



VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

APLINKOS INŽINERIJOS FAKULTETAS

KELIŲ KATEDRA

Darius Grybas

**VERTIKALIŲJŲ IR HORIZONTALIŲJŲ KREIVIŲ DERINIMO ŽVYRKELIŲ
ASFALTAVIMO PROJEKTUOSE ANALIZĖ IR REKOMENDACIJOS
ANALYSIS AND RECOMMENDATIONS OF DESIGN OF VERTICAL AND
HORIZONTAL CURVES ON GRAVEL ROAD PAVING PROJECTS**

Baigiamasis magistro darbas

Kelių eismo saugumo inžinerijos studijų programa, valstybinis kodas 621H22001

Statybos inžinerijos studijų kryptis

Vilnius, 2017

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS
APLINKOS INŽINERIJOS FAKULTETAS
KELIŲ KATEDRA

TVIRTINU
Katedros vedėjas

(Parašas)

Virgaudas Puodžiukas
(Vardas, pavardė)

2017 05 22
(Data)

Darius Grybas

**VERTIKALIŲJŲ IR HORIZONTALIŲJŲ KREIVIŲ DERINIMO ŽVYRKELIŲ
ASFALTAVIMO PROJEKTUOSE ANALIZĖ IR REKOMENDACIJOS
ANALYSIS AND RECOMMENDATIONS OF DESIGN OF VERTICAL AND
HORIZONTAL CURVES ON GRAVEL ROAD PAVING PROJECTS**

Baigiamasis magistro darbas

Kelių eismo saugumo inžinerijos studijų programa, valstybinis kodas 621H22001

Statybos inžinerijos studijų kryptis

Vadovas

doc. dr. Virgaudas Puodžiukas
(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė)

(Parašas)

(Data)

Lietuvių kalbos konsultantas lekt. Regina Žukienė

(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė)

(Parašas)

(Data)

Vilnius, 2017

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS
APLINKOS INŽINERIJOS FAKULTETAS
KELIŲ KATEDRA

Statybos inžinerija (02 T) studijų kryptis
Kelių eismo saugumo inžinerija studijų programa,
valstybinis kodas 621H22001

TVIRTINU
Katedros vedėjas

(Parašas)

Virgaudas Puodžiukas
(Vardas, pavardė)

(Data)

**BAIGIAMOJO MAGISTRO DARBO
UŽDUOTIS**

2015-10-20Nr.

Vilnius

Studentui (ei) Dariui Grybui

(Vardas, pavardė)

Baigiamojo darbo tema: Vertikaliųjų ir horizontaliųjų kreivių derinimo žvyrkelių asfaltavimo projektuose analizė ir rekomendacijos

patvirtinta 2017 m. Kovo 17 d. dekanu potvarkiu Nr. 88 ap.

Baigiamojo darbo užbaigimo terminas 2017 m. Gegužės 22 d.

BAIGIAMOJO DARBO UŽDUOTIS:

Apžvelgti Lietuvos ir užsienio šalių kelių projektavimą reglamentuojančius norminius dokumentus. Pateikti apibendrintas išvadas, patikslinti darbo tikslą ir uždavinius. Sudaryti vairuotojų apklausos tyrimo, žvyrkelių asfaltavimo tyrimo, kelio vizualinio ir matomumo tyrimų metodikas. Pasiūlyti tiriamų kelio ruožų trasos modeliavimo metodą. Atlikti eksperimentinius tyrimus su darbo vadovu suderintiems kelio ruožams. Pateikti išvadas ir rekomendacijas. Atlikus rekomenduojamų kelio trasos elementų efektyvumo vertinimą sustambintais rodikliais, pateikti bendrąsias darbo išvadas ir rekomendacijas.

Baigiamojo darbo rengimo konsultantai:

(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė)

Vadovas

(Paraša)

(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė)

Užduotį gavau

(Parašas)

(Vardas, pavardė)

(Data)

(Baigiamojo darbo sąžiningumo deklaracijos forma)

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

Darius Grybas, 20112859

(Studento vardas ir pavardė, studento pažymėjimo Nr.)

Aplinkos inžinerijos fakultetas

(Fakultetas)

Kelių eismo saugumo inžinerija, KSImf-15

(Studijų programa, akademinė grupė)

BAIGIAMOJO DARBO (PROJEKTO)

SĄŽININGUMO DEKLARACIJA

2017 m. gegužės 13 d.

Patvirtinu, kad mano baigiamasis darbas tema „Vertikaliųjų ir horizontaliųjų kreivių derinimo žvyrkelių asfaltavimo projektuose analizė ir rekomendacijos“ patvirtintas 2017 m. kovo 17 d. dekanų potvarkiu Nr. 88ap, yra savarankiškai parašytas. Šiame darbe pateikta medžiaga nėra plagijuota. Tiesiogiai ar netiesiogiai panaudotos kitų šaltinių citatos pažymėtos literatūros nuorodose.

Mano darbo vadovas doc. dr. Virgaudas Puodžiukas.

Kitų asmenų indėlio į parengtą baigiamąjį darbą nėra. Jokių įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs (-usi).

(Parašas)

Darius Grybas
(Vardas ir pavardė)

Vilniaus Gedimino technikos universitetas
Aplinkos inžinerijos fakultetas
Kelių katedra

ISBN ISSN
Egz. sk.
Data-.....-.....

Antrosios pakopos studijų **Kelių eismo saugumo inžinerijos** programos magistro baigiamasis darbas 4

Pavadinimas **Vertikaliųjų ir horizontaliųjų kreivių derinimo žvyrkelių asfaltavimo projektuose analizė ir rekomendacijos**

Autorius **Darius Grybas**

Vadovas **Virgaudas Puodžiukas**

Kalba: lietuvių

Anotacija

Šiame baigiamajame magistro darbe išanalizuotas vertikaliųjų ir horizontaliųjų kreivių derinimo pasirinktuose žvyrkelių asfaltavimo projektuose poveikis eismo saugumui. Darbe apžvelgtas Lietuvos ir užsienio šalių kelių projektavimo techninis reglamentavimas ir rekomendacijos, atlikta vairuotojų apklausa, žvyrkelių asfaltavimo projektų analizė. Naudojant kelio paviršiaus modeli atliktas vizualinis ir matomumo tyrimas, kelio ruožų modeliavimas, kelio trasos elementų efektyvumo vertinimas. Atlikus tyrimus buvo pateiktos bendrosios išvados ir pasiūlytos rekomendacijos eismo saugumo situacijai gerinti. Baigiamojo darbo apimtis – 67 psl. teksto be priedų, 23 lentelės, 20 paveikslų, 14 literatūros šaltinių. Atskirai pridedami darbo priedai.

Prasminiai žodžiai: Vertikaloji kreivė, horizontalioji kreivė, kreivių derinimas, eismo saugumas, sustojimo matomumas, kelio paviršiaus modelis, žvyrkeliai

Vilnius Gediminas Technical University
Faculty of Environmental Engineering
Department of Roads

ISBN _____ ISSN _____
Copies No.
Date-.....-.....

Master Degree Studies **Road Safety Engineering** study programme Master Graduation Thesis 4

Title **Vertical and Horizontal Curves Incorporation Analysis and Recommendations in Gravel Roads Paving Projects**

Author **Darius Grybas**

Academic supervisor **Virgaudas Puodžiukas**

Thesis language: Lithuanian

Annotation

In this Masters thesis the impact on the road safety of design of vertical and horizontal curves on gravel road paving projects was analysed. In this work technical regulations and recommendations for the road design in Lithuania and foreign countries were reviewed, drivers survey was performed, gravel road paving projects analysis was made. Using road surface model visual and sight distance analysis was made, road section modelling and simulation was performed, road vertical and horizontal alignment efficiency evaluation was carried out. After performing all the researches conclusions and recommendation for improving road safety were determined. Thesis consist of: 67 p. text without appendixes, 23 tables, 20 pictures, 14 bibliographical entries. Appendixes included.

Keywords: Vertical curve, horizontal curve, coordination of horizontals and vertical curves, road safety, sight distance, road surface model, gravel roads

TURINYS

PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS	8
LENTELIŲ SĄRAŠAS	9
SANTRUMPŲ SĄRAŠAS	10
IVADAS.....	11
1. LIETUVOS IR UŽSIENIO ŠALIŲ LITERATŪROS APŽVALGA	13
1.1. Lietuvos automobilių kelių projektavimą reglamentuojančių dokumentų apžvalga.....	13
1.2. Užsienio šalių automobilių kelių projektavimo norminių dokumentų apžvalga.....	23
1.2.1. Pasaulio banko ir olandų susisiekimo ministerijos išleisto praktinio vadovo „Subalansuotų, saugių automobilių kelių projektavimas“ apžvalga(A manual produced for the World bank and the Dutch Ministry of Transport, Public Works and Water Managment, „Sustainable safe road design“[4])	23
1.2.2. Vašingtono valstijos transporto departamento kelių tinklo projektavimo ir tobulinimo taisyklių rinkinio apžvalga (WSDOT „Design manual“[5]).....	25
1.2.3. AASHTO Kelių ir gatvių projektavimo strategijos apžvalga (AASHTO „A policy on geometric design of highways and streets“[10]).....	30
1.3. Išvados.....	34
2. TYRIMO METODIKA.....	35
2.1. Vairuotojų apklausos tyrimo metodika	35
2.2. Žvyrkelių asfaltavimo projektų analizės tyrimo metodika.....	37
2.3. Kelio vizualinio tyrimo, panaudojant kelio paviršiaus modelį, tyrimo metodika.....	39
2.4. Kelio matomumo nustatymo, panaudojant kelio paviršiaus modelį, tyrimo metodika.....	40
2.5. Tiriamų kelio ruožų trasos modeliavimo tyrimo metodika	40
2.6. Išvados.....	41
3. TYRIMO REZULTATAI	42
3.1. Vairuotojų apklausos tyrimo rezultatai	42
3.2. Žvyrkelių asfaltavimo projektų analizės tyrimo rezultatai.....	44
3.3. Kelio vizualinio tyrimo, panaudojant kelio paviršiaus modelį, tyrimo rezultatai	48
3.4. Kelio matomumo nustatymo, panaudojant kelio paviršiaus modelį, tyrimo rezultatai.....	53
3.5. Tiriamų kelio ruožų trasos modeliavimo tyrimo rezultatai	55
3.6. Išvados.....	60
4. TIRIAMOJO DARBO REZULTATŲ PAGRINDIMAS.....	62
IŠVADOS IR REKOMENDACIJOS	65
Literatūra.....	67
Priedai	68

PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS

1.1 pav. Standartinis erdvinių elementų derinys kelio posūkyje [2]	18
1.2 pav. Trūkumas, kai kelyje susidaro nematomos zonos [2]	20
1.3 pav. Reikalingas sustojimo matomumas S_s valstybinės reikšmės keliuose [1]	21
1.4 pav. Matomumo skaičiavimo schema [2]	22
1.5 pav. Horizontaliųjų ir vertikalųjų kreivių sutapatinimas [5]	27
1.6 pav. Trumpas tiesus intarpas tarp dviejų horizontaliųjų skirtingų kryptų kreivių išgaubtoje vertikalojoje kreivėje [5]	27
1.7 pav. Išilginis profilis tiesiame ruože [5]	28
1.8 pav. Sutrūkuso kelio efektas [5]	28
1.9 pav. Kelio trasos projektavimas, kai išilginis profilis nelygus [10]	31
1.10 pav. Sustojimo matomumo reikšmių palyginimas (sudaryta autoriaus)	34
2.1 pav. Pasirinktų kelio ruožų vieta Lietuvos žemėlapyje (sudaryta autoriaus)	38
3.1 pav. Ketvirto apklausos klausimo rezultatai [12]	43
3.2 pav. Apibendrinti apklausos 7-12 klausimų rezultatai (sudaryta autoriaus)	43
3.3 pav. Nematoma zona susidariusi pirmame kelio ruože (sudaryta autoriaus)	48
3.4 pav. Nematoma zona (pakilimas) susidariusi antrame kelio ruože (sudaryta autoriaus)	50
3.5 pav. Nematoma zona susidariusi trečiame kelio ruože (sudaryta autoriaus)	52
3.6 pav. Kelio modeliavimo rezultatai, kai $i=2\%$ (sudaryta autoriaus)	58
3.7 pav. Kelio modeliavimo rezultatai, kai $i=3\%$ (sudaryta autoriaus)	58
3.8 pav. Kelio modeliavimo rezultatai, kai $i=4\%$ (sudaryta autoriaus)	59
3.9 pav. Kelio modeliavimo rezultatai, kai $i=5\%$ (sudaryta autoriaus)	59

LENTELIŲ SĄRAŠAS

1.1 lentelė. Pagrindinės KTR pateiktos kelių projektavimo charakteristikos [1]	14
1.2 lentelė. Kelių projektavimo klasėms keliami reikalavimai [2]	15
1.3 lentelė. Kelio trūkumai ir įtaka eismo saugumui [2].....	19
1.4 lentelė. Kelio matomumas artėjant prie kelio posūkio [4]	25
1.5 lentelė. Sustojimo matomumo reikšmės [5].....	29
1.6 lentelė. Sustojimo matomumo reikšmės [10].....	33
2.1 lentelė. Apklausos klausimai ir galimi atsakymų variantai (sudaryta autoriaus).....	35
2.2 lentelė. Kelių dangos, 2015-05-01 [3]	37
3.1 lentelė. Horizontalios kelio trasos analizė pasirinktuose žvyrkelių asfaltavimo projektuose (sudaryta autoriaus).....	45
3.2 lentelė. Išilginio profilio analizė pasirinktuose žvyrkelių asfaltavimo projektuose (sudaryta autoriaus)	46
3.3 lentelė. Kelio trūkumai pasirinktuose žvyrkelių asfaltavimo projektuose (sudaryta autoriaus)	47
3.4 lentelė. Pirmojo kelio ruožo vizualinės analizės rezultatai (sudaryta autoriaus)	49
3.5 lentelė. Antrojo kelio ruožo vizualinės analizės rezultatai (sudaryta autoriaus).....	51
3.6 lentelė. Trečiojo kelio ruožo vizualinės analizės rezultatai (sudaryta autoriaus)	52
3.7 lentelė. Pirmojo kelio ruožo matomumo analizės rezultatai (sudaryta autoriaus)	53
3.8 lentelė. Antrojo kelio ruožo matomumo analizės rezultatai (sudaryta autoriaus).....	54
3.9 lentelė. Trečiojo kelio ruožo matomumo analizės rezultatai (sudaryta autoriaus)	55
3.10 lentelė. Kelio modeliavimo, kai modeliuojamas tiesus kelio ruožas, rezultatai (sudaryta autoriaus)	55
3.11 lentelė. Kelio modeliavimo, kai modeliuojamas kelio ruožas su 45 laipsnių posūkio kampu, rezultatai (sudaryta autoriaus).....	56
3.12 lentelė. Kelio modeliavimo, kai modeliuojamas kelio ruožas su 90 laipsnių posūkio kampu, rezultatai (sudaryta autoriaus).....	57
3.13 lentelė. Ribinės sustojimo matomumo reikšmės pagal KTR 101:2008 „Automobilių keliai“ (sudaryta autoriaus).....	60
4.1 lentelė. Kreivių naudojimo rekomendacijos atsižvelgiant modeliavimo metu gautus rezultatus (sudaryta autoriaus).....	62
4.2 lentelė. Kelio trasos elementų efektyvumo vertinimo rezultatai (sudaryta autoriaus).....	64

SANTRUMPŲ SĄRAŠAS

LAKD – Lietuvos automobilių kelių direkcija prie Susisiekimo ministerijos;

KTR – Kelių techninis reglamentas;

AKPT 16 – Automobilių kelių projektavimo taisyklės 2016;

Pav. – paveikslas;

LAKIS – Lietuvos automobilių kelių informacinė sistema;

VMPEI – Vidutinis metinis paros eismo intensyvumas;

BIM – Informacinis pastato modeliavimas.

IVADAS

Lietuvos automobilių kelių tinklą sudaro 21252 km valstybinės reikšmės kelių, iš jų labai didelę dalį, net 69 % sudaro rajoninės reikšmės keliai, o pusė rajoninių kelių vis dar su žvyro dangą, todėl kiekvienais metais Lietuvos automobilių kelių direkcija prie Susisiekimo ministerijos stengiasi kuo daugiau tokių kelių, su žvyro dangą, išasfaltuoti, taip pagerindama viso kelių tinklo būklę, sumažindama dulketumą ir pagerindama eismo kokybės sąlygas. Lietuvos automobilių kelių direkcija prie Susisiekimo ministerijos skelbia, kad per 2016–2017 metus numatoma išasfaltuoti apie 591 kilometrą žvyrkelių Alytaus, Kauno, Klaipėdos, Marijampolės, Panevėžio, Šiaulių, Tauragės, Telšių, Utenos ir Vilniaus regionuose. Nusistovėjusi praktika rodo, kad vykdant tokius asfaltavimo projektus, dėl riboto biudžeto ir laiko stygiaus, dažniausiai labai menkai keičiama arba išvis nekeičiama horizontali kelio trasa, išilginis kelio profilis – vieni svarbiausių kelio sistemos elementų, nuo kurių tiesiogiai priklauso eismo saugumo situacija kelyje.

Horizontalus ir vertikalus kelio profiliai turi derėti tarpusavyje sudarydami optiškai sklandžią kelio trasą, tačiau Lietuvos automobilių kelių projektavimą reglamentuojantys dokumentai šį kelio projektavimo etapą nagrinėja labai menkai ir neišsamiai, tai palieka galimybę projektuoti nesaugius, pakankamai gero matomumo neužtikrinančius kelių.

Šio baigiamojo darbo tikslas – išnagrinėti pasirinktus rajoninės reikšmės žvyrkelių asfaltavimo projektus, atlikti jų vertinimą ir pateikti pasiūlymus ir rekomendacijas eismo saugumui pagerinti. Tiriamojo darbo objektas – trys šiuo metu įgyvendinami žvyrkelių asfaltavimo projektai, kuriuose gausu horizontaliųjų kreivių, išilginis profilis kalvotas ir kuriuos projektuojant būtina atsižvelgti į horizontaliųjų ir vertikalųjų kreivių derinimą.

Pirmame skyriuje nagrinėjami Lietuvos ir užsienio šalių – JAV, Vokietijos, Olandijos kelių projektavimą reglamentuojantys dokumentai ir rekomendacinio pobūdžio leidiniai, pateikiamos taisyklės ir rekomendacijos susiję su sklandžios kelio trasos projektavimu, kelio matomumu, skyriaus pabaigoje pateikiami patikslinti baigiamojo darbo uždaviniai.

Antrame skyriuje pateikiama atliekamo tyrimo metodika, išvados, kodėl pasirinktas būtent toks tyrimo būdas, pateikiami atliekamo tyrimo privalumai.

Trečiame skyriuje, pagal antrame skyriuje pateiktą tyrimo metodiką, atliekamas tyrimas pasirinktiems žvyrkelių asfaltavimo projektams. Informaciniam kelio modeliavimui ir skaitmeninei statybai visame pasaulyje skiriamas labai didelis dėmesys, todėl tyrimo eigoje naudojamas kelio paviršiaus modelis, sukurtas pagal tikrus projektinius sprendinius. Naudojant kelio paviršiaus modelį nagrinėjami kelio trasos sprendiniai, horizontaliųjų ir vertikalųjų kreivių derinimas, kelio matomumas. Taip pat, kad išsiaiškinti vairuotojų požiūrį į nagrinėjamą temą, atlikta vairuotojų apklausa, kurioje dalyvavo virš 100 vairuotojų.

Ketvirtame skyriuje apibendrinami tyrimo metu gauti rezultatai, atsižvelgiant į tyrimo metu gautus rezultatus suformuluojamos rekomendacijos saugaus eismo situacijai gerinti, pateikiamas rekomenduojamų kelio trasos elementų efektyvumo vertinimas sustambintais rodikliais.

Remiantis tyrimo metu nustatytomis problemomis ir gautomis išvadomis, pateikiamos rekomendacijos, kuriomis vadovaujantis būtų galima pagerinti eismo saugumo situaciją žvyrkelių asfaltavimo projektuose.

1. LIETUVOS IR UŽSIENIO ŠALIŲ LITERATŪROS APŽVALGA

1.1. Lietuvos automobilių kelių projektavimą reglamentuojančių dokumentų apžvalga

Lietuvoje keliai yra projektuojami vadovaujantis Lietuvos Respublikos įstatymais, galiojančiomis Lietuvos Respublikos kelių projektavimo normomis, taisyklėmis ir rekomendacijomis. Teisinius kelių plėtojimo, priežiūros ir naudojimo pagrindus Lietuvoje nustato Lietuvos Respublikos kelių įstatymas priimtas 1995 m. gegužės 11 d., o visų nuosavybės formų kelių už gyvenamųjų vietovių ribų tiesimo, rekonstravimo ir remonto projektavimo techninius reikalavimus [1] nustato Kelių techninis reglamentas KTR 1.01:2008 „Automobilių keliai“ patvirtintas 2008 m. sausio 9 d., Lietuvos Respublikos aplinkos ministro ir Lietuvos Respublikos susisiekimo ministro įsakymu. Priėmus šį reglamentą netekę galios buvo pripažinti seniau galioję Lietuvos Respublikos aplinkos ministro ir Lietuvos Respublikos susisiekimo ministro 2001 m. gruodžio 18 d. įsakymas „Dėl statybos techninio reglamento STR 2.06.03:2001 „Automobilių keliai“ patvirtinimo“ ir 2002 m. gruodžio 5 d. įsakymas „Dėl aplinkos ministro ir susisiekimo ministro 2001 m. gruodžio 18 d. įsakymo Nr. 603/456 „Dėl statybos techninio reglamento STR 2.06.03:2001 „Automobilių keliai“ patvirtinimo“ pakeitimo“. Nuo kelių techninio reglamento įsigaliojimo praėjo jau daugiau nei devyni metai ir per tą laiką gerokai pakito automobilių eismo apkrovos, automobilių eismo srautai, kelių projektavimo ir tiesimo galimybės, eismo saugumo priemonės, todėl šiuo metu, vadovaujantis Vokietijoje 2012 metais įsigaliojusiomis kelių projektavimo rekomendacijomis RAL [11], yra ruošiamas naujas automobilių kelių projektavimą reglamentuojančio dokumento projektas „Automobilių kelių projektavimo taisyklės AKPT 16“ (toliau kelių projektavimo taisyklių projektas). Kol kas šis dokumentas dar yra ruošiamas ir nėra patvirtintas, tačiau kai naujosios automobilių kelių projektavimo taisyklės bus priimtos, jos nustatys magistralinių, krašto ir rajoninių valstybinės reikšmės kelių tiesimo, rekonstravimo ir remonto projektavimo techninius reikalavimus [2].

Kelių techniniame reglamente keliai skirstomi į valstybinės reikšmės, kurie toliau skirstomi į magistralinius (AM, I, II, IIa, III kelio kategorijos), krašto (Ia, IIa, III kelio kategorijos), rajoninius kelius (IV, V, Va kelio kategorijos) ir vietinės reikšmės kelius (Iv, IIv, IIIv kelio kategorijos). Kelio kategorija nustatoma atsižvelgiant į projekcinį vidutinį metinį paros eismo intensyvumą ($VMPEI_p$). Pagal kelio kategoriją yra parenkamas projektinis greitis, skersinio profilio tipas ir visas tolimesnis kelio projektavimas vyksta atsižvelgiant į šiuos parametrus. Vienas pagrindinių parametrų kelio projektavime yra, pagal kelio kategoriją parinktas, projektinis važiavimo greitis. Pagal jį nustatomi minimalūs horizontaliųjų kreivių dydžiai, minimalūs vertikaliųjų kreivių dydžiai, didžiausias galimas išilginis nuolydis, viražų nuolydžių dydžiai, mažiausio aplenkimo matomumo dydžiai. Toks projektavimo principas apriboja projektavimo galimybes skirtingo intensyvumo keliams, nes tam tikruose skirtingų kategorijų keliuose projektinis greitis (pvz.: II kategorijos magistraliniame kelyje ir IV kategorijos rajoniniame kelyje) yra vienodas, automatiškai ir minimalūs reikalavimai šiems keliams vienodi, nors eismo sąlygos ir kelio trasos projektavimo galimybės

skirtingos. Pagrindiniai kelio parametrai valstybinės reikšmės keliams pateikti 1.1 lentelėje. Lentelėje matyti, kad netgi 7 kelio kategorijoms keliami tokie patys minimalūs reikalavimai (lentelėje paryškintos eilutės), nors tai ne tik skirtingų kategorijų, bet ir skirtingos reikšmės keliai, kuriuose vyrauja skirtingo intensyvumo eismas.

1.1 lentelė. Pagrindinės KTR pateiktos kelių projektavimo charakteristikos [1]

Kelio reikšmė	Kelio kategorija	Projektinis greitis, km/h	Mažiausi horizontaliųjų kreivių spinduliai, m	Didžiausias išilginis nuolydis, %	Mažiausi išgaubtų vertikaliųjų kreivių spinduliai, m		Mažiausi įgaubtų vertikaliųjų kreivių spinduliai, m
					Vienos krypties važ. k. d.	Dviejų krypčių važ. k. d.	
Magistraliniai keliai	AM	130/110	1500/1000	4,0/5,0	15000/6000	10000	5500/4000
	I	130/100	1500/1000	4,0/5,0	15000/6000	10000	5500/4000
	II	90	600	5,0	4500	6000	3000
	IIa	100	800	5,0	6000	10000	4000
	III	90	600	5,0	4500	6000	3000
Krašto keliai	Ia	90	600	5,0	4500	6000	3000
	IIa	90	600	5,0	4500	6000	3000
	III	90	600	5,0	4500	6000	3000
	(IV)	90	600	5,0	4500	6000	3000
Rajoniniai keliai	IV	90	600	5,0	4500	6000	3000
	V	70	300	7,0	2000	3000	2000
	Va	70/50	300/140	7,0/8,0	2000/750	3000/1000	2000/750

Kelių projektavimo taisyklių projekte keliai skirstomi į penkias kategorijas (K I – K V). Kelio kategorija nustatoma atsižvelgiant į kelio funkcinę paskirtį: europinė, euro regioninė, nacionalinė, regioninė, rajoninė, vietinė. Toks suskirstymas sudaromas tam, kad skirtingų kategorijų keliai būtų vizualiai skirtingi ir aiškiai suprantami vairuotojui ir tam, kad jis važiuodamas vienu ar kitu keliu suprastų, kokios tai paskirties kelias ir pasirinktų tinkamą važiavimo greitį. Tam, kad kelių funkcinės paskirties principas būtų suprantamas eismo dalyviams, numatytos skirtingos projektavimo klasės (nuo PKK 1 iki PKK 5), besiskiriančios kelio skersiniu profiliu, kelio trasos planu ir profiliu, ženklinimu, lenkimo principu ir sankryžų išplanavimu [2]. Kelių projektavimo taisyklių projektas taip pat tam tikrais atvejais (esant labai

dideliam arba labai mažam eismo intensyvumui) leidžia sumažinti (dėl statybos darbų sąnaudų dydžio) ar padidinti (norint užtikrinti pakankamą eismo kokybės rodiklio vertę) kelio projektavimo klasę, bet tą darant vis tiek turi būti užtikrinamos vienodos kelio charakteristikos. Kiekvienai projektavimo klasei yra keliami skirtingi reikalavimai, kurie apibendrintai pateikti 1.2 lentelėje. Lentelėje matoma, kad skirtingoms projektavimo klasėms, visiems pagrindiniams kelio parametrams, keliami skirtingi reikalavimai ir kai kurie iš jų nėra griežtai apibrėžti, projektuotojas turi tam tikrą pasirinkimo laisvę.

1.2 lentelė. Kelių projektavimo klasėms keliami reikalavimai [2]

Projektavimo klasė	Projektinis greitis, km/h	Kelio trasos planas	Mažiausias horizontaliosios kreivės spindulys R, m	Didžiausias išilginis nuolydis, %	Mažiausias vertikaliosios išgaubtos kreivės spindulys, m	Mažiausias vertikaliosios įgaubtos kreivės spindulys, m
PKK 1	110	Labai sklandus	>500	4,5	>8000	>4000
PKK 2	100(90)	Sklandus	400-900	5,5	>6000	>3500
PKK 3	90	Priderintas prie reljefo	300-600	6,5	>5000	>3000
PKK 4	70(90)	Labai priderintas prie reljefo	200-400	8,0	>3000	>2000
PKK 5	70	Labai pritaikytas	150-300	8,0	>2400	>2000

Pagrindinis kelių suskirstymo skirtumas tarp kelių techninio reglamento ir kelių projektavimo taisyklių projekto yra tas, kad kelių techniniame reglamente keliai skirstomi į kategorijas, kurios nustatomos pagal VMPEI_p ir visas tolimesnis kelio projektavimas remiasi parametrais nustatytais būtent tai kelio kategorijai, o kelių projektavimo taisyklių projekte keliai skirstomi pagal jų funkcinę paskirtį ir projektuojami pagal tam tikras projektavimo klases. Palyginus pagrindines kelio projektavimo charakteristikas (1.1 ir 1.2 lentelės) viename ir kitame dokumente matoma, kad kelių projektavimo taisyklių projekte kiekvienai kelio projektavimo klasei yra priskiriami skirtingų dydžių parametrai, kas suteikia galimybę kiekvienos klasės kelią projektuoti skirtingai, kai kelių techniniame reglamente netgi 7 kelio kategorijoms priskiriami lygiai tokie patys minimalūs reikalavimai. Pagrindinis kelio elementas yra kelio trasa, nuo kurios priklauso ir eismo saugumas, ir kelio atpažįstamumas, ir kelio matomumas, todėl šiam kelio elementui turėtų būti skiriamas didžiausias dėmesys.

Kelio trasa turi būti projektuojama taip, kad horizontalus ir vertikalus kelio profiliai tarpusavyje sudarytų optiškai sklandžią trasą. Teisingai suderinta kelio trasa užtikrina gerą aplenkimo ir sustojimo matomumą, pagerina kelio vizualinį supratimą, leidžia eismo dalyviams laiku įvertinti ir suprasti kelią ir jo aplinką, laiku pastebėti kliūtį ar pavojingą kelio ruožą, leidžia pasirinkti saugų važiavimo greitį, gerai suderinta kelio trasa pagerina eismo saugumo situaciją kelyje. Abejose aukščiau nagrinėtose kelių projektavimo taisyklėse (KTR ir AKPT projekte) yra atkreipiamas dėmesys į erdvinį trasos projektavimą, tik viename iš jų (KTR) šis projektavimo etapas nagrinėjamas labai menkai.

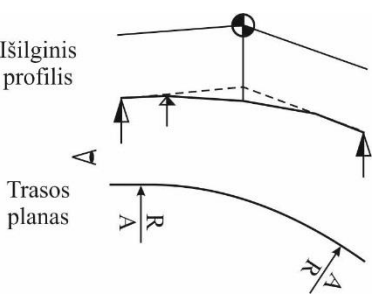
Šiuo metu galiojančiame kelių techniniame reglamente optiškai sklandžios kelio trasos projektavimui yra skiriama labai nedaug dėmesio, tam yra išskiriamas vienas trumpas skirsnis („X skirsnis. Erdvinė optiškai sklandi kelio trasa“ [1]), kuriame yra 5 punktai (67-71 punktai [1]) aprašantys sklandžios kelio trasos projektavimo principus, nors vienas iš tų punktų tėra nuoroda, į kitus dokumente pateiktus reikalavimus. Visų pirma šiuose punktuose yra apibrėžiama, kokių kategorijų keliams ir koku principu vadovaujantis, turėtų būti projektuojama kelio trasa: „67. AM, I, Ia, II, IIa ir III kategorijų kelio trasas reikia projektuoti kaip sklandžią liniją erdvėje, derinant plano elementus ir išilginio bei skersinio profilių elementus tarpusavyje ir su aplinkos kraštovaizdžiu, įvertinant jų poveikį eismo sąlygoms ir kelio vizualiniam suvokimui“ [1]. Išnagrinėjus kelių techninio reglamento geometrinius parametrus (1.1 lentelė) pastebėta, kad netgi 7 skirtingų kategorijų keliams keliams tokie patys reikalavimai ir kelio trasa juose gali būti projektuojama vienodai. Nors projektiniai greičiai ir kelio parametrai tam tikrose kelio kategorijose sutampa, sklandžios kelio trasos projektuoti visose šiose kategorijose nereikia. Pasak kelių techninio reglamento sklandžią kelio trasą projektuoti reikia tik keliams nuo AM iki III kategorijos, tai reiškia, kad IV ir V kategorijos keliams, kurių projektinis greitis ir reikalavimai kelio trasei tokie patys kaip Ia, II, IIa, III, arba šiek tiek mažesni, sklandžios kelios trasos projektuoti nereikia. Nors eismo intensyvumas IV ir V kategorijų keliuose mažesnis, ten vyrauja toks pat projektinis greitis (V kategorijos keliai įrengiami su asfaltbetonio danga ir todėl dažniausiai projektuojami pagal 90 km/h projektinį greitį, nes vairuotojas vizualiai negali atskirti V kategorijos kelio nuo IV ar III, todėl važiuoja tokiu pačiu greičiu kaip ir kituose keliuose su asfaltbetonio danga), todėl turėtų būti užtikrinamos tokios pat saugios eismo sąlygos, kaip ir kitų kategorijų keliuose. Neįtraukiant šių ir kitų nepaminėtų kelio kategorijų į sklandžios kelio trasos kelių projektavimo sąrašą yra paliekama galimybė projektuoti nesaugius kelius, kuriuose susidarys nematomos zonos, prasmengančio kelio įspūdis ir bus ribotas kelio matomumas. Kelių techninis reglamentas taip pat nurodo, jog sklandi trasa su vizualiniais orientyrais turėtų būti projektuojama tik naujose kelių trasose: „Naujose kelių trasose turi būti sukurtos tokios vizualinių orientyrų sistemos, kurios per didelį atstumą teiktų vairuotojui informaciją apie kelio krypties ir važiavimo sąlygų pasikeitimą (taip pat už matomumo ribų) ir leistų pasirinkti saugų važiavimo režimą“ [1]. Lietuvos kelių tinklas yra gan platus, jį sudaro 21252 km valstybinės reikšmės kelių, iš jų 8% magistralinių, 23% krašto ir 69% rajoninių kelių [3] ir naujų kelių tiesimo projektų yra vykdoma palyginti nedaug, dažniausiai jau esami keliai rekonstruojami arba

remontuojami pritaikant juos prie augančio eismo intensyvumo ar suprastėjusių kelio sąlygų. Vadovaujantis KTR visiems keliams, kurie rekonstruojami ar remontuojami, nėra reikalinga sukurti vizualinių orientyrų sistemos, kuria vadovaujantis vairuotojas galėtų iš anksto matyti važiavimo sąlygų pasikeitimą ir pasirinkti saugų važiavimo režimą. Nesvarbu, ar tai naujai tiesiamas kelias, ar rekonstruojamas jau pastatytas kelias, ar remontuojamas kelias, visur turėtų būti stengiamasi sukurti tokius orientyrus, kurie leistų vairuotojui iš anksto ir neskubant priimti sprendimą dėl artėjančio kelio krypties ar važiavimo sąlygų pasikeitimo. Paskutiniai du skirsniai apibrėžia, koks plano ir išilginio profilio kreivių derinys nėra galimas („AM, I, Ia, II, IIa ir III kategorijų keliuose neleidžiamas toks išilginių nuolydžių, plano kreivių ir išilginio profilio kreivių derinys, kai susidaro kelio prasmegimo įspūdis“ [1]) ir koku būdu reikėtų sutapatinti kreives, kad būtų užtikrinamos vizualinio orientavimosi ir saugesnio lenkimo sąlygos. Pirmasis iš šių punktų teigia, kad nėra galimas derinys, kai susidaro kelio prasmegimo įspūdis, bet kaip, kada ir kokius elementus derinant tarpusavyje susidaro toks derinys nėra aprašoma. Šis derinys yra labai pavojingas, nes vairuotojas nemato tam tikros dalies kelio, kurioje jo gali laukti kliūtis, kelio krypties pasikeitimas ir negali pasirinkti saugaus greičio, kad esant reikalui galėtų išvengti jo laukiančios pavojingos situacijos. Kelio prasmegimo įspūdis susidaro tik tam tikrais atvejais, todėl, kad būtų užtikrinamas šio punkto (KTR. X skirsnis.69 punktas) laikymasis, turėtų būti apibrėžti tie pavojingi kreivių derinimo atvejai, ar bent jau tam tikros ribos, kurių reikėtų laikytis, norint išvengti kelio prasmegimo įspūdžio. Tai yra kažkiek apibrėžiama paskutiniame punkte: „Dėl vizualinio orientavimo ir saugesnių lenkimo sąlygų plano ir išilginio profilio kreives reikėtų sutapatinti taip, kad plano kreivės būtų 100–150 m ilgesnės už išilginio profilio vertikaliąsias kreives; jų viršūnių pasislinkimas turi būti ne didesnis kaip 1/4 trumpiausios kreivės ilgio.“ [1]. Netgi derinant kreives pagal šį punktą gali susidaryti kelio prasmegimo įspūdis, viskas priklauso nuo to, kokio dydžio kreivės bus derinamos, kokio dydžio yra išilginio nuolydžio pasikeitimas, į kurią kryptį pasistūmę kreivių viršūnės. Išnagrinėjus visus punktus apibrėžiančius sklandžios kelio trasos derinimą galima teigti, jos šis skirsnis yra per trumpas, punktai yra nukreipiami ne į visas kelio kategorijas, kurioms tai reikalinga, nėra pakankamai aprašomi pavojingi kreivių derinimo atvejai ir kada jie atsiranda, visas skirsnis turėtų būti išplėtotas daug plačiau.

