



VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

APLINKOS INŽINERIJOS FAKULTETAS

KELIŲ KATEDRA

Žygimantas Mažeikis

**HORIZONTALIAJAM KELIŲ ŽENKLINIMUI NAUDOJAMŲ
MEDŽIAGŲ ATSPINDIMOJO SKAISČIO DEGRADACIJOS
TYRIMAS**

**RESEARCH ON RETROREFLECTIVITY DEGRADATION OF
MATERIALS USED FOR HORIZONTAL ROAD MARKING**

Baigiamasis magistro darbas

Kelių ir geležinkelių studijų programa, valstybinis kodas 6211EX039

Kelių specializacija

Statybos inžinerijos studijų kryptis

Vilnius, 2021

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS
APLINKOS INŽINERIJOS FAKULTETAS
KELIŲ KATEDRA

TVIRTINU
Katedros vedėjas

(Parašas)

(Vardas, pavardė)

(Data)

Žygimantas Mažeikis

**HORIZONTALIAJAM KELIŲ ŽENKLINIMUI NAUDOJAMŲ MEDŽIAGŲ
ATSPINDIMOJO SKAISČIO DEGRADACIJOS TYRIMAS**

**RESEARCH ON RETROREFLECTIVITY DEGRADATION OF
MATERIALS USED FOR HORIZONTAL ROAD MARKING**

Baigiamasis magistro darbas

Kelių ir geležinkelių studijų programa, valstybinis kodas 6211EX039

Kelių specializacija

Statybos inžinerijos studijų kryptis

Vadovas

prof. dr. Alfredas Laurinavičius
(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė)

(Parašas)

(Data)

Lietuvių kalbos konsultantas

dr. Aušra Žemienė
(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė)

(Parašas)

(Data)

Vilnius, 2021

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS
APLINKOS INŽINERIJOS FAKULTETAS
KELIŲ KATEDRA

Statybos inžinerija studijų kryptis
Keliai ir geležinkeliai studijų programa,
valstybinis kodas 6211BX039

TVIRTINU
Katedros vedėjas

(Parašas)

(Vardas, pavardė)

(Data)

BAIGIAMOJO MAGISTRO DARBO
UŽDUOTIS

.....Nr.
Vilnius

Studentui (ei) Žygimantui Mažeikiui

Baigiamojo darbo tema: **Horizontaliajam kelių ženklavimui naudojamų medžiagų atspindimojo skaisčio degradacijos tyrimas**

Research on Retroreflectivity Degradation of Materials Used for Horizontal Road Marking

patvirtinta 2021 m. kovo 4 d. dekanato potvarkiu Nr. 41 ap

Baigiamojo darbo užbaigimo terminas 2021 m. d.

BAIGIAMOJO DARBO UŽDUOTIS:

Išvadas. Horizontaliojo kelių ženklavimo apžvalga: tyrimai, reikalavimai, naudojamos medžiagos, ženklavimas Lietuvoje ir kitose ES valstybėse. Atspindimojo skaisčio tyrimai: matavimo metodai, atspindimojo skaisčio degradacija. Eksperimentinio tyrimo objektas, rezultatai ir analizė. Rezultatų vertinimas ir rekomendacijos. Bendrosios išvados. Literatūra.

Baigiamojo darbo rengimo konsultantai:

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

Vadovas

(Parašas)

prof.dr. Alfrėdas Laurinavičius

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

Užduotį gavau

(Parašas)

(Vardas, pavardė)

(Data)

Vilniaus Gedimino technikos universitetas
Aplinkos inžinerijos fakultetas
Kelių katedra

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

Antrosios pakopos studijų Kelių ir geležinkelių programos magistro baigiamasis darbas

Pavadinimas **Horizontaliajam kelių ženklavimui naudojamų medžiagų atspindimo skaičiaus degradacijos tyrimas**

Autorius **Žygimantas Mažeikis**

Vadovas **Alfredas Laurinavičius**

Kalba: lietuvių

Anotacija

Baigiamojo magistro darbo tikslas – apskaičiuoti kaip greitai degraduoja išilginiam horizontaliajam kelių ženklavimui naudojamų medžiagų atspindimasis skaičius (matomumas naktį) ir nustatyti, kuri medžiaga yra efektyviausia. Darbe analizuota ir susisteminta informacija apie horizontaliojo ženklavimo poveikį eismo saugumui, ženklavimui naudojamas medžiagas ir reikalavimus, nurodytus normatyviniuose dokumentuose Lietuvoje ir kitose Europos valstybėse. Atlikta mokslinės literatūros apžvalga, atspindimo skaičiaus degradacijos tema. Išanalizuoti išilginio horizontaliojo ženklavimo atspindimo skaičiaus matavimų duomenys, gauti Tauragės ir Jurbarko rajonų valstybinės reikšmės magistraliniuose ir krašto keliuose. Apskaičiuota ženklavimui naudojamų medžiagų atspindimo skaičiaus degradacija, pritaikyti nagrinėti degradacijos modeliai.

Darą sudaro: įvadas, trys skyriai, bendrosios išvados ir siūlymai, literatūros sąrašas, priedai. Darbo apimtis – 77 p. be priedų, 26 iliustracijos, 15 lentelių. Rašant darbą remtasi 32 literatūros šaltiniais. Papildomai pridedami priedai.

Prasminiai žodžiai: Horizontalusis ženklavimas, horizontaliajam ženklavimui naudojamos medžiagos, atspindimasis skaičius, atspindimo skaičiaus degradacija

Vilnius Gediminas Technical University Faculty of Environmental Engineering Department of Roads	ISBN ISSN Copies No. Date-.....-.....
Master Degree Studies Roads and Railways study programme Master Thesis Title Research on Retroreflectivity Degradation of Materials Used for Horizontal Road Marking Author Žygimantas Mažeikis Academic supervisor Alfredas Laurinavičius	
Thesis language: Lithuanian	
Annotation The aim of final master thesis is to calculate retroreflectivity degradation of materials used for longitudinal horizontal road marking and to identify wich material is the most effective. This thesis analyzes and summarizes information about the impact that horizontal road marking has on traffic safety, materials used for horizontal road marking and requirements that are esablished in normative documents of Lithuania and other European countries. The review of scientific research is made. Horizontal road marking retroreflectivity data meassured in roads of national significance in Tauragė and Jurbarkas districts is analyzed. Retroreflectivity degradation of materials used for horizontal road marking was calculated using degradation models and available data. Darą sudaro: įvadas, trys skyriai, bendrosios išvados ir siūlymai, literatūros sąrašas, priedai. Darbo apimtis - 77 p. be priedų, 26 iliustracijos, 15 lentelių. Rašant darbą remtasi 32 literatūros šaltiniais. Papildomai pridedami priedai.	
Keywords: Horizontal road marking, materials used for road marking, retroreflectivity, degradation of retroreflectivity	

Vilniaus Gedimino technikos universiteto
egzaminų sesijų ir baigiamųjų darbų
rengimo bei gynimo organizavimo tvarkos
aprašo
2 priedas

(Baigiamojo darbo sąžiningumo deklaracijos forma)

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

Žygimantas Mažeikis, 20145926

(Studento vardas ir pavardė, studento pažymėjimo Nr.)

Aplinkos inžinerijos fakultetas

(Fakultetas)

Keliai ir geležinkeliai, KmF-19

(Studijų programa, akademinė grupė)

BAIGIAMOJO DARBO (PROJEKTO)

SĄŽININGUMO DEKLARACIJA

2021 m. gegužės 14 d.

Patvirtinu, kad mano baigiamasis darbas tema „Horizontaliajam kelių ženklavimui naudojamų medžiagų atspindimo skaisčio degradacijos tyrimas“ patvirtintas 2021 m. kovo 04 d. dekanų potvarkiu Nr. 41ap, yra savarankiškai parašytas. Šiame darbe pateikta medžiaga nėra plagijuota. Tiesiogiai ar netiesiogiai panaudotos kitų šaltinių citatos pažymėtos literatūros nuorodose.

Mano darbo vadovas profesorius daktaras Alfredas Laurinavičius.

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

(Parašas)

Žygimantas Mažeikis
(Vardas ir pavardė)

TURINYS

LENTELIŲ SĄRAŠAS.....	9
PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS.....	10
ĮVADAS.....	12
TERMINAI.....	14
1. HORIZONTALIOJO KELIŲ ŽENKLINIMO APŽVALGA.....	15
1.1. Tyrimai vertinantys horizontalųjį ženklinį.....	15
1.2. Horizontaliajam kelių ženklinimui keliami reikalavimai	17
1.3. Horizontaliajam kelių ženklinimui naudojamos medžiagos	18
1.3.1. Dažai.....	19
1.3.2. Termoplastinės medžiagos (karštasis plastikas).....	21
1.3.3. Šaltasis plastikas	22
1.3.4. Stiklo rutuliukai	24
1.3.5. Horizontaliajam ženklinimui naudojamų medžiagų palyginimas	26
1.4. Horizontalusis ženklinimas Lietuvoje	27
1.5. Horizontaliojo ženklavimo reikalavimai kitose Europos valstybėse.....	31
1.5.1. Horizontalusis ženklinimas Airijoje	31
1.5.2. Horizontalusis ženklinimas Lenkijoje	33
1.5.3. Horizontalusis ženklinimas Estijoje	35
1.6. Išvados	37
2. HORIZONTALIOJO ŽENKLINIMO ATSPINDIMOJO SKAISČIO TYRIMAI.....	38
2.1. Atspindimojo skaisčio matavimo metodai.....	38
2.2. Atspindimojo skaisčio degradacija	40
2.2.1. Degradacijos modeliai JAV.....	40
2.2.2. Degradacijos modeliai Europoje	45
2.3. Išvados	48

3. HORIZONTALIOJO ŽENKLINIMO ATSPINDIMOJO SKAISČIO EKSPERIMENTINIS TYRIMAS	49
3.1. Tyrimo objektas ir metodika.....	49
3.2. Ženklinimui naudojamų medžiagų pasiskirstymas.....	52
3.3. Atspindimojo skaisčio matavimų rezultatai.....	55
3.4. Atspindimojo skaisčio degradacija	60
3.4.1. Dažai.....	60
3.4.2. Termoplastinės medžiagos	64
3.4.3. Purškiamas šaltasis plastikas	67
3.5. Tyrimo rezultatų vertinimas.....	68
3.6. Išvados	71
BENDROSIOS IŠVADOS.....	73
SIŪLYMAI.....	74
LITERATŪROS SĄRAŠAS.....	75
PRIEDAI	78
A PRIEDAS.....	Klaida! Žymelė neapibrėžta.

LENTELIŲ SĄRAŠAS

1.1 lentelė. Eismo įvykių sumažėjimas pritaikius II tipo horizontaliojo ženklavimo medžiagas (RSMA, 2007).	15
1.2 lentelė. Šaltojo plastiko įrengimo priklausomybė nuo oro temperatūros (KONTUR Sp. z o. o).	23
1.3 lentelė. Horizontaliajam ženklavimui naudojamų medžiagų palyginimas.	26
1.4 lentelė. Skaisčio koeficientai pagal atspindimojo skaisčio (R_L) klases (matomumą naktį), kai ženklavimo paviršius sausas ir kai ženklavimo paviršius drėgnas (IT ŽM 12).	28
1.5 lentelė. Horizontaliojo ženklavimo garantiniai terminai Lietuvoje.	29
1.6 lentelė. Horizontaliajam ženklavimui keliami reikalavimai Airijoje (Specification for Road Works Series 1200 - Traffic Signs and Road Markings).	32
1.7 lentelė. Reikalavimai ženklavimui garantinio periodo metu (Specification for Road Works Series 1200 - Traffic Signs and Road Markings).	33
1.8 lentelė. Reikalavimai keliami horizontaliajam ženklavimui Estijoje (Riigiteede liikluskorralduse juhised).	37
2.1 lentelė. Matavimų rezultatai Kroatijoje (D. Babič ir kt., 2019).	45
3.1 lentelė. 2020 metais atliktų matavimų skaičius.	50
3.2 lentelė. VMPEI ir pravažiavusių sniego valytuvų sk. duomenys kelio Nr. A12 nagrinėjamame ruože.	52
3.3 lentelė. VMPEI ir pravažiavusių sniego valytuvų sk. duomenys kelio Nr. 141 nagrinėjamame ruože.	52
3.4 lentelė. Ašinės linijos ženklavimui panaudotos medžiagos nagrinėjamuose krašto keliuose.	55
3.5 lentelė. 2020 metais ašinėse linijose atliktų atspindimojo skaisčio matavimų rezultatai.	60
3.6 lentelė. Tyrimo metu apskaičiuotos atspindimojo skaisčio reikšmės.	68

PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS

1.1 pav. Dažais ženklinamas kelias A16 (autorius nuotraukos, 2020).....	20
1.2 pav. Struktūrinis kelio ženklavimas (UAB „Biseris“ nuotrauka).....	22
1.3 pav. Aglomeratinio ženklavimo pavyzdys (Swarco.com).	24
1.4 pav. Stiklo rutuliuko retrorefleksija (Asdrubali ir kt., 2013, perdaryta autorius).....	25
1.5 pav. Atnaujinamo ženklavimo kiekis pagal medžiagas Lietuvos valstybinės reikšmės keliuose	30
1.6 pav. Horizontaliojo ženklavimo naikinimas vandens čiurkšlės metodu kelyje A19 (autorius nuotraukos, 2020).	31
2.1 pav. Automobilio žibintų sklaidžiamos šviesos retrorefleksija (www.zenthner.com, perdaryta autorius).	38
2.2 pav. Statinių retroreflektometrų Zehntner pavyzdžiai (www.cifra.com).	39
2.3 pav. Dinaminis retroreflektometras DELTA LTL-M (tecnos.ro)	39
2.4 pav. Atspindžio degradacijos priklausomybė nuo kintamųjų (D. Mull ir W. E. Sitzabee, 2011)44	
3.1 pav. Tyrimo nagrinėjami valstybinės reikšmės keliai	50
3.2 pav. Horizontaliojo ženklavimo matavimai kelyje A12 (2021-04-09): a) matavimas vietoje, kur keičiasi ženklavimui naudojama medžiaga; b) kraštus žyminčios linijos matavimas ties kelio ženklu Nr. 620; c) ašinės linijos matavimas.....	51
3.3 pav. Ašinės linijos žymėjimui naudojamos medžiagos (A12 Ryga*–Šiauliai–Tauragė–Kaliningradas*, ruožas nuo 120,053 iki 185,969 km).....	53
3.4 pav. Kelio kraštus žyminčių linijų žymėjimui naudojamos medžiagos (A12 Ryga*–Šiauliai–Tauragė–Kaliningradas*, ruožas nuo 120,053 iki 185,969 km)	54
3.5 pav. Atspindimojo skaisčio koeficiento R_L reikšmės kelio A12 (120,053–185,969 km) ašinėje linijoje (2020-07-08 matavimai).....	56
3.6 pav. Atspindimojo skaisčio koeficiento R_L reikšmės kelio A12 (120,053–185,969 km) ašinėje linijoje (2021-04-09 matavimai).....	57
3.7 pav. Atspindimojo skaisčio koeficiento R_L reikšmės kelio A12 (120,053–185,969 km) kraštus žyminčiose linijose	58
3.8 pav. Atspindimojo skaisčio koeficiento R_L reikšmės kelio Nr. 141 (42,4–160,209 km) ašinėje linijoje.....	58
3.9 pav. Atspindimojo skaisčio koeficiento R_L reikšmės kelio Nr. 141 (42,4–160,209 km) kelio kraštus žyminčiose linijose.....	59
3.10 pav. 2019-06-18 kelyje A12 dažais įrengtų kelio kraštus žyminčių linijų atspindimojo skaisčio koeficiento R_L reikšmės	61

3.11 pav. 2019-06-18 kelyje A12 dažais įrengto kelio kraštus žyminčio ženklavimo apskaičiuotos ir išmatuotos koeficiento R_L reikšmės.....	62
3.12 pav. 2019-04-26 kelyje Nr. 141 dažais įrengtos ašinės linijos atspindimojo skaisčio koeficiento R_L reikšmės	63
3.13 pav. 2019-04-26 kelyje Nr. 141 įrengtos ašinės linijos apskaičiuotos ir išmatuotos koeficiento R_L reikšmės	64
3.14 pav. 2019-07-08 kelyje A12 termoplastu įrengtos ašinės linijos ženklinimo koeficiento R_L reikšmės.....	65
3.15 pav. 2019-07-08 kelyje A12 termoplastu įrengtos ašinės linijos apskaičiuotos ir išmatuotos koeficiento R_L reikšmės	66
3.16 pav. 2019-07-02 kelyje A12 purškiamu šaltuoju plastikumi įrengtos ašinės linijos ženklinimo koeficiento R_L reikšmės	67

IVADAS

Šiuo metu Lietuvoje kaip ir visoje Europoje didžiulis dėmesys yra skiriamas eismo dalyvių saugumui. Diegiamos įvairios naujos eismo saugumo priemonės, galinčios užkirsti kelią nelaimingiems atsitikimams. Horizontalusis kelių ženklavimas yra viena iš lengviausiai įrengiamų, ekonomiškiausių ir daugiausiai naudos atnešančių eismo saugumo priemonių. Be to, horizontalusis ženklavimas suteikia vairuotojams gerą eismo juostų ir erdvių suvokimą, leidžia nuspėti važiavimo trajektoriją. Remiantis *The European Union Road Federation* (ERF) ataskaita, horizontalusis ženklavimas sumažina eismo įvykių skaičių iki 60 %. Skaičiuojama, kad investicinė grąža į ženklavimą yra 1,9 karto, o buvęs Australijos automobilių asociacijos pirmininkas M. G. Lay teigia, kad horizontaliojo kelių ženklavimo įrengimo kainos bei jo teikiamos naudos santykis yra daugiau kaip 50. Ženklavimas taip pat tampa svarbus, kai kalbama apie ateities viziją. Visoje Europoje pastebima senstančios visuomenės tendencija, augantis automobilių skaičius, savivaldžių automobilių atsiradimas. Šios tendencijos lemia, kad reikalingas geresnis orientavimasis kelio erdvėje, todėl horizontalusis ženklavimas yra naudingas, svarbus bei reikalingas.

Viena pagrindinių problemų yra ta, kad horizontalusis ženklavimas nėra amžinas: sąveikaudamas su aplinka jis greitai dėvisi ir praranda pagrindines savo savybes, tokias kaip matomumas naktį. Visgi ženklavimui yra naudojamos skirtingos medžiagos: dažai, termoplastinės medžiagos, šaltasis plastikas. Šios medžiagos skiriasi savo sudėtimi, kaina, įrengimo technologija ir svarbiausia savo eksploatacinėmis savybėmis. Yra teigiama, kad ženklavimas dažais dėvisi ypač greitai, o jam didelę įtaką turi žiemos priežiūra. Ženklavimas purškiamu plastikumu pasižymi geresnėmis ilgaamžiškumo savybėmis lyginant su dažais. Polimerinės medžiagos, pavyzdžiui, termoplastas ar šaltasis plastikas, savo atspindimojo skaisčio savybes išlaiko ilgiausiai.

Pastaruoju metu yra atlikta keletas tyrimų, siekiant nustatyti ženklavimui naudojamų medžiagų atspindimojo skaisčio degradaciją, įvertinant aplinkos poveikį. Tačiau vis dar nėra aišku, kaip greitai ženklavimui naudojamos medžiagos dėvisi Lietuvoje, ir ar šiuo metu Lietuvoje ženklavimui taikomi reikalavimai yra šiuolaikiški ir tinkami.

Baigiamojo magistro darbo objektas – išilginio horizontaliojo ženklavimo atspindimojo skaisčio matavimų duomenys, gauti Tauragės ir Jurbarko rajonų valstybinės reikšmės magistraliniuose ir krašto keliuose.

Baigiamojo magistro darbo tikslas – apskaičiuoti kaip greitai degraduoja išilginiam horizontaliajam kelių ženklavimui naudojamų medžiagų atspindimasis skaitis (matomumas naktį) ir nustatyti, kuri medžiaga yra efektyviausia.

Darbo uždaviniai:

1. Aprašyti horizontaliajam kelių ženklavimui naudojamas medžiagas bei pagrindinius ženklavimui taikomus reikalavimus Lietuvoje ir kitose ES šalyse;
2. Aprašyti iki šiol atliktus atspindimo skaitės degradacijos tyrimus;
3. Nustatyti, kokį poveikį ženklavimo atspindimajam skaitėi turi skirtingi veiksniai;
4. Atlikti ženklavimo matavimo naktį (atspindimo skaitės) matavimus, pateikti jų vertinimą;
5. Apskaičiuoti, kaip kinta skirtingų medžiagų atspindimasis skaitis;
6. Pritaikyti iki šiol sukurtus atspindimo skaitės degradacijos modelius ir pateikti jų vertinimą;
7. Nustatyti, kuri išilginio ženklavimo įrengimui naudojama medžiaga yra efektyviausia ir pateikti rekomendacijas.

TERMINAI

Horizontalusis kelių ženklimas – tai spalvinis žyminyš ant eismui skirtų paviršių. Jis naudojamas eismui valdyti, skirtingoms eismo zonoms atpažinti ir kaip sudėtinė techninių eismo reguliavimo priemonių dalis.

Naujai atliktas ženklimas – reikiamos kokybės ir atitinkantis taisyklių KŽT arba projektų nustatytus reikalavimus ženklimas, jeigu jis atliktas ant naujo arba atnaujinto važiuojamosios dalies viršutinio sluoksnio. Ženklimas laikomas naujai atliktu 30 dienų po ženklavimo darbų pabaigos. Praėjus šiam laikotarpiui, naujai atliktas ženklimas laikomas naudotu.

Stiklo rutuliukai – tai skaidraus stiklo sferinės dalelės, naudojamos tam, kad vairuotojai nakties metu dėl atspindinčių automobilių šviesų matytų kelio ženklavimą.

Įmaišomieji stiklo rutuliukai – tai medžiaga iš skaidraus stiklo sferinių dalelių. Ši medžiaga gamybos metu įmaišoma į dažus, karštąją plastiką, šaltąją plastiką ir į kitus kelių ženklavimo produktus, skystu pavidalu naudojamus kelio paviršiui ženklinti. Taip pat įmaišomieji stiklo rutuliukai gali būti įdedami į skystas kelių ženklavimo medžiagas prieš pat jų naudojimą kelio paviršiui ženklinti.

Atspindimojo skaisčio koeficientas – tai stebėjimo kryptimi kelio ženklavimo lauko, esant $E_{\perp}$ apšvietai į lauką, statmeną krintančios šviesos kryptčiai, skaisčio L koeficientas.

Struktūrinis kelių ženklimas – tai kelių ženklimas, turintis tokį struktūrinį paviršių, kurio matmenų nėra įprastinio ženklavimo, ištiesai dengiančio visą ženklavimo ženklų plotą, srityje. Jis gali būti sudarytas iš raštuotos, profiliuotos, atsitiktinės medžiagos faktūros arba kitokių požymių struktūros (pvz. aglomeratų).

I tipo ir II tipo kelių ženklavimo sistemos:

– II tipo kelių ženklavimo sistema – tai tokia ženklavimo sistema, kuria siekiama padidinti šviesos atspindėjimą esant drėgnoms arba lietingoms oro sąlygoms;

– I tipo ženklavimo sistemai nebūtina turėti tokių specialių savybių.

1. HORIZONTALIOJO KELIŲ ŽENKLINIMO APŽVALGA

1.1. Tyrimai, vertinantys horizontalųjį ženklinį

Horizontalusis kelių ženklėjimas yra vertinamas kaip viena iš efektyviausių inžinerinių eismo saugumo priemonių. Lengvai įrengiamas, pigus ir efektyvus – taip trumpai būtų galima apibūdinti horizontalųjį ženklinį. Keletas iki šiol atliktų tyrimų pateikė įtikinamus įrodymus apie jo įtaką eismo saugumui ir teikiamą naudą.

2007 m. Kelių ženklėjimo saugumo asociacija (angl. *Road Safety Markings Asociation*) paskelbė ataskaitą „Baltos linijos gelbsti gyvybes“ (angl. *White lines save lives*), kurioje pateikta naujai atlikto horizontaliojo ženklėjimo keliuose ekonominio efektyvumo analizė pasirinktose Jungtinės Karalystės apygardose. Česhyro apygardos taryba nusprendė naudoti II tipo kelių ženklėjimo sistemai įrengti reikalingas medžiagas, užtikrinančias geresnį matomumą naktį esant šlapioms sąlygoms, greitkelio A556 atkarpoje, kurioje per trejus metus buvo užfiksuota 16 nelaimingų atsitikimų, iš kurių dviejuose buvo sužaloti asmenys, o žala padaryta Jungtinės Karalystės ekonomikai siekė 1,4 mln. svarų sterlingų. Pritaikius II tipo ženklėjimo sistemą avarijų skaičius ženkliai sumažėjo, kaip nurodyta 1.1 lentelėje.

1.1 lentelė. Eismo įvykių sumažėjimas pritaikius II tipo horizontaliojo ženklėjimo medžiagas (RSMA, 2007).

Horizontaliojo ženklėjimo įrengimas	Eismo įvykių sk.	Įskaitinių įvykių sk.	Nedidelių eismo įvykių sk.	Eismo įvykių sk. naktį esant šlapiai kelio dangai
Senas ženklėjimas	16	2	14	4
Naujai įrengtas ženklėjimas (II tipo sistema)	6	0	6	0

2010 m. Kelių saugumo fondas (angl. *Road Safety Foundation*) Jungtinėje Karalystėje paskelbė ataskaitą „Taupiai išgelbėtos gyvybės“ (angl. *Saving lives for less*) ir joje horizontalųjį ženklinį įvardijo kaip vieną iš ekonomiškai naudingiausių priemonių norint pagerinti eismo saugumą Europos keliuose. Ataskaitoje nagrinėjamos atkarpos atnaujintuose Didžiosios Britanijos keliuose, kuriuose dėl naujų inžinerinių eismo saugumo priemonių pritaikymo, įskaitinių eismo įvykių skaičius sumažėjo 74 %. Horizontalaus kelių ženklėjimo atnaujinimas buvo viena iš svarbiausių priemonių, kuri prisidėjo prie šio sumažėjimo.

2012 m. Kelių ženklavimo saugumo asociacija atliko išsamų horizontaliojo kelių ženklavimo būklės tyrimą 7250 km ilgio kelių ruožuose Anglijoje, Škotijoje ir Velse. Rezultatai parodė, kad:

- Škotijos greitkeluose ir keliuose su dvejomis važiuojamosiomis dalimis reikia nedelsiant pakeisti 40 % horizontaliojo ženklavimo;
- Velse 40 % horizontaliojo ženklavimo esančio keliuose su dvejomis važiuojamosiomis dalimis turi būti nedelsiant pakeista;
- Anglijoje 38 % horizontaliojo ženklavimo keliuose su dvejomis važiuojamosiomis dalimis turi būti nedelsiant pakeista arba reikalauja atnaujinimo.

Panašų tyrimą, siekiant įvertinti kelių ženklavimo būklę Švedijos keliuose, atliko Švedijos kelių ir transporto tyrimų institutas - VTI (angl. *Swedish National Road and Transport Research Institute*). Tyrimo, kurio rezultatai buvo paskelbti 2013 m., ataskaitoje pateikta išvada, kad daugumoje Švedijos regionų, tik mažesnė nei 50 % horizontaliojo kelių ženklavimo dalis atitiko reikalavimus, nustatytus ženklavimui esant sausomis sąlygomis. Dar prastesni horizontaliojo ženklavimo esant šlapioms sąlygoms rezultatai – reikalavimus atitiko, tik 21 %. horizontaliojo kelių ženklavimo. Labiausiai nerimą kėlė tai, kaip greitai ženklavimo būklė pablogėjo, palyginti su 2011 m. Remiantis VTI parengta ataskaita, transeuropinio tinklo ir pagrindiniuose šalies keliuose esančio ženklavimo, atitinkančio matomumo naktį reikalavimus esant sausai dangai, dalis sumažėjo nuo 52 (2011 m.) iki 38 % (2012 m.); ženklavimo, atitinkančio matomumo naktį reikalavimus esant šlapioms sąlygoms, procentinė dalis sumažėjo nuo 45 (2011 m.) iki 21 % (2012 m.).

2011 m. Vokietijos Šlėzvigo-Holšteino žemėje buvo atliktas auditas siekiant nustatyti 2009 m. panaudoto biudžeto efektyvumą. tyrimas atskleidė, kad nors nemaža dalis viešųjų pinigų buvo išleista kelių ženklavimui, šios išlaidos buvo visiškai neefektyvios, nes daugumoje konkursų buvo prašoma pigių dažų (skaičius sudarė 79% viso ženklavimo), kurių ilgaamžiškumas buvo prastas ir I tipo ženklavimo sistemų, kurios nematomos lietingomis sąlygomis (jų skaičius sudarė 85%). Viena iš pagrindinių ataskaitos rekomendacijų buvo padidinti ženklavimui keliamus reikalavimus konkursuose ir padidinti kokybės kontrolę.

