



18-osios jaunųjų mokslininkų konferencijos „Mokslas – Lietuvos ateitis“ teminės konferencijos

TRANSPORTO INŽINERIJA IR VADYBA,

vykusios 2015 m. gegužės 6 d. Vilniuje, straipsnių rinkinys

Proceedings of the 18th Conference for Junior Researchers 'Science – Future of Lithuania'

TRANSPORT ENGINEERING AND MANAGEMENT, 6 May 2015, Vilnius, Lithuania

Сборник статей 18-й конференции молодых ученых «Наука – будущее Литвы»

ИНЖЕНЕРИЯ ТРАНСПОРТА И ОРГАНИЗАЦИЯ ПЕРЕВОЗОК, 6 мая 2015 г., Вильнюс, Литва

TRANSPORTO SRAUTŲ DUOMENŲ SURINKIMO TECHNOLOGIJŲ ĮRENGIMO VIETOS NUSTATYMAS

Kastytis Plėštys¹, Robertas Pečeliūnas²

^{1, 2}*Vilniaus Gedimino technikos universitetas*

El. paštas: ¹kastytis.plestys@gmail.com; ²robertas.peceliunas@vgtu.lt

Santrauka. Straipsnyje nagrinėjamas transporto srautų duomenų surinkimo technologijų įrengimo vietos parinkimo specifika. Darbo tikslas – įvertinant miesto tinklo atkarpose piko metu susidarančias transporto priemonių eilės ilgius, delsos laikus bei šviesoforo šviesos signalų trukmes, nustatyti kurioje tarp sankryžų atkarpos vietoje tikslingiausia įrengti duomenų surinkimo technologijas. Nustatyta įrengimo vieta gali suteikti optimalią informaciją apie padėtį ne tik atkarpoje bet ir tam tikrame miesto tinkle. Tiriant Vilniaus miesto sankryžas, naudojantis kompiuterine programa „SIDRA“ buvo nagrinėjami iš „Eismo valdymo centro“ gauti duomenys. Straipsnyje pateikta tyrimų rezultatų analizė, gauti santykiniai dydžiai, pagal kuriuos galima spręsti apie duomenų surinkimo technologijų įrengimo vietos specifiką. Suformuluotos išvados ir pasiūlymai.

Reikšminiai žodžiai: transporto srautai, duomenų surinkimo technologijos, sankryža, transporto eilė, delsa.

Įvadas

Šiuo metu, kai transporto priemonių skaičius keliuose sparčiai auga, vis aktualesnė tampa eismo srautų optimizavimo problema. Tyrimų duomenys rodo, kad dėl šios priežasties Europos Sąjungoje gali būti iššvaistoma 1–2 % ES BVP (White papers, 2011). Automobilizacijos lygiui sparčiai didėjant būtini transporto srautų judėjimo optimizavimo sprendimai, nes transporto sektorius yra vienas didžiausių iškastinio kuro vartotojų, todėl situacijos gerinimas daro įtaką energijos suvartojimui, aplinkos taršai, keleivių ir krovinių judėjimo greičiui bei žmonių gyvenimo kokybei.

Daugėjant automobilių, labai intensyviai didėja gatvių bei sankryžų apkrovimas, kuo ilgiau transporto priemonės stovi sankryžose, tuo labiau teršiama aplinka bei bereikalingai deginami degalai. Šias problemas galima spręsti platinant kelius, didinant eismo juostų skaičių, didinant akciją degalams, tobulinant visuomeninio transporto sistemą, kuriant intelektualias transporto valdymo sistemas. Sparčiai tobulėjant technologijoms atsiranda vis didesnės galimybės efektyviai suvaldyti transporto srautus.

Tikslus transporto priemonių skaičiavimas ir jų klasifikavimas – svarbi geros eismo kontrolės prielaida. Video kameros, radariniai srauto skaičiuokliai ir greičio matuokliai pateikia informaciją apie transporto priemonių judėjimą. Tai leidžia eismo valdymo specialistams prognozuoti transporto srautus ir imtis priemonių, gerinančių

vairavimo sąlygas. Tačiau svarbi ne tik pati transporto priemonės fiksuojanti technologija, bet ir jos vieta, bei skaičius gatvių tinkle.

