

Environmental engineering Aplinkos inžinerija

ŽIEDINIŲ SANKRYŽŲ ANALIZĖ IR REKOMENDACIJOS JOMS TAIKYTI LIETUVOS VALSTYBINĖS REIKŠMĖS MAGISTRALINIUOSE IR KRAŠTO KELIUOSE

Sandra JAKULYTĖ*, Virgaudas PUODŽIUKAS

Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Vilnius, Lietuva

Gauta 2018 m. kovo 19 d.; priimta 2018 m. balandžio 2 d.

Santrauka. Vykdamt eismo saugumo užtikrinimo politiką, dažnai priimamas sprendimas avaringoje sankryžoje įrengti žiedinę sankryžą. To priežastis yra ta, kad žiedinės sankryžos ilgą laiką buvo laikomos saugiausiomis sankryžomis dėl mažo konfliktinių taškų skaičiaus ir savybės sumažinti transporto priemonių greitį. Deja, žiedinių sankryžų projektavimas atsakingas procesas, kurio metu būtina atsižvelgti ne tik į eismo saugumo rodiklius, tačiau ir į kelio, kuriame ji projektuojama, funkcinę paskirtį. Kaip žinoma, keliai skirstomi pagal savo funkcinę paskirtį į 3 grupes: tranzitiniai, jungiamieji ir privažiavimo, pagal šias grupes užsienio šalyse reglamentuojami kelių geometriniai rodikliai, galimi sankryžų tipai, projektavimo klasės. Tranzitiniais keliams taikomi aukščiausi reikalavimai, nes tokiuose keliuose vyrauja tolygus eismas (važiavimo greičio pokytis negali būti didesnis nei 10 %), didelė sunkiasvorių transporto priemonių dalis eisme, o žiedinė sankryža tokiam kelyje sukelia chaosą dėl savo savybės sumažinti transporto priemonių greitį (greitis mažėja daugiau nei 10 %). Lietuva susiduria su problema – dėl netinkamo žiedinių sankryžų rengimo reglamentavimo valstybinės reikšmės keliuose susidaro transporto priemonių spūstys, didėja kuro sąnaudos, dažnai padaugėja ir eismo įvykių. Norint projektuoti ir įrengti žiedinę sankryžą, neužtenka analizuoti vien vidutinio metinio paros eismo intensyvumo, būtina atsižvelgti į kelio funkcinę paskirtį, kryptinį srautų pasiskirstymą sankryžoje, 30-osios valandos eismo intensyvumą, eismo pralaidumą ir eismo kokybės rodiklius, t. y. atlikti išsamius tyrimus ir analizes. Straipsnyje analizuojama žiedinė sankryža, esanti valstybinės reikšmės magistraliniame kelyje A4 Vilnius–Varėna–Gardinas 101,7 km, tyrimo metu nustatoma, ar žiedinės sankryžos eismo kokybės rodikliai atitinka kelio eismo kokybės rodiklius pagal kelio funkcinę paskirtį.

Reikšminiai žodžiai: atpažįstami keliai, eismo intensyvumas, eismo kokybės rodiklis, krašto keliai, magistraliniai keliai, pralaidumas, žiedinė sankryža.

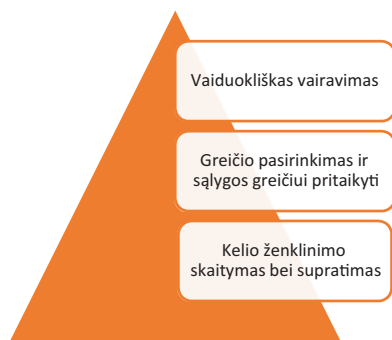
Įvadas

XXI amžiaus visuomenė yra judri, migruojanti ir globali. Kiekvienas jos narys kasdien juda automobiliu ar kito pobūdžio transporto priemone, tačiau kartu su judėjimu atsiranda atsakomybė, o kiekvienas eismo dalyvis nori jaustis saugus, suprasti aplinką, kurioje vyksta eismas. Dėl šios priežasties pasaulio valstybės susisiekiama komunikacija ir saugų eismą pasirenka pagrindine savo politikos kryptimi.

Kaip žinoma, eisme yra trys veiksniai: kelias ir jo aplinka, transporto priemonės ir žmogus. 95 % eismo įvykių įvyksta dėl žmogaus kaltės. Norint užtikrinti darnią ir saugią kelio aplinką, būtina nuodugniai ištirti ir suprasti, kaip žmonės funkcionuoja vertinami kaip susisiekiama infrastruktūros vartotojai. Danų mokslų daktarė Lene Herrstedt, analizuodama žmonių kaip kelių vartotojų elgseną, išskiria tris problemines sritis, kuriose žmonių elgsena daro įta-

ką eismo saugumui. 1 paveiksle nurodomos trys elgsenos sritys: vaiduokliškas vairavimas, greičio pasirinkimas ir sąlygos greičiui pritaikyti bei kelio ženklavimo skaitymas ir supratimas. Vaiduokliškas vairavimas yra reiškinys, kai vairuotojas išvažiuoja į priešpriešinio eismo juostą aukštos kategorijos keliuose (pavyzdžiui, autobanuose, automagistralėse), taip pat, kai transporto priemonės žibintai tamsiu paros metu būna išjungti (šiai žmonių kategorijai priskiriami nuo alkoholio ar kitų narkotinių medžiagų apsvaigę vairuotojai, savivudžiai, adrenalino ieškotojai). Kita problema yra greičio pasirinkimas bei sąlygos greičiui pritaikyti. Prie problemos susidarymo priežasčių priskiriama neteisingas kelio aplinkos supratimas, greičio viršijimas, saugaus atstumo nuo kitų transporto priemonių nesilaikymas. Trečioji problema ta, kad vairuotojai ne visada atpažįsta ir supranta kelių ženklavinimą. Toks nežinojimas

*Autorius susirašinėti. El. paštas sandra.jakulyte@vgtu.lt



1 paveikslas. Probleminės žmonių elgsenos sritys keliuose (Herrsedt, 2014)

Figure 1. Problematic areas of human behaviour on the roads (Herrsedt, 2014)

kyla dėl vairuotojo būsenos kelionės metu: išsiblaškyimas, dėmesio koncentravimas į mobilųjį telefoną, pokalbį su keleiviu. Šios trys probleminės žmonių psichologijos sritys įrodo, koks svarbus žmogiškasis faktorius eismo saugumui.

