Inteligentno upravljanje prometnim tokovima uporabom koncepta ograničenja brzine

Dedić, Luka

Undergraduate thesis / Završni rad

2015

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Transport and Traffic Sciences / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:119:683357

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-23**

Repository / Repozitorij:

Faculty of Transport and Traffic Sciences - Institutional Repository

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

Luka Dedić

INTELIGENTNO UPRAVLJANJE PROMETNIM TOKOVIMA UPORABOM KONCEPTA OGRANIČENJA BRZINE

ZAVRŠNI RAD

Zagreb, 2015.

Sveučilište u Zagrebu

Fakultet prometnih znanosti

ZAVRŠNI RAD

INTELIGENTNO UPRAVLJANJE PROMETNIM TOKOVIMA UPORABOM KONCEPTA OGRANIČENJA BRZINE

Mentor: dr. sc. Miroslav Vujić

Student: Luka Dedić, 0135227335

Zagreb, 2015.

SAŽETAK

Osnovna tematika ovog završnog rada je koncept ograničenja brzine (engl. *speed limit control*), njegova primjena u raznim prometnim situacijama, te prilagodba na postojeći promet kako bi se uspjela osigurati veća sigurnost i protočnost te povećati kapacitet prometnice bez fizičke nadogradnje. U ovom radu su izneseni primjeri implementiranja ograničenja brzine u svijetu, te mogućnosti implementacije u Republici Hrvatskoj. Osim navedenog koncepta, rad se dotiče pitanja novo razvijenih koncepata kao što su kontrola priljevnih tokova (engl. *ramp metering*), kontrola spajanja traka (engl. *merge control*) i koncept mjerenja razmaka (engl. *gap metering*) koji bi mogli pospješiti učinke ograničenja brzine ili kojima bi koncept ograničenja brzine mogao biti nadogradnja. Opisane su i temeljne značajke za rad sustava te preporuke na europskoj razini. Primjeri implementacije uzeti su iz svjetskih sustava upravljanja prometom, tematika i razvoj koncepta se bazira na Europskim preporukama i Europskoj ITS arhitekturi, radi lakšeg razumijevanja funkcioniranja prometnih procesa.

KLJUČNE RIJEČI: koncept ograničenja brzine, europska ITS arhitektura, upravljanje priljevnim tokovima

SUMMARY

The basic topic of this final paper is the speed limit control concept, its use in various traffic situations, its adaptation onto the existing traffic to ensure greater safety and flow of traffic, and to increase capacity of the road without physical upgrades. This paper presents examples of implementation of speed limits in the world, including the effects, and the possibilities of implementation of speed limits in Croatia. In addition to this concept, the paper considers the question of newly developed concepts such as ramp metering concept, merge control and the concept of gap metering, which could enhance the effects of the speed limit control, or to which the speed limit control would be an upgrade. This paper also describes basic features of system performance and recommendations on a European level. Even though the examples of implementation have been demonstrated from the traffic control systems worldwide, the theme and the concept development is based on European recommendations and European ITS architecture described in the beginning of this paper to facilitate understanding of the transport process functioning.

KEY WORDS: speed limit control, European ITS architecture, ramp metering

SADRŽAJ

SAŽETAK 1

SUMMARY 1

1. UVOD 1

2. FUNKCIONALNO PODRUČJE UPRAVLJANJA PROMETOM 3

2.1. Klasični i evolutivni razvoj kompleksnog ITS sustava 3

2.2. ITS arhitektura 5

2.2.1. Logička ili funkcionalna ITS arhitektura 6

2.2.2. Fizička arhitektura 7

2.2.3. Komunikacijska arhitektura 8

3. KONCEPT OGRANIČENJA BRZINE 10

3.1. Definicija koncepta ograničenja brzine 10

3.2. Ciljevi koncepta ograničenja brzine 11

3.3. Vrste promjenjivih prometnih znakova 11

3.4. Standardi za implementaciju promjenjivih prometnih znakova 13

3.4.1. Organizacijski zahtjevi za implementaciju promjenjivih prometnih znakova 13

3.4.2. Tehnički zahtjevi za implementaciju promjenjivih prometnih znakova 14

3.4.3. Vizualni zahtjevi za implementaciju promjenjivih prometnih znakova 17

3.4.4. Preporuke za lokaciju promjenjivih prometnih znakova 19

4. PREGLED POSTOJEĆIH PROJEKATA IMPLEMENTACIJE KONCEPTA OGRANIČENJA BRZINE U SVIJETU 21

4.1. Primjer implementacije ograničenja brzine u Švedskoj 21

4.1.1. Strategija i učinci promjenjivih prometnih znakova na raskrižjima 22

4.1.2. Strategija i učinci promjenjivih prometnih znakova za pješake 24

4.1.3. Strategija i učinci promjenjivih prometnih znakova za detekciju vremenskih uvjeta ... 24

4.1.4. Strategija i učinci promjenjivih prometnih znakova za kontrolu prometa 26

4.2. Primjer implementacije ograničenja brzine u Nizozemskoj 28

4.2.1. Promjenjivi prometni znakovi za kontrolu prometa 29

4.2.2. Promjenjivi prometni znakovi za smanjenje šok valova i za detekciju vremenskih uvjeta 30

4.2.3. Promjenjivi prometni znakovi za smanjenje štetnih učinaka na okoliš 31
4.2.4. Učinci primjene sustava promjenjivi prometnih znakova u Nizozemskoj 33
4.3. Primjer implementacije ograničenja brzine u Australiji 35
4.3.1. Poboljšanje protočnosti prometnice 35
4.3.2. Problem repova 37
4.3.3. Poboljšanje prometa u nepovoljnim vremenskim uvjetima 39
4.3.4. Učinci primjene sustava promjenjivih prometnih znakova u Australiji 40
5. INTEGRIRANI SUSTAV KONCEPTA OGRANIČENJA BRZINE I UPRAVLJANJA PRILJEVNIM TOKOVIMA 43
5.1. Upravljanje priljevnim tokovima 43
5.1.1. Načini upravljanje priljevnim tokovima 44
5.1.2. Princip rada kontrole priljevnih tokova 44
5.1.3. Signalni plan kontrole priljevnh tokova 47
5.2. Kontrola spajanja traka 47
5.3. Koncept mjerenja razmaka 51
6. MOGUĆNOST IMPLEMENTACIJE KONCEPTA OGRANIČENJA BRZINE U REPUBLICI HRVATSKOJ 55
6.1. Primjena promjenjivih prometnih znakova za kontrolu priljevnih tokova 55
6.2. Primjena promjenjivih prometnih znakova u slučaju incidenta ili radova na cesti 57
6.3. Primjena promjenjivih prometnih znakova za kontrolu vremenskih uvjeta 58
7. ZAKLJUČAK 60
LITERATURA 61
POPIS SLIKA 62
POPIS TABLICA 63

1. UVOD

Inteligentni transportni sustavi (ITS), iako primjenjivi i u ostalim granama prometa kao što su željeznički, vodni i zračni promet svoj najznačajniji utisak ostavili su ispreplitanjem dvaju grana, informacijsko-komunikacijskog i cestovnog prometa. Suradnja tih dvaju prometa omogućuje nam kontrolu i praćenje prometnih tokova kao i njihovo upravljanje putem video kamera, opremljenih softvera za detekciju i brojanje vozila, detekcije krivog smjera, detekcije incidentne situacije ili detekcije repova i zagušenja prometnog toka koje se mogu zabilježiti u stvarnom vremenu.

Koncept ograničenja brzine svrstava se pod ITS, odnosno pod određena funkcionalna područja i usluge ITS-a. Razvojem novih informacijsko-komunikacijskih i upravljačkih tehnologija kao što su detektori brzine ili detektori zauzeća u suradnji s promjenjivim znakovima s porukama (engl. *variable message sign* - VMS) i promjenjivim ograničenjima brzine (engl. *variable speed limit* - VSL) te njihovom adekvatnom primjenom mogu se značajno smanjiti posljedice naglog pada kapaciteta prometnice (uzrokovan radovima na cesti ili incidentnim događajem) kao što su sekundarno izazvani incidenti, zagušenja, dodatna čekanja, onečišćenja i mnogi drugi nepoželjni događaji koji posredno ili neposredno utječu na sigurnost i učinkovit tok prometa.

Osim što se koristi kao alat za smirivanje prometa i povećanje sigurnosti prometnice, koncept ograničenja brzine ima ulogu pospješenja spajanja prometnice i povećanja kapaciteta postojeće prometnice bez fizičke nadogradnje koristeći promjenjive prometne znakove, obavezne ili savjetodavne, u svrhu pomoći vozačima kako bi putovali primjerenom brzinom uzimajući u obzir postojeći promet ili vremenske uvjete.

U ovom radu je kroz šest poglavlja opisan koncept ograničenja brzine, alati koji se koriste, mogućnosti njegove upotrebe. kao i primjeri implementacije u svijetu te u Republici Hrvatskoj. U drugom poglavlju "Funkcionalno područje upravljanja prometom" dan je opis temeljne strukture ITS arhitekture radi lakšeg tumačenja funkcioniranja prometnih procesa. Treće poglavlje "Koncept ograničenja brzine" opisuje ciljeve i vrste te mogućnosti primjene koncepta ograničenja brzine. U četvrtom poglavlju "Pregled postojećih projekata implementacije koncepta ograničenja brzine u svijetu" dani su primjeri implementacije koncepta ograničenja brzine zajedno sa učincima i strategijama iz raznih zemalja svijeta. Peto

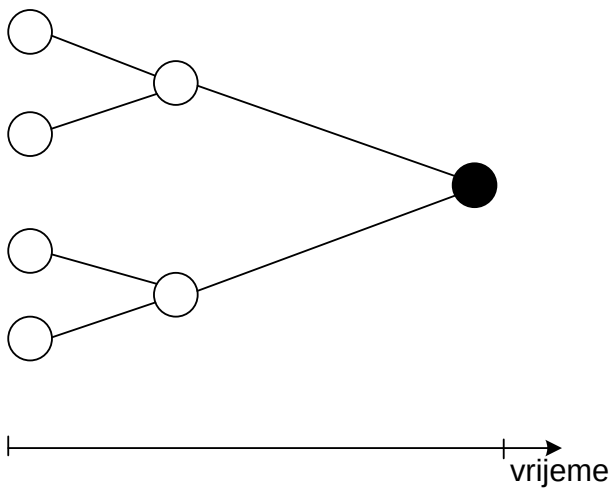
poglavlje "Integrirani sustav koncepta ograničenja brzine i upravljanja priljevnim tokovima" opisuje suvremene koncepte koji se mogu koristiti kao nadogradnja konceptu ograničenja brzine. U šestom poglavlju "Mogućnost implementacije koncepta ograničenja brzine u Republici Hrvatskoj" je dan kratak opis i mogućnosti korištenja koncepta ograničenja brzine u Hrvatskoj. U izradi je korištena stručna literatura i ranija spoznavanja, te primjeri implementacije koncepte ograničenja brzine iz drugih zemalja. Opisane su preporuke za rad sustava propisane od Europske unije koje se koriste radi uniformiranosti sustava i lakšeg korištenja.

2. FUNKCIONALNO PODRUČJE UPRAVLJANJA PROMETOM

Funkcionalno područje upravljanja prometom je definirano ITS arhitekturom. ITS arhitektura čini temeljnu organizaciju sustava koja sadrži ključne komponente, njihove odnose i veze prema okolini, te načela njihova dizajniranja i razvoja, te je kao takva primarni zahtjev i element ITS planiranja i usklađenog razvoja ITS aplikacija.

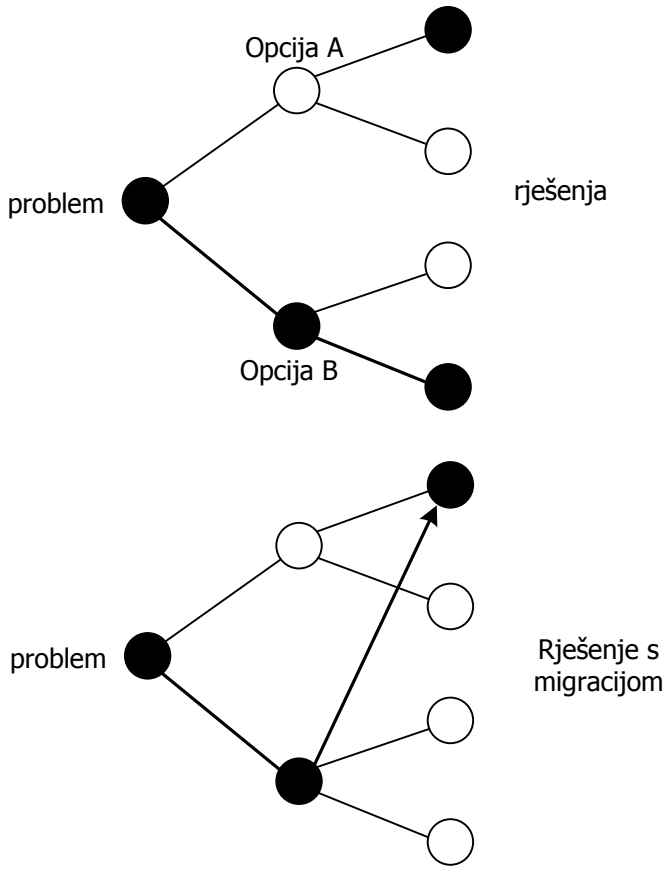
2.1. Klasični i evolutivni razvoj kompleksnog ITS sustava

Kod klasičnog sekvencijalnog ili iterativnog razvoja kompleksnog sustava pretpostavlja se da su zahtjevi i tehnički standardi poznati i definirani tako da se razmatra nekoliko opcija između kojih se procesom eliminacije dolazi do konačnog dizajna sustava (slika 1.).



Slika 1. Klasični razvoj kompleksnog sustava *[Izvor: Bošnjak, I. Inteligentni transportni sustavi - ITS 1. Zagreb: Fakultet prometnih znanosti, 2006.*]

Evolutivni razvoj koji se temelji na dobro definiranoj arhitekturi ima bitne prednosti u odnosu na klasični sekvencijalni ili iterativni razvoj. Evolutivni razvoj ITS-a zahtijeva definiranje arhitekture sustava koja je konzistentna, fleksibilna i otvorena za nova tehničko - tehnološka i organizacijska rješenja. Kako nove tehnologije postaju tržišno dostupne, tako se mogu uključivati nova rješenja (slika 2.).



Slika 2. Evolutivni razvoj ITS sustava *[Izvor: Bošnjak, I. Inteligentni transportni sustavi - ITS 1, Zagreb, Fakultet prometnih znanosti, 2006.]*

Razvoj ITS-a je višegodišnji proces tijekom kojeg dolazi do značajnih promjena u početnim zahtjevima korisnika, raspoloživim tehničko - tehnološkim rješenjima te organizacijskom i pravno - legislativnom okruženju. Svrha arhitekture sustava ITS-a je da pruži stabilan i otvoren okvir za razvoj sustava (podsustava) niže razine koji će zadržati tri osnovne forme:

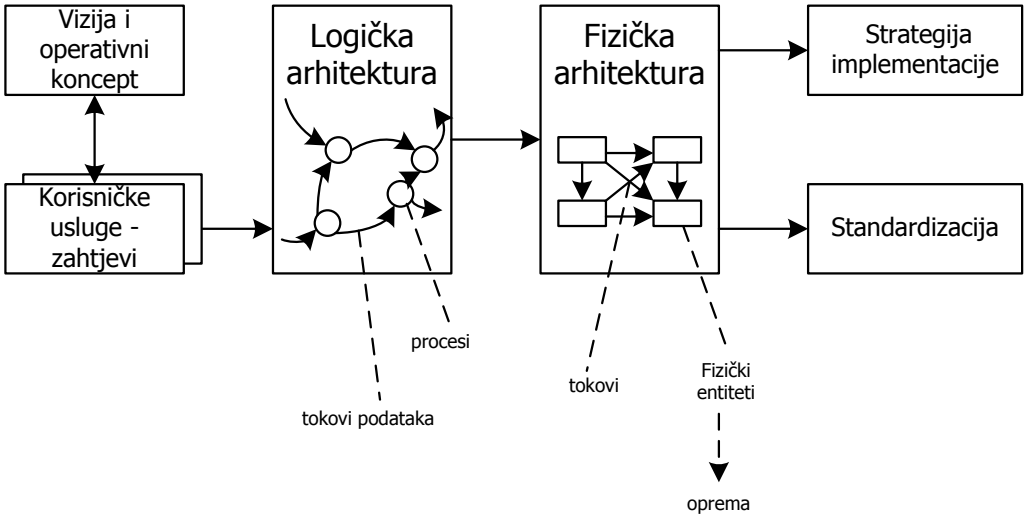
1. konzistentnost;
2. kompatibilnost;
3. interoperabilnost.

Prema [1] definirane su faze razvoja ITS arhitekture :

1. jasno i jednoznačno definiranje potreba odnosno zahtjeva korisnika (interesnih skupina);
2. definiranje funkcija (više i niže razine) neophodnih za zadovoljenje zahtjeva;
3. definiranje sučelja s vanjskim svijetom preko terminatora ili aktera. Funkcionalni tokovi podataka mogu se promatrati kao zasebna arhitektura ili kao dio funkcionalne (logičke arhitekture).

2.2. ITS arhitektura

ITS arhitektura daje opći predložak (engl. *general framework*) prema kojem se planiraju, dizajniraju i postavljaju integrirani sustavi u određenom prostorno - vremenskom obuhvatu. Također specificira interakciju između različitih komponenti sustava u cilju rješavanja konkretnih prometnih problema. Tok razvoja ITS arhitekture prikazan je na slici 3.



Slika 3. Tok razvoja arhitekture *[Izvor: Bošnjak, I. Inteligentni transportni sustavi - ITS 1. Zagreb: Fakultet prometnih znanosti, 2006.]*

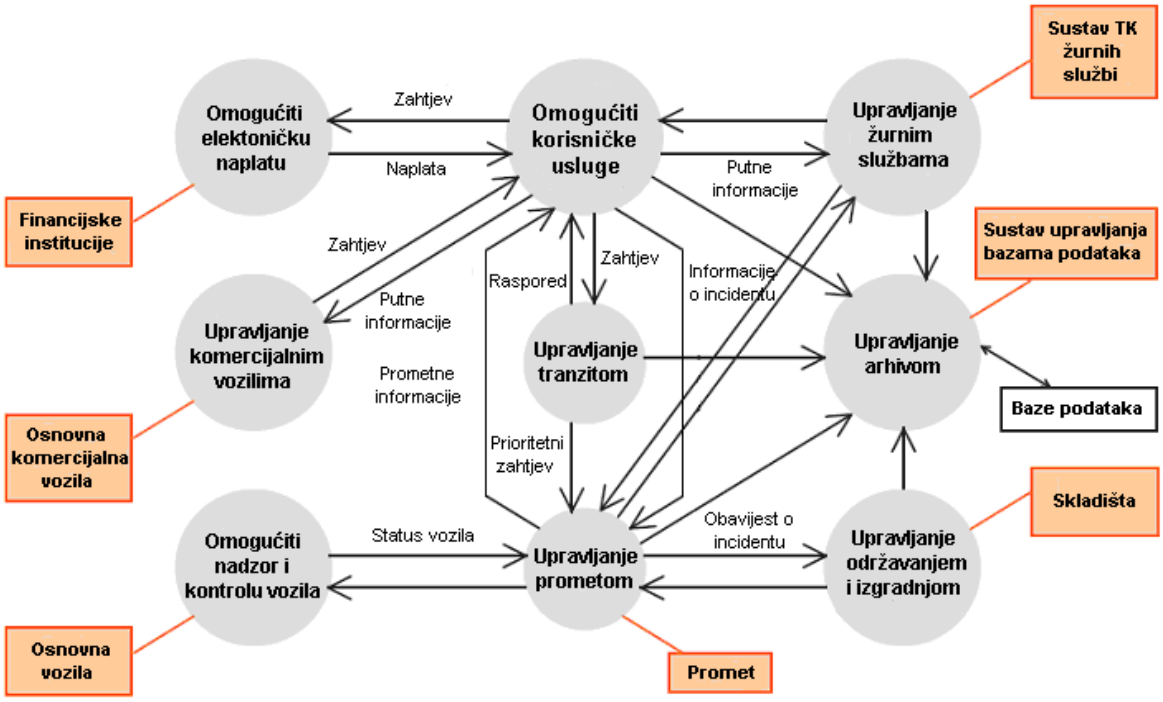
ITS arhitektura je podijeljena na tri osnovna segmenta koja jasno određuju pravila u svom području kako bi se mogla postići uniformiranost i kompatibilnost među različitim korisnicima:

1. Logička ITS arhitektura definira unutarnju logiku odnosa pojedinih entiteta. Logička arhitektura je predstavljena nazivom temeljne funkcije s informacijskim inputima (izvorima) i outputima (odredištima);
2. Fizička ITS arhitektura definira i opisuje dijelove funkcionalne arhitekture koji mogu biti povezani tako da formiraju fizičke entitete;
3. Komunikacijska ITS arhitektura definira oblike komuniciranja među entitetima npr. definira oblike protoka podataka (engl. *data flows*).

