VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

Jolita BRADULIENĖ

ŽVYRKELIŲ DULKĖTUMĄ MAŽINANČIŲ
MEDŽIAGŲ EFEKTYVUMO TYRIMAI
IR VERTINIMAS KELIO APLINKOJE

DAKTARO DISERTACIJA

TECHNOLOGIJOS MOKSLAI,
APLINKOS INŽINERIJA IR KRAŠTOTVARKA (04T)

LEIDYKLA
Vilnius TECHNIKA 2011

Disertacija rengta 2006–2011 metais Vilniaus Gedimino technikos universitete.

Mokslinis vadovas

doc. dr. Saulius VASAREVIČIUS (Vilniaus Gedimino technikos universitetas, technologijos mokslai, aplinkos inžinerija ir kraštotvarka – 04T).

Konsultantai:

prof. habil. dr. Pranas BALTRĖNAS (Vilniaus Gedimino technikos universitetas, technologijos mokslai, aplinkos inžinerija ir kraštotvarka – 04T),

doc. dr. Antanas Aloyzas JUZĖNAS (Vilniaus Gedimino technikos universitetas, technologijos mokslai, statybos inžinerija – 02T)

VG TU leidyklos TECHNIKA 1872-M mokslo literatūros knyga
<http://leidykla.vgtu.lt>

ISBN 978-9955-28-852-7

© VG TU leidykla TECHNIKA, 2011

© Jolita, Bradulienė, 2011

Autoriaus el. paštas: jolita.braduliene@vgtu.lt

VILNIUS GEDIMINAS TECHNICAL UNIVERSITY

Jolita BRADULIENĖ

INVESTIGATION OF EFFICIENCY
OF GRAVEL ROADS DUST
SUPPRESSANTS AND EVALUATION IN
THE ROAD ENVIRONMENT

DOCTORAL DISSERTATION

TECHNOLOGICAL SCIENCES,
ENVIRONMENTAL ENGINEERING (04T)

LEIDYKLA
Vilnius TECHNIKA 2011

Doctoral dissertation was prepared at Vilnius Gediminas Technical University in 2006–2011.

Scientific Supervisor

Assoc Prof Dr Saulius VASAREVIČIUS (Vilnius Gediminas Technical University, Technological Sciences, Environmental Engineering – 04T).

Consultants:

Prof Dr Habil Pranas BALTRĖNAS (Vilnius Gediminas Technical University, Technological Sciences, Environmental Engineering – 04T),

Assoc Prof Dr Antanas Aloyzas JUZĖNAS (Vilnius Gediminas Technical University, Technological Sciences, Civil Engineering – 02T).

Reziumė

Disertacijoje nagrinėjamos žvyrkelių eksploatavimo metu atsiradusios dulkėtumo problemos bei žvyrkelių priežiūroje taikomos dulkėtumo mažinimo medžiagos. Pagrindinis tyrimo objektas yra žvyrkelių dulkėtumą mažinančių medžiagų sąveika su žvyrkeliais. Žvyrkeliai yra svarbi susisiekimo sektoriaus dalis. Dulkėtumo sumažinimas žvyrkeliuose yra svarbus pakelės augalijos augimui (dulkės užkemša augalų poras ir augimas yra stabdomas) ir greta gyvenančių žmonių sveikatai. Pagrindinis disertacijos tikslas – surasti efektyvią naudojamų tirpalų mišinio koncentraciją, kuo mažiau kenkiančią žvyrkelio aplinkai. Disertacijoje taip pat siekiama ištirti siūlomo mišinio poveikį pakelės augalijai bei chloridų kiekį žvyrkelio dangoje bei šalikelėse, sudarant skersinį profilį.

Darbe sprendžiami keli pagrindiniai uždaviniai: tiriamas žvyrkelių dulkėtumą mažinančių medžiagų efektyvumas ir poveikis kelio aplinkai. Uždaviniai suformuluoti, atsižvelgiant į analizuojamą problemą, ieškant informacijos užsienio šalyse, siejasi su atliktų tyrimų rezultatais ir jų modeliavimu.

Disertaciją sudaro įvadas, šeši skyriai, bendrosios išvados ir rekomendacijos, naudotos literatūros ir autoriaus publikacijų disertacijos tema sąrašai ir vienas priedas.

Įvadiniamame skyriuje aptariama tiriamoji problema, darbo aktualumas, aprašomas tyrimų objektas, formuluojamas darbo tikslas bei uždaviniai, aprašoma tyrimų metodika, darbo mokslinis naujumas, darbo rezultatų praktinė reikšmė, ginamieji teiginiai. Įvado pabaigoje pristatomos disertacijos tema autoriaus paskelbtos publikacijos ir pranešimai konferencijose bei disertacijos struktūra.

Pirmasis skyrius skirtas literatūros šaltinių analizei. Jame analizuojama informacija apie dulkių dalelių atsiradimą ir dinamiką, dulkėtumą mažinančias medžiagas, jų naudojimą, bendruosius taikymo principus, veikimą, naudojamus kiekius, efektyvumą, poveikį aplinkai, pasaulio šalyse naudojamas medžiagas, kietųjų dalelių sklaidos modeliavimą. Skyriaus pabaigoje formuluojamos išvados ir uždaviniai. Antrajame skyriuje pateikiama kietųjų dalelių emisijos mažinimo laboratorinių tyrimų metodikos, rezultatų analizė, išvados. Trečiajame skyriuje pateikiamos eksperimentinio kelio ruožo aplinkoje tyrimų metodikos, rezultatų analizė, išvados. Ketvirtajame skyriuje pateikiamos žolinių augalų augimo užterštame dirvožemyje tyrimų metodikos, rezultatų analizė, išvados. Penktajame skyriuje pateikiama modeliavimo metodika, gautų modeliavimo rezultatų palyginimas su tyrimų metu gautais rezultatais, pateikiamos išvados. Šeštajame skyriuje aprašomas aplinkosauginis sprendimas.

Disertacijos tema paskelbti 7 straipsniai: du – žurnaluose, referuojamuose ISI Web of Science duomenų bazėje, vienas – konferencijų medžiagoje, referuojamoje ISI Proceedings duomenų bazėje, trys – recenzuojamose Lietuvos konferencijų medžiagoje, vienas – nerecenzuojamoje Lietuvos konferencijos medžiagoje. Disertacijos tema perskaityti 2 pranešimai tarptautinėse ir 5 pranešimai konferencijose Lietuvoje.

Abstract

The dissertation analyses the gravel road dust problem, which is emergent during road maintenance using dustiness reducing materials. The main object of research is the gravel road dust suppressants interaction with gravel roads. Gravel road is an important service sector. Dust reduction of gravel roads is an important thing for roadside vegetation growth (dust blocks the pores and plant growth is stopped) and living next to people's health. The main aim of work is to find effective concentration of the mixture, the less damaging the gravel road environment. In the dissertation also aims to investigate the impact of the proposed mixture to roadside vegetation and the amount of chloride in the cover of gravel road and at the roadside making the transverse profile.

The work deals with several main tasks: the efficiency of gravel roads dust suppressants and its impact on gravel road environment. The tasks were formulated according to analysed problem and finding information in foreign countries, tasks were related to investigations carried out by the results and with the simulation of results obtained.

The dissertation consists of an introduction, six chapters, general conclusions and recommendations, list of references and list of the author's scientific publication on the dissertation topic and 1 addendum.

The introductory chapter discusses the research problem, topicality of the work, describes the object of research, formulates aim and tasks of the work, describes research methodology and scientific novelty of the work, practical value of the work's results and defended propositions. Finally, the introduction presents the author's publications and conference reports on the dissertation topic and structure of the scientific work.

The first chapter is intended for review of the literature. It contains information about the rise and the dynamics of dust particles, dust suppressants, its usage, the common principles of the application and working of dust suppressants, effectiveness and environmental impact, materials used in the world, particulate matter scatter modeling. At the end of this chapter are formulated conclusions and tasks. The second–fourth chapters present the research methodology, the results and analysis, conclusions. The fifth chapter presents the methodology of modeling and simulation results comparison with investigation results and conclusions. The sixth chapter describes the suggested environmental consideration.

7 articles are published on the dissertation topic: two – in ISI Web of Science refereed journal, one – in conference material entered in ISI Proceedings, three – in reviewed Lithuanian conferences materials, one – in not reviewed Lithuanian conferences material. 2 conference reports were made at international and 5 at conferences in Lithuania on the topic of dissertation.

Žymėjimai

Simboliai

c – dulkių koncentracija;

KD_{konc} – kietųjų dalelių koncentracija;

$L(p)$ – laikas paromis;

m – filtro masė;

p – slėgis;

Q – per filtrą prasiurbto oro tūris;

R – koreliacijos koeficientas;

$R_{10\%MMP}$ – koreliacijos koeficientas mėginiui, apdorotam 10 % MMP tirpalo koncentracija;

$R_{10\%MMP+CaCl_2}$ – koreliacijos koeficientas mėginiui, apdorotam mišiniu su 10 % MMP tirpalo ir 35,6 % kalcio chlorido koncentracija;

t – išmatuota temperatūra;

T – temperatūra normaliomis sąlygomis (kai $p = 101,325$ kPa, $T = 0^\circ\text{C}$).

Santrumpos

ADMS – sklaidos atmosferoje modeliavimo sistema (angl. Atmospheric Dispersion Modelling System);

BDS – biocheminis deguonies suvartojimas;

DLK – didžiausia leidžiama koncentracija;

KET – kelių eismo taisyklės;

KD (angl. PM) – kietosios dalelės (angl. particulate matter);

MMP (angl. MBM) – melasos pagrindo medžiaga (angl. molasses based material);

VMPEI – vidutinis metinis paros eismo intensyvumas;

vnt. – vienetai.

Turinys

IVADAS	1
Tiriamoji problema	1
Darbo aktualumas	2
Tyrimų objektas	2
Darbo tikslas	2
Darbo uždaviniai	2
Tyrimų metodika	3
Darbo mokslinis naujumas ir jo reikšmė	3
Darbo rezultatų praktinė reikšmė	3
Ginamieji teiginiai	4
Darbo rezultatų aprobavimas	4
Disertacijos struktūra	4
 1. ŽVYRKELIŲ DULKĖTUMAS IR JO MAŽINIMUI TAIKOMOS MEDŽIAGOS	 5
1.1. Kietųjų dalelių atsiradimas ir dinamika	5
1.2. Dulkėtumą mažinančios medžiagos, jų naudojimas ir rekomenduojami kiekiai	8
1.3. Dulkėtumą mažinančių medžiagų bendrieji taikymo principai ir veikimas	13
1.4. Dulkėtumą mažinančių medžiagų efektyvumas bei poveikis aplinkai	16
1.5. Žvyrkelių dulkėtumo mažinimui naudojami produktai ir tyrimai	32
1.6. Kietųjų dalelių sklaidos modeliavimas kelio aplinkoje	46
1.7. Pirmojo skyriaus išvados ir disertacijos uždavinių formulavimas	47

2. KIETŲJŲ DALELIŲ EMISIJOS MAŽINIMO NAUDOJANT ĮVAIRIUS TIRPALUS LABORATORINIAI TYRIMAI	49
2.1. KD emisijos mažinimo, naudojant CaCl_2 , tyrimų metodika	50
2.2. KD emisijos mažinimo, naudojant CaCl_2 , tyrimų rezultatai ir analizė	52
2.3. KD emisijos mažinimo, naudojant MMP bei jos mišinius su CaCl_2 , tyrimų metodika	56
2.4. KD emisijos mažinimo, naudojant MMP bei jos mišinius su CaCl_2 , tyrimų rezultatai ir analizė	57
2.5. Antrojo skyriaus išvados	62
3. KIETŲJŲ DALELIŲ EMISIJOS EKSPERIMENTINIO KELIO RUOŽO APLINKOJE TYRIMAI	63
3.1. KD emisijos kelio aplinkoje tyrimų metodika	64
3.2. KD emisijos kelio aplinkoje tyrimų rezultatai ir analizė	68
3.3. KD emisijos eksperimento rezultatų sąryšio su aplinkos sąlygų parametrais statistinis įvertinimas	79
3.4. KD emisijos eksperimentų laboratorinėmis ir lauko sąlygomis rezultatų palyginimas	85
3.5. Chloridų koncentracijų kelio aplinkoje tyrimų metodika	88
3.6. Chloridų koncentracijų kelio aplinkoje tyrimų rezultatai ir analizė	90
3.7. Trečiojo skyriaus išvados	92
4. ŽOLINIŲ AUGALŲ AUGIMO UŽTERŠTAME DIRVOŽEMYJE LABORATORINIAI TYRIMAI	93
4.1. Žolinių augalų MMP ir CaCl_2 tirpalais užterštame dirvožemyje augimo tyrimų metodika	93
4.2. Žolinių augalų MMP ir CaCl_2 tirpalais užterštame dirvožemyje augimo tyrimų rezultatai ir analizė	96
4.3. Ketvirtąjo skyriaus išvados	105
5. KIETŲJŲ DALELIŲ SKLAIDOS KELIO APLINKOJE MODELIAVIMAS	107
5.1. KD sklaidos kelio aplinkoje modeliavimo metodika	107
5.2. KD sklaidos kelio aplinkoje modeliavimo rezultatai ir analizė	109
5.3. Penktojo skyriaus išvados	120
6. PARENGTA METODIKA IR SIŪLOMAS APLINKOSAUGINIS SPRENDIMAS	121
6.1. Teršalų koncentracijos dirvožemyje skaičiavimas	121
6.2. Medžiaga žvyrkelių dulkėtumui mažinti	123
6.3. Šeštojo skyriaus išvados	124
BENDROSIOS IŠVADOS IR REKOMENDACIJOS	125
LITERATŪRA IR ŠALTINIAI	127
AUTORIAUS PUBLIKACIJOS DISERTACIJOS TEMA	139
PRIEDAS. KD EMISIJŲ KELIO APLINKOJE TYRIMŲ REZULTATAI IR KORELIACIJOS KOEFICIENTAI	141

Contents

INTRODUCTION	1
Problem of the work	1
Topicality of the work	2
Object of the research	2
Aim of the work	2
Tasks of the work	2
Methodology of research	3
Scientific novelty of the work	3
Practical value of the work	3
Defended propositions	4
Approbation of the scientific work	4
Structure of the scientific work	4
1. GRAVEL ROADS DUSTINESS AND DUST SUPPRESSANTS	5
1.1. Dust generation and dynamic	5
1.2. Dust suppressants, uses of them and recommended rate	8
1.3. Common principles of the application and working of dust suppressants	13
1.4. Effectiveness of dust suppressants and its environmental impacts	16
1.5. Products of gravel roads dustiness minimisations and researches	32
1.6. Modeling of scatter of particulate matter in road environment	46
1.7. First chapter conclusions and formulation of dissertation tasks	47

2. LABORATORY INVESTIGATION OF REDUCTION OF PARTICULATE MATTER EMISSION WHEN USING DIFFERENT SOLUTIONS	49
2.1. Investigation methodology of reduction of PM emission, when using CaCl_2 ..	50
2.2. Results and analyse of reduction of PM emission, when using CaCl_2	52
2.3. Investigation methodology of reduction of PM emission, when using MBM and its mixtures with CaCl_2	56
2.4. Results and analyse of reduction of PM emission, when using MBM and its mixtures with CaCl_2	57
2.5. Second chapter conclusions	62
3. INVESTIGATION OF PARTICULATE MATTER EMISSION IN EXPERIMENTAL ROAD SECTION ENVIRONMENT	63
3.1. Investigation methodology of PM emission in road environment	64
3.2. Results and analyse of PM emission in road environment	68
3.3. Statistical evaluation of experiment data of PM emission and air conditions parameters	79
3.4. Comparison of results of experiments of PM emission in laboratory and field ..	85
3.5. Investigation methodology of concentration of chlorides in road environment ..	88
3.6. Results and analyse of concentration of chlorides in road environment	90
3.7. Third chapter conclusions	92
4. LABORATORY INVESTIGATION OF GROWTH OF GRASS VEGETATION IN POLLUTED SOIL	93
4.1. Investigation methodology of growth of grass vegetation in soil polluted with MBM and CaCl_2	93
4.2. Results and analyse of growth of grass vegetation in soil polluted with MBM and CaCl_2	96
4.3. Fourth chapter conclusions	105
5. MODELING OF PARTICULATE MATTER SCATTER IN ROAD ENVIRONMENT	107
5.1. Methodology of modeling of PM scatter in road environment	107
5.2. Results and analyse of modeling of PM scatter in road environment	109
5.3. Fifth chapter conclusions	120
6. THE DEVELOPED METHODOLOGY AND SUGGESTED ENVIRONMENTAL CONSIDERATION	121
6.1. Calculation of pollutants concentration in soil	121
6.2. Material for gravel road dust minimization	123
6.3. Sixth chapter conclusions	124
GENERAL CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS	125
REFERENCES	127
LIST OF THE AUTHOR'S PUBLICATIONS ON THE TOPIC OF DISSERTATION ..	139
APPENDIX. INVESTIGATION OF PM EMISSION IN ROAD ENVIRONMENT DATA AND CORRELATION COEFFICIENT.....	141

Ivadas

Tiriamoji problema

Didžiausią neigiamą įtaką aplinkai, eismo saugumui ir žmonių gyvenimo kokybei daro žvyrkeliai dėl jų dulkėjimo ir kietųjų dalelių sklaidos keliuose bei pakelės zonose. Žvyrkeliuose dulkėtumas susidaro dėl žvyro dangos dėvėjimosi, veikiant klimato veiksniams ir transportui. Pagrindinis žvyrkelių dulkėjimo mažinimo uždavinys ir tikslas yra neleisti susidaryti dulkių debesiui iš žvyro dangoje esančių ir dangos dėvėjimo procese atsirandančių smulkiųjų dalelių (Kelių su... 2004).

Mažinant kelių dulkėtumą žvyrkeliuose vasaros sezono metu barstoma ir purškiama tirpalo pavidale cheminė medžiaga, kuri pirmiausiai patenka ant važiuojamosios kelio dalies bei jos kelkraščių ir tiesiogiai teršia šalia kelio esančią kelio apsaugos zonos žemę. Galima ir netiesioginė aplinkos tarša, kai atmosferos krituliai cheminę medžiagą išplauna iš kelio apsauginės zonos žemės į netoliese kelio esančius paviršinius ir gruntinius vandenis bei kai cheminė medžiaga iš dirvožemio (Eidukevičienė ir Vasiliauskienė 2001) ir vandens patenka į augalus.

Pakilusios dulkės gali būti nešiojamos iki šimto metrų atstumu, prasiskverbti į gyvenamuosius namus, padengti pasėlius, dėl to jų augimas gali sulėtėti. Nusėdusios smulkios žvyro dalelės didina vandenų drumstumą. Dulkės yra viena iš alergijų priežasčių bei gali pernešti ligas. Smulkios žvyro dalelės gali būti abrazyvios ir todėl pagreitėja judančių autotransporto priemonių dalių nusidėvėjimas. Smulkios dalelės

pakyla į orą ir nupučiamos, todėl prarandama žvyrkelio dangos medžiaga. Dulkės mažina matomumą ir kelia pavojų eismo saugumui (Baltrėnas ir Morkūnienė 2004; Baltrėnas ir kt. 2006; 2007; Girgždienė ir Rameikytė 2007).

Apibendrinant galima teigti, kad didžiausia žvyrkeliuose sukkelto dulketumo problema yra aplinkos komponentų (tiek oro, tiek vandens) tarša kietosiomis dalelėmis, kurios per užterštus aplinkos komponentus tiesiogiai (patenka į gyvųjų organizmų kvėpavimo takus, stabdo floros augimą) ir netiesiogiai (daugiausiai per mitybos grandines bei vandens nuotėkį) kenkia gyvajai gamtai.

Darbo aktualumas

Šiuo metu yra vis dar daug neasfaltuotų kelių. Iki šiol nėra surasta ar sukurta tokių efektyvių ir nebrangių cheminių ar techninių priemonių, kurios užtikrintų eismo saugumą ir komfortą vasarą bei kartu neturėtų neigiamo poveikio aplinkai. Žvyrkelių dulkejimas yra pagrindinė kelio aplinkos oro taršos kietosiomis dalelėmis priežastis, todėl būtina ieškoti priemonių, mažinančių kietųjų dalelių sklaidimą. Atliekant daugumą dulketumą mažinančių medžiagų tyrimų susitelkiama ties jų efektyvumu, o informacijos apie jų poveikį aplinkai nėra.

Žvyrkelių dulketumas yra labai aktuali problema. Žvyrkelių dulketumą tyrinėja mokslininkai visame pasaulyje. Pasaulyje žinomi mokslininkai dirbę ir dirbantys žvyrkelių dulketumo mažinimo srityje yra J. Q. Addo, T. G. Sanders, P. Bolander, A. Yamada, G. Foley, G. Giummarra, Y. H. Huang ir kt. Lietuvoje šią problemą tiria D. Čygas, A. Laurinavičius, D. Žilionienė, A. A. Juzėnas, P. Baltrėnas, A. Kazlauskienė, S. Vasarevičius ir kt.

Tyrimų objektas

Darbo tyrimų objektas – žvyrkelių dulketumą mažinančių medžiagų sąveika su žvyrkeliais.

Darbo tikslas

Ištirti žvyrkelių dulketumui mažinti naudojamų medžiagų (melasos pagrindu ir jos mišinių su technine druska) efektyvumą ir surasti efektyvią tyrimų metu naudojamų tirpalų mišinio koncentraciją, kuo mažiau kenkiančią žvyrkelio aplinkai.

Darbo uždaviniai

Darbo tikslui pasiekti darbe reikia spręsti šiuos uždavinius:

1. Išanalizuoti žvyrkelių dulkėtumo mažinimui naudojamų cheminių medžiagų poveikį aplinkai bei įvertinti šiuo metu kelių priežiūrai vasaros metu naudojamų įvairių priemonių privalumus ir trūkumus, siekiant sumažinti aplinkos taršą.
2. Atlikti žvyrkelių dulkėtumo tyrimus, apdorojant žvyrkelius medžiaga melasos pagrindu bei jos mišiniu su technine druska ir neapdorojant jų, dulkėtumo tyrimus atliekant laboratorinėmis ir natūraliomis (lauko) sąlygomis.
3. Nustatyti optimalią dulkėtumui mažinti medžiagos melasos pagrindu ir jos mišinio su technine druska koncentraciją, kuo mažiau kenkiančią kelių aplinkos augalijai.
4. Atlikti kietųjų dalelių sklaidos žvyrkelių aplinkoje modeliavimą, nustatant kietųjų dalelių emisijos koeficientus tam tikromis aplinkos sąlygomis pagal dulkėtumui mažinti naudojamus tirpalus.

Tyrimų metodika

Darbe taikomi kietųjų dalelių koncentracijos svorinio ir optinio nustatymo metodai, chloridų koncentracijos dirvožemyje titrimetrinis cheminės analizės metodas bei žolinių augalų augimo užterštame dirvožemyje metodas.

Darbo mokslinis naujumas ir jo reikšmė

Ši disertacija yra kompleksinis darbas, skirtas mažinti žvyrkelių dulkėjimą, kartu nekeičiant pavojaus aplinkai, taikant iki šiol Lietuvoje žvyrkelių dulkėtumui mažinti nenaudotą medžiagą melasos pagrindu ir jos mišinius su technine druska, o modeliavimo rezultatus panaudojant kietųjų dalelių sklaidos į kelio apsaugos zoną prognozavimui. Rengiant disertaciją buvo gauti šie aplinkos inžinerijos ir kraštotvarkos mokslui nauji rezultatai:

1. Atlikti pasirinktų mišinių kompleksiniai tyrimai, norint sužinoti siūlomų mišinių efektyvumą, mažinant žvyrkelių dulkėtumą, poveikį žoliniams augalams ir chloridų koncentraciją žvyrkelių dangoje bei kelio aplinkoje.
2. Patobulintas mišinys žvyrkelių dulkėtumui mažinti.

Darbo rezultatų praktinė reikšmė

Darbo rezultatai gali būti pritaikyti Lietuvos bei panašių klimato sąlygų šalių žvyrkelių dulkėtumo mažinimui, o kietųjų dalelių sklaidos kelio aplinkoje modeliavimo

rezultatai padės geriau apsaugoti kelio apsaugos zoną ir joje esančius želdinius nuo kietųjų dalelių sklaidimo.

Ginamieji teiginiai

1. Laistant žvyrkelius medžiaga melasos pagrindu (MMP) mažinama kietųjų dalelių (KD) koncentracija žvyrkelių aplinkos ore.
2. Medžiaga melasos pagrindu (MMP) gali būti pritaikyta naudoti Lietuvos ir panašių klimato sąlygų šalių žvyrkelių dulkėtumui mažinti.
3. Žolinių augalų antžeminės dalies aukštis tiesiogiai proporcingas medžiagos melasos pagrindu kiekiui dirvožemyje.

Darbo rezultatų aprobavimas

Disertacijos tema paskelbti 7 straipsniai: du – mokslo žurnaluose, referuojamuose ISI Web of Science duomenų bazėje (Bradulienė ir Vasarevičius 2010a; 2011), vienas – konferencijų medžiagoje, referuojamoje ISI Proceedings duomenų bazėje (Zaveckytė ir Vasarevičius 2008), vienas – recenzuojamoje Lietuvos konferencijos medžiagoje, įtrauktoje į Index Copernicus duomenų bazę (Bradulienė ir Vasarevičius 2010b), du – recenzuojamoje Lietuvos konferencijos medžiagoje (Balionis ir kt. 2008; Zaveckytė ir Vasarevičius 2007), vienas – nerecenzuojamoje Lietuvos konferencijos medžiagoje (Bradulienė ir Vasarevičius 2009).

Disertacijoje atliktų tyrimų rezultatai buvo paskelbti 2 tarptautinėse ir 5 respublikinėse konferencijose Lietuvoje:

- Jaunųjų mokslininkų konferencijoje „*Mokslas – Lietuvos ateitis*“ 2007–2011 m. Vilniuje;
- Tarptautinėje konferencijoje „*Environmental Engineering*“ 2008 m. ir 2011 m. Vilniuje.

Disertacijos struktūra

Disertaciją sudaro įvadas, šeši skyriai, bendrosios išvados ir rekomendacijos, naudotos literatūros ir autoriaus publikacijų disertacijos tema sąrašai ir vienas priedas.

Darbo apimtis yra 156 puslapiai, tekste panaudotos 14 numeruotų formulių, 69 paveikslai ir 19 lentelių. Rašant disertaciją buvo panaudota 165 literatūros šaltiniai.

Žvyrkelių dulkėtumas ir jo mažinimui taikomos medžiagos

Skyriuje analizuojamas kietųjų dalelių atsiradimas. Susisteminta informacija apie dažniausiai dulkėtumo mažinimui naudojamas medžiagas, jų naudojimą, rekomenduojamus kiekius, aprašyti bendrieji medžiagų taikymo principai bei veikimas. Nagrinėjamas medžiagų efektyvumas ir poveikis aplinkai. Aprašomi tyrimai, susiję su dulkėtumo mažinimu, pateikiami dažniausiai naudojami kietųjų dalelių sklaidos modeliai.

1.1. Kietųjų dalelių atsiradimas ir dinamika

Svarbi transporto infrastruktūros dalis Lietuvoje yra automobilių keliai. Šiuo metu bendras Lietuvos kelių tinklo ilgis siekia daugiau kaip 21 tūkstantį kilometrų. Pagal kelių įstatymą keliai skirstomi į valstybinės ir vietinės reikšmės kelius (2002–2015 metų... 2001). 2008 m. kovo 5 d. duomenimis (Lietuvos keliai 2008) rajoninių valstybinės reikšmės kelių su žvyro danga buvo 8091 km. 2010 m. sausio 1 d. duomenimis (Kelių dangos 2010) Valstybinės reikšmės kelių, kurių danga yra žvyras, ilgis Lietuvoje yra 7604 km (Priešnuodžiai dulkėms 2006).

Kai transporto priemonė pravažiuoja per neasfaltuotą paviršių greičiu $V_{\text{automobilio}}$, vertikalus spaudimas (dėl automobilio svorio $WT_{\text{automobilio}}$) sukelia paviršiaus vibraciją ir deformaciją, sutraikšo dideles daleles į mažesnes ir ištaško daleles į orą (1.1 a pav.). $WT_{\text{automobilio}}$ ir $V_{\text{automobilio}}$ įtakoja susidarantių dalelių skaičių. $V_{\text{automobilio}}$ nulemia pradinį susidariusių dalelių greitį padangos apačioje. Horizontalus įtempimas ir trintis, kuri labiausiai įtakoja važiuojančio automobilio greičio ir pagreičio ištvermės, toliau smulkina daleles ir nešioja jas nuo padangų paviršiaus.

Slydimas tarp padangų ir dangos paviršiaus pakelia skirtingo dydžio daleles, pakilusias dėl adhezijos ir šlyties jėgų. Tada dėl išcentrinų jėgų ir oro pasipriešinimo jėgų (1.1 a pav.) nuo skirtingų padangų paviršiaus vietų į orą išmetamos dalelės. $V_{\text{automobilio}}$ nulemia pradinį dalelių greitį nuo padangų paviršiaus, o padangų kampinis greitis $\omega_{\text{padangų}}$ ir spindulys $R_{\text{padangų}}$, dalelių tūris arba dydis v_p , dalelių tankis ρ_p , ir dalelių lipnumas σ_p įtakoja dalelių nukritimo nuo padangų paviršiaus vietą.

Slėgio gradientas susidaro dėl judančio oro po ir už transporto priemonės, taip pat pakelia mažas daleles (1.1 b pav.). Dalelių pradinis greitis priklauso nuo energijos, susijusios su slėgio gradientu vertikaloje kryptyje. Slėgio ir greičio fluידo vietoje skaičiavimui naudojamas transporto priemonės ilgis $L_{\text{automobilio}}$, aukštis $H_{\text{automobilio}}$ ir plotis $W_{\text{automobilio}}$.

1.1 pav. Jėgos tarp rato ir grunto: (a) dalelės aplink ratą, (b) dalelės po ir už transporto priemonės (Chen ir Fu, 1999)

Fig. 1.1. Forces between the wheels and the ground: (a) particles generated around the tire and (b) particles generated underneath and behind the vehicle (Chen and Fu, 1999)

Galima išskirti ir daugelį kitų aplinkos sąlygų veiksnių, veikiančių dalelių susidarymą: vėjo greitis $V_{\text{vėjo}}$, dalelių antžeminis tankis ρ_{dangos} , dalelės vidutinis tūris arba dydis v_{dangos} ir dangos adhezija ir drėgnumas σ_{dangos} . Jei paviršius yra šlapias ir vidutinis dalelių dydis yra didelis, susidaro mažiau dalelių. Jei dangos paviršiaus dalelių tankis didelis, susidaro daugiau dalelių.

Taigi, dauguma dalelių susidaro tiesiai už ir šalia ratų. Slėgio gradientas apačioje ir už automobilio pakelia nedaug mažų žvyro dalelių. Kiekviena susidariusi dalelė turi savo pradinį tankį, dydį, padėtį, greitį ir pradinį laiką (kuris naudojamas nustatyti dalelės amžių). Be to, dalelių forma įtakoja greičio kryptį. Dalelių masė ir dydis yra atsitiktinai generuojami pagal *Poisson* pasiskirstymą.

Kai dalelė atsiranda, ji nusodinama turbulenciniame sraute, susidarančiame už automobilio. Galiausiai ar ji sugrįš ant kelio paviršiaus, priklauso tik nuo dalelės savybių ir aplinkos sąlygų.

Smulkių žvyro dalelių dinamika apima tris etapus: susidarymas, judėjimas ir išnykimas. Kai dalelė vėl nukrinta ant dangos, laikoma, kad ji išnyksta.

Chen ir Fu (1999) išnagrinėję skirtingus dalelių susidarymo būdus, apskaičiavo dalelių pradinį greitį. Kai dalelė patenka į orą, ji juda pagal Niutono dėsnį. Išorinės jėgos apima sunkio jėgą ir oro trinties įtempimą dėl turbulencinio oro tekėjimo aplink transporto priemonę ir aplinkos vėjo. Šie tyrinėtojai pasiūlė aplinkos vėją uždėti fluido tėkmės viršuje. Todėl vėjas įvertinamas atskirai nuo oro trinties įtempimo dėl judančio automobilio.

Objektų forma įtakoja jų greitį fluido tėkmėje. Chen ir Fu (1999) pridėjo mažą, atsitiktinai susidariusią jėgą dalelių formos poveikio apskaičiavimui. Todėl jėgos, veikiančios dalelę, yra:

- turbulencinio oro trinties įtempimo jėga $F_{\text{įtempimo}}$, susidariusi dėl transporto priemonės judėjimo;
- vėjo jėga $F_{\text{vėjo}}$, kuri įvedama turbulencinio oro trinties įtempimo viršuje;
- dalelių sunkio jėga F_{sunkio} ;
- dalelių formos jėga F_{formos} .

Autoriai naudojo Batchelor (1967) išvadą, kad 3D paviršiaus kūno plote A greičio U tėkmėje bendras trinties įtempimo dydis yra:

$$F_{\text{įtempimo}} = k \rho_p U^2 A \text{Re}^{-1/2}, \quad (1.1)$$

čia k – skaičius, priklausantis tik nuo dalelių formos, ρ_p – dalelių tankis, $\text{Re} = L(U/v)$ ir

$$U = |(\mathbf{V}_{\text{oro}} + \mathbf{V}_{\text{automobilio}} + \mathbf{V}_{\text{vėjo}}) - \mathbf{V}_p|, \quad (1.2)$$

čia $\mathbf{V}_{\text{oro}}$ – fluido tekėjimo greitis dalelės susilietimo su automobiliu taške, $\mathbf{V}_{\text{automobilio}}$ – automobilio greitis, $\mathbf{V}_{\text{vėjo}}$ – vėjo greitis, $\mathbf{V}_p$ – dalelės tekėjimo greitis. Įtempimo jėga veikia prieš dalelių judėjimą ir todėl jos kryptis yra priešinga $\mathbf{V}_p$. Todėl įtempimo dydis ir kryptis dalelei yra:

$$F_{\text{tempimo}} = \frac{(V_{\text{oro}} + V_{\text{automobilio}} + V_{\text{vejo}}) - V_p}{U}. \quad (1.3)$$

Tegul F_p yra bendra jėga, veikianti dalelę, P pozicija, V_p greitis, A_p pagreitis, $m_p = \rho_p v_p$ dalelės masė. Tada sekanti lygybė aprašo dalelės elgesį:

$$F_p = F_{\text{tempimo}} + F_{\text{forma}} + F_{\text{sunkio}} \quad (1.4)$$

ir

$$A_p = \frac{F_p}{m_p}. \quad (1.5)$$

Skaičiavimo supaprastinimui naudojamas Eulerio metodas apytikslei dalelės sandarai:

$$V_i = V_{i-1} + A_p \cdot \Delta t, \quad (1.6)$$

$$P_i = P_{i-1} + V_i \cdot \Delta t. \quad (1.7)$$

Dulkių elgesio skaičiavimo algoritmas yra toks: žinamai dalelės tekėjimo būsenai $\{V_{i-1}, P_{i-1}\}$ lygtys (1.6) ir (1.7), kurios naudoja lygčių (1.1) ir (1.5) sprendinius, skaičiuoja kitą būseną $\{V_i, P_i\}$ po laiko Δt . Dalelių pradinis greitis po ir už transporto priemonės yra pridamas prie tekėjimo greičio. Duotas transporto priemonės modelis apibūdinamas baigtinėmis tinklelio koordinatėmis dėžės tūryje – jos plotis yra apie 3–5 automobilio pločiai, ilgis apie 10 automobilio ilgių. Baigtinis tinklelio tūris juda išilgai automobilio, o tėkmė, modeliuojanti automobilio judėjimo formą, gali būti laikoma kaip įtekėjimo išnykimas aplink stacionarų automobilį. Įtekėjimas nustatomas tinklelio sistemos riba.

Naudojantis Ghia ir kt. (1997) priartėjimu anksčiau išspręstos lygtys sprendžiamos skaitiškai. Kai automobilis pakeičia greitį, pvz., jei jis staiga pajuda ar stabdo, įtekėjimas pasikeičia ir atitinkamai skaičiuojamas tėkmės modelis. Tuo tarpu priartėjama prie turbulencinio greičio standartinio nuokrypio, naudojant Prandtliaus teoriją. Dalelių skaičius yra proporcingas apibrėžtam dangos dalelių tankiui, dydžiui ir drėgnumui. Padangos taip pat išmeta daleles, ir jų maksimali sukibimo jėga yra apibūdinama empiriškai ir pagal atsitiktinį pasiskirstymą.

1.2. Dulkėtumą mažinančios medžiagos, jų naudojimas ir rekomenduojami kiekiai

Remiantis oro taršos tyrimais beveik 34 % smulkių dalelių atmosferoje atsiranda iš neasfaltuotų ir neapdorotų jokiomis medžiagomis kelių, todėl žvyrkeliai yra vienas iš pagrindinių dirbtinių į orą pakilusių dulkių šaltinių (Baxter 2002; Bar-

nard ir Stewart 1992). Stabili kelio danga yra kelio ilgaamžiškumo rodiklis (Mitchell 1993; Žilionienė ir kt. 2003; 2005; 2007; Čygas ir kt. 2008a; b; Laurinavičius ir kt. 2009a; b).

Tipinės dulkėtumo mažinimo medžiagų rūšys yra:

- Vanduo;
- Vandenį absorbuojantys produktai (tirpūs/higroskopiški): kalcio chlorido tirpalas ir dribsniai; magnio chlorido tirpalas; natrio chloridas (druska);
- Naftos produktai: bituminės emulsijos; šlapias asfaltas; aliejai; modifikuota bituminė emulsija;
- Organiniai (be naftos produktai): gyvuliniai riebalai; lignosulfonatas; melasa/cukriniai runkeliai; talo alyvos emulsija; augalinis aliejus;
- Elektrocheminiai produktai: enzimai; joniniai produktai; sulfoninta alyva;
- Sintetiniai polimero produktai: polivinilo acetatas; vinilo akrilatas;
- Molio priemaišos: bentonitas; montmorilonitas (Bolander ir Yamada 1999).

Bet kokios dulkėtumą mažinančios medžiagos veikimas priklauso nuo daugelio veiksnių. Taikymo metodas, kiekis, dažnumas ir produkto koncentracija yra keletas šių veiksnių. Stabilus, kietas paviršius, kuris lengvai nepraleidžia paviršinio vandens, yra kitas veiksnys. Jei priemonės tinkamai taikomos, galima tikėtis ilgalaikio ir geresnio rezultato (Alternatives to... 1996; Foley ir kt. 1996; Giummarra ir kt. 1997). Be to, dirvožemio sluoksnio storis taip pat įtakoja stabilumą (Huang 1993; Čygas ir Žilionienė 2002).

a)

b)

c)

1.2 pav. Dulkėtumą mažinančių medžiagų paskleidimas ant kelio naudojant purškimo: a) žarną, b) juostą, c) švirkštą (Potential Environmental... 2002)

Fig. 1.2. Topical application of a dust suppressant using a spray: a) hose, b) bar, c) gun (Potential Environmental... 2002)

Dulkėtumo mažinimo medžiagos taikomos jas purškiant (laistant) arba įmaišomos į paviršinį kelio sluoksnį (Thenoux ir Vera 2003). Laistymas yra at-

liekamas purškiant juosta ar per didelę žarną su purkštukais, esančiais sunkvežimio gale (žr. 1.2 a) ir b) pav.). Mažuose plotuose taikomas tiesioginis purškimas iš žarnos, laikant ją rankose (žr. 1.2 a) pav.). Didesniuose žemės plotuose taikomas purškimas iš juostos, pritvirtintos prie sunkvežimio (1.2 c) pav.), ir modifikuoto vandens cilindro (1.2 b) pav.). Bendras taikymo tipas, kai sausi produktai (dribsniai) purškiami ant paviršiaus ir produktai įmaišomi į gruntą, yra naudojamas rečiausiai.

Kitas dulkėtumą mažinančių medžiagų naudojimo metodas yra jų įmaišymas į kelio dangos paviršiaus gruntą. Dulkėtumą mažinančių medžiagų sumaišymas su kelio paviršiniu gruntu vykdomas etapais:

- 1) susmulkinta kelio paviršiaus danga sustumiama į volelius;
- 2) paskleidžiamos dulkėtumą mažinančios medžiagos;
- 3) susmulkintas gruntas grąžinamas į eismo juostą ir sutankinamas;
- 4) pakartotinai dulkėtumą mažinančios medžiagos paskleidžiamos ant kelio paviršiaus, jų nesumaišant su gruntu.