Vaiduokliško vairavimo problema praktiškai nepriklauso nuo kelio aplinkos, tačiau kitų veiksmų sukeliama padarinius saugiam eismui galima pašalinti. Kai pats kelias save paaiškina, žmogui lieka priimti labai mažai sprendimų: greitis kontroliuojamas, kelio ženklai nebūtini. Būtent atsižvelgiant į psichologinius veiksmus ir įvairius vairuotojų elgsenos modelius buvo sukurta atpažįstamų kelių koncepcija.

Prieš 30 metų Nyderlanduose žuvusiųjų skaičius keliuose buvo itin aukštas, lyginant su pačios valstybės nustatyta riba. 1970-ųjų metų duomenimis, apie 3200 olandų kasmet žūdavo susidūrus transporto priemonėms ar eismo įvykyje, iš jų 25 % pėsčiųjų. Šie skaičiai 15 % didesni nei tuo pačiu metu buvo Jungtinėse Amerikos Valstijose (JAV). Nors skirtingo dydžio, išsidėsčiusios skirtinguose žemynuose, tačiau dvi valstybės – Nyderlandai ir JAV – tuo pačiu metu, kaip ir dauguma šalių visame pasaulyje, pradėjo rūpintis eismo saugumu keliuose. Ir JAV, ir Nyderlandai tvirtino naujas technologijas automobiliuose, skatino vairuotojų švietimą, o dar 1960-aisiais pradėjo rūpintis magistralių atlaidumu. Visgi, lyginant dvi valstybes, kyla klausimas, kuri pirmoji priartėjo prie eismo saugumo skirtingose teritorijose (miestuose, užmiesčiuose ir priemiesčiuose). Šioje srityje pažangesni visgi buvo europiečiai (Toth, 2009).

Nyderlandai nuo pat pradžių tikėjo atlaidžių kelių filosofija magistralėse. Tuo metu, kai šis metodas puikiai veikė didelio greičio keliuose ir mažo greičio gyvenamuosiuose rajonuose, buvo pastebėta, kad urbanizuotose vietovėse, kuriose greitis yra vidutinis ar kintamas dėl kelio aplinkos, metodas nėra veiksmingas. Urbanizuotose vietovėse olandai pradėjo projektuoti susisiekimo sistemą taip, kad vairuotojas valdydamas transporto priemonę atitinkamoje kelionėje per urbanizuotas teritorijas pats nuspręstų, koki greitį pasirinkti. Pirmasis praktinis Nyderlandų „Tvaraus saugumo vizijos“ rezultatas buvo tas, kad visos Nyder-

landų kelių administracijos pakeitė kelių skirstymą pagal kategorijas ir priskyrė juos prie vienos iš trijų kelių kategorijų, kurių kiekvienai priskiriama atskira ir vienintelė funkcija.

2 paveiksle pateikta kelių tinklo klasifikavimo schema, jie skirstomi pagal funkcinę paskirtį. Tranzitiniai keliai skirti tolimoms distancijoms važiuoti, juose sankryžos projektuojamos skirtingų lygių, tarp priešpriešinio eismo srautų projektuojama fizinė perskyra, tokiuose keliuose nėra galimybės įvažiuoti mažu greičiu važiuojančiai transporto priemonei. Tranzitiniuose keliuose didžiausias leistinas greitis yra 100 km/h arba 120 km/h. Privažiavimo keliai kerta gyvenamąsias vietas bei kaimo gyvenvietes, šio tipo keliuose kartu gali judėti motorinės transporto priemonės ir pažeidžiami eismo dalyviai, todėl transporto priemonių greitis mažas – 30 km/h miesto vietovėse ir 60 km/h kaimo vietovėse. Jungiamieji keliai skirti tranzitiniais ir privažiavimo keliams sujungti, todėl šiuose kelių ruožuose įrengiami pėsčiųjų ir dviračių takai, tačiau takai atskirti nuo važiuojamosios dalies. Atskiri dviračių ir pėsčiųjų takai leidžia palaikyti transporto priemonių greitį 50 km/h miesto vietovėse ir 80 km/h kaimo vietovėse. Jungiamųjų kelių sankryžose susilieja lėtai ir greitai judančių transporto priemonių srautai, todėl būtina sumažinti greitį, įrengiant atitinkamo tipo sankryžas, pvz., žiedinę sankryžą. Visų kategorijų keliai turi būti lengvai atpažįstami iš būdingo kelio elementų bei kelio ženklų (Europos Komisija, 2010).

Lietuvos valstybė yra pagrindinis logistikos taškas, kuriame susiduria Vakarų Europos ir Rytų Europos tranzitiniai keliai. Tokia geografinė padėtis įpareigoja užtikrinti, kad valstybės kelių tinklas atitiktų aukščiausius tarptautinius standartus. Susisiekimo infrastruktūros tobulinimas yra valstybės strategijos dalis. Tinkamas normatyvinių dokumentų pritaikymas prie kelių funkcinės paskirties yra atspirties taškas, norint sukurti saugią, efektyvią ir ekonomiškai naudingą šalies susisiekimo infrastruktūrą, kuri taptų lygiaverte Europos kelių tinklo dalimi. Būtina atsižvelgti, kad Europoje ir kitose užsienio šalyse jau seniai įgyvendinta atpažįstamų kelių teorija.



