

STRAHINJA OGNJANOVIĆ*, SANJIN MILINKOVIĆ, PREDRAG JOVANOVIĆ

ETCS KRIVE KOČENJA ETCS BRAKING CURVES

Datum prijema rada: 20.9.2024. god.
Datum prihvatanja rada: 29.10.2024. god.
UDK: 656.2:629.4+656.2:654.9

REZIME:

Železnica čini osnovu transportne mreže jedne zemlje, omogućavajući siguran i efikasan prevoz putnika i robe, uz prilagodljivost različitim potrebama. Kompleksnost železničkog sistema zahteva formiranje precizno definisanih parametara koji će osigurati bezbednost u saobraćaju. Izazov leži u velikom broju železničkih sistema i pravila koji se razlikuju od države do države. Rešavanje ovakvih izazova dovelo je do formiranja tehničkih specifikacija interoperabilnosti. Tehničke specifikacije interoperabilnosti obezbeđuju ukidanje barijera radi lakšeg kretanja među državama, a u smislu unifikacije signalizacije kontrole i upravljanja. Značajan segment koji se unapređuje jeste kontrola kretanja vozova. Opšte karakteristike su definisane unutar seta "Subset 026", time se postavlja osnov za kontrolu kretanja vozova. Izvršena je osnovna podela na vozove fiksnih kompozicija pod nazivom Gamma, kao i vozove varijabilnih kompozicija pod nazivom Lambda. Ove postavke se primenjuju i u Srbiji izgradnjom međunarodne pruge (Beograd Centar) – Stara Pazova – Novi Sad – Subotica – državna granica – (Kelebia). Na osnovu tehničkih specifikacija interoperabilnosti izvršen je prikaz novog sistema kontrole. Sistem se bazira na takozvanim krivama kočenja.

Ključne reči: krive kočenja, ETCS, simulacija, Lambda vozovi, Gamma vozovi

SUMMARY:

The railway is a fundamental part of a country's transportation network, ensuring safe and efficient transport of passengers and goods while meeting various needs. The complexity of the railway system requires the establishment of precisely defined parameters to ensure traffic safety. The challenge lies in the large number of railway systems and regulations that differ from country to country. Addressing these challenges has led to the development of Technical Specifications for Interoperability. The Technical Specifications for Interoperability ensure the removal of barriers for easier movement between countries, in terms of the unification of signaling, control, and management. A significant segment being improved is train movement control. General characteristics are defined within the "Subset 026," thereby setting the foundation for train movement control. A fundamental classification has been made, distinguishing between fixed-composition trains called Gamma and variable-composition trains called Lambda. These principles are also applied in Serbia with the construction of the international railway line (Belgrade Center) – Stara Pazova – Novi Sad – Subotica – state border – (Kelebia). Based on the Technical Specifications for Interoperability, a new control system has been introduced. The system is based on so-called braking curves.

Keywords: Braking curves, ETCS, Simulation, Lambda trains, Gamma trains

*Strahinja Ognjanović, Saobraćajni institut CIP, Beograd, Nemanjina 6, strahinja.ognjanovic@sicp.co.rs

1. UVOD

Železnica kakvu danas poznajemo u mnogome se razlikuje od železnice iz prošlog veka. Veoma značajan deo železničkog sistema su signalno-sigurnosni uređaji, koji vrše prikupljanje i razmenu podataka od i ka pruži, u vezi sa putevima vožnje, zauzećem koloseka i signalizacijom.

Svrha signalno-sigurnosnih uređaja je pre svega namenjena bezbednosti celokupnog sistema. Bezbednost na železnici dobija novu dimenziju primenom savremenih signalno-sigurnosnih uređaja. Krive kočenja su značajan segment jednog od savremenih sistema, a to je Evropski sistem kontrole vozova (European Train Control System - u daljem tekstu ETCS). ETCS je deo Evropskog sistema upravljanja železničkim saobraćajem (European Rail Traffic Management System - u daljem tekstu ERTMS), i predstavlja jedan od najvećih projekata Evropske unije. Osnovni zadatak Evropskog sistema upravljanja železničkim saobraćajem jeste interoperabilnost železničkog sistema Evrope [1].

Osnovni delovi ERTMS su ETCS kao što je gore navedeno, i globalni sistem za mobilne komunikacije - Železnica (Global System for Mobile Communications Railway - u daljem tekstu GSMR).

GSMR predstavlja projekat Evropske integrisane železničke radio poboljšane mreže (European Integrated Railway Radio Enhanced Network - u daljem tekstu EIRENE). GSMR služi kako za govornu komunikaciju tako i za prenos podataka između sistema duž pruge i voza.

Sam ERTMS nastao je kroz projekat osam članica Evropskog udruženja železničke industrije (Union des Industries Ferroviaires Européennes).

Analize koje su vršene pre samog uvođenja ETCS sistema, ukazale su na veliku brojnost različitih sistema koji su ograničavajući faktor. Postavljeno je pitanje, šta je neophodno učiniti kako bi se izvršila unifikacija železnickog sistema. Iz ova je proizašlo formiranje takozvanih tehničkih specifikacija interoperabilnosti (Technical specification for interoperability - u daljem tekstu TSI). Pojam interoperabilnosti definisan je Zakonom o

interoperabilnosti železničkog sistema, u kome se železnički sistem definiše kao celina koja obuhvata funkcionalne i strukturne podsisteme, upravljanje i eksploataciju [2].

Jedna oblast stukturnih podsistema jeste kontrola, upravljanje i signalizacija (Control Comand and Signaling - u daljem tekstu CCS). CCS sastoji se iz dva dela, i to dela koji je vezan za prugu i dela koji je vezan za vozna sredstva.

Kako bi sam TSI bio preopširan formiran je takozvani bejslajn (baseline) koji predstavlja skup više dokumenata koji jasno definiše svaki segment određenog TSI. Jedan TSI sastoji se od mandatornih i informativnih specifikacija, i oni su organizovani u posebne dokumente. Najčešći naziv za pojedinosti kojima se bave je podskup (Subset). Unutar Subset-a postoje precizno definisana poglavlja koja definišu krive kočenja, koja se primenjuju u našoj zemlji [2].

2. KRIVE KOČENJA

Pre svega, neophodno je naglasiti da komandni, kontrolni i signalni sistem ne koči, on zapravo nije odgovoran za kočioni sistem voza, koji će odraditi celokupan posao.