Darbe nagrinėjami pagrindiniai duomenų surinkimo technologijų parinkimo bei montavimo vietos nustatymo klausimai, kuriuos galima sėkmingai spręsti tik turint pakankamai duomenų ir susipažinus su šiuolaikiniais jų sprendimo metodais.

Mokslinėje literatūroje yra daug pasiūlymų kaip gauti informacijos apie padėtį miesto tinkle panaudojant naujas technologijas. Vienas iš jų, tai bevielio transporto priemonių duomenų surinkimas naudojantis sistema MPS430F1161, kurią sudaro mažos galios mikrovaldikliai ir bevielio nuotolinio valdymo modulis nRF905 (Li, Tian 2013). Įdiegus kiekviename automobilyje modulį, būtų galima kelyje ne tik fiksuoti transporto srautus, bet ir gauti pilną informaciją apie konkrečią transporto priemonę (metus, marke, draudimą ir kitus duomenis), tačiau tai reikalauja labai didelių išlaidų. Tokiam pat kiekiui informacijos gauti su mažesnėmis lėšomis galima panaudojus RFID technologiją (Wen 2010). Naudojantis šia sistema galima ne tik rinkti transporto srauto duomenis, bet ir fiksuoti kriminalinius pažeidimus (vagystės, kelių mokescių vengimas). Tačiau šis būdas taip pat reikalauja didelių išlaidų, sisteminių pakeitimų ir ilgos montavimo trukmės.

Transporto srautus stebėti bei įvertinti į orą išmetamų teršalų kiekį galima panaudojant mikrofonus (Can *et al.* 2011). Tiriant transporto priemonių išskiriamą triukš-

mą galima nustatyti transporto srauto intensyvumą, greitį bei klasifikuoti sunkųjį ir lengvąjį transportą. Šis metodas reikalauja tikslios įrenginių kalibracijos, skirtingoms vietovėms reikalinga būtent tai vietai pritaikyta kalibracija. Mikrofonai turi būti įrengti visiškai šalia vienos kelio juostos, kad priešingos eismo juostos garsai netrukdytų įvertinti transporto srautų parametrus. Labai panaši technologija – seisminiai jutikliai (Wang *et al.* 2013). Šiam metodui naudojami du seisminiai jutikliai įmontuoti į kelio sluoksnį. Jutiklių fiksuojami duomenys įrašomi į duomenų saugojimo įrenginį ir apdorojami kryžminės koreliacijos metodu. Pagal gautus duomenis galima charakterizuoti įvairią informaciją apie transporto priemonę: greitį, atstumą tarp ašių, judėjimo kryptį. Šis būdas yra efektyvesnis už akustinį transporto srautų duomenų gavimą, nes jam nedaro įtakos pašaliniai garsai bei oro ir eismo sąlygos. Tačiau duomenų surinkimas iš seisminių jutiklių yra mažo tikslumo, apie 20 %.

Naudojantis naujausiomis technologijomis galima gauti išsamios informacijos apie pačias transporto priemones, jų greitį, tipą. Tačiau tikslią informaciją apie padėtį miesto tinkle galima gauti tik jas montuojant tam tikrose nustatytose vietose. Todėl mokslinėje literatūroje aprašomos ne tik technologijos transporto srautų fiksavimui, bet ir modeliai kaip nustatyti kiek miesto tinklo gatvių turi turėti jutiklius, kurie stebėtų transporto srautus bei nustatytų susidariusias spūstis (Gentili ir Mirchandani 2012), ir koks optimalus skaičius jutiklių viename ruože turi būti (Deng ir kiti 2013). Tačiau nėra išnagrinėta apkrautose miesto gatvėse konkreti jutiklių statymo vieta ir jutiklių vietos nustatymo skaičiavimo metodika.

