

H. Haramina, I. Ljubaj, I. Toš*

ANALIZA KOGNITIVNOG OPTEREĆENJA STROJVOĐE PUTNIČKOG VLAKA S OBZIROM NA HRVATSKI NACIONALNI SUSTAV VOĐENJA VLAKOVA

UDK 656.62:613.64(497.5)

PRIMLJENO: 24.2.2017.

PRIHVAĆENO: 3.4.2017.

SAŽETAK: Radno opterećenje strojovođe predstavlja ključan čimbenik koji utječe na učinkovitost i sigurnost procesa vožnje vlaka. Pri tome, suvremeni zahtjevi za povećanjem učinkovitosti procesa upravljanja željezničkim prometom, a koji su povezani sa stabilnosti željezničkog voznog reda i energetske učinkovitosti vožnje vlakova, mogu rezultirati prekomjernim kognitivnim opterećenjem strojovođa. U ovome radu objašnjen je i analiziran angažman strojovođe u procesu vožnje putničkog vlaka povezan s Hrvatskim nacionalnim sustavom vođenja vlakova, a s obzirom na njegovu kognitivno opterećenje u svrhu procjene utjecaja na sigurnost željezničkog prometa. Istraživanje uključuje analizu rada strojovođe u lokomotivama i motornim vlakovima koji se koriste u željezničkom putničkom prometu u Republici Hrvatskoj. U analizu je dodatno uključen i angažman strojovođe gradsko-prigradskog vlaka u sklopu buduće potencijalne primjene sustava podrške u vožnji vlaka. Rezultati istraživanja ukazuju na potrebu uvođenja sustava poluautomatske vožnje gradsko-prigradskih vlakova.

Ključne riječi: željeznički putnički promet, vožnja vlaka, kognitivno opterećenje strojovođe, sigurnost željezničkog prometa

UVOD

Radno opterećenje strojovođe predstavlja važan čimbenik koji može utjecati na učinkovitost i sigurnost željezničkog prometa. Suvremeni zahtjevi za povećanjem učinkovitosti željezničkog prometa s obzirom na stabilnost voznog reda i energetske učinkovitost, a koji su uvjetovani načinom vožnje vlakova, mogu uzrokovati visoku razinu kognitivnog opterećenja strojovođa, a time i negativan utjecaj na sigurnost željezničkog prometa. Mentalno odnosno kognitivno opterećenje strojovođa odnosi se na razinu njihove

ve sposobnosti mentalne obrade informacija za vrijeme obavljanja zadataka u procesu vožnje vlaka i ono predstavlja područje interesa kognitivne ergonomije kao poddiscipline ergonomije koja se bavi izučavanjem mentalnih procesa kao što su percepcija, pamćenje, mišljenje i motorika. Najvažniji aspekti izučavanja kognitivne ergonomije strojovođa uključuju njihov mentalni napor, sposobnost donošenja odluka, interakciju sa sučeljima sustava smještenih u upravljačnici vlaka te njihovu pouzdanost u radu i radni stres tijekom vožnje vlaka. Svrha ovog rada je analizirati postojeće kognitivno opterećenje strojovođe u procesu vožnje putničkog vlaka te istražiti utjecaj njegovog povećanja s obzirom na uvođenje sustava podrške u vožnji gradsko-prigradskih vlakova na sigurnost željezničkog prometa na prugama u Republici Hrvatskoj. U skladu s dina-

*Doc. dr. sc. Hrvoje Haramina, (hrvoje.haramina@fpz.hr), Ivica Ljubaj, mag. ing. traff., (ivica.ljubaj@fpz.hr), Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti, Vukelićeva 4, 10000 Zagreb, Iva Toš, mag. ing. traff., Gradski ured za prostorno uređenje, izgradnju grada, graditeljstvo, komunalne poslove i promet Grada Zagreba, Trg Stjepana Radića 1, 10000 Zagreb.

mičkim TCI (engl. Task - Capability Interface) sučeljem svaki sustav za podršku vozaču povećat će sposobnost vozača (engl. driver's capability), jer će ukupna sposobnost vozača i sustava za pomoć biti veća od parcijalne sposobnosti vozača bez primjene sustava podrške, pa će u takvom okruženju vozač moći izvršiti zadaću koja bi mu bez sustava podrške uzrokovala preveliko radno opterećenje za trenutačni zahtjev za obavljanje njegove zadaće, dok istovremeno primjena takvih sustava može uzrokovati i dodatno kognitivno opterećenje strojovođe (Fuller, 2005.). U tom slučaju treba procijeniti na koji način primjena sustava podrške u vožnji vlaka, u svrhu unapređenja procesa upravljanja željezničkim prometom s ciljem povećanja stabilnosti voznog reda i uštede energije za pogon vlakova, utječe na sigurnost željezničkog prometa. U skladu s tim, cilj ovog rada je odrediti one čimbenike koji mogu utjecati na kognitivno opterećenje strojovođe u procesu vožnje vlaka te predložiti rješenje u slučaju kada prekomjerno kognitivno opterećenje strojovođe može dovesti do smanjenja razine sigurnosti prometa. U sklopu toga potrebno je razlučiti ključne aktivnosti strojovođe koje određuju učinkovitost procesa vožnje vlaka. S obzirom na to, u svrhu analize kognitivnog opterećenja strojovođe u procesu vožnje putničkih vlakova za željeznički promet u Republici Hrvatskoj izdvojeni su sljedeći čimbenici:

- kompleksnost željezničke signalizacije
- aktivnosti strojovođe povezane s posluživanjem AS uređaja (sustav automatske zaštite vlaka Indusi 160)
- aktivnosti strojovođe povezane s posluživanjem uređaja budnika
- aktivnosti strojovođe povezane sa čitanjem podataka o voznom redu i primjenom sustava podrške u vožnji vlaka.

