

TRANSPORTO SRAUTŲ KETURŠALĖJE SANKRYŽOJE TYRIMAS

Irmantas MIKALAUSKAS, Vytauto Didžiojo universitetas, Žemės ūkio akademija, Inžinerijos fakultetas, el. paštas: irmantas.mikalauskas@stud.vdu.lt

Tomas MICKEVIČIUS, Vytauto Didžiojo universitetas, Žemės ūkio akademija, Inžinerijos fakultetas, el. paštas: tomas.mickevicius1@vdu.lt

Santrauka

Straipsnyje analizuojama keturšalė Pramonės, Savanorių ir Šiaurės prospektų sankryža Kauno mieste. Nagrinėjama kelių sankirta yra didelio intensyvumo transporto mazgas, kuris sujungia tris prospektus. Nagrinėjamas Savanorių prospektų kelio ruožas naudojamas kaip pagrindinė atvykimo ir išvykimo arterija, jungianti A1 ir A6 magistralinio kelio atkarpą. Transporto eismo intensyvumas buvo nagrinėjamas rytinio piko metu. Pravažiuojančių transporto priemonių srautų duomenys buvo renkami per dvi savaites. Renkama du kartus po keturias dienas: pirmadienį, antradienį, trečiadienį ir ketvirtadienį. Tyrimų tikslas buvo atlikti keturšalės Pramonės, Savanorių ir Šiaurės prospektų sankryžos transporto eismo srauto pralaidumo tyrimus ir pasiūlyti priemones, skirtas eismo srauto pralaidumui pagerinti. Transporto srautų modeliavimui buvo naudojama „PTV Vissim“ (Student Version, 2022) programinė įranga. Analizuojant rytinio piko metu susidarančius transporto priemonių srautus, išsiaiškinta, kad keturšalės sankryžos kryptimis juda apie 8006 transporto priemonės. Įvertinus sankryžos šviesoforų valdymo fazių trukmes, buvo pastebėta, kad šviesoforų Šiaurės ir Pramonės prospektų valdymas yra sujungtas. Pateikti sankryžos su papildomais nuvažiavimais simuliacijos rezultatai. Gauti simuliacijos rezultatai parodė, kad sumodeliavus papildomus nuvažiavimus ji tampa dalinai efektyvesnė ir pralaidesnė už dabartinę sankryžą. Pramonės prospektu kryptimi transporto priemonių gaities periodas sumažėja 5,9 proc., tuo tarpu Savanorių prospektu išvažiuojančių iš miesto kryptimi transporto eilių ilgiai nepakitę, lyginant su dabartine sankryža.

Reikšminiai žodžiai: transporto srautas, sankryža, pralaidumas, PTV Vissim.

Įvadas

Keliai vaidina svarbų vaidmenį transporte. Kelių tinklas sudėtinga sistema, užtikrinanti efektyvų transporto priemonių judėjimą. Didėjantis transporto priemonių skaičius lemia augantį eismo intensyvumą miestų gatvėse ir sankryžose. Ši problema ypač aktuali didmiesčiuose, kur eismo srautai sukuria dideles spūstis, didina eismo įvykių tikimybę ir prisideda prie aplinkos oro taršos (Jafari et al., 2021).

Sparti miestų urbanizacija kelia vis didesnius iššūkius kelių infrastruktūros planavimui bei projektavimui. Augantis transporto srautas reikalauja imtis efektyvių sprendimų, tobulinant miestų kelių mazgus, išskaidant susidariusius automobilių srautus, optimizuojant eismo valdymo sistemas ir taip mažinant neigiamą transporto poveikį miestų infrastruktūrai ir gyventojų sveikatai (Wu, Waterson, 2021). Eismo intensyvumas apibūdinamas kaip transporto priemonių skaičius, kertantis kelio atkarpą ar gatvės segmentą per tam tikrą laiko tarpą. Tai kintantis dydis, priklausantis nuo paros meto ir transporto infrastruktūros pralaidumo pajėgumo. Eismo intensyvumas gali būti apskaičiuojamas metų, mėnesio, savaitės, paros ar valandos trukmei. Moksliniuose darbuose išskiriami piko laikotarpiai, kai eismo grūstys būna didžiausios – rytais, kai gyventojai vyksta į darbą, ir vakarais, kai grįžta namo. Autoriai pažymi, kad tinkamas eismo srautų valdymas gali žymiai pagerinti transporto pralaidumą ir sumažinti spūstis (Nellore, Hancke, 2016).