2 paveikslas. Kelių tinklo klasifikavimas
Figure 2. Classification of the road network

1. Projektinės klasės

Žiedinių sankryžų projektavimas Lietuvoje reglamentuojamas atskirais Žiedinių sankryžų projektavimo metodiniais nurodymais MN ŽSP 12 (MN ŽSP 12). Vadovaujantis metodiniais nurodymais sankryžos klasifikuojamos pagal tai, kokioje teritorijoje jos projektuojamos: neužstatytoje ar užstatytoje, atsižvelgiant į teritorijos pobūdį, skiriasi naudojimo kriterijai bei projektavimo principai. Žiedinės sankryžos skirstomos į 5 tipus pagal dydį: labai maža, mažoji, dviejų eismo juostų mažoji, didžioji ir turbožiedinė. Pagrindinis žiedinės sankryžos parinkimo kriterijus – bendras sankryžos eismo intensyvumas, kuris vertinamas automobilių skaičiumi per parą. Metodiniai nurodymai neapibrėžia, kokiuose keliuose ir kokiam eismo intensyvumui, jo sudėčiai esant turėtų būti projektuojama žiedinė sankryža. Pagrindiniai kriterijai, taikomi šio tipo sankryžoms valstybinės reikšmės keliuose: eismo intensyvumas, važiavimo greitis, eismo kokybės lygis ir lėšų poreikis (MN ŽSP 12, 40 punktą, 2012). MN ŽSP 12 rekomenduojama įvertinti tai, kad eismo intensyvumas mažesnio intensyvumo įvažose turi sudaryti mažiausiai 10–15 % bendro sankryžos eismo intensyvumo, o atliekant skaičiavimus taikomas paros eismo intensyvumas. Problema kyla dėl to, kad nėra aišku, kada valstybinės reikšmės keliuose galima taikyti žiedines sankryžas.

Lietuvoje atpažįstamų kelių teorija nėra įgyvendinta, nors Lietuvoje keliai skirstomi į valstybinės ir vietinės reikšmės kelius. Valstybinės reikšmės keliai skirstomi į trijų rūšių kelius: magistralinius, krašto ir rajoninius. Tokį skirstymą nustato Kelių techninis reglamentas KTR 1.01:2008 „Automobilių keliai“ (KTR, 1.01:2008), pagal šį reglamentą keliai klasifikuojami pagal vidutinį metinį paros eismo intensyvumą (VMPEI), o ne pagal kelių funkcinę paskirtį. Valstybinės reikšmės kelių klasifikavimas aiškus, tačiau magistraliniuose ir krašto keliuose nurodyta projektuoti tiek skirtingų lygių sankryžas, tiek vieno lygio sankryžas (tarp jų ir žiedinės sankryžos), tokia nuostata gali būti nesuprantama kelių naudotojams, kai atsiranda neaiškumas, kokios funkcinės paskirties keliu važiuojama. Būtina nustatyti, kokie rodikliai leidžia nuspręsti, ar kelyje pagal jo funkcinę paskirtį gali būti įrengta žiedinė sankryža ar ne.

Vokietijos keliai klasifikuojami pagal kategorijas bei funkcinę paskirtį, pagal šiuos abu požymius keliams taikomos projektinės klasės. Vokiečių autoriai pabrėžia, kad naujų kelių projektavimas turi būti standartizuotas pagal jų atpažįstamumą bei funkcinės paskirties atitiktį. Užmiesčio teritorijų keliai būna keturių tipų, o kelių rodikliai šiems tipams parenkami pagal didžiausią važiavimo greitį (Lippold, Lemke, Jaehrig ir Stockert, 2015). 1 lentelėje pateikti siūlomi kelių tipai. Vokietijos mastu siūlomos projektinės klasės atitinka užmiesčio kelius, neįskaitant automagistralių (ir kitų europinės ar Europos regioninės funkcinės paskirties kelių). Lietuvos kelių tinklo mastu 1 lentelėje apibūdinami visi keliai.

1 lentelėje nurodytos 4 projektinės klasės, kurioms priskiriami atitinkami kelio rodikliai: planuojamas greitis,

skersinis profilis, kelio ašis ir sankryžos. EKL 1 projektavimo klasė pasižymi skersiniu profiliu, kuriame priešingų kryptių eismo srautai atskirti skiriamąja juosta, čia vyrauja tranzitinis eismas, dviejų lygių sankryžos (Lietuvoje – automagistralės, greitkeliai). Šviesoforu reguliuojamos sankryžos, didelis važiavimo greitis, eismo srautai nebūtinai privalo būti atskirti – tokie rodikliai nustatyti EKL 2 projektavimo klasei, Lietuvoje šiems keliams priskiriami kiti magistraliniai keliai. EKL 3 ir EKL 4 projektavimo klasėse galimos vieno lygio sankryžos – tai užmiesčio keliai, kuriuose tranzitinio eismo dalis minimali (Lietuvoje atitinka kai kuriuos krašto, rajoninius kelius).

2. Tyrimo metodika




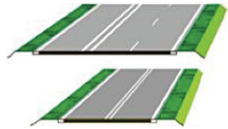








Tyrimo metodikai pasirinkta JAV mokslininkų *Highway Capacity Manual 2010* (HCM, 2010) taikoma pralaidumo ir eismo kokybės analizė. Toliau nagrinėjami tyrimai leidžia vertinti kelio ar jo elementų galimybes aptarnauti esamus eismo srautus esamomis ar projektuojamomis sąlygomis, taip pat vertinama eismo kokybė. Eismo kokybės rodiklis nustatomas atliekant pralaidumo analizę esamiems ar projektiniams sprendiniams.

Pagrindinė metodikos tezė – pralaidumo ir eismo kokybės analizė – taikoma individualiems kelio elementams, pvz., tiesiems kelio ruožams, žiedinėms sankryžoms ir t. t. Tokia tezė formuojama iš teiginio, kad skirtinguose kelio ruožuose vyrauja dviejų rūšių eismo režimas – tolygus arba netolygus, o kelias gali būti skaidomas ruožais ir individualiais elementais, kuriuose šis režimas keičiasi. Derinant individualių elementų tyrimo rezultatus galima sudaryti bendrą sistemos (viso kelio ar kelių tinklo) kokybinį vaizdą.