ERF (angl. *European union road federation*) nuomone, geriausias būdas užtikrinti, jog kelių ženklavimas būtų tinkamai prižiūrimas ir matomas vairuotojams, yra kurti technines specifikacijas, kurios reikalautų minimalaus užsakovo įsikišimo ir nustatytų aiškius reikalavimus, kurie turi būti išlaikyti Europos keliuose. Šiuo metu tokios specifikacijos yra tik keliose šalyse. Pagrindinė problema yra ta, kad stebint eksploatacines ženklavimo savybes ir sudarinėjant priežiūros standartus, kurie nustato kada kelio ženklavimas turi būti atnaujinamas, yra pasiekta sąlyginai nedaug. Manoma, kad

ženklavimo medžiagų funkcinis gyvavimo laikas yra vidutiniškai 2 metai (t. y. laikas, per kurį medžiagos išlaikys minimalius eksploatacinius kriterijus), o tai reiškia, kad pasibaigus dvejų metų laikotarpiui didžiąją dalį ženklavimo reikia pakeisti arba atnaujinti. Ilgų kelio ruožų žymėjimas dažnai yra neatitinkantis standartų, todėl būtina parengti bendrą „gero kelio ženklavimo“ apibrėžimą, kurį vairuotojas ir išmanioji transporto priemonė mato atsižvelgiant į bet kokias įtakos turinčias sąlygas: paros metą (diena ar naktis), oro sąlygas (sausas arba drėgnas; drėgnas arba lietingas), vairuotojų amžių (jaunas ar senas). Pagal ERF, tai yra kelio ženklavimas, kurio minimalus atspindimo koeficientas R_L sausomis sąlygomis yra 150 mcd/m²/lx ir kurio minimalus plotis yra 150 mm. Esant drėgnoms ir lietingoms sąlygoms, minimalus atspindimo koeficientas R_L turėtų būti 35 mcd/m²/lx.

1.2. Horizontaliajam kelių ženklavimui keliami reikalavimai

Pagrindiniai reikalavimai, keliami horizontaliajam kelių ženklavimui Europoje, yra aprašyti standarte EN 1436 „Kelių ženklavimo medžiagos. Kelių naudotojams skirtos kelių horizontaliojo ženklavimo ženklų charakteristikos ir bandymo metodai“. Standarte aprašyti 4 pagrindiniai horizontaliajam ženklavimui keliami reikalavimai: matomumas dieną, matomumas naktį, paviršiaus atsparumas slydimui ir reikalavimai spalvai. Yra pažymima, kad ženklavimas išlaiko pagrindines savo charakteristikas priklausomai nuo jo ilgaamžiškumo (ženklavimui naudojamos medžiagos), ar jis yra veikiamas transporto poveikio, taip pat nuo eismo intensyvumo, kelio dangos bei regioninių sąlygų, tokių kaip dygliuotų padangų naudojimas tam tikrose šalyse. Taip pat atkreipiamas dėmesys, kad aukštos tam tikrų charakteristikų vertės negali būti išgaunamos kartu, pavyzdžiui ženklavimas gali turėti aukštą atspindimo koeficiento (R_L) vertę, išgautą naudojant užbarstomuosius ar įmaišomuosius stiklo rutuliukus, arba aukštą paviršiaus atsparumą slydimui (SRT), gaunamą užpildais šiurkštumui didinti. Pasiekti aukštas šių savybių vertes kartu – nėra galima.

Ženklavimo matomumas dieną – tai charakteristika, nusakanti ženklavimo ryškumą ir galimybę jį pastebėti esant dienos šviesai arba esant kelio apšvietimui. Šią charakteristiką galima matuoti dviem dydžiais:

- Skaisčio koeficientu, esant sklaidžiajai apšvietai Q_d [mcd/m²/lx], kuris parodo ženklavimo savybę būti pastebėtam iš tolimesnio atstumo. Šis koeficientas skirstomas į 5 Q klases: nuo Q_1 ($Q_d \geq 80$) iki Q_5 ($Q_d \geq 200$). Taip pat pažymėtina, kad didesnis matomumas dieną gaunamas ženklinant cementbetonio dangas;

- Skaisčio faktoriumi β , kuris parodo ženklavimo savybę būti pastebėtam iš arti. Ši savybė taip pat skirstoma į 5 β klases.

Ženklavimo matomumas naktį – tai charakteristika, nusakanti ženklavimo savybę atspindėti automobilio žibintų šviesą, kuri tiek literatūroje, tiek standartuose yra minima kaip viena iš svarbiausių ženklavimo charakteristikų. Ši savybė matuojama atspindimojo skaisčio koeficientu R_L [mcd/m²/lx] ir gaunama naudojant stiklo rutuliukus. Ji taip pat skirstoma pagal kelio dangos drėgnumą:

- Išskiriamos 5 R_L klasės, kai dangos paviršius sausas: nuo R1 ($R_L \geq 80$) iki R5 ($R_L \geq 300$);
- 6 klasės, kai dangos paviršius drėgnas (taikoma II tipo ženklavimo sistemoms, kurioms keliami tokie reikalavimai): nuo RW1 ($R_L \geq 80$) iki RW6 ($R_L \geq 150$);
- 6 klasės esant lietaus sąlygomis (kai danga 5 minutes yra veikiamą lietaus): nuo RR1 ($R_L \geq 25$) iki RR5 ($R_L \geq 150$).

Ženklavimo spalva. Nustatoma pagal standarto EN 1436 C priedą matuojant x ir y spalvų srities koordinates atskiruose kampų taškuose ženklavimui balta ir geltona spalva.

Ženklavimo paviršiaus atsparumas slydimui rodiklis – tai su švytuokliniu prietaisu nustatyta SRT vertė, matuojama pagal standarto EN 1436 D priede nurodytą metodiką. Aukštos šios savybės reikšmės išgaunamos užpildais šiurkštumui didinti ir skirstomos į 5 S klases: nuo S1 ($SRT \geq 45$) iki S5 ($SRT \geq 65$).

1.3. Horizontaliajam kelių ženklavimui naudojamos medžiagos

Svarbu suprasti, kad visas horizontalusis ženklavimas nėra vienodas – jis labai skiriasi, priklausomai nuo to, kokia medžiaga buvo naudojamos ženklavimo įrengimui. Pagal standartą LST EN 1871 „Kelių ženklavimo medžiagos. Fizikinės savybės“ yra išskiriamos trys pagrindinės horizontaliajam ženklavimui naudojamos medžiagos:

- Dažai;
- Termoplastinės medžiagos;
- Šaltasis plastikas.

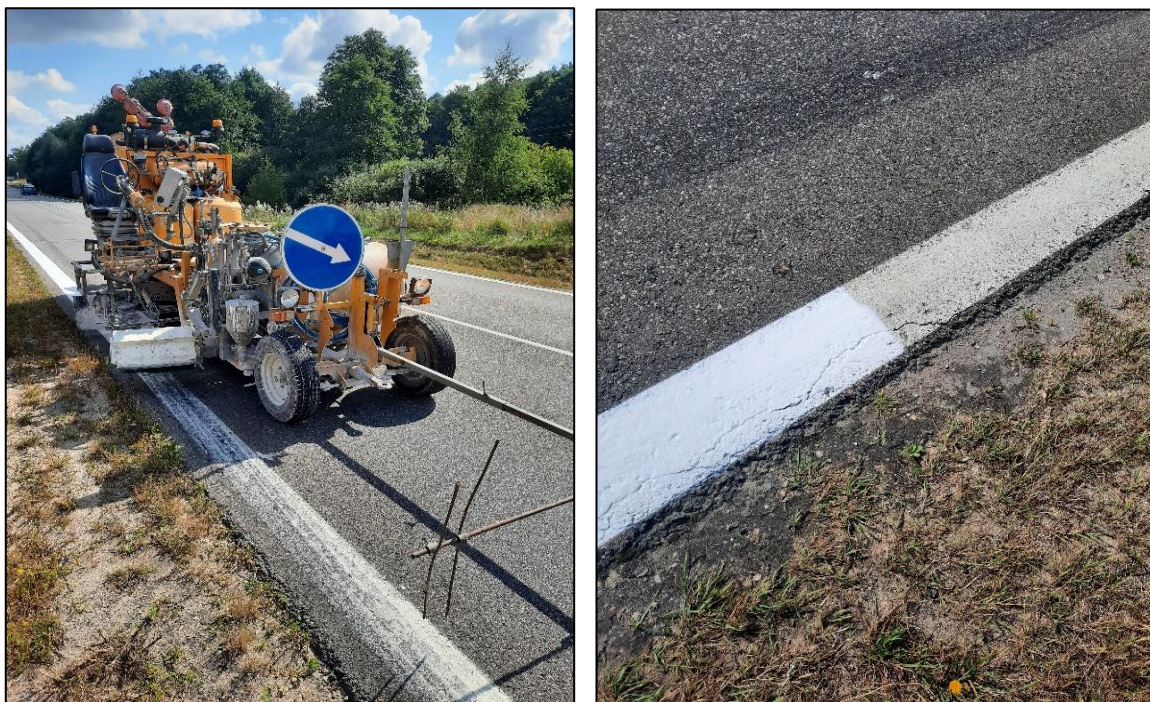
1.3.1. Dažai

Dažai yra populiariausia ir dažniausiai naudojama horizontaliojo kelių ženklavimo medžiaga. Dažai nereikalauja kaitinimo ar specialios technologijos įrengimo metu, jie yra išpurškiami naudojant aukšto arba žemo slėgio įrangą (pav. 1). Dažai taip pat labai gerai sąveikauja su stiklo rutuliukais, kurie yra įmaišomi į juos arba užberiami ant dar nenudžiūvusios dažų plėvelės. Visi dažai susideda iš rišamosios medžiagos (akrilinės, epoksidinės arba poliuretaninės dervos), pigmentų, tirpiklių, užpildomosios medžiagos ir įvairių priedų.

Šiuolaikiniai tirpiklių turintys dažai daugiausia susideda iš akrilinės dervos, kuri yra ištirpusi organiniuose tirpikliuose tokiuose kaip esteris arba ketonai. Nors šie tirpikliai yra kenksmingi aplinkai ir žaloja žmogaus sveikatą, jie naudojami dažuose dėl savo žemos kainos, trumpesnio džiūvimo laiko ir geresnio sukibimo su asfaltbetonio danga. Taip pat tirpiklių lakumas dažams leidžia prasiskverbti į kelio dangoje esančius įtrukimus, todėl tai garantuoja gerą sukibimą su danga, netgi esant prastoms sąlygoms (sutrūkinėjusi ar kitaip pažeista kelio danga; 1.1 pav.). Po dažų išpurškimo ant kelio dangos, išgaruojant juose esantiems tirpikliams susiformuoja kieta plėvelė. Pats tirpiklis yra reikalingas tik tam, kad dažai galėtų būti skysto pavidalo, tačiau dažams kietėjant šie lakieji organiniai junginiai patenka į atmosferą. Dažniausiai tirpikliai sudaro apie 25 % dažų masės, t. y. kažkur 400-500 g/l. Apskaičiuota, kad iš tirpiklių turinčių dažų kasmet apie 35 000 tonų lakiųjų organinių junginių yra paskleidžiama į atmosferą. (*Review of directive 2004/42/EC*, 2011).

Dažais yra dažoma ant švarios, sausos ir vientisos asfaltbetonio ar cementbetonio dangos (keliai, sankryžos, grindiniai, aikštelės). Kelių ženklavimui naudojami dažai yra paruošti naudojimui iškart po jų atidarymo. Siekiant išvengti dar neišpurkštų dažų sukietėjimo, jie nuolat maišomi arba papildomai pridedamas nedidelis kiekis tirpiklio. Esant žemesnei nei 10 °C temperatūrai yra rekomenduojama dažus praskiesti į juos pridedant 2 ar 3% organinių tirpiklių. Pats dažų išpurškimas gali būti atliekamas tik esant ne žemesnei nei 5 °C temperatūrai (esant žemesnei temperatūrai purkštukai gali užšalti), ant švarios kelio dangos, naudojant pneumatinius arba vakuuminius purkštukus. Purkštukus rekomenduojama valyti organiniais tirpikliais. Optimalus išpurškiamų dažų kiekis yra nuo 540 g/m² iki 700 g/m², kas kartu su stiklo rutuliukais leidžia išgauti nuo 350 µm iki 450 µm šlapios plėvelės storį. Stiklo rutuliukų kiekis turėtų būti nuo 200 g/m² iki 400 g/m², ir jais šlapia dažų plėvelė turėtų būti dengiama ne vėliau kaip 5 sekundės po dažų išpurškimo. Dažai taip pat gali būti išpurškiami kartu su įmaišomais stiklo rutuliukais. Dažų džiūvimo laikas yra nuo 8 iki 20 minučių, priklausomai nuo įvairių sąlygų: oro ir kelio dangos temperatūra, oro drėgmė, vėjo greitis, plėvelės sluoksnio storis, kelio danga. Išdžiūvusios sausos plėvelės storis būna apie 200 µm.

Dažai nepasižymi savybe išlaikyti savo charakteristikas ilgą laiką. Yra atlikta nemažai mokslinių tyrimų vertinančių dažų ilgaamžiškumą. Literatūroje daroma išvada, kad dažais įrengto ženklinimo funkcinio gyvavimo laikas yra nuo 1 iki 2 metų (J. E. Hummer, W. Rasdorf, G. Zhang, 2011; D. Mull, W. E. Sitzabee, 2011; D. Babič, A. Ščukanec ir kt., 2019).



1.1 pav. Dažais ženklinamas kelias A16 (autorius nuotraukos, 2020)

Kadangi šiuo metu didelis dėmesys yra skiriamas ekologijai ir žmogaus sveikatai, siekiama lakiųjų organinių tirpiklių turinčius dažus pakeisti dažais vandens pagrindu (dažų dispersija). Tai medžiaga, kurios lakiuosius komponentus daugiausia sudaro vanduo. Lakiųjų organinių tirpiklių dalis sudaro mažiau kaip 2 % dažų masės, bendra lakiųjų organinių komponentų (angl. *Volatile Organic Compounds (VOC)*) sudaro mažiau kaip 3 % masės. Dispersijos įrengimo technologija yra beveik tokia pati kaip ir tirpiklių turintiems dažams, išskyrus tai, kad dispersijos purkštukams gali būti naudojamas tik nerūdijantis plienas, o pačiai dispersijai negalima leisti išdžiūti įrangoje (reikia nuolatinio įrangos valymo). Nors pradinė dispersijos kaina yra didesnė už tirpiklių turinčius dažus, tačiau ilgalaikėje perspektyvoje medžiaga yra labai patvari. Mokslinio tyrimo atlikto Pensilvanijos valstijoje, JAV, gauti atspindimojo skaisčio rezultatai leido teigti, kad dažų dispersija įrengta 600 μm storiu išlaikė savo matomumo naktį savybes geriau nei termoplastinės medžiagos įrengtos 3000 μm storiu (C. Randazzo, 2013).

Nepaisant to, kad dažų dispersija yra draugiška aplinkai ir pasižymi geresnėmis eksploatacinėmis savybėmis vertinant atspindimąjį skaisčių, ji turi ir trūkumų. Vienas iš jų yra

atsparumas išplovimui (atsparumas lietu). Nors ši medžiaga džiūsta taip pat greitai kaip ir tirpiklių turintys dažai, tačiau atsparumas išplovimui susiformuoja daug lėčiau, o tai reiškia, kad dienomis, kuomet yra tikėtinas lietus, dažų dispersijos panaudojimas yra labai ribotas. Lietus gali nuplauti dispersija paženklintas vietas. Visgi, dažų dispersija dėl savo patvarumo yra plačiai naudojama Jungtinės Amerikos Valstijose, pietų Europoje ir Skandinavijos šalyse (tirpiklių turintys dažais Skandinavijos šalyse uždrausti)(D. Babić, T. E. Burghardt, 2015), kur lietus taip pat dažnas kaip ir Lietuvoje, tačiau didesnių problemų ženklinant dispersija išvengiama.

1.3.2. Termoplastinės medžiagos (karštasis plastikas)

Termoplastinės medžiagos, arba kitaip karštasis plastikas, yra viena iš dažniausiai naudojamų kelių ženklinimo medžiagų. Karštasis plastikas yra sudarytas iš kietųjų angliavandenilinių arba alkidinių dervų (polimerinės rišamosios medžiagos), sumaišytų su pigmentais, užpildais bei stiklo rutuliukais. Karštajam plastikui gaminti naudojamos dervos gaunamos iš natūralių atsinaujinančių šaltinių, pavyzdžiui, pušų, kreidos arba išgaunamos perdirbant naftą. Termoplastinės medžiagos gaminamos labai aukštoje temperatūroje, vėliau jas išdžiovinant ir gaunant į miltus panašią masę. Norint ženklinti termoplastu, reikia medžiagą iš naujo pakaitinti, kad medžiaga išsilydytų ir ją būtų galima formuoti norimu pavidalu. Ši medžiaga neturi aplinkai kenksmingų tirpiklių ir, kaip minėta anksčiau, jos rišikliai gali būti gaminami iš atsinaujinančių šaltinių, kas ją daro ypač patrauklią ekologiniu požiūriu.

Medžiagos lydymui naudojama temperatūra neturėtų būti žemesnė nei 185 °C ir tokios temperatūros sąlygomis ji turėtų būti šildoma 30–45 minutes. Paruoštos ženklinti termoplasto masės temperatūra turėtų būti nuo 190 °C iki 210 °C. Atnaujinant seną žymėjimą arba ženklinant ant šalto paviršiaus, reikia naudoti kuo aukštesnę temperatūrą, kad medžiaga kuo geriau prikibtų prie ženklinamos dangos, tačiau medžiaga neturėtų būti laikoma aukštesnėje nei 220 °C temperatūroje ilgiau nei 1 valandą. Esant 200 °C temperatūrai, šis laikas neturėtų būti ilgesnis nei 5 valandos, o esant 190 °C temperatūrai – 7,5 valandos. Perkaitinimas gali turėti nereikalingų pasekmių, pavyzdžiui, spalvos praradimas (pageltimas) ar padidėjęs trapumas. Ilgesnių pertraukų metu medžiagos temperatūra turėtų būti sumažinta iki 140–150 °C. Ženklinant mechaniškai, naudojama specializuota savaeigė mašina, jei norima formuoti struktūrinį ženklimą (1.2 pav.) dar prijungiama speciali formavimo įranga. Ženklinant rankiniu būdu (pėsčiųjų perėjos ir pan.), dažniausiai naudojami velkami vežimėliai. Norint paženklinti 1 mm storio sluoksniu vidutiniškai yra sunaudojama apie 2 kg/m² termoplastinės medžiagos. Įrengimo metu papildomai užbarstomi stiklo rutuliukai (apie 200 g/m² stiklo rutuliukų 1 mm storiui) ir užpildai šiurkštumui didinti, norint suteikti kelio ženklimumui

geresnį atspindimą, o jo paviršiui geresnį atsparumą slydimui, nes ši medžiaga pasižymi gana dideliu slidumu.

Ženklinant termoplastu yra labai svarbus tinkamas medžiagos ir kelio dangos paruošimas, kadangi prastas sukibimas gali lemti greitą medžiagos nusilupimą. Termoplastine mase turėtų būti ženklinama ant sauso ir švaraus paviršiaus, be jokio mechaninio ar organinio užteršimo (šia medžiaga negalima atnaujinti dažais ar šaltuoju plastikų įrengto ženklinimo), esant didesnei nei 5 °C aplinkos ir ženklinamo paviršiaus temperatūrai, o santykinei drėgmei neviršijant 80 %. Ženklinant, kai aplinkos temperatūra yra žemesnė nei 5 °C, kelio danga turi būti pašildyta. Ženklinant cementbetonio dangas, būtina iš anksto paruošti betono paviršių mechaniškai valant ir gruntuojant sintetinės gumos tirpikliu. Medžiagos džiūvimo laikas labai greitas, todėl esant 20 °C aplinkos temperatūrai, galima tikėtis, kad po 3–5 min termoplastas jau bus prikibęs prie dangos ir sukietėjęs.



1.2 pav. Struktūrinis kelio ženklinimas (UAB „Biseris“ nuotrauka)

Dažniausiai naujai įrengto ženklinimo storis siekia 2–3 mm ir tai leidžia tikėtis, kad termoplastu įrengtas ženklinimas išlaikys pagrindines savo savybes 2–4 metus netgi aukšto eismo intensyvumo keliuose (J. Migletz ir kt., 2001; *Texas Department of Transportation*, 2004, D. Babič, A. Ščukanec ir kt., 2019). Medžiagai dėvintis, jos viduje esantys įmaišomieji stiklo rutuliukai iškyla į paviršių, taip užtikrindami, kad ženklinimas išlaikys aukštą atspindimojo skaisčio vertę visu eksploatacijos metu.

1.3.3. Šaltasis plastikas

Šaltasis plastikas, tai medžiaga, kurią sudaro mažiausiai du komponentai, iš kurių vienas komponentas yra rišiklis, o kitas komponentas – kietiklis. Priklausomai nuo įrengimo technologijos rūšies, komponentai maišomi skirtingu santykiu ir sukietėja tinkamoje iniciatoriaus sistemoje bei aplinkos temperatūroje. Šaltasis plastikas yra pakankamai jautrus drėgmei ir temperatūrai – norint

tinkamai paženklininti šia medžiaga turi būti naudojamas kietėjimo greitiklis (poreikiui esant gali būti naudojama lėtinimo medžiaga), kurio kiekis priklauso nuo oro temperatūros (1.2 lentelė).

Ženklininti šia medžiaga galima, kai oro temperatūra yra nuo 10 °C iki 45 °C, o santykinė oro drėgmė negali viršyti 80 %. Esant bet kokiai oro ar ženklinamos dangos drėgmei (pvz. rūkas, rasa ar dulksna), ženklėjimas negalimas. Tinkamai paruošus ir paženklinus šaltasis plastikas išdžiūna per 20–45 minutes, ir šią medžiagą padengus užbarstomaisiais stiklo rutuliukais, kurie įsigeria į medžiagos vidų, gaunama aukšta atspindimojo skaisčio vertė. Šaltasis plastikas yra ypatingai atsparus dėvėjimuisi, todėl dažniausiai naudojamas didelio intensyvumo keliuose, skersiniam ženklėjimui (pvz. pėsčiųjų perėjų įrengimui). Medžiaga gali būti naudojama ištisiniam, struktūriniam arba aglomeratiniam ženklėjimui (1.3 pav.), klojant klotuvu, ekstruduoju ar įrenginėjant rankiniu būdu. Dažniausiai klojamas 2–3 mm storio sluoksnis (liejamas šaltasis plastikas), kuris užtikrina ilgą ženklėjimo funkcinių gyvavimo laiką.

1.2 lentelė. Šaltojo plastiko įrengimo priklausomybė nuo oro temperatūros (KONTUR Sp. z o. o).

Kietiklio santykinė masė lyginant su rišikliu, %	Aplinkos temperatūra, °C	Mišinio panaudojimo trukmė, min	Laikas, po kurio galima atkurti eismo judėjimą (medžiaga visiškai sukietėja), min
3	10	14	45
2	20	10	30
1	30	8	20

Šaltasis plastikas taip pat gali būti išpurškiamas apie 700 µm storio plėvele. Tai vadinama plonasluoksniu (purškiamu) šaltuoju plastikumu (plonasluoksnės polimerinės medžiagos). Purškiant šaltąjį plastiką gali būti naudojamas tas pats mechanizmas kaip ir įrengiant ženklėjimą dažais, todėl atskirti šias dvi medžiagas yra gana sudėtinga, ypatingai atsižvelgiant į tai, kad šlapios plėvelės sluoksnio storis skiriasi ne itin daug. Tačiau dažai sukietėja išgaruojant organiniams tirpikliams, o purškiamas šaltasis plastikas kietėja esant cheminei reakcijai. Taip pat šaltojo plastiko sudėtyje yra polimerinių medžiagų, kurios savo fizikines savybes išlaiko ilgiau nei dažai. Purškiant šaltąjį plastiką sunaudojama apie 1 kg/m² medžiagos ir apie 600–700 g/m² stiklo rutuliukų. Idealiu atveju purškiamas šaltasis plastikas turėtų būti naudojamas tik atnaujinant pilnu storiu išlietą šaltąjį plastiką.

Nuo įrengimo technologijos labai priklauso šaltojo plastiko funkcinis gyvavimo laikas. Gamintojai pateikia informaciją, kad liejamas šaltas plastikas savo atspindimojo skaisčio savybes išlaiko iki 5 metų. Literatūroje taip pat galima rasti panašius skaičius aglomeratiniam šaltajam plastikui: 3–5 metai (D. Babič, A. Ščukanec ir kt., 2019). Purškiamo šaltojo plastiko funkcinis

gyvavimo laikas yra apie 2-3 metai.



1.3 pav. Aglomeratinio ženklavimo pavyzdys (Swarco.com).

Šaltasis plastikas savo sudėtyje neturi aplinkai ypač kenksmingų medžiagų, yra gana universalus ir užtikrina ilgą tarnavimo laiką, tačiau reikia atsižvelgti į tai, kad ši medžiaga yra nepaprastai degi. Medžiagos įrengimui naudojamas iniciatorius privalo būti žymimas specialia etikete, o jo gabenimui keliami itin aukšti reikalavimai. Šaltasis plastikas nekelia didelio pavojaus žmogaus sveikatai, tačiau medžiagoje esančių akrilinių monomerų kvapas gali būti labai nemalonus. Taip pat šaltais plastikas nėra medžiaga, su kuria lengva dirbti: oro sąlygos turi būti ypač palankios, prasta įranga ar netinkamas personalo darbas gali lemti priešlaikinę medžiagos sukietėjimą, o ilgas kietėjimo laikas po įrengimo neleidžia greitai atkurti eismo judėjimo kelyje.

1.3.4. Stiklo rutuliukai

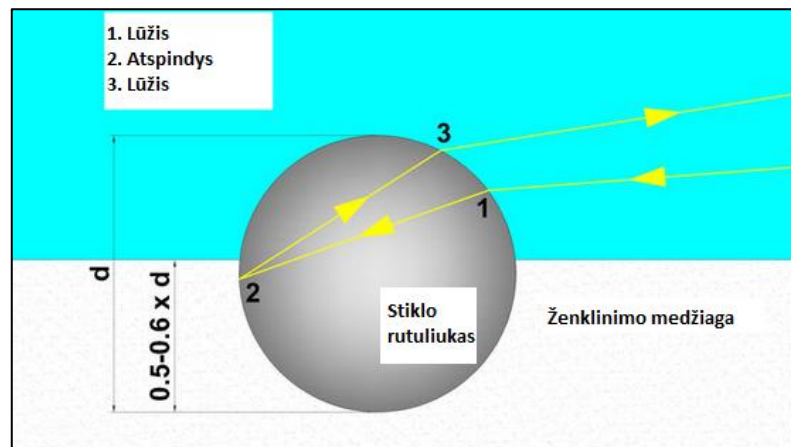
Stiklo rutuliukai, tai skaidraus stiklo sferinės dalelės, naudojamos tam, kad vairuotojai nakties metu dėl atspindinčių automobilių šviesų matytų kelio ženklavimą (TRA ŽM 12). Nors stiklo rutuliukai nėra atskira horizontaliajam ženklavimui naudojama medžiaga, tačiau tai yra viena iš svarbiausių kiekvienos iš prieš tai aprašytų medžiagų sudedamoji dalis. Būtent stiklo rutuliukai lemia vieną iš svarbiausių horizontaliojo ženklavimo charakteristikų – matomumą naktį, kurio pagrindinis rodiklis yra atspindimojo skaisčio koeficientas R_L , matuojamas milikandelėmis liuksui į kvadratinį metrą [$\text{mcd}/\text{m}^2/\text{lx}$]. Stiklo rutuliukas vienas pats šviesos atspindėti negali (pav. 4). Atspindimasis skaitis priklauso, tiek nuo ženklavimui naudojamos medžiagos, tiek nuo stiklo rutuliukų, ir sąveikos tarp jų. Didesnę įtaką šioje sąveikoje turi ženklavimui naudojama medžiaga (T. E. Burghardt ir kt., 2019).

Stiklo rutuliukai yra skirstomi į:

- **Užbarstomuosius stiklo rutuliukus**, kurie yra užbarstomi ant ženkliniui naudojamos medžiagos, ženklavimo įrengimo metu;
- **Įmaišomuosius stiklo rutuliukus**, kurie gamybos metu įmaišomi į dažus, karštąjį plastiką, šaltąjį plastiką ir kitus kelio paviršiui ženklinti naudojamus produktus.

Stiklo rutuliukų, naudojamų horizontaliajam kelių ženklavimui, retrorefleksijos veikimas pagrįstas 3 etapų procesu (1.4 pav.):

1. Iš automobilio žibinto sklindantis šviesos spindulys pasiekęs stiklo rutuliuką lūžta;
2. Šviesos spindulys atsispindi nuo ženklavimui naudojamos medžiagos, kurioje yra stiklo rutuliukas;
3. Atsispindėjęs šviesos spindulys palikdamas stiklo rutuliuką dar kartą lūžta.



1.4 pav. Stiklo rutuliuko retrorefleksija (Asdrubali ir kt., 2013, perdaryta autoriaus).

Stiklo rutuliukų diametras dažniausiai svyruoja nuo 100 μm iki 850 μm . Skirtingoms medžiagoms yra naudojami skirtingo diametro stiklo rutuliukai. Rutuliukai yra gaminami iš smulkiai sumalto stiklo, juos kaitinat 1200 $^{\circ}\text{C}$ temperatūroje, tuomet netaisyklingos formos dalelės tampa apvaliomis. Ypač didelio diametro stiklo rutuliukai (iki 2000 μm), kurie yra naudojami II tipo ženklavimo sistemoms (norint gauti didelę atspindimojo skaisčio koeficiento reikšmę esant lietingoms sąlygoms) yra gaminami iš gryno stiklo (Burghardt ir kt., 2017).