Miestų transporto infrastruktūros organizavimas priklauso nuo kelių tinklo struktūros, eismo srautų pasiskirstymo, leistino greičio ribojimų, viešojo transporto maršrutų bei eismo reguliavimo priemonių (Chen, Englund, 2015). Siekiant sumažinti transporto srautų apkrovą ir optimizuoti eismo valdymą, dažnai naudojamos kelių eismo modeliavimo programos, leidžiančios įvertinti transporto tinklo veikimą bei pasiūlyti efektyvius sprendimus (Namazi et al., 2019). Autoriai savo darbe pažymi, kad modeliuojant kelių eismą mikroskopiniu lygiu galima analizuoti kiekvienos transporto priemonės dinamiką, trajektorijas bei jų sąveiką su kitais eismo dalyviais, taip užtikrinant efektyvesnį eismo judėjimą (Eom, Kim, 2020).

Tyrinėdami miesto sankryžos eismo tinklo pralaidumo gerinimą, autoriai įvardija, kad vienas iš būdų optimizuoti efektyvų transporto srautų valdymą yra pažangaus eismo valdymo sprendimo įdiegimas, kuris apimtų adaptyvus šviesoforų valdymą, realaus transporto stebėjimo laike sistemas ir dirbtinio intelekto algoritmus, kurie galėtų prognozuoti transporto srautų pokyčius ir padėtų sumažinti kelių transporto spūstis. Tyrėjų siūlomas metodas sumažintų eismo intensyvumą ir avarijų su automobiliais skaičių reguliuojant eismą miesto kelyje naudojant modelio nuspėjamą valdymą. (Jafari et al., 2021). Mokslinio straipsnio autoriai teigia, kad realiuoju laiku veikiančios sankryžų valdymo sistemos, kurios naudoja dirbtinio intelekto algoritmus ir duomenų analizę, gali efektyviai mažinti eismo spūstis ir optimizuoti šviesoforų signalus. Pagrindinę stebėjimo sistemos dalį sudaro vaizdo kameros ir specialios vaizdo signalų apdorojimo ir perdavimo plokštės, kurios įrengiamos reikiamose kelio atkarpose ir sankryžose. Taip realiuoju laiku gaunama informacija apie eismo situaciją atitinkamame kelio ruože ir padedama valdyti eismo srautus. Viena iš pagrindinių pažangiosios eismo valdymo sistemos sudedamųjų dalių yra eismo duomenų rinkimo mechanizmas. Šis mechanizmas pagrįstas vaizdo kameromis ir skaitmenine duomenų apdorojimo įranga. Mokslininkai siūlo dirbtiniu intelektu grįstas šviesoforų valdymo sistemas, kurios, naudodamos neuroninius tinklus ir gilųjį mokymąsi, realiu laiku prisitaikytų prie besikeičiančių transporto srautų (Pan et al., 2025). Taip pat didelį vaidmenį turėtų atlikti ir integruoti viešojo transporto sprendimai, skatindami žmones rinktis alternatyvias keliavimo priemones (Alekszejnko, Dobrowiecki, 2021).

Didėjant transporto priemonių skaičiui, neišvengiamai kyla ir eismo įvykių grėsmė, todėl svarbu tinkamai organizuoti ne tik transporto priemonių, bet ir pėsčiųjų srautus. Autoriai atliekamuose tyrimuose nagrinėja inovatyvius sprendimus, tokius kaip pažangios pėsčiųjų perėjos ir išmaniosios transporto priemonių valdymo sistemos, leidžiančias sumažinti eismo įvykių tikimybę sankryžose (Olayode et al., 2020). Mokslininkai, nagrinėdami išmanę miesto eismo valdymo sistemą, savo darbe pabrėžė, kad būtina atkreipti dėmesį į darnaus judumo skatinimą ir aplinkai draugišką transporto priemonių integraciją į miesto infrastruktūrą (Ouallane et al., 2022).

