

ANALIZA SAOBRAĆAJNIH NEZOGDA NA SIGNALISANIM RASKRSNICAMA

Dr Vuk Bogdanović, dipl.inž.saobraćaja, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, 21000 Novi Sad, e- mail: vuk@uns.ac.rs

Dr Nenad Ruškić, dipl.inž.saobraćaja, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, 21000 Novi Sad, e- mail: nruskic@uns.ac.rs

Dr Zoran Papić, dipl.inž.saobraćaja, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, 21000 Novi Sad, njele@uns.ac.rs

Msc Nemanja Garunović, dipl. inž. saobr., Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, 21000 Novi Sad, e- mail: garunovic@uns.ac.rs

Abstrakt: Regulisanje saobraćaja svetlosnom signalizacijom se veoma često primenjuje u gradovima radi povećanja nivoa usluge i bezbednosti saobraćaja. I pored toga što se svetlosnim signalima eliminiše direktno presecanje tokova vozila, kao i tokova vozila i pešaka saobraćajne nezgode na raskrsnicama su česta pojava. Analiza saobraćajnih nezgoda na signalisanim raskrsnicama je veoma specifična jer mora obuhvatiti i analizu rada svetlosnih signala, odnosno planova tempiranja i faznih planova. Poznavanje elemenata signalnog plana je jedan od ključnih elemenata koji je neophodan kako bi rezultati analize mogli biti upotrebljivi u donošenju zaključaka vezanih za propuste učesnika nezgode. Ukoliko raskrsnica nije pokrivena video nadzorom, klasičnom vremensko-prostornom analizom nije moguće definisati nastanak opasne saobraćajne situacije i propuste učesnika nezgode. U okviru ovog rada analizirani su osnovni elementi signalnog plana i prikazan je primer vremensko prostorne analize u složenoj saobraćajnoj nezgodi.

Ključne reči: signalisana raskrsnica, saobraćajne nezgode, plan tempiranja, fazni plan

TRAFFIC ACCIDENTS ANALYSIS AT SIGNALIZED INTERSECTIONS

Abstract: Traffic flow regulation with traffic signal is often used in cities to increase the level of service and traffic safety. Despite the fact that traffic signals directly eliminate conflict between vehicles, and also between vehicles and pedestrians, traffic accidents at intersections are very frequent. Analysis of accidents at signalized intersections is very specific because in addition to the kinematics of the vehicle and pedestrian must include an analysis of traffic signal operation, respectively traffic signal timing plan and phase plans. Knowledge of the elements of the signal plan is one of the key elements that are necessary to make the results of analysis useful in conclusions regarding the mistakes of the participants of traffic accident. If the intersection is not covered by video surveillance, the classical space-time analysis is not possible to define the occurrence of dangerous traffic situations and omissions of the accident participants. This paper analyzes the main elements of the signal plan and shows an example of time-space analysis of a complex accident.

Keywords: signalized intersection, traffic accidents, traffic signal timing plan, phase plans

1. UVOD

Površinske raskrsnice, odnosno raskrsnice na kojima se saobraćajni tokovi ukrštaju u jednom nivou predstavljaju veoma složen element saobraćajne mreže. Na njima se vrši distribucija saobraćajnih tokova vozila po smerovima vožnje, odnosno realizuju odluke vozača o nastavku kretanja u željenom pravcu i smeru. U gradskim sredinama tokovi vozila se na raskrsnicama po pravilu se presecaju sa tokovima pešaka, često i biciklističkim trakama ili stazama. U blizini raskrsnica često su pozicionirana stajališta javnog gradskog prevoza, parking prostori, objekti visoke atrakcije itd [1]. Zbog složenih uslova odvijanja saobraćaja, raskrsnice predstavljaju prostor sa najvećom koncentracijom potencijalnih konflikata vozila i pešaka, što povećava rizik od saobraćajnih nezgoda [2]

Regulisanje svetlosnom signalizacijom je uobičajeni način regulisanja saobraćaja na raskrsnicama sa povećanom saobraćajnom potražnjom na kojima se u određenim periodima javlja nepovoljan nivo usluge. Veoma često su i nepovoljne karakteristike bezbednosti saobraćaja razlog uvođenja svetlosnih signala. Ovakvim načinom regulisanja saobraćaja na raskrsnicama broj potencijalno konfliktnih situacija se značajno smanjuje [3].