ETCS kao i neki drugi sistemi vrše nadzor nad pozicijom i brzinom voza kako bi se obezbedilo da oni konstantno ostanu u dozvoljenim granicama brzine i pređenog puta. U slučaju da je neophodno, određenom komandom aktiviraće se kočioni sistem kako bi se blagovremeno izbegla bilo kakva vrsta rizika od prekoračenja pomenutih parametara. Kako bi ovakva vrsta sistema funkcionisala ETCS sistem unutar vozila mora predvideti buduće profile usporenja voza (koji slede duž zaustavnog puta). Ovakva predviđanja formiraju se na osnovu matematičkog modela kočenja voza, kao i karakteristika pruge koja sledi. Predviđanja obaranja brzine nasuprot pređenom putu, naziva se kriva kočenja.

Implementacija sistema ETCS dovodi do upotrebe krivih kočenja. Da bi ovakav sistem funkcionisao neophodno je u potpunosti uskladiti krive kočenja. Sam proces harmonizacije je težak, jer je neophod-

no jasno definisati odgovornost između upravljača infrastrukture i korisnika.

Dodatne prepreke predstavljaju postojeći sistemi kontrole, komande i signalizacije, koji su razvijani na nacionalnom nivou. Nacionalni sistemi su razvijani na bazi različitih razmišljanja o upravljanju brzinom kao i rastojanjem. Ovo znači da svaka zemlja ima svoju politiku upravljanja bezbednošću, takođe svaka zemlja formira bezbednosne zahteve, što dalje upućuje na veliki broj varijanti.

Takođe, unutar pojedinih zemalja nisu jasno definisane bezbednose granice između infrastrukture i vozila.

Svi navedeni problemi moraju biti prevaziđeni kako bi se napravio raskorak ka unificiranoj kontroli brzine i distance. Da bi se izvršila unifikacija neophodno je:

- da krive kočenja budu u potpunosti predviđene;
- da se bezbednosne margine, koje direktno utiču na nivo pouzdanosti krivih kočenja, moraju nedvosmisleno podeliti između upravljača infrastrukture i korisnika.

ETCS specifikacije bejslajn 2 sadrže osnovne principe krivih kočenja kao i informacije koje se prikazuju mašinovođi. Međutim nije prikazan harmonizovan metod, odnosno algoritam kako bi ih trebalo izračunati.

Usled navedenog nastali su sledeći problemi:

- Usled nedostatka ograničenja, algoritmi ETCS koji su bili ugrađeni od strane nekih proizvođača vodili su ka različitim krivama kočenja za različiti tip vozila. Ovakav vid je ugrožavao projektovanje same infrastrukture, zbog toga što ona više nije zavisila od samih kočionih karakteristika vozila već i od samog sistema ETCS.
- Za međunarodne vozove, razlike u nacionalnim pravilnicima/praksama zahtevaju implementaciju ETCS na vozilu sa nekoliko različitih profila krivih kočenja. Ovo znatno povećava troškove, kao što su dizajn softvera, međugranični testovi, unapređenje softvera kao i svaka promena u nacionalnim pravilnicima.

Nakon dugog niza godina, formirana je stabilna konstrukcija koja se nalazi u tehničkim specifikacijama bejslajn 3.6. Subset 026, koji sadrži najkorisnije informacije i one su mandatorne.

Kriva kočenja koja je povezana sa usporenjem u slučaju opasnosti na grafikonima predstavljena je oznakom EBD (Emergency Brake Deceleration). Svaku specifičnu lokaciju datu od strane ETCS pružnog dela, koristi oprema ETCS na vozilu kako bi se u potpunosti izračunale krive kočenja, koje zavise i od karakteristika voza i od karakteristika pruge. Oblik EBD krive kočenja variraće u zavisnosti od tipa kola. Što je sistem kočenja manje efikasan, to će EBD kriva kočenja da bude na većem delu horizontalna, odnosno predstavljena sa blažim padom.

ETCS oprema više puta u toku jedne sekunde u realnom vremenu proračunava dužinu koja je neophodna da bi se voz zaustavio ili usporio, od trenutka zadavanja komande kočenja, od strane ETCS opreme unutar voza. Da bi sve navedeno bilo postignuto potrebno je pretpostaviti najgori mogući slučaj:

- dinamiku voza pre nego što je dostignut pun kapacitet kočnice, uključujući i izmereno ubrzanje;
- na stvarnu brzinu voza neophodno je dodati određeni procenat nepreciznosti tokom merenja brzine (definisano i u Subset 041).

Uključivanjem ovih parametara dobijaju se rastojanja, odnosno lokacija na kojoj će da se aktivira kočnica, odnosno lokacija pri kojoj će ETCS da aktivira kočnicu. Pomenuta radnja naziva se intervencija kočnice u slučaju opasnosti, prikazana unutar grafikona Subset-a kao EBI (Emergency brake intervention). EBI je zapravo trenutak u kome će ETCS sistem da signalizira aktivaciju kočionog sistema. Kao što je već pomenuto, kočenje kasnije zavisi samo od pouzdanosti sistema unutar železničkog vozila. Kriva kočenja EBD i sam trenutak intervencije EBI zajedno formiraju takozvani "padobran".

Termin padobran u ovom kontekstu označava preventivnu reakciju signalno-sigurnosnih uređaja (u daljem tekstu SS uređaji), kako bi se sprečilo

prekoračenje brzine kao i prolazak kroz određenu tačku neovlašćeno. Termin se ne odnosi na konvencionalne železničke sisteme zaštite, a razlog za to je što se SS uređaji aktiviraju tek nakon prolaska vozila određenog signala, ovo bi značilo da se takozvani padobran otvara preblizu zemlje.

Kako bi, takozvani padobran funkcionisao u potpunosti, ETCS mora da obezbedi unapred pripremljene informacije koje su vezane za kočenje. Svrha ovoga je da pomogne mašinovođi, kao i da mu omogući da vozi sigurno i bez stresa, a da pri tome održava brzinu voza u predviđenim granicama.