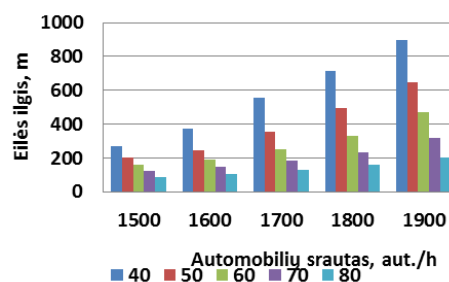
Esamų jutiklių įrengimo vietos problematika

Vilniuje šiuo metu 138 sankryžos yra integruotos į vieną šviesoforų valdymo sistemą „MOTION“, kuri eismo srautus reguliuoja centralizuotai ir realiu laiku. Tai daugiausia sankryžų apimanti sistema Europoje (kaip pavyzdžiui, Kopenhagoje sistema apima 36 sankryžas, Bremene 35, Varšuvoje 25, Prahoje 21). Ši sistema surenka duomenis, juos apdoroja, išanalizuoja ir tinkamiausius įvestus šviesoforų veikimo ciklus. Visa informacija šviesoforams perduodama automatizuotai, todėl jie veikia pagal pateiktą ciklą ir kontroliuoja eismą realiu laiku.

Sistema apie transporto srautus gauna iš sankryžų jutiklių, taip apskaičiuodamas eismo valdymo centro serveris optimalią šviesoforų signalų trukmę kiekvienai sankryžai. Vilniuje visi jutikliai įrengti prieš pat „stop“ liniją ir/ar 40m atstumu nuo „stop“ linijos. Jutikliai montuojami toliau nuo „stop“ linijos atlieka automobilių eilės nustatymo funkciją ir skaičiuoja pravažiuojančių transporto priemonių skaičių, o esantys prie „stop“ linijos reikalingi žaliajo signalo iškvietimui. Kai kuriose sankryžose jutikliai yra montuojami už sankryžos, tokiu atveju skaičiuojamas nuvažiuojančių transporto priemonių srautas.

Vilniaus mieste įmontuoti jutikliai 40 m atstumu nuo „stop“ linijos yra neracionalūs apkrautose sankryžose, nes jose transporto priemonių eilė dienos metu pastoviai didesnė nei 40 m. Tokiu atveju šie jutikliai nuolat fik-

suoja susidariusias spūstis, taip neteikdami reikalingos informacijos apie realią situaciją miesto problemiškesniuose ruožuose, todėl norint gauti kuo tikslesnius realaus laiko duomenis reikia keisti jutiklių įrengimo vietas. Apkraudų sankryžų tyrimui pasirinkta Ozo–Kareivių–Kalvarių, Verkių–Kareivių ir Žirmūnų–Kareivių gatvių sankryžos. Iš eismo valdymo centro buvo gauti transporto srautų duomenys nuo 2014-04-15 iki 2014-04-17 dienos, kurie buvo modeliuojami programiniu paketu „Sidra“, parenkant maksimalias ir minimalias ribas ir kuriant scenarijus. Ozo–Kareivių–Kalvarių sankryžoje fiksuojami vieni didžiausių transporto srautų Vilniaus mieste, kurių priklausomybė nuo šviesoforo žaliajo signalo laiko trukmės pavaizduota 1 pav.



1 pav. Automobilių eilės ilgiai Ozo–Kareivių gatvių sankryžoje, kintant transporto srautui ir šviesoforo fazijų trukmei

Iš grafiko matoma, kad esant galimam minimaliam transporto srautui 1500 aut./h ir didžiausiam realiam žaliajo signalo laikui 80s (pailginus dar labiau žalią signalą, sankryžos priešingose kryptyse susidarys didelės transporto spūstys), automobilių eilė susidaro 88 m ilgio. Tai Ozo gatvėje esantys jutikliai dienos metu, kai didžiausi transporto srautai realios situacijos nepateikia.

Tokiu pat būdu yra įvertinami transporto srauto eilės ilgiai Verkių g.–Kareivių g. sankryžos, Kareivių gatvėje iš vakarų į rytus kryptimi. Analogiškai prieš tai buvusiai sankryžai analizuojant, matoma kad šioje sankryžoje dienos metu mažiausias eilės ilgis – 216 m, gali susidaryti esant galimai mažiausiam transporto srautui – 1400 aut./h ir galimai didžiausiam žaliajo signalo laiko trukmei – 70 s. Taip pat išanalizuojamas ir Žirmūnų g.–Kareivių g. sankryžos, Kareivių gatvėje iš vakarų į rytus esama situacija. Šioje sankryžoje dienos metu mažiausias susidarantis eilės ilgis – 279 m, kuris gali susidaryti esant galimai mažiausiam transporto srautui – 1400 aut./h ir galimai didžiausiam žaliajo signalo laiko trukmei – 70 s. Esant didesniems transporto srautams ir/arba mažesnėms žaliajo signalo trukmėms automobilių eilės susidaro ilgesnės. Todėl ir šiose sankryžose jutiklių vietos realios situacijos nepateikia.

