



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
INFORMATIKOS FAKULTETAS

TADAS BUBLYS

KELIŲ SANKRYŽŲ SAUGUMO GERINIMO REMIANTIS
KONFLIKTINIŲ TAŠKŲ SKAIČIAVIMO METODAIS TYRIMAS

Baigiamasis magistro projektas

Vadovas

Doc. dr. Antanas Lenkevičius

KAUNAS, 2016

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
INFORMATIKOS FAKULTETAS

KELIŲ SANKRYŽŲ SAUGUMO GERINIMO REMIANTIS
KONFLIKTINIŲ TAŠKŲ SKAIČIAVIMO METODAIS TYRIMAS

Baigiamasis magistro projektas

Vadovas

(parašas) Doc. Antanas Lenkevičius
(data)

Recenzentas

(parašas) Doc. Martynas Patašius
(data)

Projektą atliko

(parašas) Tadas Bublys
(data)

KAUNAS, 2016



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

(Fakultetas)

(Studento vardas, pavardė)

(Studijų programos pavadinimas, kodas)

Baigiamojo projekto „Pavadinimas“

AKADEMINIO SAŽININGUMO DEKLARACIJA

20 ____ m. _____ d.
Kaunas

Patvirtinu, kad mano, **Tado Bubliko**, baigiamasis projektas tema „Kelių sankryžų saugumo gerinimo remiantis konfliktinių taškų skaičiavimo metodais tyrimas“ yra parašytas visiškai savarankiškai ir visi pateikti duomenys ar tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti sąžiningai. Šiame darbe nei viena dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar internetinių šaltinių, visos kitų šaltinių tiesioginės ir netiesioginės citatos nurodytos literatūros nuorodose. Įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs.

Aš suprantu, kad išaiškėjus nesąžiningumo faktui, man bus taikomos nuobaudos, remiantis Kauno technologijos universitete galiojančia tvarka.

(vardą ir pavardę įrašyti ranka)

(parašas)

SANTRAUKA

Augant transporto priemonių skaičiui keliuose ženkliai išaugo ir nelaimingų atsitikimų skaičius. Tam, kad pagerinti sankryžos saugumą yra sukurta daug įvairių metodų, tačiau jų analizė ir tobulinimo poreikis išlieka. Vienas iš efektyviausių metodų sankryžos saugumui nustatyti yra konfliktinių taškų paieška. Šio magistrinio darbo pagrindinis tikslas – atlikti kelių sankryžų konfliktinių taškų skaičiavimo metodų tyrimą ir modifikavimą, kuris padės apskaičiuoti konfliktinius taškus įtraukiant pėsčiųjų judėjimą, bei šių skaičiavimų pritaikymą skirtingų tipų sankryžų saugumui pagerinti. Tiriamojo darbo pirmoje dalyje pristatomi sankryžų modeliai, bei atliekama konfliktinių taškų paieškos metodų analizė. Siekiant įgyvendinti išsikeltą darbo tikslą, antrame skyriuje aprašytas konfliktinių taškų skaičiavimo realizavimo procesas. Aptariami funkciniai, nefunkciniai reikalavimai, metodo struktūra. Modifikavus automatinį konfliktinių taškų skaičiavimo metodą galima apskaičiuoti pėsčiųjų ir motorinių transporto priemonių konfliktinius taškus. Suplanavus testavimo eigą, eksperimentinėje dalyje atliekamas konfliktinių taškų skaičiavimas skirtingiems sankryžų tipams. Testavimo metu buvo nustatyta, kad sankryžos saugumo lygis kinta įtraukus pėsčiųjų judėjimą. Atlikus sankryžos modifikavimus ir sumažinus konfliktinių taškų skaičių buvo pasiektas geresnis saugumo lygis.

SUMMARY

With the growing number of vehicles, the number of accidents in roads has increased significantly. In order to improve the security of the junction there is wide variety of methods designed, but their analysis and the need for improvement remains. One of the most effective methods for the safety set of the intersection is conflict points search. The master thesis main goal is to make road junctions conflict points counting methods study and modification, which will help to calculate collisions involving a pedestrian movement, and add these calculations to different types of intersections to improve they safety. First part of this research work presents models of intersections, and conflict points search methods analysis. In order to achieve the established goals, second section describes conflict scoring realization process. Considered functional, not functional requirements, for the structure of the method. After modification of the automatic conflict counting method we are able to calculate the pedestrian and motor vehicle collisions. After planning of the testing process, in experiments conflict points counting is performed calculations on different types of intersections. During testing it was found that the level of security varies in junctions when we include pedestrian traffic. After junction modifications and reduced number of conflict points we reached far better level of safety.

Turinys

IVADAS.....	10
1. SKIRTINGŲ TIPŲ SANKRYŽŲ KONFLIKTINIŲ TAŠKŲ PAIEŠKA IR JŲ ĮTAKA SAUGUMUI	12
1.1 Kelių sankryžų tipai ir jų saugumas	12
1.1.1 Vieno lygio sankryžos.....	13
1.1.2 Žiedinės sankryžos.....	14
1.1.3 Kelių lygių sankryžos.....	18
1.2 Konfliktinių taškų samprata	19
1.3 Pėsčiųjų ir motorinių transporto priemonių konfliktų samprata	20
1.4 Kelių sankryžų konfliktinių taškų skaičiavimo metodų analizė.....	24
1.4.1 Rankinis konfliktinių taškų skaičiavimo metodas	24
1.4.2 Automatinis konfliktinių taškų skaičiavimo metodas.....	24
1.4.3 Saugumo spėjimo metodas.....	28
1.4.4 Mikro simuliacijose naudojama metodika	29
1.5 Analitinės dalies išvados	31
2. KONFLIKTINIŲ TAŠKŲ SKAIČIAVIMAS ĮTRAUKIANT PĖSČIŲJŲ JUDĖJIMĄ.....	32
2.1 Sistemos reikalavimai.....	32
2.2 Programinė įranga	33
2.3 Funkciniai reikalavimai	33
2.4 Nefunkciniai reikalavimai	33
2.5 Metodo realizavimas įtraukiant pėsčiųjų judėjimą.....	34
2.5.1 Panaudos atvejai.....	34
2.5.2 Konfliktinių taškų skaičiavimas.....	36
2.8 Sprendimo testavimo planas.....	40
2.9 Projektinės dalies išvados.....	40
3. MODIFIKUOTO METODO EKSPERIMENTINĖ DALIS	41
3.1 Modifikuoto metodo skaičiavimai skirtingiems sankryžų tipams.....	41
3.2 Programinio ir rankinio metodų palyginimas.....	42
3.3 Siūlomos sankryžos modifikacijos	45
3.4 Modifikacijų veiksmingumo patikrinimas	45
3.5 Eksperimentinės dalies išvados	47
4. REZULTATAI IR IŠVADOS	48
LITERATŪROS SĄRAŠAS	49
Priedai	51
1 Priedas.Eismo dalyvių judėjimas kiekviename sankryžos modelyje.....	51

LENTELIŲ SARAŠAS

1.1 lentelė. Vieno lygio sankryžų pagrindinės formos [3].	13
1.2 lentelė. Žiedinių sankryžų parametrai [3].	15
2.1 lentelė. Techninės ir programinės įrangos reikalavimai NetBeans programiniam paketui.	33
2.2 lentelė. Įvažiavimo juostų judėjimo kryptys ir juostų skaičius kiekviename kelyje.	36
2.3 lentelė. Virtualios linijos kvadrantuose.	36
3.1 lentelė. Sankryžos parametrai.	41
3.2 lentelė. Kiekvieno pasirinkto atvejo konfliktinių taškų skaičius ir saugumo koeficientas.	41
3.3 lentelė. Rankinio metodo konfliktiniai taškai.	42
3.4 lentelė. Modifikuoto metodo konfliktiniai taškai su posūkiu kairėn.	46
1 lentelė. Įvažiavimo juostų judėjimo kryptys ir juostų skaičius trišalėje žiedinėje sankryžoje.	51
2 lentelė. Virtualios linijos kvadrantuose trišalėje žiedinėje sankryžoje.	51
3 lentelė. Įvažiavimo juostų judėjimo kryptys ir juostų skaičius keturšalėje žiedinėje sankryžoje.	52
4 lentelė. Virtualios linijos kvadrantuose keturšalėje žiedinėje sankryžoje.	52
5 lentelė. Įvažiavimo juostų judėjimo kryptys ir juostų skaičius keturšalėje, dviejų juostų, žiedinėje sankryžoje.	53
6 lentelė. Virtualios linijos kvadrantuose keturšalėje, dviejų juostų, žiedinėje sankryžoje.	53
7 lentelė. Įvažiavimo juostų judėjimo kryptys ir juostų skaičius trišalėje stataus kampo sankryžoje.	54
8 lentelė. Virtualios linijos kvadrantuose trišalėje stataus kampo sankryžoje.	54
9 lentelė. Įvažiavimo juostų judėjimo kryptys ir juostų skaičius keturšalėje, dviejų eismo juostų, stataus kampo sankryžoje.	55
10 lentelė. Virtualios linijos kvadrantuose keturšalėje, dviejų eismo juostų, stataus kampo sankryžoje.	55
11 lentelė. sankryžos tipo šviesoforų fazės.	55

PAVEIKSLĖLIŲ SARASAS

1.1 pav. Pagrindiniai žiedinių sankryžų tipai [3].....	16
1.2 pav. Pagrindiniai žiedinių sankryžų parametrai [3].....	16
1.3 pav. Bendras avarių ir sužeidimų skaičius, vienos ir kelių eismo juostų žiedinėje sankryžoje [7].	17
1.4 pav. Trijų tipų konfliktai (A išsišakojimų, B susiliejamų, C susikirtimų) [14].....	19
1.5 pav. Vienoje pėsčiųjų perėjoje susidarantys konfliktai tarp pėsčiųjų ir motorinių transporto priemonių, šviesoforais valdomoje kelių sankryžoje [16].	21
1.6 pav. Konfliktiniai taškai susidarantys tarp pėsčiųjų ir motorinių transporto priemonių žiedinėje vienos eismo juosto sankryžoje [16].	22
1.7 pav. Motorinių transporto priemonių konfliktiniai taškai keturių krypčių kelių sankryžose [7]. .	23
1.8 pav. Motorinių transporto priemonių konfliktiniai taškai trijų krypčių kelių sankryžose [7]	23
1.9 pav. Keturių krypčių staus kampo sankryža suskaidyta į kvadrantus [17].....	25
1.10 pav. Virtualus judėjimas keturių krypčių sankryžoje [17].	25
2.1 pav. Principinė metodo realizavimo schema.	32
2.2 pav. Galimi vartotojo pasirinkimai.	35
2.3 pav. Keturšalė status kampo sankryža be šviesoforų valdymo.	36
2.4 pav. Automatinio konfliktinių taškų skaičiavimo metodo realizacija.	38
3.1 pav. Kiekvieno atvejo konfliktiniai taškai	42
3.2 pav. Staus kampo, šviesoforais reguliuojamos sankryžos, pėsčiųjų konfliktiniai taškai	44
3.3 pav. Žiedinės sankryžos, pėsčiųjų konfliktiniai taškai.	44
3.4 pav. Konfliktinės situacijos su pusūkio kairėn galimybe Juncion 9.0 programoje.	46
3.5 pav. Konfliktinių situacijos be posūkio kairėn galimybės Juncion 9.0 programoje.	46
3.6 pav. Modifikuoto metodo skaičiavimai keturšalėje sankryžoje, be posūkio kairėn galimybės. ...	47
1 pav. Atvejis 1. Trišalės žiedinės sankryžos modelis.	51
2 pav. Atvejis 2. Keturšalės žiedinės sankryžos modelis	52
3 pav. Atvejis 3. Keturšalės dviejų juostų, žiedinės sankryžos modelis.	53
4 pav. Atvejis 4. Trišalės staus kampo sankryžos modelis.....	54
5 pav. Atvejis 6. Keturšalės, dviejų eismo juostų, staus kampo sankryžos modelis.	54

TERMINŲ IR SANTRUMPŲ ŽODYNAS

Taktas – yra laiko periodas, kurio metu įjungtų šviesoforo reguliavimo signalų derinys nesikeičia. Taktai gali būti pagrindiniai ir pereinamieji (tarpiniai).

Fazė – pagrindinio ir pereinamojo taktų visuma, kurios metu leidžiama važiuoti ir pasiruošti važiavimui grupei transporto priemonių.

TTC – TTC(time-to-collision) minimalus laikas iki susidūrimo.

PET – (post-encroachment) yra minimalus įvažiavimo laikas pastebimas konflikto metu.

SSAM – Surogatinis saugumo įvertinimo modelis.

IVADAS

Darbo problematika ir aktualumas

Kasmet ženkliai išaugant transporto priemonių skaičiui vis daugiau dėmesio skiriama eismo saugumui. Kelių sankryžos laikomos sritimis kuriose įvyksta potencialiai didžiausias skaičius eismo įvykių lyginant su kitais kelių eismo segmentais. Remiantis (Minnesota Department of transportation 2007) keturių krypčių sankryžoje su 32 konfliktiniais taškais vidutiniškas susidūrimų rodiklis 0,4 (susidūrimai milijonui transporto priemonių). Jeigu įskaičiuojame eismo įvykius kuriuose įtraukti ir pėstieji šis rodiklis išauga. Pagrindinė to priežastis ta, kad sankryžose yra didžiausias kiekis konfliktinių taškų. Jų sumažinimas priveda prie mažesnio eismo įvykių skaičiaus, bei mažesnio aukų bei sužeistųjų skaičiaus. Nacionalinis tikslas 2017 metams yra sumažinti mirčių skaičių iki 6.0 pagerinant transporto priemonių infrastruktūrą, eismo dalyvių elgseną ir gelbėjimo tarnybas. Kelių katastrofose žuvusiųjų padidėjo 4,2% 2014 metais, kai 2013 jų buvo sumažinta 14%. Pėstieji yra ypač pažeidžiami, nes sudaro 41% mirčių.[20]

Pagrindinė probleminė sritis yra pėsčiųjų įsitraukimas į eismo srautus. Modeliuojant sankryžos dizainą reikia atsižvelgti į pėsčiųjų judėjimą. Sankryžą vertinant tik pagal motorinių transporto priemonių judėjimą galima laikyti ją pakankamai saugia, tačiau gauti visiškai priešingus rodiklius įtraukus pėsčiųjų judėjimą.

Pažeidžiamiausi eismo dalyviai tokie kaip pėstieji, yra tie eismo dalyviai kurie neturi jokios išorinės apsaugos. Todėl nelaimės nutinkančios transporto priemonėms judant netgi ganėtinai mažu greičiu gali turėti rimtų pasekmių. Pažeidžiami eismo dalyviai nėra itin apriboti eismo krypties. Pėstieji gali naudotis keliais kur didesnių transporto priemonių judėjimas uždraustas, todėl yra sunkiau nuspėti kada jie įsijungs į eismo srautą. Motorinių transporto priemonių vairuotojams yra sunkiau juos pastebėti dėl mažesnių gabaritų lyginant su motorinėmis transporto priemonėmis.

Kad išvengtų didesnių nelaimių stengiamasi sumodeliuoti sankryžas kuriose visų transporto rūšių susikirtimas būtų kiek įmanoma saugesnis, tačiau sankryžos yra aukštos nelaimingų atsitikimų koncentracijos vietos. Daugumoje šalių 40 – 60% nelaimingų atsitikimų įvyksta sankryžose. Todėl turime skirti ypatingą dėmesį nustatant būsimos sankryžos tipą, bei formą atsižvelgdami į transporto priemonių, bei pėsčiųjų konfliktinius taškus.[2]

Praktinė svarba. Atlikus tyrimą bus ištirti pagrindiniai sankryžų konfliktinių taškų paieškos metodai, bei jų pritaikymas skirtingų tipų sankryžose. Tikimasi jog atsižvelgiant į konfliktinius taškus teisingai pasirinktos sankryžos tipas turėtų sumažinti nelaimingų atsitikimų skaičių.

Darbo tikslas – atlikti kelių sankryžų konfliktinių taškų skaičiavimo metodų tyrimą ir modifikavimą, kuris padės apskaičiuoti konfliktinius taškus įtraukiant pėsčiųjų judėjimą, bei šių skaičiavimų pritaikymą skirtingų tipų sankryžų saugumui pagerinti.

Darbo uždaviniai:

1. Atlikti mokslinės literatūros analizę apie kelių sankryžų konfliktinius taškus, jų apskaičiavimo metodus, bei įtaka saugumui skirtingų tipų sankryžose.
2. Pritaikyti automatinį konfliktinių taškų skaičiavimo metodą įtraukiant pėsčiųjų judėjimą.
3. Atlikti eksperimentinės dalies statistinių duomenų palyginimą.

Tyrimo objektas – kelių sankryžų konfliktinių taškų paieškos metodai.

Darbo metodai:

1. Mokslinės literatūros ir internetinių šaltinių analizė.
2. Lyginamoji sprendimų analizė.

Pirmame skyriuje aptariami sankryžų modeliai bei atliekama konfliktinių taškų paieškos metodų analizė. Antrame skyriuje aprašomas metodo realizavimas ir testavimo strategijos. Sudaromi funkciniai ir nefunkciniai reikalavimai konfliktinių taškų apskaičiavimui įtraukiant pėsčiųjų judėjimą. Eksperimentinėje dalyje, atliekamas metodo testavimas. Testavimui parenkamos skirtingų tipų sankryžos, apskaičiuojami jų konfliktiniai taškai. Kiekvieno skyriaus gale pateikiamos apibendrintos išvados. Darbo pabaigoje pristatomi uždavinių rezultatai bei išvados.

1. SKIRTINGŲ TIPŲ SANKRYŽŲ KONFLIKTINIŲ TAŠKŲ PAIEŠKA IR JŲ ĮTAKA SAUGUMUI

1.1 Kelių sankryžų tipai ir jų saugumas

Pagrindinis sankryžų tipų tikslas padidinti patogumą, komfortą ir saugumą tuo pat metu didinti efektyvų visų kelių vartotojų (motorinio transporto, autobusų, sunkvežimių, dviračiu ir pėsčiųjų) judėjimą. Sankryžos modeliuojamos vietose kur transporto priemonės dažnai turi dalytis erdve su kitomis transporto priemonėmis ir pėsčiaisiais.

Sankryžos tipo pasirinkimas priklauso nuo daugybės faktorių įskaitant : greitį, aukštį ir eismo judėjimo kompoziciją, standartinio vietinės gatvės išsidėstymo taipogi eismo kontrolės prietaisų, topografijos, teisingos kelio kontrolės, gretimų sankryžų atstumų, bendruomenės poveikio bei kainos. Net jeigu sankryžos yra neišvengiamai suprojektuojamos tam kad atitiktų specifines sąlygas ir kontrolę yra pageidautina, kad sankryžos posūkių kampai atitiktų tam tikrą laipsnišką nuoseklumą. Tai dažnai pasitaiko pertvarkant vietinių gatvių sistemas, kurios jungiasi su greitkelių konstrukcijomis tam kad išgauti efektyviausią eismo paslaugų ir bendruomenės plėtros planą [1].