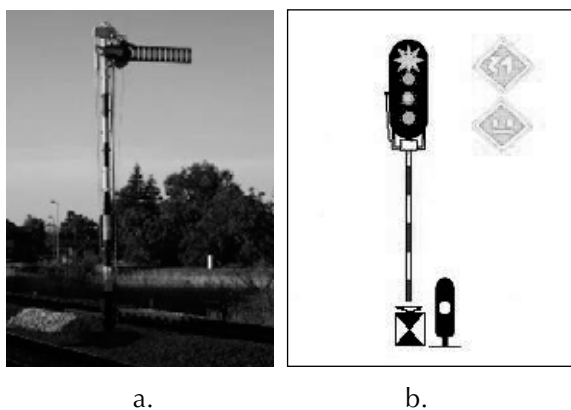
U nastavku rada prikazat će se ključne aktivnosti strojovođe u procesu vožnje putničkih vlakova povezane s Hrvatskim nacionalnim sustavom vođenja vlakova i u skladu s tim provest će se analiza čimbenika koji mogu utjecati na kognitivno opterećenje strojovođe u procesu vožnje vlaka.

KOMPLEKSNOST SUSTAVA ŽELJEZNIČKE SIGNALIZACIJE

Željeznički prometni sustav je vrlo kompleksan tehničko-tehnološki sustav, pri čemu željeznički promet podrazumijeva velik broj različitih procesa koji se reguliraju na temelju jasno definiranih pravila. Ta pravila moraju poštovati svi radnici uključeni u pojedine procese povezane s realizacijom željezničkog prometa. Dio tih pravila, koja se odnose na ovlaštenja za vožnju vlakova na prugama u Republici Hrvatskoj, strojovođama se prenose putem željezničkih signala i signalnih oznaka smještenih uz prugu.

Aktivnosti strojovođe povezane s raspoznavanjem i obradom upravljačkih informacija dobivenih putem sustava željezničke signalizacije predstavljaju značajan dio njegovog kognitivnog opterećenja i važan su čimbenik koji utječe na sigurnost željezničkog prometa. Kako bi strojovođa u svakom trenutku imao spoznaju o tome kako na siguran način voziti vlak, on treba biti u stanju nedvosmisleno raspoznavati i djelovati u skladu s danim signalnim znakovima. Pri tome unatoč težnji da se strojovođama omogući čim veća jednostavnost raspoznavanja različitih signala, signalnih znakova i signalnih oznaka te smanji njihov broj, željeznička signalizacija i dalje predstavlja vrlo kompleksan dio sustava vođenja vlakova. Naime, u sklopu hrvatskog nacionalnog sustava željezničke signalizacije s obzirom na namjenu postoje glavni i pomoćni signali te pokazivači (Toš, 2013.), pri čemu glavni signali mogu biti jednoznačni i dvoznačni. Pri tome se za prijenos upravljačkih informacija prema strojovođi kod jednoznačne signalizacije mogu koristiti svjetlosni i likovni, a kod dvoznačne isključivo svjetlosni signali (slika 1). Glavni signali mogu biti ulazni, izlazni, prostorni i zaštitni, pri čemu jednoznačni glavni svjetlosni signali mogu davati 5, a likovni 3 signalna znaka, dok dvoznačni glavni svjetlosni signali mogu davati 8 različitih signalnih znakova. U pomoćne signale ubrajaju se predsignali, ponavljači predsignala, manevarski i granični kolosiječni signali, pri čemu predsignali glavnih signala i njihovi ponavljači mogu davati još 6

signalnih znakova. Njihova primjena propisana je Pravilnikom o značenju i uporabi signala, signalnih znakova i signalnih oznaka u željezničkom prometu. Pri tome je važno napomenuti da u praksi postoje kombinacije signala i signalnih oznaka koji strojovođi odjednom mogu davati više signalnih znakova (slika 1.b). Uz to, postoje i signali koji strojovođu obavještavaju i upozoravaju na ispravnost automatskih željezničko-cestovnih prijelaza s lokalnom kontrolom te 14 različitih signalnih oznaka. Ako je pruga elektrificirana, na njoj se nalaze i signali elektrovođe koje strojovođa također mora pratiti. Osim toga, postoje i signalni znakovi izvršnog osoblja koje mogu pokazivati radnici koji sudjeluju u operativnom procesu željezničkog prometa. To se u prvom redu odnosi na radnike upravitelja infrastrukture koji su uključeni u proces regulacije željezničkog prometa (kao npr. prometnike vlakova i skretničare), ali i radnike prijevozničkih poduzeća (kao npr. manevriste).



Slika 1. a) Likovni glavni signal, b) Dvoznačni svjetlosni signal i manevarski signal s dodatnim signalnim oznakama

Figure 1. a) Main pictorial signal, b) Double light signal and manoeuvre signal with additional signal markings

Na slici 1.b prikazan je dvoznačni svjetlosni signal u kombinaciji s manevarskim signalom i signalnim oznakama. Ovaj primjer pokazuje složenost željezničke signalizacije i može služiti za procjenu kognitivnog opterećenja strojovođe u procesu zaključivanja s ciljem donošenja odluke o dopuštenom načinu vožnje vlaka. Naime, dvoznačni signal na slici istovremeno prikazuje signalni znak sa dva značenja. Prvo značenje odnosi se na ovlaštenje za dopuštenu vožnju s

ograničenom brzinom u predstojećem prostornom odsjeku, a drugo na to da on predsignalizira da na sljedećem glavnom signalu strojovođa može očekivati ovlaštenje za ulazak u naredni prostorni odsjek, i to na ili neometan ili oprezan način.

