrostjo 15 km/h. Zaradi napake v postavljalnici nam je izvozni signal še pred prevozom padel na signalni znak stoj, vlakovna vozna pot pa se je podrla. Na balizni skupini tako nismo prejeli novega MA. ETCS takoj preklopi v Modus Trip in sproži zaviranje v sili. Naš vlak se ustavi še znotraj prepeljevalne poti. Ta dogodek ni predstavljal nobene nevarnosti za odvijanje prometa, saj je imel ETCS vse potrebne informacije, da je bila zavorna pot še znotraj prepeljevalne poti.

V nastali situaciji ETCS ponuja samo preklop na modus Post Trip (edina možnost). To strojevodja potrdi, ETCS pa preklopi na Post Trip in razreši zaviranje v sili. Nato imamo možnost vožnje vzvratno, da spet dosežemo prepeljano balizno skupino in prevzamemo MA. Vendar funkcijo vzvratne vožnje dovoljujejo le redke postavljalnice, ker se tudi ob rinjenem vlakcu zahteva prepeljevalna pot (treba pa je upoštevati tudi problem zagotovitve spremljevalca na sklepu vlaka). Ostane nam tako le možnost preklopa prek funkcije modus Override v modus Staff Responsible.

Ker ETCS naprava na vozilu ne razpolaga z nobeno MA informacijo, je strojevodja v tem primeru prevzel popolno odgovornost. ETCS ima v modusu Staff Responsible samo še funkcijo točkovne varnostne naprave in ne več funkcije kontinuiranega nadzora. Nadaljevanje vožnje lahko dovoli samo prometnik/progovni prometnik z nalogom oz. fonogramom v modusu Staff Responsible ali pa se izvede preklon na PZB/Indusi. Potem ko smo od prometnika/progovnega prometnika dobili dovoljenje za nadaljevanje vožnje, vozimo v modusu Staff Responsible z zmanjšano hitrostjo. Po 1 kilometru vožnje dosežemo prvo balizno skupino, ki nam posreduje nov MA (MA2). Potniški vlak je zaradi našega zaviranja v sili in daljšanja voznih časov glede na podatke prikaza javljenih prostih odsekov najmanj 4 km pred nami, novi MA vsebuje tako EoA dolžine 4 km. Najvišja dovoljena hitrost vlaka znaša skladno z MA 120 km/h. Čeprav imamo samo 60 % zavernega odstotka, nam ETCS naprava na vozilu dovoljuje, da na podlagi vnesenih podatkov v modusu Start-of-Mission vozimo z najvišjo hitrostjo vlaka 120 km/h in tako nadoknadimo zamudo. Tako lahko navkljub zmanjšanemu zavornemu učinku pod ETCS-jem vozimo občutno hitreje kot pri PZB/Indusi, ne da bi kakorkoli posegali v obstoječe varnostne naprave na progi. ETCS je tudi v stopnji Level 1 in modusu Full Supervision del kontinuiranega nadzora, medtem ko je PZB le točkovni nadzor, čeprav oba prejmeta informacije samo iz enega vira (balize).

Ob vožnji proti postaji C je MA2 pri vsakem prevozu balizne skupine do izvoza s postaje C podaljšan (EoA2*). Pravočasno, in sicer pred dosegom EoA2*, zniža ETCS naprava na vozilu najvišjo dovoljeno hitrost. Ker je na tem mestu položen kabel Euroloop, sta navedba prepeljevalne poti v MA in izračun sproščene hitrosti (Release Speed) nepotrebna, obe vrednosti sta lahko 0. Z zaviranjem dosežemo začetek Euroloopa pri 40 km/h, v kilometru 10,4 – približno 300 metrov pred EoA2*. Med zaviranjem se spremeni s strani Euroloopa predana informacija in tako prejmemo nov MA (MA3) z najvišjo hitrostjo vlaka 120 km/h. Takoj lahko prekinemo z zaviranjem in ponovno začnemo pospeševati.

Zaradi postanka na postaji C se potniški vlak nahaja le še 1 km pred nami, MA3 se tako konča še na razdalji 1400 m, ETCS zaradi zmanjšanega zavernega odstotka nadzoruje ciljno oddaljenost in ne progovne hitrosti oz. najvišje hitrosti vlaka. ETCS nam tako nadzoruje najvišjo hitrost vožnje pri 108 km/h ob prejemu MA3, ta hitrost pa se kontinuirano znižuje.