Svarbus tikslas saugumui yra suderinti vairuotojų greitį įvažiuojant į sankryžą su priimamų sprendimų sudėtingumu. Tai gali būti padaryta, leidžiant tik paprastus sujungimo manevrus didelio greičio keliuose arba garantuojant, kad vairuotojai greitį sumažins artėjant sankryžai (nukreipiant eismo srautą į žiedinę sankryžą) [2]. Regėjimo laukas turi suteikti vairuotojui pakankamai informacijos, kad jis sugebėtų priimti saugius sprendimus, bet negundytų rinktis siaurų tarpų tarp transporto priemonių konfliktiškose eismo srautuose. Kiekviena sankryža turi konfliktinių taškų tarp transporto priemonės kelio.

Pagal [3] sankryžos yra saugesnės ir geresnės ypač nevietiniams eismo dalyviams, jei jos visos arba atskiros jų zonos yra laiku pastebimos, apžvelgiamos, suprantamos, (pakankamai) patogios važiuoti. Ryšys tarp dizaino ir saugumo yra dažnai sunkei suderinamas dėl įvairių faktorių (transporto priemonių, pavojų didinančių aplinkybių, eismo reguliavimo ir kitų) todėl yra siūloma modeliuojant kelius ir eismo srautus vadovautis patvirtintais kelių reglamentais. Tokių būdu miesto teritorijose galima sumažinti nelaimingų atsitikimų skaičių apytiksliai 15%. [4] Sankryžos sudarymas reikalauja daugelio sprendimų tokių kaip tinkamos juostos pasirinkimas, manevravimas, kad patekti į tinkama poziciją atliekant manevrą, reikia nuspręsti kur sulėtinti, sustabdyti, pagreitinti eismo srauto judėjimą, bei saugaus tarpo parinkimas manevrui atlikti [2]. Pagal [3] „Sankryžos turi būti apžvelgiamos, kad visi vairuotojai, artėdami prie sankryžos, laiku pastebėtų pirmenybės teisę turintį eismo dalyvį“. Tai labai svarbu šalutiniu keliu važiuojančiam vairuotojui.

Tinkamo tipo sankryžos pasirinkimas ženkliai sumažina konfliktus tarp pėsčiųjų ir motorinių transporto priemonių, todėl verta plačiau aptarti skirtingus sankryžų tipus.

1.1.1 Vieno lygio sankryžos

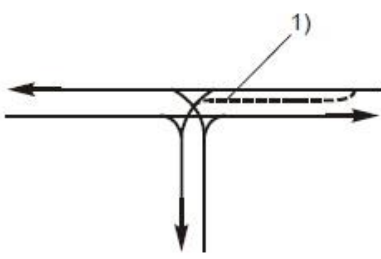
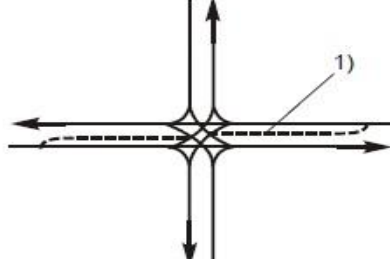
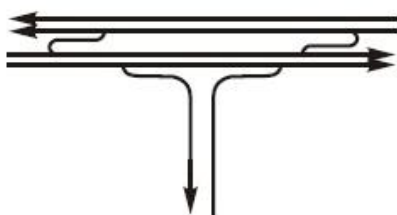
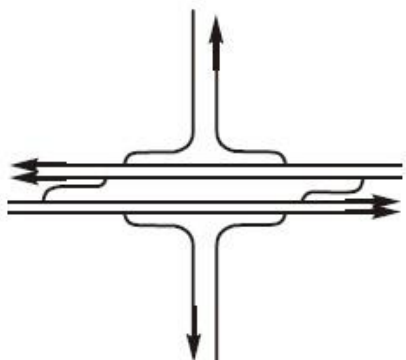
Sankryžos kurių keliai kertasi viename lygyje vadinamos vieno lygio sankryžomis. Šios sankryžos pačios populiariausios ir dažniausiai naudojamos gyvenamosiose zonose. Pagrindinė to priežastis nedidelis užimamas plotas, įrengimo kaštai, paprastumas. Kadangi dažniausiai projektuojamos miestuose kur didelis pėsčiųjų ir motorinių transporto priemonių judėjimas, daugiausia konfliktinių taškų aptinkama būtent šiose sankryžose. [3] Tame pačiame šaltinyje nurodytos dažniausiai naudojamos skirtingų formų sankryžos 1.1 lentelė [3].

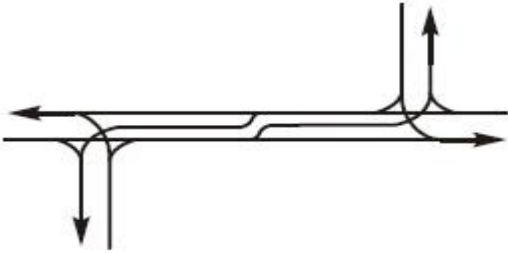
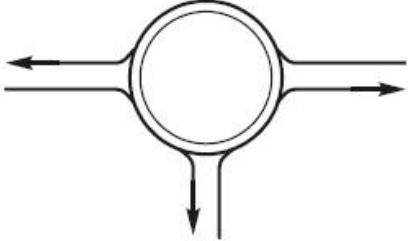
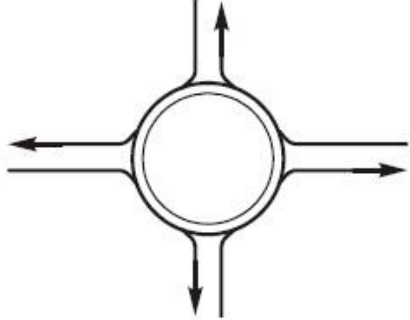
Sankryžos tipas ir forma turi būti pritaikyta prie kelio tipo, aplinkos ir vietos, tam kad judėjimas keliu ir sankryžoje būtų aiškus, bei būtų pasiektas norimas saugumo lygis [5].

1.1 lentelėje pavaizduotos I formos sankryžos taikomos kelių su dviem eismo juostomis sankryžose. Tokio tipo sankryžos yra populiariausios miestų ir gyvenviečių teritorijose. II sankryžos forma taikoma, kai pagrindinis kelias turintis po keletą eismo juostų viena kryptimi susikerta su šalutinių dviejų eismo juostų keliu. Šio tipo sankryžos pasitaiko rečiau ir yra rengiamos pagal individualius projektus. III formos sankryža atvaizduoja kelių susikirtimų pertvarkymą, kai šalutinis kelias įsijungia į pagrindinį kelią iš skirtingų pusių, susidaro iš dviejų I formos sankryžų.

Paskutinė 1.1 lentelėje atvaizduojama IV žiedinė sankryža kuri taikoma, kai trys ar daugiau kelių jungiami vienos krypties žiedu [3].

1.1 lentelė. Vieno lygio sankryžų pagrindinės formos [3].

Pagrindinė forma	Įsijungimas	Susikirtimas
Kelių su dviem eismo juostomis sankryža		
I Kelių su dviem važiuojamosiomis dalimis ir dviem eismo juostomis sankryža		

<p>II</p> <p>Kelių su dviem eismo juostomis sankryža, kai pertraukiama šalutinio kelio trasa</p>		
<p>V</p> <p>Žiedinė sankryža</p>		
<p>Pastaba. Galimos lėtėjimo ir greitėjimo juostos dešiniems posūkiams I ir III pagrindinėse formose sąlyginai neparodytos. ¹⁾ Galimos papildomos eismo juostos kairiesiems posūkiams.</p>		

1.1 lentelėje nurodytų formų sankryžos neturėtų būti naudojamos greitkeluose ir signalais valdomos sankryžos neturėtų būti naudojamos mažai apgyvendintose teritorijose kur eismo judėjimas mažesnis išskyrus ypatingus atvejus. [5] Šviesoforais kontroliuojamos sankryžos dažniausiai naudojamos miestuose arba vietovėse kur didesnis eismo dalyvių skaičius. Pagrindinis reikalavimas visoms kontroliuojamoms sankryžoms yra tas, kad motorinės transporto priemonės vairuotojas turi pastebėti kontrolės prietaisus pakankamai greitai, kad atlikti veiksmus kuriuos nurodo kontrolės prietaisai [6].

1.1.2 Žiedinės sankryžos

Žiedinė sankryža yra apvalios formos sankryža kurioje eismo judėjimas vyksta ratu aplink centrinę salą prieš laikrodžio rodyklę (Lietuvoje ir kitose šalyse dešinės pusės eismo šalyse). Dėl didelio susidūrimų skaičiaus, kai pirmumas suteikiamas įvažiuojančioms į sankryžą transporto priemonėms priimta taisyklė kuri reikalauja duoti kelią žiedu judančioms transporto priemonėms.[7] Ši taisyklė pagerino žiedinės sankryžos saugumo charakteristikas ženkliai sumažindama susidūrimų skaičių.

Pasak [8] kai kurie tyrimai rodo kad žiedinėse sankryžose įvyksta du kartus mažiau eismo įvykių, negu sankryžose kuriose eismo srautai paskirstomi naudojan šviesoforus. Kiti tyrimai rodo, kad nelaimingų įvykių skaičius taip ženkliai nesiskiria, tačiau žiedinėse sankryžose žmonių sužeidimų sunkumas yra mažesnis dėl mažesnio greičio. Manoma kad dėl mažų susidūrimo kampų ir sumažėja konfliktinių taškų skaičius.

Daug didesnis saugumo lygis pasiekiamas, kai žiedine važiuojamąja dalimi transporto priemonės juda viena eismo juosta 1.1 pav. (A ir B). Dėl šios priežasties nukenčia eismo laidumas, tačiau esant mažesnio srauto keliams vienos eismo juostos mažos arba labai mažos žiedinės sankryžos pakanka. Šio tipo sankryžos dažniausiai naudojamos gyvenvietėse su mažesniu transporto priemonių judėjimu. Kelių juostų 1.1pav(C ir D) žiedinės sankryžos įrengiamos gyvenviečių prieigose, kur egzistuoja didelis eismo intensyvumas [3]. Kelių eismo juostų žiedinėje sankryžoje transporto priemonės juda lygiagrečiai tad tai sukelia didesnę eismo įvykių tikimybę. Vis dėl to dviejų eismo juostų žiedinė sankryža yra saugesnė už keturšalę stataus kampo sankryžą [9]. Remiantis tuo pačiu šaltiniu galime teigti, kad žiedinėse sankryžose daug rečiau sužeidžiami žmonės. Šiose sankryžose eismo juostos kertasi retai, konfliktinių taškų mažiau.

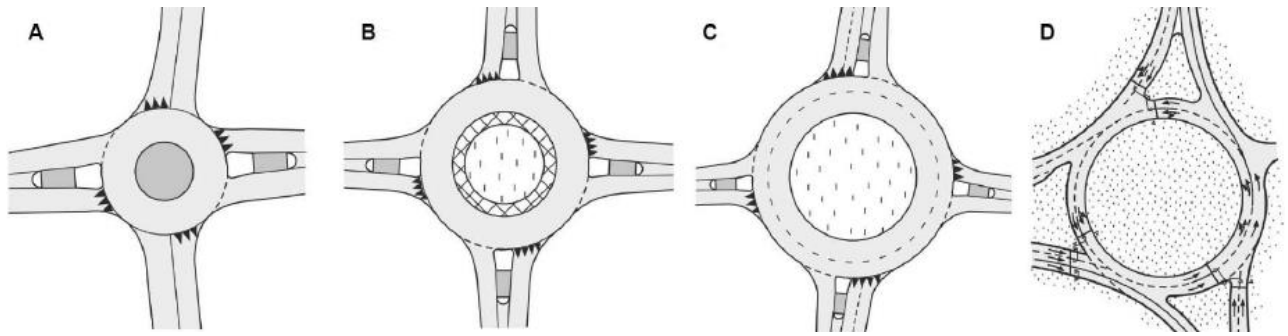
Kai iškyla eismo įvykio grėsmė svarbu nustatyti saugų greičio limitą, kad įvykio padariniai būtų kuo menkesni. Šiuolaikinėse žiedinėse sankryžose projektinis įvažiavimo į žiedą greitis turėtų būti ne didesnis nei 25-30 km/h Mini žiedinėse sankryžose, 30-40km/h Mažoji tipo žiedinėse sankryžose, bei 40-50 km/h Mažoji su dviem eismo juostomis žiedinėse sankryžose. Esant nurodytam greičiui eismo įvykio metu yra maža sunkių traumų, bei mirties tikimybė. Dažniausiai patiriama tik materialinė žala. Senesnio tipo sankryžose nėra fizinių kliūčių galinčių apriboti eismo dalyvių greitį. Nepaisant kelio ženklavimo ir šviesoforo signalų vairuotojams nemažinant greičio eismo įvykių padariniai būna daug sunkesni ir kartais tragiški. [10]

1.2 lentelė. Žiedinių sankryžų parametrai [3].

Parametrai	Žiedinės sankryžos tipas		
	Mini	Mažoji 1 eismo juostos	Mažoji 2 eismo juostų
Projektinis įvažiuojančio transporto greitis, km/h	25-30	30-40	40-50
Eismo juostų sk.	1	1	2
Išorinis skersmuo	13-22	26-40	40-60
Centrinės salelės tipas	Pervažiuojama	Nepervažiuojama	Nepervažiuojama
Orientacinis pralaidumas, aut/h	1500	2500	4500 (3200)

*, „Pirmas skaičius, kai žiedinės sankryžos turi dvi išvažas, antras- kai vieną išvažą.“

Mažosios vienos eismo juostos žiedinės sankryžos bendras vaizdas [3].



1.1 pav. Pagrindiniai žiedinių sankryžų tipai [3]

A – mini;

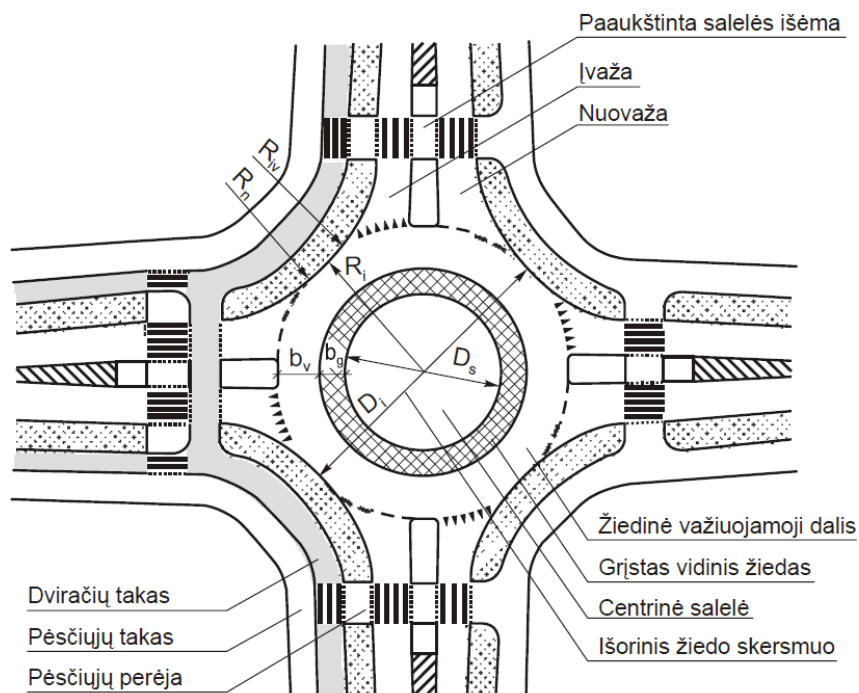
B – mažoji vienos eismo juostos;

C – mažoji dviejų eismo juostų;

D – didžioji

Nurodytos žiedinės sankryžos 1.1 pav sudaromos naudojantis reglamentuotomis taisyklėmis, bei apribojimais.

Naujesnės modernios žiedinės sankryžos skiriasi nuo įprastų žiedinių sankryžų. Modernios žiedinės sankryžos yra kur kas mažesnės ir lengviau pritaikomos. Pagal [1] penktąjį skirsnį „Įvažos ir išvažos turi būti rengiamos kuo statesniu kampu žiedinei važiuojamajai daliai, o susikertančių gatvių ašys turi būti kuo arčiau žiedinės sankryžos centro.“ 1.2 pav Tokiu būdu transporto priemonių judėjimas sumažinamas iki saugaus greičio.

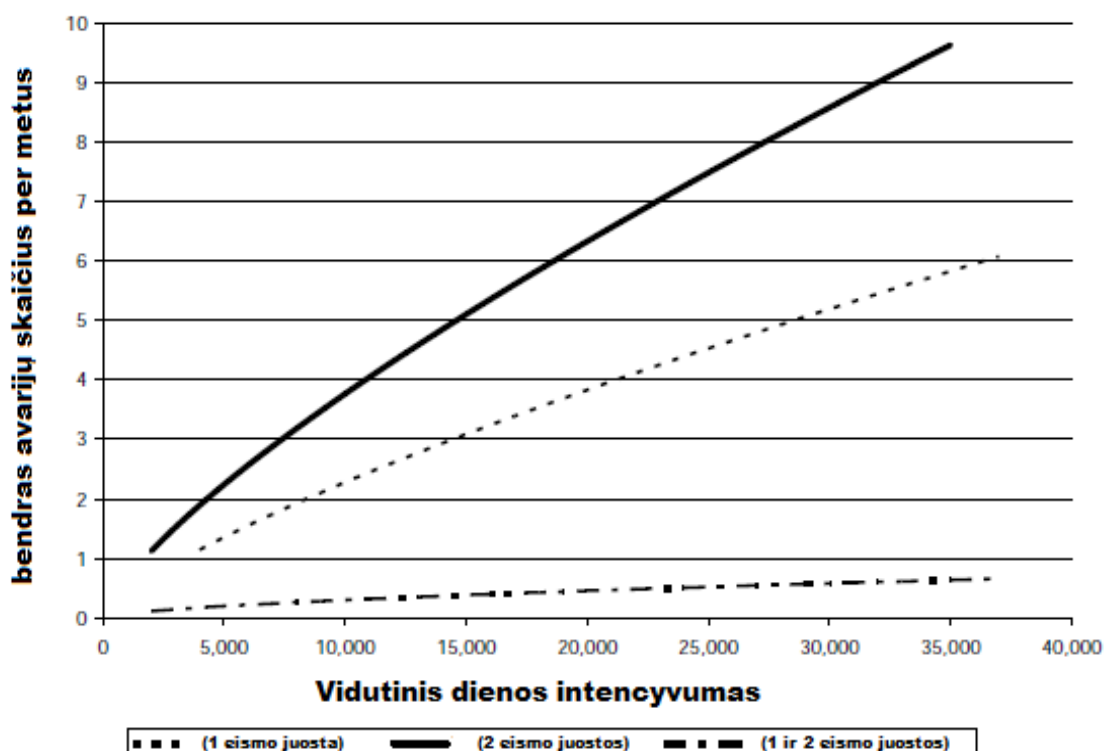


1.2 pav. Pagrindiniai žiedinių sankryžų parametrai [3].