Jutiklių racionali montavimo vieta

Vilniaus miesto sankryžose kur fiksuojami didžiausi transporto srautai, pralaidumą mažina už sankryžos susidaranti transporto spūstys. Šiuo metu prieš „stop“ liniją įrengti jutikliai fiksuodami transporto spūstis ir duodami signalą prailginti žalią signalą realios naudos neduos jei už sankryžos bus susidariusi spūstis, dėl kurios

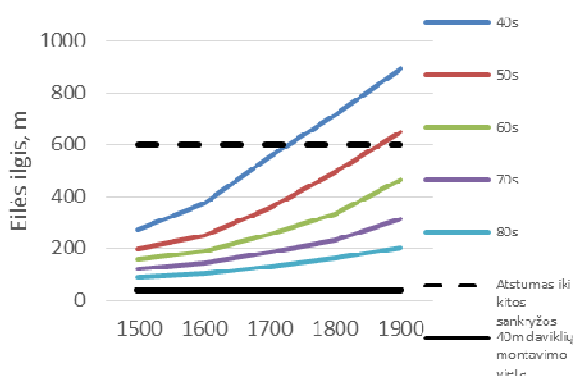
neįmanoma pravažiuoti daugiau transporto priemonių nors ir kiek būtų ilginamas žalias signalas. Todėl prieš montuojant jutiklius yra būtina įvertinti transporto srautus ir atstumus tarp sankryžų. Nagrinėjant Ozo–Kareivių–Kalvarių, Verkių–Kareivių ir Žirmūnų–Kareivių gatvių sankryžas pirmiausia įvertinami atstumai tarp jų, kurie yra 604 m, 576 m, 598 m.

Turint atstumus tarp sankryžų bei pasinaudojus programa „SIDRA“ modeliuojamos įvairios situacijos su kiekviena sankryža atskirai, siekiant įvertinti susidarančius transporto srauto eilės ilgius, transporto priemonių delsos laikus ir jų priklausomybę nuo žalio signalo trukmės bei transporto srauto dydžio. Sumodeliuotos Ozo g.–Kalvarių g. sankryžos rezultatai pateikti 1 lentelėje.

1 lentelė. Transporto srauto eilės ilgių priklausomybė nuo transporto srauto ir žalio signalo trukmės

	Transporto srautas aut./h					
	1500	1600	1700	1800	1900	
Žalio signalo trukmė	40 s	272 m	374 m	553 m	713 m	895 m
	50 s	201 m	248 m	357 m	494 m	648 m
	60 s	159 m	188 m	253 m	331 m	468 m
	70 s	123 m	146 m	186 m	233 m	316 m
	80 s	88 m	104 m	132 m	162 m	206 m

1 lentelės duomenys grafiškai vaizduojami 2 pav. Išanalizavus grafiką matoma kad transporto srauto eilės ilgis pasiskirsto tarp esamų jutiklių montavimo vietų (40 m) ir atstumo iki prieš tai esančio Ozo gatvėje pastatyto šviesoforo (604 m). Esant padidėjusiam transporto srautui, ir nekintant žalio signalo trukmei, transporto priemonių eilė gali susidaryti daug ilgesnė nei atstumas tarp šviesoforų, o tai jau žymiai trukdytų prieš tai esančios sankryžos pralaidumą.