3.2.4 Vožnja od postaje C do postaje D

V kilometru 11,2 se nahaja balizna skupina, ki najavlja prehod na stopnjo Level 2. Takoj ob navozu začne ETCS naprava na vozilu na podlagi prenesenih podatkov vzpostavljati radijsko povezavo RBC. Takoj ko se radijska povezava vzpostavi, pošlje ETCS naprava na vozilu na RBC zahtevo po novem MA telegramu, ker je obstoječi MA že pred iztekom.

Potniški vlak nam je v tem času ponovno sprostil nekaj odsekov, zato prejmemo nov telegram MA (MA4) z maksimalno hitrostjo našega vlaka 120 km/h. MA4 telegram se konča na postaji D. Tam prejme naša ETCS naprava od RBC-ja še med vožnjo prek Radio-Infilla navodilo (pri zmanjšani hitrosti) o preklopu v modus Shunting. Naša vlakovna vožnja je tako končana, začne pa se premikalna vožnja. Strojevodja potrdi prehod in brez ustavitve v modus Shunting zapelje na predviden industrijski tir ob postaji. Sledita še odpetje lokomotive od vlaka in pospravljanje lokomotive (povzeto po Brunnengräber, 2022).

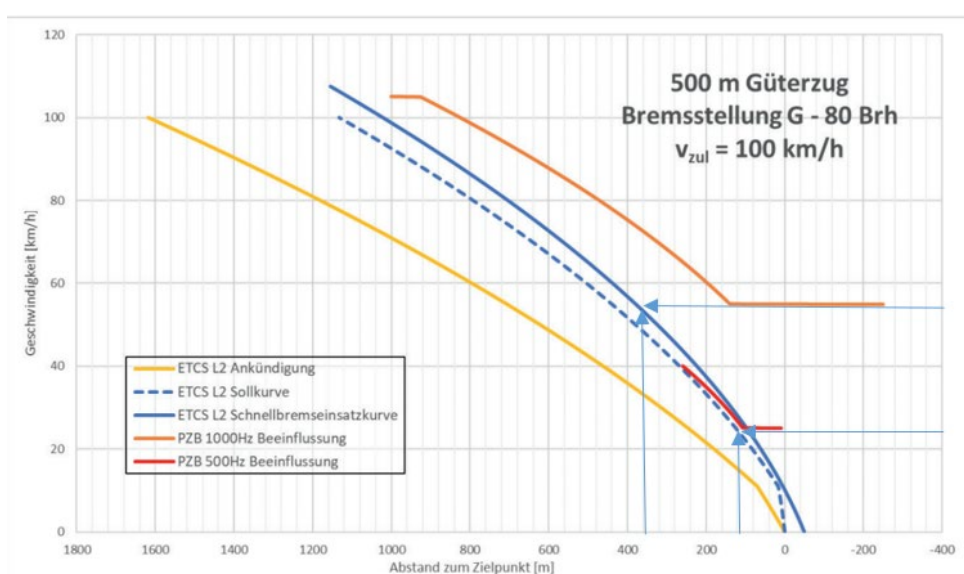
3.3 Prednosti, slabosti in možnosti izboljšav

Sistem ETCS se je v Evropi v zadnjih desetih letih splošno uveljavil, še posebej na bolj obremenjenih koridorskih progah in progah za visoke hitrosti. Tukaj lahko veliko zaslug pripišemo Evropski uniji, ki projekte opremljanja prog z ETCS-jem v državah članicah sofinancira s sredstvi TEN-T do višine 50 odstotkov od skupnih vrednosti investicij. Problem pa se pojavlja pri prevoznikih, ki morajo sami zagotoviti opremo teh vozil z novo ETCS varnostno napravo. Nekatera vozna sredstva starejšega datuma izdelave pred dobo polprevodniških elementov, ki vlečni tokokrog krmilijo še elektro-mehansko, pa celo niso sposobna za njeno vgradnjo. Tudi pri ostalih novejših vozniških sredstvih se pojavlja dvom o smiselnosti vgradnje in dodatnih stroških med 150.000–700.000 € (ocena DB Konzern) na vozilo za vozna sredstva, ki se morda nahajajo že na polovici svoje pričakovane življenjske dobe. Pojavljajo se tudi pomisleki o smiselnosti vgradnje ETCS-ja na manj obremenjene proge in proge z nižjimi progovnimi hitrostmi, kjer PZB 90 povsem zadostuje potrebam. Če vse skupaj prenesemo na slovenski prostor, kjer smo se odločili za implementacijo stopnje Level 1 brez Euroloopa in RBC-ja, bi se ob širši uporabi tudi v tovornem prometu gotovo začele pojavljati težave z zniževanjem prepustnosti prog.

