

Nekić Matija, univ. bacc. ing. geod. et geoinf.

► diplomski studij, Geodetski fakultet, Sveučilište u Zagrebu. Kačićeva 26, 10000 Zagreb, e-mail: mnekić@geof.hr

Marincel Nikola, univ. bacc. ing. geod. et geoinf.

► diplomski studij, Geodetski fakultet, Sveučilište u Zagrebu. Kačićeva 26, 10000 Zagreb, e-mail: nmarincel@geof.hr

Koružnjak Borna, univ. bacc. ing. geod. et geoinf.

► diplomski studij, Geodetski fakultet, Sveučilište u Zagrebu. Kačićeva 26, 10000 Zagreb, e-mail: bkoruznjak@geof.hr

Integracija GNSS-a i odometra za potrebe željezničkog prometa

SAŽETAK: U ovom članku prikazano je trenutno stanje infrastrukture željezničkog prometa unutar zemalja Europske Unije i Japana, posebno s aspekta sigurnosti prometa i kontrole kretanja kompozicija. Kao inspiracija istraživačkom radu korištena je šokantna informacija o manjku interoperabilnosti unutar željeznica Europske unije te činjenica da pojedini vlakovi moraju na svojim lokomotivama imati i do 25 različitih senzora za signalizaciju (Thalys). Detaljno je obrađeno i opisano trenutno stanje europskog sustava za kontrolu vlakova (ETCS) i pripadne razine. Dotaknuta je tema uporabe GNSS-a i odometra u svrhu poboljšanja navigacije te smanjenja troškova rada samih željeznica. Ukratko je opisana švedska tvornica ležaja (SKF) te njena važnost u poboljšanju kvalitete rada željeznica i općeniti doprinos željezničkom prometu diljem svijeta. Detaljni opisi i mogućnosti primjene zadnje generacije skf Axletronic odometara i mogućnosti njegove implementacije na postojeće i nove vlakove su detaljno opisane. Naposljetku daje se prikaz Integrail sustava kao novog standarda u svijetu željezničkog prometa, njegova uspostava, prednosti i svrha.

KLJUČNE RIJEČI: željeznički promet, GNSS, odometar, ETCS, integrail, SKF, integracija senzora

Integration of GNSS and odometer for railway transport

SUMMARY: In this article we discussed the current operating state of railway infrastructure within the European Union and Japan, especially from the aspect of the traffic safety and train composition control. As a base inspiration for this seminar information about the lack of rail interoperability within the European Union and the fact that some trains have on their locomotives up to 25 different sensors for signaling (Thalys) was used. The current state of the European train control system (ETCS) and the corresponding levels was described in detail. We also addressed the topic about the usage of GNSS and the odometer in order to improve navigation and reduce operation costs to the railways themselves. The Swedish bearing factory (SKF) and its importance to the improvement on quality of railways and their general contribution to the railways around the world was briefly described. Detailed descriptions and possibilities of the latest generation SKF Axletronic Odometers and of its implementation on existing and new trains will be shown in detail. At the end the Integrail system was explained as a new standard in the world of rail transport, its establishment, the benefits and its purpose.

KEYWORDS: rail transport, GNSS, odometer, ETCS, Integrail, SKF, integration of sensors

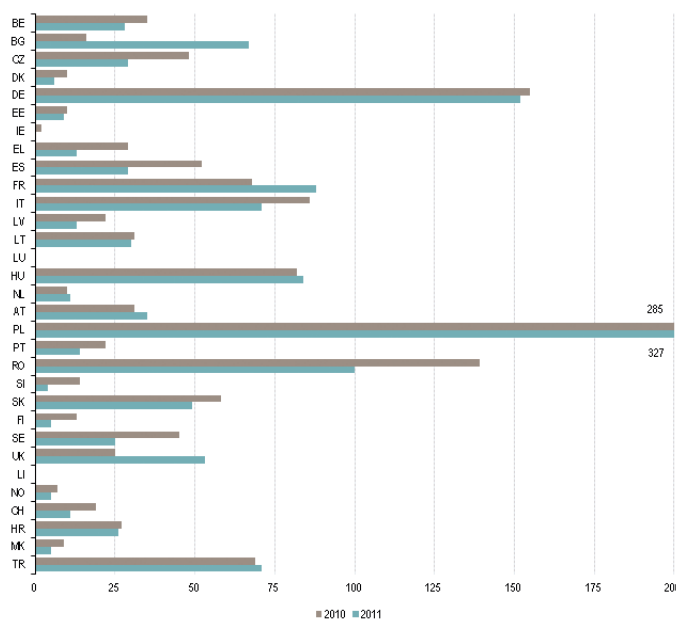
1. UVOD

Danas se na globalnoj razini približno svaka dva sata dogodi prometna nesreća koja uključuje vlak i motorno vozilo ili fizičku osobu. Gotovo pola tih nesreća uzrokovane su kvarom automatskih signalnih uređaja na samom vlaku ili željezničkoj pruzi.

