

## Istraživanja mogućnosti primene FCD sistema u Beogradu

MARKO K. NIKOLIĆ, Univerzitet u Beogradu,

Saobraćajni fakultet, Beograd

JADRANKA J. JOVIĆ, Univerzitet u Beogradu,

Saobraćajni fakultet, Beograd

SMILJAN M. VUKANOVIĆ, Univerzitet u Beogradu,

Saobraćajni fakultet, Beograd

Pregledni rad

UDC: 656.13.07

DOI: 10.5937/tehnika1505845N

*Float Car Data sistem (FCD) predstavlja relativno novu metodologiju utvrđivanja i prognoziranja vremena putovanja vozila duž linkova, pomoću podataka prikupljenih od strane vozila opremljenih uređajima za lociranje pozicije vozila. Pilot istraživanje, koje je u ovom radu predstavljeno, obuhvata podatke dobijene poštanskim vozilima opremljenim GPS uređajima. Kao rezultat analize, dobijene su veličine parametara pokrivenosti primarne i sekundarne putne mreže, prostorna raspodela, ukupan broj očitavanja tokom definisanih vremenskih intervala i minimalni broj vozila koji je neophodno uključiti u sistem Float Car Data u Beogradu. Dobijeni rezultati istraživanja su pokazali da je vrednost ovih parametara ispod granica preporučenih vrednosti, ustanovljenih na osnovu uvida u literaturu, kao i da trenutni broj poštinskih vozila nije dovoljan da bi se uspostavio pouzdan sistem procene vremena putovanja u realnom vremenu, na uličnoj mreži Beograda.*

**Ključne reči:** procena vremena putovanja, pokretni detektori, float car data, GPS podaci, poštanska vozila

### 1. UVOD

Porast broja stanovnika, rast kupovne moći i sve veći broj različitih aktivnosti, uslovio je konstantan rast potrebe stanovništva za kretanjem. Transportni zahtevi tokom dana nisu ravnomerno raspoređeni i gradovi se suočavaju sa manjkom kapaciteta ulične mreže. Zbog urbanog sadržaja, često se ne mogu proširiti postojeći kapaciteti ulične mreže, a neretko takve mere nisu ekonomski opravdane i rezultiraju znatnim finansijskim ulaganjima. U pojedinim situacijama mogu prouzrokovati i neželjene efekte u vidu odlaganja i „premeštanja“ problema (generisanje novih transportnih zahteva).

Kako bi se postojeći resursi iskoristili, uvode se strategije koje dovode do bolje vremenske i prostorne raspodele transportnih zahteva. Prilikom odabira ovih strategija, neophodno je obezbediti ulazne podatke za vrednovanje trenutnih i prognozu budućih uslova u saobraćaju.

Do kraja devedesetih, podaci su uglavnom dobi

jani uređajima za automatsko detektovanje vozila i snimanje saobraćajnih uslova. S obzirom da su informacije o uslovima u saobraćaju dobijane merenjima sa fiksnih tačaka na mreži, bila su potrebna znatna finansijska ulaganja da bi se ulična mreža "pokrila" ovim uređajima.

Sve učestaliji zahtevi korisnika u pogledu aktuelnosti, pravovremenosti, korisnosti i preciznosti informacija, uslovili su potrebu za jeftinijim i dinamičnijim načinom prikupljanja i obrade podataka. Jedan od tih načina jeste sistema sa „pokretnim detektorima na mreži“, odnosno FCD (eng. Float Car Data) sistem.

Naziv FCD opisuje način prikupljanja podataka na posmatranom području. Vozila opremljena uređajima za navigaciju i bežičnu komunikaciju, u određenim vremenskim intervalima beleže i šalju podatke (trenutna longituda i latituda, vreme itd.) ka glavnom centru (serveru), gde se na osnovu njih vrši procena odnosa  $Q/K$  i vremena putovanja na posmatranim linkovima.

Razvojem tehnologije, pre svega na polju informatike i komunikacije, uređaji za navigaciju i bežičnu komunikaciju postaju sve popularniji i poseduje ih sve veći broj komercijalnih vozila. S obzirom da operateri (taksi službe, pošta, vozila masovnog prevoza putnika

Adresa autora: Marko Nikolić, Univerzitet u Beogradu, Saobraćajni fakultet, Beograd, Vojvode Stepe 305  
Rad primljen: 08.07.2015.

Rad prihvaćen: 20.08.2015.

i dr.) neretko poseduju flotu vozila opremljenu uređajima za bežičnu komunikaciju i snimanje GPS pozicije, stvorili su se uslovi za implementaciju FCD sistema korišćenjem ovih vozila.

## 2. PREGLED LITERATURE

Dvadesetih godina prošlog veka, vršena su prva snimanja i merenja vremena putovanja pomoću vozila koja su nazivana „sonde“. Ideja o korišćenju vozila-sondi u funkciji pokretnih detektora, javila se i 1980-ih godina, ali je tada implementacija ove tehnologije bila skupa [7]. Prva FCD aplikacija datira iz 1991. godine, kada je ADVANCE (Advanced Driver and Vehicle Advisory Navigation Concept) pokrenula istraživanje sa ciljem prikupljanja podataka, korišćenjem navigacionih sistema u vozilima [1].

Krajem devedesetih godina i početkom novog milenijuma, uređaji za navigaciju i bežičnu komunikaciju postaju sve dostupniji. Sprovodi se sve veći broj istraživanja korišćenjem FCD sistema u gradovima širom sveta i to u Berlinu, Minhenu, Nurnbergu, Štutgartu, Beču, Ningbou itd.

Ralf-Peter i Thiessenhusen su u nemačkim gradovima vršili prva istraživanja sa većim brojem vozila [5]. Oni su, maja 2001. godine, implementirali FCD sistem u Berlinu, na osnovu podataka prikupljenih od strane 300 taksi vozila. Rezultati istraživanja su pokazali da je pomenuta strategija dobra zamena za konvencionalne fiksne detektore. U Hamburgu su 2006/2007. godine vršena ispitivanja koja su pokazala da su podaci prikupljeni od strane 700 taksi vozila verodostojni i da se mogu koristiti u dinamičkim modelima za prognozu prosečnih vremena putovanja [6].