Uz to, na njemu je dodatno ugrađena i pred-signalna opomenica u obliku kvadratne ploče sa dva crna trokuta vrhovima okrenutim prema unutra, a koja strojovođi označava da taj signal ima i ulogu predsignala za sljedeći glavni signal. Osim toga, na njemu se nalazi i signalna oznaka trokuta s vrhom okrenutim prema dolje koja označava da je ovaj signal postavljen na duljini manjoj od duljine propisnog zaustavnog puta do sljedećeg signala. Nadalje, tu se također nalaze glavni signal i manevarski signal te signalne oznake povezane sa sustavom elektrovođe koje označavaju da je vožnja dopuštena s podignutim jednim strujnim oduzimačem te s isključenim glavnim strujnim prekidačem. Sve te informacije strojovođa mora procesirati tijekom vožnje od točke daljine vidljivosti signala te u skladu s njima pravovremeno postupati.

Ovaj primjer ukazuje na to da praćenje, zaključivanje i poduzimanje mjera od strojovođe, povezano sa značenjem signalnih znakova i oznaka na koje nailazi u vožnji vlaka, može značajno utjecati na njegovo kognitivno opterećenje tijekom procesa vožnje vlaka.

POSLUŽIVANJE SUSTAVA AUTOMATSKE ZAŠTITE VLAKA (INDUSI I60)

Sigurnost željezničkog prometa predstavlja ključni aspekt kognitivnog opterećenja strojovođe. Naime, poznato je da tijekom procesa vožnje vlaka zbog različitih razloga, kao što su njihovo raspoloženje ili umor, strojovođe nemaju uvijek istu razinu sposobnosti za vožnju vlaka. U praksi postoje brojni slučajevi kod kojih strojovođe nisu poštovali propisano ograničenje brzine za vožnju vlaka ili su prošli pokraj signala koji je pokazivao signalni znak stoj, a pri čemu su neki od tih slučajeva završili i s tragičnim po-

sljedicama. Jedan od takvih slučajeva dogodio se i u kolovozu 1974. godine na Zagreb Glavnom kolodvoru. Pri tome je putnički vlak pod nazivom „Direkt Orijent“ (Atena-Zagreb-Dortmund) izletio iz kolosijeka na skretnici prilikom ulaska u Zagreb Glavni kolodvor, pri čemu je poginulo 153 putnika dok ih je 90 bilo teško ozlijeđeno (slika 2); (*Željeznička nesreća... 2074.*).



Slika 2. Željeznička nesreća na Zagrebačkom Glavnom kolodvoru u kolovozu 1974.

Figure 2. Railway accident at Zagreb Main Train Station in August 1974

Važno je napomenuti da se ova nesreća dogodila u noćnim satima jer je dokazano da postoji veća vjerojatnost da vozači izazovu nesreću upravo tijekom noći (*Kecklund et al., 1999.*). Nakon te nesreće na važnijim prugama na području Republike Hrvatske uveden je sustav automatske zaštite vlaka Indusi I60. Taj sustav sastoji se od svojeg lokomotivskog dijela koji predstavlja AUTOSTOP uređaj (AS uređaj) smješten u vlaku i pružnog dijela koji podrazumijeva pružne balize koje su ugrađene pokraj glavnih signala i njihovih predsignala (slika 3); (*Toš, 2013.*). Svrha ovog sustava je spriječiti da greške u radu strojovođe utječu na sigurnost željezničkog prometa na način da se kontroliraju budnost strojovođe i brzina kretanja vlaka s ciljem izbjegavanja situacije u kojoj bi vlak mogao proći pokraj signala koji pokazuje signalni znak stoj.

U slučaju da strojovođa ne reagira na odgovarajući način tijekom prolaska pored predsignala koji najavljuje kraj ovlaštenja za vožnju od sljedećeg glavnog signala, a koji pokazuje signalni znak kojim zabranjuje nastavak vožnje u području kojeg štiti, odnosno da u konačnici vlak ipak

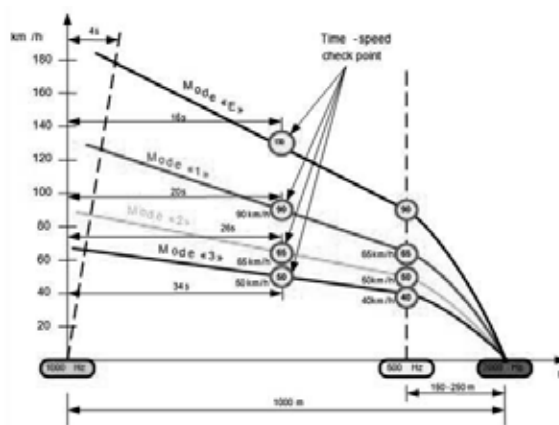
pokuša proći takav glavni signal bez zaprimljenog ovlaštenja za vožnju, posredstvom pružnih baliza lokomotivski dio sustava automatske zaštite vlaka aktivirat će postupak prisilnog zaustavljanja vlaka. Pri tome, utjecaj pružnih baliza na autostop uređaj smješten u vlaku temelji se na načelu induktivnog prijenosa informacija s pružne opreme na vozilo putem rezonantnih titrajnih krugova.