Prilikom projektovanja rada svetlosnih signala na raskrsnici projektuju se i definišu elementi signalnog plana i njihov prostorni i vremenski raspored, odnosno pravo prolaza kroz raskrsnicu za vozila i pešake. Iz tog razloga je projektovanje rada svetlosnih signala na raskrsnici u prvom redu zasnovano na bezbednosti učesnika u saobraćaju. Svetlosnim signalima se nedvosmisleno definišu i regulišu prava prolaska vozila i pešaka na raskrsnici u okviru faza koje se ciklično ponavljaju. Signalni pojmovi na semaforima za vozila i pešake su imperativni i njima se jasno i nedvosmisleno reguliše pravo prolaska vozila kroz središte raskrsnice, odnosno pešaka preko pešačkog prelaza. Vozači i pešaci očekuju da, nakon paljenja zelenog svetla za njihov smer kretanja, mogu bezbedno i bez ometanja izvršiti svoje kretanje u raskrsnici. Potencijalni konflikt vozila i pešaka na signalisanim raskrsnicama je isključen, osim u slučajevima kada vozila skreću levo ili desno. Konflikt između vozila se u zavisnosti od signalnog plana moguć je samo između levih skretanja i kretanja pravo i to samo u okviru dopuštenih faza i uslovnog desnog skretanja, ukoliko postoji, sa kretanjem pravo iz suprotne faze.

Ukoliko je rad svetlosnih signala pravilno projektovan, saobraćajne nezgode na signalisanim raskrsnicama, u najvećem broju slučajeva, nastaju zbog nepoštovanja svetlosno-signalnih pojmova od strane vozila ili pešaka. Zbog cikličnog rada svetlosnih signala, analiza saobraćajnih nezgoda na ovim raskrsnicama je kompleksnija u odnosu na sve druge tipove nezgoda. Pored utvrđivanja standardnih elemenata i parametara neophodnih za sprovođenje vremensko prostorne analize, analiza mora obuhvatiti i rad svetlosnih signala. Izjave učesnika i svedoka saobraćajnih nezgoda o radu svetlosnih signala su često kontradiktorne, a tehničkim putem ne može se utvrditi u kom periodu ciklusa se dogodila saobraćajna nezgoda. Međutim, analizom rada svetlosnih signala neke od izjava učesnika i svedoka se mogu odbaciti. U okviru ovog rada prikazani su osnovni elementi rada svetlosnih signala i njihovo uključivanje u vremensko prostornu analizu.

2. PROGRAMIRANJE RADA SVETLOSNIH SIGNALA

Programiranje rada svetlosnih signala sastoji se iz dva koraka. Prvi korak predstavlja postupak projektovanja, odnosno izrade vremenskih planova rada, planova tempiranja

svetlosnih signala, faznih planova, kao i matrica konfliktnih tokova i zaštitnih vremena. U drugom koraku se na osnovu izrađenih planova, programira rad upravljačkog uređaja.

Rad svetlosnih signala na raskrsnici se ciklično ponavlja, pa je ciklus osnovni element svih planova rada svetlosnih signala. Ciklus se definiše kao vreme koje protekne od pojave nekog signalnog pojma na semaforu za vozila ili pešake do ponovne pojave istog pojma na istom semaforu. Svi signali na raskrsnici moraju da rade u okviru projektovanog ciklusa kako signali sukobljenih tokova ne bi u istom trenutku pokazivali suprotne svetlosno signalne pojmove zeleno-crveno [4],[5]. Plan dispozicije svetlosnih signala predstavlja izvod iz plana horizontalne i vertikalne signalizacije na kome je prikazan položaj nosača svetlosnih signala u prostoru sa semaforskim uređajima koji se na njih postavljaju, kao i položaj pomoćnih i upravljačkih uređaja na raskrsnici. Svaki stub i signalni uređaj definišu se jedinstvenom numeričkom ili slovnom oznakom.