- Žiedinė važiuojamoji dalis – vienos ar keletos eismo juostų sankryžos dalis transporto priemonių judėjimui.
- Grįstas vidinis žiedas – žiedinės sankryžos dalis, ant kurios esant būtinybei, gali užvažiuoti didelių gabaritų transporto priemonės.
- Centrinė sala – pakelta vieta žiedo centre aplink kurią vyksta judėjimas. Centrinė salelė nebūtinai turi būti apskritimo formos.

Dėl ženkliai sumažinto transporto priemonių judėjimo greičio žiedinės sankryžos yra ganėtinai saugios pėsčiųjų judėjimui lyginant su tradicinėmis keturių krypčių sankryžomis. Tam, kad mažiausioje mini tipo žiedinėje sankryžoje būtų sudarytos salygos saugiam sunkiasvorių transporto priemonių judėjimui naudojamas vidinis žiedas [1]. Šio tipo sankryžos nereikalauja daug žemės ploto, tai labai aktualu rengiant sankryžas miesto teritorijoje. Senesnio tipo sankryžose eismo juostos viduje, įvažos ir išvažiavimai yra labai platūs dėl to juose gali tilpti kelios transporto priemonės. Žiedo viduje gali būti išvystomas kur kas didesnis greitis todėl ir eismo įvykio tikimybė padidėja [1].

Pateiktame 1.3 pav. matome modelį sudaryta [7], kuriame iliustruojama kelių eismo juostų ir vienos eismo juostos bendras avarijų skaičius per metus, bei sužeidimų skaičius vienos ir dviejų eismo juostų žiedinėje sankryžoje.



1.3 pav. Bendras avarijų ir sužeidimų skaičius, vienos ir kelių eismo juostų žiedinėje sankryžoje [7].

Pagrindinės priežastys dėl kurių įvyksta eismo įvykiai keletos juostų žiedo formos sankryžoje:

1. Vairuotojai nesugeba likti tinkamoje juostoje.

2. Vairuotojai įvažiuoja į sankryžą priešais išvažiuojančią transporto priemonę.
3. Vairuotojai išvažiuoja pasirinkę netinkamą juostą.

Žiedinės sankryžos yra laikomos saugesnės nei kitų tipų sankryžos. Saugumo nauda pastebima dėl mažesnio konfliktinių taškų skaičiaus.

Aukštas saugumo lygis žiedinėje sankryžoje pasiekiamas dėl jos dizaino(formos). Visos transporto priemonės juda viena kryptimi, panaikinama posūkio kairėn galimybė kuri sukuria konfliktines situacijas tradicinėse sankryžose (keturių krypčių, arba T formos). Taip pat geras žiedinės sankryžos dizainas vaidina didelį vaidmenį greičio kontrolei. Greitis kontroliuojamas ne tik eismo kontrolės prietaisais, bei ženkliniu, o taip pat ir geometrine sankryžos forma, tokiu būdu saugumo rodikliai dar pagerėja [7].

1.1.3 Kelių lygių sankryžos

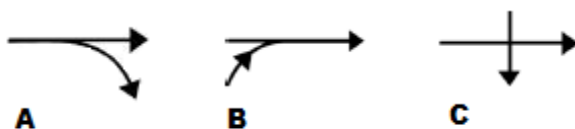
Kelių lygių sankryžos mažai naudojamos miesto teritorijose kur didžiausias pėsčiųjų skaičius ir dažnai magistraliniuose keliuose pėstieji neturi galimybės įsitraukti į eismo judėjimą dėl saugumo. Dažniausiai kelių lygių sankryžose saugumas priklauso ne nuo konfliktinių taškų skaičiaus, bet nuo greičio apribojimų, nes didžiausias eismo įvykių skaičius kelių lygių sankryžose susidaro dėl saugaus greičio nesilaikymo. Kadangi šis tyrimas labiau orientuotas į konfliktinių taškų paiešką ir skaičiavimą daugiau dėmesio skiriama vieno lygio žiedinėms ir stataus kampo sankryžoms kuriose konfliktų skaičius didžiausias [5].

1.2 Konfliktinių taškų samprata

Geriausiai žinomas saugumo indikatorius mikro simuliacijų modeliuose yra eismo konfliktinei taškai – situacijos kuriuose įvairiapusiškai susipina eismo judėjimas. Į tai įeina sankryžą sudarančių kelių susikirtimai, susilieėjimai ir išsišakojimai [11]. Konfliktinių taškų skaičius ir pasiskirstymas naudojamas įvertinti sankryžos judėjimo kontrolės dizainą bei saugos rodiklius. Tradicinis konfliktinių taškų nustatymas buvo grindžiamas rankiniais būdais, kurie sudaro sunkumų kompiuterinėmis procedūromis įvertinti saugumo rodiklius skirtingose sankryžų modeliuose. Kartais, programuojamos procedūros gali suteikti geresnį sprendimą lyginant su rankiniais metodais, taipogi jos yra kur kas greitesnės lyginant su rankiniu skaičiavimu [12].

Remiantis [13] sankryžų struktūrų koncepcijomis galima nustatyti konfliktinius taškus įvairaus tipo sankryžose (žr.sk.1.1). Eismo konfliktiniai taškai gali būti skirstomi į susikertančius, susiliejančius ir išsišakojančius 1.4 pav [14].

- **Išsišakojimų konfliktai** – sukuriama, kai transporto priemonės juda viena kryptimi ir išsiskiria į kitas kryptis. Bendrai tai laikomas mažiausiai pavojaus sukeliantis manevras [14] ir [11].
- **Susilieėjimų konfliktai** – atsiranda skirtingomis kryptimis arba juostomis judančioms transporto priemonėms įvažiuojant į tą pačią eismo juostą judant ta pačia kryptimi.
- **Susikirtimų konfliktai** – atsiranda, kai eismo dalyviai judantys skirtingomis kryptimis bando kirsti kelius toje pačioje vietoje. Tokio tipo susikirtimai laikomi pačiais pavojingiausiais ir yra pagrindinis rūpestis modeliuojant kelių sankryžos dizainą.



1.4 pav. Trijų tipų konfliktai (A išsišakojimų, B susilieėjimų, C susikirtimų) [14].

Kad konfliktiniai taškai būtų priskirti prie vienos ar kitos grupės jie turi atitikti tam tikrus kriterijus:

1. Turi egzistuoti skirtingo eismo srautų judėjimas skirtingomis kryptimis.
2. Skirtingi eismo srautai turi susikirsti tuo pačiu metu.
3. Skirtingi eismo srautai turi susikirsti toje pačioje vietoje.

Kad apskaičiuoti konfliktinių taškų skaičių reikia:

- Atsižvelgti į eismo juostų skaičių kiekviena judėjimo kryptimi, eismo kontrolės priemones (šviesoforai, sankryžos ženklavimas) ir teisingą eismo srautu judėjimą.
- Nustatyti eismo dalyvių judėjimo taisykles persidengiančiose eismo judėjimo vietose. Konfliktinių taškų formavimas priklauso nuo to ar skirtingomis kryptimis judantys eismo dalyviai susikerta tam tikroje vietoje.

Remiantis šiais reikalavimais nustatomas eismo srautų skaičius kiekviena kryptimi ir gali būti surandami, bei apskaičiuojami skirtingų tipų konfliktiniai taškai [7].

1.3 Pėsčiųjų ir motorinių transporto priemonių konfliktų samprata

Pėsčiųjų ir motorinių transporto priemonių judėjimas gali būti atvaizduojamas kiekvienoje sankryžoje, netgi su mažiausiu pėsčiųjų judėjimu. Šiame skyriuje aptariami pėsčiųjų ir motorinių transporto priemonių konfliktiniai taškai ir jų susidarymo priežastys.

Paprastai pėsčiųjų ir motorinių transporto priemonių konfliktai tiriami remiantis policijos, draudimo kompanijų suteikiamais duomenimis, tačiau konfliktinės situacijos kuriose nėra nukentėjusių dažnai nėra registruojamos ir vertinimas remiantis tokia informacija yra neobjektyvus [19]. Eismo konfliktinių situacijų mikro simuliacijos yra kur kas efektyvesnis metodas sankryžų saugumo vertinimui. Tokio tipo vertinimai yra pritaikyti daugelyje tyrimų [15]. Yra sukurta nemažai programinė įranga mikro simuliacijoms kurti, tačiau jų funkcionalumas yra labai skirtingas ir sankryžoje vykstančių procesų pasirinkimas neretai būna sudėtingas ir reikalaujantis gausybės teorinių žinių. Simuliacijų programinė įranga tokia kaip VISSIM, SimTraffic arba SIDRA gali kurti pėsčiųjų mikro simuliacijas ir aptikti jų judėjimo kryptis kartu su motorinių transporto priemonių judėjimu naudojant mažesnę kaip vienos sekundės TTC laiko žymą [15].

Dažniausiai pėsčiųjų judėjimo kryptis sankryžoje yra statmena transporto priemonių judėjimui dėl to susidaro konfliktiniai taškai tarp pėsčiųjų ir motorinių transporto priemonių. Šie konfliktiniai taškai yra pavojingiausi dėl pėsčiųjų pažeidžiamumo todėl tam, kad sumažinti jų skaičių arba visai juos panaikinti reikia žinoti kokiais atvejais susidaro šie susikirtimų taškai tarp pėsčiųjų ir motorinių transporto priemonių [16]. 1.5 pav. reprezentuoja tipiškas konfliktines situacijas tarp pėsčiųjų bei motorinių transporto priemonių, šviesoforais valdomoje stataus kampo keturių krypčių sankryžoje [7].

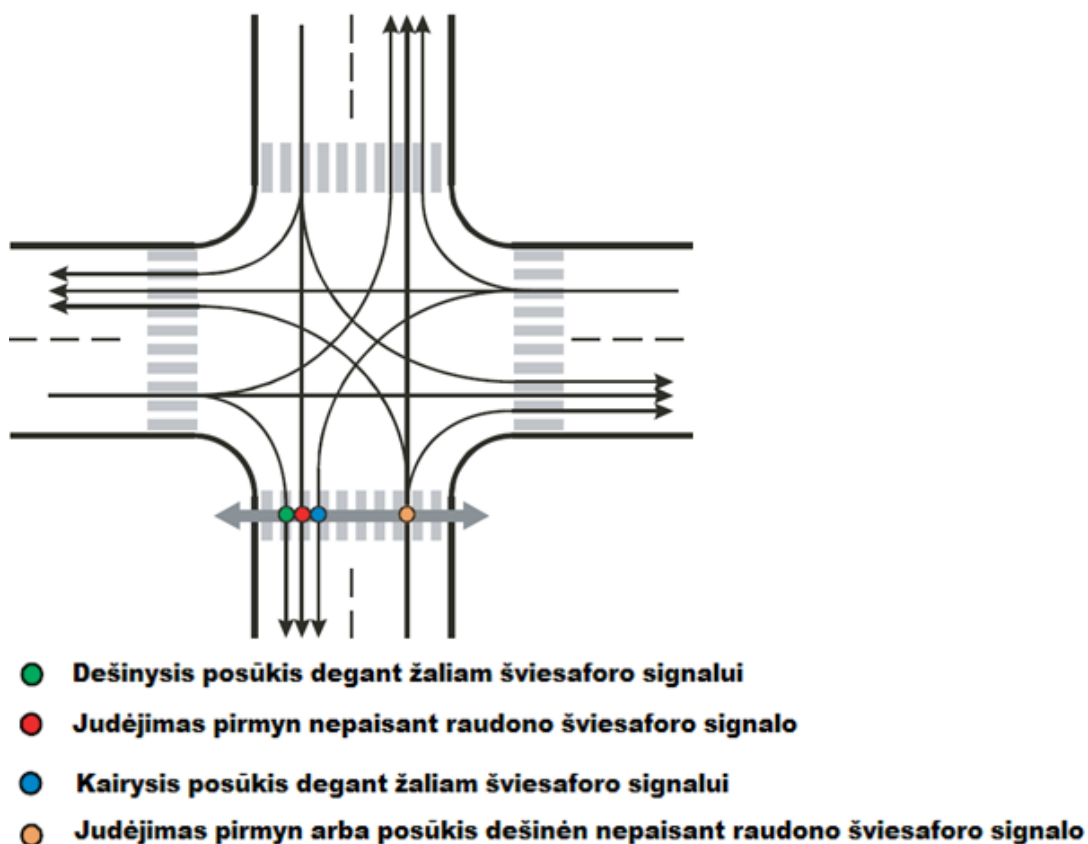
Konfliktai tarp pėsčiųjų ir motorinių transporto priemonių iškyla, kai mašinos manevruoja į dešinę pusę per raudoną šviesoforo signalą. Šis manevras yra leistinas sankryžoje, kai papildomu ženklavimu nurodoma posūkio į dešinę galimybė degant raudonam šviesoforo signalui. Vairuotojas matydamas papildomą ženklavimą kuris suteikia galimybę sukti dešinėn per raudoną šviesoforo signalą

nesustoja atlikdamas šį manevrą ir nepraleidžia kelio važiuojamosios dalies kairiąja puse artėjančių pėsčiųjų. Taipogi vairuotojas įvažiuodamas į sankryžą didžiausią dėmesį skiria iš kairės pusės judančioms transporto priemonėms ir neatlieka adekvačios pėsčiųjų judančių iš dešinės pusės, stačiai kertančių transporto priemonės judėjimo kryptį paieškos. 1.5pav geltona spalva pažymėta konfliktinė situacija [16].

Dažnai pasitaikantis konfliktas, kai motorinės transporto priemonės atlieka manevrą dešinėn, degant žaliai šviesoforo signalui ir neduoda pirmenybės pėstiesiems judantiems paralelei esančia pėsčiųjų perėja. Žalia spalva pažymėta konfliktinė situacija atvaizduota 1.5pav.

Taip pat konfliktinė situaciją neretai iškyla tarp transporto priemonių sankryžoje judančių kairėn. Transporto priemonės judančios kairėn turi duoti pirmenybę tiesei judantiems eismo dalyviams. Vairuotojai susikoncentruoja ties tinkamo dydžio tarpo pasirinkimu ir neretai atlikdami manevrą nepraleidžia pėsčiųjų judančių per konfliktinę perėją. Šios situacijos atvaizduojamos mėlyna spalva 1.5pav.

Rečiausiai pasitaikanti konfliktinė situacija tarp pėsčiųjų ir transporto priemonių, kai transporto priemonė įvažiuoja į sankryžą degant raudonam šviesoforo signalui. Tačiau šios konfliktinės situacijos padariniai dažniausiai būna skaudžiausi dėl didelio transporto priemonės greičio. Reprzentuoja raudona spalva pažymėta konfliktinė situacija 1.5pav.



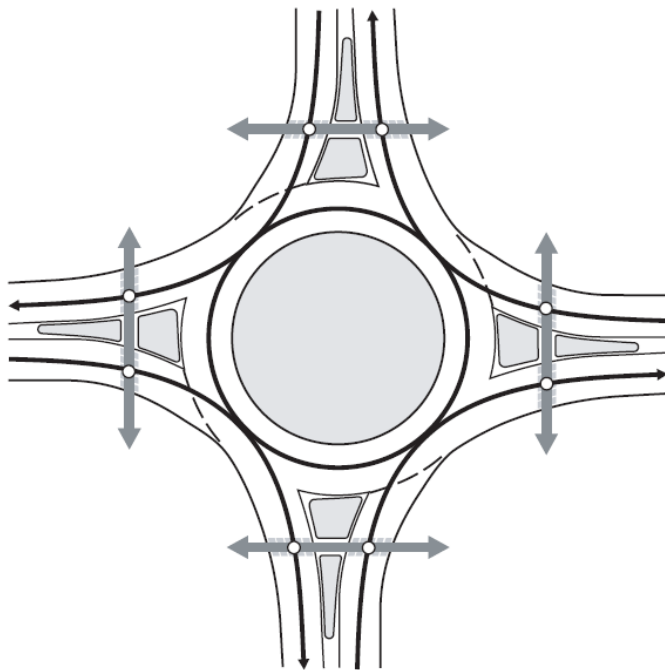
1.5 pav. Vienoje pėsčiųjų perėjoje susidarantys konfliktai tarp pėsčiųjų ir motorinių transporto priemonių, šviesoforais valdomoje kelių sankryžoje [16].

Analizuojant sankryžas turinčias keletą eismo juostų kiekviena kryptimi susiduriame su transporto priemonėmis vienoje juostoje praleidžiančiomis pėsčiuosius, o kitoje judančiomis toliau. Tokiu atveju transporto priemonė praleidžianti pėsčiuosius gali juos uždengti, taip sumažindamos matymo lauką kita juosta judančioms transporto priemonėms ir sukeldama pėstiesiems didelį pavojų. Šio tipo konfliktai neretai išskyla šviesoforais valdomose sankryžose su keliomis eismo juostomis, kai dviejų eismo juostų galimos kryptys dešinėn arba kairėn [16] ir [7].

Žiedinėse sankryžose pėstieji susiduria tik su dviejų tipų konfliktiniais motorinių transporto priemonių judėjimais kurie sukuria konfliktinius taškus atvaizduojami 1.6 pav.

- Įvažiavimo konfliktai,
- Išvažiavimo konfliktai.

Kalbant apie žiedines sankryžas turinčias keletą juostų kiekvienai iš jų pridedama po vieną konfliktinį tašką įvažiavimo ir išvažiavimo kryptims kurias kerta pėstieji [7].

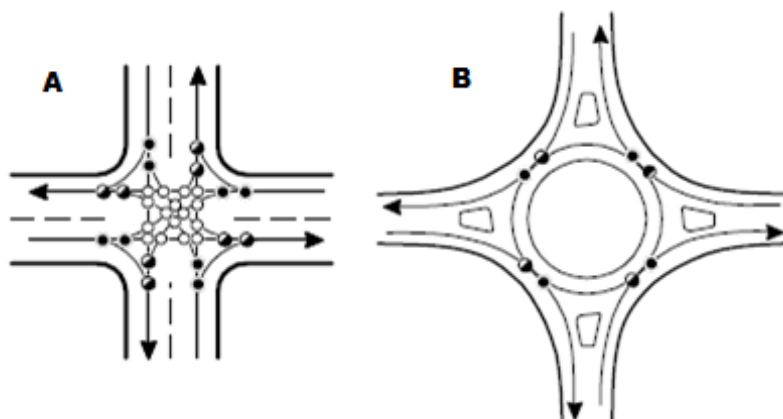


1.6 pav. Konfliktiniai taškai susidarantys tarp pėsčiųjų ir motorinių transporto priemonių žiedinėje vienos eismo juosto sankryžoje [16].