Yra labai svarbu, kad stiklo rutuliukas būtų įsiterpęs ženklavimui naudojamoje medžiagoje nuo 50 iki 60 % savo diametro (1.4 pav.). Jei stiklo rutuliukai yra giliau kaip 0,6 savo diametro, tokiu atveju jie tampa mažiau efektyvūs, nes atsispindinčios šviesos kiekis yra per mažas. Jei stiklo rutuliukai yra įsiterpę mažiau kaip 0,5 savo diametro, tokiu atveju jie tampa labiau pažeidžiami ir veikiant pravažiuojančiam transportui gali lengvai atsiskirti nuo ženklavimo medžiagos.

Pagal LST EN 1423 ir LST EN 1424 standartus stiklo rutuliukų apvalumas turi būti ne mažesnis nei 80 %, jie turi būti be oro tuštymų, visiškai skaidrūs, o refrakcinis indeksas (RI) negali būti mažesnis nei 1,5. Tokio refrakcinio indekso stiklo rutuliukų panaudojimas leidžia pasiekti 350–400 mcd/m²/lx atspindimąjį skaitį. Didesnio refrakcinio indekso stiklo rutuliukų gamyba yra labai brangi, o jų panaudojimas ribotas dėl mažos atsparumo slydimui vertės. Švino, stibio ir arseno kiekis stiklo rutuliukuose negali viršyti 200 mg/kg.

1.3.5. Horizontaliajam ženklavimui naudojamų medžiagų palyginimas

Lyginant pagrindines horizontaliajam ženklavimui naudojamų medžiagų charakteristikas įvertinama jų įrengimo kaina, kuri yra labai svyruojantis dydis, tačiau vertinant preliminarai, liejamo termoplasto įrengimo kaina yra šiek tiek daugiau nei 4 kartus didesnė už dažų įrengimo kainą, tuot tarpi šaltojo plastiko kaina yra apie 30 % didesnė nei termoplastinių medžiagų. Purškiamo šaltojo plastiko kaina yra daugiau kaip dvigubai didesnė nei dažų. Taip pat lyginant medžiagas įvertinama: jų įrengimo storis; džiūvimo laikas; ar medžiagos įrengimas reikalauja specialaus pasiruošimo; kokiomis oro sąlygomis ženklavimas gali būti įrengiamas; ar medžiaga savo sudėtyje turi kenksmingų aplinkai medžiagų; ar galima suformuoti struktūrą ir taip išgauti vibroakustinį efektą, informuojantį vairuotoją, kad jis kerta kelio juostos ribas; funkcinį gyvavimo laiką, kuris yra aprašytas nagrinėtoje literatūroje. Medžiagų palyginimas pateiktas 3 lentelėje.

1.3 lentelė. Horizontaliajam ženklavimui naudojamų medžiagų palyginimas.

Ženklavimui naudojama medžiaga	Įrengimo kaina	Įrengimo storis (šlapia plėvelė)	Džiūvimo laikas	Paruošimas (įrengimas)	Kokiomis oro sąlygomis galima įrengti	Kenksmingas aplinkai	Formuojama struktūra	Gyvavimo laikas
Dažai	1	nuo 350 μm iki 450 μm	8-20 minučių	Nereikalauja spec. parengimo	≥5 °C.	Taip	Ne	1-2 metai
Termoplastas	±4-5	apie 3 mm	3-5 minutės	apie 45 minutes kaitinamas aukštoje temperatūroje	≥5 °C*. Oro drėgmė ≤ 80 %	Ne	Taip	2-4 metai
Šaltasis plastikas	±5,5	apie 3 mm	15-45 minutės	Reikalauja greito darbo ir patyrusio techniko	≥10 °C. Oro drėgmė ≤ 80 %	Iš dalies	Taip	3-5 metai
Purškiamas šaltasis plastikas	±2,5	±700 μm	3-20 minutės	Reikalauja greito darbo ir patyrusio techniko	≥10 °C. Oro drėgmė ≤ 80 %	Iš dalies	Ne	2-3 metai

* – Termoplastinės medžiagos gali būti įrengiamos žemesnėje temperatūroje, bet tai nėra rekomenduojama

Dažai iš visų ženkliniui naudojamų medžiagų išsiskiria pigia savo kaina ir paprastu įrengimu, tačiau ir trumpiausiu funkciniu gyvavimo laiku. Taip pat iš visų prieš tai aprašytų medžiagų dažai yra kenksmingiausi aplinkai. Termoplastas iš visų medžiagų išsiskiria savo ekologiškumu ir greitu džiūvimo laiku, todėl jo panaudojimas yra efektyvus. Šaltasis plastikas pasižymi ilgiausiu funkciniu gyvavimo laiku, tačiau ši medžiaga yra brangi, su ja sudėtinga dirbti.

1.4. Horizontalusis ženklinimas Lietuvoje

Pagrindiniai horizontalųjį ženklinimą Lietuvoje reglamentuojantys dokumentai yra:

- **Kelių ženklinimo medžiagų naudojimo ir ženklinimo įrengimo taisyklės IT ŽM 12**, kuriose išdėstyti reikalavimai medžiagų naudojimui ir darbams, atliekamiems ženklinant valstybinės reikšmės kelius bei gatves, kurios yra valstybinės reikšmės kelių tąsa.
- **Kelių ženklinimo medžiagų techninių reikalavimų aprašas TRA ŽM 12**, kuriose aprašytos kelių ženklinimui naudojamos medžiagos, jų eksploatacinės charakteristikos ir bandymų reikalavimai.
- **Kelių horizontaliojo ženklinimo taisyklės**, kurios nustato horizontaliojo ženklinimo formą, dydį, spalvos parinkimą ir naudojimo sąlygas.

Pagal IT ŽM 12 ženklinimas pagal padėtį važiuojamojoje dalyje ir eismo poveikį jam, skirstomas į:

- Retai užvažiuojamą ženklinimą, kuriam priskiriamos kelio kraštus žyminčios linijos bei salelių ženklinimas;
- Dažnai užvažiuojamą ženklinimą, kuriam priskiriamas visų ašinių linijų ženklinimas;
- Nuolat užvažiuojamą ženklinimą, kuriam priskiriamas skersinis ženklinimas (pvz. pėsčiųjų perėjos, ženklinimas sankryžų zonose);
- Ypač stipriai mechaniškai veikiamą ženklinimą.

Ženklinimo sistemos Lietuvoje, kaip ir daugelyje Europos šalių, pagal keliamus reikalavimus skirstomas į du tipus: I tipo ženklinimo sistemos ir II tipo ženklinimo sistemos. I-ojo tipo ženklinimas apibrėžiamas kaip įprastinis ženklinimas, kurio paviršius suformuojamas lygiai ir jam nekeliami jokie didesnio matomumo nakties metu esant drėgnam paviršiui reikalavimai. II-ojo tipo ženklinimo sistemoms taikomi didesnio šviesos atspindėjimo, esant drėgnoms arba lietingoms oro sąlygoms, reikalavimai. Paprastai I tipo ženklinimas įrengiamas naudojant dažus. II-ojo tipo ženklinimo sistemos įrengiamos naudojant reaktyviasias medžiagas (termoplastas arba šaltasis plastikas).

Pagal ženklavimo vietą kelyje, kaip stipriai jis yra veikiamas mechanškai ir ženklavimo sistemos tipą keliams reikalavimai ženklavimo matumumui naktį (1.4 lentelė), o garantinis terminas ženklavimo medžiagoms skirstomas pagal ženklavimo vietą kelyje, užvažiuojimo intensyvumą ir ženklavimui naudojamą medžiagą.

1.4 lentelė. Skaisčio koeficientai pagal atspindimojo skaisčio (R_L) klases (matumumą naktį), kai ženklavimo paviršius sausas ir kai ženklavimo paviršius drėgnas (IT ŽM 12).

Ženklinio sistemos tipas	Taikymas	Matomumas naktį, kai ženklinio paviršius sausas		Matomumas naktį, kai ženklinio paviršius drėgnas	
		Klasė	Mažiausias atspindimojo skaisčio (R _L) koeficientas, mcd·m ⁻² ·lx ⁻¹	Klasė	Mažiausias atspindimojo skaisčio (R _L) koeficientas, mcd·m ⁻² ·lx ⁻¹
I tipas	Naujai atliktas ženklinimas	R4	R _L ≥ 200	–	–
II tipas				RW3	R _L ≥ 50
I tipas	Naudotas retai užvažiuojamas ženklinimas	R2	R _L ≥ 100	–	–
II tipas				RW1	R _L ≥ 25
I tipas	Naudotas dažnai ir nuolat užvažiuojamas ženklinimas	R1	R _L ≥ 80	–	–
II tipas				RW0 ²⁾	NPD ¹⁾²⁾
1) NPD – „savybė nenustatyta“ (angl. „No performance determined“) – taip žymimai savybei reikalavimai pagal numatytąjį naudojimą nereglamentuojami.					
2) Reikalavimai nereglamentuojami, tačiau klasė ir koeficientas nustatomi tam, kad būtų surinkta techninė informacija.					

TRA ŽM 12 išskiriamos 4 ženklavimo sistemos, kurioms nenaudojami ruošiniai: ženklavimas tirpiklių turinčiais dažais, dispersija, reaktyviosiomis medžiagomis (šaltuoju plastikumu) ir termoplastinėmis medžiagomis (karštuoju plastikumu). Nors Lietuvos valstybinės reikšmės kelių horizontaliojo ženklavimo techninėje specifikacijoje ženklavimas skirstomas taip pat į 4 dalis, tačiau visai kitoku principu. Ženklavimo darbai išskiriami pagal naudojamą medžiagą, storį, įrengimo technologiją bei spalvą: ženklavimas kelio dažais, ženklavimas polimerinėmis medžiagomis, ženklavimas plonasluoksnišiomis polimerinėmis medžiagomis bei spalvotas ženklavimas polimerinėmis medžiagomis (ženklavimas su užpildais šiurkštumui padidinti, skersinės triukšmo juostos). Kadangi spalvotas ženklavimas nuo kitų ženklavimo sistemų skiriasi tik savo spalva, o ne įrengimo technologija ar medžiagiškumu, valstybinės reikšmės keliuose yra naudojamos trys skirtingos ženklavimo sistemos:

- ženklėjimas kelio dažais;
- ženklėjimas polimerinėmis medžiagomis (liejamas karštasis ir šaltasis plastikas);
- ženklėjimas plonasluoksnėmis polimerinėmis medžiagomis (purškiamas karštasis ir šaltasis plastikas).

Visos šios ženklėjimo sistemos labai skiriasi savo įrengimo technologija, sluoksnio storio, kaina, atspindžio savybėmis bei teikiama garantija (1.5 lentelė).

1.5 lentelė. Horizontaliojo ženklėjimo garantiniai terminai Lietuvoje.

Ženklėjimo medžiaga	Eismo apkrovų pobūdis	Garantinis laikas
Ženklėjimas kelio dažais	dažnai arba nuolat užvažiuojamas	6 mėnesiai
Ženklėjimas kelio dažais	retai užvažiuojamas	1 metai
Ženklėjimas polimerinėmis medžiagomis (reaktyviosios ar termoplastinės medžiagos)	retai, dažnai arba nuolat užvažiuojamas	2 metai
Ženklėjimas purškiamomis polimerinėmis medžiagomis	dažnai arba nuolat užvažiuojamas	1 metai
Ženklėjimas purškiamomis polimerinėmis medžiagomis	retai užvažiuojamas	2 metai

Į IT ŽM 12 9 priede „ženklėjimo sistemų taikymo atvejai“ išskiriama kokia ženklėjimo sistema (medžiaga), tipu (I ar II tipas) ir eismo klase (pagal standartą LST EN 13197) turi būti ženklėjama atsižvelgiant į kelio kategoriją ir ženklėjimo vietą kelyje (užvažiavimo intensyvumą). Kelias VIA BALTICA yra vienintelis toks Lietuvoje, kuriame visas ženklėjimas turi būti įrengtas reaktiviomis arba termoplastinėmis medžiagomis – negalimas dažų panaudojimas. Automagistralėse ir greitkeluose kelio kraštus žyminčios linijos gali būti ženklėjamos dažais jei $VMPEI < 10000$ aut./parą, tačiau tai nėra rekomenduotina. Visas kitas ženklėjimas turi būti atliktas polimerinėmis medžiagomis. Panašūs reikalavimai keliami ir magistraliniams keliams, tik čia kraštus žyminčių linijų ženklėjimas gali būti atliktas naudojant dažus ekonomiškai pagrindus, kai $VMPEI < 5000$ aut./parą. Krašto ir rajoniniuose keliuose visas ženklėjimas taip pat turėtų būti atliekamas polimerinėmis medžiagomis, tik linijas žyminčias važiuojamosios dalies kraštus rekomenduojama ženklinti dažais.

Nepaisant to, kad IT ŽM 12 nurodoma, kad dažais turėtų būti žymimi tik kelio kraštai VI LAKD turimais duomenimis didžioji dalis horizontalaus ženklėjimo valstybinės reikšmės keliuose sudaro būtent ženklėjimas dažais. Bendras horizontalaus ženklėjimo ūkis šiuose keliuose apytiksliai yra $2.900.000 \text{ m}^2$.

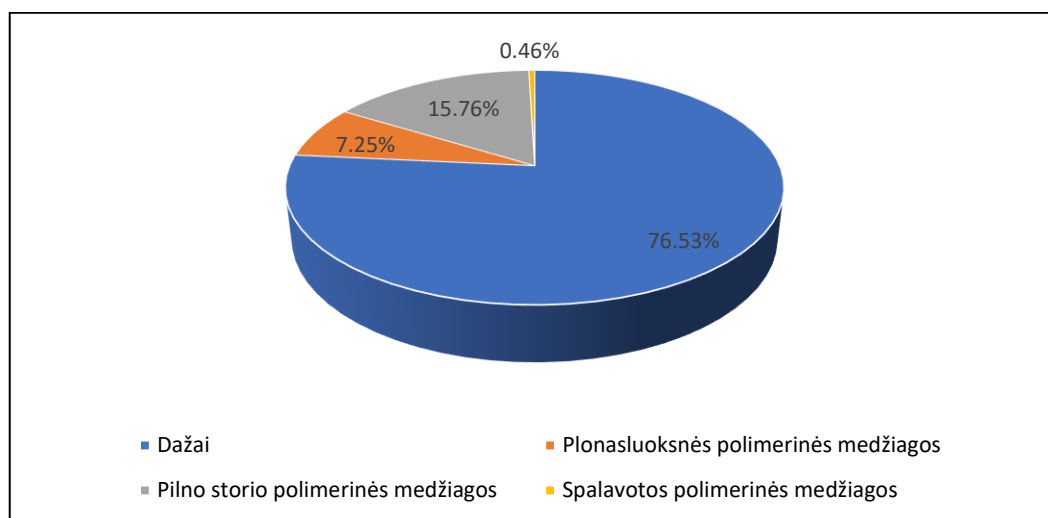
Ženklinimas dažais sudaro 1 920 000 m² (66 % viso ženklinimo):

- Magistraliniuose keliuose – 790 000 m²;
- Krašto keliuose – 700 000 m²;
- Rajoniniuose keliuose – 430 000 m².

Ženklinimas polimerinėmis medžiagomis sudaro 980 000 m² (34 % viso ženklinimo):

- Magistraliniuose keliuose – 660 000 m²;
- Krašto keliuose – 200 000 m²;
- Rajoniniuose keliuose – 120 000 m².

Preliminarus kiekvienais metais Lietuvos valstybinės reikšmės keliuose dažais atnaujinamo ženklinimo kiekis sudaro 76,53 %. Liejamos polimerinės medžiagos (termoplastas) sudaro 15,76 %, plonasluoksnės ir spalvotos polimerinės medžiagos 7,25 % ir 0,46 %, atitinkamai (1.5 pav.).



1.5 pav. Atnaujinamo ženklinimo kiekis pagal medžiagas Lietuvos valstybinės reikšmės keliuose

Kadangi šaltojo plastiko kaina yra apie 30% didesnė nei termoplastinių medžiagų, Lietuvoje įrengiant ženklinimą polimerinėmis medžiagomis, beveik visada naudojamos termoplastinės medžiagos. Vietos, kuriose ženklinimas buvo įrengtas liejant šaltąjį plastiką, dažniausiai atnaujinamos plonasluoksnėmis polimerinėmis medžiagomis (purškiamuoju plastiką). Visgi, norint pasiekti aukštas atspindimojo skaisčio vertes ir užtikrinti ilgą ženklinimo gyvavimo laiką, reiktų, kad ženklinimas šaltuoju plastiką (ypač aglomeratinis ženklinimas) Lietuvoje būtų išskirtas kaip atskira ženklinimo sistema, kadangi ji savo charakteristikas išlaiko ilgiausiai bei gali duoti didelę naudą.

Šiuo metu Lietuvoje nebėra įtvirtintos nuostatos, kad ženklinimas turi būti atnaujinamas ta pačia medžiaga. Dėl šios priežasties, Lietuvos automagistralėse ir greitkeluose vis plačiau

naudojamas ženklavimo atlikto dažais naikinimas ir keitimas ilgaamžiškesnėmis medžiagomis (termoplastu). ĮT ŽM 12 parašyta, kad ženklavimo naikinimas turi būti atliktas taip, kad būtų kuo mažiau pažeistas viršutinis kelio sluoksnis, o norint tai pasiekti asfalto dangoms, pirmenybė teikiama frezavimo būdui; betono dangoms – vandens čiurkšlės arba šratų srovės būdams. Tačiau Lietuvoje, kaip ir kitose šalyse, ženklavimo naikinimui nuo asfaltbetonio dangų vis plačiau naudojamas vandens čiurkšlės metodas (1.6 pav.), kuris horizontalųjį ženklavimą naikina žymiai greičiau, efektyviau ir ekologiškiau, lyginant su frezavimo būdu, kurio metu, kartu su ženklavimu išfrezuojama apie 2–3 mm kelio dangos.



1.6 pav. Horizontaliojo ženklavimo naikinimas vandens čiurkšlės metodu kelyje A19 (autorius nuotraukos, 2020).

1.5. Horizontaliojo ženklavimo reikalavimai kitose Europos valstybėse

1.5.1. Horizontalusis ženklavimas Airijoje

Pagrindinis horizontalųjį kelių ženklavimą Airijos Respublikoje reglamentuojantis dokumentas yra Kelio darbų specifikacija, serija 1200 – kelio ženklai ir kelio ženklavimas (angl. *Specification for Road Works Series 1200 - Traffic Signs and Road Markings*) išleistas 2013 metais. Šio dokumento 1216 skirsnyje yra aprašyti horizontaliajam kelių ženklavimui keliami reikalavimai.

Dokumente įtvirtinta svarbi nuostata, kad visas kelių ženklavimas atliekamas termoplastinėmis medžiagomis, nebent valdžios institucijos nusprendžia kitaip. Kitos medžiagos, t. y. dažai ar šaltasis plastikas, šiame dokumente išvis nėra minimos. Naujai įrengtam ir atnaujintam ženklavimui keliami pagrindinių charakteristikų reikalavimai pateikti vienoje lentelėje (1.6 lentelė), kuri siejama su standarte EN 1436 aprašomais reikalavimais. Visas ženklavimas pagal savo spalvą ir žymėjimo tipą

skirstomas į 4 dalis: 1 – ženklavimas balta spalva, 2 – ženklavimas balta spalva (simboliai), 3 – ženklavimas geltona spalva, 4 – ženklavimas geltona spalva (simboliai).

1.6 lentelė. Horizontaliajam ženklavimui keliami reikalavimai Airijoje (*Specification for Road Works Series 1200 - Traffic Signs and Road Markings*).

Nuoroda į EN 1436 standartą	Reikalavimas (klasė)	Reikšmė
Lentelė Nr. 2. Škaiščio faktorius β	1. Klasė B4	$\beta > 50$
	2. Klasė B4	$\beta > 50$
	3. Klasė B2	$\beta > 30$
	4. Klasė B2	$\beta > 30$
Lentelė Nr. 3. Atspindimojo skaiščio (R_L) koeficientas, kai ženklavimo paviršius sausas	Regioniniai ir vietiniai keliai	1 ir 2. Klasė R2. $R_L \geq 100$ 3 ir 4. Klasė R1. $R_L \geq 80$
	Valstybinės reikšmės keliai	1, 2, 3 ir 4. Klasė R4. $R_L \geq 200$
Lentelė Nr. 6. Spalva	1 ir 2. Balta	X ir Y koordinatės nurodytos EN 1436 lentelėje Nr. 6
	3 ir 4. Geltona	X ir Y koordinatės nurodytos EN 1436 lentelėje Nr. 6
Lentelė Nr. 7. Atsparumas slydimui	1. Klasė S2	$SRT \geq 50$
	2. Klasė S3	$SRT \geq 55$
	3. Klasė S2	$SRT \geq 50$
	4. Klasė S3	$SRT \geq 55$
	Skersinis ženklavimas geltonomis juostomis. Klasė S5	$SRT \geq 65$

Kadangi Airijos standarte parašyta, kad kelias gali būti ženklavamas tik termoplastinėmis medžiagomis, nebent rangovas pagrįstų kitų medžiagų panaudojimo poreikį, todėl keliami didesni atspindimojo skaiščio (R_L) koeficiento reikalavimai garantiniam periodui (1.7 lentelė), o pats garantinis periodas yra ilgesnis nei Lietuvoje. Matomumo naktį, kai ženklavimo paviršius drėgnas, mažiausias atspindimojo skaiščio (R_L) koeficientas, garantinio periodo metu turi būti $R_L \geq 50$ mcd/m²/lx, bet tik tose vietose, kur nurodo užsakovas. Skirtingai nei Lietuvoje, Airijoje nėra minimalaus atspindimojo skaiščio reikalavimo naujai įrengtam ženklavimui.

1.7 lentelė. Reikalavimai ženkliniui garantinio periodo metu (Specification for Road Works Series 1200 - Traffic Signs and Road Markings).

Nuoroda į EN 1436 standartą	Reikalavimas (klasė)	Minimali reikšmė ženkliniui balta spalva [mcd·m ⁻² ·lx ⁻¹]	Minimali reikšmė ženkliniui geltona spalva [mcd·m ⁻² ·lx ⁻¹]
Po 2 metų			
Lentelė 3 - R _L klasės kai ženkliniio paviršius sausas	Klasė R3	R _L ≥ 150	R _L ≥ 150
Po 3 metų			
Lentelė 3 - R _L klasės kai ženkliniio paviršius sausas	Klasė R2	R _L ≥ 100	R _L ≥ 100

Dviejų metų garantija ženkliniui Airijoje taikoma ne valstybinės reikšmės keliuose. Valstybinės reikšmės keliuose ženkliniui taikoma 3 metų garantija.

Ženkliniio aukštis Airijoje, kaip ir Lietuvoje, negali viršyti 6 mm. Taip pat yra aiškiai apibrėžiamas medžiagos storis, kuriuo gali būti atnaujinamas naudotas ženkliniimas. Naujai įrengiamas ženkliniimas turi būti 4 ± 0,5 mm aukščio. Atnaujinant naudotą ženkliniimą, kai šio aukštis nesiekia 1 mm, ženklinama 2,5 ± 0,5 mm storio sluoksniu. Kai atnaujinamo ženkliniio aukštis viršija 1 mm, ženklinama 1,5 ± 0,5 mm storio sluoksniu. Jei ženkliniio aukštis atnaujinant gali viršyti 6 mm, jis turi būti naikinamas ir įrengiamas naujas ženkliniimas.

Airijoje, visiškai skirtingai nei Lietuvoje, aprašomas ženkliniio naikinimas. Pirmenybė teikiama aukšto slėgio vandens čiurkšlės metodui, kuris privalo būti atliekamas kvalifikuoto personalo ir nuolatos stebimas jog nepadarytų žalos kelio dangos viršutiniui sluoksniui. Vietose, kur negali būti panaudotas ženkliniio naikinimas vandens čiurkšlės metodu, rekomenduojama naudoti ženkliniio naikinimą suslėgta karšto oro mase. Frezavimo būdas gali būti taikomas tik kaip papildoma priemonė pašalinant ženkliniio aukščio perteklių, norint palengvinti ženkliniio naikinimą anksčiau minėtomis technologijomis. Atliekant ženkliniio naikinimą bet koks pastebėtas kelio dangos pažeidimas yra ištaisomas naikinimą atliekančio rangovo lėšomis.

1.5.2. Horizontalusis ženkliniimas Lenkijoje

Kaimyninėje Lenkijoje horizontalusis kelių ženkliniimas ir jam keliami reikalavimai yra aprašytos dviejose techninėse specifikacijose išleistose 2018 ir 2012 metais (lenk. *Szczegółowe specyfikacje techniczne oznakowanie poziome dróg*). Pirmojoje iš jų yra atnaujinti reikalavimai keliami ženkliniui dažais. Antrojoje, kuri taip vis dar galioja, pateikiami reikalavimai ir kitoms horizontaliajam ženkliniui naudojamoms medžiagoms.

Specifikacijoje pateikiamos griežtos ribos horizontaliojo ženklinimo plėvelės storiui. Plono sluoksnio ženklinimui, atliekamam tirpiklių turinčiais dažais, dažais vandens pagrindu (dispersija) arba purškiamomis polimerinėmis sistemomis, šlapios plėvelės sluoksnio storis turi būti nuo 0,4 iki 0,89 mm. Liejamoms ženklinimo sistemoms (storo sluoksnio), kurioms įrengti naudojamos termoplastinės arba šaltojo plastiko medžiagos, sluoksnio storis turi būti nuo 0,9 iki 5 mm.

Lenkijos techninėje specifikacijoje aprašoma kokiomis medžiagomis gali būti atnaujinamas esamas horizontalusis kelių ženklinimas:

- Ženklinimas įrengtas tirpiklių turinčiais dažais gali būti atnaujinamas tik tirpiklių turinčiais dažais;
- Ženklinimas įrengtas termoplastinėmis medžiagomis gali būti atnaujinamas tik plonasluoksnėmis (purškiamomis) termoplastinėmis medžiagomis arba dažais vandens pagrindu (išimtiniais atvejais gali būti naujinama tirpiklių turinčiais dažais, sprendimą priima rangovas);
- Reaktyviosiomis medžiagomis (šaltasis plastikas) įrengtas ženklinimas gali būti naujinamas purškiamomis polimerinėmis medžiagomis (purškiamas plastikas) arba tirpiklių turinčiais dažais.

Taip pat pateikiamas medžiagų garantinis laikotarpis:

- Ženklinimui plonasluoksnėmis sistemomis – 12 mėnesių (8 mėnesių garantija taikoma kai šia sistema atnaujinamas storo sluoksnio ženklinimas);
- Ženklinimui storo sluoksnio sistemomis – 36 mėnesiai.

Reikalavimai horizontalaus ženklinimo fizikinėms savybėms Lenkijoje skirstomi į dvi dalis pagal kelius, kuriuose įrengiamas ženklinimas. Pirmoji dalis, tai pagrindiniai keliai - greitkeliai arba dviejų važiuojamųjų dalių keliai, kurių projektinis greitis yra 100 km/val. arba daugiau bei vienos važiuojamosios dalies, keturių eismo juostų keliai, kurių VMPEI viršija 10000 aut./parą. Antra dalis - likusieji keliai.

Pagrindiniams ir kitiems keliams horizontaliajam ženkliniui balta spalva keliami reikalavimai:

1. Atspindimasis skaistis (R_L) kai ženklavimo paviršius sausas:
 - Naujai įrengtas ženklavimas (14-30 dienų po įrengimo) – $\geq 250 \text{ mcd/m}^2/\text{lx}$ (klasė R4/R5), kitiems keliamas $\geq 200 \text{ mcd/m}^2/\text{lx}$ (klasė R4);
 - Naudotam ženkliniui (1-6 mėnesiai po įrengimo) – $\geq 200 \text{ mcd/m}^2/\text{lx}$ (klasė R4), kitiems keliamas $\geq 150 \text{ mcd/m}^2/\text{lx}$ (klasė R3);
 - Naudotas ženklavimas (daugiau kaip 6 mėnesiai po įrengimo) – $\geq 150 \text{ mcd/m}^2/\text{lx}$ (klasė R3), kitiems keliamas $\geq 100 \text{ mcd/m}^2/\text{lx}$ (klasė R2).
2. Atspindimasis skaistis (R_L) kai ženklavimo paviršius drėgnas (taikomas tik II tipo ženklavimo sistemoms):
 - Naujai įrengtas ženklavimas (14-30 dienų po įrengimo) – $\geq 50 \text{ mcd/m}^2/\text{lx}$ (klasė RW3);
 - Naudotas ženklavimas (daugiau nei 30 dienų po įrengimo) – $\geq 35 \text{ mcd/m}^2/\text{lx}$ (klasė RW2).
3. Baltumas:
 - Naujai įrengtas ženklavimas (14-30 dienų po įrengimo) – $\geq 0,4 \beta$ asfaltbetonio dangoms (klasė B3) ir $\geq 0,5 \beta$ cementbetonio dangoms (klasė B4);
 - Naudotas ženklavimas (daugiau nei 30 dienų po įrengimo) – $\geq 0,3 \beta$ asfaltbetonio dangoms (klasė B3) ir $\geq 0,4 \beta$ cementbetonio dangoms (klasė B4), nepagrindiniams (kitiems) keliams $\geq 0,3 \beta$ (klasė B3).
4. Skaisčio koeficientas (Q_d):
 - Naujai įrengtas ženklavimas (14-30 dienų po įrengimo) – $\geq 130 \text{ mcd/m}^2/\text{lx}$ asfaltbetonio dangoms (klasė Q4) ir $\geq 160 \text{ mcd/m}^2/\text{lx}$ cementbetonio dangoms (klasė Q3);
 - Naudotas ženklavimas (daugiau nei 30 dienų po įrengimo) – $\geq 100 \text{ mcd/m}^2/\text{lx}$ asfaltbetonio dangoms (klasė Q2) ir $\geq 130 \text{ mcd/m}^2/\text{lx}$ cementbetonio dangoms (klasė Q3).
5. Paviršiaus atsparumas slydimui $SRT \geq 45$ (klasė S1).