Pralaidumas – tai didžiausias eismo intensyvumas, kurį esamomis kelio ir eismo sąlygomis gali pasiekti tam tikras asmenų ar transporto priemonių srautas jam skiriant kelio elemente. Atskirai transporto priemonių ar asmenų pralaidumas gali būti išreiškiamas didžiausiu skaičiumi, kuris gali per nustatytą laiką įveikti nurodytą kelio elementą. Analizės metu nagrinėjamas eismo vienodumas, važiuojamoji kelio dalis (geometriniai rodikliai) ir eismo reguliavimo priemonės, sąlygos (HCM, 2000). Pralaidumui įtaką daro 3 veiksniai: geometriniai rodikliai, eismo sąlygos bei eismo reguliavimo priemonės (jų poveikis eismo srauto judėjimui).

Važiuojamosios kelio dalies sąlygos sudarytos iš geometrinių rodiklių ir kitų elementų. Kai kuriais atvejais šie rodikliai daro tiesioginę įtaką kelio pralaidumui, tačiau dažniausiai nuo jų priklauso greičio rodikliai. Gali būti išskiriami šie elementai: eismo juostų skaičius, kelio elemento tipas ir jo pritaikymas esamoje aplinkoje, eismo juostų plotis, kelkraščių plotis, projektinis greitis ir kita. Eismo sąlygos, kurios formuoja pralaidumo ir kokybės rodiklius, apima transporto priemonių tipą bei jų kryptinį pasiskirstymą. Dažniausiai skiriami du transporto priemonių tipai – sunkiasvariai automobiliai (sunkvežimiai, vilkikai, autobusai) ir lengvieji automobiliai (lengvieji keleiviniai, mikroautobusai, motociklai). Krovinių transporto

1 lentelė. Projektavimo klasės pagal Lippold et al. (2015)
Table 1. Design classes by Lippold et al. (2015)

Projektinė klasė	Planuojamas greitis	Skersinis profilis	Kelio ašis	Sankryžos
EKL 1	110 km/h			
EKL 2	100 km/h			
EKL3	90 km/h			
EKL 4	70 km/h			

priemonės daro poveikį eismui dėl dviejų priežasčių: a) jų matmenys didesni nei paprastų lengvųjų automobilių, dėl to kelyje jie užima daugiau vietos; b) dėl savo masės turi prastesnes greičio didinimo, mažinimo, stabdymo savybes. Eismui didesnį poveikį daro antroji savybė, nes sunkiasvorės transporto priemonės negali palaikyti to pačio eismo režimo kaip lengvieji automobiliai ir eisme atsiranda trikdžių. Taigi, atliekant analizę, būtina atsižvelgti ne tik į eismo intensyvumą, tačiau ir jo sudėtį bei kryptinį pasiskirstymą. Eismo pralaidumas tiesiogiai priklauso nuo eismo reguliavimo priemonių ir jų poveikio eismo srauto judėjimui. Skirtingos reguliavimo priemonės, tokios kaip šviesoforai, kelio ženklai, žiedinės sankryžos, daro skirtingą poveikį pralaidumo rodikliams, diegiant tokias reguliavimo priemones būtina vertinti transporto priemonių srautus, jų pasiskirstymą, dominuojančias kryptis, kad būtų išlaikytas kuo aukštesnis eismo kokybės lygis. Taigi, atliekant analizę, reikia atsižvelgti į eismo sąlygas nagrinėjamame kelio elemente.

Eismo kokybės rodiklis (toliau – angl. *Level of Service* (LOS) gali būti apibūdinamas bet kuriam iš šių sankryžos elementų kaip gaištis arba prisotinimo laipsnis: eismo juostai, judėjimui, eismo juostų grupei, įvažai, sankryžai.

2 lentelė. Eismo kokybės rodiklis (HCM, 2010)
Table 2. Level of Service (HCM, 2010)

Reguliavimo gaištis, s/aut.	LOS pagal eismo intensyvumo (v) ir pralaidumo (c) santykį	
	v/c ≤ 1,0	v/c > 1,0
0–10	A	F
>10–15	B	F
>15–25	C	F
>25–35	D	F
>35–50	E	F
>50	F	F

Žiedinėms sankryžoms rekomenduoja taikyti įvažos arba sankryžos rodiklį (Akçelik, 2007). Eismo kokybės rodiklio vertinimas įvažai ar sankryžai siejamas su reguliavimo gaištimi (2 lentelė). Reguliavimo gaištis yra gaištis, sukelta eismo reguliavimo priemonių (kelio ženklų arba kelio ženklo „STOP“). Šios gaištis reikšmė yra apytiksliai lygi laiko eilėje gaištis reikšmei, tačiau papildomai įvertinamas greitėjimo ir lėtėjimo komponentas. Gaištis matavimo vienetai – sekundės transporto priemonei (nustatytam laiko tarpui, 2 lentelėje matavimo vienetai s/aut.) (HCM, 2010). 1 lentelėje eismo kokybės rodiklis vertinamas pagal reguliavimo gaištį, kuo gaištis mažesnė – tuo geresnis LOS nustatomas. LOS skirstomas į šešis lygius: A, B, C, D, E ir F. Pagal 2 lentelę LOS taip pat suskirstytas pagal eismo intensyvumo bei pralaidumo santykį, kai santykis mažesnis už 1,0 – LOS priklauso nuo reguliavimo gaištis, kai didesnis nei 1,0 – LOS visada lygus F, t. y. prastas eismo kokybės lygis.