Uspješan razvoj i gradnja kompleksnih sustava poput ITS-a ne može se temeljiti na klasičnom razvojnom ciklusu koji pretpostavlja da su ulazni zahtjevi dobro definirani i da se tehnologija neće bitno promijeniti tijekom razvojnog ciklusa. Stoga valja pristupati problemu na način da se gleda cjelokupno rješenje i problematika, a ne tehnologija kojom se dolazi do rješenja**.**

2.2.1. Logička ili funkcionalna ITS arhitektura

Početni korak u razvoju ITS arhitekture je dovoljno jasno i jednoznačno definiranje potreba odnosno zahtjeva korisnika (interesnih skupina). Nakon toga slijedi istraživanje funkcionalnog aspekta kojim se definiraju funkcije (više i niže razine) neophodne za zadovoljenje zahtjeva i ostvarivanje sučelja s vanjskim svijetom preko terminatora ili aktera. Funkcionalni tokovi podataka mogu se promatrati kao zasebna arhitektura ili kao dio logičke ili funkcionalne arhitekture (slika 4.)

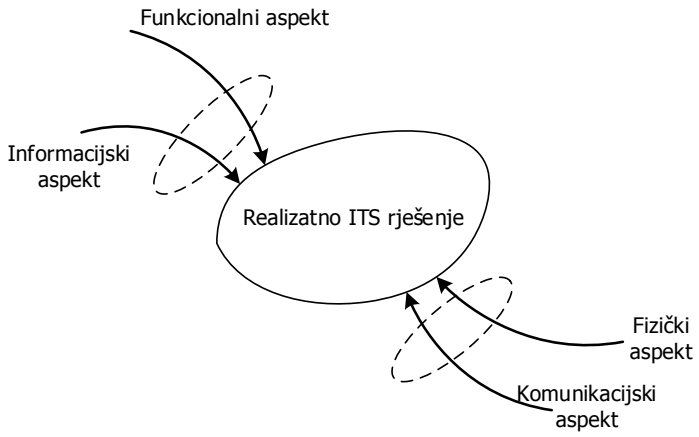


Slika 4. Primjer logičke arhitekture *[Izvor: Bošnjak, I. Inteligentni transportni sustavi - ITS 1. Zagreb: Fakultet prometnih znanosti, 2006.]*

Logička ITS arhitektura se izvodi iz specificiranih korisničkih zahtjeva i služi za izradbu fizičke arhitekture, odnosno primjera ITS sustava (engl. *example system*). Ona prikazuje potrebne funkcijske procese i tokove podataka koji su potrebni da se zadovolje zahtjevi korisnika odnosno usluga. Kao što je već navedeno, logička arhitektura je osnova za definiranje fizičke ITS arhitekture te je neovisna o tehničko - tehnološkoj implementaciji tj. o opremi [1].

2.2.2. Fizička arhitektura

Fizička ITS arhitektura definira i opisuje načine kojima dijelovi funkcionalne arhitekture mogu biti povezani tako da formiraju fizičke entitete. Temeljna značajka fizičkih entiteta je da mogu pružati jednu ili više fizičkih usluga zahtijevanih od korisnika te da mogu biti fizički realizirani. Formiranje ITS arhitekture i mjesto fizičke arhitekture u cijelom segmentu može se vidjeti na slici 5.



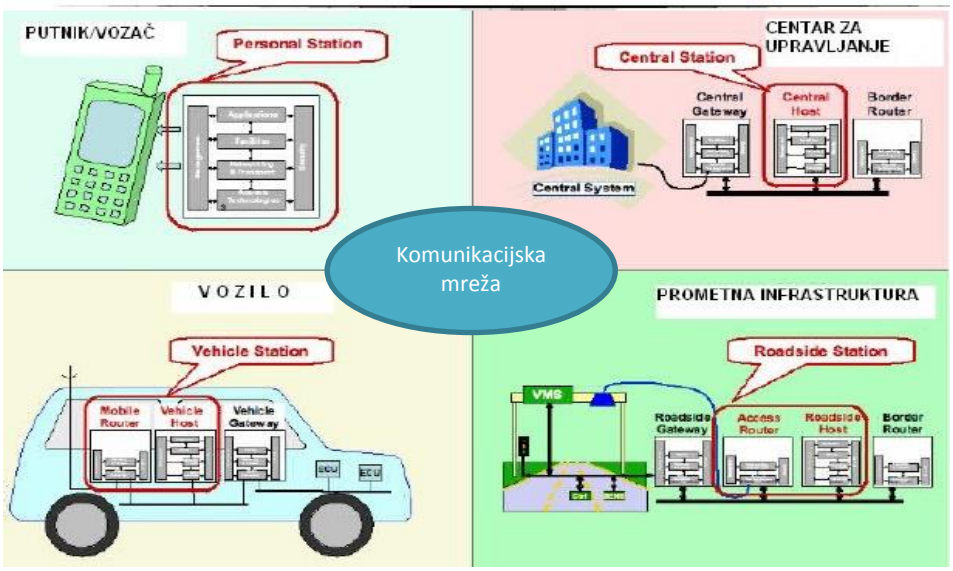
Slika 5. Aspekti ITS arhitekture *[Izvor: Bošnjak, I. Inteligentni transportni sustavi - ITS 1. Zagreb: Fakultet prometnih znanosti, 2006. ([Lukavec]: Tiskara Rotim i Market)]*

Fizička arhitektura pokazuje gdje će se funkcijski procesi smjestiti i prikazuje važna ITS sučelja (veze) između glavnih komponenata sustava (centri, vozač/putnik, vozilo, prometnica). Žične i bežične komunikacijske mreže omogućuju komunikaciju između komponenata. Komunikacijska arhitektura predstavlja dio fizičke arhitekture ITS-a i služi kao alat za realiziranje postavljenih ciljeva razvoja, kompatibilnosti i interoperabilnosti te omogućava širenje i modernizaciju sustava uz prihvatljive troškove.

2.2.3. Komunikacijska arhitektura

Komunikacijska arhitektura definira i opisuje načine na koje se razmjenjuju informacije između različitih dijelova sustava i to korištenjem fizičke razmjene podataka koja je opisana fizičkom arhitekturom. Samo značenje razmjene podataka između različitih dijelova sustava definirano je komunikacijskom arhitekturom. Generički pristup koji daje okvir za rješavanje važnih pitanja, predstavlja temelj komunikacijske arhitekture, a vodi nas ka uspješnom dizajniranju ITS rješenja u cilju pronalaska što efikasnijih rješenja.

Sustav za podršku fizičke razmjene podataka objedinjuje dva veoma bitna problema. Prvi problem je kako osigurati sredstva koja omogućuju da podaci budu preneseni s jednog mjesta na drugo. Način na koji se podaci prenose treba biti pogodan za naš sustav u smislu troškova, korištenja i promjena. Drugi problem na koji nailazimo je odstupanje od strane primatelja, te izražava potrebe za standardnim protokolima. Europska komunikacijska ITS arhitektura upućuje na rješenje ovih dvaju bitnih pitanja.



Slika 6. Prikaz komunikacijske mreže *[Izvor: Svrtan, H. Europska komunikacijska arhitektura- seminarski rad. Zagreb: Fakultet prometnih znanosti, (2014.)]*

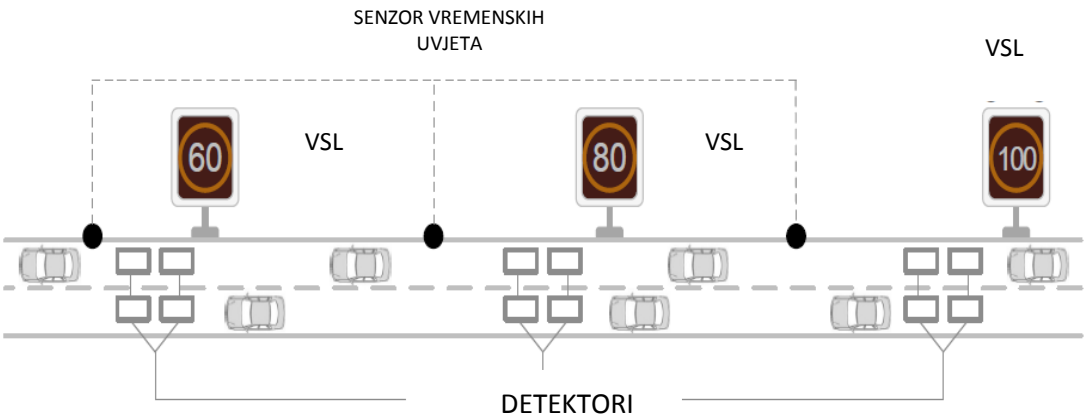
Uzimajući u obzir ostale komponente Europske ITS arhitekture, komunikacijska arhitektura mora ostati što tehnološki neovisnija. Telekomunikacijske tehnologije se mijenjaju tolikom brzinom da nije moguće osigurati arhitekturu potaknutu tehnologijom koja će imati dugoročnu vrijednost, pa se za krajnji izlaz i rješenje u obzir treba uzeti svrha i cilj, a ne alati, te se svakom problemu treba pristupiti metodologijom evolutivnog razvoja.

3. KONCEPT OGRANIČENJA BRZINE

Koncept ograničenja brzine koristi promjenjive prometne znakove, obvezne ili savjetodavne, u svrhu pomoći vozačima kako bi putovali primjerenom brzinom uzimajući u obzir postojeći promet ili vremenske uvjete. U nekim slučajevima je sustav poduprt sustavom izvršenja brzine (engl. *speed enforcement* - SE) koji koristi kamere za identifikaciju vozača koji prekoračuju brzinu, te samim time pospješuju rad sustava.

3.1. Definicija koncepta ograničenja brzine

Koncept ograničenja brzine je važna strategija za kontrolu prometa na autocestama i brzim cestama. Koristi se kako bi signalizirao vozačima da prilagode brzinu na prometnici u svrhu poboljšanja i boljeg reagiranja na promjenjive prometne uvjete kao što su: zatvaranje trake prometnice, smanjena vidljivost, skliski kolnici ili nadolazeći repovi i zagušenja. U takvim slučajevima VSL sustav se koristi za smanjenje brzine do dolaska na usko grlo ili za zadovoljavanje brzine na određenoj dionici prometnice [2]. Primjer rada sustava prikazan je na slici 7.



Slika 7. Povećanje brzine prometnice primjenom VSL-a *[Izvor:Lee, B., Chung, E. Managed motorways project, Literature Review Report Brisbane: Smart Transport Research Centre (2011.)]*

VSL se koristi i na autocestama u slučaju kada je potrebno upozoriti vozače na prilagodbu brzine zbog nepovoljnih vremenskih uvjeta, mokrog kolnika prometnice, mraka ili radova na prometnici.

3.2. Ciljevi koncepta ograničenja brzine

Glavni cilj koncepta ograničenja brzine je podrška vozačima kako bi putovali sigurno ili kako bi poboljšali prometnu protočnost. U nekim slučajevima, prikazana ograničenja brzine trebala bi biti u korelaciji s uvjetima s kojima se vozač susreće i samim time dokazivati pouzdanost sustava. Tada vozači s većom vjerojatnošću poštuju ograničenja brzine jer imaju veće pouzdanje u sustav, što rezultira povećanjem sigurnosti, mobilnosti, udobnosti i smanjenjem štetnih utjecaja na okoliš, a samim time i boljom protočnosti daje veću razinu uslužnosti prometnice (engl. *level of service* - LOS). Međutim, postoje slučajevi gdje okolnosti zahtijevaju uporabu koncepta ograničenja brzine, ali oni vozačima nisu očiti. To su razlozi prirodne naravi, incidenti ili radovi na cesti. U takvim slučajevima na VSL sustave se trebaju stavljati dodatni znakovi upozorenja ili objašnjenja koji ne bi smjeli biti dvosmisleni radi lakšeg shvaćanja korisnika prometne usluge te veće vjerojatnosti pridržavanja znakovnih ograničenja.

3.3. Vrste promjenjivih prometnih znakova

Općenito govoreći postoji više vrsta VSL-a, s obzirom na konstrukciju, izgled, značenje itd. Tipovi VSL-a su određeni i opisani zahtjevima i preporukama u smjernicama Europske unije u Easy way projektu (DATEX II profil) [3]. U ovom poglavlju su ukratko opisani tipovi VSL- a s obzirom na svrhu i cilj njihova postavljanja.

Prema [2] razlikujemo tri tipa VSL sustava:

- VSL za harmonizaciju brzine
- VSL za stabilizaciju brzine
- VSL za smanjenje brzine

a) ***VSL za harmonizaciju brzine*** - harmonizacija brzine odnosi se na mogućnost VSL-a da smanji razliku brzine između vozila i pojedinačnih prometnih trakova. S manjim razlikama u brzini, prometne smetnje kao što su promjena trake ili spajanja trake (kod pojave uskog grla) su smanjene što dovodi do stabilnijeg prometnog toka. Ovi tipovi VSL-a se odnose na promet koji je gust, ali još uvijek u pokretu. Harmonizacija brzine

može pridonijeti sigurnosti i efikasnosti prometa jer ublažava i stabilizira protok smanjujući razlike u brzinama na i u trakama stvarajući prihvatljivije vrijeme slijeđenja, te time smanjuje rizik od primarnih incidenata. Smanjen broj nesreća se odražava i na smanjenje zagušenja prometa što nam daje zaključiti da harmonizacijom pospješujemo prometni tok u vrijeme vršnih sati. Međutim, za prometnice s visokom gustoćom prometa i s velikim brojem priljevnih tokova to ne mora biti slučaj. Kod takvih prometnica vrijeme slijeđenja je uvijek kratko, te su promjena i spajanje trake vrlo teško izvedivi i sam koncept harmonizacije brzine može imati negativan utjecaj na prometnu sigurnost i efikasnost.

b) ***VSL za stabilizaciju brzine*** - stabilizacija brzine odnosi se na mogućnost VSL-a da postepeno smanjuje brzinske zone i time osigura dovoljno mjesta da vozila s velikim brzinama uspore prije nego što dođu do reda zastoja. Takvi VSL sustavi su osmišljeni uglavnom za incidentne situacije i zagušenje prometa. Oni detektiraju prisutnost prometnog zagušenja te obavještavaju vozače na početku prometnice da uspore do zastoja ili mjesta incidenta time smanjujući opasnost od sekundarnih incidenata i sudara.

c) ***VSL za smanjenje brzine*** - velike brzine su čest uzrok incidenata i incidenata sa smrtnim slučajevima. Mala regulacija po pitanju smanjenja brzine uvelike može smanjiti nesreće i ozljede u prometu. VSL se može iskoristiti kako bi vozači vozili primjerenim brzinama. VSL za smanjenje brzine je dizajniran kako bi se prilagodio situaciji na prometnici i njenom okruženju kao što je smanjena vidljivost ili mokar kolnik. Ovakav sustav prilagođava ograničenja brzine kad su loši vremenski uvjeti ili uvjeti na cesti. Najčešći razlog upotrebe ovakvih sustava su loši vremenski uvjeti. VSL prima podatke s lokalne cestovne meteorološke stanice (engl. *road weather stations* – RWS) koja upravlja senzorima u zraku i u prometnici koji detektiraju kišu, maglu, sklizak kolnik te mjere temperaturu. Ovakvi VSL sustavi omogućuju operatorima da ručno podese ograničenje brzine u slučaju da se logika računala automatizirane kontrole brzine iz nekog razloga mora premostiti [2].

3.4. Standardi za implementaciju promjenjivih prometnih znakova

Standardi implementacije sa svim preporukama i odredbama izneseni su i objašnjeni putem EASY WAY projekta. EASY WAY je korporacija cestovnih operatera i ovlasti 28 europskih zemalja koje su se udružile kako bi se pospješila suradnja i harmonizacija u implementaciji ITS-a na glavnim europskim prometnicama. ITS kao tehnologija ima veliki doprinos u održivoj mobilnosti, sigurnosti, efikasnosti i u smanjenju štetnog utjecaja na okoliš. Međutim, taj doprinos se mora gledati na višoj razini, jer gledajući ga djelomično i uzimajući samo neke od segmenata tj. implementirajući pojedine sustave i koncepte na nacionalnoj razini gubimo mogućnost za koherentnim vođenjem Europske transportne mreže. Zbog toga razloga su zemlje Europske unije odlučile lansirati projekt Easy Way zajedno s Europskom komisijom kao platformom za harmonizaciju implementacije ITS sustava.

Easy way kao projekt nije standardizacijski dokument, niti ima ikakvu pravnu moć zabrane članicama EU u njihovim nacionalnim odredbama za implementaciju. Zato je važno razumjeti kako ovaj dokument nije tehnički niti specifikacijski standard kao što je npr. direktiva *2010/40/EU* izdana od strane Europske Komisije za implementaciju ITS-a. Pošto je određena razina strogoće u poslušnosti obavezna kako bi se cilj projekta u smislu harmonizacije i interoperabilnosti u Europi mogao postići, dokument je pisan na način da nedvosmisleno definira kriterije koji se moraju postaviti pri implementaciji kako bi se zadovoljila cjelokupna forma u okvirima preporučenih smjernica.

3.4.1. Organizacijski zahtjevi za implementaciju promjenjivih prometnih znakova

Kako bi se pospješio rad sustava dane su neke neobavezne smjernice koje su se pokazale praktičnima i potrebnima kao organizacijski temelj sustava:

- VSL sustav bi generalno trebao biti implementiran u blizini centra za kontrolu prometa (engl. *traffic management centre* - TMC),
- cestovni operateri (državni i privatni) odgovorni su za planiranje, implementaciju i rad VSL sustava,
- nakon što je VSL sustav dizajniran, postavljen i ukomponiran za rad, fokus bi uvijek trebao biti na ciljevima zbog kojih je sustav postavljen,

- VSL je uglavnom briga cestovnih operatera (cestovnih ovlasti i kompanija u čijem su vlasništvu autoceste), međutim, osim njih u obzir bi se mogli uzeti i drugi steakholderi (organizacije od interesa za pospješivanje funkcionalnosti i uslužnosti prometnice) kao što su:
    - općine i gradovi - na granicama između državnih i županijskih cesta ili kad sustav ima utjecaj na promet na županijskoj cesti (općine i gradovi također mogu implementirati VSL sustave na svoje prometnice),
    - operatori i ovlasti koji se tiču javnog prijevoza - kad sustav utječe na pristupačnost i raspored odvijanja javnog prijevoza (moguća je uporaba VSL-a kako bi se dao prioritet javnom gradskom prijevozu u interakciji s odvojenim trakama na prometnici),
    - policija - kako bi se primijenila ograničenja radi bolje poslušnosti od strane korisnika sustava (ovisno o nacionalnim programima i regulativama, policija bi mogla prihvatiti VSL projekte i službeno),
- analiza troškova i koristi, kao i svaka druga analiza postignutih učinaka u omjeru s ciljevima, trebala bi biti iznesena kada se postavljaju novi VSL sustavi, osim ako slični projekti nisu već bili ocijenjeni.