Transporto srautų valdymo gerinimas Lietuvos miestuose yra būtinas, siekiant sumažinti spūstis, eismo įvykius ir neigiamą oro taršą. Efektyviausi būdai tai pasiekti – naudoti pažangias eismo valdymo technologijas, optimizuoti esamą infrastruktūrą ir skatinti darnaus judumo sprendimus.

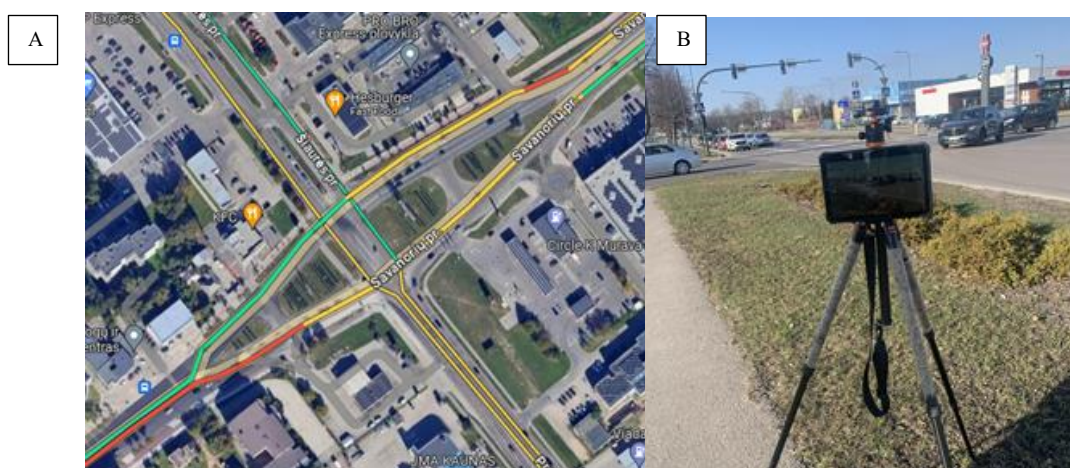
Tyrimo tikslas – ištirti keturšalės Pramonės, Savanorių ir Šiaurės prospektų sankryžos transporto srautus ir pasiūlyti priemones, skirtas eismo srauto pralaidumui pagerinti.

Iškeltam tikslui pasiekti sprendžiami šie **uždaviniai**:

1. Atlikti transporto srautų tyrimus keturšalėje Pramonės, Savanorių ir Šiaurės prospektų sankryžoje.
2. Išanalizuoti keturšalės sankryžos eismo valdymo ir reguliavimo priemones.
3. Naudojant „PTV Vissim“ programinę įrangą, keturšalėje Pramonės, Savanorių ir Šiaurės prospektų sankryžoje sukurti modelį ir pasiūlyti priemones, skirtas eismo srauto pralaidumui pagerinti.

Tyrimų objektas ir metodai

Tyrimai atlikti Kauno mieste, keturšalėje Pramonės, Savanorių ir Šiaurės prospektų sankryžoje. Nagrinėjama kelių sankirta yra didelio intensyvumo transporto mazgas, kuris sujungia tris prospektus. Nagrinėjamas Savanorių prospekto kelio ruožas naudojamas, kaip pagrindinė atvykimo ir išvykimo arterija, jungianti A1 ir A6 magistralinio kelio atkarpą. Tiriamoji keturšalė Pramonės, Savanorių ir Šiaurės prospektų sankryža ir fiksuojamos transporto spūstys rytinio piko metu pateikta 1 (A) paveiksle. Paveiksle galima pastebėti, kad didžiausias transporto eismo intensyvumas susidaro nuo miesto pusės Savanorių prospekto kryptyse.