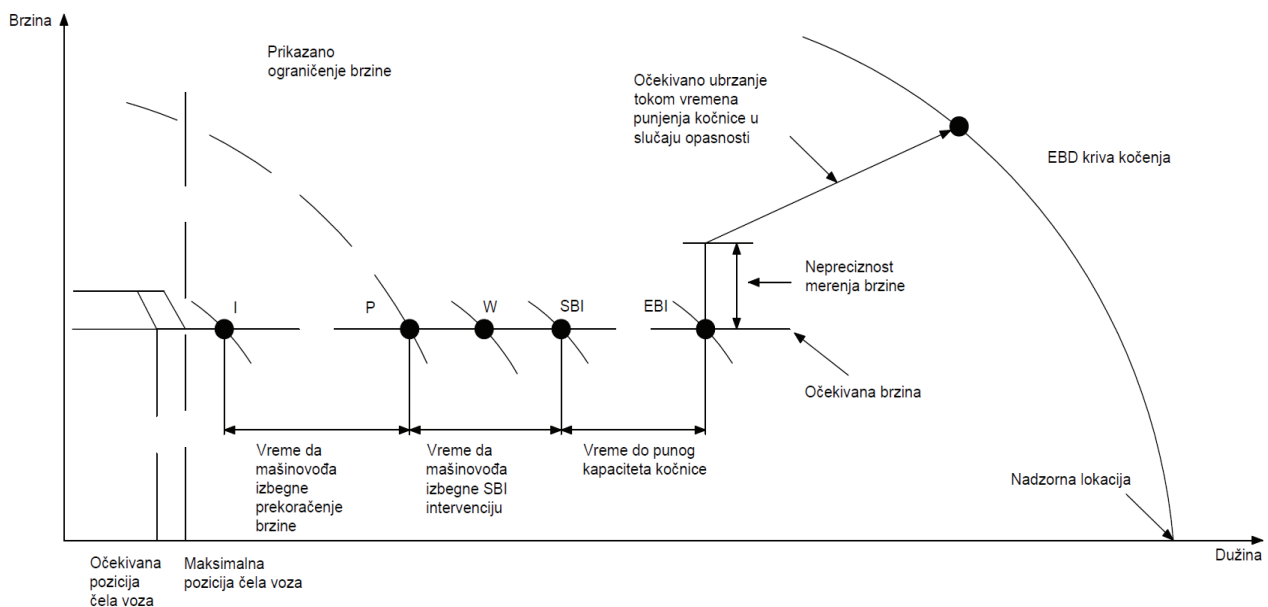
Pored spomenutog EBI, koji predstavlja trenutak aktiviranja kočnice u slučaju opasnosti, postoji i trenutak intervencije radne kočnice prikazan kao SBI (Service brake intervention). Aktivacija SBI je vezana za krivu kočenja radne kočnice SBD (Service brake deceleration), naravno u slučaju da je implementirana unutar ETCS opreme na vozilu. U slučaju da se EBD kriva javlja pre same krive SBD, što je teoretski izvodljivo, proračun SBI će se izvršiti za krivu kočenja koja je bliža. Međutim u stvarnosti to će da bude drugačije. U slučaju da se dobije ovakav proračun sama opcija aktiviranja

radne kočnice neće da bude implementirana.

2.1. Savetovanje mašinovođe

Dalja ograničenja, odnosno lokacija nadzora, koja nisu vezana za aktivaciju već služe kao upozorenja koja nagoveštavaju da će doći do aktivacije određenog tipa kočenja su indikacija prikazana kao I (Indication). Od trenutka indikacije mašinovođa ima dovoljno vremena da pokrene radnu kočnicu kako vozilo ne bi prekoračilo dozvoljenu brzinu, prikazanu kao P (Permitted speed). Bez indikacije I mašinovođa ne bi mogao da uskladi brzinu bez prekoračenja uslova P. U slučaju da mašinovođa prekorači i uslov P, ostavlja se dovoljno vremena da mašinovođa ponovo aktivira radnu kočnicu kako se ne bi dostigla granica EBI ili SBI, odnosno automatsko kočenje od strane ETCS komande (Slika 1).

Nakon što je prekoračen uslov P, javlja se dodatni zvučni signal W (Warning), koji dodatno upozorava mašinovođu. Ovo predstavlja poslednji prag tolerancije nakon koje mašinovođa ima još svega par sekundi da aktivira kočnicu, a u suprotnom ona će sama da se aktivira.



Slika 1. Prikaz celokupnog procesa kočenja od strane ETCS sistema [3]

ETCS računar ima obavezu da konstanto prikazuje dozvoljenu brzinu mašinovođi, odnosno P. Pri-

kaz ograničene brzine na slici 1. označava krivu ograničenja brzine, ali to u stvarnosti ne izgleda

tako zato što oprema unutar vozila nikada ovu krivu ne proračunava u potpunosti jer se parametri konstantno menjaju. Da bi bilo razmuljivije, sve "krive" upozorenja, odnosno savetovanja mašinovođe, bi na neki način trebalo da predstavljaju tačku, odnosno jedan trenutak kada bi trebalo da se javi, a u odnosu na glavnu krivu kočenja, koja zaista to i predstavlja. To su dve krive i to EBD i SBD.

2.2. Prikaz konvencionalnog i ETCS sistema

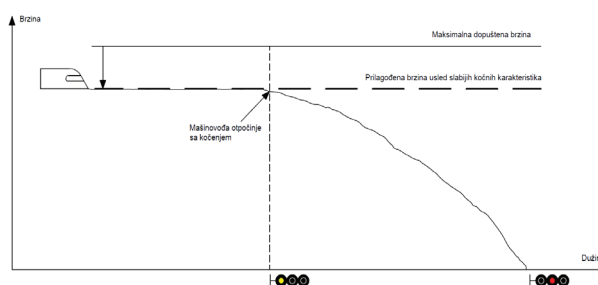
Danas gotovo sve železnice koriste optičke signale. Ovakav način bazira se primarno na posmatranju signala od strane mašinovođe. Signali upozoravaju ili zahtevaju od mašinovođe da otpočne sa kočenjem u odgovarajućem momentu kako bi uspeo da zaustavi voz na za to predviđenom mestu.

Signali se na osnovu navedenog ugrađuju tako da odgovaraju kočnim performansama određenog tipa vozila na određenoj liniji, uključujući nagibe i bezbednosne granice.