Istraživanje u kineskom gradu Ningbo, ukazala su da se nakon 5 minuta snimanja rapidno povećava pokrivenost oblasti validnim podacima, dobijenih od strane vozila. Rezultati dobijeni od strane taksi vozila su korišćeni prilikom procena vremena putovanja na kraćim segmentima (do 3 kilometara) i upoređeni su sa realnim podacima prikupljenih test vozilima. Dobijeni rezultati ukazuju da je greška prilikom procene vremena putovanja manja od 10%, ali i da je dužina od 3 kilometra kritična vrednost veličine segmenta, s obzirom da kraći segmenti dovode do većih grešaka u procenama [2].

Druga generacija FCD sistema uključuje vozila opremljena sa većim brojem senzora, uređaja i kamera. Raznovrsnijim podacima je pružen viši nivo detaljnosti u pogledu pruženih informacija, nego ranijim sistemima. U literaturi se ovaj sistem naziva Extended Float Car Data (XFCD) i odnosi se na količinu i vrstu različitih podataka koji se prate i snimaju. BMW Group je implementirala XFCD sistem, koji pored

saobraćajnih uključuje i vremenske uslove. Vozila su beležila podatke o brzinama kretanja, statusu brisača i farova, aktivnostima kočnica, kao i podatke dobijene od strane sistema za kontrolu stabilnosti i navigaciju. Program je potom na osnovu ovih i vremenskih podataka vršio procenu saobraćajnih uslova i u slučaju ekscenih situacija upozoravao centar i ostale učesnike o mogućim zagušenjima i opasnostima.

U Trentu u Italiji, razvijan je DATA FUSION sistem, koji pored podataka, razmatra i slike dobijene kamerama instaliranim na vozilu [3]. Ovim kamerama se mogu pouzdano detektovati prepoznatljivi oblici, kao što su znakovi upozorenja (radovi na putu), odnosno može se detektovati rastojanje sleđenja i brzina kojom se vozilo ispred kreće, na osnovu čega se definiše trenutno nivo usluge na mreži.

## 3. POKRETNI DETEKTORI

Pokretni detektori se dele na vozila opremljena GPS uređajima i na vozila opremljena „pametnim“ mobilnim telefonima. Float car data predstavlja sistem vozila opremljen GPS uređajima, koji su precizni ali ih ujedno i poseduje manji broj vozila.

Obično se u svrhu pokretnih detektora koriste komercijalna vozila, pri čemu su mnoga istraživanja pokazala da su taksi vozila najpogodnija za implementaciju ovog sistema. Ipak, potrebna je doza obazrivosti prilikom vrednovanja rezultata dobijenih od strane taksi vozila, s obzirom na činjenicu da su ovi vozači prilikom izbegavanja zagušenja generalno sposobniji od većine učesnika u saobraćaju, kao i da se u nekim situacijama ovim vozilima dozvoljeno da koriste žutu traku.

Floating cellular data predstavlja novi vid prikupljanja podataka, korišćenjem mobilnih mreža (CDMA, GSM, UMTS, GPRS). Prednost ovog sistema je u tome da veliki broj vozila može učestvovati prilikom prikupljanja podataka. Mana sistema jeste preciznost uređaja, čija je pouzdanost manja od GPS uređaja čime se javlja potreba za složenijim algoritmima tokom lociranja vozila na digitalnoj uličnoj mreži. Podaci se prikupljaju metodom triangulacije, tako da se na osnovu jačine signala, dobijenih od strane različitih antena mobilnih operatera, rekonstruiše pozicija vozila.

Sistem pokretnih detektora se može podeliti u šest faza: prikupljanje podataka, dekodiranje i filtriranje podataka, obrada prikupljenih podataka, analiza i interpretacija rezultata, skladištenje podataka i distribucija bitnih informacija ka korisnicima.

Informacije dobijene korišćenjem pokretnih detektora se distribuiraju korisnicima putem dodatnih opcija na GPS uređajima, mobilnim aplikacijama, digitalnim saobraćajnim znakovima i servisa informisanja.

Prednosti FCD sistema su: detaljan nivo informacija, pokrivenost velikog dela ulične mreže, kompatibilnost sa mnogim izvorima informisanja, ekonomska isplativost, izvor detaljnih informacija o izvorima i ciljevima kretanja itd. Pored ovih prednosti potrebno je istaći i mane ovih strategija, koje se ogledaju u činjenici da rezultati zavise od osobina uzorka koji nam šalje podatke i nemogućnosti da se dobiju direktni podaci o gustini i protoku saobraćaja. Uzimajući u obzir navedene prednosti i mane, dolazi se do zaključka da su najbolje strategije koje uključuju podatke dobijene od strane pokretnih i fiksnih detektora, čime se pokrивaju mane svakog od sistema, dok dobijeni rezultati preciznije oslikavaju trenutno stanje u saobraćaju.

#### 4. OBRADA PODATAKA

Svi podaci dobijeni pomoću GPS uređaja se filtriraju, kako bi se uklonili netačni i nerealni podaci, nastali usled uticaja okoline i nesavršenih hardverskih i softverskih sistema. Nakon toga se iz preostalih podataka eliminišu oni koji nisu verodostojni, odnosno kojim se ne oslikava uobičajno kretanje učesnika u saobraćaju.

Pretpostavke i iskustva ukazuju da se ukupno odbaci oko 10-20% podataka, s tim da ovaj procenat predstavlja samo ilustrativan prikaz i zavisi od metodologije snimanja i obrade podataka [4].

Nakon filtriranja, mapmatching algoritima se vrši rekonstrukcija stvarne pozicije i trase kretanja vozila. Na osnovu načina rekonstrukcije stvarne trajektorije vozila, razlikujemo algoritme bazirane na proučavanju geometrije, topologije i verovatnoće. Geometrijski algoritmi su jednostavni i brzi, uzimaju u obzir oblik ulica i koriste informacije o prostornom rasporedu linkova na mreži. Potrebno je obratiti posebnu pažnju prilikom odabira algoritma, s obzirom da kod kružnih i običnih raskrsnica, kao i kod paralelnih ulica, jednostavniji tipovi geometrijskih algoritama pružaju relativno netačne rezultate.