1 pav. Keturšalė Pramonės, Savanorių ir Šiaurės prospektų sankryža
Fig. 1. Four-way intersection of Pramonės, Savanorių ir Šiaurės avenues

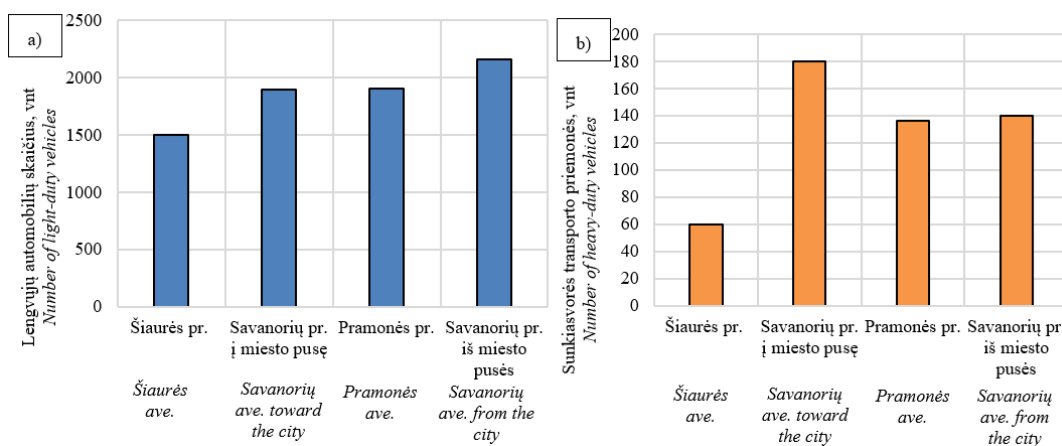
Atliekant tyrimą duomenų analizei pagrindinis dėmesys buvo skiriamas rytinio srauto piko laikui. Transporto srautų tyrimai sankryžoje buvo atliekami juos filmuojant vaizdo kameromis (žr. 1 pav. B). Tyrimai atlikti intensyviausiu rytinio piko laiku, prie sankryžos pastačius vaizdo kameras, kurios vaizdu apėmė visus transporto srautus sankryžoje. Vaizdo kameromis gauti transporto srautai buvo apdoroti. Nufilmuota vaizdo medžiaga buvo peržiūrima ir sužymimi transporto priemonių srautai ir pėsčiųjų pasiskirstymas visomis galimomis kryptimis sankryžoje. Pravažiuojančių transporto priemonių srautų duomenys buvo fiksuojami: 2024 kovo mėn. 4–7 dienomis ir balandžio mėnesio 8–11 dienomis. Skaičiavimai buvo atliekami pirmadienį–ketvirtadienį rytinio (7:30–8:30 val.) piko metu. Likusios savaitės dienos nebuvo analizuojamos dėl skirtingų kelionių tikslų ir jų įtakos transporto srautų pasiskirstymui transporto mazge.

Sankryžos eismo reguliavimui naudojami šviesoforo signalai. Sankryžos šviesoforų signalų fazių trukmės buvo matuojamos natūriniu būdu, vertinant signalų veikimo laiką.

Gauti duomenys buvo susisteminti „Microsoft Excel 2019“ programa, o duomenys pavaizduoti grafiškai. Transporto srautams modeliuoti buvo naudojama „PTV Vissim“ (Student Version, 2022) programinė įranga. Gauti rezultatai išanalizuoti ir sudarytos palankesnės sąlygos transporto priemonių judėjimui būtent šioje sankryžoje.

Tyrimų rezultatai ir jų aptarimas

2 paveiksle pateikti susisteminti transporto priemonių eismo intensyvumo duomenys skirtingomis kryptimis. Grafike galima pastebėti, kad nagrinėjamo rytinio piko metu šiomis kryptimis juda apie 8006 transporto priemonės.