Dulkėtumą mažinančių medžiagų įterpimas į gruntą yra sudėtingesnis, bet efektyvesnis, nei medžiagų paskleidimas ant kelio paviršiaus jų neįterpiant.

Daly (2009) teigia, kad dulkėtumui mažinti yra daug geriau naudoti ne technines druskas ar vandenį, o polimerines dervas. Geriausios jų – akrilatas ir akrilamidas. Šios medžiagos daugiausiai naudojamos impregnuoti grindims, todėl gali būti tinkamos ir dulkėtumui mažinti. Dervos yra tirpios vandenyje, todėl nesudarytų problemų mišinius purkšti naudojama technika. Mišiniuose yra 20–25 % polimerinių dervų (Daly 2009).

Talamoni (2010) siūlo dulkėtumo mažinimui naudoti vandeninius tirpalus, tokius kaip: polivinilo alkoholį, akrilo pagrindo lateksą, glicerolį, silikono pagrindo medžiagas bei polisiloksano pagrindo drėkinimo medžiagas. Geriausia mišinių sandara yra tada, kai sudėtyje yra 10–46 % polivinilo alkoholio, 20–60 % akrilo pagrindo latekso, 0,6–7 % glicerolio, 0,1–1,5 % silikono pagrindo medžiagų bei 0,001–0,5 % polisiloksano pagrindo drėkinimo medžiagų. Siūlomos sudėties mišinys plonu sluoksniu (dažniausiai purškiant) padengiamas ant dulkėtumą sukeliančio paviršiaus. Džiūstantis mišinys sukelia 20–27 dyn/cm sluoksnio įtempimą.

Field ir Gagen (1991) dulkėtumui mažinti siūlo naudoti anijonitinius ir kationitinius polimerus iškart po vandens taikymo.

Dohner (1988) manymu, dulkių surišiklio sudėtis turi būti sudaryta iš etoksilato alkoholio ir etoksilato alkilfenolio vandeningo tirpalo. Siūlomų medžiagų santykis mišinyje turi būti nuo 1:3 iki 3:1. Mišinys purškiamas į dulkėtą orą.

Kremer (1990) teigia, kad surišiklių, sudarančių elastingą sluoksnį, sudėtyje turi būti bent 45 % vandens. Aromatinis tirpiklis turi elastingumo mažėjimo taš-

ką, kai temperatūra 40–70 °C. Šių dulkėtumo mažinimo medžiagų klampa yra 3,5–15 Pa·s prie 25 °C temperatūros. Norint paruošti tinkamą dulkėtumo mažinimo medžiagą, sudarančią elastingą sluoksnį, reikia atitinkamų sąlygų: medžiagos klampa 3,5–15 Pa·s, pH 7–9, virimo temperatūra 270 °C.

Hemiceliuliozė yra naudojama kaip dulkių surišiklis ir kaip stabilizatorius tokiems užpildams, kaip kelio dangą ar atviras grunto laukas. Kitos medžiagos gali būti naudojamos kaip sudedamosios dalys su hemiceliulioze. Mišinio sudėtyje esantis ligninas gali padidinti užpildo stabilizaciją, tirpiklis gali pakeisti klampą, papildomos medžiagos gali padidinti pasipriešinimą vandeniui. Taip pat į mišinį gali būti įdėta techninės druskos, kad padidėtų mišinio higroskopishumas (Schilling ir kt. 2005; 2004).

Usher (2007) teigimu, dulkių surišiklių sudėtyje turi būti melasos (30 %), tirpiklių (1 %), putojimą mažinančių medžiagų (1 %), proteinų mažinimo medžiagų (45 %) bei vandens (23 %).

Burns ir Hatfield (1982) siūlo dulkėtumo mažinimo medžiagų sudėtyje naudoti 0,01 % polietileno oksido.

Cotter (2008) siūlo kaip dulkėtumo mažinimo medžiagą naudoti gėrimus, kurių galiojimo laikas pasibaigęs. Pasibaigusio galiojimo gėrimai ant dulkėtumą sukeliančių paviršių gali būti išpurškiami naudojant vandens sunkvežimį. Į gėrimų sudėtį taip pat gali būti pridėti dulkėtumą mažinantys priedai.

Jones ir kt. (1997) siūlo dulkes absorbuojančiu skysčiu prisotintą substratą užpilti vandeniu ir hermetizuoti. Po žiemos tirpdamas ledas kelyje paliks medžiagą, kuri slopins dulkes.

Wilsin (1994) siūlo dulkėtumo mažinimo medžiagą, į kurios sudėtį įeina aliejus, emulsiklis, vanduo ir kiti priedai: vaškas, drėkiklis, pesticidai, medžiaga prieš putojimą, antioksidantai.

Naudojant skystas dulkėtumą mažinančias medžiagas, jų kiekiai kinta nuo 1,4 iki 4,5 l/m² ir priklauso nuo specifinių sąlygų (pvz., grunto tipo, žemės naudojimo, oro sąlygų medžiagų paskleidimo metu ir po jo) bei pačių medžiagų būklės, pvz., kietos akrilpolimero emulsijos kiekis yra 0,11–0,54 kg/m², skystos – 2,26–4,53 l/m².

Kad būtų pasiektas kuo didesnis dulkėtumą mažinančių medžiagų efektyvumas, medžiagas geriausia paskleisti ant kelių kelis kartus mažesniais kiekiais, nes vienu metu paskleidus didelį kiekį medžiagų jos gali nutekėti nuo kelio.

Dulkėtumą mažinančių medžiagų kiekis yra nustatomas pagal naudojamos kietos medžiagos masę grunto tūrio vienetui. Kietos formos dulkėtumo mažinimo medžiagos yra įmaišomos į grunto masės frakciją apytiksliai santykiu 1:300 (James ir kt. 1999). Dulkėtumą mažinančių medžiagų rekomenduojami kiekiai pateikti 1.1 lentelėje.

1.2 lentelėje pateikiami kelių dulkėtumą mažinančių medžiagų naudojimo kiekiai ir rekomenduojamas dažnumas žvyrkeliams.

1.1 lentelė. Dulkėtumą mažinančių medžiagų naudojimo kiekiai žvyrkeliams (Potential Environmental... 2002)

Table 1.1. Typical dust suppressant use rates for unpaved roads (Potential Environmental... 2002)

	Žvyrkeliuose, kai automobilių greitis:	
	mažas	didelis
Skystos medžiagos kiekis	2,26 l/m ²	4,53 l/m ²
Kietos medžiagos koncentracija	0,05 kg/l	0,12 kg/l
Kietos medžiagos kiekis	0,11 kg/m ²	0,54 kg/m ²
3,05 m pločio kelias		
Tipinis 1 sluoksnis (kietas)	0,330 kg/kelio km	1,653 kg/kelio km
Tipinis 1 sluoksnis (šlapias)	6,898 l/kelio km	13,799 l/kelio km
Smulkintas 1 sluoksnis (kietas)	0,661 kg/kelio km	3,306 kg/kelio km
Smulkintas 2 sluoksnis (šlapias)	13,799 l/kelio km	27,596 l/kelio km

1.2 lentelė. Dulkėtumą mažinančių medžiagų kiekiai ir naudojimo dažnumas (Sanders ir Addo 1993; Bolander ir Yamada 1999; Potential Environmental... 2002; Heffner 1997; DeCastro ir kt. 1996; Goldbeck 1997)

Table 1.2. Dust suppressants use rates and periodicity (Sanders ir Addo 1993; Bolander ir Yamada 1999; Potential Environmental... 2002; Heffner 1997; DeCastro *et al.* 1996; Goldbeck 1997)

Dulkėtumą mažinanti medžiaga	Kiekis	Naudojimo dažnis
1	2	3
Kalcio chloridas	0,434–1,086 kg/m ² (sausą druska) 0,904–2,260 l/m ² (tirpalas)	1–2 kartai per metus
Magnio chloridas	1,356–2,260 l/m ²	1–2 kartai per metus
Lignosulfonatas	0,434–6,781 l/m ² (skystas) 0,543–1,086 kg/m ² (milteliai)	1–2 kartai per metus
Augaliniai aliejai	Paprastai 1,085–2,260 l/m ²	1 kartas per metus
Aliejai	0,452–4,521 l/m ²	1 kartas per metus
Arcadias (DO-1, 2, 3); DO-4, 6PA, 8; CSS-1	0,904–2,260 l/m ²	–
Coherex	2,260–6,781 l/m ²	–

1.2 lentelės pabaiga

1	2	3
Organiniai rišikliai	Skysti: 2,260 l/m ² Sausi milteliai: 4,521–9,042 l/m ²	–
Polirišiklis akrilas (kopolimero dervos emulsija)	378 l/ha 1:20 praskiesto vandens	–
Sintetiniai polimerų dariniai	40–50 % likusio koncentrato taikoma praskiedus santykiu 1:9 (2,260 l/m ²)	Kartą per 2 metus
Molio priedai	Tipinė taikymo norma yra 1–3 % pagal sausąjį svorį	Kartą per 5 metus
Vanduo	0,5–4 % vandens konvejerio juostos sistemai	Dažnai, kiek reikia
Bitumai ir dervos arba dervingi rišikliai	0,452–4,52 l/m ² priklausomai nuo kelio paviršiaus sąlygų ir praskiedimo	1–2 kartai per metus

Kaip matyti iš 1.2 lentelės, daugelis medžiagų gali būti naudojamos 1–2 kartus per metus, išskyrus molio priedus, kurie gali būti naudojami kas 5 metus. Kietos medžiagos taikymo kiekis svyruoja nuo 0,434 iki 1,086 kg/m², o skystos – nuo 0,037 iki 23,06 l/m².

1.3. Dulkėtumą mažinančių medžiagų bendrieji taikymo principai ir veikimas

Prieš taikant dulkėtumą mažinančias priemones rekomenduojama atlikti šiuos parengiamuosius darbus:

- taisyti nestabilų paviršių ir/ar įvertinti kelių būklę;
- suformuoti atitinkamą kelio paviršiaus drenažą (išilginį ar skersinį);
- įvertinti, ar kelio dangos sluoksnis pakankamas, kad būtų pašalintos vėžės, duobės ir erozijos grioviai;
- sutankinti kelio dangą (priklausomai nuo apdorojimo ir procesų sekos).

Didžiausias efektas gali būti pasiektas dėl tinkamo skystų dulkėtumo mažinimo medžiagų skverbimosi gylio. Šis skverbimasis turėtų būti nuo 10 iki 20 mm. (Bolander ir Yamada 1999).

Visoms skystoms dulkėtumo mažinimo medžiagoms tinkančias rekomendacijas galima apibūdinti taip:

- dulkėtumo mažinimo medžiagas, ypač druskas, naudoti tuojau pat po šlapiojo sezono (Lietuvoje tai būtų pavasarį, išėjus pašalui);

- jei įmanoma, medžiagas (pagalbinių priemonių mišinį), kurios yra drėgnės ir labiau veikia, naudoti po lietaus. Jei taikoma tik prieš liūtį, medžiaga gali būti nuplauta;
- laikytis gamintojų rekomendacijų dėl mažiausio taikomos medžiagos kiekio, sutankinimo ir saugojimo laiko;
- naudoti slėginį skirstytuvą, kuris tolygiai paskirsto dulkėtumo mažinimo medžiagas.

Dulkėtumą mažinančių priemonių efektyvus parinkimas gali būti atliekamas remiantis 1.3 lentele, kurioje tam tikrais skaičiais pažymėti tam tikrų dulkėtumą mažinančių medžiagų parinkimo sąlygos: (1) gali reikti didesnio dulkėtumą mažinančių medžiagų kiekio ar dažnesnio naudojimo, ypač sunkvežimių eismo vietoje; (2) daugiau nei 20 dienų santykinis drėgnumas turi būti nedidesnis nei 40 %; (3) kelias gali tapti slidus, esant drėgnam orui; (4) po stipraus lietaus medžiaga gali būti išplauta; (5) medžiagos SS-1 arba CSS-1 gali būti naudojamos tik su švairiu, vizualiai įvertintu užpildu; (6) naudojamas mišinys geriausiam dulkėtumą mažinančių medžiagų efektyvumui pasiekti (Bolander ir Yamada 1999).

Iš 1.3 lentelės matyti, kad geriausiai naudoti tinkamas yra ligninas, o labiausiai netinkami – augaliniai aliejai. Geriausios sąlygos nurodytoms dulkėtumą mažinančioms medžiagoms būtų tada, kai eismo intensyvumas <100 automobilių/dieną, paviršiaus medžiagos plastiškumo indeksas >8, smulkių dalelių dydis 10–20 μm, klimatas eismo metu – drėgnas–sausas.

Dulkėtumą mažinančių medžiagų taikymo rekomendacijos būtų tokios:

- vandens: purkšti reguliariai ir negausiai;
- chloridų: paskleidus chloridus, žvyrkelio dangą sutankinti;
- naftos produktų: žvyrkelio dangą sugreideriuoti prieš paskleidžiant medžiagas;
- organinių (be naftos) produktų: žvyrkelio dangą sugreideriuoti, o po medžiagų išpylimo dangą sutankinti;
- elektrocheminių medžiagų ir polimerų: paskleidus medžiagas, žvyrkelio dangą sutankinti;
- molio priemaišų: molis ir vanduo turi būti vienodai paskirstomas per visą žvyrkelio paviršių. Reikia mažiausiai 8 kartus dangą greideriuoti.

Dulkėtumo mažinimo medžiagos mažina dulkėtumą, keisdamos žvyrkelio paviršiaus fizines savybes. Kai yra taikomos dulkėtumo mažinimo medžiagos, dalelės susiriša tarpusavyje ir todėl sunkėja. Kai kurios medžiagos formuoja plutą žvyrkelio paviršiuje, o kitos filtruojasi per paviršių. Medžiagos vandens ir naftos pagrindu sudaro plutą, sujungdamos žvyro daleles. Plutos formavimas su atitinkamu naftos pagrindo produktų plėvelės storium mažina tiesioginės priežiūros, kuri reikalinga žvyrkeliams, kiekį, tačiau, laikui bėgant, kai atsiranda pažai-

dos, tokios kaip duobės, nėra būtinybės taisyti juos normalia, nemažai išlaidų reikalaujančia technika, tokia kaip greideris. Nebent kelio danga yra smulkinama, kad būtų jai gražinta pirminė būsena.

1.3 lentelė. Dulkėtumą mažinančių medžiagų parinkimas (Bolander ir Yamada 1999)

Table 1.3. Selection of dust suppressants (Bolander ir Yamada 1999)

Dulkėtumą mažinanti medžiaga	Eismo intensyvumas, automobilių skaičius per dieną			Paviršiaus medžiaga								Klimato sąlygos eismo metu		
	Mažas <100	Vidutinis nuo 100 iki 250	Didelis >250 (1)	Plastiškumo indeksas			Smulkios dalelės (išbyra 75 µm, Nr. 200, filtras)					Drėgna ir/arba lietinga	Drėgna-sausa	Sausa (2)
				<3	3-8	>8	<5	5-10	10-20	20-30	>30			
Kalcio chloridas	✓✓	✓✓	✓	×	✓	✓✓	×	✓	✓✓	✓	×	×	✓✓	×
Magnio chloridas	✓✓	✓✓	✓	×	✓	✓✓	×	✓	✓✓	✓	×	×	✓✓	✓
Nafta	✓	✓	✓	✓✓	✓	×	✓	✓	✓	×	×	✓	✓✓	✓
Ligninas	✓✓	✓✓	✓	×	✓	✓✓	×	✓	✓✓	✓✓	✓	×	✓✓	✓✓
Talo alyva	✓✓	✓	×	✓✓	✓	×	×	✓	✓✓	✓	×	✓	✓✓	✓✓
Augaliniai aliejai	✓	×	×	✓	✓	✓	×	✓	✓	×	×	×	✓	✓
Elektrocheminiai	✓✓	✓	✓	×	✓	✓✓	×	✓	✓✓	✓✓	✓✓	✓	✓	✓
Sintetiniai polimerai	✓✓	✓	×	✓✓	✓	×	×	✓✓	✓✓	×	×	✓	✓✓	✓✓
Molio priemaišos (6)	✓✓	✓	×	✓✓	✓✓	✓	✓✓	✓	✓	×	×	×	✓	✓✓

1.3 lentelėje pateiktų dulkėtumą mažinančių medžiagų parinkimas: ✓✓ = gerai; ✓ = vidutiniškai; × = prastai.

Laikui bėgant, struktūrinės pažaidos vėl atsiranda dangos paviršiuje. Daugelis sintetinių organinių medžiagų yra gaunamos iš naftos produktų ir yra maišomos su rišikliais, kurie suklįjuoja daleles kartu. Techninės druskos absorbuoja drėgmę iš oro ir išlaiko ją priešindamosi garavimui. Organiniai be naftos ir sintetiniai polimerų produktai veikia kaip silpnas cementas, surišdamas grunto daleles kartu ar nusverdama žemyn ir aglomeruodamas daleles. Elektrocheminiai stabilizatoriai veikia išstumdami adsorbuotą vandenį iš grunto, kuris mažina oro vakuumą ir didina suspaudimą (Foley ir kt. 1996; Potential Environmental... 2002).

1.4. Dulkėtumą mažinančių medžiagų efektyvumas bei poveikis aplinkai

Kai analizuojamas dulkėtumo mažinimo efektyvumas, yra sunku nustatyti medžiagos tiesioginį poveikį dėl didelio sudėtinių kintamųjų skaičiaus (eismo intensyvumo, transporto priemonės svorio ir greičio, žvyrkelio dangos paviršiaus medžiagos ir t.t.) (N. Carolina Department... 2003). Labiausiai galimo įvertinimo pagrindas yra kokybiniai, o ne kiekybiniai duomenys. Paprastai yra dvi tyrimo sritys matavimui ir KD analizei. Pirmoji yra atmosferos modeliavimas ir pranašavimas, o antroji – lauko matavimai ir kiekio nustatymai (Sanders ir Addo 1993; Sanders ir kt. 1997). Lauko tyrimai paprastai labai padeda nustatyti faktinį efektyvumą, tačiau yra skaičius veiksnų, kuriuos reikia apgalvoti. Dėl charakteristikų įvairovės yra sunku rekomenduoti dulkėtumo mažinimo medžiagas, kurios gerai veiks visose situacijose.

Dauguma dulkėtumo mažinimo medžiagų buvo tirta nustatant jų efektyvumą. Medžiagų „efektyvumą“ atspindi jų galimybė sulaikyti žvyro daleles kelio dangos paviršiuje, kai veikia kai kurios erozinės jėgos (pvz., vėjas). Efektyvumas kinta keičiantis naudojimo tipui, vietos sąlygoms ir klimatui. Nustatyta, kad vandens efektyvumas būna tarp 40 % ir 85 % trumpą laiko periodą, bet ne ilgą laiką (Baltrėnas ir Kazlauskienė 2009; 2007; Foley ir kt. 1996; Thompson 1990; Travnik 1991; Kestner 1989). Techninės druskos yra efektyvesnės nei vanduo jei užtikrinama pakankama drėgmė. Lignosulfonatai lieka efektyvūs ilgą, sausą periodą, kai drėgmė maža. Jie taip pat lieka plastiški, sudaro sąlygas įgyti naują formą ir sutankinti kelio dangą, kai taikomi gruntui su dideliu kiekiu molio. Lignosulfonatų efektyvumas gali sumažėti dėl smarkaus lietaus, nes jie tirpsta vandenyje. Sintetinės polimero emulsijos didina molio stiprį iki 10 kartų. Įvairūs tyrimai parodė, kad drėgname klimate taikomi sintetiniai polimerai susiskaldo, jei neapsaugomi nuo drėgmės (Bolander 1999a). Produktai naftos pagrindu tinkamomis sąlygomis po metų gali likti iki 90 % efektyvūs (Gilles ir kt. 1997).

Labai mažai duomenų yra apie dulkėtumo mažinimo medžiagų (priedų) poveikį aplinkai. Nors pastebėta, kad KD emisija iš apdorotų žvyrkelių yra mažesnė negu iš neapdorotų kelių (Sanders ir kt. 1997), tačiau kelio KD kiekio ir sklaidos problema yra neištrita. Tai ypač aktualu, kai dalelės mažesnės nei 10 μm (KD_{10}) (Gottschalk 1994). Nuotėkio nuo apdoroto žvyrkelio kokybė ir jo poveikis požeminio ir paviršinio vandens ištekliams yra iki galo nežinomas. Manoma, kad poveikis vandens kokybei ir kitiems aplinkos komponentams yra pakankamai didelis, dėl to turėtų ateityje būti reguliuojamas dulkėtumo mažinimo medžiagų naudojimas (ASTM 1999).

Dulkėtumo mažinimo medžiagos, ypač chloridų mišiniai, yra tie patys mišiniai, kurie naudojami žiemos sezono metu kelių ledui tirpdyti. Sanders ir Addo (1993) suformulavo kelias priežastis, kodėl turima nedaug duomenų apie dulkėtumo mažinimo medžiagų poveikį aplinkai:

1. Žvyro dalelių sutankinimas yra atliekamas dažniausiai žvyrkeliuose, kurie yra mažos apkrovos antriniai keliai, esantys pirmiausiai žemės ūkio plotuose, todėl gali būti lengvai ignoruojami.
2. Kai kurie daugiausiai paprastai naudojami mišiniai dulkėtumo mažinimui, pvz., CaCl_2 , MgCl_2 ir NaCl , yra tie patys mišiniai, naudojami kelių slidumui mažinti. Todėl poveikio aplinkai tyrimai, veikiant kelio ledo tirpikliams, gali būti ekstrapoliuoti dulkėtumo mažinimo medžiagoms.
3. Dulkėtumo mažinimo medžiagų kiekis naudojamas kasmet, nors ir iš pradžių, yra vis dar mažas, palyginus su ledo tirpiklių kiekiu, naudojamu kasmet.
4. Skirtingai nei ledo tirpiklių, kurie tiesiogiai yra nuplaunami, kai tirpsta sniegas ir ledas, dulkėtumo mažinimo medžiagos daugiausia lieka vienoje vietoje – kelio paviršiuje.

Nebuvo planuojami ir atliekami jokie eksperimentai, kad būtų nustatytas poveikis kokiems nors aplinkos komponentams (Addo ir kt. 2004).

Dauguma dulkėtumo mažinimo medžiagų tyrimų buvo atliekami industriškai ir buvo susitelkta ties dulkėtumo mažinimo medžiagų efektyvumu (ar veikimu) sumažinti dulkėtumą, tačiau tik maža dalis informacijos yra galima apie šių junginių galimą poveikį aplinkai ir žmogaus sveikatai. Žvyrkelių dulkėtumo mažinimo medžiagų naudojimo poveikis žmonėms, florai ir faunai bei kaip dulkėtumo mažinimo medžiagos gali migruoti per aplinką į potencialiai jautrius receptorius parodyta 1.3 paveiksle. Dulkėtumo mažinimo medžiagos gali būti naudojamos (1.3 pav.): 1 – žvyrkeliuose ir neasfaltuotose automobilių stovėjimo aikštelėse; 2 – derlinguose laukuose; 3 – laikinai sutrikdytoje laisvoje žemėje (statybos vietoje); 4 – ore judančioje energijoje (užkasant atliekas, kasinėjant).

1.3 pav. Įvairaus dulkėtumo mažinimo medžiagų panaudojimo ir poveikio aplinkai modelis (Potential Environmental... 2002)

Fig. 1.3. Conceptual model of the various uses of dust suppressants and the potential environmental consequences (Potential Environmental... 2002)

Išnagrinėjus 1.3 paveikslą, galima teigti, kad dulkėtumo mažinimo medžiagų poveikis aplinkai gali pasireikšti tokiais keliais: atmosferos pernašų metu (1.3 pav. pažymėta A); paviršiniu nuotėkiu (B); sugeriant augalams (C); praryjant gyvūnams (D); žmogui maitinantis gyvūnų mėsa, kurioje esti dulkių mažinimo medžiagų (E); dulkėtumo mažinimo medžiagoms infiltruojantis į vandeningą zoną ir gruntinio vandens plokštumą pervežimo metu (F); garuojant vandeniui iš grunto (G); purškiant medžiagas galimi kontaktai per odą, burną bei kvėpuojant (H); grunto mikrobų ekologijai kylantis pavojus dėl jame esančių medžiagų (I); dulkėtumo mažinimo medžiagų dalelės judant dėl vėjo erozijos į nenumatytus plotus (J); medžiagų nuotėkiu nuo šalikelių bei pervežant tirpiklius (K); vartojant užterštą gruntinį vandenį (L); taikymo metu purlams nutekant pavėjui (M); žmogui nuryjant dulkėtumo mažinimo medžiagų sudedamąsias dalis (N).

Dulkėtumą mažinančių medžiagų poveikis aplinkai priklauso nuo jų sudėties, naudojamų kiekių ir sąveikos su kitais aplinkos komponentais. Galimas poveikis aplinkai apima:

- paviršinio ir požeminio vandens kokybės pablogėjimą;
- grunto užteršimą;
- toksiškumą grunto ir vandens biotai;
- toksiškumą žmonėms;
- oro taršą;

- medžiagų kaupimąsi grunte;
- grunto hidrologinių charakteristikų pokyčius;
- poveikį vietinėms floros ir faunos populiacijoms.

Pagal egzistuojančius ryšius tarp taikymo tikslo, medžiagos tipo, vietos sąlygų ir pavojaus lygio galima spręsti, kokią informaciją reikia surinkti, norint įvertinti poveikį aplinkai.

Vanduo

Paviršiaus drėkinimas yra nebrangus trumpalaikis sprendimas dulkėtumo mažinimui. Vanduo suriša grunto daleles jas aglomeruodamas. Tačiau efektyvumas priklauso nuo temperatūros ir drėgmės (Foley ir kt. 1996; Gebhart ir kt. 1999). Thompson (1990) nustatė, kad vanduo siekė 85 % efektyvumą anglių šachtoje. Apskaičiuota, kad mažinant dulkėtumą žvyrkeliuose, yra 40 % efektyvumas (Foley ir kt. 1996; Travník 1991). Vanduo turi mažą liekamąjį poveikį. Kartą taikytas jis greit išgaruoja, ypač karšto sauso klimato sąlygomis (Kestner 1989). Cowherd Jr. ir kt. (1989) nustatė, kad dulkėtumo mažinimo medžiagų efektyvumas blogėja nuo 100 % iki 0 % per labai trumpą laiką. Vanduo yra efektyviausias ten, kur transporto eismas ribotas. Jūros vanduo yra efektyvesnis nei gėlas vanduo dėl jame esančių druskų (Potential Environmental... 2002).

Pagrindinė informacija apie vandenį, kaip dulkėtumo mažinimo medžiagą, pateikiama 1.4 lentelėje.

1.4 lentelė. Vandens savybės, trūkumai, taikymas, šaltinis ir poveikis aplinkai (Foley ir kt. 1996; Potential Environmental... 2002; Scholen 1995; Bolander 1997)

Table 1.4. Properties, limitations, application, origin and environmental impact of water (Foley *et al.* 1996; Potential Environmental... 2002; Scholen 1995; Bolander 1997)

Savybės	Trūkumai	Taikymas	Šaltinis	Poveikis aplinkai
<ul style="list-style-type: none"> • sulipina paviršiaus daleles • lengvai gaunamas 	<ul style="list-style-type: none"> • lengvai išgaruoja • efektyvus nuo ½ iki 12 valandų • brangu ir reikia daug darbo 	<ul style="list-style-type: none"> • priklauso nuo aplinkos temperatūros ir drėgmės 	<ul style="list-style-type: none"> • bet koks vandens šaltinis 	<ul style="list-style-type: none"> • jokio

Druskos ir sūrūs tirpalai

Plačiausiai naudojami junginiai šioje dulkėtumo mažinimo medžiagų kategorijoje yra magnio chloridas ($MgCl_2$) ir kalcio chloridas ($CaCl_2$) (Sanders ir Addo 1993). Druskos suriša dulkių daleles, sutraukdamos iš oro drėgmę, kuri išlaiko paviršių drėgnu (Foley ir kt. 1996). Natrio chloridas ($NaCl$) nėra dažnai

naudojama dulkėtumo mažinimo medžiaga sausuose regionuose, nes jis absorbuoja vandenį tik tada, kai drėgnumas pasiekia 75 % (Bolander 1999a).

1.4 paveiksle matyti nuotėkis nuo greitkelio, apdoroto 30 % natrio chlorido (akmens druskos) tirpalu ir smėliu. Nuotėkis gali veikti geltonąsias (*Pinus Ponderosa* L.) ir kitas pušis.

1.4 pav. Matomas natrio chlorido nuotėkis nuo greitkelio (Stevenson 2004)

Fig. 1.4. Visible runoff of sodium chloride from highway (Stevenson 2004)

Kalcio chloridas susidaro kalciumui ir chloridui susijungiant aukštesnėje nei 400 °C temperatūroje. Kalcio chloridas yra efektyvesnis vietose, kur didelis drėgnumas ir žema temperatūra (Foley ir kt. 1996). Bolander (1999a) nustatė, kad kalcio chloridas, pavyzdžiui, prie 25 °C temperatūros pradeda absorbuoti vandenį, kai santykinis drėgnis 29 %, o prie 38 °C temperatūros – kai 20 %.

Magnio chloridas išgaunamas garinant jūros vandenį arba iš pramoninių produktų, paruoštų iš magnio amonio chlorido heksahidrato. Tai yra efektyvesnė druska nei kalcio chloridas, nes jis didina paviršiaus įtempimą ir sudaro tvirtesnę paviršių, kai yra sausa (Foley ir kt. 1996). Magnio chloridui reikia mažiausiai 32 % drėgmės, kad absorbuotų vandenį iš oro, nepriklausomai nuo temperatūros. Jis lieka labiau higroskopiškas aukštoje temperatūroje negu kalcio chloridas ir todėl yra labiau tinkamas sausam klimatui.

Palyginus su vandeniu, druskos yra efektyvesnės mažinant dulkėtumą, jei galima pakankama drėgmė (Potential Environmental... 2002; Bolander 1999a). Chlorido junginiai mažina osmosinį slėgį dirvožemio struktūroje. Kai žemesnis osmosinis slėgis, dirvožemiai palaiko didesnę drėgmės kiekį (Shepard ir kt. 1991).

Druskų efektyvumas mažinant dulkėtumą reikšmingai didėja laikui bėgant. Magnio chlorido savybė sumažinti dulkėtumą nustatyta iki maždaug 12 savaičių. Kita problema, susijusi su druskomis, yra ta, kad jos greitai migruoja aplinkoje (Potential Environmental... 2002; Bolander 1999a). DeCastro et al. (1996) modelavo kelio paviršiaus kelio stabilizatorių priedų judėjimą, kad nustatytų, kiek laiko priemaišos lieka efektyvios. Jie nustatė, kad kalcio ir magnio chloridai yra lengvai išnešami iš grunto. 1.5 lentelė apibendrina kelių druskų efektyvumus, mažinant kilusį dulkėtumą (Cowherd Jr. ir kt. 1989).

1.5 lentelė. Druskų, kaip dulkėtumo mažinimo medžiagų, efektyvumai (Sanders ir Addo 1993; Sanders ir kt. 1997; Addo ir kt. 2004; Satterfield ir Ono 1996)

Table 1.5. Efficiency of salts as dust suppressant (Sanders and Addo 1993; Sanders *et al.* 1997; Addo *et al.* 2004; Satterfield and Ono 1996)

Dulkėtumo mažinimo medžiaga	Efektyvumas
Kalcio chloridas	75–55 %
Magnio chloridas	85–77 %
Magnio chlorido purškimas šluojant gatves	26 % $MgCl_2$ iki 92 %, 60 % $MgCl_2$ iki 58 %.
Kalcio chloridas, magnio chloridas ir lignosulfonatas	50–70 %
Petr-tac, CohereX, Soil-Sement bendroji naftos derva su kalcio chloridu	95 % po taikymo, o po 30 dienų – 50 % ir toliau mažėjo iki 10 %.

Galimas druskų ir jų tirpalų poveikis aplinkai apima transporto priemonių ir betono koroziją bei slidaus paviršiaus susidarymą, kai drėgna (Foley ir kt. 1996). Kalcio ir magnio chloridai yra labai tirpūs ir judėdami kartu su vandeniu per gruntą užteršia gruntinį vandenį, disocijavę kalcio, magnio (1.8 lygtis) ir chloro jonai gali nutekėti į ežerus, upes, upelius ir tvenkinius (Heffner 1997; Demers ir Sage Jr. 1990).

Tyrimais įrodyta, kad chloridų koncentracija didesnė nei 920 mg/l toksišė dafnijoms, vėžiagyviams ir kitoms žuvų rūšims (Sanders ir Addo 1993; Foley ir kt. 1996; Potential Environmental... 2002; Golden 1991).

Addo ir Sanders (1995) teigia, kad druskų poveikis aplinkai vasaros metu dulkėtumo mažinimui mažiau tyrinėtas, nes tos pačios druskos naudojamos žiemos metu kelių slidumui mažinti.

Chloridai geriamajame vandenyje yra rimta problema, kai koncentracija viršija 250 mg/l ir todėl yra reguliuojama geriamo vandens standartais. Lietuvoje pagal HN 24:2003 (HN 24:2003) geriamajame vandenyje chloridų kiekis gali būti 250 mg/l.

Chloridų koncentracija požeminiame ir paviršiniame vandenyje priklauso nuo taikymo kiekio; grunto sudėties ir tipo; kritulių tipo, intensyvumo ir kiekio; kelio drenažo sistemos. Be to, chloridų koncentracija paviršiniame vandenyje taip pat priklauso nuo vandens telkinio dydžio ar tekėjimo greičio, nes įvyksta atskiedimas (Addo ir kt. 2004).

Buvo atlikta daug paviršinio vandens, užteršto ledo tirpinimo druskomis, tyrimų (Demers ir Sage Jr. 1990; Swedish National... 2004; Kayama ir kt. 2002; 2003; Dragsted 1990; Dobson 1991; Bogemans ir kt. 1989; Viskari ir Karenlampi 2000; Highway Salt... 2004). Visi šie tyrimai parodė, kad chloridų koncentracija didėja, bet lygiai vis dar žemesni nei didžiausia leidžiama koncentracija (DLK; *en.*: *MCL – maximum contaminant level*).

Kai susirūpinta sodinukais ir augalais, pastebėta, kad plotuose, esančiuose šalia druskų taikymo vietų, grunte susikaupusios druskos neigiamai veikia vaismedžių, pušų, tuopų, eglių fiziologiją ir morfologiją. Teigiama, kad druskų tiesioginis poveikis augalijai yra, kai didėja osmosinis grunto tirpalo slėgis, keičiasi augalo mineralinis maistas, o įvairūs chloridų jonai kaupiasi iki toksiškos koncentracijos augaluose.

Pastebėta, kad medžiai, augantys išilgai kelio, kur buvo purškiamas CaCl_2 , buvo nukentėję. Tai parodė lapų nudegimai. Nustatyta, kad padengtos druska dulkės kaupiasi ant medžių lapų, drėgmę absorbuodamos iš oro, ir todėl lapai absorbuoja druskos tirpalą (Addo ir kt. 2004). Didelė druskų koncentracija sąlygoja grunto sūrumą ir gali būti toksiška augalams (Sanders ir Addo 1993; Foley ir kt. 1996). Tačiau nėra įtikinamų tyrimų, apskaičiuojant kalcio ir magnio chloridų poveikį augalams.

Pagrindinė informacija apie druskas, kaip dulkėtumo mažinimo medžiagas, pateikiama 1.6 lentelėje.

1.6 lentelė. Druskų savybės, trūkumai, taikymas, šaltinis ir poveikis aplinkai (Foley ir kt. 1996; Potential Environmental... 2002; Scholen 1995; Bolander 1997)

Table 1.6. Properties, limitations, application, origin and environmental impact of salts (Foley *et al.* 1996; Potential Environmental... 2002; Scholen 1995; Bolander 1997)

Kalcio chloridas	Magnio chloridas	Natrio chloridas
1	2	3
Savybės		
<ul style="list-style-type: none"> • absorbuoja vandenį iš aplinkos, priklausomai nuo temperatūros ir santykinio drėgumo • reikšmingai didėja paviršiaus plėvelės įtempimas tarp dalelių, padedančių lėtinti garavimą • veikia geriau nei MgCl_2, kai yra didelė drėgmė 	<ul style="list-style-type: none"> • absorbuoja vandenį iš oro, kai santykinis drėgnumas 32 %, nepriklausomai nuo temperatūros • efektyvesnis nei kalcio chlorido tirpalas • didina paviršiaus įtempimą labai kietame kelio paviršiuje, kai sausa 	<ul style="list-style-type: none"> • absorbuoja vandenį iš oro, kai santykinis drėgnumas 79 %, nepriklausomai nuo temperatūros • didina paviršiaus įtempimą šiek tiek mažiau nei kalcio chloridas

1.6 lentelės pabaiga

1	2	3
Trūkumai		
<ul style="list-style-type: none"> • reikia drėgmės, kad absorbuotų drėgmę iš oro • neveikia taip gerai kaip MgCl_2 ilgu sausu laikotarpiu • šiek tiek koroduoja metalus • tirpus vandenyje • chloridai migruoja su lietaus vandeniu • po apdorojimo žvyrkelio paviršius gali tapti slidus • efektyvus, kol ne mažiau kaip 20 % tirpalo tampa vandeningu 	<ul style="list-style-type: none"> • reikia drėgmės, kad absorbuotų drėgmę iš oro • labiau tinka sausam klimatui • koncentruotas tirpalas labai korozinis plienui • tirpus vandenyje • chloridai migruoja su lietaus vandeniu • po apdorojimo žvyrkelio paviršius gali tapti slidus • efektyvus, kol ne mažiau kaip 20 % tirpalo tampa vandeningu 	<ul style="list-style-type: none"> • reikia drėgmės, kad absorbuotų drėgmę iš oro • vidutiniškai korozinis plienui • nelinkęs gerai išsilaikyti paviršiuje, taikant purškimą
Taikymas: paprastai 1–2 apdorojimai per sezoną		
<ul style="list-style-type: none"> • pradinis taikymas: <u>dribsniai</u>: 0,5–1,1 kg/m² (dažniausiai 0,9 kg/m²) 77 % grynumo <u>šlapias</u>: koncentracija 35–38 %, kiekis 0,9–1,6 l/m² (dažniausiai 38 % tirpalas 1,6 l/m² kiekiu) • vėliau: 1/2–1/3 pradinio kiekio 	<ul style="list-style-type: none"> • pradinis taikymas: koncentracija 28–35 %, kiekis 1,4–2,3 l/m² (dažniausiai 30 % tirpalas 2,3 l/m² kiekiu) • vėliau: taikyti 1/2–1/3 pradinio kiekio 	<ul style="list-style-type: none"> • didesnis kiekis nei taikant kalcio chloridą
Šaltinis		
<ul style="list-style-type: none"> • susidaro kalciumi jungiantis su chloru aukštesnėje nei 400 °C temperatūroje 	<ul style="list-style-type: none"> • gaunamas garinant jūros vandenį • gaunamas iš magnio amonio heksahidrato turinčių pramoninių produktų 	<ul style="list-style-type: none"> • gaunamas garinant jūros vandenį • išskamas kaip akmens druska (halitas)
Poveikis aplinkai		
<ul style="list-style-type: none"> • poveikis vandens kokybei: paprastai nežymus, jei egzistuoja tinkama buferinė zona tarp apdoroto ploto ir vandens • poveikis gėlo vandens gyvūnams: gali susikaupti chloridų koncentracija nuo 400 ppm upėtakiuose iki 10000 ppm kitose žuvų rūšyse. 920 mg/l ir didesnė koncentracija toksiškos vandens gyvūnams • poveikis augalams: kai kurios rūšys yra jautrios, pvz., pušis, nuokana, tuopa, uosis, eglė, klevas ir kt. 		

Organiniai be naftos produktai

Organiniai be naftos produktai apima lignosulfonata, talo (pušies) alyvą, augalinius vedinius ir melasą. 1.7 lentelėje pateikiamas be naftos produktų efektyvumas.