Naime, za svaki signalni znak određena je vrijednost rezonantnog titrajnog kruga koji, kad je u rezonanciji, utječe na lokomotivski dio sustava. Pri tome, frekvencije tih rezonantnih titrajnih krugova mogu biti 500 Hz, 1000 Hz i 2000 Hz. Kod lokomotivskog dijela sustava, lokomotivski magnet proizvodi izmjenično elektromagnetsko polje sa tri frekvencije (500, 1000 i 2000 Hz). Kada polje dođe iznad aktivne pružne balize čiji rezonantni krug odgovara jednoj od tri frekvencije koje generira lokomotivski magnet, pojavljuje se utjecaj pružne na lokomotivsku balizu te se na taj način prenosi podatak o ovlaštenju za vožnju s pružne opreme na vlak. Pri tome pojedine frekvencije imaju različiti utjecaj na proces vožnje vlaka:

- Utjecaj 2000 Hz odmah aktivira prisilno kočenje vlaka. Djeluje kada vlak pokuša prijeći granicu svojeg ovlaštenja za vožnju odnosno glavni signal koji pokazuje znak zabranjene vožnje. U slučaju da strojovođa od prometnog dispečera dobije nalog za prolazak pokraj signala koji zabranjuje nastavak vožnje u područje koje taj signal štiti, on može isključiti utjecaj frekvencije od 2000 Hz i to pritiskom na taster „nalog“ i na taj način proći pokraj tog signala. U tom slučaju neće se aktivirati prisilno kočenje, ali će sustav registrirati da je strojovođa koristio funkciju isključenja utjecaja frekvencije od 2000 Hz.
- Utjecaj 1000 Hz aktivira kontrolu budnosti strojovođe koja traje 4 sekunde i vremensku kontrolu brzine vlaka koja može trajati 16, 20, 26 ili 34 sekunde što ovisi o tipu i režimu rada AS uređaja. Naime, nakon što vlak svojom lokomotivskom balizom prijeđe iznad pružne balize ugođene na 1000 Hz, strojovođa mora u roku od 4

sekunde pritisnuti taster „budnost“ kako bi izbjegao aktivaciju prisilnog kočenja vlaka. Nakon toga, ovisno o kategoriji i najvećoj dopuštenoj brzini vlaka ili o tome u koji je režim rada postavljan AS uređaj, u zadanom vremenu treba prilagoditi brzinu vlaka na onu vrijednost koja omogućava sigurnu vožnju do mjesta na kojem završava ovlaštenje za njegovu vožnju ili na kojem bi se vlak iz sigurnosnih razloga trebao zaustaviti. U slučaju da vlak u propisanom vremenu ne smanji brzinu na propisanu vrijednost, a što je prikazano u grafikonu na slici 3, AS uređaj će zavesti prisilno kočenje vlaka i taj događaj registrirati pomoću uređaja za registraciju događaja (npr. pomoću uređaja KWR 6). Pravovremenim pritiskom na taster „budnost“ strojovođa potvrđuje da je svjestan činjenice da je prošao pokraj signala koji prikazuje signalni znak za dopušteni nastavak vožnje na oprezan način odnosno kombiniranu balizu ugođenu na frekvenciju od 1000 Hz.

- Utjecaj 500 Hz aktivira kontrolu brzine u točki detekcije brzine prije nailaska vlaka na glavni signal koji pokazuje signalni znak zabranjene vožnje. U toj točki koja se uglavnom nalazi na udaljenosti od 150 do 250 metara ispred glavnog signala montira se pružna baliza koja može generirati frekvenciju od 500 Hz kada je na povezanom glavnom signalu prikazan znak za zabranjenu vožnju. Prelaskom preko takve balize aktivira se kontrola brzine vlaka, pri čemu AS uređaj uspoređuje aktualnu brzinu vlaka i u sustavu zadane vrijednosti kontrolne brzine te ako vrijednost aktualne prelazi vrijednost kontrolne brzine, uređaj aktivira prisilno kočenje. U sustavu su, s obzirom na postavljeni režim rada AS uređaja, zadane vrijednosti kontrolne brzine od 40, 50, 65 i 90 km/h (slika 3); (Toš, 2013.).



Slika 3. Sustav automatske zaštite vlaka „Indusi 160“
Figure 3. Automatic train safety system “Indusi 160”

Sve akcije poduzete od strojovođe povezane s ispravnim korištenjem sustava automatske zaštite vlaka snimaju se pomoću specijalnog registracijskog uređaja kako bi se mogle naknadno pregledati i eventualno upotrijebiti pri analizama u slučaju nastanka željezničkih nesreća. S obzirom na to, strojovođe moraju biti svjesni da sustav automatske zaštite vlaka uvijek trebaju savjesno posluživati, što dodatno utječe na njihovo kognitivno opterećenje u procesu vožnje vlaka.

NADZOR I POSLUŽIVANJE OSTALIH UREĐAJA SMJEŠTENIH U UPRAVLJAČNICI VLAKA

Osim provođenja aktivnosti povezanih s posluživanjem Autostop uređaja, strojovođa je tijekom vožnje vlaka obvezan provoditi i aktivnosti koje su povezane s posluživanjem i nadzorom drugih uređaja smještenih u upravljačnici vlaka.