Signali na raskrsnicama obično se grupišu po fazama tako da jednoj fazi pripadaju svi signali koji na raskrsnici kontrolišu grupe nekonfliktnih tokova. Svakom signalu na ulaznom grlu raskrsnice odgovara najmanje jedan signal kojim se kontroliše prolaz vozila iz sukobljenog toka i koji pokazuje suprotne signalne pojmove. Fazni plan predstavlja šematski prikaz vremenskog redosleda smenjivanja faza u ciklusu, odnosno redosled prava prolaza kroz raskrsnicu za grupe tokova koji pripadaju istoj fazi. Na semaforskim uređajima signali koji pripadaju istoj fazi simultano pokazuju iste signalne pojmove [6].

Plan tempiranja je grafički prikaz elemenata signalnog plana po vremenskom redosledu koji je u okviru usvojenog ciklusa definisan faznim planom. U plan tempiranja se za svaki signalni uređaj u okviru definisanog ciklusa na vremenskoj osi označavaju karakteristični trenuci promene svetlosno signalnog pojma.

Planovi dispozicije svetlosnih signala, fazni planovi i planovi tempiranja signala predstavljaju obavezni deo projektne dokumentacije na osnovu koje se vrši programiranje upravljačkih uređaja i izvodi svetlosna signalizacija na raskrsnici.

3. OSNOVNE KARAKTERISTIKE SAOBRAĆAJNIH NEZGODA

Saobraćajne nezgode na signalisanim raskrsnicama su specifične u odnosu na sve ostale tipove nezgoda, bez obzira da li se radi o nezgodama sa učešćem pešaka ili sudarima vozila. Osnovni cilj analiza saobraćajnih nezgoda je da se definišu mesto naleta i brzine kretanja učesnika nezgode, kao i da se utvrde mogućnosti izbegavanja nezgode od strane učesnika i njihovi propusti.

Saobraćajne nezgode kod kojih dolazi do sudara vozila na signalisanim raskrsnicama imaju tri karakteristična pojavna oblika:

- Sudar vozila koja se kreću se suprotnim pravcima koji pripadaju suprotnim fazama,
- Sudar vozila koja pripadaju istoj fazi, kada jedno vozilo vrši skretanje ulevo,
- Sudar vozila koje pripadaju suprotnim fazama kada jedno vozilo vrši uslovno desno skretanje.

Saobraćajne nezgode kod kojih dolazi do naleta vozila na pešaka na signalisanim raskrsnicama obično imaju tri pojavna oblika:

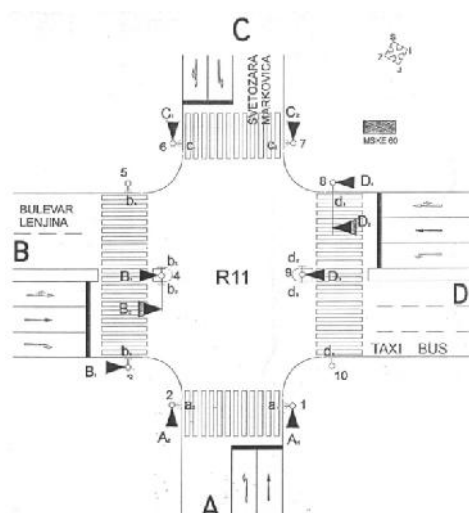
- Vozilo se kreće pravo i naleće na pešaka koji prelazi ulicu poprečno u odnosu na smer kretanja vozila,
- Vozilo prilikom levog skretanja naleće na pešaka koji prelazi ulicu sa leve ili desne strane,

- Vozilo prilikom desnog skretanja naleće na pešaka koji prelazi ulicu sa desne ili leve strane.