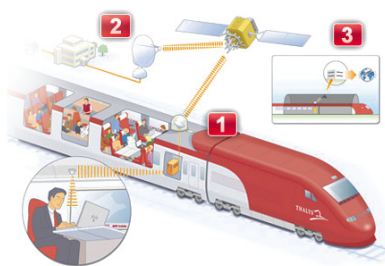
Šokantne statističke vrijednosti su nažalost očekivane ako se uzme u obzir uzorak testiranja istih, vidi sliku 1.1. Zastarjele tehnologije na samim vlakovima i prugama kojima svakodnevno voze doprinose potencijalnim katastrofalnim nesrećama. Razvijanje novih poluautomatskih sustava za nadzor vlakova nude rješenja po pitanju sigurnosti putnika i robe, ali jednako tako i uštede sredstava potrebnih za transport istih (URL-9). Po uzoru na postojeće primjere unutar Europske unije i ostalih naprednih zemalja svijeta postoje mogućnosti poboljšanja kvalitete željezničkog prometa.

Problem koji se javlja jest visoka cijena implementacije novih sustava i poboljšanje same infrastrukture željezničkog prometa te se postavlja pitanje isplativosti i potrebe koje čini mnoge zemlje „nervoznim“ pri odabiru ulaganja vlastitih sredstava (URL-5).

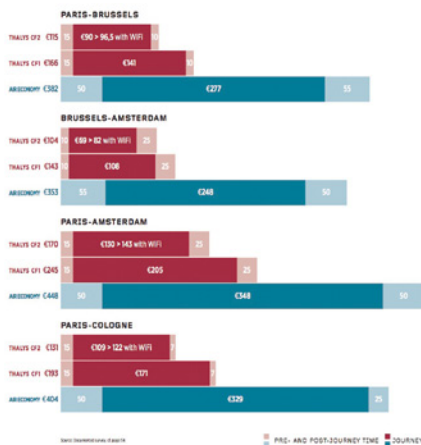
Uslijed dostupnosti preciznih satelitskih navigacijskih sustava, GPS-a i u bliskoj budućnosti Galileia koji pružaju referentnu poziciju, vrijeme i cijelost informacija na globalnoj i lokalnoj razini,



Slika 1.1. Broj željezničkih nesreća grupiranim po državama Europe za 2010. i 2011. (URL-9)



Slika 1.2. Grafički prikaz Thalys vlaka (URL-7)



Slika 1.3. Grafički prikaz studije usporedbe Thalys vlaka i zračnog prometa (URL-7)

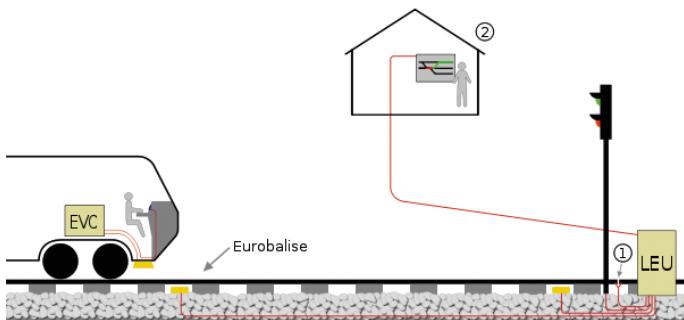
željeznički promet suočen je s revolucijom u uvjetima fleksibilnosti poslovanja, vidi sliku 1.3. Autonomni satelitski navigacijski prijamnici u kombinaciji s komunikacijskim podsustavom, tzv. telematički sustavi, primjenjuju se gotovo svugdje, a uglavnom vezano uz cestovni i pomorski promet. Željeznički sektor nije bio sklon primjeni ovih tehnologija međutim danas se stvari mijenjaju te se počinje sve više vjerovati u prednosti koje nudi tehnologija bazirana na GNSS-u i telematici, vidi sliku 1.2.