Jedna od tih aktivnosti je i posluživanje uređaja budnika. Uređaj budnika predstavlja dio sustava automatske zaštite vlaka koji je smješten u njegovoj upravljačnici i služi za kontrolu budnosti odnosno svjesnosti strojovođe u procesu vožnje vlaka. Uređaj budnika funkcionira na način da strojovođa, ovisno o tehničkoj izvedbi pojedinog tipa uređaja, pritiskom na ručni taster ili nožnu pedal u ovog uređaja u definiranim intervalima potvrđuje svoju budnost i time izbjegava mogućnost da uređaj budnika automatski pokrene proces prisilnog kočenja vlaka. Prema propisima, ovi uređaji podešeni su na način da ih strojovođa treba poslužiti u vremenu od 25 sekundi nakon njihovog posljednjeg posluživanja. U protivnom se nakon isteka tog vremena u trajanju od 25 sekundi uključuje svjetlosno upozorenje u trajanju od 2,5 sekunde, a nakon toga se u slučaju da strojovođa i dalje nije poslužio uređaj budnika, uključuje i zvučni alarm koji također traje 2,5 sekunde. Ako strojovođa nije adekvatno reagirao na svjetlosno, a nakon toga i dodatno zvučno upozorenje, uređaj budnika automatski pokreće postupak prisilnog kočenja vlaka. Uređaj budnika s jedne strane ima aktivnu ulogu u pogledu zaštite vlaka odnosno povećanja razine sigurnosti u željezničkom prometu, ali istodobno predstavlja i važan čimbenik koji utječe na kognitivno opterećenje strojovođe u procesu vožnje vlaka, a time u konačnici i na sigurnost željezničkog prometa.

Na željezničkim prugama opremljenima s radiodispečerskim sustavom strojovođa u slučaju potrebe za komunikaciju s dispečerskim centrom koristi radiodispečerski uređaj smješten na upravljačkom pultu u upravljačnici vlaka. Primjenom ovog telekomunikacijskog sustava strojovođa može zaprimati dispečerske naredbe i razmjenjivati ostale važne informacije s nadležnim prometnim dispečerom. Rad s radiodispečerskim uređajem također predstavlja dio radnog opterećenja strojovođe u procesu vožnje vlaka na prugama opremljenim radiodispečerskim sustavom.

Dodatni važan zadatak za strojovođe putničkih vlakova je da posebnu pozornost trebaju posvetiti procesu ulaska i izlaska putnika na sta-

jalištima, pri čemu se moraju dobro usredotočiti na proces zatvaranja vrata prije polaska vlaka sa stajališta. To se posebno odnosi na promet gradsko-prigradskih vlakova koji tijekom svojeg putovanja imaju veći broj zaustavljanja na stajalištima na kojima postoji veći koeficijent izmjene putnika. U svrhu unapređenja ovog procesa u vozila novije generacije ugrađuje se videonadzor koji omogućava prikaz stanja na peronu izravno na sučelju smještenom na upravljačkom pultu vlaka.

Vučna vozila obično su opremljena i sustavima za nadzor tehničkog stanja vozila, pri čemu strojovođa na posebno izvedenom sučelju, a kod novijih generacija vučnih vozila na monitoru, treba pratiti i raspoznati smetnje i kvarove na vozilu. Uz to strojovođa je odgovoran za nadzor i podešavanje rada drugih različitih sustava u vlaku (klimatizacijski sustav, audiosustav i sl.).

Pri tome je važno napomenuti da bi s obzirom na ukupno radno opterećenje strojovođe, sve često korištene komande na upravljačkoj ploči posluživane rukama trebale biti smještene u normalnom doseg ruke jer se na taj način smanjuje fizičko opterećenje strojovođa u lumbalnom dijelu kralježnice na razini kralježaka L4/L5 (*Sumpor et al., 2015.*). Naime, prema Mikulčić i sur. (2015.) za sve dobne skupine strojovođa iz RH s više od 30 godina starosti, udjel pretelih i gojaznih strojovođa zajedno varira između 72,73 % i 92,31 %, razmatrano prema iznosu indeksa tjelesne mase (engl. BMI). Takva dominantna gojaznost i pretilost strojovođa s više od 30 godina starosti zajedno s neželjenim hipotetskim razmještajem često korištenih komandi za ručno posluživanje u maksimalnom doseg ruku (što je moguća pogreška kod dizajna upravljačnice) izrazito negativno djeluje na iznos lumbalnog momenta M_{ly} u lumbalnom dijelu kralježnice na razini kralježaka L4/L5 te stoga negativno djeluje na radno opterećenje strojovođe (*Mikulčić et al., 2015.*).

Sve navedene aktivnosti strojovođe povezuje s nadzorom i posluživanjem ostalih uređaja smještenih u upravljačnici vlaka zahtijevaju osim fizičkog i misaoni angažman strojovođe te stoga,

također, predstavljaju i važan čimbenik koji utječe na njegovo kognitivno radno opterećenje.