Tokom snimanja postoje linkovi koji nisu pokriveni sa dovoljnim brojem podataka. Tada se vrednosti procenjuju na osnovu ranije utvrđenih podataka, pri čemu se vodi računa o trenutnim uslovima u saobraćaju, odnosno satu i danu u nedelji. Podaci koji se arhiviraju moraju biti pouzdani i visokog kvaliteta i samo se podaci sa preciznih GPS uređaja koriste prilikom formiranja ovih baza. Procena brzine putovanja na osnovu ranije utvrđenih podataka se može izraziti na sledeći način

$$\hat{g}(i, j) = \frac{\sum_{t \in (i, j)} l_{ij}(t)}{\sum_{t \in (i, j)} t_{ij}(t)} \quad (1)$$

$l_{ij}$  – rastojanje između dve GPS pozicije, na linku  $j$  tokom  $i$  sata u nedelji

$\hat{g}(i, j)$  – procenjena brzina na čvoru  $j$  tokom  $i$  sata

$t_{ij}$  – vremenski period između dva GPS pozicije, na linku  $j$  tokom  $i$  sata u nedelji

Problem ovih procene je u pretpostavci da mi već posedujemo podatke sa posmatranog linka, tako da se pri implementaciji sistema, kada podaci još nisu poznati, ove veličine procenjuju na osnovu tuđih iskustava ili na osnovu pilot istraživanja. Prilikom svakog snimanja podaci se ažuriraju novim, a baza podataka se samim tim povećava.

#### 5. PILOT ISTRAŽIVANJE

Flota koja je ovim istraživanjem obuhvaćena se sastoji od 220 vozila opremljenih GPS uređajima i senzorima pošte Beograd. Ukupno 168 vozila vrši dostavu i prijem pošiljaka i ta vozila svoja kretanja vrše unutar granica unapred definisanih reona. Nasuprot njima, ostala 52 vozila su namenjena prevozu poštanskog materijala između poštanskih objekata, po definisanim trasama i po tačno projektovanim vremenima polaska.

Prosečan vremenski interval između dva odziva GPS uređaja je 15 sekundi. Vrste podataka koje se snimaju putem ovih uređaja i senzora su: pozicija vozila, vreme očitavanja pozicije vozila, brzina vozila, promena nivoa goriva u rezervoaru, trenutak uključivanja/isključivanja motora, trenutak otvaranja/zatvaranja vrata vozila.

Podaci se prikupljaju od strane komandnog centra, odnosno putem računarskog servera za skladištenje podataka. Pristup podacima je omogućen posebnom aplikacijom, uz pomoć koje se mogu generisati različiti izveštaji o prekoračenju brzine, mirovanju vozila, promeni nivoa goriva, pređenom putu, kao i vizuelnom prikazu trase kretanja vozila na vektorskoj mapi. U ovom istraživanju su podaci prikupljeni putem navedene aplikacije, i to izveštajima o poziciji vozila, mirovanju i pređenom putu.

Na osnovu analize transportnog rada i ukupnog vremena rada vozila, tokom pojedinačnih dana u odabranoj nedelji snimanja, izabran je merodovan dan istraživanja. Pomoću rezultata dobijenih tokom merodavnog dana sagledane su mogućnosti primene sistema pokretnih detektora, odnosno FCD sistema primenom podataka prikupljenih poštanskim vozilima.

Rezultati su ukazali da između posmatranih dana ne postoje velika odstupanja u vrednostima transportnog rada, i ukupnog vremena kretanja vozila. Tokom posmatrane sedmice, transportni rad je varirao u rasponu od 9.000 do 10.300 pređenih kilometara. Prosečan obim transportnog rada je iznosila 9.772 km, dok

je u proseku bilo potrebno 345 h da bi se navedeni transportni rad obavio. Prosečne vrednosti najpribližnije opisuju vrednosti postignute dana 07. april 2014. godine, kada je transportni rad iznosio 9734 km i kada je ukupno vreme putovanja svih vozila iznosilo 342 h.

S obzirom da se reoni i trase vozila tokom nedelje ne menjaju, analizom merodavnog dana mogu se sagledati osnovne karakteristike i ostalih radnih dana u nedelji. Za merodavan dan je izabran 07. april 2014. godine, u skladu sa činjenicom da su vrednosti postignute tog dana, najpribližnije utvrđenim dnevnim prosečnim vrednostima, tokom odabrane kalendarske sedmice.

Prikupljeni podaci sadrže informaciju o vremenu odziva GPS uređaja, poziciji vozila (latituda/longituda), trenutnoj brzini i indentifikacionom broju vozila. Obrada GPS podataka je izvršena korišćenjem Microsoft Excell programa. Takođe, podaci su obrađeni i korišćenjem aplikacija „ExpertGPS“ i „ArcGIS“, gde je izvršena projekcija GPS pozicija vozila na vektorsku podlogu ulične mreže, nakon čega su rekonstruisane rute kretanja vozila.

Za merodavni dan prikupljeni su podaci za vremenski period od 06:30 do 18:30 časova, koji je podeljen na šest jednakih vremenskih celina. Za svaka dva sata napravljen je vremenski presek, na osnovu kojeg je izvršena analiza podataka.

## 6. POTREBAN BROJ VOZILA

Određivanje potrebnog broja vozila (sondi) predstavlja bitan aspekt prilikom projektovanja FCD sistema. Manji broj vozila povećava mogućnost odabira odgovarajuće flote (komercijalni vozni park) i ujedno smanjuje vreme i resurse potrebne za prikupljanje i obradu podataka. Dužina vremenskog perioda snimanja, minimalan broj prolazaka vozila po linku i željeni procenat pokrivenosti posmatrane mreže pouzdanim podacima direktno utiču na potreban broj vozila.

Da bi se vreme putovanja pouzdano odredilo, potrebno je definisati minimalan broj prolazaka  $n$  kroz određeni link. Borisavljević (2000) u svom istraživanju navodi nekoliko načina za definisanje veličine potrebnog uzorka, od kojih se po rečima autora, u praksi najčešće koristi metod određivanja uzoraka korišćenjem empirijske disperzije

$$S^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{t=1}^n (x_t - \bar{X})^2. \quad (2)$$

$S$  – centralna ocena disperzije

$n$  – veličina uzorka

$x_t$  – izmerene vrednosti merene veličine

$\bar{X}$  – aritmetička sredina merene veličine

Broj elemenata potrebnog uzorka  $n$  se određuje na osnovu intervalne ocene srednje vrednosti

$$P(\bar{X} - L < \mu < \bar{X} + L) = 1 - \alpha. \quad (3)$$

$L$  – polovina dužine intervala pouzdanosti

$(1-\alpha)$  – koeficijent pouzdanosti

$\mu$  – srednja vrednost

Obrazac za parametar  $n$  se može formulisati na sledeći način

$$n = \frac{(t^{(k)})^2 S^2}{L^2}. \quad (4)$$

$t^{(k)}$  – veličina koja podleže studentovoj raspodeli, sa  $k$  stepena slobode