Vienos eismo juostos žiedinės sankryžos pralaidumo skaičiavimas paremtas prielaida, kad viena įvažos juosta konfliktuoja su viena žiedo eismo juosta. Ši prielaida leidžia skaičiavimus grįsti žiedinėje važiuojamojoje dalyje vykstančio eismo srauto dalimi. Pralaidumo skaičiavimai atliekami pagal formulę:

$$c_{e,pce} = 1,130e^{(-1,0 \cdot 10^{-3})v_{c,pce}},$$

čia $c_{e,pce}$ – eismo juostos pralaidumas, pritaikytas sunkiasvorėms transporto priemonėms, l. aut./h; $v_{c,pce}$ – žiedo važiuojamosios dalies eismo srautas, l. aut./h.

2.1. Programinė įranga skaičiavimams atlikti

Pralaidumo ir eismo kokybės rodiklio skaičiavimai pagal formulę gali pasirodyti nesudėtingi, tačiau tai sudėtingas matematinis modelis, kurį reikia taikyti atskiroms žiedinės sankryžos dalims. Skaičiavimams palengvinti gali būti naudojama įvairi programinė įranga. Straipsnyje pasirinkta naudoti *Sidra Intersection* programinę paketą dėl jo

suderinamumo su HCM (2010) (angl. *Highway Capacity Manual*) skaičiavimų modeliu.

Sidra Intersection programinės įrangos paketas naudojamas sankryžų ir kelių tinklo pralaidumo, eismo kokybės rodiklio analizei. Pirmoji programinės įrangos versija buvo pasirodžiusi dar 1984 metais, tačiau buvo nuolat tobulinama atsižvelgiant į naudotojų pastabas. Šiuolaikinė programos versija pasirodė 2013 metais. Australijoje ir Naujojoje Zelandijoje ši programinė įranga naudojama pagal australiškas metodikas, Jungtinėse Amerikos Valstijose generuojama versija sukurta pagal prieš tai nagrinėtą modelį.

Vienas pagrindinių *Sidra Intersection* plėtotojų Rahmi Akçelik (2007) viename iš savo straipsnių teigia, kad iki HCM 2010 atsiradimo programinė įranga buvo naudojama tik pagal Australijoje atliktų tyrimų duomenis, tačiau vėliau naujas amerikietiškas skaičiavimo modelis buvo visiškai įdiegtas į programinės įrangos paketą ir leidžia pasirinkti, pagal kurią metodiką norima atlikti skaičiavimus. Taigi, naudojantis galimybe skaičiavimus atlikti greičiau ir kokybiškiau (be galimos klaidos tikimybės), darbe naudojama programinė įranga *Sidra Intersection*.

2.2. 30-osios intensyviausios valandos eismo intensyvumas

Norint nustatyti pralaidumą ir eismo kokybės rodiklį, būtina naudoti skirtingus eismo intensyvumo duomenis. Nagrinėjamoje metodikoje nurodoma taikyti valandinį eismo intensyvumą, tačiau plačiau neapibrėžiama, kuri valanda atliekant skaičiavimus racionaliausia. Amerikiečių metodikoje *A policy on geometric design of highways and streets* teigiama, kad eismo intensyvumas, kuris parodo trumpesnio nei para periodo duomenis, yra tinkamesnis rodiklis projektuojant ar skaičiuojant. Nagrinėjant visų metų valandinio eismo intensyvumo duomenis, lengviau pastebėti lūžius, kaip keičiasi eismo intensyvumas skirtingais periodais. Atliekant skaičiavimus taikoma reikšmė turi būti racionaliai parenkama, t. y. jos vertė negali būti viršijama labai dažnai arba būti viršijama per retai, tačiau kartu vertė turi būti tiek aukštai, kad nagrinėjama priemonė būtų pripildoma retai. Norint nustatyti šią apimtį, geriausia naudoti kreivę, kurioje atsispindi kiekvienos metų valandos eismo intensyvumas ir jo pokytis.

3 paveiksle parodytas ryšys tarp didžiausio valandinio intensyvumo ir vidutinio dienos eismo magistraliniuose keliuose, sudarytas pagal *American Association of State Highway and Transportation Officials* (2011). Šis grafikas sudarytas atliekant eismo duomenų rinkimo analizę ir atsižvelgiant į teritorinį pasiskirstymą. Vidurinė kreivė grafike rodo tarp teritorinių vienetų išvestą bendrą vidurkį. Naudojantis 3 paveiksle pateiktomis kreivėmis, buvo nustatyta, kad rekomenduojama taikyti 30-osios maksimalios valandos eismo intensyvumo rodiklį nagrinėjamais metais, toliau įvardinamas kaip 30 EI. Ši reikšmė nustatoma, sudarant analogišką kreivę, kaip pateikta 3 paveiksle, t. y. visų metų valandinio eismo intensyvumo duomenis išdėliojant mažėjimo tvarka ir nustatant, kuri reikšmė yra

30-oji. Ši reikšmė parinkta, nes, kaip matyti grafike, ties reikšme įvyksta lūžis ir nuo reikšmės kreivė plokštėja.

Taigi, norint nustatyti žiedinių sankryžų pralaidumo ir eismo kokybės rodiklius, reikia taikyti 30 EI. Ši reikšmė racionaliai atspindi eismo sąlygas visų metų laikotarpiu, tokios eismo sąlygos susidaro gana dažnai.

3. Tyrimas

Tyrimo tikslas – nustatyti, ar magistraliniuose ir krašto keliuose esančių žiedinių sankryžų pralaidumo ir eismo kokybės rodikliai atitinka kelių, kuriuose jos yra, rodiklius pagal jų funkcinę paskirtį.

Tyrimo uždaviniai:

1. Atlikti eismo intensyvumo kryptinio pasiskirstymo žiedinėse sankryžose natūrinius tyrimus.
2. Atlikti žiedinių sankryžų geometrinių rodiklių analizę.
3. Atlikti pralaidumo ir eismo kokybės rodiklių nustatymo tyrimą.
4. Nustatyti transporto priemonių gaities laiką.
5. Nustatyti transporto priemonių eilės ilgį.
6. Pateikti tyrimo rezultatus.