Trenutno se ETCS v Sloveniji namreč uporablja le na potniških garniturah proizvajalca Stadler (serije 510, 313 in 610). V primeru vožnje tovornega vlaka v ETCS sistemu bi se ob vsaki previdni vožnji tovornega vlaka izrisala krivulja z zahtevano skorajšnjo ustavitvijo pred naslednjim glavnim signalom oz. naslednjo balizno skupino. To bi se na SŽ omrežju izredno težko obneslo zaradi velikih razlik v hitrosti vožnje med različnimi trasami. Poznamo tri različne progovne hitrosti: vlaki z nagibno tehniko, lahki vlaki in ostali vlaki. SŽ Infrastruktura določi veliko tovornim trasam maksimalno hitrost 75 km/h in omejitve serije 363 v tovorni prestavi reduktorja, kjer najvišje hitrosti vožnje znašajo v povprečju od 55 do 70 km/h.

V tujini, še posebej v Avstriji in Nemčiji, pridejo do izraza prednosti stopnje Level 2, saj se zasedba prihodnjih odsekov sproti posodablja prek RBC telegramov. Tako vožnja različnih vrst vlakov ne predstavlja večjih ovir pri odvijanju prometa. Prepustnost prog se je v nasprotju s sistemom PZB/Indusi še povečala.

Pri veliko progah je prišlo do povišanja progovnih hitrosti brez gradbenih posegov, saj je bila prvotna hitrostna omejitev proge postavljena zgolj zaradi omejitve sistema PZB/Indusi pri 160 km/h. Pri ETCS-ju pa lahko potniški vlaki na konvencionalnih progah, če ni prisotnih ostalih omejitev, vozijo 200 km/h. Tudi pri tovornih vlakih je prišlo do izboljšanja, saj zaradi višjega zavornega odstotka tudi težki tovorni vlaki lahko vozijo od 100 do 120 km/h (zakonodajno pogojeno, zaenkrat samo na DB Netze). Če omenimo še strojne vožnje, so na območju ÖBB Netz zvišali maksimalno hitrost strojnih voženj s 120 km/h v sistemu PZB/Indusi na 160 km/h v sistemu ETCS, kar na daljših razdaljah občutno pripomore k zvišanju razpoložljivosti voznega parka.



Slika 8: Primerjava zavornih krivulj v sistemu PZB/Indusi in ETCS-ju
(Vir: Kahl, 2024)

Če še enkrat izpostavimo varnostni vidik ETCS-ja na podlagi zavorne krivulje, se zdi najpomembnejši vidik prav kontinuiran nadzor hitrosti, ki vozilo nadzoruje vse do mesta ustavitve. Z grafa lahko razberemo primer težkega tovornega vlaka, ki vozi v tovornem režimu zavore in ima zavorni odstotek pod 80 %. Tak vlak bi lahko mesto ustavitve v sistemu PZB/Indusi prevozil brez krajevne kontrole hitrosti (500 Hz balize) s hitrostjo 55 km/h (varnostna naprava ob tem ne bi posredovala). V primeru vgrajene 500 Hz balize pa bi glavni signal lahko prevozil pri 25 km/h. To se pri uporabi ETCS-ja ne bi moglo zgoditi, ker bi se zaviranje v sili pri hitrosti 55 km/h sprožilo že 360 m pred mestom ustavitve, pri hitrosti 25 km/h pa 160 m pred mestom ustavitve.

V razvojni in testni fazi se nahaja tudi ETCS stopnje Level 3, ki temelji na ohranjanju razdalj med vozili na razdalji fiktivnih blokovnih odsekov (Moving Block). Pri tej stopnji odpadejo vse balize in detekcija zasedenosti proge (števcu osi).