Kelių projektavimo taisyklių projekte taip pat kaip ir kelių techniniame reglamente optiškai sklandžios trasos projektavimo reikalavimams yra skiriamas atskiras skirsnis (IV skirsnis. ERDVINĖ OPTIŠKAI SKLANDI KELIO TRASA [2]), tačiau šiame dokumente jis išplėtotas daug plačiau ir išsamiau. Erdvinis kelio elementų derinio vaizdas turi esminę įtaką vairavimo elgsenai ir eismo saugumui, todėl kelias turi būti projektuojamas taip, kad kelio trasa vairuotojams būtų visapusiškai aiški, laiku atpažįstama, suvokiama ir nedviprasmiška [2]. Tam, kad būtų užtikrinamas sklandžios kelio trasos projektavimas, dokumente pateikiama metodika nuo ko turėtų prasidėti tokios trasos projektavimas, pateikiami standartiniai erdviniai elementai, pateikiami kelio trasos trūkumai, kurių reikėtų vengti (nematoma zona, nematoma posūkio pradžia, ištemptas posūkis, lūžiai ir t. t.) ir pateikiami punktai, kuriais vadovaujantis

reikia tikrinti jau suprojektuotą kelio trasą. Didelis šio dokumento projekto pranašumas prieš šiuo metu galiojantį KTR tas, kad sklandžios kelio trasos projektavimo metodika ne tik plačiai aprašoma, bet ir pateikiama vaizdinė medžiaga leidžianti lengviau suprasti, ko derėtų vengti, pateikiama, kokie tam tikro erdvinio derinio trūkumai ir privalumai, kokiomis sąlygomis susidaro tam tikri trūkumai kelio trasoje ir kiek jie pavojingi.

Visas kelio trasos tikrinimas skirstomas į tris pagrindinius etapus. Pirmiausia vertinama, ar visame nagrinėjamame ruože kelio plano ir išilginio profilio elementai sudaro standartinius erdvinius elementus. Standartiniai erdviniai elementų deriniai – tai kelio trasos ir išilginio profilio elementų kombinacija erdvėje, kai kelio trasos ir išilginio profilio kreivės sutapdinamos, t. y. trasos kreivių pradžia ir pabaiga (horizontaliųjų kreivių kaitos taškai) beveik sutampa su išilginio profilio išgaubtųjų ar įgaubtųjų kreivių pradžia bei pabaiga (vertikaliųjų kreivių kaitos taškai) [2]. Projektavimo taisyklių projekte pateikiama nemažai vaizdžių standartinių erdvinio elementų pavyzdžių, vienas iš jų pateiktas 1.1 pav. Paveiksle pavaizduotas kelio posūkis ties išgaubta vertikaliąja kreive, parodyta, kaip tai atrodo plane, koks perspektyvinis tokio derinio vaizdas ir pateikiamos pastabos, kuomet toks derinys geras ir blogas. Standartiniais erdviniais elementų deriniais dar laikoma, kai kelio trasos ir išilginio profilio kreivių viršūnių pasislinkimas viena kitos atžvilgiu yra ne didesnis kaip 20 % [2]. Tam, kad būtų dar aiškiau, dokumente numatyti ir lentelėje pateikti reikalavimai poslinkiui tarp horizontaliosios kreivės pradžios ir išgaubtos kreivės pradžios, kuriais turi būti vadovaujama.

Erdvinių elementų deriniai	Perspektyvinis vaizdas	Įvertinimas
Kelio posūkyje ties išgaubta vertikaliąja kreive		
		– netinkama, esant didesniems trasos elementų dydžiams, – netinkama vieno lygio sankryžoms, – skatina mažinti greitį, – pagerina vizualinį orientavimąsi.

1.1 pav. Standartinis erdvinio elementų derinys kelio posūkyje [2]

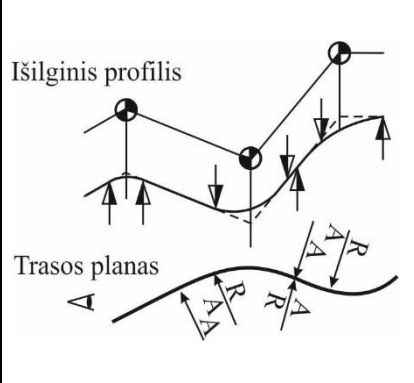
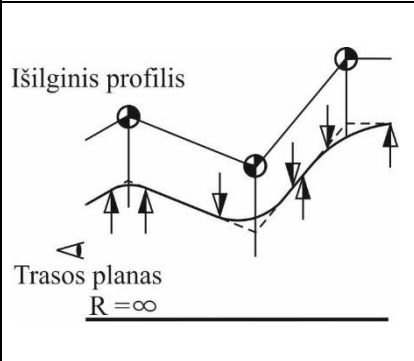
Antrajame kelio trasos tikrinimo etape yra tikrinami visi nestandartiniai erdviniai elementai ir siekiama išaiškinti, ar visur užtikrinamas pakankamas posūkio pradžios matomumas, ar besikeičianti kelio kryptis yra pakankamai gerai ir laiku pastebima, ieškoma vietų, kur gali susidaryti nematomos zonos, neaiški kelio kryptis vairuotojui – ieškoma kelio trūkumų. Kelio trūkumai – tai klaidingi ir vengtini kelio

trasos erdviniai elementai ir/arba neteisingi jų deriniai [2]. Dėl klaidingai suprojektuotos kelio trasos gali susidaryti labai daug įvairių kelio trūkumų ir kiekvienas iš jų yra daugiau ar mažiau pavojingas. Galimi trūkumai pagal projektavimo taisyklių projektą [2] pateikti 1.3 lentelėje. Lentelėje matyti, kad didžiausią įtaką vairavimo elgsenai ir eismo saugumui turi nematomos zonos, kuriose pradingsta kelias, nesimato kelio krypties, o kiti trūkumai yra mažiau pavojingi. Trūkumai, kurie gali turėti įtakos vairuotojo važiavimo greičiui bei elgsenai, ypač tie, kurie turi didelę įtaką, turi būti taisomi keičiant planą arba išilginį kelio profilį.

1.3 lentelė. Kelio trūkumai ir įtaka eismo saugumui [2]

Trūkumas	Įtaka vairavimo elgsenai ir eismo saugumui
Nematomos zonos (pakilimas/prasmegimas)	didelė
Nematoma posūkio pradžia (neaiški kryptis)	didelė
Ištemptas posūkis įduboje	vidutinė
Išlenktas posūkis viršukalnėje	maža
Nesklaidumas (lūžiai, optiškai iškreiptas vaizdas)	maža

Paskutiniajame kelio trasos tikrinimo etape, naudojant perspektyvinius vaizdus, analizuojami jau išaiškinti kelio trasos trūkumai. Tai daroma vadovaujantis pateikiamais vaizdiniais nestandartinių erdvių elementų derinimo atvejų (kelio trasos trūkumų) pavyzdžiais, kuriuose vaizduojama, kokiomis sąlygomis šie trūkumai susidaro, pateikiamas perspektyvinis vaizdas, kaip nagrinėjamas trūkumas atrodo, bei pateikiamos pastabos, kaip būtų galima išvengti šių trūkumų ar bent jau sumažinti jų neigiamą poveikį eismo saugumui. Vienas tokių pavyzdžių, vaizduojantis vieną iš pavojingiausių kelio trūkumų – nematomų zonų susidarymą, pateiktas 1.2 pav. „Nematoma zona – tai, jei vairuotojas (mažiausiai 75 m atstumu prieš šią zoną) negali atpažinti ir matyti trasos krypties sąryšio su priešais esančia važiavimo erdve“ [2]. Schemoje matoma, kad nematoma zona gali susidaryti kaip kelio pakilimas arba kelio prasmegimas, abu atvejai vienodai pavojingi, pabrėžtina, kad nematomai zonai susidaryti netgi nebūtinai kelio posūkis, nematoma zona gali susidaryti ir tiesiame kelio ruože. Taip pat paveiksle matoma, koku išilginio profilio ir trasos plano kreivių derinimo atveju gali susidaryti nematoma zona, pateikiamas plano vaizdas. Tam, kad būtų dar paprasčiau, pateikiamos pastabos susijusios su šiomis nematomomis zonomis ir ką reikėtų daryti norint jų išvengti.

Erdvinių elementų deriniai	Perspektyvinis vaizdas	Pastabos
Pakilimas		Trasos posūkyje vengti daugiau, kaip vienos vertikaliosios kreivės, pasirinkti kuo didesnius kreivių ilgius plane, pasirinkti didesnius nei 5000 m vertikalųjų kreivių spindulius ir be tiesių tarp jų, padidinti išgaubtos kreivės spindulį, kad būtų panaikinta susidariusi nematoma zona įgaubtoje kreivėje, vengti tiesių tarp vertikalųjų kreivių, esant nuolydžiui $< 8\%$. Tikrinti perspektyvinius vaizdus, jei išilginiame profilyje tarp išgautų kreivių yra trumpos tiesės su pastoviu išilginiu nuolydžiu
Išilginis profilis 		
Prasmegimas		
Išilginis profilis 		

1.2 pav. Trūkumas, kai kelyje susidaro nematomos zonos [2]

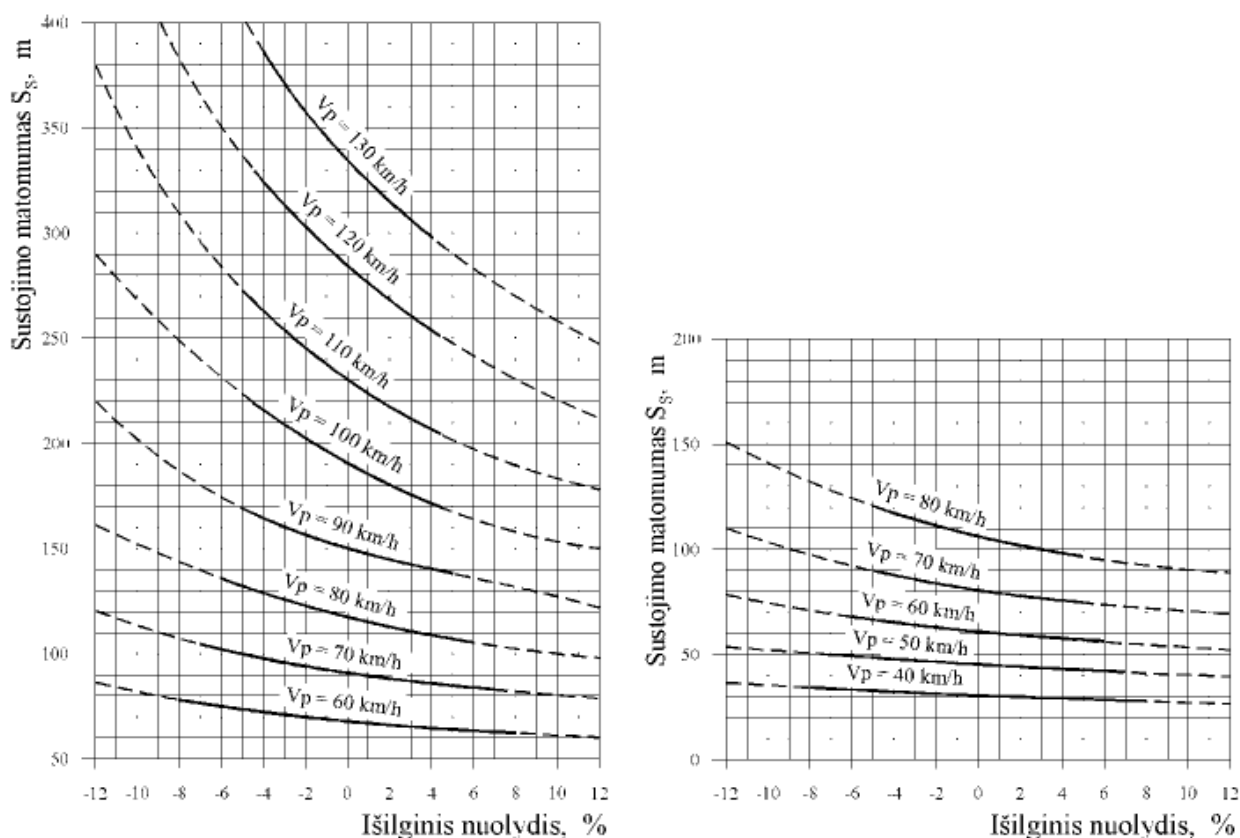
Nematomoje zonoje vairuotojo gali laukti kliūtis, bet taip pat dėl nematomos zonos jis gali nematyti aiškios kelio krypties, gali nespėti ar išvis nepastebėti prasidedančio kelio posūkio, to posūkio pradžios. Norint įveikti posūkį, vairuotojas turi pasirinkti saugų greitį, reikalingą tam tikro dydžio kreivei įveikti, tačiau nematydamas posūkio pradžios, vairuotojas praranda galimybę tą padaryti. „Nematoma posūkio pradžia – tai, jei vairuotojas mažiausiai iš 75 m atstumo, kelio priekyje negali pamatyti posūkio pradžios mažiausiai iki taško, kur kelio trasos krypties pasikeitimas yra $3,1^\circ$ “ [2]. Norint išvengti šio kelio trūkumo, reikia stengtis kelio trasą projektuoti taip, kad horizontaliosios kreivės pradžia prasidėtų anksčiau nei vertikaliosios kreivės pradžia ir kad vertikaliosios kreivės klotoidės parametrai (kreivės klotoidės parametras žymimas raide A) būtų kiek įmanoma didesni. Kuo didesnis klotoidės parametras, tuo ilgesnė vertikalioji kreivė, tuo vairuotojas turi ilgesnį atstumą pastebėti artėjantį kelio pasikeitimą ir į jį tinkamai sureaguoti.

Viena pagrindinių sklandžios kelio trasos funkcijų – užtikrinti pakankamai saugų kelio matomumą eismo dalyviams. Matomumas yra neatsiejamas optiškai sklandžios kelio trasos veiksnys, kelio trasa turi būti suprojektuota taip, kad užtikrintų pakankamą sustojimo atstumą atsiradus kliūčiai kelyje, kad užtikrintų pakankamą aplenkimo matomumą. Kelių techniniame reglamente matomumui skiriamas daug didesnis dėmesys nei optiškai sklandžios trasos projektavimui, nors šie du veiksniai tiesiogiai susiję vienas

su kitu. Pasak kelių techninio reglamento, keliuose reikalingas toks mažiausias matomumas, kad vairuotojas galėtų [1]:

- laiku sustoti prieš pastebėtą kliūtį;
- saugiai aplenkti kitą transporto priemonę;
- saugiai važiuoti per sankryžas ir pėsčiųjų perėjas.

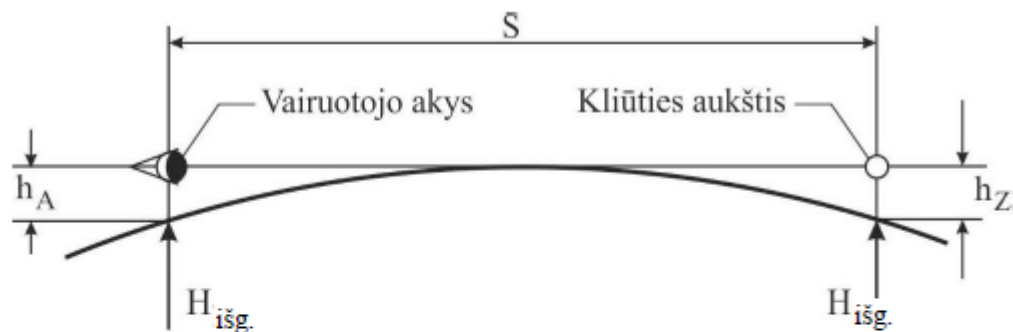
Kelių techniniame reglamente apibrėžiama matomumo skaičiavimo schema: lengvojo automobilio vairuotojo akių aukštis virš važiuojamosios dalies – 1,0 m; krovininio automobilio vairuotojo akių aukštis virš važiuojamosios dalies – 2,0 m; kliūtis aukštis virš važiuojamosios dalies – 0,15 m; priešpriešinės transporto priemonės aukštis virš važiuojamosios dalies – 1,0 m [1]. Šie aukščiai reikalingi tikrinant kelio matomumą, tačiau nėra parodyta ar aprašyta, kaip turėtų vykti matomumo tikrinimas, projektuotojui paliekama laisvė pačiam nuspręsti, kaip pritaikyti pateiktą matavimo schemą. Nagrinėjant kelio matomumą svarbiausia atsižvelgti į sustojimo matomumą ir aplenkimo matomumą. „Sustojimo matomumas S_s yra kelio atkarpa, reikalinga vairuotojui, važiuojančiam V_p (projektinis greitis) greičiu, sustoti prieš nelaukta pastebėtą kliūtį važiuojamojoje kelio dalyje“ [1]. Kadangi šis atstumas labai svarbus, pateikiamos schemas (1.3 pav.), kuriose pavaizduota, koks gali būti minimalus sustojimo matomumas esant tam tikram projektiniam greičiui ir tam tikram išilginiam nuolydžiui.



1.3 pav. Reikalingas sustojimo matomumas S_s valstybinės reikšmės keliuose [1]

Kaip jau minėta anksčiau, matomumas yra labai svarbus eismo saugumo veiksnys, o kelių techniniame reglamente jį reikia nustatyti iš pateikto grafiko (1.3 pav.) interpoliavimo būdu, ar tiesiog vaizdiniu būdu. Toks matomumo nustatymo būdas yra greitas, bet labai netikslus, nes schemeje labai sunku nustatyti tikslų išilginio nuolydžio dydį, o jį nustačius sunku tiksliai nustatyti, koks yra minimalus sustojimo matomumas. Pateikti grafikai sudaryti pagal tam tikras funkcijas, todėl būtų galima sudaryti ne tik grafiką, bet ir tam tikrą formulę sustojimo matomumui nustatyti. Pasinaudojant formule būtų galima tiksliai įvertinti išilginį nuolydį ar nuolydžių pokytį, projekcinį greitį ir gauti tikslų sustojimo atstumą. Toks minimalaus sustojimo matomumo nustatymas būtų daug tikslesnis ir patogesnis.

Matomumas kelių projektavimo taisyklių projekte (AKPT 16) nagrinėjamas labai panašiai kaip ir kelių techniniame reglamente. Pagrindinis nurodymas, kuriuo reikia vadovautis, tai grafikas, kuriame pateikiamas minimalus sustojimo matomumas, kuris priklauso nuo projektavimo klasės ir išilginio nuolydžio. Grafikas labai panašus kaip ir kelių techniniame reglamente, tik vietoj skirtingų grafikų skirtingam projekciniam greičiui, pateikiami skirtingi grafikai skirtingoms projektavimo klasėms. Taip pat nėra paaiškinimo, ar nustatant kelio matomumą reikia naudoti ruožo išilginį nuolydį ar išilginių nuolydžių pokyčio dydį, nustatyti minimalų matomumą iš tokio grafiko nesudėtinga, tačiau netikslu. Kelių projektavimo taisyklių projekte taip pat pateikiama matomumo skaičiavimo schema ir ji labai panaši į kelių techniniame reglamente pateikiamą matomumo matavimo schemą, bet projektavimo taisyklių projektas pranašesnis tuo, kad ne tik aprašo skaičiavimo schemą, bet pateikia ir vaizdinę schemą (1.4 pav.), kaip turi būtų atliekamas matomumo matavimas naudojantis pateiktomis rekomendacijomis.



S – sustojimo matomumas, m;

h_A – aukštis nuo dangos iki vairuotojo akių (1,00 m), m;

h_Z – kliūtis aukštis (1,00 m), m;

$H_{išg.}$ – išgaubtos kreivės spindulys, m.

1.4 pav. Matomumo skaičiavimo schema [2]

Abejose nagrinėtose taisyklėse matomumas nagrinėjamas labai panašiai: panaši matomumo matavimo, skaičiavimo schema, panašūs grafikai matomumo ribinėms vertėms rasti, abeiose taisyklėse paliekama vietos suklysti nustatant minimalų matomumo dydį. Matomumas yra labai svarbi kelio saugumo sistemos dalis, nes tik matydamas kelią vairuotojas gali priimti teisingą sprendimą, todėl matomumas turėtų būti išnagrinėtas ir apibrėžtas plačiau.

1.2. Užsienio šalių automobilių kelių projektavimo norminių dokumentų apžvalga

Užsienio šalių kelių projektavimo norminiuose dokumentuose dažnai galima aptikti nurodymą, kad projektuojamo kelio trasa turi būti suderinta taip, kad užtikrintų pakankamai gerą matomumą vairuotojui, kad kelias vairuotojui keltų kuo mažiau dvejonų, kad būtų galima laiku ir teisingai įvertinti artėjančio kelio trajektoriją ir kad kelio horizontalus ir vertikalus profilis negali būti projektuojamas atskirai vienas nuo kito. Kelio trasa turi būti sklandi, gerai matoma ir to pasiekti galima tik tada, kai vertikalus ir horizontalus profiliai projektuojami atsižvelgiant vienas į kitą, derinant juos tarpusavyje.

1.2.1. Pasaulio banko ir olandų susisiekimo ministerijos išleisto praktinio vadovo „Subalansuotų, saugių automobilių kelių projektavimas“ apžvalga(A manual produced for the World bank and the Dutch Ministry of Transport, Public Works and Water Managment, „Sustainable safe road design“[4])

Pirmasis iš nagrinėtų dokumentų, kuris teigia, jog vertikalus ir horizontalus kelio profiliai negali būti projektuojami atskirai, 2005 metais Pasaulio banko ir olandų susisiekimo ministerijos išleistas praktinis vadovas „Subalansuotų, saugių automobilių kelių projektavimas“ (Sustainable safe road design [4]) (toliau praktinis vadovas). Šis praktinis vadovas [4] buvo išleistas tam, kad apibendrintai pateiktų projektuotojams aktualių eismo saugumo priemonių apžvalgą, kad suteiktų medžiagos tolimesniems projektavimo reikalavimų tobulinimams ir kad būtų pagalbininkas kelių specialistams įdiegiant naujas saugaus eismo gerinimo priemones įvariose šalyse. Viena iš tokių saugumo užtikrinimo keliuose priemonių yra teisingai suderinta kelio trasa. Praktiniame vadove [4] minima, kad kelio trasos elementų negalima nagrinėti atskirai po vieną, juos reikia tirti kaip elementų derinius ir taip pat kelią reikia stengtis projektuoti taip, kad tarpusavyje derėtų ir vairuotojui susiorientuoti padėtų visi kelio elementai: kelio ženklai, horizontalusis ženklinimas, šalikelės apželdinimas, pastatai, atitvarai. Nagrinėjant kelio elementų tarpusavio derinimą išskiriami keturi pagrindiniai elementų deriniai:

- Tiesus ruožas su pastoviu išilginiu nuolydžiu;
- Horizontalioji kreivė su pastoviu išilginiu nuolydžiu;
- Tiesus ruožas su vertikaliosiomis kreivėmis;
- Horizontaliųjų ir vertikaliųjų kreivių derinys.

Kiekvienas iš šių derinių turi savų pliusų ir minusų ir projektuotojas turi suprasti, koks kelio vaizdas gali susidaryti derinant tam tikrus kelio elementus tarpusavyje. Praktiniame vadove [4] kiekvienas iš šių elementų derinių aprašomas atskirai, išskiriant pagrindinius pavojus, kurie gali susidaryti:

- Tiesus ruožas su pastoviu išilginiu nuolydžiu užtikrina pakankamai gerą matomumą, tačiau ilga tokio kelio atkarpa gali būti labai nuobodi ir monotoniška, kas gali turėti įtakos vairuotojo koncentracijai.
- Kelio posūkis su pastoviu išilginiu nuolydžiu esant pakankamai dideliame kreivės spinduliui užtikrina gerą kelio ir kelio aplinkos matomumą, tačiau elementai (atitvarai, kelio ženklai ir t.t.) įrengti tokio posūkio vidinėje dalyje gali gerokai apriboti matomumą.
- Tiesus kelio ruožas su įgaubta vertikaliąja kreive užtikrina gerą tolimesnio kelio matomumą, tačiau trumpos įgaubtos kreivės gali sukurti lūžtančio kelio įspūdį, gali atrodyti, jog kelias išlinksta, nors jis yra tiesus.
- Derinant tiesų ruožą su išgaubta vertikaliąja kreive reikia skirti daug dėmesio kelio matomumui, kadangi esant nedideliame išgaubtos kreivės spinduliui gali susidaryti nematomos zonos. Horizontaliųjų ir vertikalųjų kreivių deriniai tai dažniausiai pasitaikantys ir daugiausiai problemų sukeliantys deriniai. Paprastai horizontaliosios ir įgaubtos vertikaliosios kreivės derinys yra pakankamai geras, užtikrina gerą matomumą, tačiau jeigu horizontaliosios kreivės spindulys nedidelis, vairuotojas gali būti per daug savimi pasitikintis ir teisingai neįvertinti šio posūkio, todėl derėtų kreives projektuoti didesniais, nei minimalūs reikalavimai nustato, spinduliais. Kai horizontalioji kreivė derinama su išgaubta vertikaliąja kreive, reikia labai atsargiai parinkti kreivių parametrus, nes esant mažiems spinduliams ženkliai blogėja kelio matomumas. Vienas pavojingiausių derinių, kurių reikia vengti yra išgaubtos vertikaliosios kreivės derinys su dviem skirtingų krypčių horizontaliosiomis kreivėmis ir toks derinys galimas tik tada, kai užtikrinamas kelio krypties pasikeitimo matomumas.

Nors praktinis vadovas [4] nepateikia jokių tikslų skaitinių reikšmių, kokių dydžių kreives patartina derinti tarpusavyje, nepateikia perspektyvinių vaizdų, tačiau suteikia projektuotojui daug patarimų, kuriais vadovaujantis turėtų būti suprojektuojama saugi, suderinta trasa.

Pagrindinis kelio trasos derinimo principas, kad būtų užtikrinamas kelio matomumas vairuotojui, o norint užtikrinti pakankamą kelio matomumą, reikia žinoti jo ribines vertes. Praktiniame vadove pateikiamos minimalios matomumo reikšmės važiuojant tiesiu keliu ir minimalios matomumo reikšmės važiuojant link kelio posūkio. Projektuojant kelio trasą labai aktualus yra kelio matomumas artėjant prie posūkio. Minimalios matomumo reikšmės esant tam tikram projektiniam greičiui artėjant prie posūkio pateikiamos 1.4 lentelėje.

1.4 lentelė. Kelio matomumas artėjant prie kelio posūkio [4]

Projektinis greitis, km/h	Kelio matomumas prieš posūkį		Matoma kelio posūkio dalis		Bendras kelio matomumas	
	Laikas, s	Atstumas, m	Laikas, s	Atstumas, m	Laikas, s	Atstumas, m
60	1	20	2	35	3	50
80	1,75	40	3	65	4,75	105
100	2	55	3	85	5	140

Lentelėje (1.4 lentelė) bendras matomumas išskiriamas į dvi sudedamąsias dalis: kelio matomumą prieš posūkį ir matomą kelio posūkio dalį. Matoma kelio posūkio dalis reikalinga tam, kad vairuotojas galėtų laiku pamatyti artėjantį posūkį, o tam tikras kelio matomumas prieš posūkį reikalingas tam, kad pamatęs kelio posūkį vairuotojas spėtų laiku sureaguoti į besikeičiančią kelio trasą. Kuo didesnis važiavimo greitis, tuo šie atstumai turi būti ilgesni. Važiuojant 60 km/h greičiu tinkamai ir laiku sureaguoti į artėjantį kelio posūkį vairuotojui reikia 3 sekundžių ir 50 metrų kelio matomumo, o važiuojant 100 km/h greičiu jam jau reikia 5 sekundžių ir 140 m kelio matomumo. Ir šis laikas yra tik tam, kad jis pamatytų artėjantį kelio posūkį, posūkio pradžią ir suprastų, jog jam gali tekti sumažinti greitį, kad gali reikėti pakoreguoti savo važiavimo kryptį. Projektuojant kelio trasą turi būtų laikomasi šių, lentelėje (1.4 lentelė) pateiktų kelio matomumo reikšmių, kad būtų užtikrinama pakankamai gerai matoma artėjančio kelio posūkio pradžia.

1.2.2. Vašingtono valstijos transporto departamento kelių tinklo projektavimo ir tobulinimo taisyklių rinkinio apžvalga (WSDOT „Design manual“ [5])

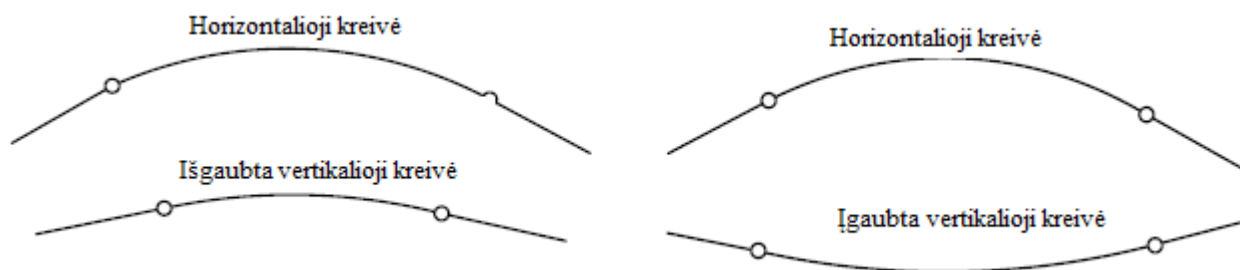
Pasak Vašingtono valstijos transporto departamento kelių tinklo projektavimo ir tobulinimo taisyklių rinkinio (WSDOT „Design manual“ [5]) (toliau taisyklių rinkinys) kelio trasos, taip pat kaip ir jau anksčiau nagrinėtame projektavimo vadove [4], horizontalus ir vertikalus profiliai negali būti projektuojami atskirai. Šis taisyklių rinkinys [5] pirmą kartą išleistas dar 1999 metais ir nuo tada kiekvienais metais vis atnaujinamas pritaikant jį prie besikeičiančio eismo, transporto apkrovų, infrastruktūros įrengimo galimybių. Šis taisyklių rinkinys [5] numato kelių tinklo plėtros strategiją, metodus ir reikalavimus kelių tinklui plėsti ir tobulinti Vašingtono valstijoje Jungtinėse Amerikos Valstijose esantiems užmiesčio keliams. Taisyklės sudarytos iš 17 skirtingų skyrių ir vienas iš jų yra apie kelio geometriją („Division 12 – Geometrics“ [5]), kuriame vienas iš poskyrių yra apie sklandų vertikalios ir horizontalios kelio trasos suderinimą. Kelio trasa turi būti projektuojama taip, kad užtikrintų gerą matomumą, tolygų važiavimo greitį, kad būtų patrauklios išvaizdos ir kad užtikrintų efektyvų transporto eismą [5]. Kaip ir prieš tai nagrinėtame praktiniame vadove [4], taip ir taisyklių rinkinyje [5] pirmiausia pateikiamos apibendrintos taisyklės, nurodančios, ko reikia vengti projektuojant kelio trasą, kokiems trasos elementų deriniams esant

susidaro kelio trūkumai, kaip jų išvengti. Pateikiami nurodymai, kuriais reikėtų vadovautis derinant horizontalų ir vertikalų kelio trasos profilį [5]:

- Vertikaliosios kreivės suderintos su horizontaliosiomis kreivėmis suteikia keliui sklandumo pojūtį ir bet koks išilginio profilio nesuderinimas su horizontaliosiomis kreivėmis gali sudaryti sąlygas atsirasti nematomoms zonoms;
- Negalima pradėti ar pabaigti horizontaliosios kreivės ties išgaubtos vertikaliosios kreivės viršūne ar netoli jos, nes esant tokiam kreivių derinimui vairuotojas gali laiku nepastebėti kelio posūkio pradžios ar pabaigos, o tai labai pavojinga, ypač naktį. Pageidautinas toks kreivių derinimas, kai horizontalioji kreivė prasideda anksčiau nei išgaubta vertikalioji kreivė ir baigiasi toliau nei vertikalioji kreivė;
- Stengtis neprojektuoti didelio posūkio kampo horizontaliųjų kreivių ryškiose įgaubtose vertikaliosiose kreivėse, nes toks trasos elementų derinys sumažina kelio trasos matomumą ir tokioje situacijoje nereikalingai iškreipiamas kelio vaizdas;
- Kai kelias sudarytas iš dviejų skirtingų krypčių eismo juostų, turi būti užtikrinamas pakankamas aplenkimo matomumas (tam tikra dalis viso kelio ruožo) ir dažnai aplenkimo matomumo užtikrinimas yra svarbesnis nei kreivių derinimas. Tokiu atveju reikia stengtis trasą projektuoti kuo ilgesnėmis tiesėmis, kuriose būtų užtikrinamas geras matomumas;
- Ties sankryžomis stengtis horizontaliąsias ir vertikaliąsias kreives projektuoti kuo lėkštesnes, didesnio spindulio, kad būtų užtikrinamas pakankamai saugus kelio matomumas ir vairuotojai, prireikus galėtų laiku pristabdyti ar sustoti;
- Projektuojant kelio trasą svarbu nepamiršti kiek galima daugiau pritaikyti kelią prie esamo kraštovaizdžio, sukuriant patrauklų kelią.