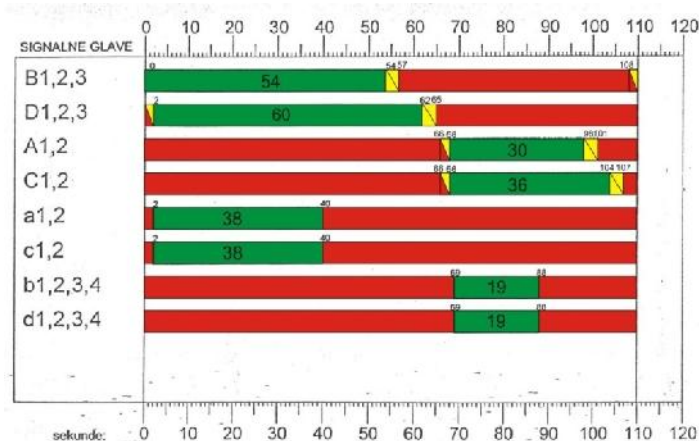
Ukoliko se nezgoda desi u situaciji kada se oba vozila kroz raskrsnicu kreće pravo ili ako vozilo koje se kreće pravo naleti na pešaka, onda je sasvim sigurno da je jedno od vozila ili pešak radnju vršio kada je za njegov smer kretanja bio uključeno crveno svetlo. Zbog imperativnog značenja svetlosno-signalnih pojmova, vozilo ili učesnik u saobraćaju koji je prilikom ulaska u raskrsnicu imao uključeno crveno svetlo učinio je osnovni propust. Međutim, zbog cikličnog rada svetlosnih signala, na osnovu materijalnih tragova nemoguće je utvrditi koji svetlosno signalni pojmovi su bili aktuelni za učesnike neposredno pre i u momentu nezgode, osim ako se ne radi o raskrsnici na kojoj postoji video nadzor. Ako video nadzor ne postoji, onda ne postoji ni mogućnost utvrđivanja koji učesnik nezgode je učinio osnovni propust, odnosno u središte raskrsnice ušao na crvene svetlo. U takvim situacijama, a radi analiza izjava svedoka i učesnika nezgode, potrebno je izvršiti posebnu vremensko-prostornu analizu koja obuhvata i analizu rada svetlosnih signala. U praksi je veoma čest slučaj da su izjave učesnika i svedoka nezgode o radu svetlosnih signala u momentu nezgode kontradiktorne. Sprovođenjem vremensko-prostorne analize koja obuhvata i analizu rada svetlosnih signala moguće je eliminisati određene mogućnosti koje su opisane u izjavama svedoka i učesnika nezgode, a u nekim situacijama i utvrditi koji učesnik nezgode je učinio osnovni propust.

4. PRIMER VREMENSKO-PROSTORNE ANALIZE

U ovom primeru na signalisanoj raskrsnici došlo je do sudara dva vozila, nakon čega je jedno od vozila naletelo na pešaka koji je prelazio pešački prelaz. Analizom plana tempiranja signala zaključuje se da je ciklus dužine 110 s organizovan kao dvofazni, sa međufazom za vozila na prilazu D (vozila koja se kreću Bulevarom Lenjina) i međufazom za vozila na prilazu C (vozila koja se kreću ulicom Svetozara Markovića).



Slika 1. Izgled plana dispozicije svetlosnih signala



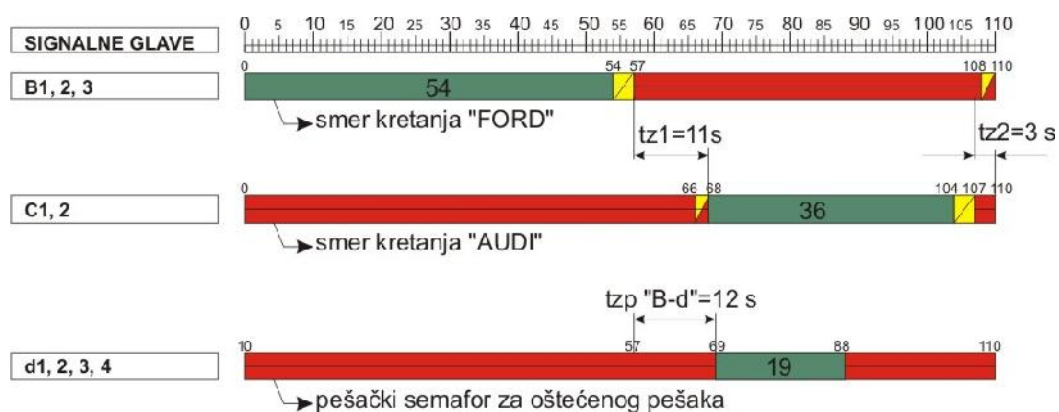
Slika 2. Plan tempiranja signala, koji je bio u funkciji u vreme predmetne saobraćajne nezgode