Tyrimo objektas: Merkinės žiedinė sankryža – keturšalė sankryža, esanti magistralinio kelio A4 Vilnius–Varėna–Gardinas ir krašto kelių Nr. 133 Merkinė–Leipalingis bei Nr. 129 Antakalnis–Jieznas–Alytus–Merkinė sankirtoje.

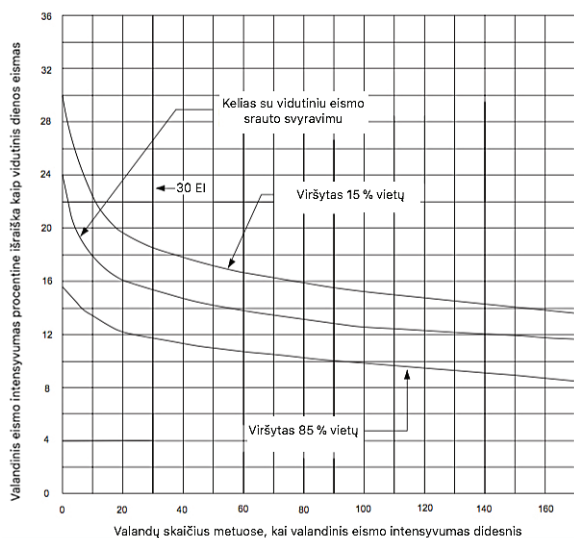
Merkinės žiedinėje sankryžoje susikerta magistralinis kelias A4 Vilnius–Varėna–Gardinas ir krašto keliai Nr. 133 Merkinė–Leipalingis bei Nr. 129 Antakalnis–Jieznas–Alytus–Merkinė. 4 paveiksle galima matyti, kad sankryžoje magistralinis kelias keičia savo kryptį. Taip pat paveiksle dėl paprastumo kiekvienas sankryžos jungiamasis kelias sužymėtas raidėmis: A kryptis – A4 kelias Druskininkų link, B kryptis – 133 kelias, C kryptis – 129 kelias ir D kryptis – A4 kelias Varėnos, Vilniaus link.

3.1. Pradiniai duomenys

Sankryža įrengta pagal „Magistralinio kelio Nr. A4 Vilnius–Varėna–Gardinas 101,73 km esančios sankryžos rekonstravimo techninį projektą“. Projektą rengė UAB „Kelprojektas“ projekto vadovas Sarapinas, projekto dalies vadovas Miklušis ir Bartkevičius (2013). Vadovaujantis MN ŽSP 12, pagal išorinį skersmenį (45,0 m) sankryža yra mažoji žiedinė sankryža, priskiriama tipinio dydžio sankryžai neužstatytoje teritorijoje. Mažajai žiedinei sankryžai rekomenduojami geometriniai rodikliai atitinka numatytus projekte, išskyrus išvažos eismo juostos plotį, rekomenduojama nuo 3,75 iki 4,5 m pločio, o suprojektuota 5,0 m. Kadangi žiedo plotis taip pat padidintas, galima spėti, kad toks sprendinys buvo priimtas dėl sunkiasvorių transporto priemonių dalies eisme (3 lentelė).

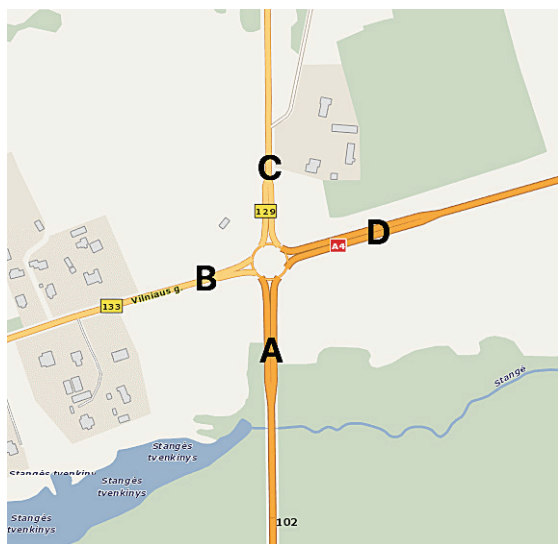
VšĮ Kelių ir transporto tyrimo institutas pateiktomis eismo intensyvumo duomenimis, iš matavimo įrenginių sudarytas 5 paveiksle esantis grafikas, pagal kurį nustatomos 30 EI reikšmės. A krypties grafikas sudarytas pagal eismo intensyvumo matavimo įrenginio duomenis, esančio kelio

A4 Vilnius–Varėna–Gardinas 102,75 km, C krypties – kelio Nr. 129 Antakalnis–Jieznas–Alytus–Merkinė 66,45 km, D krypties – kelio A4 Vilnius–Varėna–Gardinas 95,99 km. Parinkti artimiausi matavimo įrenginiai, tačiau B kryptimi, t. y. kelio Nr. 133 Merkinė–Leipalingis kryptimi, pasirinktais metais nebuvo vykdomi nuolatiniai tyrimai, šios krypties reikšmė nustatyta natūrinių tyrimų metu. Matavimo metai – 2016 metai (A krypties matavimai atlikti nuo sausio 18 d. iki gruodžio 25 d.).