1.7 lentelė. Organinių (be naftos) produktų, kaip dulkėtumo mažinimo medžiagų, efektyvumas (Sanders ir Addo 1993; Gilles ir kt. 1997; Senthilselvan ir kt. 1997; Bolander 1999b; Breum ir kt. 1999)

Table 1.7. Efficiency of organic (nonpetroleum) products as dust suppressants (Sanders and Addo 1993; Gilles *et al.* 1997; Senthilselvan *et al.* 1997; Bolander 1999b; Breum *et al.* 1999)

Dulkėtumo mažinimo medžiaga	Efektyvumas
Canola aliejaus 40 ml/m ² /dieną	84–87 %
Lignosulfonatas	63–70 %
Ligninas	30–80 %
Talo alyva	50–70 %
Augaliniai aliejai	54–80 %
Melasa	Duomenų nėra

Lignosulfonatas gaunamas iš sulfito pulpos gamybos popieriaus pramonėje, kur medienos plaušams suskaidyti naudojama sieros rūgštis. Lignosulfonatas yra mišinys amorfinių aromatinių polimerų, kurie veikia kaip celiuliozės plaušų medienoje rišikliai. Jis sudaro 17–33 % medienos sausojo svorio ir priešinasi hidrolizei. Medienos pulpos procese medienos plaušai yra vertingi produktai ir pulpos tirpalas, kuris susideda iš lignosulfonato, yra prarandamas. Šis prarastas tirpalas yra apdorojamas papildomai ir neutralizuojamas prieš naudojant kaip dulkėtumo mažinimo priemonę. Lignosulfonatas veikia kaip silpnas cementas, surišdamas grunto daleles kartu. Lignosulfonatas lieka efektyvus ilgą laiko tarpą, esant mažam drėgnumui. Jis taip pat išlieka plastiškas, sudaro sąlygas įgyti naują formą ir sutankinti kelio dangą, kai taikomas molingam gruntui. Lignosulfonatų efektyvumas gali mažėti ar visiškai neveikti dėl smarkaus lietaus, nes produktai tirpsta vandenyje (Potential Environmental... 2002, Bolander 1999a). Didesnis lignosulfonato lygis vandens telkiniuose turi didelį dažantį poveikį, didina biocheminį deguonies suvartojimą, mažina biologinį aktyvumą ir stabdo žuvų augimą. Tačiau lignosulfonato mišiniai neveikia sėklų dygimo plotuose, kur buvo taikytas (Bolander 1999a; DeCastro ir kt. 1996; Foley ir kt. 1996; Heffner 1997). Mano-

ma, kad lignosulfonatas yra mažiausiai žalinga aplinkai cheminė dulkėtumo mažinimo medžiaga (Potential Environmental... 2002).

1.8 lentelė. Organinių (be naftos) produktų savybės, trūkumai, taikymas, šaltinis ir poveikis aplinkai (Foley ir kt. 1996; Potential Environmental... 2002; Scholen 1995; Bolander 1997; 1999a)

Table 1.8. Properties, limitations, application, origin and environmental impact of organic (nonpetroleum) products and polymers (Foley *et al.* 1996; Potential Environmental... 2002; Scholen 1995; Bolander 1997; 1999a)

Ligninas, lignosulfonatas	Melasa	Talo alyvos dariniai	Augaliniai aliejai
1	2	3	4
Savybės			
<ul style="list-style-type: none"> • suriša paviršiaus daleles kartu • labai padidina sausą medžiagos atsparumą sausomis sąlygomis • išlaiko efektyvumą ilgu sausu periodu, kai mažas drėgnumas • kai didelis molio kiekis, medžiagos lieka plastiškos • ligninas yra biodegraduojantis 	<ul style="list-style-type: none"> • laikinai suriša paviršiaus daleles 	<ul style="list-style-type: none"> • sujungia paviršiaus daleles kartu • smarkiai didina sausą medžiagos įtempimą sausomis sąlygomis 	<ul style="list-style-type: none"> • suriša paviršiaus daleles
Trūkumai			
<ul style="list-style-type: none"> • gali koroduoti aliuminį ir jo lydinius • tirpsta vandenyje • slidus, kai drėgna, trapus, kai sausa • sudžiuvęs paviršius skilinėja 	<ul style="list-style-type: none"> • ribotos galimybės • tirpsta vandenyje 	<ul style="list-style-type: none"> • tirpsta vandenyje • sudžiuvęs paviršius skilinėja 	<ul style="list-style-type: none"> • ribotos galimybės • greitai oksiduojasi, kai trapus
Taikymas			
<ul style="list-style-type: none"> • 1–2 apdorojimai per sezoną • koncentracija 10–25 %, kiekis 2,3–4,5 l/m² (dažniausiai 25 % tirpalas 4,5 l/m²) • taip pat yra miltelių pavidale, kurie maišomi 1 kg 840 l vandens ir tada purškiama 	<ul style="list-style-type: none"> • neištirta 	<ul style="list-style-type: none"> • 1 apdorojimas per kelerius m. • koncentracija 10–20 %, kiekis 1,4–4,5 l/m², (dažniausiai 10 % tirpalas 2,3 l/m²) 	<ul style="list-style-type: none"> • 1 apdorojimas per metus • taikymo kiekis keičiasi nuo produkto, paprastai 1,1–2,3 l/m² • šiltesnis produktas, greitesnis prasiskverbimas • vėliau: taikyti sumažintą kiekį

1.8 lentelės pabaiga

1	2	3	4
Šaltinis			
<ul style="list-style-type: none"> • vandens garavimo produktai iš sulfitinio popieriaus gamybos proceso tirpalo sudėtyje turi lignino • sudėtis priklauso nuo kelių medžiagų (daugiausia nuo medienos masės) ir chemikalų, naudojamų išgauti celiuliozę; aktyvi sudėtis yra neutralizuojama lignino sulfato rūgštimis, sudėtyje turinčiomis cukraus 	<ul style="list-style-type: none"> • cukrinis runkelis 	<ul style="list-style-type: none"> • distiliuotas kraftceliuliozės (sulfatinės celiuliozės) produktas iš popieriaus gamybos proceso 	<ul style="list-style-type: none"> • rapsai, sojos, vilnamedžis, sėmenys
Poveikis aplinkai			
<ul style="list-style-type: none"> • poveikis vandens kokybei: jokio • poveikis gėlo vandens gyvūnams: 2500 mg/l ir didesnė koncentracija mirtina vaivorykštiniam upėtakiui; BDS gali būti didelis iki ištekančių mažus upelius • poveikis augalams: jokio 	<ul style="list-style-type: none"> • poveikis vandens kokybei: nežinoma • poveikis gėlo vandens gyvūnams: nežinoma • poveikis augalams: nežinoma, nesitikima jokio 		

Ligninas, manoma, yra biodegraduojantis, todėl jo buvimas aplinkoje yra mažiau žalingas. Ligninas yra labai tirpus vandenyje (Apodaca ir Huffmon 1990) ir gali tirpti bei būti išplautas į šalia esančius upelius ir kitus vandens telkinius po lietaus, ypač iškart po taikymo. Priklausomai nuo lignino koncentracijos, pripažinta, kad vandens telkiniai yra teršiami. Lignino tarša nusakoma terminu „biocheminis deguonies suvartojimas“ (BDS). Biocheminis deguonies suvartojimas (BDS₅) – ištirpusio deguonies, suvartojamo tam tikromis sąlygomis (per t parą, esant 20 °C temperatūrai) biologiškai skaidant organines ir/arba neorganines nuotekų priemaišas, koncentracija. BDS yra deguonies kiekis, reikalingas bakterijoms degraduoti ir stabilizuoti organinėms atliekoms, kurios dažniausiai yra lignino sacharozė (STR 2.02.05:2004).

Talo alyva yra medžio pulpos pramonės produktas, regeneruotas iš pušų medienos sulfato Kraft popieriaus procese. Jis susideda iš kanifolijos, oleino ir linolo rūgščių. Talo alyva prisideda prie grunto dalelių sukibimo, tačiau jo veikimas gali būti ribojamas ar visiškai sunaikintas ilgalaikio lietaus (Bolander 1999a).

Augaliniai aliejai yra išgaunami iš augalų sėklų, vaisių ar riešutų ir yra paprastai gliceridų mišiniai. Keli augalinių aliejų pavyzdžiai yra tokie: *canola*, so-

jų, medvilnės ir sėmenų aliejus. Augaliniai aliejai nusodina dulkes aglomeruodami paviršiaus daleles.

Melasa yra cukraus gamybos klampus vandeningas likutis. Jis susideda apytiksliai iš 20 % sacharozės, 20 % sumažėjusio cukraus, 10 % pelenų, 20 % organinio becukrio produkto ir 20 % vandens (Lewis 1993). Šis dulkių mažinimo medžiagų tipas laikinai suriša paviršiaus daleles (Bolander 1999a). Pakartotinis taikymas yra būtinas, daugiausiai po smarkaus lietaus, nes melasa tirpsta vandenyje (Sanders ir Addo 1993).

Dauguma tyrimų šioje dulkėtumą mažinančių medžiagų rūšyje akcentuoja lignosulfonato poveikį.

Pagrindinė informacija apie organinius (be naftos) produktus, kaip dulkėtumo mažinimo medžiagas, pateikiama 1.8 lentelėje.

Sintetiniai polimerų produktai

Sintetinių polimerų rišlios savybės prisideda prie grunto dalelių surišimo. Produktai, tokie kaip: polivinilo acetatas ir vinilo akrilatas, yra naudojami sintetiniuose polimeruose. Laboratorijoje Bolander (1999) tyrė pridėtų sintetinių polimerų poveikį tankiai susmulkintam užpildui. Rezultatai parodė, kad polimerai didina molio tamprumo jėgą tipiniuose keliuose ir takuose iki 10 kartų. Sintetinės polimero emulsijos nekeičia suspausto sausojo tankio. Tyrimai parodė, kad sintetiniai polimerai taikomi drėgname klimate susiskaido, jei nėra apsaugoti nuo drėgmės ir šalčio laikui bėgant (Potential Environmental... 2002). 1.9 lentelėje pateikiamas sintetinių polimerų produktų efektyvumas.

1.9 lentelė. Sintetinių polimerų produktų, kaip dulkėtumo mažinimo medžiagų, efektyvumas (Sanders ir Addo 1993; Gilles ir kt. 1997; Senthilselvan ir kt. 1997; Bolander 1999b; Breum ir kt. 1999)

Table 1.9. Efficiency of synthetic polymers as dust suppressants (Sanders and Addo 1993; Gilles *et al.* 1997; Senthilselvan *et al.* 1997; Bolander 1999b; Breum *et al.* 1999)

Dulkėtumo mažinimo medžiaga	Efektyvumas
Sintetiniai polimerai ir talo alyva	50–70 %
Polimero emulsija	Pradinis = 94–99 %, po 3 mėn. = 72–96 %, po 11 mėn. = 49–85 %
Biokatalizinis stabilizatorius (BS)	Pradinis = 5–33 %, po 3 mėn. = 0 %, po 11 mėn. = 0 %

Pagrindinė informacija apie sintetinius polimero darinius, kaip dulkėtumo mažinimo medžiagas, pateikiama 1.10 lentelėje.

1.10 lentelė. Sintetinių polimero darinių savybės, trūkumai, taikymas, šaltinis ir poveikis aplinkai (Foley ir kt. 1996; Potential Environmental... 2002; Scholen 1995; Bolander 1997)

Table 1.10. Properties, limitations, application, origin and environmental impact of synthetic polymer derivatives (Foley *et al.* 1996; Potential Environmental... 2002; Scholen 1995; Bolander 1997)

Savybės	Trūkumai	Taikymas	Šaltinis	Poveikis aplinkai
<ul style="list-style-type: none"> • suriša paviršiaus daleles dėl adhezyvinių savybių 	<ul style="list-style-type: none"> • sunku prižiūrėti kietą paviršių 	<ul style="list-style-type: none"> • 1 apdorojimas per kelerius metus • koncentracija 5–15 %, kiekis 1,4–4,5 l/m² (dažniausiai 5 % tirpalas 2,3 l/m²) 	<ul style="list-style-type: none"> • produktai iš klijų gamybos • paprastai 40–60 % kietos medžiagos 	<ul style="list-style-type: none"> • poveikis vandens kokybei: jokio • poveikis gėlo vandens gyvūnams: mažas • poveikis augalams: jokio • reikia papildomų tyrimų

Naftos produktai

Naftos pagrindo medžiagos – tai įvairūs aliejai, tirpikliai, bituminės emulsijos ir dervos. Šie produktai aglomeruoja smulkias daleles, paprastai formuodami rišlų paviršių, kuris išlaiko grunto daleles vietoje. Naftos pagrindo produktai yra netirpūs vandenyje ir nelinkę išgaruoti (Travnik 1991). Jie paprastai priešinasi nuplovimui, bet aliejus griežtai neišlaiko daugelio gruntų ir gali ištekti dėl lietaus. Naftos pagrindo produktai padalinti į skirtingas kategorijas: *cutbacks* (pvz., DO-1, DO-2, DO-3 ir DO-6KF), emulsijas (pvz., DO-8, Coherex ir CSS-1) ir kiti (pvz., DO-4, DO-6, DO-6P). 1.11 lentelėje pateikiami naftos pagrindo produktų efektyvumai.

Naftos pagrindo produktai, manoma, yra ilgalaikiai efektyvūs. Tačiau keli jų yra alyvos atliekos, todėl poveikis aplinkai gali būti kenksmingas. Likusi alyva yra paprastai susijusi su teršalais, kurie žinomi kaip arba toksiški, arba kancerogeniniai (Foley ir kt. 1996). Atsitiktinis naftos pagrindo dulkėtumo mažinimo medžiagų (*Coherex*) pateikimas į upę veikė žuvis ir bento makrobestuburių bendrijas ir nežinoma kiek žuvų žuvo (Ettinger 1987). Taip pat nustatyta, kad naftos pagrindo produktai yra toksiški didžiųjų ančių kiaušiniams (Hoffman ir Eastin 1981).

Pagrindinė informacija apie naftos pagrindo produktus, kaip dulkėtumo mažinimo medžiagas, pateikiama 1.12 lentelėje.

1.11 lentelė. Naftos pagrindo produktų, kaip dulkėtumo mažinimo medžiagų, efektyvumai (Foley ir kt. 1996; Gilles ir kt. 1997; Jayas ir kt. 1992)

Table 1.11. Efficiency of petroleum based products as dust suppressants (Foley *et al.* 1996; Gilles *et al.* 1997; Jayas *et al.* 1992)

Dulkėtumo mažinimo medžiaga	Efektyvumas
Aliejai (naftos pagrindu)	50–98 %
Vanduo (2 l/m^2), naftos derva ($3,8 \text{ l/m}^2$) ir bituminė emulsija ($3,2 \text{ l/m}^2$)	50 % mažiausiai mėnesiui. Pakartotinis taikymas didina efektyvumą
Angliavandenilių pagrindo emulsija (0,04 %)	50 %
Pramoninė alyva (0,07 %)	92 %
Kviečiai, kukurūzai ir sojos	panašus rezultatas rastas ir rapsų sėkloms bei aliejui
Emulsinė naftos derva, naftos liekana	Paprastai didėjanti vandenyje sudėtis dulkių mažinimo medžiagų taikymo metu pagerina užpildo rišlumo stiprumą
Nepavojinga žalia alyva (NHCO)	92 % net po 11 mėn.

1.12 lentelė. Naftos pagrindo produktų savybės, trūkumai, taikymas, šaltinis ir poveikis aplinkai (Foley ir kt. 1996; Potential Environmental... 2002; Scholen 1995; Bolander 1997)

Table 1.12. Properties, limitations, application, origin and environmental impact of petroleum based products (Foley *et al.* 1996; Potential Environmental... 2002; Scholen 1995; Bolander 1997)

Savybės	Trūkumai	Taikymas	Šaltinis	Poveikis aplinkai
<ul style="list-style-type: none"> • suriša ir/ar sulipina paviršiaus daleles kartu dėl adhezyvinių savybių • nepraleidžia vandens 	<ul style="list-style-type: none"> • sausomis sąlygomis gali neveikti • jei per daug smulkių dalelių paviršiuje gali suformuoti plutą ir suirti dėl eismo ir drėgno oro 	<ul style="list-style-type: none"> • 1–2 apdorojimai per sezoną • $0,5\text{--}4,5 \text{ l/m}^2$ • vėliau: taikyti sumažintą pradinį kiekį 	<ul style="list-style-type: none"> • cutback asfaltas: SC-70 • bituminė emulsija • modifikuota bituminė, emulsinė, mineralinė alyva • nafta 	<ul style="list-style-type: none"> • naudojami produktai yra toksiški • reikia papildomų tyrimų

Elektrocheminiai produktai

Šios dulkėtumo mažinimo priemonės paprastai gaunamos iš sulfonintos naftos ir labai jonizuotų produktų. Ši produktų grupė apima sulfonintą alyvą, enzi-

mus ir amonio chloridą. Elektrocheminiai stabilizatoriai veikia išstumdami adsorbuotą vandenį iš grunto, kuriame mažėja oro vakuumas ir didėja suspaudimas. Šių produktų trūkumas yra jų priklausomybė nuo molio mineralogijos ir todėl jie yra efektyvūs tik tada, kai yra specifiniai mineralai.

Manoma, kad elektrocheminiai produktai mažiausiai veikia aplinką, kai naudojami praskiesti. Tačiau pastebėta, kad augalai negali įsitvirtinti plotuose, apdorotuose sulfonintos naftos produktais (Foley ir kt. 1996; Potential Environmental... 2002).

Pagrindinė informacija apie elektrocheminius produktus, kaip dulkėtumo mažinimo medžiagas, pateikiama 1.13 lentelėje.

1.13 lentelė. Elektrocheminių produktų savybės, trūkumai, taikymas, šaltinis ir poveikis aplinkai (Foley ir kt. 1996; Potential Environmental... 2002; Scholen 1995; Bolander 1997)

Table 1.13. Properties, limitations, application, origin and environmental impact of electrochemical derivatives (Foley *et al.* 1996; Potential Environmental... 2002; Scholen 1995; Bolander 1997)

Savybės	Trūkumai	Taikymas	Šaltinis	Poveikis aplinkai
<ul style="list-style-type: none"> • pakeičia molio dalelių charakteristikas • paprastai efektyvus, nepaisant klimato sąlygų 	<ul style="list-style-type: none"> • veikia priklausomai nuo molio mineralogijos • reikia specialios molio frakcijos • ribota gyvenimo trukmė 	<ul style="list-style-type: none"> • praskiedžiama 1 dalis produkto su 100–600 dalių vandens • praskiestas produktas taip pat naudojamas sutankinti išpurentą paviršių 	<ul style="list-style-type: none"> • sulfoninta alyva, amonio chlorido enzimai, joniniai produktai 	<ul style="list-style-type: none"> • reikia papildomų tyrimų • kai kurie produktai yra labai rūgštingi neatskiestoje formoje

Molio priemaišos

Molio priemaišos yra sudarytos iš silicio tetraoksido (SiO_4) ir šešiavalenčio aliuminio hidroksido ($\text{Al}(\text{OH})_6$) (Scholen 1995). Šis dulkėtumo mažinimo priemonių tipas aglomeruoja smulkias dulkių daleles ir didina medžiagos stiprumą sausomis sąlygomis. Molio priemaišos suteikia dangai tamprumo šilume sausame klimate, o dėl padidėjusios drėgmės jis mažėja (Potential Environmental... 2002; Bolander 1999b).

Pagrindinė informacija apie molio priemaišas, kaip dulkėtumo mažinimo medžiagas, pateikiama 1.14 lentelėje.

1.14 lentelė. Molio priemaišų savybės, trūkumai, taikymas, šaltinis ir poveikis aplinkai (Foley ir kt. 1996; Potential Environmental... 2002; Scholen 1995; Bolander 1997)

Table 1.14. Properties, limitations, application, origin and environmental impact of clay additives (Foley *et al.* 1996; Potential Environmental... 2002; Scholen 1995; Bolander 1997)

Savybės	Trūkumai	Taikymas	Šaltinis	Poveikis aplinkai
<ul style="list-style-type: none"> • sukimba su smulkiosiomis dalelėmis • paprastai didina sausos medžiagos tamprumą sausomis sąlygomis 	<ul style="list-style-type: none"> • jei apdorotos medžiagos labai smulki sudėtis, paviršius gali tapti slidus, kai drėgna 	<ul style="list-style-type: none"> • 1 apdorojimas kas 5 metus • kiekis 1–3 % sauso svorio 	<ul style="list-style-type: none"> • natūralūs molio telkiniai 	<ul style="list-style-type: none"> • poveikis vandens kokybei: nežinoma • poveikis gėlo vandens gyvūnams: jokio • poveikis augalams: jokio

Kitos priemonės

Foley ir kt. (1996) nustatė, kad dulkių emisijos žvyrkeliuose gali būti reikšmingai mažinamos net šiek tiek sumažinus transporto priemonių greitį. Daugiau kaip 40 % dulkių emisijos sumažėjo, kai transporto priemonių važiavimo greitis buvo sumažintas nuo 75 iki 50 km/h ir virš 50 % sumažėjo, sumažinus greitį nuo 65 iki 30 km/h. Taikant bituminę emulsiją ar asfaltuojant kelius dulkių emisija sumažėjo 95–100 %. 1.15 lentelėje pateikiami įvairūs būdai, kurie buvo sėkmingai taikyti žvyrkeliuose mažinant dulkėtumą.

1.15 lentelė. Įvairių būdų, naudojamų sumažinti dulkėtumą, efektyvumai (Foley ir kt. 1996; Potential Environmental... 2002; Cowherd Jr. ir kt. 1989; Bolander 1999b)

Table 1.15. Efficiency of various methods used to suppress dust (Foley *et al.* 1996; Potential Environmental... 2002; Cowherd Jr. *et al.* 1989; Bolander 1999b)

Dulkėtumo mažinimo būdas	Efektyvumas
Asfaltavimas	95–100 %
Cheminis dulkių dalelių suspaudimas	Didelis pradinis efektyvumas (40–98 %), bet mažėja iki nulio po kelių mėnesių
Molio priemaišos, chloridai, enzimai ir sulfonatai	Didėja dangos paviršiaus tamprumas, kai drėgmės sudėtis mažesnė nei 5 %
Važiavimo greičių mažinimas:	
Nuo 75 iki 50 km/h	40–75 %
Nuo 65 iki 30 km/h	50–85 %

1.5. Žvyrkelių dulkėtumo mažinimui naudojami produktai ir tyrimai

Australija. Produktas *DustMag* magnio chlorido pagrindu plačiai pripažįstamas kaip geriausia pavienė žvyrkelio dulkėtumo mažinimo medžiaga ir stabilizatorius Australijoje. Su hidromulčino dalių priemonėmis Vakarų Australijoje *Rainstorm* sugebėjo stabilizuoti vėjo nešiojamas dulkes virš didelių plotų per trumpą laiko periodą (*Rainstorm Dust...* 2006).

JAV. 1978 m. *Ajovos* Greitkelių Tyrimų Komisija įvertino KD šaltinius ir emisijas, sukeltas eismo žvyrkeliuose, ir nustatė paviršiaus pagerinimo techniką. KD kilimo nuo žvyrkelių vidurkis buvo 1,5 tonos kilometrui per metus, kai vidutinis dienos eismas 300 autotransporto priemonių (Hoover ir kt. 1989).

Jungtinėse Valstijose jau 1909 m. „Visuomeninių kelių tarnyba“ siūlė molio rišamus akmenis kaip paviršių keliams, siekiant sumažinti dulkėtumą ir dangos irimą. Tačiau portlando cemento ir asfalto betono padengimo kaina didesnė nei techninių tirpalų.

1971 m. *Amerikos Naftos Instituto* užsakyto tyrimo metu įvertinta, kad KD iš ariamų žemių ir žvyrkelių sudaro apie 10 % kasmetinės visos sveikatai žalingų dalelių emisijos globaliniu lygiu (Robinson ir Robbins 1971).

Šiuo metu dulkėtumo kontrolės metodai apima nuo žvyrkelių purškimo chemikalais, iš kurių dažniausiai naudojami chloridų mišiniai, iki dervingų klijų, naudojant geotekstilę kelių taisymui (*Road Dust...* 1989). Šios dulkėtumą mažinančios medžiagos naudojamos, kai:

- 1) eismas yra mažas arba asfaltavimas yra neįmanomas dėl lėšų stokos;
- 2) dulkėtumą mažinančių medžiagų ir jų naudojimo išlaidos yra mažos;
- 3) yra planuojama rekonstrukcija.

Rezultatai iš *Kolorado valstijos* transporto informacijos centro tyrimų, lyginant magnio chloridą ir kalcio chloridą, parodo, kad, nors ir abi priemonės veikia panašiai, vis dar tarp medžiagų yra keli skirtumai, kurie veikia jų charakteristikas ir efektyvumą. Pagrindinis kriterijus, nagrinėjant šias dulkėtumo mažinimo medžiagas, yra jų gebėjimas gaminti sūrų tirpalą nepalankiomis sąlygomis, tokiomis kaip aukšta aplinkos ir kelio paviršiaus temperatūra bei maža drėgmė. Tokiomis sąlygomis dėl savo savybių labiau tinka kalcio chloridas negu magnio chloridas (Larkin Laboratory... 1986).

Kalcio chlorido tirpalas, palyginus su magnio chloridu, veikia greičiau, didėjant temperatūrai. *Švedijos Karališkajame technologijos institute* buvo atliktas tyrimas, įvertinant skirtumus tarp dviejų dulkėtumą mažinančių medžiagų dabartiniuose žvyrkeliuose, ir nustatyta, kad CaCl_2 18 % efektyvesnis nei MgCl_2 . Kiti chloridai yra plačiai naudojami, ypač norint stabilizuoti žvyrkelius

dangų paviršius. CaCl_2 yra palyginus brangus, todėl paprastai maišomas su įprastomis druskomis (Larkin Laboratory... 1986).

Bituminių mišinių rišlios ir nepralaidžios vandeniui savybės yra gerai žinomos, bet medžiagos yra labai brangios. Lignino vediniai yra natūralus cementas, kuris suriša grunto daleles. Jiems padeda kartu veikianti sacharozė, kuri veikia kaip higroskopinis agentas. Atsirado įvairių hibridinių produktų (pvz., bitumo ligninas) (Sanders ir Addo 1993).

Du pirminiai dulkėtumo mažinimo medžiagų naudojimo metodai yra:

- 1) dulkėtumą mažinančių medžiagų išpurškimas ant kelio paviršiaus;
- 2) dulkėtumą mažinančių medžiagų sumaišymas su paviršiniu kelio gruntu.

Pirmasis metodas yra paprastas ir greitas, tačiau neilgalais. Taikant antrąjį metodą sumažinamas dulkėtumas ir atnaujinamas kelio paviršius (Sanders ir Addo 1993).

Laboratoriniai testai su daugeliu dulkėtumą mažinančių medžiagų ir paviršiaus dangos pagerinimo priemonėmis buvo atliekami **Poweshiek, Linn ir Clinton apygardoje (Ajova)** dalyse. Buvo naudojamos tokios medžiagos: MC-800 *cutback* asfaltas, katijoninė bituminė emulsija, ligninas, ligninas ir alūnas, ligninas ir kalkės bei atliekų produktų liekanos iš Chemplex Plastic Co., Clintone, Ajovoje. Dulkėtumo sumažėjimas priklauso nuo apdorojimo metodo (Sanders ir Addo 1993). Laboratoriniai ir lauko eksperimentai parodė, kad apdorotose dalyse dulkėtumas apytiksliai nuo 30 iki 80 % mažesnis nei neapdorotose, o dangos užpildo praradimas – apytiksliai 25–27 % (Potential Environmental... 2002).

Kitas tyrimas buvo atliekamas šešiose bandomo kelio atkarpose, naudojant ligniną, ligniną ir herbicidus, dvi katijonines emulsijas ir patentuotą chemikalą, vadinamą Kelpak, taikant įterpimą paviršiuje, o šeštas buvo kalcio chloridas, taikant paviršiuje. Po kelių savaičių atlikus kietųjų dalelių (KD) kiekių matavimus bandomo kelio atkarpose nustatyta, kad ligninu bei ligninu ir herbicidais apdorotose dalyse KD kiekis ore yra mažiau nei $1,60 \cdot 10^{-4} \text{ kg/m}^3$ oro. Naudojant abi katijonines emulsijas KD buvo mažiau negu $4,81 \cdot 10^{-5} \text{ kg/m}^3$ oro, o kontrolinėje (neapdorotoje) dalyje – daugiau nei $8,81 \cdot 10^{-4} \text{ kg/m}^3$ oro. Naudojant patentuotą chemikalą KD buvo $1,04 \cdot 10^{-4} \text{ kg/m}^3$ oro, o CaCl_2 – $1,92 \cdot 10^{-4} \text{ kg/m}^3$ (kontrolė $4,32 \cdot 10^{-4} \text{ kg/m}^3$). Po metų lignino, lignino ir herbicidų bei abiejų katijoninių emulsijų dalyse vis dar buvo mažesnis KD kiekis, palyginus su kontrole, o patentuoto chemikalo – tolygiai kaip ir jo kontrolė. Mažiau nei po metų CaCl_2 apdorotoje atkarpoje KD kiekis buvo toks pat kaip ir jo kontrolėje (Hoover ir kt. 1989).

Lignino efektyvumas buvo nustatytas tiriant tris žvyrkelio atkarpas **Taylor apygardoje (Ajova)**, naudojant 0,75, 1,00 ir 1,25 % pagal dirvos svorį lignino. Tiriamų atkarpų ilgiai svyravo nuo 0,40 iki 2 km. Prieš apdorojimą atkarpose

buvo fiksuojami vairuotojų nusiskundimai: nepasitenkinimas dulkių debesiu, duobėmis, kelio nelygumais ir bendra paviršiaus pažaida. Pirmiausia buvo atliekamas žvyrkelio dangos smulkinimas, kelkraščių ir griovių linijų bei užpildo pataisymas. Galiausiai paviršius buvo purenamas, maišomas su ligninu ir sutankinamas. Per metus visos dalys išliko beveik nedulkėtos, be duobių ar kelio nelygumų, o paviršius išliko palyginti sausas ir kietas po kiekvieno lietaus (Sanders ir Addo 1993).

1.5 a) ir b) paveiksluose pavaizduotas vizualus dulkėtumas neapdoroto jojomis dulkėtumą mažinančiomis medžiagomis ir apdoroto žvyrkelio dalyse.

a)

b)

1.5 pav. Žvyrkelio dulkėtumas: a) neapdorotoje dalyje, b) apdorotoje dalyje
(Potential Environmental... 2002)

Fig. 1.5. Gravel road dustiness: a) no treated section, b) treated section
(Potential Environmental... 2002)

Sanders ir kt. (1997) lauko tyrimų pagrindu nustatė santykinę trijų dulkėtumą mažinančių medžiagų, $MgCl_2$, $CaCl_2$ ir lignosulfonato, efektyvumą. Tyrimas buvo atliekamas matuojant KD kiekį, išsiskyrusį iš kiekvienos tyrimo vietos, naudojant Kolorado valstijos universiteto dulkių matuoklį – judantį KD pavyzdžių rinktuvą. Tyrimas parodė, kad trys dulkėtumą mažinančios medžiagos KD emisiją sumažino 50–70 %, o dangos medžiagos išlaikė apytiksliai 40–60 % daugiau nei neapdorota kontrolinė dalis.

Larimer apygardoje pasirinktos penkios tiriamos žvyrkelio dalys po 2 km: keturios apdorotos skirtingomis dulkėtumo mažinimo medžiagomis (kalcio lignosulfatas, kalcio chloridas, magnio chloridas ir specialus kalcio chloridas), o viena neapdorota (kontrolinė). Kolorado valstijos universiteto dulkėtumo matuoklis (prietaisas, prikabinamas prieš tyrimo autopriemonės užpakalinį ratą, ir imami KD pavyzdžiai, kai tik jos sukliamos), naudojamas matuoti KD kiekį nuo gegužės iki spalio mėnesio. Dulkėtumą mažinančios medžiagos yra įterpiamos į stipriai sutankintą paviršiaus plutą – kad pakankamai stipriai priešintųsi išardymui, važiuojant transportui. Viršuje sudarytas kelio nuolydis ir grioviai kelkraščiuose, palengvinant drenažą. Šio regiono klimatinės sąlygos pusiau sausos, kasmetinis kritulių kiekis apie 356 mm/metus. Apibendrinant vietos grun-

to/užpildo charakteristiką, galima nustatyti terminą iki kada šiek tiek dulkingas molis/žvyras pasidengs ledu. KD susidarymo sezono metu (nuo vėlyvos gegužės iki spalio) vidutinė dienos temperatūra apie 25,5 °C, drėgmė apie 33 %.

Apdorota tiriamo kelio dalis yra 8 km ilgio, vidutinis metinis paros eismo intensyvumas (VMPEI) apie 400 transporto priemonių, neapdorotoje VMPEI apie 200. Tiriamasis žvyrkelis apdorotas dukart $MgCl_2$, kartą per metus dvejiems metams. Neapdorota dalis nebuvo anksčiau apdorota.

Apdorotos tiriamo kelio dalies konstrukcija vyko daugiausia pagal išnagrinėtą literatūrą ir patariant dulkėtumą mažinančių medžiagų tiekėjams. Kelio apdorojimas dulkėtumą mažinančiomis medžiagomis vykdytas tokiais etapais:

- a) kelio paviršiaus purenimas;
- b) atitinkamas kelio paviršiaus būklės įvertinimas ir išlyginimas;
- c) dulkėtumo mažinimo medžiagų taikymas, kai kiekybiškai tinka dulkėtumo kontrolės efektyvumas;
- d) tinkamos kelio pabaigimo procedūros, kurios apima nuolydžių formavimą, optimalų kelio paviršiaus sutankinimą ir tinkamą drenažą.

Žvyras, naudojamas tiriamo kelio dalių konstrukcijai, buvo iš tos pačios žvyro kasyklos. Žvyro klasės nustatymo pagal AASHTO (1993) klasifikaciją tyrimas parodė A-2-4 klasę, kuri laikoma kaip gera sankasos medžiaga. 4 dulkėtumą mažinimo medžiagos, įvertintos tyrime, yra:

1. Kalcio lignosulfatas iš popieriaus šlamo pramonės produkto. Naudojamas kiekis 2,26 l/m² (tiekėjo rekomendacija).
2. Kalcio chloridas (35 % $CaCl_2$ vandens tirpale). Tirpus ir higroskopiškas gamtoje. Naudojamas kiekis 1,13 l/m² (tiekėjo rekomendacija).
3. Magnio chloridas (32 % $MgCl_2$ vandens tirpale). Tirpus ir higroskopiškas gamtoje. Naudojamas kiekis 2,26 l/m² (tiekėjo rekomendacija).
4. Specialus kalcio chloridas. $CaCl_2$ pagrįstas mišiniu. Skirtumas tarp specialaus $CaCl_2$ ir $CaCl_2$ yra tas, kad specialaus $CaCl_2$ sudėtyje nėra magnio, o $CaCl_2$ sudėtyje yra dalis magnio. Naudojamas kiekis 1,13 l/m² (tiekėjo rekomendacija).

Pagal vienas matavimo metodikas naudojami stacionarūs prietaisai, kurie charakterizuoja kelio dulkėtumą taške, pagal kitas – judantys prietaisai. KD kiekio nustatymo bendras metodas tarp visų ankstesnių darbų buvo bet kuris surinktų KD mėginių svėrimas arba oro nepermatomumo matavimas, naudojant aiškią šviesą.

Bandymas naudoti KD rinkimo indo metodą pagal ASTM D-1739 (žr. 1.6 pav.) 1992 vasarą ir rudenį patvirtino neefektyvumą ir neveiksmingumą. Priežastys:

- 1) buvo sunku gauti leidimus iš žemių savininkų įstatyti kolektorius;

- 2) žemė palei tiriamąsias kelio dalis yra ganyklos;
- 3) gyvasis inventorius nuolat gadino KD kolektorius.

Metodui taip pat reikia daug autotransporto priemonių, važiuojančių palei indą, kad būtų surinktas pakankamas KD kiekis kiekybei nustatyti ir išskyla problemos dėl vėjo.

Atsižvelgiant į būdingus kintamumus, susijusius su kelio dulkėtumu, metodas turėtų matuoti dulkėtumą per kelio dalį geriau negu viename taške. KD rinkimui galėtų būti naudojamas nešiojamas ciklonas, įrengtas dulkėtumą sukeliančios autotransporto priemonės gale. Šiuo principu Kolorado Valstijos Universiteto dulkėtumo matuoklis suformuotas testuojant lauke ir naudojamas tyrimuose.

1.6 pav. KD rinkimo indas pagal ASTM D–1739 (Sanders ir Addo 1993)

Fig. 1.6. PM Collecting Buckets after ASTM D–1739 (Sanders and Addo 1993)

Judantis KD ėmimo įrangos pavyzdys iliustruotas 1.7 paveiksle. Įtaisą sudaro: ¼ tonos pikapas sunkvežimis; 3000 vatų elektros generatorius; standartinis didelio tūrio įsiurbimo siurblys; pagaminta metalinė dėžė, kuri susideda iš 25 cm × 20 cm stiklo pluošto popieriaus; metalinis laikytuvas, pritvirtintas prie sunkvežimio bamperio; 5 cm vidinio skersmens lankstus vamzdis, jungiantis įsiurbimo siurblių prie filtro dėžės.

Filtro dėžė yra kietai padėta ant bamperio laikytuvo kelyje prieš kairiąją užpakalinę ¼ tonos pikapo sunkvežimio padangą. Generatorius ir didelio tūrio pavyzdžių imtuvas yra saugus sunkvežimio sluoksnyje. 1.8 paveiksle pavaizduoti įrangos komponentai. Filtro dėžė, sumontuota prieš sunkvežimį, horizontaliai jungiasi su kairiąja užpakaline padanga ir atstumas nuo padangos centro iki dėžės priekio yra 0,9 m. Yra 0,3 m vertikalus tarpas tarp dėžės dugno ir kelio paviršiaus.

1.7 pav. Kolorado Valstijos dulkėtumo matuoklis (judantis KD ėmimo metodus) (Sanders ir Addo 1993)

Fig. 1.7. Colorado State Dustometer (Moving Dust Sampler Method) (Sanders and Addo 1993)

a

b

c

1.8 pav. KD mėginių ėmimo įrenginio dalys: a) elektros generatorius ir didelio tūrio įsiurbimo siurblys sunkvežimio stovė; b) filtro dėžė ir jungiantis lankstus vamzdis; c) metalinis laikytuvas, pritaisytas prie sunkvežimio bamperio (Sanders ir Addo 1993)

Fig. 1.8. Parts of dustometer: a) Electric Generator and High Volumetric Suction Pump in the Bed of Truck; b) Filter Box and Connecting Flexible Tube; c) Metal Bracket Fixed to Bumper of Truck (Sanders and Addo 1993)

Dėžės ir laikytuvo sistemos modelis yra toks, kad nors ir dėžė yra kietai pastatyta ant sunkvežimio bamperio po įdiegimo, dėžė gali būti lengvai sumontuota ir išmontuota. Laikytuvas išskirtas iš $\frac{1}{4}$ storio 15×15 cm plieno kampo, apdoroto rūdims nepralaidžiais dažais. Jis įtvirtintas prie bamperio dviem varžtais kaip parodyta 1.8 c) paveiksle. Filtro dėžė yra pagaminta iš plieno lakšto. Ji turi 30×30 cm angą, kuri uždenyta su $200 \mu\text{m}$ tinklo sietu, kuris aptraukia padangą. $200 \mu\text{m}$ sietas trukdo ne dulkių dalelėms patekti ant filtro dulkių matavimo metu. Dėžės dugno dalis susideda iš sieto, kuris palaiko filtro popierį. Dėžė yra sukurta atsižvelgiant į lengvą filtro popieriaus pakeitimą.