1.5.3. Horizontalusis ženklavimas Estijoje

Baltijos šalyje Estijoje, horizontalusis kelių ženklavimas yra reglamentuojamas standarte EVS 614:2008 „Kelių ženklavimas ir jo panaudojimas“ (est. *Teemärgised ja nende kasutamine*) bei 2016 metais išleistame Kelių darbų techninio aprašo (est. *Teetööde tehniline kirjeldus*) septintame skyriuje „kelių ženklavimas“ (est. *Teemärgised*).

Techniniame apraše pateikiama visų horizontaliajam kelių ženklitimui naudojamų medžiagų sąrašas, tipai bei jų aprašymas:

1. Karšto liejimo plastikas (KLP) (termoplastinės medžiagos) – ženklitimo medžiaga, tiekama kietos, granulių ar miltelių pavidalu. Medžiaga išlydoma kaitinant, o tada pilama ant ženklitimo paviršiaus. Aušdamas mišinys sudaro kietą plėvelę.
2. Šaltojo formavimo plastikas (ŠFP) (šaltasis plastikas) – medžiaga, susidedanti iš vieno arba kelių komponentų. Priklausomai nuo įrengimo metodo, ingredientai maišomi skirtingais santykiais. Medžiaga ant kelio dangos išliejama. Dėl cheminės reakcijos susidaro kietą plėvelę.
3. Karšto purškimo plastikas (KPP) – iš anksto pašildyta medžiaga, ženklitimas atliekamas purškiant ant dangos paviršiaus.
4. Šaltojo purškimo plastikas (ŠPP) – nešildomos medžiagos, ženklitimas atliekamas purškiant ant dangos paviršiaus.
5. Dažai – tai skystis, pasta arba kietą medžiaga, turinti pigmentą ir rišiklį, kurie patekę ant paviršiaus dėl fizinio ar cheminio proceso sudaro vientisą plėvelę. Pigmentas suteikia dažams spalvą. Rišiklis suriša pigmento daleles, užtikrina sukibimą su paviršiumi.
6. Struktūrinis ženklitimas - taškų ar kitų formų linija, kuri formuojama naudojant plastikines medžiagas ir specialią technologiją. Ženklitimo forma ir kitos savybės turi būti tokios, kad atspindėtų šviesą esant šlapiai dangai.

Estijos „Eismo valdymo valstybiniuose keliuose vadove“ (est. *Riigiteede liikluskorralduse juhised*), išleistame 2018 metais, pateikiama instrukcija, kokiomis medžiagomis, esant tam tikromis sąlygomis, turi būti atliekamas horizontalusis kelių ženklitimas:

Keliuose, kurių VMPEI ≥ 500 , reikia naudoti lietą plastiką. Keliuose, kurių VMPEI < 500 , šoninė linija turi būti paženklinta purškiamu plastiką, o ašinė linija ir kiti žymėjimai iš lieto plastiko. Ypatingais atvejais, kai kelyje, kurio VMPEI < 500 yra įrengta nauja danga, vietoj purškiamo plastiko gali būti naudojamas liejamas plastikas. Jei yra numatyta remontuoti ar atnaujinti kelio ruožą, atnaujinant ženklitimą gali būti nukrypta nuo nurodytų medžiagų pasirinkimo ir naudojamas ženklitimas dažais. Dažais Estijoje ženklinti patariama ir labai mažo eismo intensyvumo kelius. Jei ženklitimas įrengtas kitaip, nei numatyta vadove, jis turi būti atnaujintas tuo pačiu būdu, kol kelio danga bus atnaujinta ir pažymėta pagal šio vadovo instrukcijas.

Estijoje stengiamasi pereiti prie ženklitimo polimerinėmis medžiagomis, kaip įmanoma labiau atsisakant dažų. Lentelėje, kurioje pateikiami Estijoje keliami reikalavimai ženklitimo matomumui

naktį, dažai nėra išskiriami (1.8 lentelė). Garantinis periodas kitoms medžiagoms, t. y. liejamam plastikui ir purškiamam plastikui panašus kaip ir Lietuvoje – 2 ir 1 metai, atitinkamai.

1.8 lentelė. Reikalavimai keliama horizontaliajam ženklavimui Estijoje (Riigiteede liikluskorralduse juhis).

Ženklavimo tipas	Klasė pagal EN 1436 standartą	Mažiausias atspindimo koeficientas (R_L) koeficientas, $\text{mcd} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{lx}^{-1}$	
		Sausa danga	Drėgna danga
Liejamos arba purškiamos polimerinės medžiagos (naujas)	R3	≥ 150	-
Spalvotas ženklavimas (naujas)	R2	≥ 100	-
Struktūrinis ženklavimas	RR2 arba RW2	-	35
Liejamos arba purškiamos polimerinės medžiagos (eksploatacijos metu)	-	≥ 100	-

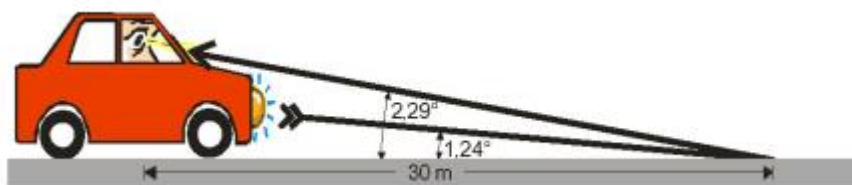
1.6. Išvados

1. Horizontalusis ženklavimas yra efektyvi inžinerinė eismo saugumo priemonė sumažinanti eismo įvykių tikimybę.
2. Horizontalusis ženklavimas greitai dėvisi. Nors yra priimta, kad vidutiniškai ženklavimas susidėvi per 2 metus, tačiau šis laikotarpis labai priklauso nuo to, kokia medžiaga naudojama ženklavimo įrengimui.
3. Ženklavimui naudojamos trys pagrindinės medžiagos: dažai, termoplastas, šaltasis plastikas. Ilgiausiai savo eksploatacines savybes išlaiko šaltuoju plastikumi įrengtas ženklavimas, tačiau Lietuvoje ši medžiaga yra beveik nenaudojama. Greičiausiai dėvisi ženklavimas tirpiklių turinčiais dažais.
4. Ženklavimo atspindimo koeficiento R_L dydis priklauso nuo ženklavimui naudojamos medžiagos, stiklo rutuliukų bei sąveikos tarp jų.
5. Ženklavimui keliama reikalavimai įvairiose ES valstybėse labai skiriasi: Airijoje naudojamos tik termoplastinės medžiagos ir nėra reikalavimų naujai įrengtam ženklavimui – tik reikalavimai garantinio periodo metu. Lenkijoje ženklavimui plonasluoksnėmis sistemomis teikiama metų garantija, storo sluoksnio sistemoms – 3 metų garantija.

2. HORIZONTALIOJO ŽENKLINIMO ATSPINDIMOJO SKAISČIO TYRIMAI

2.1. Atspindimojo skaisčio matavimo metodai

Atspindimojo skaisčio koeficientas R_L , tai dydis, kuris įvertina kaip šviesa krentanti $1,24^\circ$ kampui atspindi nuo ženklinimo $2,29^\circ$ kampui. Tokios sąlygos maždaug atitinka geometrines sąlygas, kurioms esant, automobilio, esančio už 30 m, žibintų šviesos apšviečia horizontalųjį ženklumą, o atspindėjęs šviesos spindulys grįžta į vairuotojo matymo lauką – įvyksta retrorefleksijos efektas (2.1 pav.).



2.1 pav. Automobilio žibintų skleidžiamos šviesos retrorefleksija (www.zenthner.com, perdaryta autoriaus).

Horizontaliojo kelių ženklinimo atspindimojo skaisčio koeficiento R_L matavimas yra reglamentuojamas standarto LST EN 1436:2018 priede B. Koeficiento reikšmės gali būti matuojamos:

- statiniu matavimo metodu (statinis retroreflektometras (2.2 pav.);
- dinaminiu matavimo metodu (dinaminis retroreflektometras (2.3 pav.).

Nors statinis metodas dėl mažesnės įrangos kainos yra naudojamas dažniau, tačiau jis turi keletą trūkumų, pavyzdžiui, ilga matavimo proceso trukmė, didesnis eismo sutrikdymas ir galimas pavojus matavimus atliekančiam asmeniui, nes matavimai turi būti atlikti atviraime kelyje. Be to, norint gauti kuo tikslesnius statiniu retroreflektometru atliktų matavimų rezultatus, reikia atlikti kaip įmanoma daugiau matavimų, kadangi matavimo diapazonas yra gana mažas. Dėl mažo matavimo diapazono statiniai retroreflektometrai negali išmatuoti atspindimojo skaisčio per visą ženklinimo plotį ir ilgį. Perkėlus statinį įtaisą mažiau nei centimetru, bet kuria horizontaliojo ženklinimo kryptimi, matavimų rezultatai gali būti labai skirtingi. Be to, matavimus atliekantis asmuo vizualiai įvertinęs ženklumą gali rasti vietas, kuriose atspindys yra didesnis arba mažesnis ir taip tiesiogiai paveikti matavimus, įskaitant ir galutinius kelio ženklinimo vertinimo rezultatus.



2.2 pav. Statinių retroreflektometrų Zehntner pavyzdžiai (www.cifra.com).

Dinaminio bandymo metodui būdingos didesnės pradinės išlaidos, pavyzdžiui, įrangos įsigijimas, tačiau jis leidžia išmatuoti ženklinimo matomumą naktį visu kelio ilgiu. Dinaminis retroreflektometas yra tvirtinamas prie automobilio šono ir važiuojant eismo srauto greičiu nuolat matuoja vienos išilginės linijos atspindimąjį skaisį. Intervalai, kuriais yra matuojamas ženklinimo atspindimojo skaisčio koeficientas svyruoja nuo 50 iki 100 m. Tiesa, naudojant šį prietaisą yra labai svarbu nenukrypti nuo išilginio horizontaliojo ženklinimo trajektorijos. Gauti rezultatai suteikia išsamesnį ir objektyvesnį ženklinimo atspindimojo skaisčio kokybės vertinimą lyginant su statiniu retroreflektometru gautais rezultatais (D. Babić, M. Fiolić, D. Žilionienė, 2017).



2.3 pav. Dinaminis retroreflektometras DELTA LTL-M (tecnos.ro)

Viena iš naujausių atspindimojo skaisčio matavimo technologijų, matuojanti ženklinimą dinaminio metodu yra „RetroTek-M“ mobilusis retroreflektometras. „RetroTek-M“ matavimo įtaisas tvirtai pritvirtinamas prie transporto priemonės priekio, todėl transporto priemonės šone nėra neišvaizdžių ar pavojingų iškyšų. Tai yra saugiau tiek matavimus atliekantiems operatoriams, tiek eismo dalyviams. Ši technologija yra specialiai sukurta matuoti horizontalųjį kelio ženklinimą per

visą eismo juostos plotį, vieno važiavimo metu, taip žymiai sumažindama eismo sutrikdymo riziką ir paspartindama visą procesą. Matavimo metu ženklavimo atspindimasis skaitis yra išmatuojamas tiek ašinei linijai, tiek kelio juostos kraštus žyminčiai linijai, tiek kelio ašyje esantiems simboliams ir skersiniam ženklavimui. Visi matavimų rezultatai iškart skaitmenizuojami, tapatinami su GPS koordinatėmis ir perkeliama į GIS aplinką. Lyginant su įprastu dinaminiu retroreflektometru, ši technologija leidžia visus matavimus atlikti maždaug dvigubai greičiau.

2.2. Atspindimojo skaisčio degradacija

Ženklavimo atspindimasis skaitis degraduoja per tam tikrą laikotarpį netolygiai. Yra žinoma, kad ženklavimo dėvėjimuisi didžiausią įtaką turi šie veiksniai:

- ženklavimui naudojama medžiaga;
- ženklavimo padėtis kelyje (išilginis arba skersinis ženklavimas);
- ženklavimo amžius;
- vidutinis metinis paros eismo intensyvumas (VMPEI) kelyje, kuriame įrengtas ženklavimas;
- kelio geometriniai parametrai;
- asfalto viršutinis sluoksnis ir ženklavimo sukibimas su juo;
- leistinas greitis kelyje;
- druskos ir kitų abrazyvų kiekis bei panaudojimas;
- dygliuotų padangų naudojimas;
- žiemos priežiūros darbai.

Tačiau visi šie veiksniai turi skirtingą įtaką skirtingoms ženklavimui naudojamoms medžiagoms.

2.2.1. Degradacijos modeliai JAV

Kaip ir Europoje, taip ir Jungtinėse Amerikos Valstijose, didelis dėmesys yra skiriamas eismo saugumui ir horizontaliajam ženklavimui. Kelių administracijos susiduria su iššūkiu kaip išlaikyti horizontaliojo ženklavimo pagrindines savybes kuo ilgesnį laiką. JAV ženklavimui yra naudojama netgi daugiau medžiagų negu Europoje. Kiekviena medžiaga turi skirtingas ilgaamžiškumo, atspindimojo skaisčio, įrengimo ir kainos charakteristikas, kurios nuolat kinta. Dėl šios priežasties Per pastaruosius kelius dešimtmečius JAV atlikta nemažai tyrimų, kurių metu buvo siekiama nustatyti kokį poveikį ženklavimui turi skirtingi nepriklausomi kintamieji, ir kaip ženklavimas reaguoja į juos.

Pasitelkiant regresinės analizės metodus per pastaruosius dešimtmečius buvo sukurti degradacijos modeliai įvairioms ženklavimui naudojamoms medžiagoms.

A. L. Andardy (1997) buvo vienas iš pirmųjų mokslininkų sukūrusių logaritminį horizontaliojo ženklavimo atspindimojo skaisčio degradacijos modulį termoplastinėms medžiagoms:

$$T_{100} = 10^{(R_0 - 100)/b} \quad (1)$$

Čia T_{100} – laikas mėnesiais per kurį ženklavimo atspindimojo skaisčio koeficientas R_L pasieks $100 \text{ mcd/m}^2/\text{lx}$, mėn.; R_0 – naujai įrengto ženklavimo atspindimasis skaitis, $\text{mcd/m}^2/\text{lx}$; b – pusiau logaritminis grįžtamasis atspindimojo skaisčio gradientas (reikšmė moksliniame darbe iki galo neišaiškinta).

Šiame degradacijos modelyje ženklavimas laikomas pilnai susidėvėjusiu tada, kai jo atspindimojo skaisčio koeficientas R_L pasiekia $100 \text{ mcd/m}^2/\text{lx}$. Andardy atliktame moksliniame darbe panaudojant šią formulę nustatyta, kad termoplastinių medžiagų gyvavimo laikas iki jos pasieks kritinę ribą ($100 \text{ mcd/m}^2/\text{lx}$) yra nuo 7,8 iki 40,6 mėnesių. Tačiau šis modulis turėjo labai didelį trūkumą: apart naujai įrengto ženklavimo atspindimojo skaisčio vertės, jokie kiti kintamieji nebuvo nagrinėjami, taip pat nebuvo pateiktas determinacijos koeficientas (svarbiausia modelio duomenų atitikimo charakteristika, kuri privaloma visuose regresijos modelių aprašymuose).

Kitame moksliniame darbe (J. T. Lee ir kt., 1999), Mičigano universiteto mokslininkai tyrė kelias skirtingas horizontaliojo ženklavimo medžiagas ir jų eksploatacines savybes, stengdamiesi nustatyti ekonomiškai naudingiausias priemones ženklavimo procedūrų valdymui. Tyrimas buvo atliekamas naudojant statinį retroreflektometrą Mirolux 12, siekiant nustatyti per kiek laiko ženklavimas pasiekia kritinę $100 \text{ mcd/m}^2/\text{lx}$ atspindimojo skaisčio ribą. Pažymėtą, kad naudojant šį įrenginį matavimų duomenys buvo labai nepastovūs, todėl tyrimams ateityje turėtų būti naudojama geresnė įranga, norint gauti tikslesnius rezultatus. Taip pat šiame moksliniame darbe nustatyta, kad snygis bei nuolatiniai žiemos priežiūros darbai (sniego valytuvai) turėjo didelę įtaką ir koreliaciją su atspindimojo skaisčio degradacija, tuo tarpu VMPEI ir sunkusis transportas neturėjo jokios koreliacijos ir buvo eliminuoti iš galutinio modelio kaip jokios įtakos neturintys veiksniai. Išanalizavus visus duomenis buvo sukurtas linijinis regresijos modelis termoplastinėms medžiagoms:

$$R_L = 254.82 - 0.36X, (R^2 = 0.14) \quad (2)$$

Čia R_L – ženklavimo atspindimasis skaitis, $\text{mcd/m}^2/\text{lx}$; X – ženklavimo amžius, d.

Darbe apskaičiuotas labai žemas determinacijos koeficientas ($R^2 = 0.14$) ir didelis gautų rezultatų intervalas leido abejoti, kad šis modelis yra patikimas.

Vos po kelių metų JAV atliktas dar vienas tyrimas (J. Migletz ir kt., 2001), kurio tikslas – nustatyti įvairių ženklinimui naudojamų medžiagų degradaciją per tam tikrą laiką ir sudaryti regresines analizės modelius. Matavimai buvo atliekami naudojant dinaminį retroreflektometrą Laserlux. Tyrimas truko 4 metus nuo 1994 iki 1998 ir jo metu buvo matuojamos 362 išilginės ženklinimo linijos 85 vietose, 19-oje valstijų. Gauti rezultatai parodė, kad netgi tomis pačiomis medžiagomis paženklintos linijos, įvairiose JAV vietose savo atspindimojo skaisčio degradacija smarkiai skyrėsi – apskaičiuoti dideli svyravimai. To priežastis, kad ženklinimas buvo įrengtas skirtingų kategorijų keliuose, skirtinguose regionuose, kuriuose reikalavimai ženklinimui skyrėsi, buvo skirtinga kokybės kontrolė bei žiemos priežiūra. Pagrindiniai kintamieji sudarant regresines analizes buvo VMPEI ir pradinis ženklinimo atspindys. Šio tyrimo metu gauti rezultatai parodė, kad:

- Dažų dispersijos vidutinis gyvavimo laikas – 10,4 mėnesiai.
- Termoplastinių medžiagų vidutinis gyvavimo laikas – 26,2 mėnesiai.

N. Abboud ir B. L. Bowman (2002) atliktame darbe, analizuojama dažų dispersija ir termoplastinės medžiagos. Šio tyrimo metu sukurtas logaritminis degradacijos modelis su koreliacija tarp ženklinimo atspindimojo skaisčio kitimo ir transporto priemonių poveikio, išreikšto kaip laiko ir VMPEI funkcija.

Degradacijos modelis dažams:

$$R_L = 26,27 - 19,457 \cdot \ln (VMPEI \cdot t \cdot 0,0304), (R^2 = 0,31) \quad (3)$$

Degradacijos modelis termoplastinėms medžiagoms:

$$R_L = 150,55 - 70,806 \cdot \ln (VMPEI \cdot t \cdot 0,0304), (R^2 = 0,58) \quad (4)$$

Čia R_L – ženklinimo atspindimasis skaistis, mcd/m²/lx; VMPEI – vidutinis metinis paros eismo intensyvumas, aut./parą; t – ženklinimo amžius mėnesiais, mėn.

Tyrimas, atliktas mokslininkų J. M. Fitch'o ir W. E. Ahearn'o (2007), siekė nustatyti eksploatacines dažų ir termoplastinių medžiagų savybes. Trejus metus buvo renkama medžiaga 25 keliuose Vermonto valstijoje, JAV. Didžiojoje dalyje iš šių kelių ženklinimas buvo įrengtas termoplastinėmis medžiagomis. Autoriai pažymėjo, kad vidutinis metinis paros eismo intensyvumas ir regionas, kuriame įrengtas ženklinimas, turėjo didelę įtaką ženklinimo nusidėvėjimui (šiltesniuose regionuose nusidėvėjimas buvo mažesnis). Tačiau didžiausią įtaką ženklinimo atspindimojo skaisčio eksploatacinėms savybėms turėjo žiemos priežiūra ir ženklinimo amžius. Šio tyrimo rezultatams gauti buvo pasitelktas logaritminis modelis

Determinacijos koeficientai gauti tyrimo metu buvo 0,4339 dažams ir 0,8046 ir termoplastinėms medžiagoms. Visgi šiame darbe galutinis degradacijos modelis taip ir nebuvo pateiktas, kadangi funkcinė degradacijos priklausomybė tirta tik atsižvelgiant į ženklavimo amžių bei lyginant ženklavimo degradaciją atsižvelgiant į žiemos priežiūros ir VMPEI skirtumus.

W. E. Sitzabee ir kt. (2009) savo moksliniame darbe analizavo dažų ir termoplastinių medžiagų eksploatacinių savybių blogėjimą Šiaurės Karolinos valstijoje, JAV. Matavimai buvo atliekami naudojant dinaminį Laserlux retroreflektometrą. Buvo tiriamos 56 termoplastinėms medžiagoms įrengtos ženklavimo vietos bei 37 dažais paženklintos vietos. Įvertinus VMPEI, ženklavimo amžių, spalvą, naujai įrengto ženklavimo atspindimąjį skaitį bei ženklavimo padėtį kelyje kaip nepriklausomus kintamuosius, sukurti daugialypiai linijiniai regresijos modeliai dažams ir termoplastinėms medžiagoms:

Degradacijos modelis dažams:

$$R_L = 55,2 + 0,77 \cdot R_{L, initial} - 4,17 \cdot t, (R^2 = 0,75) \quad (5)$$

Degradacijos modelis termoplastinėms medžiagoms:

$$R_L = 190 + 0,39 \cdot R_{L, initial} - 2,09 \cdot t - 0,0011 \cdot VMPEI + 20,7X_1 - 20,7X_2 + 19X_3 - 19X_4, (R^2 = 0,60) \quad (6)$$

Čia R_L – ženklavimo atspindimasis skaitis, mcd/m²/lx; $R_{L, initial}$ – naujai įrengto ženklavimo atspindimasis skaitis, mcd/m²/lx; t – ženklavimo amžius mėnesiais, mėn.; $VMPEI$ – vidutinis metinis paros eismo intensyvumas, aut./parą; X_1 – 1 jei linija krašte, kitu atveju 0; X_2 – 1 jei linija ašinė, kitu atveju 0; X_3 – 1 jei linija balta, kitu atveju 0; X_4 – 1 jei linija geltona, kitu atveju 0.

Šio tyrimo metu gauti aukšti determinacijos koeficientai (0,75 ir 0,6), tačiau šie degradacijos modeliai dėl per mažo duomenų kiekio ir didelės sklaidos netenkina Šapiro – Vilko testo (liekamųjų paklaidų normalumo). Autorius darbe darė išvadą, kad pageidautinas šių modelių patvirtinimas tolimesnėse studijose, o atspindimojo skaisčio vertė per mėnesį termoplastinėms medžiagoms sumažėjo 2,09 mcd/m²/lx, dažams – 4,17 mcd/m²/lx. Visgi, galima teigti, kad sudaryti daugialypės tiesinės regresijos modeliai yra gana didelis pasiekimas, įvertinant tai, kad iki tol panašių degradacijos modelių sukurti niekam nebuvo pavykę.

Degradacijos modelis dažams, kuriame rasta tvirta ženklavimo atspindimojo skaisčio degradacijos priklausomybė nuo žiemos priežiūros darbų, sukurtas taip pat JAV, remiantis ankstesniu Sitzabee darbu bei įvertinant naujus kintamuosius, tokius kaip sniego įtaka (D. Mull ir W. E. Sitzabee, 2011). Šio tyrimo matavimams atlikti vėlgi buvo naudojamas dinaminis Laserlux retroreflektometras. Tyrimo metu gauti rezultatai parodė, kad:

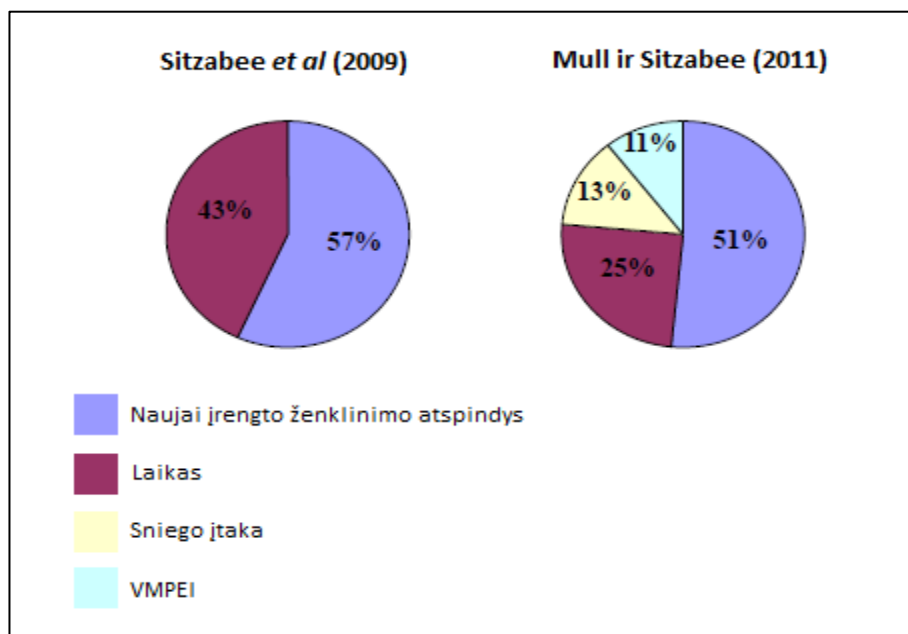
- kiekvienas sniego valytuvo pravažiavimas sumažindavo dažais įrengto ženklavimo atspindimojo skaisčio vertę per $3,22 \text{ mcd/m}^2/\text{lx}$, kas beveik prilygo ženklavimo degradacijai per vieną mėnesį ne žiemos metu – $2,55 \text{ mcd/m}^2/\text{lx}$;
- ženklavimas dažais, kurio R_L buvo $220 \text{ mcd/m}^2/\text{lx}$, neveikiamas snigio ir žiemos priežiūros, kelyje kurio intensyvumas siekia 4000 automobilių per parą, kritinę atspindimojo skaisčio ribą (priimta $100 \text{ mcd/m}^2/\text{lx}$) pasiekia per daugiau nei per 5 metus;
- vidutinis metinis paros eismo intensyvumas turėjo mažą įtaką ženklavimo nusidėvėjimui.

Taip pat šio tyrimo metu sukurtas degradacijos modelis dažams:

$$R_L = 65,5 + 0,77 \cdot R_{L, initial} - 2,55 \cdot t - 3,22 \cdot s - 0,0005 \cdot VMPEI, (R^2 = 0,75) \quad (7)$$

Čia R_L – naudoto ženklavimo atspindimasis skaistis, $\text{mcd/m}^2/\text{lx}$; $R_{L, initial}$ – naujai įrengto ženklavimo atspindimasis skaistis, $\text{mcd/m}^2/\text{lx}$; t – ženklavimo amžius, mėn.; s – pravažiavusių sniego valytuvų skaičius; $VMPEI$ – vidutinis metinis paros eismo intensyvumas, aut./parą.

Gautas aukštas determinacijos koeficientas leido daryti prielaidą, kad šis tiesinės regresinės analizės modelis yra pakankamai patikimas. Taip pat autoriai palygino šio tyrimo metu gautų rezultatų, t. y. dažais įrengto ženklavimo atspindžio degradacijos priklausomybę nuo kintamųjų ($VMPEI$, laikas, pradinis ženklavimo atspindys ir sniego valytuvų įtaka) su ankstesniu Sitzabee moksliniu tyrimu, priklausomybę išreiškdami procentine dalimi (2.4 pav.).