ČITANJE PODATAKA O VOZKOM REDU I RAD SA SUSTAVOM PODRŠKE U VOŽNJI VLAKA

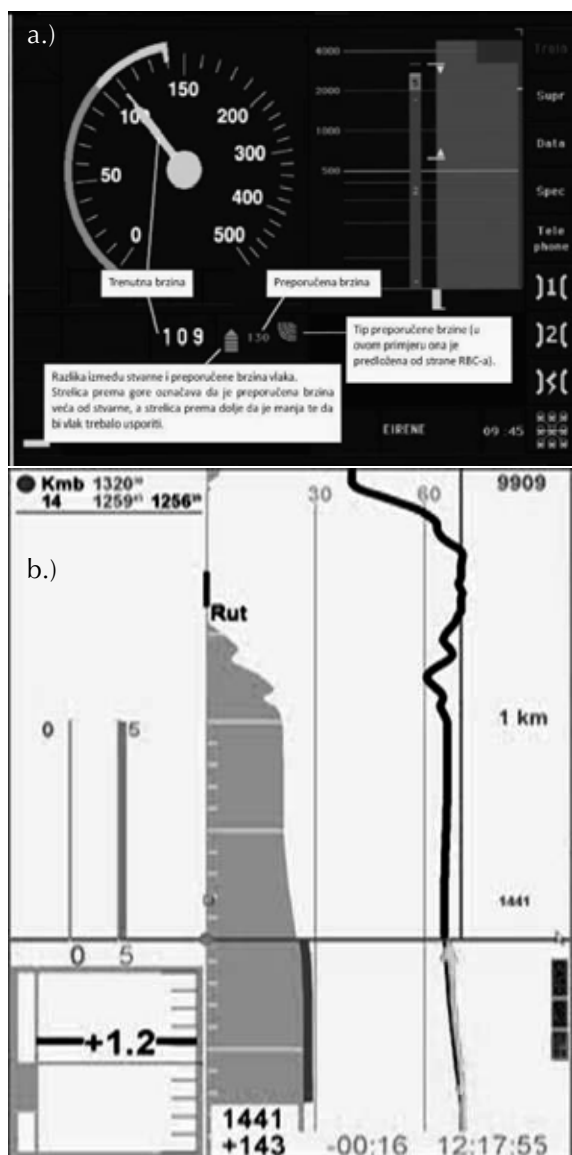
Čitanje podataka o voznom redu važan je zadatak strojovođe u procesu vožnje vlaka. U Republici Hrvatskoj strojovođe za čitanje voznog reda još uvijek koriste tiskani materijal voznog reda u obliku knjižice voznog reda (KVR). Uz knjižicu voznog reda strojovođa još dobiva i različite naloge kojima je propisan način vožnje vlaka, primjerice u slučaju smetnji i kvarova na signalno-sigurnosnim uređajima, propisanih laganih vožnji i sličnih situacija u prometu koje nisu planirane voznim redom. U knjižici voznog reda, podaci o vremenima dolazaka i polazaka vlakova sa stajališta, najvećoj dopuštenoj brzini vožnje na pojedinim dijelovima pruge, ograničenoj brzini vožnje preko skretnica i drugi podaci relevantni za putovanje određenog vlaka, zapisani su u tabličnom obliku na način kako je to prikazano na slici 4 (*Knjižica voznog reda, 2008.*).

KM. POLUČAJ	SLUŽBENA MJESTA	BRZINA		VRIJEME			
		PREKO SKRETNICA		DOLASKA	ODLASKA	SASTAJANJA	
		RED.	OGR.				
1	2	3	4	5	6	7	8
499							
453.3	DOBOVA			30	(7.60)	8.05	
	RD A-63; AS R-1						
	km 452+600			100			
	km 451+200 dg			95		8.08	
	km 451+150			120			
	km 446+410			55			
446.1	SAVSKI MAROF	40				8.12	
	km 445+165			60			
439.6	ZAPREŠIĆ	40				8.19	
434.0	PODSUSED TVOR.	20				8.25	
426.6	ZAGREB ZAP. KOL.	35				8.33	
	km 425+395			50			
424.4	ZAGREB GLAVNI KOL.	30			8.37		

Slika 4. Knjižica voznog reda za vlakove koji prometuju u mreži HŽ Infrastrukture d.o.o.

Figure 4. Train schedule booklet for trains operated by HŽ Infrastruktra d.o.o.

U nekim drugim zemljama podaci o voznom redu namijenjeni strojovođama umjesto u tiskanom obliku izdaju se u elektroničkom obliku i prikazuju se na posebnom monitoru smještenom na upravljačkom pultu vlaka. Takav način prijenosa informacija prema strojovođi može se u bliskoj budućnosti očekivati i u Republici Hrvatskoj. To bi trebalo utjecati na smanjenje kognitivnog opterećenja strojovođa jer im je u tom slučaju, zbog preglednije grafičke izvedbe koje nudi takvo sučelje u odnosu na tradicionalni tablični prikaz voznog reda, potreban manji napor za praćenje podataka o izvršenju voznog reda za svoj vlak. Također, elektronički vozni red može biti prikazan i u sklopu sustava podrške u vožnji vlaka, a koji predstavljaju računalne sustave koji strojovođama nude prijedloge za učinkovitiju vožnju vlaka. Ovakvi sustavi sve više se primjenjuju u svijetu te se očekuje da bi uskoro mogli biti u primjeni i na našim prugama. Svrha primjene ovih sustava je strojovođi ponuditi optimalnu strategiju vožnje vlaka u pogledu veće stabilnosti voznog reda i energetski učinkovitog načina vožnje vlaka. Najsuvremenije izvedbe ovih sustava predstavljaju dinamički mrežno orijentirani sustavi podrške koji strojovođi nude prijedloge o načinu vožnje vlaka temeljene na aktualnim podacima o kretanju drugih vlakova u mreži te predviđanjima o budućem načinu protoka prometa koji može utjecati na postupak optimizacije kretanja vlaka. Sučelje ovog sustava može biti izvedeno putem zasebnog monitora smještenog na upravljačkom pultu ili integrirano u sklopu ETCS sučelja za vožnju vlaka (slika 5). Kod primjene takvog sustava strojovođa bi trebao pratiti podatke o preporučenoj brzini kretanja vlaka te u slučaju da takav način vožnje ne bi imao utjecaj na ugrožavanje sigurnosti prometa, trebao pokušati voziti vlak tom preporučenom brzinom. Pri tome, strojovođa treba kontinuirano usmjeravati pogled s pruge prema monitoru sustava te ulagati kognitivni napor za praćenje preporuka o načinu vožnje vlaka, kao i za donošenje odluke o tome jesu li te preporuke prihvatljive s obzirom na sigurnost željezničkog prometa. Sučelje sustava podrške trebalo bi biti smješteno na upravljačkoj ploči unutar vidnog polja strojovođe kako bi se izbjeglo povećanje fizičkog radnog opterećenja strojovođe (*Sumpor et al., 2015.*).