- motorinių transporto priemonių/pėsčiųjų konfliktiniai taškai.

Sankryžose didžiausias eismo judėjimo intensyvumas tarp motorinių transporto priemonių, todėl dažniausiai apskaičiuojami konfliktiniai taškai tarp šio tipo eismo dalyvių. Toliau 1.7 pav. reprezentuoja susidarantį konfliktinius taškus keturių krypčių sankryžoje ir žiedinėje sankryžoje.

Kaip matome keičiant keturšalę sankryžą į žiedinę konfliktinių taškų skaičius sumažėja nuo 32 iki 8 sankryžose turinčiose keturias judėjimo kryptis. [7]

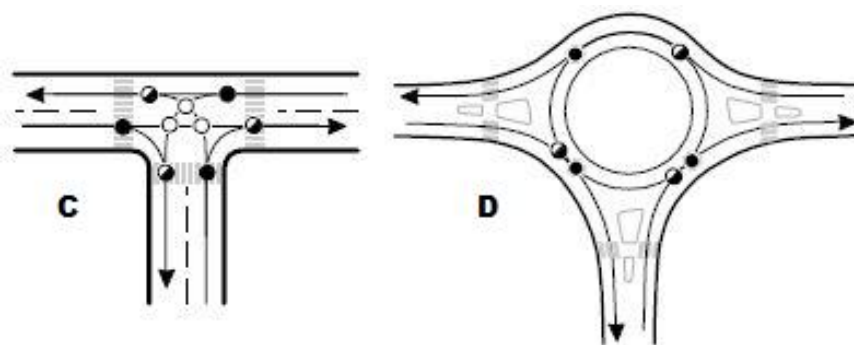


1.7 pav. Motorinių transporto priemonių konfliktiniai taškai keturių krypčių kelių sankryžose [7].

- Išsišakojimų konfliktai
- Susiliejamų konfliktai
- Susikirtimų konfliktai

1.7 pav. A žiedinės sankryžos eliminuoja susikirtimų tipo konfliktines situacijas. Atskiros eismo judėjimo linijos ir eismo kontrolė (stop ženklai ir šviesoforai) gali sumažinti susikirtimų konfliktinių taškų skaičių, tačiau visiškai jų nepanaikina tradicinėse kelių sankryžose. Vis gi daugiausia eismo įvykių įvyksta signalais reguliuojamose sankryžose, kai vairuotojai nesilaiko nurodymų. Todėl žiedinės sankryžos savo geometrine forma užtikrintai sumažina konfliktinių situacijų skaičių.

Lyginant tradicinės T-tipo sankryžas ir trijų kelių žiedines sankryžas 1.8 pav. matome, kad konfliktinių taškų skaičius sumažėja nuo 9 iki 6 trijų krypčių sankryžose. Reiktų atsižvelgti į tai kad 1.7 pav. ir 1.8 pav pateikti konfliktiniai taškai neatsižvelgiant į laiką kurį sukuria eismo kontrolės prietaisai ar ženklai [7].



1.8 pav. Motorinių transporto priemonių konfliktiniai taškai trijų krypčių kelių sankryžose [7]

1.4 Kelių sankryžų konfliktinių taškų skaičiavimo metodų analizė

1.4.1 Rankinis konfliktinių taškų skaičiavimo metodas

Rankinis konfliktinių taškų skaičiavimas paremtas sankryžos geometrinio modelio brėžinių ir virtualių judėjimo juostų braižymu. Kiekvienos krypties konfliktiniai taškai skaičiuojami rankiniu būdu, analizuojant sankryžos brėžinį ir nustatant virtualių judėjimo krypčių susikirtimo vietas. Tačiau keturių krypčių, dviejų kelių, stataus kampo sankryžoms kurios nėra valdomos šviesoforais 1.7 pav. (A) Galima pritaikyti lygtį konfliktinių taškų paieškai.

$$N_p = n^2(n - 1)(n - 2)/6 \quad (1.1)$$

$$N_s = N_a = n(n - 2) \quad (1.2)$$

Čia:

N_p – susikirtimų skaičius

N_s – susiliejamų skaičius

N_a – išsišakojimų skaičius

n – įvažiavimų skaičius (3-5 įvažiavimai)

Ši lygtis yra tinkama sankryžoms tik 3 – 5 įvažiavimais. Yra labai sudėtinga pritaikyti vieną apibendrintą matematinį modelį skirtingų tipų sankryžų konfliktinių taškų apskaičiavimui dėl skirtingo sankryžos valdymo ir linijų konfigūracijos [12].

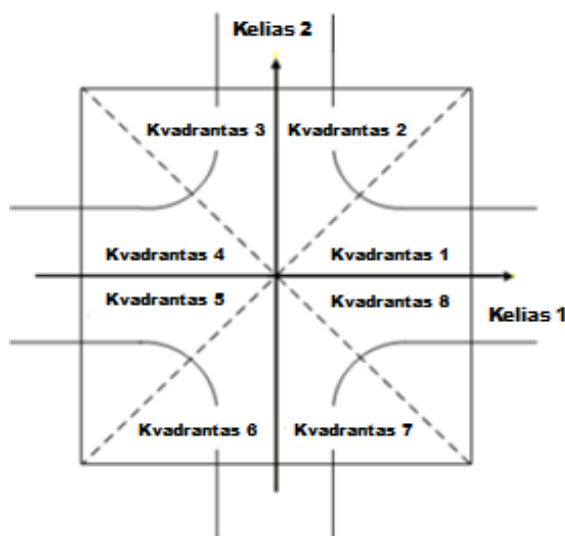
1.4.2 Automatinis konfliktinių taškų skaičiavimo metodas

Automatinis konfliktinių taškų skaičiavimo metodas skirtas judančių transporto priemonių konfliktinių taškų skaičiavimui šviesoforais ir/arba kelių ženkliniu reguliuojamose kelių sankryžose. Norint sudaryti automatinį konfliktinių taškų skaičiavimą reikia remtis virtualių judėjimo juostų ir sankryžos išskaidymo į kvadrantus koncepcijomis. Šios reikalingos tam kad nustatyti sankryžos tipą, juostų konfigūraciją, judėjimo kontrolę [17].

Kvadrantų koncepcija

Sankryžos paviršiaus ploto sumažinimui naudojame kvadrantus. Kvadrantais vadinamas dviejų dimensijų fizinis sankryžos plotas kuriame galima išskirti kiekvieną atskirą sankryžos elementą. Keturių krypčių stataus kampo sankryžą gali būti suskirstyta į keturis didelius sankryžos kvadrantus. Kiekvienas didelis kvadrantas susidaro iš dviejų mažesnių, įskaitant vieną įvažiavimo ir vieną išvažiavimo kvadrantą kaip pavaizduota 1.8 pav.. Ši keturių krypčių stataus kampo sankryža turi

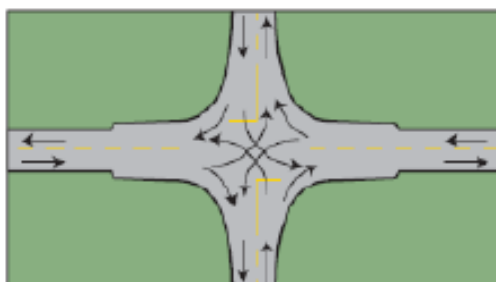
keturis įvažiavimo kvadrantus (5,7,1,3) ir keturis išvažiavimo kvadrantus (4,6,8,2) su koordinatinių linijomis per vidurį.



1.9 pav. Keturių kryžių statuso kampo sankryža suskaidyta į kvadrantus [17].

Virtualių judėjimo juostų koncepcija

Virtualaus judėjimo juostos atitinka eismo dalyvių judėjimo kryptis įvažiuojant į sankryžą 1.10 pav. Pavyzdžiui įvažiavimo juosta leidžia eismo judėjimą tiesiai, posukį dešinėn taigi ši eismo juosta turi dvi virtualaus judėjimo juostas nepaisant įvažiavimo juostos. Viena įvažiavimo juosta gali turėti daugiausia tris virtualias judėjimo juostas įskaitant judėjimo tiesiai, posūkio kairėn ir dešinėn. Jeigu juosta naudojama daliniam judėjimui ši juosta gali turėti tik vieną virtualaus judėjimo juostą. Jei du eismo dalyviai naudojami viena juosta, šios juostos rezultatas yra dvi virtualios judėjimo juostos. Bendrai tariant virtualių juostų skaičius priklauso nuo duotos juostos galimų judėjimo krypčių [17].



1.10 pav. Virtualus judėjimas keturių kryžių sankryžoje [17].

Kad apibrėžti virtualaus judėjimo juostas naudojami šie kintamieji:

N_{lt}^0 – įvažiavimo juostų skaičius su posūkiu į kairę ir judėjimu tiesiai,

N_{tr}^0 – įvažiavimo juostų skaičius su posūkiu į dešinę ir judėjimu tiesiai,

N_{ltr}^0 – įvažiavimo juostų skaičius su posūkiu į kairę, tiesiai ir judėjimu dešinėn,

N^0_{lr} – įvažiavimo juostų skaičius su posūkiu į kairę ir į dešinę judėjimu,
 N^0_l – įvažiavimo juostų skaičius su išskirtiniu kairio posūkio judėjimu,
 N^0_t – įvažiavimo juostų skaičius su išskirtiniu judėjimu tiesiai,
 N^0_r – įvažiavimo juostų skaičius su išskirtiniu dešiniojo posūkio judėjimu,
 N^0_{dl} – Išvažiavimo juostų skaičius,

Toliau naudojamos lygtys naudojamos virtualių juostų apskaičiavimui kiekviena judėjimo kryptimi, konkrečiame kvadrante:

$$F^0_l = N^0_{lt} + N^0_{lr} + N^0_{ltr} + N^0_l \quad (1.3)$$

$$F^0_t = N^0_{lt} + N^0_{tr} + N^0_{ltr} + N^0_t \quad (1.4)$$

$$F^0_r = N^0_{lr} + N^0_{tr} + N^0_{ltr} + N^0_r \quad (1.5)$$

Kur: F^0_l , F^0_t , ir F^0_r atitinka virtualių judėjimo juostų skaičius dešiniajam posūkiui, kairiajam posūkiui ir judėjimui tiesiai duotiems įvažiavimo kvadrantams atitinkamai.

Konfliktinių taškų nustatymas

Kadangi sankryžos struktūra sudaryta iš virtualių judėjimo juostų kurios susilieja, išsišakoja arba susikerta. Būtu neefektyvu skaičiuoti konfliktinius taškus apimant visą sankryžos dydį. Dėl šios priežasties pirminiai konfliktinių taškų paieškos žinksniai išskirstomi į keletą etapų.

1. Sankryža skaidoma į kvadrantus.
2. Kiekvienas kvadrantas skaidomas į dvi smulkesnes sritis (kurių vieną įvažiavimo, o kita išvažiavimo)

1.8 pav. Matome keturšalės sankryžos suskaidymą į kvadrantus. Sankryžoms su šviesoforais išvažiavimo linijų skaičius turėtų būti nurodomas remiantis signalų fazėmis. Jei eismo judėjimo kryptis įvažiuojant į sankryžą yra negalima atsižvelgiant į signalo fazę, negali būti jokių įvažiavimo linijų ta kryptimi. Kiekvieno tipo konfliktiniai taškai apskaičiuojami atskirai [17].

Susikirtimų konfliktiniai taškai

Susikirtimų konfliktiniai taškai egzistuoja tik susikertančiuose judėjimo taškuose, tokiuose kaip judėjimo į kairę puse prieš judėjimo į kairę, judėjimo tiesiai prieš judėjimo tiesiai ir judėjimo į kairę puse prieš judėjimo tiesiai. Pagal [17] pirmame žingsnyje kvadrantas 1 1.8pav. laikomas pagrindiniu. Konfliktiniai taškai apskaičiuojami tarp šio kvadranto ir kvadrantų (3,5 bei 7) taikant bendrines formules:

$$NCP_{c1} = F_{1l} * F_{3l} + F_{1l} * F_{5t} + F_{1l} * F_{7l} + F_{1l} * F_{7t} + F_{1t} * F_{3l} + F_{1t} * F_{3t} + F_{1t} * F_{5l} + F_{1t} * F_{7t} \quad (1.6)$$

$$NCP_{c1} = F_{1l} * F_{3l} + F_{1l} * F_{5t} + F_{1l} * F_{7l} + F_{1l} * F_{7t} + F_{1t} * F_{3l} + F_{1t} * F_{3t} + F_{1t} * F_{5l} + F_{1t} * F_{7t} \quad (1.7)$$

Sekančiame žingsnyje, kvadrantas 3 laikomas pagrindiniu. Susikertančių konfliktinių taškų skaičius tarp eismo srautų iš šio kvadranto ir iš kitų kvadrantų (5 ir 7) gali būti apskaičiuota naudojantis lygtimi:

$$NCP_{c2} = F_{3l} * F_{5l} + F_{3l} * F_{7t} + F_{3t} * F_{5l} + F_{3t} * F_{5t} + F_{3t} * F_{7l} \quad (1.8)$$

Trečiame žingsnyje kvadrantas 5 yra laikomas pagrindiniu kvadrantu ir susikertančių konfliktinių taškų skaičius tarp eismo srautų iš šio kvadranto ir iš 7 kvadranto gali būti apskaičiuotas naudojant sekančią lygtį:

$$NCP_{c3} = F_{5l} * F_{7l} + F_{5t} * F_{7l} + F_{5t} * F_{7t} \quad (1.9)$$

Paskutiniame žingsnyje bendras susikertančių konfliktinių taškų skaičius gali būti randamas naudojantis lygtimi:

$$NCP_c = NCP_{c1} + NCP_{c2} + NCP_{c3} \quad (1.10)$$

Susiliejimų konfliktiniai taškai

Susiliejimų konfliktiniai taškai pasiskirsto išvažiavimo kvadrantuose. Judėjimas kairėn, tiesiai ir dešinėn iš įvažiavimo kvadranto susijungia išvažiavimo kvadrantuose. Pagal [17] susiliejimų konfliktinių taškų skaičius kvadrante 8 apskaičiuojamas remiantis sekančia formule:

$$NCP_{i1} = \begin{cases} F_{3l} + F_{5t} + F_{7r} - N^0_{8dl} & NCP_{i1} \geq 0 \\ 0 & NCP_{i1} = 0 \end{cases} \quad (1.11)$$

Kur:

NCP_{i1} – Susiliejimų konfliktiniai taškai 8 kvadrante,

F_{7r} – Dešinio posūkio virtualių linijų skaičius 7 kvadrante,

N^0_{8dl} – Išvykimo linijų skaičius 8 kvadrante.

Susiliejimų konfliktiniai taškai 2,4 ir 6 kvadrantuose gali būti skaičiuojami naudojant šias lygtis:

$$NCP_{i2} = \begin{cases} F_{5l} + F_{7t} + F_{1r} - N^0_{2dl} & NCP_{i2} \geq 0 \\ 0 & NCP_{i2} = 0 \end{cases} \quad (1.11)$$

$$NCP_{i3} = \begin{cases} F_{7l} + F_{1t} + F_{3r} - N^0_{4dl} & NCP_{i3} \geq 0 \\ 0 & NCP_{i3} = 0 \end{cases} \quad (1.12)$$

$$NCP_{i4} = \begin{cases} F_{1l} + F_{3t} + F_{5r} - N^0_{6dl} & NCP_{i4} \geq 0 \\ 0 & NCP_{i4} = 0 \end{cases} \quad (1.13)$$

Bendras susiliejimų konfliktinių taškų skaičius NCP_i sankryžose skaičiuojamas :

$$NCP_i = NCP_{i1} + NCP_{i2} + NCP_{i3} + NCP_{i4} \quad (1.14)$$

Išsišakojimų konfliktiniai taškai

Išsišakojimų konfliktiniai taškai nustatomi įvažiavimo kvadrantuose. Šio tipo konfliktinius taškus galima apskaičiuoti remiantis įvažiavimo linijomis kurios gali judėti keliomis skirtingomis kryptimis tame pačiame kvadrante. Toliau aprašyta bendrinė formulė naudojama išsišakojimų konfliktams apskaičiuoti [17].

$$NCP_{dx} = N^0_{nlt} + N^0_{nlr} + N^0_{ntr} + 2N^0_{nltr} \quad (1.15)$$

Čia:

N^0_{nlt} – linijų skaičius kurios dalinasi judėjimą kairėn ir tiesiai pasirinktame įvažiavimo kvadrante,

N^0_{nlr} – linijų skaičius kurios dalinasi judėjimą kairėn ir dešinėn pasirinktame įvažiavimo kvadrante,

N^0_{ntr} – linijų skaičius kurios dalinasi judėjimą dešinėn ir tiesiai pasirinktame įvažiavimo kvadrante,

N^0_{nltr} – linijų skaičius kurios dalinasi judėjimą kairėn, dešinėn ir tiesiai pasirinktame įvažiavimo kvadrante,

Visų išsišakojančių konfliktinių taškų suma randama pagal formulę:

$$NCP_d = NCP_{d1} + NCP_{d2} + NCP_{d3} + NCP_{d4} \quad (1.16)$$

1.4.3 Saugumo spėjimo metodas

Daugybė statistinių sankryžos saugumą nuspėjančių metodų yra aprašyta literatūroje, bandoma apibendrinti sankryžos parametrų priklausomybes ir nelaimingų atsitikimų skaičių eismo struktūrose.

Nelaimingų atsitikimų spėjimo metodas (GLIM) Generalised Linear Modelling pasiūlytas Maher ir Summersgill yra ypač naudingas. Šis metodas naudojamas tam kad apibūdinti santykį tarp nelaimingų atsitikimų dažnio ir eismo srautų sankryžose su pagrindiniu keliu ir šalutiniais keliais. Šis santykis aprašomas lygtimi.

$$E(A) = a * Q_s^b * Q_t^c \quad (1.17)$$

Kur: a, b, c yra konstantos priklausomos nuo sankryžos tipo, vietos ir greičio, o Q_s ir Q_t atitinka pirminį ir antrinį eismo srautą.

Kulma, Maher ir Summersgill, pasiūlė panašų GLIM modelį įtraukdami papildomus efektus.

$$(A) = a * Q_s^b * Q_t^c * e^{\sum dx} \quad (1.18)$$

Nelaimingų atsitikimų spėjimui yra svarbus skirtumas tarp spėjimo ir tikro įvykių skaičiaus. Intervalai kurie paprastai aktualiausi yra tie kurie nusako spėjimo rodiklį ir realių įvykių skaičių. Tam naudojama Poisono (Poisson) prielaida arba bendriau neigiamas binominis pasisikirstymas (negative binomial distribution). Šis skaičiavimo modelis aprašomas lygtimi kuri sukuria 95 procentų pasitikėjimo intervalą spėjant nelaimingų atsitikimų skaičių lyginant su tikru nelaimingų atsitikimų skaičiumi.