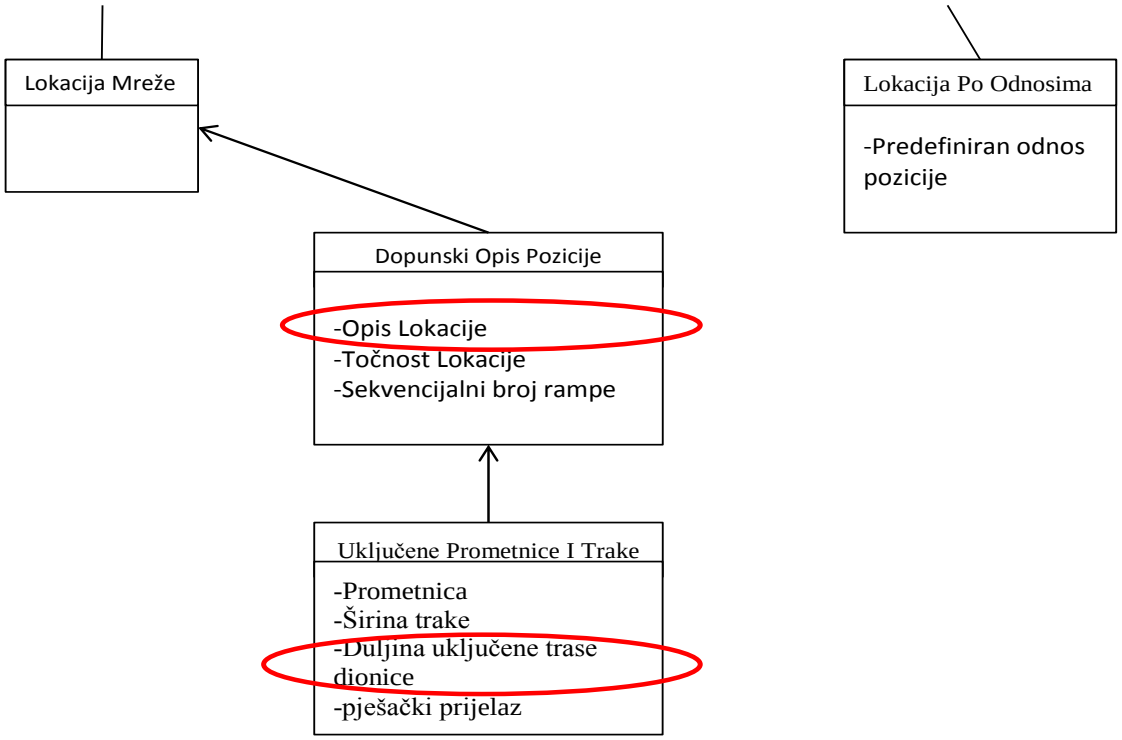
3.4.2. Tehnički zahtjevi za implementaciju promjenjivih prometnih znakova

Tehnički zahtjevi koji se tiču izgleda tehnologije VSL-a, a koriste se pri konceptu ograničenja brzine, opisani su europskim standardima, tj. DATEX II Profilom koji dopušta odabir nekoliko razina izvedbe tj. okruženja u kojem se znakovi (stalni ili promjenjivi) koriste. DATEX II profil u svojim specifikacijama nudi alat za primjenu najčešće korištenih IT tehnologija za definiranje podataka zvan "Jedinstveni jezik modeliranja" (engl. *unified modelling language* – UML) [3]. Osim vizualnih zahtjeva, DATEX II Profilom opisane su smjernice za kontrolu i ograničenje brzine koje su okarakterizirane s nekoliko elemenata:

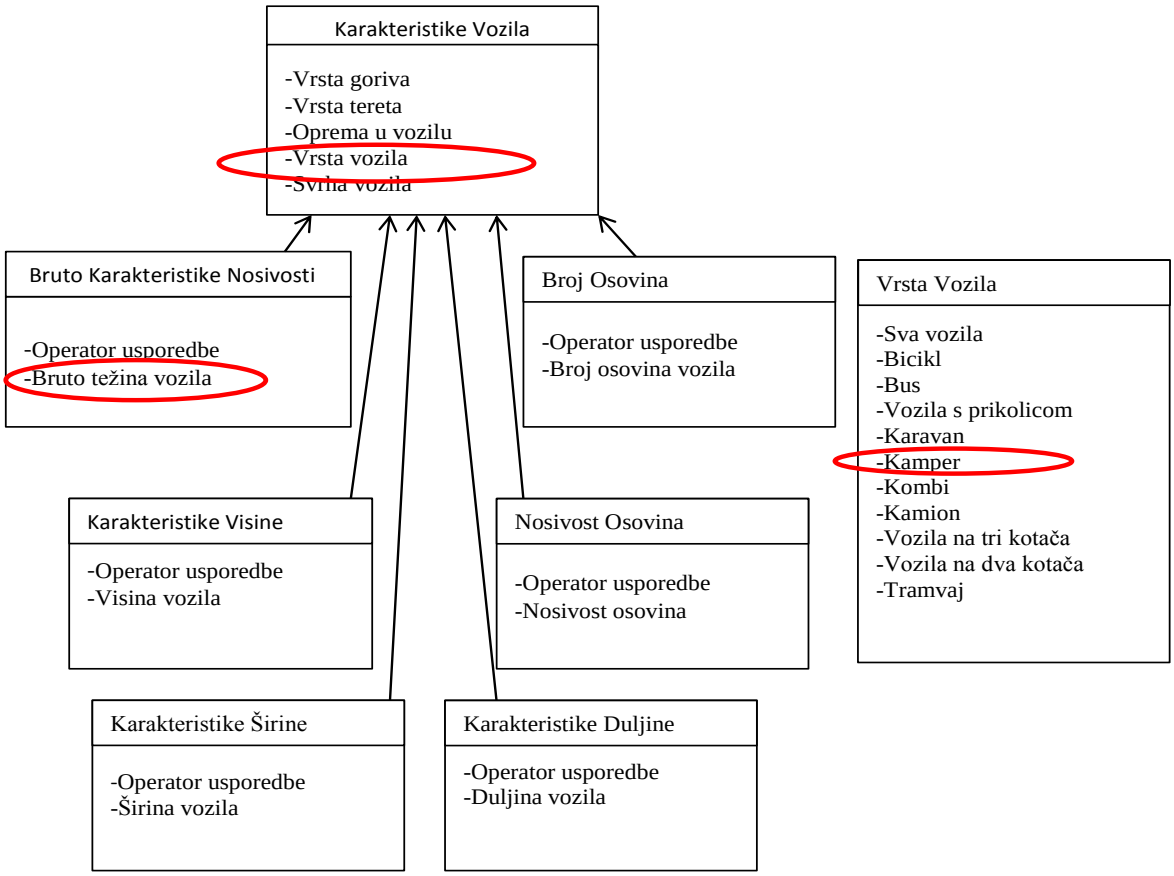
- dužinom dionice koja je pokrivena kontrolom ograničenja brzine;
- lokacijom upravljane dionice;
- vrstom vozila koju obuhvaća regulativa o ograničenju brzine, kad je to potrebno.

Ti elementi i sam koncept ograničenja brzine moraju biti opisani u DATEX II profilu kako je i preporučeno. Slike 8 i 9 prikazuju način na koji su u UML-u opisani i u kojem dijelu su smješteni potrebni opisni podatci.

DATEX II profil nudi razne mogućnosti za opis lokacije i duljinu obuhvaćene dionice, no ovaj tip koji se odnosi na VSL može biti ograničen na jednu linearnu lokaciju kao što je prikazano na slici 8.



Slika 8. DATEX II profil- lokacija VSL-a i dužina dionice pokrivene VSL-om *[Izvor:Traffic Management Services - Variable speed limits deployment guideline tms-DG02 /version 02-00-00/ December (2012.)]*



Slika 9. DATEX II profil- vrsta vozila koja se kontroliraju VSL-om *[Izvor:Traffic Management Services - Variable speed limits deployment guideline tms-DG02 /version 02-00-00/ December (2012.)]*

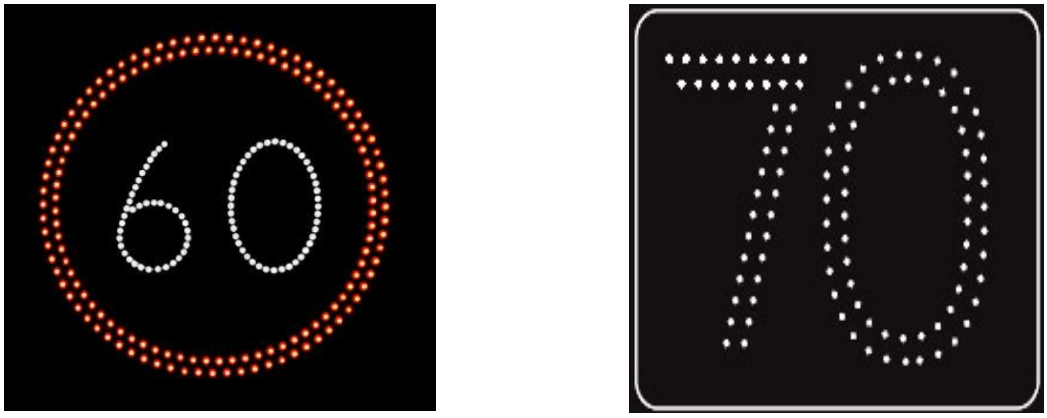
U slučaju da cestovni operateri trebaju razmijeniti podatke koji se tiču interoperabilnosti između dvije ili više organizacija, potrebno je prilagoditi sustav DATEX II profilu. Samim tim se osigurava službena definicija podataka i tehnička interoperabilnost za svaki segment implementacije pošto će sučelja koja su generirana iz iste definicije podataka zasigurno moći procesirati razmijenjene podatke. Integracija DATEX II profila u postavljanje smjernica pruža prikaz sustavne standardizacije i usklađenosti garantira razmjenu podataka među prometnim upraviteljima i brzo širenje informacija zahvaljujući postrojenjima koja pružaju standardiziranu DATEX II formu pružateljima usluga.

3.4.3. Vizualni zahtjevi za implementaciju promjenjivih prometnih znakova

Zahtjevi za vizualnim performansama i samim izgledom znakovlja koje služi za regulaciju prometa putem VSL sustava su obavezni, a doneseni su i uvriježeni kao takvi na Bečkoj konvenciji na kojoj su opisani svi znakovi (obavezni i savjetodavni). Primjer je vidljiv na slici 10.

Obavezni VSL-ovi bi trebali biti izvedeni na jedan od sljedećih načina:

- promjenjivi znakovi su označeni bijelom, bijelom isprekidanom ili žutom linijom na crnoj podlozi okruženi sa crvenom kružnicom;
- promjenjivi znakovi mogu biti izvedeni bez kontrasta boja ako nacionalni zakoni to dozvoljavaju;
- nepromjenjivi znakovi trebaju biti izvedeni tako da budu slični stalnim ograničenjima brzine kako je propisano nacionalnim zakonima.

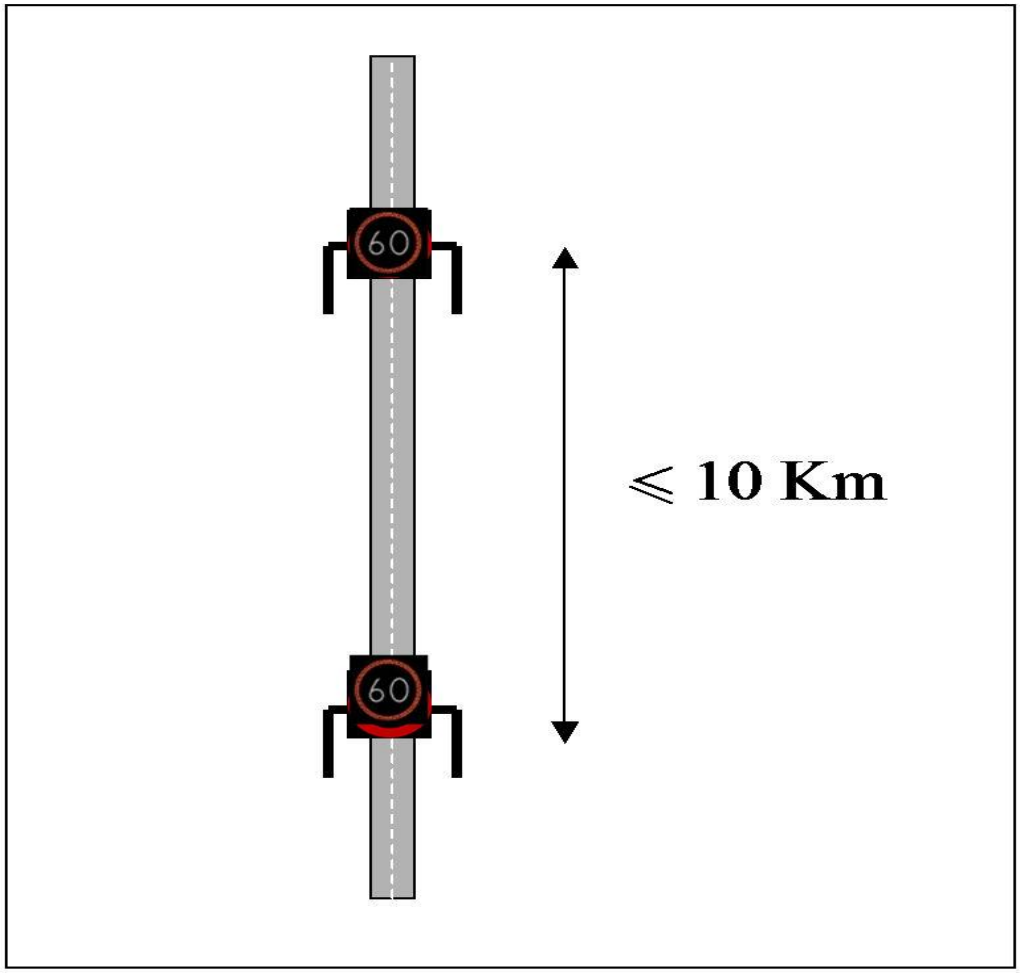


Slika 10. Obavezni i savjetodavni VSL znak *[Izvor:Traffic Management Services - Variable speed limits deployment guideline tms-DG02 /version 02-00-00/ December (2012.)]*

Savjetodavni dinamički znakovi bi trebali biti izvedeni na jedan od slijedećih načina:

- promjenjivi znakovi su označeni bijelom, bijelom isprekidanom ili žutom linijom na crnoj podlozi ali bez crvene kružnice;
- promjenjivi znakovi mogu biti izvedeni bez kontrasta boja ako nacionalni zakoni to dozvoljavaju;
- nepromjenjivi znakovi trebaju biti izvedeni da budu slični stalnim ograničenjima brzine kako je propisano nacionalnim zakonima;
- žuto treptajuće svijetlo može biti dodano kako bi se povećala vidljivost znakova ili kako bi se upozorilo vozača da ulazi u zonu sa manjim brzinskim ograničenjima;

- dodatne informacije bi trebale biti dodane u slučaju kada vozaču nije očito zašto se primjenjuje koncept ograničenja brzine na toj dionici;
- znakovi bi trebali biti postavljeni iznad prometnice ili na strani prometnice (desno, lijevo ili obostrano ovisno o strani prometnice na kojoj se vozi), ako je više od jedne trake na prometnici preporučeno je da se znakovi stave iznad svake trake;
- ako je znak smješten iznad prometnice može se staviti za svaku traku prometnice pojedinačno ili biti ukomponiran u jedan veliki VMS;
- ograničenja bi se trebala ponovno isticati nakon svakog ulaza na sklisku prometnicu te razmak između ponavljajućih znakova ne bi smio biti veći od 10 km (slika 11.);
- prestanak dionice sa VSL-om i maksimalna dopuštena brzina prometnice nakon prestanka rada VSL-a bi trebala biti očita vozačima [3].



Slika 11. Preporučeni razmak VSL-a na prometnici *[Izvor:Traffic Management Services - Variable speed limits deployment guideline tms-DG02 /version 02-00-00/ December (2012.)]*

Vizualne performanse VSL sustava su vrlo bitne za rad sustava, te kao takve moraju biti čitke, razumljive i nedvosmislene za sve korisnike sustava u svim situacijama i vremenskim uvjetima. Velika važnost se treba pridodati uniformiranosti znakovlja te što većoj jednostavnosti kako bi vozač bio u mogućnosti pravilno protumačiti upute dobivene od VSL znakovlja. Nadalje, svaka bi država trebala biti u mogućnosti osigurati pravilno informiranje i edukaciju vozača i svih korisnika sustava o radu sustava i njegovim koristima.

3.4.4. Preporuke za lokaciju promjenjivih prometnih znakova

Preporuke za lokaciju znakova su napisane kako bi znakovi imali veću učinkovitost te kako bi točno i nedvosmisleno upućivali vozače na ponašanje na prometnici. Preporuke su:

- fiksni i varijabilni znakovi ne smiju bit postavljeni na način da vozač sumnja koje je ograničenje brzine na snazi (fiksni i varijabilni znakovi ne smiju bit postavljeni na istom raskrižju);
- znakovi ugrađeni iznad svake trake prometnice mogu pokazivati različita ograničenja samo ako je taj dio prethodno testiran (preporuka u ovakvim slučajevima je da se ograničenja ne razlikuju više od 20 km/h);
- VMS-ovi koji su ugrađeni sa strane prometnice mogu raditi i kada su pojedinačne trake zatvorene, u protivnom trebali bi biti ugašeni osim ako se ne koriste za kontrolu sustava na autocestama;
- ako je nakon završetka reguliranog djela prometnice na snazi proizvoljna brzina, znak za završetak ograničenja brzine treba biti postavljen i jasno vidljiv (slika 12.);
- znakovi za ograničenje brzine bi trebali biti upaljeni samo kada je ograničenje brzine na snazi, u ostalim slučajevima trebaju biti ugašeni (u nekim slučajevima to olakšava vozačima da primijete uvjete koje zahtijevaju niže brzine na prometnici);
- uobičajeno je da se VSL integrira sa sustavom za kontrolu prometa kad je postavljen iznad prometnice. Tada VSL može biti kombiniran sa sustavom kontrole traka (engl. *line control* - LC) i znakovima upozorenja [3].

Slika 12. Znak za završetak reguliranog dijela prometnice *[Izvor:Traffic Management Services - Variable speed limits deployment guideline tms-DG02 /version 02-00-00/ December (2012.)]*

Zahtjevi i preporuke za implementaciju VSL-a su primjenjivi sami po sebi, ali bi se trebali ukomponirati sa zahtjevima i preporukama iz drugih smjernica kao što su "Dinamička kontrola trase prometnice" (engl. *dynamic lane management*) i "Incident kontrolom i obavještavanjem o incidentu" (engl. *incident warning and incident management*).

4. PREGLED POSTOJEĆIH PROJEKATA IMPLEMENTACIJE KONCEPTA OGRANIČENJA BRZINE U SVIJETU

U ovom poglavlju dani su neki od primjera sustava ograničenja brzine u zemljama diljem svijeta. Koncept ograničenja brzine, kao što je već rečeno, nije striktno određen propisima i zakonom nego ima osnovnu formu koja se treba zadovoljiti kako bi se lakše postigla uniformiranost i interoperabilnost među sustavima pojedinih regija na lokalnoj razini, te sustavima pojedinih zemalja na globalnoj razini. Kad je ta forma zadovoljena, oko nje se grade strategije implementacije, a pošto se svaka zemlja razlikuje, kako s pravnog gledišta tako i s gledišta važnosti projekata za pojedine sudionike obuhvaćene projektom, strategije implementacije variraju od zemlje do zemlje. Neke od spomenutih zemalja razvijaju projekte za povećanje sigurnosti dok druge u obzir uzimaju i smanjenje zagušenja prometnica i smanjenja štetnih utjecaja na okolinu.

4.1. Primjer implementacije ograničenja brzine u Švedskoj

Švedska administracija za kontrolu prometa izvodi projekte implementacije VSL-a od 2003. godine. Do sad je provedena izgradnja na dvadeset mjesta širom zemlje. Jedan od ciljeva je bio procjena uspješnosti; može li i na koji način VSL pridonijeti boljoj brzinskoj adaptaciji s troškovno - efektivnog gledišta. Ovi projekti u cilju imaju pospješiti promet s četiri gledišta tj. s četiri tipa aplikacija, a to su sustavi većinom kontrolirani radi poboljšanja:

- raskrižja i autobusnih stajališta;
- pješačkih staza uzduž prometnica i na pješačkim prijelazima;
- sigurnosti na prometnicama zbog vremenskih uvjeta (kiše i ostalih uvjeta na cesti);
- prometnog intenziteta (prometni tok, brzina i vrijeme slijeđenja).

Opisi promjenjivih prometnih znakova, strategije implementacije te njihovi učincina području Švedske dani su u slijedećim poglavljima.

4.1.1. Strategija i učinci promjenjivih prometnih znakova na raskrižjima

Strategija za implementaciju VSL-a na raskrižjima u Švedskoj se prvenstveno razvijala za raskrižja na ruralnim područjima pošto je na takvim područjima veća protočnost automobila i više dopuštene brzine, što povećava mogućnost incidenta, i samim time smanjuje sigurnost prometnice. Kako bi se izbjegle takve situacije i rizik od incidenta stavio na minimum, u Švedskoj su dane neke smjernice koje bi se trebale uzeti u obzir pri dizajniranju VSL sustava.

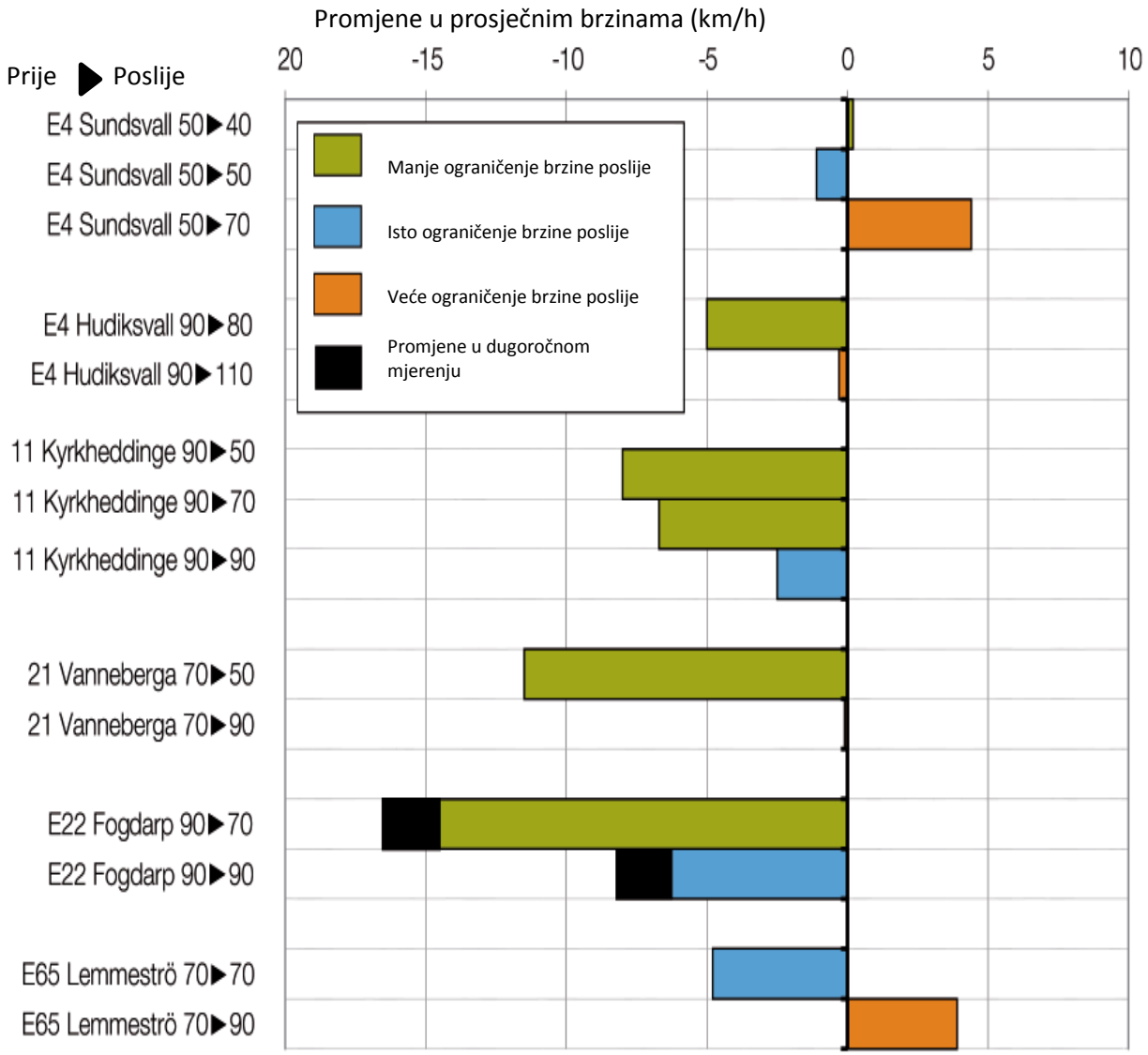
Aplikacije VSL-a bi se trebale uzeti u obzir:

- kad promet na glavnoj prometnici doseže između 8000-14000 vozila po satu, a promet na sporednim prometnicama 3000-5000 vozila po satu (20-30% prometa glavne prometnice);
- pri velikom prometnom volumenu na glavnoj prometnici (više od 10000 vozila po danu), ali manjem na sporednoj prometnici (manjem od 10% glavne prometnice) VSL bi se trebao koristiti u kombinaciji s VMS-om i sa stalnim prometnim znakovima za određivanje brzine;
- ako je prometni volumen na sporednoj prometnici povećan (više od 35-40%) u obzir bi se trebalo uzeti postavljanje lokalnog, stalnog znaka za kontrolu brzine (u ovakvim su slučajevima prelasci raskrižja i skretanja na glavnu prometnicu povećani tako da bi ograničenje brzine trebalo biti smanjeno u blizini raskrižja);
- kad je smanjena vidljivost ili kad postoje drugi razlozi za povećanje sigurnosti na cesti.