Da bi se udovoljilo novim zahtjevima u posljednje tri godine razvijen je prototip sustava mobilne telematike (INTEGRAIL) od strane dvije kompanije KayserThrede i Bombardier Transportation. Osnovni cilj razvoja INTEGRAIL sustava (URL-10) je pokazati isplativo korištenje GNSS-a za napredno upravljanje željezničkim prometom. Uvođenjem ovakvog sustava napravljen je prvi korak u pružanju pozicije, brzine i smjera kretanja vlakova preko primjene satelitske navigacije sa svrhom povećanja sigurnosti. U ovoj fazi takav pristup omogućuje veću efikasnost u iskorištavanju postojeće pružne infrastrukture. S vremenom će INTEGRAIL potencijalno postati temeljno sučelje GNSS odometrije u daljnjem razvoju ERTMS standarda za linije brzih vlakova (URL-7).

2. UPRAVLJANJE ŽELJEZNIČKIM PROMETOM U EUROPI

Sustavi za upravljanje željezničkim prometom brinu se da vlakovi voze sigurno, učinkovito i po pravilnoj trasi te da pritom održavaju prikladnu brzinu i izbjegavaju sudare s drugim vlakovima. Europski sustav upravljanja željezničkim prometom (European Rail Traffic Management System - ERTMS) trenutno ima dvije osnovne funkcije - komunikaciju i kontrolu:

- funkcija komunikacije, GSM-R se temelji na GSM standardu, ali koristi različite frekvencije i nudi određene napredne



Slika 2.1. Prva razina ETCS-a (URL-8)

funkcije. To je radio sustav koji se koristi za razmjenu glasovnih i podatkovnih informacija između vlaka i kontrolne stanice,

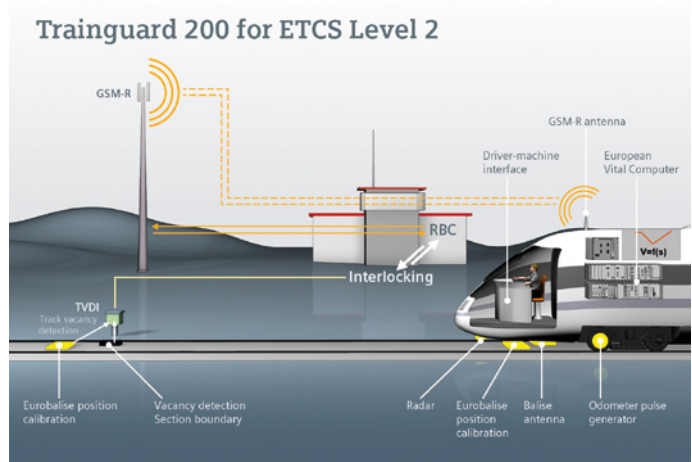
- europski sustav upravljanja vlakom je zapravo računalo unutar vlaka, EuroCab, koji uspoređuje trenutnu brzinu vlaka i dozvoljenu brzinu te ako je brzina vlaka veća on je automatski smanjuje bez potrebe intervencije vozača.

S European Train Control System-om skraćeno ETCS, uređaj Eurobalise, magnetski uređaj instaliran unutar pruge, šalje informaciju vlakom što omogućuje kontinuirano računanje maksimalne dozvoljene brzine. Na linijama gdje postoji pružna signalizacija (svjetla i prometni znakovi koji omogućuju vozaču da zna dozvoljenu brzinu), ove informacije mogu biti proslijeđene standardnim svjetlosnim signalima smještenim duž pruge koji su spojeni na Eurobalise-u. Ovo obuhvaća prvu razinu ETCS-a (URL-5), vidi sliku 2.1.