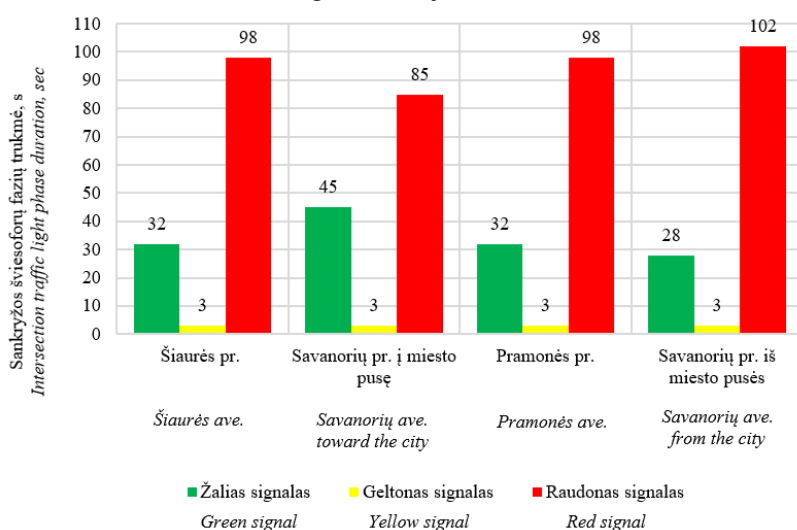


2 pav. Transporto priemonių eismo intensyvumas skirtingomis kryptimis: lengvieji automobiliai (a) ir sunkiasvorės transporto priemonės (b)

Fig. 2. Vehicle traffic intensity in different directions: light-duty vehicles (a) and heavy-duty vehicles (b)

Kaip matyti, Savanorių prospekte iš miesto pusės lengvųjų automobilių srautas rytinio piko metu, lyginant su srautu, įvažiuojančiu į miestą, 14 proc. didesnis, o tai ženkliai sulėtina eismą ir sudaro spūstis išvažiuojantiems iš miesto. Analizuojant įvažiuojančių į miesto pusę sunkiasvorių transporto priemonių srautą galima pastebėti, kad rytinio piko metu jis didėja. Gauti rezultatai patvirtina, kad esant dabartinei situacijai piko metu susidaro spūstis. Transporto eismo konfliktinių situacijų vietos yra ten, kur susikerta, susilieja arba atsisakoja automobilių srautų judėjimo trajektorija.

3 paveiksle pateikta sankryžos šviesoforų valdymo fazių trukmė. Iš pateikto grafiko galima pastebėti, kad Šiaurės ir Pramonės prospektų šviesoforų valdymas sujungtas. Abiejų krypčių šviesoforai eismo judėjimą įgalina vienu metu ir esant vienodai signalo trukmei. Ilgiausia žaliojo šviesoforo trukmė yra Savanorių prospekto atkarpoje nuo miesto. Šioje atkarpoje fiksuotas ilgiausias raudono šviesoforo signalo stovėjimo laikas.



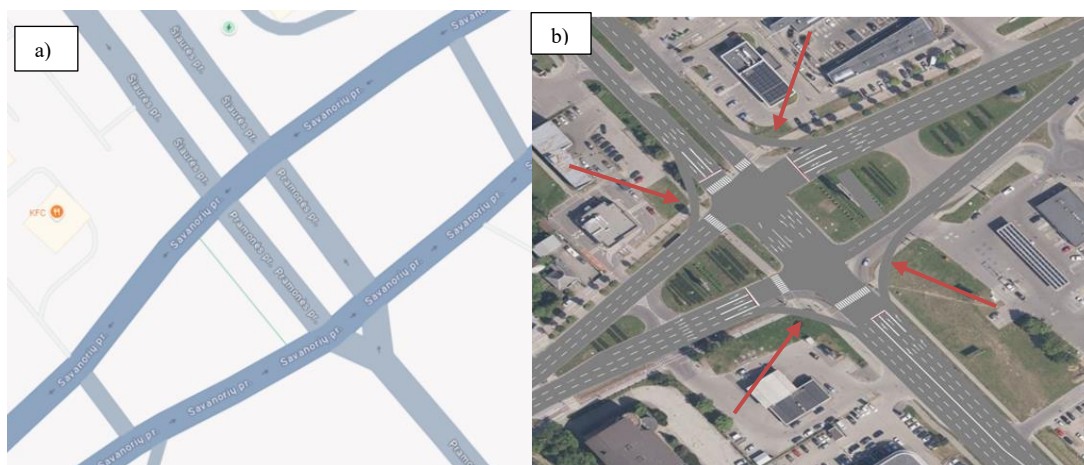
3 pav. Keturšalės Pramonės, Savanorių ir Šiaurės prospektų sankryžos šviesoforų valdymo režimas