U nekim situacijama bi se trebali uz znak ograničenja brzine postaviti i dodatni znakovi objašnjenja zašto se taj dio dionice kontrolira (npr. upozorenje o raskrižju, upozorenje o približavanju autobusnoj stanici ili približavanju pješačkom prijelazu itd.).

Na slici 13. su prikazani rezultati postavljanja VSL-a na raskrižja koji pokazuju da je postavljanje VSL-a rezultiralo reduciranjem brzina na više načina, ovisno o polaznim ograničenjima brzine, visini ograničenja i prometnim uvjetima na promatranom dijelu prometnice. Uz neke iznimke, VSL znakovi su, u usporedbi s prijašnjim stalnim znakovima ograničenja brzine, pridonijeli smanjenju brzine i do 17 km/h na glavnoj prometnici te smanjenju brzine prolaska raskrižja do 7 km/h. Ovo dovodi do zaključka da VSL znakovi pridonose svjesnosti vozača pri prelasku raskrižja te se reducirala i brzina tzv. brzih vozača. Statistički podatci govore da se broj stradalih u nesrećama na promatranim dijelovima

prometnice smanjio za 15-40%. Pristupačnost i utjecaj na okoliš u smislu poboljšanja su na granici ali su uglavnom pozitivni.



Slika 13. Učinci smanjenja brzine prije i poslije postavljanja VSL-a *[Izvor: Vägverket Swedish Road Administration, Variable speed– in a nutshell extended summary (2008.)]*

Studija je pokazala da su vozači bili poslušniji u održavanju ograničenja brzine te da se VSL-om uvelike pospješuje vozačevo opažanje. Međutim pokazalo se da je omjer uloženog i dobivenog na granici te da je jako teško ostvariti profit uzimajući u obzir sve stavke. Naime, iako bi se jednostavnijim dizajnom moglo riješiti pitanje investiranja i operacijskih troškova, profit ne bi mogao biti veći od 30%.

4.1.2. Strategija i učinci promjenjivih prometnih znakova za pješake

Strategija za sustave kontrole pješaka i pješačkih prijelaza putem VSL-a obuhvaća implementaciju VSL-a kad je mjesto za prijelaz pješaka označeno kao opasno s gledišta prometovanja, tj. kada nedostaje adaptacija za siguran prijelaz i kontrolu brzine (ako se pješaci osjećaju nesigurno pri šetnji uz prometnicu ili prelazeći prometnicu) ili ako je mjesto prelaska neadekvatno opremljeno postojećim uređajima za prijelaz. Međutim, VSL ne smije biti dizajniran i imati performanse tako da se pješacima daje lažna sigurnost prometnice te da se pouzdaju kako je vozačeva poslušnost uvijek maksimalna pri smanjenju brzine, niti bi smio biti korišten kako bi opravdao nedostatke izgradnje prometnice.

Studija VSL-ova koji kontroliraju pješačke prijelaze, ukazuje da nema većih promjena prije i poslije implementacije. Preporučena brzina od 30 km/h koja je aktivirana na početku i na kraju školskog dana pokazuje na redukciju brzine za prosječnih 10 km/h u usporedbi s prijašnjim stalnim znakom koji je pokazivao 50 km/h. Regulative VSL-a na raskrižjima i ostalim pješačkim prijelazima mogu rezultirati manjim brzinama vozača, ali razmjer ovisi o okolnostima mjesta i na koji je način sustav korišten na raskrižjima, autobusnim stajalištima itd. Međutim, statistika pokazuje da brzina može pasti ako se sustav pravilno koristi što je pozitivno s gledišta prometne sigurnosti.

4.1.3. Strategija i učinci promjenjivih prometnih znakova za detekciju vremenskih uvjeta

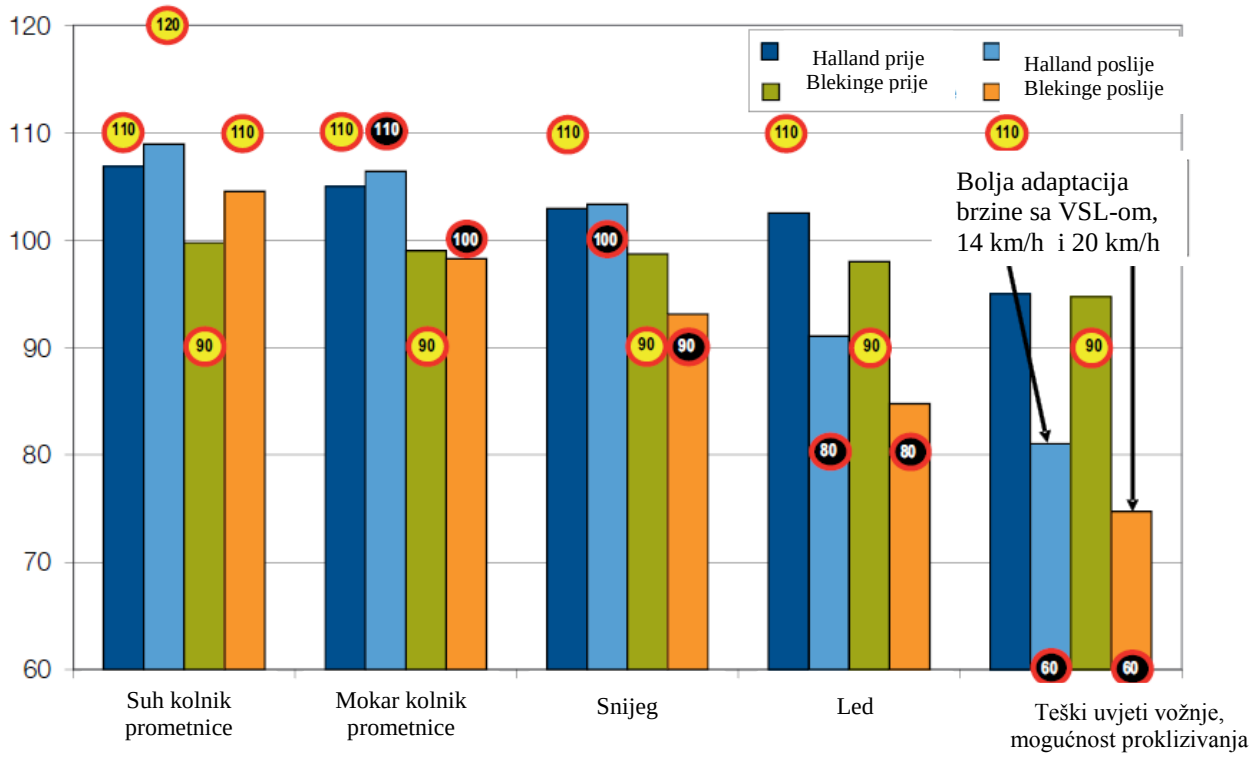
VSL sustavi koji rade u suradnji s uređajima za detekciju vremenskih uvjeta mogu biti ugrađeni na brze ceste i autoceste ako:

- taj dio prometnice ima visok broj nesreća koje su povezane sa stanjem na cestama, tj. ako su uzroci nesreća uglavnom vremenske neprilike
- su na tom djelu dionice mogućnosti za brzim reagiranjem i adaptacijom brzine smanjene
- dio promatrane prometnice ima promjenjive klimatske uvjete koje mogu povećati izglede za nesrećama ili prometnim nezgodama

- dio prometnice ima izgrađene dijelove prometnice koje zahtijevaju smanjenje brzine (mostovi, podvožnjaci ili uključivanja s i na druge prometnice).

Implementacija VSL-a pruža priliku za povećanje najveće dopuštene brzine po povoljnim uvjetima (obično suha prometnica) za više od 10 km/h od uobičajene dopuštene brzine koju bi dio dionice trebao imati kako je zakonom preporučeno. Detektori za indikaciju svih uvjeta bi se trebali postaviti kako bi informacija o stanju na prometnicama bila što pouzdanija. Informacije o stanju na cestama bi se trebale brzo procesirati i biti dostupne vozačima kako bi se brzina mogla što prije adaptirati. Brža i pouzdanija detekcija stanja na prometnicama ovisi i o adekvatnom održavanju tih prometnica i svih sustava koji su s njom povezani.

U sustavima vremenske kontrole koji su u suradnji s VSL-om u razmatranje projekta su se uzele dvije prometnice. Najviša dopuštena brzina (koja je dozvoljena u povoljnim uvjetima na prometnici) povišena je za 10-20 km/h što je rezultiralo manjim povećanjem prosječne brzine (2-4 km/h). Dodatno povećanje je primijećeno u dugoročnom mjerenju, ali vozači i dalje smanjuju brzinu vožnje pri lošem vremenu. Izradom projekta i raznim analizama zaključeno je da je dopuštena brzina podignuta, a da se vozači lakše prilagođavaju različitim uvjetima na cesti. Pri nepovoljnim vremenskim uvjetima (led i susnježica), prosječna brzina pada za 12-20 km/h ispod brzine kojom se vozači intuitivno prilagođavaju. Adaptacija brzine je prikazana na slici 14. (u usporedbi za obje prometnice), iz koje se može zaključiti da je sustav dosta ograničen u poboljšanju prometovanja kad se radi o vožnji po dobrim uvjetima kao što je suha cesta, te da uvelike pospješuje sigurnost po lošim vremenskim uvjetima [4].



Slika 14. Prometna brzina prije i poslije postavljanja VSL-a za detekciju vremenskih uvjeta *[Izvor: Vägverket Swedish Road Administration, Variable speed– in a nutshell extended summary (2008.)]*

Procjene sigurnosti na cesti su dovele do zaključka da na jednoj od prometnica nije bilo poboljšanja u smislu smanjenja nesreća dok se u smislu ozlijeđenih i smrtno stradalih broj povećao za 4%. Pretpostavka takvog učinka je da sustav pokazuje pravu brzinu u 80% slučajeva te je krivim informiranjem došlo do povećanja brzine u lošijim uvjetima što je uzrokovalo teže incidente, a samim time i teže nesreće. Situacija na drugoj prometnici je približno ista, međutim gledajući brojke unesrećenih i poginulih kroz dulje razdoblje (2.5 godine) prije i poslije implementacije sustava može se vidjeti smanjenje brzine u lošim uvjetima za 40%, što upućuje na potencijalno povećanje sigurnosti.

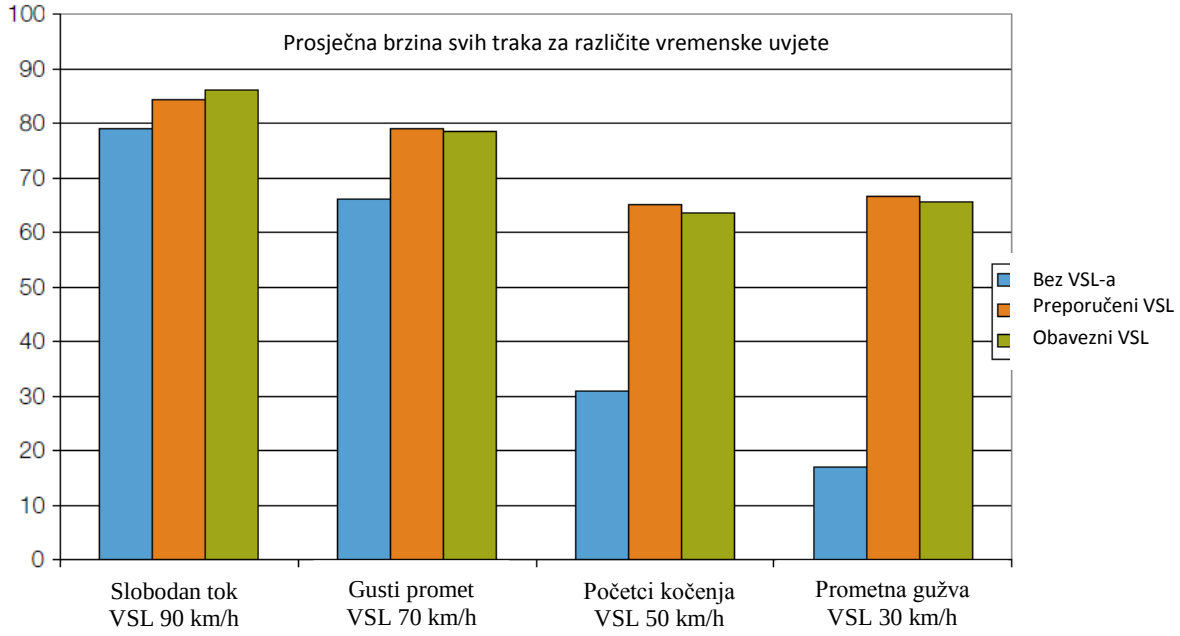
4.1.4. Strategija i učinci promjenjivih prometnih znakova za kontrolu prometa

VSL za kontrolu prometa je najbolje primjenjiv za:

- autoceste ili brze ceste s velikim obujmom prometa;
- dionice prometnice s-normalnom brzinom od 90 km/h ili više (pozitivan efekt se može postići i s nižim dopuštenim brzinama);

- dionice prometnice s relativno visokim prometnim protokom i problemima "uskog grla";
- dionice prometnica s visokim brojem incidenata;
- dionice prometnice s učestalim naglim smanjenjem brzine.

Relativna brzina između vozila i različitih prometnih traka je važna za prometnu sigurnost. Velike varijacije čine prometni tok nestabilnim i doprinose pojavljivanju naglih kočenja i incidenata uzrokovanih stražnjim sudarima. Razmjer stražnjih sudara može doseći i 75% ukupnih sudara. Zbog toga je važno homogenizirati brzinu vozila, što se može postići postepenim smanjenjem brzine. Na promatranoj dionici prometnice u Švedskoj (Mölndal), varijacija u brzini između traka je smanjena uporabom VSL sustava što je doprinosno s gledišta prometne sigurnosti. Rizik prometnih zastoja s nejednakim kapacitetom i manjim brzinama je također smanjen. Rezultati implementacije VSL sustava za kontrolu prometa se mogu vidjeti na slici 15. koja pokazuje promjenu prosječne brzine na spomenutoj prometnici bez VSL sustava, usporedno s preporučenim i specificiranim ograničenjima brzine na prometno osjetljivom dijelu prometnice. Brzina se povećala i sa 20-30 km /h na 65km/h u prosjeku u situacijama naglog kočenja. Ukupno vrijeme kad su brzine ispod teoretske brzine prometnice se smanjilo, što upućuje na stabilniji prometni tok i smanjenje kašnjenja prometa.



Slika 15. Prometna brzina prije i poslije postavljanja VSL-a za kontrolu prometa *[Izvor: Vägverket Swedish Road Administration, Variable speed– in a nutshell extended summary (2008.)]*

Brzine na sporednoj prometnici su u cijelosti pale za nekoliko kilometara za vrijeme slobodnog prometnog toka i za vrijeme prometne gužve. Isto tako se prometna sigurnost povećala samim postavljanjem VSL-a čime se smanjio rizik od stražnjih sudara. Teoretske kalkulacije za promatranu prometnicu upućuju da se rizik od incidenta povećao za 18% ako se promatra samo povećanje prosječne brzine, međutim ta informacija je kontradiktorna ako se sagledaju studije stvarnih incidenata. Statistika upućuje da je broj osobnih incidenata pao za 20%. Rezultati upućuju na to da je relativna brzina od velike važnosti na prometnicama s velikim postotkom stražnjih sudara. Prihvaćanje i poslušnost preporučene brzine od VSL sustava je vrlo visoka, te dvije trećine vozača misli da je uporaba VSL dobra ili jako dobra. Razlog je taj što sustav dobro informira vozače o nadolazećoj prometnoj situaciji tj. pospješuje promet osiguravajući dobro vrijeme slijeđenja [4].

4.2. Primjer implementacije ograničenja brzine u Nizozemskoj

Nizozemska administracija za kontrolu prometa provodi istraživanja na području "Koncepta ograničenja brzine" od proširenja nizozemskih prometnica i širenja politike prometnog upravljanja 1983. godine. Na prometnicama opremljenim VSL sustavima, adaptivna ograničena brzina su prikazana kako je preporučeno od strane Europske komisije, te prometni centri mogu prilagoditi brzinu ovisno o vremenskim uvjetima, pojedinim radovima na prometnici ili u slučaju pojave incidenta.

Nizozemska politika upravljanja VSL-sustavima ima u cilju pospješiti promet s četiri aspekta koji rezultiraju prvobitno prometnom sigurnošću te:

- smanjenjem vremena putovanja za korisnike prometnica;
- smanjenjem šok valova;
- poboljšanjem prometnog toka za vrijeme vremenskih neprilika;
- smanjenjem štetnog utjecaja na okoliš.

Ovi aspekti su uzeti u obzir na posebnim dionicama na kojima bi, kako su studije pokazale, bilo potrebno implementirati određene vrste VSL-a te ciljanim pristupom rješavati pitanja pojedinih problema. U cilju poboljšanja izvedeni su testovi na prometnicama koji su

trajali od šest do devet mjeseci (pojedini problem za određenu prometnicu) te su opisani lokacija, pristup i korišteni alati.

4.2.1. Promjenjivi prometni znakovi za kontrolu prometa

Strategija za kontrolu prometa putem VSL-a je primijenjena na prometnici A1 u mjestu Naarden (blizu Amsterdama). Ograničenje brzine je podignuto sa 100 km/h na 120 km/h prilikom manje koncentracije prometa. Cilj ovog projekta je bilo smanjenje prometnog putovanja i podizanje prihvatljivosti koncepta ograničenja brzine za sve sudionike u prometu. Veličina prometnice koja je obuhvaćena projektom iznosi oko 6.5 km te počinje sa dvije prometne trake, ali veći dio prometnice ima tri trake. Korisnici su bili obaviješteni o projektu na više načina. Postavljene su:

- table sa znakovima koji impliciraju na početak i kraj dionice obuhvaćene u projektu kao što je prikazano na slici 16.
- promjenjivi znakovi s informacijama o trenutnoj dopuštenoj brzini (100-120 km/h) na ulazu u promatranu dionicu, zajedno s prometnim znakovima za ograničenje brzine
- elektronički rotirajući znakovi koji pokazuju trenutnu dozvoljenu brzinu (na obje strane prometnice) [5].

Slika 16. Table sa znakovima za početak dionice (lijevo), elektronički rotirajući znakovi (desno) *[Izvor: Stoelhorst, H., Schreuder, M., Polderdijk, S. Summary results of Dutch field trials with dynamic speed limits (Dynamax), Rijkswaterstaat Centre for Transport and Navigation Delft, The Netherlands (2010.)]*

Algoritam koji odlučuje je li je prometni tok dovoljno propustan kako bi se promijenilo ograničenje brzine koristi podatke o brzinama i prometnoj potražnji s detektora (induktivne petlje i kamere). Kad se ispune kriteriji koji se tiču brzine, prometnog kapaciteta ili nekih drugih uvjeta (npr. kada nema radova na cesti), ograničenje brzine se promjeni. U praksi to znači da je po noći i za vrijeme dana kadnema vršnih opterećenja dozvoljena brzina na prometnici 120 km/h umjesto 100 km/h, što je rezultiralo činjenicom da se oko 40% vozila na promatranom dijelu prometnice vozilo višom brzinom.

4.2.2. Promjenjivi prometni znakovi za smanjenje šok valova i za detekciju vremenskih uvjeta

Dionica prometnice A12 od Bodegravena do Woerdena je obuhvaćena projektom koji se tiče VSL-a za smanjenje šok valova i detekciju vremenskih uvjeta. Projektom je obuhvaćena dionica dugačka 16.5 km u jednom smjeru koji obuhvaća tri prometne trake, te se na početku dionice autoceste A12 spaja brza cesta N11 zbog čega i dolazi do pojave šok valova koji se trebaju regulirati. Korisnici su bili obaviješteni o projektu na više načina. Postavljene su:

- table sa znakovima koji impliciraju na početak i kraj dionice obuhvaćene u projekt kao i razlozi implementacije VSL-a;
- promjenjivi znakovi s informacijama o trenutnoj dopuštenoj brzini uključujući i razloge (npr. "prometno zagušenje" ili "sklizak kolnik") kao što je prikazano na slici 17.