Karthik i Paul (2007) navode da se vrednost  $n$  može dobiti uz pretpostavke da vreme putovanja vozila teže normalnoj raspodeli [4]. Uzimajući u obzir navedenu pretpostavku, maksimalnu dozvoljenu vrednost greške  $\epsilon_{max}$  i meru pouzdanosti  $r$ , vrednost parametra  $n$  iznosi

$$n = \left( \Phi^{-1} \left( \frac{1-r}{2} \right) / \left( \epsilon_{max} \frac{\mu}{\sigma} \right) \right)^2. \quad (5)$$

$\Phi$  – kumulativna funkcija raspodele

$\mu$  – srednja vrednost vremena putovanja

$\sigma$  – disperzija vremena putovanja

May (1990.) navodi da se koeficijent varijacije „kreće“ u opsegu od 0,08 do 0,17 i za vrednosti  $r = 95\%$  i  $\epsilon_{max} = 10\%$  se dobija da vrednost  $n$  iznosi od 2 do 11 prolazaka vozilom kroz pojedinačni link [8].

Nakon definisanja parametra  $n$ , potrebno je definisati broj vozila (sondi)  $N$ , koji pored vrednosti parametra  $n$  zavisi od vremenskog perioda snimanja  $t$  i od željenog procenta pokrivenosti ulične mreže  $p$ . Procenat pokrivenosti  $p$  zavisi od parametara  $n$ ,  $N$  i  $t$ , kao i od karakteristika ulične mreže i kretanja vozila.

Karthik i Paul [4] u svom istraživanju predlažu model za određivanje vrednosti  $N$

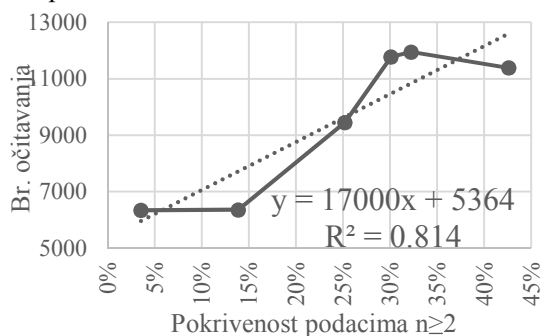
$$\log N = a + b \log n + c \log p + d \log t + \epsilon \quad (6)$$

pri čemu se koeficijenti  $a$ ,  $b$ ,  $c$  i  $d$  kalibrišu putem simulacija i vrednosti izvorno ciljnih matrica kretanja, dok  $\epsilon$  predstavlja dozvoljenu grešku prilikom procene vrednosti  $N$ .

U literaturi se preporučuju da je broj vozila potrebno odrediti tako da se, tokom vremenskog perioda snimanja u trajanju od 10 minuta, podacima pokrrije od 60% do 80% ulične mreže sa bar dva prolaska vozila po linku.

Borisavljević V. (2000) navodi da je veličinu uzorka potrebno odrediti grubom procenom donesenom na osnovu iskustva, u slučajevima kada ne postoje

rezultati pilot istraživanja koje bi pomoglo prilikom određivanja njegove veličine [13]. U skladu sa činjenicom da je za procenu broja vozila u Beogradu potrebno organizovati obimno pilot istraživanje sa ciljem dobijanja podataka o broju potrebnih vozila kako bi se pokrilo 60% ulične mreže, procenu ćemo doneti na osnovu postojećih podataka snimljenih posredstvom poštanskih vozila (slika 1). Zavisnost između broja očitanih GPS podataka i procenta pokrivenih linkova sa  $n \geq 2$  broja prolaza, tokom definisanih vremenskih celina, nam može ukazati na potreban broj GPS očitavanja kako bi se 60% mreže pokrilo sa dva ili više paketa podataka.



Slika 1 – Linearna zavisnost broja očitavanja od pokrivenosti mreže podacima

Na osnovu jednačine (7), koja je dobijena regresionom analizom, utvrđen je ukupan potreban broj očitavanja  $y$  (broj GPS očitavanja) kada vrednost  $h$  iznosi 60%. Ukupan broj očitavanja GPS podataka pojedinačnog vozila, tokom preporučenog vremenskog perioda (u trajanju od 10 minuta), iznosi  $y_h = 40$  paketa podataka, s obzirom da je vremenski interval između dva očitavanja u proseku  $t_o = 15$  sekundi (vremenski razmak između dva očitavanja GPS uređaja kod posmatranih vozila).

Podelom ukupnog broja potrebnih podataka  $y$  sa vrednošću  $y_h$  dobija se da je u periodu od 10 minuta potrebno obezbediti  $N = 390$  vozila kako bi se pokrilo 60% mreže kada  $n$  iznosi bar dva broja prolaska.

$$y = 17000 x + 5364. \quad (7)$$

$y$  – ukupan broj očitavanja

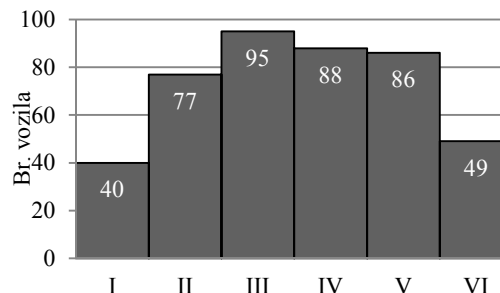
$x$  – procent pokrivenosti ulične mreže (vrednost od 0 do 1)

Kako bi se uspostavio pouzdan sistem prognoze vremena putovanja u realnom vremenu, potrebno je da se na svakih deset minuta na uličnoj mreži nalazi više od 400 vozila sonde.

S obzirom da je najveći broj aktivnih poštinskih vozila tokom dvočasovnih vremenskih intervala iznosio  $N = 95$  voz. (slika 2), zaključujemo da je za uvođenje FCD sistema potrebno uključiti dodatni broj vozila iz drugih izvora (npr. taksi vozila).

Najveći broj saobraćajnih aktivnosti zabeležen je tokom vremenskog perioda od 10:30 do 12:30 časova, kada je ukupno 95 vozila bilo aktivno.

Najmanji broj vozila (40 vozila) je bilo aktivno tokom jutarnjeg vršnog perioda od 06:30 do 08:30 časova (slika 2). Srednja vrednost broja aktivnih vozila, tokom dvočasovnog vremenskog perioda, je za definisane vremenske kategorije iznosila 73 vozila.