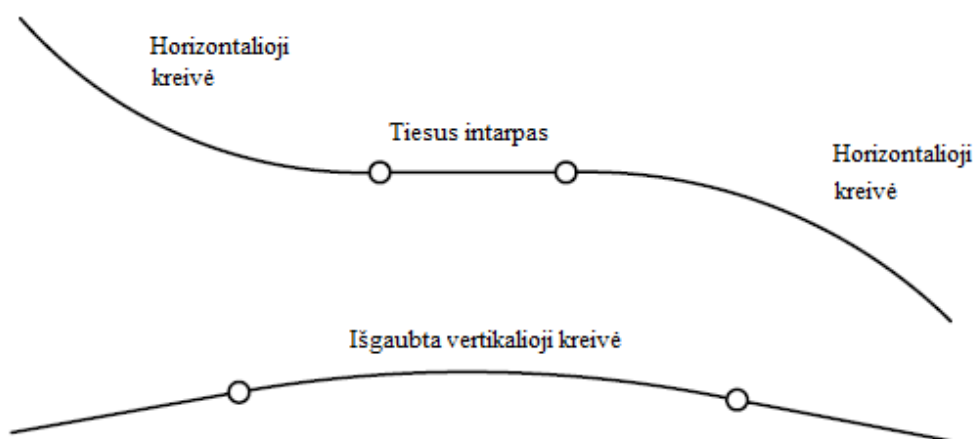
Kadangi vien naudojantis šiais patarimais suprojektuoti kelio trasą yra sudėtinga, papildomai pateikiamos ir schemas, nurodančios pagrindinius kelio trasos elementų derinius, kartu su komentarais apie šiuos derinius. Pateikiami tokie deriniai:

- Horizontaliosios ir vertikaliosios (išgaubtos arba įgaubtos) kreivės sutapatinimas (1.5 pav.). Sutapatinant kreives, kad jų viršūnės būtų viename taške, sukuriami maloni, sklandi kelio trasos išvaizda, užtikrinamas geras kelio matomumas;



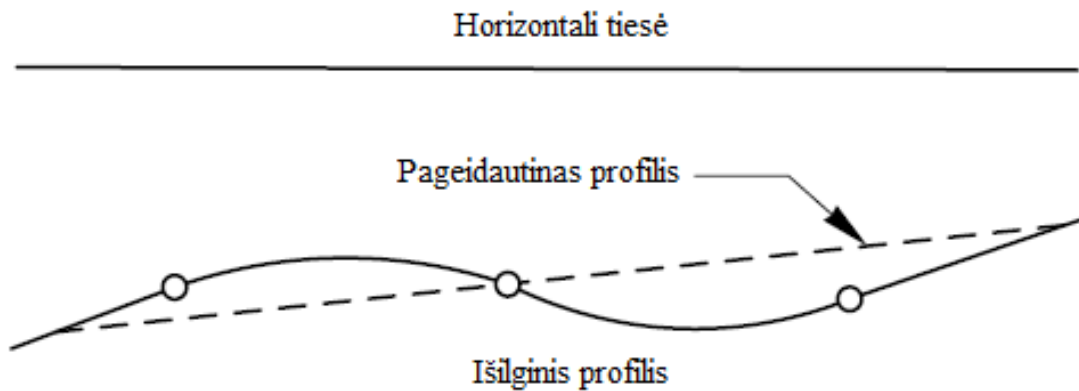
1.5 pav. Horizontaliųjų ir vertikalųjų kreivių sutapatinimas [5]

- Trumpas tiesus intarpas tarp dviejų horizontaliųjų skirtingų kryptių kreivių išgaubtoje vertikaliojoje kreivėje (1.6 pav.). Esant tokiam deriniui, kai horizontaliųjų kreivių pasikeitimo vieta yra išgaubtos vertikaliosios kreivės viršūnėje, antroji kreivė, jos pradžios vieta, jos dydis tampa menkai matomas. Taip pat trumpas tiesus intarpas per trumpas išvystyti sklandžiam viražo pasikeitimui ir viražo nulinė riba (vieta, kur kelio skersinis nuolydis pasidaro 0 %) bus ties išgaubtos vertikaliosios kreivės viršūne, tai neužtikrins pakankamai gero vandens nuvedimo nuo kelio dangos.



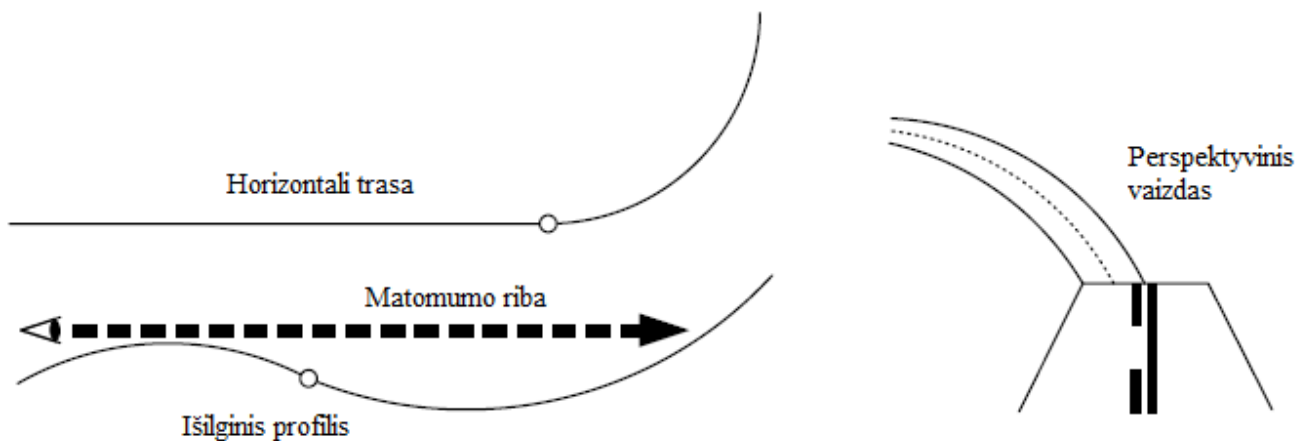
1.6 pav. Trumpas tiesus intarpas tarp dviejų horizontaliųjų skirtingų kryptių kreivių išgaubtoje vertikaliojoje kreivėje [5]

- Banguotas išilginis kelio profilis tiesiame ruože (1.7 pav.). Esant tiesiam kelio trasos ruožui reikia vengti išilginio profilio pasikeitimų, lūžių, nedidelių kalvų, nes susidaro įdubos, nematomos zonos. Reikia stengtis, kiek įmanoma, išilginį profilį išlyginti.



1.7 pav. Išilginis profilis tiesiame ruože [5]

- Sutrūkusio kelio efektas (1.8 pav.). Toks kelio trasos vaizdas susidaro, kai horizontaliosios kreivės pradžia ir tam tikra jos dalis yra nematoma, prasideda už vertikaliosios kreivės viršūnės, o horizontaliosios kreivės tęsinys yra matomas. Susidaro įduba, nematoma zona, kurioje prasideda kreivė, vairuotojas važiuodamas negali teisingai įvertinti artėjančios kreivės, pasirinkti tinkamo greičio, nes nemato kreivės pradžios, taip pat sulūžusio ir kažkur pradingstančio kelio vaizdas vairuotojui yra papildomas nereikalingas trikdys. Vairuotojas turi jaustis užtikrintas, visada matyti, kokie kelio pasikeitimai artėja, turi spėti juos įvertinti.



1.8 pav. Sutrūkusio kelio efektas [5]

Norint tinkamai suprojektuoti kelio trasą ir užtikrinti pakankamą kelio matomumą, visų pirma, reikia žinoti, kokios ribinės matomumo reikšmės, esant tam tikroms sąlygoms. Taisyklių rinkinyje pateikiami reikalavimai sustojimo matomumui tiesiuose ruožuose, įgaubtose kreivėse, išgaubtose kreivėse, aplenkimo matomumui. Visa tai pateikiama lengvai suprantamuose grafikuose, lentelėse su skaitinėmis matomumo vertėmis, rekomendacijomis. Išnagrinėjus kelių techninį reglamentą [1] buvo padaryta išvada, jog matomumo ribinės vertės nustatymas iš pateikto sustojimo matomumo grafiko yra netikslus. Taisyklių rinkinyje pateikiamas ne tik grafikas su sustojimo matomumo vertėmis, bet ir lentelė su skaitinėmis

matomumo vertėmis. Kadangi taisyklių rinkinys išleistas Jungtinėse Amerikos Valstijose, matomumas matuojamas pėdomis, o greitis myliomis per valandą. Kad būtų paprasčiau suprasti matomumo ribines vertes ir projektinius greičius jie paversti į metrus ir kilometrus per valandą (1.5 lentelė). Lentelėje pateikiami tam tikri projektiniai greičiai, jie susiję su taisyklių rinkinyje reglamentuojamomis kelio kategorijomis ir kelio paskirtimi. Pateiktiems greičiams, pateikiamos sustojimo matomumo minimalios reikšmės, esant tam tikriems išilginiams nuolydžiams. Iš lentelės galima labai lengvai ir tiksliai išsirinkti reikiamą matomumo reikšmę, jei tikslaus greičio ar išilginio nuolydžio nėra, reikia interpoliuoti. Lentelėje matyti (1.5 lentelė), kad esant neigiamam išilginiam nuolydžiui (nuokalnė) sustojimo matomumas reikalingas didesnis, nei tokio paties išilginio nuolydžio įkalnėje, ir kuo didesnis projektinis greitis, tuo sustojimui reikalingas didesnis atstumas.

1.5 lentelė. Sustojimo matomumo reikšmės [5]

Projektinis greitis, km/h	Sustojimo matomumas, m						
	Nuolydis						
	Iki 3 %	3%	-3%	6%	-6%	9%	-9%
40	47	45	48	44	50	43	53
48	61	61	62	56	66	55	69
56	76	72	78	70	83	68	87
64	93	88	96	85	101	82	108
72	110	105	115	101	122	98	130
81	130	123	136	118	144	114	155
89	151	143	158	137	169	132	181
97	174	164	182	157	194	151	209
105	197	187	208	178	222	171	239
113	223	210	235	201	251	192	272
121	250	235	264	224	283	215	306
129	277	262	294	249	315	238	342

Nors ir lentelėje (1.5 lentelė) pateikta daug skaitinių matomumo verčių, tačiau projektuojant kelią išilginis nuolydis, taikantis prie reljefo sąlygų, dažniausiai kinta labai įvairiai ir jo reikšmės būna labai įvairios, todėl kiekvieną kartą interpoliuoti būtų nepatogu. Tam, kad būtų išvengiama interpoliavimo kiekvieną kartą, kai išilginis nuolydis nesutampa su pateiktais lentelėje (1.5 lentelė), pateikiama formulė (1 formulė) sustojimo matomumui skaičiuoti.

$$S = 1,47 \cdot v \cdot 2,5 + \frac{v^2}{30 \left(0,347826 + \left(\frac{G}{100} \right) \right)}; \quad (1)$$

Čia:

S – sustojimo matomumas, ft (pėdos);

v – projektinis greitis, mph (mylios per valandą);

G – išilginis nuolydis, %.

Pasinaudojant šia formule (1 formulė) galima tiksliai apskaičiuoti koks sustojimo matomumas reikalingas esant vienam ar kitam projektiniam greičiui ir išilginiam nuolydžiui. Toks matomumo nustatymo būdas pats tiksliausias ir turint tokią formulę grafikai iš kurių matomumo reikšmę galima nustatyti tik apytiksliai, tampa nebereikalingi.

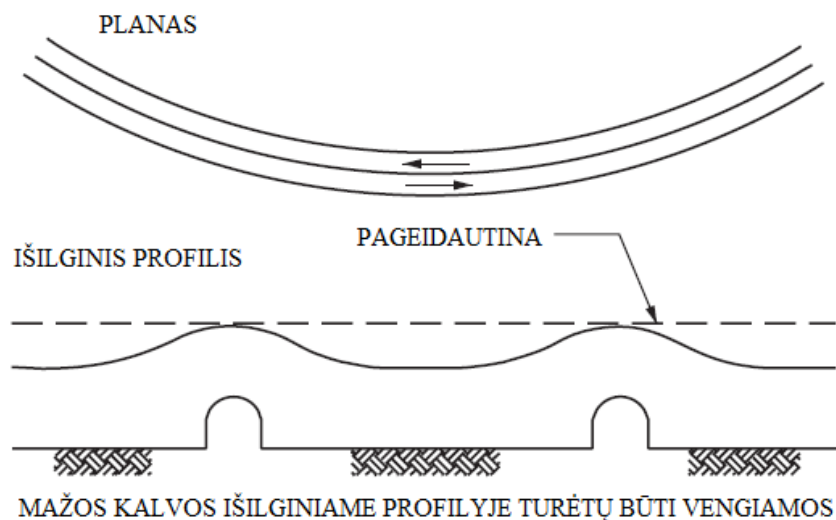
1.2.3. AASHTO Kelių ir gatvių projektavimo strategijos apžvalga (AASHTO „A policy on geometric design of highways and streets“[10])

Amerikos kelių transporto asociacija 2011 metais jau šestą kartą atnaujino ir išleido kelių ir gatvių projektavimo strategijų rinkinį (toliau žaliaji knyga), dažnai dar vadinamą tiesiog žaliaja knyga. Ši asociacija įsikūrusi nuo 1914 metų, joje dirba atstovai iš 50 valstijų, Kolumbijos ir Puerto Riko. Tai ne pelno siekianti organizacija, kurios pagrindinis tikslas skatinti nacionalinės transporto sistemos plėtrą ir priežiūrą. Žalioji knyga vienas iš daugelio šios asociacijos išleistų knygų, susijusių su kelių infrastruktūros plėtra, kurioje pateikti naujausi nurodymai kelių projektuotojams, kaip turėtų būti projektuojami, plėtojami ir tobulinami keliai ir gatvės.

Žaliojoje knygoje, taip kaip ir prieš tai nagrinėtuose užsienio šalių dokumentuose, yra išskiriamas atskiras skyrius vertikalios ir horizontalios kelio trasos derinimui, kadangi tai yra svarbi kelio projektavimo stadija ir nuo to tiesiogiai priklauso eismo saugumas, važiavimo greitis, ekonominiai ir laiko nuostoliai. Šis skyrius yra daugiau patariamasis, nei nurodantis, kaip tiksliai turėtų būti derinama kelio trasa, kad projektuotojas suprastų kaip svarbu teisingai suderinti kelio trasą, kas nuo to priklauso ir kokie galimi nuostoliai neteisingai suprojektavus kelio trasą. Nurodymuose pabrėžiama [10]:

- Vertikalus ir horizontalus kelio paviršiai turėtų būti projektuojami kartu;
- Pakeisti kelio geometriją, kai kelias jau pastatytas, yra labai sudėtinga ir labai brangu;
- Reikia labai atsargiai rinktis vietas ir kelio elementus, kuriuose taupyti, nes tai vėliau gali sudaryti daug didesnių ekonominių nuostolių dėl avarijų ar laiko nuostolių, nei bus sutaupyta;
- Geras kelio trasos suderinimas palengvina automobilio valdymą, pagerina važiavimo greičio tolygumą, pagerina kelio vaizdą ir visa tai dažniausiai pasiekama be papildomų išlaidų;
- Visi kelio trasos projektavimo, kreivių derinimo darbai turėtų būti daromi ir tvarkomi dar neprasidėjus statinio statybai;
- Norint suprojektuoti sklandžią kelio trasą, pirmiausia ji turėtų būti išnagrinėta panaudojant teorines žinias, o po to dar turėtų būti tikrinama vizualinių priemonių pagalba.

Žaliojoje knygoje taip kaip ir ankščiau nagrinėtame taisyklių rinkinyje [5] labai panašiai pateikiami nurodymai, kuriais reikėtų vadovautis derinant horizontalų ir vertikalų kelio trasos profilį ir lygiai taip pat, papildomai pateikiamos ir schemos, nurodančios pagrindinius trasos elementų derinius, kartu su komentarais apie šiuos derinius. Viena iš pateiktų schemų, kaip turėtų būti projektuojamas išilginis kelio profilis, kai išilgins profilis nelygus ir jame yra nedidelių kalvų, pavaizduotas 1.9 pav. Schemoje pabrėžiama, kad kai išilginis profilis nelygus, vertėtų jį išlyginti, taip sukuriant daug sklandesnį kelio vaizdą ir taip pat dažnu atveju tokie pakeitimai nereikalauja papildomų lėšų, nes tai, kas vienoje vietoje nukasama, gali būti panaudojama kitoje kelio vietoje.



1.9 pav. Kelio trasos projektavimas, kai išilginis profilis nelygus [10]

Šis dokumentas nuo kitų skiriasi tuo, kad yra nurodoma kelio trasą projektuoti atsižvelgiant į vizualinį kelio vaizdą, siekiama paaiškinti, kad tik naudojant trijų dimensijų kelio vaizdą galima tiksliai įvertinti ir užtikrinti gerą kelio kreivių suderinimą, pakankamą matomumą. Visuose nagrinėtuose šaltiniuose vienaip ar kitaip yra paminimi punktai, kaip turėtų būti derinama trasa, kaip neturėtų, pateikiamos schemos, paaiškinimai, tačiau nei viename iš jų nebuvo nurodymo tikrinti kelio trasą naudojant kelio vizualizaciją. Tinkamai suprojektuoti kelio trasą galima tik tada, kai yra įsivaizduojama, kaip ji atrodys realybėje, o tą padaryti turint tik brėžiniuose matomą informaciją beveik neįmanoma. Vizualizacija šiuo atveju labai naudingas ir patikimas dalykas, kuriuo pasinaudojant galima labai lengvai nustatyti vietas, kur kelio trasai reikalingi pakeitimai. Žaliojoje knygoje pateikiama tam tikra seka, kuria vadovaujantis projektuotojas turėtų nagrinėti kelio trasą:

- Kelio trasos kreivių derinimams turi prasidėti nuo preliminaros kelio trasos, kuri po to atliekant tyrimą ir nustatant trūkumus keičiama;

- Pirmiausia trasos tikrinimas atliekamas lyginant tarpusavyje kelio plano ir išilginio profilio brėžinius, kad būtų galima susidaryti vaizdą, kaip atrodo projektuojama kelio trasa. Pageidautina, kad plano ir išilginio profilio masteliai sutaptų, kad būtų paprasčiau įsivaizduoti būsimą kelią;
- Tam, kad būtų lengviau susidaryti trijų dimensijų kelio vaizdą, siūloma panaudoti tam tikras kompiuterines programas, leidžiančias sukurti bendrą trijų dimensijų kelio paviršiaus vaizdą;
- Atlikus pirminę vizualinę analizę, jeigu reikia, keičiamas horizontalus, vertikalus arba abu kelio profiliai, siekiant kelio trasą tinkamai suderinti.

Paskutinėje trasos derinimo stadijoje, kurioje keičiama kelio trasa, derėtų naudotis tam pritaikyta programine įranga, nes atsiranda daug skaičiavimų ir modeliavimų: kreivių parametrų keitimas, nuolydžių parametrų keitimas, viražų keitimas, kelio matomumo skaičiavimai, projekcinio greičio užtikrinimas. Naudojant tam pritaikytą programinę įrangą viskas atliekama daug greičiau, tiksliau ir patikimiau, taip pat galima atlikus pakeitimus iš karto pamatyti ar situacija pagerėjo, ar reikia ir toliau keisti kelio parametrus. Toks kelio trasos projektavimas ir tobulinamas turėtų būti atliekamas visiems keliams, nepriklausomai ar tai aukštos, ar žemos kategorijos kelias, ar gatvė, ar tai naujo kelio statyba, ar seno remontas – visuose keliuose turi būti užtikrinamas tinkamas kelio trasos suderinimas.

Tinkamai suderinti kelio trasos ir užtikrinti pakankamo kelio matomumo nepavyks, jei nebus žinomos matomumo vertės, todėl žaliojoje knygoje, kaip ir daugumoje kitų nagrinėtų projektavimo taisyklių, pateikiami nurodymai kelio matomumui užtikrinti. Nagrinėjami keli matomumo atvejai:

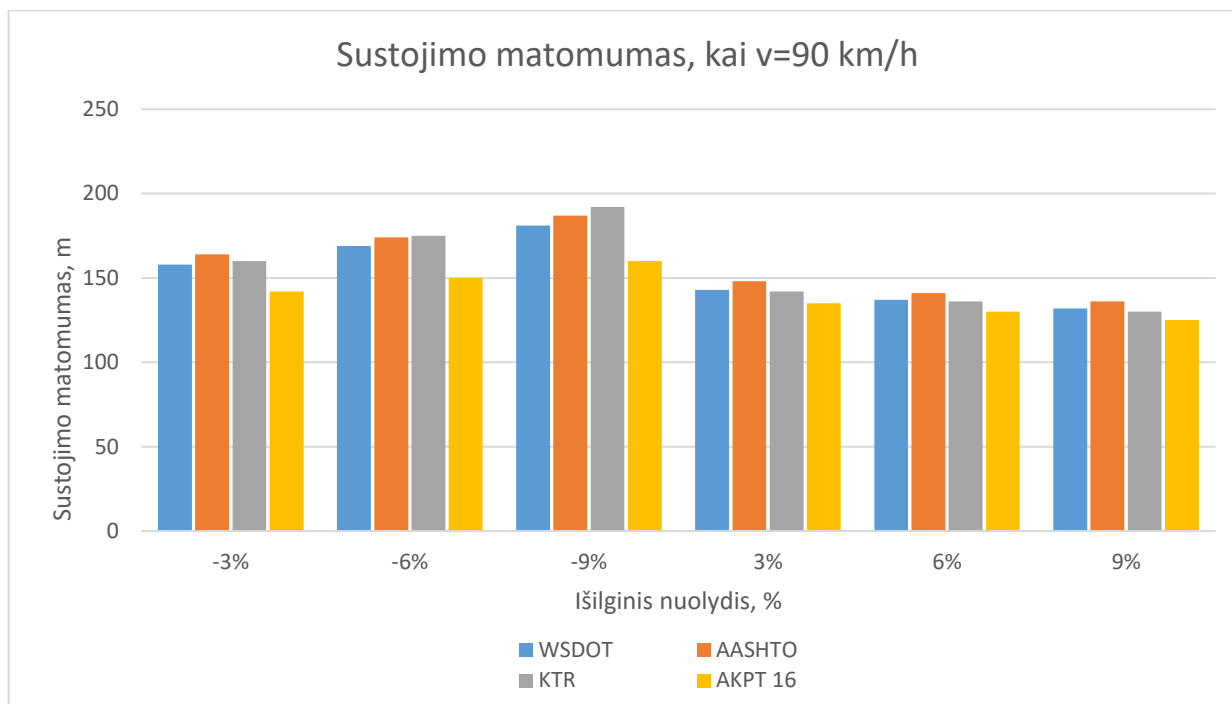
- Sustojimo matomumas;
- Sprendimui atlikti reikalingas matomumas;
- Aplenkimo matomumas.

Sustojimo matomumas susideda iš atstumo nuvažiuojamo per reakcijos laiką ir atstumo, kuris nuvažiuojamas stabdant. Kiekvieno vairuotojo reakcijos laikas skirtingas ir gali kisti labai įvairiai, tačiau vidutiniškas stabdymo reakcijos laikas yra 2,5 s [10], toks laikas reikalingas vairuotojui susivokti, kad reikia stabdyti ir paspausti stabdžio pedalą. Priklausomai nuo projekcinio greičio, atstumas nuvažiuojamas reakcijos laiku gali kisti nuo 13,9 m (kai greitis 20 km/h) iki 90,4 m (kai greitis 130 km/h) [10]. Antra sudedamoji sustojimo matomumo dalis, atstumas, kurį automobilis nuvažiuoja stabdydamas ir šis atstumas priklauso nuo važiavimo greičio bei išilginio nuolydžio. Žaliojoje knygoje, labai panašiai kaip jau prieš tai nagrinėjame taisyklių rinkinyje [5], pateikiama lentelė su matomumo vertėmis ties tam tikrais projekciniais greičiais, esant tam tikroms išilginio profilio vertėms (1.6 lentelė), tik žaliojoje knygoje visa informacija (greitis, sustojimo matomumas) pateikiami metrinėje sistemoje. Lentelėje matyti, kad didėjant išilginiam nuolydžiui nuokalnėje reikalingas vis didesnis atstumas sustoti ir atvirkščiai nuokalnėje.

1.6 lentelė. Sustojimo matomumo reikšmės [10]

Projektinis greitis, km/h	Sustojimo matomumas, m					
	Nuokalnė			Įkalnė		
	3%	6%	9%	3%	6%	9%
20	20	20	20	19	18	18
30	32	35	35	31	30	29
40	50	50	53	45	44	43
50	66	70	74	61	59	58
60	87	92	97	80	77	75
70	110	116	124	100	97	93
80	136	144	154	123	118	114
90	164	174	187	148	141	136
100	194	207	223	174	167	160
110	227	243	262	203	194	186
120	263	281	304	234	223	214
130	302	323	350	267	254	243

Visuose nagrinėtuose Lietuvos ir užsienio šalių normatyviniuose dokumentuose pateikiamos matomumo reikšmės esant tam tikram projektiniam greičiui ir projektiniam išilginiam nuolydžiui, tačiau visuose dokumentuose pateiktos reikšmės šiek tiek skiriasi. Tą galima matyti 1.10 pav., kuriame pateiktos matomumo reikšmės, kai išilginis nuolydis 3 %, 6 %, 9 %, -3 %, -6 % ir -9 %, o projektinis greitis 90 km/h. KTR ir AKPT 16 projekte matomumo reikšmės parinktos apytiksliai iš grafikų, o WSDOT ir AASHTO pateikiamos tikslios reikšmės iš lentelių. Iš visų nagrinėtų dokumentų išsiskiria tik AKPT 16 projektas, kuriame pateiktos matomumo reikšmės esant neigiamam išilginiam nuolydžiui (nuokalnė) ženkliai mažesnės, nei kituose normatyvuose, taip pat esant teigiamam išilginiam nuolydžiui (įkalnė), matomumas nežymiai mažesnis nei kitų. Sustojimo matomumo reikšmių skirtumas, kurį matome 1.10 pav. galėjo atsirasti dėl skirtingų koeficientų, apskaičiuojant matomumą, tačiau skirtumai nėra dideli ir galima teigti, kad visuose normatyvuose pateiktos matomumo reikšmės yra vienodai tikslios.



1.10 pav. Sustojimo matomumo reikšmių palyginimas (sudaryta autoriaus)

1.3. Išvados

Išnagrinėjus Lietuvos automobilių kelių projektavimą reglamentuojančius dokumentus nustatyta, kad šiuo metu galiojančiame kelių techniniame reglamente [1] horizontaliosios ir vertikaliosios kreivės atskirai nagrinėjamos pakankamai plačiai, tačiau šių kreivių derinimui tarpusavyje skiriama labai mažai dėmesio, šis kelio projektavimo etapas nėra tinkamai apibrėžtas. Taip pat pastebėta, kad nėra sąryšio tarp horizontaliųjų ir vertikalųjų kreivių derinimo ir matomumo reikalavimų, nors kelio matomumas priklauso nuo gerai suderintos kelio trasos.

Išnagrinėjus užsienio šalių norminius dokumentus ir rekomendacinio pobūdžio leidinius nustatyta, kad optiškai sklandžios kelio trasos projektavimui visuose nagrinėtuose šaltiniuose yra pateikiama daug reikalavimų, schemų, kaip tai turėtų būti daroma, pavyzdžių, kaip atrodo vienoks ar kitoks derinimo atvejis, patarimų, ko vengti derinant horizontaliąsias ir vertikaliąsias kreives.

Šio baigiamojo darbo tikslas – išnagrinėti pasirinktus rajoninės reikšmės žvyrkelių asfaltavimo projektus, atlikti jų vertinimą ir pateikti pasiūlymus ir rekomendacijas eismo saugumui pagerinti.

Atlikus literatūros apžvalgą patikslinti darbo uždaviniai:

- 1) Atlikti vairuotojų apklausą;
- 2) Atlikti vizualinį kelio tyrimą pasirinktiems rajoninės reikšmės žvyrkelių asfaltavimo projektams, panaudojant kelio paviršiaus modelį;

- 3) Atlikti kelio matomumo nustatymą pasirinktiems rajoninės reikšmės žvyrkelių asfaltavimo projektams, panaudojant kelio paviršiaus modelį;
- 4) Atlikti horizontalių ir vertikalų kelio parametrų įtakos kelio matomumui modeliavimą, panaudojant kelio paviršiaus modelį;
- 5) Gautus tyrimo rezultatus apibendrinti ir pateikti rekomendacijas eismo saugumo situacijai pagerinti.

2. TYRIMO METODIKA

2.1. Vairuotojų apklausos tyrimo metodika

Nagrinėjant kelią turi būti atsižvelgiama ne tik į paties kelio elementus, bet ir į kelią supančią aplinką, į eismo dalyvius, kurie naudojami keliu. Nors kelio sistema susideda iš daug dalių, vairuotojas yra pati pavojingiausia šios sistemos dalis, todėl nagrinėjant kelią ir eismo saugumo būklę būtina atsižvelgti į vairuotoją ir jo reakciją į kelio aplinką, kelio elementus, eismo saugumo gerinimo priemones.

Siekiant išsiaiškinti, koks vairuotojų požiūris į nagrinėjamą temą, sudaryta apklausa, kurioje dalyvavo tik vairuotojai, turintys galiojantį vairuotojo pažymėjimą. Apklausos tikslas – nustatyti ar vairuotojai laikosi kelių eismo taisyklių, ar susiduria su atvejais, kai kelio trasa ir išilginis profilis nesuderinti tarpusavyje, kokia vairuotojų reakcija į tam tikrus kelio elementus, ar yra tekę pakliūti į pavojingas situacijas dėl nesuderintos kelio trasos. Apklausa anoniminė ir atlikta internetu, „Apklausa.lt“ [21] sistemoje. Apklauką sudaro 13 klausimų su pateiktais atsakymo variantais. Apklausos klausimai ir galimi atsakymo variantai pateikti 2.1 lentelėje.

2.1 lentelė. Apklausos klausimai ir galimi atsakymų variantai (sudaryta autoriaus)

Klausimo nr.	Klausimas	Atsakymo variantai
1.	2.	3.
1.	Ar turite vairuotojo pažymėjimą?	1. Taip; 2. Ne.
2.	Koks jūsų vairavimo stažas?	1. Iki 2 metų; 2. 2 – 5 metai; 3. 5 – 10 metų; 4. Virš 10 metų.
3.	Kokiais keliais dažniausiai tenka važinėti?	1. Miesto gatvėmis; 2. Intensyvaus eismo keliai (automagistralės, greitkeliai, didelio intensyvumo magistraliniai keliai); 3. Vidutiniškai intensyvūs keliai (krašto keliai); 4. Nedidelio intensyvumo keliai (rajoniniai keliai, vietinės reikšmės keliai, privažiavimo keliai).

1.	2.	3.
4.	Ar laikotės kelio ženklų, kurie apriboja leistiną važiavimo greitį, reikalavimų?	1. Taip, visada laikausi leistino važiavimo greičio apribojimų; 2. Sumažinu savo važiavimo greitį, bet ne iki tiek kiek prašo kelio ženklas; 3. Laikausi, bet ne visada; 4. Retai, dažniausiai važiuoju tokiu greičiu, koks man atrodo tinkamas.
5.	Ar laikotės horizontaliojo kelio ženklavimo reikalavimų, kurie draudžia lenkimo manevrus (prasto matomumo zonos, prieš sankryžas...)?	1. Taip, laikausi; 2. Laikausi, bet ne visada; 3. Nesilaikau.
6.	Ar važiuodami ir pamatę išpėjamuosius kelio ženklus, kurie žymi posūkio kryptį į kairę arba dešinę, iš naujo įvertinate savo važiavimo greitį?	1. Taip, iš naujo įvertinu savo greitį ir jei reikia sumažinu jį; 2. Kartais sumažinu greitį, kartais važiuoju tokiu pat greičiu; 3. Ne, važiuoju tokiu pat greičiu; 4. Nesu matęs tokių kelio ženklų.
7.	Ar yra tekę kelio vingyje stabdyti, keisti automobilio važiavimo kryptį dėl prasto kelio matomumo (neaiški kelio trajektorija; važiuojant pasimatė kliūtis, kurios prieš tai nesimatė; supratote, kad tokiu greičiu saugiai neįveiksite posūkio)?	1. Taip, yra tekę; 2. Ne, nėra tekę; 3. Nepamenu.
8.	Ar yra tekę susidurti su tokiu atveju kai nematote toliau besidriekiančio kelio (susidaro prasmengančio kelio išpūdis, nematoma zona)?	1. Taip, yra tekę; 2. Ne, nėra tekę; 3. Nepamenu.
9.	Ar yra tekę susidurti su tokiu atveju, kai važiuojant į įkalnę nematote kelio vingio, kuris prasideda už įkalnės, pradžios?	1. Taip, yra tekę; 2. Ne, nėra tekę; 3. Nepamenu.
10.	Ar yra tekę kelio vingyje dėl mažo kelio posūkio spindulio išvažiuoti į priešpriešinio eismo juostą?	1. Taip, yra tekę; 2. Ne, nėra tekę; 3. Nepamenu.
11.	Ar yra tekę atlikti automobilio lenkimą kelio vingyje?	1. Taip, yra tekę; 2. Ne, nėra tekę; 3. Nepamenu.
12.	Ar yra tekę atlikti automobilio lenkimą įkalnėje?	1. Taip, yra tekę; 2. Ne, nėra tekę; 3. Nepamenu.
13.	Kaip manote kiek svarbu vairuotojui iš anksto matyti kelio vingio, įkalnės pradžia, pabaigą, kad spėtų pasirinkti saugų važiavimo greitį?	1. Labai svarbu; 2. Svarbu; 3. Nemanau, kad tai svarbu.