Fig. 3. Four-way intersection of Pramonės, Savanorių ir Šiaurės avenues traffic light control mode

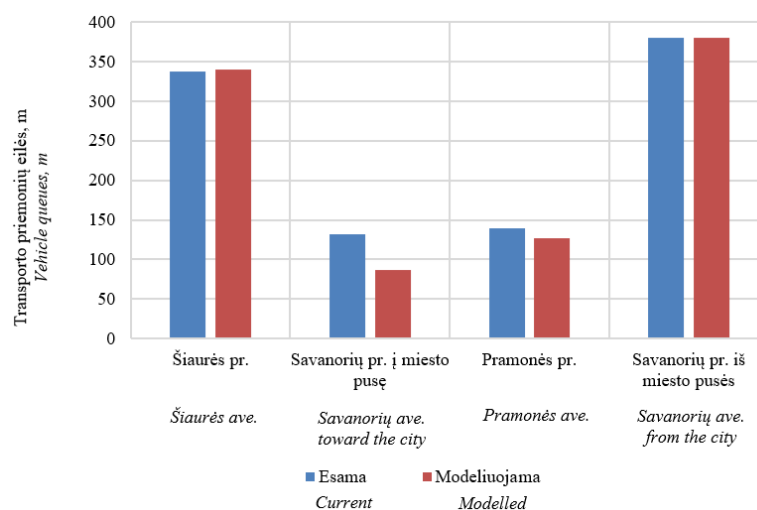
Savanorių prospekto atkarpoje nuo A1 ir A6 magistralinių kelių. Trumpiausia žaliojo šviesoforo signalo trukmė yra Savanorių prospekto atkarpoje nuo miesto. Šioje atkarpoje fiksuotas ilgiausias raudono šviesoforo signalo stovėjimo laikas.

Naudojant „PTV Vissim“ modeliavimo programą buvo sukurta visos sankryžos simuliacija (žr. 4 pav.). Taikant simuliaciją, buvo tobulinama esama sankryža, pridodant papildomus nuvažiavimus. Šioje modeliuojamoje sankryžoje šviesoforų signalinės grupės bei fazių trukmės buvo paliktos tokios, kokios yra dabartinėje sankryžoje.

5 paveiksle pateikti tobulinamos sankryžos su papildomais nuvažiavimais simuliacijos rezultatai. Kaip matyti iš grafiko, Šiaurės prospekto kryptimi transporto eilių ilgai sumažėja 1 proc., lyginant su esama sankryža. Savanorių prospekto įvažiuojančių į miesto pusės kryptį matomas 51,7 proc. transporto eilių sumažėjimas Pramonės prospekto kryptimi transporto priemonių eilių ilgai sumažėja 9,5 proc., tuo tarpu Savanorių prospekto išvažiuojančių iš miesto kryptimi transporto eilių ilgai nepakito, lyginant su dabartine sankryža.