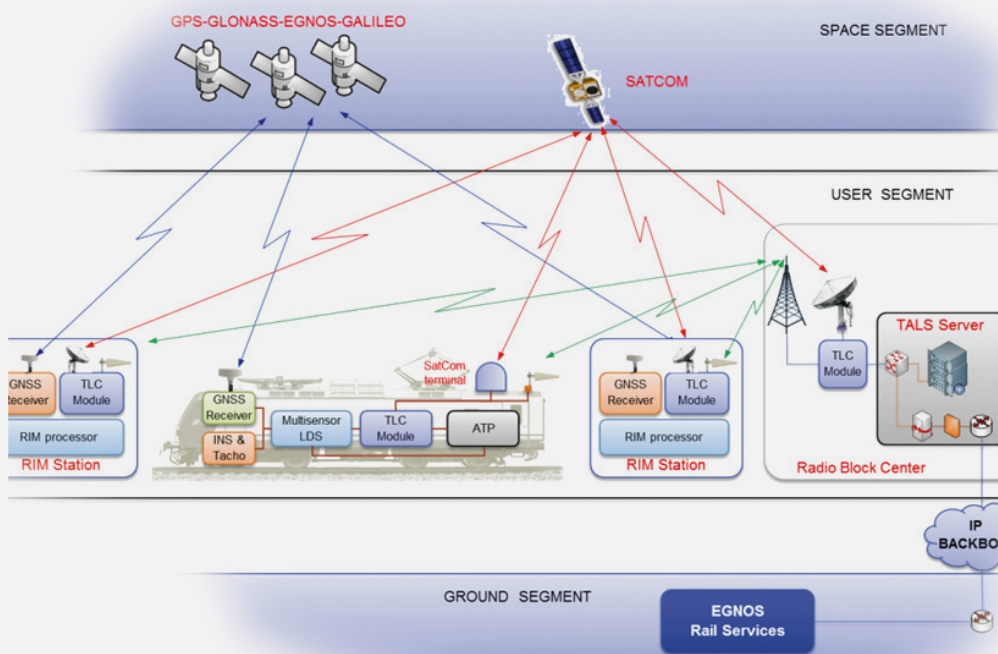
U sklopu druge razine ETCS-a informacije također mogu biti proslijeđene putem radio veze (GSM-R) što čini signalizaciju na samoj pruzi nepotrebnom. To omogućuje znatne uštede vezane za ulaganja i održavanje infrastrukture. Pozicije se još uvijek bilježe na „trackside“ sustavu, vidi sliku 2.2.

U sklopu treće razine ETCS-a vlak sam šalje lokaciju sa stražnjeg kraja vlaka kako bi bilo moguće optimirati linije koje su potrebne „trackside“ sustavu te se tako dodatno smanjuje oprema na prugama. Za sve razine ETCS-a računalni sustav EuroCab koji se nalazi u vlakom uspoređuje brzinu vlaka s najvećom dozvoljenom brzinom i automatski usporava vlak kada je to potrebno (URL-7).

Danas imamo oko 15 različitih sustava u EU (bez zemalja pristupnica). To je operativno otežalo željeznički promet između



Slika 2.2. Prva i druga razina ETCS-a (URL-8)



Slika 2.3. Grafički prikaz rada EGNOS-a (URL-8)

različitih zemalja jer je na svakoj granici potrebno postaviti signalizaciju na lokomotivu za zemlju u koju se ulazi. Time su ujedno i povećani troškovi i složenost putovanja. Osim toga signalni sustavi zahtijevaju puno opreme za signalizaciju te je radi toga sam sustav skup.

ERTMS/ETCS je započeo razvoj tako da signalizacija kao i funkcije pozicioniranog vlaka budu uklonjene s trase. Međutim, ključno je da komponenta ERTMS/ETCS magnetna Eurobalise uvijek bude postavljena na razmaku od cca 1 km diljem pruge. Pozicioniranje vlaka bazirano na GNSS-u ne treba dodatnu opremu zbog čega je znatno jeftinije. Korisnička grupa ERTMS je izdala prijedlog o zajedničkom pristupu za uvođenje GNSS-a u ERTMS/ETCS i očekuje da će ta tehnologija predstavljati zamjenu ili nadopunu za postojeću tehnologiju. Pojava pouzdanih GNSS servisa, u početku s EGNOS-om, vidi sliku 2.3., a kasnije i sa GALLILEO-m očekuje da će značajno utjecati na provedbu ERTMS/ETCS. (URL-5)

3. PRIMJENA ODOMETRA U ŽELJEZNIČKOM PROMETU

Odometar ili odograf je mehanički ili elektronički instrument čijom primjenom je moguće odrediti prijeđenu udaljenost motornim vozilom ili bilo kakvim drugim vozilom na kotačima.

3.1. SKF (SVENSKA KULLAGERFABRIKEN AB)

Oslanjajući se na pet područja nadležnosti i namjenski-specifične stručnosti s preko 100 godina iskustva SKF donosi inovativna rješenja za OEM i proizvodne pogone u svakoj većoj industriji diljem svijeta. Tih pet područja uključuju ležajeve i rotacijske jedinice, sustave za pečate, sustave za podmazivanje, mehatro-



Slika 3.1. SKF Axletronic odometar (URL-4)

niku (kombiniranje mehanike i elektronike u zajednički pametni - smart sustav) i širok spektar usluga od 3D računalnog modeliranja do naprednog praćenja stanja i pouzdanosti te sustav za upravljanje imovinom (URL-1).