Slika 2 – Broj aktivnih vozila u toku dvočasovnih vremenskih intervala

Minimalne vrednosti parametara, koje se mogu primeniti prilikom proračuna neophodnog broja vozila sonde u Beogradu i koje su preporučene od strane drugih autora (Karthik i Paul), iznose  $n \geq 2$  prolazaka/linku,  $t = 10$  minuta i  $p = 60\%$ . Takođe, na osnovu simulacija iz istraživanja Karthik i Paul, za navedene vrednosti se dobija da je potrebno obezbediti minimum  $N=1100$  vozila. S obzirom da je područje koje su oni obuhvatili svojim istraživanjem (44.000 ha) veće od užeg gradskog područja Beograda (35.996 ha), u Beogradu je neophodno obezbediti da se tokom svakog desetominutnog vremenskog intervala na mreži nalazi ne veći broj vozila od navedenog.

Iskustva drugih gradova ukazuju da postojeći broj vozila nije dovoljan da zadovolji uslove koji se odnose na pokrivenost ulične mreže i broja podataka prikupljenih sa pojedinačnih segmenata ulične mreže. Ako sagledamo neka njihova iskustva, možemo primetiti da se broj vozila sonde kreće u rasponu između 2000 i 5000 vozila, dok je u pojedinim slučajevima broj vozila veći. Chen (2001.) u svom istraživanju navodi da 1%, od ukupnog broja vozila koja su se tokom posmatranog perioda kretala na uličnoj mreži, treba da čini flota FCD vozila [15].

Da bi se prognozirana vrednost putovanja na linku mogla smatrati verodostojnom, preporučene vrednosti i iskustva su pokazala da je potrebno da najmanje dva puta tokom perioda snimanja, obično u trajanju od 10 minuta, vozila sonde prođu kroz pojedinačni segment ulične mreže.

S obzirom da je za gradsko područje Beograda potreban veliki broj vozila, čime bi se povećala verovatnoća prolaska različitih vozila kroz iste segmente, posmatrana flota vozila ne može kao zaseban sistem da

odgovori na postavljene zahteve. Prednosti koje ova flota donosi se ogledaju u relativno visokoj frekvenci slanja podataka i visokoj preciznosti prilikom lociranja vozila.

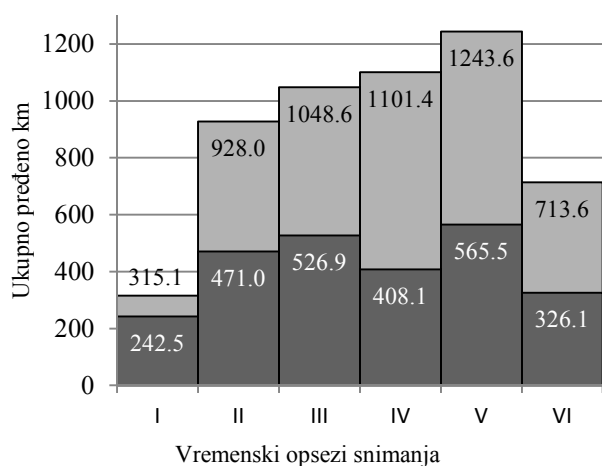
## 7. REZULTATI ISTRAŽIVANJA

Prognoza vremena putovanja u realnom vremenu zahteva veliku količinu podataka, odnosno veliki broj vozila kako bi se 60% do 80% ulične mreže „pokrilo“ sa najmanje dva prolazaka vozila tokom perioda snimanja. U toku posmatranog perioda snimanja, od 06:30 do 18:30 časova, poštanska vozila (220 vozila) su prešla ukupnu dužinu od 5.350 kilometara gradske ulične mreže.

Najduža pređena kilometraža je dostignuta tokom vremenskog perioda od 14:30 do 16:30 časova, tokom koga su vozila svojim trajektorijama pokrile najveći deo ulične mreže grada Beograda.

Tokom tog perioda vozila su pokrila 565,5 kilometara ulične mreže (slika 3), odnosno 60% od ukupne dužine ulične mreže koja je 2014. godine iznosila oko 950 km (podatak dobijen interpolacijom vrednosti preuzetih iz Generalnog plana Beograda) [9].

Srednja pređena kilometraža vozila je za definisane vremenske kategorije je iznosila 892 km, dok je prosečna pokrivenost ulične mreže iznosila oko 390 km, odnosno 40% od ukupne ulične i putne mreže.



Slika 3 – Odnos između pokrivenosti (izražene u km) i ukupno pređene dužine ulične mreže svih vozila

Tokom jutarnjeg vršnog perioda, od 06:30 do 08:30 časova, pokrivenost primarne ulične i putne mreže (gradski auto-put i magistrale) je iznosila oko 60%. Tokom navedenog perioda ukupno je pokriveno 189 km primarne ulične mreže (tabela 1), od ukupno 300 km primarne putne i ulične mreže, kao i 53,5 km sekundarne ulične mreže (ulični pravci I i II reda).

Tabela 1. Parametri pokrivenosti primarne i sekundarne ulične mreže

Vrem. period	Ukup.	Primar. (A+M)	%	Sekund. (I i II reda)	%
06:30-08:30	242.5	189	63	53.5	10
08:30-10:30	471	254	85	217	42
10:30-12:30	526.9	271	90	255.9	49
12:30-14:30	408.1	263	88	145.1	28
14:30-16:30	565.5	285	95	280.5	54
16:30-18:30	326.1	212	71	114.1	22

Najveća pokrivenost primarne saobraćajne mreže zabeležena je tokom perioda od 10:30 do 12:30 časova, kada je pokrivenost primarne ulične mreže iznosila oko 90%, dok je najveći broj aktivnosti na sekundarnoj uličnoj mreži detektovan u periodu od 14:30 do 16:30 časova, kada je dostignuta pokrivenost od 54% uličnih pravaca I i II reda.

U periodu od 08:30 do 16:30 časova, pokrivenost primarnih pravaca je konstantno prelazila 50% od ukupne primarne ulične mreže. Pokrivenost sekundarne ulične mreže je slabija sa relativno višim vrednostima tokom vremenskom perioda od 08:30 do 12:30 i od 14:30 do 16:30 časova.

Najmanja pokrivenost ulične mreže tokom jutarnjeg vršnog sata je posledica smanjene aktivnosti kurirske službe tokom perioda od 06:30 do 08:30 časova, s obzirom da svojim aktivnostima ova vozila pokrivaju najveći deo ulične mreže.

Nakon ovih analiza, potrebno je sagledati pokrivenost ulične mreže u desetominutnim vremenskim intervalima, kako bi se ustanovilo da li sistem baziran na podacima dobijenim od strane posmatranog izvora, može da odgovori na standarde koje FCD sistem treba da dostigne.