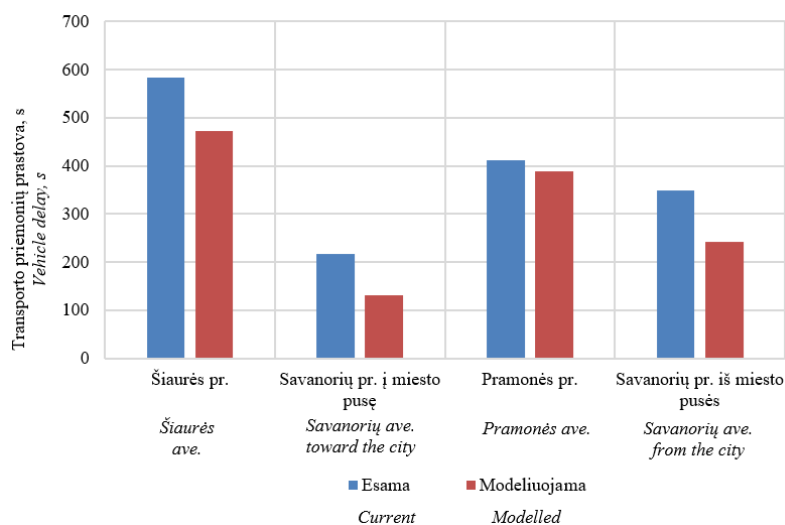


4 pav. Keturšalės sankryža: esama (a) ir modeliuojama (a) (su papildomais nusukimais)
Fig. 4. Four-way intersection: present (a) and modelled (a) (with additional exits)



5 pav. Transporto priemonių eilių ilgiai rytinio piko metu
Fig.5. Lengths of vehicle queues at the intersection

Transporto priemonių prastovos laiką galima įvertinti nagrinėjant eismo kokybės rodiklį (LOS). Prastova apibūdinama kaip laiko tarpas, kurį transporto priemonė praleidžia sankryžos kryptyje iki visiško išvažiavimo iš jos. Ji apima laukimą prie šviesoforo, priverstinius sustojimus dėl kitų eismo dalyvių ar kliūčių bei lėtėjimą ir pagreitėjimą sankryžos ribose. Prastovos trukmė priklauso nuo eismo intensyvumo, šviesoforo ciklą, kelio sąlygų ir kitų veiksnių, darančių įtaką transporto srautų pralaidumui. Kadangi prastova tiesiogiai veikia transporto priemonių gaišties periodą, ji yra svarbus veiksnys nustatant eismo kokybės lygį sankryžoje.



6 pav. Transporto priemonių prastovos kitimas rytinio piko metu
Fig.6. Variations in vehicle delay at the intersection

6 paveiksle pateiktas transporto priemonių prastovos kitimas. Iš pateikto grafiko matyti, kad Šiaurės prospekto kryptimi transporto prastova mažėja 23 proc., lyginant su esama sankryža. Savanorių prospekto įvažiuojančių į miesto pusės kryptį transporto eilių prastova gauta 44,6 proc. mažesnė. Pramonės prospekto kryptimi transporto priemonių gaišties periodas sumažėja 5,9 proc.. Vertinant Savanorių prospekto išvažiuojančių iš miesto pusės kryptį matomas 51,7 proc. transporto prastovos laiko sumažėjimas, lyginant su dabartine sankryža. Lyginant su dabartine sankryžos situacija, galima teigti, kad darbe modeliuojamas sankryžos modelis su papildomais nuvažiavimais taptų efektyvesnis, mažėtų eilės ir prastovos laikas, triukšmas ir aplinkos oro tarša.

Išvados

1. Išanalizavus rytinio piko metu susidarančius transporto priemonių srautus, išsiaiškinta, kad keturšalės sankryžos kryptimis juda apie 8006 transporto priemonės, todėl galima daryti prielaidą, kad sankryža apkrauta, todėl kyla spūstys, didėja teritorijos užterštumas ir triukšmas.
2. Įvertinus sankryžos šviesoforų valdymo fazių trukmes, buvo pastebėta, kad Šiaurės ir Pramonės prospektų šviesoforų valdymas yra sujungtas ir abiejų krypčių šviesoforai eismo judėjimą įgalina vienu metu esant vienodai signalo trukmei.
3. Su programine įranga „PTV Vissim“ atlikus modeliavimo scenarijus paaiškėjo, kad sumodeliavus papildomus nuvažiavimus ji tampa dalinai efektyvesnė ir pralaidesnė už dabartinę sankryžą.
4. Gauti simuliacijos rezultatai rodo, kad modeliuojamos Šiaurės prospekto sankryžos transporto prastova mažėja 23 proc., lyginant su esamąja sankryža.
5. Atlikus tyrimus buvo pastebėta, kad taikant modelį su papildomais nusukimais, Pramonės prospekto kryptimi transporto priemonių eilių ilgiai sumažėja 9,5 proc., tuo tarpu Savanorių prospekto išvažiuojančių iš miesto kryptimi transporto eilių ilgiai nepakito, lyginant su dabartine sankryža.