Automobil Audi u momentu sudara bio kočen i kretao se brzinom od 21 km/h, a u momentu reagovanja vozača kočenjem brzinom od 28 km/h. Automobil Ford se neposredno pre sudara i u momentu sudara kretao brzinom od 64 km/h. Izjave svedoka i učesnika nezgode su kontradiktorne, pa je, iz tog razloga nakon analize signalnog plana i plana tempiranja,

izvršena vremensko-prostorna analiza u skladu sa izjavama svih svedoka. Vozački signal za smer kretanja automobila "FORD Bulevarom Lenjina označeni su velikim latiničnim slovom "B" koji se prema planu tempiranja uključuju istovremeno. Zeleno svetlo na vozačkim signalima za smer kretanja automobila "FORD" iznosi 54 s, a prema planu tempiranja ono se uključuje u 0 s i traje do 54 s.

Vozački signal za smer kretanja automobila "AUDI" je na planu dispozicije označen velikim latiničnim slovom "C". Zeleno svetlo za smer kretanja automobila "AUDI" iznosi 36 s, a prema planu tempiranja započinje u 68 s ciklusa i traje do 104 s ciklusa.

Pešački signal za prelazak preko kolovoza ulice Bulevar Lenjina na prvom delu pešačkog prelaza, označen je malim slovom "d". Zeleno svetlo za pešake označeno malim slovom „d“, traje ukupno 19 s, a prema planu tempiranja ono se uključuje u 69 s ciklusa i traje do 88 s.



Slika 3. Izvod iz plana tempiranja signala, koji je bio u funkciji u vreme predmetne saobraćajne nezgode

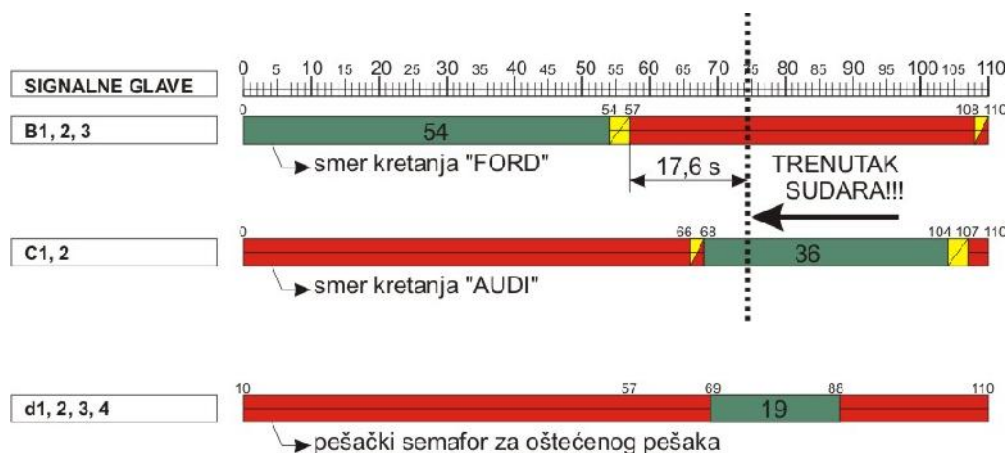
Kao što se vidi sa prethodne slike zaštitno vreme na kraju faze "B" (smer kretanja automobila "FORD" iznosilo je 11 s, a na kraju faze "C" smer kretanja automobila "AUDI" iznosi 3 s. Ova zaštitna vremena omogućavala su bezbedan prolazak vozilima prilikom smenjivanja faza, tako da se isključuje mogućnost da su oba vozila učesnika nezgode započela kretanje ka središtu raskrsnice za vreme trajanja zelenog, žutog ili žuto-crvenog vremena. Prema tome, jedno od vozila učesnika nezgode, prema priloženom planu tempiranja, ušlo je u raskrsnicu za vreme trajanja crvenog svetla za njegov smer kretanja.