Spėjamas nelaimingų atsitikimų skaičius:

$$y = \mu e^{1.96\sqrt{Var(\eta)}}, \mu e^{-1.96\sqrt{Var(\eta)}} \quad (1.19)$$

Tikras nelaimingų atsitikimų skaičius:

$$\mu = [0, \mu + \sqrt{19}\sqrt{\mu^2 Var(\eta) + \mu}] \quad (1.20)$$

Čia: μ = apibrėžia tikrą atsitikimų reikšmę ir $Var(\eta)$ = modelio parametrų pakitimo įvertinimas.

Panašūs tyrimai atlikti Chin ir Quddus (2003), Qin ir kolegos (2003; 2004), paprastesni ir praktiniai nelaimingų įvykių skaičiaus spėjimai atsižvelgiant į AADT (average annual daily volume) apgyvendintose teritorijose ir greitkeluose [18].

1.4.4 Mikro simuliacijose naudojama metodika

Mikro simuliacijų kūrimas yra vienas iš pagrindinių būdų nustatyti sankryžos saugumui. Skaičiavimuose naudojamas eismo srautų kiekis, didelę reikšmę turi eismo dalyvių judėjimo greitis. Paprastai mikro simuliacijomis skaičiuojamas konfliktinių situacijų skaičius tam tikram kiekiui eismo dalyvių, tačiau konfliktinių taškų, kurie nurodo kurioje vietoje įvyko konfliktinė situacija jos neapibrėžia. Didelė dalis mikrosimuliacijoms skirtų programų skaičiuoja keletą surogatinių vertinimų įskaitant: [12]

TTC vertinamas pagal dabartinės vietos, greičio ir trajektorjos tarp dviejų eismo dalyvių duotu laiko momentu. Šią savoką apibrėžė Hayward (1972) [12]. Mikro simuliacijose TTC skaičiuojamas remiantis vienos ar keletos eismo dalyvių judėjimu iš skirtingų sankryžos kelių. Eismo dalyvis vienu laiko momentu gali turėti keletą TTC. Kai pirmas eismo dalyvis pradeda stabdymą tam, kad išvengti

susidūrimo, jis juda V greičiu ir atstumas iki kito antro eismo dalyvio L , kai antras eismo dalyvis stovi vietoje TTC galime apskaičiuoti pagal formulę:

$$TTC = \frac{L}{V} \quad (1.21)$$

Greičio momentas V yra nustatomas tuo metu, kai eismo dalyvis pradeda stabdyti. Pradinis atstumas tuo pačiu laiko momentu numatomas darant prielaidą, kad automobilis stabdymo metu lėtėja. Pastoviam stabdymui apibūdinti, kai pirmo dalyvio vieta x :

$$x = -L + Vt - \frac{1}{2}at^2 \quad (1.22)$$

Čia: t laikas po stabdžių paspaudimo ir a lėtėjimo konstanta. Laikoma, kad stabdžių sistema suveikė momentiška be vėlavimo. [18] Pakeičiant pirmąją lygtį antrąja laiko momentu iki susidūrimo, kai stabdyti pradėta t_s laiko momentu:

$$TTC = t_s - \frac{1}{2V}at_s^2 \quad (1.23)$$

PET yra minimalus įvažiavimo laikas pastebimas konflikto metu. Įvažiavimo laikas yra laikas, kai pirmas eismo dalyvis užima tam tikrą poziciją sankryžoje ir sekantis eismo dalyvis pasiekia šia poziciją nurodytu PET laiko momentu. Jeigu PET reikšmė yra 0 tai indikuoja susidūrimą. [12] PET padidina duomenų skaičių, bet naudojami parametrai manevro aprašymui nebūtinai yra tiesioginiai konfliktinės situacijos indikatoriai.

1.4.5 Sankryžos saugumo įvertinimo metodas

Pagal [11] paprastai sankryžos saugumo lygis vertinamas pagal penkiabalę sistemą. Skaičiuojama visų sankryžoje esančių konfliktinių taškų suma pagal formulę:

$$M = \sum NCP_d + 3 \sum NCP_i + 5 \sum NCP_c \quad (1.24)$$

Čia:

M – saugumo rodiklis

Apskaičiuojant sankryžos saugumą išsiskojimai vertinami 1 balu, tai mažiausią pavojaus rodiklį turintys konfliktiniai taškai. Susiliejamų konfliktiniai taškai vertinami 3 balais, o susikirtimų turi didžiausią rodiklį ir yra vertinami 5 balais. Jeigu sankryžos konfliktinių taškų suma yra $M < 40$ ją laikome nesudėtinga ir saugia, $40 < M < 80$ vidutinio saugumo, kai $80 < M < 150$ sankryža yra nesaugi ir sudėtinga, jeigu $M > 150$ sankryža yra labai sudėtinga, bei kritiška saugumo atžvilgiu.

1.5 Analitinės dalies išvados

- Atlikus analizę atskleista, kad skaičiuojant konfliktinius taškus sankryžose retai įtraukiami pėsčiųjų sukelti konfliktiniai taškai. Tokių būdu sankryžos saugumo vertinimas nėra objektyvus pėsčiųjų atžvilgiu. Daroma prielaida, kad įtraukus pėsčiųjų judėjimo sukeltus konfliktinius taškus į sankryžos saugumo vertinimą galima gauti skirtingus sankryžos saugumo rodiklius.
- Apžvelgus konfliktinių taškų skaičiavimo metodus nustatyta, kad jų nėra daug, paprastai saugumas vertinamas remiantis statistiniais eismo įvykių duomenimis jau įgyvendintose sankryžose arba analizuojant numatomus sankryžų modelius naudojant mikro analizės įrankius.
- Modifikuojant automatinį konfliktinių taškų skaičiavimo metodą galima realizuoti konfliktinių taškų skaičiavimą įtraukiant pėsčiųjų judėjimą ir patikrinti ankščiau minėtos prielaidos teisingumą, bei pabandyti pagerinti sankryžos saugumą.

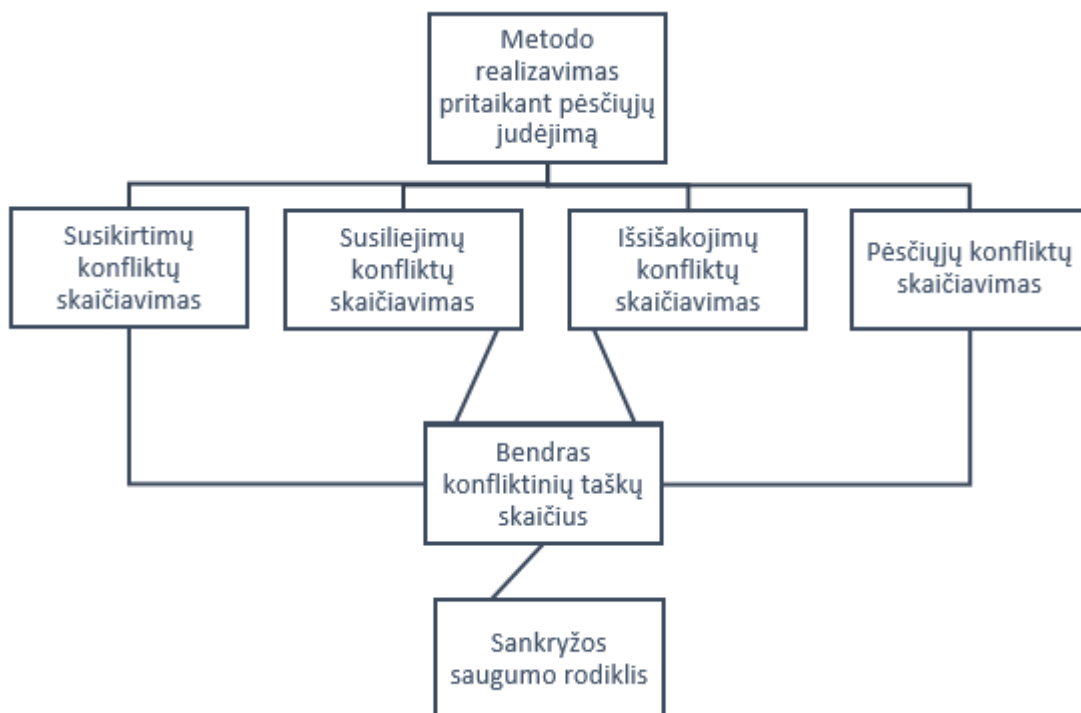
2. KONFLIKTINIŲ TAŠKŲ SKAIČIAVIMAS ĮTRAUKIANT PĖSČIŪJŲ JUDĖJIMĄ

Konfliktinių taškų skaičiavimą galima atlikti naudojant keletą metodų. Atlikus analizę buvo nuspręsta modifikuoti automatinį konfliktinių taškų skaičiavimo metodą ir įtraukti pėsčiųjų judėjimą. Šiame skyriuje pristatomas pasirinkto metodo siūlomas modifikavimo realizavimas ir testavimo planas. Aprašomi pagrindiniai reikalavimai sprendimui, nustatomi funkciniai ir nefunkciniai reikalavimai. Pristatomi įrankiai metodo realizavimui.

Atlikus realizaciją pateikiamas testavimo planas. Skyriaus pabaigoje pateikiamos metodo realizavimo išvados.

2.1 Sistemos reikalavimai

Dažnai programuojami metodai suteikia greitesnius ir teisingesnius rezultatus lyginant su rankiniais skaičiavimais. Suprogramuotas sprendimas paremtas automatinio konfliktinių taškų skaičiavimo metodu pritaikant pėsčiųjų judėjimą. Pirminiuose žingsniuose pagal nurodytus parametrus ieškomi skirtingų tipų konfliktiniai taškai. Apskaičiuojamas bendras jų skaičius. Pagal sankryžos saugumo įvertinimo metodą apskaičiuojamas sankryžos saugumo rodiklis. Principinė metodo realizavimo schema pateikiama 2.1 pav.



2.1 pav. Principinė metodo realizavimo schema.

Elementari vartotojo sąsaja (angl. GUI) buvo sukurta tam kad būtų kuo paprasčiau naudotis programa. Toliau aptariama panaudota programinė įranga pateikiami funkciniai ir nefunkciniai reikalavimai metodo realizavimui.

2.2 Programinė įranga

Grafiniam sankryžos tipų atvaizdavimui, mikro simuliacijų sudarymui pasirinkta Junction 9.0 programa. Ji naudojama sankryžų mikro analizės tikslams ir sankryžų modeliavimui. Naudojant šią programą galima analizuoti skirtingų tipų sankryžas, eismo srautų salygas, sankryžos valdymo sistemą. Programa leidžia apskaičiuoti konfliktines situacijas tam tikram nurodytam skaičiui transporto priemonių ir pėsčiųjų. Tačiau konfliktinių taškų paieškos ir apskaičiavimo galimybės šioje programoje nėra.

Konfliktinių taškų skaičiavimas aprašomas JAVA programavimo kalba, naudojant „NetBeans IDE 8.1“ programavimo įrankį. NetBeans yra programinės įrangos kūrimo platforma leidžianti kurti aplikacijas naudojant programinės įrangos komponentus vadinamus moduliais.

2.3 Funkciniai reikalavimai

Sistemos atliekamos paslaugos, reakcijos į tam tikrus įvedimo ar išvedimo duomenis ir elgesys tam tikrose situacijose apibūdinamas funkciniais reikalavimais.

1. Programa turi garantuoti norimų parametrų pasirinkimą. Sankryžos tipą, valdymo formą, eismo kryptių kiekį, juostų skaičių, srautų kryptis. Nustatymai įtraukiami į skaičiavimo algoritmus.
2. Programa turi pateikti išvesties duomenys. Skaičiavimo rezultatai turi būti aiškiai suprantami vartotojui. Kiekvieno tipo konfliktinių taškų skaičius pateikiamas atskirai. Taip pat ir jų suma bei sankryžos saugumo rodiklis.

2.4 Nefunkciniai reikalavimai

Sistemoje naudojamų paslaugų ribojimai apibūdinami nefunkciniais reikalavimais.

1. Įvedimo duomenų apribojimai. Sankryžos tipų pasirinkimui galimi du variantai. Srautų kryptių pasirinkimui galima naudoti keturias kryptis, dviejų ar vienos krypties naudojimas negalimas. Juostų skaičius gali būti iki trijų juostų kiekviena srauto kryptimi. Galimos trys judėjimo kryptys kiekviena juosta. Renkantis šviesoforų valdymą galimi du pasirinkimai.
2. Programa užtikrina pasirenkamų parametrų teisingumą. Negalima įvesti nenumatytų reikšmių sutrikdant programos veikimą. Nepasirinkus jokių duomenų į algoritmus įrašomos nulinės reikšmės.
3. Programa turi būti realizuota naudojantis JAVA programavimo kalba.
4. Resursų naudojimo reikalavimai. Programos vykdymui reikia įdiegti NetBeans IDE 8.1 programavimo įrankį. Minimalios techninės įrangos specifikacija aprašoma 2.1 lentelėje.

2.1 lentelė. Techninės ir programinės įrangos reikalavimai NetBeans programiniam paketui.

Operacinė sistema	Procesoriaus resursai	Disko talpa	Operatyvioji atmintis
-------------------	-----------------------	-------------	-----------------------

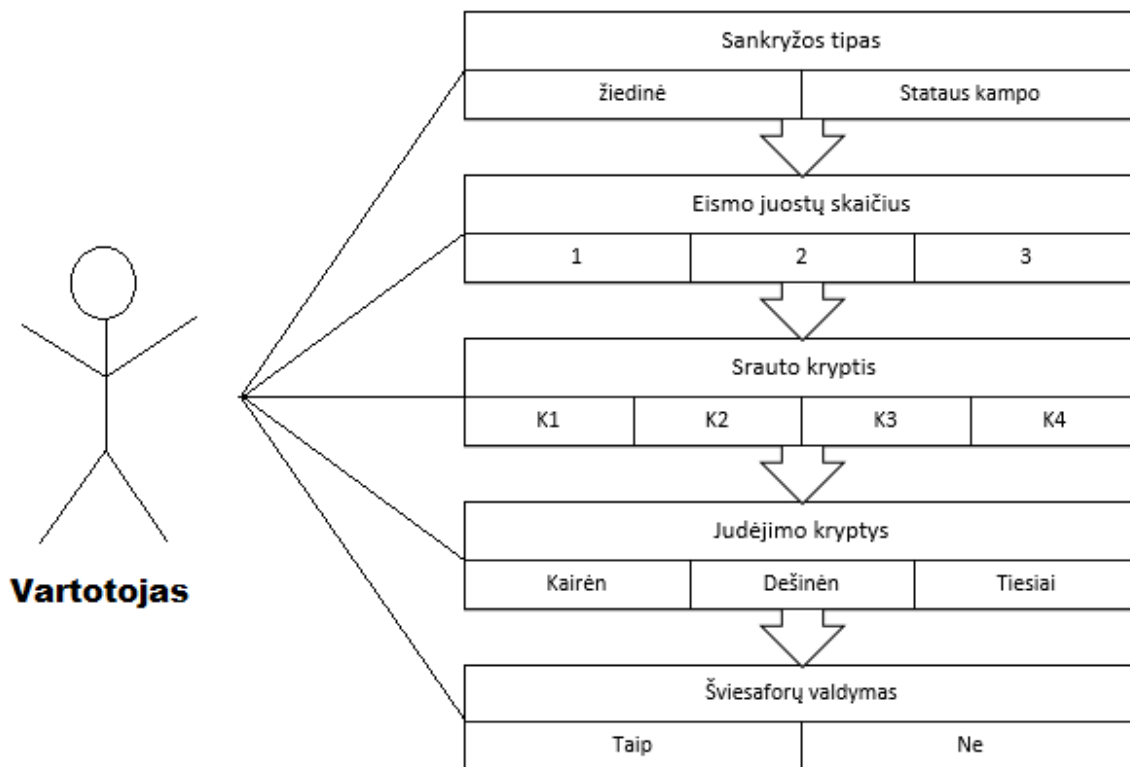
Microsoft Windows Vista SP1/Windows 7 Professional	800MHz Intel Pentium III or equivalent	750 MB of free disk space	512 MB
Ubuntu 9.10	800MHz Intel Pentium III or equivalent	650 MB of free disk space	512 MB
Macintosh OS X 10.7 Intel	Dual-Core Intel	650 MB of free disk space	2 GB

2.5 Metodo realizavimas įtraukiant pėsčiųjų judėjimą

2.5.1 Panaudos atvejai

Metodo atvaizdavimui naudojama keturšalė stataus kampo sankryža turinti vieną eismo juostą kiekviena judėjimo kryptimi. Ieškant konfliktinių taškų pasirinkus bet kokio tipo sankryžą galima pritaikyti tokį pat panaudos principą, kuris pateikiamas 2.2 pav. Vartotojas turi galimybę įtakoti programos veikimą penkiais žingsniais:

1. Sankryžos tipo nustatymo metu vartotojas pasirenka vieną iš dviejų populiariausių eismo sankryžos tipų (žiedinė ir stataus kampo).
2. Vartotojas nurodo eismo srautų kryptis (Kryptis 1, Kryptis 2, Kryptis 3, Kryptis 4). Negali nurodyti mažiau trijų krypčių, nes tokių būdu nesusidaro sankryža.
3. Vartotojas parenka įvažiavimo juostų skaičių (viena, dvi arba trys). Didesnis juostų skaičius paprastai nenaudojamas sankryžose, dėl didelio konfliktų skaičiaus.
4. Vartotojas parenka įvažiavimo juostų kryptis (dešinėn, kairėn, tiesiai). Kai kuriais atvejais tam tikros judėjimo kryptis yra negalimos vienoje ar kitoje įvažiavimo juostoje, tačiau vartotojas turi žinoti sankryžų sudarymo taisykles.
5. Galimas šviesoforų valdymas (Taip, Ne). Šviesoforų valdymo parinkimas lemia konfliktinių taškų skaičiaus pokytį. Įgalinus šviesoforų valdymą traktuojama, kad transporto priemonių judėjimas vyksta tik viena kryptimi, todėl susikirtimų konfliktinės situacijos nesusidaro.



2.2 pav. Galimi vartotojo pasirinkimai.