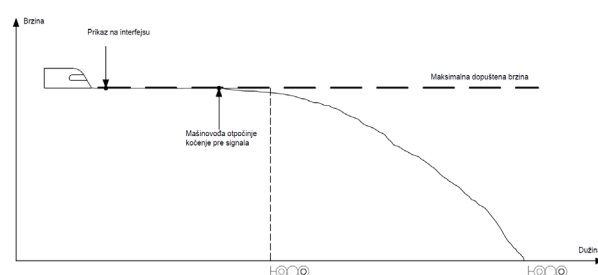
Kada vozovi sa slabijim karakteristikama kočenja (teretni) moraju da saobraćaju na linijama koje su predviđene za vozove boljih kočionih karakteristika, mašinovođa unapred dobija instrukcije, da saobraća nižom brzinom nego što je maksimalno dopuštena, sa razmišljanjem da je tačka od koje voz mora da optočne kočenje ista za sve tipove vozila. Zaključak svega je taj da je pri konvencionalnom sistemu signalizacije unapred određena lokacija od koje voz otpočinje kočenje, pri čemu je brzina prilagođena usled kočionih karakteristika voza.

Primenom ETCS sistema nivoa 2 situacija je suprotna, brzina kojom se voz kreće je konstantna, dok je mesto otpočinjanja kočenja prilagođeno u zavisnosti od performansi voza. Implementacijom ovog sistema mašinovođa dobija informacije unutar voza, koje se kompjuterski proračunavaju uz pomoć opreme.

Slika 2. i slika 3. prikazuju razlike između konvencionalnog sistema i ETCS sistema nivoa 2.



Slika 2. Konvencionalni sistem signalizacije



Slika 3. ETCS nivo 2 sistem signalizacije

Razlika u sistemima je evidentna. Primenom ETCS nivoa 2, mogućnost kretanja maksimalnom brzinom je po pitanju kočenja ispunjena. Kočenje će se izvršiti blagovremeno, bez upotrebe velike sile kočenja [4].

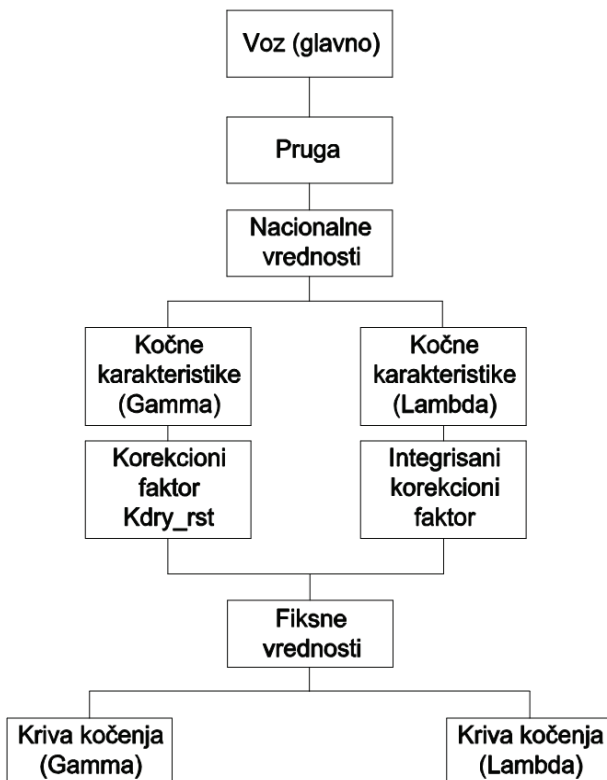
U oba slučaja postoje granične vrednosti nakon kojih će sistem sam početi da koči voz. Premda je kod konvencionalnog sistema to jasno definisano dijagramom kočenja za različite režime vožnje. Rezultat kod primene konvencionalnog sistema osiguranja je da nema mnogo odstupanja, i da su pravila ista za sva železnička vozila. Primenom ETCS nivoa 2. opreme to je drugačije i krive kočenja variraju od tipa do tipa železničkog vozila. Značajnu ulogu imaju ranije pomenuti nivoi upozorenja pre samog trenutka prisilnog kočenja. Za sva upozorenja postoje pravila kada se i kako javljaju, a neka su i opcionalna.

3. ERA KRIVE KOČENJA - SIMULACIONI MODEL

Evropska železnička agencija (European Union Agency for Railways - u daljem tekstu ERA) je razvila simulacioni model "ERA braking curves tool" pomoću kog se mogu izračunati ETCS krive kočenja za različite kategorije vozova, pri različ-

tim parametrima koji se javljaju duž pruge [5]. Osnovna podela koja je napravljena jeste podela na vozove fiksnih kompozicija (sastava) kao i vozove varijabilne kompozicije. Vozovi fiksne kompozicije nazvani su “Gamma vozovi”, dok su vozovi varijabilne kompozicije nazvani “Lambda vozovi”. Razlika između ovih tipova je u tome što Gamma vozovi koriste unapred implementirane profile za proračun kočenja, dok se za Lambda vozove koriste konverzioni modeli koji na osnovu procenta kočenja i pomenutih algoritama vrše proračun kočenja, odnosno krive kočenja [6].

Cilj simulacionog modela je da izračuna krive kočenja EBD, SBD i pridružene krive EBI i SBI. Takođe, računa upozorenja, odnosno savetovanje mašinovođe, indikaciju, dozvoljenu brzinu, zvučno upozorenje, u skladu sa karakteristikama koloseka i voza relevantnim za funkcionalnost kočionih krivih. Na slici 4. prikazan je algoritam simulacionog modela.



Slika 4. Algoritam ERA simulacionog modela

Unutar dela “Voz” unose se osnovne karakteristike voza, nakon toga nalaze se podaci o pruzi u delu

“Pruga” kao što su: nagib, dužina deonice i slično. Nacionalne vrednosti predstavljaju ograničenja koja variraju u zavisnosti od države u kojima se vrši ispitivanje, ovo se odnosi na nacionalne zakone i pravilnike koji su u upotrebi. Kočne karakteristike se dele na Lambda i Gamma vozove i njihove karakteristike. Korekcionni faktori formiraju se iz bezbednosnih razloga posebno za oba tipa. Na samom kraju vrši se proračun krivih kočenja i vizuelni prikaz, na osnovu informacija iz Subset-a 026. U nastavku ovog rada biće detaljno prikazan svaki segment simulacionog modela prikazanog u algoritmu (Slika 4).