Atlikus apklausą visų respondentų, kurie į pirmą klausimą atsakė neigiamai atsakymai atmetami, kadangi, kaip jau minėta, apklausos auditorija vairuotojai, turintys galiojantį vairuotojo pažymėjimą.

2.2. Žvyrkelių asfaltavimo projektų analizės tyrimo metodika

Lietuvos automobilių kelių tinklą sudaro 21252 km valstybinės reikšmės kelių, iš jų labai didelę dalį, net 69% (14579 km) sudaro rajoninės reikšmės keliai [3]. Pasak Lietuvos automobilių kelių direkcijos prie Susisiekimo ministerijos internetiniame puslapyje pateiktos informacijos, apie pusę šių kelių sudaro keliai su žvyro danga (2.2 lentelė). Lentelėje (2.2 lentelė) matyti, jog rajoninės reikšmės keliai su žvyro danga sudaro apie trečdalį viso Lietuvos automobilių kelių tinklo ir todėl kiekvienais metais stengiamasi išasfaltuoti kuo daugiau kelių su žvyro danga, taip pagerinant viso kelių tinklo būklę, sumažinant dulketumą, pagerinant eismo kokybės sąlygas. „Panaudojant Europos Sąjungos paramos bei Kelių priežiūros ir plėtros programos lėšas, per 2016–2017 metus numatoma asfaltuoti apie 591 kilometrą žvyrkelių Alytaus, Kauno, Klaipėdos, Marijampolės, Panevėžio, Šiaulių, Tauragės, Telšių, Utenos ir Vilniaus regionuose“ [3]. Asfaltuojamos bus žvyrkelių atkarpos tarp jau asfaltuotų kelio ruožų, dažniausiai nuo vienos gyvenvietės iki kitos, kad sujungti jau asfaltuotus kelių ruožus tarpusavyje. Kadangi rajoninės reikšmės keliai pasižymi prasta eismo saugumo būkle, vingiuotomis ir kalvotomis trasomis, o asfaltuojant žvyrkelius dažniausiai paliekama tokia pati kelio trasa, nuspręsta išnagrinėti tris asfaltavimo projektus, priklausančius 2016-2017 metų žvyrkelių asfaltavimo programai.

2.2 lentelė. Kelių dangos, 2015-05-01 [3]

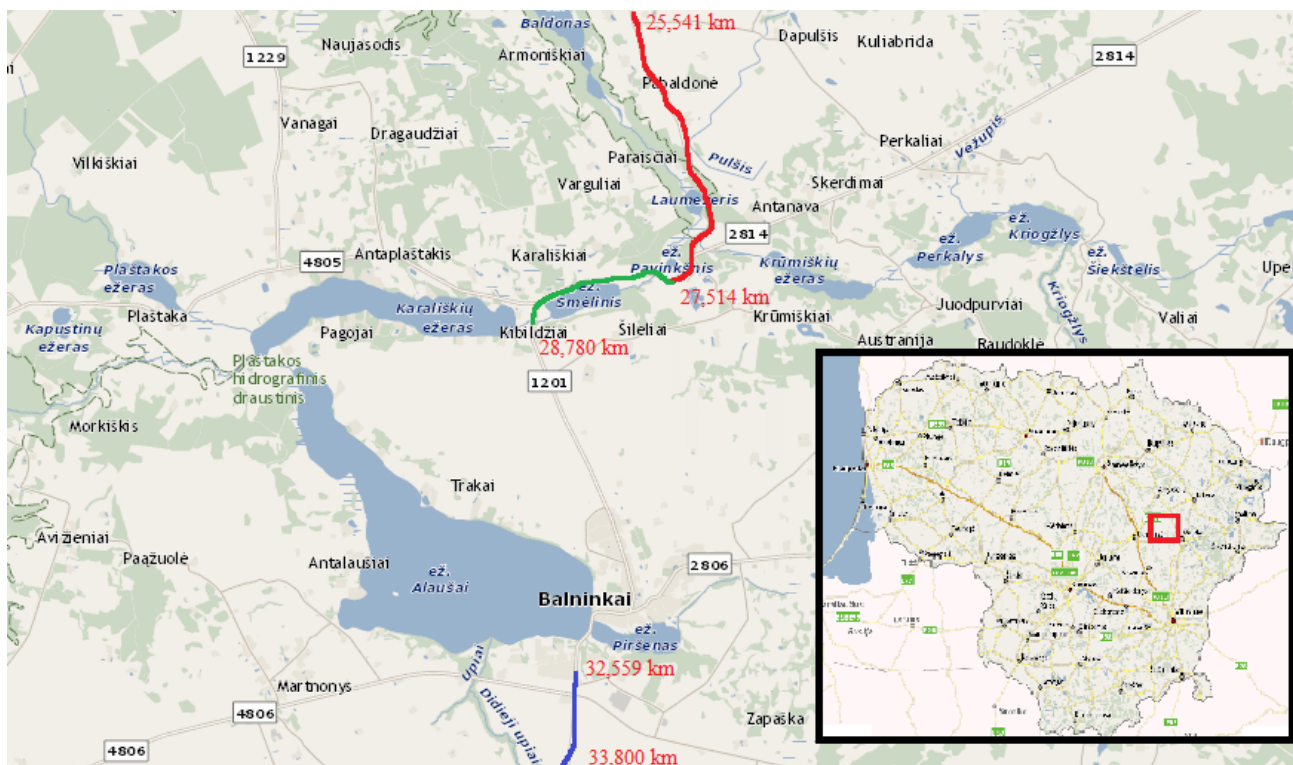
Dangos	Valstybinės reikšmės keliai			
	Magistraliniai	Krašto	Rajoniniai	Iš viso
Asfalto dangos	1686,124	4926,549	7372,076	13984,749
Cementbetonio dangos	59,883	-	1,371	61,254
Žvyro dangos	-	-	7198,593	7198,593
Grindinys	0,252	-	7,203	7,455
Iš viso	1746,259	4926,549	14579,243	21252,051

Pasirenkant tyrimo objektus buvo atsižvelgiama į horizontalų kelio trasos profilį (kuo daugiau vingių), išilginį kelio profilį (kuo daugiau kalvų, didelis išilginis nuolydis), esamą kelio trasos būklę (ar esamoje situacijoje yra kelio trūkumų atsirandančių dėl nesuderintos kelio trasos). Atsižvelgiant į šiuos kriterijus buvo pasirinkti trys, tam pačiam valstybinės reikšmės rajoniniam keliui Nr. 1201 Anykščiai-Kurkliai-Balninkai-Želva priklausantys, kelio ruožų asfaltavimo projektai, kuriuos numatyta įvykdyti 2016-2017 metais:

- Valstybinės reikšmės rajoninio kelio Nr. 1201 Anykščiai-Kurkliai-Balninkai-Želva ruožo nuo 25,541 iki 27,514 km kapitalinio remonto projektas (toliau pirmas ruožas);
- Valstybinės reikšmės rajoninio kelio Nr. 1201 Anykščiai-Kurkliai-Balninkai-Želva ruožo nuo 27,514 iki 28,780 km kapitalinio remonto projektas (toliau antras ruožas);

- Valstybinės reikšmės rajoninio kelio Nr. 1201 Anykščiai-Kurkliai-Balninkai-Želva ruožo nuo 32,559 iki 33,800 km kapitalinio remonto projektas (toliau trečias ruožas).

Visi pasirinkti kelio ruožai išsidėstę rytinėje Lietuvos dalyje, Utenos apskrityje. Pirmas (25,541-27,514 km) ir trečias (32,559-33,800 km) ruožai Molėtų rajone, antras (27,514-28,780 km) ruožas Anykščių rajone. Visų trijų ruožų išsidėstymas Lietuvos žemėlapyje pavaizduotas 2.1 paveiksle.



2.1 pav. Pasirinktų kelio ruožų vieta Lietuvos žemėlapyje (sudaryta autoriaus)

Visiems ruožams numatytas kapitalinis remontas. Pasak KTR „Kelio kapitalinis remontas – statybos rūšis, kai pagal tai kelio kategorijai reglamentu nustatytus reikalavimus: visiškai atstatomi ar sustiprinami kelio konstrukciniai elementai kartu su visais kelio kompleksui priklausančiais statiniais, įrenginiais ar juos įrengiant naujai; Iki 30 % keičiama kelio trasa plane, didinant horizontaliųjų kelio kreivių spindulius ar atliekant vietinius jo ištiesinimo darbus papildomai skirtame žemės sklype“ [1]. Visuose nagrinėtuose projektuose numatyta pilnai pakeisti kelio konstrukciją, pakeisti kelio dangos konstrukcijos tipą iš žvyro dangos į asfaltbetonio dangą, minimaliai pakoreguoti kelio trasą, atstatyti, įrengti ar sutvirtinti vandens nuvedimo įrenginius, kelio ženklus, apsauginius kelio atitvarus, įrengti asfaltuotas nuovažas, sankryžas, įrengti autobusų sustojimo aikštes.

Nagrinėjant pasirinktus kapitalinio remonto projektus labiausiai atsižvelgiama į kelio trasos elementus, kelio išilginio profilio elementus, jų suderinamumą tarpusavyje ir eismo saugumo priemonės. Pirmiausia nagrinėjama horizontali kelio trasa ir jos elementai, tada išilginis kelio profilis ir jo elementai, įrengiamos eismo saugumo priemonės ir galiausiai horizontaliųjų ir vertikalųjų kreivių derinimas.

2.3. Kelio vizualinio tyrimo, panaudojant kelio paviršiaus modelį, tyrimo metodika

Informacinis pastato modeliavimas (toliau BIM) – tai procesas, kurio metu yra kuriama ir valdoma visa statinio informacija, visais jo gyvavimo ciklais, nuo pirminės projekto koncepcijos iki jo nugriovimo. Į BIM įeina visa statinio projektinė geometrija, erdvinis sąryšis su aplinka, apšvietimo analizė, geografinė informacija, kiekiniai ir kokybiniai pastato komponentų skaičiavimai, energetiniai pastato rodikliai ir jų optimizavimas ir taip pat visa statinio infrastruktūra (vanduo, elektra, ryšiai ir t.t.) ir visa tai yra perteikiama trimatėje erdvėje [9]. Naudojant BIM ženkliai mažinamos statinio projektavimo, darbų organizavimo, statybos laikas ir sąnaudos, todėl šiuolaikinėje statyboje skaitmeniniam modeliavimui skiriamas vis didesnis dėmesys. Kelių infrastruktūra nėra išimtis, čia jau ne vieni metai sėkmingai kuriami ir įvairiems tikslams naudojami kelio ir kelio statinių modeliai. Trimačiai modeliai naudojami projektinių sprendinių vizualizacijų kūrimui, suprojektuotų objektų vizualizacijų kūrimui, kelio ir jo statinių statybos darbų palengvinimui, pagreitinimui ir kaštų sumažinimui. Nors skaitmeniniai kelio modeliai kuriami labiau orientuojantis į statybą, galima juos pritaikyti ir kitose srityse, tokiose kaip kelio eismo saugumo analizė. Kelio modelis kuriamas pagal realias geografines koordinates, pagal galiojančią aukščių sistemą, pagal suprojektuotus sprendinius, todėl dar kelio projektavimo etape, pasinaudojant trimačiu kelio paviršiaus modeliu, galima įvertinti suprojektuoto kelio eismo saugumo situaciją, kelio trasos horizontaliųjų ir vertikalųjų kreivių suderinimą, įvertinti ar užtikrinamas pakankamas sustojimo, aplenkimo matomumas.

Atliekant pasirinktų žvyrkelių asfaltavimo projektų analizę buvo naudojami kelio modeliai sukurti pagal Lietuvoje galiojančias koordinates ir aukščių sistemą, naudojant AUTOCAD CIVIL 3D 2017 programinės įrangos paketą. Kelio modelis sukurtas pagal visus projektinius sprendinius: parinktą kelio dangos konstrukciją, suprojektuotą ašį, išilginį profilį, kelio dangos viražus posūkiuose, griovių išilginius profilius. Patikrinimui buvo sukurtos kelio ruožų vizualizacijos iš vairuotojo perspektyvos, kad pamatyti, kokį vaizdą matys vairuotojas ir su kokiais kelio trūkumais jam teks susidurti važiuojant šiais kelio ruožais. Vizualizacijos sukurtos taip, lyg būtų važiuojama lengvuju automobiliu ir vairuotojo akių aukštis būtų 1,0 m virš važiuojamosios kelio dalies. Tokį atstumą, tikrinant kelio matomumą, reglamentuoja kelių techninis reglamentas: „lengvojo automobilio vairuotojo akių aukštis virš važiuojamosios dalies – 1,0 m“ [1]. Visų trijų kelio ruožų analizė atliekama laikantis šių reikalavimų ir tvarkos:

1. Kelio trasos patikrinimas atliktas važiuojant kelio trasa pirmyn, o po to priešinga puse atgal, kadangi kelias dviejų skirtingų eismo krypčių juostų.
2. Ieškoma kelio trūkumų (nematoma zona, nematoma posūkio pradžia, kelio lūžis, pakilimas, prasmegimas, nutrūkstantis kelias ir t. t.)
3. Apytiksliai nustatoma, kokiam atstumui likus kelio trūkumas pradingsta ir vairuotojas vėl pilnai mato tolimesnį kelią (matomumo nustatymas).

4. Nustatoma, kokią įtaką vairavimo elgsenai ir eismo saugumui turi susidaręs kelio trūkumas (pagal AKPT 16 esančią 17 lentelę [2]).

2.4. Kelio matomumo nustatymo, panaudojant kelio paviršiaus modelį, tyrimo metodika

Kelio matomumas yra vienas iš svarbiausių veiksnių, įtakančių eismo saugumą. Keliuose reikalingas toks mažiausias matomumas, kad vairuotojas galėtų: laiku sustoti prieš pastebėtą kliūtį; saugiai aplenkti kitą transporto priemonę; saugiai važiuoti per sankryžas ir pėsčiųjų perėjas [1]. Kelio matomumo matavimo schema pagal KTR [1] nėra sudėtinga, tačiau pritaikyti ją analizuojant tik brėžinius yra sudėtinga ir netikslu, tačiau tą galima lengvai padaryti panaudojant trijų dimensijų kelio paviršiaus modelį ir programinę įrangą, kuria jis sukuriamas.

Atliekant pasirinktų žvyrkelių asfaltavimo projektų analizę buvo naudojami kelio paviršiaus modeliai sukurti pagal Lietuvoje galiojančias koordinates ir aukščių sistemą, naudojant AUTOCAD CIVIL 3D 2017 programinės įrangos paketą, kuris leidžia nustatyti kelio matomumą. Kelio matomumas buvo nustatomas pasinaudojant KTR pateikta kelio matomumo skaičiavimo schema [1]:

- Lengvojo automobilio vairuotojo akių aukštis virš važiuojamosios dalies – 1,0 m;
- Kliūties aukštis virš važiuojamosios dalies – 0,15 m;
- Priešpriešinės transporto priemonės aukštis virš važiuojamosios dalies – 1,0 m.

Pagal šiuos duomenis buvo sumodeliuoti kelio matomumo skaičiavimai kiekvienam keliui, analizuojant kelio matomumą kas 10 metrų.

2.5. Tiriamų kelio ruožų trasos modeliavimo tyrimo metodika

Atlikus Lietuvos ir užsienio šalių kelių projektavimą reglamentuojančių dokumentų apžvalgą pastebėta, kad niekur nėra išskiriama, kokių dydžių horizontaliosios ir vertikaliosios kreivės turėtų būti derinamos tarpusavyje, kad užtikrinti pakankamą kelio matomumą ir sklandų važiavimą. Taip pat, atlikus pasirinktų žvyrelių asfaltavimo projektų analizę nustatyta, kad dažniausiai pasitaikantis kelio trūkumas, nematomos zonos, kelio pakilimai, prasmegimai, kai neužtikrinamas pakankamas kelio matomumas saugiam važiavimui.

Siekiant išsiaiškinti, kokio dydžio kreives patartina derinti tarpusavyje, sudarytas kelio paviršiaus modelis, kurio pagalba modeliuojami skirtingi kreivių derinimo variantai: skirtingi kelio posūkio kampai, skirtingos horizontaliosios kreivės, skirtingas išilginis nuolydis, skirtingos vertikaliosios kreivės. Kadangi kreivių derinimo atvejų gali būti labai daug, nagrinėjamas vienas iš jų, kai horizontaliosios ir vertikaliosios kreivės viršūnės sutampa ir horizontalioji kreivė prasideda anksčiau nei vertikalioji kreivė. Tai vienas iš idealiausių kreivių derinimo atvejų, tačiau net tokiu atveju gali būti neužtikrinamas pakankamas kelio matomumas. Taip pat, nagrinėjami atvejai, kai išilginis profilis kyla į viršų

(projektuojama išgaubta vertikaloji kreivė). Ankstesnio tyrimo metu nustatyta, kad šiuo atveju susidaro daugiausia nematomų zonų.

Modeliuojami tam tikri kelio trasos variantai, su šiais kelio trasos parametrais:

- Kai kelio posūkio kampas 0; 45; 90 laipsnių;
- Kai horizontaliosios kreivės spindulys kelio posūkyje $R=300;500$ m;
- Kai išilginis kelio nuolydis $i=1; 2; 3; 4; 5$ %;
- Kai vertikaliosios kreivės spindulys $R=500;1000;1500;2000;3000;4000;5000$ m;
- Vairuotojo akių aukštis virš važiuojamosios kelio dalies 1,0 m;
- Kliūties aukštis virš važiuojamosios kelio dalies 0,15 m;
- Modeliuojamas kelias atitinka valstybinės reikšmės rajoninio V kategorijos kelio parametrus (6 m pločio važiuojamoji dalis, važiuojamosios dalies skersinis nuolydis 2,5 %, 1 m pločio kelkraščiai, kelkraščių nuolydis 8,0 %).

Siekiant išsiaiškinti ar tarpusavyje dera toks trasos derinys ir užtikrinamas pakankamas kelio matomumas, kiekvienu iš modeliuotų atvejų nustatomas kelio matomumas vairuotojo akimis. Visas modeliavimas atliktas naudojant AUTOCAD CIVIL 3D 2017 programinės įrangos paketą.

2.6. Išvados

Šiame skyriuje išsamiai aprašyta visų atliekamų tyrimo dalių metodika suteikia galimybę išsamiai ir visapusiškai išnagrinėti pasirinktus tyrimo objektus:

- Vairuotojų apklausa suteikia duomenų apie tai, koks yra visuomenės požiūris į saugų eismą kelyje, saugaus eismo priemones, kokių reikalavimų jie linkę laikytis kelyje, į ką atkreipia dėmesį vairuodami;
- Žvyrkelių asfaltavimo projektų nagrinėjimas leidžia išsiaiškinti, kokiems kelio parametrams projektuojant skiriama nepakankamai dėmesio, koku principu projektuojami kelių ruožai, kokių reikalavimų laikomasi, o kokių ne, kokie galimi kelio trasos trūkumai;
- Vizualinis kelio tyrimas, panaudojant kelio paviršiaus modelį, panaudojant specialų programinės įrangos paketą, užtikrina greitą, vaizdingą ir tikslų kelio trūkumų identifikavimą nagrinėjamuose objektuose;
- Kelio matomumo nustatymas, panaudojant kelio paviršiaus modelį, sukurtą naudojant specialią programinę įrangą, leidžia tinkamai ir tiksliai įvertinti nagrinėjamų objektų kelio sustojimo matomumą, išskirti vietas, kur neužtikrinamas pakankamas kelio sustojimo ar aplenkimo matomumas;
- Tiriamų kelio ruožų modeliavimas suteikia galimybę įvertinti daug skirtingų kelio trasos variantų, nustatyti, koks kelio sustojimo ar aplenkimo matomumas susidaro vienu ar kitu atveju, kokia kelio matomumo priklausomybė nuo kelio išilginio nuolydžio, horizontaliųjų ir vertikalųjų kreivių dydžių.

3. TYRIMO REZULTATAI

3.1. Vairuotojų apklausos tyrimo rezultatai

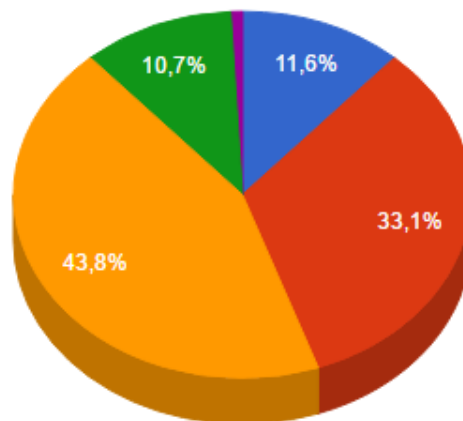
Atliktoje apklausoje dalyvavo 120 respondentų iš įvairių Lietuvos (Vilnius, Kaunas, Klaipėda, Panevėžys, Mažeikiai, Rokiškis, Vievis, Ukmergė, Lentvaris, Švenčionys ir kiti) ir užsienio šalių (Hamburg – Vokietija, Alborg – Danija, Windes, Cambridge, Oakham, Lisburn – Jungtinė karalystė ir kiti) miestų. Atlikus apklausą visų respondentų, kurie į pirmą klausimą atsakė neigiamai, atsakymai atmesti.

Pirmieji apklausos klausimai orientuoti į tai, kad išsiaiškinti apklaustųjų vairavimo patirties apimtį ir kelių, kuriais jie daugiausia važinėja, tipą. Didžiosios dalies apklaustųjų (47,1% apklaustųjų) vairavimo stažas 5-10 metų, antros didžiausios dalies (24 % apklaustųjų) 2-5 metai, tai nurodo, kad vairuotojai turi nemažai vairavimo patirties ir apklausos duomenys yra patikimi. Nors didžioji dalis apklaustųjų (69,4 %) paminėjo, kad dažniausiai važinėja miestų gatvėmis (nes gyvena ir dirba miestuose), visiems iš jų tenka važiuoti ir ne tik miestų gatvėmis, bet ir įvairių kategorijų valstybinės reikšmės keliais.

Tolimesni klausimai (4-6 apklausos klausimai) nukreipti į tai, kad išsiaiškinti ar vairuotojai laikosi kelių eismo taisyklių, susijusių su kelių eismo saugumo užtikrinimu posūkiuose, mažo matomumo zonose. Daugiau nei pusė apklaustųjų (76,9 % visų respondentų) pripažino, jog pilnai nesilaiko leistino greičio apribojimų. Dalis iš jų sumažina savo važiavimo greitį, bet ne tiek, kiek nustato vertikalūs kelio ženklai, kita dalis laikosi greičio apribojimų, bet ne visada (4 klausimo apklausos rezultatai pateikti 3.1 pav.). Priešinga situacija su horizontaliuoju kelio ženkliniu draudžiančiu lenkimo manevrus. Didžioji dalis (62,8 % visų respondentų) teigia, kad laikosi lenkimo ribojimą žyminčio horizontaliojo ženklavimo reikalavimų. Taip pat beveik pusė apklaustųjų (56,2 %) teigia, jog pamatę kelio ženklus, nurodančius posūkio kryptį į dešinę ar į kairę, iš naujo įvertina savo važiavimo greitį ir jeigu reikia jį sumažina. Leistinas važiavimo greitis dažnu atveju ribojamas mažo spindulio horizontaliosiose kreivėse, stacionariose įkalnėse, nuokalnėse, vietose, kur kelio parametrai neatitinka minimalių leistinų normų, kartais greitis netgi mažinamas nuo 90 km/h iki 30 km/h, tačiau kaip rodo apklausos rezultatai, vairuotojai linkę rizikuoti ir ignoruoja šiuos draudimus.

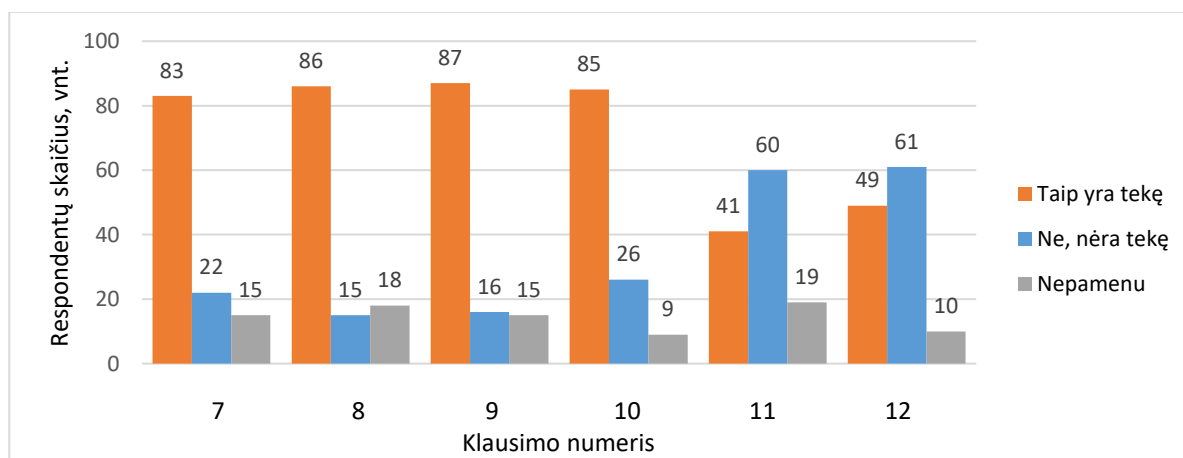
4. Ar laikotės kelio ženklų, kurie apriboja leistiną važiavimo greitį, reikalavimų?

- Taip, visada laikausi leistino važiavimo greičio apribojimų
- Sumažinu savo važiavimo greitį, bet ne iki tiek kiek prašo kelio ženklas
- Laikausi, bet ne visada
- Retai, dažniausiai važiuoju tokiu greičiu, koks man atrodo tinkamas
- Neatsakė į klausimą



3.1 pav. Ketvirto apklausos klausimo rezultatai [12]

Likusi dalis klausimų susiję su nesklandžia kelio trasa ir eismo saugumu joje. Norint, kad vairuotojas važiuotų saugiai ir būtų užtikrintas savo veiksmams, kelias turi būti aiškus ir iš anksto atpažįstamas. Kadangi visiems šiems klausimams (7-12 klausimai) buvo pateikti vienodi galimi atsakymų variantai, visi klausimų atsakymai apibendrinti viename grafike, kuris pavaizduotas 3.2 pav. (klausimai pateikti 2.1 poskyryje 2.1 lentelėje). Iš grafiko matyti, kad labai didelė dalis respondentų yra susidūrę su pavojingomis situacijomis atsirandančiomis dėl nesklandžios kelio trasos. Vairuotojams yra tekę stabdyti, keisti važiavimo trajektoriją kelio vingyje dėl prasto matomumo (83 apklaustieji), yra tekę susidurti su atveju, kai nemato toliau besidriekiančio kelio (86 apklaustieji), yra tekę susidurti su atveju, kai važiuojant į įkalnę nemato kelio vingio pradžios (87 apklaustieji), yra tekę dėl mažo posūkio spindulio išvažiuoti į priešpriešinio eismo juostą (85 apklaustieji), yra tekę atlikti lenkimo manevrą kelio vingyje (41 apklaustasis), yra tekę atlikti lenkimo manevrą įkalnėje (49 apklaustieji). Išsamūs apklausos rezultatai pateikti 1 priede.



3.2 pav. Apibendrinti apklausos 7-12 klausimų rezultatai (sudaryta autoriaus)

Atsižvelgus į apklausos rezultatus galima daryti išvadą, kad kelio trasos nesuderinimas yra dažnas atvejis, nes didžioji dalis respondentų yra susidūrę su kelio trūkumais (nematomos zonos, pakilimai, prasmegimai, nematoma posūkio pradžia ir kiti), respondentams yra tekę dėl šių trūkumų priimti skubotus sprendimus, keisti savo važiavimo greitį, trajektoriją ir taip pat išsiaiškinta, kad posūkiuose kelio ženklais sumažinus greitį eismo saugumas nebus užtikrinamas, nes dauguma vairuotojų ignoruoja greičio apribojimo kelio ženklus ir važiuoja didesniu greičiu.

3.2. Žvyrkelių asfaltavimo projektų analizės tyrimo rezultatai

Horizontalios kelio trasos tyrimo rezultatai

Horizontalios kelio trasos suprojektuotos pagal esamą kelio trajektoriją, tik minimaliai ją pakeičiant. Naujos kelio trasos suprojektuotos naudojant tieses ir horizontaliąsias kreives su arba be pereinamųjų kreivių, taip pat tam tikrose vietose, dažniausiai tiesiuose ruožuose įterpiami lūžio taškai be horizontaliųjų kreivių. Nors ir tose vietose, kur įterpiamas lūžis, kelio trasos posūkio kampas nėra didelis, derėtų įterpti horizontaliąją kreivę, kad kelias būtų sklandesnis. Didžioji dalis įterptų kreivių tenkina minimalius reikalavimus pagal toje vietoje esantį projektinį važiavimo greitį, tačiau yra ir tokių vietų, kur įterpiamos per mažo spindulio kreivės. Pirmajame ruože įterptos dvi per mažo spindulio horizontaliosios kreivės: kreivėje, kurios spindulys $R=400$ m, numatytas 90km/h greitis (pagal KTR minimalus kreivės spindulys esant tokiam projektiniam greičiui $R=600$ m [1]), kreivėje, kurios $R=200$ m numatytas 70 km/h greitis (pagal KTR minimalus kreivės spindulys esant tokiam projektiniam greičiui $R=300$ m [1]). Antrame ruože įterpta tik viena reikalavimų neatitinkanti kreivė, kurios spindulys $R=40$ m, nors numatomas projektinis greitis 30 km/h (pagal KTR minimalus kreivės spindulys esant tokiam projektiniam greičiui $R=50$ m [1]). Trečiame ruože, taip pat kaip ir antrame, reikalavimų neatitinkanti kreivė įterpiama tik vieną kartą: kreivėje, kurios spindulys $R=500$ m, numatytas 90km/h greitis (pagal KTR minimalus kreivės spindulys esant tokiam projektiniam greičiui $R=600$ m [1]). Mažo spindulio posūkiuose, atsižvelgiant į posūkio kreivės spindulio dydį ir projektinį greitį toje kreivėje, suprojektuoti kelio dangos viražai. Visi viražai tenkina reikalavimus ir kinta nuo 2,5% iki 4,0 %. Nors ir dauguma horizontaliųjų kreivių tenkina minimalius reikalavimus, bet tai yra pasiekama mažinant projektinį važiavimo greitį. Projektinis važiavimo greitis visose trasose kinta, tiesiuose ruožuose greitis didesnis (90-70 km/h), kreivėse sumažinamas (90-70-50-30 km/h). Projektinis važiavimo greitis visuose trijuose ruožuose labai nepastovus ir važiavimas bus nemalonus, teks dažnai greitėti ir stabdyti, važiavimas bus netolygus. Išsami informacija apie visų kelio ruožų projektuojamas trasas pateikiama 3.1 lentelėje.

3.1 lentelė. Horizontalios kelio trasos analizė pasirinktuose žvyrkelių asfaltavimo projektuose (sudaryta autoriaus)

Eil. Nr.	Kelio ruožas	Horizontaliųjų kreivių spinduliai, m	Projektinis greitis, km/h	Viražų dydžiai, %
1.	25,541-27,514 km	60; 70; 80; 110; 150; 170; 200; 300; 400; 440; 450; 600; 800; 1000	90; 70; 50; 30	2,5; 3,0; 4,0
2.	27,514-28,780 km	40; 310; 100; 600; 2000	90; 70; 50; 30	2,5; 3,0; 4,0
3.	32,559-33,800 km	500;600	90	4,0

Išilginis kelio profilis

Išilginiai kelio ruožų profiliai projektuojami pagal esamą išilginį profilį, pagal esamą reljefą, pagal esamas įkalnes ir nuokalnes, išlaikant tam tikrą darbų žymę (0,2-0,3 m). Išilginiai profiliai suprojektuoti naudojant įgaubtas, išgaubtas vertikaliąsias kreives ir lūžius, tačiau vertikaliųjų kreivių įterpiama labai nedaug, didžioji dalis išilginių profilių suprojektuota lūžiais. Tai yra daroma tam, kad būtų kuo labiau prisitaikoma prie esamo reljefo ir būtų išvengiama didelių žemės darbų. Lūžiai trasose įterpiami įvairiu dažnumu, tiesiuose ruožuose rečiau, kalvotose vietose lūžiai įterpiami netgi kas 10-20 metrų, tačiau taip suprojektuota trasa nenusižengia reikalavimams. Kelių techninis reglamentas teigia, kad „Rekonstruojamuose keliuose ekonomiškai pagrindus galima tiesių nejungti kreive, kai jų nuolydžių algebrinis skirtumas mažesnis kaip: 1 % – I, Ia II, IIa, III kategorijų keliuose, 2 % – IV, V, Va, Iv kategorijų keliuose ir 3 % – IIv, IIIv kategorijų keliuose“ [1]. Visuose išilginiuose profiluose, vietose kur įterpiami lūžiai, nuolydžių algebrinis skirtumas yra mažesnis nei 2 % ir tenkina šį reikalavimą. Išilginis kelio profilis visuose ruožuose kalvotas ir išilginis kelio nuolydis labai įvairus. Pirmame ruože išilginis nuolydis kinta nuo 0,1 iki 7,6 %. Ruože, kuriame išilginis nuolydis pakyla iki 7,6 %, projektinis greitis 70 km/h. Didžiausias maksimalus išilginis nuolydis, kai projektinis greitis 70 km/h gali būti 7 % [1]. Antrame ruože išilginis nuolydis kinta nuo 0,1 iki 10,8 %. Ruože, kuriame išilginis nuolydis pakyla iki 10,6 %, projektinis greitis 30 km/h. Didžiausias maksimalus išilginis nuolydis, kai projektinis greitis 30 km/h gali būti 9 % ir tik vietinės reikšmės keliuose [1]. Trečiame ruože išilginis nuolydis kinta nuo 0,5 iki 7,8 %. Ruože, kuriame išilginis nuolydis pakyla iki 7,8 %, projektinis greitis 90 km/h. Didžiausias maksimalus išilginis nuolydis, kai projektinis greitis 90 km/h gali būti 5% [1]. Visuose trijuose kelio ruožuose yra viršijamas maksimalus leidžiamas išilginis nuolydis, netgi esant sumažintam projektiniam greičiui. Išilginis nuolydis tiesiogiai įtakoja kelio matomumą ir esant tokiam dideliame išilginiame nuolydžiui ženkliai sumažės vairuotojo matomumas ir jam gali neužtekti atstumo sustoti atsiradus kliūčiai kelyje. Išsami informacija apie visų kelio ruožų projektuojamus išilginius profilelius pateikiama 3.2 lentelėje.