Pradedant tipinį dulkėtumo matavimo bandymą, įtaisas įdiegiamas, kaip parodyta 1.8 paveiksle, su lanksčiu vamzdzio, jungiančiu siurblių ir filtro dėžę. Generatorius įjungiamas ir nukreiptu jungikliu siurblys įjungiamas ir išjungiamas iš sunkvežimio vairuotojo kabinos. 1,6 km ilgio dalis aiškiai atskirta nuo 2 km dalies. Su filtro dėže, priderinta su prieš svėrimą filtro popieriaus ir generatoriaus

pradžią, sunkvežimis vairuojamas nustatytu 72 km/h greičiu. Nuo 1,6 km ribos pradžios siurblys įjungiamas ir dalis sukeltų dulkių kairiajame užpakalinės padangos užsitraukia ant filtro, kai sunkvežimis važiuoja keliu, 1,6 km ribos gale siurblys išjungiamas ir sunkvežimis priverstas sustoti. Padaromi trys važiavimai ta pačia važiavimo linija kiekvienai testo daliai. Dulkių pakrautas filtras paimamas į laboratoriją ir sveriamas. Trijų matavimų vidurkis iš kiekvienos testo dalies yra palyginamas su nustatytu santykinu efektyvumu skirtingiems matavimams (Sanders ir Addo 1993).

Kolorado universiteto dulkėtumo matuoklio įdiegimo schema pavaizduota 1.9 paveiksle.

1.9 pav. Kolorado universiteto dulkių matuoklio įdiegimo schema (Colorado University... 2006)

Fig. 1.9. Scheme of dustmeter introduction of Colorado University (Colorado University... 2006)

Montana. Jungtinių tautų žemės ūkio miškų tarnybos ministerijos (regionas 1, medžiagų inžinerijos skyrius, Missoula, Montana) tikslas buvo nustatyti metodą, kaip pagerinti kelio kokybę, mažinti dulkėtumą ir nuosėdų nuotėkį, mažinti žvyrkelio dangos praradimą ir minimizuoti nuolatinę priežiūrą.

1.10 paveiksle parodyta, kaip purškiamas kalcio chlorido plonas sluoksnis tyrimo dalyje.

1.10 pav. Kalcio chlorido plono sluoksnio purškimas tyrimo dalyje (Dust, Washboards... 2001)

Fig. 1.10. Spreading flake calcium chloride on a test section (Dust, Washboards... 2001)

Copper įlankos kelias sudarytas iš geros kokybės, geros klasės susmulkinto užpildo. Eismo srauto intervalas nuo 20 iki 50 lengvų transporto priemonių per dieną nuo gegužės vidurio iki lapkričio pabaigos. Važiavimo greičiai paprastai didesni nei 55 km/h.

1998 m. birželio mėn. 17 tiriamų kelio dalių buvo sukonstruota, naudojant septynis skirtingus kelių priežiūros būdus:

1. Tradicinis smulkinimas, drėkinimas ir sutankinimas.
2. Įmaišymas vietoje procesoriumi 6 cm gylyje.
3. Bentonito molio įmaišytas vietoje procesoriumi 6 cm gylyje.
4. $0,87 \text{ kg/m}^2 \text{ CaCl}_2$ plonas sluoksnis ant paviršiaus dulkėtumo sumažinimui.
5. Bentonito molis įmaišytas vietoje procesoriumi 6 cm gylyje ir $0,87 \text{ kg/m}^2 \text{ CaCl}_2$ plonas sluoksnis ant paviršiaus.
6. $1,19 \text{ kg/m}^2 \text{ CaCl}_2$ plonas sluoksnis įmaišytas vietoje procesoriumi 6 cm gylyje.
7. $2,28 \text{ kg/m}^2 \text{ CaCl}_2$ plonas sluoksnis įmaišytas vietoje procesoriumi 6 cm gylyje.

Bentonito molis ir 77 % plonas kalcio chlorido sluoksnis buvo naudojamas kaip stabilizavimo priedas aštuoniose tiriamų kelių dalyse. Įvertinus apdorojimo metodus, geriausiai veikė 77 % kalcio chlorido plonas sluoksnis, naudojamas $2,28 \text{ kg/m}^2$ kiekiu ir įmaišomas vietoje procesoriumi 6 cm gylyje. Šis kiekis planuojamas naudoti kalcio chlorido koncentracijai (100 % pagrindu) apie 1,3 % užpildo svorio. Po 54 savaičių kelių daliai, apdorotai kalcio chloridu, dar nereikėjo pakartotinio smulkinimo. Kitų dalių būklę reikėjo įvertinti mažiausiai du kartus, nes nusidėvėjo kelio paviršius. 1.11 paveiksle pavaizduoti vykdomi darbai po apdorojimo vietoje.

a

b

1.11 pav. Kelio pagrindo smulkinimas (a) ir sutankinimas (b) po apdorojimo vietoje (Dust, Washboards... 2001)

Fig. 1.11. Grading (a) and compacting (b) of road bottom after in-place processing (Dust, Washboards... 2001)

Šio tyrimo rezultatų pagrindu naudojamas kalcio chlorido plonas sluoksnis žvyrkeliuose, kuriems anksčiau reikėjo dažnos smulkinimo priežiūros pirmiausia dėl susiformavusių kelio nelygumų (Dust, Washboards... 2001).

Prie **Butte, Montanoje**, mažame plote buvo atliekamas trumpo laikotarpio bandymas, panašus į Copper įlankoje. Buvo taikomi įvairūs kalcio chlorido plono sluoksnio kiekiai ir smulkinimo technikos ašmenimis viskas sumaišyta apie 5 cm gylyje. Selway River kelio **Šiaurės Aidahe** 19 km buvo taip pat apdorota su $2,7 \text{ kg/m}^2$ kalcio chlorido plonu sluoksniu vietoje apdorojant maždaug 8 cm gylyje (Dust, Washboards... 2001).

Naujasis Hampšyras. Dėl per mažos drėgmės kelio paviršiuje ir per didelio eismo greičio rekomenduotina mažinti eismą, naudojant greičio smūgius, drėkinti paviršių ar apdoroti kalcio chloridu ar koku nors kitu paviršiaus stabilizatoriumi (tik ne sena mašininė alyva!). Daugeliu atvejų apdorojimo kalcio chloridu išlaidos gali lengvai padengti grunto netekimo ir poveikio aplinkai, manant, kad gruntas patenka į paviršiaus vandenį, išlaidas (Gravel Road... 1999).

Minesota. Paul Warner pasiūlė naują paslaugą – tiekti ir taikyti kalcio chlorido dribsnius: sausą, lengvą medžiagą, kuri atrodo kaip akmens druska. Gaminamas **Minesotoje** kalcio chloridas pasirodė efektyvus, kontroliuojant kelio dulketumą visos vasaros metu, stabilizuojant kelio žvyrą, įrodant aukštą kelio paviršiaus kokybę ir mažinant kelio būklės vertinimo ir priežiūros išlaidas (When the Dust... 2004).

Kanabeko apygardoje, Minesotoje, 2005 m. vykdytas projektas „Žvyrkelių dulketumo mažinimas ir stabilizacija“. Projekto metu buvo naudota *Base One* stabilizavimo medžiaga.

1.12 pav. Kanabeko kelias po apdorojimo *Base One* chemikalu (Annual Report 2005)

Fig. 1.12. Kanabec road after treatment with *Base One* (Annual Report 2005)

Apygardos žvyrkelių 4,18 km dalis su 10–15 cm egzistuojančios 5 klasės užpildu buvo plečiama ir formuojama, pridodant 8 cm modifikuotos 5 klasės su

molio sudėtimi užpildą (maždaug 15 % pridedama į kelio segmentus). Ši medžiaga klojama pučiant vėjui ir suspaudžiama į tris lygius sluoksnius. Rekomenduojamas Base One chemikalo kiekis pridedamas tarp sluoksnių. Galutinis paviršiaus chemikalų taikymas buvo atliekamas prieš galutinį suspaudimą. Kelio paviršius buvo analizuojamas tris kartus – kartą prieš sutankinimą, kartą po sutankinimo ir kartą po pavasario atodbrėkio.

Tyrimai parodė, kad KD kiekis buvo labai sumažėjęs, bet nepašalintas. Taip pat reikšmingai sumažėjo kelių priežiūros poreikis po apdorojimo (Annual Report 2005). 1.12 paveiksle pavaizduotas Kanabeko kelias po apdorojimo *Base One* chemikalu.

Base One buvo naudojamas daugiau grunto stabilizavimui nei dulkėtumo kontrolei (Annual Report 2005).

Rokvile, Minesotoje, 2005 m. vykdytas projektas „Rokvilo *X-hesion* tyrimas“. Naudojama nauja dulkėtumo mažinimo medžiaga, vadinama *X-hesion*. *X-hesion* yra jautrus aplinkai, nekoroduojantis, bechloris produktas, efektyviai mažinantis dulkėtumą žvyrkeliuose. Jei *X-hesion* veiks kaip skelbiama, mieste turėtų mažėti išlaidos kelio priežiūrai dėl kelio smulkinimo ir žvyro pildymo, didės kelio saugumas, labai mažės dulkėtumas ir kelio nelygumai.

2004 metais dulkėtumas nagrinėtas apytiksliai 8 Rokvilo žvyrkelių kilometruose. Tradicinis metodas, naudojant magnio chloridą, buvo naudojamas 5,6 km iš šių žvyrkelių, o likę 2,4 km – bandomi su *X-hesion*. Visi žvyrkeliai buvo drėkinami prieš taikant standartizuotas sąlygas. Trys tiriamieji žvyrkeliai buvo veikiami su *X-hesion*. Iš trijų žvyrkelių, kurie apdoroti *X-hesion*, nė viename nebuvo sulaukta žadėtos sėkmės. Vienas žvyrkelis, kuriuo labiausiai keliaujama, buvo dulkėtas po dviejų dienų ir jame reikėjo dangos smulkinimo po mėnesio. Kitas žvyrkelis „susiraukšlėjo“ per dvi savaites, bet nebuvo toks dulkėtas kaip kiti keliai. Trečiajame žvyrkelyje reikėjo smulkinimo rečiau nei apdorojant magnio chloridu. Vis dėlto eksperimento rezultatai parodė, kad žvyrkeliai, apdoroti magnio chloridu, buvo geresnės būklės nei ankstesniais metais (Annual Report 2005). 1.13 paveiksle pavaizduotas Rokvilo kelias po apdorojimo.

1.13 pav. Rokvilo kelias iškart po apdorojimo (Annual Report 2005)
Fig. 1.13. Road of Rockville straight after treatment (Annual Report 2005)

Jungtinėse Amerikos Valstijose labai siūloma naudoti *Dustkill* produkciją. *Dustkill* yra sojos pupelių pagrindo dulkėtumo mažinimo medžiaga. Ši žemės ūkio medžiaga yra visiškai mikroorganizmų suskaidoma. Sojų aliejus yra efektyvesnė alternatyva tradicinėms vandenyje tirpioms dulkėtumo mažinimo medžiagoms – kalcio ir magnio chloridams.

Sojų aliejus pamažu skverbiasi į kelio paviršių ir „rišasi“ su paviršiaus dangos sluoksniu medžiaga bei formuoja keliui apsauginį skydą. Šis apsauginis sluoksnis ne tik mažina dulkėtumą, bet taip pat stabilizuoja kelio medžiagą, taigi kelio būklės įvertinimas atliekamas rečiau. Šis „rišiklis“ taip pat mažina kelio dangos susidėvėjimą, todėl reikia mažiau papildomo padengimo žvyru. Be to, sojų aliejus nekoroduoja ir yra lengvai nuplaunamas muilu ir vandeniu.

Sojų aliejaus naudojimas suteikia ilgalaikę kelio apsaugą ir priežiūrą bei aplinkos saugojimą, naudojant vieną iš gausiausių ir atstatomų Amerikos resursų.

Sojų aliejus pasižymi greitu ir lengvu taikymu bei puikiomis charakteristikomis (mažina dulkėtumą). Sojų aliejus yra mikroorganizmų suskaidomas, skirtingai nuo daugelio kitų dulkėtumą mažinančių medžiagų, kurios gali migruoti ir teršti aplinkinį dirvožemį ir vandenį. Be to, tai atsinaujinantis išteklius.

Sojų aliejus skverbiasi į 3 cm gylį kelio paviršiuje, rišdamas žvyro ir klinčių daleles bei formuodamas glaustą paviršių. Sojų aliejų užtenka naudoti vieną kartą per sezoną: kelio dangos žvyras išlieka vietoje ilgą laiką (nuo sausos vasaros iki vėlyvo rudens), taigi taupomas darbo ir įrenginių naudojimas bei jų nusidėvėjimas. Vėlesniais metais galima mažinti taikymo dažnumą (About Dustkill 2006).

Laboratoriniame tyrime, kurio tikslas nustatyti dulkėtumo mažinimo medžiagų pasipriešinimo vėjo ir eismo erozijai kokybę, Epps ir Ehsan (2002) palygino užpildus iš **Vajomingo**, **Teksaso** ir **Arizonos**, kad nustatytų vandens, CaCl_2 ir MgCl_2 efektyvumą, kontroliuojant dulkėtumą. Žvyras iš Vajomingo sudarytas apytiksliai iš 9,9 % smulkių dalelių, tai yra mažiau nei Teksaso ir Arizonos pavyzdžiuose. Jie paruošė užpildus juos laikydami 2 dienas 32 °C temperatūroje ir 35 % santykinėje drėgmėje. Tada jie apipurškė mėginius vandeniu 1,8 l/m² kiekiu, kad sumažėtų paviršiaus įtempimas ir padidėtų infiltracijos greitis, tada naudojamas magnio chloridas vienam, kalcio chloridas kitam ir vien vanduo trečiam mėginiui. Apdorotiems ir neapdorotiems bandiniams buvo imituotas 32 km/h vėjo greitis tunelyje, kad būtų nustatytas pasipriešinimas vėjo sukiamai erozijai. Jie nustatė, kad cheminės priemonės (MgCl_2 ir CaCl_2) Vajomingo užpildui mažina vėjo eroziją. Tai susiję su faktu, jog chemikalai išlaiko paviršių drėgną netgi vėjuotomis sąlygomis. Autoriai nerado realių skirtumų tarp MgCl_2 ir CaCl_2 , bet pažymėjo, kad abu praranda savo efektyvumą laikui bėgant.

Toliau jie įvertino chemikalų efektyvumą, imituojant eismo srautą. Buvo imituotas 1500 transporto priemonių eismas, kad būtų išmatuotas pasipriešinimas eismo keliama erozijai. Medžiagos ir aplinkos kintamieji, derinami testo

programoje, apėmė esamą temperatūrą, esamą periodą, dulkėtumą mažinančios priemonės koncentraciją ir taikymo kiekį. Nustatyta, kad 38 % CaCl_2 ir 30 % MgCl_2 tirpalų, taikomų Vajomingo užpildui, reikšmingai sumažino eroziją dėl eismo, palyginus su užpildo pavyzdžiu, kuris apdorotas tik vandeniu. Jie nusprendė, kad CaCl_2 ar MgCl_2 naudojimas labiau sustiprino dulkėtumo kontrolę žvyrkeliuose, palyginus su vandeniu ar neapdorota dalimi, ir kad nėra žymaus skirtumo tarp abiejų chemikalų (Epps ir Ehsan 2002).

Vajomingas. Thompson ir Visser (2002) tyrimais nustatė, kad reguliarus drėkinimas ir cheminių medžiagų taikymas kartu su optimaliu užpildo paviršiumi yra vienintelis optimalus pasirinkimas kontroliuoti KD emisiją gabenimo keliuose.

Labiausiai žalingos kvėpavimo sistemai yra dalelės, kurių skersmuo yra mažesnis nei 10 μm , žinomos kaip KD_{10} (Ferguson ir kt. 1999). Vajominge KD_{10} matavimai atliekami nuo 1989 metų.

Tyrinėtojai iš dykumų tyrimo instituto *Nevados universitete* nustatė, kad autotransportas, važiuodamas neapdorotu žvyrkeliu vidutiniškai 40 km/h greičiu, sukelia KD_{10} emisiją nuo 0,27 iki 0,91 kg/km (Gilles ir kt. 1997). Kai autotransporto greitis padidėjo iki 55 m/h, KD_{10} emisijos kiekis padidėjo nuo 0,84 iki 1,38 kg/km. Manoma, kad mažinant autotransporto važiavimo greitį žvyrkeliuose nuo 40 km/h iki 25 km/h KD_{10} emisija sumažėtų 35–42 % (Compilation of... 1998). Taip pat siūloma nagrinėti klimato sąlygas, tokias kaip: atodrėkio ciklas ir vidutinis mėnesinis vėjo greitis.

Nustatyta, kad biokatalizatorius (EMC_2) buvo tik 39 % efektyvesnis vieną savaitę po pirminio taikymo ir 0 % efektyvus po 11 mėnesių. Akrilo kopolimeras buvo 95 % efektyvesnis vieną savaitę ir apytiksliai 85 % po 11 mėnesių. Bitumo medžiaga buvo 95 % efektyvesnė vieną savaitę, 75 % po 3 mėnesių ir 53 % po 11 mėnesių (Compilation of... 1998).

Paviršiaus apdorojimas dulkėtumo mažinimui yra dviejų kategorijų: sutankinimas prie optimalaus drėgnio ir cheminė stabilizacija. **Sutankinimas** prie optimalaus drėgnio apima drėkinimą ir paviršinio aktyvumo medžiagų, kurios išlaiko kelio paviršiaus drėgmę, naudojimą. **Cheminė stabilizacija** – tai fizinių žvyrkelio charakteristikų keitimas. Kitaip nei drėkinimas, cheminės medžiagos reikalauja mažiau pakartotinio naudojimo (Compilation of... 1998).

Mechaninė kelio stabilizacija yra mišinys dviejų ar daugiau substrato medžiagų, reikalingų sukurti kelio paviršių. Šis metodas neapima chemikalų naudojimo, nors jie ir gali būti panaudoti kaip priemaiša stabilizacijai. Vienas iš efektyviausių substrato mišinių apima molio pridėjimą į žvyro ir smėlio užpildus (Gebhart ir kt. 1999).

Sanders ir Addo (1993) aprašo du būdus, kuriais dulkėtumą mažinančios medžiagos yra dažniausiai naudojamos: maišymo vietoje ir išpylimo metodai. **Maišymo vietoje** metodas apima dulkėtumo mažinimo medžiagos maišymą su

kelio užpildu. Ši procedūra yra naudojama ne tik surišti žvyro daleles, bet ir taip pat užtikrina geresnę žvyrkelio dangos paviršiaus kokybę. **Išpylimas** – tai medžiagos įterpimas į kelio paviršių. Išpylimas yra efektyvus trumpą laiką, tačiau reikia pakartotinio naudojimo sezono metu (Sanders ir Addo 1993).

Kitas taikymo būdas buvo nustatytas Bolander ir Yamada (1999). Jie teigia, kad dulkėtumo mažinimo medžiagų skverbimasis į paviršiaus medžiagą yra būtinas. Šis skverbimasis turėtų būti nuo 1 iki 2 cm gylyje. Tinkamas skverbimasis mažins naudojamos medžiagos praradimą iš paviršiaus ir leis paviršiui priešintis išplovimui.

Organiscak ir kt. (2003) teigia, kad, kai naudojami chloridai, yra palanku prarasti vienodai 3–5 cm kelio užpildo, kad chemikalai vienodai įsigertų. Kaip ir Bolander ir Yamada (1999), grupė akcentuoja būdingą kelio paruošimo, kaip mažinančių dulkėtumą priemonių efektyvumo, būdą. Jie taip pat tvirtina, kad naudojant chloridą kelias neturėtų būti suspaustas prieš taikant chemikalus, taip pat turėtų išlaikyti optimalią drėgmę prieš taikymą, todėl produktai būtų absorbuojami greitai ir vienodai (Organiscak ir kt. 2003).

Kai kurioms dulkėtumo mažinimo medžiagoms yra rekomenduojama uždrausti eismą dviem trimis valandoms po taikymo, kad produktas absorbuotųsi ir saugotų paviršių (Skorseth ir Selim 2000).

Gali būti kitų problemų, kurios slopina naudojamų dulkėtumą mažinančių medžiagų efektyvumą. Tai apima bendravimo trūkumą tarp vandens sunkvežimių operatorių, kurie naudoja dulkėtumo mažinimo medžiagą, kur jos nereikia (pvz., kelkraščiuose ir bermose). Taip pat medžiagos gali būti panaudotos kelis kartus toje pačioje vietoje. Kartais medžiagos gali būti purškiamos, neatsižvelgiant į smarkų vėją (tuomet pūslai išnešiojami toliau nei turėtų) (Stevenson 2004).

Gaffney ir Shimp (1997) siūlo pagerinti GIS technologiją erdvinės analizės emisijos skaičiavimui.

Dona Ana apygardoje buvo pasiūlytos geriausios prieinamos kontrolės priemonės: augalijos atsodinimas, cheminių dulkėtumo mažinimo priemonių (BACM 2000).

KANADA. Halifakso savivaldybės pagrindinis tikslas – užtikrinti gyventojų saugumą žvyrkeliuose. Savivaldybė rūpinasi nuplovimu ir pagrindo taisymu, žvyro tiesimu iš naujo, kelio būklės įvertinimu ir dulkėtumo kontrole, taip pat kelkraščių priežiūra. Vėlyvą pavasarį arba ankstyvą vasarą dulkėtumo mažinimui yra taikomas 35 % šlapio kalcio chlorido tirpalas 4 dribsnių ekvivalentinių t/km kiekiu. Po to naudojamas mažesnis kiekis (Street maintenance 2006).

LIETUVA. Keliams su žvyro danga priskiriami žvyrkeliai, kurių danga įrengta iš karjerinio žvyro arba iš žvyro ir smėlio mišinių, atitinkančių nurodytus „Kelų techniniame reglamente KTR 1.01:2008. Automobilų keliai“ (KTR

2008) ir „Statybos rekomendacijose R 35-01. Automobilių kelių asfaltbetonio ir žvyro dangos“ (R 35-01 2001).

Bandomieji žvyrkelių dulkėtumo mažinimo darbai Lietuvoje buvo pradėti 1999 metais. Didesnės apimties darbus visuose regionuose, naudojant įvairias dulkėtumui mažinti priemones ir rengiant bandomuosius ruožus, pradėta vykdyti 2003 metais. 2003 m. įvairiomis dulkėtumui mažinti skirtomis medžiagomis, buvo apdorota 51,7 km žvyrkelių, o 2004 metais – 95,9 km. Kai kuriuose žvyrkeliuose tos pačios dulkėtumui mažinti priemonės buvo panaudotos 2003–2008 m.

2003 metais žvyrkelių dulkėtumo mažinimo darbai buvo vykdomi 29 ruožuose, kurių bendras ilgis sudarė 51,7 km. 2004 metais 27 iš 29 ruožų buvo pakartotinai atliekami žvyrkelių dulkėtumo mažinimo darbai (27 žvyrkelių ruožų bendras ilgis buvo 50,3 km). 2004 metais buvo įrengta papildomai nauji 24 ruožai (viso jų buvo 53).

Daugiausia buvo kelio ruožų, kuriuose dulkėtumui mažinti naudota bituminė emulsija. 2003 metais tokių ruožų buvo 15 (bendras ilgis 25,5 km), o 2004 metais 28 (bendras ilgis 48,5 km). 14 ruožų iš bendro 28 skaičiaus dulkėtumo mažinimui bituminė emulsija buvo naudota antrus metus iš eilės. Minėti žvyrkelių ruožai buvo išsidėstę visuose regionuose, išskyrus Kauno.

Kauno, o taip pat Panevėžio, Telšių, Utenos ir Alytaus (nuo 2004 metų) regionuose buvo įrengti 6 ruožai (bendras ilgis 13,0 km), kuriuose dulkėtumui mažinti buvo panaudotas kalcio lignosulfonatas. 2004 m. tokių ruožų padidėjo iki 13 (bendras ilgis sudarė 25,9 km). Ruožuose, kuriuose dulkėtumo mažinimo darbai vykdomi 2003 metais, tokie patys darbai buvo kartojami ir 2004 metais. Kalcio lignosulfonatas naudotas tik penkių regionų iš dešimties žvyrkelių dulkėtumui mažinti.

Žvyrkelių dulkėtumui mažinti rečiausiai naudojamas kalcio chloridas. 8 bandomieji ruožai 2003 metais ir 12 ruožų 2004 metais buvo įrengti Alytaus, Panevėžio ir Šiaulių regionų keliuose. Šių ruožų bendras ilgis 2003 metais sudarė 13,2 km, o 2004 metais – 21,5 km. 12,6 km ilgio žvyrkeliuose (7 kelio ruožai) kalcio chloridas buvo įterpiamas pakartotinai 2004 metais.

2007 metais dulkėtumą mažinančiomis medžiagomis buvo apdorota 15 žvyrkelių ruožų: 2 Alytaus, 4 Panevėžio, 4 Šiaulių, 1 Utenos, 4 Vilniaus regione. Viso buvo apdorota 27,88 km žvyrkelių. Didžioji dauguma (15 žvyrkelių ruožų) buvo apdoroti kalcio chloridu, o 5 ruožai buvo apdoroti naftos emulsija.

Kalcio chloridas naudojamas kieto arba skysto pavidalo (Žvyrkelių dulkėjimo... 2007).

Paskutiniaisiais metais daugeliui mažo eismo antros ir trečios klasės keliams buvo skirtas didelis dėmesys. Tai parodė tyrimai pagal Hoover ir kt. (1989), Lane ir kt. (1984), Irwin ir kt. (1986), Boresi ir Palmer (1993), Sanders ir kt. (1997). Daugelio tyrimų tikslas buvo suprasti ir pagerinti žvyrkelių paviršiaus sąlygas, naudojant dulkėtumą mažinančias medžiagas bei įvairias priežiūros metodus.

Kitas tyrimas aiškiai parodė, kad kelio paviršiaus medžiagos charakteristikos ar struktūra turi reikšmingą poveikį, kaip kelias bus išlaikomas eismo ir aplinkos sąlygomis. Joks kelio užpildo charakteristikų poveikis dulkėtumo mažinimo medžiagų efektyvumui kruopščiai nebuvo ištirtas. Be to, šio tipo tyrimas gali padėti sudaryti dulkėtumo mažinimo medžiagų, naudojamų įvairaus pagrindo ir paviršiaus medžiagų charakteristikoms, katalogą (Sanders ir Addo 1993; Potential Environmental... 2002).

Šiuo metu siūlomos naujos medžiagos, pagamintos cukraus gamybos atliekų pagrindu, dulkėtumo mažinimui. Duomenų apie organiniu pagrindu paruoštų medžiagų efektyvumą ir poveikį kelio aplinkai (dirvožemiui, augalijai) yra nepakankamai arba iš viso jų nėra.

1.6. Kietųjų dalelių sklaidos modeliavimas kelio aplinkoje

Kietųjų dalelių (KD) sklaidos modeliavimui dažniausiai naudojama PHOENICS programa.

Vilniaus miesto Žvėryno rajone, kurio daugelyje vietų naudotos tikslios (eksperimentinės) KD koncentracijų reikšmės KD dispersijai ore modeliuoti taikytas PHOENICS programinės įrangos paketas, kuris duoda artutinius skaitinius pernašos lygčių sprendinius, nes tikslūs analiziniai sprendiniai yra negalimi. Modelyje pateikiamos KD dispersijos ore matematinio modeliavimo metodikoje naudojamas algebrinės šlyties metodas, naudotos bazinės pernašos procesų lygtys. Kaip KD pradinės sąlygos miesto gatvėse naudoti eksperimentiniai duomenys (KD koncentracijos reikšmės) ir gauti duomenys panaudoti PHOENICS matematinio modeliavimo programoje, gauta KD koncentracijos dispersija aplinkoje (Baltrėnas ir kt. 2008).

Modelis KD_{10} emisijai nustatyti buvo sukurtas, naudojant sąvoką „slenksčio trinties greitis“, kuris priklauso nuo paviršinio šiurkštumo. Paviršinis šiurkštumas sietas tarpusavyje su geomorfologinėmis dirvožemio ypatybėmis **Sirijos, Saudo Arabijos, Jungtinių Arabų Emyratų ir Omano Kuveite, Irakui**, daliai. KD_{10} emisijos algoritmas buvo įtrauktas į LAGRANGIAN išsklaidymo modelį. KD_{10} ore koncentracijos buvo apskaičiuotos nuo 1990 m. rugpjūčio iki 1991 m. rugpjūčio mėn. Modelis numatė dulkių kilimo per Kuveitą skaičių (įvykiai įvyksta 18 % laiko). Pavyzdiniai rezultatai nustatyti keturiose vietose Saudo Arabijoje ir vienas Kuveite vienam pagrindiniam dulkių atvejui (kai emisija buvo $> 1000 \text{ g/m}^3$). Tačiau mažesnio masto dulkių debesims (emisija $200\text{--}1000 \text{ g/m}^3$), ypač pakrantės vietose, modelis iš esmės numatė per dideles koncentracijas. Netikslumo priežastis – modelis labai jautrus „slenksčio trinties greičiui“ ir dirvožemio emisijos faktoriui (Draxler ir kt. 2001).

Sveikatai žalingų dalelių emisijos iš įvairių šaltinių pasiskirstymui modeliuoti pateikiamas matematinis modelis (Robinson ir Robbins 1971). Dažniausiai nagrinėjamas Gauso plokštumos modelis buvo taikytas dulkėms, sukeltoms **Ajovos ir Kanzaso** žvyrkeliuose. Į modelį įtrauktas ribotas lauko plotas, naudojant didelio tūrio pavyzdžius ir eksperimentiškai gautus KD duomenis (Sanders ir Addo 1993).

Taršos dispersijos modeliavimo programa „*ISC Aermod View*“ gali įvertinti meteorologinius parametrus, reljefą, transporto srautą, trumpalaikę ir ilgalaikę koncentracijos matavimo reikšmę (Lippa ir Špakauskas, 2002).

The Industrial Source Complex (ISC) trumpalaikis modelis gali modeliuoti emisiją iš plataus spindulio šaltinių, tai gali tikti tipiniam pramonės šaltinių kompleksui. Modelio bazė yra tiesi linija, pastovios būklės Gauso kamuolio lygtis, kuri naudojama su keliais paprastais pakeitimais taškinio šaltinio emisijoms iš kamino, kurio tarša sklinda aerodinamiškai žemyn ant greta esančių pastatų. Emisijos šaltiniai skirstomi į 4 kategorijas: taškinis, tūrinis, ploto ir atviras kasyklos šaltinis. Tūrinis ir ploto šaltiniai gali taip pat imituoti linijinį šaltinį (Lippa ir Špakauskas, 2002; Greičiūtė ir kt. 2002).

ISC trumpalaikis modelis įvertina valandinius meteorologinius duomenis, kad nustatytų sąlygas dulkių kamuolio didėjimui, transportui, difuzijai ir nukritimui. Modelis apskaičiuoja koncentraciją kiekvienam šaltiniui kiekvienai įvestai valandai ir apskaičiuoja vartotojo nustatytą trumpalaikio poveikio vidurkį. Nukritimo vertės nustatomos geriau sausom nuokritoms nei šlapioms. Taip pat bendras kritulių kiekis yra nustatomas paprastai sumuojant sausas ir šlapias tēkmes dalinėje vietovėje (Greičiūtė ir kt. 2002).

ISC modelis naudoja Gauso plunksnos lygtį, kad apskaičiuotų emisijas iš taškinio šaltinių, tokių kaip kaminas. Modelis apima Gauso plunksnos lygtis bei kitas formules, padedančias nustatyti dispersijos parametrus (Baltrėnas ir kt. 2004; Vaitiekūnas ir Banaitytė 2007).

1.7. Pirmojo skyriaus išvados ir disertacijos uždavinių formulavimas

Atlikus literatūros šaltinių apžvalgą, nustatyta, kad:

1. Žvyrkeliuose kietųjų dalelių emisija priklauso nuo automobilių greičio, ratų skaičiaus, eismo intensyvumo, žvyrkelio dangos paviršiaus medžiagos, žvyrkelio paviršiaus drėgmės, klimato sąlygų.
2. Automobiliai, važiuodami neapdorotu žvyrkeliu vidutiniškai 40 km/h greičiu, sukelia KD_{10} emisiją nuo 0,27 iki 0,91 kg/km. Padidinus važiavimo greitį iki leistinojo (70 km/h), KD kiekis padidėja apytiksliai 35 %.

3. Dažniausi žvyrkelių apdorojimo metodai yra chemikalų išpylimas bei jų įterpimas į kelio dangą. Šiuo metu dažniausiai taikomas žvyrkelių dulkėtumo mažinimo metodas yra CaCl_2 įterpimas į kelio dangos paviršių.
4. Visi dulkėtumo tyrimai parodė, kad žvyrkelius apdorojus cheminėmis medžiagomis KD emisija sumažėja nuo 30 iki 80 %.
5. Siekiant sumažinti dulkėtumą mažinančių medžiagų patekimą į aplinką, tikslinga jas paskleisti kelis kartus per sezoną mažesniais kiekiais.
6. Visos dulkėtumo mažinimo medžiagos aglomeruoja žvyrkelių dangos paviršiaus smulkiąsias daleles ir jas nusodina.
7. Vanduo yra pigiausia dulkėtumo mažinimo priemonė. Ji yra labai efektyvi iškart po panaudojimo, tačiau jos efektyvumas priklauso nuo oro sąlygų gali labai greitai sumažėti.
8. Dulkėtumo mažinimo medžiagos lignino pagrindu yra vienos efektyviausių. Jų efektyvumas siekia iki 90 %. Tačiau šios medžiagos yra tirpios vandenyje.
9. Rečiausiai (kas 5 metai) dulkėtumo mažinimui taikomas molio priedas, o dažniausiai – vanduo. Kitos medžiagos taikomos apytiksliai 1–2 kartus per metus.
10. Tik naftos pagrindo produktai netirpūs ir neišgaruoja, t. y. jų aplinkos sąlygos neveikia.
11. Vanduo yra pati nepavojingiausia aplinkai dulkėtumo mažinimo medžiaga, o naftos pagrindo produktai kelia didžiausią pavojų aplinkai. Daugelio produktų (pvz., melasos, cukrinių runkelių ekstrakto, talo alyvos darinių, augalinių aliejų, molio priemaišų) poveikis aplinkai yra iki šiol nebuvo tirtas.
12. Medžiagos melasos pagrindu efektyvumas, mažinant žvyrkelių dulkėtumą, iki šiol Lietuvos ir panašių klimatinių sąlygų šalyse nėra ištirtas. Todėl būtina atlikti šios medžiagos efektyvumo ir poveikio aplinkai tyrimus.
13. Atlikus literatūros šaltinių analizę, patikslinti darbo uždaviniai, kuriuose numatyta atlikti dulkėtumo matavimo tyrimus laboratorinėmis ir natūraliomis (lauko) sąlygomis, kai žvyrkelių dulkėtumo mažinimui naudojama medžiaga melasos pagrindu ir jos mišiniai su technine druska, nustatyti optimalią medžiagos ir jos mišinio koncentraciją bei atlikti kietųjų dalelių sklaidos modeliavimą.

Kietųjų dalelių emisijos mažinimo, naudojant įvairius tirpalus, laboratoriniai tyrimai

Eksperimentiniams laboratoriniams tyrimams pasirinkta medžiaga melasos pagrindu (MMP), kurios kilmė yra organinė, todėl šis produktas priklauso organinių medžiagų be naftos produktų kategorijai. Melasa – antrinis žemės ūkio produktas, gaunamas iš cukraus pramonės atliekų. Tai tamsiai rudos spalvos, bekvapė, skysta medžiaga, kuri gali būti maišoma su visais chloridais, jų tirpalais, rečiau naudojama viena. MMP pasižymi labai geromis antikorozinėmis savybėmis, nekenksminga aplinkai, susiskaido biologiškai. Taip pat tyrimams naudojamas kalcio chloridas.

Šiame skyriuje aprašomi eksperimentai buvo atliekami kietųjų dalelių koncentraciją nustatant svoriniu metodu.

Šių tyrimų tikslas – naudojant žvyro apdorojimui 36,5 % CaCl_2 tirpalą nustatyti žvyro frakciją, tinkamiausią tolimesniams laboratoriniams tyrimams, o ją nustatčius atlikti kietųjų dalelių koncentracijos tyrimus, mėginius neapdorojant jokiais dulkėtumą mažinančiomis medžiagomis (kontrolė) ir naudojant dulkėtumo mažinimo priemonę – medžiagą melasos pagrindu bei jos mišinius su CaCl_2 .

Skyriaus tematika paskelbtas vienas autorės straipsnis (Balionis ir kt. 2008).

2.1. KD emisijos mažinimo, naudojant CaCl_2 , tyrimų metodika

KD emisijos į aplinką laboratorinis tyrimas buvo atliktas Vilniaus Gedimino technikos universiteto (VGTU) Aplinkos apsaugos katedros (AAK) aerozolių ir oro valymo laboratorijoje. Remiantis Kelių su žvyro danga dulкėjimo mažinimo (2004) metodiniais nurodymais CaCl_2 tirpalo koncentracija turi būti ne mažesnė nei 20 % ir ne didesnė nei 37–41 %, todėl pasirinkta koncentracija buvo artima maksimaliai leidžiamai. Tyrimo eiga sudaryta remiantis Atmosferos apsaugos ir teršalų savybių tyrimų laboratoriniu darbu (1998).

Tyrimui buvo naudota: analitinis sietų kratytuvas AS200 Digital; įvairių frakcijų žvyras; filtrai АФА-ВП-10, r 1,8–1,4 mm; KD koncentracijos matavimo įrenginys (žr. 2.1 pav.); aspiratorius dulкeto oro pavyzdžiui paimti; analitinės elektroninės svarstyklės KERN 770/GS/GJ (matavimo ribos 0,01–220 g, matavimo paklaida $\pm 0,2$ mg, tikslumas 0,1 mg); sekundmatis; termometras; barometras BAMB-1; CaCl_2 36,5 % tirpalas; purkštuvas tirpalams purkšti.

Oro pritraukimo greitis reguliuotas rotometru.

2.1 pav. KD koncentracijos matavimo įrenginys: 1) rotometras;

2) aspiratorius; 3) kamera; 4) ventiliatorius

Fig. 2.1. Device for dust concentration measurement: 1) rotor; 2) aspirator; 3) dust room; 4) fan

Bandinio paruošimas: Pirmiausia buvo pasverta 1 kg žvyro, kuris buvo paimtas nuo kelio, esančio prie VGTU Saulėtekio alėjoje (tame kelyje buvo atliekami lauko tyrimai, aprašyti 3 skyriuje). Toliau buvo sijojama analitiniu sietų kratytuvu AS200 Digital, norint atskirti skirtingas žvyro frakcijas. Nustatyta 70 kratymo amplitudė ir sijojimo laikas buvo 3 min. Tyrimą atlikti pasirinktos tokios žvyro frakcijos: 0,4–0,3 mm, 0,3–0,2 mm, 0,2–0,1 mm, 0,1–0,0 mm. Kadangi eksperimento metu nustatyta, kad jos netinkamos, nuspręsta jų neskaidyti

ir naudoti vieną bendrą frakciją (0–0,4 mm). Reikalingos žvyro frakcijos (0,4–0,3 mm, 0,3–0,2 mm, 0,2–0,1 mm, 0,1–0,0 mm ir 0–0,4 mm,) pasveriamos. Kadangi frakcijų masė buvo mažesnė nei po 100 g, tai buvo paimta dar žvyro ir sijota tol, kol frakcijų masė buvo po 100 g.

Sijotas žvyras supiltas į $10,5 \times 11,5 \times 1,5$ cm dėžutes be vienos sienelės prieš ventiliatorių. Žvyras ant pagrindo paskirstytas vienodai ir grūstuvėliu šiek tiek paspaustas.

Analitinėmis svarstyklėmis buvo pasvertas švarus filtras ir įdėtas į alonžą, kuris įstatytas į jam skirtą vietą KD koncentracijos matavimo kameroje. Į kamerą įdėtas paruoštas mėginys. Įjungtas patalpos makete esantis ventiliatorius, kad imituotų vėją. Ventiliatorius veikė 2 min. Susidarius patalpos makete pakankamam dulkėtumui įjungtas aspiratorius su sekundmačiu. Oro pratraukimo greitis rotometru nustatytas 10 l/min. Oro pratraukimo laikas 8 min. Pasibaigus oro pratraukimo laikui, vienu metu išjungti aspiratorius ir sekundmatis bei ventiliatorius. Po bandymo filtras buvo sveriamas tomis pačiomis svarstyklėmis. Užrašytos meteorologinės tyrimo sąlygos, t. y. temperatūra (t), slėgis (p_t), drėgnumas.

Gauta KD koncentracija nustatyta pagal formulę:

$$c_t = \frac{m_1 - m}{Q_{oro}} \text{ (mg/m}^3\text{);} \quad (2.1)$$

čia m – filtro masė prieš bandymą, mg; m_1 – filtro masė po bandymo, mg; Q_{oro} – oro tūris, perėjęs per filtrą, m^3 , esant oro slėgiui p_t ir temperatūrai t .