Količina podataka prikupljena tokom desetominutnih vremenskih intervala, pruža bolji uvid u vremensku raspodelu aktivnosti vozila tokom dana. Potrebno je napomenuti da je dužina snimanja u trajanju od 10 minuta definisana na osnovu preporuka Karthik i Paul [4].

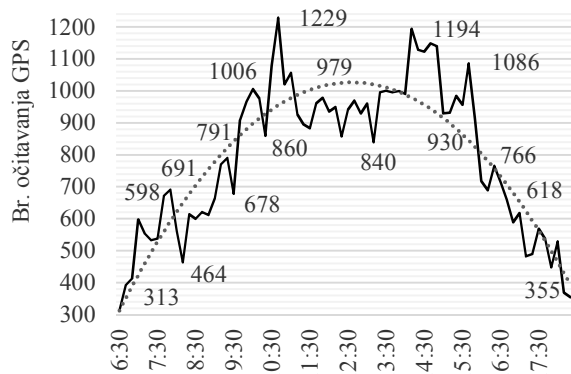
Tokom vremenskog perioda od 10:40 do 10:50 časova, kada je od strane aktivnih vozila zabeležen najveći broj odziva sa GPS uređaja, vozila su svojim trajektorijama pokrila 102,9 km ulične mreže, dok je ukupna pređena dužina kretanja iznosila 108,2 km. Predstavljena vrednost ukazuje da je tokom najaktivnijeg desetominutnog vremenskog perioda pokriveno tek 10% ulične mreže gradskog područja Beograda. Najveći broj podataka, 1.229 paketa podataka (slika 4), je prikupljen tokom vremenskog perioda od 10:40 do



10:50 časova, dok je povećana aktivnost vozila zabeležena na početku popodnevno vršnog perioda, i to tokom sledećih vremenskih intervala: 14:10-14:20, 14:20-14:30, 14:30-14:40, 14:40-14:50 i 14:50-15:00 časova.

Na osnovu količine emitovanih podataka od strane svih aktivnih vozila tokom desetominutnih vremenskih intervala, vremenski opseg snimanja možemo podeliti na tri odvojena vremenska perioda. Tokom prvog detektovanog vremenskog perioda, u trajanju od 06:30 do 09:40 časova, zabeležen je konstantan porast količine emitovanih GPS podataka, u rasponu od 313 do 791 paketa podataka (slika 4).

U drugom vremenskom periodu, od 09:40 do 16:00 časova, zabeležena je tendencija varijacije količina prikupljenih podataka u rasponu od 800 do 1200 odziva (sa povremenim istupanjima), sa prosečnom količinom od 984 prikupljenih paketa podataka tokom desetominutnog vremenskog intervala (slika 4).



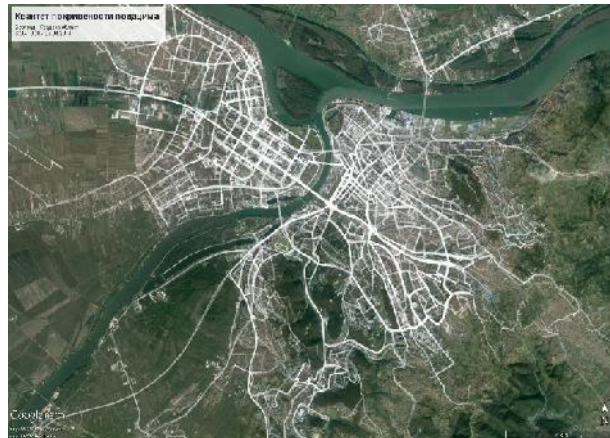
Slika 4 – Ukupan broj emitovanih GPS podataka, tokom desetominutnih vremenskih intervala

Vremenski period od 16:00 do 18:30 časova, karakteriše pad u broju emitovanih GPS podataka i njihov broj se ponovo smanjuje ispod vrednosti manjih od 400 paketa emitovanih podataka tokom desetominutnog vremenskog intervala.

Potencijalna količina podataka, kojom se sa preciznih GPS uređaja može ažurirati baza ranije utvrđenih vrednosti je velika (slika 5). Kao što je gore u tekstu navedeno, ovom bazom se može vršiti procena vremena putovanja na segmentima za koje ne postoje podaci u realnom vremenu snimanja. Takođe, ovim podacima se mogu kreirati nove i „ažurirati“ postojeće vektorske mape, korišćenjem trajektorija poštanskih vozila.

Ukupna dužina uličnih segmenata, kroz koje su vozila najmanje dva puta prošla tokom posmatranog vremenskog perioda ( $n \geq 2$ ), najmanji je tokom jutarnjih časova, pri čemu je samo na 72,6 km dužine ulične

mreže zadovoljen navedeni kriterijum. Najveća pokrivenost ulične mreže na kojima je zadovoljen kriterijum  $n \geq 2$ , zabeležena je tokom perioda od 12:30 do 14:30 časova, kao i u periodu od 14:30 do 16:30 časova, kada je ukupno pokriveno 693,4 km, odnosno 678,6 km ulične mreže, respektivno.



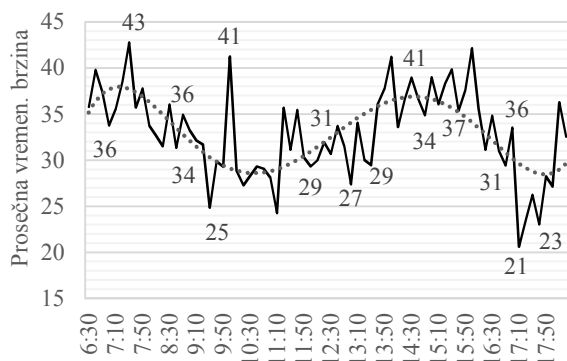
Slika 5 – Putanje kretanja svih aktivnih vozila, na gradskom delu ulične mreže tokom vremenskog perioda snimanja.

U cilju definisanja gradskih oblasti u kojima su vozila tokom posmatranog snimanja bila najaktivnija, izvršena je prostorna raspodela prikupljenih podataka, za svaki definisani vremenski opseg. Najveći broj aktivnosti je zabeležen u području opštine Voždovac i opštine Savski venac. Takođe, veliki broj aktivnosti je zabeležen oko gradskog dela autoputa, i u opštinama Stari grad, Novi Beograd, Vračar, kao i unutar gradskog područja opština Zvezdara, Palilula i Zemun. Najveći broj odziva, 2.026 GPS signala, zabeležen je tokom perioda od 14:30 do 16:30 časova iz oblasti koja obuhvata Stari grad i severni deo Savskog venca. Tokom tog perioda je zabeležena i najveća pokrivenost ulične mreže centralnog gradskog područja.