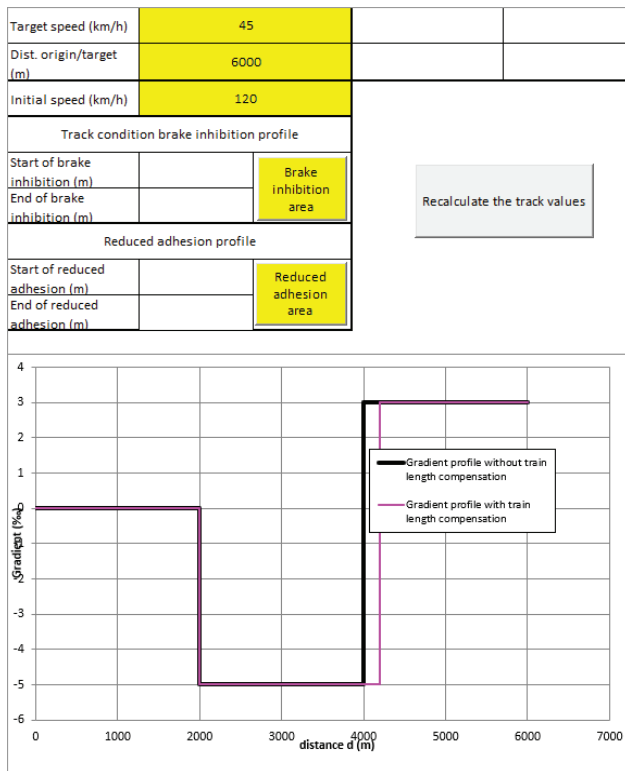
Deo “Voz glavno” predstavlja deo u kom se unose osnovne karakteristike voza (Slika 5).

Train type	<input checked="" type="radio"/> Gamma train <input type="radio"/> Lambda train	
Brake position	<input checked="" type="radio"/> Passenger train in P <input type="radio"/> Freight train in P <input type="radio"/> Freight train in G	
Traction model: T_traction_cut_off (seconds)	2	
Service brake interface ?	<input checked="" type="radio"/> No <input type="radio"/> Yes	
Traction cut off interface ?	<input type="radio"/> No <input checked="" type="radio"/> Yes	
Special/additional brake independent from wheel/track adhesion?	<input checked="" type="radio"/> No <input type="radio"/> Yes	
Speed inaccuracy (%)	<input type="radio"/> Fixed (Enter) <input checked="" type="radio"/> Subset-041	
Position inaccuracy (m + %)	5	<input type="radio"/> Abs. value + <input checked="" type="radio"/> Rel. value <input type="radio"/> Subset-041
Train length (m)	200	<input type="text"/>
Nominal rotating mass (%)	10	<input checked="" type="radio"/> Fixed (Enter) <input type="radio"/> Unknown
Distance antenna - train front (m)	7,81	

Slika 5. Voz glavno

Train type označava odabir tipa voza, izbor se sastoji iz Lambda ili Gamma voza. Brake position predstavlja vrstu kočenja, odnosno kočenje brzog ili sporog dejstva, T_traction cut off je vreme od trenutka prekida vučne sile do trenutka kada je vučna sila jednaka nuli, vrednost je potrebno uneti u sekundama. Service brake interface predstavlja prikaz aktiviranja radne kočnice. Special brake predstavlja dodatne kočnice. Speed inaccuracy predstavlja nepreciznost merenja trenutne brzine i definiše se u odnosu na Subset 041. Position inaccuracy predstavlja nepreciznost merenja trenutne pozicije, odnosno lokacije voza. Train length predstavlja dužinu voza. Nominal rotating mass predstavlja nominalnu rotacionu masu. Distance antenna train front predstavlja udaljenost čela voza od uređaja, odnosno ETCS opreme na vozilu, koja prikuplja podatke. Acceleration predstavlja trenutno ubrzanje koje postoji od trenutka aktivacije kočnice do trenutka formiranja potpunog kapaciteta kočnica.

U delu "Pruga" bitno je prethodno objasniti oznake EOA, LOA i SVL, koji su od vitalnog značaja za proračun. EOA (End of Authority) predstavlja ograničenje daljeg kretanja voza i nakon ove tačke vozu neće biti dozvoljeno dalje kretanje. LOA (Limit of authority) označava ograničenje ovlašćenja koje voz mora poštovati do sledeće tačke, bilo da je to veća brzina, ponovo manja ili zaustavljanje. SVL (Supervised Location) predstavlja put pretrčavanja. Initial speed predstavlja brzinu kojom voz otpočinje kočenje, a Dist.origin predstavlja dužinu trase. Target speed predstavlja krajnju brzinu, koja je u slučaju EOA automatski jednaka nuli, dok je za LOA dozvoljen unos vrednosti brzine. Track condition inhibition dnosi se ona delove pruge koja nije elektrificirana ili na upotrebu određenog tipa kočnice i inhibiciju. Reduced adhesion profile predstavlja redukovane adhezione karakteristike na određenom delu pruge. Relocation balises distance from origin predstavlja poziciju baliza od početka ka kraju pruge. Location accuracy predstavlja preciznost samih baliza prilikom očitavanja, što je takođe propisano u Subset-u 026. Gradient profile predstavlja osnovne karakteristike pruge (Slika 6).



Slika 6. Karakteristike pruge

Nakon unosa određenih vrednosti iscrtava se uzdužni profil voza (Slika 7).

Relocation balises Distance from origin (m)	Location accuracy (m)	Gradient profile	
		d (m)	Gradient G (‰)
0	0		
1500	0	0	0
3000	0	2000	0
4500	0	2000	-5

Slika 7. Uzdužni profil pruge i pozicija baliza

Deo "Nacionalne vrednosti" omogućavaju unos samo određenih parametara, kao što je implementacija nadzora ciljne brzine radi upotrebe radne kočnice, dozvola da se isključi kompenzovanje izmerene nepreciznosti brzine, kao i unos vrednosti maksimalnog usporenja voza u uslovima smanjene adhezije (Slika 8).