2 pav. Automobilių eilės ilgio priklausomybė Ozo–Kalvarių gatvių sankryžoje, nuo žalio signalo trukmės ir transporto srauto

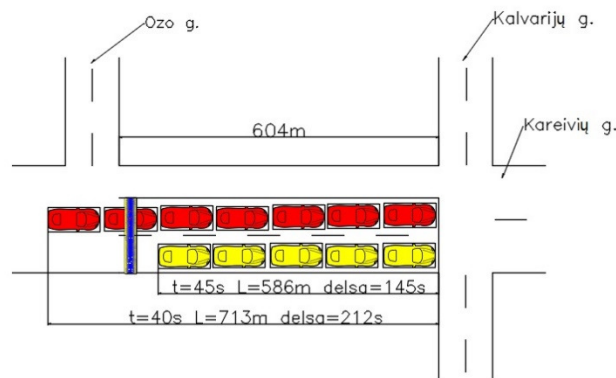
Tiriant atkarpos galą, kaip galimą jutiklio statymo vietą, matoma kad didžiausi laiko nuostoliai patiriami, kai transporto eilės ilgiai viršija atkarpos ilgį (26,4 % transporto priemonių susidarančios eilės atvejų viršija atkarpos ilgį), tokiais atvejais vidutinis transporto priemonės delsos laikas yra 300,2 s, kai transporto priemonių eilės ilgiai susidaro tarp atkarpos vidurio ir jos galo vidutinis delsos laikas 72,8 s, t. y. daugiau nei keturis kartus mažesnis. Už sankryžos įmontuoti jutikliai perduotų signalą tolimesnės sankryžos žalia signalo ilginimui ir tuo pat

metu turėtų duoti signalą sankryžai, kurioje jie yra įrengti, nekeisti šviesoforo signalo laiko trukmės, nes nepadidins pralaidumo, o tik padidins transporto srauto eiles kitose šios sankryžos kryptyse.

Transporto srautų jutikliai fiksuodami transporto spūstis už sankryžos ir duodami signalą prailginti 5 s žalią signalą, gali žymiai sumažinti susidariusią transporto spūstį, bei sumažinti kiekvienos transporto priemonės delsos laiką. 2 lentelėje aprašyti Ozo g.–Kalvarių g. sankryžos transporto srautai prie tam tikros žalio signalo trukmės, kai jutiklis esantis už sankryžos fiksuoja spūstį ir prailgina 5 s žalią signalą. Šią situaciją vaizdžiai iliustruoja 3 pav., kuriame matomas jutiklių veikimo principas, kai transporto srautas nuo Ozo g. link Ozo g.–Kalvarių g. sankryžos yra 1800 aut./h ir šia kryptimi šviesoforo žalio signalo ilgis 40 s. Jutiklis užfiksavęs spūstį ir duodamas signalą prailginti žalią signalą iki 45 s sumažina 127 metrais (25 %) susidariusios eilės ilgį ir 67 sekundėmis (38 %) sumažina kiekvienos transporto priemonės vidutinį delsos laiką.

2 lentelė. Transporto srauto eilės ilgių ir vidutinės delsos laiko priklausomybė nuo transporto srauto ir žalio signalo trukmės

	Transporto srautas aut./h	
	1800	1900
Eilės ilgio ir delsos laiko priklausomybė nuo žalio signalo trukmės	Žalia 40 s – Eilė 713 m, delsa 212 s	Žalia 50 s – Eilė 648 m, delsa 153 s
	Žalia 45 s – Eilė 586 m, delsa 145 s	Žalia 55 s – Eilė 570 m, delsa 111 s



3 pav. Transporto srauto jutiklio veikimo principas

Išanalizavus visus esamos situacijos transporto srautų duomenis programiniu paketu „SIDRA“ Ozo–Kareivių–Kalvarių, Verkių–Kareivių ir Žirmūnų–Kareivių gatvių sankryžų atkarpose gaunama, kad pavyzdžiui dienos metu tarp Ozo–Kareivių–Kalvarių ir Verkių–Kareivių gatvių sankryžų transporto priemonių vidutinis eilės ilgis susidaro 448 m. Tarp šių sankryžų esančios gatvės atkarpos ilgis yra 576 m, tai vidutinis eilės ilgis sudaro 78 % atkarpos ilgio. Todėl šiame gatvės ruože neracionalios yra jutiklių vietos prieš sankryžą ar viduryje jos, nes nei viena iš šių vietų nesuteiks informatyvumo apie realią padėtį piko metu šioje miesto vietoje, kartu nebus galima parinkti optimalaus šviesoforo fazių trukmių ilgio.