Didžiausia leistina dulkių koncentracija higienos normose pateikiama esant normalioms sąlygoms, t. y. kai $p = 101,325$ kPa, $T = 0$ °C, todėl faktinę KD koncentraciją c reikia perskaičiuoti į koncentraciją normaliomis sąlygomis pagal formulę:

$$c = \frac{m_1 - m}{Q_n} \text{ (mg/m}^3\text{);} \quad (2.2)$$

čia Q_n – per filtrą prasiurbto oro tūris, perskaičiuotas normaliomis sąlygomis:

$$Q_n = \frac{Q_o \cdot 273 \cdot p_t}{p(273 - T)} \text{ (m}^3\text{).} \quad (2.3)$$

Eksperimentas pakartotas su kitų frakcijų žvyro mėginiais.

Tirpalo paruošimas: Tirpalas paruoštas remiantis Kelių su žvyro danga dulkejimo mažinimo (2004) metodiniais nurodymais. Pasverta 124 g techninio CaCl_2 . CaCl_2 kiekis ištirpintas 250 ml vandens (koncentracija 36,5 %). Kadangi naudojami 5 frakcijų mėginiai, tai gautas tirpalas padalintas į 5 lygias dalis (po 50 ml).

Paruoštas tirpalas buvo purškiamas ant mėginio purkštuvu per du kartus:

- purškiama pusė kiekio (25 ml) paruošto tirpalo ir leidžiama šiek tiek susigerti;
- po 5 min. purškiamas likęs tirpalo kiekis.

Eksperimentas kartotas su apdorotais CaCl_2 tirpalu mėginiais. Apskaičiuota KD koncentracija kiekvienam atvejui. Nubraižyti KD koncentracijos priklausomybės nuo laiko grafikai.

2.2. KD emisijos mažinimo, naudojant CaCl_2 , tyrimų rezultatai ir analizė

Eksperimentas buvo atliekamas 20 parų su pasirinktomis žvyro frakcijomis (0,4–0,3 mm, 0,3–0,2 mm, 0,2–0,1 mm, 0,1–0,0 mm). Kietųjų dalelių koncentracija matuota darbo dienomis.

Prieš apdorojant mėginį, kurio frakcija 0,4–0,3 mm, CaCl_2 tirpalu (2.2 pav.), kietųjų dalelių koncentracija buvo $18,87 \text{ mg/m}^3$. Purškiamas tirpalas ant mėginio pasidengė tolygiai, tačiau išjungus ventiliatoriui buvo nupusta dalis padengto tirpalo sluoksnio, todėl rezultatai buvo iškraipyti. Siekiant tinkamų rezultatų, pirmųjų dienų rezultatai eliminuojami.

2.2 pav. KD koncentracijos kaita mėginyje, kurio žvyro frakcija 0,4–0,3 mm
Fig. 2.2. Variation of PM concentration from sample with gravel fraction 0.4–0.3 mm

Po kelių dienų tirpalas tolygiai pasiskirstė ant viso mėginio paviršiaus. Buvo labiau surištos paviršiaus dalelės, likusios nepadengtos tirpalu, buvo nupūstos ir

todėl koncentracija sumažėjo. Pirmą dieną po apdorojimo KD koncentracija buvo $17,00 \text{ mg/m}^3$, t. y. 1,1 karto mažesnė nei neapdorojus mėginio (šie rezultatai neįtraukti į 2.2 pav.). Paskutinę bandymų dieną apdoroto mėginio KD koncentracija buvo 1,3 karto mažesnė nei neapdorotojo.

Dalelės pasiskirsto pagal lygtį $KD_{\text{konc}} = 0,0161 \cdot L(p)^2 - 0,3426 \cdot L(p) + 15,562$ ($L(p)$ – laikas paromis), koreliacijos koeficientas $R^2 = 0,54$.

Prieš apdorojant mėginį, kurio frakcija $0,3\text{--}0,2 \text{ mm}$, CaCl_2 tirpalu (2.3 pav.), kietųjų dalelių koncentracija buvo $19,75 \text{ mg/m}^3$. Purškiant mėginį tirpalu, susidarė nedidelis sluoksniavimasis paviršiuje. Siekiant išvengti rezultatų iškraipymo, pirmųjų dienų rezultatai eliminuojami.

2.3 pav. KD koncentracijos kaita mėginyje, kurio žvyro frakcija $0,3\text{--}0,2 \text{ mm}$

Fig. 2.3. Variation of PM concentration from sample with gravel fraction $0.3\text{--}0.2 \text{ mm}$

KD koncentracijos padidėjimas buvo todėl, kad buvo pakilusi temperatūra. Tirpalas po kiek laiko labiau sutraukė paviršiaus daleles ir kai kurios liko nepadengtos tirpalu, todėl buvo nupūstos ir KD koncentracija sumažėjo. Pirmą dieną po apdorojimo KD koncentracija buvo $16,25 \text{ mg/m}^3$, t. y. 1,2 karto mažesnė nei neapdorojus mėginio (rezultatai nepateikiami 2.3 pav.). Paskutinę bandymų dieną apdoroto mėginio KD koncentracija buvo 1,4 karto mažesnė nei neapdorotojo.

Dalelės pasiskirsto pagal lygtį $KD_{\text{konc}} = 0,0149 \cdot L(p)^2 - 0,2041 \cdot L(p) + 11,704$, koreliacijos koeficientas $R^2 = 0,65$.

Prieš apdorojant mėginį, kurio frakcija $0,2\text{--}0,1 \text{ mm}$, CaCl_2 tirpalu (2.4 pav.), kietųjų dalelių koncentracija buvo $20,62 \text{ mg/m}^3$. Purškiant tirpalą mėginio paviršius susisluoksniavo, tirpalo lašai susitraukė į burbuliukus. Bandymo metu bur-

bulai buvo nupūsti, todėl liko atviras paviršius. Maždaug po 15–20 min. po bandymo lašai susigėrė labiau. Kad nebūtų iškraipyti rezultatai, pirmosios dienos reikšmė pašalinama iš rezultatų.

2.4 pav. KD koncentracijos kaita mėginyje, kurio žvyro frakcija 0,2–0,1 mm
Fig. 2.4. Variation of PM concentration from sample with gravel fraction 0.2–0.1 mm

KD koncentracijos padidėjimas buvo todėl, kad buvo pakilusi temperatūra. Tirpalas po kiek laiko labiau sutraukė paviršiaus daleles ir kai kurios liko nepadengtos tirpalu, todėl buvo nupūstos ir koncentracija sumažėjo. Pirmą dieną po apdorojimo KD koncentracija buvo 20,75 mg/m³, t. y. 1,01 karto didesnė nei neapdorotus mėginio (rezultatai nepateikti 2.4 pav.). Paskutinę bandymų dieną apdoroto mėginio KD koncentracija buvo 1,7 karto mažesnė nei neapdorotojo.

Dalelės pasiskirsto pagal lygtį $KD_{\text{konc}} = 0,0101 \cdot L(p)^2 - 0,1839 \cdot L(p) + 11,875$, koreliacijos koeficientas $R^2 = 0,43$.

Prieš apdorojant mėginį, kurio frakcija 0,1–0,0 mm, CaCl₂ tirpalu, kietųjų dalelių koncentracija buvo 21,50 mg/m³. Purškiant tirpalą mėginio paviršius susisluoksniavo labiausiai, tirpalo lašai susitraukė į burbuliukus, paviršius pasidengė netolygiai. Bandymo metu burbulai buvo nupūsti, todėl liko atviras paviršius. Maždaug po 15–20 min. po bandymo lašai susigėrė labiau, tačiau viso paviršiaus vis tiek nepadengė. Atliekant eksperimentą su šia pasirinkta žvyro frakcija, per kelias dienas tirpalas taip ir nepasidengė tolygiai ant mėginio paviršiaus, todėl nutarta eksperimento su 0,1–0,0 mm žvyro frakcija netęsti.

Kaip matyti iš gautų rezultatų, pasirinktos žvyro frakcijos nėra tinkamos tyrimams, todėl nuspręsta jų neišskirstyti į smulkias, o eksperimentą pakartoti su frakcija 0–0,4 mm.

Eksperimentas buvo atliekamas 25 paras su 0–0,4 mm žvyro frakcija. Kietųjų dalelių koncentracija matuota darbo dienomis.

Prieš apdorojant mėginį, kurio frakcija 0–0,4 mm, CaCl_2 tirpalu (2.5 pav.), kietųjų dalelių koncentracija buvo $17,9 \text{ mg/m}^3$.

2.5 pav. KD koncentracijos kaita mėginyje, kurio žvyro frakcija 0–0,4 mm

Fig. 2.5. Variation of PM concentration from sample with gravel fraction 0–0.4 mm

Purškiant ant mėginio dulkėtumo mažinimo medžiagą (CaCl_2), jokių ne-sklandumų nebuvo: tirpalas pasidengė tolygiai, eksperimento metu jokių paviršiaus dalelių bei tirpalo nupūtimo nebuvo.

Pirmą dieną po apdorojimo kietųjų dalelių (KD) koncentracija buvo $1,3 \text{ mg/m}^3$, t. y. 13,8 karto mažesnė nei neapdorojus mėginio. Paskutinę bandymų dieną apdoroto mėginio KD koncentracija buvo 2,5 karto mažesnė nei neapdorotojo.

Dalelės pasiskirsto pagal lygtį $\text{KD}_{\text{konc}} = -0,0082 \cdot L(p)^2 + 0,4725 \cdot L(p) + 0,4788$, koreliacijos koeficientas $R^2=0,98$.

Apibendrinant gautus rezultatus, galima teigti, kad tyrimus tikslinga tęsti su žvyro mėginiais, kurių frakcija 0–0,4 mm. Su mažesnių žvyro frakcijų bandiniais tyrimus atlikti netikslinga, nes smulkesnės dalelės tirpalu, mažinančiu KD koncentraciją, pasidengia nevienodai ir todėl ventiliatorius nupučia padengtą sluoksnį ir lieka nepadengtas tirpalu sluoksnis. Sprendžiant pagal koreliacijos koeficientą, tinkamiausia žvyro frakcija tolimesniems tyrimams yra 0–0,4 mm, kadangi šios frakcijos rezultatų koreliacijos koeficientas artimiausias 1, t. y. stiprus koreliacinis ryšys.

2.3. KD emisijos mažinimo, naudojant MMP bei jos mišinius su CaCl_2 , tyrimų metodika

KD emisijos į aplinką laboratorinis tyrimas taip pat buvo atliktas VGTU AAK aerozolių ir oro valymo laboratorijoje.

Tyrimo atlikimo metodika tokia pati, kaip ir naudojant CaCl_2 , tik vietoj jo imta medžiaga melasos pagrindu (MMP) bei jos mišiniai su CaCl_2 . Mėginiai paruošiami kaip aprašyta metodikoje, naudojant CaCl_2 tirpalą (2.1. poskyris).

Pirmosios grupės mėginių apdorojimui pasirinktos trys MMP koncentracijos: 10 %, 20 %, 30 %. Skirtingų koncentracijų MMP tirpalas buvo paruoštas, skiedžiant medžiagą su distiliuotu vandeniu:

- 5 ml (0,005 l) MMP ir 45 ml (0,045 l) distiliuoto vandens; bendras tūris 50 ml, tirpalo koncentracija 10 %;
- 10 ml (0,010 l) MMP ir 40 ml (0,040 l) distiliuoto vandens; bendras tūris 50 ml, tirpalo koncentracija 20 %;
- 15 ml (0,015 l) MMP ir 35 ml (0,035 l) distiliuoto vandens; bendras tūris 50 ml, tirpalo koncentracija 30 %.

Antrosios grupės mėginių apdorojimui pasirinktos tokios pat MMP koncentracijos (10 %, 20 %, 30 %) bei 36,5 % CaCl_2 . Mišinys paruoštas santykiu 1:1.

Matuota, remiantis metodika su CaCl_2 , kasdien, prieš pamatuojant tirpalu apdorotų mėginių KD koncentraciją, matuota kontrolinio (neapdoroto) mėginio KD koncentracija.

Trečiosios grupės mėginių apdorojimui naudota tik MMP (paruošimas toks pats kaip ir pirmosios grupės). Ketvirtosios grupės mėginių apdorojimui naudoti MMP ir CaCl_2 mišiniai (paruošimas toks pats kaip ir antrosios grupės).

Trečiosios ir ketvirtosios grupės mėginiams prieš kiekvieną matavimą būdavo naudojamas volelis (2.6 pav.), imituojant galimą mašinų apkrovą.

2.6 pav. Volelis – galimos mašinų apkrovos imitacija
Fig. 2.6. Roller is imitation of possible transport load

Apskaičiuota KD koncentracija kiekvienam atvejui (tiek kontrolinio mėginio, tiek apdorotų tirpalais). Nubraižytas KD koncentracijos priklausomybės nuo laiko grafikas, kuriame pavaizduotas ir kontrolinio mėginio dulkėtumas.

2.4. KD emisijos mažinimo, naudojant MMP bei jos mišinius su CaCl_2 , tyrimų rezultatai ir analizė

Pagal gautus tyrimų su CaCl_2 rezultatus pasirinkta tik viena žvyro frakcija ir bandymai nebuvo atliekami su 0,4–0,3, 0,3–0,2, 0,2–0,1 ir 0,1–0,0 mm žvyro frakcijomis, nes tai netikslinga, be to, realiomis sąlygomis tokių frakcijų grunte nedidelė dalis.

Eksperimentas su pirmąja grupe mėginių buvo atliekamas 30 parų, kietųjų dalelių koncentraciją matuojant darbo dienomis.

Kontrolinio mėginio KD koncentracija svyravo nuo 17,7 iki 18,4 mg/m^3 (2.7 pav.). Mėginio, padengto 10 % MMP koncentracija, pradinė KD koncentracija buvo 9,8 mg/m^3 , t. y. beveik du kartus mažesnis nei mėginio, nepadengto jokių tirpalu. Po 30 eksperimento parų KD koncentracija siekė 12,6 mg/m^3 ir neviršijo kontrolinio mėginio koncentracijos. Mėginio, padengto tirpalu, KD koncentracija paskutinę matavimo dieną buvo 1,4 karto mažesnė už kontrolinio mėginio KD koncentraciją.

2.7 pav. KD koncentracijos kaita, kai mėginiai apdoroti MMP

Fig. 2.7. Variation of PM concentration, when samples were treated with MBM

Mėginio, padengto 20 % MMP koncentracija, pradinė KD koncentracija buvo 7,1 mg/m^3 , t. y. daugiau kaip du kartus mažesnis nei mėginio, nepadengto

jokiu tirpalu. Po 30 eksperimento parų KD koncentracija siekė $11,2 \text{ mg/m}^3$ ir neviršijo kontrolinio mėginio koncentracijos. Mėginio, padengto tirpalu, KD koncentracija paskutinę matavimo dieną buvo 1,6 karto mažesnė už kontrolinio mėginio KD koncentraciją.

Mėginio, padengto 30 % MMP koncentracija, pradinė KD koncentracija buvo $5,2 \text{ mg/m}^3$, t. y. daugiau kaip tris kartus mažesnis nei mėginio, nepadengto jokiu tirpalu. Po 30 eksperimento parų KD koncentracija siekė $7,8 \text{ mg/m}^3$ ir neviršijo kontrolinio mėginio KD koncentracijos. Mėginio, padengto tirpalu, KD koncentracija paskutinę matavimo dieną buvo 2,3 karto mažesnė už kontrolinio mėginio KD koncentraciją.

Koreliacijos koeficientai:

$R^2_{10\% \text{ MMP}} = 0,97$; $R^2_{20\% \text{ MMP}} = 0,96$; $R^2_{30\% \text{ MMP}} = 0,95$. Kadangi $R^2 \approx 1$, koreliacinis ryšys stiprus.

Eksperimentas su antrąja grupe mėginių buvo atliekamas 40 parų, kietųjų dalelių koncentraciją matuojant darbo dienomis.

Kontrolinio mėginio KD koncentracija svyravo nuo $17,6$ iki $18,3 \text{ mg/m}^3$ (2.8 pav.). Mėginio, padengto mišiniu su 10 % MMP koncentracija, pradinė KD koncentracija buvo $0,0 \text{ mg/m}^3$, t. y. mišinio efektyvumas pirmąją dieną po apdorojimo buvo 100 %. Po 40 eksperimento parų KD koncentracija siekė $8,6 \text{ mg/m}^3$ ir neviršijo kontrolinio mėginio koncentracijos. Mėginio, padengto mišiniu, KD koncentracija paskutinę matavimo dieną buvo 2,1 karto mažesnė už kontrolinio mėginio KD koncentraciją. Lyginant eksperimento rezultatus, naudojant tik MMP ir jos mišinį su CaCl_2 , matyti, kad KD kiekis 1,4 karto mažesnis naudojant mišinį.

2.8 pav. KD koncentracijos kaita, kai mėginiai apdoroti MMP ir CaCl_2 mišiniais

Fig. 2.8. Variation of PM concentration, when samples were treated with mixtures of MBM and CaCl_2

Mėginio, padengto mišiniu su 20 % MMP koncentracija, pradinė KD koncentracija buvo $0,0 \text{ mg/m}^3$, t. y. mišinio efektyvumas pirmą dieną po apdorojimo buvo 100 %. Po 40 eksperimento parų KD koncentracija siekė $6,6 \text{ mg/m}^3$ ir neviršijo kontrolinio mėginio koncentracijos. Mėginio, padengto mišiniu, KD koncentracija paskutinę matavimo dieną buvo 2,8 karto mažesnė už kontrolinio mėginio KD koncentraciją. Lyginant eksperimento rezultatus, naudojant tik MMP ir jos mišinį su CaCl_2 , matyti, kad KD kiekis 1,7 karto mažesnis naudojant mišinį.

Mėginio, padengto mišiniu su 30 % MMP koncentracija, pradinė KD koncentracija buvo $0,0 \text{ mg/m}^3$, t. y. mišinio efektyvumas pirmą dieną po apdorojimo buvo 100 %. Po 40 eksperimento parų KD koncentracija siekė $1,8 \text{ mg/m}^3$ ir neviršijo kontrolinio mėginio koncentracijos. Mėginio, padengto mišiniu, KD koncentracija paskutinę matavimo dieną buvo 10 kartų mažesnė už kontrolinio mėginio KD koncentraciją. Lyginant eksperimento rezultatus, naudojant tik MMP ir jos mišinį su CaCl_2 , matyti, kad KD kiekis 4,3 karto mažesnis naudojant mišinį.

Koreliacijos koeficientai:

$R^2_{10\% \text{MMP} + \text{CaCl}_2} = 0,97$; $R^2_{20\% \text{MMP} + \text{CaCl}_2} = 0,97$; $R^2_{30\% \text{MMP} + \text{CaCl}_2} = 0,97$. Kadan-
gi $R^2 \approx 1$, koreliacinis ryšys stiprus.

Eksperimentas su trečiąja grupe mėginių buvo atliekamas 40 parų, kietųjų dalelių koncentraciją matuojant darbo dienomis.

2.9 pav. KD koncentracijos kaita, kai mėginiai apdoroti MMP, įvertinant galimą transporto apkrovą

Fig. 2.9. Variation of PM concentration, when samples were treated with MBM and evaluate possible transport load

Kontrolinio mėginio KD koncentracija svyravo nuo $17,6$ iki $18,3 \text{ mg/m}^3$ (2.9 pav.). Mėginio, padengto 10 % MMP koncentracija, pradinė KD koncentracija buvo

9,8 mg/m³, t. y. beveik per pusę mažesnis nei mėginio, nepadengto jokių tirpalu. Po 40 eksperimento parų KD koncentracija siekė 12,8 mg/m³ ir neviršijo kontrolinio mėginio koncentracijos. Mėginio, padengto tirpalu, KD koncentracija paskutinę matavimo dieną buvo 1,4 karto mažesnė už kontrolinio mėginio KD koncentraciją.

Mėginio, padengto 20 % MMP koncentracija, pradinė KD koncentracija buvo 7,3 mg/m³, t. y. daugiau kaip 2 kartus mažesnis nei mėginio, nepadengto jokių tirpalu. Po 40 eksperimento parų KD koncentracija siekė 9,9 mg/m³ ir neviršijo kontrolinio mėginio koncentracijos. Mėginio, padengto tirpalu, KD koncentracija paskutinę matavimo dieną buvo 1,8 karto mažesnė už kontrolinio mėginio KD koncentraciją.

Mėginio, padengto 30 % MMP koncentracija, pradinė KD koncentracija buvo 5,3 mg/m³, t. y. daugiau kaip tris kartus mažesnis nei mėginio, nepadengto jokių tirpalu. Po 40 eksperimento parų KD koncentracija siekė 8,0 mg/m³ ir neviršijo kontrolinio mėginio koncentracijos. Mėginio, padengto tirpalu, KD koncentracija paskutinę matavimo dieną buvo 2,3 karto mažesnė už kontrolinio mėginio KD koncentraciją.

Koreliacijos koeficientai:

$R^2_{M:10\%MMP} = 0,98$; $R^2_{M:20\%MMP} = 0,99$; $R^2_{M:30\%MMP} = 0,97$. Kadangi $R^2 \approx 1$, koreliacinis ryšys stiprus.

Eksperimentas su ketvirtąja grupe mėginių buvo atliekamas 40 parų, kietųjų dalelių koncentraciją matuojant darbo dienomis.

2.10 pav. KD koncentracijos kaita, kai mėginiai apdoroti MMP ir CaCl₂ mišiniais, įvertinant galimą transporto apkrovą

Fig. 2.10. Variation of PM concentration, when samples were treated with mixtures of MBM and CaCl₂ and evaluate possible transport load

Kontrolinio mėginio KD koncentracija svyravo nuo 17,6 iki 18,3 mg/m³ (2.10 pav.). Mėginio, padengto mišiniu su 10 % MMP koncentracija, pradinė KD koncentracija buvo 0,0 mg/m³, t. y. mišinio efektyvumas pirmąją dieną po apdorojimo buvo 100 %. Po 40 eksperimento parų KD koncentracija siekė 10,3 mg/m³ ir neviršijo kontrolinio mėginio koncentracijos. Mėginio, padengto mišiniu, KD koncentracija paskutinę matavimo dieną buvo 1,8 karto mažesnė už kontrolinio mėginio KD koncentraciją. Lyginant eksperimento rezultatus, naudojant tik MMP (trečioji mėginių grupė) ir jos mišinį su CaCl₂, matyti, kad KD kiekis 1,2 karto mažesnis naudojant mišinį.

Mėginio, padengto mišiniu su 20 % MMP koncentracija, pradinė KD koncentracija buvo 0,0 mg/m³, t. y. mišinio efektyvumas pirmąją dieną po apdorojimo buvo 100 %. Po 40 eksperimento parų KD koncentracija siekė 7,5 mg/m³ ir neviršijo kontrolinio mėginio koncentracijos. Mėginio, padengto mišiniu, KD koncentracija paskutinę matavimo dieną buvo 2,4 karto mažesnė už kontrolinio mėginio KD koncentraciją. Lyginant eksperimento rezultatus, naudojant tik MMP (trečioji mėginių grupė) ir jos mišinį su CaCl₂, matyti, kad KD kiekis 1,3 karto mažesnis naudojant mišinį.

Mėginio, padengto mišiniu su 30 % MMP koncentracija, pradinė KD koncentracija buvo 0,0 mg/m³, t. y. mišinio efektyvumas pirmąją dieną po apdorojimo buvo 100 %. Po 40 eksperimento parų KD koncentracija siekė 2,9 mg/m³ ir neviršijo kontrolinio mėginio koncentracijos. Mėginio, padengto mišiniu, KD koncentracija paskutinę matavimo dieną buvo 6,3 karto mažesnė už kontrolinio mėginio KD koncentraciją. Lyginant eksperimento rezultatus, naudojant tik MMP (trečioji mėginių grupė) ir jos mišinį su CaCl₂, matyti, kad KD kiekis 2,8 karto mažesnis naudojant mišinį.

Koreliacijos koeficientai:

$R^2_{M:10\%MMP+CaCl_2} = 0,98$; $R^2_{M:20\%MMP+CaCl_2} = 0,98$; $R^2_{M:30\%MMP+CaCl_2} = 0,99$. Kadangi $R^2 \approx 1$, koreliacinis ryšys stiprus.

Apibendrinant gautus rezultatus, galima teigti, kad, naudojant MMP ir CaCl₂ mišinius, efektyvumas iškart po apdorojimo siekia 100 %, tiek nenaudojant volelio, tiek jį naudojant.

2.5. Antrojo skyriaus išvados

1. Kietųjų dalelių (KD) koncentracija KD koncentracijos matavimo kameroje tiesiogiai priklauso nuo temperatūros: esant aukštesnei oro temperatūrai, didesnė ir KD koncentracija.
2. Sprendžiant pagal koreliacijos koeficientą, tinkamiausia žvyro frakcija tolimesniems tyrimams yra 0–0,4 mm, kadangi šios frakcijos rezultatų koreliacijos koeficientas artimiausias 1, t. y. stiprus koreliacinis ryšys.
3. Laboratorinėmis sąlygomis atlikto eksperimento metu mėginio, padengto 10 % MMP koncentracija, pradinė KD koncentracija buvo beveik 2 kartus mažesnė nei mėginio, nepadengto jokių tirpalu, o po 30 parų – 1,4 karto mažesnė už kontrolinio mėginio KD koncentraciją.
4. Laboratorinėmis sąlygomis naudojant MMP ir CaCl_2 mišinius, efektyvumas iškart po apdorojimo siekia 100 %, tiek neįvertinant, tiek įvertinant galimą transporto apkrovą.

Kietųjų dalelių emisijos eksperimentinio kelio ruožo aplinkoje tyrimai

Šiame skyriuje aprašomi eksperimentai buvo atliekami kietųjų dalelių koncentraciją nustatant optiniu metodu (naudojant KD koncentracijos analizatorių *MicroDust pro*). Šių tyrimų tikslas – nustatyti kietųjų dalelių koncentracijos (mg/m^3) priklausomybę nuo automobilio greičio bei atstumo nuo važiuojamosios kelio dalies, dulkėtumo mažinimui naudojant tokius pat tirpalus, kaip ir KD emisijos mažinimo laboratoriniuose tyrimuose (2 skyrius): 10 %, 20 % ir 30 % MMP ir tirpalo mišinius su 35,6 % CaCl_2 .

Taip pat šiame skyriuje aprašomi tyrimai buvo atliekami chloridų koncentraciją dirvožemyje nustatant titrimetrinės cheminės analizės metodu. Šio tyrimo tikslas – įvertinti MMP ir kalcio chlorido mišinio įtaką chloridų koncentracijų pasiskirstymui žvyrkelio aplinkos horizontaliuose skersiniuose profiliuose. Kadangi 2008 metais žvyrkelio dulkėtumui mažinti buvo naudojamas MMP ir kalcio chlorido mišinys, nutarta patikrinti, kokia chloridų koncentracija lieka žvyrkelio dangoje ir kaip ta koncentracija pasiskirsto skersiniame kelio profilyje. Mėginiai chloridų koncentracijos tyrimams imti vykdyto eksperimento metu.

Skyriaus tematika paskelbti penki autorės straipsniai (Bradulienė ir Vasarevičius 2011; 2010a, b; 2009; Zaveckytė ir Vasarevičius 2008).

3.1. KD emisijos kelio aplinkoje tyrimų metodika

Žvyrkelio dangos frakcijos sudėties nustatymas

Pirmiausia atliekama žvyro analizė: paimamas mėginys nuo pasirinkto kelio paviršiaus. Atsveriamas 1 kg ir sijojama analitiniu sietų kratytuvu AS200 Digital 70 kratymo amplitudė 3 minutes. Nustatoma pasirinkto žvyrkelio granulometrinė sudėtis, t. y. kiek gramų žvyro sudaro kiekvieną skirtingo dydžio frakciją. Frakcijų dydžiai tokie: >5 mm; 5–4 mm; 4–2,5 mm; 2,5–2 mm; 2–1,6 mm; 1,6–1 mm; 1–0,9 mm; 0,9–0,6 mm; 0,6–0,4 mm; 0,4–0,3 mm; 0,3–0,2 mm; 0,2–0,1 mm; 0,1–0,05 mm; <0,05 mm.

Oro sąlygų matavimas

Prieš pradedant matuoti nustatoma vėjo kryptis, vėjo greitis, aplinkos oro temperatūra drėgmė ir slėgis. Temperatūra, oro drėgmė ir vėjo greitis matuojami su prietaisu TESTO-400 (3.1 pav.), kurio matavimo ribos (–20...+70) °C, (0...100) %, (0...10) m/s, matavimo paklaidos $\pm 0,5$ °C, ± 2 %, $\pm 0,03$ m/s. Atmosferos slėgis yra matuojamas barometru, kurio matavimo ribos (79,5...106,5) kPa, paklaida $\pm 0,005$ kPa. Vėjo kryptis nustatoma vizualiai. Kritulių pobūdis, aplinkos oro temperatūra ir drėgmė pradedami stebėti bent 3 dienos prieš planuojant pradėti matuoti kietųjų dalelių koncentraciją ore. Matavimai pradedami, kai mažiausiai tris dienas nebūna lietaus ir vidutinė aplinkos oro temperatūra per tris dienas būna ne mažiau 18 °C.

3.1 pav. Aplinkos sąlygų matavimo prietaisas TESTO-400
Fig. 3.1. Environment condition measurement device TESTO-400

Kietųjų dalelių koncentracijos ore nustatymas

Pasirinkta žvyrkelio atkarpa, esanti šalia Vilniaus Gedimino technikos universiteto. Išmatuotas kelio plotis. Nustatytas pasirinkto ruožo centras. Atkarpų ilgis po 5 metrus vienam ruožui.

Dulkėtumas pasirinktoje kelio atkarpoje sukeltas taip: lengvuju automobiliu važiuojama pastoviu greičiu, kuris pagal kelių eismo taisyklių (KET) 174 punktą

yra leidžiamas gyvenvietėse, t. y. ne didesniu kaip 50 km/h greičiu (KET 2008). Pasirinkti 3 skirtingi automobilio važiavimo greičiai: 30 km/h, 40 km/h ir 50 km/h.

Matavimo taškai pasirinkti atkarpos viduryje ant kelkraščio, 1, 2 ir 3 metrų atstumu nuo kelkraščio, t. y. iš viso 4 taškuose. Matavimo taškų pusė ir vieta (pasvirimo kampas nuo atkarpos centro) priklausė nuo vėjo krypties (3.2 pav.), t. y. matavimo metu stovėta pavėjui, kad kuo didesnė kietųjų dalelių koncentracija būtų užfiksuota.

3.2 pav. KD koncentracijos matavimo taškų išdėstymas

Fig. 3.2. Arrangement of PM concentration measurement points

Kietųjų dalelių koncentracijos aplinkos ore matavimai nebuvo atliekami, esant tokioms sąlygoms:

- 1) jei vėjo kryptis buvo pasvirusi daugiau nei 30° laipsnių nuo kelio vertikalės;
- 2) jei lijo matavimo metu;
- 3) jei nuo paskutinio matavimo praėjus 24 valandoms buvo pastebėti krituliai ir ant kelio tarpų tarp apdengtų tiriamųjų ruožų dangos telkšojo balos.

Kietųjų dalelių koncentracijos aplinkos ore matavimai buvo atliekami su firmos „Casella CEL Ltd“ KD koncentracijos analizatoriumi *MicroDust pro* (3.3 pav.), kurio matavimo ribos ir paklaidos yra keturių lygių:

- 1) nuo 0,001 iki 2,5 mg/m³; paklaida ±0,001 mg/m³;
- 2) nuo 0,01 iki 25,0 mg/m³; paklaida ±0,01 mg/m³;
- 3) nuo 0,1 iki 250,0 mg/m³; paklaida ±0,1 mg/m³;
- 4) nuo 1,0 iki 2500 mg/m³. paklaida ±1 mg/m³.

Eksperimento metu gauti rezultatai priklauso pirmajam ir antrajam lygiui.

3.3 pav. KD koncentracijos analizatorius MicroDust *pro*
Fig. 3.3. PM concentration analyzer MicroDust *pro*

Koncentracijos matavimo taškuose analizatorius laikytas 1 metro nuo pagrindo aukštyje. Oro mėginys imtas dvi minutes (kol vizualiai dulkių debesis nusėdavo). Matavimo taške buvo užrašoma maksimali kietųjų dalelių koncentracija.

Atlikus matavimus neapdorotame jokiomis cheminėmis priemonėmis kelio ruože, analogiškai parinktos dar trys tokio pat dydžio atkarpos, kurios buvo apdorotos pasirinktais cheminiais tirpalais, o ruožas, kuriame iš pradžių buvo atliekami matavimai, buvo neapdorotas ir liko kaip kontrolinis. Tarp atkarpų buvo mažiausiai 5 metrų tarpas. Iš viso parinktos 4 atkarpos po 5 metrus: kontrolė ir trys ruožai, apdoroti skirtingomis tirpalų koncentracijomis.

2007 metų vasaros bandymams MMP skiesta vandeniu. Bendras tirpalo tūris buvo 10 l. Pasirinktos tokios MMP koncentracijos:

- 10 % (1 l MMP ir 9 l vandens);
- 20 % (2 l MMP ir 8 l vandens);
- 30 % (3 l MMP ir 7 l vandens).

2008 metų vasarą mišiniai ruošti iš skirtingų MMP koncentracijų ir 36,5 % CaCl_2 . Mišinio komponentai imti vienodomis dalimis, t. y. po 5 l. MMP koncentracijos tokios pat kaip anksčiau (10 %, 20 %, 30 %), tik tūris perpus mažesnis:

- 10 % (0,5 l MMP ir 4,5 l vandens);
- 20 % (1 l MMP ir 4 l vandens);
- 30 % (1,5 l MMP ir 3,5 l vandens).

36,5 % CaCl_2 tirpalas paruoštas taip: 1 l vandens ištirpinta 496 g CaCl_2 (Kelių su... 2004). Vienam mišiniui paruošti reikėjo 5 l 36,5 % CaCl_2 tirpalo. Viso buvo 3 mišiniai, kuriems reikėjo 15 l 36,5 % CaCl_2 . Vadinasi 15 l vandens ištirpinta $15 \cdot 496 = 7440$ g CaCl_2 .

Paruošti tirpalai purkštuvu išpurkšti (3.4 pav.) ant žvyrkelio atkarpos per du kartus:

- buvo purškiama pusė kiekio (5 l) paruošto tirpalo ir leista šiek tiek susigerti;
- po 5 min. buvo purškiamas likęs tirpalo kiekis.

Tam, kad tirpalo nuo kelio ruožų neišplautų krituliai (vasaros lietus), žvyrkelio atkarpos buvo uždengtos plėvele (3.5 pav.).

3.4 pav. Žvyrkelio atkarpos purškimas tirpalu
Fig. 3.4. Solution spraying on gravel road section

a)

b)

3.5 pav. Žvyrkelio ruožų apsauga nuo kritulių: vaizdas kelio ruožo
 pradžioje (a) ir pabaigoje (b)

Fig. 3.5. Protection of gravel road sections from precipitation: image of the
 beginning (a) and end (b) of the road section

Prie ruožo pradžios, pabaigos ir per vidurį iš abiejų ruožo pusių įkalti kuoliukai (3.6 pav.) ir prie jų pritvirtinta skaidri, vandeniui atspari polietileninė plėvelė. Vienoje pusėje plėvelė įtvirtinta taip, kad atliekant matavimus būtų galima ją lengvai nudengti, o po matavimų vėl uždengti.

3.6 pav. Kuoliukų tvirtinimo schema viename ruože

Fig. 3.6. Scheme of stake attachment on one section

Dulkėtumo matavimo metu automobilis visą laiką važiuodavo iš tos pačios pusės.

Kietųjų dalelių (KD) koncentracijos ore matavimai atliekami taip pat, kaip ir neapdorotoje kelio atkarpoje.

Atlikus matavimus gautos KD koncentracijos priklausomybės nuo transporto važiavimo greičio ir tirpalo koncentracijos bei KD koncentracijos priklausomybė nuo atstumo tarp matavimo taško ir važiuojamosios kelio dalies.

3.2. KD emisijos kelio aplinkoje tyrimų rezultatai ir analizė

Kelio ruožas pasirinktas prie VGTU. Ruožo kairėje pusėje buvo metaliniai garažai, esantys nevienodu atstumu nuo kelio. Dešinėje kelio pusėje šlaitas su pavieniais medžiais, už kurių kitas kelias.

Žvyrkelio dangos frakcijos sudėties rezultatai

3.1 lentelė. Tiriamo žvyrkelio dangos (1 kg) frakcijų sudėties dydžiai

Table 3.1. Fractional sizes of researched gravel road cover (1 kg)

Frakcija, mm	Frakcijos masė, g		Frakcijos masė, %	
	2007 m.	2008 m.	2007 m.	2008 m.
>5	111,59	96,36	11,13	9,62
5–4	56,72	54,45	5,66	5,43
4–2,5	182,51	131,85	18,20	13,16
2,5–2	92,69	149,75	9,24	14,95
2–1,6	84,08	91,84	8,39	9,17
1,6–1	117,00	122,65	11,67	12,24
1–0,9	15,63	18,32	1,56	1,83
0,9–0,6	70,22	64,48	7,00	6,44
0,6–0,4	74,94	74,79	7,47	7,47
0,4–0,3	44,27	45,94	4,42	4,59
0,3–0,2	54,56	51,98	5,44	5,19
0,2–0,1	54,19	54,65	5,40	5,45
0,1–0,05	27,56	30,4	2,75	3,03
<0,05	16,64	14,38	1,66	1,44

Kaip minėta metodikoje, pirmiausia atliekama žvyro frakcijos sudėties analizė. Pasvėrus 1 kg žvyrkelio paviršiaus dangos, gauta granulimetrinė sudėtis (3.1 lentelė, 3.7 pav.). Granulimetrinės sudėties nustatymui naudoti nestandartiniai frakcijų dydžiai, nes Aplinkos apsaugos katedroje yra analitinis siėtų kratytuvas AS200 Digital, kurio visi sietai ir buvo naudojami granulimetrinės sudėties nustatymui.

3.7 pav. Žvyro dangos tiriamajame kelio ruože granulimetrinė sudėtis pagal frakcijas, %

Fig. 3.7. Granulometric composition of gravel road covers in the investigated road section according to fractions, %

Iš 3.1 lentelės ir 3.7 paveikslo matyti, kad didžiausią dalį tiriamojo žvyrkelio ruožo dangoje 2007 metais sudaro 4–2,5 mm frakcija (182,51 g, t. y. 18,20 %), 2008 – 2,5–2 mm frakcija (149,75 g, t. y. 14,95 %), o mažiausią – 2007 metais dalelės, kurių skersmuo yra 1–0,9 mm (15,63 g, t. y. 1,56 %), 2008 metais – dalelės, mažesnės už 0,05 mm (14,38 g, t. y. 1,44 %). Virš 10 % sudaro didesnis už 5 mm (11,13 %) 2007 m., 4,0–2,5 mm (13,16 %) 2008 m. ir 1,6–1,0 mm abi vasaras (atitinkamai 11,67 % ir 12,24 %) dydžio dalelės. Nuo 5 % iki 10 % dalį 2007 ir 2008 metais sudaro dalelės, kurių skersmuo yra 5–4 mm (atitinkamai 5,66 % ir 5,43 %), 2,5–2,0 mm (9,24 % tik 2007 m.), 2,0–1,6 mm (8,39 % ir 9,17 %), 0,9–0,6 mm (7,00 % ir 6,44 %), 0,6–0,4 mm (po 7,47 %), 0,3–0,2 mm (5,44 % ir 5,19 %), 0,2–0,1 mm (5,40 % ir 5,45 %) ir didesnės nei 5 mm (9,62 % tik 2008 m.) dalelės. Likusios dalelių frakcijos sudaro mažiau nei po 5 % masės bendrame tūryje.

Iš 3.7 paveikslo matyti, kad didesnių nei 5mm dalelių kiekis 2008 metais sumažėjo 1,51 %. Daugiausiai padidėjo net 5,70 % dalelių, kurių skersmuo 2,5–2,0 mm, frakcija, o labiausiai sumažėjo (net 5,04 %) frakcija, kurią sudaro 4,0–2,5 mm skersmens dalelės. Kitos frakcijos pakito nuo 0,00 % (0,6–0,4 mm) iki 0,78 % (2,0–1,6 mm).