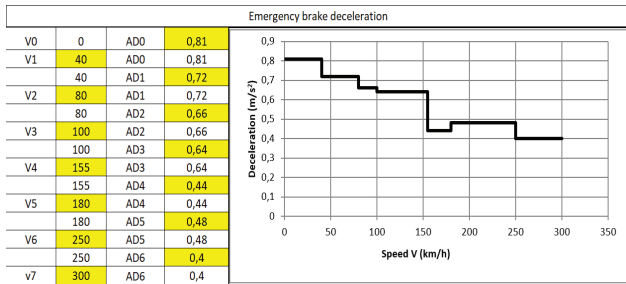
Permission to use service brake in target speed monitoring	<input checked="" type="radio"/> Yes <input type="radio"/> No		Q_NVSBTSMIPERM	Yes
Permission to use the guidance curve	<input checked="" type="radio"/> Yes <input type="radio"/> No		Q_NVGUIPERM	No
Permission to inhibit the compensation of the speed measurement inaccuracy	<input checked="" type="radio"/> Yes <input type="radio"/> No		Q_NVINHSMICPERM	No
Maximum deceleration value under reduced adhesion conditions(1)	0,45	m/s ²	A_NVMAXREDADH1	1
Maximum deceleration value under reduced adhesion conditions(2)	0,45	m/s ²	A_NVMAXREDADH2	0,7
Maximum deceleration value under reduced adhesion conditions(3)	0,45	m/s ²	A_NVMAXREDADH3	0,7
Weighting factor for available wheel/rail adhesion	0		M_NVAVADH	0
Confidence level for emergency brake safe deceleration on dry rails	99,9900000	%	M_NVBECL	99,9999999
Train length step used for the correction factor Kr_int	See sheet "Integrated correction factors"		L_NVKRINT	N/A
Train length dependent correction factor Kr_int	See sheet "Integrated correction factors"		M_NVKRINT	0,9
Speed step used for the correction factor Kv_int	See sheet "Integrated correction factors"		V_NVKVINT	N/A
Speed dependent correction factor Kv_int	See sheet "Integrated correction factors"		M_NVKVINT	0,7
Correction factor to brake build up time	See sheet "Integrated correction factors"		M_NVKTINT	1,1
Lower deceleration limit to determine the set of Kv to be used	See sheet "Integrated correction factors"		A_NVLP12	N/A
Upper deceleration limit to determine the set of Kv to be used	See sheet "Integrated correction factors"		A_NVLP23	N/A

Slika 8. Nacionalne vrednosti

Pored stavki navedenih u algoritmu postoje i fiksne vrednosti koje su propisane unutar TSI, a tiču se određenih graničnih vrednosti koje se koriste za interpolaciju vrednosti koje su usko vezane za krive I, P, W, SBI, i EBI. Jedan primer bi bili parametri dv_ebi_min koji predstavlja minimalnu vrednost aktivacije EBI i dv_ebi_max koji predstavlja maksimalnu vrednost aktivacije EBI. Minimalna vrednost je 7.5 km/h dok je maksimalna vrednost 15 km/h, u odnosu na referentnu vrednost brzine.

Ovo se odnosi na prekoračenje maksimalno dozvoljene brzine. U zavisnosti od brzine kretanja voza izvršiće se interpolacija i dobijena vrednost primeniće se unutar sistema kao referentna.

Deo “Kočne karakteristike” predstavljaju bitnu stavku i posebno se određuju za Gamma, i posebno za Lambda tip voza (Slika 9).



Slika 9. Kočne karakteristike Gama

Kao što je već pomenuto Gama vozovi imaju unapred definisane kočne karakteristike i one izgledaju ovako. Posebne vrednosti unose se u postojeći opseg brzina kao što je prikazano na slici 9. i odgovarajuće usporenje u istom opsegu. Na ovaj način formira se stepenasti profil usporenja voza. Ovakav profil je implementiran unutar vozila od strane samog proizvođača. Što se Lambda voza tiče situacija je drugačija (Slika 10).

Brake percentage for emergency brake λ_o (%)	130
Brake percentage for service brake λ_o (%)	130
V_lim for emergency brake (km/h)	135,32
V_lim for service brake (km/h)	135,32
kto	1,20
T_brake_emergency_cm0 (seconds)	5,0200
T_brake_emergency_cmt (seconds)	6,0240
T_brake_service_cm0 (seconds)	6,4000
T_brake_service_cmt (seconds)	7,6800
T_brake_emergency (seconds)	6,024
T_brake_service (seconds)	7,68
	<input checked="" type="radio"/> Conversion Model
	<input type="radio"/> User's shorter value

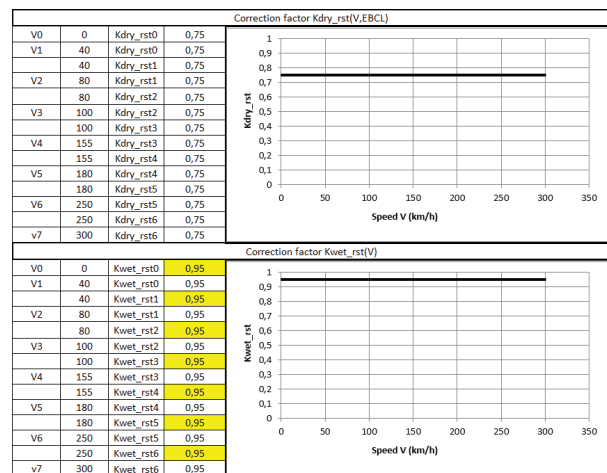
Slika 10. Kočne karakteristike Lambda

Unutar kočnih karakteristika Lambda voza unosi se procenat kočenja kao osnovni parametar. Za unos procenta kočenja zadužen je mašinovođa prilikom startovanja vučnog vozila, naravno u skladu sa propisanim procentom kočenja. Unosom definisane vrednosti konverzioni model, koji je, takođe, propisan unutar Subset-a 026, proračunava, odnosno konvertuje zadati procenat kočenja u profil usporenja koji će da bude primenjen unutar vozila.