Slika 17. Znakovi obavijesti sa objašnjenjima iznad prometnice *[Izvor: Stoelhorst, H., Schreuder, M., Polderdijk, S. Summary results of Dutch field trials with dynamic speed limits (Dynamax), Rijkswaterstaat Centre for Transport and Navigation Delft, The Netherlands (2010.)]*

Alati koji su korišteni za poboljšanje tih parametara na prometnici su :

- algoritam za smanjenje šok valova koji poboljšava učinke u području redukcije šok valova, u slučaju zastoja prometa, postepenim smanjenjem ograničene brzine sa 120 km/h na 60 km/h (s ograničenim brzinama između 100 i 80 km/h), kako bi osigurao jednoličan prometni tok i time reducirali ili u potpunosti uklonili šok valovi. Algoritam može biti promjenjiv i promjene ograničenja brzine mogu biti brze i uzastopne ovisno o situaciji;
- algoritam za detekciju vremenskih uvjeta poboljšava prometnu sigurnost spuštajući ograničenje brzine sa 120km/h na 100 km/h (kad padaline dosežu 2.5 mm/h) ili 80km/h za vrijeme obilnih padalina (kad padaline dosežu do 6 mm/h). Algoritam je povezan s meteorološkom stanicom koja osigurava podatke o količini padalina na obuhvaćenom dijelu prometnice.

Pošto su na istoj dionici prometnice implementirani i algoritam za šok valove i za detekciju vremenskih uvjeta, dodan je algoritam koji odlučuje koji je od navedenih algoritama ~~ima~~ prioritetniji, ovisno o situaciji te se tada prebacuje na unaprijed određen program.

4.2.3. Promjenjivi prometni znakovi za smanjenje štetnih učinaka na okoliš

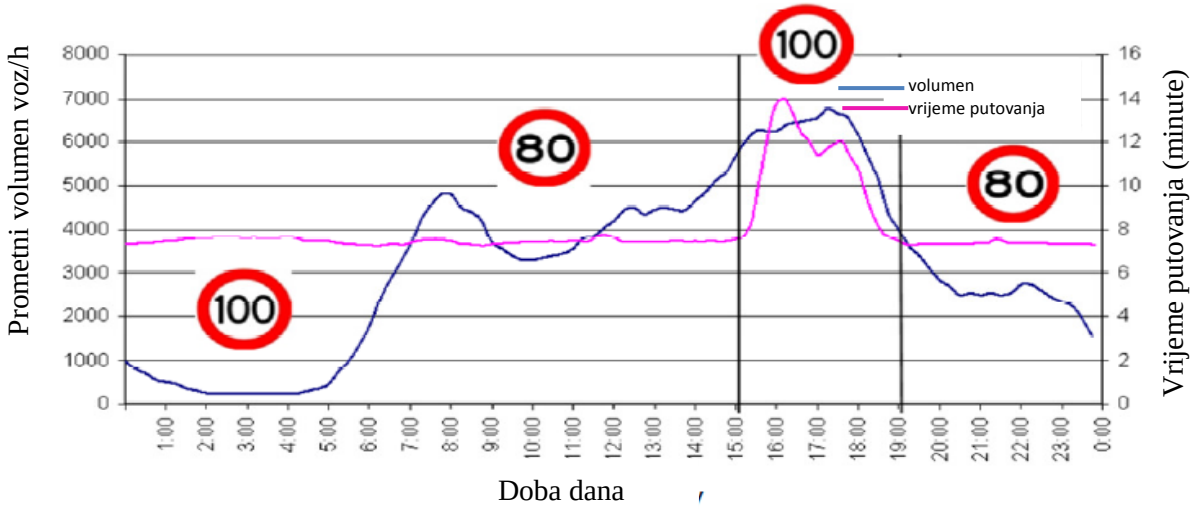
Blizu grada Voorburga (u blizini Haaga) zbog smanjenja štetnog utjecaja na okoliš ograničenje brzine je smanjeno na 80 km/h s regularnih 100 km/h. Odabir ovog tipa regulacije prometa je baziran na istraživanjima koja ukazuju da su emisije štetnih plinova na prometnicama najniže kada se prometuje brzinom između 70-90 km/h bez prometnog zagušenja. Procjena ograničenja brzine na 80 km/h ukazuje na to da je emisija dušikovih oksida smanjena za 20-30% dok je emisija štetnih čestica smanjena za 10%. Procjena je također pokazala da na promatranoj dionici autoceste A12, ograničenje od 80 km/h (koje je regulirano kamerama za detekciju registarskih oznaka), dalo slabije rezultate. Razlog tome je što su statični i striktni znakovi ograničenja brzine doveli do nemogućnosti efektivnog mijenjanja traka i time uzročili smanjenje kapaciteta dijela prometnice na kojem se sastaje promet.

Veća ograničenja brzine za vrijeme vršnog opterećenja prometa bi mogla pridonijeti poboljšanju situacije, zbog čega je i uveden VSL sustav na ovu dionicu promatrane prometnice. Projekt je za cilj imao poboljšanje dviju stvari:

- cjelokupnih izlaznih podataka koji se tiču smanjenja onečišćenja okoliša podižući ograničenje brzine sa 80 km/h na 100 km/h za vrijeme vršnih sati;
- prihvaćanja od strane vozača podižući ograničenje brzine sa 80 km/h na 100 km/h po noći.

Projekt je obuhvaćao dionicu prometnice A12 u smjer Haag - Voorburg dugačku 3 km. Korisnici su bili obaviješteni o projektu putem elektroničkih znakova, te je uvedena provedba pridržavanja VSL znakova radi većeg utjecaja. Algoritam koji je implementiran za tu sekciju radio je :

- normalno, brzina bi bila 80 km/h;
- tijekom dana, kad je prometna potražnja visoka (3500 voz/h za 3/4 promatranog dijela prometnice) ili kad se vozi malim brzinama, ograničenje bi bilo 100 km/h. U praksi bi to značilo da je ograničenje brzine 100km/h između 15:20h i 18:50h te da je moguće pojavljivanje manjih brzina (u tom slučaju se algoritam isključuje i kontrolu preuzima centar za upravljanje prometom);
- tokom noći (između 23:00h i 05:00h), za vrijeme slabijeg prometa (ispod 2000 voz/h) i brzina iznad 70 km/h, ograničenje brzine je bilo 100 km/h. U praksi je to značilo da se ograničenje povećavalo između 23:15h i 05:00h) kao što je prikazano na slici 18.[5]



Slika 18. Prikaz brzina ovisno o kapacitetu prometnice *[Izvor: Stoelhorst, H., Schreuder, M., Polderdijk, S. Summary results of Dutch field trials with dynamic speed limits (Dynamax), Rijkswaterstaat Centre for Transport and Navigation Delft, The Netherlands (2010.)]*

4.2.4. Učinci primjene sustava promjenjivi prometnih znakova u Nizozemskoj

Svaki projekt se sastoji od mjerenja prije implementacije i dvaju mjerenja nakon implementacije sustava, u kojima su prikupljeni detaljni podatci. Prikupljeni podatci su kombinirani kako bi se mogao dobiti detaljan i cjelokupan opis promjena u prometu. Ti podatci obuhvaćaju:

- podatke o prometu (brzina i obujam) koji su prikupljeni iz svih induktivnih petlji na promatranim područjima;
- prometne podatke o vozilima (brzine, varijacije u brzinama, prometni obujam i vremena slijeđenja) koji mogu biti određeni na razini pojedine trake prometnice za tri tipa vozila;
- video podatke o specifičnim lokacijama koje projekti obuhvaćaju (podatci s kamera su bili prikupljani kako bi se proučavale promjene u trakama, neočekivana ponašanja i moguće nesreće i incidenti);
- podatci o uključivanju algoritama su korišteni kako bi se moglo odrediti koje je ograničenje brzine bilo na snazi u koje doba.

Kakvoća zraka je mjerena po legalno odobrenim modelima u pojedinim projektima. Indikatori prometne sigurnosti kao što su podjela kritičnih vremena slijeđenja i vremena do kolizije su korišteni kako bi se odredio učinak na prometnu sigurnost. Isto tako su prikupljeni podatci o nesrećama, međutim do zaključka se nije moglo doći pošto se promatrano razdoblje od šest do devet mjeseci nije moglo uzeti kao mjerodavno vrijeme promatranja slučaja u smislu prometne sigurnosti. Ostali učinci pojedinih projekata prikazani su u tablici 1.

Tablica 1. Učinci primjene VSL sustava u Nizozemskoj *[Izvor: Stoelhorst, H., Schreuder, M., Polderdijk, S. Summary results of Dutch field trials with dynamic speed limits (Dynamax), Rijkswaterstaat Centre for Transport and Navigation Delft, The Netherlands (2010.)]*

Lokacija projekta	Razlog postavljanja VSL sustava	Način na koji je VSL sustav implementiran	Rezultati
A1 blizu Naardena	Smanjenje vremena putovanja	Ograničenje brzine je povećano s 100km/h na 120 km/h za vrijeme dana kad je potražnja	Vrijeme putovanja je smanjeno za 7%
A12 Bodegraven-Woerden	Rješavanje problema šok valova	Ograničenje brzine je smanjeno s 120 km/h na 60km/h da bi se smanjili šok valovi	U prosjeku je algoritam aktiviran 1.6 puta u danu što je rezultiralo reduciranjem 29 voznih sati kašnjenja po danu. Od svih šok valova njih 8% je uklonjeno u potpunosti
A12 Bodegraven-Woerden	Prometna sigurnost	Za vrijeme obilnih kiša ograničenje brzine je smanjeno sa 120 km/h na 100km/h ili 80 km/h	Prosječna brzina je smanjena za 9-13 km/h više nego što bi vozači instinktivno smanjili brzinu. Prometna sigurnost je znatno povećana
A12 blizu Vorburga	Redukcija prometnog zagušenja i vremena putovanja s naglaskom na redukciji štetnih učinaka na okoliš	Ograničenje brzine je povećano s 80km/h na 100 km/h za vrijeme vršnih sati (u međuvremenu se ograničenje brzine može spustiti na 50 - 70 km/h radi prometnih gužvi)	Kapacitet se povećao za 8%. Vrijeme putovanja se znatno smanjilo u večernjim vršnim satima (za 1-1.8 minuta). Broj voznih sati zakašnjenja je pao za 200-400 sati. Promjene u kvaliteti zraka su bile neznatne i zaključilo se da se u tom području još treba istraživati

4.3. Primjer implementacije ograničenja brzine u Australiji

Promatrano područje uporabe koncepta ograničenja brzine u Australiji nalazi se na području Queensland-a. Potreba za implementacijom VSL-a javila se zbog velike prometne potražnje za vrijeme vršnog opterećenja uzrokovane putovanjem na posao i s posla, zbog čega dolazi do velikih zagušenja i učestalih incidenata. Osim spomenutog, nepovoljni vremenski uvjeti kao što su oluje i ciklone česti su u nekim područjima te se zaključilo da je implementacija VSL sustava primjerena za poboljšanje prometne sigurnosti i učinkovitosti. Queensland, savezna Australska država ima strategiju ugradnje VSL sustava u cilju:

- poboljšanja protočnosti prometnice;
- rješavanja problema repova;
- poboljšanja prometa u nepovoljnim vremenskim uvjetima.

Poboljšanjem ovih prometnih parametara uvelike se utjecati na sigurnost prometnica što se može zaključiti u daljnjem tekstu u kojem su opisani učinci implementacije VSL sustava na području Australije

4.3.1. Poboljšanje protočnosti prometnice

Sustav koji poboljšava protočnost prometnice namijenjen je i zamišljen da radi za vrijeme ponavljajućih zagušenja tj. za vrijeme vršnih opterećenja zbog putovanja na posao i s posla. Kad je prometnica pod velikim opterećenjem povećava se mogućnost pojave zastoja. U takvim uvjetima se događaju smetnje koje utječu na normalni prometni tok, kao što su:

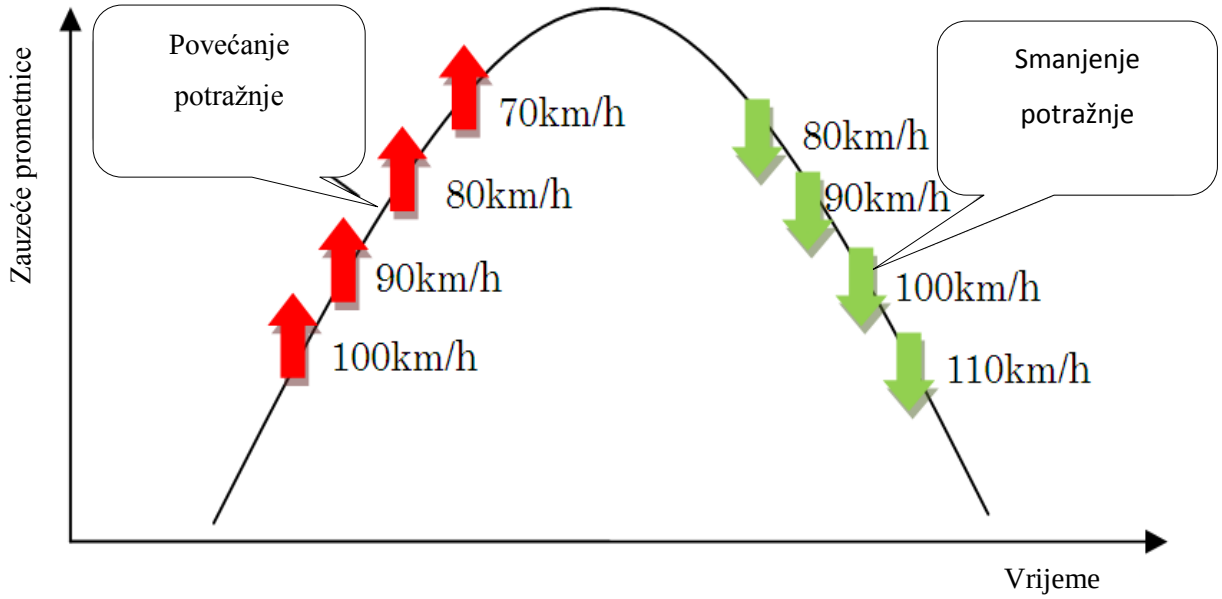
- razlika u brzini između vozila i voznih traka
- pojava promjene traka i spajanja traka

Sustav radi na principu smanjenja razlike između brzina vozila te na smanjenju razlike u brzini voznih traka smanjujući time prednost vožnje u "brzoj traci" (kako je objašnjeno u poglavlju 3.3.). Takav princip za posljedicu ima ujednačavanje brzina traka što smanjuje mogućnost promjene trake u cilju pretjecanja te time povećava sigurnost. Prijašnje analize i

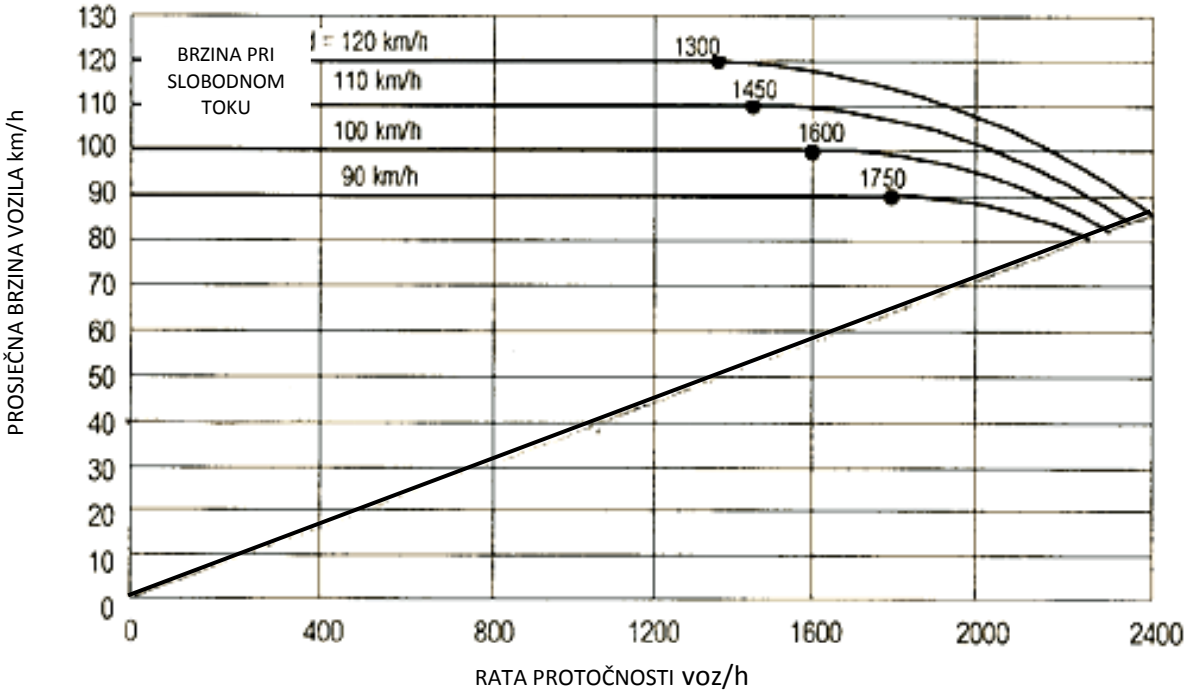
iskustva u državi Queensland dovele su do zaključka kako se algoritam treba sastojati od dva važna segmenta:

- zadržavanja trenutne prometne situacije;
- određivanja novih ograničenja brzine.

U prvom koraku algoritam treba odabrati primjerenu mjeru iz detektora. U induktivnim petljama postoje četiri mjere dostupne kao indikatori prometa (volumen, zauzeće detektora, brzina i vrijeme slijeđenja). Između tih mjera najstabilniji pokazatelj bi trebalo biti zauzeće detektora, pa se ono preporučuje kao glavni indikator. U Queenslandu, pod velikim zauzećem prometnice, promatraju se dva seta detektora na pragovima prometnice, kako bi se očitala brzina prometnice (slika 19.). U drugom koraku logika određivanja novih ograničenja brzina može biti izvučena iz krivulje odnosa brzine i protočnosti (slika 20.) [2].



Slika 19. Brzine za vrijeme povećanja i smanjenja prometne potražnje *[Izvor: Lee, B., Chung, E. Managed motorways project, Literature Review Report Brisbane: Smart Transport Research Centre (2011.)]*



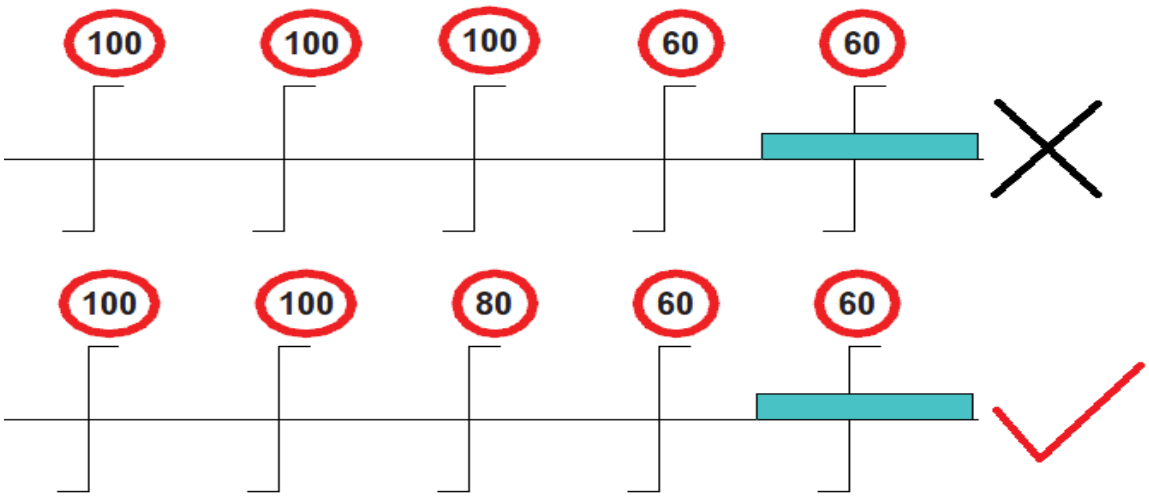
Slika 20. Krivulje odnosa brzine i protočnosti *[Izvor: Lee, B., Chung, E. Managed motorways project, Literature Review Report Brisbane: Smart Transport Research Centre (2011.)]*

Prema gornjoj krivulji, različita ograničenja imaju različite maksimalne stabilne tokove što daje zaključiti da su logika odabira i način na koji se odabire određeno ograničenje brzine takvi da se postepeno smanjuje ograničenje brzine kako bi se mogla garantirati stabilnost prometnog toka pri trenutnom opterećenju.

4.3.2. Problem repova

Prometni rep je definiran kao više vozila koja su u zastoju ili se sporo kreću po prometnici. Prometni uvjeti unutar zastoja su opisani tipom prometnog zastoja. Zbog velike protočnosti na autocestama i brzim cestama, kada dolazi do zastoja povećava se opasnost od incidenta pa je sigurnost prometnice na prvom mjestu. Velike brzine na takvim prometnicama (obično iznad 100 km/h) pridonose opasnosti za sudionike u prometu ako se dogodi neki zastoj ili se promet sporije odvija nego što je predviđeno za taj tip prometnice. Na mjestima gdje vozila s velikim prilazećim brzinama dolaze do kraja prometnog reda, vozila moraju naglo smanjivati brzinu time povećavajući mogućnost sudara. U usporedbi s incidentima zbog kojih je došlo do prvobitnog zastoja takvi incidenti se nazivaju sekundarni incidenti. Kako bi

se smanjio broj sekundarnih incidenata ugrađuje se VSL sustav koji koristi VMS-ove uzduž prometnice kojima upozorava vozače na incident te smanjuje brzine. Primjer pravilnog smanjenja ograničenja brzine vidljiv je na slici 21.