Lokacija pozicije vlaka se vsakih 6 sekund avtomatsko javlja v progovno centralo (RBC). Sistem je bil tako testno implementiran s strani Thalesa na testni progi Annaberg–Schwarzenberg na Saškem. Razdalje med zaporedno vozečimi vlaki so tako minimalizirane zgolj na zavorno in varnostno razdaljo. Teoretično je tako možno doseči cilj do 20 % večjo prepustnost prog. Kontrola celovitosti vlaka je v celoti prepuščena senzorjem na vlaku, vendar uporabe na konvencionalnih progah ni pričakovati v doglednem času, saj je sistem v svoji funkciji in pomanjkljivostih bolj primeren za sisteme Light Rail Transit (LRT). Njihova značilnost so veliko število postajališč, ustavljanj, speljevanj, kratke zavorne razdalje in visoka frekvenca voženj. Vprašljivo je tudi doseganje 20 % večje prepustnosti, saj kakršnokoli stanje iz prometnih ozirov pomeni že trasni konflikt, ki ga ETCS ne bo odpravil. Prav tako ni nobenemu upravljalcu železniškega omrežja v interesu obremeniti progo do te mere, da bi funkcija stopnje Level 3 sploh prišla do izraza.

Pri razvoju novih tehnologij velja omeniti tudi Automatic Train Operation (ATO), ki kot podsistem ETCS-ja deluje na njegovem principu. ATO sistem je odgovoren za krmiljenje pogonskega in zavornega krmiljenja vozila ter avtomatizira vožnjo. Prek radijskega sistema je vozilo povezano s sistemom za vodenje prometa (TMS). TMS tako podaja podatke o nadaljnjem in aktualnem gibanju vozila, da je lahko skozi celoten potek vožnje dosežen optimalni hitrostni profil (dvig kapacitete/energijska učinkovitost). Iz tega hitrostnega profila se oblikuje tudi potek vožnje, ki ga ATO sistem avtomatsko pretvori v ukaze za upravljanje pogonskega in zavornega sistema vozila. Tako so vsa pospeševanja in zaviranja optimirana na podlagi hitrostnega profila in posodobljena na podlagi aktualnih voznih ter voznorednih informacij.



Slika 9: Testiranja ETCS-ja Level 3 na testni progi Annaberg–Schwarzenberg
(Vir: DB Netz GmbH, 2018b)

4 ZAKLJUČEK

Proces uvajanja ETCS-ja v Evropi je obširen proces, ki se bo na glavnih evropskih progah izvajal šele po letu 2035. Njegova implementacija bo navkljub TSI standardom še vedno odvisna od posameznih držav. Tukaj lahko opazimo predvsem neambicioznost Slovenije kot države, ki se navkljub povečanim sredstvom za investicije v železnice te na žalost ne poznajo ne na dvigu progovnih hitrosti ne na krajšanju voznih časov. Proge se tako po večini nadgrajujejo po obstoječih trasah brez sprejemanj državnega prostorskega načrta, kar je pogoj za izvedbo deviacije. Hitrosti tako ostajajo znotraj 10-% dviga v nasprotju s prejšnjim stanjem.

Iz tega lahko izhajamo, da ETCS v Sloveniji ne pride do izraza v takšni meri, kot bi lahko. Na praktičnem primeru vožnje smo lahko videli, kašen doprinos lahko ETCS prinese na ustrezno urejeni infrastrukturi, in sicer od dviga progovnih hitrosti na 200 km/h, večjega zavornega odstotka, bolj ekonomične vožnje z manj pospeševanji in zaviranji do varčevanja z energijo, kar posledično pomeni večjo prepustnost prog. Žal se v Sloveniji nismo odločili za vgradnjo stopnje Level 2, kar bo na dolgi rok še znižalo prepustnost prog, še posebno če bodo na ETCS začeli voziti tudi tovorni vlaki. V sosednji Avstriji so se tako na primer odločili ETCS Level 1 v celoti nadgraditi na Level 2. Zavedati se je treba, da je zavorna krivulja pri ETCS-ju veliko bolj restriktivna kot pri obstoječi varnostni napravi PZB 90, kar se bo poznalo pri težjih vlakih.

Izpostaviti je treba tudi prednosti, ki jih ETCS prinaša v pogledu izboljšanja varnosti. Delovanje v modusu Full Supervision ("popolni nadzor", FS) v maksimalni možni meri izključuje možnost napake človeškega faktorja. Vožnja v ETCS-ju prav tako razbremenjuje strojevodjo, ki je predhodno obveščen o signalnih znakih, ki jih kažejo glavni signali, in kako daleč sme voziti. Pri višji hitrosti in v primeru poslabšane vidljivosti to bistveno izboljša reakcijski čas, ki ga strojevodja potrebuje za začetek zaviranja.