3.2. SKF AXLETRONIC ODOMETAR

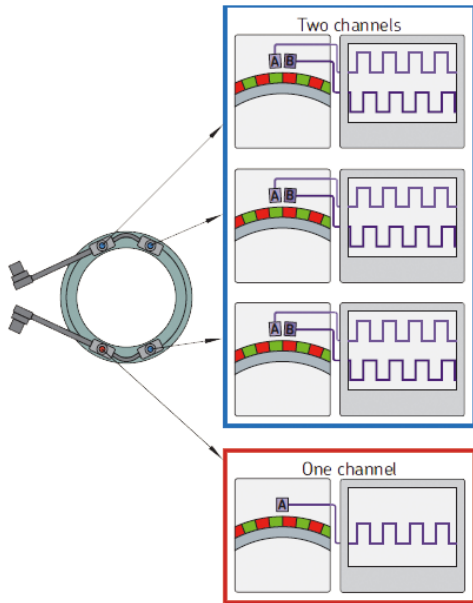
Usklađivanje sustava kontrole željezničkih mreža nudi međunarodnu interoperabilnost, velike uštede pri ulaganjima, troškovima održavanja jednako kao i lakši rad. Svenska Kullagerfabriken AB skraćeno SKF je pridonio tom razvoju sa svojim SKF Axletronic odometrom. U današnje vrijeme, brzi vlakovi koji postižu brzine do 300 km/h, kao TGV (Francuska), ICE (Njemačka), Eurostar (UK, Francuska, Belgija, SAD), Talgo (Španjolska), promijenili su zemljopisnu kartu Europe te se udaljenosti između velikih europskih gradova više ne broje u kilometrima već u satima. U jeku globalnog zatopljenja priliku za napredak uvidjele su kompanije koje se bave razvojem brzih vlakova i njihovih sustava. Trendove s Europskog i Japanskog tržišta počeli su slijediti i ostali kontinenti i pripadne države. Brzi vlakovi predstavljaju jedno od rješenja za potrebe održive mobilnosti i simbola budućnosti poslovanja (URL-4).

Rješenje SKF Axletronic senzora je prilagodljiva platforma za vlakove koja može biti postavljena na jedinice osovinskih ležaja ili na prednjoj strani osovine te se lako može ugraditi na obje vrste koje se nalaze unutar novih ili postojećih vlakova. Prijenosna kutija sa mogućnostima određivanja brzine, temperature, vibracija, smjera nagiba i prevaljene udaljenosti. Ovi signali mogu se koristiti za:

- sustavi odometara kao npr.primjena u ETCS-u,



Slika 3.2. Senzor postavljen na nosive brtve (lijevo), Senzor postavljen na prednju stranu osovine (desno) (URL-4)



Slika 3.3. Skica prikaza senzora unutar SKF Axletronic odometra

- sustavi u svrhu očitavanja vrijednosti i zaštite protiv proklizavanja kotača,
- sustav za praćenje temperature ležaja,
- smjer kretanja,
- sustav za praćenje vertikalnog i/ili bočnog kretanja.

Postoje dvije vrste SKF Axletronic odometara, vidi sliku 3.1., koja se nalaze na tržištu, ovisno o tome gdje se nalazi sam senzor, vidi sliku 3.2. To su:

- senzor postavljen na nosive brtve kao dio osovinskog ležaja,
- senzor postavljen na prednju stranu osovine bez povezanosti s osovinskim ležajem,
- prilagodljiva rješenja osovine za detekciju temperature, ležaja, okretnu brzinu, smjer kretanja, vertikalno i/ili bočno ubrzanje, položaj i udaljenost

3.3. PREDNOSTI SKF AXLETRONIC ODOMETRA

SKF Axletronic Odometar je fleksibilno i modularno rješenje koje se može prilagoditi individualnim potrebama kupca. Instalacija plug-and-play rješenja ne zahtjeva podešavanje i kalibraciju. SKF Axletronic Odometar ima jednostavan dizajn bez komponenti koje smatramo potrošnim materijalom. Glavna prednost je slobodni kraj osovine što je različito u odnosu na starije verzije odometra koji su bili dizajnirani tako da se nalaze na kraju prednje osovine s mehaničkom poveznicom rotirajućeg seta kotača postavljenog kroz dodatno malo vratilo koje mora biti podržano od ostalih sustavnih komponenti. Ovakav dizajn zahtjeva više prostora i onemogućuje druge uređaje u obavljanju svojih primarnih zadataka (URL-3). Sam dizajn senzora je podešen kako bi bilo moguće:

- prilagođavanje konstrukcije senzora prema specifikaciji korisnika,
- kompaktan dizajn s malim brojem komponenti, lagane konstrukcije i male dimenzija,
- integracija više senzora za podršku različitih sustava,
- jednostavno povezivanje preko prednjih poklopaca,
- nije potreban senzor za brzinu,
- kompatibilnost s drugim optičkim sensorima brzine,
- prilagođeni signali za brzinu potpuno kompatibilni sa svakom elektroničkom jedinicom,
- potpuna povezanost i neovisnost signala za brzinu na

jednoj osovini i

- jednostavno rukovanje kompletnog sustava.

4. INTEGRACIJA GNSS-A I INS-A U ŽELJEZNIČKOM PROMETU

Danas je opće poznato da su za primjenu GNSS-a i INS-a (inerzijskog navigacijskog sustava) u svrhu podizanja kvalitete željezničkog prometa potrebni visoko pouzdani i precizni podaci osigurani putem senzora na vozilu. Glavne komponente pozicije (geografska lokacija, brzina, smjer u širem smislu) mogu biti osigurane spajanjem podataka dobivenih iz GNSS prijemnika i INS senzora koji mogu biti u ulozi: odometra, akcelerometra, Doppler radara za kalkulaciju udaljenosti i žiroskopa za praćenje promjena nagiba.

Kao važna komponenta za kontrolu vlakova moguće je nadograditi postojeći sustav za nadzor vlakova s integriranim multisenzorskim pozicijskim sustavom po potrebi ovisno o razini aplikacije, mogućnosti interoperabilnosti i kontekstu prometa (brze pruge, slabo prometne pruge i slično) (URL- 5).

S trenutnim shemama odometra u današnjem željezničkom prometu moguće su sljedeće integracije:

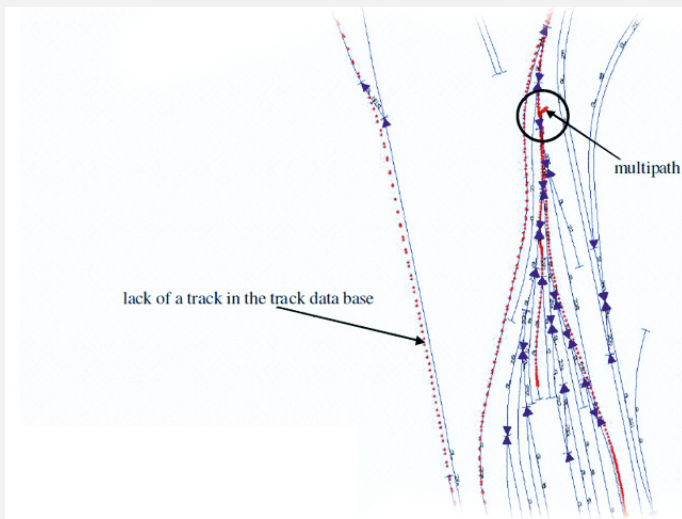
- GNSS/INS poboljšava odometar, sustav na temelju GNSS/INS senzora poboljšava mogućnost određivanja trenutne lokacije (kalibracija odometra sukladno novom sustavu). Ovim putem moguća je integracija sustava bez većih izmjena postojećoj konfiguraciji i interoperabilnosti kontrolnom segmentu željezničkog prometa za željeno područje.
- GNSS/INS zamjenjuje odometar, sustav na temelju GNSS/INS senzora postavljen je u svrhu nezavisnog određivanja lokacije te većim i fleksibilnijim mogućnostima konfiguracije i kalibracije. Prvi pristup predstavlja praktičniji i ekonomski manje zahtjevan zahvat samom sustavu navigacije željezničkog prometa te uz postojeće stanje potencijalno lakšu implementaciju i kalibraciju.