3 lentelė. Vidutinis transporto priemonių eilių ilgis atkarpoje tarp Ozo g. ir Ozo–Kalvarijų gatvių sankryžų

	Transporto srautas aut./h				
	1500	1600	1700	1800	1900
Žalio signalo laikas nuo 40 s iki 80 s	168,6 m	212 m	296,2 m	386,6 m	506 m

4 lentelė. Vidutinis transporto priemonių eilių ilgis atkarpoje tarp Ozo–Kareivių–Kalvarijų ir Verkių–Kareivių gatvių sankryžų

	Transporto srautas aut./h				
	1400	1500	1600	1700	1800
Žalio signalo laikas nuo 30 s iki 70 s	272,8 m	341 m	429,2 m	534,4 m	663 m

Atkarpoje tarp Verkių–Kareivių ir Žirmūnų–Kareivių gatvių sankryžų vidutinis susidarantis transporto priemonių eilių ilgis, kai transporto srautas yra nuo 1400 iki 1600 aut./h – 522,8 m. Atstumas tarp šių sankryžų yra 598 m, tai vidutinis susidarantis eilės ilgis piko metu sudaro 87 % atkarpos ilgio. Šiame gatvės ruože taip pat racionaliausia jutiklio montavimo vieta yra už Verkių–Kareivių gatvių sankryžos.

5 lentelė. Vidutinis transporto priemonių eilių ilgis atkarpoje tarp Verkių–Kareivių ir Žirmūnų–Kareivių gatvių sankryžų

	Transporto srautas aut./h				
	1400	1500	1600	1700	1800
Žalio signalo laikas nuo 30 s iki 70 s	409,2 m	515 m	644,2 m	793 m	955,8 m

Jutiklių veikimo algoritmai

Sankryžose jutiklių montavimo vietų pavyzdžiai pateikti 4 paveiksle raidėmis a, b, c.

Už I sankryžos esantis jutiklis a fiksuodamas transporto spūstį, perduoda signalą serveriui, kuris tuo pačiu metu analizuoja gautus duomenis iš II sankryžos jutiklio b. Jei b jutiklis nefiksuoja spūsties II sankryžoje pailginamas žalias šviesoforo signalas, jei po signalo laiko pakeitimo, a jutiklis vis tiek fiksuoja spūstį, vėl iš naujo turi būti analizuojami duomenys iš jutiklio b. Tačiau prieš kiekvieną žalios fazės ilginimą turi būti analizuojama situacija ir kitose sankryžos važiuojamose dalyse, nes esant didelėms transporto spūstims kitose sankryžos daly-

se, žalio signalo prailginimas gali dar labiau pabloginti situaciją. Serverio darbo algoritmas naudojantis jutiklių teikiama duomenis pagal 4 paveiksle nurodytą schemą, pateiktas 5 paveiksle.

Šio algoritmo principu galima sujungti labiausiai apkrautų sankryžų ruožą, kurios yra priklausomos viena nuo kitos. Jutiklius montuojant už sankryžos būtų matomos realiu laiku esančios sąlygos. Šie jutikliai atliktų ne tik spūsties aptikimo funkciją, bet ir būtų naudojami nuvažiuojančių transporto priemonių skaičiui įvertinti, ir pagal tai nustatyti tam tikrus sankryžų šviesoforų fazių ilgius.

Dažnai šiame darbe nagrinėjamos sankryžose spūstys susidaro ne piko metu dėl įvairių priežasčių – sporto renginių, koncertų ar kitose sankryžose įvykusių eismo įvykių. Tokiu atveju, jei jutiklis fiksuoja netikėtai didelį skaičių nuvažiuojančių transporto priemonių, serveris iš anksto įvertinęs situaciją gali pakeisti šviesoforų signalų laikus, taip sumažindamas netikėtai atsiradusias spūstis.