Prema izjavama vozača automobila "AUDI", ovo vozilo je krenulo prema mestu nezgode nakon što se upalilo zeleno svetlo na semaforima za njihov smer kretanja. Vozač automobila "AUDI" započeo je kočenje kada se nalazio oko 10,0 m od mesta sudara. Od zaustavne linije do mesta gde je započeo kočenje automobil "AUDI" je prešao put od oko 21 m za vreme od:

$$t_{ub}^{Audi} = \frac{V_0^{Audi}}{b_{ub}} = \frac{7,9}{1,5} = 5,3s$$

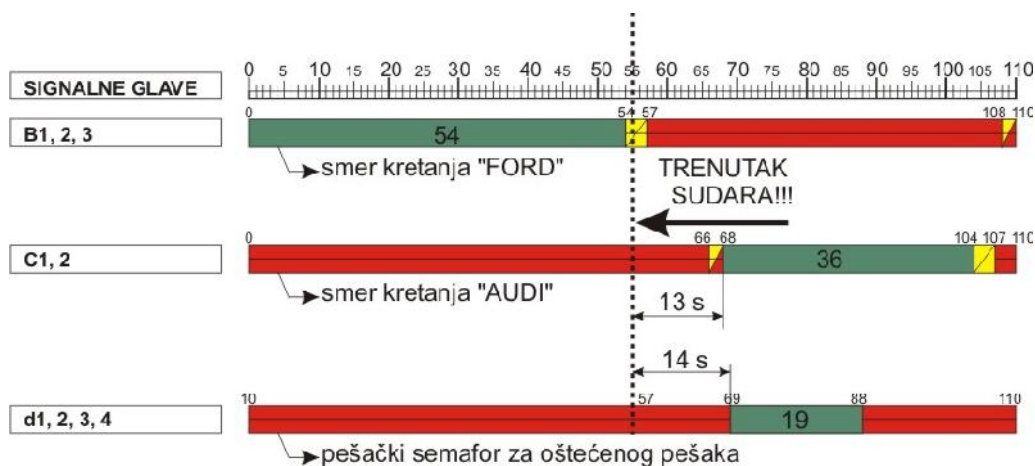
Od momenta kada je automobil "AUDI" započeo kretanje, pa do momenta sudara proteklo je vreme od:

$$\Delta t_1 = t_{ub}^{Audi} + t_{rs}^{Audi} = 5,3 + 1,3 = 6,6s$$



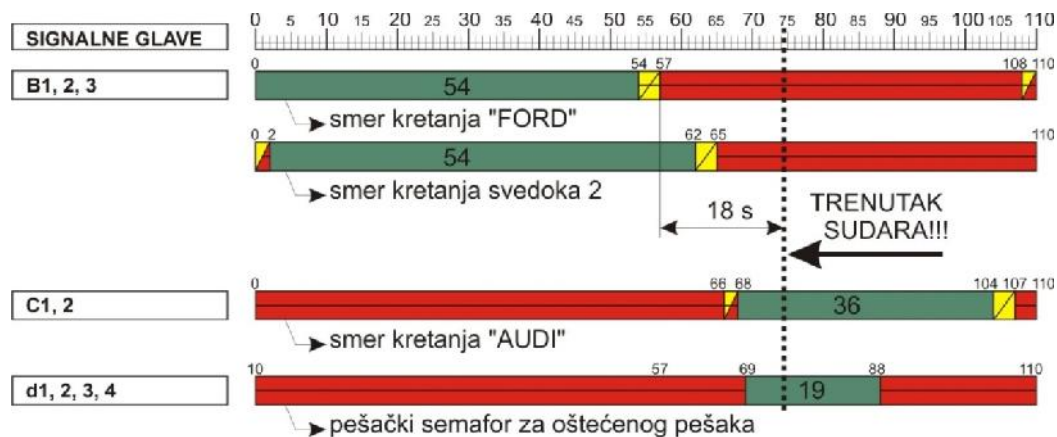
Slika 4. Analiza sudara u skladu sa izjavom vozača automobila „AUDI“