3 paveikslas. Metinio valandinio eismo intensyvumo pokyčio kreivė (American Association of State Highway and Transportation Officials, 2011)

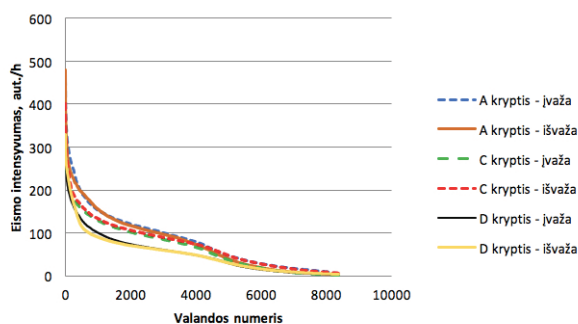
Figure 3. Curve on the change of the annual hourly traffic (American Association of State Highway and Transportation Officials, 2011)



4 paveikslas. Merkinės žiedinė sankryža
Figure 4. Roundabout in Merkinė

3 lentelė. Sankryžos geometriniai rodikliai
Table 3. Geometrical parameters of the roundabout

Geometrinis rodiklis	Dydis
Vidinės salos skersmuo	31,0 m
Išorinis skersmuo	45,0 m
Žiedo plotis	7,0 m
Žiedinės važiuojamosios dalies plotis	5,5 m
Vidinio žiedo plotis	1,5 m
Įvažos plotis	4,0 m
Išvažos plotis	5,0 m



5 paveikslas. 30 EI nustatymo grafikas
Figure 5. Setup diagramme for 30 traffic volume

Nustatytos 30 EI reikšmės: A kryptis – įvažą 346 aut./h (2016-08-28 20.00 val.); A kryptis – išvažą 321 aut./h (2016-03-11 12.00 val.); C kryptis – įvažą 261 aut./h (2016-07-30 12.00 val.); C kryptis – išvažą 298 aut./h (2016-08-15 17.00 val.); D kryptis – įvažą 220 aut./h (2016-06-24 14.00 val.); D kryptis – išvažą 259 aut./h (2016-10-02 19.00 val.).

Merkinės žiedinėje sankryžoje natūriniai tyrimai atlikti 2017 m. rugpjūčio 24 d. 18.00 val., trukmė – 15 min. 6 paveiksle rodoma procentinė valandinio eismo intensyvumo sankryžos įvažose ir išvažose išraiška. Iš šio paveikslo nustatoma labiausiai apkrauta kryptis – A (tiek įvažą, tiek išvažą), taip pat joje didžiausia sunkiasvorių transporto priemonių dalis. Tyrimo metu, kaip anksčiau minėta, nustatytos B krypties eismo intensyvumo reikšmės, kurios taikomos atliekant skaičiavimus: B įvažą – 72 aut./h; B išvažą – 140 aut./h.

3.2. Rezultatai

Turint visus duomenis, programine įranga *Sidra Intersection* atliekami pralaidumo ir eismo kokybės skaičiavimai. Gaunami rezultatai pateikti 7 paveiksle. Galima matyti, kad didžiausia laiko gaištis susidaro A kryptimi (A4 kelias), todėl šioje įvažoje gaunamas eismo kokybės rodiklis B. Taip pat vidutiniškai šioje įvažoje susidaro 17 transporto priemonių eilė. Remiantis Puodžiuko ir Bragos (2014) bei kitų autorių parengtu moksliniu darbu „Valstybinės reikšmės kelių suskirstymo pagal paskirtį ir plėtros

schemos iki 2040 m. projektas“, magistralinis kelias A4 priskiriamas nacionalinės paskirties keliams (kategorija AM II, K II), važiavimo greitis apie 100 km/h. Pagal tokius rodiklius bei gautą rezultatą, kad žiedinės sankryžos eismo kokybės rodiklis yra B, galima spręsti, jog žiedinė sankryža, esanti valstybinės reikšmės magistraliniame kelyje A4 Vilnius–Varėna–Gardinas 101,7 km, yra suprojektuota netinkamai ir neatitinka kelio funkcinei paskirčiai keliamų reikalavimų.

Norint nustatyti žiedinių sankryžų magistraliniuose keliuose eismo kokybės rodiklio tendencingumą, reikia tirti daugiau žiedinių sankryžų, esančių magistraliniuose keliuose, tačiau net ištyrus vieną žiedinę sankryžą vietoje, kurioje magistralinis kelias keičia savo kryptį, galima teigti, kad sankryžos tipas parinktas netinkamai. Šioje vietoje pagal kelio funkcinę paskirtį galėtų būti dviejų lygių sankryža arba šviesoforu reguliuojama sankryža.

Išvados

1. HCM metodiką lengva taikyti atskiriems kelio elementams, dėl to ja naudojantis patogu nustatyti probleminių taškų pralaidumo ir eismo kokybės rodiklius, analizės

metu vertinami geometriniai elemento rodikliai, transporto priemonių eismo intensyvumas, jo sudėtis ir pasiskirstymas skirtingomis kryptimis, atsižvelgiama į technines eismo reguliavimo priemones.

2. Eismo kokybės rodiklis žiedinėms sankryžoms nustatomas pagal eismą, vykstantį įvažoje, sankryžoje, todėl pagrindinis kriterijus vertinant rodiklį – reguliavimo gaisitis, eismo kokybės rodikliai skirstomi į 6 lygius: A, B, C, D, E, F, kur A – geriausia eismo kokybė, o F – prasčiausia, nėra jokio pralaidumo.
3. Žiedinių sankryžų pralaidumas tiesiogiai priklauso nuo eismo srauto, kuris skirstomas į tris rūšis: įvažiuojantis srautas, žiedine važiuojamąja dalimi važiuojantis srautas bei išvažiuojantis srautas.
4. Nagrinėjant eismo intensyvumo duomenis, atliekant įvairias analizes, rekomenduojama taikyti 30 EI rodiklį, kuris nustato 30-ąją maksimalią valandinio eismo intensyvumo metuose reikšmę, todėl rekomenduojama LAKIS sistemoje prie VMPEI duomenų pateikti 30 intensyviausios valandos eismo intensyvumo rodiklį.
5. Eismo kokybės rodiklio nustatymas projektiniams elementams turi būti atliekamas teisės aktų numatyta tvarka, taip išvengiama elementų neatitikties kelio funkcinei paskirčiai, eismo spūsių ir kitų nepatogumų.
6. Žiedinės sankryžos eismo kokybės rodiklis turi atitikti kelio (pagal jo funkcinę reikšmę) kokybės rodiklį.