Slika 5. a) Sučelje sustava podrške integrirano u sklop ETCS sučelja

Izvor: ETCS MMI interface, 2016. (autorska obrada)

b) Zasebno sučelje CATO sustava podrške u vožnji vlaka, Izvor: Transrail – CATO, 2016.

Figure 5. a) Support system integrated in ETCS interface
b) Separate interface of CATO support system in train operation

Cilj djelovanja ovih sustava je unapređenje učinkovitosti procesa upravljanja željezničkim prometom u slučajevima visoke razine iskorištenja kapaciteta željezničke infrastrukture. To se u prvom redu odnosi na unapređenje stabilnosti

voznog reda, ali i na druge sekundarne čimbenike koji utječu na učinkovitost upravljanja željezničkim prometom. Jedan od najznačajnijih sekundarnih čimbenika je energetska učinkovitost u vožnji vlakova, pri čemu se, ovisno o vrsti željezničkog prijevoza, moguće uštede u potrošnji pogonske energije vlakova općenito kreću u rasponu od 5 do 20 % (Hansen, Pacht, 2008.). Najznačajniji rezultati u smislu uštede pogonske energije postižu se kod prometa teških teretnih vlakova na težim dionicama pruga koje u sklopu svojeg uzdužnog profila imaju velik broj većih nagiba i zavoja te kod prometa gradsko-prigradskih vlakova koji podrazumijeva relativno česta zaustavljanja zbog izmjene putnika na stajalištima. Pri tome je važno istaknuti da upravo kod vožnje gradsko-prigradskih vlakova strojovođa ima najveći broj zadataka o kojima mora razmišljati tijekom procesa vožnje vlaka. Unatoč tomu što sustavi podrške u vožnji vlaka ne predstavljaju sigurnosne željezničke sustave, već je njihova uloga samo savjetodavna u obliku prijedloga o tome na koji bi način bilo učinkovitije voziti vlak (strojovođa ih ne bi trebao uzimati u obzir u slučaju kada smatra da bi to moglo ugroziti sigurnost prometa), oni mogu značajno utjecati na kognitivno opterećenje strojovođe u procesu vožnje vlaka. Zbog toga bi se trebali precizno utvrditi kriteriji koji bi određivali bi li primjena ovih sustava kod određene vrste vlakova utjecala na sigurnost prometa u pogledu prekomjernog kognitivnog opterećenja strojovođa koje bi moglo dovesti do grešaka u njihovom radu tijekom procesa vožnje vlaka, a koje bi mogle ugroziti sigurnost prometa.

S obzirom da se prema ovoj analizi najveći broj zadataka koji mogu utjecati na kognitivno opterećenje strojovođe u procesu vožnje vlaka odnosi na promet gradsko-prigradskih vlakova, može se zaključiti da bi se kod te vrste željezničkog prijevoza trebalo razmotriti uvođenje poluautomatskog načina vožnje vlakova. Prema osnovnoj podjeli razina automatiziranosti vožnje vlaka, poluautomatski način vožnje vlaka ubraja se u drugu razinu automatizacije ATO - GoA2 (engl. Automatic Train Operation - Grade of Automation 2) koja podrazumijeva vožnju vlaka kod koje uz prisutnost strojovođe postoji i

mogućnost primjene autopilota (slika 6); (*Metro automation...*, 2016. – *autorska obrada*).

Stupanj automatizacije	Nalaz vlačje vlaka	Pokretanje vlaka	Zaustavljanje vlaka	Zatvaranje vrata	Regiranje u slučaju smetnji
GoA1	ATP sa strojovođom	Strojovođa	Strojovođa	Strojovođa	Strojovođa
GoA2	ATP i ATO sa strojovođom (STO)	Automatiko	Automatiko	Strojovođa	Strojovođa
GoA3	ATO bez strojovođe (DTO)	Automatiko	Automatiko	Stalbenik u vlaku	Stalbenik u vlaku
GoA4	ATO bez osoblja (UTO)	Automatiko	Automatiko	Automatiko	Automatiko

ATP (Automatic Train Protection) – automatska zaštita vlaka

ATO (Automatic Train Operation) – automatsko upravljanje vlakom

STO (Semi-automatic Train Operation) – poluautomatska vožnja vlaka

DTO (Driverless Train Operation) – vožnja vlaka bez prisutnosti strojovođe

UTO (Unattended Train Operation) – vožnja bez prisutnosti osoblja u vlaku

Slika 6. Stupnjevi automatizacije vitalnih procesa vožnje vlaka

Figure 6. Degrees of automation of vital processes in train operation

Takav način vožnje podrazumijeva sve spomenute aktivnosti strojovođe u procesu vožnje vlaka, pri čemu neke faze u vožnji mogu biti automatizirane. To se odnosi na automatizaciju postupka pokretanja i zaustavljanja vlaka odnosno vožnje vlaka prema unaprijed zadanom režimu kretanja. U slučaju pojave neplaniranih smetnji u realizaciji takve vožnje, strojovođa može u bilo kojem trenutku isključiti rad autopilota i sam nastaviti voziti vlak s obzirom na postojeću situaciju u prometu, a s ciljem realizacije sigurne vožnje vlaka. Primjena poluautomatske vožnje vlaka mogla bi povećati učinkovitost upravljanja prometom uz istodobno smanjenje kognitivnog opterećenja strojovođe, a time i indirektno utjecati na povećanje sigurnosti prometa.