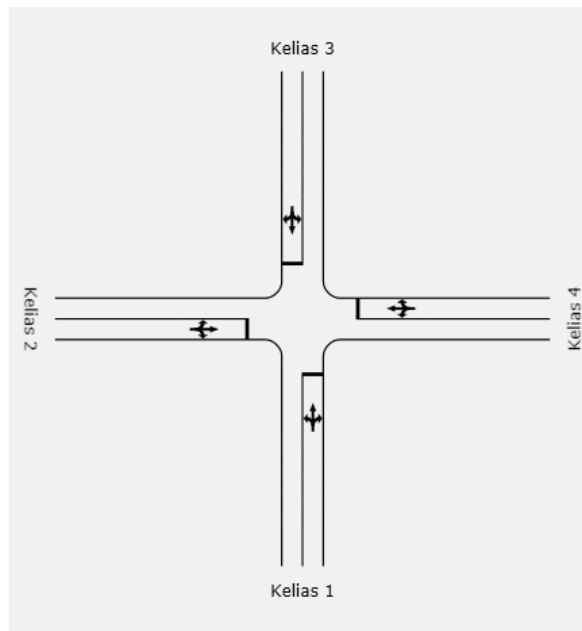
Naudojant aukščiau nurodytus pasirinkimus galima sudaryti gausybę skirtingų pasirinkimų variacijų ir apskaičiuoti kiekvieno tipo konfliktinius taškus įskaitant pėsčiųjų judėjimą, taip pat apskaičiuoti sankryžos saugumo lygį.

Pasirinkus sankryžos tipą – žiedinė, susikirtimų konfliktai nesusidaro, dėl posūkio kairėn ir judėjimo tiesiai ribotos galimybės, todėl šio tipo konfliktiniai taškai neskaičiuojami. Mažiausias pasirenkamas eismo krypčių skaičius gali būti trys, kadangi esant mažesniai krypčių skaičiui eismo sankryža nesusidaro, o didžiausias kurį gali pasirinkti vartotojas yra keturios dėl skaičiavimų paprastumo ir tikslumo. Remiantis analitine dalimi keturių eismo juostų einančių viena kryptimi sankryžose pėsčiųjų judėjimas negalimas, jų judėjimas nukreipiamas į požemines perėjas ir tiltus, dėl to skaičiavimams naudoti didesnę eismo juostų skaičių netikslinga. Pasirinkus šviesaforų valdymą sankryžoje, pėsčiųjų konfliktinių taškų skaičiavimuose virtualaus judėjimo juostos einančios tiesei nėra traktuojamos kaip sukuriančios, nes pėstieji vadovaujasi motorinių transporto priemonių šviesaforų signalais ir jų judėjimas statmenai važiuojamąjį kelio dalimi yra draudžiamas. Programa yra aiškiai suprantama vartotojui ir suprojektuota taip, kad būtų išvengta kiek galima daugiau klaidų, tačiau vartotojas turi turėti elementarių žinių apie kelių sankryžų tipus ir jų projektavimą. Vartotojas atsakingas už įvedamų duomenų teisingumą ir gaunamų rezultatų logiką.

Toliau aprašomos modifikuoto metodo funkcijos konfliktinių taškų paieškai skirtingų tipų sankryžose. Detaliau aptariama pėsčiųjų konfliktinių taškų paieška.

2.5.2 Konfliktinių taškų skaičiavimas

Naudodamas prieš tai ištirtas koncepcijas galima aprašyti kiekvieną judėjimą sankryžoje ir pritaikyti algoritmus konfliktinių taškų skaičiavimui. Konfliktinių taškų skaičiavimui atvaizduoti pasirinkta keturšalė, statuso kampo sankryžą be šviesoforų valdymo 2.3 pav.



2.3 pav. Keturšalė statuso kampo sankryža be šviesoforų valdymo.

Praktiniam metodo pritaikymui reikalingos lentelės kuriose apibendrinamos galimos judėjimo kryptys kiekviename kelyje 2.2 lentelė, tojo pačioje lentelėje aprašomas įvažiavimo ir išvažiavimo juostų skaičius kuris matomas 2.3 pav. Sekanti 2.3 lentelė panaudojama virtualių linijų skaičiui kiekviename kvadrante aprašyti, tam kad būtų aiškūs sankryžoje vykstantys judėjimai. Lentelėse naudojami trumpiniai aprašyti skyriuje 1.4.2. Lentelės dalinai atvaizduoja vartotojo pasirinkimus programoje.

2.2 lentelė. Įvažiavimo juostų judėjimo kryptys ir juostų skaičius kiekviename kelyje.

kelias	Įvažiavimo juostų skaičius							Išvažiavimo juostų skaičius
	N^0_{lt}	N^0_{tr}	N^0_{ltr}	N^0_{lr}	N^0_l	N^0_t	N^0_r	N^0_{dl}
Kelias 1			1					1
Kelias 2			1					1
Kelias 3			1					1
Kelias 4			1					1

2.3 lentelė. Virtualios linijos kvadrantuose.

kvadrantai	F^0_l	F^0_r	F^0_t
1			1

2	1	1	1
3			1
4	1	1	1
5			1
6	1	1	1
7			1
8	1	1	1

Sudarę 2.2 ir 2.3 lenteles aiškiai matome nurodytus parametrus kuriais vadovaujantis programa apskaičiuoja konfliktinius taškus sankryžoje ir pateikia sankryžos saugumo rodiklį.

Toliau aprašomas kiekvieno tipo konfliktinių taškų skaičiavimas ir gaunami rezultatai programoje, naudojant keturių krypčių stataus kampo sankryžą.

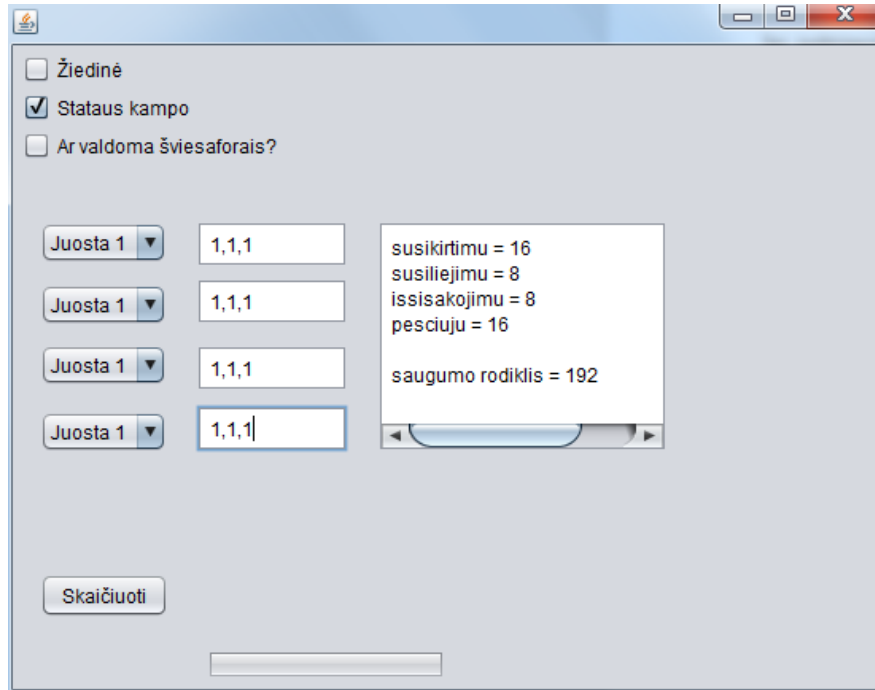
Susikirtimų konfliktiniai taškai

Programoje panaudota bendrinė formulė susikirtimų konfliktiniams taškams rasti:

$$\begin{aligned}
 NCP_c = & F_{1l} * F_{3l} + F_{1l} * F_{5t} + F_{1l} * F_{7l} + F_{1l} * F_{7t} + F_{1t} * F_{3l} + F_{1t} * F_{3t} + F_{1t} * F_{5l} \\
 & + F_{1t} * F_{7t} + F_{3l} * F_{5l} + F_{3l} * F_{7t} + F_{3t} * F_{5l} + F_{3t} * F_{5t} + F_{3t} * F_{7l} \\
 & + F_{5l} * F_{7l} + F_{5t} * F_{7l} + F_{5t} * F_{7t}
 \end{aligned} \quad (2.1)$$

Jei judėjimas į kairę puse negalimas atوماتiškai virtualios judėjimo juostos skaičiuojamos nulinės reikšmės. Jeigu įvedamas šviesoforų valdymas priklausomai nuo šviesoforo fazės skirtinguose kvadrantuose eismo judėjimas traktuojamas kaip negalimas ir įvedamos nulinės reikšmės.

Kadangi yra tik viena judėjimo juosta kiekviena kryptimi ir visoms kryptims leistinas judėjimas dešinėn, kairėn ir tiesiai. Pritaikius formulę keturių krypčių stataus kampo nesignalizuojamoje sankryžoje programos pateikiamas rezultatas 2.4pav..



2.4 pav. Automatinio konfliktinių taškų skaičiavimo metodo realizacija.

Matome, kad susidaro 16 susikirtimų konfliktinių taškų.

Susiliejamųjų konfliktiniai taškai

Programoje panaudota bendrinė formulė susikirtimų konfliktiniams taškams rasti:

$$NCP_i = F_{xl} + F_{yt} + F_{zr} - N^0_{hdl} \quad (2.2)$$

Šie konfliktiniai taškai apskaičiuojami išvykimo kvadrantuose. 2.4 pav. matomas šio algoritmo pritaikymo keturių krypčių sankryžai rezultatas. Susidaro 8 konfliktiniai susiliejamųjų taškai.

Išsiskojimų konfliktiniai taškai

Programoje panaudota bendrinė formulė išsiskojimų konfliktiniams taškams rasti:

$$NCP_{dx} = N^0_{nlt} + N^0_{nlr} + N^0_{ntr} + 2N^0_{nltr} \quad (2.3)$$

Gautas išsiskojimų konfliktinių taškų skaičius, kuris yra 8 taškai. 2.4 pav. atvaizduoja programos išvedamus atsakymus.

Pėsčiųjų konfliktinių taškai

Remiantis teorine dalimi paaiškėjo, kad pėsčiųjų judėjimas skiriasi nuo transporto priemonių judėjimo. Pėstieji turi galimybę judėti bet kokia pasirinkta kryptimi, dėl to ieškant konfliktinių taškų tarp pėsčiųjų ir motorinių transporto priemonių skaičiavimui naudojamas motorinių priemonių judėjimas. Transporto priemonei įvažiuojant ar išvažiuojant iš sankryžos susidaro konfliktai tarp pėsčiųjų, nes jie gali judėti per abiejų krypčių eismo juostas tiek įvažiavimo tiek išvažiavimo kvadrantuose.

Remiantis išanalizuota literatūra pėsčiųjų judėjimas yra statmenas transporto priemonių judėjimui tad jų konfliktinius taškus galime traktuoti kaip susikertančius kurie yra pavojingiausi ir skaičiuojant sankryžos saugumo rodiklį turi didžiausią koeficientą. Žinome kokiais atvejais sankryžoje susidaro konfliktinės situacijos tarp pėsčiųjų ir motorinių transporto priemonių. Pėsčiųjų konfliktinius taškus skaičiuojame įvažiavimo (1,3,5,7) ir išvažiavimo (2,4,6,8) kvadrantuose kiekviena kryptimi. Reikia nurodyti įvažiavimo eismo juostų skaičių, kadangi kiekviena įvažiavimo juosta sukuria konfliktą kiekviename įvažiavimo kvadrante. Toliau pridedamos įvažiavimo kvadrante esančių juostų kryptys, nes kiekviena kryptimi judančios transporto priemonės sukelia konfliktinę situaciją tarp pėsčiųjų ir motorinių transporto priemonių išvažiavimo kvadrantuose. Naudodami virtualių judėjimo linijų ir kvadrantų koncepcijas galime sudaryti formules kurios padėtų apskaičiuoti šiuos konfliktus. Algoritmuose apskaičiuojami konfliktiniai taškai kuriuose susikerta pėsčiųjų ir transporto priemonių judėjimas

Pėsčiųjų konfliktiniai taškai skaičiuojami pagal formules kiekvienam kvadrantui:

$$NCP_{k1} = F_{3l} + F_{7r} + F_{5t} + L \quad (2.4)$$

$$NCP_{k2} = F_{5l} + F_{1r} + F_{7t} + L \quad (2.5)$$

$$NCP_{k3} = F_{7l} + F_{3r} + F_{1t} + L \quad (2.6)$$

$$NCP_{k4} = F_{1l} + F_{5r} + F_{3t} + L \quad (2.7)$$

Čia:

L – įvažiavimo juostų skaičius.

Bendrinė formulė pėsčiųjų konfliktinių taškų skaičiavimui:

$$NCP_p = NCP_{k1} + NCP_{k2} + NCP_{k3} + NCP_{k4} \quad (2.8)$$

2.4 pav. matome, kad pėsčiųjų konfliktinių taškų skaičius analizuojamoje keturių kryptių statuso kampo sankryžoje yra 16 taškų.

Modifikuoto metodo bendrinė formulė pagal kuria gali būti apskaičiuojamas bendras konfliktinių taškų skaičius sankryžoje.

$$NCP = NCP_c + NCP_i + NCP_d + NCP_p \quad (2.9)$$

Susumavus visų konfliktinių taškų skaičiavimus gaunamas bendras konfliktinių taškų skaičius – 48 konfliktiniai taškai.

Sankryžos saugumo rodiklis

Mums aktualus gaunamas atskiras kiekvieno tipo konfliktinių taškų skaičius sankryžos saugumo rodikliui apskaičiuoti. Pagal analitinėje dalyje aprašytą sankryžos saugumo įvertinimo metodą 1.4.3sk. Kiekvieno tipo konfliktiniams taškams priskiriamas saugumo koeficientas. Pėsčiųjų judėjimas įtraukiamas į saugumo įvertinimo formulę ir turi vieną iš didžiausių saugumo koeficientų:

$$M = \sum NCP_d + 3 \sum NCP_i + 5 \sum NCP_c + 5 \sum NCP_p \quad (2.10)$$

Naudojant aukščiau pateiktą formulę programa apskaičiuoja sankryžos saugumo rodiklį 2.4 pav., kuris šiuo atveju yra 192 balai. Pagal šį rodiklį įvertinamas sankryžos saugumo lygis kuris atsižvelgiant į analitinės dalies 1.4.3sk yra kritinis, kadangi saugumo rodiklis didesnis nei 150 balų. Pėsčiųjų konfliktiniai taškai sudaro 80 balų.

2.8 Sprendimo testavimo planas

Modifikuoto metodo rezultatų palyginimui reikalingas testavimo planas. Remiantis šiuo planu būtų galima patikrinti metodo veiksmingumą kelių sankryžų saugumo atžvilgiu. Taipogi testuojant atskleidžiami metodo veikimo minusai ir įvertinama rezultatų kokybė.

Atliekant testavimą galima remtis vizualiniu brėžiniu, kad nustatyti konfliktinių taškų kieki pasirinkto tipo sankryžose. Atlikti rankinius skaičiavimus naudojant anksčiau aptartus algoritmus, palyginti gaunamus rezultatus su modifikuoto metodo rezultatais. Metodo testavimui pasirinkti populiariausi sankryžų tipai, kuriose susidaro didžiausias pėsčiųjų judėjimas. Taipogi parenkamos sankryžų valdymų formos ir aprašomi vidiniai judėjimai. Naudojant Juncion 9.0 programinę įrangą sudaromos mikro simuliacijos kiekvienam ištirtam sankryžos modeliui ir stebimas konfliktinių situacijų pokytis. Tokio tipo testavimas leidžia išvengti nereikalingų duomenų, numanomas mažesnis klaidų skaičius.

Jei atliekant testavimą nustatoma, kad metodas generuoja klaidingus rezultatus skaičiuojant kiekvieno tipo konfliktinius taškus ar sankryžos saugumo rodiklį, metodas tobulinamas, kol gaunami teisingi rezultatai.

2.9 Projektinės dalies išvados

- Remiantis literatūros analize automatinis konfliktinių taškų skaičiavimo metodas buvo modifikuotas ir pritaikytas pėsčiųjų judėjimo konfliktinių taškų skaičiavimui. Iš pritaikymo metu gautų rezultatų matome, kad konfliktinių taškų skaičius sankryžoje išauga iki 48 skirtingo tipo konfliktinių taškų, kai analitinėje dalyje 1.3 buvo nurodyta, kad tokio tipo sankryža turi 32 konfliktinius taškus.
- Kadangi pėsčiųjų judėjimas yra statmenas motorinių transporto priemonių judėjimui jų tarpusavio konfliktinius taškus traktuojame kaip susikirtimų konfliktinius taškus kurie turi didžiausią pavojaus rodiklį. Įtraukus pėsčiųjų judėjimą į sankryžos saugumo vertinimą saugumo lygis pakinta.

3. MODIFIKUOTO METODO EKSPERIMENTINĖ DALIS

Atlikus pasirinkto metodo modifikaciją sudaryta galimybė skaičiuoti kelių konfliktinius taškus atsižvelgiant į pėsčiuosius, įtraukiant jų judėjimą sankryžoje.

Vadovaujantis projekcinėje dalyje sudarytu testavimo planu tikimasi įrodyti programos veikimo teisingumą ir palyginti skirtingų tipų sankryžų saugumą, pasiūlyti sankryžų modifikacijas saugumo pagerinimui.

Modifikuoto metodo testavimui pasirinktos populiariausios kelių eismo sankryžos kuriose dalyvauja pėstieji. Dėl šios priežasties kelių aukštų sankryžos kuriose mažai aptinkamas arba draudžiamas pėsčiųjų judėjimas yra neįtraukiamos į eksperimentus. Kiekvienos sankryžos nadojamos testavimui įvažiavimų ir išvažiavimo juostų skaičius, judėjimas kiekviena eismo juosta, judėjimas kiekviename sankryžos kvadrante pateiktas lentelėse pirmame priede.

3.1 Modifikuoto metodo skaičiavimai skirtingiems sankryžų tipams

Aprašomi visi sankryžų modeliai ištirti naudojant modifikuotą automatinį konfliktinių taškų skaičiavimo metodą. Kiekvienu atveju pasirenkami nustatymai atvaizduojami 3.1 lentelėje.

3.1 lentelė. Sankryžos parametrai.