3.2 lentelė. Išilginio profilio analizė pasirinktuose žvyrkelių asfaltavimo projektuose (sudaryta autoriaus)

Eil. Nr.	Kelio ruožas	Minimalus nuolydis, %	Maksimalus nuolydis, %	Išgaubtų kreivių spinduliai, m	Išgaubtų kreivių spinduliai, m
1.	25,541-27,514 km	0,1	7,6	300;500; 750; 1000; 1200	300; 400; 1000
2.	27,514-28,780 km	0,1	10,6	300; 750; 1500	300
3.	32,559-33,800 km	0,5	7,8	-	-

Eismo saugumo priemonės

Siekiant užtikrinti saugų eismą projektuose numatyta pakeisti visus kelio ženklus naujais, apstatyti kelią signaliniais stulpeliais, įrengti apsauginius kelio atitvarus, įrengti reikalavimus atitinkančias autobusų sustojimo aikšteles su peronais. Įrengiami išpėjamieji kelio ženklai (išpėjantys apie artėjančią sankryžą, nurodantys posūkio kryptį, išpėjantys apie artėjančius vingius), pirmumą nurodantys kelio ženklai (nurodantys pirmumą sankryžose, nurodantys leidžiamo greičio dydį, greičio ribojimo pabaigą), nurodomieji kelio ženklai (nurodantys miestelių pradžią ir pabaigą, nurodantys autobusų sustojimų vietas, nurodantys kelio kilometražą). Pirmame ir antrame ruožuose ties posūkiais, kurių $R=60$ m ir $R=40$ m papildomai įrengiami išpėjamieji kelio ženklai, žymintys važiavimo kryptį į kairę, dešinę. Pasak vertikaliojo ženklinimo taisyklių „Ženklai Nr. 146 „Posūkio kryptis į dešinę“ ir Nr. 147 „Posūkio kryptis į kairę“ turi būti įrengiami ribotai matomo ar mažo spindulio (kai eismo saugumo koeficientas yra mažesnis už 0,6) kelio vingyje, ties važiuojamosios dalies susiaurėjimu, taip pat kelio remonto ar statybos darbų vietoje arba kai tai gali padidinti eismo saugumą“ [8]. Tyrimais nustatyta, kad šių ženklų įrengimas staigiam posūkyje sumažina įskaitinių eismo įvykių susidarymo galimybę 39%, o techninių 18% [6]. Signaliniai stulpeliai statomi ties nuovažomis, sankryžomis, pralaidomis ir ties atitvarų pradžia ar pabaiga. Horizontalusis kelio ženklinimas nėra rengiamas, nors horizontaliojo ženklinimo taisyklės teigia, kad „Ne gyvenvietėje esančiuose kelių ruožuose, kai važiuojamoji dalis yra 5,5 m pločio arba daugiau, eismo juostos atskiriamos siaura brūkšnine linija 1.5“ [7]. Apsauginiai kelio atitvarai, kartu su galiniais ir pradiniais elementais, įrengiami ties melioracijos grioviais, pralaidomis skersai kelią, ties aukštais pylimais ar pavojingose vietose.

Horizontaliųjų ir vertikaliųjų kreivių derinimas

Visuose trijuose kelio ruožuose gausu horizontaliųjų kreivių ir visų ruožų išilginiai profiliai kalvoti, todėl labai svarbu, kad horizontalus ir vertikalus profilis būtų suderinti tarpusavyje ir nesusidarytų kelio trūkumai. Visuose ruožuose kartojasi panašūs nesuderinti kelio trasos elementai. Vienas iš trūkumų, kuris pastebėtas visuose kelio ruožuose, tai nesutampančios vertikaliosios ir horizontaliosios kreivės. Patartina kreives sutapatinti, ar bent jau išdėstyti taip, kad kreivių viršūnės būtų pasistūmę nedideliu atstumu, tam, kad būtų užtikrinamas geras matomumas. Kitas trūkumas, kuris taip pat kartojasi visuose

nagrinėtuose ruožuose, tai horizontaliosios kreivės pradžia vertikaliosios kreivės viršūnėje arba jau už vertikaliosios kreivės viršūnės. Toks atvejis labai pavojingas, nes susidaro nematoma zona, kurioje prasideda posūkis ir vairuotojas negali pamatyti artėjančio kelio posūkio pradžios bei pasirinkti saugaus važiavimo greičio. Dar vienas trūkumas, kuris pastebėtas, tai duobėtas išilginis profilis tiesiuose ruožuose. Esant tokiam išilginiam profiliui gali susidaryti nematomos zonos. Taip pat gausu vietų, kur kelias gali atrodyti nesklandus dėl mažo spindulio horizontaliųjų kreivių, lūžių ir mažo spindulio vertikalųjų kreivių. Visi pastebėti trūkumai kelio ruožuose aprašyti 3.3 lentelėje.

3.3 lentelė. Kelio trūkumai pasirinktuose žvyrkelių asfaltavimo projektuose (sudaryta autoriaus)

Eil. Nr.	Kelio ruožas	Kelio trūkumai						
		Pakilimas	Prasmegimas	Lūžiai	Nematoma posūkio pradžia	Optiškai iškreiptas vaizdas	Išlenktas posūkis įduboje	Išlenktas posūkis viršukalnėje
1.	25,541-27,514 km	+	+	+	+	+	+	+
2.	27,514-28,780 km	+	+	+	+	+	+	+
3.	32,559-33,800 km	+	+	+	+	+	-	+

Visuose keliuose nustatyta nemažai kelio trasos derinimo trūkumų, kurie gali sukelti didelį pavojų eismo saugumui, sumažinti kelio matomumą, sukelti vairuotojui galimybę suklysti pasirenkant saugų važiavimo greitį, tačiau tai tik teorinis trūkumų išskyrimas. Esant skirtingiems kreivių spinduliams ir skirtingiems išilginio profilio nuolydžiams, tam tikrai atvejais trūkumai gali susidaryti, o kitais ne. Norint tiksliai įvertinti kelio trasos suderinimą, kelio trūkumus ir kiek jie iš tikrųjų įtakos eismo saugumą, reikia patikrinti kelio trasos perspektyvinį vaizdą. Tą galima padaryti pasinaudojant 3D kelio modeliu sukurtu pagal suprojektuotą kelio ašį ir išilginį profilį.

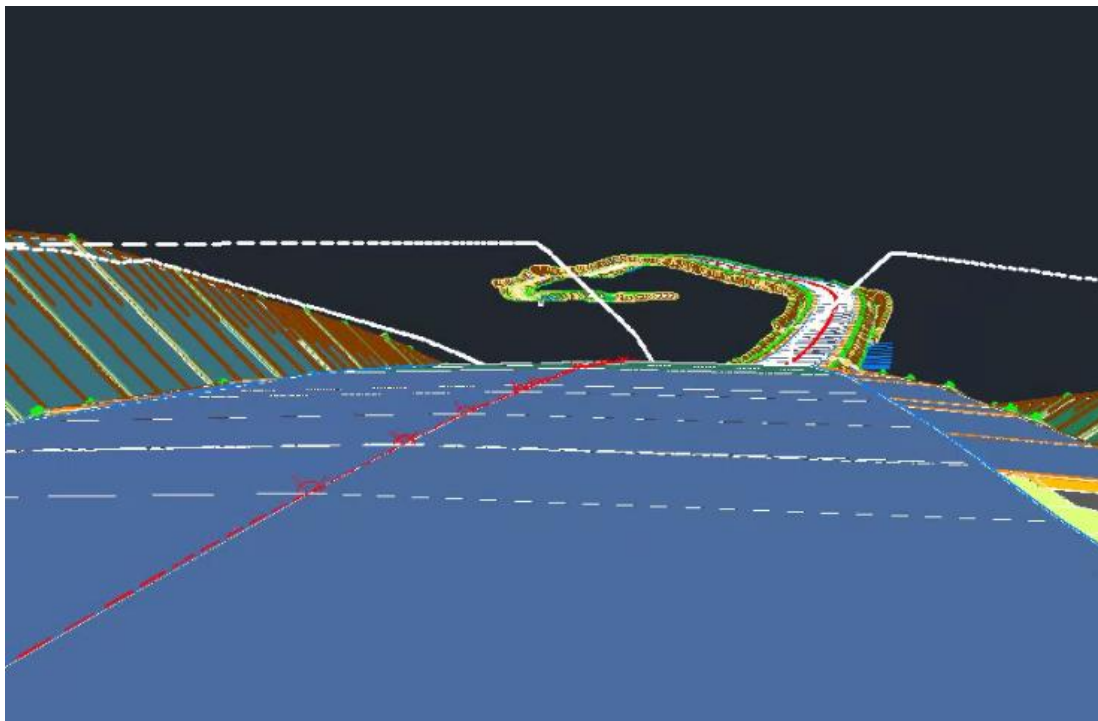
Atlikus pasirinktų asfaltavimo projektų analizę nustatyta, kad :

- Pirmajame ruože dvi, antrajame ir trečiajame ruože po vieną suprojektuotą horizontaliąją kreivę, neatitinka numatomo projekcinio greičio;
- Visuose kelio ruožuose nustatyta atvejų, kai išilginis nuolydis viršija maksimalias leistinas išilginio profilio reikšmes;
- Pirmajame ir antrajame ruožuose vertikaliais kelio ženklais mažinamas važiavimo greitis, greitis kinta nuo 90 iki 30 km/h;
- Nei viename iš trijų ruožų neprojektuojamas horizontalusis kelio ženklavimas;

- Išilginis profilis suprojektuotas naudojant labai daug lūžių, kurie dažnai įterpiami kas 10-20 metrų;
- Visuose trijuose kelio ruožuose nustatyta nemažai galimų kelio trūkumų (pakilimas, prasmegimas, nematoma zona, nematoma posūkio pradžia, išlenktas posūkis įduboje, viršukalnėje).

3.3. Kelio vizualinio tyrimo, panaudojant kelio paviršiaus modelį, tyrimo rezultatai

Atlikus vizualinę pirmojo kelio ruožo (25,541 – 27,514 km) analizę, važiuojant pirmyn ir atgal, nustatyta 17 (10 važiuojant pirmyn ir 7 važiuojant atgal) akivaizdžių kelio trūkumų. Nemažai trūkumų susidaro apytiksliai tose pačiose kelio trasos vietose važiuojant pirmyn ir atgal. Nustatyta, kad kelio trasoje susidaro daug nematomų zonų (viena iš užfiksuotų nematomų zonų pavaizduota 3.3 pav.), kuriose kelias prasmenga, dažnai nematoma artėjančio kelio posūkio pradžia, kelias atrodo nesklandus, neaiški kelio kryptis. Dažnu atveju nematoma zona pradingsta tik likus 30-40 m iki jos, neužtikrinamas saugus sustojimo matomumas. Esant tokiam mažam matomumui vairuotojas netgi važiuodamas didžiausiu leistinu greičiu neturės galimybės sustoti atsiradus kliūčiai nematomoje zonoje, taip pat prieš posūkį neturės laiko pasirinkti saugaus važiavimo greičio, nes tiesiog nematys, kad artėja kelio posūkis. Nepasirinkus saugaus greičio vairuotojas gali nuvažiuoti nuo kelio, išvažiuoti į priešpriešinio eismo juostą, susidurti su kliūtimi. Taip pat reikia nepamiršti, kad kelio ruože įterpiamos kreivės yra minimalių leistinų dydžių, o dažnai dėl per mažo įterpiamos kreivės spindulio važiavimo greitis mažinamas vertikaliais greičio ribojimo ženklais.



3.3 pav. Nematoma zona susidariusi pirmame kelio ruože (sudaryta autoriaus)

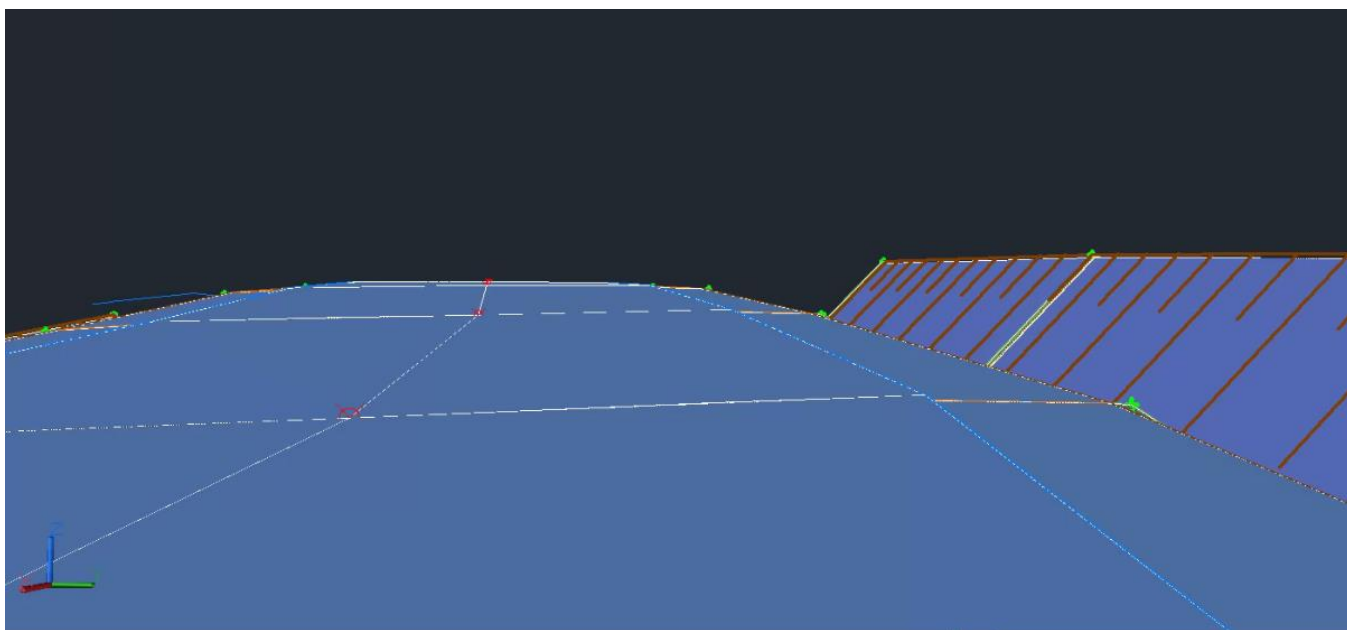
Ankščiau aprašytoje vairuotojų apklausoje nustatyta, kad 76,9% apklaustųjų nepilnai laikosi tokių greičio ribojimų. Pagal APKT 16 17 lentelę [1], kurioje nurodoma kelio įtaka eismo saugumui,

nustatyta, kad visi užfiksuoti kelio trūkumai turi didelę įtaką eismo saugumui. Pirmojo kelio ruožo (25,541 – 27,514 km) vizualinės analizės rezultatai pateikti 3.4 lentelėje.

3.4 lentelė. Pirmojo kelio ruožo vizualinės analizės rezultatai (sudaryta autoriaus)

Eil. Nr.	Kelio trūkumas	Vieta, km	Važiavimo kryptis	Matomumas, m	Įtaka eismo saugumui
1.	Nematoma zona (prasmegimas), nesklandumas	24,54	Pirmyn	~40	Didelė
2.	Nematoma zona (prasmegimas), nesklandumas	24,63	Pirmyn	~40	Didelė
3.	Nematoma zona (prasmegimas), nematoma posūkio pradžia, nesklandumas	24,90	Pirmyn	~30	Didelė
4.	Nematoma zona (prasmegimas), nematoma posūkio pradžia, neaiški kryptis	25,18	Pirmyn	~20	Didelė
5.	Nematoma zona (prasmegimas), nematoma posūkio pradžia, neaiški kryptis	25,32	Pirmyn	~20	Didelė
6.	Nematoma zona (pakilimas), nematoma posūkio pradžia, neaiški kryptis	25,47	Pirmyn	~60	Didelė
7.	Nematoma zona (pakilimas)	26,10	Pirmyn	~20	Didelė
8.	Nematoma zona (pakilimas), nematoma posūkio pradžia, neaiški kryptis	26,40	Pirmyn	~30	Didelė
9.	Nematoma zona (prasmegimas), nematoma posūkio pradžia, neaiški kryptis	26,60	Pirmyn	~20	Didelė
10.	Nematoma zona (prasmegimas)	27,42	Pirmyn	~60	Didelė
11.	Nematoma zona (prasmegimas), nematoma posūkio pradžia, neaiški kryptis	27,45	Atgal	~40	Didelė
12.	Nematoma zona (pakilimas), nematoma posūkio pradžia	26,82	Atgal	~30	Didelė
13.	Nematoma zona (pakilimas)	26,12	Atgal	~40	Didelė
14.	Nematoma zona (prasmegimas), nematoma posūkio pradžia, neaiški kryptis	25,52	Atgal	~30	Didelė
15.	Nematoma zona (prasmegimas), nematoma posūkio pradžia	25,34	Atgal	~30	Didelė
16.	Nematoma zona (prasmegimas)	25,22	Atgal	~30	Didelė
17.	Nematoma zona (prasmegimas)	24,94	Atgal	~60	Didelė

Atlikus vizualinę antrojo kelio ruožo (27,514 – 28,780 km) analizę, važiuojant pirmyn ir atgal nustatyta 10 (5 važiuojant pirmyn ir 5 važiuojant atgal) akivaizdžių kelio trūkumų. Nustatyta, kad visi susidarę kelio trūkumai – nematomos zonos. Vienose iš jų kelias prasmenga, kitose nematomos zonos susidaro dėl kelio pakilimo (vienas iš užfiksuotų susidariusių pakilimų pavaizduotas 3.4 pav.), keliose nematomose zonose prasideda horizontaliosios kreivės, kurios nėra matomos, nėra matoma artėjančio kelio posūkio pradžia. Dėl visų susidariusių kelio trūkumų kelias atrodo nesklandus, neaiški kelio kryptis, vairuotojui sunku nuspėti, kokia tolimesnė kelio trasa. Ypač pavojinga situacija susidaro ruožo pradžioje, kur horizontaliojoje kreivėje, didelio išilginio nuolydžio tiesė (išilginis nuolydis ~10%) kyla į viršų ir ties pakilimo viršūne prasideda priešingos krypties horizontalioji kreivė, kuri nėra matoma iki kol visiškai pakylama į įkalnės viršūnę. Visų kelio trūkumų pirmyn ir atgal vietos apytiksliai sutampa (susidaro tame pačiame elementų junginyje), tai parodo, kad elementų derinius būtina nagrinėti iš abiejų pusių. Kelio ruože yra 3 vietos, kur nematoma zona pradingsta likus ~70-80 m iki jos ir 7 vietos, kur nematoma zona pradingsta tik likus ~20-30 m. Jeigu nematomoje zonoje būtų kliūtis vairuotojas, netgi važiuodamas leistinu greičiu, neturėtų jokios galimybės saugiai sustoti.



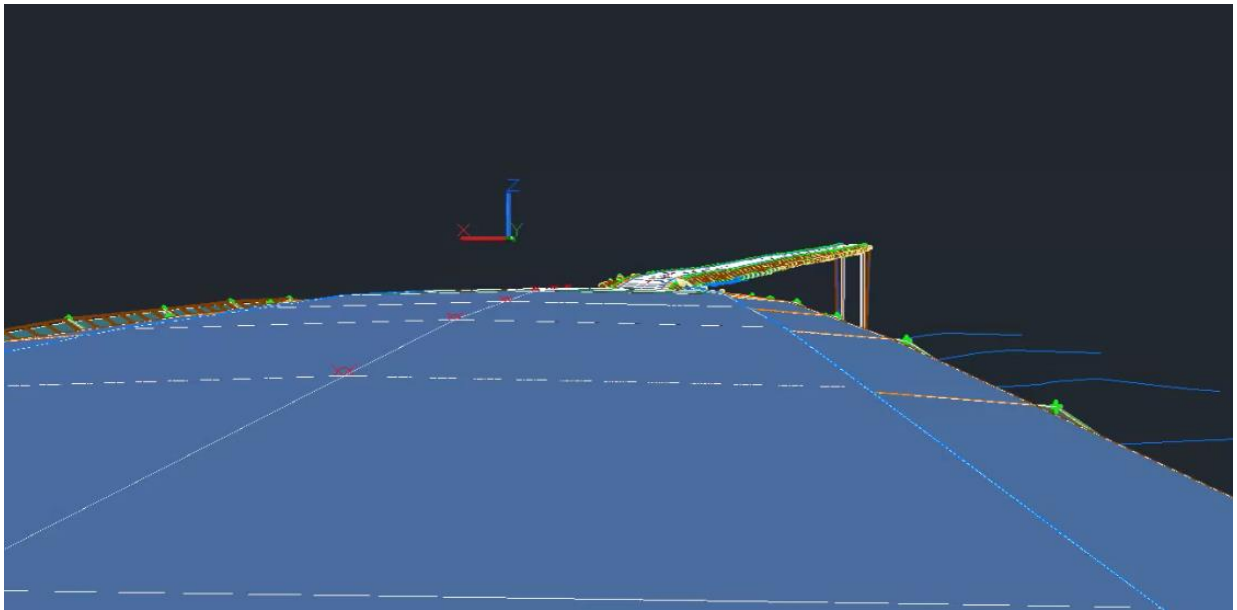
3.4 pav. Nematoma zona(pakilimas) susidariusi antrame kelio ruože (sudaryta autoriaus)

Išilginis profilis tiesiuose ruožuose duobėtas ir visose duobėse susidaro nematomos zonos. Pagal APKT 16 17 lentelę [1], kurioje nurodoma kelio įtaka eismo saugumui, nustatyta, kad visi užfiksuoti kelio trūkumai turi didelę įtaką eismo saugumui. Antrojo kelio ruožo (27,514 – 28,780 km) vizualinės analizės rezultatai pateikti 3.5 lentelėje.

3.5 lentelė. Antrojo kelio ruožo vizualinės analizės rezultatai (sudaryta autoriaus)

Eil. Nr.	Kelio trūkumas	Vieta, km	Važiavimo kryptis	Matomumas, m	Įtaka eismo saugumui
1.	Nematoma zona (pakilimas), nematoma posūkio pradžia, neaiški kryptis	27,62	Pirmyn	~20	Didelė
2.	Nematoma zona (prasmegimas)	27,76	Pirmyn	~70	Didelė
3.	Nematoma zona (prasmegimas), nematoma posūkio pradžia	27,93	Pirmyn	~80	Didelė
4.	Nematoma zona (prasmegimas), nematoma posūkio pradžia, neaiški kryptis	28,25	Pirmyn	~30	Didelė
5.	Nematoma zona (pakilimas)	28,50	Pirmyn	~30	Didelė
6.	Nematoma zona (pakilimas)	28,52	Atgal	~30	Didelė
7.	Nematoma zona (prasmegimas)	28,38	Atgal	~30	Didelė
8.	Nematoma zona (prasmegimas), nematoma posūkio pradžia, neaiški kryptis	28,27	Atgal	~30	Didelė
9.	Nematoma zona (prasmegimas)	28,02	Atgal	~70	Didelė
10.	Nematoma zona (pakilimas), nematoma posūkio pradžia, neaiški kryptis	24,62	Atgal	~20	Didelė

Atlikus vizualinę trečiojo kelio ruožo (32,559-33,800 km) analizę, važiuojant pirmyn ir atgal, nustatyta 5 (2 važiuojant pirmyn ir 3 važiuojant atgal) akivaizdžių kelio trūkumų. Visi nustatyti kelio trūkumai susiję su atsirandančiomis nematomomis zonomis (viena iš užfiksuotų nematomų zonų pavaizduota 3.5 pav.). Visų kelio trūkumų pirmyn ir atgal vietos apytiksliai sutampa (susidaro tame pačiame elementų junginyje), tai parodo, kad elementų derinius būtina nagrinėti iš abiejų pusių. Viena iš nematomų zonų labai pavojinga, nes vairuotojas pamato artėjantį kelią tik likus apie 20 metrų iki jos, taip atsitinka dėl didelio išilginio nuolydžio (išilginis nuolydis toje vietoje $i=7,8\%$). Visame kelio ruože projektinis važiavimo greitis 90 km/h. Esant tokiam greičiui šioje nematomoje zonoje nėra galimybės sustoti ar atlikti kitą manevrą, kad išvengtų pavojingos situacijos. Pagal APKT 16 17 lentelę [1], kurioje nurodoma kelio įtaka eismo saugumui, nustatyta, kad visi užfiksuoti kelio trūkumai turi didelę įtaką eismo saugumui. Trečiojo kelio ruožo (32,559-33,800 km) vizualinės analizės rezultatai pateikti 3.6 lentelėje.



3.5 pav. Nematoma zona susidariusi trečiame kelio ruože (sudaryta autoriaus)

3.6 lentelė. Trečiojo kelio ruožo vizualinės analizės rezultatai (sudaryta autoriaus)

Eil. Nr.	Kelio trūkumas	Vieta, km	Važiavimo kryptis	Matomumas, m	Įtaka eismo saugumui
1.	Nematoma zona (prasmegimas)	33,30	Pirmyn	~20	Didelė
2.	Nematoma zona (prasmegimas), neaiški kryptis	33,48	Pirmyn	~40	Didelė
3.	Nematoma zona (prasmegimas), neaiški kryptis	33,56	Atgal	~50	Didelė
4.	Nematoma zona (pakilimas)	33,29	Atgal	~20	Didelė
5.	Nematoma zona (prasmegimas)	32,90	Atgal	~50	Didelė

Visuose trijuose nagrinėtuose ruožuose nustatyti panašūs kelio trūkumai (nematomos zonos, pakilimai, prasmegimai, nematoma posūkio pradžia), kurie pagal APKT 16 17 lentelę [2] turi didelę įtaką eismo saugumui. Nematydamas kelio vairuotojas negali tinkamai nuspręsti kokių veiksmų imtis, ar reikia mažinti greitį, ar reikia stabdyti, ar reikia pasiruošti kelio posūkiui.

Atlikus vizualinį kelio tyrimą, naudojant kelio paviršiaus modelį, buvo labai lengvai nustatyti kelio trūkumai: pirmajame ruože nustatyta 17, antrajame 10, trečiajame 5 kelio trūkumai. Visuose nustatytuose kelio trūkumuose labai prastas kelio matomumas, kai kur jis tesiekia 20-30 metrų, o tokio atstumo nepakanka sustoti netgi važiuojant leistinu greičiu. Nustatyti šiuos trūkumus analizuojant tik brėžinius būtų labai sudėtinga, analizuojant brėžinius galima tik teoriškai, naudojant tipinius elementų derinius ir kitą kreivių derinimo teoriją, daryti prielaidą, kad kažkur gali susidaryti tam tikras kelio trūkumas, tačiau tiksliai įvertinti susidariusią situaciją galima tik matant perspektyvinį kelio vaizdą, ką leidžia padaryti kelio paviršiaus modelis. Realus perspektyvinis kelio vaizdas vairuotojo akimis suteikia

daug didesnę galimybę tinkamai ir tiksliai įvertinti projektuojamą kelio ašį, išilginį profilį ir jų suderinimą tarpusavyje, pamatyti tai, ką matys vairuotojas dar kelio projektavimo stadijoje.

3.4. Kelio matomumo nustatymo, panaudojant kelio paviršius modelį, tyrimo rezultatai

Pirmajame kelio ruože, kai kliūtis aukštis 0,15 m nuo važiuojamosios kelio dalies, užfiksuotos 15 vietų, kur kelio matomumas gerokai sumažėja. Mažiausias užfiksuotas kliūtis matomumas esant 30 km/h greičiui – 44,70 m, esant 50 km/h greičiui – 42,06 m, esant 70 km/h greičiui – 46,03 m, esant 90 km/h greičiui – 66,26 m. Dauguma iš nustatytų matomumo atstumų netenkina minimalaus sustojimo matomumo, esant tam tikram projektiniam greičiui, pateikto KTR [1]. Kai kliūtis aukštis 1,00 m nuo važiuojamosios kelio dalies, užfiksuota 10 vietų, kur kelio matomumas gerokai sumažėja. Mažiausias užfiksuotas kliūtis matomumas esant 30 km/h greičiui – 78,79 m, esant 50 km/h greičiui – 70,31 m, esant 70 km/h greičiui – 70,99 m, esant 90 km/h greičiui – 130,91 m. Dauguma iš nustatytų matomumo atstumų netenkina minimalaus sustojimo matomumo, esant tam tikram projektiniam greičiui, pateikto KTR [1]. Išsamūs matomumo nustatymo rezultatai, kuriuose pateikiama matomumo sumažėjimo vieta, projektinis greitis toje vietoje, aplenkimo iš sustojimo matomumo dydžiai reglamentuoti KTR [1], pateikti 3.7 lentelėje.

3.7 lentelė. Pirmojo kelio ruožo matomumo analizės rezultatai (sudaryta autoriaus)

Eil. Nr.	Kliūtis aukštis, m	Vieta, Pk+	Matomumas, m	Projektinis greitis, km/h	Aplenkimo matomumas pagal KTR, m	Sustojimo matomumas pagal KTR, m
1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.
1.	0,15	245+91	104,61	90	575	~150
2.	0,15	248+91	66,26	90	575	~150
3.	0,15	251+71	49,19	70	450	~100
4.	0,15	253+01	46,03	70	450	~100
5.	0,15	255+11	70,10	70	450	~100
6.	0,15	256+61	160,06	70	450	~100
7.	0,15	260+61	49,20	70	450	~100
8.	0,15	260+91	49,53	70	450	~100
9.	0,15	262+71	53,80	70	450	~100
10.	0,15	265+91	62,62	50	-	~50
11.	0,15	267+81	53,89	30	-	-
12.	0,15	269+41	72,46	30	-	-
13.	0,15	270+41	66,46	30	-	-
14.	0,15	272+01	42,06	50	-	~50
15.	0,15	274+21	44,70	30	-	-
16.	1,00	248+91	130,91	90	575	~150
17.	1,00	251+41	94,54	70	450	~100
18.	1,00	253+01	70,99	70	450	~100
19.	1,00	254+81	94,54	70	450	~100
20.	1,00	260+81	75,97	70	450	~100
21.	1,00	262+61	83,63	70	450	~100

3.7 lentelės tęsinys

1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.
22.	1,00	265+71	96,14	70	450	~100
23.	1,00	269+41	141,30	30	-	-
24.	1,00	271+91	70,31	50	-	~50
25.	1,00	274+11	78,79	30	-	-

Antrame kelio ruože, kai kliūtis aukštis 0,15 m nuo važiuojamosios kelio dalies, užfiksuotos 6 vietos, kur kelio matomumas gerokai sumažėja. Mažiausias užfiksuotas kliūtis matomumas esant 30 km/h greičiui – 26,41 m, esant 50 km/h greičiui – 43,62 m, esant 70 km/h greičiui – 65,54 m, esant 90 km/h greičiui – 77,69 m. Dauguma iš nustatytų matomumo atstumų netenkina minimalaus sustojimo matomumo, esant tam tikram projektiniam greičiui, pateikto KTR [1]. Kai kliūtis aukštis 1,00 m nuo važiuojamosios kelio dalies, užfiksuotos 3 vietos, kur kelio matomumas gerokai sumažėja. Mažiausias užfiksuotas kliūtis matomumas esant 30 km/h greičiui – 53,22 m, esant 50 km/h greičiui – 67,85 m, esant 90 km/h greičiui – 325,73 m. Dauguma iš nustatytų matomumo atstumų netenkina minimalaus sustojimo matomumo, esant tam tikram projektiniam greičiui, pateikto KTR [1]. Išsamūs matomumo nustatymo rezultatai, kuriuose pateikiama matomumo sumažėjimo vieta, projektinis greitis toje vietoje, aplenkimo iš sustojimo matomumo dydžiai reglamentuoti KTR [1], pateikti 3.8 lentelėje.

3.8 lentelė. Antrojo kelio ruožo matomumo analizės rezultatai (sudaryta autoriaus)

Eil. Nr.	Kliūtis aukštis, m	Vieta, Pk+	Matomumas, m	Projektinis greitis, km/h	Aplenkimo matomumas pagal KTR, m	Sustojimo matomumas pagal KTR, m
1.	0,15	275+98	26,41	30	-	-
2.	0,15	277+58	77,69	90	575	~150
3.	0,15	279+38	86,13	70	450	~100
4.	0,15	282+18	65,54	70	450	~100
5.	0,15	283+18	67,40	70	450	~100
6.	0,15	284+78	43,62	50	-	~50
7.	1,00	275+98	53,22	30	-	-
8.	1,00	277+18	325,73	90	575	~150
9.	1,00	284+68	67,85	50	-	~50

Trečiajame kelio ruože, kai kliūtis aukštis 0,15 m nuo važiuojamosios kelio dalies, užfiksuotos 2 vietos ir kai kliūtis aukštis 1,00 m nuo važiuojamosios kelio dalies, užfiksuota 1 vieta, kur kelio matomumas gerokai sumažėja. Mažiausias užfiksuotas kelio matomumas, kai kliūtis aukštis virš važiuojamosios dalies 0,15 m – 45,20 m, kai kliūtis aukštis virš važiuojamosios dalies 1,00 m – 69,00 m. Visose trijose vietose matomumas netenkina minimalaus sustojimo matomumo, esant 90 km/h projektiniam greičiui, pateikto KTR [1]. Išsamūs matomumo nustatymo rezultatai, kuriuose pateikiama matomumo

sumažėjimo vieta, projektinis greitis toje vietoje, aplenkimo iš sustojimo matomumo dydžiai reglamentuoti KTR [1], pateikti 3.9 lentelėje.