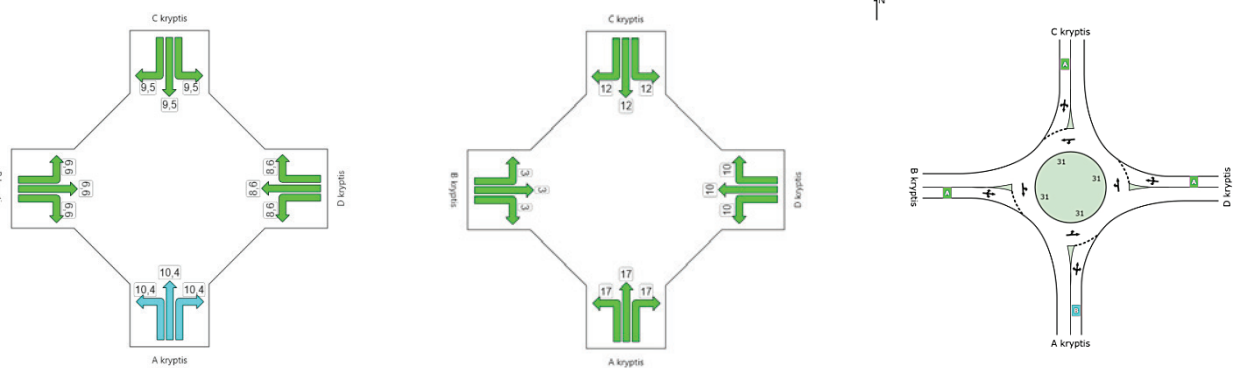


6 paveikslas. Natūrinių tyrimų rezultatai
Figure 6. Results of physical examinations

Literatūra

Akçelik, R. (2007, December). A review of gap-acceptance capacity models. In *29th Conference of Australian Institutes of Transport Research (CAITR)*. University of South Australia, Adelaide, Australia. Retrieved from: http://www.sidrasolutions.com/documents/akcelik_gapacceptancecapacitymodels_caitr2007.pdf

American Association of State Highway and Transportation Officials (2011). In *A Policy on Geometric Design of Highways and Streets* (pp. 102-103). Washington, D.C.: American Association of State Highway and Transportation Officials.



a) laiko gaisties schema
b) transporto priemonių eilės ilgio schema (matavimo vienetai – transporto priemonių skaičius)
c) eismo kokybės rodiklio schema

7 paveikslas. Skaičiavimų rezultatai
Figure 7. Results of calculations

- Europos Komisija (2010). *Valstybių lygmeniu taikomas priemonių vadovas „Saugaus kelių eismo geriausia patirtis“*. Liuksemburgas: Europos Sąjungos leidinių biuras.
- HCM. (2010). Highway Capacity Manual. In *Transportation Research Board, National Research Council*. Washington, DC.
- Herrstedt, L. (2014). The basis of „The Self-Explaining Road“. In *Rural Road Design Meeting*. Copenhagen.
- Kelių techninis reglamentas KTR 1.01:2008 „Automobilių keliai“*. Lietuvos Respublikos aplinkos ministerija, Vilnius.
- Lippold, C., Lemke, K., Jaehrig, T., & Stockert, R. (2015). Country report Germany. The new generation of design guidelines for roads and motorways in Germany. In *5th International Symposium on Highway Geometric Design*. Vancouver, Canada. Retrieved from <https://static1.squarespace.com/static/51cc8d46e4b0b242fc8d0f33/t/55c4f627e4b0852b09fa899a/1438971431239/172.+Germany+Country+Report.pdf>
- Puodžiukas, V. ir Braga, A. (2014). *Valstybinės reikšmės kelių suskirstymo pagal paskirtį ir plėtros schemos iki 2040 m. projektas*. Vilnius.
- Sarapinas, G., Miklušis, T. ir Bartkevičius, M. (2013). *Magistralinio kelio Nr. A4 Vilnius–Varėna–Gardinas 101,73 km esančios sankryžos rekonstravimo techninis projektas*. Vilnius.
- Toth, G. (2009). *Exiting the „Forgiving Highway“ for the „Self Explaining Road“*. Retrieved from <http://www.pps.org/blog/what-can-we-learn-from-the-dutch-self-explaining-roads/>
- Žiedinių sankryžų projektavimo metodiniai nurodymai MN ŽSP 12 (2012). Lietuvos automobilių kelių direkcija prie Susisiekimo ministerijos, Vilnius.

ANALYSIS OF ROUNDABOUTS AND RECOMMENDATIONS FOR THEIR USE IN LITHUANIAN MAIN AND NATIONAL ROADS

S. Jakulytė, V. Puodžiukas

Abstract

Usually, during the implementing the traffic safety policy, it is often decided to install a roundabout at an emergency junction. The reason is that roundabouts have long been considered the safest intersections due to the low number of conflict points and features to reduce vehicle speed. Unfortunately, the design of circular junctions is a responsible process, during which it is necessary to take into account not only the indicators of traffic safety but also the functional purpose of the road. It is known that the roads are classified according to their functional purpose into 3 groups: transit, connecting and access. By these groups in foreign countries are regulated geometric parameters of roads, possible types of intersections and design classes. Transit roads are subject to the highest requirements, because on these roads predominate uninterrupted traffic flow (the change in speed cannot be more than 10%) and a significant proportion of heavy-cargo vehicles, and the roundabout in such a path causes chaos due to its ability to reduce vehicle speeds (the speed drops by more than 10%). Lithuania faces a problem due to the lack of regulation of the implementation of roundabouts, the traffic congestion of vehicles, fuel consumption, traffic and increase in road accidents. It is not enough to analyze only the average annual daily traffic to design and install a roundabout. It is necessary to take into account the functional purpose of the road, the directional distribution of traffic at the intersection, the 30th-highest hour of traffic volume, capacity and level of service, in other words, to carry out a thorough analysis and research. In this article, there is the analysis of the annular intersection at the A4 Vilnius–Varėna–Gardinas 101.7 km highway. The research determines whether the level of service of the roundabouts meet road level of service according to the functional purpose of the road.

Keywords: capacity, level of service, roundabout, self-explaining roads, volume.