Oro sąlygos

Prieš pradėdant matuoti kietųjų dalelių koncentraciją ore, matuojamos oro sąlygos: temperatūra (°C), atmosferos slėgis (kPa), oro santykinė drėgmė (%), vėjo greitis (m/s) ir nustatoma vėjo kryptis. Temperatūra, oro drėgmė ir vėjo greitis matuojami su prietaisu TESTO-400, atmosferos slėgis yra matuojamas barometru, o vėjo kryptis nustatoma vizualiai.

Oro sąlygų matavimo rezultatų vidutinės reikšmės 2007 ir 2008 metais pa-vaizduotos 3.8 paveiksle. Vyravusi vėjo kryptis abi vasaras buvo Š – šiaurės.

3.8 pav. Aplinkos sąlygų parametrai eksperimento metu 2007 ir 2008 metų vasarą

Fig. 3.8. The environmental condition meanings during the experiment in 2007 and 2008 summers

Iš 3.8 paveikslo matyti, kad temperatūros, slėgio ir oro drėgmės vertės 2007 metų vasarą buvo didesnės nei 2008 metais. Tik vėjo stiprumo vertė buvo didesnė 2008 metų vasarą. Vidutinė 2007 metų vasaros temperatūra didesnė už 2008 metų buvo 4,86 °C, t. y. 18,33 %. Slėgio vidutinė reikšmė 2007 metais buvo didesnė 0,39 kPa, t. y. 0,38 %. Oras 11,48 % buvo drėgnesnis 2007 metų vasarą (skirtumo paklaida 19,42 %). Smarkesnis vėjas pūtė 2008 metų vasarą, jo reikšmė 0,2 m/s didesnė nei 2007 metų vasaros vėjo greičio. Vėjo greičių skirtumas 11,76 %.

Kadangi oro sąlygų vidutinės reikšmės 2007 ir 2008 metų vasaromis nesišyrė daugiau kaip 20 %, galima teigti, kad oro sąlygos eksperimentų metu vyravo tokios pat.

Kietųjų dalelių koncentracijos ore nustatymas

Automobiliui važiuojant vienodu greičiu kietųjų dalelių koncentracija viename ruože buvo matuojama prie kelkraščio, 1, 2 ir 3 m atstumu. Viso kiekvieną vasarą buvo po 4 ruožus. Taigi, prie kiekvieno automobilio važiavimo greičio

buvo atliekama po 16 matavimų. Buvo pasirinkti 3 skirtingi automobilio važiavimo greičiai (30 km/h, 40 km/h ir 50 km/h). Kaip atliekami matavimai viename taške, parodyta 3.9 paveiksle.

3.9 pav. Kietųjų dalelių koncentracijos ore matavimas prietaisu MicroDust *pro*

Fig. 3.9. Measurement of PM concentration in the air with MicroDust *pro*

Pagal HN 35:2007 (HN 35:2007) didžiausia leidžiama vienkartinė kietųjų dalelių koncentracija gyvenamosios aplinkos ore yra $0,5 \text{ mg/m}^3$.

Apdorojus (apskaičiavus vidutines matavimų vertes) gautus KD koncentracijos rezultatus, nagrinėtos KD koncentracijos ore priklausomybės nuo tirpalo koncentracijos ir automobilio važiavimo greičio skirtinguose atstumuose nuo važiuojamosios kelio dalies (3.10 pav.).

Kaip matyti iš 3.10 paveikslo, visuose atstumuose nuo kelio abi vasaras yra KD koncentracijos ore mažėjimas, priklausomai nuo tirpalo koncentracijos ir auto-transporto važiavimo greičio. Iš 3.10 paveikslo matyti, kad, kai ruožas padengtas didesne tirpalo koncentracija, tuo dulketumas yra mažesnis. Taip pat aiškiai galima pamatyti, kad kuo didesnis transporto važiavimo greitis, tuo didesnis dulketumas (tai ypač gerai pavaizduoja linijos, pažymėtos raidėmis A, B, C). Taip pat pastebima, kad tolstant nuo kelio KD koncentracija ore taip pat mažėja.

Gauti rezultatai yra lyginami su didžiausia leidžiama vienkartinė kietųjų dalelių koncentracija gyvenamosios aplinkos ore (HN 35:2007). Ši koncentracija yra pavaizduota raudona linija (3.10 pav.).

2008 metais kietųjų dalelių koncentracija ore žymiai mažesnė už koncentraciją 2007 metais jau net prie pat kelio važiuojamosios dalies (3.10 a) pav.), tik viena reikšmė didesnė: kontroliniame ruože automobiliui važiuojant 30 km/h greičiu KD koncentracija skyrėsi $0,47 \text{ mg/m}^3$ (13,47 %). Automobiliui važiuojant didesniu greičiu, KD koncentracija jau didesnė 2007 metais: kontroliniame ruože skirtumas 27,63 %, kai greitis 40 km/h, ir 30,46 %, kai greitis 50 km/h.

— didžiausia leidžiama vienkartinė kietųjų dalelių koncentracija gyvenamosios ap-
linkos ore (HN 35:2007)

10 %, 20 %, 30 % – MMP koncentracija tirpaluose (2008 m. mišiniuose
su 36,5 % CaCl_2)

a)

b)

c)

d)

3.10 pav. KD koncentracijos kitimo priklausomybė nuo automobilio važiavimo greičio ir tirpalo koncentracijos skirtingais atstumais nuo kelio 2007 ir 2008 metų vasarą

Fig. 3.10. Change of PM concentration depending on the car speed and solution concentration at a different distance from the road during the 2007 and 2008 summer

Ruožuose, padengtuose tirpalais, kurių sudėtyje yra 10 % MMP, KD koncentracija prie važiuojamosios kelio dalies skirtingomis vasaromis skyrėsi 76,62 % (kai greitis 30 km/h), 78,38 % (40 km/h) ir 74,79 % (50 km/h). Kai apdorotojo ruožo tirpalo sudėtyje buvo 20 % MMP, tai KD koncentracija skyrėsi 85,61 %, 77,34 % ir 82,69 %, kai greičiai buvo atitinkamai 30 km/h, 40 km/h ir 50 km/h. Ruožuose, apdorotais dar didesnės koncentracijos tirpalais (sudėtyje yra 30 % MMP), KD koncentracija skyrėsi 5,5 karto (81,89 %), kai greitis 30 km/h ir net 8,5 karto (88,27 %), kai greitis 50 km/h. Iš 3.10 paveikslo a) matyti, kad didžiausia leidžiama vienkartinė kietųjų dalelių koncentracija gyvenamosios aplinkos ore neviršijama tuomet, kai kelio dangą apdorota 30 % MMP ir 36,5 % CaCl_2 mišiniu, automobiliams važiuojant tyrime pasirinktais greičiais. Jei kelio dangą apdorota mažesnės koncentracijos tirpalu, kurio sudėtyje yra CaCl_2 ir 20 % MMP, tai automobilių važiavimo greitis turi būti 30 km/h. 2007 metų tyrimo prie važiuojamosios kelio dalies rezultatai visi viršijo leidžiamąją normą. Artimiausias rezultatas buvo ruože, apdorotame 30 % MMP, kai automobilis važiuojo 30 km/h. Čia gauta KD koncentracija leidžiamąją viršijo 2,5 karto.

1 m atstumu nuo kelio važiuojamosios dalies (3.10 b) pav.) kontroliniame ruože didžiausias skirtumas (net 42,44 %) buvo automobiliui važiuojant 40 km/h greičiu. Kai važiavimo greitis buvo 30 km/h, tai KD koncentracijų skirtumas 2007 ir 2008 metais neviršijo net 10 %, o kai 50 km/h – 30 %. Ruože, apdorotame tirpalu, kurio sudėtyje yra 10 % MMP, KD koncentracija skyrėsi apie 3 kartus, kai tirpale buvo 20 % MMP – apie 6 kartus, kai 30 % MMP – apie

7,7 karto. 2007 metų tyrimo duomenimis, kai kelio ruožai apdoroti tik MMP skirtingomis koncentracijomis, prie pasirinktų automobilio važiavimo greičių 1 metro atstume nuo važiuojamosios kelio dalies KD koncentracija viršijo leidžiamąją normą. 2008 metų tyrimo duomenimis leidžiama KD norma viršijama kontroliniame ruože ir ruože, apdorotame 36,5 % CaCl_2 ir 10 % MMP mišiniu, kai automobiliai važiavo didesniu nei 30 km/h greičiu. Kontroliniame ruože koncentracijos norma viršyta apie 6,7 karto. Ruože, padengtame didžiausios koncentracijos tirpalu, net automobiliui važiuojant 50 km/h greičiu KD koncentracija buvo 2 kartus mažesnė nei leidžiamoji.

2 metrų atstume nuo važiuojamosios kelio dalies KD koncentracija kontroliniame ruože 2007 ir 2008 metais skyrėsi apie 2 kartus (3.10 c) pav.) ir tik, kai greitis 50 km/h, koncentracija buvo didesnė 2007 metais. Didžiausias skirtumas tarp KD koncentracijos reikšmių buvo ruože, apdorotame tirpalu, kurio sudėtyje yra 20 % MMP, o automobilio važiavimo greitis 50 km/h. Koncentracijos skyrėsi net 9 kartus. Mažiausiai rezultatai skyrėsi (tik 2–3 kartus) ruožuose, apdorotuose tirpalais, kurių sudėtyje buvo 10 % MMP. KD koncentracija 2 metrų atstume nuo važiuojamosios kelio dalies, lyginant su leidžiama norma, jau nebevirsijo net ruožuose, padengtuose tik MMP, kai jo koncentracija virš 20 %, o automobilio važiavimo greitis 30 km/h. Skirtumas tarp šių reikšmių buvo $0,04 \text{ mg/m}^3$ (kai tirpalo koncentracija 20 %) ir $0,17 \text{ mg/m}^3$ (kai 30 %). Kai ruožai padengti MMP ir CaCl_2 mišiniais, KD koncentracija neviršijo leidžiamosios. Arčiausiai leidžiamos normos buvo reikšmė, gauta automobiliui važiuojant 50 km/h greičiu ruožu, padengtu CaCl_2 ir 10 % MMP mišiniu. Reikšmės skiriasi tik $0,04 \text{ mg/m}^3$.

3 metrų atstume nuo važiuojamosios kelio dalies KD koncentracija kontroliniame ruože 2007 metais buvo mažesnė nei 2008 metais (3.10 d) pav.). Kai automobilis važiavo 40 ir 50 km/h greičiu, tai KD koncentracija buvo beveik vienoda, skirtumas tarp gautų reikšmių iki 10 %. Kai automobilio greitis buvo 30 km/h, KD koncentracija skirtingais metais skyrėsi net 3,9 karto. 2007 metais buvo ties dviejų ruožų 3 m atstumo kliūčių, dėl kurių nebuvo įmanoma pamatuoti tuose taškuose KD koncentracijos, todėl rezultatų negalima palyginti su 2008 metais gautais rezultatais. Lyginant skirtingų vasarų duomenis, gautus ruože, apdorotame tirpalu, kurio sudėtyje buvo 20 % MMP, galima pastebėti, kad esant CaCl_2 KD koncentracija mažesnė nuo 2 (greitis 30 km/h) iki 9 (greitis 50 km/h) kartų. Ruože, kuriame nenaudotas CaCl_2 tirpalas, leidžiama KD koncentracijos norma neviršyta tik esant 30 km/h greičiui, o esant 40 km/h greičiui leidžiama norma viršyta tik $0,06 \text{ mg/m}^3$. 2008 metų vasaros tyrimo duomenimis leidžiama norma neviršyta nei viename matavimo taške, išskyrus kontrolinio ruožo taškus.

Iš gautų vidutinių reikšmių matyti, kad neapdoroto jokiais priemonėmis kelio ruožo KD didžiausios leidžiamos vienkartinės koncentracijos normos ne-

buvo viršytos tik vieninteliame taške: 2007 metais esant 3 m atstumui nuo važiuojamosios kelio dalies, kai transporto važiavimo greitis yra 30 km/h.

2007 ir 2008 metų tyrimų duomenys įvertinami pagal apdorojimui naudoto tirpalo koncentraciją. Rezultatai pateikiami 3.11 paveiksle.

3.11 pav. KD koncentracijos mažėjimas, rezultatus įvertinant pagal naudojamo tirpalo koncentraciją

Fig. 3.11. Decrease of PM concentration for the results evaluated by accordance with the concentration of used solution

Iš pateiktų rezultatų (3.11 pav.) matyti, kad 2008 metais gautos mažesnės KD koncentracijų reikšmės. Vienintelė reikšmė 2008 metais didesnė už 2007 metų buvo kontroliniame ruože, kai automobilio važiavimo greitis 30 km/h. Ji didesnė 1,45 karto. Ši reikšmė gavosi didesnė, nes 2008 metais pūtė stipresnis vėjas (vėjo greitis 0,2 m/s didesnis nei 2007 metų vasarą). Kitos reikšmės gavosi mažesnės, nes automobiliui važiuojant greičiau, vėjo gūšiai didesnę dalį KD išsklaidydavo pažemėje ir prie pat kelio, todėl mažesnė koncentracija patekdavo į prietaisą, jį laikant ne prie žemės ir stovint toliau nuo kelio.

Apie CaCl₂ savybę surišti smulkias žvyro daleles kartu yra žinoma iš anksčiau, todėl nieko nuostabaus, kad kelio dangą apdorojus mišiniu, kurio sudėtyje yra CaCl₂, dulketumas bus mažesnis nei apdorojus tokiu pat mišiniu tik be šios cheminės medžiagos. Tai akivaizdžiai įrodo ir gauti tyrimo rezultatai (3.11 pav.).

Gautieji rezultatai parodo, kad 2007 metais vidutinės KD koncentracijos reikšmės visos viršija leidžiamąją normą. Artimiausia leidžiamajai normai yra KD koncentracija, sukurta automobilio, važiuojančio 30 km/h greičiu keliu, apdorotu 30 % MMP. Gauta reikšmė 0,14 mg/m³ didesnė už leidžiamą normą. Ne kontroliniame ruože didžiausia gauta KD koncentracijos reikšmė buvo ruože, apdorotame 20 % MMP, o automobilis važiavo 50 km/h greičiu. Skirtumas tarp gautosios ir leidžiamosios reikšmės buvo 2,04 mg/m³.

2008 metais ne kontroliniame ruože leidžiama KD koncentracijos reikšmė buvo viršyta tik vieną kartą: kai ruožas padengtas 36,5 % CaCl_2 ir 10 % MMP mišiniu, o automobilis važiuojo 30 km/h greičiu. Skirtumas buvo tik $0,1 \text{ mg/m}^3$. Kadangi, kai automobilis važiuoja 30 km/h greičiu, o ruožas apdorotas vien 30 % MMP, KD koncentracija yra tik $0,14 \text{ mg/m}^3$ didesnė už leidžiamą, o ruožą apdorojus 30 % MMP ir 36,5 % CaCl_2 mišiniu KD koncentracija leidžiamosios neviršija, tai galima būtų atlikti tyrimus su mišiniu, kuriame būtų mažesnė CaCl_2 koncentracija.

Tyrimų duomenis įvertinus pagal atstumą nuo važiuojamosios kelio dalies, rezultatai pateikiami 3.12 paveiksle.

3.12 pav. KD koncentracijos mažėjimas, rezultatus įvertinant pagal atstumą nuo važiuojamosios kelio dalies

Fig. 3.12. Decrease of PM concentration for the results evaluated by accordance with the distance from the carriageway

Kai tyrimų rezultatai įvertinami (aritmetiškai suvidurkinami) pagal atstumą nuo važiuojamosios kelio dalies (3.12 pav.), galima matyti, kad leidžiama KD koncentracijos norma 2007 ir 2008 metais neviršijama tik po 1 kartą (3 m atstumu nuo važiuojamosios kelio dalies, kai važiavimo greitis 30 km/h), o 2008 metais 1 kartą gauta KD koncentracija lygi leidžiamajai (kai atstumas nuo važiuojamosios dalies 3 m, o greitis 40 km/h).

Prie važiuojamosios kelio dalies 2007 metais KD koncentracija viršyta buvo 5 (kai greitis 30 km/h), 7 (40 km/h) ir 9 (50 km/h) kartus. 2008 metais šie skirtumai kur kas mažesni: 2,38, 2,74 ir 3,44 karto. Taigi, prie važiuojamosios dalies 2007 metais važiuojant 30 km/h greičiu KD koncentracija net 1,45 karto didesnė nei 2008 metais važiuojant 50 km/h greičiu.

Iš 3.12 paveikslo matyti, kad visi rezultatai 2007 metais palyginus su gautais 2008 metais yra didesni, išskyrus 2 rezultatus: kai važiavimo greitis 30 km/h KD koncentracija 2 ir 3 metrų atstume nuo važiuojamosios kelio dalies 2007 metais mažesnės. Jos tarpusavyje skyrėsi $0,1 \text{ mg/m}^3$ (2 m atstumu) ir $0,25 \text{ mg/m}^3$

(3 m atstumu). 2007 metų 3 m atstume vidurkis yra netikslus, nes dėl kliūčių nebuvo atlikti matavimai visuose taškuose, todėl gauta reikšmė yra mažesnė, nei būtų, jei visuose taškuose būtų buvę galima išmatuoti.

Norint gauti tikslesnius duomenis, tyrimų rezultatai įvertinami pagal atstumą nuo važiuojamosios kelio dalies, neįtraukiant rezultatų, gautų kontroliniame ruože (3.13 pav.). Taip pat atsižvelgiama į tai, kad 2007 metų vasarą 3 m atstume nuo kelio buvo KD koncentracija matuota tik viename apdorotame ruože, todėl pateikiami tik to ruožo rezultatai.

3.13 pav. KD koncentracijos mažėjimas, rezultatus įvertinus pagal atstumą nuo važiuojamosios kelio dalies, neįtraukiant rezultatų iš kontrolinio ruožo

Fig. 3.13. Decrease of PM concentration for the results evaluated by accordance with the distance from the carriageway without the results from control section

Iš 3.13 paveikslo akivaizdžiai matyti, kad KD koncentracija žymiai mažesnė 2008 metų vasarą, kai kelio ruožai buvo apdoroti mišiniais, kurių sudėtyje buvo CaCl_2 . 2007 metų duomenimis tik 2 kartus leidžiama norma nebuvo viršyta. Kitos reikšmės už leidžiamą KD koncentracijos normą buvo didesnės nuo 1,12 (atstumas 3 m, greitis 40 km/h) iki 7,42 (0 m, 50 km/h) karto. 2008 metų duomenimis leidžiama norma buvo tik 2 kartus viršyta. Skirtingų vasarų tyrimų duomenis palyginus tarpusavyje, galima teigti, kad kelio dangos apdorojimui skirtame mišinyje esant CaCl_2 , kietųjų dalelių koncentracija yra žymiai mažesnė. Prie pat važiuojamosios kelio dalies, kai automobiliai važiuoja 30 km/h greičiu, KD koncentracija 2007 metais (kai kelio dangos apdorojimui nenaudotas CaCl_2) buvo 5,27 karto didesnė, o kai greitis 50 km/h – 5,37 karto. 1 metro atstumu nuo važiuojamosios kelio dalies esant skirtingiems greičiams vidutinis skirtumas tarp skirtingomis vasaromis gautų KD rezultatų buvo 5 kartai, 2 metrų atstumu – 4 kartai, 3 metrų atstumu – 5,5 karto. Lyginant skirtumus važiuojant automobiliams skirtingais greičiais, tai gauta, kad, kai greitis 30 km/h, tai vidutinis skirtumas tarp 2007 ir 2008 metų tyrimų rezultatų buvo 3,9 karto, kai greitis 40 km/h – 4,9 karto, kai greitis 50 km/h – 6,5 karto.

Kelias Jusevičiai – Būdvietis – Derviniai yra rajoninės reikšmės kelias Nr. 2608. Kelio ilgis – 21,57 kilometrai. Kelią eksploatuoja valstybinė įmonė „Alytaus regiono keliai“. Dulkėtumo sumažinimui kelio Jusevičiai – Būdvietis – Derviniai 13,25 – 13,85 km ruožo danga pakartotinai kalcio chloridu (CaCl_2) buvo apdorota 2008 balandžio 14 d. Tyrimų eksperimentiniame ruože ir žvyrkelyje rezultatų palyginimas pavaizduotas 3.14 paveiksle.

3.14 pav. Rezultatų eksperimentiniame ir neeksperimentiniame ruože palyginimas

Fig. 3.14. Comparison of results from experimental and not experimental section

Iš pateiktų rezultatų (3.14 pav.) matyti, kad, naudojant kalcio chlorido mišinius su MMP, gautos mažesnės KD koncentracijų reikšmės nei žvyrkelių apdorojimui naudojant vien kalcio chloridą. Gautas KD koncentracijos reikšmės lyginant su normatyvine reikšme, gauta, kad, naudojant CaCl_2 , normatyvinė reikmė viršijama 3,8 karto, o naudojant mišinius su MMP normatyvinė reikšmė viršijama tik tuomet, kai MMP koncentracija yra 10 % (viršija 1,2 karto). Tirpale esant didesnei MMP koncentracijai, normatyvinė reikšmė neviršijama. Jei žvyrkelių dulkėtumui mažinti naudojamą kalcio chloridą sumaišius su MMP oro tarša kietosiomis dalelėmis sumažėja 3,17 karto (kai MMP koncentracija 10 %), 5,14 karto (kai 20 %) ir 8,64 karto (kai 30 %).

Kitų tyrimų duomenimis (Žvyrkelių dulkėjimo... 2007) žvyrkelio, apdoroto kalcio chloridu dulkėjimo lygis siekia 19,4 % (dulkėjimo lygis sumažėjęs 80,6 % lyginant su kontrolinio ruožo dulkėjimo lygiu). Eksperimentiniuose ruožuose, apdorotuose MMP, dulkėtumas buvo sumažėjęs 25–66 %, o MMP mišiniais su CaCl_2 – net 82–94 %.

2007 m. buvo atlikti KD koncentracijos tyrimai žvyrkeliuose Krinčinas – Ličiūnai – Mieliūnai ir Veisiejai – Viktorinas – Paliečiai (Kazlauskienė ir kt. 2008). Žvyrkeliai buvo apdoroti CaCl_2 . Tyrėjai nustatė, kad žvyrkelyje Krinčinas – Ličiūnai – Mieliūnai po CaCl_2 taikymo praėjus 2 mėn. KD koncentracija 1 m atstumu nuo kelio sumažėjusi buvo apie 17 %, o žvyrkelyje Veisiejai – Viktorinas – Paliečiai – 12 %, kai automobilis važiuojo 50 km/h greičiu.

3.3. KD emisijos eksperimento rezultatų sąryšio su aplinkos sąlygų parametrais statistinis įvertinimas

Statistiniam įvertinimui naudojami dulkėtumo duomenys, gauti atliekant eksperimentą, ir eksperimento metu vyravusių aplinkos sąlygų parametrai. Statistiniam ryšiui įvertinti naudojamas koreliacijos koeficientas. Koreliacijos koeficiento reikšmių skalė tokia:

- a) statistinis ryšys tarp duomenų labai stiprus, kai koreliacijos koeficientas -1 ir $+1$;
- b) statistinis ryšys tarp duomenų stiprus, kai koreliacijos koeficientas nuo -1 iki $-0,7$ ir nuo $+0,7$ iki $+1$;
- c) statistinis ryšys tarp duomenų vidutinis, kai koreliacijos koeficientas nuo $-0,7$ iki $-0,5$ ir nuo $+0,5$ iki $+0,7$;
- d) statistinis ryšys tarp duomenų silpnas, kai koreliacijos koeficientas nuo $-0,5$ iki $-0,2$ ir nuo $+0,2$ iki $+0,5$;
- e) statistinis ryšys tarp duomenų labai silpnas, kai koreliacijos koeficientas nuo $-0,2$ iki -0 ir nuo $+0$ iki $+0,2$;
- f) statistinio ryšio tarp duomenų nėra, kai koreliacijos koeficientas 0 .

Statistiniai ryšiai tarp aplinkos parametrų ir KD koncentracijų įvairiuose atstumuose nuo žvyrkelio pateikiami 3.15–3.18 paveiksluose.

Kaip matyti iš 3.15 paveikslo keltkraštyje didėjant temperatūrai, KD koncentracija taip pat didėjo. Šių parametrų koreliacijos koeficientas kontroliniame ruože yra $0,4$, vadinasi statistinis ryšys silpnas, o ruože, apdorotame 30% MMP, koreliacijos koeficientas lygus $0,6$. Vadinas, ruožus apdorojant didesne MMP koncentracija koreliacinis ryšys tarp KD koncentracijos ir temperatūros stiprėja. Didėjant drėgmei, didėja KD koncentracija, koreliacijos koeficientas kontroliniame ruože lygus $0,3$, statistinis ryšys silpnas, o ruože, apdorotame 30% MMP, koreliacijos koeficientas lygus $-0,05$. Taigi, ruožus apdorojant didesne MMP koncentracija koreliacinis ryšys tarp KD koncentracijos ir drėgmės silpnėja. Vėjo greitis didėjo, KD koncentracija mažėjo, koreliacijos koeficientas kontroliniame ruože lygus $-0,2$, statistinis ryšys silpnas, o ruože, apdorotame 30% MMP, koreliacijos koeficientas lygus $-0,4$. Vadinas, ruožus apdorojant didesne MMP koncentracija koreliacinis ryšys tarp KD koncentracijos ir vėjo greičio stiprėja.

Kaip matyti iš 3.16 paveikslo 2 m atstume nuo žvyrkelio didėjant temperatūrai, KD koncentracija taip pat didėjo. Šių parametrų koreliacijos koeficientas kontroliniame ruože yra lygus $0,7$, vadinasi statistinis ryšys vidutinis, o ruože, apdorotame 30% MMP, koreliacijos koeficientas lygus $0,2$. Vadinas, ruožus apdorojant didesne MMP koncentracija koreliacinis ryšys tarp KD koncentraci-

jos ir temperatūros silpnėja. Didėjant drėgmei, KD koncentracija kontroliniame ruože ir ruože, apdorotame 10 % MMP koncentracija, mažėjo (koreliacijos koeficientai atitinkamai $-0,7$, statistinis ryšys vidutinis, ir $-0,9$, statistinis ryšys stiprus), kituose ruožuose didėjo.

3.15 pav. Statistinis ryšys tarp aplinkos parametrų ir KD koncentracijos kelkraštyje, kai automobilio greitis 30 km/h, ruožai apdoroti MMP

Fig. 3.15. Statistical evaluation of relationship between the environmental conditions and PM concentration in roadside, when car speed 30 km/h, road sections treated with MBM

3.16 pav. Statistinis ryšys tarp aplinkos parametrų ir KD koncentracijos 2 m atstume nuo kelio, kai automobilio greitis 30 km/h, ruožai apdoroti MMP

Fig. 3.16. Statistical evaluation of relationship between the environmental conditions and PM concentration in 2 m distance from road, when car speed 30 km/h, road sections treated with MBM

Vadinas, ruožus apdorojant didesne MMP koncentracija koreliacinis ryšys tarp KD koncentracijos ir drėgmės stiprėja (3.16 pav.). Vėjo greitis didėjo, KD koncentracija mažėjo (išskyrus ruože, apdorotame 30 % MMP koncentracija), koreliacijos koeficientas kontroliniame ruože lygus $-0,6$, statistinis ryšys viduti-

nis, o ruože, apdorotame 20 % MMP, koreliacijos koeficientas lygus $-0,6$. Vadinasi, ruožus apdorojant didesne MMP koncentracija koreliacinis ryšys tarp KD koncentracijos ir vėjo greičio stiprėja.

3.17 pav. Statistinis ryšys tarp aplinkos parametrų ir KD koncentracijos kelkraštyje, kai automobilio greitis 30 km/h, ruožai apdoroti MMP ir CaCl₂ mišiniais

Fig. 3.17. Statistical evaluation of relationship between the environmental conditions and PM concentration in roadside, when car speed 30 km/h, road sections treated with mixtures of MBM and CaCl₂

3.18 pav. Statistinis ryšys tarp aplinkos parametrų ir KD koncentracijos 3 m atstume nuo kelio, kai automobilio greitis 30 km/h, ruožai apdoroti MMP ir CaCl_2 mišiniais

Fig. 3.18. Statistical evaluation of relationship between the environmental conditions and PM concentration in 3 m distance from road, when car speed 30 km/h, road sections treated with mixtures of MBM and CaCl_2

Kaip matyti iš 3.17 paveikslo, kelkraštyje didėjant temperatūrai, KD koncentracija taip pat didėjo. Šių parametrų koreliacijos koeficientas kontroliniame

ruože yra lygus 0,1, vadinasi statistinis ryšys labai silpnas, o ruože, apdorotame 30 % MMP ir 36,5 % CaCl_2 mišiniu, koreliacijos koeficientas lygus 0,3. Vadinas, ruožus apdorojant mišiniu su didesne MMP koncentracija koreliacinis ryšys tarp KD koncentracijos ir temperatūros stiprėja. Didėjant drėgmei, KD koncentracija taip pat didėjo. Šių parametrų koreliacijos koeficientas kontroliniame ruože lygus 0,4, vadinasi statistinis ryšys silpnas, o ruože, apdorotame 30 % MMP ir 36,5 % CaCl_2 mišiniu, koreliacijos koeficientas lygus 0,3, statistinis ryšys silpnas. Vadinas, ruožus apdorojant mišiniu su didesne MMP koncentracija koreliacinis ryšys tarp KD koncentracijos ir drėgmės silpnėja. Vėjo greitis didėjo, KD koncentracija didėjo, koreliacijos koeficientas kontroliniame ruože lygus 0,6, statistinis ryšys vidutinis, o ruože, apdorotame 30 % MMP ir CaCl_2 mišiniu, koreliacijos koeficientas lygus 0,2. Vadinas, ruožus apdorojant mišiniu su didesne MMP koncentracija koreliacinis ryšys tarp KD koncentracijos ir vėjo greičio silpnėja.

Kaip matyti iš 3.18 paveikslo, 3 m atstume nuo žvyrkelio didėjant temperatūrai, KD koncentracija taip pat didėjo. Šių parametrų koreliacijos koeficientas kontroliniame ruože yra lygus 0,3, vadinasi statistinis ryšys silpnas, o ruože, apdorotame 30 % MMP ir 36,5 % CaCl_2 mišiniu, koreliacijos koeficientas lygus 0,6. Vadinas, ruožus apdorojant mišiniu su didesne MMP koncentracija koreliacinis ryšys tarp KD koncentracijos ir temperatūros stiprėja. Didėjant drėgmei, KD koncentracija taip pat didėjo. Šių parametrų koreliacijos koeficientas kontroliniame ruože lygus 0,1, vadinasi statistinis ryšys labai silpnas, o ruože, apdorotame 30 % MMP ir 36,5 % CaCl_2 mišiniu, koreliacijos koeficientas lygus 0,2, statistinis ryšys silpnas. Vadinas, ruožus apdorojant mišiniu su didesne MMP koncentracija koreliacinis ryšys tarp KD koncentracijos ir drėgmės stiprėja. Vėjo greitis didėjo, KD koncentracija didėjo, koreliacijos koeficientas kontroliniame ruože lygus 0,2, statistinis ryšys silpnas, o ruože, apdorotame 30 % MMP ir CaCl_2 mišiniu, koreliacijos koeficientas lygus 0,3. Vadinas, ruožus apdorojant mišiniu su didesne MMP koncentracija koreliacinis ryšys tarp KD koncentracijos ir vėjo greičio stiprėja.

Kiti rezultatai ir koreliacijos koeficientai pateikti priede.

Apibendrinant galima teigti, kad automobiliui važiuojant 30 km/h greičiu ruožuose, apdorotuose vien MMP ir jos mišiniais su CaCl_2 , KD koncentracijos ir temperatūros koreliacijos koeficientai svyruoja nuo 0,3 iki 0,7, t. y. statistinis ryšys silpnas ir vidutinis, KD koncentracijos ir drėgmės koreliacijos koeficientai svyruoja nuo -0,9 (ryšys stiprus) iki 0,2 (ryšys silpnas), KD koncentracijos ir vėjo greičio koreliacijos koeficientai svyruoja nuo -0,7 (ryšys stiprus) iki 0,3 (ryšys silpnas).

Automobiliui važiuojant 40 km/h greičiu ruožuose, apdorotuose vien MMP ir jos mišiniais su CaCl_2 , KD koncentracijos ir temperatūros koreliacijos koeficientai svyruoja nuo 0,2 iki 0,8, t. y. statistinis ryšys silpnas ir stiprus, KD kon-

centracijos ir drėgmės koreliacijos koeficientai svyruoja nuo $-0,9$ (ryšys stiprus) iki $0,1$ (ryšys silpnas), KD koncentracijos ir vėjo greičio koreliacijos koeficientai svyruoja nuo $-0,6$ (ryšys vidutinis) iki $0,3$ (ryšys silpnas).

Automobiliui važiuojant 50 km/h greičiu ruožuose, apdorotuose vien MMP ir jos mišiniais su CaCl_2 , KD koncentracijos ir temperatūros koreliacijos koeficientai svyruoja nuo $-0,3$ iki $0,6$, t. y. statistinis ryšys silpnas ir vidutinis, KD koncentracijos ir drėgmės koreliacijos koeficientai svyruoja nuo $-0,6$ (ryšys vidutinis) iki $0,5$ (ryšys silpnas), KD koncentracijos ir vėjo greičio koreliacijos koeficientai svyruoja nuo $-0,5$ (ryšys silpnas) iki $0,9$ (ryšys stiprus).

Taigi, ruožuose, apdorotuose tirpalais ir jų mišiniais, kai automobilio važiavimo greitis 30 km/h , pagal koreliacijos koeficientus, esant didesnei temperatūrai, KD koncentracija užfiksuota didesnė. Esant didesnei drėgmei, KD koncentracija daugeliu atveju buvo mažesnė, tai ypač pastebėta tolstant nuo žvyrkelio. Esant didesniam vėjo greičiui, KD koncentracija tai didėjo, tai mažėjo, didėjant vėjo greičiui, didėjanti KD koncentracija labiausiai pastebima kelkraštyje. Padičius automobilio važiavimo greitį, ruožuose, apdorotuose MMP, tendencija išliko tokia pati, o ruožuose, apdorotuose MMP ir CaCl_2 mišiniais, KD koncentracija buvo didėjanti.

Stipriausias koreliacinis ryšys (koreliacijos koeficientas $0,9$) gautas tarp KD koncentracijos ir temperatūros, KD koncentracijos ryšys su drėgme ir vėjo greičiu kito nuo silpno iki stipraus ir išryškėjo tai kelkraštyje, tai tolstant nuo kelio, t. y. vienodos tendencijos mažėti arba didėti nenustatyta.

3.4. KD emisijos eksperimentų laboratorinėmis ir lauko sąlygomis rezultatų palyginimas

Kaip minėta, laboratoriniame tyrime buvo naudojamas tas pats žvyras (tam tikros jo frakcijos), kaip ir lauko tyrime. Laboratoriniame tyrime naudota $0\text{--}0,4 \text{ mm}$ frakcija lauko tyrime sudarė $19,67 \%$ visos žvyro granulometrinės sudėties (3.1 lentelė).

Laboratorinio eksperimento rezultatai prilyginami kietųjų dalelių koncentracijai, esančiai šaltinyje, nes lauko sąlygomis šaltinyje pamatuoti KD koncentracijos nebuvo galimybės.

Kadangi lauko tyrimų gautų rezultatų analizei buvo naudojami gautų duomenų vidurkiai (3.10 pav.), tai ir laboratorinio tyrimo rezultatai suvidurkinami (visi rezultatai pavaizduoti 2.8 ir 2.9 pav.). Gauti rezultatai pavaizduoti 3.19 paveiksle (dulkėtumo mažinimui naudojant MMP) ir 3.20 paveiksle (dulkėtumo mažinimui naudojant MMP ir CaCl_2 mišinius). Gautų rezultatų palyginimui naudojamos reikšmės, gautos automobiliui važiuojant 50 km/h greičiu (KD koncentracija didesnė, nei važiuojant lėčiau).

3.19 pav. KD koncentracijos kitimas šaltinyje ir skersiniame kelio profilyje, dulkėtumui mažinti naudojant MMP, automobilio greitis 50 km/h

Fig. 3.19. Variation of PM concentration in dust source and transverse profile for dustiness reduce using MBM, car speed 50 km/h

Kaip matyti iš 3.19 paveikslo, didžiausia leidžiama vienkartinė KD koncentracija gyvenamosios aplinkos ore ($0,5 \text{ mg/m}^3$) visur yra viršijama. Kontroliniame ruože KD koncentracija šaltinyje, lyginant su KD koncentracija 0 m atstume nuo kelio, kai automobilis važiuoja 50 km/h greičiu, didesnė buvo 2,6 karto (3.19 pav.), kai greitis 40 km/h – didesnė 3,4 karto, kai 30 km/h – didesnė 6 kartus. Kai KD koncentracijos mažinimui naudota 10 % MMP, šaltinyje ir kelkraštyje KD koncentracija skyrėsi 2,8 karto (greitis 50 km/h), 3,0 kartus (greitis 40 km/h) ir 3,9 karto (greitis 30 km/h). Naudojant 20 % MMP, KD koncentracija šaltinyje didesnė 2,4 karto (greitis 50 km/h), 4,0 kartus (greitis 40 km/h) ir 3,4 karto (greitis 30 km/h) nei 0 m atstume nuo kelio. Kai dulkėtumo mažinimui naudota 30 % MMP, KD koncentracija akivaizdžiai mažesnė jau pačiame šaltinyje, tačiau palyginus su KD koncentracija kelkraštyje, skirtumai liko didesni 2,0 (greitis 50 km/h), 3,1 (greitis 40 km/h) ir 5,2 (greitis 30 km/h) karto. Visi KD koncentracijų skirtumai surašyti 3.2 lentelėje.

Nors žvyrkelių dulkėtumui mažinti naudojant vien tik įvairių koncentracijų MMP, didžiausia leidžiama vienkartinė KD koncentracija gyvenamosios aplinkos ore viršijama, tačiau tirpalas akivaizdžiai mažina KD koncentraciją.

Dulkėtumo mažinimui naudojant MMP ir CaCl_2 mišinius, KD koncentracija buvo mažesnė, nei naudojant vien MMP, rezultatai pateikti 3.20 paveiksle.

Kaip matyti iš 3.20 paveikslo, didžiausia leidžiama vienkartinė KD koncentracija gyvenamosios aplinkos ore ($0,5 \text{ mg/m}^3$) yra viršijama kontroliniuose mė-

giniuose ir šaltinyje. Kontroliniame ruože KD koncentracija šaltinyje, lyginant su KD koncentracija 0 m atstume nuo kelio, kai automobilis važiuoja 50 km/h greičiu, didesnė buvo 7,8 karto (3.20 pav.), kai greitis 40 km/h – didesnė 3,8 karto, kai 30 km/h – didesnė 4 kartus.

3.20 pav. KD koncentracijos kitimas šaltinyje ir skersiniame kelio profilyje, dulkėtumui mažinti naudojant MMP ir CaCl₂ mišinius, automobilio greitis 50 km/h

Fig. 3.20. Variation of PM concentration in dust source and transverse profile for dustiness reduce using mixtures of MBM and CaCl₂, car speed 50 km/h

3.2 lentelė. KD koncentracijos šaltinyje ir kelkraštyje skirtumai (kartais), dulkėtumui mažinti naudojant MMP ir jos mišinius su CaCl₂

Table 3.2. Inequalities (times) between PM concentration in dust source and roadside for dustiness reduce using MBM and its mixtures with CaCl₂

Tirpalo koncentracija \ Automobilio greitis	Automobilio greitis		
	50 km/h	40 km/h	30 km/h
10 % MMP	2,8 karto	3,0 karto	3,9 karto
20 % MMP	2,4 karto	4,0 karto	3,4 karto
30 % MMP	2,0 karto	3,1 karto	5,2 karto
10 % MMP + 35,6 % CaCl ₂	4,4 karto	5,3 karto	6,4 karto
20 % MMP + 35,6 % CaCl ₂	4,2 karto	5,2 karto	7,1 karto
30 % MMP + 35,6 % CaCl ₂	1,8 karto	2,3 karto	3,0 karto

Kai KD koncentracijos mažinimui naudotas mišinys su 10 MMP, šaltinyje ir kelkraštyje KD koncentracija skyrėsi 4,4 karto (greitis 50 km/h), 5,3 karto (greitis 40 km/h) ir 6,4 karto (greitis 30 km/h). Naudojant mišinį su 20 % MMP, KD koncentracija šaltinyje didesnė 4,2 karto (greitis 50 km/h), 5,2 karto (greitis 40 km/h) ir 7,1 karto (greitis 30 km/h) nei 0 m atstume nuo kelio. Kai dulkėtumo mažinimui naudotas mišinys su 30 % MMP, KD koncentracija akivaizdžiai mažesnė jau pačiame šaltinyje, tačiau palyginus su KD koncentracija kelkraštyje, skirtumai liko didesni 1,8 (greitis 50 km/h), 2,3 (greitis 40 km/h) ir 3,0 (greitis 30 km/h) karto. Visi KD koncentracijų skirtumai surašyti 3.2 lentelėje.