Slika 21. Pravilno postavljanje VSL-a za rješavanje problema repova *[Izvor: Lee, B., Chung, E. Managed motorways project, Literature Review Report Brisbane: Smart Transport Research Centre (2011.)]*

VSL koji rješava problem repova koristi algoritam koji radi u tri koraka:

- otkriva pojavu repa i njegov kraj;
- procjenjuje i predviđa širenje repa;
- određuje ograničenje brzine na početku prometnice.

Prvi korak je najznačajniji za cijeli algoritam; što se brže i točnije otkrije rep u prometu, to je manji rizik od sekundarnih incidenata. Postoje dva tipa algoritama za detekciju repova. Jedan se bazira na podatcima iz induktivnih petlji, a drugi na podatcima iz video kamera, no niti jedan ne može sa sigurnošću odrediti mjesto pojavljivanja repova, tako da je balans između otkrivanja repova i vremena odaziva važan za odabir odgovarajućeg algoritma za detekciju repova. U Queenslandu se prakticira kombinacija više vrsta detektora kako bi se povećala točnost otkrivanja pojave repova i smanjilo vrijeme reagiranja. Uz korištenje podataka iz detektora za zauzeće i brzinu prometnice koriste se i podesivi uzastopni intervali i uzastopni detektori kako bi se smanjile lažne uzbune pojave repova.

U drugom koraku, za vrijeme repova aktivna ograničenja brzine su puno manja nego za vrijeme slobodnog toka što znači da ta ograničenja trebaju biti aktivna samo u krajnjim situacijama tj. kad se za to pojavi potreba. Točna procjena i predviđanje širenja repova može dovesti do poboljšanja rada algoritma i pospješiti njegovu učinkovitost.

U trećem koraku se opisuje logika algoritma koji smanjuje brzinu na početku prometnice s uobičajenih 100 km/h na 60 km/h, time reducirajući mogućnost naglog kočenja. U praksi je pokazano da je bolje imati smanjenje brzine s među ograničenjima brzina jer se time izbjegava mogućnost naglog kočenja.[2]

4.3.3. Poboljšanje prometa u nepovoljnim vremenskim uvjetima

Vremenski uvjeti su važan faktor koji utječe na kapacitet prometnice. Oni mogu znatno pogoršati okruženje u kojem se vozi i smanjiti vozačke sposobnosti (npr. može smanjiti vidljivost i povećati put kočenja). Vozači imaju duže vrijeme reagiranja u nepovoljnim vremenskim uvjetima stoga bi primjerena brzina pri takvim uvjetima trebala biti manja (za 20 km/h) nego u normalnim uvjetima. Međutim, istraživanja su pokazala da vozači ne prilagođavaju svoju brzinu vremenskim uvjetima na cesti, npr. razlike u vremenima slijeđenja po suhom i mokrom kolniku su zanemarive, a prosječna brzina se ne smanjuje znatno. Ovo nepoklapanje između uvjeta vožnje i ponašanja vozača dovodi do povećanja rizika od incidenata.

Implementacija VSL sustava u svrhu smanjenja ograničenja brzina u nepovoljnim vremenskim uvjetima regulira i upućuje vozače na prilagodbu brzine dovodeći ih na sigurnu razinu prometovanja. Metodologija takvog sustava je vrlo jednostavna. Kad su nepovoljni vremenski uvjeti potvrđeni od strane meteorološke stanice, VSL sustav dopušta operateru da ručno regulira prometno ograničenje ili postaje aktivna automatizirana logika koja je ugrađena u sustav kompjutera.

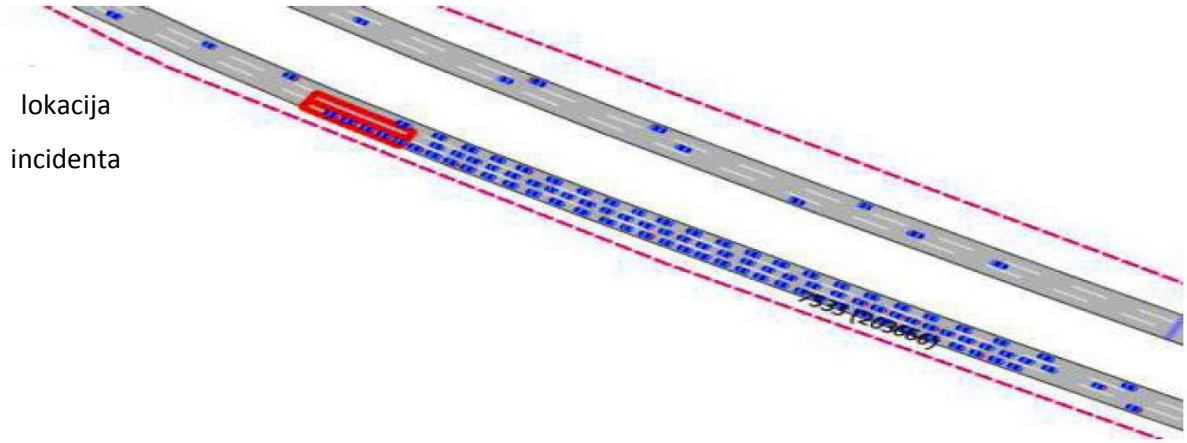
4.3.4. Učinci primjene sustava promjenjivih prometnih znakova u Australiji

U ovom poglavlju prikazani su učinci implementacije VSL sustava za uvjete u teškoj protočnosti i VSL sustava za detekciju repova izvedeni na simulacijskom programu. Za model simulacije uzeta je dionica autoceste M3 dugačka 30 km zbog velike potražnje u doba putovanja s posla i na posao. Dionica M3 se sastoji od 5 prometnih traka (na početku i kraju prometnice), te uglavnom tri prometna traka na sredini dionice. Dnevno zadovoljava potražnju od 130 000 vozila. Podatci o brzini, volumenu i zauzeću detektora se prikupljaju svake minute. Zaključci su doneseni na temelju simulacije te se iz tablice 2. može zaključiti da je VSL sustavom moguće postići harmoniziranu brzinu i smanjiti utjecaje na okoliš, ali stvara se velika prometna potražnja na mjestima gdje se javlja potražnja za uključivanje na prometnicu, što upućuje na to da je VSL sustav za harmonizaciju brzine primijenjen za one tipove prometnica koji imaju manju gustoću priljevnih tokova [2].

Tablica 2. Učinci VSL-a za harmonizaciju brzine *[Izvor: Jiang, R., Chung, E., Lee, J., Variable Speed Limits: Conceptual Design for Queensland Practice Smart Transport Research Centre, Faculty of Built Environment and Engineering Queensland University of Technology (2011.)]*

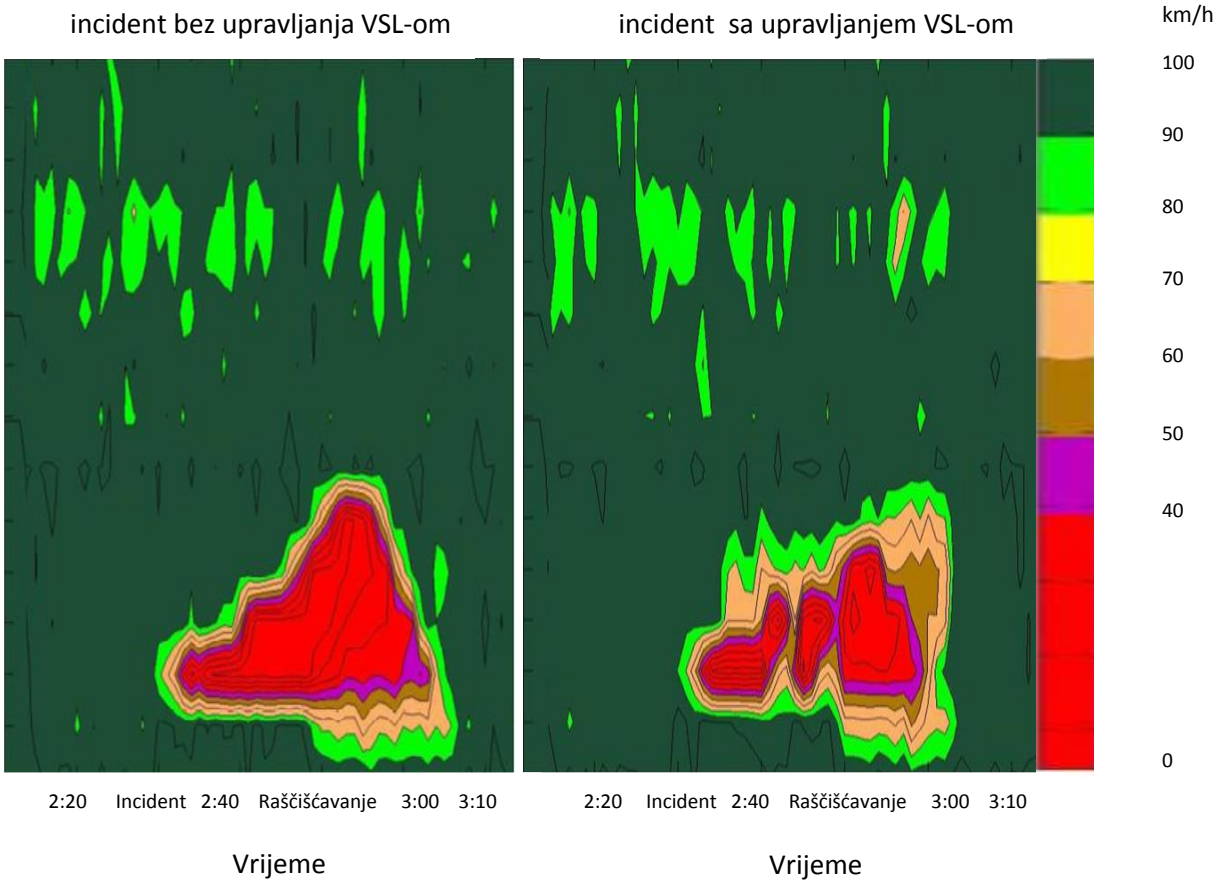
	NORMALNI SCENARIJ	SCENARIJ S VSL SUSTAVOM	SMANJENJE (%)
VRIJEME PUTOVANJA	71,06 s/km	70,77 s/km	-0,41
ODSTUPANJE U BRZINI	7,46 km/h	6,61 km/h	-11,39
POTROŠNJA GORIVA	98803 l	90812 l	-8,08
EMISIJA CO_2	230073 kg	222050 kg	-3,49

Kako bi se VSL sustav za rješavanje problema repova ocijenio, na simulacijskom modelu je proizveden incident. Incident je bio generiran na sredini dionice 400 m od prvog detektora. Dionica na tom određenom dijelu nema priljevnih tokova tako da osim incidenta ništa nije uzeto u obzir kao parametar koji bi mogao utjecati na prometni tok. Incident je generiran u popodnevnim vršnim satima a prouzročio je zauzeće dvije prometne trake u vremenskom razdoblju od 20 min. Na slici 22. je vidljiv dio dionice i pozicija incidenta na mreži.



Slika 22. Lokacija simuliranog incidenta *[Izvor: Jiang, R., Chung, E., Lee, J., Variable Speed Limits: Conceptual Design for Queensland Practice Smart Transport Research Centre, Faculty of Built Environment and Engineering Queensland University of Technology (2011.)]*

Konture brzina oba scenarija (sa i bez VSL-a za rješavanje problema repova) su prikazane na slici 23.



Slika 23. Konture brzina bez i sa VSL-om *[Izvor: Jiang, R., Chung, E., Lee, J., Variable Speed Limits: Conceptual Design for Queensland Practice Smart Transport Research Centre, Faculty of Built Environment and Engineering Queensland University of Technology (2011.)]*

S aktivnim VSL-om nadolazeći prometni tok prilazi kraju repa manjom brzinom te razlika u brzini na kraju repa drastično pada što predviđa reduciranje sekundarnih incidenata. Osim sigurnosnih poboljšanja, uskom grlu uzrokovanom incidentom se smanjuje vrijeme postojanja, što skraćuje vrijeme vraćanja prometnog toka u normalu.

5. INTEGRIRANI SUSTAV KONCEPTA OGRANIČENJA BRZINE I UPRAVLJANJA PRILJEVNIM TOKOVIMA

Koncept ograničenja brzina je pojašnjen u prijašnjim poglavljima i kao što je već rečeno uvelike pomaže u poboljšavanju sigurnosti, protočnosti i kvaliteti prometnice. Međutim, svi ti doprinosi su uzeti u obzir kada se gledaju prometnice s manjim brojem proljevnih tokova. Kako bi se pospješio učinak prometnica s velikim brojem priljevnih tokova, osim VSL sustava i koncepta ograničenja brzine mora se koristiti kontrola priljevnih tokova u suradnji s konceptom spajanja traka i konceptom mjerenja razmaka.

5.1. Upravljanje priljevnim tokovima

Koncept upravljanja priljevnim tokovima koristi skup aplikacija koje upravljaju kontrolnim prometnim uređajima poput semaforskih kontrolera ili rampi u cilju regulacije broja vozila koja ulaze ili izlaze iz autoceste ili brze ceste. Osnovni cilj upravljanja priljevnim tokovima je smanjiti gužvu reduciranjem prometne potražnje. Ovaj koncept uvelike pomaže u vođenju prometa na autocestama i brzim cestama te pospješuje ne samo vrijeme putovanja nego i sigurnost u prometu. Balansiranjem između prometne potražnje i kapaciteta te razdvajanjem kolone vozila na pojedinačna vozila moguće je postići višestruke koristi:

- održati optimalan prometni tok minimiziranjem incidenata (zastoj, prometne nezgode);
- smanjiti broj nezgoda (prvenstveno pri ulasku na autocestu);
- dati prioritet određenoj klasi vozila (teška teretna vozila, autobusi);
- smanjiti onečišćenje okoliša.

5.1.1. Načini upravljanje priljevnim tokovima

Postoje tri načina upravljanja priljevnim tokovima koja se upotrebljavaju ovisno o situaciji kojoj je namijenjen i tehnologiji koja se koristi:

- Prometno ovisno upravljanje bazirano je na prometnim podatcima s glavne rute i rampe te se tim podatcima služimo kako bi mogli povećati propusnu moć autoceste (ovo upravljanje se više koristi i učinkovitije je pošto imamo stvarne vremenske podatke koji nam ukazuju na trenutno stanje prometnice i opisuju nam gdje je došlo do zastoja i na kojem dijelu prometnice trebamo reagirati kako bi se protočnost povećala ili vratila u normalu);
- Vremenski ovisno upravljanje bazirano je na povijesnim podatcima i pokreće se ciklički, praktički je neiskoristivo zbog prevelike mogućnosti nepravilnog rada. Tu se radi o manje zahtjevnoj tehnologiji koja je bazirana na ustaljenom prometnom ciklusu i nema mogućnosti adaptivnog upravljanja (velike mogućnosti pogrešaka u procjeni prometne potražnje u ovom slučaju dovode do nepravilnog funkcioniranja sustava tj. konačno do nekorištenja sustava u smislu ramp meteringa);
- Ručno upravljanje vođeno je od strane operatera koji bira plan na temelju dostupnih podataka (kod ručnog upravljanja važno je imati obučeno i adekvatno osoblje koje se razumije u sustav koji koristi, te može adaptivnim upravljanjem ramp metering tehnologije dovesti do optimizacije prometne protočnosti).

5.1.2. Princip rada kontrole priljevnih tokova

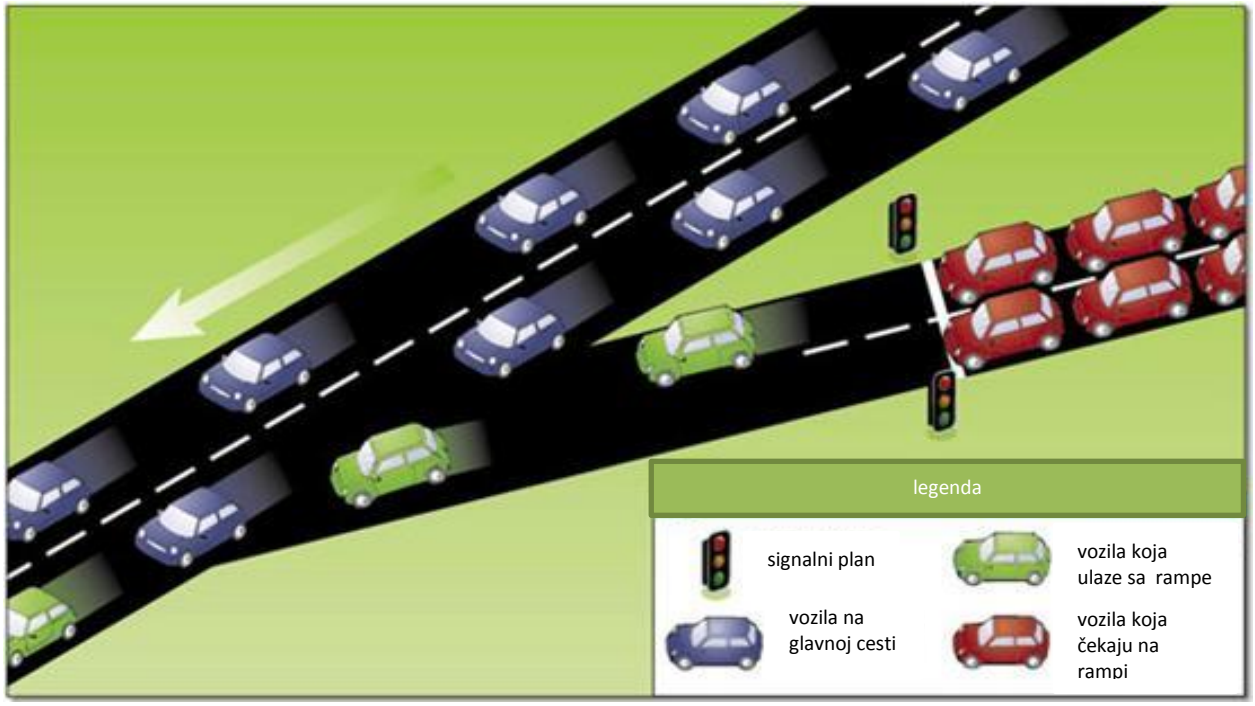
Kontrola priljevnih tokova je skup aplikacija koje koriste interoperabilnost između prometnog, cestovnog i telekomunikacijskog sustava. Takav sustav koristi veliki broj tehnologija koje su potrebne za optimizaciju prometnice.

Za implementaciju kontrole priljevnih tokova potrebni su:

- semafori na rampama;
- detektori na rampama;
- detektori na glavnoj prometnici;

- lokalni kontroleri;
- računalni uređaji s algoritmom za kontrolne strategije;
- korisničko sučelje;
- fiksni ili varijabilni znakovi na rampama koji informiraju nadolazeće vozače o ramp meteringu.

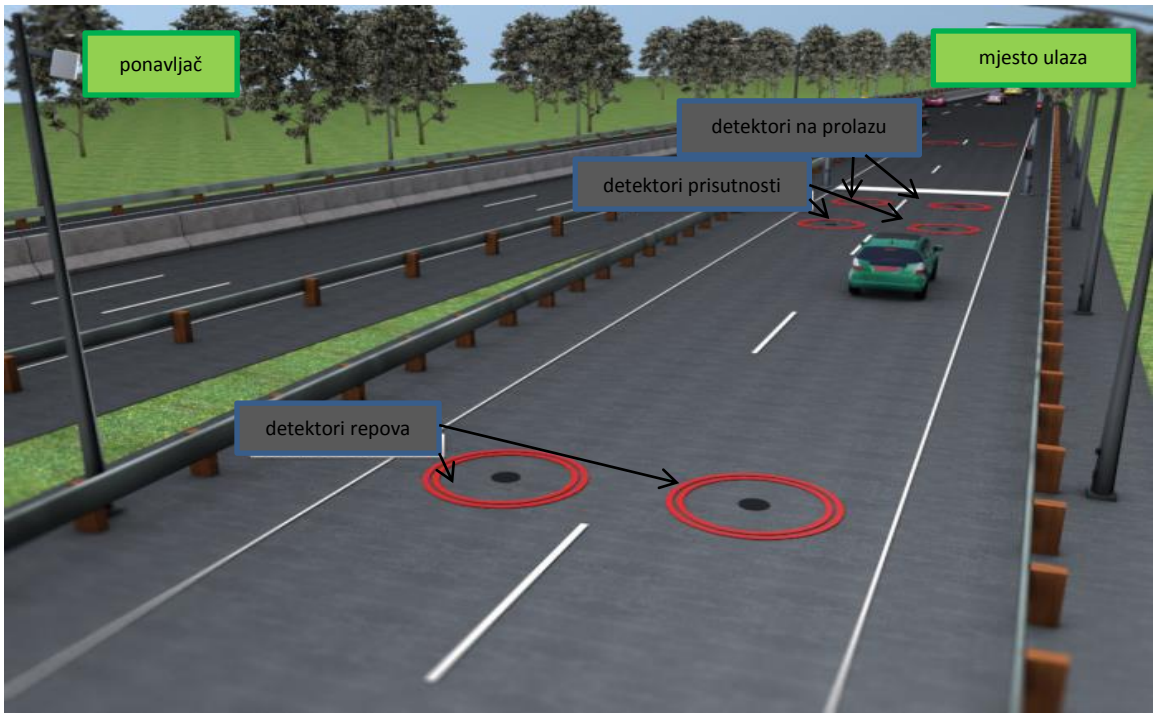
Na slici 24. i 25. moguće je vidjeti princip rada jednog sustava kontrole priljevnih tokova sustava u kojem su opisani i rad detektora kao i njihov položaj te funkcija koju obavljaju na glavnoj prometnici i na sporednom pritoku.