Kao što se vidi sa slike 4, ukoliko se nezgoda dogodila prema izjavi vozača automobila „AUDI“, sudar se dogodio 17,6 s nakon što se upalilo crveno svetlo za smer kretanja automobila "FORD". U trenutku sudara zeleno svetlo bilo je upaljeno za smer kretanja automobila "AUDI", kao i na pešačkom prelazu na kome se nalazio oštećeni pešak. Prema izjavama vozača automobila "FORD" i 1. svedoka ovo vozilo je u središte raskrsnice ušao kada je za njegov smer kretanja bilo upaljeno zeleno svetlo.



Slika 5. Analiza sudara u skladu sa izjavama vozača automobila "FORD" i svedoka 1

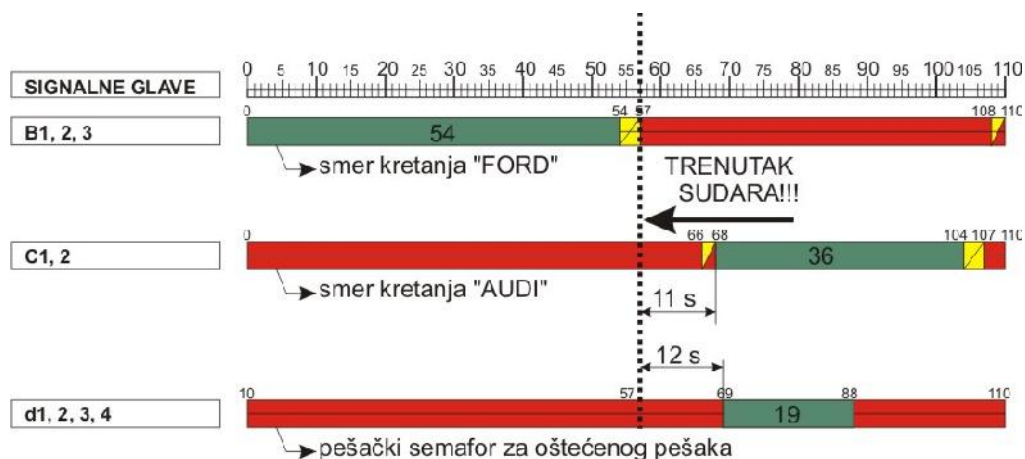
Na prethodnoj slici analiza je izvršena za slučaj da je automobil "FORD" u središte raskrsnice ušao u poslednjoj sekundi zelenog svetla za njegov smer kretanja. Ukoliko je vozilo ušlo pre poslednje sekunde zelenog svetla za njegov smer kretanja, onda se sudar dogodio i pre 55 s. 2. svedok izjavio je da je svoje vozilo zaustavio i da je nakon toga video vozila iz ulice S. Markovića kako kreću, te da se nakon toga dogodio sudar. Prema dostavljenom planu tempiranja crveno svetlo za smer kretanja svedoka 2, uključuje se 8 s nakon što se upali crveno svetlo za smer kretanja vozila kojim se kretalo vozilo "FORD". U skladu sa ovom izjavom proizilazi da se sudar dogodio oko 18 s nakon što se upalilo crveno svetlo za smer kretanja automobila "FORD" kada je za smer kretanja automobila "AUDI" i na pešačkom prelazu na kome se nalazio oštećeni pešak bilo upaljeno zeleno svetlo.



Slika 6. Analiza sudara u skladu sa izjavama svedoka 2

Ukoliko se nezgoda dogodila u skladu sa izjavom vozača automobila „FORD“, sudar se dogodilo 13 s pre nego što se upalilo zeleno svetlo za smer kretanja automobila "AUDI". U ovoj analiziranoj situaciji i oštećeni pešak se nalazio na pešačkom prelazu za vreme trajanja crvenog svetla za njegov smer kretanja.