Žvyrkelių dulkėtumui mažinti naudojant įvairių koncentracijų MMP ir CaCl_2 mišinius, didžiausia leidžiama vienkartinė KD koncentracija gyvenamosios aplinkos ore viršijama šaltinyje, taigi mišiniai akivaizdžiai mažina KD koncentraciją.

3.5. Chloridų koncentracijų kelio aplinkoje tyrimų metodika

Dirvožemio mėginių paėmimas

Chloridų koncentracijai dirvožemyje ir žvyrkelyje nustatyti mėginiai imti žvyrkelio atkarpos viduryje, 0 m, 1 m, 2 m ir 3 m atstumu nuo žvyrkelio briaunos į abi puses. Dirvožemio mėginiai chloridų koncentracijos nustatymui buvo imami abiejuose kelio pusėse. Chloridų koncentracijos tyrimui imamų mėginių schema pateikta 3.21 paveiksle.

3.21 pav. Dirvožemio ir žvyro mėginių ėmimo schema

Fig. 3.21. Soil and gravel sampling scheme

Mėginiai imti iš paviršinio dirvožemio sluoksnio 0–10 cm gylio. Dirvožemio mėginiai rinkti nerūdijančio plieno kastuvėliu ir pilti į polietileningus stygius maišelius. (Baltrėnas ir Vasarevičius 2003).

Dirvožemio mėginių paruošimas

Mėginiai išdžiovinti 105 ± 2 °C temperatūros džiovinimo spintoje 2 val. iki pastovios masės. Mėginiai sijoti per 2 mm akelių nerūdijančio plieno sieta. Tada paimta 100 g išsijoto mėginio.

Ekstrakto paruošimas

Bandiniai suberti į stiklines kolbas, kurių tūris yra 500 ml. Bandiniai užpilti 200 ml parūgštintu azoto rūgštimi (HNO_3) vandeniu ir sudėti į kratytuvą Rotoshake RS12, kurio kratymo greitis 20 min^{-1} , vienai valandai, tada palikti nusistovėti. Kiekvienos kolbos ekstraktas filtruotas į kitą 250 ml kolbą per sausą vidutinio tankumo popieriaus filtrą, kol gauta mažiausiai 100 ml skaidraus arba silpnai drumsto tirpalo.

Chloridų koncentracijos nustatymas

Chloridų jonų ekstrakcija atlikta kambario temperatūros vandenyje. Ekstraktas analizuojamas Mohro metodu, pagal kurį chloridai titruojami sidabro nitratu, indikatorius yra kalio chromatas.

Į 100 ml filtrato įlašinama 1 ml 10 % kalio chromato (K_2CrO_4) ir sukliaisiais judesiais intensyviai maišant titruojama sidabro nitrato (AgNO_3) 0,02 mol/l tirpalu, kol mėginio spalva iš gelsvos pasikeis į neišnykstančią maišant oranžinę spalvą. Antras bandinys yra kontrolinis.

Esant didelei chloridų koncentracijai, formuojasi sidabro chlorido nuosėdos, trukdančios nustatymui. Tokiu atveju į nutitruotą pirmą bandinį dedama 2–3 lašai natrio chlorido, kol išnyksta oranžinis atspalvis. Tada titruojamas antrasis bandinys, pirmąjį naudojant kaip kontrolinį.

Chloridų koncentracija skaičiuojama pagal formulę:

$$X = \frac{A \cdot k \cdot n}{V} \cdot 1000, \quad (4.1)$$

čia X – chloridų koncentracija ekstrakto, mg/l; A – sidabro nitrato tūris, sunaudotas titruojant, ml; k – sidabro nitrato tirpalo titro pataisos koeficientas; n – chloridų koncentracija, atitinkanti 1 ml sidabro nitrato, mg; V – mėginio, paimto analizei, tūris, ml. (LST EN 1744-1, 2003 2 leidimas).

Nustatytos titrimetriniu cheminės analizės metodu, chloridų koncentracijos yra išreiškiamos ir pateikiamos mg/kg, analizuojant chloridų koncentracijos pasiskirstymą nuo važiuojamosios kelio dalies tolstant pagal skersinį profilį.

Grafikuose nurodyta 15 % paklaida, galima nustatant chloridų koncentraciją titrimetriniu cheminės analizės metodu.

3.6. Chloridų koncentracijų kelio aplinkoje tyrimų rezultatai ir analizė

Pateikiant pakelių dirvožemyje gautas chloridų koncentracijas, grafikuose nurodomas nustatytas vidutinis foninis dirvožemyje esančių chloridų (Cl^-) kiekis. Tiriamiesiems žvyrkelių ruožams foninis Cl^- kiekis dirvožemyje nustatytas pagal kontrolinio ruožo gautų rezultatų vidurkį, kuris buvo 41,11 mg/kg. Gauti Cl^- rezultatai pateikiami kartu su fonine reikšme palyginimui, kadangi Lietuvoje chloridų koncentracijos dirvožemyje nereglementuoja nei higienos normos (HN), nei Lietuvos aplinkos apsaugos normatyviai dokumentai (LAND), nei jokie kiti pripažinti dokumentai.

Tiriamųjų ruožų dešinėje pusėje yra kalva, o kairėje už 3 m stovi garažai, be to, tiriamųjų ruožų kairėje yra už 1 m nuo kelkraščio nedidelė įduba.

Dirvožemio ir žvyro mėginiai buvo imti tik vieną vasarą, 2008 m., kai žvyrkelių dulketumui mažinti buvo naudojamas MMP ir kalcio chlorido mišinys.

Chloridų koncentracijos gautos reikšmės pavaizduotos 3.22 paveiksle. 3.22 paveikslo dešinėje pusėje nurodytos mišinyje esančios MMP koncentracijos – 10 %, 20 %, 30 % (kalcio chlorido koncentracija buvo tokia pati visuose mišiniuose). Paveikslo apačioje nurodytos mėginių ėmimo vietos: atstumas (metrais) nuo važiuojamosios kelio dalies (0–3), dešinė (D) ir kairė (K) pusė bei žvyrkelio centras (C).

3.22 pav. Chloridų koncentracija žvyrkelio tiriamųjų ruožų skersiniuose profiliuose

Fig. 3.22. Concentration of chlorides in transverse profile of tested sections

Kaip jau minėta, tiriamieji ruožai buvo padengti skirtingų koncentracijų MMP (10 %, 20 %, 30 %) mišiniais su 36,5 % CaCl_2 . Kadangi kontrolinio ruožo chloridų koncentracijos reikšmės horizontaliame skersiniame profilyje skyrėsi nežymiai (3.22 pav. juodos spalvos stulpeliai), tai visos kitos reikšmės lyginamos su kontrolinio ruožo vidutine reikšme, kuri yra lygi 41,11 mg/kg (3.22 pav. juodos spalvos linija). Ši reikšmė toliau bus vadinama fonine koncentracija.

Kaip matyti iš 3.22 paveikslo, dešinėje tiriamųjų ruožų pusėje 1 m, 2 m ir 3 m atstumuose Cl^- koncentracija lyginant su kontroliniu ruožu skyrėsi labai nežymiai. Didžiausia Cl^- koncentracija užfiksuota kairiajame kelkraštyje (3.22 pav. pažymėta „0mK“), kur buvo nedidelis nuolydis garažų link. Ruože (3.22 pav. pažymėta „C“), kuris buvo padengtas mišiniu su 10 % MMP, chloridų koncentracija buvo didesnė 1,2 karto už foninę. Ruože, padengtame su 20 % MMP koncentracija, chloridų koncentracija buvo 2 kartus didesnė nei foninė reikšmė, o 30 % – 2,2 karto. Dešiniajame kelkraštyje (3.22 pav. pažymėta „0mD“) chloridų koncentracija nuo foninės skyrėsi 1,1 karto (10 %), 1,9 karto (20 %) ir 2,2 karto (30 %). Atitinkamai kairiajame kelkraštyje (3.22 pav. pažymėta „0mK“) skirtumai buvo 1,3 karto, 2,1 karto ir 2,4 karto.

Kairėje, 1 m nuo kelkraščio (3.22 pav. pažymėta „1mK“), chloridų koncentracija buvo didesnė 1,4 karto (10 %), 2,1 karto (20 %) ir 2,3 karto už foninę Cl^- koncentraciją. 2 m nuo kelkraščio (3.22 pav. pažymėta „2mK“) skirtumai jau buvo mažesni nei 1 m, o už foninę koncentraciją didesni buvo 1,03 karto (10 %), 1,7 karto (20 %) ir 1,5 karto (30 %). 3 m atstume (3.22 pav. pažymėta „3mK“) chloridų koncentracija vėl artima foninei.

Kadangi visuose tiriamuosiuose ruožuose buvo naudojama ta pati CaCl_2 koncentracija (36,5 %), tai buvo tikėtasi panašių chloridų koncentracijų reikšmių. Tačiau kuo didesnė MMP koncentracija buvo naudojama, tuo didesnė chloridų koncentracija buvo užfiksuota tuose ruožuose. Tai galėjo atsitikti dėl to, kad MMP sulaikė chloridus.

2008 m. atlikti kalcio chlorido koncentracijų žvyrkelio Krinčinas – Žvirgždė – Šukionys – Meiliūnai 12,5 – 16,3 km pakelėse tyrimai (Vainalavičiūtė ir kt., 2009). Kelio dangos mėginiuose kalcio chlorido koncentracija buvo 48,8 mg/kg, o kontroliniame mėginyje – 5 mg/kg. Skirtumas tarp šių reikšmių buvo 9,7 karto. Toks skirtumų nesutapimas eksperimentiniame ruože ir žvyrkelyje galėjo būti dėl to, kad kontroliniai mėginiai imti kitaip: eksperimentiniame ruože imta kontroliniame ruože, žvyrkelyje – imta už 100 m nuo žvyrkelio.

3.7. Trečiojo skyriaus išvados

1. Atliekant kelio dangos granulimetrinės sudėties analizę nustatyta, kad per metus labiausiai padidėjo – net 5,70 % – dalelių, kurių skersmuo 2,5–2,0 mm, frakcija, o labiausiai sumažėjo (net 5,04 %) frakcija, kurią sudaro 4,0–2,5 mm skersmens dalelės. Kitos frakcijos pakito nuo 0,00 % (0,6–0,4 mm) iki 0,78 % (2,0–1,6 mm). Kadangi žvyrkelio dangoje padaugėjo smulkiųjų dalelių, jos galėjo įtakoti didesnę kelio dulketumą, tačiau to nepastebėta, nes naudotas MMP ir CaCl_2 mišinys buvo efektyvesnis mažinant dulketumą.
2. Visais atstumais nuo kelio abi vasaras nustatytas KD koncentracijos ore mažėjimas, didėjant tirpalo koncentracijai, ir didėjimas, didėjant transporto greičiui.
3. Ruožus padengiant tirpalais, kurių sudėtyje yra CaCl_2 , dulketumas akivaizdžiai mažesnis, net kai tirpalo sudėtyje yra tik 10 % MMP, o automobilis važiuoja 50 km/h greičiu. Gauti rezultatai mažesni net 3,3 karto lyginant su kontroliniais bandiniais.
4. Įvertinus atstumą nuo važiuojamosios kelio dalies, kai dulketumui mažinti naudotas MMP, o automobilio greitis ne didesnis kaip 30 km/h, leidžiama KD norma nebuvo viršyta tik 2 kartus (atstumai nuo kelio 2 ir 3 m, kai greitis 30 km/h), o naudojant MMP mišinį su CaCl_2 – tik 2 kartus viršyta (prie pat kelio, kai greičiai 40 ir 50 km/h).
5. Siekiant neviršyti didžiausios leidžiamos vienkartinės kietųjų dalelių koncentracijos gyvenamosios aplinkos ore, tai žvyrkelių dulketumui mažinti trumpam laikotarpiui reiktų naudoti 30 % koncentracijos medžiagą melasos pagindu (MMP), o ilgesniam laikotarpiui – 36,5 % CaCl_2 ir 10 % MMP mišinį.
6. Remiantis tyrimų rezultatais, stipriausias ir pastoviausias koreliacinis ryšys (koreliacijos koeficientas 0,9) gautas tarp KD koncentracijos ir temperatūros. KD koncentracijos ir drėgmės bei vėjo greičio koreliacinis ryšys kito nuo silpno iki stipraus ir nebuvo pastovus.
7. Chloridų koncentracija didesnė vietose, kurios padengtos mišiniais, kurių sudėtyje yra naudojamos didesnės MMP koncentracijos, esant tai pačiai CaCl_2 koncentracijai (36,5 %). Galima teigti, kad MMP sulauko chloridų jonus žvyrkelio dangoje.

Žolinių augalų augimo užterštame dirvožemyje laboratoriniai tyrimai

Šiame skyriuje aprašomi tyrimai buvo atliekami žolinių augalų augimo užterštame dirvožemyje metodu.

Šių tyrimų tikslas – nustatyti dulkėtumą mažinančių medžiagų poveikį žolinių augalų daigumui ir antžeminės dalies aukščiui.

Tyrimams pasirinktos trys žolinių augalų rūšys: pašarinis motiejukas, baltasis ir purpurinis dobilai. Šios rūšys pasirinktos dėl to, kad jos dažniausiai auga žvyrkelių šalikelėse ir yra naudojamos greta esančių ganyklų rekultyvavimui. Dirvožemis buvo užterštas tokiais pat tirpalais, kurie buvo naudoti KD koncentracijos tyrimams (2, 3 skyriai).

Skyriaus tematika paskelbtas vienas autorės straipsnis (Bradulienė ir Vasarevičius 2011).

4.1. Žolinių augalų MMP ir CaCl_2 tirpalais užterštame dirvožemyje augimo tyrimų metodika

Pašarinis motiejukas – miglinių (*Poaceae*) šeimos, motiejukų (*Phleum*) genties žolinis augalas, svarbus pašarinis augalas. Auga pievose, ganyklose, paupiuose

(Valenta ir kt. 1992; Oseroff ir kt. 2010). Baltasis dobilas – pupinių (*Fabaceae*) šeimos, dobilų (*Trifolium*) genties augalas. Auga pievose, ganyklose, laukuose, miškų aikštelėse, pamiškėse, dirvonuose, krūmuose, pakelėse, parkuose. Baltasis dobilas yra labai vertingas pašarinis augalas, ypač ganyklose, greit suželia, pakenčia mindymą (Huber ir kt. 2009). Purpurinis dobilas – pupinių (*Fabaceae*) šeimos, dobilų (*Trifolium*) genties augalas. Auga pievose ir ganyklose. Prisitaiko skurdžiam dirvožemyje. Tai vienmetis pašarinis augalas (Kiniry ir kt. 2008).

Motiejukas yra gana plačiai paplitęs ir puikiai adaptavęsis šiaurinės Europos sąlygomis ir viena iš produktyviausių rūšių Lietuvoje (Lemežienė ir kt. 2004). Motiejukas yra vertinamas dėl savo žiemojimo savybių, gero skonio ir vidutinės maistinės vertės (Jonavičienė ir kt. 2009). Pašarinis motiejukas, kaip sudedamoji varpinių žolių mišinio dalis, naudojamas ganyklų persėjimui. Taip pat ganyklų persėjimui ganyklinių žolių mišinį sudaro baltieji dobilai, pašariniai motiejukai, pievinės miglės ir tikrieji eraičiniai (Butkuvienė 2009).

Viena iš vertingiausių pupinių šeimos pašarinių žolių yra dobilų gentis (Gillett ir kt. 2001; Vilčinskas ir Dabkevičienė 2009). Baltasis dobilas pasižymi atsparumu dobilų vėžio bei miltligės pažeidimams, nepalankioms žiemos sąlygoms, anksti pradeda žydėti (Vilčinskas ir Dabkevičienė 2009; Sturite ir kt. 2010)).

Purpurinis dobilas gali augti įvairaus tipo dirvožemiuose, netolerantiškas sausrai, tolerantiškas stipriam vėjui, žydi anksti pavasarį, yra puiki žalioji trąša, greitai auga, kartu su kitais augalais naudojamas dirvos regeneracijai, atspari šaknų grybeliui, o su kai kuriomis dirvožemio bakterijomis sudaro simbiozę ir išskiria azotą (Williams ir Bartholomew 2009; *Trifolium incarnatum* 2010).

Prieš pradedant eksperimentą, būtina įsitikinti, ar pasirinktos žolinių augalų rūšys tinka. Jei sėklų daigumas prastas, netikslinga su jomis atlikti eksperimentą.

Žolinių augalų sėklų daigumo nustatymas

Tyrimui pasirinktos trys dažnai pakelėse augančios ir žvyrkelių pakelėse esančiose ganyklose auginamos žolinių augalų rūšys:

- pašarinis motiejukas (veislė: tundra) – *Phleum pratense* L. Angl. – Timothy-grass;
- baltasis dobilas (veislė: klondike) – *Trifolium repens* L. Angl. – White clover;
- purpurinis dobilas (veislė: linkarus) – *Trifolium incarnatum* L. Angl. – Crimson clover.

Paimta kiekvienos pasirinktos žolinių augalų rūšies po 100 vnt.

Tyrimo metu palaikoma nuolatinė drėgmė, nes sėklų daigumą reguliuojantis veiksnys yra vanduo (Jankaitė ir Vasarevičius 2005; Weiterová 2008). Palaikytas natūralus apšvietimas, kuris kito priklausomai nuo paros laiko. Vidutinė vyraujanti temperatūra buvo 22 °C. Į dubenėlį įdėtas filtrinis popierius, kuris nuolat drėkinamas. Ant popieriaus subertos sėklos.

Sėklų daigumas nustatytas po 7 dienų.

Tirpalų paruošimas

Tyrimams naudota MMP ir jos mišinys su kalcio chloridu.

Naudojamų tirpalų koncentracijos tokios pat, kaip ir kituose tyrimuose (laboratorinėmis ir lauko sąlygomis). Tirpalų bendras tūris po 100 ml. Sudėtis:

- 10 ml MMP ir 90 ml vandens;
- 20 ml MMP ir 80 ml vandens;
- 30 ml MMP ir 70 ml vandens;
- 5 ml MMP, 45 ml vandens, 24,8 g CaCl_2 , ištirpinto 50 ml vandens;
- 10 ml MMP, 40 ml vandens, 24,8 g CaCl_2 , ištirpinto 50 ml vandens;
- 15 ml MMP, 35 ml vandens, 24,8 g CaCl_2 , ištirpinto 50 ml vandens.

Tyrimams naudotas juodos durpės, organinių trąšų ir juodžemio mišinys, kurio kokybiniai parametrai tokie: drėgmė iki 60 %, rūgštingumas 7,2, mineralinio azoto kiekis 156 mg/l, fosforo – 105 mg/l, kalio – 847 mg/l, kalcio – 288 mg/l, magnio – 57 mg/l.

Parametrų matavimas

Temperatūra, oro drėgmė ir slėgis matuojami mikroklimato parametrų matavimo įrenginiu, kurio matavimo ribos (0...+40) °C, (0...100) %, (700...800) mm Hg stulpo, matavimo paklaidos $\pm 1,0$ °C, ± 5 %, ± 5 mm Hg stulpo.

Augalų antžeminės dalies aukštis matuotas slankmačiu, kurio matavimo ribos nuo 0 mm iki 155 mm, matavimo paklaida 0,1 mm.

Sėklų daigumas skaičiuotas taip: išdygęs vienas augalas prilygintas 1 % (pasėta 100 sėklų, kurios sudaro 100 %).

Tyrimo eiga

Pasirinktos žolinių augalų rūšies po 100 vienetų sėklų buvo pasėta į plastiko bandymų indus su 1 kg dirvožemio. Tyrimo metu buvo naudotos trys MMP koncentracijos (10 %, 20 %, 30 %) ir mišiniai su 36,5 % CaCl_2 . Taip pat kontroliniai augalai buvo pasėti neužterštame tirpalais dirvožemyje.

Kiekvieno bandymų indo dugnas buvo skylėtas, kad būtų natūralus vandens nuotėkis ir nesusikaupytų per didelis jo kiekis. Kiekvienos rūšies sėklos sėjamos užterštoje ir švarioje terpėse vienu metu (bandomieji ir kontroliniai augalai). Tiek kontroliniai, tiek bandomieji augalai auginami vienodomis sąlygomis – esant vienodai temperatūrai bei apšvietimui, laistoma vienodu kiekiu vandens ir tuo pačiu metu.

Bandomieji bei kontroliniai augalai buvo laistomi vandeniu kas tris dienas po 40 ml.

Tyrimo metu vienai augalų rūšiai buvo naudoti 7 bandymų indai (4.1 pav.).

4.1 pav. Bandymų indų susstatymo schema

Fig. 4.1. Scheme of test pot layout

Tyrimų metu nustatomas žolinių augalų sėklų daigumas (%) bei antžeminės dalies aukštis (cm).

4.2. Žolinių augalų MMP ir CaCl_2 tirpalais užterštame dirvožemyje augimo tyrimų rezultatai ir analizė

Žolinių augalų sėklų daigumo rezultatai

Sėklų daigumas buvo atliekamas du kartus, norint įsitikinti rezultatų patikimumu.

Į dubenėlį buvo suberta po 100 vnt. sėklų, tai vienas vienetas prilyginamas vienam procentui daigumo.

Pasirinktų sėklų (pašarinio motiejuko, baltos ir purpurinės dobilės) daigumas abiejų bandymų metu buvo didesnis nei 90 %. Gauti daigumo rezultatai grafiškai pateikiami 4.2 paveiksle, o sudygusių sėklų nuotraukos – 4.3 paveiksle.

4.2 pav. Sėklų daigumas

Fig. 4.2. Viability of seeds

4.3 pav. Sėklų daigumas: pašarinis motiejukas, baltasis ir purpurinis dobilai
Fig. 4.3. Viability of seeds: timothy-grass, white clover, crimson clover

Kadangi pasirinktų žolinių augalų sėklų daigumas viršijo 90 %, galima teigti, kad pasirinktos rūšys tinkamos tolimesniems tyrimams.

Žolinių augalų užterštame dirvožemyje augimo tyrimų rezultatai

Kadangi kiekvienos pasirinktos žolinių augalų rūšies buvo pasėta po 100 vnt. į kiekvieną bandymų indą, buvo nustatomas ir daigumas kontroliniame ir dulktumo mažinimo medžiagomis užterštuose dirvožemiuose. Vienai žolinių augalų rūšiai skiriami 7 bandymų indai, kuriuose dirvožemis užterštas 10 %, 20 %, 30 % MMP koncentracija ir mišiniais su 36,5 % CaCl_2 bei 10 %, 20 %, 30 % MMP ir neužterštas.

Pašarinio motiejuko, baltojo ir purpurinio dobilų daigumas dirvožemyje pa-vaizduotas 4.4 paveiksle.

4.4 pav. Pašarinio motiejuko, baltojo ir purpurinio dobilų daigumas dirvožemyje

Fig. 4.4. Viability of timothy-grass, white and crimson clovers in soil

Kaip matyti iš 4.4 paveikslo po 6 tyrimo savaitių dirvožemyje, užterštame mišiniu, nesudygo pašarinis motiejukas ir baltasis dobilas, o purpurinio dobilo išdygo tik vienas daigas dirvožemyje, užterštame 10 % MMP ir 36,5 % CaCl_2 koncentracija.

Kaip minėta metodikoje (4.2. poskyris), tyrimų metu buvo stebėtas antžeminės dalies aukštis. Gauti rezultatai pateikiami 4.5–4.10 paveiksluose. Kadangi augalai dirvožemyje, užterštame mišiniu, nesudygo (išskyrus purpurinį dobilą), tai rezultatai pateikiami atskirai.

4.5 pav. Žolinių augalų antžeminės dalies aukštis po I augimo savaitės
Fig. 4.4. Length of above-ground part of grass vegetation after 1st week of growth

Pirmąją tyrimų savaitę visuose bandymų induose sudygo abiejų rūšių dobilai, o motiejukas nesudygo tik dviejuose vazonėliuose, kuriuose dirvožemis buvo užterštas 10 % ir 20 % MMP koncentracija. Pirmąją augimo savaitę patalpos temperatūra buvo 20–21 °C. Iš grafiko (4.5 pav.) matyti, kad po pirmosios savaitės baltojo dobilo antžeminės dalies aukštis buvo didžiausias, lyginant su motiejuko ir purpurinio dobilo aukščiu. Akivaizdžiai matyti, kad didžiausias antžeminės dalies aukščio skirtumas, lyginant su kontroliniu, buvo 10 % MMP koncentracija užterštame dirvožemyje: baltojo dobilo aukštis 10 % MMP turinčiame dirvožemyje nuo kontrolinio skyrėsi 1,6 karto, o purpurinio – 1,7 karto, o pašarinis motiejukas nesudygo.

Antrąją tyrimų savaitę pradėjo dygti motiejukas. Patalpos temperatūra pakilo iki 22–23 °C. Dėl pakilusios temperatūros, augalai antrąją savaitę ženkliai paaugo (4.6 pav.). Motiejuko kontrolinių augalų aukštis pasiekė 4,64 cm, baltojo

dobilo – 2,47 cm, purpurinio dobilo – 2,30 cm. Motiejuko antžeminės dalies aukštis 10 % MMP koncentracija užterštame dirvožemyje nuo kontrolinio skyrėsi 2,6 karto, o baltojo – 1,1, purpurinio dobilo – 2,3 karto. II savaitę baltojo dobilo aukštis užterštame dirvožemyje nuo kontrolinio skyrėsi pastebimai mažiau ir svyravo nuo 2,47 cm (kontrolinis) iki 2,17 cm (užterštas 10 % MMP). Antrąją savaitę didžiausias jau buvo pašarinis motiejukas, tik 10 % MMP užterštame dirvožemyje 1,2 karto už motiejuko aukštį didesnis buvo baltasis dobilas.

4.6 pav. Žolinių augalų antžeminės dalies aukštis po II augimo savaitės
Fig. 4.6. Length of above-ground part of grass vegetation after 2nd week of growth

Trečiąją tyrimų savaitę patalpos temperatūra nukrito 1°C ir buvo 21–22 °C. Dėl temperatūros kritimo augalų aukštis smarkiai nekito (4.7 pav.). Motiejuko kontrolinių augalų aukštis pasiekė 5,17 cm, baltojo dobilo – 2,95 cm, purpurinio dobilo – 2,94 cm. Motiejuko antžeminės dalies aukštis 10 % MMP koncentracija užterštame dirvožemyje nuo kontrolinio skyrėsi 2,2 karto, baltojo dobilo – 1,4 karto, purpurinio – 1,2 karto. Kaip ir antrąją savaitę, aukščiausias buvo motiejukas. Trečiąją savaitę užterštuose dirvožemiuose purpurinis dobilas praaugo baltąjį dobilą 0,15 cm (30 %), 0,03 cm (20 %) ir 0,22 cm (10 %).

Ketvirtąją tyrimų savaitę patalpos temperatūra pakilo net 2 °C ir buvo 23–24 °C. Dėl padidėjusios temperatūros augalijos antžeminės dalies aukščiai ženkliai padidėjo (4.8 pav.). Motiejuko kontrolinių augalų aukštis pasiekė 5,78 cm, baltojo dobilo – 4,55 cm, purpurinio dobilo – 5,09 cm. Motiejuko antžeminės dalies aukštis 10 % MMP koncentracija užterštame dirvožemyje nuo kontrolinio skyrėsi 1,9 karto, baltojo dobilo – 1,5 karto, purpurinio – 1,4 karto. Ketvirtąją savaitę

motiejuko antžeminės dalies aukštis didžiausias nebuvo tik 10 % MMP koncentracija užterštame dirvožemyje – jį 0,40 cm praaugo purpurinis dobilas. 20 % ir 30 % MMP koncentracija užterštuose dirvožemiuose dobilų antžeminės dalies aukščiai skyrėsi tik 0,05 cm (purpurinio aukštis didesnis už baltąjį).

4.7 pav. Žolinių augalų antžeminės dalies aukštis po III augimo savaitės
Fig. 4.7. Length of above-ground part of grass vegetation after 3rd week of growth

4.8 pav. Žolinių augalų antžeminės dalies aukštis po IV augimo savaitės
Fig. 4.8. Length of above-ground part of grass vegetation after 4th week of growth

4.9 pav. Žolinių augalų antžeminės dalies aukštis po V augimo savaitės
Fig. 4.9. Length of above-ground part of grass vegetation after 5th week of growth

Penktąją tyrimų savaitę patalpos temperatūra išliko tokia pati kaip ir ketvirtąją savaitę (23–24 °C). Šią savaitę smarkiai paaugo dobilai (4.9 pav.). Motiejuko kontrolinių augalų aukštis pasiekė 5,89 cm, baltojo dobilo – 6,79 cm, purpurinio dobilo – 7,63 cm. Motiejuko ir baltojo dobilo antžeminės dalies aukštis 10 % MMP koncentracija užterštame dirvožemyje nuo kontrolinio skyrėsi 1,5 karto, purpurinio dobilo – 1,3 karto. Penktąją tyrimų savaitę didžiausias neužterštame ir užterštuose dirvožemiuose buvo purpurinis dobilas. Šią savaitę dėl išlikusios didesnės temperatūros pašarinio motiejuko antžeminės dalies aukštį pralenkė ir baltasis dobilas: kontroliniame dirvožemyje – 0,90 cm, užterštame 30 % MMP koncentracija – 0,25 cm, 20 % – 0,34 cm ir 10 % – 0,66 cm. Dobilų antžeminės dalies aukščiai skyrėsi nuo 0,84 cm (kontroliniame) iki 1,33 cm (užterštame 10 % MMP).

Šeštąją tyrimų savaitę patalpos temperatūra nukrito 2 °C ir buvo 21–22 °C. Tačiau augalų antžeminės dalies aukščiai, nors ir ne taip smarkiai kaip ketvirtąją ir penktąją savaitę, padidėjo (4.10 pav.). Motiejuko kontrolinių augalų aukštis pasiekė 6,41 cm, baltojo dobilo – 7,15 cm, purpurinio dobilo – 8,57 cm. Motiejuko antžeminės dalies aukštis 10 % MMP koncentracija užterštame dirvožemyje nuo kontrolinio skyrėsi 1,5 karto, baltojo dobilo – 1,6 karto, purpurinio – 1,1 karto. Paskutiniąją tyrimų savaitę purpurinio dobilo antžeminės dalies aukštis neužterštame ir užterštuose dirvožemiuose suvienodėjo ir skyrėsi tik 0,73 cm (kontroliniame didesnis nei 10 % MMP koncentracija užterštame).

Kiekvienos pasirinktos žolinių augalų rūšies antžeminės dalies aukščio kitimas pavaizduotas 4.11–4.13 paveiksluose.

4.10 pav. Žolinių augalų antžeminės dalies aukštis po VI augimo savaitės
Fig. 4.10. Length of above-ground part of grass vegetation after 6th week of growth

4.11 pav. Pašarinio motiejuko antžeminės dalies aukščio kitimas
Fig. 4.11. Length variation of above-ground part of timothy-grass

Atlikus antžeminės dalies aukščių pokyčių per savaitę skaičiavimus, nustatyta, kad pašarinio motiejuko didžiausias antžeminės dalies aukštis kito antrąją savaitę (4.11 pav.): kontroliniame dirvožemyje augalai vidutiniškai paaugo 2,81 cm, užterštame 30 % MMP koncentracija – 1,59 cm, 20 % – 2,74 cm, 10 % – 1,78 cm. Šiam antžeminės dalies aukščio padidėjimui įtakos turėjo temperatūros padidėjimas 1 °C. Antrasis temperatūros padidėjimas ketvirtąją savaitę taip pat įtakojė ženkliai padidėjusį motiejuko antžeminės dalies aukščio pokytį: ne-užterštame dirvožemyje

padidėjo 0,61 cm, užterštame 30 % MMP koncentracija – 1,39 cm, 20 % – 1,75 cm, 10 % – 0,76 cm. Vidutiniškai kitomis savaitėmis antžeminės dalies aukštis didėjo 0,49 cm (III sav.), 0,43 cm (V sav.) ir 0,45 cm (VI sav.).

4.12 pav. Baltojo dobilo antžeminės dalies aukščio kitimas
Fig. 4.12. Length variation of above-ground part of white clover

Atlikus antžeminės dalies aukščių pokyčių per savaitę skaičiavimus, nustatyta, kad baltojo dobilo didžiausias antžeminės dalies aukščio pokytis buvo penktąją savaitę (4.12 pav.): kontroliniame dirvožemyje augalai vidutiniškai paaugo 2,24 cm, užterštame 30 % MMP koncentracija – 1,74 cm, 20 % – 1,52 cm, 10 % – 1,48 cm. Šiam antžeminės dalies aukščio padidėjimui įtakos turėjo dvi savaitės buvęs temperatūros padidėjimas iki 24 °C. Vidutiniškai kitomis savaitėmis antžeminės dalies aukštis didėjo 0,75 cm (II sav.), 0,20 cm (III sav.), 1,34 cm (IV sav.) ir 0,58 cm (VI sav.).

4.13 pav. Purpurinio dobilo antžeminės dalies aukščio pokytis
Fig. 4.13. Length variation of above-ground part of crimson clover

Atlikus antžeminės dalies aukščių pokyčių per savaitę skaičiavimus, nustatyta, kad purpurinio dobilo didžiausias antžeminės dalies aukščio pokytis kaip ir baltojo dobilo buvo penktąją savaitę (4.13 pav.): kontroliniame dirvožemyje augalai vidutiniškai paaugo 2,54 cm, užterštame 30 % MMP koncentracija – 2,85 cm, 20 % – 2,69 cm, 10 % – 2,27 cm. Šiam antžeminės dalies aukščio padidėjimui įtakos turėjo dvi savaitės buvęs temperatūros padidėjimas iki 24 °C. Vidutiniškai kitomis savaitėmis antžeminės dalies aukštis didėjo 0,68 cm (II sav.), 0,81 cm (III sav.), 1,53 cm (IV sav.) ir 1,37 cm (VI sav.).

Purpurinis dobilas – vienintelė pasirinkta žolinė augalijos rūšis, kuri sudygo MMP ir CaCl_2 mišiniu užterštame dirvožemyje. Antžeminės dalies aukščio kitimas pavaizduotas 4.14 paveiksle.

4.14 pav. Purpurinio dobilo antžeminės dalies aukščio kitimas dirvožemiuose, užterštuose mišiniais

Fig. 4.14. Length variation of above-ground part of crimson clover in soils, contaminated with mixtures

Kaip matyti iš 4.14 paveikslo, purpurinis dobilas mišiniais užterštuose dirvožemiuose sudygo tik trečiąją savaitę ir tik dirvožemyje, užterštame 10 % MMP koncentracija ir CaCl_2 mišiniu, o antžeminės dalies aukštis siekė 0,49 cm (palyginus su kontroliniame dirvožemyje sudygusiais augalais mažesnis 6 kartus). Ketvirtąją savaitę dobilas paaugo 0,47 cm ir lyginant su kontroliniame dirvožemyje augusiais dobilais mažesnis buvo 5,3 karto. Kaip ir kitų dobilų didžiausias antžeminės dalies aukščio pokytis pastebėtas penktąją savaitę, kai patalpos temperatūra pakilusi buvo iki 24 °C. Šią savaitę pokytis siekė 0,64 cm, o lyginant su kontroliniame dirvožemyje augusiais purpuriniais dobilais mažesnis buvo 4,77 karto. Šeštąją savaitę užterštame mišiniu dirvožemyje dobilai paaugo 0,47 cm ir mažesni nei kontroliniame dirvožemyje buvo 4,14 karto.

Baltrėno ir kt. (2006) žolinių augalų (daugiametės svidrės, tikrojo eraičino ir pievinės miglės) antžeminės dalies aukščio kitimo technine natrio chlorido druska užterštame dirvožemyje tyrimo duomenimis per 6 savaites augalai nesudygo dirvožemyje, užterštame 20 g/kg NaCl. Visi augalai sudygo tik dirvožemyje, užterštame 1 g/kg NaCl, o antžeminės dalies aukščiai, lyginant su kontrolinių augalų, didesni buvo 1,6 karto (svidrės), 1,5 karto (eraičino) ir 1,7 karto (miglės). Šių tyrimų duomenimis techninė druska yra toksinė augalams. Techninė druska užterštame dirvožemyje daugiametė svidrė sudygo po 4 savaitžių augimo, o disertaciniame darbe purpurinis dobilas sudygo po 3 savaitžių augimo dirvožemyje, užterštame technine druska ir MPM.

4.3. Ketvirtojo skyriaus išvados

1. Pirmąją žolinių augalų antžeminės dalies aukščio tyrimų savaitę dirvožemiuose, užterštuose MMP ir CaCl_2 mišiniais, nesudygo nė vienas augalas. Pašarinis motiejukas nesudygo dirvožemiuose, užterštuose 10 % ir 20 % MMP koncentracijos tirpalu. Vadinasi, geriausias pradinis augalų daigumas yra naudojant didžiausią pasirinktą MMP koncentraciją dirvožemyje.
2. Temperatūros padidėjimas tiesiogiai įtakoja augalų antžeminės dalies aukštį: kai temperatūra padidėjo, augalai ženkliai ūgtelėjo. Pašarinio motiejuko antžeminės dalies aukštis labiau priklausė nuo temperatūros svyravimų nei dobilų. Tyrimo metu temperatūra kilo du kartus, pašarinio motiejuko antžeminės dalies aukštis labiau didėjo taip pat du kartus. Baltojo ir purpurinio dobilų antžeminės dalies aukštis ženkliai padidėjo tik kartą, kai padidėjusi temperatūra (23–24 °C) išsilaukė dvi savaites.

3. Per šešias antžeminės dalies aukščio tyrimo savaites antžeminės dalies aukštis buvo 6,23–8,18 cm dirvožemyje, užterštame 30 % MMP koncentracija, 5,38–8,01 cm dirvožemyje, užterštame 20 % MMP koncentracija, 4,22–7,84 cm dirvožemyje, užterštame 10 % MMP koncentracija ir 0–2,07 cm dirvožemyje, užterštame mišiniu su 10 % MMP koncentracija ir 36,5 % CaCl_2 . Vadinasi, augalų antžeminės dalies aukštis tiesiogiai priklauso nuo MMP koncentracijos dirvožemyje.
4. CaCl_2 neigiamai veikia žolinius augalus, nes pašarinis motiejukas ir baltasis dobilas per 6 tyrimo savaites taip ir nesudygo MMP (10 %, 20 %, 30 %) ir 36,5 % CaCl_2 mišiniu užterštame dirvožemyje.
5. Tolimesnius tyrimus tikslinga atlikti su mažesnėmis mišinių koncentracijomis, kadangi atliktų chloridų koncentracijų tyrimų žvyrkelio dangoje duomenimis MMP sulaiko chloridus dangoje neleisdamas jiems migruoti, tai tikėtina, kad į šalikelių dirvožemį pateks mažesnės chloridų koncentracijos.

Kietųjų dalelių sklaidos kelio aplinkoje modeliavimas

Modeliavimo tikslas – naudojant programą ADMS 4 gauti kietųjų dalelių koncentracijos reikšmes tolimesniame atstume nuo kelio nei buvo matuota tyrimų metu (3 skyrius), t. y. toliau nei 3 m nuo kelkraščio, ir gautus modelio rezultatus palyginti su tyrimų metu gautais rezultatais. Norint gauti kuo tikslesnius modeliavimo rezultatus, emisijos kiekio koeficientas perskaičiuojamas pagal gautą KD koncentraciją kelkraštyje tyrimų metu. Gauti modeliavimo rezultatai lyginami su tyrimų metu gautais rezultatais.