Išvados

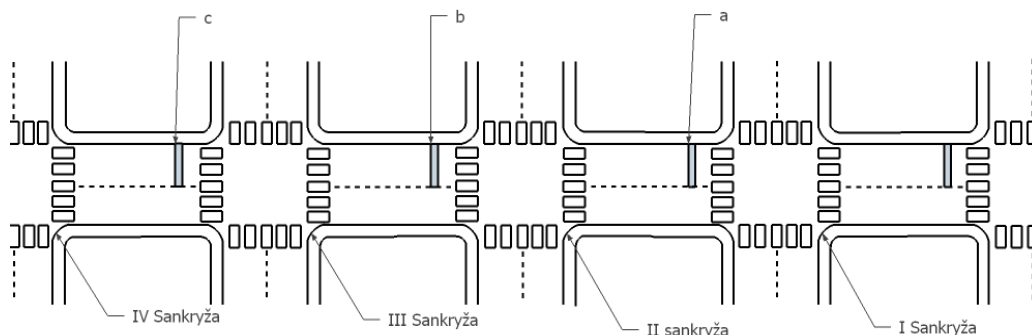
1. Vilniaus mieste prie labiausiai apkrautų sankryžų esantys jutikliai naudojami kaip spūsties aptikimo priemonė, yra neveiksminga, dėl per arti sankryžos įmontuotų vietų, tai yra 40 m atstumu, kai dėl esančių transporto srautų dienos metu transporto priemonių eilė vidutiniškai sudaro 400 m.

2. Piko metu tarp nagrinėjamų sankryžų vidutinis transporto srauto eilės ilgis sudaro nuo 78 % tarp sankryžų esančio atstumo ilgio.

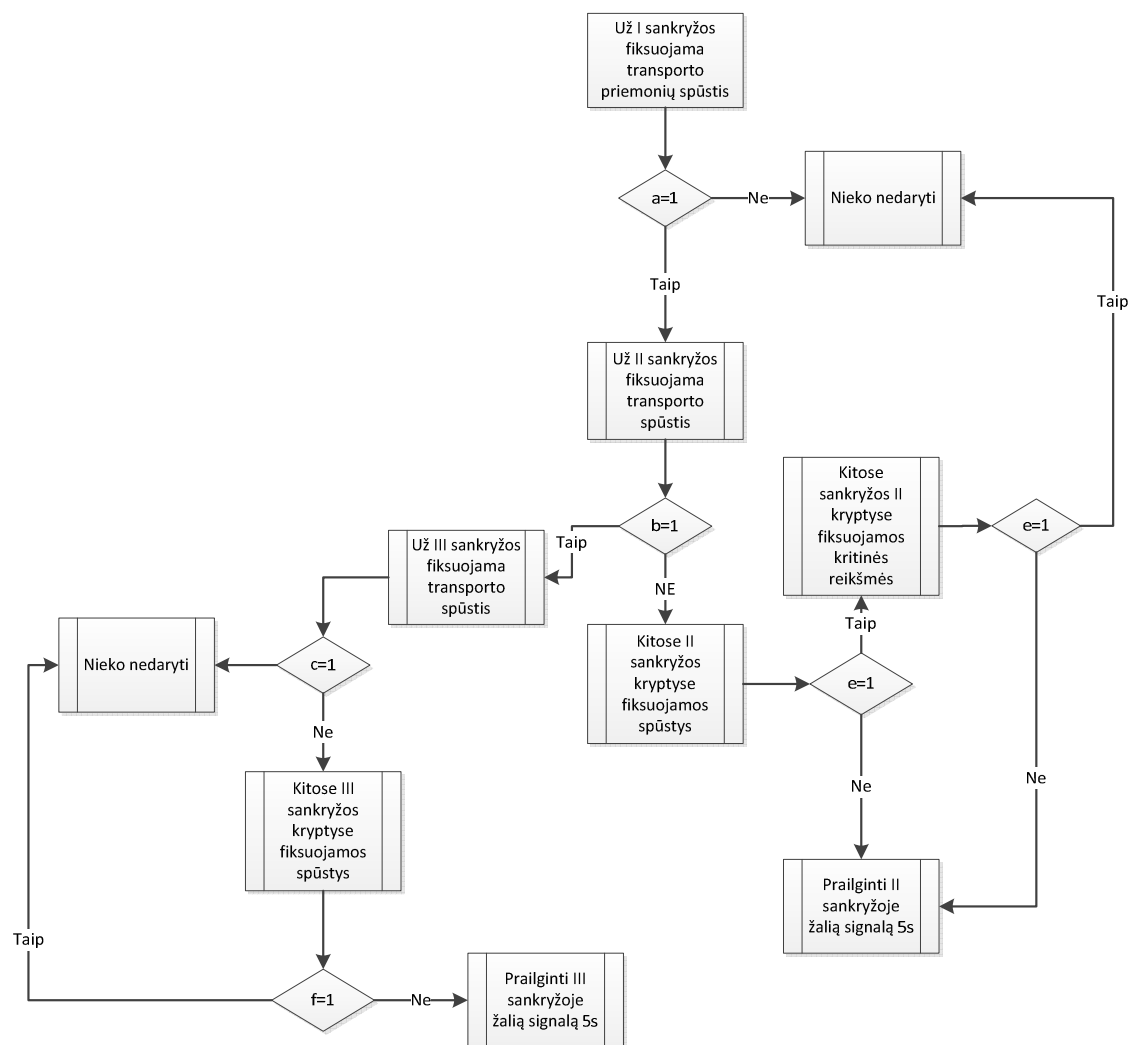
3. Esant ekstremalioms, avarinėms situacijoms, transporto priemonių eilės ilgis galėtų susidaryti net 1,8 karto ilgesnis nei atstumas tarp sankryžų, o tai jau žymiai trukdo prieš tai esančios sankryžos pralaidumą.