Prilikom prognoze vremena putovanja koriste se podaci o trenutnim i ranije utvrđenim brzinama vozila. Za potrebe FCD sistema, prosečne brzine kretanja vozila se određuju po linkovima, na osnovu ranije utvrđenih vrednosti. Na taj način se na delovima ulične mreže, za koje ne postoji dovoljan broj trenutnih očitavanja, može prognozirati vreme putovanja korišćenjem unared definisanih vrednosti. U ovom istraživanju su prosečne brzine vozila određene na osnovu njihovog ukupnog pređenog puta i ukupnog vremena putovanja. Prosečna brzina flote poštanskih vozila (220 poštanskih vozila) u ovom istraživanju je iznosila 32 km/h, u toku vremenskog perioda snimanja od 06:30h do 18:30h.

U istraživanju je razmatrana prosečna brzina poštanskih vozila u različitim opštinama, podeljene po zonama prema reonima koje poštanska vozila opslužuju. Rezultati pokazuju da su u opštinama Novi Beograd i

Zemun zabeležene najmanje vrednosti prosečnih brzina, koja je u ovim oblastima iznosila 24 km/h. Na teritoriji opština Stari Grad, Savski Venac, Vračar, Palilula i Zvezdara zabeležena je prosečna brzina u vrednosti od 36 km/h, dok je na teritoriji opština Čukarica, Rakovica i Voždovac zabeležena prosečna brzina u vrednosti od 29 km/h. Dobijene vrednosti okvirno prikazuju brzine kretanja vozila unutar definisanih oblasti i ne mogu se koristiti za detaljniju prognozu vremena kretanja na pojedinačnim trasama, s obzirom da nisu lokalizovane na nivou uličnih segmenata.



Slika 6 – Prosečna brzina vozila na primarnim saobraćajnicama, merena na svakih deset minuta

Tokom vremenskog perioda od 10:10 h do 13:30 h, kao i od 17:00 h do 17:50 h, zabeležene su najmanje vrednosti prosečnih brzina, dok su u vremenskim intervalima 07:30-07:40 h, 10:00-10:10 h, 14:00-14:10 h i 16:00-16:10 h prosečne brzine vozila iznosile preko 40 km/h (slika 6).

U najvećem broju slučajeva, odnosno tokom 47 desetominutnih vremenskih intervala, vrednost prosečnih brzina se na nivou grada kretala od 30 do 40 km/h, dok se 21 put vrednost prosečnih brzina nalazila unutar opsega od 20 do 30 km/h. S obzirom da se najniže dostignute vrednosti prosečnih brzina poklapaju sa periodom najvećih aktivnosti vozila (dostava i prijem pošiljaka od korisnika), potrebno je napomenuti da su vrednosti predstavljenih prosečnih brzina uslovljene brojem aktivnih vozila, odnosno dinamikom i obimom obavljanja poštanskih aktivnosti unutar oblasti gradskog područja Beograda.

Da bi smo dobili relativno tačne prognoze vremena putovanja, potrebno je definisati prosečna vremena kretanja duž pojedinačnih linkova za određene vremenske periode tokom dana, kao i za određene dane u nedelji pri različitim uslovima u saobraćaju (stanje kolovoza, vremenski uslovi i dr.). Ovi kriterijumi stvaraju potrebu formiranja velike baze, sa podacima o brzinama kretanja, klasifikovanim po vremenskim periodima i meteorološkim/saobraćajnim uslovima. Takođe je potrebno na dnevnom nivou ažurirati bazu sa

novim podacima, kako bi se oni kalibrisali i kako bi se u budućnosti dobile tačnije vrednosti.

Karakteristike vezane za vrstu usluga i dinamiku obavljanja aktivnosti diktiraju količinu, kao i prostornu i vremensku raspodelu emitovanih podataka. Na osnovu dobijenih rezultata može se doneti zaključak da je u pogledu količine podataka, tokom vremenskog perioda od 10:00 do 16:00 časova, najbolje pokriven centralni deo grada i to opštine Savski venac, Stari grad, Vračar i Novi Beograd.

## 8. ZAVRŠNA RAZMATRANJA

Uporednim prikazom prednosti i mana posmatranog FCD sistema, sumirani su dobijeni rezultati i zaključci pilot istraživanja. Iako je reč o kvalitativnoj metodi, ovim pristupom se na jednostavan način mogu definisati mogućnosti posmatranog sistema u kontekstu okruženja i postavljenih ciljeva. Glavne prednosti sistema se mogu predstaviti sledećim karakteristikama: uređaji visoke tačnosti, mogućnost stvaranja baze podataka, pokrivenost putne mreže vangradskih opština, podaci o trenutnim brzinama vozila i potrošnji goriva, dobra pokrivenost centralnog dela gradskog područja podacima dobijenim na dvočasovnom nivou. Pored uočenih prednosti, potrebno je navesti nedostatke sistema koje onemogućuju njegovu samostalnu primenu: slaba pokrivenost mreže tokom jutarnjeg vršnog sata, relativno mali broj vozila, kao i slabe pokrivenosti uličnih segmenata tokom desetominutnog vremenskog perioda snimanja (na kojima je zadovoljena vrednost parametara  $n \geq 2$ ).

Jedna od glavnih prednosti flote poštanskih vozila jeste visok kvalitet podataka koji se dobija od strane GPS uređaja. Ovi podaci se mogu koristiti prilikom formiranja baze, na osnovu kojih se vrše procena vremena putovanja u situacijama kada podaci u realnom vremenu nisu dostupni. Takođe, ovaj izvor podataka je konstantan u pogledu broja vozila i njihovog vremena rada. Posebno je potrebno istaći da je, tokom posmatranog perioda snimanja, centar grada bio dobro pokriven podacima. S obzirom da je svakog dana podacima „pokriven“ veliki deo ulične mreže, podaci se mogu koristiti prilikom monitoringa promene izgleda ulične mreže i upotrebom odgovarajućih algoritama mogu se formirati vektorska mapa, odnosno „ažurirati“ već postojeća. Takođe, mogu se pružiti dodatne informacije o uslovima u saobraćaju na perifernim oblastima i opštinama oko gradskog dela Beograda.