3.9 lentelė. Trečiojo kelio ruožo matomumo analizės rezultatai (sudaryta autoriaus)

Eil. Nr.	Kliūtis aukštis, m	Vieta, Pk+	Matomumas, m	Projektinis greitis, km/h	Aplenkimo matomumas pagal KTR, m	Sustojimo matomumas pagal KTR, m
1.	0,15	327+89	91,80	90	575	~150
2.	0,15	332+89	45,20	90	575	~150
3.	1,00	332+79	69,00	90	575	~150

Visuose trijuose kelio ruožuose užfiksuota daug vietų, kur kelio matomumas gerokai sumažėja, vietomis netgi iki 20-40 m. Nustatyti matomumo dydžiai netenkina minimalaus sustojimo matomumo, aplenkimo matomumo. Netgi važiuojant leistinu važiavimo greičiu tokio mažo atstumo, kaip nustatytose vietose, vairuotojui gali nepakakti sustoti iškilus pavojingai situacijai, atsiradus kliūčiai ant kelio, tokio atstumo gali nepakakti priimti tinkamą sprendimą. Taip pat 3.1 poskyryje aprašytoje vairuotojų apklausoje nustatyta, kad didelė dalis vairuotojų nesilaiko leistino važiavimo greičio apribojimų, todėl viršijant greitį vairuotojui liks dar mažesnė tikimybė laiku imtis reikiamų veiksmų, pavojingai situacijai ar kliūčiai, išvengti.

3.5. Tiriamų kelio ruožų tramos modeliavimo tyrimo rezultatai

Pirmiausia, kad gauti bazinius duomenis, su kuriais būtų galima lyginti kitus sumodeliuotus variantus, modeliuojamas tiesus kelio ruožas be horizontaliųjų kreivių, tik su išilginiu nuolydžiu ir vertikaliosiomis kreivėmis išilginio profilio pasikeitimo taške. Modeliavimo metu nustatyta, kad kelio matomumas labiausiai sumažėja ties vertikaliosios kreivės viršūne. Rezultatai gauti modeliavimo metu, kuriuose pateiktas mažiausias nustatytas kelio matomumas, pateikti 3.10 lentelėje.

3.10 lentelė. Kelio modeliavimo, kai modeliuojamas tiesus kelio ruožas, rezultatai (sudaryta autoriaus)

Eil. Nr.	Išilginis nuolydis, %	Kelio matomumas, m						
		Vertikaliosios kreivės spindulys, m						
		500	1000	1500	2000	3000	4000	5000
1.	1	104	110	115	120	132	138	147
2.	2	60	75	82	90	108	122	136
3.	3	51	64	75	85	106	121	136
4.	4	46	60	72	84	105	121	137
5.	5	44	56	72	84	105	121	137

Lentelėje (3.10 lentelė) matyti, kad kai projektuojama mažo spindulio vertikalioji kreivė ($R=500-1000$ m) kelio matomumas priklauso nuo išilginio nuolydžio, kuo didesnis išilginis nuolydis, tuo matomumas užtikrinamas mažesnis. Taip pat pastebėta, kad didinant vertikaliosios kreivės spindulį

matomumas vis didėja ir ties tam tikra riba jis nebeprisiklauso nuo kelio išilginio nuolydžio (esant skirtingų dydžių išilginiam nuolydžiui matomumas beveik arba visiškai susivienodina).

Toliau modeliuojamas kelio ruožas su 45 laipsnių posūkio kampų, horizontaliąja kreive posūkyje, išilginiu nuolydžiu kelio posūkio zonoje ir vertikaliąja kreive išilginio profilio pasikeitimo taške. Vertikaliosios ir horizontaliosios kreivių viršūnės sutampa, horizontalioji kreivė prasideda anksčiau, nei vertikaliąja kreivė. Modeliavimo metu nustatyta, kad kelio matomumas labiausiai sumažėja ties vertikaliosios kreivės viršūne. Rezultatai gauti modeliavimo metu, kuriuose pateiktas mažiausias nustatytas kelio matomumas, pateikti 3.11 lentelėje.

3.11 lentelė. Kelio modeliavimo, kai modeliuojamas kelio ruožas su 45 laipsnių posūkio kampų, rezultatai (sudaryta autoriaus)

Eil. Nr.	Horizontaliosios kreivės spindulys, m	Išilginis nuolydis, %	Kelio matomumas, m						
			Vertikaliosios kreivės spindulys, m						
			500	1000	1500	2000	3000	4000	5000
1.	300	1	-	-	-	-	-	-	-
2.		2	64	76	85	102	-	-	-
3.		3	48	64	82	91	133	-	-
4.		4	44	61	87	88	120	X	X
5.		5	43	60	81	96	X	X	X
6.	500	1	121	126	152	-	-	-	-
7.		2	65	73	83	94	115	144	182
8.		3	49	66	81	89	115	145	191
9.		4	45	58	74	86	111	140	177
10.		5	43	58	74	85	111	140	X

Pastabos:

- pažymėtuose laukeliuose modeliavimo metu nustatytas matomumas viršija užsibrėžtas ribas (500m), šie rezultatai nevertinami;
- X** pažymėtuose laukeliuose nebuvo galima atlikti modeliavimo, nes esant tokiam horizontaliosios kreivės spinduliui nepavyko kreivės ribose įterpti vertikaliosios kreivės;

Antrojo kelio modeliavimo metu pastebėtos panašios tendencijos kaip ir bazinio modeliavimo atveju, tačiau taip pat pastebėta, kad nesvarbu ar horizontaliosios kreivės spindulys $R=300$ m, ar $R=500$ m, kelio matomumo reikšmės labai panašios arba netgi vienodos, ypač esant mažo spindulio vertikaliosioms kreivėms ($R=500-1500$ m).

Paskutiniu atveju modeliuojamas kelio ruožas su 90 laipsnių posūkio kampų, horizontaliąja kreive posūkyje, išilginiu nuolydžiu kelio posūkio zonoje ir vertikaliąja kreive išilginio profilio pasikeitimo taške. Vertikaliosios ir horizontaliosios kreivių viršūnės sutampa, horizontalioji kreivė prasideda anksčiau, nei vertikaliąja kreivė. Modeliavimo metu nustatyta, kad kelio matomumas labiausiai sumažėja ties vertikaliosios kreivės viršūne. Rezultatai gauti modeliavimo metu, kuriuose pateiktas mažiausias nustatytas kelio matomumas, pateikti 3.12 lentelėje.

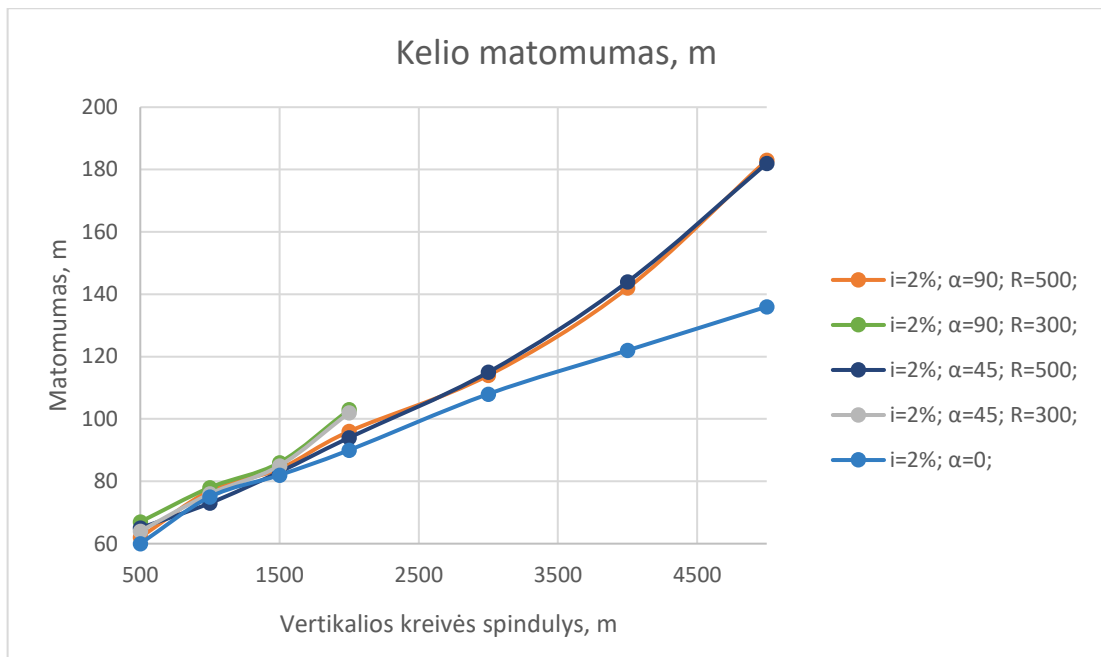
3.12 lentelė. Kelio modeliavimo, kai modeliuojamas kelio ruožas su 90 laipsnių posūkio kampu, rezultatai (sudaryta autoriaus)

Eil. Nr.	Horizontaliosios kreivės spindulys, m	Išilginis nuolydis, %	Kelio matomumas, m						
			Vertikaliosios kreivės spindulys, m						
			500	1000	1500	2000	3000	4000	5000
1.	300	1	-	-	-	-	-	-	-
2.		2	67	78	86	103	-	-	-
3.		3	48	62	84	95	147	-	-
4.		4	44	58	80	89	130	-	-
5.		5	43	58	74	89	130	-	-
6.	500	1	116	131	156	-	-	-	-
7.		2	62	77	84	96	114	142	183
8.		3	49	63	77	86	110	140	178
9.		4	46	61	74	85	110	139	178
10.		5	44	54	73	85	110	139	178
Pastabos: - pažymėtuose laukeliuose modeliavimo metu nustatytas matomumas viršija užsibrėžtas ribas (500m), šie rezultatai nevertinami;									

Trečiojo modeliavimo metu pastebėtos panašios tendencijos kaip ir bazinio bei antrojo modeliavimo metu. Visos jos aprašytos anksčiau, šiame poskyryje.

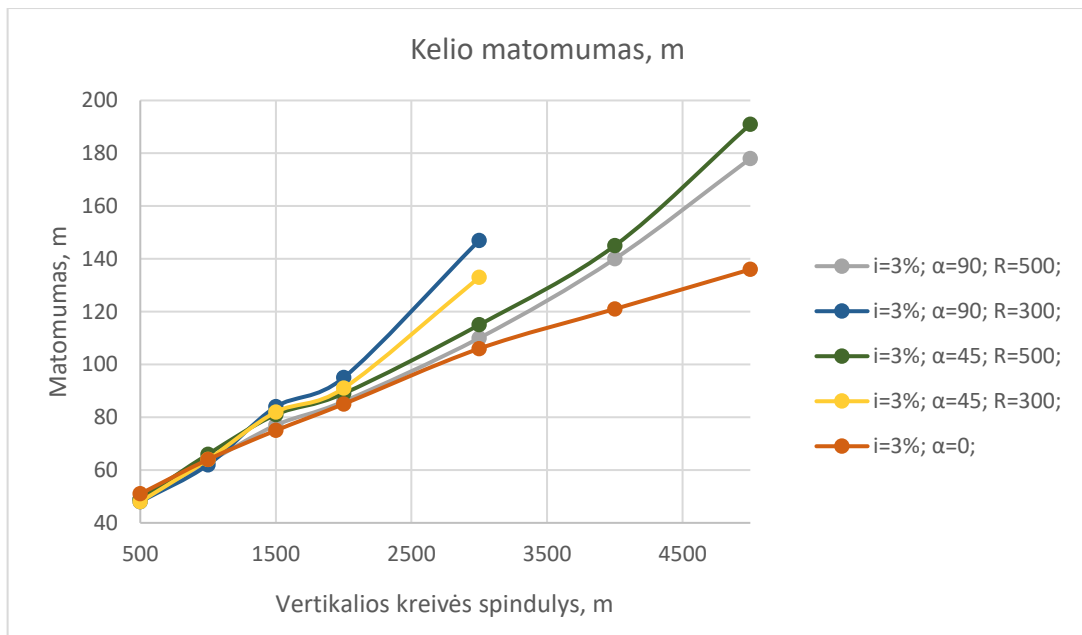
Modeliavimų metu nustatyta, kad nesvarbu ar horizontaliosios kreivės spindulys, kelio posūkyje, $R=300$ m, ar $R=500$ m, kelio matomumo reikšmės labai panašios arba netgi vienodos, ypač esant mažo spindulio vertikaliosioms kreivėms. Siekiant tiksliau išnagrinėti šį pastebėjimą, sudaryti grafikai (3.6 pav., 3.7 pav., 3.8 pav., 3.9 pav.), kuriuose pateiki visų darytų modeliavimų rezultatai esant tam tikriems išilginiams nuolydžiams (3.6 pav., kai $i=2\%$, 3.7 pav., kai $i=3\%$, 3.8 pav., kai $i=4\%$, 3.9 pav., kai $i=5\%$). Modeliavimo metu, esant 1 % išilginiam nuolydžiui, daugeliu atveju nepavyko gauti matomumo rezultatų, todėl šis atvejis nenagrinėjamas.

Išnagrinėjus grafiką (3.6 pav.), kuriame pavaizduoti visų darytų modeliavimų rezultatai, kai išilginis nuolydis $i=2\%$, patvirtinta prielaida, kad matomumas iš dalies nepriklauso nuo to, kokio dydžio kelio posūkio kampas ir jame įterpta horizontalioji kreivė. Tai ypač pastebima esant mažam vertikaliosios kreivės spinduliui, kai $R=500-2000$ m. Esant 90 ir 45 laipsnių posūkio kampui ir $R=500$ m horizontaliajai kreivei gauti beveik identiški rezultatai.



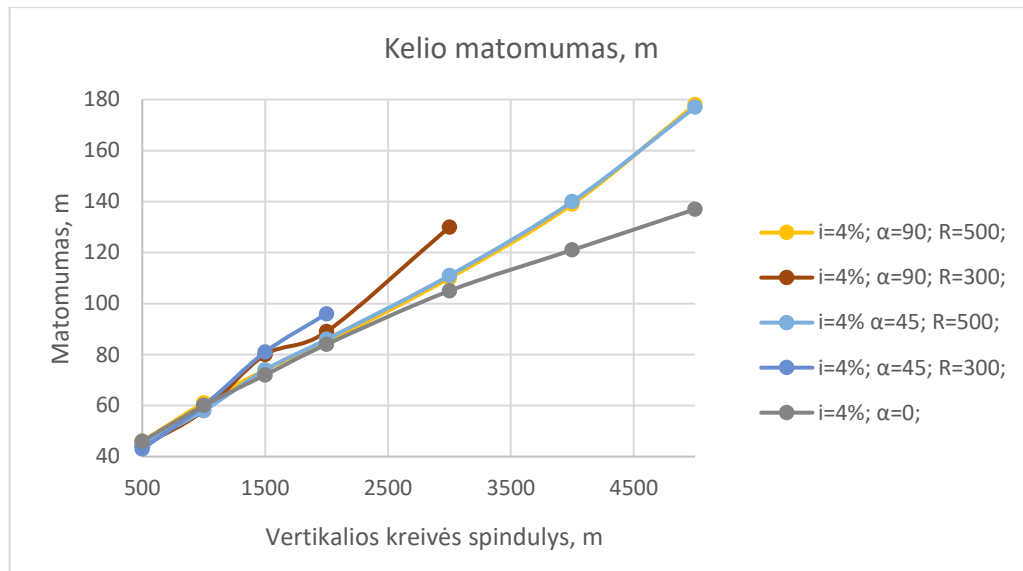
3.6 pav. Kelio modeliavimo rezultatai, kai $i=2\%$ (sudaryta autoriaus)

Išnagrinėjus grafiką (3.7 pav.), kuriame pavaizduoti visų darytų modeliavimų rezultatai, kai išilginis nuolydis $i=3\%$, patvirtinta prielaida, kad matomumas iš dalies nepriklauso nuo to, kokio dydžio kelio posūkio kampas ir jame įterpta horizontalioji kreivė. Tai ypač pastebima esant mažam vertikaliosios kreivės spinduliui, kai $R=500-1500$ m. Grafike taip pat galima matyti, kad toliau didėjant vertikaliosios kreivės spinduliui ($R>1500$ m) matomumas didėja ir priklauso nuo horizontaliosios kreivės spindulio, kuo kreivės spindulys didesnis, tuo matomumas geresnis.



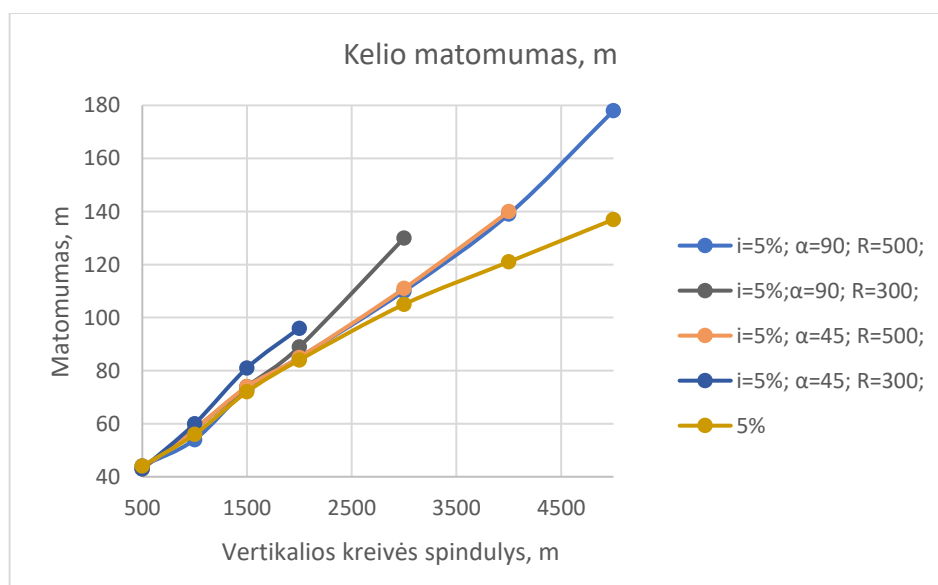
3.7 pav. Kelio modeliavimo rezultatai, kai $i=3\%$ (sudaryta autoriaus)

Išnagrinėjus grafiką (3.8 pav.), kuriame pavaizduoti visų darytų modeliavimų rezultatai, kai išilginis nuolydis $i=4\%$, dar kartą patvirtinta prielaida, kad matomumas iš dalies nepriklauso nuo to, kokio dydžio kelio posūkio kampas ir jame įterpta horizontalioji kreivė, kai $R=500-1500$ m. Grafike taip pat kaip ir anksčiau nagrinėtuose grafikuose galima matyti, kad toliau didėjant vertikaliosios kreivės spinduliui ($R>1500$ m) matomumas didėja ir priklauso nuo horizontaliosios kreivės spindulio, kuo kreivės spindulys didesnis, tuo matomumas geresnis. Grafike taip pat matosi, kad esant 90 ir 45 laipsnių posūkio kampui ir skirtingoms horizontaliosioms kreivėms ($R=300;500$ m) gauti beveik identiški rezultatai.



3.8 pav. Kelio modeliavimo rezultatai, kai $i=4\%$ (sudaryta autoriaus)

Išnagrinėjus paskutinį grafiką (3.9 pav.), kuriame pavaizduoti visų darytų modeliavimų rezultatai, kai išilginis nuolydis $i=5\%$, dar kartą kituose grafikuose pastebėtos tendencijos ir prielaidos.



3.9 pav. Kelio modeliavimo rezultatai, kai $i=5\%$ (sudaryta autoriaus)

Pasinaudojant Kelių techniniame reglamente [1] pateiktu sustojimo matomumo valstybinės reikšmės keliuose ribinių reikšmių grafiku (KTR, 5 pav. [1]) nustatytos minimalios sustojimo reikšmės, kai projektinis kelio greitis 50 km/h, 70 km/h ir 90 km/h (3.13 lentelė), kad būtų galima nustatyti, kokio spindulio vertikaliąją kreivę reikia naudoti, kad būtų užtikrinamas patenkinamas kelio sustojimo matomumas, esant tam tikram projektiniam kelio greičiui. Atsižvelgiant į kelio ruožų modeliavimo metu gautus rezultatus nustatyta, kad kai projektinis kelio greitis 50 km/h, patenkinamas sustojimo matomumas pasiekiamas įterpus $R=1500$ m vertikaliąją kreivę, geras, kai įterpiama $R>1500$ m vertikaliąją kreivę, kai projektinis greitis kelio ruože 70 km/h patenkinamas sustojimo matomumas pasiekiamas įterpus $R=2000$ m vertikaliąją kreivę, geras, kai įterpiama $R>2000$ m vertikaliąją kreivę, kai projektinis greitis kelio ruože 90 km/h patenkinamas sustojimo matomumas pasiekiamas įterpus $R=4000$ m vertikaliąją kreivę, geras, kai įterpiama $R>4000$ m vertikaliąją kreivę.

3.13 lentelė. Ribinės sustojimo matomumo reikšmės pagal KTR 101:2008 „Automobilių keliai“ (sudaryta autoriaus)

Eil. Nr.	Projektinis greitis, km/h	Kelio sustojimo matomumas, m				
		Išilginis kelio nuolydis				
		1 %	2 %	3 %	4 %	5 %
1.	50	71	70	69	68	67
2.	70	90	88	87	85	84
3.	90	150	145	142	140	138

Atlikus kelio ruožų modeliavimą pasirinktų parametrų kelio ruožams ir išanalizavus modeliavimo metu gautus duomenis pastebėtos tokios tendencijos:

- Kuo didesnis išilginis kelio nuolydis, tuo mažesnis kelio matomumas, tačiau didėjant vertikalsios kreivės spinduliui išilginio nuolydžio įtaka matomumo dydžiui mažėja;
- Kai vertikalsios kreivės spindulys $R<1500$ m, kelio matomumas nepriklauso nuo horizontaliosios kreivės spindulio;
- Kelio matomumas priklauso nuo horizontaliosios kreivės spindulio, kai vertikalsios kreivės spindulys $R>1500$ m;
- Kai vertikalsios kreivės spindulys $R<1500$ m, kelio matomumas nepriklauso nuo kelio posūkio kampo dydžio;

3.6. Išvados

Tyrimo metu atlikta vairuotojų apklausa, atlikta valstybinės reikšmės rajoninio kelio Nr. 1201 Anykščiai-Kurkliai-Balninkai-Želva ruožų nuo 25,541 iki 27,514 km, nuo 27,514 iki 28,780 km ir nuo 32,559 iki 33,800 km kapitalinio remonto projektų analizė, atliktas vizualinis kelio ruožų patikrinimas, kelio matomumo tyrimas, panaudojant kelio paviršiaus modelį, atliktas kelio ruožų trasos modeliavimas. Tyrimų metu nustatyta:

- Vairuotojų apklausos metu išsiaiškinta, kad didžioji dalis vairuotojų vairuodami susiduria su akivaizdžiais kelio trasos trūkumais: nustatyta, kad 68,6 % apklaustųjų yra tekę stabdyti, keisti važiavimo trajektoriją kelio vingyje dėl prasto matomumo, 71,7 % respondentų yra tekę susidurti su atveju, kai nemato toliau besidriekiančio kelio, 71,9 % apklaustųjų yra tekę susidurti su atveju, kai važiuojant į įkalnę nemato kelio vingio pradžios, 70,2 % vairuotojų, dėl mažo posūkio spindulio, yra tekę išvažiuoti į priešpriešinio eismo juostą. Taip pat apklausos metu nustatyta, kad didelė dalis apklaustųjų, net 76,9 % visų respondentų, linkę nepaisyti kelių eismo taisyklių, susijusių su greičio ribojimu;

- Pasirinktų žvyrkelių asfaltavimo projektų analizės metu nustatyta, kad: pirmajame ruože dvi, antrajame ir trečiajame ruože po vieną suprojektuotą horizontaliąją kreivę neatitinka minimalių reikalavimų, visuose trijuose kelio ruožuose išilginis profilis projektuojamas su daug lūžių, kurie dažnai įterpiami kas 10-20 metrų, visuose nagrinėtuose kelio ruožuose yra vietų, kur viršijamas maksimalus leistinas išilginio profilio nuolydis, pirmajame ruože didžiausias išilginis nuolydis 7,6 %, antrajame ruože 10,8 %, trečiajame ruože 7,8 %, visuose trijuose kelio ruožuose nustatyta nemažai galimų kelio trasos trūkumų (pakilimas, prasmegimas, nematoma zona, nematoma posūkio pradžia, išlenktas posūkis įduboje, viršukalnėje) darančių įtaką eismo saugumo situacijai ir avaringumui;

- Vizualinio kelio tyrimo metu nustatyta, kad visuose nagrinėjamuose ruožuose gausu kelio trasos trūkumų, pirmajame kelio ruože nustatyta 17, antrajame 10, trečiajame 5 kelio trasos trūkumai, kuriuose kelio sustojimo matomumas sumažėja netgi iki 20-30 m. Tyrimo metu nustatyta, kad bendras visų trijų nagrinėtų ruožų kelio trūkumų tankis 7,14 trūkumų/km. Dažniausiai pasikartojantys kelio trasos trūkumai: nematoma zona (prasmigimas, pakilimas), nematoma posūkio pradžia, neaiški kelio kryptis;

- Kelio matomumo nustatymo metu, kai kliūties aukštis 0,15 m, pirmajame kelio ruože užfiksuota 15, antrajame 6, trečiajame 2 vietos, kur sumažėja kelio sustojimo matomumas. Mažiausias pirmajame kelio ruože užfiksuotas kliūties matomumas esant 30 km/h greičiui – 44,70 m, esant 50 km/h greičiui – 42,06 m, esant 70 km/h greičiui – 46,03 m, esant 90 km/h greičiui – 66,26 m. Mažiausias antrajame kelio ruože užfiksuotas kliūties matomumas esant 30 km/h greičiui – 26,41 m, esant 50 km/h greičiui – 43,62 m, esant 70 km/h greičiui – 65,54 m, esant 90 km/h greičiui – 77,69 m. Mažiausias trečiajame kelio ruože užfiksuotas kelio matomumas – 45,20 m. Nustatytos sumažėjusio matomumo reikšmės netenkina minimalaus sustojimo matomumo reikalavimų;

- Kelio ruožų su pasirinktais vertikaliais ir horizontaliais kelio parametrais modeliavimo metu nustatyta, kad kai kelio išilginiame profilyje įterpiama mažo spindulio, $R \leq 1500$ m, vertikalioji kreivė, kelio matomumas nepriklauso nei nuo horizontaliosios kreivės spindulio, nei nuo išilginio profilio, nei nuo kelio posūkio kampo. Taip pat nustatyta, kad kai projektinis greitis kelio ruože 50 km/h patenkinamas sustojimo matomumas pasiekimas įterpus $R=1500$ m vertikaliąją kreivę, kai projektinis greitis kelio ruože 70 km/h patenkinamas sustojimo matomumas pasiekimas įterpus $R=2000$ m vertikaliąją kreivę, kai projektinis

greitis kelio ruože 90 km/h patenkinamas sustojimo matomumas pasiekimas įterpus $R=4000$ m vertikaliąją kreivę.

4. TIRIAMOJO DARBO REZULTATŲ PAGRINDIMAS

Kelio trasos projektavimas yra vienas svarbiausių kelio projektavimo etapų. Išnagrinėjus šiuo metu galiojančius Lietuvos automobilių kelių projektavimą reglamentuojančius dokumentus nustatyta, kad sklandžios kelio trasos projektavimui yra skiriamas per mažas dėmesys. Išvadą, jog Lietuvoje, sklandžios kelio trasos projektavimui skiriama per mažai dėmesio, patvirtino ir išnagrinėti žvyrkelių asfaltavimo projektai, kuriuose buvo nustatyta, jog neišlaikomi minimalūs horizontaliųjų kreivių spinduliai, išilginis kelio profilis projektuojamas lūžiais arba su minimalių reikalavimų neatitinkančiomis vertikaliosiomis kreivėmis. Vizualinio tyrimo, panaudojant kelio paviršiaus modelį, metu nustatyta, kad trijuose nagrinėtuose kelio ruožuose susidaro 32 kelio trasos trūkumai (nematomos zonos, nematomos posūkio pradžios, prasmegimai, pakilimai). Taip pat, pasirinktiems kelio ruožams, naudojant kelio paviršiaus modelį, atliktas matomumo nustatymas, kurio metu nustatyta, kad nagrinėtuose kelio ruožuose susidaro 23 vietos, kur kelio matomumas tesiekia 20-40 metrų.

Išnagrinėjus Lietuvos ir užsienio šalių kelių projektavimą reglamentuojančius dokumentus pastebėta, kad nėra pateikiama skaitinių verčių, kuriomis remiantis reikėtų derinti horizontaliąsias ir vertikaliąsias kreives tarpusavyje. Tam, kad išsiaiškinti, kokio dydžio kreives reikia derinti tarpusavyje, kad užtikrinti gera matomumą, tyrimo metu sumodeliuoti keli pasirinkti kelio trasos variantai, kai horizontaliosios ir vertikaliosios kreivės viršūnės sutampa ir horizontalioji kreivė prasideda anksčiau nei vertikalioji kreivė (idealiausias kreivių derinimo atvejis). Atlikus tyrimą nustatytos išvados, į kurias atsižvelgiant sudaryta lentelė (4.1 lentelė), kurioje pateiktos rekomenduojamos vertikalinių kreivių spindulių reikšmės esant tam tikriems projektiniams greičiams, kad būtų užtikrinamas geras kelio matomumas.

4.1 lentelė. Kreivių naudojimo rekomendacijos atsižvelgiant modeliavimo metu gautus rezultatus (sudaryta autoriaus)

Projektinis greitis, km/h	Vertikaliosios kreivės spindulys, m								
	>500	500	1000	1500	2000	3000	4000	5000	>5000
50	B	B	B	P	G	G	G	G	G
60	B	B	B	P	G	G	G	G	G
70	B	B	B	B	P	G	G	G	G
80	B	B	B	B	B	P	G	G	G
90	B	B	B	B	B	B	P	G	G
Pastabos: B – neužtikrinamas geras kelio matomumas; P – užtikrinama tik ribinė kelio matomumo vertė; G – užtikrinama geras kelio matomumas;									

Pasirinktuose žvyrkelių asfaltavimo projektuose vyrauja mažo spindulio horizontaliosios, vertikaliosios kreivės, arba kreivių tiesiog nėra, kreivės nesuderintos tarpusavyje, todėl nustatyta daug kelio trasos trūkumų, nustatyta daug ruožų, kur sustojimo matomumas nepakankamas. Pasinaudojus sudarytomis rekomendacijomis (4.1 lentelė) galima ištaisyti bent kai kuriuos kelio trūkumus (4.1 lentelė sudaryta pagal idealiausią kreivių derinimo atvejį, todėl rekomendacijos turėtų būti taikomos tik šiam atvejui), taip pagerinant kelio matomumą ir sumažinant avaringumą.

Suprojektuoti kelią, kuris neturi jokių trūkumų, kuriame laikomasi visų reikalavimų yra labai sudėtinga, nes reikia atsižvelgti į daug veiksnių, vienas iš jų pinigai, kurie skiriami projekto įgyvendinimui. Pagal LAKD internetinėje svetainėje [3] pateiktus duomenis vienam kilometrui žvyrkelio išasfaltuoti vidutiniškai skiriama apie 270000 Eur. Vidutinė pirmojo nagrinėto ruožo, kurio ilgis 1,973 km, asfaltavimo kaina 536000 Eur, antrojo nagrinėto ruožo, kurio ilgis 1,266 km, 344000 Eur, trečiojo nagrinėto ruožo, kurio ilgis 1,241 km, 337000 Eur. Visuose nagrinėtuose projektuose numatyta pakeisti visą kelio konstrukciją, todėl pritaikius aukščiau pateiktas rekomendacijas ir pakeitus tik išilginį kelio profilį turėtų pasikeisti tik žemės darbų kiekis. Žemės darbai yra vieni pigiausių darbų kelio statybos etape, pagal sąmatų skaičiavimo programoje „Sistela“ [14] pateiktas 2015 metų kainas, grunto kasimo kaina tik 0,95 Eur už 1 m³. Pritaikius pateiktas rekomendacijas pirmame kelio ruože ir ištaisius 15 vietų, kur susidaro kelio trasos trūkumai, papildomų žemės darbų kaina sudarytų tik 3-4 % bendros projekto vertės, antrame kelio ruože ištaisius 6 vietas, papildomų žemės darbų kaina sudarytų tik 2-3 % bendros projekto vertės, o trečiajame ruože ištaisius 3 vietas, papildomų žemės darbų kaina sudarytų tik 2-3 % bendros projekto vertės. Apibendrinti analizės rezultatai pateikti 4.2 lentelėje.

Automobilių kelių investicijų vadovo [13] pirmame priede pateiktuose, 2015 m. kovo 1 d., įkainiuose, nurodoma, kad eismo įvykio su žuvusiais žmonėmis sąnaudos sudaro 596899 Eur, eismo įvykio su sužeistais žmonėmis sąnaudos sudaro 54201 Eur, techninio eismo įvykio sąnaudos sudaro 1720 Eur. Sąnaudos, reikalingos pirmojo kelio ruožo trasos trūkumams pakeisti, yra apie 30 kartų mažesnės nei vieno eismo įvykio su žuvusiais žmonėmis arba apie 3 kartus mažesnės nei vieno eismo įvykio su sužeistais žmonėmis. Sąnaudos, reikalingos antrojo kelio ruožo trasos trūkumams pakeisti, yra apie 60 kartų mažesnės nei vieno eismo įvykio su žuvusiais žmonėmis arba apie 6 kartus mažesnės nei vieno eismo įvykio su sužeistais žmonėmis. Sąnaudos, reikalingos trečiojo kelio ruožo trasos trūkumams pakeisti, yra apie 80 kartų mažesnės nei vieno eismo įvykio su žuvusiais žmonėmis arba apie 7 kartus mažesnės nei vieno eismo įvykio su sužeistais žmonėmis. Netgi sudėjus visų trijų kelio ruožų kelio trasos trūkumų ištaisymui reikalingas išlaidas, šios sąnaudos būtų apie 17 kartų mažesnės, nei vieno eismo įvykio su žuvusiais žmonėmis arba apie 1,5 karto mažesnės, nei vieno eismo įvykio su sužeistais žmonėmis. Apibendrinti analizės rezultatai pateikti 4.2 lentelėje.