Atvejis	Sankryžos tipas	Srauto kryptys	Esimo juostos	Judėjimo kryptys	Šviesoforų valdymas
1.	Žiedinė	K3	1	Dešinė	Ne
2.	Žiedinė	K4	1	Dešinė	Ne
3.	Žiedinė	K4	2	Tiesiai, dešinė	Ne
4.	Stataus kampo	K3	1	Dešinėn, kairėn, tiesiai	Ne
5.	Stataus kampo	K4	1	Dešinėn, kairėn, tiesiai	Ne
6.	Stataus kampo	K4	2	Dešinėn, kairėn, tiesiai	Ne
7.	Stataus kampo	K4	1	Dešinėn, kairėn, tiesiai	Taip
8.	Stataus kampo	K4	2	Dešinėn, kairėn, tiesiai	Taip
9.	Stataus kampo	K4	3	Dešinėn, kairėn, tiesiai	Taip

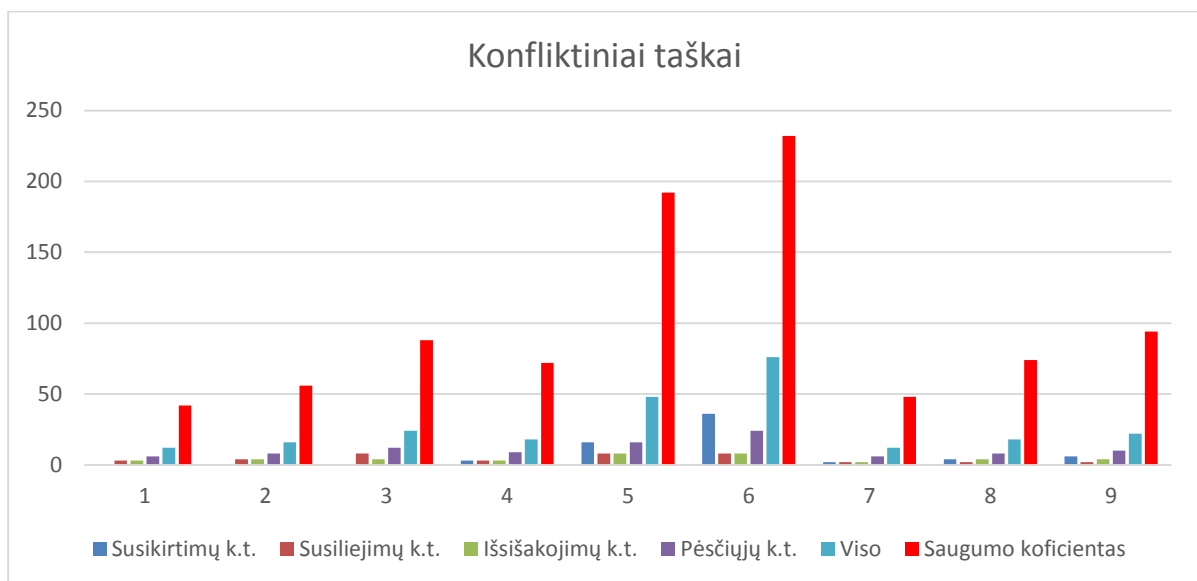
Pagal 3.1 lentelę sudaroma 3.2 lentelė kurioje aprašomi programos sugeneruoti konfliktinių taškų rezultatai.

3.2 lentelė. Kiekvieno pasirinkto atvejo konfliktinių taškų skaičius ir saugumo koeficientas.

Atvejis	Susikirtimų k.t.	Susiliejamų k.t.	Išsišakojimų k.t.	Pėsčiųjų k.t.	Viso	Saugumo koeficientas

1.	0	3	3	6	12	42
2.	0	4	4	8	16	56
3.	0	8	4	12	24	88
4.	3	3	3	9	18	72
5.	16	8	8	16	48	192
6.	36	8	8	24	76	232
7.	2	2	2	6	12	48
8.	4	2	4	8	18	74
9.	6	2	4	10	22	94

Iš gaunamų duomenų matome, kad mažiausias saugumo koeficientas įtraukus pėsčiųjų konfliktinius taškus yra 42 taškai. Tai įrodo, kad saugumo lygis pakinta, kai pagal sankryžos saugumo įvertinimo metodą sankryža buvo traktuojama kaip nesudėtinga ir saugi dabar yra laikoma vidutinio saugumo. Tam kad pagerinti sankryžos saugumą reikia sumažinti konfliktinių taškų skaičių kuris aiškiai matomas pav.



3.1 pav. Kiekvieno atvejo konfliktiniai taškai

3.2 Programinio ir rankinio metodų palyginimas

Pagal analitinės dalies 1.4.1 sk rankinį skaičiavimo metodą galime atlikti konfliktinių taškų paiešką paprasčiausių tipų sankryžoms su 3 ir 4 įvažiavimais ir palyginti gautus atsakymus su modifikuoto metodo rezultatais. Atliekame konfliktinių taškų skaičiavimus pasirinktiems tipams naudodamiesi 1.4.1 sk. pateiktomis formulėmis.

3.3 lentelė. Rankinio metodo konfliktiniai taškai.

Atvejis	Susikirtimų k.t.	Susiliejimų k.t.	Išsišakojimų k.t.
4.	3	3	3
5.	16	8	8

Skaičiavimai 4. Atvejui:

$$N_p = \frac{3^2(3-1)(3-2)}{6} = 3 \quad (3.1)$$

$$N_s = N_a = 3(3-2) = 3 \quad (3.2)$$

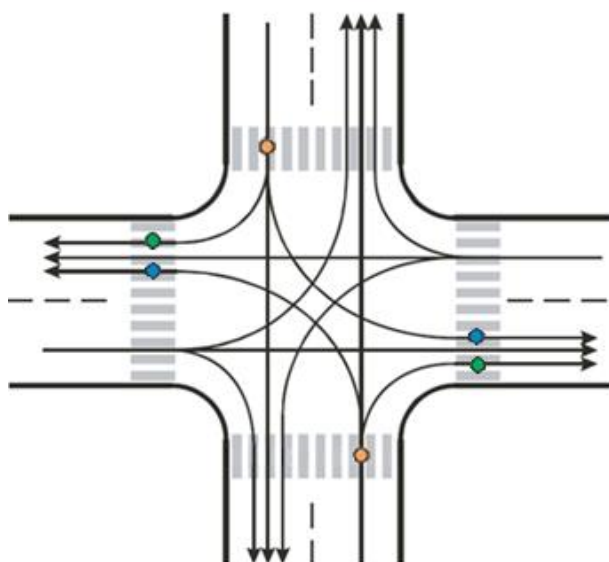
Skaičiavimai 5. Atvejui:

$$N_p = \frac{4^2(4-1)(4-2)}{6} = 16 \quad (3.3)$$

$$N_s = N_a = 4(4-2) = 8 \quad (3.4)$$

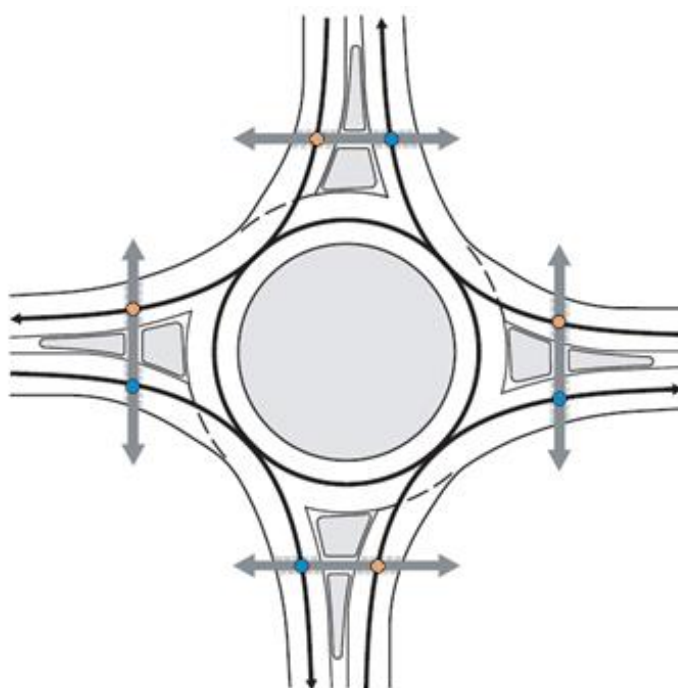
Aiškiai matome, kad suprogramuoto, modifikuoto metodo 3.2 lentelės 4, 5 atvejis ir rankinio konfliktinių taškų metodo 4.3 lentelė rezultatai pilnai sutampa, reiškia programuojamas metodas gali atvaizduoti teisingus motorinių transporto priemonių, konfliktinių taškų skaičiavimus. Kadangi šis skaičiavimas neapsprendžia pėsčiųjų judėjimo, o automatinių metodų skaičiuojančių pėsčiųjų ir motorinių transporto priemonių konfliktinius taškus nėra, reikia remtis grafiniu brėžiniu, kuris atvaizduoja pėsčiųjų ir motorinių transporto priemonių konfliktinius taškus.

Analitinės dalies 1.5 pav. atvaizduojami įvažiavimo ir išvažiavimo kvadrantuose susidarantys pėsčiųjų ir motorinių transporto priemonių konfliktiniai taškai šviesoforais reguliuojamose sankryžose. Kadangi žinome, kad programa naudojama šviesoforų valdymą kuris nurodytas 1 priede, leidžia eismo judėjimą degant žaliai šviesoforo signalui trimis kryptimis, o konfliktiniai taškai tarp pėsčiųjų ir motorinių transporto priemonių susidaro, kai atliekamas manevras į kaire, dešinę pusę degant žaliai šviesoforo signalui ir įvažiavimo kvadrante transporto priemonei įvažiuojant į sankryžą. Judėjimas tiesiai išvažiavimo kvadrante nesukelia konfliktinės situacijos, nes pėsčiųjų judėjimas uždraustas. Galime lengvai suskaičiuoti pėsčiųjų konfliktinius taškus kurie atvaizduoti pav.



3.2 pav. Stataus kampo, šviesoforais reguliuojamos sankryžos, pėsčiųjų konfliktiniai taškai.

Akivaizdu, kad susidaro 6 konfliktiniai taškai tarp pėsčiųjų ir motorinių transporto priemonių, tai atitinka 3.2 lentelėse atvaizduojamų skaičiavimų 7 atvejį. Taip pat žinome, kad žiedinėse sankryžose judėjimas tiesiai yra uždraustas ir konfliktiniai taškai tarp pėsčiųjų ir motorinių transporto priemonių susidaro įvažiuojant ir išvažiuojant iš sankryžos, tai atvaizduota pav.



3.3 pav. Žiedinės sankryžos, pėsčiųjų konfliktiniai taškai.

Akivaizdžiai matome, kad susidaro 8 taškai tarp pėsčiųjų ir motorinių transporto priemonių ir tai atitinka 2 atvejį 3.2 lentelėje.

Įrodyta, kad pasiūlyta automatinio konfliktinių taškų skaičiavimo metodo modifikaciją teisingai apskaičiuoja pėsčiųjų konfliktinius taškus sikrtingo tipo sankryžose. Naudojant programą kuri atlieka

modifikuoto metodo skaičiavimus galime lengvai nustatyti sankryžos saugumo koeficientą kuriuo remdamiesi atliekame sankryžos modifikacijas taip bandydami sumažindami konfliktinių taškų skaičių tarp pėsčiųjų ir motorinių transporto priemonių taip pagerindami saugumo lygį.

3.3 Siūlomos sankryžos modifikacijos

Analitinėje dalyje 1.3sk aptartos sankryžoje susidarančių konfliktinių taškų priežastys.

Buvo teigta, kad žiedinės sankryžos saugesnės dėl mažesnio greičio ir negalimų susikirtimų tipo konfliktinių taškų, tačiau iš 3.2 lentelėje gautų rezultatų matome, kad konfliktinių taškų skaičius staus kampo sankryžose esant šviesoforų valdymui yra mažesnis, nei žiedinėje sankryžoje, taip pat skiriasi ir jų saugumo koeficientai. Tampa aišku, kad į staus kampo sankryžas įvedus šviesoforų valdymą galima tikėtis geresnių saugumo rezultatų.

Kai kuriose sankryžose galimas posūkis dešinėn degant draudžiamam šviesoforo signalui. Tai sukelia konfliktines situacijas tarp pėsčiųjų ir motorinių transporto priemonių, tačiau modifikuoto metodo skaičiavimams sudaryta programa draudžia, bet kokį judėjimą degant draudžiamam šviesoforo signalui nurodyta kryptimi, taip pagerindama saugumą.

Taip pat analitinėje dalyje minima, kad kartais posūkio kairėn panaikinimas pagerina sankryžos saugumą. Šį teiginį galime patikrinti naudodamiesi mikro simuliacijų programa Juncion 9.0 skaičiuodami sankryžoje susidarančių konfliktinių situacijų skaičių ir pasitelkę modifikuotą konfliktinių taškų paieškos metodą.

Atsižvelgus į 3.2 lentelė gaunamus rezultatus siūloma staus kampo sankryžas kuriose nėra šviesoforų valdymo jas modifikuoti įvedant šviesoforų valdymą arba norint pasiekti didesnę pravažumą keisti žiedinėmis sankryžomis tuo pačiu pagerinant saugumą.

3.4 Modifikacijų veiksmingumo patikrinimas

Sankryžos saugumo nustatyti galima naudotis programomis – Juncion 9.0, Synchro kartu su Sim trafick 6.0, SSAM, Aimsun 8.0, SIDRA 5.0 tačiau tokių programų licencijos yra brangios asmeniam naudojimui. Demo verisijų suteikiamas funkcionalumas neleidžia mums objektyviai įvertinti visų tipų sankryžų. Naudodamiesi Juncion 9 programine įranga galime atlikti elementarias modifikacijas standartiniams sankryžų modeliams ir apžvelgti saugumo pokytį. Kadangi naudojama programinės įrangos demo versija, kai kurie parametrai yra naudojami pagal nutilėjimą arba parenkamos nulinės jų reikšmės.

Norint naudotis tokio tipo mikro simuliacijų programomis reikia gerai išmanyti sankryžų standartus. Tam, kad sudaryti tinkamo tipo sankryžą kuri atliktų skaičiavimus reikia žinoti kokius

parametrus nurodyti. Atliekami skaičiavimai yra teoriniai, nes kiekvienu atveju reikia nuspėti transporto priemonių ir pėsčiųjų srautų kiekį, jų judėjimo greičius. Atliekant eksperimentus su pasirinkto tipo sankryžą ir jos modifikacijomis, parametrai nėra keičiami. Šiuo atveju patikrinsime posūkio kairėn panaikinimo įtaką saugumui, keturių krypčių, stataus kampo sankryžoje be šviesoforų valdymo.

Pasirinkti parametrai:

- Įvažiavimo ir išvažiavimo greitis – pasirenkamas pagal sankryžos tipą, atitinkantis sankryžos standartus. Šiuo atveju įvažiavimo greitis 40km/h išvažiavimo 30km/h.
- Artėjimo kelio atstumas – standartiškai parenkamas 500 m.
- Pėsčiųjų skaičius 500 žmonių.
- Motorinių transporto priemonių skaičius 10000 .

Skaičiavimai remiantis mikro simuliacijų modeliais nesuteikia galimybės rasti konfliktinių taškų. Tačiau matome konfliktinių situacijų rodiklį pagal kurį galime spręsti ar sankryžos saugumas pagerėjo ar ne atlikus sankryžos modelio ar eismo judėjimo modifikacijas.

Matome programos generuojamus duomenis, kai posūkis kairėn yra leistinas. Pirma ir ketvirta kryptimi judančios transporto priemonės sukelia daugiausia konfliktinių situacijų 53 ir 42. Sankryža laikoma vidutinio saugumo. 3.4 pav..

2016					
Arm 1	52.94	0.93	F	25.12	D
Arm 2	5.19	0.45	A		
Arm 3	12.25	0.61	B		
Arm 4	41.17	0.92	E		

3.4 pav. Konfliktinės situacijos su posūkio kairėn galimybe Juncion 9.0 programoje.

Kai posūkis kairėn uždraustas sankryžos rodikliai gerėja, tai akivaizdžiai matoma 3.5 pav. Visos kryptis turi ganėtinai mažus konfliktinių situacijų rodiklius, sankryža laikoma pakankamai saugia.

2016					
Arm 1	11.88	0.64	B	7.19	A
Arm 2	6.83	0.51	A		
Arm 3	5.68	0.44	A		
Arm 4	6.36	0.51	A		

3.5 pav. Konfliktinių situacijos be posūkio kairėn galimybės Juncion 9.0 programoje.

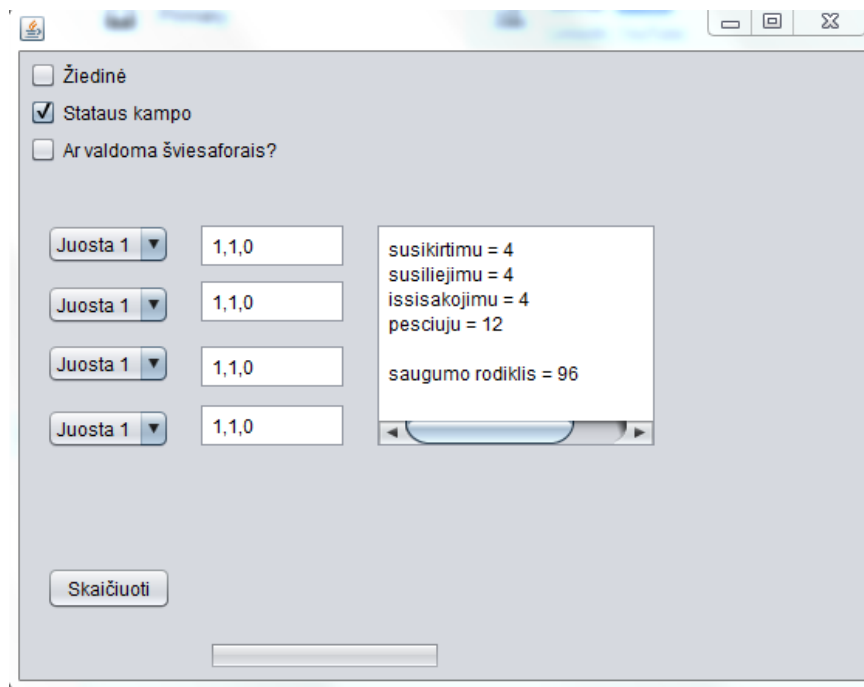
Galime atlikti tokius pat skaičiavimus su modifikuoto metodo programa. 3.4 lentelėje pateikti gauti rezultatai. Programos sprendimus atvaizduoja 2.4 pav. ir 3.6 pav.

3.4 lentelė. Modifikuoto metodo konfliktiniai taškai su posūkiu kairėn.

Sankryžos modifikacija	Susikirtimų k.t.	Susiliejimų k.t.	Iššisakojimų k.t.	Pėsčiųjų k.t.	Iš viso	Saugumo koeficientas
------------------------	------------------	------------------	-------------------	---------------	---------	----------------------

Su posūkiu kairėn	16	8	8	16	48	192
Be posūkiu kairėn	4	4	4	12	24	96

Iš 3.4 lentelėje gautų rezultatų ir 3.4 pav., 3.5 pav. matome, kad tiek naudojant Juncion 9 programą tiek ir su modifikuoto metodo pėsčiųjų konfliktinių paieškai įvedus posūkio kairėn draudimą sankryžos konfliktinių taškų skaičius mažėja ir saugumo lygis sankryžoje gerėja.



3.6 pav. Modifikuoto metodo skaičiavimai keturšalėje sankryžoje, be posūkio kairėn galimybes.