Na osnovu zaključaka iz Karthik i Paul [4], koji preporučuju da je tokom desetominutnog intervala potrebno pokriti 60% ulične mreže, možemo primetiti da navedeni kriterijum nije zadovoljen i da je tokom deseto minutnog vremenskog perioda, kada je zabe-



ležen najveći broj odziva GPS uređaja od strane aktivnih vozila, pokriveno tek oko 10% ulične mreže gradskog područja Beograda.

Takođe, nije zadovoljen ni preporučeni uslov da se sa većine segmenata obezbedi bar dva prolaska vozila tokom definisanog vremenskog perioda snimanja. Potrebno je napomenuti da vrsta delatnosti koju vozila obavljaju ne zahteva konstantno kretanje, te je i broj vozila na uličnoj mreži u svakom trenutku manji od ukupnog broja dostupnih vozila.

U ovom radu je predstavljena metodologija, kojom je analizirana flota vozila prilikom procene mogućnosti njene implementacije u FCD sistemu. Metodologija se može podeliti u sedam koraka, i to: podela vremenskog perioda snimanja na podjednake vremenske intervale, broj aktivnih vozila tokom posmatranih vremenskih intervala, ukupna pređena dužina puta svih aktivnih vozila u toku posmatranog vremenskog intervala, procenat pokrivenosti primarne i sekundarne ulične mreže, ukupna dužina uličnih segmenata kroz koje su vozila najmanje dva puta prošla tokom posmatranog vremenskog intervala ( $n \geq 2$ ), prostorna raspodela GPS lokacija aktivnih vozila po vremenskim intervalima i prosečna prostorna i vremenska brzina svih aktivnih vozila u toku posmatranog vremenskog intervala.

Na osnovu ovog saznanja zaključujemo da se poštanska vozila ne mogu koristiti kao jedini izvor podataka, već je potrebno uključiti vozila i nekih drugih organizacija. Formiranje i održavanje ovakvog sistema zahteva finansijsku podršku vodećih tela i javnog mnjenja.

Da bi sistem nesmetano funkcionisao potrebno je edukovati stanovništvo i pridobiti sve ljude koji mogu uticati na uspeh samog projekta. Ciljevi se mogu postići pravilnim prezentovanjem očekivanih dobiti, koje se ostvaruju na pojedinačnom nivou, kao i na nivou društva. Očekivane dobiti sistema se ogledaju u poboljšanju kvaliteta života, smanjenju zagađenja, buke i troškova, efikasnijem upravljanju vremenom putovanja i boljoj iskorišćenosti postojećih kapaciteta.

FCD sistem poseduje veliki potencijal i može predstavljati dobru podršku tokom implementacije drugih strategija, kojima se upravlja sa transportnim zahtevima učesnika u saobraćaju. S tim u vezi je potrebno u daljim istraživanjima razmotriti sve opcije koje mogu da pomognu prilikom uvođenja ovakve vrste sistema u Beogradu.

#### LITERATURA

- [1] Stan B, The reliability of a large floating car data system for urban traffic analysis: Maastricht case study, Technische Universiteit Eindhoven, Eindhoven, 2013.
- [2] Tingjian F, Lin G, Reinhart K, Jiajie W. and Xiaoxu B., An evaluation method for floating car data (FCD) system, 16th ITS World Congress and Exhibition on Intelligent Transport Systems and Services, Stockholm, 2009, 8p.
- [3] Messelodi S, Modena C, Zanin M, Granelli F, De Natale F, Betterle E, and Guarise A., Extended Trac Data Collection by Intelligent Vehicles, Expert Systems with Applications: An International Journal, 36, 3, p. 4213-4227, 2009.
- [4] Karthik K. S. and Paul J., Determination of Number of Probe Vehicles Required for Reliable Travel Time Measurement in Urban Network, 1996 Intelligent Transportation Systems: Deployment and User Needs, p. 15-22, Washington, 2007.
- [5] Schäfer R.-P, Kai-Uwe T, Elmar B, and Peter W, Analysis of Travel Times and Routes on Urban Roads by Means of Floating-Car Data, European Transport Conference, Cambridge, 2002.
- [6] Elmar B, Bert P, and Peter W, Validating Travel Times Calculated on the Basis of Taxi Floating Car Data with Test Drivers, Proceedings of the 14th World Congress on Intelligent Transport Systems, Beijing, 2007.
- [7] Lorkowski S, Mieth P, and Schäfer R.-P, New ITS applications for metropolitan areas based on Floating Car Data, ECTRI Young Researcher Seminar, Den Haag, 2005.
- [8] May A. D, Traffic Flow Fundamentals, Prentice-Hall, NY, 1989.
- [9] Generalni plan Beograda 2021, Urbanistički zavod Beograda, Beograd, 2001.
- [10] Vukanović S, Saobraćajne mreže I, Saobraćajni fakultet, Beograd, 1993.
- [11] Vukanović S, Inteligentni transportni sistemi (ITS) i upravljanje saobraćaja – pregled – I deo, Tehnika, 1, p. 10-18, 2010.
- [12] Jović J. i ostali, Transportni model Beograda, Institut saobraćajnog fakulteta, Beograd, 2007.
- [13] Borisavljević V, Metoda uzoraka u saobraćajnim istraživanjima, Tehnika, 3, p. 7-13, 2000.
- [14] Bogdan G. and others, Knowledge-Based Intelligent Information and Engineering Systems, 10th International Conference - KES 2006, p. 557-559, Bournemouth, 2006.
- [15] Chen M, and Steven IJ C, Dynamic freeway travel-time prediction with probe vehicle data: Link based versus path based, Journal of the Transportation Research Board, 1768.1, p. 157-161, 2001.

## SUMMARY

### IMPLMENTING FCD SYSTEM IN BELGRADE

*Floating car data system is relative new way for forecasting travel time on links. This system is using data gathered by vehicles equipped with GPS devices and devices for wireless communication. The pilot study presented in this paper, includes data obtained by postal vehicles equipped with GPS devices.. As a result of this research, we obtained the value of important parameters such as: coverage of primary and secondary street network, spatial distribution of data, total number of readings during defined time intervals and minimum number of vehicles necessary to include in FCD system. Examined literature and obtained results showed that the value of these parameters is below recommended values for the street network in Belgrade. The current number of postal vehicles is not sufficient to establish a reliable system for esimation and forecasting travel times in real time application.*

**Key words:** *travel time estimation, dynamic detectors, float car data, GPS data, postal vehicle*