3. svedok izjavio je da je nakon udara okrenuo glavu i video vozilo "FORD" kako se okreće i istovremeno da se na semaforu u Bulevaru Lenjina žuto svetlo prebacuje u crveno.



Slika 10. Analiza sudara u skladu sa izjavama svedoka 3

Ukoliko se nezgoda dogodila u skladu sa izjavama 3. svedoka, sudar se dogodilo 11 s pre nego što se upalilo zeleno svetlo za smer kretanja automobila "AUDI", odnosno 12 s pre nego što se upalilo zeleno svetlo na kome se nalazio oštećeni pešak. Analizom signalnog plana može se zaključiti bi u situaciji ako se nezgoda dogodila u skladu sa izjavama vozača automobila "FORD", svedoka 1 i svedoka 3 automobil "AUDI" započeo kretanje iz zaustavnog položaja najmanje 16,6 s pre nego što se uključilo zeleno svetlo za njegov smer kretanja, odnosno 51 s nakon što se uključilo crveno svetlo za njegov smer kretanja. Istovremeno i pešak bi svoj prelazak kolovoza takođe morao započeti oko 50 s nakon paljenja crvenog svetla za njegov smer kretanja, odnosno 17 s pre nego što se upalilo zeleno svetlo za njegov smer kretanja.

Sa druge strane ukoliko bi se nezgoda dogodila u skladu sa izjavama vozača automobila "AUDI" i svedoka 2, onda bi se nezgoda dogodila oko 18 s nakon što se upalilo crveno svetlo za smer kretanja automobila "FORD".

5. ZAKLJUČAK

Analiza saobraćajne nezgode na signalisanoj raskrsnici je veoma složeno u slučaju kada na njoj ne postoji video nadzor. Zbog konstantne ciklične promene svetlosno-signalnih pojmova na semaforima nemoguće je odrediti koji od učesnika nezgode je kretanje kroz raskrsnicu vršio za vreme trajanja crvenog svetla, odnosno ko je učinio osnovni propust. Iz tog razloga vremensko-prostorna analiza toka nezgode treba da pored kinematske analize obuhvati i rad svetlosne signalizacije kako bi se on doveo u vezu sa izjavama učesnika i svedoka nezgode, s obzirom da su one često kontradiktorne. Analiza rada svetlosne signalizacije obuhvata analizu dispozicije svetlosnih signala, matrice zaštitnih vremena, faznog plana i plana tempiranja signala. Ukoliko je rad svetlosne signalizacije poluzavisan ili zavisan od saobraćaja postupak sprovođenja analize je isti, s tim što prilikom analize treba uzeti u obzir i način rada pešačkih i vozačkih detektora. Sprovođenjem analize na ovakav način moguće je odbaciti pojedine varijante, a ponekad i definisati deo ciklusa u kome se dogodila saobraćajna nezgoda, odnosno koji svetlosno signalni pojmovi su bili uključeni neposredno pre i u momentu kada se dogodila saobraćajna nezgoda.

6. LITERATURA

- [1] Maletin, M., Planiranje i projektovanje saobraćajnica u gradovima. Orion art, Beograd, Srbija, 2005, ISBN 86-83305-23-6
- [2] Bogdanović, V., Papić, Z., Ruškić, N., Jeftić, A.: Karakteristike brzina na signalisanim raskrižjima, *Suvremeni promet*, 31 (2011), 3-4, pp 196-200.
- [3] Bogdanović, V., Ruškić, N., Papić Z., Simeunović M., *The Research of Vehicle Acceleration at Signalized Intersections*, *Promet Traffic & Transportation*, ISSN 0353-5320, Vol 25, pp 33-42, 2013, Zagreb, Croatia.
- [4] *Pravilnik o saobraćajnoj signalizaciji*, Ministarstvo za infrastrukturu, Beograd 2010, pp 74-76, Srbija
- [5] Đorđević T., *Regulisanje saobraćajnih tokova svetlosnom signalizacijom*, Institut za puteve, Beograd, Srbija, 1977 ISBN 86-82583-06-2
- [6] *Traffic Signal Timing Manual*, Institute of Transportation Engineers, Washington, DC, USA, ISBN -10:1-9333452-48-X,