V prihodnosti bo treba v Sloveniji ob povečevanju prometa na najbolj obremenjenih odsekih razmisliti tudi o nadgradnji v stopnjo Level 2, saj bi bila načrtovana izvedba taktnega potniškega prometa, kakršen je zamišljen na odsekih Ljubljana–Litija–(Zidani Most); Ljubljana–Borovnica in Ljubljana–Kranj, zelo težko izvedljiva. Tu so v načrtih od 20- do 30-minutni takti, ki v primeru zapor katerega od tirov ne bi bili izvedljivi. Poleg tega je pričakovati tudi povečevanje tovrnega prometa. S tega stališča je vožnja na previdno, ki v vsakem odseku avtomatskega progovnega bloka (APB) zahteva skorajšnjo ustavitev pred naslednjo balizno skupino, v konfliktu s podeljenimi trasami.

Tu govorimo o pričakovani odjavi tovornega vlaka v 2000-metrskem APB odseku, o voznoredni hitrosti 100 km/h in dolžini vlaka 500 m pri 90 sekundah. Potniški vlak v primerjavi s tovornim vlakom potrebuje za odjavo v istem APB odseku za tretjino več časa, tj. približno 120 sekund. Ob uporabi ETCS-ja, nivoja Level 1 in pri vožnji na previdno pa bi se čas odjave tovornega vlaka povzpел vse tja do 240 sekund.

V sklepu lahko strnemo, da je ETCS ob ustrezni implementaciji v povezavi z ostalimi ukrepi ob upoštevanju TSI standardov pri projektiranju prog nepogrešljiv element sodobnega evropskega železniškega omrežja. Njegova največja prednost je predvsem povečanje varnosti in zanesljivosti železniškega prometa. Samo upamo lahko, da se bodo v Sloveniji trendi nadaljevali v smeri obsežnih nadgradenj medpostajnih odsekov, kar bi omogočalo uporabo ETCS-ja v vseh njegovih predvidenih funkcijah in približalo slovensko železniško omrežje po zanesljivosti bolj razvitim državam srednje Evrope.

5 LITERATURA IN VIRI

Brunnengräber, T. (2022). Einführung in ETCS. Pridobljeno 15. 10. 2024 z naslova https://thomas-brunnengraeber.de/pblications/etcs_intro/#u5

Bühersch, P. in Schlichting, J. (2018). *Zukunft Bahn: ETCS und digitale Stellwerke*. Pridobljeno 27. 9. 2024 z naslova https://www.eurailpress.de/fileadmin/user_upload/EIK_2018_Buehersch_Schlichting.pdf

DB InfraGO AG. (2024a). *Anforderungen und Bedingungen*. Pridobljeno 25. 9. 2024 z naslova <https://www.dbinfrago.com/web/schienennetz/etcs/anforderungen>

DB InfraGO AG. (2024b). *Grundlagen ETCS*. Pridobljeno 25. 9. 2024 z naslova <https://www.dbinfrago.com/web/schienennetz/etcs/grundlagen-etcs>

DB Netz AG. (2018a). *Europäisches Zugbeeinflussungssystem (ETCS), Glossar, Teil-Lastenheft 1, Anhang 1*. Pridobljeno 5. 10. 2024 z naslova https://fahrweg.dbnetze.com/resource/blob/1357450/5ba0e300ee53bf593a456912e9ca2dfc/Glossar_ETCS-data.pdf

DB Netz AG. (2018b). *European Train Control System (ETCS)*. Pridobljeno 24. 10. 2024 z naslova https://fahrweg.dbnetze.com/resource/blob/9728786/461729e9fed0107df85271ba1bbddf8b/etcsbroschuere_2018-data.pdf

Evropska komisija. (2022). *ERTMS – Work Plan of the European Coordinator*. Pridobljeno 27. 9. 2024 z naslova https://transport.ec.europa.eu/system/files/2023-09/ERTMS_work_plan-second_edition.pdf

Förster, J. idr. (2023). *ETCS-Bremsskurven im Spiegel der Praxis*. Pridobljeno 5. 10. 2024 z naslova https://digitale-schiene-deutschland.de/_default_upload_bucket/202306_Der%20Eisenbahningenieur_ETCS_Bremsskurven_im_Spiegel_der_Praxis.pdf