2.4 pav. Atspindžio degradacijos priklausomybė nuo kintamųjų (D. Mull ir W. E. Sitzabee, 2011)

2.2.2. Degradacijos modeliai Europoje

Zagrebo universiteto darbuotojų, Dario Babič, Anđelko Ščukanec, Darko Babič ir Mario Fiolič, straipsnyje „Model for predicting road marking service life“ 2019 metais publikuotame „The Baltic journal of road and bridge engineering“ aprašomas tyrimas, kurio pagrindinis tikslas buvo nustatyti horizontaliajam kelių ženklavimui naudojamų medžiagų funkcinių gyvavimo laiko modelį vertinant atspindimojo skaisčio degradaciją, atsižvelgiant į atspindžiui įtaką turinčius veiksnius. Tyrimo analizuojami 115 valstybinės reikšmės keliai, turintys vieną važiuojamąją dalį, kurie paženklinėti tirpiklių turinčiais dažais bei po 30 vienos važiuojamosios dalies valstybinės reikšmės kelių, kurie paženklinėti naudojant termoplastines medžiagas ir šaltąjį plastiką (aglomeratinis ženklavimas). Tai pirmasis didelės apimties tyrimas Europoje, kuriame buvo naudojamas dinaminis metodas, matuojant horizontaliojo ženklavimo atspindimąjį skaitį. Taip pat, tai pirmasis tyrimas, kurio metu buvo bandoma nustatyti aglomeratinio ženklavimo šaltuoju plastikumu funkcinių gyvavimo laiką.

Horizontalaus ženklavimo atspindimasis skaitis dinaminio metodu buvo matuojamas po du kartus visuose keliuose. Pirmieji matavimai atlikti laikotarpyje nuo 30 iki 60 dienų po ženklavimo atnaujinimo. Antras matavimas atliktas po vienos žiemos, atsižvelgiant į Kroatijos techninius reikalavimus. Visi matavimai atliekami dinaminio metodu, kuris, kaip aprašyta anksčiau smarkiai lenkia statinį matavimo metodą savo tikslumu. Matavimai buvo atliekami 50 m intervalu, kitaip tariant, prietaisas nuolatos matavo horizontalaus ženklavimo atspindimąjį skaitį, parodydamas vidutinę atspindžio vertę 50 m atkarpoje. Iš visų šių 50 metrų atkarpų, kaip pagrindinė reikšmė, apskaičiuotas aritmetinis vidurkis. Visi matavimai buvo atliekami nuo 2011 iki 2015 metų.

Didžiausios atspindimojo skaisčio vertės, tiek naujai įrengtam, tiek naudotam ženklavimui, buvo išmatuotos šaltuoju plastikumu aglomeratiniu būdu įrengtam ženklavimui, toliau sekė termoplastinės medžiagos, o mažiausias reikšmės turėjo dažais įrengtas ženklavimas (2.1 lentelė).

2.1 lentelė. Matavimų rezultatai Kroatijoje (D. Babič ir kt., 2019).

Atspindimasis skaistis	Minimali reikšmė	Maksimali reikšmė	Aritmetinis vidurkis	Standartinis nuokrypis
	mcd/m2/lx			
Tirpiklių turintys dažai				
Naujai įrengtas ženklavimas	153	391	261,71	41,54
Naudotas ženklavimas	41	275	151,30	48,85

2.1 lentelės pabaiga

Atspindimasis skaistis	Minimali reikšmė	Maksimali reikšmė	Aritmetinis vidurkis	Standartinis nuokrypis
	mcd/m2/lx			
Termoplastinės medžiagos				
Naujai įrengtas ženklinimas	300	384	346,13	23,68
Naudotas ženklinimas	201	298	242,53	22,09
Šaltasis plastikas (aglomeratinis ženklinimas)				
Naujai įrengtas ženklinimas	455	653	574,43	56,00
Naudotas ženklinimas	306	591	452,63	79,69

Kartu su atspindimojo skaisčio duomenimis, buvo renkami duomenys apie horizontaliojo ženklavimo atspindimajam skaisčiui įtaką turinčius veiksnus. Tai buvo ženklavimo amžius, sunkiasvorių transporto priemonių bei lengvųjų automobilių VMPEI, ženklavimo įrengimo vieta, nuolatinė žiemos priežiūra (pravažiavimų sniego valytuvų skaičius) bei leistinas greitis keliuose.

Mokslinio tyrimo metu atliktos regresinės analizės įvertinant įtaką atspindimajam skaisčiui turinčius veiksnus, taip nustatant ženklavimo medžiagų gyvavimo laiką bei kiekvieno veiksnio įtaką. Šios regresinės analizės parodė, kad 4 kintamieji turėjo didžiausią įtaką: atnaujintos medžiagos atspindimasis skaistis, horizontalaus ženklavimo amžius, ženklavimo vieta ir pravažiavusių žiemos priežiūros mechanizmų skaičius. Vidutinis metinis paros eismo intensyvumas (VMPEI), atlikus analizę, pasirodė statistiškai nereikšmingas ir buvo nevertinamas.

Kiekvienai iš horizontaliajam ženklavimui naudojamų medžiagų buvo sumodeliuota formulė, įvertinant pagrindinius įtaką turinčius veiksnus, norint prognozuoti funkcinį gyvavimo laiką.

Tirpiklių turintiems dažams sumodeliuota formulė:

$$R_L = 70,699 + 0,623R_{L,initial} - 0,139t - 21,891p - 2,145r, (R^2 = 0,56) \quad (8)$$

Termoplastinėms medžiagoms sumodeliuota formulė:

$$R_L = 225,120 + 0,346R_{L,initial} - 0,234t, (R^2 = 0,414) \quad (9)$$

Aglomeratiniam šaltajam plastikui sumodeliuota formulė:

$$R_L = 90,583 + 1,007R_{L,initial} - 0,345t - 35,642p - 2,535r, (R^2 = 0,95) \quad (10)$$

Čia R_L – naudoto ženklavimo atspindimasis skaistis, mcd/m²/lx; $R_{L,initial}$ – atnaujinto ženklavimo atspindimasis skaistis, mcd/m²/lx; t – ženklavimo amžius, dienos; p – ženklavimo vieta (1 – ašinė linija; 0 – kelio kraštą žyminti linija); r – pravažiavusių sniego valytuvų skaičius.

Taikant sumodeliuotas formules apskaičiuota, kad vidutinė atspindimojo skaisčio reikšmė naudotam ženklavimui tirpiklių turinčiais dažais buvo 170,96 mcd/m²/lx. Vidutinė absoliutinė paklaida buvo 10,40 mcd/m²/lx arba 6,18 %, todėl darbe teigiama, kad modelis ganėtinai tiksliai apskaičiuoja dažų funkcinį gyvavimo laiką. Tyrėjai apskaičiavo, kad dažų atspindimasis skaistis 100 mcd/m²/lx ribą pasiekia per 753,61 dienas, o 150 mcd/m²/lx – per 393,6 dienas. Padaryta išvada, kad tirpiklių turinčių dažų funkcinis gyvavimo laikas yra nuo 1 iki 2 metų, kas buvo nustatyta ir kituose moksliniuose bandymuose (J. E. Hummer, W. Rasdorf, G. Zhang, 2011; D. Mull, W. E. Sitzabe, 2011).

Termoplastinėms medžiagoms sumodeliuota ir išmatuota atspindimojo skaisčio vidutinė absoliutinė paklaida siekė 38,31 mcd/m²/lx arba 13,05 %. Apskaičiuota, kad ženklavimas įrengtas termoplastu 100 mcd/m²/lx atspindimąjį skaistį pasiekia per 1097,76 dienas, o 150 mcd/m²/lx reikšmę pasiekia per 884,09 dienas. Tai yra 3,01 ir 2,42 metai. Panašus laiko intervalas buvo apskaičiuotas ir senesniuose moksliniuose darbuose (J. Migletz ir kt., 2001; *Texas Department of Transportation*, 2004).

Šaltojo plastiko aglomeratui apskaičiuota vidutinė absoliutinė paklaida siekė 64,31 mcd/m²/lx arba 11,72 %. Šaltojo plastiko aglomeratas 100 mcd/m²/lx atspindimąjį skaistį pasiekia per 1581,14 dienų, o 150 mcd/m²/lx reikšmę pasiekia per 1436,21 dienas. Tai taip pat atitiko iki tol turėtas praktines žinias apie šaltojo plastiko funkcinį gyvavimo laiką.

Taigi didžiausią įtaką ženklavimo atspindimojo skaisčio degradacijai visuose nagrinėtuose darbuose turėjo pradinis, naujai įrengto ženklavimo atspindimasis skaistis – kuo didesnė koeficiento reikšmė naujai įrengtam ženklavimui, tuo didesnę vertę galima tikėtis išmatuoti naudotam ženklavimui. Kitas svarbus veiksnys, lemiantis ženklavimo nusidėvėjimą ir taip pat nagrinėtas visuose moksliniuose darbuose yra laikas. Nors yra žinoma, kad žiemos priežiūra turi įtaką ženklavimo nusidėvėjimui, tvirta priklausomybė tarp pravažiavusių sniego valytuvų skaičiaus ir atspindžio degradacijos buvo nustatyta tik ženklavimui įrengtam dažais. VMPEI daugumoje darbų yra įvertinamas kaip statistiškai nereikšmingas arba labai mažą įtaką išilginiam ženklavimui turintis veiksnys.

Dygliuotų padangų naudojimas taip pat turi didelę įtaką ženklavimo nusidėvėjimui: jie nugramdo dažų arba termoplasto sluoksnį, užteršia ženklavinį bitumo nuo asfalto dangos dalelėmis, taip sumažindami ženklavimo atspindimąjį skaistį. Tyrimai parodė, kad naudojant dygliuotas padangas ženklavimas dažais susidėvi per 6 mėnesius, naudojant nedygliuotas padangas – per

12 mėnesių. Ženklinimui įrengtam termoplastinėmis medžiagomis dygliuotų padangų poveikis yra mažesnis: funkcinis gyvavimo laikas išlieka panašus – 4 metai (A. Laurinavičius ir kt., 2009).

2.3. Išvados

1. Dinaminis atspindimojo skaisčio matavimo metodas yra objektyvesnis. Jis suteikia išsamesnį ženklinimo atspindimojo skaisčio kokybės vertinimą, lyginant su statiniu retroreflektometru gautais rezultatais.
2. Naujai įrengto ženklinimo atspindimasis skaitis ir ženklinimui naudojama medžiaga turi didžiausią įtaką vertinant atspindimojo skaisčio nusidėvėjimą. Kitas svarbus veiksnys yra laikas.
3. Ženklinimo, įrengto tirpiklių turinčiais dažais, atspindimojo skaisčio degradacijai didelę įtaką turi žiemos priežiūra. Ženklinimui termoplastu žiemos priežiūros įtaka yra ženkliai mažesnė.
4. VMPEI daugumoje mokslinių darbų yra įvertinamas kaip statistiškai nereikšmingas arba labai mažą įtaką išilginio ženklinimo atspindimajam skaisčiui turintis veiksnys.
5. Dygliuotų padangų naudojimas didesnę įtaką turi ženklinimui įrengtam dažais, nei ženklinimui įrengtam polimerinėmis medžiagomis.
6. Nagrinėti moksliniai tyrimai pateikia labai įvairius ženklinimui naudojamų medžiagų susidėvėjimo laiko tarpus. Ženklinimas dažais minimalią atspindimojo skaisčio reikšmę daugumoje darbų pasiekia per 1–2 metus; ženklinimas termoplastu – per 2–3 metus; ženklinimas šaltuoju plastikumu, aglomeratiniu būdu – per 5 metus.

3. HORIZONTALIOJO ŽENKLINIMO ATSPINDIMOJO SKAISČIO EKSPERIMENTINIS TYRIMAS

3.1. Tyrimo objektas ir metodika

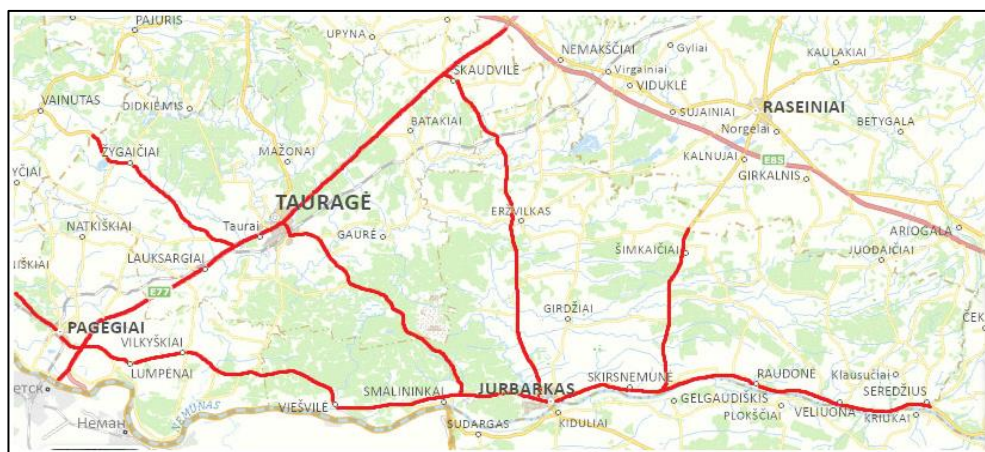
Pagal dabartinę VĮ Lietuvos automobili kelių direkcijos paskelbtą valstybinės reikšmės kelių horizontaliojo ženklavimo darbų techninę specifikaciją yra atliekami kelių esamo ženklavimo būklės nustatymo matavimai. Matavimų metu turi būti nustatomos matavimo naktį koeficiento R_L kai ženklavimo paviršius sausas reikšmės.

Matavimų apimtis, esant išilginiam ženklavimui linijomis, nustatoma pagal kelio ilgį:

- Magistraliniams keliams ne mažiau, kaip po vieną matavimą kas 1 km;
- Krašto keliams ne mažiau, kaip po vieną matavimą kas 2 km;
- Rajoniniams keliams ne mažiau, kaip po vieną matavimą kas 5 km.

Vienas matavimas reiškia, kad viename matavimo ruože atlikti 5 matavimai. Naudojant statinį retroreflektometrą „Zehntner ZRM 6006“, skirtingomis 2020 metų vasaros dienomis, išmatuotos nagrinėjamų kelių ašinių (dažnai užvažiuojamas ženklavimas) ir kelio kraštus žyminčių linijų (retai užvažiuojamas ženklavimas) atspindimojo skaisčio koeficiento R_L reikšmės (3.1 lentelė). Matavimų ruožų vietos buvo pasirinktos maždaug prie informacinio kelio ženklo Nr. 620 „Kilometrų ženklas“ ir vietose, kuriose keitėsi ženklavimui naudojama medžiaga. Toliau matavimai buvo atliekami pagal IT ŽM 12 taisyklių 6 priedą: viename matavimo ruože atlikti 5 matavimai, vienas nuo kito nutolę maždaug per 25 metrus (vieną matavimo ruožą sudarė 100 metrų išilginės linijos). Iš 5 matavimų, kaip pagrindinė reikšmė, išvestas aritmetinis vidurkis. Ašinėms linijoms, kurias sudarė brūkšniai, 5 matavimai atlikti viduryje ant kiekvieno kas antro brūkšnio, taip pat išvedant aritmetinį vidurkį. Pagal išmatuotus atspindimojo skaisčio rezultatus, siekta įvertinti bendrą ašinių ir kelio kraštus žyminčių linijų būklę, lyginant ją su minimaliais Lietuvoje taikomais reikalavimais naudotam ženklavimui.

Iš VĮ LAKD gavus matavimų duomenis, eksperimentiniam tyrimui atlikti, pasirinkta nagrinėti Tauragės ir Jurbarko rajonų savivaldybėse esančių valstybinės reikšmės magistralinių ir krašto kelių (3.1 pav.) horizontaliojo ženklavimo atspindimąjį skaisčių, nes šiuose rajonuose išmatuoti rezultatai buvo patikimiausi. Rajoniniai keliai nebuvo nagrinėjami dėl per mažo duomenų kiekio.



3.1 pav. Tyrime nagrinėjami valstybinės reikšmės keliai

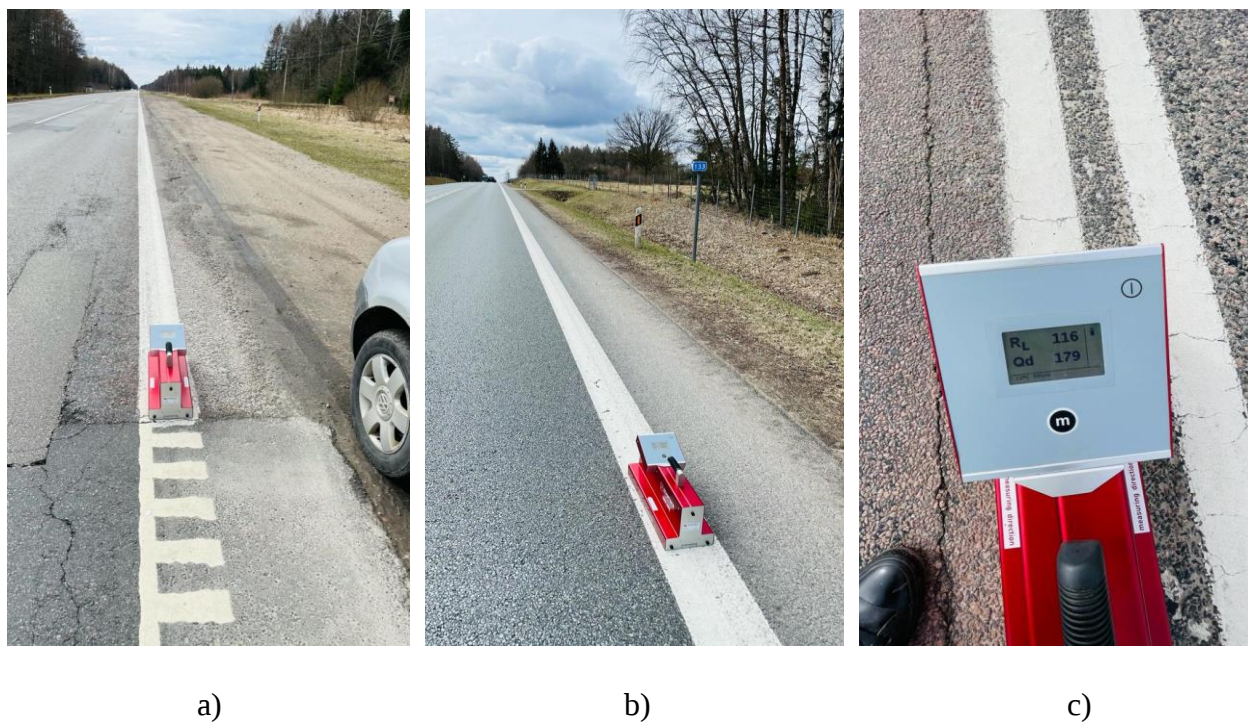
Pagrindinis dėmesys buvo skiriamas magistralinio kelio A12 Ryga*–Šiauliai–Tauragė–Kaliningradas* ruožui nuo 120,053 iki 185,969 km. Tai tiesus, be didesnių išilginių ar horizontalių kreivių magistralinis kelias, todėl ašinę kelio liniją daugiausia sudarė siaura brūkšninė linija 1.5. Kelio juostų kraštai pažymėti plačia ištisine linija 1.2. Vidutinis metinis paros eismo intensyvumas 2019 metų duomenimis šiame kelio ruože svyravo nuo 1086 iki 5146 automobilių per parą, išskyrus Tauragės miesto ribas, kur eismo intensyvumas 14798 aut./p. Šiame kelyje atspindimojo skaisčio koeficientas ašinei ir kraštus žyminčioms linijoms išmatuotas atliekant po 1 matavimą, kas 1 kilometrą (5 matavimų viename ruože vidurkis). Vietomis atlikti keli matavimai tame pačiame kilometre, daugiausia ten, kur keitėsi ženklavimui naudojama medžiaga. Matavimai šiame kelyje buvo atliekami 2020 metų liepos 20 dieną ir 2021 metų balandžio 9 dieną (3.2 pav.).

3.1 lentelė. 2020 metais atliktų matavimų skaičius.

Kelio Numeris	Kelio pavadinimas	Kelio ruožas (ilgis)	Matavimų data	Atliktų matavimų (ruožų) skaičius	
				Ašinė linija	Kelio kraštus žyminčios linijos
A12	Ryga*–Šiauliai–Tauragė–Kaliningradas*	120,053-185,969 km (65,916 km)	2020-07-20 2021-04-09	87	126
141	Kaunas–Jurbarkas–Šilutė–Klaipėda	42,4-160,209 km (117,809 km)	2020-07-21 ir 2020-07-27	87	103
146	Raseiniai–Šilinė	15,444-34,92 km (19,476 km)	2020-07-22	12	18
147	Tauragė–Pašventys	0-31,458 km (31,458 km)	2020-07-21	23	44
198	Jurbarkas–Skaudvilė–Tauragė	0-41,041 km (41,041 km)	2020-07-28	28	40
199	Tauragė–Žygaičiai–Vainutas	0-23,166 km (23,166 km)	2020-07-21	16	30
Iš viso matuotų kelių ruožų ilgis:		298,866 km	Iš viso atlikta matavimų:	613	

Matavimai Tauragės ir Jurbarko rajonų krašto keliuose buvo atliekami tokiu pačiu principu kaip ir kelyje A12, tik kas 2 km. Iš nagrinėtų krašto kelių galima išskirti kelią Nr. 141 Kaunas–Jurbarkas–Šilutė–Klaipėda, kurio nagrinėtame kelio ruože eismo intensyvumas panašus kaip ir kelyje A12: 2019 metų duomenimis jis svyravo nuo 1042 iki 4151 aut./parą.

Atliekant matavimus, vizualiai nustatyta kokia medžiaga buvo naudojama horizontaliojo ženklavimo įrengimui. Tačiau susidurta su problema atskiriant purškiamu šaltuoju plastikumi ir dažais atnaujintą ženklimą, kadangi vizualiai jie yra labai panašūs (ženklavimo plėvelės storis panašus). Dėl šios priežasties matavimų metu nustatyta ženklavimo medžiaga buvo patikslinta naudojantis LAKD duomenų bazėje esančiais, ženklavimo darbus atlikusių rangovų pateiktais, duomenimis, atvaizduotais ArcGIS programinės įrangos aplinkoje. Daugumoje vietų, kur ženklinimas vizualiai priskirtas kaip atliktas dažais, pagal ArcGIS duomenis buvo įrengtas naudojant purškiamą šaltąjį plastiką. Taip pat šioje duomenų bazėje esantys ženklavimo garantinio termino duomenys leido nustatyti ženklavimo įrengimo datą.



3.2 pav. Horizontaliojo ženklavimo matavimai kelyje A12 (2021-04-09): a) matavimas vietoje, kur keičiasi ženklavimui naudojama medžiaga; b) kraštus žyminčios linijos matavimas ties kelio ženklu Nr. 620; c) ašinės linijos matavimas.

Iš VĮ LAKD buvo gauti naujai įrengto ženklavimo atspindimojo skaisčio koeficientų matavimų duomenys. Tai leido palyginti naujai įrengtam ir naudotam ženklavimui išmatuotas atspindimojo skaisčio reikšmes, apskaičiuojant kaip kito skirtingų ženklavimui naudojamų medžiagų atspindimasis skaitis, per laikotarpį nuo naujai įrengto ženklavimo matavimų, iki naudotam ženklavimui atliktų

matavimų. Naudojant 2019 ir 2020 metų eismo intensyvumo duomenis ir iš AB „Kelių priežiūra“ gautus 2019-2020 ir 2020-2021 metų žiemomis pravažiavusių sniego valytuvų skaičius, kelių A12 ir Nr. 141 nagrinėtuose ruožuose (3.2 ir 3.3 lentelės), naudojant iki šiol žinomus ženklavimo atspindimo skaisčio degradacijos modelius, apskaičiuotos atspindimo skaisčio reikšmės. Apskaičiuotos reikšmės darbe lygintos su išmatuotomis. Tokiu būdu buvo siekta patvirtinti arba paneigti galimą šių modelių naudojimą Lietuvoje, norint apskaičiuoti ženklavimo atspindimo skaisčio koeficientą R_L bet kuriuo metu.

3.2 lentelė. VMPEI ir pravažiavusių sniego valytuvų sk. duomenys kelio Nr. A12 nagrinėjamame ruože.

Kelio Nr.	Ruožas, km		VMPEI		Pravažiavusių sniego valytuvų sk.	
	nuo	iki	2019 m.	2020 m.	2019-2020 m.	2020-2021 m.
A12	120.210	129.560	2926	2436	41	121
	129.560	152.090	4223	3765		
	152.090	155.886	14798	14876		
	155.886	160.286	5146	5090		
	160.286	181.510	2114	1747		
	181.510	185.969	1086	688		

3.3 lentelė. VMPEI ir pravažiavusių sniego valytuvų sk. duomenys kelio Nr. 141 nagrinėjamame ruože.

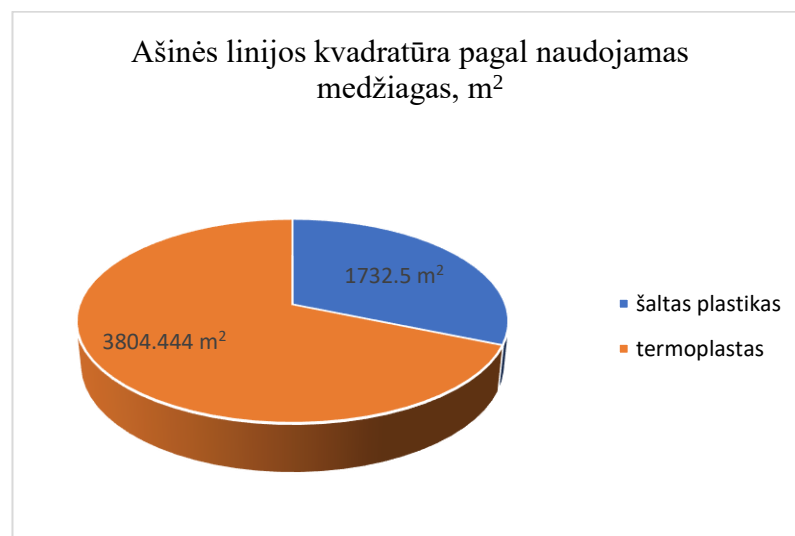
Kelio Nr.	Ruožas, km		VMPEI	Pravažiavusių sniego valytuvų sk.
	nuo	iki	2019 m.	2019-2020 m.
141	42.400	73.222	2138	23
	73.222	86.118	4151	
	86.118	96.123	3198	
	96.123	121.650	1042	
	121.650	142.191	1042	36
	142.473	160.209	2008	

3.2. Ženklavimui naudojamų medžiagų pasiskirstymas

ArcGIS aplinkoje yra pateikti duomenys apie 2018 ir 2019 metais atnaujinto ženklavimo kiekį ir kelio ruožus, kuriuose buvo atlikti ženklavimo darbai, o ne detali informacija apie valstybinės reikšmės keliuose esantį horizontalųjį ženklavimą, todėl tikslios esamos ženklavimo kvadratinės nustatyti nepavyko, ir ji apskaičiuota preliminariai, priimant kad:

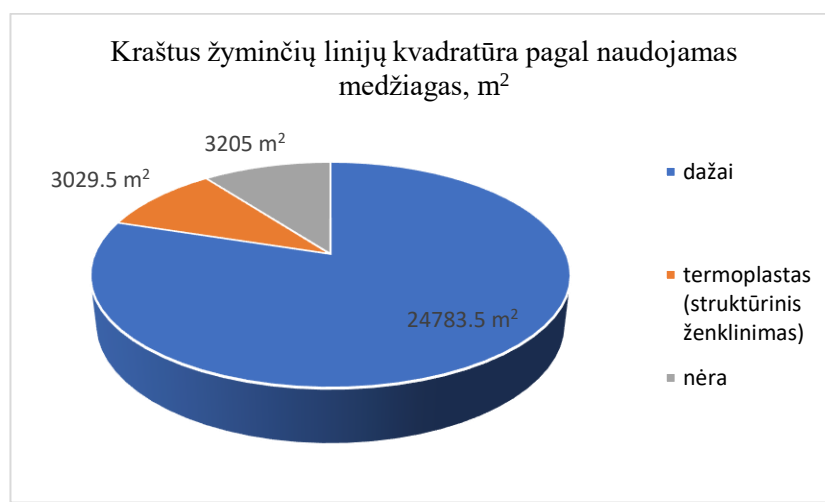
- Magistraliniame kelyje A12 kelio kraštai buvo pažymėti linija 1.2, kurios plotis yra 0,25 m, 1 kilometre tai sudaro 250 m². Nors kelyje vietomis įrengtos ir kito pločio kraštus žyminčios linijos, jų kiekis labai nedidelis ir jos neįtrauktos į kvadratūros skaičiavimą.
- Magistraliniame kelyje A12 ašis daugiausia pažymėta linija 1.5, tačiau taip pat nemažai buvo linijų 1.1, 1.6 ir 1.7. Visų šių linijų plotis yra 0,12 m. Priimta, kad 1 kilometre ašinę liniją sudaro 70 % ištisinės linijos 1.1, t. y. 84 m².
- Krašto keliuose ašis daugiausia pažymėta linija 1.5, tačiau taip pat nemažai buvo linijų 1.1, 1.6 ir 1.7. Visų šių linijų plotis yra 0,12 m. Priimta, kad dviejuose kilometruose kelio kraštą žyminti linija sudaro 70 % ištisinės linijos, t. y. 168 m².
- Krašto keliuose kraštai daugiausia pažymėti linija 1.5, tačiau taip pat nemažai buvo linijų 1.1. Abiejų linijų plotis yra 0,12 m. Priimta, kad dviejuose kilometruose kelio kraštą žyminti linija sudaro 70 % ištisinės linijos 1.1, t. y. 168 m².