Literatūra

1. Alekszejenkó, L., & Dobrowiecki, T. (2021). Alleviating congestion in restricted urban areas with cooperative intersection management. *Intelligent Systems and Applications: Proceedings of the 2020 Intelligent Systems Conference (IntelliSys)*, Vol. 1 (pp. 34-52). Springer International Publishing.
2. Chen, L., & Englund, C. (2015). Cooperative intersection management: A survey. *IEEE transactions on intelligent transportation systems*, 17(2), 570-586.
3. Eom, M., & Kim, B. I. (2020). The traffic signal control problem for intersections: a review. *European transport research review*, 12, 1-20.
4. Jafari, S., Shahbazi, Z., & Byun, Y. C. (2021). Improving the performance of single-intersection urban traffic networks based on a model predictive controller. *Sustainability*, 13(10), 5630.
5. Namazi, E., Li, J., & Lu, C. (2019). Intelligent intersection management systems considering autonomous vehicles: A systematic literature review. *Ieee Access*, 7, 91946-91965.
6. Nellore, K., & Hancke, G. P. (2016). A survey on urban traffic management system using wireless sensor networks. *Sensors*, 16(2), 157.
7. Olayode, I. O., Tartibu, L. K., Okwu, M. O., & Uchechi, D. U. (2020). Intelligent transportation systems, unsignalized road intersections and traffic congestion in Johannesburg: A systematic review. *Procedia CIRP*, 91, 844-850.
8. Ouallane, A. A., Bakali, A., Bahnasse, A., Broumi, S., & Talea, M. (2022). Fusion of engineering insights and emerging trends: Intelligent urban traffic management system. *Information Fusion*, 88, 218-248.
9. Pan, Y., Li, F., Li, A., Niu, Z., & Liu, Z. (2025). Urban Intersection Traffic Flow Prediction: A Physics-guided Stepwise Framework Utilizing Spatio-Temporal Graph Neural Network Algorithms. *Multimodal Transportation*, 100207.
10. Wu, Z., & Waterson, B. (2021). Urban intersection management strategies for autonomous/connected/conventional vehicle fleet mixtures. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 23(8), 12084-12093.

STUDY OF TRAFFIC FLOWS AT A FOUR-WAY INTERSECTION

Abstract

This article analyses the four-way intersection of Pramonės, Savanorių and Šiaurės prospekts in Kaunas city. The intersection is a high-volume intersection that connects three avenues. The section of Savanorių Avenue is used as the main arrival and departure artery connecting the A1 and A6 trunk roads. The traffic volume has been analysed during the morning rush hour. Vehicle passing data were collected over a two-week period. It was collected twice on four days: Monday, Tuesday, Wednesday and Thursday. The aim of the studies was to carry out a traffic flow study at the four-way intersection of Pramonės, Savanorių and Šiaurės Avenue and to propose measures to improve the traffic flow. PTV VISSIM (Student Version, 2022) software was used to model traffic flows. The analysis of the morning peak hour traffic flows shows that there are approximately 8006 vehicles moving in the directions of the four-way intersection. When the control phase durations of the traffic lights at the intersection were evaluated, it was observed that the control of the traffic lights on Šiaurės and Pramonės Avenue is combined. The simulation results for the intersection with the additional right-

hand exits are presented. The simulation results obtained showed that the additional right-hand turns make the intersection insignificantly more efficient and more permeable than the current intersection. In the direction of Pramonės Avenue, the waiting period of vehicles is reduced by 5.9%, while in the direction of Savanorių Avenue, the queue lengths of vehicles exiting the city remain unchanged compared to the current intersection.

Keywords: traffic flow, intersection, throughput, PTV Vissim.