Slika 24. Princip rada sustava priljevnih tokova *[Izvor: Šehagić, N., autorizirana predavanja o propusnosti prometnih tokova, Telegra d.o.o. (2015.)]*

Detektori na rampi:

- detektori prisutnosti vozila - nadziru prostor kod stop linije, kod semaforiziranih lanterni (princip: ima - nema vozila)
- detektori zone uključivanja - nadziru zone gdje se spajaju dva toka vozila (princip: ima - nema vozila)
- detektori reda čekanja - nadziru dio ili cijelu rampu te javljaju duljinu reda čekanja



Slika 25. Detektori na rampi *[Izvor: Šehagić, N., autorizirana predavanja o propusnosti prometnih tokova, Telegra d.o.o. (2015.)]*

Detektori na glavnoj prometnici:

- nadziru svaku traku te prikupljaju prometne podatke poput brzine kretanja vozila, zauzeća detektora, gustoće prometa - osnovni detektor;
- lokalni kontroleri postoje kao veza između prometnice i osoblja koje upravlja njima (oni prikupljaju podatke sa svih mjernih uređaja, upravljaju semaforskim lanternama, komuniciraju s glavnim računalnim uređajem);
- korisničko sučelje se može nalaziti na samom lokalnom uređaju ili na udaljenoj lokaciji, omogućuje jednostavno i efikasno upravljanje i nadzor nad ramp meteringom (i ostalim ITS sustavima).

Često na lokalnim uređajima mogu biti pohranjeni algoritmi automatskog rada te oni mogu predstavljati glavno računalo za upravljanje izoliranim raskrižjem.

5.1.3. Signalni plan kontrole priljevnh tokova

Postoje različite signalni planovi, no u pravilu se koristi "Jedno vozilo po zelenom" (engl. *one car per green*) strategija. Samo jedno vozilo po ciklusu po traci, radi na principu razbijanja kolone vozila koja se uključuju na glavnu prometnicu. U tom slučaju je zeleni svjetlosni pojam 2 sekunde dok se žuti svjetlosni pojam ne koristi (pošto se pušta jedno vozilo po zelenom svijetlu ne javlja se potreba za žutim svijetlom). Kod takve strategije računa se samo trajanje crvenog svjetlosnog pojma, odnosno ciklusa, zbog čega je potrebno odrediti minimalno trajanje ciklusa kako bi se izbjeglo "zbunjivanje" vozača.

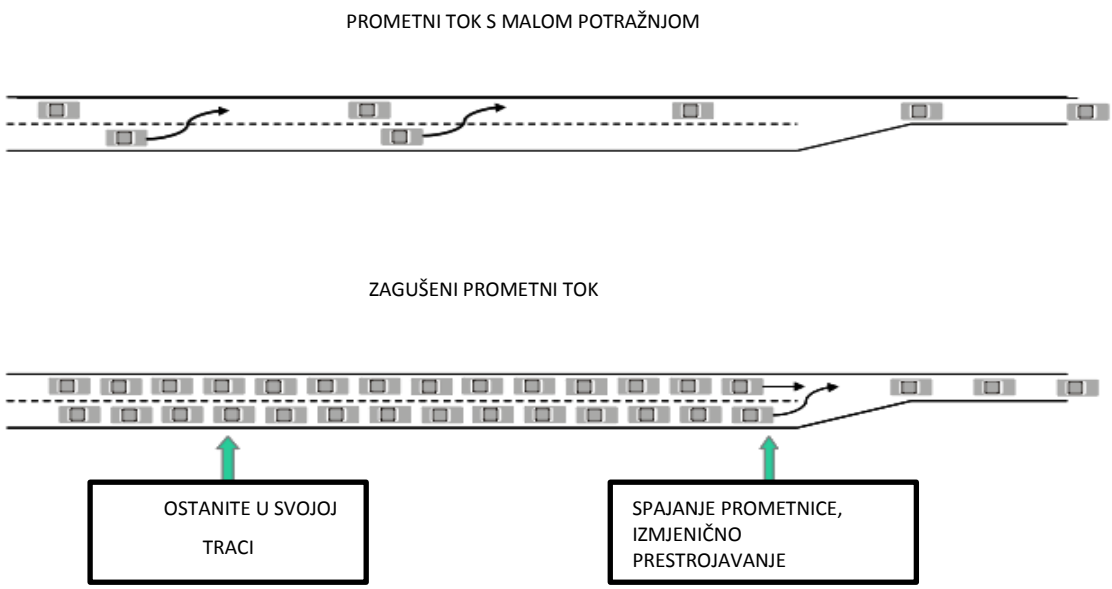
Ujedno i nedostatak strategije "jedno vozilo po zelenom" je ograničavanje maksimalnog protoka s obzirom na minimalan ciklus. Osim strategije "jedno vozilo po zelenom" postoje standardni signalni planovi koji uključuju i žuto signalno svijetlo. Koristi se i strategija "više vozila po zelenom" (engl. *n cars per green* tzv. *"platoon meteering rates"*) koja omogućuje propuštanje nekoliko vozila po ciklusu (engl. *vehicle platoon*). Strategija "više vozila po zelenom" se pokreće kad je potrebno brže isprazniti red čekanja na rampi ili kad specifični prometni uvjeti to dozvoljavaju.[6]

5.2. Kontrola spajanja traka

Kako se strategija kontrole priljevnih tokova fokusira na ograničavanje utjecaja vozila s pritoka na autocestu radi poboljšanja prometnog toka, tako se razvijaju i strategije koje se fokusiraju na sigurnost prometnice na ostalim dionicama s priljevnim tokovima. Nekoliko primjera aktivne kontrole spajanja traka prometnica se razmatra kako bi se pospješila uporaba prometnice zbog nedostatka kapaciteta uzrokovanog radovima na cesti. Situacija spajanja prometnice koja se javlja zbog radova na cesti razlikuje se od onih situacija koje se javljaju na autocesti u zoni ramp meteringa. U situaciji zatvaranja pojedine trake prometnice, promet se kreće usporeno i vozači doživljavaju repove kako se približavaju mjestu spajanja trake prometnice, dok vozači koji se priljevaju na prometnicu pomoću ramp meteringa prilaze s većim brzinama.

Strategija spajanja traka prometnice se fokusira na rješavanje dvaju tipova ponašanja pri spajanju: rani vozači koji se spajaju i kasni vozači koji se spajaju. Agresivniji vozači će

iskoristiti prednost prometne trake koja je zatvorena i koja ima manje vozila kako bi prošli što je više vozila moguće do zadnje točke u kojoj se mogu prestrojiti. Pretjeran broj kasnih prestrojavanja pospješuje rizik od incidenata zbog neočekivanog ponašanja vozača na mjestu prestrojavanja. Problemi se također javljaju kad se previše vozača pokuša prestrojiti prerano u otvorenu traku prometnice, što rezultira time da je preostali kapacitet zatvorene trake neiskorišten. Iako ranije prestrojavanje može pomoći u reduciranju potražnje za promjenom trake blizu mjesta spajanja prometnice, preveliki broj ranih prestrojavanja neefikasno iskorištava kapacitet zatvorene trake. Strategija "Dinamičke kontrole spajanja trake prometnice" (engl. *dynamic merge control strategy*) utječe na odluku vozača kako bi se dosegla ravnoteža između ranih i kasnih prestrojavanja. U uvjetima kad je zauzeće prometnice relativno malo, ranija prestrojavanja mogu smanjiti mogućnosti zaustavljanja prometnog toka te omogućiti prestrojavanje pri velikim brzinama, dok su situacije s velikim protokom automobila i malim brzinama optimalna za kasnija prestrojavanja zbog iskorištavanja kapaciteta zatvorene trake prometnice. Prijašnja istraživanja za implementaciju kontrole prestrojavanja baziraju se na iskorištavanju prednosti ovakvih uvjeta na prometnicama. Instalacije sustava spajanja traka se obično sastoje od detektora brzine i volumena uzduž otvorene i zatvorene trake. VMS se koristi kako bi se reguliralo ponašanje vozila pri prestrojavanju. Primjer takvog sustava je izveo ured za transport u Michiganu, u Americi. Sustav je postavljen u zoni prestrojavanja zbog radova na prometnici. Koristi promjenjive znakove sa zabranom prestrojavanja kako bi minimizirao kasnu promjenu traka i agresivno ponašanje vozača. Dodatno, minimizira zakašnjelu reakciju vozača na krajnjem dijelu gdje se pojavljuje usko grlo. Druga strategija pospješuje kasna prestrojavanja upućujući vozače da se prestroje tek pri završetku prometnice. Takve upute su poduprte znakovima koje upućuju na izmjeničnu vožnju vozila između otvorene i zatvorene trake kako je prikazano na slici 26.



Slika 26. Kasno prestrojavanje u uvjetima slabog zauzeća prometnice (gore) i jakog zauzeća prometnice (dolje) *[Izvor: Pesti, G., Wiles, P., Chu, R., Songchitruksa, P., Shelton, J., Cooner, S., Traffic Control Strategies for Congested Freeways And Work Zones. Texas Transportation Institute (2008.)]*

Promjenjivi znakovi s porukama obavještavaju vozače kako bi trebali prilagoditi svoje ponašanje. Kako su unaprijed određena mjesta na kojima se prestrojava, povećava se kapacitet prometnice, a smanjuje sveukupno kašnjenje. Sustav je u mogućnosti promijeniti rad između potrebnih algoritama za rana i kasna prestrojavanja (ovisno o situaciji) jednostavnom uporabom VMS-a. Strategije ranog prestrojavanja kod radova na cesti dobro funkcioniraju kad je potražnja mala zato što manja gustoća prometa omogućava vozačima da lakše pronađu mjesto za prestrojavanje u voznoj traci prometnice. Kad potražnja uzduž prometnice poraste i premaši kapacitet same prometnice, bez obzira na sustav upravljanja prestrojavanja u većini slučajeva se javlja zagušenje prometnice. Takva zagušenja uzrokuju šok valove koji smanjuju sigurnost prometnice povećavajući mogućnost stražnjih sudara. Što je veći rep uzrokovan uskim grlom to je veća opasnost od sudara jer se prelazi vidljivost ograničenja i uputa na VMS-ovima. Ako vozači nisu primijetili upozorenja o zatvaranju trake zbog radova, mogu biti nepripremljeni za izbjegavanje sudara. Problemi se pojavljuju kod uskog grla pri kasnom prestrojavanju kad vozači pokušavaju iskoristiti kapacitet zatvorene trake prometnice u nekontroliranom scenariju i time mogu uzrujati vozače koji se drže preporuka. Rezultat toga je neadekvatna raspodjela vremena kašnjenja za vozila uzduž prometnice što uzrokuje agresiju kod vozača. Kad se postavi dinamički sustav kasnog prestrojavanja, on potiče sve vozače da iskoriste kapacitet prometnice bez obzira na individualne agresivne ili previše

oprezne vozače. Sustav kasnog prestrojavanja je najbolje koristiti za vrijeme vršnih sati. Sustavi ranih i kasnih prestrojavanja u Americi do sad su optimizirani samo za očekivana uska grla kao što su zatvaranje trake zbog radova na cesti, dok su dinamičke tehnologije zatvaranja trake u Europi implementirane zbog rasterećenja priljevnih tokova. Primjer takvog sustava se može vidjeti na slici 27. Ovaj tip sustava radi na principu zatvaranja jedne trake kako bi se vozila s priljevnih tokova mogla nesmetano uključiti na glavnu prometnicu čime se smanjuju repovi čekanja na rampi.

Slika 27. Kontrola spajanja traka u interakciji sa kontrolom priljevnih tokova *[Izvor: Texas Transportation Institute Mobility Investement Priorities: Dynamic Merge Control., Strategies Mobility Investment Priorities]*

Prikazana tehnologija koristi promjenjive znakove kako bi obavijestila o zatvaranju trake. Operatori na brzim cestama i autocestama mogu koristiti ovu tehnologiju kako bi pospješili kapacitet na ulazu ovisno o protočnosti prometnice. Ako autocesta ima veliku potražnju na priljevnom toku za vrijeme vršnih sati, za vrijeme odlazaka i dolazaka turista ili nekog organiziranog događaja u kojem se očekuje veće zauzeće prometnice, pomoću VMS-a se može dati prednost vozilima na priljevnom toku, što bi moglo pomoći pri minimiziranju vremena kašnjenja i spriječiti repove koji se prostiru po prometnoj mreži. Ova tehnologija je primjerena za autoceste i brze ceste kada postoje grupe trakova kojima se uključuje s priljevnih tokova. Ako autocesta ima dvije trake, najdalja traka može biti zatvorena za vrijeme male potražnje i pod takvim okolnostima prioritet se daje glavnoj prometnici. Kada se potražnja na priljevnom toku poveća, prioritet se daje priljevnom toku, a traka na glavnoj prometnici se zatvara. Ako se poduzmu prave mjere i utvrdi kojoj prometnici treba dati prioritet te koja ima najveću potražnju, može se smanjiti vrijeme putovanja i povećati brzine na glavnoj prometnici kao i na priljevnim tokovima. Ova tehnika kontrole traka prometnice pomaže minimizirati broj sudara uzrokovanih prestrojavanjem jer su prometne trake već predodređene i jasne su upute o prometovanju na njima. Smanjenjem broja potencijalnih

konfliktnih situacija može se smanjiti broj incidenata. Jedna od glavnih prepreka koja se treba premostiti prije korištenja ovih tehnika su informiranost i edukacija vozača [7].

5.3. Koncept mjerenja razmaka

Dok su strategije kontrole priljevnih tokova fokusirane na ograničavanje priljeva vozila na autocestu kako bi poboljšale stanje u prometu zbog novih spajanja, ostale aktivne strategije kontrole razvijene su kako bi riješile probleme sigurnosti i mobilnosti u ostalim zonama uključivanja. Nekoliko različitih dinamičkih strategija kontrole uključivanja je pod ispitivanjem učinkovitosti na točkama uključivanja nastalim zbog privremenog zatvaranja trake uzrokovanog radovima na cesti. Ovo poglavlje opisuje novu vrstu tehnologije aktivne kontrole uključivanja koja se zove "Mjerenje razmaka" (engl. *Gap metering*.)

Mjerenje razmaka utječe na vozače u glavnim trakama na način da modificiraju vlastitu vožnju kako bi izgladili aktivnosti uključivanja sa sporednih tokova. Uzlazni dio sustava uključuje detektore koji određuju koliki je trenutačni razmak među vozilima pri prilasku na glavnu traku. U trenutku kad broj i veličina razmaka među vozilima padne ispod prihvatljivog praga, kontrolni sustav se aktivira. Kombinacija vizualnih znakova i znakova putem dinamičkih poruka, savjetuje vozačima koji se približavaju zoni uključivanja da pri uključivanju ostave razmak veličine jednog automobila između sebe i vozila ispred sebe. Sekundarni detektor može se koristiti kako bi uočio i izvijestio o usklađenosti aktivnosti. Razmak među vozilom koje se tek uključilo te vozilom ispred njega trebao bi biti dovoljno velik da bi se vozilo koje se uključilo moglo slobodno prestrojiti bez mijenjanja brzine. Upotrebom ove tehnike kako bi se osiguralo homogenije priključivanje, mogu se kontrolirati i dodatne odgode u situaciji izbjegavanja vozila uzrokovane uskim grlom.

Sustav mjerenja razmaka se sastoji od tri glavna dijela. Promet na glavnoj traci ima prednost prije točke uključivanja na dijelu upozorenja. Znak s dinamičkom porukom ili statički znak s treperavim indikatorom obavještava vozače kako ulaze na dio prometnice gdje se koristi mjerenje razmaka. Vozači su osviješteni da sudjeluju u kontroli brzine kroz ograničenja brzine te da će njihovo ponašanje u vožnji za ostalim vozilima također biti podložno regulaciji. Ovakva obavijest će potaknuti vozače da obrate posebnu pažnju na razmak među svojim vozilom i vozilom ispred sebe. Nadalje, vozači sudjeluju u dijelu

provedbe. Ovdje jedinica detekcije mjeri razmak među vozilima na glavnoj traci. Potencijalna metoda za provedbu je korištenje znakova s dinamičkim porukama kako bi obavijestili vozače o razmaku među vozilima. Na sličan način VMS sustavi obavještavaju vozače o brzini vlastite vožnje u usporedbi s ograničenjima. Vozači će paziti na razmak među vozilima zbog utjecaja izazvanog davanjem povratne informacije o razmaku. Statički ili dinamički znak će pokazati preporučeni razmak među vozilima ovisno o lokaciji vozila. Razmak će biti određen geometrijskim karakteristikama dijela ceste i izmjerenom brzinom. Znak može biti ili statički ili dinamički.

Konačno, vozači će ući u dionicu sa mjerenjem. Početak i kraj mjerenog dijela bit će označen. Jedan od načina za označavanje ovog dijela je pomoću VMS-a. Znakovlje će savjetovati vozačima da ne mijenjaju razmak među vlastitim vozilom i vozilom ispred sebe. Dio mjerenja počinje prije točke uključivanja, a završava nakon prolaska kroz zonu uključivanja i prestrojavanja. Osiguravajući konstantan razmak među vozilima nakon što je postignut odgovarajući razmak u prethodnom dijelu, sam sustav će pružiti razmake za uključivanje. Detektor petlje na točki uključivanja će mjeriti volumen i popunjenost prometnice. Kad se popunjenost podigne iznad točke pružanja minimalnog razmaka, sistem će se aktivirati. Pružajući adekvatne razmake duž glavne trake zbog uključivanja u promet s rampe sustav osigurava učinkovit promet s rampe na glavnu cestu prometnicu. Također, osiguravajući prilagodbu razmaka među vozilima na glavnoj traci prije dolaska do točke uključivanja, sustav dozvoljava vozačima da reagiraju te mijenjaju brzinu i razmak postupno. Ovaj sustav smanjuje šansu da se dogodi zastoj u prometnom toku i smanjuje mogućnosti pojave šok valova.

Dizajn sustava mjerenja razmaka uključuje četiri glavna parametra koja se moraju implementirati u sustav. To su:

- **Mjerenje traka**: nakon implementacije kod točke uključivanja, Gap metering sustav može se upotrebljavati na najdesnijoj traci ili za sve trake duž prilaza glavnoj traci. Znakovlje na VMS sustavima duž ceste te nadzemni znakovi mogu se koristiti kako bi ukazali koje trake su pod kontrolom mjerenja. Sustav se može implementirati tako da se dinamički izmjenjuju stanja bez kontrole mjerenja, gap metering samo na najdesnijoj traci i gap metering na svim trakama, na način da različite razine protoka pokreću različite sustave ponašanja;

- **Veličina razmaka:** Individualna implementacija koncepta sustava gap meteringa može varirati veličinom propusnog prostora vozila na glavnoj traci koji su vozila dužna propustiti. Već sama uputa vozačima da ostave razmak veličine jednog vozila je otvorena širokom krugu interpretacije koliki je prostor potreban kako bi se vozilo uključilo. Zbog toga je prethodno spomenuti sustav davanja povratne informacije u dijelu izvršenja jako bitan; pomaže vozačima podesiti razmak dok nije aproksimativno ujednačen. Osim metode postignutog razmaka kao povratne informacije, postignuto vrijeme također može biti alternativan prijedlog. Sustav mora moći podesiti zahtjeve za postizanje razmaka kako bi odražavao različite potrebe za razmakom na različitim lokacijama. Ako geometrija objekta dozvoljava dovoljan prostor ubrzanja takav da vozila koja se uključuju mogu dosegnuti brzinu ostalih vozila na glavnoj traci, potrebe za stvaranje ujednačenog razmaka mogu biti ostvarene. S druge strane, ako je razlika u brzini između vozila na glavnoj traci i vozila koje se uključuje značajna, sustav će zahtijevati veći razmak kako bi osigurao dodatan prostor za ubrzanje vozila koje se priključilo;

- **Strategija propuštanja**: Individualna implementacija sustava gap meteringa može varirati strategijom propuštanja koja je preporučena vozačima na glavnoj traci. Vozači na mjerenim trakama mogu podešavati razmak nakon što su propustili jedno vozilo koje se uključuje, zatvarajući razmak i ne dopuštajući ostalim vozilima da se uključe. Alternativa je da sustav preporuči vozačima na glavnoj traci kako podesiti razmak nakon uključivanja vozila ispred, da bi dopustili ostalim vozilima da se uključe na glavnu traku. Ovo može biti postignuto pomoću VMS sustava koji upućuje vozače da dozvole uključenje jednog vozila ispred sebe ili da ostave razmak veličine jednog vozila dok su na dijelu uključenja.

- **Stopa poslušnosti**: Stopa po kojoj vozači na glavnoj traci poštuju upute gap meteringa može značajno varirati, što uzrokuje različite utjecaje provedbe temeljene na tome koliko vozača prati upute gap meteringa. Znak s povratnom informacijom koji vozačima pokazuje duljinu razmaka, namijenjen je kako bi povećao stopu usklađenosti na način na koji to rade VMS bazirani znakovi za povratnu informaciju o brzini. No, ako gap metering nije pravno obvezujuća tehnika kontrole, postoji veća mogućnost da se neće postići visoka stopa usklađenosti radi nedostatka poštivanja uputa sustava.