3.5 Eksperimentinės dalies išvados

- Atlikus eksperimentus matoma, kad kompiuterizuota programa atlieka konfliktinių taškų skaičiavimus daug greičiau ir teisingiau nei rankiniai skaičiavimai. Sumažėja galimybė suklysti ieškant konfliktinių taškų.
- Atlikus modifikuoto automatinio konfliktinių taškų metodo testavimą matome, kad metodas teisingais skaičiuoja sankryžos konfliktinius taškus tarp pėsčiųjų ir motorinių transporto priemonių, tačiau visi skaičiavimai yra teorinio pobūdžio kadangi eismo dalyviai gali judėti ne tik numatomomis kryptimis.
- Iš gautų statistinių duomenų matome, kad įvairaus tipo sankryžos laikomos pakankamai saugiomis neįtraukus pėsčiųjų judėjimo, tačiau atlikus skaičiavimus ir įtraukus pėsčiųjų judėjimą jos saugumo lygis sumažėja. Remdamiesi tuo galime pakeisti sankryžos tipą arba įvesti šviesoforų valdymą saugumui sankryžoje pagerinti.

4. REZULTATAI IR IŠVADOS

1. Atlikus analizę nustatyta, kad konfliktinių taškų skaičiavimo metodų nėra daug ir skaičiuojant konfliktinius taškus sankryžose retai įtraukiami pėsčiųjų sukelti konfliktiniai taškai. Tokių būdu sankryžos saugumo vertinimas nėra objektyvus pėsčiųjų atžvilgiu. Įtraukus pėsčiųjų judėjimo sukeltus konfliktinius taškus į sankryžos saugumo vertinimą galima gauti skirtingus sankryžos saugumo rodiklius.
2. Ištyrus ankstesnių metodų trūkumus, magistro baigiamajame darbe pasiūlyta konfliktinių taškų skaičiavimo metodo modifikacija ir jos pritaikymas pėsčiųjų judėjimo konfliktinių taškų skaičiavimui.
3. Programine įranga NetBeans, JAVA kalba buvo suprogramuotas modifikuotas automatinis konfliktinių taškų skaičiavimo metodas, kuris suteikia galimybę skaičiuoto konfliktinius taškus tarp pėsčiųjų ir motorinių transporto priemonių taip įvertinant sankryžos saugumą.
4. Pasiūlytos metodo modifikacijos testavimo metu buvo pasirinkta programinė įranga Juncion 9.0, kuri leidžia vykdyti pasirinkto tipo sankryžos mikro analizę. Taip atliekami rankiniai konfliktinių taškų skaičiavimai, bei sankryžos grafinio modelio analizė.
5. Suprogramuotas modifikuoto metodo sprendimas konfliktinių taškų skaičiavimus atlieka daug greičiau ir teisingiau, nes remiamasi kvadrantų ir virtualių judėjimo linijų koncepcijomis, rankiniai skaičiavimai paremti sankryžos brėžiniu kuriame ieškant konfliktinių taškų yra lengva padaryti klaidų.
6. Metodo testavimo metu gauti statistiniai rezultatai nusako kokio tipo sankryžos yra saugiausios ir kokios modifikacijos labiausiai įtakojo šiuos rezultatus. Skaičiuojant sankryžos saugumo rodiklius atskleista, kad didžiausią įtaką saugumui daro susikirtimų ir pėsčiųjų konfliktiniai taškai, kurių sankryžoje pasitaiko daugiausiai.

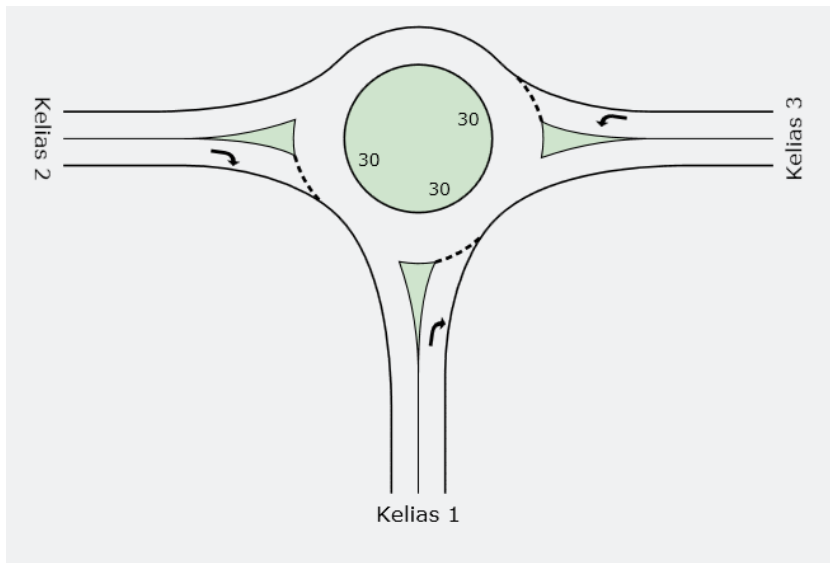
LITERATŪROS SĄRAŠAS

1. Mazuronis, V. 2014. Statybos techninis reglamentas STR 2.06.04:2014 gatvės ir vietinės dreikšmės keliai. Bendrieji reikalavimai.
2. European Road Safety Observatory 2006. Roads, retrieved March 5, 2007 [žiūrėta 2016-05-01]. Prieiga per: www.erso.eu
3. Lietuvos kelių direkcija prie susisiekimo ministerijos. Vilnius: Statybos rekomendacijos R 36-01 automobilių kelių sankryžos. Pirmas leidimas, 2001.6-26p.
4. Rick Scott. FDOT State of Florida 2015 Highway Safety Plan.
5. Assistant Professor George Yannis, Petros Evgenikos, Eleonora Papadimitriou. National Technical University of Athens. Best Practice for Cost-Effective Road Safety
6. Infrastructure Investments. Full Report April 2008.
7. Road geometric design manual ministry of works, Tanzania 2011 edition.
8. Transport research board of the national academies. NCHRP report 672 (National cooperative highway research program). Roundabouts: An Informational Guide. Second Edition. Washington, D.C. 2010.
9. Michal Sanca. Application of Design for Safer Urban Roads and Junctions: Selected Countermeasures. Department of Science and Technology Campus Norrköping. Linköping University. Sweden 2002. LITH-ITN-KTS-EX--02/19-SE.
10. Safe of U-turns at Unsignalized Median Openings. NCHRP report 524 (National cooperative highway research program) 2004.
11. Skirmantas Skrinkas. Dėl žiedinių sankryžų projektavimo metodinių nurodymų mn žsp 12 patvirtinimo 2012 m. gegužės 7 d. Nr. V-106 Vilnius.
12. Gražvydas-Mykolas Paliulis. Eismo Inžinerija Mokymo knyga. Vilnius, „Technika“, 2007. ISBN 978-9955-28-145-0
13. Atze Dijkstra. EN ROUTE TO SAFER ROADS How road structure and road classification can affect road safety. 2011. ISBN: 978-90-73946-08-8
14. Rene Garcia, P.E. Roadway Design Manual. Texas Department of Transportation. Revised October 2014.
15. Mary Kathryn Thompson, Oh Hoon Kwon, Min Ju Park. The application of axiomatic design theory and conflict techniques for the design of intersections: PART 1. Proceedings of ICAD2009. The Fifth International Conference on Axiomatic Design Campus de Caparica – March 25-27, 2009.
16. Yubin Li, Bingmou Cui, Siyu Hao, Yan Wei. Simulation and Application of Urban intersection traffic flow model International Conference on Information Science and Computer Applications (ISCA 2013)
17. U.S. Department of Transportation. Federal Highway Administration. Signalized Intersections: Informational Guide. August 2004. Publication No. FHWA-HRT-04-091

18. Jian Lu, Xing Ge, Fuquan Pan, Chunxia Lu, Chaoyang Li. A Programmable Procedure to Calculate Number of Traffic Conflict Points at Highway Intersections. January 2011, Washington, D. C.
19. Nithin K. Agarwal. Ekusan Of Pedestrian Safety At Intersections Using Simulation And Surrogate Safety Measures. University of Kentucky UKnowledge 2011.
20. John R. Stone, Ph.D KoSok Chae & Sirisha Pillalamarri. The Effects of Roundabouts on Pedestrian Safety. Department of Civil Engineering, North Carolina State University August 2002.Raleigh, NC 27695-7908
21. OECD/ITF (2015), “Lithuania”, in *Road Safety Annual Report 2015*, OECD Publishing, Paris. [žiūrėta 2016-05-09] Prieiga per: <http://dx.doi.org/10.1787/irtad-2015-27-ee>

Priedai

1 Priedas. Eismo dalyvių judėjimas kiekviename sankryžos modelyje.



1 pav. Atvejis 1. Trišalės žiedinės sankryžos modelis.

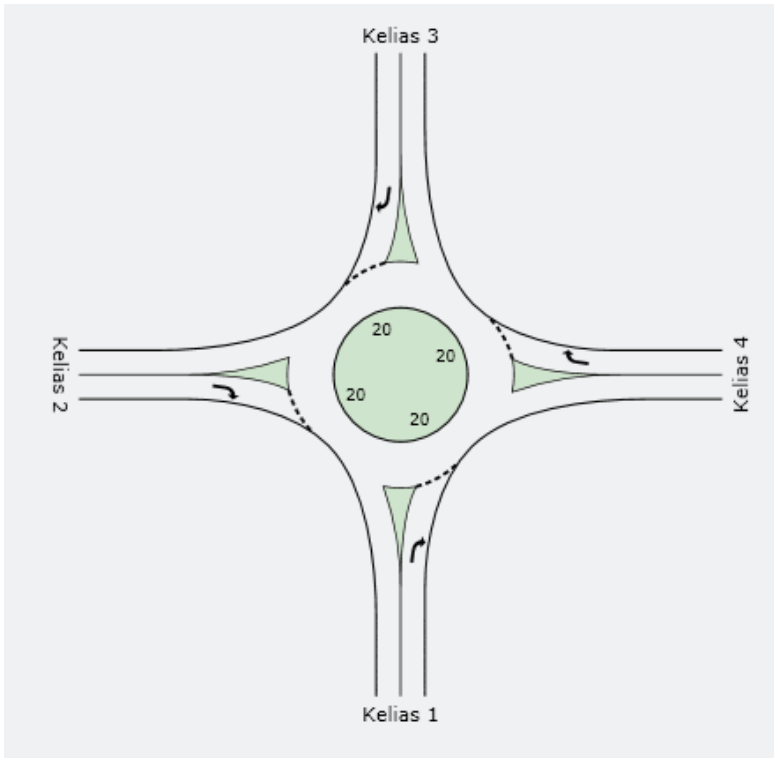
1 lentelė. Įvažiavimo juostų judėjimo kryptys ir juostų skaičius trišalėje žiedinėje sankryžoje.

kelias	Įvažiavimo linijų skaičius							Įšvažiavimo linijų skaičius
	N^0_{lt}	N^0_{tr}	N^0_{ltr}	N^0_{lr}	N^0_l	N^0_t	N^0_r	N^0_{dl}
Kelias 1							1	1
Kelias 2							1	1
Kelias 3							1	1

2 lentelė. Virtualios linijos kvadrantuose trišalėje žiedinėje sankryžoje.

kvadrantai	F^0_l	F^0_r	F^0_t
1		1	
2	x	x	x
3	x	x	x
4			1
5		1	
6			1
7		1	
8			1

X – šiais kvadrantais judėjimai nevyksta



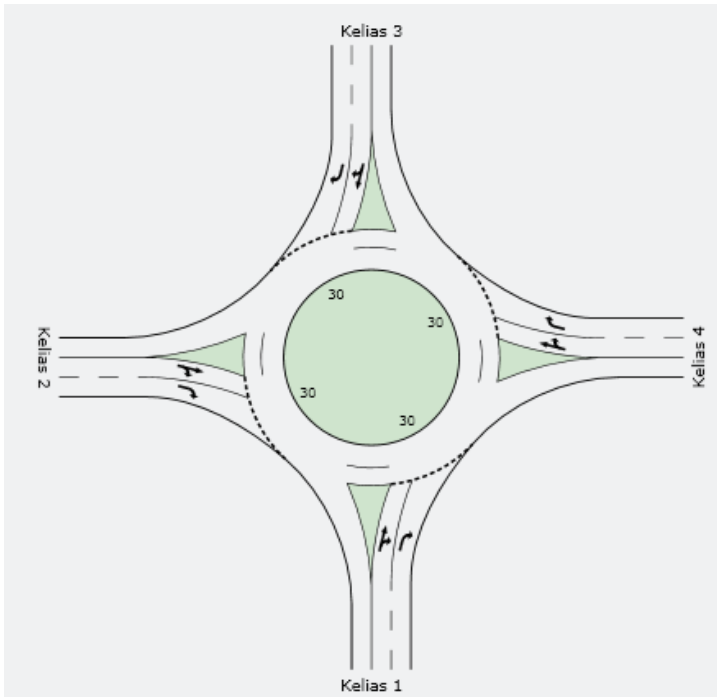
2 pav. Atvejis 2. Keturšalės žiedinės sankryžos modelis

3 lentelė. Įvažiavimo juostų judėjimo kryptys ir juostų skaičius keturšalėje žiedinėje sankryžoje.

kelias	Įvažiavimo linijų skaičius							Įšvažiavimo linijų skaičius
	N^{0}_{lt}	N^{0}_{tr}	N^{0}_{ltr}	N^{0}_{lr}	N^{0}_{l}	N^{0}_{t}	N^{0}_{r}	N^{0}_{dl}
Kelias 1							1	1
Kelias 2							1	1
Kelias 3							1	1
Kelias 4							1	1

4 lentelė. Virtualios linijos kvadrantuose keturšalėje žiedinėje sankryžoje.

kvadrantai	F^{0}_{l}	F^{0}_{r}	F^{0}_{t}
1		1	
2			1
3		1	
4			1
5		1	
6			1
7		1	
8			1



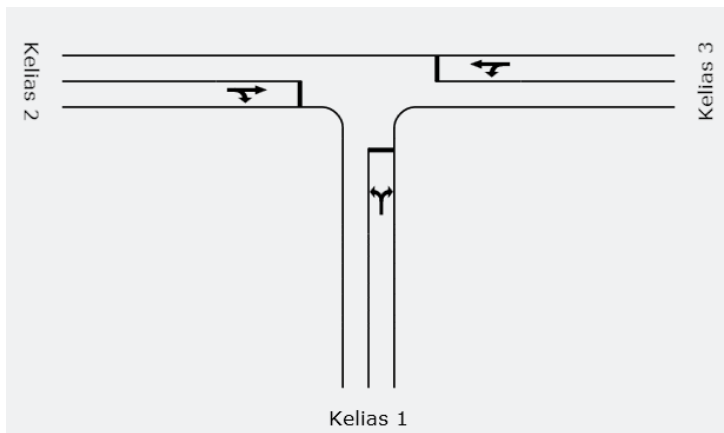
3 pav. Atvejis 3. Keturšalės dviejų juostų, žiedinės sankryžos modelis.

5 lentelė. Įvažiavimo juostų judėjimo kryptys ir juostų skaičius keturšalėje, dviejų juostų, žiedinėje sankryžoje.

kelias	Įvažiavimo linijų skaičius							Įšvažiavimo linijų skaičius
	N^0_{lt}	N^0_{tr}	N^0_{ltr}	N^0_{lr}	N^0_l	N^0_t	N^0_r	N^0_{al}
Kelias 1							2	1
Kelias 2							2	1
Kelias 3							2	1
Kelias 4							2	1

6 lentelė. Virtualios linijos kvadrantuose keturšalėje, dviejų juostų, žiedinėje sankryžoje.

kvadrantai	F^0_l	F^0_r	F^0_t
1		2	1
2			1
3		2	1
4			1
5		2	1
6			1
7		2	1
8			1



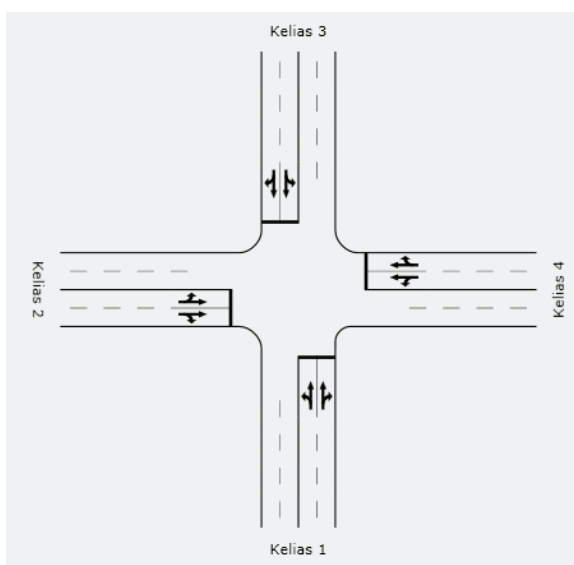
4 pav. Atvejis 4. Trišalės staus kampo sankryžos modelis.

7 lentelė. Įvažiavimo juostų judėjimo kryptys ir juostų skaičius trišalėje staus kampo sankryžoje.

kelias	Įvažiavimo linijų skaičius							Įšvažiavimo linijų skaičius
	N^0_{lt}	N^0_{tr}	N^0_{ltr}	N^0_{lr}	N^0_l	N^0_t	N^0_r	N^0_{dl}
Kelias 1					1		1	1
Kelias 2		1						1
Kelias 3	1							1

8 lentelė. Virtualios linijos kvadrantuose trišalėje staus kampo sankryžoje.

kvadrantai	F^0_l	F^0_r	F^0_t
1	1		1
2	x	x	x
3	x	x	x
4			1
5		1	1
6			1
7	1	1	
8			1



5 pav. Atvejis 6. Keturšalės, dviejų eismo juostų, staus kampo sankryžos modelis.

9 lentelė. Įvažiavimo juostų judėjimo kryptys ir juostų skaičius keturšalėje, dviejų eismo juostų, staus kampo sankryžoje.

kelias	Įvažiavimo linijų skaičius							Įšvažiavimo linijų skaičius
	N^0_{lt}	N^0_{tr}	N^0_{ltr}	N^0_{lr}	N^0_l	N^0_t	N^0_r	N^0_{dl}
Kelias 1	1	1						2
Kelias 2	1	1						2
Kelias 3	1	1						2
Kelias 4	1	1						2

10 lentelė. Virtualios linijos kvadrantuose keturšalėje, dviejų eismo juostų, staus kampo sankryžoje.

kvadrantai	F^0_l	F^0_r	F^0_t
1	1	1	2
2			2
3	1	1	2
4			2
5	1	1	2
6			2
7	1	1	2
8			2

11 lentelė. sankryžos tipo šviesoforų fazės.

Tipas	Fazių planas
7.	Fazė 1: kelias 1 ir kelias 3 (posūkis kairėn, dešinėn ir tiesiai) Fazė 2: kelias 2 ir kelias 4 (posūkis kairėn, dešinėn ir tiesiai)