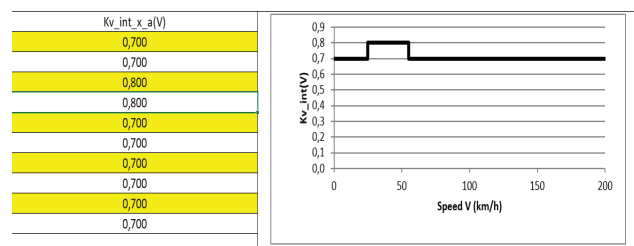
U slučaju unosa nepravilnih podataka može doći do posledica. Primer bi bio unos većeg procenta kočenja voza nego što zaista jeste. U tom slučaju krive kočenja bi se proračunavale unutar vozila sa pretpostavkom da voz može da se zaustavi usled boljih kočnih karakteristika, samim tim ETCS oprema na železničkom vozilu dozvoliće vozu da se kreće duže nego što bi zaista trebalo. Ovo bi značilo da će železničko vozilo da prekorači tačku nakon koje bi trebalo da otpočne sa kočenjem kako bi se blagovremeno zaustavio. S druge strane, ukoliko bi se uneo manji procenat kočenja od stvarnog, voz će bespotrebno otpočeti sa kočenjem ranije nego što je potrebno. Ovo znatno povećava troškove, smanjuje kapacitet pruge, no međutim ne ugrožava bezbednost saobraćaja.

Unutar kočnih karakteristika prikazuje se i vreme potrebno da kočnica dostigne pun kapacitet, a vezano za radnu kočnicu i kočnicu u slučaju opasnosti. Takođe, konverzioni model računa usporenja i za radnu i za kočnicu u slučaju opasnosti.

Deo “Korekcionni faktori” predstavljaju određeni interval pouzdanosti. Posebno su definisani za obe vrste vozova (Slika 11 i Slika 12).



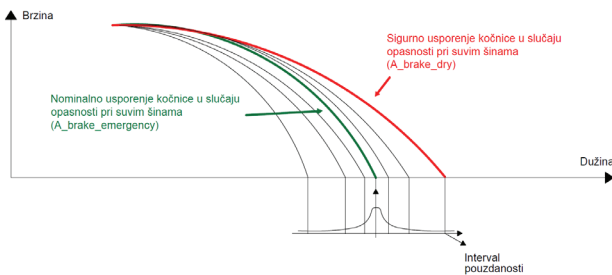
Slika 11. Korekcionni faktori Gamma



12. Korekcionni faktor Lambda

Kod Gama voza vredost K_{dry} predstavlja vrednost korekcije kočenja pri suvim šinama, i K_{wet} vrednost korekcije kočenja pri vlažnim šinama. Smanjivanjem vrednosti ovih parametara povećava se bezbednost pri kočenju, što i jeste svrha ovog sistema. Kod lambda voza situacija je slična, formirani su korekcionni faktori Kv_{int} i Kr_{int} . Kv_{int} predstavlja korekcionnu vrednost koja se vezuje za brzinu voza, dok je Kr_{int} korekciona vrednost vezana za dužinu voza.

Upotrebom navedenih korekcionnih parametara formirao bi se određeni interval pouzdanosti (Slika 13).



Slika 13. Interval pouzdanosti

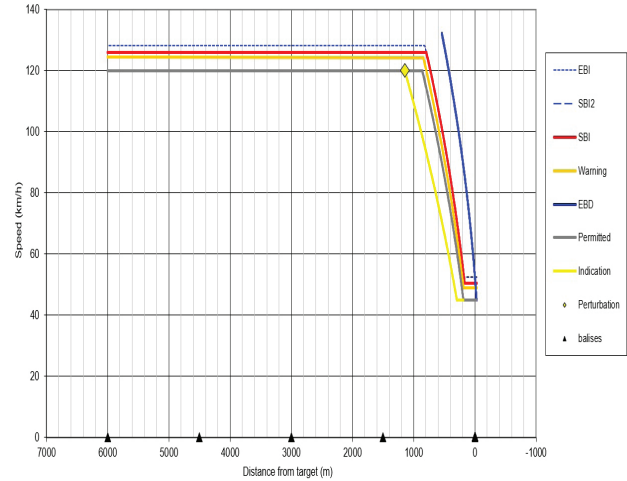
Primer koji bi mogao bolje objasniti korekcionne faktore jeste taj da voz usporava 1 m/s^2 . Međutim usled korekcionnih faktora Kv_{int} i Kr_{int} , ovo usporenje se smanjuje na $0,8 \text{ m/s}^2$. U stvarnosti ovo možda neće u potpunosti da bude ovako, ali se sada sa većom pouzdanošću može reći, da će voz da se zaustavi na za to predviđeno mesto. Smanjivanjem ovih vrednosti dodatno će da se poveća sigurnost pri zaustavljanju.

Međutim, prilikom zaustavljanja, voz može da stane mnogo pre nego što je potrebno. U ovom slučaju mašinovođa dobija potpunu kontrolu nad vozom kako bi prišao određenoj tački. Ovakvu radnju obavlja pri ograničenoj brzini koja je unapred implementirana ili propisana od strane upravljača infrastrukture.

3.1. Vizuelni prikaz rezultata

Finalni korak jeste sam proračun koji povezuje sve navedene delove u jednu celinu. Na slici 14. prikazan je rezultat jedne od simulacija. Različitim

bojama su označene različite krive. Ispod samog vizuelnog prikaza nalaze se vrednosti na osnovu kojih su formirane sve krive.



Slika 14. Vizuelni prikaz ETCS krivih kočenja

Prikazani slučaj predstavlja LOA tip, jer je krajnja brzina ograničena na 45 km/h . Početna brzina je 120 km/h , ali je usled nepreciznosti merenja brzine, kao i fiksnih vrednosti koje dozvoljavaju da brzina bude nešto veća proračunata i kriva kočenja za početnu vrednost 128.3 km/h . Sada se, u svakom trenutku, sa grafikona može jasno da vidi kada će se koja operacija izvršiti i na kojoj udaljenosti od cilja. Ukoliko bi se očitavala Za vrednost 100 km/h (procenat kočenja 100%) sa slike 15. dobile bi se sledeće vrednosti:

- EBD = 534 m,
- EBI = 785 m,
- W = 841 m,
- P = 896 m,
- I = 1.182 m.