4. Apkrautose sankryžose jutikliai turėtų būti montuojami už sankryžos, taip jutikliai fiksuodami transporto spūstis ir duodami signalą prailginti žalio šviesoforo signalo trukmę 5 s, gali sumažinti transporto priemonių eilę 25 %, taip pat kiekvienos transporto priemonės vidutinį delsos laiką sumažinti 38 %.

5. Jutikliai įmontuoti už sankryžos gali atlikti ne tik spūsties aptikimo funkciją, bet ir fiksuoti transporto srautus, taip galima maksimaliai sumažinti ne piko metu susidarantį spūstis, jei serveris laiku gaus informaciją apie staiga smarkiai padidėjusius transporto srautus.



4 pav. Jutiklių statymo vietos



5 pav. Jutiklių veikimo algoritmas

Literatūra

- Can, A.; Dekoninck, L.; Rademaker, M.; Van Renterghem, T.; De Baets, B.; Botteldooren, D. 2011. Noise measurements as proxies for traffic parameters in monitoring networks, *Science of The Total Environment* 410–411: 198–204.
- Deng, W.; Lei, H.; Zhou, X. Traffic state estimation and uncertainty quantification based on heterogeneous data sources: A three detector approach, *Transportation Research Part B: Methodological* 57: 132–157.
- European Commission – Directorate-General for Mobility and Transport, 2011. White paper. Roadmap to a Single European Transport Area – Towards a competitive and resource-efficient transport System, Brussels.
- Gentili, M.; Mirchandani, P. B. 2012. Locating sensors on traffic networks: Models, challenges and research opportunities, *Transportation Research Part C: Emerging Technologies* 24: 227–255.
- Hongyan, G.; Fasheng, L. Estimating freeway traffic measures from mobile phone location data, *European Journal of Operational Research* 229(1): 252–260.
- Hongyu Li, Yuan Tian. The Development of the Wireless Vehicle Detector Data Receiving and Processing Host System, *Emerging Technologies for Information Systems, Computing, and Management Lecture Notes in Electrical Engineering* 236: 571–577.
- Lan, J.; Xiang, Y.; Wang, L.; Shi, Y. 2011. Vehicle detection and classification by measuring and processing magnetic signal, *Measurement* 44(1): 174–180.
- Wang, H.; Quan, W.; Liu, X.; Zhang, S. A Two Seismic Sensor Based Approach for Moving Vehicle Detection. *Procedia – Social and Behavioral Sciences* 96: 2647–2653.
- Wen, W. An intelligent traffic management expert system with RFID technology, *Expert systems with Applications* 37(4): 3024–3035.