Matko, K. (2012). *Uvedba novih varnostnih sistemov na progah Slovenskih železnic*. Diplomsko delo, Ljubljana: B&B Višja strokovna šola. Pridobljeno 25. 9. 2024 z naslova https://bb.si/f/docs/diplomska-dela/matko_kristijan_0.pdf

Ministrstvo za infrastrukturo RS. (2020). *Nacionalni izvedbeni načrt o tehničnih specifikacijah za interoperabilnost za strukturni podsistem vodenje-upravljanje in signalizacija*. Pridobljeno 1. 10. 2024 z naslova https://transport.ec.europa.eu/document/download/4317bc90-04ca-467f-8f85-09ee23f044ec_en?filename=nip-ccs-tsi-slovenia-si.pdf

Ministrstvo za infrastrukturo RS. (2016). Uvedba sistema ETCS na koridorju D. Pridobljeno 1. 10. 2024 z naslova <https://www.krajsamorazdalje.si/projekti/uedba-sistema-etcs-na-koridorju-d>.

ÖBB Infrastruktur AG. (2014). *ETCS Zugbeeinflussung*. Pridobljeno 25. 9. 2024 z naslova <https://infrastruktur.oebb.at/de/geschaeftpartner/schienennetz/dokumente-und-daten/etcs-zugbeeinflussung>

ÖBB Infrastruktur AG. (2019). *Bildungs Zentrum: Eisenbahn & Lehrlingswesen, FT Aus- und Weiterbildung (intern), Schulungsunterlagen*. ÖBB Infrastruktur AG.

ÖBB Produktion GmbH. (2017a). *Tfzf-Heft ETCS L1/L2, Ausgabe 2.0, 11/2017*. Wien: ÖBB Produktion GmbH.

ÖBB Produktion GmbH. (2017v). *Tfzf-Heft (ehem. DB 823) ETCS Level STM/NTC PZB Anlage 1 Besonderheiten BR 1016/1116. Version 2.0, 11/2017*. Wien: ÖBB Produktion GmbH.

ÖBB Produktion GmbH. (2017c). *Tfzf-Heft (ehem. DB 823) ETCS Level STM/NTC PZB Anlage 2 Besonderheiten BR 1216/8090. Version 2.0, 11/2017*. Wien: ÖBB Produktion GmbH.

ÖBB Produktion GmbH. (2018). *ÖBB Vectron Bedienung und Fehlersuche. Version: 1.0, 11/2018*. Wien: ÖBB Produktion GmbH.

ÖBB Produktion GmbH. (2019). *ÖBB VECTRON Softwareupdate E1. Version: 1.0, 10/2019*. Wien: ÖBB Produktion GmbH.

Siemens AG. (2024). *European Train Control System (ETCS)*. Pridobljeno 25. 9. 2024 z naslova <https://www.mobility.siemens.com/global/de/portfolio/bahinfrastruktur/fernverkehr/european-train-control-system.html>

Siemens AG. (b. l.). *Automatic Train Operation Lösungen für automatisiertes Fahren im schienengebundenen Fern-, Güter- und Regionalverkehr*. Pridobljeno 22. 10. 2024 z naslova <https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:7903f64f-11ed-4e6c-9524-6bae64ded14a/broschuere-automatic-train-operation-d.pdf>

Slovenske železnice – Infrastruktura. (2024). *Program omrežja 2024*. Pridobljeno 21. 10. 2024 z naslova <https://infrastruktura.sz.si/za-partnerje/dostop-do-jzi-za-prevoznike/program-omrezja/>

Trinckauf, J., Kahl, R. in Maschek, U. (2024). *ETCS in Deutschland*. Hamburg: Trackomedia .

TECA Srl. (2024). Our Works. Pridobljeno 25. 10. 2024 z naslova
<https://www.tecaunipersonale.it/en/s-projects-side-by-side>

Wikipedija prosta enciklopedija (2016). Slikovno gradivo uporabnika Störfix.
Pridobljeno 25. 10. 2024 z naslova <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:NBS-EF-L-HAL-%C3%9Cberholbf-J%C3%BCdendorf.jpg>

Wikipedija prosta enciklopedija (2018). Slikovno gradivo uporabnika Störfix.
Pridobljeno 25. 10. 2024 z naslova
<https://de.m.wikipedia.org/wiki/Datei:Verbindungskurve-D%C3%B6rfles-Esbach-2018-Jan-2.jpg>