5. INTEGRAIL SUSTAV

U naprednim telematičkim aplikacijama za željeznički promet primarna motivacija za odabir određene kombinacije senzora (osim individualnih ciljeva) su njihove komplementarne osobine, a samim time i komplementarna pogreška ponašanja senzora. S magnetima na pruzi, GNSS prijamnik je samo senzor koji omogućuje informacije o apsolutnom položaju vozila u pokretu (URL-10). Stoga je ovaj senzor obavezan za sve opcije kombinacija senzora. Budući da se oslanja na vanjski RF signal, GNSS prijamnik je u isto vrijeme samo senzor koji nije samostalan. Ova činjenica je veoma bitna za kombinaciju s ostalim sensorima (URL-6). Kako bi se povećala pouzdanost GNSS podataka, integritet informacija na širem području mogu se koristiti diferencijalni sustavi poput EGNOS-a ili WAAS-a. Najvažnije značajke INTEGRAIL sustava su:

- permanentno, hibridno, pozicijsko određivanje unutra granica tolerancije putem GPS / EGNOS prijemnika (CMC Allstar 12-kanalni L1), odometar, senzor za uzdužno ubrzanje (Crossbow CXL02LF1), optički senzor za mjerenje vertikalne rotacije osi (tj. azimut ili tarifni kut, KVH E-Core 1100 ili 2030) i digitalna karta pružne infrastrukture,
- specifikacija koja definira točnost rješenja hibridnog pozicioniranja: $\pm 10\text{m}$ uzdužno, $\pm 1\text{m}$ poprečno s vjerojatnošću od 2σ , za sigurno određivanje jedne od paralelnih tračnica,
- specifikacija nedostupnosti: sustava $< 10^{-4}$, GNSS pozicijsko rješenje $< 10^{-5}$ po 2 kilometra ili za prevaljen put u 20 sekundi,
- mogućnosti "safety-critical" aplikacija u pružnom prometu da se prilagode novo definiranim Europskim standardima (ETCS) putem kompatibilnih H/W i S/W sučelja.

Tijekom terenskih testiranja bilo je provedeno istraživanje po-



Slika 5.1. Prikaz rezultata testiranja GNSS pozicioniranja (GPS+EGNOS) na području Austrije (URL-5)

našanja ugrađenih GNSS senzora. Slika 5.1. pokazuje uzorke rezultata GNSS pozicioniranja (GPS+EGNOS) na području Austrije. Kao referentni podaci su uzeti podaci dobiveni s kalibriranim DGPS-om s točnošću od 10 cm. Uočeno je da je u blizini zgrada veći utjecaj multipath-a, a samim time povećana mogućnost pogreške pozicioniranja kao na slici. Utjecaj multipath-a je povećan u blizini zgrada s velikim metalnim površinama što u nekim slučajevima izaziva pogreške pozicioniranja veće od 100 m. Imamo dva primjera detalja koji uzrokuju veliku pogrešku, a to su: multipath uzrokovan blizinom zgrada s metalnim pokrovom i loša vidljivost satelita (URL-5).

6. PREDNOSTI ŽELJEZNIČKOG POZICIJSKOG SUSTAVA BAZIRANOG NA GNSS-U

Željeznički kontrolni sustav baziran na GNSS-u će biti primaran drugim sustavima zbog:

- smanjenja troškova,
- bolje interoperabilnosti (nema potrebe za novom opremom) i
- poboljšanja performansi postojeće odometrije.

Niska cijena bit će glavni razlog pokretanja provedbe željezničkog upravljačkog sustava baziranog na GNSS-u. Za regionalne i sekundarne linije one niske gustoće prometa kao i niskog poslovnog prihoda može prihvatiti ovakva povoljna ulaganja u signalizaciju. Tradicionalni signalizacijski sustavi i također magnetni ETCS sustavi signalizacije su preskupi za takve linije. Željeznički pozicijski sustav baziran na GNSS-u će biti znatno jeftiniji, a time i učinkovitiji (URL10).

Bolja interoperabilnost će biti još jedan glavni pokretač za korištenje GNSS-a. ETCS i postojeći signalni sustavi bi trebali biti postavljeni zajedno gdje god je to moguće. Željeznice se trenutno suočavaju s ekonomskim i tehničkim barijerama kao i s problemima oko interoperabilnosti. Kako GNSS nije nužan u infrastrukturi on može pružiti interoperabilnost bez potrebe za ulaganjem u infrastrukturu. To djeluje neovisno o tome što je sustav implementiran unutar željeznice. Stoga će biti lakše koristiti GNSS u tijeku ove prijelazne faze ekonomskih i tehničkih barijera.