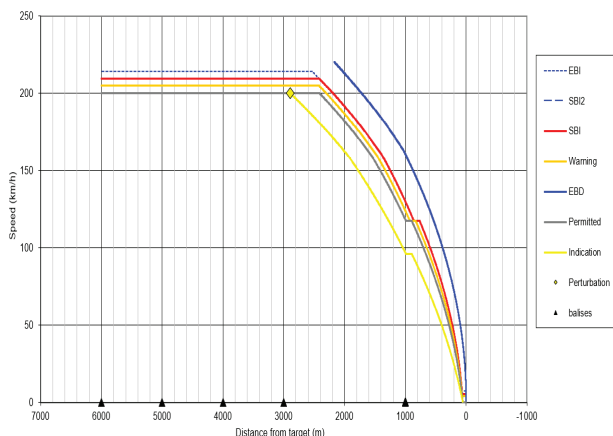
Ovo znači da bi se prva indikacija mašinovođi pojavila na 1.182 m. Ukoliko mašinovođa ne bi blagovremeno podesio odgovarajuću brzinu, nakon kratkog vremena dobio bi opomenu P na 896 m, sa kratkim zvučnim upozorenjem da ponovo obrati pažnju na potrebu za prilagođavanjem brzine. Ukoliko bi mašinovođa ignorisao i ovu informaciju na 841 m javilo bi se dodatno, sada već jače zvučno upozorenje W kao poslednji prag tolerancije. Nakon upozorenja W mašinovođa ima na raspolaganju jako kratko vreme da odreaguje. Konačno u slučaju da je mašinovođa i ovoga puta ignorisao upozorenje,

ETCS oprema na 785 m zadaje komandu za prinudno kočenje, i ovaj trenutak je EBI. od trenutka aktiviranja prinudnog kočenja prolazi određeno vreme dok se ne ostvari pun kapacitet kočnice, a za to vreme voz i dalje ima određeno ubrzanje. Sve ovo dovodi do samog procesa kočenja tek na 534 m, što predstavlja realno kočenje voza i to je kriva EBD. Naravno, potrebno je ponovo naglasiti da je ovo dužina koja odgovara putu kočenja kod usporenja sa 100 km/h do 45 km/h. SBI2 vrednost jednaka je EBI vrednosti, jer SBD kriva nije "implementirana".

4. SIMULACIJA SA REALNIM PODACIMA

Potrebno je da se provere podaci u odnosu na železnička vozila koja su u Srbiji opremljena ETCS sistemom. Jedino železničko vozilo koje je opremljeno ovim sistemom jeste vozilo tipa *STADLER KISS*. Spisak korišćenih vrednosti od značaja za simulaciju je (Slika 15):

- merenje nepreciznosti brzine kao i pozicije po Subset-u 041;
- nominalna rotaciona masa = 10 %;
- udaljenost antene od čela voza = 7,8 m;
- početna brzina = 200 km/h.
- Pozicija baliza [1.000 m, 2.000 m, 3.000 m]
- Preciznost pozicije baliza = 0 m
- Vreme pripreme kočenja = 6 s
- Procenat kočenja = 200 %
- Korekcionni faktori Kr_{int} i Kv_{int} = 0,9 i 0,7
- Nagib deonice = 0 %



Slika 15. Simulacija realnih vrednosti (STADLER KISS)

Ukoliko bi se očitavala vrednost 200 km/h sa slike 15. dobile bi se sledeće vrednosti:

- EBD = 1.720 m,
- EBI = 2.189 m,
- W = 2.300 m,
- P = 2.411 m,
- I = 2.888 m.

Ovo znači da bi se prva indikacija mašinovođi pojavila na 2.888 m. Ukoliko mašinovođa ne bi blagovremeno podesio odgovarajuću brzinu, nakon kratkog vremena dobio bi opomenu P na 2.411 m, sa kratkim zvučnim upozorenjem da ponovo obrati pažnju na potrebu za prilagođavanjem brzine. Ukoliko bi mašinovođa ignorisao i ovu informaciju na 2.300 m javilo bi se dodatno, sada već jače zvučno upozorenje W kao poslednji prag tolerancije. Nakon upozorenja W mašinovođa ima na raspolaganju jako kratko vreme da odreaguje. Konačno, u slučaju da je mašinovođa i ovoga puta ignorisao upozorenje, ETCS oprema na 2.189 m zadaje komandu za prinudno kočenje i ovaj trenutak je EBI. Od trenutka prinudnog zavođenja kočenja prolazi određeno vreme dok se ne ostvari pun kapacitet kočnice, a za to vreme voz i dalje ima određeno ubrzanje. Sve ovo dovodi do samog procesa kočenja tek na 1.720 m, što predstavlja realno kočenje voza i to je kriva EBD.

5. ZAKLJUČAK

Na osnovu simulacije sa realnim parametrima za voz tipa *STADLER KISS* koji je opremljen ETCS sistemom, zaključuje se da sistem omogućava visoko precizno praćenje brzine i pozicije vozila, uz efikasnu kontrolu kočenja. Sistem obezbeđuje adekvatnu reakciju u svim fazama smanjenja brzine. Prikazani rezultati ukazuju na to da ETCS pruža dovoljnu vremensku rezervu za pravovremeno obaveštavanje mašinovođe i sprovođenje prinudnog kočenja, čime se značajno smanjuje rizik od nesreća i poboljšava sigurnost na železnici. Krive kočenja, u skladu sa parametrima kao što su EBD i EBI, osiguravaju da se kočenje vrši u optimalnim uslovima, čime se postiže efikasan proces zaustavljanja u svim scenarijima, čak i pri većim brzinama nego što je dozvoljeno.

LITERATURA

- [1] Jevtić S: Evropsi sistem kontrole vozova ETCS, Akademija tehničko - umetničkih strukovnih studija, Beograd, 2022.
- [2] "System Requirement Specification", https://www.era.europa.eu/system/files/2023-01/sos3_index004_-_subset-026_v360.zip.
- [3] E. ERTMS Unit, "Introduction to ETCS braking curves", ERA_RTMS_040026, v.1.5", 12/08/2022.
- [4] "Introduction to ETCS braking curves", <https://www.era.europa.eu/domains/european-rail-traffic-management-system/braking-curves>.
- [5] "Braking curves simulation tool v4.3", <https://www.era.europa.eu/domains/european-rail-traffic-management-system/braking-curves>.
- [6] Ognjanović S: Upporedna analiza saobraćaja vozova primenom simulacionih modela - završni rad osnovnih akademskih studija, Univerzitet u Beogradu - Saobraćajni fakultet, Beograd, 2023.