Remiantis vizualiniu horizontaliojo ženklinimo įvertinimu atliktu 2020-07-20 ir LAKD duomenų bazėje esančiais duomenimis, apskaičiuota, kad kelio A12 Ryga*–Šiauliai–Tauragė–Kaliningradas* ruože nuo 120,053 iki 185,969 km ašinę liniją sudaro 5536,94 m². 1732,5 m² (31,29 %) įrengta naudojant purškiamą šaltąjį plastiką, 3804,44 m² (68,71 %) įrengta naudojant termoplastines medžiagas (3.3 pav.). Šių medžiagų panaudojimas atitiko IT ŽM 12 magistraliniams keliams keliamus reikalavimus.



3.3 pav. Ašinės linijos žymėjimui naudojamos medžiagos (A12 Ryga*–Šiauliai–Tauragė–Kaliningradas*, ruožas nuo 120,053 iki 185,969 km)

Kelio kraštus žyminčios linijos kvadratūra, nagrinėjamame kelio A12 ruože, buvo 31018 m² (3.4 pav.). 24783,5 m² įrengta naudojant dažus ir tai sudarė 79,90 % visų kraštus žyminčių linijų. 3029,5 m² (9,77 %) įrengta struktūriniu ženkliniu, naudojant termoplastines medžiagas. Skaičiuojant kraštus žyminčios linijos kvadratūrą įvertinta, kad Tauragės miesto ribose, ruože nuo 153,7 iki 157,58 km kraštus žyminčių linijų nebuvo. Ruožuose nuo 121 iki 122,174 km, nuo 121,614 iki 127,2 km ir nuo 127,3 iki 127,95 km kraštus žyminčių linijų 1.2 nebuvo, nors pagal IT ŽM 12 reikalavimus jos turėjo būti įrengtos. Tai sudarė 3205 m² (10,33 %).



3.4 pav. Kelio kraštus žyminčių linijų žymėjimui naudojamos medžiagos (A12 Ryga*–Šiauliai–Tauragė–Kaliningradas*, ruožas nuo 120,053 iki 185,969 km)

Vertinant nagrinėjamuose krašto keliuose išilginiam ženklavimui panaudotas medžiagas, gauti labai skirtingi rezultatai, tiek lyginant juos su rezultatais gautais magistraliniame kelyje A12, tiek lyginant šiuos kelius tarpusavyje. Medžiagų pasiskirstymas keliuose itin didelis. Ašinę liniją krašto keliuose daugiausia sudarė ženklavimas įrengtas dažais – 10085,12 m² (50 % visų ašinių linijų). Naudojant termoplastines medžiagas įrengta 5546,35 m² (27,5 %), purškiamu šaltuoju plastikumu įrengta 4537,76 m² (22,5 %). Tai reiškia, kad 50 % ašinių linijų nagrinėjamuose krašto keliuose neatinka IT ŽM 12 reikalavimų. Keliuose Nr. 146 Raseiniai–Šilutė ir Nr. 198 Jurbarkas–Skaudvilė–Tauragė ašinės linijos įrengtos naudojant tik polimerines medžiagas. Labai išsiskyrė ilgiausias iš nagrinėjamų, kelio Nr. 141 Kaunas–Jurbarkas–Šilutė–Klaipėda, ruožas. Jame daugiau kaip 70 % ašinės linijos įrengta naudojant dažus. Daugiau kaip 50 % ašinių linijų dažais paženklinta ir nagrinėjamuose keliuose Nr. 147 ir Nr. 199 ruožuose (3.4 lentelė).

3.4 lentelė. Ašinės linijos ženklavimui panaudotos medžiagos nagrinėjamuose krašto keliuose.

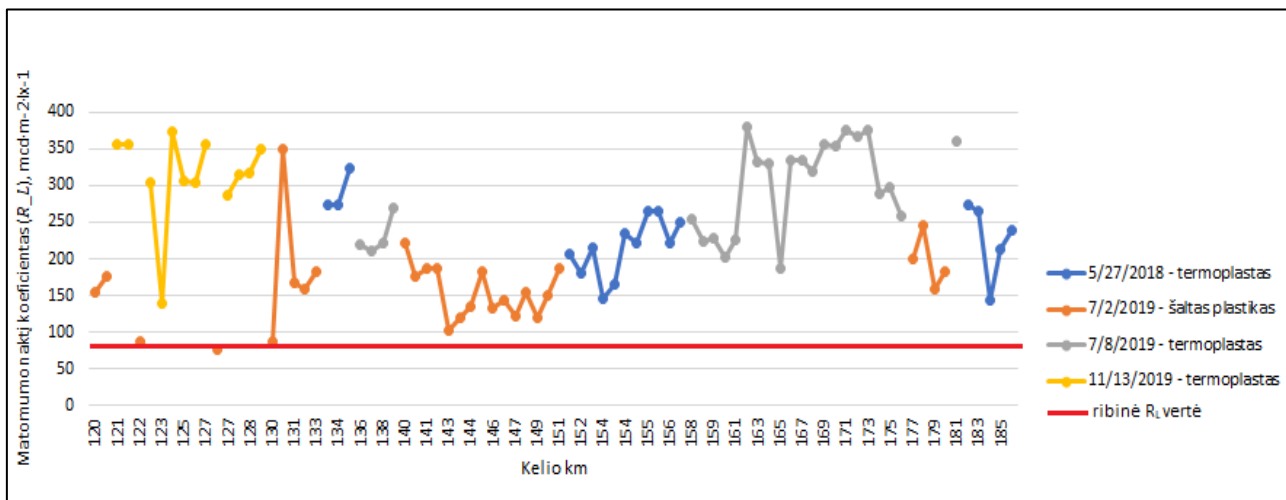
Kelio Nr.	Kelio pavadinimas	Ruožas		Ašinės linijos įrengimui panaudota medžiaga, m2 ir %			Viso:
		Nuo km	Iki km	Dažai	Termoplastas	šaltas plastikas	
141	Kaunas–Jurbarkas–Šilutė–Klaipėda	42.4	160.209	7320.564 m ²	2310.588 m ²	610.26 m ²	10241.412 m ²
				71.48%	22.56%	5.96%	
146	Raseiniai–Šilinė	15.444	34.92	0 m ²	1635.984 m ²	0 m ²	1635.984 m ²
				0.00%	100.00%	0.00%	
147	Tauragė–Pašventys	0	31.458	1647.354 m ²	1255.296 m ²	0 m ²	2902.65 m ²
				56.75%	43.25%	0.00%	
198	Jurbarkas– Skaudvilė–Tauragė	0	41.041	0 m ²	344.484 m ²	3102.96 m ²	3447.444 m ²
				0.00%	9.99%	90.01%	
199	Tauragė– Žygaičiai–Vainutas	0	23.166	1117.2 m ²	0 m ²	824.544 m ²	1941.744 m ²
				57.54%	0.00%	42.46%	
Bendra:				10085.12 m ²	5546.352 m ²	4537.764 m ²	20169.234 m ²
				50.00%	27.50%	22.50%	

Kraštus žyminčias linijas, nagrinėjamuose krašto keliuose, atsižvelgiant į IT ŽM 12 reikalavimus, sudarė vien tik ženklavimas dažais, išskyrus kelias vietas kelyje Nr. 141, kurios paženklintos termoplastu. Krašto keliuose Nr. 141, Nr. 146 ir Nr. 198 nuo 20 iki 30 % kelių ruožų išvis neturėjo kraštus žyminčių linijų, dėl per siauros kelio dangos.

3.3. Atspindimojo skaisčio matavimų rezultatai

Atliekant matavimus pastebėta, kad vietose, kur ženklavimas atrodė vizualiai nusidėvėjęs, buvo išmatuotos mažesnės atspindimojo skaisčio koeficiento reikšmės, lyginant su ne taip stipriai nusidėvėjusiu ženklavimu. Naudojant statinį retroreflektometrą išmatuoti atspindimojo skaisčio koeficiento rezultatai labai svyravo. Prietaisas, patrauktas vos 10 centimetrų į vieną ar kitą pusę, rodydavo labai skirtingus rezultatus, kurie skirdavosi per 20–50 mcd/m²/lx. Taip pat pastebėta, kad atspindimojo skaisčio vertė labai priklausė nuo to, kada ir kokia medžiaga buvo atnaujintas ženklavimas, todėl ši informacija išskirta visose linijinėse diagramose. Svarbu pažymėti tai, kad visas toliau minimas ženklavimas šaltuoju plastikumi buvo atnaujintas naudojant plonasluoksnio purškiamo plastiko technologiją, kurios negalima lyginti su ženklavimu įrengtu lietu (storasluoksniu) šaltuoju plastikumi.

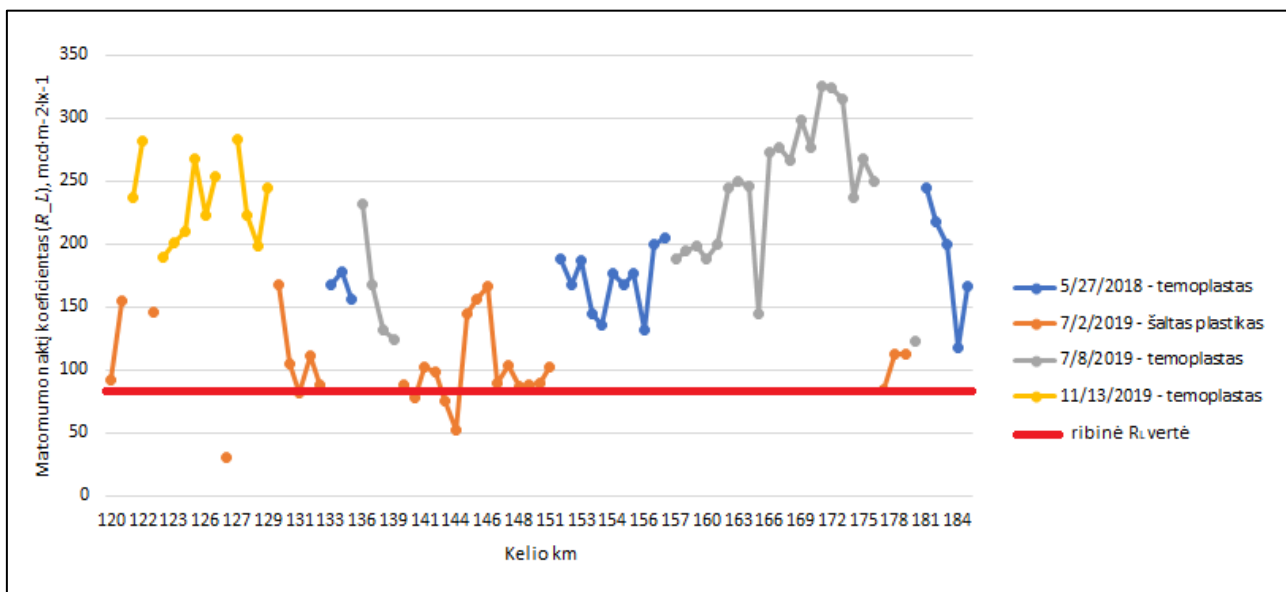
Magistralinio kelio A12 Ryga*–Šiauliai–Tauragė–Kaliningradas* ruože nuo 120,053 iki 185,969 km, 2020 metų liepos 20 dieną, išmatuotos atspindimojo skaisčio koeficiento R_L vertės buvo kur kas didesnės, nei minimalūs reikalavimai naudotam ženklinimui. Vertinant 87 atliktus matavimus bendrai, ašinės linijos koeficiento R_L vidurkis buvo 237,31 mcd/m²/lx – daugiau negu IT ŽM 12 reikalavimas naujai įrengtam ženklinimui (200 mcd/m²/lx). Visgi matavimo reikšmių aibės plotis buvo labai didelis. Mažiausia išmatuota ašinės linijos koeficiento R_L reikšmė – 76 mcd/m²/lx, aukščiausiaji reikšmė – 379 mcd/m²/lx, tai sudarė 303 mcd/m²/lx intervalą. Vos viena, t. y. mažiausia išmatuota reikšmė (76 mcd/m²/lx) netenkinio minimalaus reikalavimo naudotam ženklinimui (80 mcd/m²/lx). Žinant tai, kad didžioji dalis ašinės linijos atnaujinta plonasluoksniu purškiamuoju plastikumi, kurio garantinis terminas jau buvo pasibaigęs, tikėtasi išmatuoti žemesnes atspindžio vertes. 2018 m. gegužės 27 dieną termoplastu įrengta ašinė linija, kurios garantinis terminas taip pat buvo pasibaigęs, buvo išlaikiusi gana aukštas koeficiento R_L vertes. Lyginant šiomis dvejomis medžiagomis įrengtą ženklinimą, pastebėta, kad maždaug 2 metų senumo termoplastas turėjo panašias atspindimojo skaisčio vertes kaip ir metų senumo šaltasis plastikas. 2020-07-08 kelio A12 ašinės linijos atspindimojo skaisčio koeficiento R_L matavimų rezultatai pavaizduoti 3.5 paveiksle.



3.5 pav. Atspindimojo skaisčio koeficiento R_L reikšmės kelio A12 (120,053–185,969 km) ašinėje linijoje (2020-07-08 matavimai)

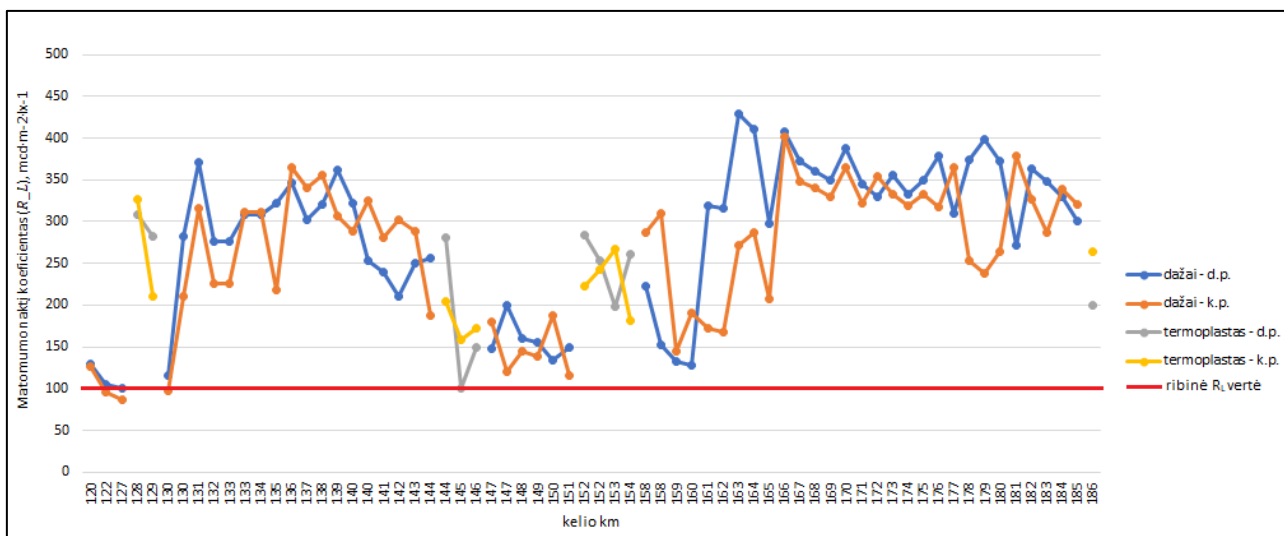
2021 metų balandžio 9 dieną atlikti matavimai parodė, kad ašinės linijos koeficiento R_L vidurkis buvo 176,65 mcd/m²/lx. Bendras atspindimojo skaisčio pokytis, lyginant su 2020 metų matavimais, buvo 60,66 mcd/m²/lx. 4 (4,71 %) iš 85 atliktų matavimų netenkinio minimalaus reikalavimo naudotam dažnai užvažiuojamam ženklinimui. 10 išmatuotų reikšmių buvo ties riba, kurią dar galima laikyti tenkinančia reikalavimus. Visos mažiausios reikšmės išmatuotos ženklinimui įrengtam purškiamu šaltuoju plastikumi. Ženklinimo, įrengto termoplastu, atspindžio pokytis nebuvo toks

ryškus – visos išmatuotos reikšmės tenkino minimalius reikalavimus. 2020-04-09 kelio A12 ašinės linijos atspindimojo skaisčio koeficiento R_L matavimų rezultatai pavaizduoti 3.6 paveiksle.



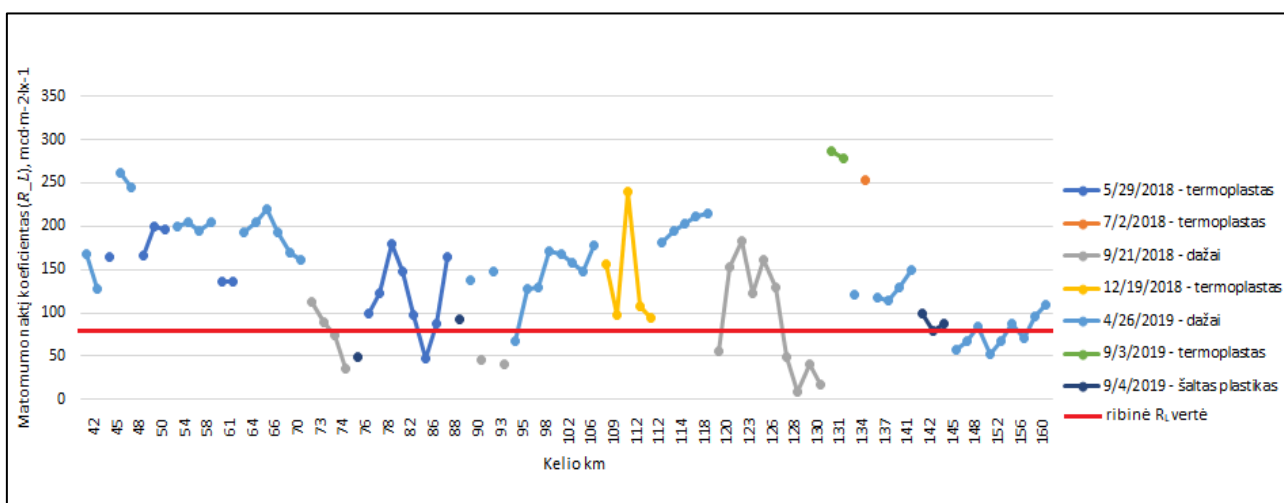
3.6 pav. Atspindimojo skaisčio koeficiento R_L reikšmės kelio A12 (120,053–185,969 km) ašinėje linijoje (2021-04-09 matavimai)

Aukštos atspindimojo skaisčio koeficiento R_L vertės, 2020 metų liepos 20 dieną, išmatuotos ir kelio A12 kraštus žyminčiose linijose. Kelio ruože nuo 145 iki 160 km, t. y. aplink Tauragės miestą, kur eismo intensyvumas šiame kelyje yra didžiausias, išmatuotos mažiausios atspindimojo skaisčio reikšmės. Vertinant bendrai, R_L vidurkis siekė 230,94 mcd/m²/lx. Nors beveik 80 % kraštus žyminčių linijų buvo įrengta 2019 metų birželio 18 dieną naudojant dažus, kurie tiek pagal savo garantinį terminą, tiek pagal nagrinėtą literatūrą, savo atspindį turėtų prarasti greičiausiai, išmatuotos koeficiento vertės buvo itin aukštos. Aukščiausia išmatuota vertė siekė 429 mcd/m²/lx – daugiau negu du kartus didesnė reikšmė, nei reikalaujama naujai įrengtam ženklinimui. Iš 146 matavimų, tik 3 (2,21 %) netenkino reikalavimų naudotam retai užvažiuojamam ženklinimui (100 mcd/m²/lx). Visi 3 matavimai atlikti ženklinimui įrengtam dažais 2017 metų lapkričio 30 dieną, kurio garantinis terminas buvo pasibaigęs prieš daugiau kaip pusantros metų. Kelio A12 kraštus žyminčių linijų atspindimojo skaisčio koeficiento R_L matavimų rezultatai pavaizduoti 3.7 paveiksle. Kadangi skirtingu metu įrengto ženklinimo kiekis buvo labai didelis, įrengimo datos paveiksle nėra pateikiamos.



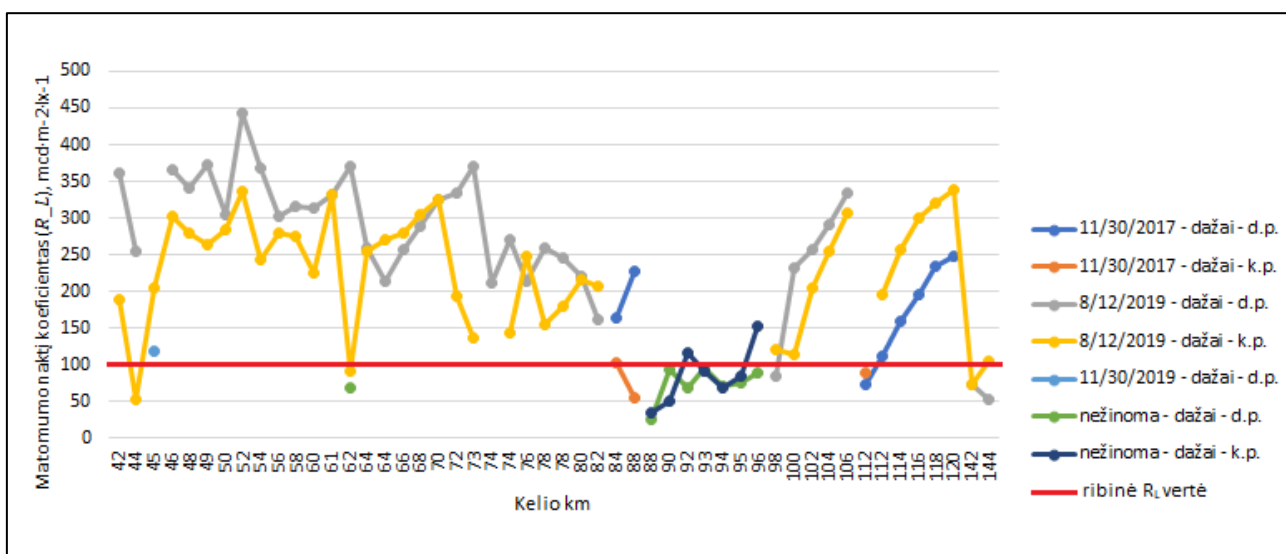
3.7 pav. Atspindimojo skaisčio koeficiento R_L reikšmės kelio A12 (120,053–185,969 km) kraštus žyminčiose linijose

Nagrinėtame krašto kelio Nr. 141 Kaunas–Jurbarkas–Šilutė–Klaipėda ruože matavimų rezultatai buvo kiek kitokie nei kelyje A12. Ašinės linijos atspindimojo koeficiento R_L vidurkis buvo 135,40 mcd/m²/lx. Iš 87 matavimų – 18 netenkinio reikalavimo dažnai arba nuolat užvažiuojamam ženkliniui. Tai sudarė 20,69 % visų matavimų. Labiausiai išsiskyrė ženklinis dažais, kuris sudarė daugiau kaip 70 % ašinės linijos. 16 iš 18 reikalavimų netenkinusių matavimų buvo atlikti dažais paženklintose ašinės linijos vietose. Gana mažos reikšmės išmatuotos ir vietose, kurios paženklintos naudojant polimerines medžiagas – purškiamą šaltąjį plastiką. Tačiau šia medžiaga paženklintos linijos matavimų skaičius buvo per mažas, norint lyginti su ženkliniu dažais. Kelio Nr. 141 ašinės linijos atspindimojo skaisčio koeficiento R_L matavimų rezultatai pavaizduoti 3.8 paveiksle.



3.8 pav. Atspindimojo skaisčio koeficiento R_L reikšmės kelio Nr. 141 (42,4–160,209 km) ašinėje linijoje

Kelio kraštus žyminčios linijos nagrinėtame kelio Nr. 141 Kaunas–Jurbarkas–Šilutė–Klaipėda ruože taip pat turėjo aukštas koeficiento R_L vertes (3.9 pav.). Apskaičiuotas bendras matavimų vidurkis buvo lygus $210,56 \text{ mcd/m}^2/\text{lx}$. 23 iš 103 matavimų parodė, kad kelio kraštus žyminti linija netenkina IT ŽM 12 reikalavimų. Tai sudarė 22,33 % visų matavimų. Labiausiai išsiskyrė ženklavimas atliktas dažais, kurio įrengimo datos nustatyti nepavyko. Didžioji dalis kelio kraštus žyminčių linijų atnaujintos 2019 metų rugpjūčio 12 dieną – 73 matavimai buvo atlikti šioms linijoms. Tačiau, net ir tą pačią dieną įrengtų linijų skaisčio matavimų rezultatų aibės plotis buvo ypač didelis – nuo mažiausios ($52 \text{ mcd/m}^2/\text{lx}$) iki aukščiausios vertės ($447 \text{ mcd/m}^2/\text{lx}$), apskaičiuotas 395 $\text{mcd/m}^2/\text{lx}$ skirtumas.



3.9 pav. Atspindimojo skaisčio koeficiento R_L reikšmės kelio Nr. 141 (42,4–160,209 km) kelio kraštus žyminčiose linijose

Kituose nagrinėtų krašto kelių ašinėse linijose taip pat išmatuotos gana aukštos atspindimojo skaisčio vertės. Labiausiai išsiskyrė kelio Nr. 198 Jurbarkas–Skaudvilė–Tauragė ašinė linija, įrengta 2020 metų rugpjūčio 12 purškiamu šaltuoju plastik, kuri dar turėjo galiojantį garantinį terminą – iš 28 atliktų matavimų, 6 netenkino reikalavimų. Nors purškiamas šaltasis plastikas turėtų pasižymėti geresnėmis atspindimojo skaisčio savybėmis, atlikti matavimai prieštaravo šiai prielaidai. 2020 metais atliktų matavimų rezultatų apibendrinimas pateikiamas 3.5 lentelėje.

3.5 lentelė. 2020 metais ašinėse linijose atliktų atspindimojo skaisčio matavimų rezultatai.

Nr.	Kelio pavadinimas	Ruožo pradžia, km	Ruožo pabaiga, km	Matavimų skaičius	Aritmetinis vidurkis [mcd/lx/m ²]	Mažiausia reikšmė [mcd/lx/m ²]	Didžiausia reikšmė [mcd/lx/m ²]	Aibės plotis	Mediana	Moda	Reikalavimų netenkinę matavimai, sk.	Reikalavimų netenkinę matavimai, %
A12	Ryga*–Šiauliai–Tauragė–Kalinigradas*	120.05	185.97	87	237	76	379	303	225	355	1	1.15%
141	Kaunas–Jurbarkas–Šilutė–Klaipėda	42.40	160.21	87	135	9	287	278	130	205	18	20.69%
146	Raseiniai–Šilinė	15.44	34.92	12	174	49	283	234	166	98	2	16.67%
147	Tauragė–Pašventys	0.00	31.46	23	235	79	441	362	247	274	1	4.35%
198	Jurbarkas–Skaudvilė–Tauragė	0.00	41.04	28	141	30	329	299	123	122	6	21.43%
199	Tauragė–Žygičiai–Vainutas	0.00	23.17	16	138	101	182	81	141	122	0	0.00%

3.4. Atspindimojo skaisčio degradacija

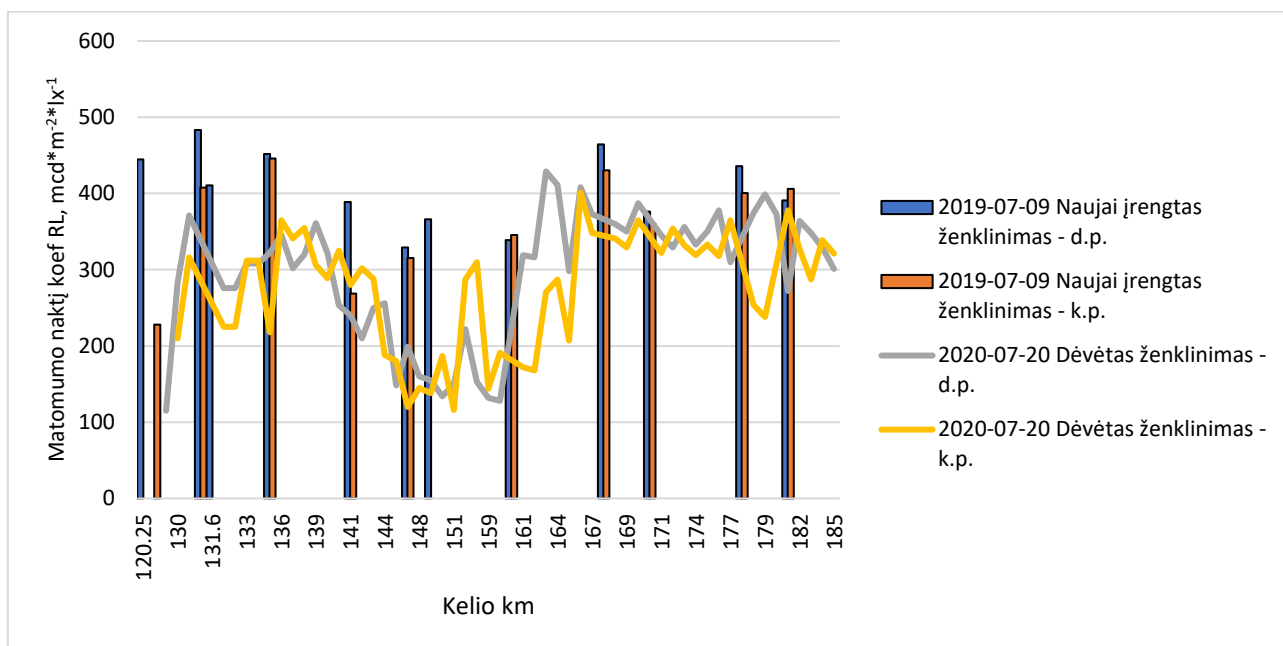
3.4.1. Dažai

Siekiant apskaičiuoti kaip greitai kinta kraštus žyminčių linijų, įrengtų tirpiklių turinčias dažais, atspindimojo skaisčio koeficientas R_L , pasirinkta nagrinėti kelio A12 Ryga*–Šiauliai–Tauragė–Kalinigradas* ženklavinimą, įrengtą 2019 metų birželio 18 dieną.