ZAKLJUČAK

U radu su analizirani osnovni čimbenici koji utječu na kognitivno opterećenje strojovođa putničkih vlakova. Istraživanje uključuje analizu rada strojovođe u lokomotivama i motornim vlakovima koji se koriste u željezničkom putničkom

prometu u Republici Hrvatskoj. Rezultati analize potvrđuju hipotezu da bi predviđeno uvođenje sustava podrške u vožnji vlaka, s ciljem povećanja učinkovitosti sustava upravljanja željezničkim prometom uz postojeće radno opterećenje strojovođe kod gradsko-prigradskih vlakova, zbog prekomjernog kognitivnog opterećenja strojovođe moglo negativno utjecati na sigurnost željezničkog prometa. S obzirom na to, može se zaključiti da se kod prometa gradsko-prigradskih vlakova treba ispitati mogućnost uvođenja sustava poluautomatske vožnje vlakova (ATO - GoA2). U tom slučaju strojovođa u postupku vožnje ne bi trebao uključivati dodatni napor za realizaciju pojedinih faza vožnje i održavanje brzine vlaka u skladu s preporučenim režimom vožnje od sustava podrške, već bi svoju pozornost mogao preusmjeriti na promatranje pruge s ciljem sigurnije vožnje vlaka u pogledu učinkovitijeg praćenja signala i signalnih oznaka odnosno prepoznavanja različitih prepreka za vožnju vlaka, a posebice tijekom slabe vidljivosti na pruži zbog loših vremenskih prilika. U budućnosti može se očekivati da će Hrvatski nacionalni sustav vođenja vlakova u značajnijoj mjeri biti zamijenjen Europskim sustavom vođenja vlakova (ETCS – engl. European Train Control System) koji za prijenos upravljačkih informacija umjesto primjene pružnih signala podrazumijeva uporabu kabinske signalizacije što bi trebalo pozitivno utjecati na smanjenje kognitivnog opterećenja strojovođe, a time i na povećanje sigurnosti željezničkog prometa.

LITERATURA

Fuller, R.: Towards a general theory of driver behaviour, *Accident Analysis and prevention* 37, 2005., 3, pp. 461-472,

ETCS-MMI interface, dostupno na: <http://www.humanefficiency.nl/etcs/etcs-dmi.php>, pristupljeno: 23.11.2016.

Haramina, H., Ljubaj, I., Toš, I.: An analysis of train driver's cognitive workload related to Croatian national signalling system // *Book of Proceedings of 6th International Ergonomics Conference*, pp. 121-128, Zadar, 2016.

Hansen, I.A. & Pacht, J.: *Railway Timetable & Traffic*, Eurailpress, Hamburg, 2008.

Knjižica voznog reda, HŽ Infrastruktura d.o.o., Zagreb, 2008.

Kecklund, G., Åkerstedt, T., Ingre, M., Söderström, M.: Train drivers' working conditions and their impact on safety, stress and sleepiness: a literature review, analyses of accidents and schedules, *Stress Research Report no 288*, National Institute for Psychosocial Factors and Health (IPM), Stockholm, 1999.

Metro automation: facts, figures and trends, Union Internationale des Transports Publics, dostupno na: www.uitp.org, pristupljeno: 23.11.2016.

Pravilnik o značenju i uporabi signala, signalnih znakova i signalnih oznaka u željezničkom prometu, N.N., 40/07., 120/08.

Mikulčić, M., Modrić, M., Sumpor, D.: Application Possibility of Engine Drivers' Body Segments Ratios in Designing the Cab' Working Environment in Croatia, *Proceedings of the 26th*

DAAAM International Symposium on Intelligent Manufacturing and Automation, DAAAM 2015, Zadar, 21st – 24th October 2015, Published by DAAAM International, Katalinić, B. (ed.), Vienna, 2015, pp. 842-848.

Sumpor, D., Taboršak, D., Jurum-Kipke, J.: Anthropometric Measures Important for Control Panel Design in Locomotive or Railcar, *Technical Gazette, Scientific professional journal of technical faculties of the Josip Juraj Strossmayer University of Osijek*, 22, 2015., 1, pp. 1-10.

Toš, Z.: *Željeznička signalizacija*, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2013.

Transrail – CATO, dostupno na: <http://www.transrail.se/news.php?lang=en> pristupljeno: 23.11.2016.

Željeznička nesreća na Zagreb Glavnom kolodvoru na dan 30. kolovoza 1974., dostupno na: <http://www.fpz.unizg.hr/ztos/1974.html>, pristupljeno 14.03.2017.

AN ANALYSIS OF PASSENGER TRAIN DRIVER'S COGNITIVE WORKLOAD IN RELATION TO CROATIAN NATIONAL TRAIN CONTROL SYSTEM

SUMMARY: Train driver's workload represents a key factor for efficiency and safety of train operation. Thus, modern requirements for efficiency of train operation regarding railway timetable stability and energy efficiency can lead to very high level of train driver's workload. In this paper passenger train driver's activities related to Croatian national train control system are explained and analyzed regarding his cognitive workload in order to assess its negative impact on railway safety. The research includes an analysis of the train driver's work in locomotives and multiple units used for railway passenger transport in the Republic of Croatia. Additionally, an analysis of commuter train driver's activities in case of future potential application of train driver advisory systems is provided. The research results indicate the need for the introduction of semi-automatic driving in commuter rail services.

Key words: railway passenger transport, train operation, train driver's cognitive workload, railway safety

Preliminary communication

Received: 2017-02-24

Accepted: 2017-04-03