4.2 lentelė. Kelio trasos elementų efektyvumo vertinimo rezultatai (sudaryta autoriaus)

Eil. Nr.	Kelio ruožas	Ruožo ilgis, km	Vidutinė projekto kaina, Eur	Kelio trasos trūkumų ištaisymui reikalinga projekto vertės dalis	Kelio trasos trūkumų ištaisymui reikalingos sąnaudos, Eur	Eismo įvykio su žuvusiais žmonėmis sąnaudos, Eur	Eismo įvykio su sužeistais žmonėmis sąnaudos, Eur
1.	25,541-27,514 km	1,973	536000	3-4 %	16000-21000	596899	54201
2.	27,514-28,780 km	1,266	344000	2-3 %	7000-10000		
3.	32,559-33,800 km	1,241	337000	2-3 %	7000-10000		

Tyrimo metu sudaryta kreivių naudojimo rekomendacijų lentelė (4.1 lentelė) turėtų būti naudojama projektuojant visas panašių žvyrkelių asfaltavimo projektų kelio trasas, kadangi tyrimų metu nustatyta, kad trasos pakeitimų nauda keliasdešimt kartų didesnė, nei sąnaudos reikalingos šiems pakeitimams įvykdyti ir taip pat naudojantis šiomis rekomendacijomis būtų projektuojama sklandesnė, saugesnė ir geresnį kelio matomumą užtikrinanti kelio trasa.

IŠVADOS IR REKOMENDACIJOS

1. Išnagrinėjus Lietuvos automobilių kelių projektavimą reglamentuojančius dokumentus nustatyta, kad šiuo metu galiojančiuose kelių projektavimo norminiuose dokumentuose horizontaliųjų ir vertikalųjų kreivių derinimui tarpusavyje skiriama labai mažai dėmesio, šis kelio projektavimo etapas nėra tinkamai apibrėžtas.
2. Išnagrinėjus užsienio šalių literatūrą nustatyta, kad optiškai sklandžios kelio trasos projektavimui visuose nagrinėtuose šaltiniuose yra pateikiama daug reikalavimų, schemų, kaip tai turėtų būti daroma, pavyzdžių, kaip atrodo vienoks ar kitoks derinimo atvejis, patarimų, ko vengti derinant horizontaliąsias ir vertikaląsias kreives.
3. Atlikus vairuotojų apklausą nustatyta, kad 68,6 % apklaustųjų yra tekę stabdyti, keisti važiavimo trajektoriją kelio vingyje dėl prasto matomumo, 71,7 % respondentų yra tekę susidurti su atveju, kai nemato toliau besidriekiančio kelio, 71,9 % apklaustųjų yra tekę susidurti su atveju, kai važiuojant į įkalnę nemato kelio vingio pradžios, 70,2 % vairuotojų, dėl mažo posūkio spindulio, yra tekę išvažiuoti į priešpriešinio eismo juostą ir net 76,9 % visų apklaustųjų linkę nepaisyti greičio ribojimų.
4. Atlikus pasirinktų žvyrkelių asfaltavimo projektų analizę nustatyta, kad:
 - Dvejuose iš trijų nagrinėtų kelio ruožų, horizontaliosiose kreivėse, vertikaliaisiais kelio ženklais mažinamas važiavimo greitis, vietomis netgi iki 30 km/h: pirmajame ruože 82 % visos kelio trasos, o antrajame 49 % visos kelio trasos.
 - Pirmajame ruože 2, antrajame 1, trečiajame 1 horizontalioji kreivė neatitinka minimalių reikalavimų netgi sumažinus važiavimo greitį.
 - Visuose trijuose kelio ruožuose išilginis profilis projektuojamas su daug lūžių, kurie dažnai įterpiami kas 10-20 metrų.
 - Visuose nagrinėtuose kelio ruožuose viršijamas maksimalus leistinas išilginis nuolydis: pirmajame ruože didžiausias išilginis nuolydis 7,6 %, antrajame ruože 10,8 %, trečiajame ruože 7,8 %.
 - Visuose nagrinėtuose kelio ruožuose nustatyta galimų kelio trasos trūkumų, bloginančių eismo saugumo situaciją ir didinančių avaringumą: nematoma zona, nematoma posūkio pradžia, išlenktas posūkis įduboje, viršukalnėje.
5. Vizualinio kelio tyrimo, panaudojant kelio paviršiaus modelį, metu nustatyta, kad visuose nagrinėjamuose ruožuose gausu kelio trasos trūkumų: pirmajame kelio ruože nustatyta 17, antrajame 10, trečiajame 5 kelio trasos trūkumų, kuriuose kelio sustojimo matomumas sumažėja netgi iki 20-30 m. Tyrimo metu nustatyta, kad bendras visų trijų nagrinėtų ruožų kelio trūkumų tankumas 7,14 trūkumų/km. Dažniausiai pasikartojantys kelio trasos trūkumai: nematoma zona (prasmigimas, pakilimas), nematoma posūkio pradžia, neaiški kelio kryptis.

6. Kelio matomumo nustatymo metu pirmajame kelio ruože užfiksuota 15, antrajame 6, trečiajame 2 vietos, kur sustojimo matomumas sumažėja ir netenkina reikalavimų. Mažiausias pirmajame kelio ruože užfiksuotas kliūties matomumas esant 30 km/h greičiui – 44,70 m, esant 50 km/h greičiui – 42,06 m, esant 70 km/h greičiui – 46,03 m, esant 90 km/h greičiui – 66,26 m. Mažiausias antrajame kelio ruože užfiksuotas kliūties matomumas esant 30 km/h greičiui – 26,41 m, esant 50 km/h greičiui – 43,62 m, esant 70 km/h greičiui – 65,54 m, esant 90 km/h greičiui – 77,69 m. Mažiausias trečiajame kelio ruože užfiksuotas kelio matomumas – 45,20 m.

7. Kelio trasos ruožų modeliavimo metu nustatyta, kad kai kelio išilginiame profilyje įterpiama mažo spindulio, $R \leq 1500$ m, vertikalioji kreivė, kelio matomumas nepriklauso nei nuo horizontaliosios kreivės spindulio, nei nuo išilginio profilio, nei nuo kelio posūkio kampo. Taip pat nustatyta, kad kai projektinis greitis kelio ruože 50 km/h patenkinamas sustojimo matomumas pasiekimas įterpus $R=1500$ m vertikaliąją kreivę, kai projektinis greitis kelio ruože 70 km/h patenkinamas sustojimo matomumas pasiekimas įterpus $R=2000$ m vertikaliąją kreivę, kai projektinis greitis kelio ruože 90 km/h patenkinamas sustojimo matomumas pasiekimas įterpus $R=4000$ m vertikaliąją kreivę.

8. Atlikus rekomenduojamų kelio trasos elementų efektyvumo vertinimą nustatyta, kad pagal rekomendacijas ištaisius kelio trasos trūkumus pirmojo ruožo papildomų žemės darbų kaina sudarytų tik 3-4 % bendros projekto vertės, antrojo ruožo tik 2-3 % bendros projekto vertės, trečiojo ruožo tik 2-3 % bendros projekto vertės. Taip pat nustatyta, kad visų nagrinėtų kelio ruožų kelio trasos trūkumų ištaisymui reikalingos sąnaudos yra apie 17 kartų mažesnės, nei vieno eismo įvykio su žuvusiais žmonėmis arba apie 1,5 karto mažesnės, nei vieno eismo įvykio su sužeistais žmonėmis.

9. Atlikus Lietuvos ir užsienio šalių literatūros apžvalgą ir atlikus pasirinktų žvyrkelių asfaltavimo projektų tyrimą rekomenduojama:

- Projektuojant kelio trasą vadovautis JAV, Vokietijos, Olandijos literatūroje pateiktomis optiškai sklandžios kelio trasos projektavimo rekomendacijomis ir reikalavimais;
- Kelių techniniame reglamente esantį X skirsnio „Erdvinė optiškai sklandi kelio trasa“ 70 punktą papildyti tyrimo metu sudaryta rekomendacijų lentele (4.1 lentelė);
- Panaikinti kelių techniniame reglamente VIII skirsnyje esantį 47 punktą, kuris leidžia rekonstruojamuose keliuose, išilginiame profilyje, ekonomiškai pagrindus, tiesių nejungti vertikaliąja kreive arba pakeisti šį punktą įvedant minimalų tiesės ilgį;
- Įtraukti vizualinę kelio trasos analizę ir kelio matomumo nustatymą, panaudojant kelio paviršiaus modelį, į kelių saugumo audito atlikimo tvarkos aprašą, kaip vieną iš audito metu privalomų atlikti darbų.

LITERATŪRA

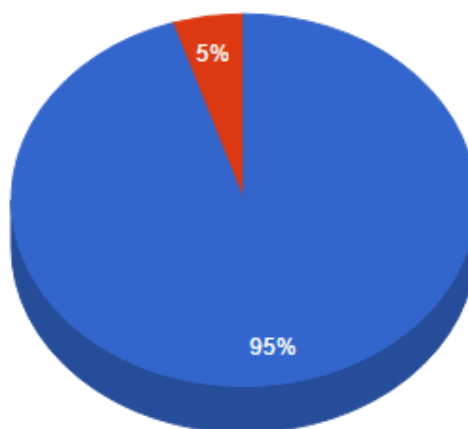
1. Kelių techninis reglamentas KTR 1.01:2008 „Automobilių keliai“, Vilnius, 2008.
2. Automobilių kelių projektavimo taisyklės „AKPT 2016“, Vilnius, 2015.
3. Lietuvos automobilių kelių direkcija prie Susisiekimo ministerijos. [žiūrėta 2017 m. Vasario 15 d.] Prieiga per internetą: <http://www.lakd.lt/>.
4. A manual produced for the World bank and the Dutch Ministry of Transport, Public Works and Water Managment, „Sustainable safe road design“, 2005.
5. Washington State Department of transportation, „Design manual“, Vašingtono valstija, JAV, 2016.
6. Justinas Sadauskas, baigiamasis magistro darbas „Panevėžio regione 2007-2010 metais įgyvendintos žvyrkelių asfaltavimo programos įtaka avaringumui“, 2015.
7. „Kelių horizontaliojo ženklavimo taisyklės“, Vilnius, 2012.
8. „Kelio ženklų įrengimo ir vertikaliojo ženklavimo taisyklės“, Vilnius, 2012.
9. IBS (Intelligent Bim Solutions). [žiūrėta 2017 m. Vasario 28 d.] Prieiga per internetą: <https://ibimsolutions.lt/>.
10. AASHTO American Association of State Highway and Transportation Officials „A policy on geometric design of highways and streets 2011 6 edition“, JAV, 2011.
11. RAL, Richtlinien für die Anlage von Landstraßen (R1), Ausgabe 2012.
12. Apklausos.lt – rinkos tyrimai, apklausos, skambučių centras, 2017. Prieiga per internetą: <https://apklausa.lt/>.
13. Lietuvos automobilių kelių direkcijos prie Susisiekimo ministerijos direktoriaus Įsakymas dėl automobilių kelių investicijų vadovo patvirtinimo, [žiūrėta 2017 m. Balandžio 12 d.] Prieiga per internetą: <https://www.e-tar.lt/portal/lt/legalAct/70972890940511e5a6f4e928c954d72b>.
14. Statybos darbų sąmatų skaičiavimo programa „Sistela“. [žiūrėta 2017 m. Gegužės 12 d.] Prieiga per internetą: <https://studsoft.vgtu.lt>.

PRIEDAI

1 priedas. Vairuotojų apklausos rezultatai.

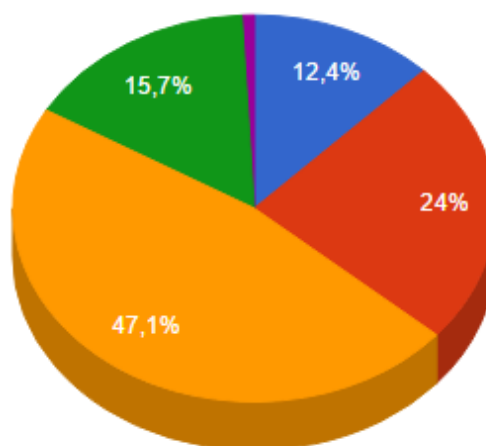
1. Ar turite vairuotojo pažymėjimą?

- Taip
- Ne



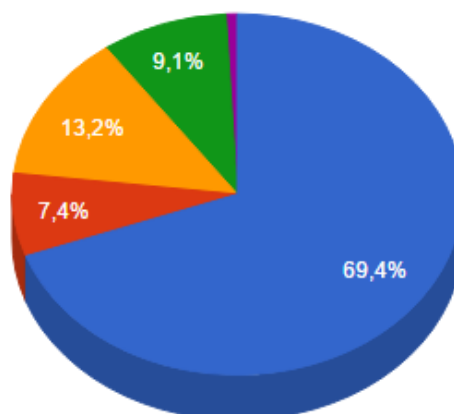
2. Koks jūsų vairavimo stažas?

- iki 2 metų
- 2 - 5 metai
- 5 - 10 metų
- virš 10 metų
- Neatsakė į klausimą



3. Kokiais keliais dažniausiai tenka važinėti?

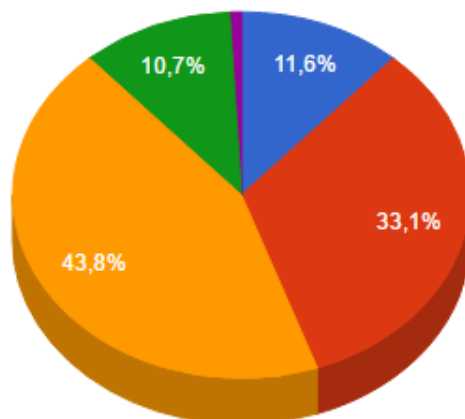
- Miesto gatvės
- Intensyvaus eismo keliai (automagistralės, greitkeliai, didelio intensyvumo magistraliniai keliai)
- Vidutiniškai intensyvūs keliai (krašto keliai)
- Nedidelio intensyvumo keliai (rajoniniai keliai, vietinės reikšmės keliai, privažiavimo keliai)
- Neatsakė į klausimą



1 priedas. Vairuotojų apklausos rezultatai.

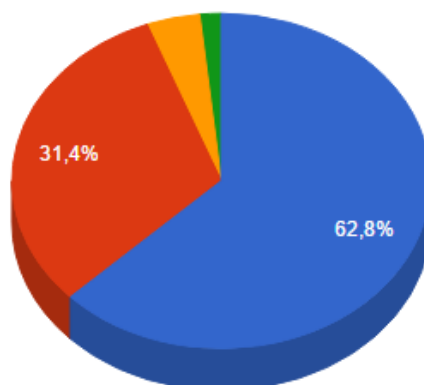
4. Ar laikotės kelio ženklų, kurie apriboja leistiną važiavimo greitį, reikalavimų?

- Taip, visada laikausi leistino važiavimo greičio apribojimų
- Sumažinu savo važiavimo greitį, bet ne iki tiek kiek prašo kelio ženklas
- Laikausi, bet ne visada
- Retai, dažniausiai važiuoju tokiu greičiu, koks man atrodo tinkamas
- Neatsakė į klausimą



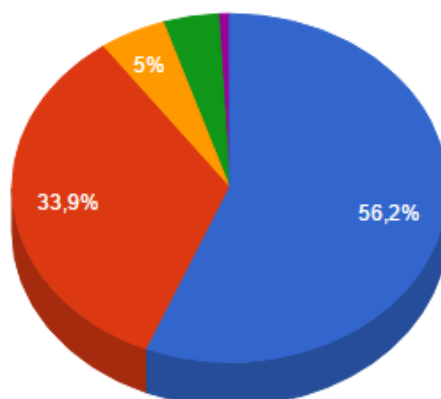
5. Ar laikotės horizontalaus kelio ženklinimo reikalavimų, kurie draudžia lenkimo manevrus (prasto matomumo zonos, prieš sankryžas...)?

- Taip, laikausi
- Laikausi, bet ne visada
- Nesilaikau
- Neatsakė į klausimą



6. Ar važiuodami ir pamatę įspėjamuosius kelio ženklus, kurie žymi posūkio kryptį į kairę arba dešinę, iš naujo įvertinate savo važiavimo greitį?

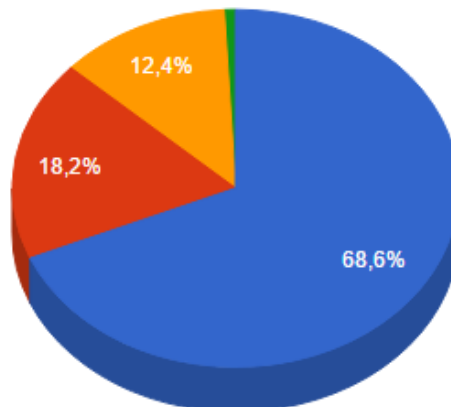
- Taip, iš naujo įvertinu savo greitį ir jei reikia sumažinu jį
- Kartais sumažinu greitį, kartais važiuoju tokiu pat greičiu
- Ne, važiuoju tokiu pat greičiu
- Nesu matęs tokių kelio ženklų
- Neatsakė į klausimą



1 priedas. Vairuotojų apklausos rezultatai.

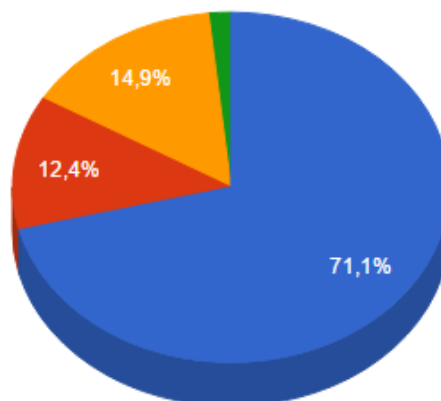
7. Ar yra tekę kelio vingyje stabdyti, keisti automobilio važiavimo kryptį dėl prasto kelio matomumo(neaiški kelio trajektorija; važiuojant pasimatę kliūtis, kurios prieš tai nesimatę; supratote, kad tokiu greičiu saugiai neįveiksite posūkio)?

- Taip, yra tekę
- Ne, nėra tekę
- Nepamenu
- Neatsakė į klausimą



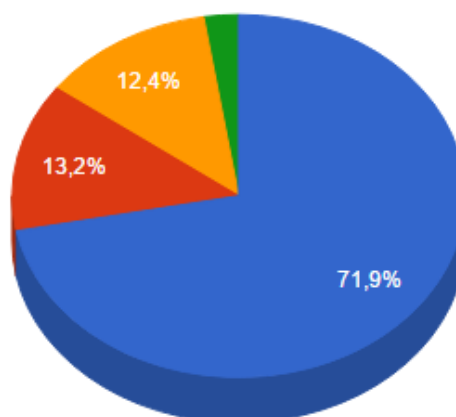
8. Ar yra tekę susidurti su tokiu atveju kai nematote toliau besidriekiančio kelio(susidaro prasmengančio kelio įspūdis, nematoma zona)?

- Taip, yra tekę
- Ne, nėra tekę
- Nepamenu
- Neatsakė į klausimą



9. Ar yra tekę susidurti su tokiu atveju, kai važiuojant į įkalnę nematote kelio vingio, kuris prasideda už įkalnės, pradžios?

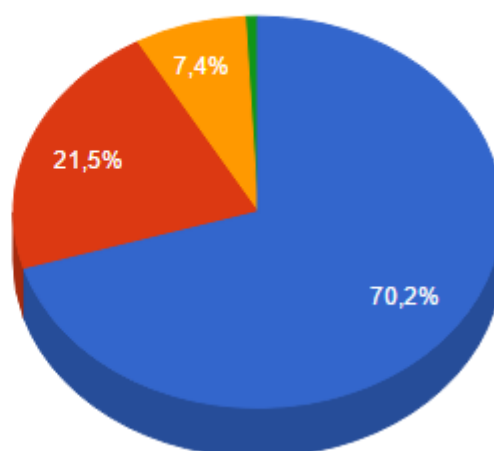
- Taip, yra tekę
- Ne, nėra tekę
- Nepamenu
- Neatsakė į klausimą



1 priedas. Vairuotojų apklausos rezultatai.

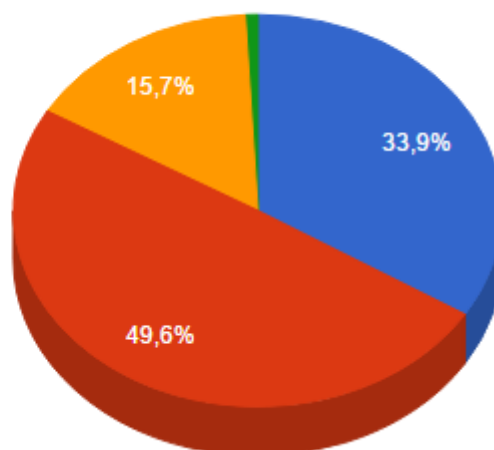
10. Ar yra tekę kelio vingyje dėl mažo kelio posūkio spindulio išvažiuoti į priešpriešinio eismo juostą?

- Taip, yra tekę
- Ne, nėra tekę
- Nepamenu
- Neatsakė į klausimą



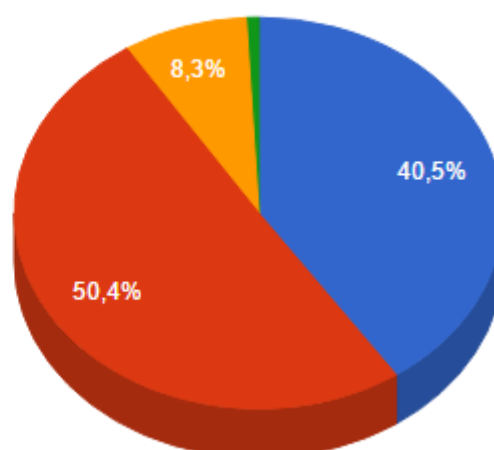
11. Ar yra tekę atlikti automobilio lenkimą kelio vingyje?

- Taip, yra tekę
- Ne, nėra tekę
- Nepamenu
- Neatsakė į klausimą



12. Ar yra tekę atlikti automobilio lenkimą įkalnėje?

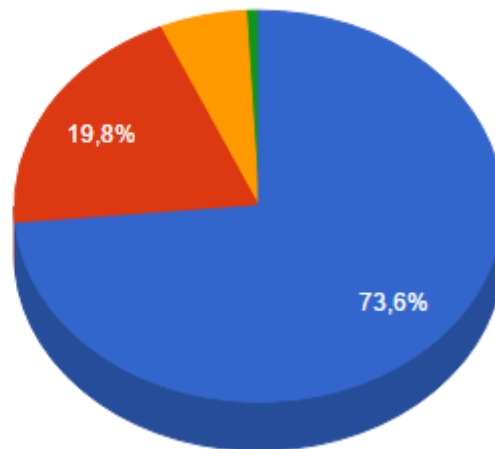
- Taip, yra tekę
- Ne, nėra tekę
- Nepamenu
- Neatsakė į klausimą



1 priedas. Vairuotojų apklausos rezultatai.

13. Kaip manote kiek svarbu vairuotojui iš anksto matyti kelio vingio, įkalnės pradžią, pabaigą, kad spėtų pasirinkti saugų važiavimo greitį?

- Labai svarbu
- Svarbu
- Nemanau, kad tai svarbu
- Neatsakė į klausimą





VERTIKALIŲ IR HORIZONTALIŲ KREIVIŲ DERINIMO ŽVYRKELIŲ ASFALTAVIMO PROJEKTUOSE ANALIZĖ IR REKOMENDACIJOS

Darius, Grybas, Virgaudas Puodžiukas

*Kelių katedra, Aplinkos inžinerijos fakultetas, Vilniaus Gedimino technikos universitetas,
Saulėtekio al. 11, Vilnius, 10223, Lietuva
E-paštas: Darius.grybas@stud.vgtu.lt*

Santrauka. Šiame straipsnyje nagrinėjama aktuali eismo saugumo gerinimo kryptis – kelio trasos vertikalų ir horizontalų kreivių derinimas. Tinkamas šių elementų suderinimas leidžia vairuotojui objektyviau įvertinti eismo situaciją, stebėti aplinką, pasirinkti saugų važiavimo greitį, gerina transporto priemonių matomumą kelyje. Lietuvoje šis projektavimo etapas yra labai menkai išnagrinėtas ir reglamentuotas. Tuo tarpu užsienio literatūroje ir norminiuose dokumentuose yra išskiriama kaip turėtų ir neturėtų būti derinamos kreivės tarpusavyje, kad būtų užtikrinamas eismo saugumas, pakankamas sustojimo ir aplenkimo matomumas. Šiame moksliniame darbe kreivių derinimo analizei pasirinkti trys žvyrkelių asfaltavimo projektai. Šių projektų analizė atlikta keliais etapais. Pirmame tyrimo etape atlikta vairuotojų apklausa, kurios tikslas – nustatyti ar vairuotojai laikosi kelių eismo taisyklių, ar susiduria su atvejais kai kelio trasa ir išilginis profilis nesuderinti tarpusavyje, kokia vairuotojų reakcija į tam tikrus kelio elementus, ar yra tekę pakliūti į pavojingas situacijas dėl nesuderintos kelio trasos. Antrajame tyrimo etape naudojant trijų dimensijų kelio paviršiaus modelį vaizdinės analizės būdu įvertinta situacija ir nustatyti kelio ruožų trūkumai, vietos, kuriose vairuotojui gali kilti abejonių dėl kelio trajektorijos ar reljefo, tinkamo transporto priemonės valdymo būdo pasirinkimo. Trečiame tyrimo etape, panaudojant erdvinį kelio paviršiaus modelį, nustatytas kelio matomumas visuose pasirinktuose žvyrkelių ruožuose, įvertinant ar užtikrinamas minimalus sustojimo ir aplenkimo matomumas.

Raktiniai žodžiai: Kelio trasa, horizontali kreivė, vertikali kreivė, kreivių derinimas, kelio matomumas, kelio paviršiaus modelis, vizualinė analizė.

1. Įvadas

Kelias susideda iš daug sudedamųjų dalių, bet pagrindinė ir svarbiausia kelio sistemos dalis – kelio trasa. Kelio trasa turi būti projektuojama taip, kad horizontalus ir vertikalus kelio profiliai tarpusavyje sudarytų optiškai sklandžią trasą. Teisingai suderinta kelio trasa užtikrina gerą aplenkimo ir sustojimo matomumą, pagerina kelio vizualinį supratimą, leidžia eismo dalyviams laiku įvertinti ir suprasti kelią ir jo aplinką, laiku pastebėti kliūtį ar pavojingą kelio ruožą, leidžia pasirinkti saugų važiavimo greitį, gerai suderinta kelio trasa pagerina eismo saugumo situaciją kelyje.

Vairuotojas yra pati pavojingiausia kelių eismo saugumo sistemos dalis, todėl projektuojant kelią ir nagrinėjant eismo saugumo būklę būtina atsižvelgti į vairuotoją ir jo reakciją į kelio aplinką, kelio elementus, o tai tiesiogiai susiję su kelio trasa, kuria vairuotojas juda.

Lietuvoje galiojantys, automobilių kelių projektavimą reglamentuojantys, dokumentai labai menkai nagrinėja optiškai sklandžios kelio trasos projektavimą. Kelių techniniame reglamente (KTR) šiam projektavimo etapui yra atskiras skirsnis, tačiau jis yra labai trumpas, neinformatyvus ir labai menkai išnagrinėtas.

Užsienio šalių kelių projektavimo norminiuose dokumentuose nurodoma, kad projektuojamo kelio trasa turi būti suderinta taip, kad užtikrintų pakankamai gerą matomumą vairuotojui, kad vairuotojui kelias keltų kuo mažiau dvejonių, kad būtų galima laiku ir teisingai įvertinti artėjančio kelio trajektoriją ir kad kelio horizontalus ir vertikalus profilis negali būti projektuojamas atskirai vienas nuo kito. Kelio trasa turi būti sklandi, gerai matoma ir to pasiekti galima tik tada kai vertikalus ir horizontalus profilis projektuojamas atsižvelgiant vienas į kitą, derinant juos tarpusavyje.

2. Metodika

Kelio trasa turi būti projektuojama taip, kad horizontalus ir vertikalus kelio profiliai tarpusavyje sudarytų optiškai sklandžią trasą. Teisingai suderinta kelio trasa užtikrina gerą aplenkimo ir sustojimo matomumą, pagerina kelio vizualinį supratimą, leidžia eismo dalyviams laiku įvertinti ir suprasti kelią ir jo aplinką, laiku pastebėti kliūtį ar pavojingą kelio ruožą, leidžia pasirinkti saugų važiavimo greitį, gerai suderinta kelio trasa pagerina eismo saugumo situaciją kelyje.

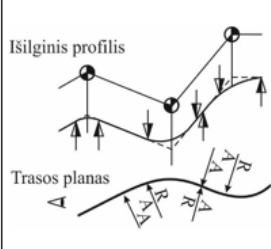
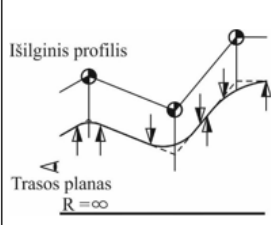
Šiuo metu galiojančiame kelių techniniame reglamente optiškai sklandžios kelio trasos projektavimui yra skiriama labai nedaug dėmesio, tam yra išskiriamas vienas trumpas skirsnis „X skirsnis. Erdvinė optiškai sklandi kelio trasa“ (KTR 2008), kuriame yra 5 punktai aprašantys sklandžios kelio trasos projektavimo principus, nors vienas iš tų punktų tėra nuoroda, į kitus dokumente pateiktus reikalavimus. Šiuose punktuose yra apibrėžiama, kokių kategorijų keliams ir kokių principu vadovaujantis, turėtų būti projektuojama optiškai sklandi kelio trasa, apibrėžiama, kad negalimas kreivių derinimo atvejis kai susidaro kelio prasmegimo įspūdis ir pateikiamas vienas pavyzdys kaip turėtų būti stengiamasi suderinti horizontalias ir vertikalias kreives. Nors projektiniai greičiai ir kelio parametrai tam tikrose kelio kategorijose sutampa, sklandžios kelio trasos projektuoti visose

2 Priedas. Mokslinis straipsnis.

Darius Grybas, Virgaudas Puodžiukas „Vertikalių ir horizontalių kreivių derinimo žvyrkelių asfaltavimo projektuose analizė ir rekomendacijos“

kelių kategorijoje nereikia. Vadovaujantis KTR ne visiems keliams, kurie rekonstruojami ar remontuojami, reikalinga sukurti vizualinių orientyrų sistemos, kuria vadovaujantis vairuotojas galėtų iš anksto matyti važiavimo sąlygų pasikeitimą ir pasirinkti saugų važiavimo režimą. Nesvarbu ar tai naujai tiesiamas kelias, ar rekonstruojamas jau pastatytas kelias, ar remontuojamas kelias, visur turėtų būti stengiamasi sukurti tokius orientyrus, kurie leistų vairuotojui iš anksto ir neskubant priimti sprendimą dėl artėjančio kelio krypties ar važiavimo sąlygų pasikeitimo. Kelio trūkumas kai susidaro kelio prasmegimo išpūdis yra labai pavojingas, nes vairuotojas nemato tam tikros dalies kelio, kurioje jo gali laukti kliūtis, kelio krypties pasikeitimas ir negali pasirinkti saugaus greičio, kad esant reikalui galėtų išvengti jo laukiančios pavojingos situacijos, tačiau KTR nepateikia jokių pavyzdžių kaip to išvengti, kada būtent gali susidaryti tokie kelio trūkumai. Išnagrinėjus visus KTR punktus apibrėžiančius sklandžios kelio trasos derinimą galima teigti, jos šis skirsnis yra per trumpas, punktai yra nukreipiami ne į visas kelio kategorijas, kurioms tai reikalinga, nėra pakankamai aprašomi pavojingi kreivių derinimo atvejai ir kada jie atsiranda, visas skirsnis turėtų būti išplėtotas daug plačiau.

Nuo kelių techninio reglamento įsigaliojimo praėjo jau daugiau nei devyni metai ir per tą laiką gerokai pakito automobilių eismo apkrovos, automobilių eismo srautai, kelių projektavimo ir tiesimo galimybės, eismo saugumo priemonės, todėl šiuo metu, vadovaujantis Vokietijoje 2012 metais įsigaliojusiomis kelių projektavimo rekomendacijomis RAL, yra ruošiamas naujas automobilių kelių projektavimo reglamentuojantis dokumentas „Automobilių kelių projektavimo taisyklės AKPT 16“ (AKPT), kuriame optiškai sklandžios kelio trasos projektavimas išplėtotas daug plačiau ir išsamiau. Tam, kad būtų užtikrinamas sklandžios kelio trasos projektavimas dokumente pateikiama metodika nuo ko turėtų prasidėti tokios trasos projektavimas, pateikiami standartiniai erdviniai elementai, pateikiami kelio trūkumai, kurių reikėtų vengti (nematoma zona, nematoma posūkio pradžia, ištemptas posūkis, lūžiai) ir pateikiami punktai, kuriais vadovaujantis reikia tikrinti jau suprojektuotą kelio trasą. Kelių techniniame reglamente išskiriama, kad reikia vengti kelio prasmegimo išpūdžio susidarymo, bet nepateikiama kada tai susidaro, o APKT pateikia ne tik schemą kada susidaro toks kelio trūkumas, bet ir vaizdinę medžiagą su paaiškinimais (1 pav.).

Erdvinių elementų deriniai	Perspektyvinis vaizdas	Pastabos
Pakilimas		
		– trasos posūkyje vengti daugiau, kaip vienos vertikaliosios kreivės, – pasirinkti kuo didesnius kreivių ilgius plane, – pasirinkti didesnius nei 5000 m vertikalių kreivių spindulius ir be tiesių intarpų tarp jų, – padidinti išgaubtos kreivės spindulį, kad panaikinti susidariusią nematomą zoną įgaubtoje kreivėje, – vengti tiesių tarpų tarp vertikalinių kreivių, esant nuolydžiui $< 8\%$. – tikrinti perspektyvinius vaizdus, jei išilginiame profilyje tarp išgautų kreivių yra trumpos tiesės su pastoviu išilginiu nuolydžiu.
Prasmegimas		
		

1 pav. Trūkumas, kai kelyje susidaro nematomos zonos (APKT 16, 2015)

Užsienio šalių kelių projektavimo norminiuose dokumentuose dažnai galima sutikti nurodymą, kad projektuojamo kelio trasa turi būti suderinta taip, kad užtikrintų pakankamai gerą matomumą vairuotojui, kad vairuotojui kelias keltų kuo mažiau dvejonų, kad būtų galima laiku ir teisingai įvertinti artėjančio kelio trajektoriją ir kad kelio horizontalus ir vertikalus profilis negali būti projektuojamas atskirai vienas nuo kito. Vienas iš tokių dokumentų dar 1999 metais išleistas ir iki šių dienų atnaujinamas Vašingtono valstijos transporto departamento kelių tinklo projektavimo ir tobulinimo taisyklių rinkinys (WSDOT).