2019 metų liepos 9 dieną šiam, naujai atliktam ženklavinimui, buvo atliekami atspindimojo skaisčio matavimai. Matavimai atlikti pagal IT ŽM 12 reikalavimus – pasirinktame pikete, 100 metrų atkarpoje, buvo atliekama po 5 matavimus tiek dešinėje, tiek kairėje kelio pusėje. Iš 5 matavimų vedamas vidurkis, taip siekiant nustatyti ar ženklavinimas tenkina mažiausias atspindimojo skaisčio R_L koeficiento vertes naujai atliktam ženklavinimui. Iš viso atlikta 110 matavimų. Bendras visų koeficiento matavimų vidurkis siekė 385,87 mcd/m²/lx. Mažiausia išmatuota reikšmė buvo 213 mcd/m²/lx, o didžiausia – 492 mcd/m²/lx (reikšmių aibės plotis – 279 mcd/m²/lx).

2020 metų liepos 20 dieną, naudotam dažais įrengtam ženklavinimui, atlikti 104 atspindimojo skaisčio koeficiento R_L matavimai. Bendras matavimų vidurkis buvo 284,26 mcd/m²/lx. Mažiausia išmatuota reikšmė buvo 115 mcd/m²/lx, didžiausia – 429 mcd/m²/lx (reikšmių aibės plotis – 314 mcd/m²/lx). Tiek 2019-07-09, tiek 2020-07-20 atliktų matavimų rezultatai pavaizduoti 3.10

paveiksle, stulpelinėse diagramose atvaizduojant naujai įrengto ženklinimo matavimų vertes, o linijinėje diagramoje – naudoto ženklinimo vertes, dešinėje ir kairėje kelio pusėje.

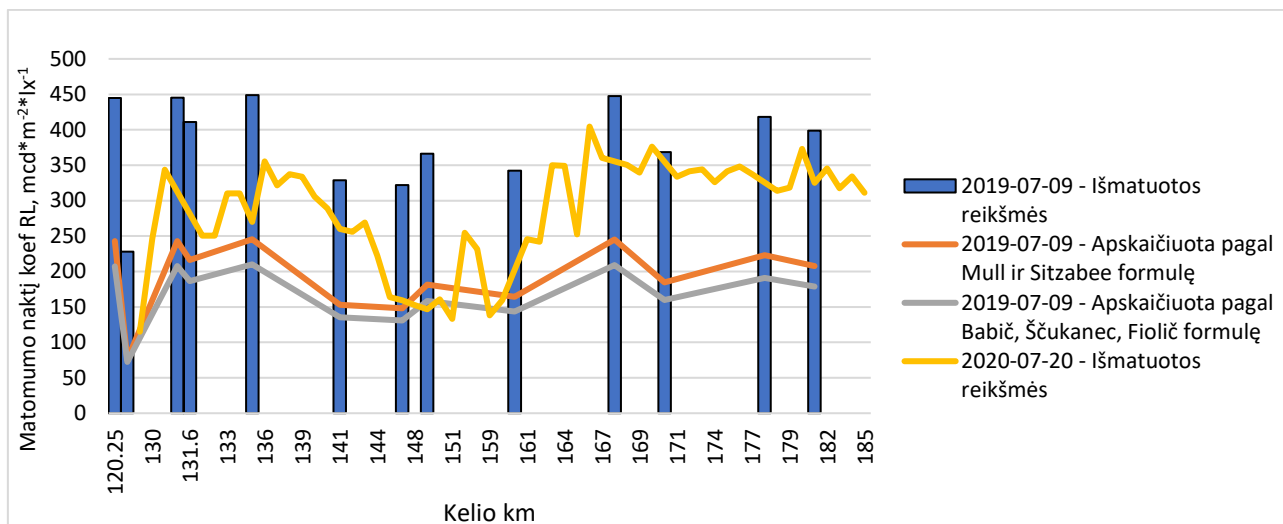


3.10 pav. 2019-06-18 kelyje A12 dažais įrengtų kelio kraštus žyminčių linijų atspindimojo skaisčio koeficiento R_L reikšmės

Lyginant matavimų rezultatų vidurkius, apskaičiuota, kad kraštus žyminčių linijų atspindimojo skaisčio koeficientas, per 377 dienas sumažėjo $101,61 \text{ mcd/m}^2/\text{lx}$. Tai reiškia, kad per vieną dieną koeficiento R_L vertė sumažėjo $0,27 \text{ mcd/m}^2/\text{lx}$ ($8,2 \text{ mcd/m}^2/\text{lx}$ per mėnesį).

Siekiant palyginti tyrimo metu išmatuotą atspindimojo skaisčio koeficiento R_L degradaciją su ankstesnių tyrimų metu gautais rezultatais, pritaikytos kelios, prieš tai aprašytos, ženklinimo dažais degradacijos modelių formulės. Pasirinta pritaikyti D. Mull ir W. E. Sitzabee Jungtinėse Amerikos Valstijose sukurta degradacijos modelį (7 formulė), kuris turėjo aukštą determinacijos koeficientą ($R^2 = 0,75$) bei vieną iš naujausių, Kroatijoje sukurta degradacijos modelį (8 formulė).

Naudojant duomenis, pateiktus 3.2 lentelėje, pagal 7 ir 8 formules apskaičiuotos koeficiento R_L reikšmės. 3.11 paveiksle pateikiamos linijinės diagramos, lyginančios išmatuotas ir apskaičiuotas R_L reikšmes.

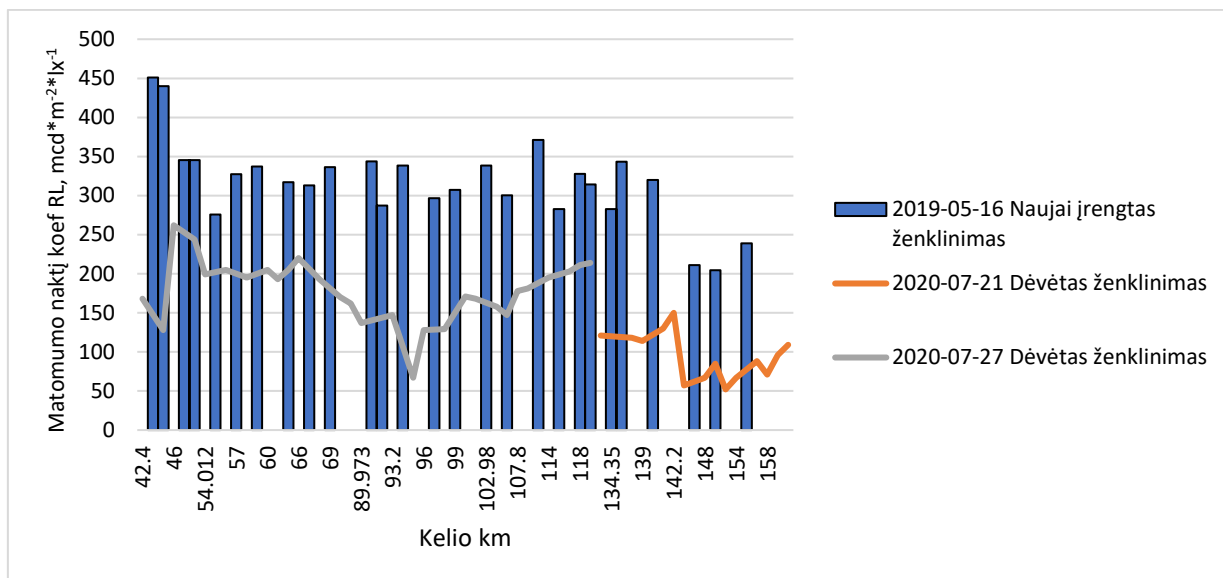


3.11 pav. 2019-06-18 kelyje A12 dažais įrengto kelio kraštus žyminčio ženklinimo apskaičiuotos ir išmatuotos koeficiento R_L reikšmės

Grafike matyti, kad rezultatai gauti pritaikius degradacijos modelius yra žymiai mažesni, nei išmatuotos R_L reikšmės. Pritaikius D. Mull ir W. E. Sitzabee degradacijos modelį atspindimojo skaisčio koeficiento vidurkis siekė $197,44 \text{ mcd/m}^2/\text{lx}$, o reikšmių apskaičiuotų taikant D. Babič, A. Ščukanec ir M. Fiolič degradacijos modelį vidurkis yra $175,75 \text{ mcd/m}^2/\text{lx}$. Dėl akivaizdaus skirtumo tarp išmatuotų ir apskaičiuotų reikšmių procentinė paklaida nebuvo skaičiuojama.

Siekiant nustatyti ašinės linijos, įrengtos tirpiklių turinčias dažais, atspindimojo skaisčio koeficiento R_L degradaciją, pasirinkta nagrinėti ženklinimą, įrengtą 2019 metų kovo 26 dieną, krašto kelio Nr. 141 Kaunas–Jurbarkas–Šilutė–Klaipėda ruože nuo 42,4 iki 160,209 km.

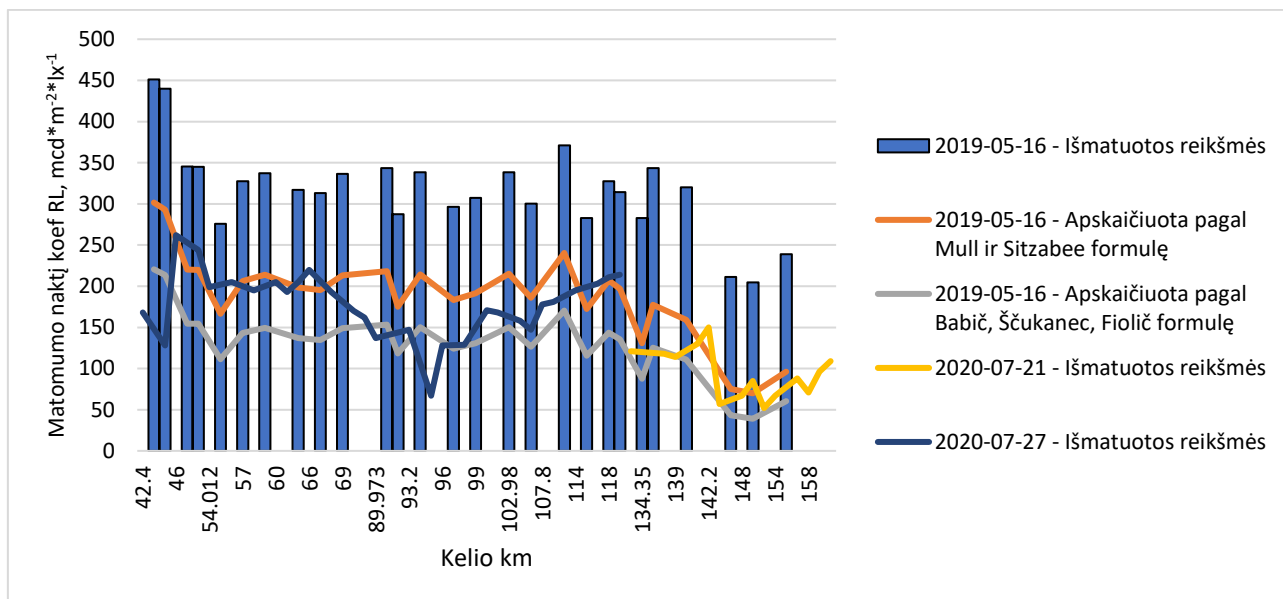
2019 metų gegužės 16 dieną, naujai įrengtam ženklinimui dažais, pagal IT ŽM 12 reikalavimus, atlikti 135 matavimai. Bendras visų koeficiento matavimų vidurkis buvo $318,42 \text{ mcd/m}^2/\text{lx}$. Mažiausia reikšmė – $186 \text{ mcd/m}^2/\text{lx}$, o didžiausia – $466 \text{ mcd/m}^2/\text{lx}$ (reikšmių aibės plotis – $280 \text{ mcd/m}^2/\text{lx}$). Naudotam ženklinimui matavimai buvo atliekami 2020 metų liepos 21 ir 27 dienomis. Iš viso naudotam ženklinimui atlikti 44 matavimai, jų vidurkis siekė $149,91 \text{ mcd/m}^2/\text{lx}$. Visų atliktų matavimų rezultatų išsidėstymas pavaizduotas 3.12 paveiksle, stulpelinėse diagramose atvaizduojant naujai įrengto ženklinimo matavimų vertes, o linijinėje diagramoje naudoto ženklinimo vertes.



3.12 pav. 2019-04-26 kelyje Nr. 141 dažais įrengtos ašinės linijos atspindimojo skaisčio koeficiento R_L reikšmės

Kadangi skirtumas tarp dviejų atliktų naudoto ženklinimo matavimų buvo tik 6 dienos, priimta, kad tai neturi didesnės reikšmės ir skaičiuojant ženklinimo degradaciją buvo priimta, kad visi naudoto ženklinimo matavimai atlikti 2020-07-27. Lyginant ašinės linijos įrengto tirpiklių turinčiais dažais matavimų rezultatų vidurkius apskaičiuota, kad atspindimojo skaisčio koeficientas, per 438 dienas sumažėjo $168,51 \text{ mcd/m}^2/\text{lx}$. Tai reiškia, kad per vieną dieną koeficiento R_L vertė sumažėjo $0,385 \text{ mcd/m}^2/\text{lx}$ ($11,87 \text{ mcd/m}^2/\text{lx}$ per mėnesį).

Ašinės linijos ženklinimui buvo pritaikyti D. Mull ir W. E. Sitzabee bei D. Babič, A. Ščukanec ir M. Fiolič sukurti degradacijos modeliai. Naudojant duomenis, pateiktus 3.3 lentelėje, pagal 7 ir 8 formules apskaičiuotos koeficiento R_L reikšmės. 3.13 paveiksle pateikiamos linijinės diagramos, lyginančios apskaičiuotas ir išmatuotas R_L reikšmes.



3.13 pav. 2019-04-26 kelyje Nr. 141 įrengtos ašinės linijos apskaičiuotos ir išmatuotos koeficiento R_L reikšmės

Skirtingai nei kelio kraštus žyminčioms linijoms, ašinės linijos atspindimojo skaisčio koeficiento rezultatai, gauti pritaikius degradacijos modelius, buvo labai panašūs į rezultatus gautus atlikus matavimus. Pagal D. Mull ir W. E. Sitzabee degradacijos modelį apskaičiuotas atspindimojo skaisčio koeficiento vidurkis – 190,23 mcd/m²/lx, o reikšmių, apskaičiuotų taikant Babič, Ščukanec ir Fiolič degradacijos modelį vidurkis – 131,61 mcd/m²/lx. Kadangi išmatuotų reikšmių vidurkis (149,91 mcd/m²/lx) gana artimas apskaičiuotiems vidurkiams, buvo pritaikytas procentinės paklaidos skaičiavimas, siekiant nustatyti modelių tikslumą:

$$\%_{paklaida} = \left| \frac{\bar{x}_{apskaičiuotos} - \bar{x}_{išmatuotos}}{\bar{x}_{išmatuotos}} \right| \cdot 100\% \quad (11)$$

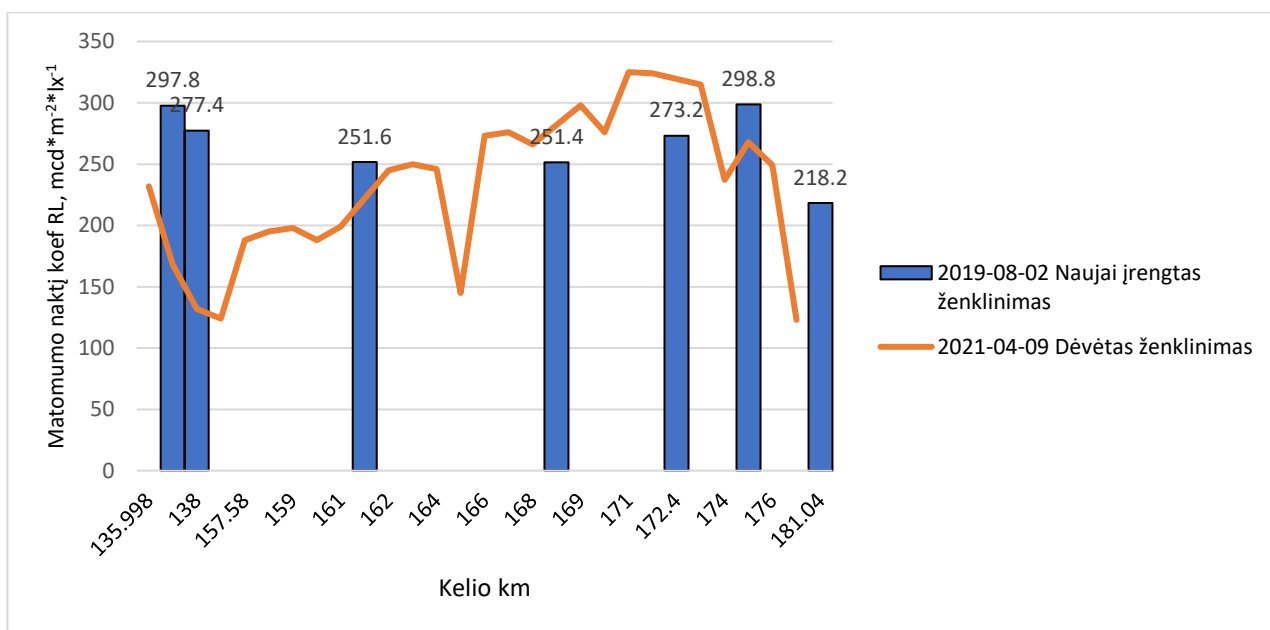
Pagal 11 formulę apskaičiuota paklaida D. Mull ir W. E. Sitzabee sukurtam dažų degradacijos modeliui siekė 26,90 %, o D. Babič, A. Ščukanec ir M. Fiolič degradacijos modeliui – 12,21 %. Apskaičiuota procentinė paklaida Kroatijoje sukurtam modeliui buvo vos kiek didesnė nei 10 %, todėl galima daryti prielaidą, kad šis degradacijos modelis galėtų būti taikomas, norint apskaičiuoti dažais įrengtos ašinės linijos atspindimąjį skaisčių Lietuvoje.

3.4.2. Termoplastinės medžiagos

Apskaičiuojant kaip kinta termoplastu įrengtos ašinės linijos atspindimojo skaisčio koeficientas R_L , pasirinkta nagrinėti 2019 metų liepos 8 dieną kelyje A12 Ryga*–Šiauliai–Tauragė–Kaliningradas* termoplastu įrengtą ženklimą.

Naujai atlikto ženklavimo termoplastu atspindimojo skaisčio matavimai, pagal IT ŽM 12 reikalavimus, atlikti 2019-08-02. Iš viso atlikti 35 matavimai. Bendras visų matavimų koeficiento R_L vidurkis buvo 266,91 mcd/m²/lx. Mažiausia išmatuota reikšmė – 214 mcd/m²/lx, didžiausia – 352 mcd/m²/lx (matavimo reikšmių aibės plotis – 138 mcd/m²/lx).

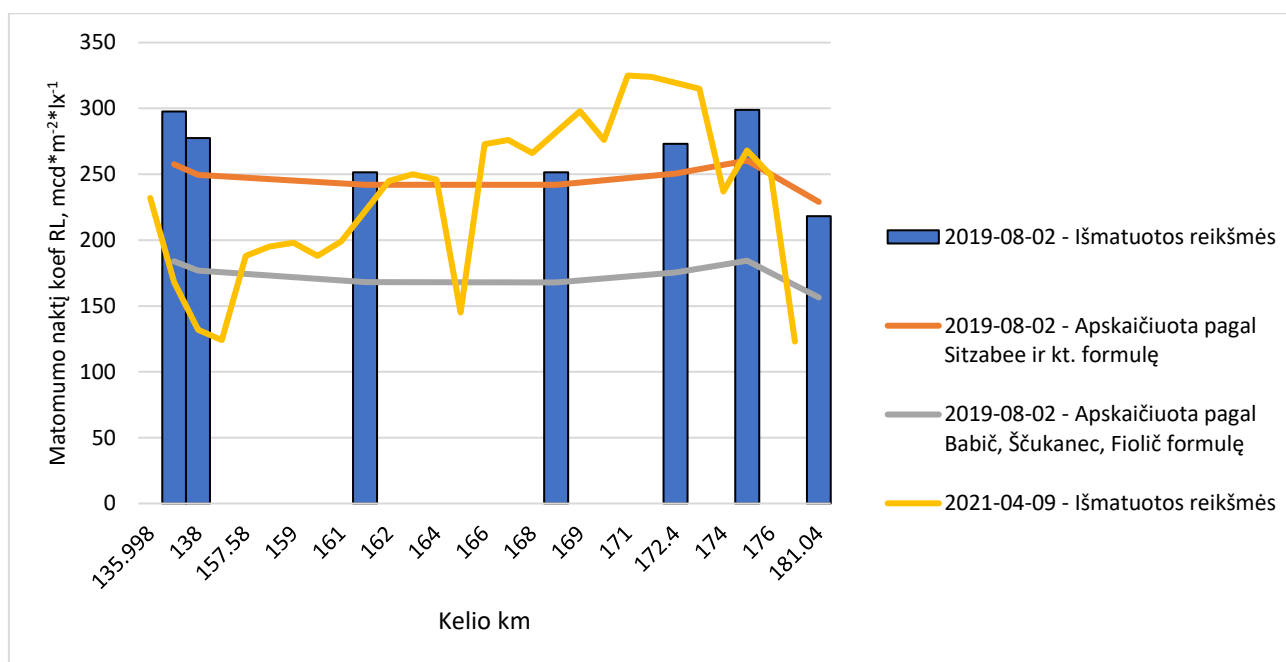
2020-07-09 matavimų metu nustatytos ženklavimo termoplastu reikšmės netgi siek tiek viršijo naujai įrengto ženklavimo koeficiento matavimų rezultatus, todėl siekiant nustatyti koeficiento R_L degradaciją, pasirinkta lyginti naujai įrengto ženklavimo matavimus, su matavimų atliktų 2021-04-09 reikšmėmis. Naudotam termoplastu įrengtam ženklavimui buvo atlikti 25 matavimai, jų vidurkis buvo 229,6 mcd/m²/lx. Mažiausia išmatuota reikšmė – 123 mcd/m²/lx, didžiausia – 325 mcd/m²/lx (reikšmių aibės plotis – 280 mcd/m²/lx). Visų atliktų matavimų rezultatai pavaizduoti 3.14 paveiksle, stulpelinėse diagramose atvaizduojant naujai įrengto ženklavimo matavimų vertes, o linijinėje diagramoje naudoto ženklavimo vertes.



3.14 pav. 2019-07-08 kelyje A12 termoplastu įrengtos ašinės linijos ženklavimo koeficiento R_L reikšmės

3.14 paveiksle pavaizduotame grafike aiškiai matosi, kad dviejose vietose naudotam ženklavimui išmatuotos reikšmės buvo didesnės nei naujai atliktam ženklavimui, tačiau bendras naudoto ženklavimo vidurkis – mažesnis. Aritmetinių vidurkių skirtumas – 37,31 mcd/m²/lx. Tai reiškia, kad per vieną dieną koeficiento R_L vertė termoplastu įrengtai ašinei linijai sumažėjo 0,061 mcd/m²/lx (1,84 mcd/m²/lx per mėnesį). Ši atspindžio degradacijos reikšmė yra labai panaši į tas, kurios nustatytos ankstesniuose tyrimuose (W. E. Sitzabee ir kt. darbe nustatyta degradacija – 2,09 mcd/m²/lx per mėnesį).

Siekiant palyginti tyrimo metu nustatytą atspindimojo skaisčio koeficiento R_L degradaciją Termoplastinėms medžiagoms su ankstesniais tyrimais, pasirinkta pritaikyti ir Sitzabee ir kt. sukurtą degradacijos modelį (6 formulė), kurio determinacijos koeficientas – 0,60, bei Kroatijoje sukurtą degradacijos modelį (9 formulė). Skirtingai nei dažams pritaikytuose degradacijos modeliuose, termoplastinėms medžiagoms sumodeliuotose formulėse pravažiavusių sniego valytuvų skaičius nebuvo išskirtas kaip vienas iš kintamųjų, todėl skaičiavimai buvo paprastesni, naudojant tik naujai atlikto ženklavimo matavimų ir ženklavimo amžiaus duomenis. Atliekant skaičiavimus pagal 6 formulę, panaudoti 2020 metų VMPEI duomenys, pateikti 3.2 lentelėje. 3.15 paveiksle pateikiamos linijinės diagramos, lyginančios apskaičiuotas ir išmatuotas R_L reikšmes.



3.15 pav. 2019-07-08 kelyje A12 termoplastu įrengtos ašinės linijos apskaičiuotos ir išmatuotos koeficiento R_L reikšmės

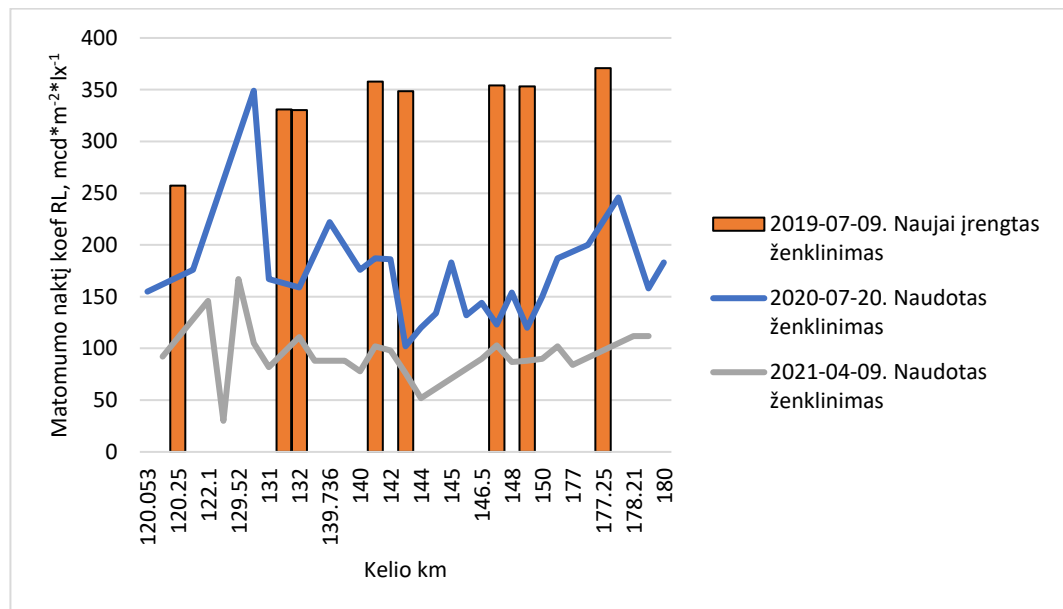
Pateiktame grafike matyti, kad išmatuotų reikšmių sklaida didesnė nei apskaičiuotųjų reikšmių. Tai reiktų sieti su gana mažu matavimų skaičiumi, atliktų naujai įrengtam ženklinimui. Pagal Sitzabee ir kt. sukurtą degradacijos modelį apskaičiuotų reikšmių vidurkis – $247,32 \text{ mcd/m}^2/\text{lx}$, buvo artimas išmatuotoms reikšmėms. Šio modelio procentinė paklaida, apskaičiuota pagal 11 formulę, maža – 7,72 %, todėl galima daryti prielaidą, kad šis degradacijos modelis gali būti taikomas, norint apskaičiuoti termoplastu įrengtos ašinės linijos atspindimą Lietuvoje. Taikant Babič, Ščukanec ir Fiolič degradacijos modelį aritmetinis apskaičiuotų reikšmių vidurkis kur kas mažesnis – $173,33 \text{ mcd/m}^2/\text{lx}$ ir nutolęs nuo išmatuotųjų reikšmių, todėl procentinės paklaidos skaičiavimai neatlikti.

3.4.3. Purškiamas šaltasis plastikas

Apskaičiuojant kaip kinta purškiamu šaltuoju plastikumu įrengtos ašinės linijos atspindimojo skaisčio koeficientas R_L , pasirinkta nagrinėti 2019 metų liepos 2 dieną kelyje A12 Ryga*–Šiauliai–Tauragė–Kaliningradas* įrengtą ženklavinimą.