7. ZAKLJUČAK

S obzirom na transeuropski karakter željezničkog prometa, željeznički sustav kontrole baziran na GNSS-u će biti prikladniji za željezničke operatore od bilo kojeg drugog željezničkog sustava kontrole zbog svoje niže cijene i bolje interoperabilnosti. EGNOS servisi zasnovani na primjeni više GNSS sustava pokazali su svoje prednosti te predstavljaju prvi korak uvođenja satelitskog pozicioniranja u sigurnosne programe EU željeznica. Kako bi se prilagodili ovom

području primjene Kayser-Threde surađuje s Bombardier Transportation iz Njemačke i drugim partnerskim tvrtkama koje pokušavaju ostvariti telematički sustav baziran na satelitima koji ispunjava zahtjev visoke preciznosti aplikacija i zadovoljavaju uvjete sigurnosti u transportu. Za tu svrhu osnovni GNSS senzori moraju biti grupirani sa ostalim sensorima poput odometra, IMU-a ili digitalne karte pružne infrastrukture.

Visoki zahtjevi integracije ETCS-a u željezničku infrastrukturu ne bi trebali biti prepreka primjeni GNSS-a. Glavni rizik točnosti integriranog pozicioniranja ionako ne proizlazi izravno iz GNSS-a već iz raznih utjecaja koji ga ometaju kao što su multipath, interferencija i zasjenjenost horizonta. Vjerojatnost ovih rizika je veća od pogreške na samom uređaju. Visoki zahtjevi integriteta biti će stoga osigurani od strane hibridnog GNSS sustava pozicioniranja, kod kojeg će smetnje brzo biti otkrivene s pomoćnim sensorom i procjenom prevelikog odstupanja prema relaciji iz digitalne baze podataka. Jedini veliki problem može biti nedostatak dovoljnog broja GNSS satelita na svim kolosjecima, s obzirom na to da se prijammnici trenutno oslanjaju prvenstveno na GPS. Pojavom sustava Galileo ta situacija će se značajno poboljšati.

Integracija ovakvog sustava unutar naših granica moguća je uz veća ulaganja u infrastrukturu samog željezničkog prometa. Potrebno je poboljšati pružnu infrastrukturu u smislu kvalitete i pouzdanosti kako bi bio moguć brži protok vlakova. Što se tiče same navigacije i integracije multisenzorskih sustava u vlakovima mogućnosti već postoje te bi integracijom takvog sustava na dulje razdoblje osigurala bolji i brži rad hrvatskih željeznica te poboljšati sigurnost i minimalizirati rizik potencijalnih tragedija. Tijekom proteklih godina željeznice su u procesu modernizacije kako bi se mogle ukomponirati u promet i standarde Europske unije, no manjak sredstava i slab interes za željeznički promet ne ulijeva povjerenja da će ovakav jedan multisenzorski sustav zaživjeti na području hrvatskih granica u skoroj budućnosti.

LITERATURA

- › URL-1: SKF, [Internet], <raspoloživo na http://www.skf.com/portal/skf_hr/home?lang=hr > [pristupljeno 5. 3. 2013.]
- › URL-2: Wikipedia, [Internet], <raspoloživo na http://en.wikipedia.org/wiki/Rail_usage_statistics_by_country > [pristupljeno 5. 3. 2013.]
- › URL-3: SKF, [Internet], <raspoloživo na <http://evolution.skf.com/covering-the-distance-with-skf-electronic-odometers/> > [pristupljeno 5. 3. 2013.]
- › URL-4: SKF, [Internet], <raspoloživo na <http://www.skf.com/files/894225.pdf> > [pristupljeno 5. 3. 2013.]
- › URL-5: Galileo-services, [Internet], <raspoloživo na <http://www.galileo-services.org/library/2.1-Bedrich.pdf> > [pristupljeno 5. 3. 2013.]
- › URL-6: Mycoordinates, [Internet], <raspoloživo na <http://mycoordinates.org/gnss-on-track/all/1/> > [pristupljeno 5. 3. 2013.]
- › URL-7: Computers in Railways XII: Computer System Design and Operation in Railways and Other Transit Systems, [Internet], <raspoloživo na http://books.google.hr/books/about/Computers_in_Railways_XII.html?id=43YgMiUx7ooC&redir_esc=y > [pristupljeno 5. 3. 2013.]
- › URL-8: Wikimedia, [Internet], <raspoloživo na http://commons.wikimedia.org/wiki/File:ETCS_Level_1.svg > [pristupljeno 5. 3. 2013.]
- › URL-9: Eurostat, [Internet], <raspoloživo na http://epp.eurostat.ec.europa.eu/statistics_explained/index.php/ > [pristupljeno 5. 3. 2013.]
- › URL-10: Integrail, [Internet], <raspoloživo na <http://www.integrail.info/> > [pristupljeno 5. 3. 2013.]