Kelio trasa turi būti projektuojama taip, kad užtikrintų gerą matomumą, tolygų važiavimo greitį, kad būtų patrauklios išvaizdos ir kad užtikrintų efektyvų transporto eismą, o kad tą pasiekti pateikiami nurodymai, kuriais reikėtų vadovautis derinant horizontalų ir vertikalų kelio trasos profilį (WSDOT 2016):

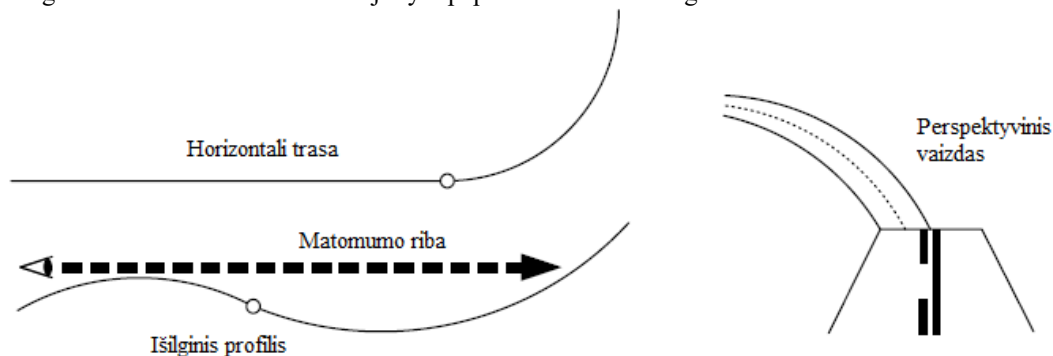
- Negalima pradėti ar pabaigti horizontalios kreivės ties išgaubtos vertikalios kreivės viršūne ar netoli jos, nes esant tokiam kreivių derinimui vairuotojas gali laiku nepastebėti kelio posūkio pradžios ar pabaigos, o tai labai pavojinga, ypač naktį. Pageidautinas toks kreivių derinimas, kai horizontali kreivė prasideda anksčiau nei išgaubta vertikalioji kreivė ir baigiasi toliau nei vertikalioji kreivė;
- Stengtis neprojektuoti didelio posūkio kampo horizontalių kreivių ryškiose įgaubtos vertikaliosios kreivės, nes toks trasos elementų derinys sumažina kelio trasos matomumą ir tokioje situacijoje nereikalingai iškreipiamas kelio vaizdas;
- Ties sankryžomis stengtis horizontalias ir vertikalias kreives projektuoti kuo lėkštesnes, didesnio spindulio, kad būtų užtikrinamas pakankamas saugus kelio matomumas ir vairuotojai prirėkus galėtų laiku pristabdyti ar sustoti;
- Sutapatinant kreives, kad jų viršūnės būtų viename taške, sukurama maloni, sklandi kelio trasos išvaizda, užtikrinamas geras kelio matomumas;

Kaip ir anksčiau nagrinėtuose Lietuvos projektavimo dokumentuose taip ir šiose projektavimo taisyklėse didelis dėmesys skiriamas kelio trūkumui, kai susidaro kelio prasmegimo, sutrūkimo išpūdis. Toks kelio trasos vaizdas susidaro kai

2 Priedas. Mokslinis straipsnis.

Darius Grybas, Virgaudas Puodžiukas „Vertikalių ir horizontalių kreivių derinimo žvyrkelių asfaltavimo projektuose analizė ir rekomendacijos“

horizontalios kreivės pradžia ir tam tikra jos dalis yra nematoma, prasideda už vertikalios kreivės viršūnės, o horizontalios kreivės tęsinys yra matomas (2 pav.). Susidaro įduba, nematoma zona, kurioje prasideda kreivė, vairuotojas važiuodamas negali teisingai įvertinti artėjančios kreivės, pasirinkti tinkamo greičio, nes nemato, kreivės pradžios, taip pat sulūžusio ir kažkur pradingstančio kelio vaizdas vairuotojui yra papildomas nereikalingas trikdys.



2 pav. Sutrikusio kelio efektas (WSDOT 2016)

3. Tyrimas

Lietuvos automobilių kelių tinklą sudaro 21252 km valstybinės reikšmės kelių, iš jų labai didelę dalį, net 69% (14579 km) sudaro rajoninės reikšmės keliai (LAKD 2017). Pasak Lietuvos automobilių kelių direkcijos prie Susisiekimo ministerijos internetiniame puslapyje pateiktos informacijos, apie pusę šių kelių sudaro keliai su žvyro danga ir rajoninės reikšmės keliai su žvyro danga sudaro apie trečdalį viso Lietuvos automobilių kelių tinklo, todėl kiekvienais metais stengiamasi išasfaltuoti kuo daugiau kelių su žvyro danga, taip pagerinant viso kelių tinklo būklę, sumažinant dulkėtumą, pagerinant eismo kokybės sąlygas. Panaudojant Europos Sąjungos paramos bei Kelių priežiūros ir plėtros programos lėšas, per 2016–2017 metus numatoma asfaltuoti apie 591 kilometrą žvyrkelių Alytaus, Kauno, Klaipėdos, Marijampolės, Panevėžio, Šiaulių, Tauragės, Telšių, Utenos ir Vilniaus regionuose (LAKD 2017). Asfaltuojamos bus žvyrkelių atkarpos tarp jau asfaltuotų kelio ruožų, dažniausiai nuo vienos gyvenvietės iki kitos, kad sujungti jau asfaltuotus kelių ruožus tarpusavyje. Kadangi rajoninės reikšmės keliai pasižymi prasta eismo saugumo būkle, vingiuotomis ir kalvotomis trasomis, o asfaltuojant žvyrkelius dažniausiai paliekama tokia pati kelio trasa, nuspręsta išnagrinėti tris asfaltavimo projektus, priklausančius 2016-2017 metų žvyrkelių asfaltavimo programai.

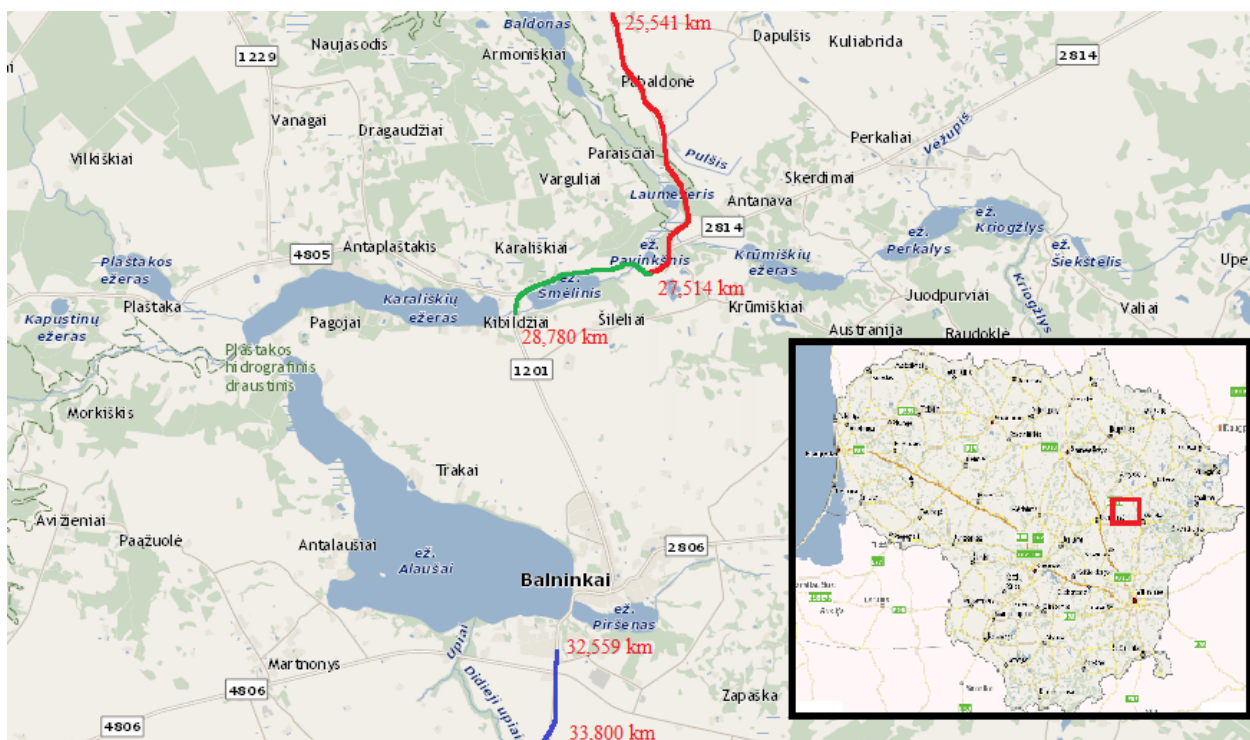
3.1. Tyrimo objektas

Pasirenkant tyrimo objektus buvo atsižvelgiama į horizontalią trasos profilį (kuo daugiau vingių), išilginį profilį (kuo daugiau kalvų, didelis išilginis nuolydis), esančią kelio trasos būklę (ar esamoje situacijoje yra kelio trūkumų atsirandančių dėl nesuderintos kelio trasos). Atsižvelgiant į šiuos kriterijus buvo pasirinkti trys, tam pačiam valstybinės reikšmės rajoniniam keliui Nr. 1201 Anykščiai-Kurkliai-Balninkai-Želva priklausantys, kelio ruožų asfaltavimo projektai, kuriuos numatyta įvykdyti 2016-2017 metais.

Visi pasirinkti kelio ruožai išsidėstę rytinėje Lietuvos dalyje, Utenos apskrityje, pirmas (25,541-27,514 km) ir trečias (32,559-33,800 km) ruožai Molėtų rajone, antras (27,514-28,780 km) ruožas Anykščių rajone (3 pav.).

2 Priedas. Mokslinis straipsnis.

Darius Grybas, Virgaudas Puodžiukas „Vertikalių ir horizontalių kreivių derinimo žvyrkelių asfaltavimo projektuose analizė ir rekomendacijos“



3 pav. Pasirinktų kelio ruožų vieta Lietuvos žemėlapyje

Visiems ruožams numatytas kapitalinis remontas. Visuose trijuose nagrinėtuose projektuose numatyta pilnai pakeisti kelio konstrukciją, pakeisti kelio dangos konstrukcijos tipą iš žvyro dangos į asfaltbetonio dangą, minimaliai pakoreguoti kelio trasą, atstatyti, įrengti ar sutvirtinti vandens nuvedimo įrenginius, kelio ženklus, apsauginius kelio atitvarus, įrengti asfaltuotas nuvažas, sankryžas, įrengti autobusų sustojimo aikštes.

3.2. Tyrimo metodika

Nagrinėjant kelių eismo saugumą reikia nagrinėti ne tik patį kelią, kaip infrastruktūros statinį, bet visą sistemą susidedančią iš vairuotojo, automobilio, kelio, aplinkos. Tam, kad būtų užtikrinamas visos sistemos išnagrinėjimas, tyrimas susideda iš kelių dalių:

- Vairuotojų apklausa;
- Kelio vizualinis tyrimas panaudojant kelio paviršiaus modelį;
- Kelio matomumo matavimas panaudojant kelio paviršiaus modelį;

Apklausos tikslas – nustatyti ar vairuotojai laikosi kelių eismo taisyklių, ar susiduria su atvejais kai kelio trasa ir išilginis profilis nesuderinti tarpusavyje, kokia vairuotojų reakcija į tam tikrus kelio elementus, ar yra tekę pakliūti į pavojingas situacijas dėl nesuderintos kelio trastos.

Atliekant pasirinktų žvyrkelių asfaltavimo projektų analizę buvo naudojami kelio paviršiaus modeliai sukurti pagal Lietuvoje galiojančias koordinacijas ir aukščių sistemą, naudojant AUTOCAD CIVIL 3D 2017 programinės įrangos paketą. Kelio paviršiaus modelis sukurtas pagal visus projektinius sprendinius: parinktą kelio dangos konstrukciją, suprojektuotą ašį, išilginį profilį, kelio dangos viršūnių posūkiuose, griovių išilginius profilius. Patikrinimui buvo sukurtos kelio ruožų vizualizacijos iš vairuotojo perspektyvos, kad matyti, kokią vaizdą matys vairuotojas ir su kokiais kelio trūkumais jam teks susidurti važiuojant šiais kelio ruožais.

Kelio matomumas yra vienas iš svarbiausių veiksnių įtakančių eismo saugumą. Atliekant pasirinktų žvyrkelių asfaltavimo projektų analizę buvo naudojami kelio paviršiaus modeliai sukurti pagal Lietuvoje galiojančias koordinacijas ir aukščių sistemą, naudojant AUTOCAD CIVIL 3D 2017 programinės įrangos paketą, kurio pagalba pamatuotas kelio matomumas.

3.3. Vairuotojų apklausa

Siekiant išsiaiškinti nagrinėjamos temos aktualumą ir vairuotojų požiūrį į nagrinėjamą kelių saugumo sritį sudaryta apklausa, kurioje dalyvavo tik vairuotojai, turintys galiojantį vairuotojo pažymėjimą. Apklausa anoniminė ir atlikta internetu (Apklausa.lt 2017), apklausą sudaro 13 klausimų su pateiktais atsakymo variantais. Apklausoje dalyvavo 120 respondentų iš įvairių Lietuvos ir užsienio šalių miestų.

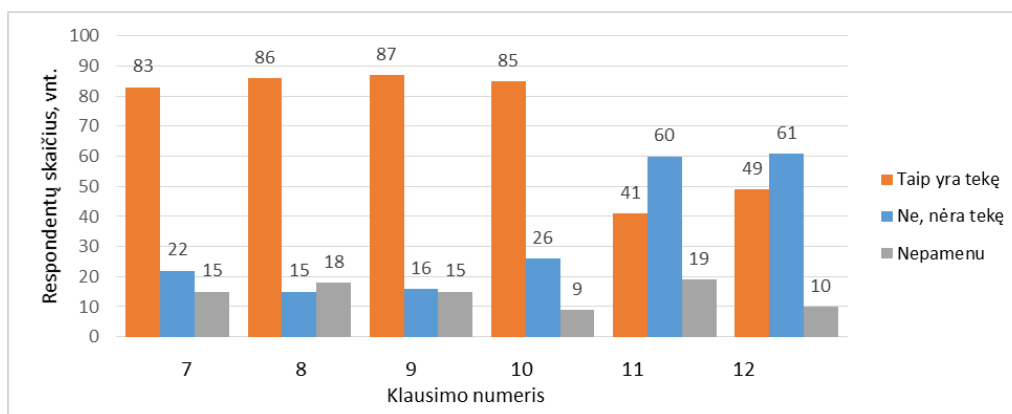
Pirmieji apklausos klausimai orientuoti į tai, kad išsiaiškinti apklaustųjų vairavimo patirties apimtį ir kelių, kuriais jie daugiausia važinėja, tipą. Didžiosios dalies apklaustųjų (47,1% apklaustųjų) vairavimo stažas 5-10 metų. Tolimesni klausimai (4-6 klausimai) nukreipti į tai, kad išsiaiškinti ar vairuotojai laikosi kelių eismo taisyklių, susijusių su kelių eismo saugumo užtikrinimu posūkiuose, mažo matomumo zonose. Daugiau nei pusė apklaustųjų (76,9 % visų respondentų) pripažino, jog pilnai nesilaiko leistino greičio apribojimų. Likusi dalis klausimų (7-12 klausimai) susiję su nesklandžia kelio trasa ir eismo saugumu joje:

2 Priedas. Mokslinis straipsnis.

Darius Grybas, Virgaudas Puodžiukas „Vertikalių ir horizontalių kreivių derinimo žvyrkelių asfaltavimo projektuose analizė ir rekomendacijos“

- 7 klausimas: Ar yra tekę kelio vingyje stabdyti, keisti automobilio važiavimo kryptį dėl prasto kelio matomumo (neaiški kelio trajektorija; važiuojant pasimatė kliūtis, kurios prieš tai nesimatė; supratote, kad tokiu greičiu saugiai neįveiksite posūkio)?;
- 8 klausimas: Ar yra tekę susidurti su tokiu atveju kai nematote toliau besidriekiančio kelio (susidaro prasmengiančio kelio įspūdis, nematoma zona)?;
- 9 klausimas: Ar yra tekę susidurti su tokiu atveju, kai važiuojant į įkalnę nematote kelio vingio, kuris prasideda už įkalnės, pradžios?;
- 10 klausimas: Ar yra tekę kelio vingyje dėl mažo kelio posūkio spindulio išvažiuoti į priešpriešinio eismo juostą?;
- 11 klausimas: Ar yra tekę atlikti automobilio lenkimą kelio vingyje?;
- 12 klausimas: Ar yra tekę atlikti automobilio lenkimą įkalnėje?;

Apibendrinti 7-12 klausimų rezultatai, kartu su galimais atsakymų variantais pateikti vienoje scheme (4 pav.).



4 pav. Apibendrinti 7-12 apklausos klausimų rezultatai

Iš grafiko matyti, kad labai didelė dalis respondentų yra susidūrę su pavojingomis situacijomis atsirandančiomis dėl nesklandžios kelio trasos. Vairuotojams yra tekę stabdyti, keisti važiavimo trajektoriją kelio vingyje dėl prasto matomumo (83 apklaustieji), yra tekę susidurti su atveju, kai nemato toliau besidriekiančio kelio (86 apklaustieji), yra tekę susidurti su atveju, kai važiuojant į įkalnę nemato kelio vingio pradžios (87 apklaustieji), yra tekę dėl mažo posūkio spindulio išvažiuoti į priešpriešinio eismo juostą (85 apklaustieji), yra tekę atlikti lenkimo manevrą kelio vingyje (41 apklaustasis), yra tekę atlikti lenkimo manevrą įkalnėje (49 apklaustieji).

3.4. Kelio vizualinis tyrimas panaudojant kelio paviršiaus modelį

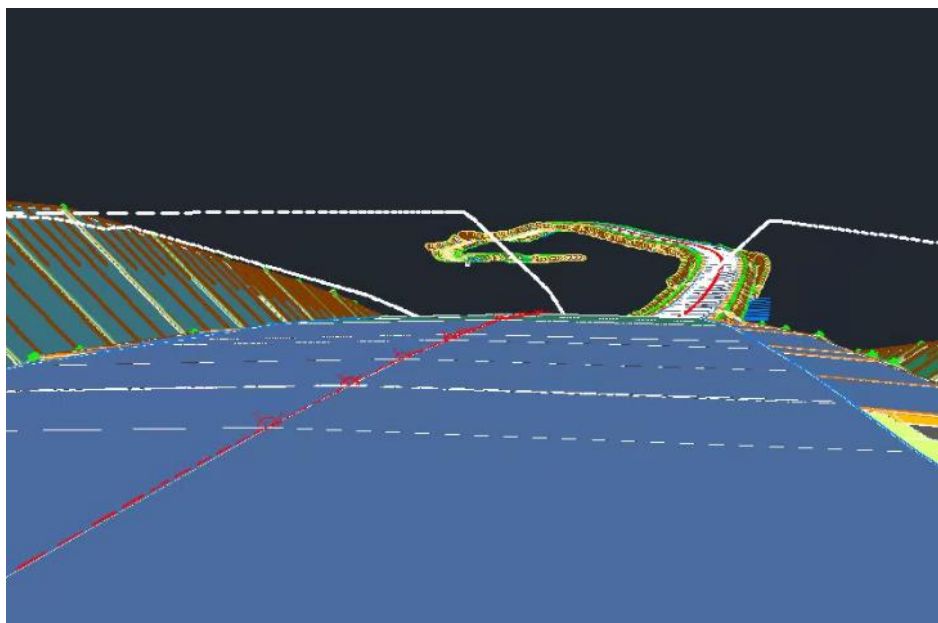
Trimačiai modeliai naudojami projektinių sprendinių vizualizacijų kūrimui, suprojektuotų objektų vizualizacijų kūrimui, kelio ir jo statinių statybos darbų palengvinimui, pagreitinimui ir kaštų sumažinimui. Nors skaitmeniniai kelio paviršiaus modeliai kuriami labiau orientuojantis į statybą, galima juos pritaikyti ir kitose srityse, tokiose kaip kelio eismo saugumo analizė. Kelio paviršiaus modelis kuriamas pagal realias geografines koordinates, pagal galiojančią aukščių sistemą, pagal suprojektuotus sprendinius, todėl dar kelio projektavimo etape, pasinaudojant trimačiu modeliu, galima įvertinti suprojektuoto kelio eismo saugumo situaciją, kelio trasos horizontalių ir vertikalų kreivių suderinimą, įvertinti ar užtikrinamas pakankamas sustojimo, aplenkimo matomumas.

Patikrinimui buvo sukurtos kelio ruožų vizualizacijos iš vairuotojo perspektyvos, kad pamatyti, kokį vaizdą matys vairuotojas ir su kokiais kelio trūkumais jam teks susidurti važiuojant šiais kelio ruožais. Vizualizacijos sukurtos taip, lyg būtų važiuojama lengvuju automobiliu ir vairuotojo akių aukštis būtų 1,0 m virš važiuojamosios kelio dalies. Tokį atstumą tikrinant kelio matomumą reglamentuoja KTR.

Kelio trasos patikrinimas atliktas važiuojant kelio trasa pirmyn, o po to priešinga puse atgal, kadangi kelias dviejų skirtingų eismo kryptų juostų, ir ieškant akimi matomų kelio trūkumų. Atlikus vizualinę pirmojo kelio ruožo (25,541 – 27,514 km) analizę važiuojant pirmyn ir atgal nustatyta 17 (10 važiuojant pirmyn ir 7 važiuojant atgal) akivaizdžių kelio trūkumų. Vienas iš kelio ruožų nustatytų trūkumų pateiktas paveikslėlyje (5pav.).

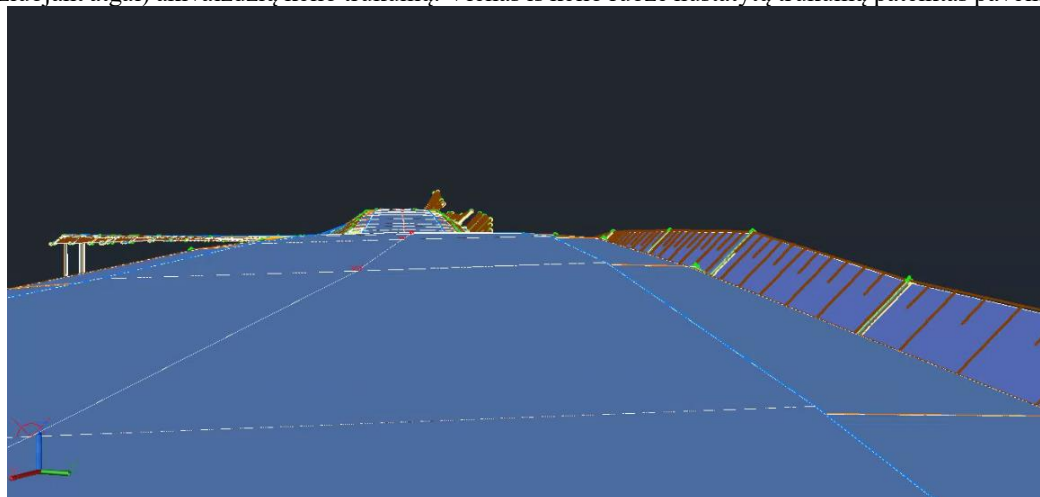
2 Priedas. Mokslinis straipsnis.

Darius Grybas, Virgaudas Puodžiukas „Vertikalių ir horizontalių kreivių derinimo žvyrkelių asfaltavimo projektuose analizė ir rekomendacijos“



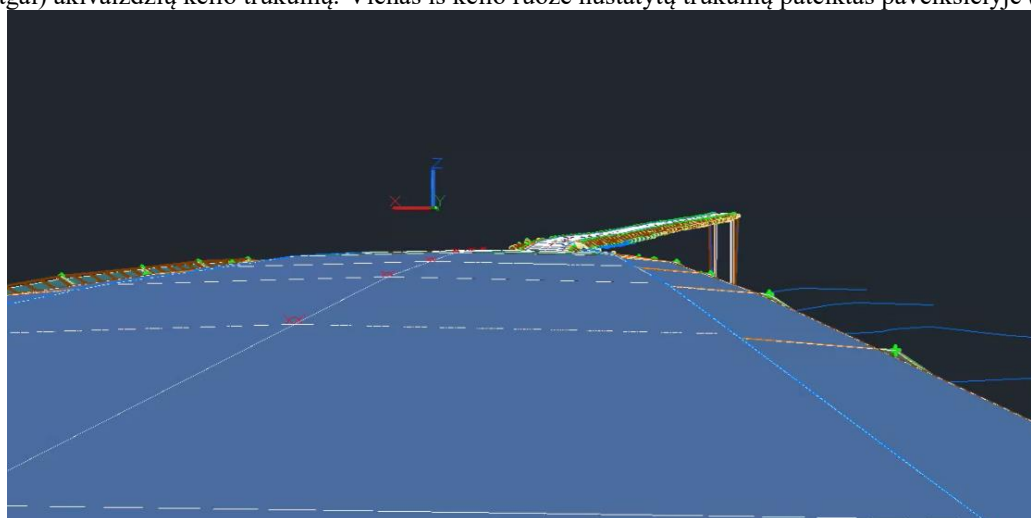
5 pav. Nematoma zona pirmame kelio ruože

Atlikus vizualinę antrojo kelio ruožo (27,514 – 28,780 km) analizę važiuojant pirmyn ir atgal nustatyta 10 (5 važiuojant pirmyn ir 5 važiuojant atgal) akivaizdžių kelio trūkumų. Vienas iš kelio ruože nustatytų trūkumų pateiktas paveikslėlyje (6 pav.).



6 pav. Nematoma zona antrame kelio ruože

Atlikus vizualinę trečiojo kelio ruožo (32,559-33,800 km) analizę važiuojant pirmyn ir atgal nustatyta 5 (2 važiuojant pirmyn ir 3 važiuojant atgal) akivaizdžių kelio trūkumų. Vienas iš kelio ruože nustatytų trūkumų pateiktas paveikslėlyje (7 pav.).



7 pav. Nematoma zona trečiame kelio ruože

Visuose trijuose nagrinėtuose ruožuose nustatyti panašūs kelio trūkumai (nematomos zonos, pakilimai, prasmegimai, nematoma posūkio pradžia), kurie pagal AKPT 16 17 lentelę (AKPT 16 2015) turi didelę įtaką eismo saugumui. Visų kelio trūkumų pirmyn ir atgal vietos apytiksliai sutampa (susidaro tame pačiame elementų junginyje), tai parodo, kad elementų

2 Priedas. Mokslinis straipsnis.

Darius Grybas, Virgaudas Puodžiukas „Vertikalių ir horizontalių kreivių derinimo žvyrkelių asfaltavimo projektuose analizė ir rekomendacijos“

derinius būtina nagrinėti iš abiejų pusių. Naudojant kelio paviršiaus modelį buvo labai lengvai pastebėti kelio trūkumai, ką padaryti analizuojant tik brėžinius labai sudėtinga. Analizuojant brėžinius galima tik teoriškai, naudojant tipinius elementų derinius ir kitą kreivių derinimo teoriją, daryti prielaidą, kad kažkur gali susidaryti tam tikras kelio trūkumas, tačiau norint tiksliai įvertinti susidariusią situaciją galima tik matant perspektyvinį kelio vaizdą, ką leidžia padaryti kelio paviršiaus modelis. Realus perspektyvinis kelio vaizdas vairuotojo akimis suteikia daug didesnę galimybę tinkamai ir tiksliai įvertinti projektuojamą kelio ašį, išilginį profilį ir jų suderinimą tarpusavyje, pamatyti tai, ką matys vairuotojas dar kelio projektavimo studijoje.

3.5. Kelio matomumo matavimas panaudojant kelio paviršiaus modelį

Kelio matomumas yra vienas iš svarbiausių veiksnių įtakojančių eismo saugumą. Keliuose reikalingas toks mažiausias matomumas, kad vairuotojas galėtų: laiku sustoti prieš pastebėtą kliūtį; saugiai aplenkti kitą transporto priemonę; saugiai važiuoti per sankryžas ir pėsčiųjų perėjas.

Atliekant pasirinktų žvyrkelių asfaltavimo projektų analizę buvo naudojami kelio paviršiaus modeliai sukurti pagal Lietuvoje galiojančias koordinates ir aukščių sistemą, naudojant AUTOCAD CIVIL 3D 2017 programinės įrangos paketą, kuris leidžia pamatuoti kelio matomumą. Kelio matomumas buvo matuojamas pasinaudojant KTR pateikta kelio matomumo skaičiavimo schema. Lengvojo automobilio vairuotojo akių aukštis virš važiuojamosios dalies – 1,0 m. Kliūtis aukštis virš važiuojamosios dalies – 0,15 m. Priešpriešinės transporto priemonės aukštis virš važiuojamosios dalies – 1,0 m.

Pirmajame kelio ruože, kai kliūtis aukštis 0,15 m nuo važiuojamosios kelio dalies, užfiksuotos 15 vietų, kur kelio matomumas gerokai sumažėja. Mažiausias užfiksuotas kliūtis matomumas esant 30 km/h greičiui – 44,70 m, esant 50 km/h greičiui – 42,06 m, esant 70 km/h greičiui – 46,03 m, esant 90 km/h greičiui – 66,26 m. Kai kliūtis aukštis 1,00 m nuo važiuojamosios kelio dalies, užfiksuota 10 vietų, kur kelio matomumas gerokai sumažėja. Mažiausias užfiksuotas kliūtis matomumas esant 30 km/h greičiui – 78,79 m, esant 50 km/h greičiui – 70,31 m, esant 70 km/h greičiui – 70,99 m, esant 90 km/h greičiui – 130,91 m. Dauguma iš nustatytų matomumo atstumų netenkina minimalaus sustojimo matomumo, esant tam tikram projekciniam greičiui, pateikto KTR. Antrojo ir trečiojo ruožo matomumo analizės rezultatai apibendrintai pateikti lentelėje (1 lentelė).

1 lentelė. Antrojo ir trečiojo ruožų matomumo analizės rezultatai

Kelio ruožas, km	Kliūtis aukštis, m	Vieta, Pk+	Matomumas, m	Projektinis greitis, km/h	Aplenkimo matomumas pagal KTR, m	Sustojimo matomumas pagal KTR, m
27,514-28,780	0,15	275+98	26,41	30	-	-
27,514-28,780	0,15	277+58	77,69	90	575	~150
27,514-28,780	0,15	279+38	86,13	70	450	~100
27,514-28,780	0,15	282+18	65,54	70	450	~100
27,514-28,780	0,15	283+18	67,40	70	450	~100
27,514-28,780	0,15	284+78	43,62	50	-	~50
27,514-28,780	1,00	275+98	53,22	30	-	-
27,514-28,780	1,00	277+18	325,73	90	575	~150
27,514-28,780	1,00	284+68	67,85	50	-	~50
32,559-33,800	0,15	327+89	91,80	90	575	~150
32,559-33,800	0,15	332+89	45,20	90	575	~150
32,559-33,800	1,00	332+79	69,00	90	575	~150

Išvados

1. Išnagrinėjus visus KTR punktus apibrėžiančius sklandžios kelio trasos derinimą nustatyta, jos šis skirsnis yra per trumpas, punktai yra nukreipiami ne į visas kelio kategorijas, kurioms tai reikalinga, nėra pakankamai aprašomi pavojingi kreivių derinimo atvejai ir kada jie atsiranda, visas skirsnis turėtų būti išplėtotas daug plačiau ir išsamiau.

2. Apklausos rezultatai parodė, kad didžioji dalis apklausoje dalyvavusių vairuotojų linkę nepaisyti greičio ribojimo ženklų (76,9 % apklaustųjų), bet laikosi horizontalaus ženklavimo ribojančio lenkimo, kreipia dėmesį į įspėjamuosius kelio ženklus (56,2 % apklaustųjų), vairuotojams yra tekę stabdyti, keisti važiuojamą trajektoriją kelio vingyje dėl prasto matomumo (83 respondentai), yra tekę susidurti su atveju kai nemato toliau besidriekiančio kelio (86 respondentai), yra tekę susidurti su atveju kai važiuojant į įkalnę nemato kelio vingio pradžios (87 respondentai), yra tekę dėl mažo posūkio spindulio išvažiuoti į priešpriešinio eismo juostą (85 respondentai), yra tekę atlikti lenkimo manevrą kelio vingyje (41 respondentas), yra tekę atlikti lenkimo manevrą įkalnėje (49 respondentai).

3. Atlikus vizualinę kelio ruožų analizę, naudojant kelio paviršiaus modelį, pirmajame kelio ruože nustatyta 17, antrajame 10, o trečiajame 5 kelio trūkumų iš kurių didžiąją dalį sudaro nematomos zonos, prasmegimai, pakilimai ir neaiški posūkio pradžia.

4. Atlikus kelio ruožų matomumo analizę, naudojant kelio paviršiaus modelį, pirmajame kelio ruože nustatytos 25, antrajame 9, trečiajame 3 vietos, kur kelio matomumas sumažėjo iki 30-40 metrų ir netenkina minimalaus sustojimo ir aplenkimo atstumo.

5. Atlikus tyrimą, naudojant kelio paviršiaus modelį eismo saugumo situacijai įvertinti, galima teigti, kad toks analizės būdas labai patogus nustatant kelio suderinimo trūkumus, kelio matomumą, tikslus, nes sukuriamas pagal tikrus projektinius

2 Priedas. Mokslinis straipsnis.

Darius Grybas, Virgaudas Puodžiukas „Vertikalių ir horizontalių kreivių derinimo žvyrkelių asfaltavimo projektuose analizė ir rekomendacijos“

sprendinius, naudingas ir suteikia didelį pranašumą – dar kelio projektavimo stadijoje užfiksuoti eismo saugumo situacijos trūkumus kelio traseje.

Literatūra

KTR 1.01:2008 „Automobilių keliai“, kelių techninis reglamentas, 2008
RAL, Richtlinien für die Anlage von Landstraßen (R1), Ausgabe 2012
AKPT 2016 „Automobilių kelių projektavimo taisyklės“, 2015
WSDOT Design manual M22-01.13, Washington State Department of transportation, 2016
www.lakd.lt Lietuvos automobilių kelių direkcija prie Susisiekimo ministerijos, 2017
www.apklausa.lt Apklausa.LT – rinkos tyrimai, apklausos, skambučių centras, 2017