Naujai įrengto, purškiamu šaltuoju plastikumu atlikto ženklinimo atspindimojo skaisčio matavimai, pagal IT ŽM 12 reikalavimus, atlikti 2019-08-02. Iš viso atlikta 40 matavimų. Bendras apskaičiuotas visų matavimų koeficiento R_L vidurkis – 337,9 mcd/m²/lx. Mažiausia išmatuota reikšmė – 238 mcd/m²/lx, didžiausia – 406 mcd/m²/lx (matavimo reikšmių aibės plotis – 168 mcd/m²/lx). Naudotam ženklinimui matavimai buvo atliekami 2020 metų liepos 20 d. (24 matavimai) ir 2021 metų balandžio 9 d. (23 matavimai).

2020 metų liepos 20 dieną atliktų matavimų vidurkis buvo 171,38 mcd/m²/lx. Mažiausia išmatuota reikšmė buvo 102 mcd/m²/lx, didžiausia – 349 mcd/m²/lx (reikšmių aibės plotis – 247 mcd/m²/lx). 2021 metų balandžio 9 dieną atliktų matavimų vidurkis – 94,91 mcd/m²/lx. Mažiausia išmatuota reikšmė buvo 30 mcd/m²/lx – ženklinimas buvo visiškai susidėvėjęs, didžiausia išmatuota reikšmė – 167 mcd/m²/lx (reikšmių aibės plotis – 137 mcd/m²/lx). Visų atliktų matavimų rezultatai pavaizduoti 3.16 paveiksle, stulpelinėse diagramose atvaizduojant naujai įrengto ženklinimo matavimų vertes, o linijinėse diagramose – naudoto ženklinimo vertes.



3.16 pav. 2019-07-02 kelyje A12 purškiamu šaltuoju plastikumu įrengtos ašinės linijos ženklinimo koeficiento R_L reikšmės

Lyginant naujai atlikto ženklavimo ir 2020 metų liepos 20 d. atliktų matavimų rezultatų vidurkius, apskaičiuota, kad ašinės linijos atspindimojo skaisčio koeficientas per 377 dienas sumažėjo 166,53 mcd/m²/lx. Per vieną dieną koeficiento R_L vertė sumažėjo 0,44 mcd/m²/lx (13,44 mcd/m²/lx per mėnesį). Lyginant 2021 metų balandžio 9 d. ir naujai atlikto ženklavimo matavimų atspindžio rezultatų vidurkius, atspindimasis skaitis per 640 dienų sumažėjo 242,99 mcd/m²/lx. Per vieną dieną koeficiento R_L vertė sumažėjo 0,38 mcd/m²/lx (11,56 mcd/m²/lx per mėnesį).

3.5. Tyrimo rezultatų vertinimas

Vertinant gautus rezultatus bendrai, visos tyrime analizuotos išilginiam horizontaliajam ženklavimui naudojamos medžiagos po kiek daugiau nei metų buvo išlaikiusios gana aukštas atspindimojo skaisčio koeficiento R_L vertes. Atspindimojo skaisčio degradacijos tyrimo metu išmatuotos ir apskaičiuotos reikšmės pateikiamos 4.1 lentelėje.

3.6 lentelė. Tyrimo metu apskaičiuotos atspindimojo skaisčio reikšmės.

Atspindimasis skaitis	Minimali reikšmė	Maksimali reikšmė	Aritmetinis vidurkis	Standartinis nuokrypis
mcd/lx/m ²				
Tirpiklių turintys dažai kelio kraštus žyminčiose linijose				
Naujai įrengtas ženklavimas	213	492	385,87	66,18
Naudotas ženklavimas (377 d.)	115	429	284,26	80,80
Pokytis per 1 mėn.			8,2	
Tirpiklių turintys dažai ašinėje linijoje				
Naujai įrengtas ženklavimas	186	466	318,42	57,55
Naudotas ženklavimas (432 d.)	52	262	149,91	54,26
Pokytis per 1 mėn.			11,87	
Termoplastinės medžiagos ašinėje linijoje				
Naujai įrengtas ženklavimas	214	352	266,91	31,77
Naudotas ženklavimas (616 d.)	123	325	229,6	61,21
Pokytis per 1 mėn.			1,84	
Purškiamas šaltasis plastikas ašinėje linijoje				
Naujai įrengtas ženklavimas	238	406	337,9	45,66
Naudotas ženklavimas (377 d.)	30	167	171,8	79,69
Pokytis per 1 mėn.			13,44	

Kelio kraštus žyminčių linijų, įrengtų tirpiklių turinčiais dažais, atspindimojo skaisčio koeficiento R_L reikšmės, tiek naujai įrengtam, tiek dėvėtam ženklavimui, buvo itin aukštos, skirtingai nei Kroatijoje atlikto tyrimo metu, kur dažais įrengtas ženklavimas turėjo mažiausias atspindžio vertes. Išmatuota naujai įrengto ženklavimo koeficiento R_L vertė – beveik dvigubai didesnė nei

reikalaujama IT ŽM 12. Po beveik metų atlikti matavimai, kuomet ženklavimo garantinis terminas jau buvo pasibaigęs, taip pat parodė aukštas vertės, kurios netgi viršijo reikalavimus naujai atliktam ženklavimui. Iš dalies tai galima priskirti tam, kad 2019-2020 metų žiemą priežiūros darbai buvo minimalūs – pravažiavusių sniego valytuvų skaičius buvo mažas, kas turėjo didelę įtaką aukštų atspindžio verčių išlaikymui. Pagal tyrimo metu apskaičiuotą mėnesinę ženklavimo degradaciją, dažais įrengtas ženklavimas mažiausią atspindimojo skaičiaus koeficiento R_L vertę, pagal IT ŽM 12 reikalavimus naudotam ženklavimui (100 mcd/lx/m^2), pasiektų per 34,86 mėnesius (2,9 metai), ERF siūlomą vertę (150 mcd/lx/m^2) – per 28,76 mėnesius (2,4 metai). Vargu ar šie skaičiai atitiktų realų vertinimą, jei žiemos priežiūra būtų intensyvesnė, taip pat įvertinant tai, kad ankstesniuose moksliniuose darbuose pateikiami mažesni laiko tarpai, todėl reikalingi tolimesni tyrimai.

Naujai įrengtai ašinei linijai, kurios įrengimui buvo naudojami tirpiklių turintys dažais, taip pat išmatuotos aukštos atspindimojo skaičiaus vertės. Jos buvo kiek daugiau nei pusantro karto didesnės, nei reikalaujama IT ŽM 12 taisyklėse. Ašinės linijos atspindžio degradacija buvo greitesnė, nei kelio kraštus žyminčiose linijose. Visgi dažais įrengtai ašinei linijai yra taikomas dvigubai mažesnis garantinis terminas nei kraštus žyminčioms linijoms, nors gauti rezultatai parodė, kad degradacija yra tik apie 50 % greitesnė. Pagal tyrimo metu apskaičiuotą mėnesinę ženklavimo degradaciją, mažiausią atspindimojo skaičiaus koeficiento R_L vertę, pagal IT ŽM 12 reikalavimus naudotam dažnai užvažiuojama ženklavimui (80 mcd/lx/m^2), dažai pasiektų per 20,09 mėnesių (1,67 metai), ERF siūlomą vertę (150 mcd/lx/m^2) – per 14,19 mėnesių (1,18 metai). Šie skaičiai yra labai panašūs į tuos, kurie apskaičiuoti ankstesniuose moksliniuose darbuose (D. Mull ir W. E. Sitzabee, 2011; D. Babič, A. Ščukanec, M. Fiolič, 2019). Tai patvirtino ir tyrimo metu atlikti skaičiavimai, pritaikant šių mokslininkų sukurtus degradacijos modelius, kurių procentinė paklaida siekė 26,90 % ir 12,21 %. Todėl galima teigti, kad šių mokslininkų sukurti degradacijos modeliai dažams gali būti pritaikomi ir Lietuvoje.

Gauti skaičiai iš dalies prieštarauja hipotezei, kad ženklavimas įrengtas dažais dėvisi ypač greitai. Tai leidžia daryti prielaidą, kad dažai yra nepelnytai nuvertinami, ypač atsižvelgiant į jų mažą kainą, o jiems teikiamas garantinis terminas Lietuvoje yra per mažas. Todėl rekomenduojama tirpiklių turintiems dažams ilginti garantinį terminą:

- Retai užvažiuojamam ženklavimui – 2 metai;
- Dažnai užvažiuojamam ženklavimui – 1 metai.

Naujai įrengtas ženklavimas termoplastu turėjo mažiausias atspindimojo skaičiaus vertes iš visų nagrinėtų medžiagų. Tačiau jo atspindimojo skaičiaus degradacija taip pat buvo mažiausia. Lyginant

ašinės linijos įrengtos dažais ir termoplastu degradaciją, apskaičiuotas santykis yra lygus 6,45. Tai reiškia, kad termoplastu įrengtas ženklavimas dėvėsi apie 6 kartus lėčiau nei ženklavimas įrengtas dažais. Vertinant ekonominiu požiūriu, termoplastinės medžiagos yra efektyvesnės, nes jų kaina apie 4-5 kartus didesnė, lyginant su tirpiklių turinčiais dažais. Todėl šios medžiagos naudojimas ašinės linijos ženklavimui yra naudingesnis.

Termoplastu įrengtos ašinės linijos mėnesinė degradacija ypač maža – $1,84 \text{ mcd/lx/m}^2$ per mėnesį ir panaši į ankstesniuose moksliniuose darbuose nustatytą pokytį (W. E. Sitzabee ir kt., 2009). Pritaikytas degradacijos modelis, kurio paklaida siekė 7,72 %, kaip ir dažams, leido daryti prielaidą, kad Sitzabee ir kt. sukurtas degradacijos modelis gali būti taikomas Lietuvoje, norint apskaičiuoti termoplasto atspindimąjį skaitį bet kuriuo metu. Pagal apskaičiuotą mėnesinę ženklavimo degradaciją, termoplastas mažiausią atspindimojo skaisčio koeficiento R_L vertę, pagal IT ŽM 12 reikalavimus naudotam dažnai užvažiuojama ženklavimui (80 mcd/lx/m^2), pasiektų per 101,58 mėnesių (8,47 metai), ERF siūlomą vertę (150 mcd/lx/m^2) – per 63,54 mėnesių (5,29 metai). Kadangi literatūroje pateikiami skaičiai yra bene dvigubai mažesni, reikalingi detalesni tyrimai, tačiau termoplastinių medžiagų panaudojimas, išilginiam ašinės linijos ženklavimui, iš tyrimo nagrinėtų medžiagų pasirodė esąs efektyviausias. Garantinis terminas šiai medžiagai Lietuvoje, atsižvelgiant į Lenkijoje ir Airijoje taikomus reikalavimus, turėtų būti ilginamas iki 3 metų.

Apskaičiuota purškiamu šaltuoju plastikų įrengtos ašinės linijos atspindimojo skaisčio degradacija per 1 mėn. ($13,44 \text{ mcd/lx/m}^2$) buvo beveik tokia pati, kaip ir tirpiklių turinčiais dažais įrengto ženklavimo. Aritmetiniai naujai įrengto ir dėvėto ženklavimo vidurkiai taip pat panašūs į tuos, kurie išmatuoti dažams. Žinant tai, kad purškiamas šaltasis plastikas turėtų pasižymėti geresnėmis atspindžio savybėmis, kyla abejonė ar tikrai ženklavimas buvo atliktas šia medžiaga. Taip pat įvertinus tai, kad vizualiai atskirti purškiamą šaltąjį plastiką nuo dažų po jo įrengimo yra labai sudėtinga, daroma prielaida, kad ženklavimas buvo įrengtas dažais. Tačiau tai patvirtinti arba paneigti yra labai sudėtinga. Lietuvoje nėra laboratorijos galinčios nustatyti ženklavimo medžiagiškumą paėmus mėginį kelyje. Vienintelis būdas įsitikinti ar ženklavimas iš tikrųjų yra įrengiamas purškiamu šaltuoju plastikų, tai dalyvavimas ženklavimo procese. Dėl šios priežasties yra būtinas didesnis techninės priežiūros įsitraukimas, kontroliuojant rangovus atliekančius ženklavimo darbus. Jei ženklavimas buvo atliktas purškiamu šaltuoju plastikų, tuomet pagal šio tyrimo rezultatus, daroma prielaida, kad šios medžiagos panaudojimas yra neefektyvus lyginant su tirpiklių turinčiais dažais, kadangi purškiamo šaltojo plastiko kaina yra kelis kartus didesnė. Tačiau norint patvirtinti šią prielaidą, reikalingi didesnės apimties purškiamo šaltojo plastiko atspindimojo skaisčio degradacijos tyrimai. Purškiamo plastiko panaudojimas Lietuvoje turėtų būti apribotas tik atnaujinant lietą šaltąjį

plastiką, kuris kartu su aglomeratiniu šaltuoju plastikų, valstybinės reikšmės horizontaliojo ženklinimo atnaujinimo pirkimo dokumentuose turėtų būti išskirtas, kaip atskira ženklinimui naudojama medžiaga.

Kadangi visų naujai įrengtų horizontaliajam ženklinimui naudojamų medžiagų atspindimojo skaisčio koeficiento R_L aritmetiniai vidurkiai gana smarkiai viršijo IT ŽM 12 reikalavimus (išskyrus termoplastu įrengtą ženklinimą), siūloma didinti mažiausią atspindimojo skaisčio vertę naujai įrengtam ženklinimui iki 250 mcd/lx/m², kaip tai buvo padaryta 2018 metais Lenkijoje.

3.6. Išvados

1. Naudojantis LAKD duomenų bazėje esančiais duomenimis, atlikti skaičiavimai parodė, kad 31,29 % ašinės linijos, kelio A12 ruože nuo 120,053 iki 185,969 km, įrengta naudojant purškiamą šaltąjį plastiką, 68,71 % naudojant termoplastines medžiagas. 79,90 % kraštus žyminčių linijų įrengta dažais.
2. Medžiagų pasiskirstymas, nagrinėtų krašto kelių ašinėse linijose, itin didelis. Krašto keliuose daugiau kaip 50 % ašinių linijų įrengta dažais ir netenkina IT ŽM 12 reikalavimų.
3. 2020-07-20 kelio A12 ruože nuo 120,053 iki 185,969 km atlikti matavimai parodė, kad ašinės linijos atspindimojo skaisčio vidurkis lygus 237,31 mcd/m²/lx. 1 iš 87 matavimų netenkino reikalavimų naudotam dažnai užvažiuojamam ženklinimui. Kelio kraštus žyminčių linijų atspindimojo skaisčio vidurkis lygus 230,94 mcd/m²/lx. Iš 146 matavimų, 3 netenkino reikalavimų naudotam retai užvažiuojamam ženklinimui.
4. 2020-07-21 ir 2020-07-27 atlikti matavimai kelio Nr. 141 ruože nuo 42,4 iki 160,209 km parodė, kad ašinės linijos atspindimojo skaisčio vidurkis lygus 135,40 mcd/m²/lx. Iš 87 matavimų, 18 netenkino reikalavimų dažnai arba nuolat užvažiuojamam ženklinimui. Kelio kraštus žyminčių linijų atspindimojo skaisčio vidurkis lygus 210,56 mcd/m²/lx. 23 iš 103 matavimų parodė, kad kelio kraštus žyminčios linijos netenkina IT ŽM 12 reikalavimų.
5. 2019 metų liepos 9 dieną kelyje A12 dažais įrengtų kraštus žyminčių linijų atspindimasis skaitis vidutiniškai sumažėjo 8,2 mcd/m²/lx per mėnesį.
6. 2019 metų gegužės 16 dieną dažais kelyje Nr. 141 įrengtos ašinės linijos atspindimasis skaitis vidutiniškai sumažėjo 11,87 mcd/m²/lx per mėnesį.
7. 2019 metų liepos 8 dieną termoplastu kelyje A12 įrengtos ašinės linijos atspindimasis skaitis vidutiniškai sumažėjo 1,84 mcd/m²/lx per mėnesį.

8. 2019 metų liepos 2 dieną purškiamu šaltuoju plastikų įrengtos ašinės linijos atspindimasis skaistis kelyje A12 vidutiniškai sumažėjo $13,44 \text{ mcd/m}^2/\text{lx}$ per mėnesį.
9. Dažais įrengtai ašinei linijai pritaikyti D. Mull ir W. E. Sitzabee bei D. Babič, A. Ščukanec ir M. Fiolič sukurti degradacijos modeliai gana tikslūs – apskaičiuota procentinė paklaida siekia 26,90 % ir 12,21 %.
10. Termoplastų įrengtai ašinei linijai pritaikytas Sitzabee ir kt. sukurtas degradacijos modelis gana tikslus – apskaičiuota procentinė paklaida siekia 7,72 %. D. Babič, A. Ščukanec ir M. Fiolič sukurto degradacijos modelio pritaikymas nepasitvirtino.

BENDROSIOS IŠVADOS

1. Lietuvoje ženkliniui keliami reikalavimai yra palyginti maži: dažams teikiama garantija yra nuo 6 mėnesių iki 1 metų, polimerinėms medžiagoms – 2 metai; naujai įrengto ženklinimo minimalus atspindimasis skaistis – 200 mcd/lx/m^2 . Lenkijoje reikalavimai naujai įrengtam ženklinimui – 250 mcd/lx/m^2 . Airijoje ženklinimui naudojamos tik termoplastinės medžiagos ir teikiama 3 metų garantija; Lenkijoje ženklinimui plonasluoksnėmis sistemomis teikiama metų garantija, storo sluoksnio ženklinimo sistemoms – 3 metų garantija.
2. Atlikta literatūros analizė parodė, kad per pastaruosius 20 metų yra sukurta nemažai degradacijos modelių horizontaliojo kelių ženklinimo atspindimajam skaisčiui apskaičiuoti. Visuose juose teigiama, kad ženklinimo atspindimojo skaisčio degradacija labiausiai priklauso nuo medžiagos. Greičiausiai dėvisi ženklinimas įrengtas dažais (1–2 metai), lėčiausiai dėvisi ženklinimas įrengtas liejant šaltąjį plastiką (apie 5 metai).
3. Didžiausią įtaką ženklinimo degradacijai turi laikas ir ženklinimo padėtis kelyje. Tyrimo rezultatai parodė, kad ašinės linijos atspindimojo skaisčio degradacija yra apie 50 % greitesnė, nei kelio kraštus žyminčiose linijose. Žiemos priežiūra turi didelę įtaką ženklinimui įrengtam dažais. Ženklinimui termoplastinėmis medžiagomis žiemos priežiūros įtaka yra mažesnė. VMPEI įtaka išilginiam ženklinimui yra maža. Daugumoje nagrinėtų tyrimų VMPEI atmetamas kaip statistiškai nereikšmingas veiksnys.
4. 2020 metų vasarą, statiniu retroreflektometru „Zehntner ZRM 6006“ atlikti atspindimojo skaisčio matavimai parodė, kad didžioji dalis ženklinimo, nagrinėtuose valstybinės reikšmės keliuose, tenkina IT ŽM 12 reikalavimus naudotam ženklinimui. Iš 253 ašinių linijų matavimų, tik 28 netenkino reikalavimų. Didžiausias ašinių linijų ženklinimo nusidėvėjimas, vertinant atspindimajį skaistį, išmatuotas krašto keliuose Nr. 141, Nr. 146 ir Nr. 198, kuriuose apie 20 % ašinių linijų netenkino IT ŽM 12 reikalavimų.
5. Ženklinimo dažais atspindimasis skaistis, kelio A12 kraštus žyminčiose linijose, per mėnesį vidutiniškai sumažėjo $8,2 \text{ mcd/lx/m}^2$, kelio Nr. 141 ašinėje linijoje – $11,87 \text{ mcd/lx/m}^2$ per mėnesį. Kelyje A12 termoplastu įrengtos ašinės linijos atspindimasis skaistis per mėnesį vidutiniškai sumažėjo $1,84 \text{ mcd/lx/m}^2$, purškiamu šaltuoju plastiką įrengtos ašinės linijos vidutinė skaisčio degradacija – $13,44 \text{ mcd/lx/m}^2$ per mėnesį.
6. Tyrimo metu apskaičiuotos atspindimojo skaisčio koeficiento R_L reikšmės, taikant du atspindimojo skaisčio degradacijos modelius dažams ir du degradacijos modelius termoplastinėms medžiagoms. Išmatuotos ir apskaičiuotos atspindimojo skaisčio reikšmės dažais įrengtose kelio kraštus žyminčiose linijose akivaizdžiai skyrėsi. Dažais įrengtai ašinei

linijai pritaikytų degradacijos modelių paklaidos siekė 26,90 % ir 12,21 %. Termoplastu įrengtai ašinei linijai pritaikyto degradacijos modelio apskaičiuota paklaida siekė – 7,72 %.

7. Ženklinimas termoplastu yra efektyviausias išilginio ženklinimo įrengimui, vertinant atspindžio degradacijos, kainos ir ekologijos požiūriu. Ženklinimui dažais išmatuotos aukščiausios atspindimojo skaisčio vertės, tačiau atspindžio degradacija buvo greita. Įvertinus ženklinimo dažais įrengimo kainą darytina išvada, kad tai palyginti efektyvi medžiaga. Siekiant įvertinti purškiamo šaltojo plastiko efektyvumą reikalingi didesnės apimties atspindimojo skaisčio degradacijos tyrimai.

SIŪLYMAI

1. Siūloma valstybinės reikšmės horizontaliojo ženklinimo atnaujinimo pirkimo dokumentuose išskirti šaltąją plastiką ir aglomeratinį ženklinimą šaltuoju plastikumu, kaip atskiras ženklinimo įrengimui naudojamas medžiagas (sistemas).
2. Siūloma sekti Airijos ir Lenkijos pavyzdžiu: ilginti reaktyviosiomis ir termoplastinėmis medžiagomis įrengto retai ir dažnai užvažiuojamo ženklinimo garantinį terminą iki 3 metų.
3. Dažų garantinį terminą siūloma ilginti: iki 2 metų – retai užvažiuojamam ženklinimui, iki 1 metų – dažnai užvažiuojamam ženklinimui.
4. Siūloma didinti minimalią atspindimojo skaisčio vertę naujai įrengtam ženklinimui iki 250 mcd/lx/m², kaip tai 2018 metais buvo padaryta Lenkijoje.

LITERATŪROS SĄRAŠAS

Abboud, N. and Bowman, B. L. (2002) Cost- and Longevity-Based Scheduling of Paint and Thermoplastic Striping: Transportation Research Record. Journal of the Transportation Research Board, 1794, 55-62. <https://doi.org/10.3141/1794-07>.

Andrady, A. L. (1997). *Pavement Marking Materials: Assessing Environment Friendly Performance* (Vol. 392). Transportation Research Board.

Asdrubali, F., Buratti, C., Moretti, E., D'Alessandro, F., Schiavoni, S. (2013). Assessment of the Performance of Road Markings in Urban Areas: The Outcomes of the CIVITAS RENAISSANCE Project, *The Open Transportation Journal*, 7, 7-19. <http://dx.doi.org/10.2174/1874447801307010007>.

Babić, D., Fiolić, M., Žilionienė, D. (2017). Evaluation of static and dynamic method for measuring retroreflection of road markings. *GRAĐEVINAR*, 69 (10), 907-914. <https://doi.org/10.14256/JCE.2010.2017>.

Babić, D.; Burghardt, T. E.; Babić, D. (2015). Application and characteristics of waterborne road marking paint, *International Journal for Traffic and Transport Engineering* 5(2), 150–169. [https://doi.org/10.7708/ijtte.2015.5\(2\).06](https://doi.org/10.7708/ijtte.2015.5(2).06).

Babić, D., Ščukanec, A., Babić, D., Fiolić, M. (2019). Model for predicting road marking service life. *The Baltic journal of road and bridge engineering*, 14 (3), 341-395. <https://doi.org/10.7250/bjrbe.2019-14.447>.

Burghardt, T. E., Pashkevich, A., Fiolić, M., & Żakowska, L. (2019). Horizontal road markings with high Retroreflectivity: Durability, environmental, and financial considerations. *Advances in Transportation Studies*, 47, 49–60.

European Union Road Federation. (2015). Marking a road toward a safer future. An ERF position paper on how road markings can make our road safer. Brussels. <https://erf.be/publications/markings-the-way-towards-a-safer-future>.

Fitch, J. M., Ahearn, W. E. (2007) Pavement Marking Durability Statewide Final Report: Materials and Research Section. State of Vermont Agency of Transportation, Montpelier, VT.

Hummer, J. E., Rasdorf, W., & Zhang, G. (2011). Linear mixed-effects models for paint pavement-marking retroreflectivity data. *Journal of transportation engineering*, 137(10), 705-716. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)te.1943-5436.0000283](https://doi.org/10.1061/(asce)te.1943-5436.0000283).

Laurinavičius, A., Skersys, K., Jasiūnienė V., Pakalnis A., Starevičius M. (2009). Analysis and evaluation of the effect of studded tyres on road pavement and environment. *The Baltic journal of road and bridge engineering*, 4 (3), 115-122. <http://dx.doi.org/10.3846/1822-427X.2009.4.115-122>.

Lee, J. T., Maleck, T. L. and Taylor, W. C. (1999) Pavement Marking Material Evaluation Study in Michigan. *Institute of Transportation Engineering Journal*, 69, 44-51.

Lietuvos automobilių kelių direkcija prie Susisiekimo ministerijos. (2012). *Lietuvos automobilių kelių direkcijos prie Susisiekimo ministerijos direktoriaus 2012 m. lapkričio 16 d. įsakymas „Dėl kelių ženklavimo medžiagų naudojimo ir ženklavimo įrengimo taisyklių IT ŽM 12 patvirtinimo“* (Nr. V-389). <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.437892>.

Lietuvos automobilių kelių direkcija prie Susisiekimo ministerijos. (2012). *Lietuvos automobilių kelių direkcijos prie Susisiekimo ministerijos direktoriaus 2012 m. sausio 31 d. įsakymas „Dėl kelių horizontaliojo ženklavimo taisyklių patvirtinimo“* (Nr. 3-82). <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.418377>.

Lietuvos automobilių kelių direkcija prie Susisiekimo ministerijos. (2012). *Lietuvos automobilių kelių direkcijos prie Susisiekimo ministerijos direktoriaus 2012 m. lapkričio 16 d. įsakymas „dėl kelių ženklavimo medžiagų techninių reikalavimų aprašo TRA ŽM 12 patvirtinimo“* (Nr. 3-390). <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.437894>.

LST EN 1436:2018. Kelių ženklavimo medžiagos. Kelių naudotojams skirtos kelių horizontaliojo ženklavimo ženklų charakteristikos ir bandymo metodai. Lietuvos standartizacijos departamentas. Vilnius, 2018.

LST EN 1871:2002. Kelių ženklavimo medžiagos. Fizikinės savybės. Lietuvos standartizacijos departamentas. Vilnius, 2002.

Migletz, J., Graham, J. L., Harwood, D. W., & Bauer, K. M. (2001). Service life of durable pavement markings. *Transportation Research Record*, 1749 (1), 13-21. <https://doi.org/10.3141/1749-03>.

Mull, D. M., Sitzabee, W. E. (2011). Paint pavement marking performance prediction model. *Journal of Transportation Engineering*, 618-624. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)te.1943-5436.0000360](https://doi.org/10.1061/(asce)te.1943-5436.0000360).

Randazzo, C. (2013). Waterborne Traffic Markings Technology and Testing, Dow Coating Materials.

Review of directive 2004/42/EC. 2011. Oekopol GmbH, Institute for Environmental Strategies. Stockholm.

Riigiteede liikluskorralduse juhise, Tallinn: Maanteeamet. 2018.

Road Safety Foundation – Getting Ahead
[http://eurorap.org/media/2261/20081001_CSRD_GettingAhead_bookletWEBv3\[1\].pdf](http://eurorap.org/media/2261/20081001_CSRD_GettingAhead_bookletWEBv3[1].pdf)

Road Safety Marking Association ‘White Lanes Save Lives’
http://www.rsma.co.uk/index.php/resources/public-documents/doc_download/26-white-lines-saves-lives.html.

Sitzabee, W. E., Hummer, J. E., & Rasdorf, W. (2009). Pavement marking degradation modeling and analysis. *Journal of infrastructure systems*, 190-199.
[https://doi.org/10.1061/\(asce\)1076-0342\(2009\)15:3\(190\)](https://doi.org/10.1061/(asce)1076-0342(2009)15:3(190)).

Specification for Road Works Series 1200 - Traffic Signs and Road Markings, Dublin: Transport Infrastructure Ireland, 2013.

Sven-Olof Lundkvist, Jonas Ihlström and Mohammad-Reza Yahya, ‘Condition assessment of road markings 2012 summary of the results from all regions in Sweden’
<http://www.vti.se/en/publications/pdf/condition-assessment-of-road-markings-2012-summary-of-the-results-from-all-regions-in-sweden.pdf>

SWOV (2006). Sustainable Safety National Road Safety Outlook for 2005-2020.
http://www.swov.nl/rapport/dmdv/Advancing_sustainable_safety.pdf

Szczegółowe specyfikacje techniczne oznakowanie poziome dróg. Warszawa: GDDKIA. 2012 i 2018.

Teetööde tehniline kirjeldus, Tallinn: Maanteeamet. 2016.

Texas Department of Transportation (2004). Pavement Marking Handbook. Report. Texas, JAV.

PRIEDAI