Alternativni način mogao bi biti instalacija čitača registarskih oznaka u sustavu izvršenja. Čitač oznaka bi zabilježio vozila koja nisu poštovala upute sustava. Ukoliko vozači koji ne poštuju upute ne mogu biti kažnjeni, možda se može uvesti adekvatna motivacija u obliku niske cijene cestarine za vozače s visokom stopom usklađenosti.

Obvezivanje na koncept mjerenja razmaka može biti zahtjevno te se suočava s nekoliko prepreka. Prvo, dok agencije koje ne mogu kažnjavati neposlušnost vozača imaju autoritet pri regulaciji brzine, obvezivanje na održavanje razmaka među vozilima je vrlo malo vjerojatno. Postoji mogućnost da će biti potreban novi oblik zakonodavstva kako bi se implementirao sustav poput koncepta mjerenja razmaka. Bezvrijedno je dopustiti da koncept mjerenja razmaka padne u kategoriju neistraženih metoda za upravljanje aktivnim prometom. Postoje tri glavna kvantitativna parametra koja se mogu primijeniti na tok prometa na. To su: brzina, volumen i gustoća. Ostali sustavi kao varirajuća ograničenja brzine i sustav upozorenja o repovima, pomažu pri aktivnoj regulaciji brzine prometa. Ramp metering sustavi kontroliraju volumen prometa na priljevnim tokovima, postavljajući gornju granicu na broj vozila koja se mogu priključiti [8].

Mjerenje razmaka možemo opisati kao aktivnu regulaciju gustoće prometa na određenim segmentima prometnice. Početne studije pokazuju da nije potrebno podložiti glavnu traku svake ceste uputama gap meteringa kako bi bio viđen napredak. Razina vozača koji poštuju gap metering ne mora biti veća od 10% ili 15% kako bi se vidio značajan porast provedbe na objektu.

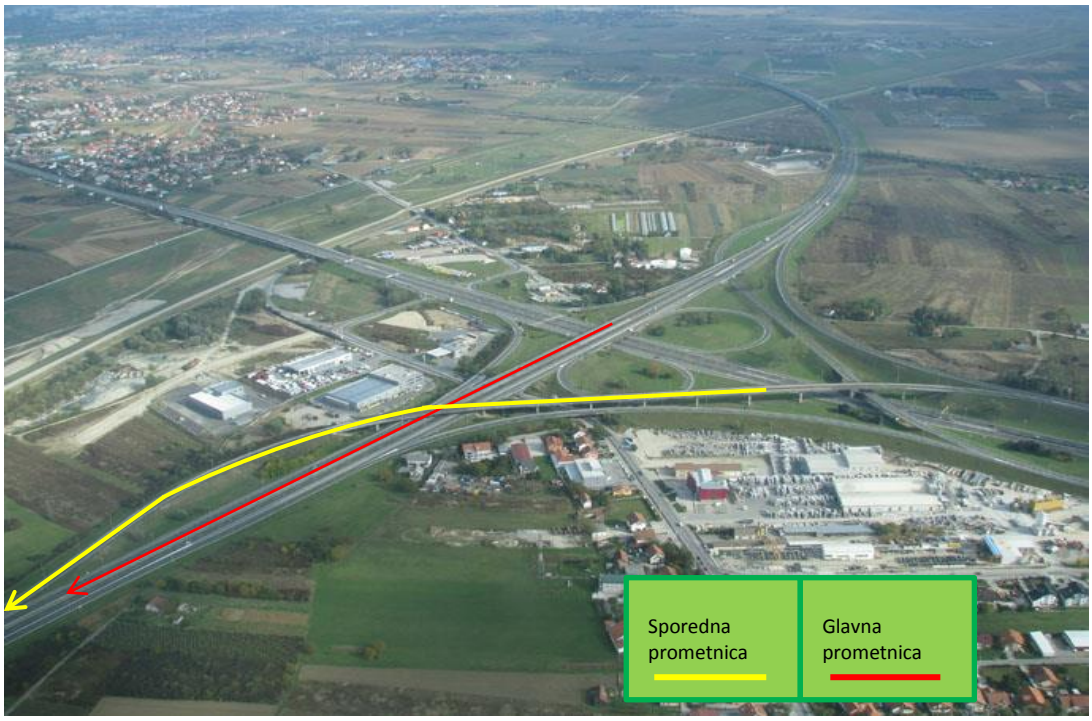
6. MOGUĆNOST IMPLEMENTACIJE KONCEPTA OGRANIČENJA BRZINE U REPUBLICI HRVATSKOJ

Kako je objašnjeno primjerima razvijenijih zemalja u prošlom poglavlju, koncept ograničenja brzine najučinkovitiji je kad se koristi na dionicama autocesta i brzih cesta. Republika Hrvatska kao zemlja sa više od 900 km autocesta stalno vodi bitku kako bi držala korak sa suvremenom tehnologijom i samim time poboljšala sigurnost i udobnost korisnicima autocesta. Glavni problem na autocestama javlja se u ljetnom razdoblju, pošto je Hrvatska zemlja s rastućim turizmom te se u tim razdobljima javlja nagli porast potražnje za povećanim kapacitetom prometnica. Kako bi se umanjio utjecaj nagle potražnje u obzir bi se trebalo uzeti više parametara, kao što su kontrola i brojanje prometa (zbog raspoznavanja najveće potražnje), kontrola priljevnih tokova (u slučaju da treba dati prednost vozilima na rampi), te kontrola spajanja prometnice (zbog ublaživanja pada kapaciteta). Opis rada spomenutih sustava dan je u poglavlju 5. Osim spomenutog, kao i u ostalim zemljama s brzim prometnicama tako i u Hrvatskoj, velika je stopa incidenata i smrtnih stradanja. Iako na incidente koji su se već dogodili nije moguće drastično utjecati, moguće je utjecati na njihov utjecaj na ostatak prometa smanjivanjem vremena od odaziva do raščišćavanja incidenta, harmonizacijom prometnog toka putem smanjenja ograničenja brzine i kontrolom voznih traka kako bi se smanjile razlike u brzinama između pojedinih traka.

6.1. Primjena promjenjivih prometnih znakova za kontrolu priljevnih tokova

Koncept ograničenja brzine koji koristi VSL za smirivanje prometa, kako smo mogli vidjeti na primjerima drugih zemalja, koristi se na dužim dionicama brzih cesta i autocesta. U slučaju kad je potrebno smanjiti brzinu vožnje kako bi se pospješila sigurnost i povećala protočnost na nadolazećem dijelu dionice na kojem je došlo do pada kapaciteta (zbog incidenata, radova na cesti ili naglog rasta kapaciteta). U Hrvatskoj, zbog priljeva vozača iz drugih zemalja, javlja se tzv. sezonski rast potražnje te zagušuje prometnice na mjestima naplata cestarine i na priljevnim tokovima na autocestama. Primjer takvog slučaja je jedan od najprometnijih naplatnih prolaza Lučko na autocesti A1 kojim prometuje većina vozila iz inozemstva na putu do mora. Povećana potražnja se u ovom slučaju javlja na priljevnom toku.

Primjer spomenute dionice prikazan je na slici 28. Na istoj slici je prikazano prometovanje na prometnici kada je potražnja relativno niska (prednost ima glavna prometnica) i prometovanje u sezoni kada je potražnja visoka (prednost bi se trebala pružiti sporednoj prometnici tj. priljevnom toku).



Slika 28. Cestovni čvor Lučko *[Izvor: http://www.hac.hr]*

Problem se javlja na priljevnom toku zbog neadekvatnog upravljanja odnosno nedostatka tehničkih i tehnoloških sredstava. Naime, kako bi se pospješio prometni tok, prednost se daje sporednom prilazu koji traži veći kapacitet sužavanjem glavne prometnice. Kako smo vidjeli iz primjera nekih europskih zemalja i Australije, tu ima još mjesta za poboljšanje prometnice i povećanje njenog kapaciteta.

Jedno od rješenja je primjena koncepta ograničenja brzine u suradnji s kontrolom spajanja prometnice i kontrolom trakova. Kako se sporedna prometnica zapravo nalazi na produžetku zagrebačke obilaznice moguće je na većem dijelu dionice implementirati VSL-ove za smanjenje brzine pri prilasku priljevnom toku da bi se smanjili šok valovi, a time i repovi na priljevnom toku. Nadalje, bilo bi poželjno na glavnu prometnicu ugraditi VSL i VMS znakove s preporukama o brzini te nadolazećem prestrojavanju zbog davanja prednosti sporednom,

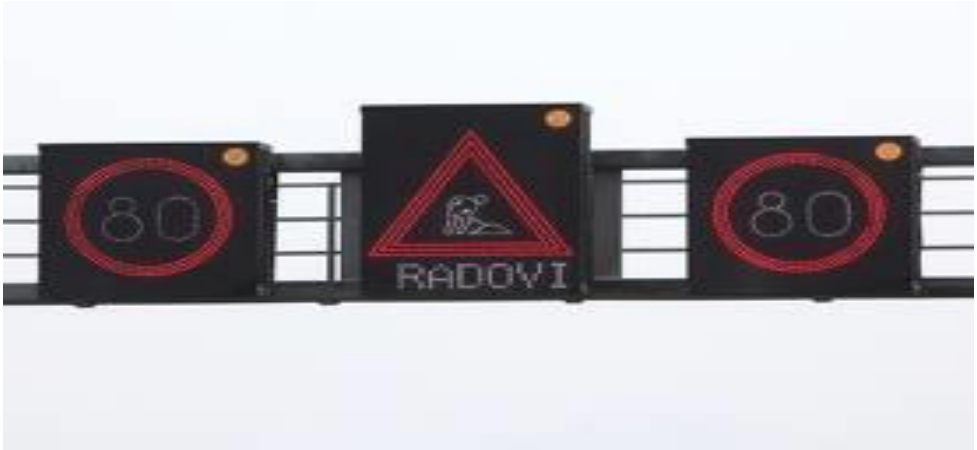
priljevnom toku. Nakon spajanja prometnica postoji dionica dužine 2 km na kojoj bi se mogao primijeniti koncept kontrole trakova čime bi se izjednačile brzine između trakova, te bi se smanjenjem broja prestrojavanja povećala brzina trakova i sigurnost.

Iako korisna, kontrola priljevnih tokova ovdje ne bi bila od velike pomoći pri optimizaciji prometa. Zbog velikog priljeva vozila s rampe nije poželjno prekidati slobodan tok na priljevnom toku, jer izaziva reakcije kao što su nagla i učestala stajanja, što za rezultat daje povećan rizik od stražnjih naleta i sudara.

6.2. Primjena promjenjivih prometnih znakova u slučaju incidenta ili radova na cesti

Kad se pojavi incidentna situacija, većih ili manjih razmjera, u većini slučajeva dolazi do naglog pada kapaciteta prometnice. Kako je incident slučajne prirode i nemoguće ga je predvidjeti tako ga je nemoguće i spriječiti, no moguće je zaustaviti širenje negativnog utjecaja na daljnji prometni tok. Primjena koncepta ograničenja brzine u slučaju incidenta od velike je važnosti jer zajedno s uporabom VML-a i kontrolom spajanja traka čini jedan od važnijih segmenata u upravljanju incidentima. Korištenje VSL-ova u slučaju incidenta smanjuje mogućnosti sekundarnih incidenata te pospješuje prometni tok podižući srednju brzinu vozila. Prednosti uporabe VML sustava pospješuju smirivanje prometa ne samo s tehničkog aspekta, već smiruju vozače, što podiže svijest o prometnoj situaciji, toleranciju, i omogućuje vozaču da adekvatno reagira, tj. da prilagodi vožnju i ponašanje sukladno stanju na prometnici.

Kao što je već spomenuto, nadogradnja ovom konceptu može biti kontrola spajanja trakova ako je prometnica adekvatno opremljena. Veći utjecaj na promet ima uporaba takvih VSL-ova u svrhu pospješivanja prometa zbog radova na cesti. U tom slučaju pri raščlanjivanju prometa potrebno se voziti manjim brojem prometnih trakova što znači da je kapacitet prometnice smanjen. Uporaba VMS-a zajedno sa VSL sustavom može koristiti u svrhu boljeg informiranja vozača kako je prikazano na slici 29.



Slika 29. VSL znakovi sa dodatnim informiranjem vozača putem VMS-a *[Izvor http://www.prometna-signalizacija.com]*

6.3. Primjena promjenjivih prometnih znakova za kontrolu vremenskih uvjeta

Mogućnost primjene VSL-a za vremenske uvjete ima za zadaću potaknuti vozača na prilagodbu brzine radi nepovoljne situacije na prometnici uzrokovane vremenskim uvjetima. Cestovne meteorološke postaje otkrivaju i analiziraju potencijalno opasne situacije na cesti i prenose potrebna upozorenja na VSL i VMS-ove za obavještavanje sudionika u prometu. Meteorološke postaje postavljaju se za mjerenje podataka o vremenskim uvjetima na i oko ceste. Mjerna postaja sastoji se od centralnog mikroprocesorskog uređaja te kolničkih i atmosferskih osjetila. Centralni mikroprocesorski uređaj prikuplja i obrađuje podatke s mjernih sondi i na osnovi toga daje slijedeće signale:

- izračunatu točku smrzavanja na kolniku;
- potrebnu količinu sredstava za odleđivanje kolnika;
- upozorenje i alarm povećanog rizika prisutnosti poledice, leda, mraza ili smrznutog snijega.

Na osnovi mjernih signala s osjetila i ugrađenih algoritama, uređaj razlikuje slijedeća stanja: nema padalina, ima padalina (kiša, snijeg, tuča), te daje informaciju o intenzitetu

padalina. Instaliran je i algoritam za aproksimaciju visine snijega. Isti uređaj daje kontinuirani signal koji je mjera za vidljivost. Uređaj radi na principu refleksije infracrvenoga zračenja. Mjerilo je opremljeno grijačem za zimske uvjete rada. Slika 30. prikazuje primjer uporabe VSL-a za kontrolu vremenskih uvjeta.

Slika 30. VSL za kontrolu vremenskih uvjeta *[Izvor: http:www.telegra-europe.com]*

Prikupljeni podaci pomažu službama za održavanje cesta i gospodarenje cestama, posebice u zimskim uvjetima. Posljedice nekih vremenskih neprilika kao što je poledica moguće je minimalizirati ako se na vrijeme odazove i reagira, dok je za minimaliziranje ostalih posljedica zaslužan vozač kojeg treba informirati o stanju na cestama, za što koristimo VMS te preporučiti brzinu putem VSL-a.

7. ZAKLJUČAK

Vođenje prometa predstavlja jedno od ključnih područja prometnog inženjerstva i od posebnog je interesa za ITS. Tijek razvoja inteligentnog sustava upravljanja prometom i transportom počinje potrebama odnosno zahtjevima korisnika. Nakon identifikacije tih potreba stvara se arhitektura sustava, razrađuje se detaljan dizajn sustava, testiraju se prototipovi te slijedi implementacija.

Koncept ograničenja brzine koristi ITS aplikacije za optimiziranje prometa bez fizičke nadogradnje. Uporabom koncepta ograničenja brzine zajedno s konceptima poput kontrole priljevnih tokova, kontrole spajanja traka i koncepta mjerenja razmaka mogu se postići višestruka poboljšanja. U smislu protočnosti prometa i bržeg prometovanja odnosno smanjenja vremena putovanja, ne umanjujući sigurnost prometnice. Skup ovih aplikacija ima za zadaću pospješiti promet u situacijama kad je došlo do nekog incidenta ili radova na cesti, ali i smanjiti mogućnosti od novih incidenata zbog vremenskih neprilika. Krajnja mogućnost korištenja ovog sustava je u svrhu smanjenja onečišćenja okoliša.

Smjernice implementacije ovih sustava predstavljene su u projektima Europske unije kojoj je u cilju povećati operativnu uniformiranost sustava u svim svojim zemljama. Imajući smjernice kao temelj implementacije, mnoge zemlje koriste sustav kako bi poboljšale promet u svim segmentima.

Kako i u drugim zemljama tako i u Hrvatskoj veliki problem predstavlja neposlušnost vozača pri prilagodbi sustava, što onemogućuje pravilan rad sustava, tj. nemoguće je iskoristiti koncepte u punom smislu i optimizirati prometnice kako bismo željeli. Da bi se takvi slučaji izbjegli ili doveli na minimum potrebno je u što većem broju educirati vozače te ponekad uključiti i sankcije ili nagrade za nepoštivanje ili poštivanje regulativa. Hrvatska kao članica Europske unije ima otvorena vrata ka boljem i sigurnijem prometovanju. Tehnološki opremljene prometnice omogućavaju nam da držimo korak sa razvijenijim zemljama svijeta te bi se uporabom novih saznanja i koncepata mogli približiti razini prometovanja na kojoj su oni čime bi se omogućio siguran promet i u bližoj budućnosti održiv prometni rast.

LITERATURA

[1] Bošnjak, I. Inteligentni transportni sustavi - ITS 1. Zagreb: Fakultet prometnih znanosti, 2006.

[2] Jiang, R., Chung, E., Lee, J., Variable Speed Limits: Conceptual Design for Queensland Practice Smart Transport Research Centre, Faculty of Built Environment and Engineering Queensland University of Technology (2011.)

[3] Traffic Management Services - Variable speed limits deployment guideline tms-DG02 /version 02-00-00/ December (2012.)

[4] Vägverket Swedish Road Administration, Variable speed– in a nutshell extended summary (2008.)

[5] Stoelhorst, H., Schreuder, M., Polderdijk, S. Summary results of Dutch field trials with dynamic speed limits (Dynamax), Rijkswaterstaat Centre for Transport and Navigation Delft, The Netherlands (2010.)

[6] Šehagić, N., autorizirana predavanja o propusnosti prometnih tokova, Telegra d.o.o. (2015.)

[7] Pesti, G., Wiles, P., Chu, R., Songchitruksa, P., Shelton, J., Cooner, S., Traffic Control Strategies for Congested Freeways And Work Zones. Texas Transportation Institute (2008.)

[8] DeGaspari, M., Evaluation of the Mobility Impacts of Proposed Ramp Metering and Merge Control Systems: An Interstate 35 Case Study, The University of Texas at Austin (2012.)

[9] Svrtan, H. Europska komunikacijska arhitektura- seminarski rad. Zagreb: Fakultet prometnih znanosti, (2014.)

[10] Lee, B., Chung, E. Managed motorways project, Literature Review Report Brisbane: Smart Transport Research Centre (2011.)

[11] Nissan, A. Evaluation of Variable Speed Limits: Empirical Evidence and Simulation Analysis of Stockholm's Motorway Control System-Doctoral Dissertation Royal institute of Technology Stockholm, Sweden (2010.)

[12] Texas Transportation Institute Mobility Investement Priorities: Dynamic Merge Control., Strategies Mobility Investment Priorities: http://mobility.tamu.edu/mip/strategies.php. (siječanj 2012.)

[13] http://www.hac.hr (kolovoz 2015.)

[14] http://www.prometna-signalizacija.com (lipanj 2015.)

[15] http://www.telegra-europe.com (srpanj 2015.)

POPIS SLIKA

Slika 1. Klasični razvoj kompleksnog sustava 3
Slika 2. Evolutivni razvoj ITS sustava 4
Slika 3.Tok razvoja arhitekture 5
Slika 4. Primjer logičke arhitekture 7
Slika 5. Aspekti ITS arhitekture 8
Slika 6. Prikaz komunikacijske mreže 9
Slika 7. Povećanje brzine prometnice primjenom VSL-a 10
Slika 8. DATEX II profil- lokacija VSL-a i dužina dionice pokrivene VSL-om 15
Slika 9. DATEX II profil- vrsta vozila koja se kontroliraju VSL-om 16
Slika 10. Obavezni i savjetodavni VSL znak 17
Slika 11. Preporučeni razmak VSL-a na prometnici 18
Slika 12. Znak za završetak reguliranog dijela prometnice 20
Slika 13. Učinci smanjenja brzine prije i poslije postavljanja VSL-a 23
Slika 14. Prometna brzina prije i poslije postavljanja VSL-a za detekciju vremenskih uvjeta 26
Slika 15. Prometna brzina prije i poslije postavljanja VSL-a za kontrolu prometa 27
Slika 16 Table sa znakovima za početak dionice (lijevo), elektronički rotirajući znakovi (desno) 29
Slika 17. Znakovi obavijesti sa objašnjenjima iznad prometnice 30
Slika 18. Prikaz brzina ovisno o kapacitetu prometnice 32
Slika 19. Brzine za vrijeme povećanja i smanjenja prometne potražnje 36
Slika 20. Krivulje odnosa brzine i protočnosti 37
Slika 21. Pravilno postavljanje VSL-a za rješavanje problema repova 38
Slika 22. Lokacija simuliranog incidenta 41
Slika 23. Konture brzina bez i sa VSL-om 41
Slika 24. Princip rada sustava priljevnih tokova 45
Slika 25. Detektori na rampi 46
Slika 26. Kasno prestrojavanje u uvjetima slabog zauzeća prometnice i jakog zauzeća prometnice 49
Slika 27. Kontrola spajanja traka u interakciji sa kontrolom priljevnih tokova 50
Slika 28. Cestovni čvor Lučko 56
Slika 29. VSL znakovi sa dodatnim informiranjem vozača putem VMS-a 58
Slika 30. VSL za kontrolu vremenskih uvjeta 59

POPIS TABLICA

Tablica 1. Učinci primjene VSL sustava u Nizozemskoj 34
Tablica 2. Učinci VSL-a za harmonizaciju brzine 40