5.1. KD sklaidos kelio aplinkoje modeliavimo metodika

Norint gauti patikimus atmosferos taršos poveikio aplinkai įvertinimus, būtinos integruotos įvairių mokslo sričių specialistų pastangos, nes šie vertinimai apima inžinerinius projektavimo tyrimus ir darbus, teršalų sklaidos analizę (atmosferos fizika ir chemija), epidemiologinius tyrimus (fizinis teršalų poveikis žmonių sveikatai), sociologinius tyrimus (rizikos percepcija ir valdymas) bei ekonomiką (piniginis poveikio įvertinimas). Kadangi besivystančios šalys, tokios kaip Lie-

tuva, neturi pakankamai finansinių ir žmogiškųjų išteklių detalioms poveikio vertinimo schemoms šalies sąlygomis pritaikyti, tikslinga pasinaudoti supaprastintomis schemomis, kurios nereikalauja gausios pradinės informacijos, bet leidžia greitai gauti apytikslius įvertinimus, įgalinčius daryti politinius sprendimus (Štreimikienė ir Čiegis 2001).

Aplinkos oro taršai įvertinti pradėti naudoti skaitiniai modeliai. Pirmą kartą modeliavimo metodas oro kokybės vertime ir valdyme buvo paminėtas ES oro kokybės direktyvoje. Taip suteikiamos geresnės galimybės: įvertinti erdvinį teršalų pasiskirstymą, prognozuoti oro kokybę, nustatyti konkretaus taršos šaltinio įtaką, padidinti oro kokybės valdymo efektyvumą, rengiant veiksmų planus ir programas, įvertinant priimtų priemonių efektyvumą.

ADMS skaitinis modelis yra praktiškas, trumpo atstumo dispersijos modelis, kuris imituoja plataus spindulio rezultatus ir pasyviai išleidžia į atmosferą tiek pavieniui, tiek kartu su kitais teršalais. Tai „naujos kartos“ dispersijos modelis, naudojantis du parametrus, sluoksnio aukštį h ir Monin-Obukhov ilgį L_{MO} aprašyti atmosferos sluoksniui ir naudoja Gauso pasiskirstymą dispersijai konvencinėmis sąlygomis apskaičiuoti. Modelis taikomas iki 60 km nuo taršos šaltinio ir gali apskaičiuoti iki 100 km atstumu (ADMS 2010). Sklaida dėl kitimo, esant vidutiniam vėjo greičiui, aprašoma kaip standartinės deviacijos vėjo kryptių vidurkis, įvedamas per meteorologinius duomenis laipsniais (Hanna ir kt. 1999).

Modelyje pasirenkamos sausos iškritos ir atvira vietovė, siekiant įvertinti kuo didesnę galimą KD sklaidą aplinkoje.

KD pažemio koncentracija, esant tai pačiai emisijai, gali labai skirtis priklausomai nuo meteorologinių sąlygų, todėl atliekant modeliavimą ADMS 4.2 programa būtina įvertinti meteorologinius parametrus: vėjo greitį ir kryptį, aplinkos temperatūrą ir drėgnumą. Šie duomenys yra nustatyti kietųjų dalelių emisijos tyrimų metu (aprašyta disertacijos 3 skyriuje). Taip pat įvertinama, kokiame aukštyje nuo žemės paviršiaus bus vertinama KD sklaida. Modeliavimo metu priimama, kad šis aukštis lygus tyrimų metu matuotos KD koncentracijos aukščiui, t. y. 1 m.

Taip pat į programą įvesti žvyrkelio duomenys: kelio ilgis, kelio plotis. Šie parametrai įvedami kaip tinklėlio koordinatės linijiniame taršos šaltiniui. Teršalų (dulkių) temperatūra priimama lygi aplinkos temperatūrai. Į modelį įvedami ir automobilio važiavimo greičiai ($30 \text{ km/h} = 8,3 \text{ m/s}$; $40 \text{ km/h} = 11,1 \text{ m/s}$; $50 \text{ km/h} = 13,9 \text{ m/s}$).

Modeliavimo metu keičiant teršalų (KD) emisijos koeficientus bei vėjo kryptį, gauti KD emisijų kelio aplinkoje rezultatai.

5.2. KD sklaidos kelio aplinkoje modeliavimo rezultatai ir analizė

Modeliavimas buvo atliekamas pirmiausia empiriškai nustatant tinkamiausius emisijos koeficientus vyraujančiomis aplinkos oro sąlygomis ir įvertinus naudotą tirpalą. Nustačius optimaliausius koeficientus (sugretinus modelio rezultatus kelkraštyje su tyrimų metu gautais KD koncentracijos rezultatais), keičiant vyraujančio vėjo kryptį, analizuojamas nesutapimas tarp modelio ir tyrimų metu gautų verčių.

5.1 lentelėje pateikiami emisijos koeficientai.

5.1 lentelė. Nustatyti emisijos koeficientai modeliui

Table 5.1. Established coefficients of emission for the model

Automobilio greitis Tirpalas	30 km/h (8,3 m/s)	40 km/h (11,1 m/s)	50 km/h (13,9 m/s)
Temperatūra 26,51 °C, drėgmė 59,11 %, vėjo greitis 1,5 m/s (2007 m.)			
Kontrolė	$2,65 \cdot 10^{-2}$	$2,70 \cdot 10^{-2}$	$2,80 \cdot 10^{-2}$
10 % MMP	$1,76 \cdot 10^{-2}$	$1,95 \cdot 10^{-2}$	$1,97 \cdot 10^{-2}$
20 % MMP	$1,55 \cdot 10^{-2}$	$1,65 \cdot 10^{-2}$	$1,75 \cdot 10^{-2}$
30 % MMP	$1,00 \cdot 10^{-2}$	$1,25 \cdot 10^{-2}$	$1,35 \cdot 10^{-2}$
Temperatūra 21,65 °C, drėgmė 47,63 %, vėjo greitis 1,7 m/s (2008 m.)			
Kontrolė	$2,45 \cdot 10^{-2}$	$2,50 \cdot 10^{-2}$	$2,55 \cdot 10^{-2}$
10 % MMP ir 35,6 % CaCl ₂	$5,05 \cdot 10^{-3}$	$5,00 \cdot 10^{-3}$	$4,95 \cdot 10^{-3}$
20 % MMP ir 35,6 % CaCl ₂	$3,27 \cdot 10^{-3}$	$3,25 \cdot 10^{-3}$	$3,15 \cdot 10^{-3}$
30 % MMP ir 35,6 % CaCl ₂	$1,99 \cdot 10^{-3}$	$1,95 \cdot 10^{-3}$	$1,92 \cdot 10^{-3}$

Nustačius emisijos koeficientus vyraujančiomis aplinkos sąlygomis, automobilio važiavimo greičiui ir naudotam tirpalui, gaunami vizualūs KD emisijos (mg/m³) rezultatai. Gauti modeliavimo rezultatai, kai automobilio važiavimo greitis 40 km/h (11,1 m/s), pateikiami 5.1–5.8 paveiksluose. Paveiksluose pateikti modeliavimo rezultatai, esant dviem skirtingoms vėjo kryptims – statmenai keliui šiaurės (Š) ir ne statmena keliui šiaurės vakarų (ŠV). Kadangi atliktų tyrimų metu vyravo šiaurės vėjas, ši kryptis pasirenkama kaip pagrindinė kryptis. Tyrimų metu buvo dienų, kai vėjo kryptis buvo šiaurės vakarų, todėl modeliuojant buvo pasirinkta ir ši vėjo kryptis.

5.1 pav. Modeliavimo būdu nustatyti KD kiekiai kontroliniame ruože 2007 m., kai automobilio greitis 40 km/h

Fig. 5.1. Determine PM amount in control section in year 2007 by the simulation, car speed 40 km/h

Iš 5.1 paveikslo matyti, kad kelkraštyje (0 m) modelio ir realūs matavimo rezultatai (žr. 3.10 pav.) yra lygūs ($5,2 \text{ mg/m}^3$), modeliuojant skirtingomis vėjo kryptimis. 1 m atstumu nuo žvyrkelio matavimų metu gauta, kad KD koncentracija yra $5,4 \text{ mg/m}^3$, modeliuojant, kai vėjo kryptis Š, gauta $4,3 \text{ mg/m}^3$ KD koncentracija, duomenys skyrėsi 1,3 karto, kai vėjo kryptis ŠV – gauta $3,6 \text{ mg/m}^3$ (skyrėsi 1,5 karto). 2 m atstume nuo kelkraščio rezultatų skirtumai buvo 3,5 karto (Š) ir 2,5 karto (ŠV), 3 m – 2,6 karto (Š) ir 1,8 karto (ŠV). Pagal gautus rezultatus matyti, kad pasirinkus šiaurės vakarų vėjo kryptį modelio rezultatai artimesni tyrimų metu išmatuotoms KD koncentracijų reikšmėms. 10 m atstumu KD koncentracija pagal modelį būtų $2,30 \text{ mg/m}^3$ (kai vėjo kryptis Š) ir $1,30 \text{ mg/m}^3$ (kai ŠV), skirtumas tarp duomenų 1,8 karto.

5.2 pav. Modeliavimo būdu nustatyti KD kiekiai ruože, padengtame 10 % MMP, kai automobilio greitis 40 km/h

Fig. 5.2. Determine PM amount in section treated with 10 % MBM by the simulation, car speed 40 km/h

Iš 5.2 paveikslo matyti, kad kelkraštyje (0 m) modelio ir realūs matavimo rezultatai (žr. 3.10 pav.) yra lygūs ($3,7 \text{ mg/m}^3$), modeliuojant skirtingomis vėjo kryptimis. 1 m atstumu nuo žvyrkelio matavimų metu gauta, kad KD koncentracija yra $1,7 \text{ mg/m}^3$, modeliuojant, kai vėjo kryptis Š, gauta $3,3 \text{ mg/m}^3$ KD koncentracija, duomenys skyrėsi 1,9 karto, kai vėjo kryptis ŠV – gauta $2,5 \text{ mg/m}^3$ (skyrėsi 1,5 karto). 2 m atstume nuo kelkraščio rezultatų skirtumai buvo 2,9 karto (Š) ir 2,0 kartai (ŠV). Pagal gautus rezultatus matyti, kad pasirinkus šiaurės vakarų vėjo kryptį modelio rezultatai artimesni tyrimų metu išmatuotoms KD koncentracijų reikšmėms. 10 m atstumu KD koncentracija pagal modelį būtų $1,60 \text{ mg/m}^3$ (kai vėjo kryptis Š) ir $0,90 \text{ mg/m}^3$ (kai ŠV), skirtumas tarp duomenų 1,8 karto.

5.3 pav. Modeliavimo būdu nustatyti KD kiekiai ruože, padengtame 20 % MMP, kai automobilio greitis 40 km/h

Fig. 5.3. Determine PM amount in section treated with 20 % MBM by the simulation, car speed 40 km/h

Iš 5.3 paveikslo matyti, kad kelkraštyje (0 m) modelio ir realūs matavimo rezultatai (žr. 3.10 pav.) yra lygūs ($2,8 \text{ mg/m}^3$), modeliuojant skirtingomis vėjo kryptimis. 1 m atstumu nuo žvyrkelio matavimų metu gauta, kad KD koncentracija yra $1,9 \text{ mg/m}^3$, modeliuojant, kai vėjo kryptis Š, gauta $2,7 \text{ mg/m}^3$ KD koncentracija, duomenys skyrėsi 1,4 karto, kai vėjo kryptis ŠV – gauta $2,0 \text{ mg/m}^3$ (skyrėsi 1,05 karto). 2 m atstume nuo kelkraščio rezultatų skirtumai buvo 2,5 karto (Š) ir 1,8 karto (ŠV), 3 m – 4,1 karto (Š) ir 2,8 karto (ŠV). Pagal gautus rezultatus matyti, kad pasirinkus šiaurės vakarų vėjo kryptį modelio rezultatai artimesni tyrimų metu išmatuotoms KD koncentracijų reikšmėms. 10 m atstumu KD koncentracija pagal modelį būtų $1,30 \text{ mg/m}^3$ (kai vėjo kryptis Š) ir $0,75 \text{ mg/m}^3$ (kai ŠV), skirtumas tarp duomenų 1,7 karto.

5.4 pav. Modeliavimo būdu nustatyti KD kiekiai ruože, padengtame 30 % MMP, kai automobilio greitis 40 km/h

Fig. 5.4. Determine PM amount in section treated with 30 % MBM by the simulation, car speed 40 km/h

Iš 5.4 paveikslo matyti, kad kelkraštyje (0 m) modelio ir realūs matavimo rezultatai (žr. 3.10 pav.) yra lygūs ($2,2 \text{ mg/m}^3$), modeliuojant skirtingomis vėjo kryptimis. 1 m atstumu nuo žvyrkelio matavimų metu gauta, kad KD koncentracija yra $1,5 \text{ mg/m}^3$, modeliuojant, kai vėjo kryptis Š, gauta $2,1 \text{ mg/m}^3$ KD koncentracija, duomenys skyrėsi 1,3 karto, kai vėjo kryptis ŠV – gauta $1,6 \text{ mg/m}^3$ (skyrėsi 1,05 karto). 2 m atstume nuo kelkraščio rezultatų skirtumai buvo 2 kartai (Š) ir 1,5 karto (ŠV). Pagal gautus rezultatus matyti, kad pasirinkus šiaurės vakarų vėjo kryptį modelio rezultatai artimesni tyrimų metu išmatuotoms KD koncentracijai reikšmėms. 10 m atstumu KD koncentracija pagal modelį būtų $1,00 \text{ mg/m}^3$ (kai vėjo kryptis Š) ir $0,60 \text{ mg/m}^3$ (kai ŠV), skirtumas tarp duomenų 1,7 karto.

5.5 pav. Modeliavimo būdu nustatyti KD kiekiai kontroliniame ruože 2008 m., kai automobilio greitis 40 km/h

Fig. 5.5. Determine PM amount in control section in year 2008 by the simulation, car speed 40 km/h

Iš 5.5 paveikslo matyti, kad kelkraštyje (0 m) modelio ir realūs matavimo rezultatai (žr. 3.10 pav.) yra lygūs ($3,8 \text{ mg/m}^3$), modeliuojant skirtingomis vėjo kryptimis. 1 m atstumu nuo žvyrkelio matavimų metu gauta, kad KD koncentracija yra $3,1 \text{ mg/m}^3$, modeliuojant, kai vėjo kryptis Š, gauta $3,7 \text{ mg/m}^3$ KD koncentracija, duomenys skyrėsi 1,2 karto, kai vėjo kryptis ŠV – gauta $2,8 \text{ mg/m}^3$ (mažesnė 1,1 karto). 2 m atstume nuo kelkraščio rezultatų skirtumas buvo 1,3 karto (Š) ir lygios koncentracijos (ŠV), 3 m – 1,8 karto (Š) ir 1,3 karto (ŠV). Pagal gautus rezultatus matyti, kad pasirinkus šiaurės vakarų vėjo kryptį modelio rezultatai artimesni tyrimų metu išmatuotoms KD koncentracijų reikšmėms. 10 m atstumu KD koncentracija pagal modelį būtų $1,80 \text{ mg/m}^3$ (kai vėjo kryptis Š) ir $1,00 \text{ mg/m}^3$ (kai ŠV), skirtumas tarp duomenų 1,8 karto.

5.6 pav. Modeliavimo būdu nustatyti KD kiekiai ruože, padengtame mišiniu su 10 % MMP ir 35,6 % CaCl_2 , kai automobilio greitis 40 km/h
Fig. 5.6. Determine PM amount in section treated with mixture of 10 % MBM and 35.6 % CaCl_2 by the simulation, car speed 40 km/h

Iš 5.6 paveikslo matyti, kad kelkraštyje (0 m) modelio ir realūs matavimo rezultatai (žr. 3.10 pav.) yra lygūs ($0,8 \text{ mg/m}^3$), modeliuojant skirtingomis vėjo kryptimis. 1 m atstumu nuo žvyrkelio matavimų metu gauta, kad KD koncentracija yra $0,54 \text{ mg/m}^3$, modeliuojant, kai vėjo kryptis Š, gauta $0,75 \text{ mg/m}^3$ KD koncentracija, duomenys skyrėsi 1,3 karto, kai vėjo kryptis ŠV – gauta $0,54 \text{ mg/m}^3$ (lygios). 2 m atstume nuo kelkraščio rezultatų skirtumai buvo 2,1 karto (Š) ir 1,4 karto (ŠV), 3 m – 4,0 karto (Š) ir 2,8 karto (ŠV). Pagal gautus rezultatus matyti, kad pasirinkus šiaurės vakarų vėjo kryptį modelio rezultatai artimesni tyrimų metu išmatuotoms KD koncentracijų reikšmėms. 10 m atstumu KD koncentracija pagal modelį būtų $0,30 \text{ mg/m}^3$ (kai vėjo kryptis Š) ir $0,20 \text{ mg/m}^3$ (kai ŠV), skirtumas tarp duomenų 1,5 karto.

5.7 pav. Modeliavimo būdu nustatyti KD kiekiai ruože, padengtame mišiniu su 20 % MMP ir 35,6 % CaCl_2 , kai automobilio greitis 40 km/h
Fig. 5.7. Determine PM amount in section treated with mixture of 20 % MBM and 35.6 % CaCl_2 by the simulation, car speed 40 km/h

Iš 5.7 paveikslo matyti, kad kelkraštyje (0 m) modelio ir realūs matavimo rezultatai (žr. 3.10 pav.) yra lygūs ($0,54 \text{ mg/m}^3$), modeliuojant skirtingomis vėjo kryptimis. 1 m atstumu nuo žvyrkelio matavimų metu gauta, kad KD koncentracija yra $0,33 \text{ mg/m}^3$, modeliuojant, kai vėjo kryptis Š, gauta $0,48 \text{ mg/m}^3$ KD koncentracija, duomenys skyrėsi 1,4 karto, kai vėjo kryptis ŠV – gauta $0,36 \text{ mg/m}^3$ (skyrėsi 1,09 karto). 2 m atstume nuo kelkraščio rezultatų skirtumai buvo 2,3 karto (Š) ir 1,6 karto (ŠV), 3 m – 3,3 karto (Š) ir 2,3 karto (ŠV). Pagal gautus rezultatus matyti, kad pasirinkus šiaurės vakarų vėjo kryptį modelio rezultatai artimesni tyrimų metu išmatuotoms KD koncentracijų reikšmėms. 10 m atstumu KD koncentracija pagal modelį būtų $0,25 \text{ mg/m}^3$ (kai vėjo kryptis Š) ir $0,13 \text{ mg/m}^3$ (kai ŠV), skirtumas tarp duomenų 1,9 karto.

5.8 pav. Modeliavimo būdu nustatyti KD kiekiai ruože, padengtame mišiniu su 30 % MMP ir 35,6 % CaCl_2 , kai automobilio greitis 40 km/h
Fig. 5.8. Determine PM amount in section treated with mixture of 30 % MBM and 35.6 % CaCl_2 by the simulation, car speed 40 km/h

Iš 5.8 paveikslo matyti, kad kelkraštyje (0 m) modelio ir realūs matavimo rezultatai (žr. 3.10 pav.) yra lygūs ($0,30 \text{ mg/m}^3$), modeliuojant skirtingomis vėjo kryptimis. 1 m atstumu nuo žvyrkelio matavimų metu gauta, kad KD koncentracija yra $0,19 \text{ mg/m}^3$, modeliuojant, kai vėjo kryptis Š, gauta $0,29 \text{ mg/m}^3$ KD koncentracija, duomenys skyrėsi 1,5 karto, kai vėjo kryptis ŠV – gauta $0,22 \text{ mg/m}^3$ (skyrėsi 1,1 karto). 2 m atstume nuo kelkraščio rezultatų skirtumai buvo 2,3 karto (Š) ir 1,7 (ŠV), 3 m – 8,0 karto (Š) ir 5,6 karto (ŠV). Pagal gautus rezultatus matyti, kad pasirinkus šiaurės vakarų vėjo kryptį modelio rezultatai artimesni tyrimų metu išmatuotoms KD koncentracijų reikšmėms. 10 m atstumu KD koncentracija pagal modelį būtų $0,14 \text{ mg/m}^3$ (kai vėjo kryptis Š) ir $0,07 \text{ mg/m}^3$ (kai ŠV), skirtumas tarp duomenų 2 kartai.

Apibendrinant modeliavimo rezultatus, galima teigti, kad pasirinkus šiaurės vakarų vėjo kryptį, gauti rezultatai artimesni tyrimų metu išmatuotoms KD koncentracijos reikšmėms: modelio rezultatai kai kur sutapo ne tik kelkraštyje, bet ir tolstant nuo kelio. Labiausiai skirtingi ir tapatūs rezultatai pateikti 5.9 paveiksle.

5.9 pav. Modeliavimo ir tyrimų rezultatų palyginimas: a) labiausiai nesutapę rezultatai; b) labiausiai sutapę rezultatai
Fig. 5.9. Comparison of simulation and investigation results: a) most does not coincide results; b) most coincide results

Kaip matyti iš 5.9 paveikslo, pasirinkus šiaurės vėjo kryptį modeliavimo programa pateikia net 4 kartus didesnes galimas KD koncentracijos reikšmes. Pasirinkus šiaurės vakarų vėjo kryptį modeliavimo programos pateikiamos reikšmės su tyrimų metu gautomis reikšmėmis sutampa ne tik kelkraštyje (0 m), bet ir 1 m atstume, o tolstant nuo kelio modeliavimo reikšmės šiek tiek didesnės.

Taigi, pagal lyginant gautus modeliavimo ir tyrimų rezultatus, matyti tendencija, kad, kai yra didesnės KD koncentracijos, o vėjo kryptis statmena keliui, rezultatai sutampa mažiau, o kai KD koncentracijos mažesnės, o vėjo kryptis ne statmena keliui, tai modelio ir tyrimų rezultatai sutampa.

Baltrėnas ir kt. (2008) KD koncentracijos ore modeliavimą atliko programa PHOENICS, naudojant post-procesorių *Photon*. Pirmiausia jie išmatavo KD koncentracijas Vilniaus miesto Žvėryno mikrorajone (40 matavimo taškų). Į modeliavimo programą autoriai įvedė vėjo kryptį, greitį, oro drėgmę ir foninę

koncentraciją (duomenys buvo paimti iš oro monitoringo stotelės). Autorių rezultatai pateikti 5.10 paveiksle.

5.10 pav. KD sklaidos modeliavimo rezultatai 2005 birželio 11 (piko valandomis) Žvėryno mikrorajone

Fig. 5.10. Results of PM dispersion simulation for July 11, 2005 (during “out-of-rush” hours) in Žvėrynas district area

Pagal gautus rezultatus autoriai nustatė, kad modelio tikslumas kito nuo 1,8 % iki 5,7 %. Gauti modeliavimo rezultatai palyginus su eksperimentiniais duomenimis skyrėsi nuo 1,02 karto iki 1,06 karto. Modeliavimo rezultatai buvo tai didesni, tai mažesni už tyrimo metu nustatytas reikšmes. Lyginant modeliavimo programų (Phoenix ir ADMS) tikslumą, Phoenix programa pateikia tikslesnes KD koncentracijų reikšmes.

5.3. Penktojo skyriaus išvados

1. Modeliuojant programa ADMS KD sklaidą kelio aplinkoje empiriškai nustatyti emisijos koeficientai svyravo nuo $5,05 \cdot 10^{-3}$ iki $1,00 \cdot 10^{-2}$. Gauti modelio ir tyrimų KD koncentracijos rezultatai kelyje (0 m nuo kelio) sutapo.
2. Modeliuojant pasirinkus statmeną keliui (šiaurės) vėjo kryptį, gauti KD koncentracijos modeliavimo rezultatai lyginant su tyrimų metu gautais rezultatais skyrėsi net iki 4 kartų (modelis pateikia didesnes reikšmes).
3. Modeliuojant pasirinkus ne statmeną keliui (šiaurės vakarų) vėjo kryptį, gauti KD koncentracijos modeliavimo rezultatai lyginant su tyrimų metu gautais rezultatais kai kuriais atvejais sutapo ir 1 m atstume nuo kelio.
4. Norint gauti kuo didesnes galimas KD koncentracijos reikšmes modeliuojant reiktų pasirinkti statmeną keliui (90°) vėjo kryptį, norint gauti kuo artimesnes realiomis sąlygomis reikšmes, modeliuojant reiktų pasirinkti ne statmeną keliui ($\neq 90^\circ$) vėjo kryptį.

Parengta metodika ir siūlomas aplinkosauginis sprendimas

Šiame skyriuje pateikiamas teršalų koncentracijos dirvožemyje (žvyrkelio dangoje) skaičiavimas, sudarytas remiantis kitų autorių siūlomais skaičiavimais.

Šių siūlomų skaičiavimų tikslas – supaprastinti galimų teršalų (chloridų) kiekio dirvožemyje skaičiavimus.

Taip pat šiame skyriuje pateiktos medžiagos pagrindu Lietuvos patentų biuro rengiama paraiška Lietuvos patentui gauti.

6.1. Teršalų koncentracijos dirvožemyje skaičiavimas

Lietuvos automobilių kelių direkcijos duomenimis kasmet šalies valstybinės reikšmės keliuose išbarstoma 60–80 tūkst. tonų techninės druskos. Nors tikslios statistikos, kiek techninės druskos išbarstoma savivaldybių prižiūrimuose keliuose ir gamybinių ar aptarnavimo objektų teritorijose nėra, tačiau jis gali siekti apie antra tiek, kiek jos panaudojama valstybinės reikšmės keliuose (Kadūnas ir Arustienė 2010).

Chloro žemės plutoje yra nedaug – apie 0,017 %. Dėl didelio aktyvumo jis dažniausiai aptinkamas junginiuose. Chloro jonai (Cl⁻) gyvybiškai svarbūs augalams,

nes dalyvauja svarbiuose augalo vystymosi, taip pat ir fermentų aktyvumo fotosintezės, kitų maisto medžiagų transportavimo, ligų prevencijos ir slopinimo procesuose. Pabrėžiama jų reikšmė įsisavinti kitas maisto medžiagas, ypač makro-, pavyzdžiui, azotą (Adomaitis ir kt. 2010).

JAV atliktų tyrimų duomenimis, chloridai priesmėlio dirvožemyje gerokai padidino žieminių kviečių derlių, nes padėjo augalams geriau pasisavinti trąšų azotą (Freeman ir kt. 2006). Tačiau naujausių tyrimų, susijusių su chloridų mityba, duomenys yra prieštaringi. Vienų mokslininkų teigimu, augalų mitybą svarbu papildyti šia maisto medžiaga, kitų – ne. Pastarasis teiginys grindžiamas tuo, kad augalams chloridų reikia labai mažai, o chloro gali būti gaunama dirvožemyje ir aplinkoje vykstančių procesų metu (pvz., metinės chloridų iškritos su krituliais yra 13–40 kg/ha).

Chloro anijonai (Cl^-) yra vieni svarbiausių vandenyje (Šaulys ir Bastienė 2005). Iš visų anijonų jiems būdinga didžiausia migracija (Adomaitis ir kt. 2010). Chloro į dirvožemį daugiausia patenka su trąšomis, žvyrkelių dulkėtumą mažinančiomis medžiagomis ir krituliais. Chloro anijonų dirvožemis nesorbuoja, todėl jie greitai išplaunami į gilesnius sluoksnius.

Tylos (1995) duomenimis, skirtingais metų laikotarpiais įvairios granulometrinės sudėties dirvožemiuose didžiausias chloro išplovimas buvo lengvame, o mažiausias – sunkios granulometrinės sudėties dirvožemiuose. Kitais duomenimis, įvairiuose Lietuvos dirvožemiuose išplauto chloro kiekis kito nuo 40 iki 108 kg/ha (Tyla ir kt. 1997). LŽI Vokės filialo 1987–1998 m. tyrimų duomenimis, netręšto dirvožemio filtrate chloro koncentracija buvo 16,2 mg/l (Tripolskaja 2005).

Žinant kelio dangos medžiagą, naudojamos techninės druskos kiekį, praskiedimui naudojamo vandens kiekį bei numatomą transporto priemonės pravažiavimų skaičių, galima nustatyti teršalo (chloridų) koncentraciją dirvožemyje bei skysto mišinio taikymo gylį dirvožemyje.

Teršalo (chloridų) koncentracija dirvožemyje T_{KD} apskaičiuojama pagal (6.1) formulę:

$$T_{KD} = \frac{T_{kiekis}^2 \cdot K_{sm} \cdot (1 - N) \cdot \rho}{1000 \cdot (T_{kiekis} + V_V) \cdot P \cdot S}, \text{ mg/kg.} \quad (6.1)$$

Skysto mišinio taikymo gylis dirvožemyje G apskaičiuojamas pagal (6.2) formulę:

$$G = \frac{0,1 \cdot K_{sm} \cdot (1 - N)}{P}, \text{ m.} \quad (6.2)$$

Šiose formulėse T_{kiekis} – teršalo kiekis, mg; K_{sm} – skysto mišinio taikymo kiekis, l/m^2 (rekomenduojama 1 m^2 padengti 1 l mišinio, tada $K_{sm} = 1 \text{ l/m}^2$); N – nuotė-

kis (kiekis, likęs prieš filtraciją į dirvožemį; 6.1 lentelė); ρ – dirvožemio (kelio dangos) tankis, kg/m^3 (6.1 lentelė); V_v – vandens tūris, l; P – pravažiavimų skaičius (tai skaičius, parodantis, kiek kartų transporto priemonė pavažiuo ar pravažiuos žvyrkeliu, padengtu dulkėtumą mažinančia medžiaga); S – praskiesto mišinio skvarba (filtracija), cm (6.1 lentelė).

6.1 lentelė. Nuotėkis, dirvožemio (kelio dangos) tankis, praskiesto mišinio skvarba (Bastienė ir kt. 2008; Ramukevičius 2008)

Table 6.1. Runoff, soil (road cover) density, diluted mixture penetration (Bastienė *et al.* 2008; Ramukevičius 2008)

Kelio danga	N	$\rho, \text{kg/m}^3$	S, cm
Priesmėlis	0,53	1300	0,496
Lengvas molis	0,43	1100	0,45
Vidutinio sunkumo molis	0,33	1200	0,41
Molis	0,21	1500	0,38
Smėlis	0,80	1600	0,43
Žvyras	1,00	1800	0,375

6.2. Medžiaga žvyrkelių dulkėtumui mažinti

Disertacinis darbas buvo pradėtas atliekant žvyrkelių dulkėtumui mažinti naudojamų medžiagų literatūrinę analizę. Išnagrinėjus pasaulyje naudojamas medžiagas dulkėtumui mažinti buvo pastebėta, kad galima patobulinti medžiagas, sudarant mišinius.

Žvyrkelių dulkėtumą mažinančių medžiagų trūkumas aplinkosauginiu požiūriu – jos kenkia žvyrkelio pakelės augmenijai.

Atsižvelgus į minėtą dulkėtumą mažinančių medžiagų trūkumą buvo parengtas patentas pavadinimu „Medžiaga žvyrkelių dulkėtumui mažinti“. Paraiška patentui gauti 2011 metais paduota Lietuvos patentų biurui. Kaip prototipas buvo pasirinkta Didžiojoje Britanijoje siūloma medžiaga, į kurios sudėtį įeina aliejus, emulsiklis, vanduo ir kiti priedai (GB 2 279 079 A, 1994.12.21).

Pateiktas išradimas priklauso medžiagų, skirtų kitur nepriskirtiems pritaikymams arba kitur nepriskirtų medžiagų pritaikymo grupei, skirtai dulkių nusėdimui arba dulkių sugėrimui. Patento Tarptautinės patentų klasifikacijos indeksas C09K 3/22.

Siūlomo naujo mišinio, skirto mažinti žvyrkelių dulkėtumą, privalumas yra tas, kad įterpus į kalcio chloridą melasos pagrindo medžiagą sumažėja ne tik

žvyrkelio dulkėtumas, bet ir mažiau kenkiama pakelės augmenijai. Siūlomos medžiagos komponentai tokie:

- kalcio chloridas;
- melasos pagrindo medžiaga;
- vanduo.

Išradimo tikslas – žvyrkelių dulkėtumo mažinimo medžiagų mišinio, kuo mažiau kenkiančio pakelės augmenijai, tobulinimas. Nurodytas tikslas pasiekiamas tuo, kad ruošiant dulkėtumo mažinimo medžiagą su vandeniu yra papildomai maišomi kalcio chlorido ir melasos pagrindo medžiagos tirpalai. Kalcio chlorido tirpalo koncentraciją siūloma palikti beveik leidžiamą maksimalią koncentraciją žvyrkelių dulkėtumui mažinti, t. y. 36,5 %. Melasos pagrindo medžiagos koncentracija gali kisti nuo 10 % iki 30 %. Vanduo reikalingas kalcio chlorido ir melasos pagrindo medžiagos tirpalams paruošti. Ruošiant galutinį mišinį komponentai imami santykiu 1:1.

Paruoštas dulkėtumo mažinimo mišinys išpurškiamas ant žvyrkelio dangos paviršiaus. Vienas mišinio komponentas (kalcio chloridas) absorbuoja drėgmę iš aplinkos, kitas (melasa) – suformuoja plutą žvyrkelio dangos paviršiuje. Sumaišius abu siūlomas komponentus, paviršiaus pluta tampa plastiška. Kalcio chloridas tirpdamas migruoja į šalikę, o chloridai yra kenksmingi augalijai. Melasos pagrindo tirpalas chloridus sulaiko žvyrkelio dangos paviršiuje ir chloridai nemigruoja į šalikelę, todėl nekenkia pakelės augmenijai.

Siūlomas išradimas nereikalauja naujų technologijų. Dulkėtumo mažinimo mišinį paskleisti ant žvyrkelio dangaus paviršiaus galima ir vandens purkštuvu.

Žvyrkelius apdoroti siūlomu mišiniu rekomenduotina 1–2 kartus per sezoną, priklausomai nuo aplinkos sąlygų.

Šis išradimas gali turėti komercinę naudą todėl, kad bus mažinama žala pakelės augalijai, o tuo pačiu reikės skirti mažiau lėšų pakelių apželdinimui.

6.3. Šeštojo skyriaus išvados

1. Remiantis kitų autorių siūlomais skaičiavimais, sudarytos paprastos teršalų (chloridų) koncentracijos dirvožemyje (žvyrkelio dangoje) apskaičiavimo formulės.
2. Patobulinta dulkėtumo mažinimo medžiaga. Kalcio chloridą siūloma maišyti kartu su melasa. Taip mažinamas kenksmingumas žvyrkelio aplinkos augmenijai.

Bendrosios išvados ir rekomendacijos

Bendrosios išvados

1. Išanalizavus literatūrą nustatyta, kad žvyrkelių dulkėtumo mažinimui dažniausiai naudojamos medžiagos kenkia žvyrkelių aplinkos komponentams (dirvožemiui, augalijai). Iki šiol Lietuvoje nėra efektyviai dulkėtumą sumažinančios ir pasižyminčios minimaliu poveikiu aplinkai medžiagos.

2. Eksperimentinių tyrimų metu nustatyta, kad žvyrkelių dulkėtumui mažinti tinkama medžiaga melasos pagrindu (MMP), tačiau jos efektyvumas didžiausias taikymo pradžioje ir nelietingomis dienomis. Nustatyta, kad 10 % MMP iškart po taikymo kietųjų dalelių koncentraciją laboratorinėmis sąlygomis sumažina iki 2 kartų, o lauko – net iki 3 kartų, kai automobilis važiavo vidutiniu 50 km/h greičiu.

3. Eksperimentinių tyrimų metu nustatyta, kad MMP maišant kartu su kalcio chloridu taikymo pradžioje kietųjų dalelių (KD) koncentracija lygi 0 mg/m³. Įvertinus atstumą nuo važiuojamosios kelio dalies, kai dulkėtumui mažinti naudotas MMP ir CaCl₂ mišinys, didžiausia leidžiama vienkartinė kietųjų dalelių koncentracija gyvenamosios aplinkos ore pagal HN 35:2007 viršyta tik kelkraštyje (0 m), kai automobilio vidutinis greitis buvo 40–50 km/h.

4. Eksperimentinių tyrimų metu, žvyrkelių dulkėtumui mažinti naudojant įvairios koncentracijos tirpalus, stipriausias koreliacinis ryšys nustatytas tarp KD koncentracijos ir oro temperatūros (koreliacijos koeficientas 0,9). KD koncentracijos ir oro drėgmės bei KD koncentracijos ir vėjo greičio statistiškai patikimas ryšys nenustatytas.

5. Eksperimentinių tyrimų metu nustatyta, kad žvyrkelių dulkėtumui mažinti naudojant MMP ir CaCl_2 tirpalų mišinius, chloridų koncentracija buvo didesnė (iki 2 kartų) tose žvyrkelio dangos vietose, kurios buvo padengtos mišiniais su didesne nei 10 % MMP koncentracija (kalcio chlorido koncentracija vienoda – 35,6 %). Galima daryti prielaidą, kad MMP sulaiko chloridus kelio dangos paviršiuje ir neleidžia jiems skliti į kelio aplinką. Tačiau reiktų atlikti papildomus chloridų koncentracijos pasiskirstymo gilesniuose (20–40 cm) grunto sluoksniuose tyrimus.

6. Eksperimentinių tyrimų metu nustatyta, kad didesnis medžiagos melasos pagrindu (MMP) kiekis dirvožemyje įtakoja pasirinktų žolinių augalų rūšių (pašarinio motiejuko, baltojo ir purpurinio dobilų) antžeminės dalies aukštį. Nustatyta augalų antžeminės dalies aukščio didėjimo tendencija didėjant MMP koncentracijai dirvožemyje, tačiau 10 % MMP užterštame dirvožemyje augalų antžeminės dalies aukštis buvo 1,28 karto mažesnis, 20 % MMP – 1,07 karto mažesnis, 30 % MMP – 1,04 karto mažesnis nei augalų, augintų neužterštame MMP dirvožemyje.

7. Eksperimentinių tyrimų metu nustatyta, kad CaCl_2 poveikiui atspariausias purpurinis dobilas, kadangi jis vienintelis sudygo dirvožemyje, užterštame 10 % MMP ir 35,6 % CaCl_2 mišiniu.

8. Modeliavimui naudojant programą ADMS 4.2 nustatyta, kad geriausiai eksperimentinių tyrimų ir modeliavimo rezultatai sutampa (skirtumas 1,1–2,8 karto 3 m atstume), kai vėjo bei kelio kryptys yra ne vienodos ir tarpusavyje sudaro kampą, nelygų 90° (270°) ir tokiu atveju geriausia taikyti modeliavimo programą.

Rekomendacijos

1. Siekiant neviršyti didžiausios leidžiamos vienkartinės kietųjų dalelių koncentracijos gyvenamosios aplinkos ore, rekomenduojama žvyrkelių dulkėtumui mažinti naudoti tokius tirpalus: trumpam laikotarpiui 30 % koncentracijos medžiagą melasos pagrindu, o ilgesniam laikui – 36,5 % kalcio chlorido ir 10 % koncentracijos medžiagos melasos pagrindu mišinį.

2. Greta žvyrkelių esančias pievas ir ganyklas tikslinga apsėti purpuriniais dobilais.

Literatūra ir šaltiniai

- 2002–2015 metų Lietuvos Respublikos valstybinės reikšmės kelių priežiūros ir plėtros programa. 2001. I tomas. Santrauka. *VĮ transporto ir kelių tyrimo institutas*. Kaunas. 23 p.
- AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials). 1993. Standard Specification for Transportation Materials and Methods of Sampling and Testing. *Sixteenth Ed., Parts I and II, Washington, D. C.* 55 p.
- About Dustkill [interaktyvus]. 2006. Žiūrėta 2008 m. rugsėjo 16 d. Prieiga per internetą: <<http://www.dustkill.com/about.html>>.
- Addo, J. Q.; Sanders, T. G. 1995. Effectiveness and Environmental Impact of Road Dust Suppressants. MPC Report No. 95-28 A. *Department of Civil Engineering, Colorado State University, Ft. Collins, CO*: 53–57.
- Addo J. Q.; Sanders T. G.; Chenard M. [interaktyvus]. 2004. Road Dust Suppression: Effect on Maintenance Stability, Safety and the Environment. Phases 1-3. Žiūrėta 2006 m. rugsėjo 10 d. Prieiga per internetą: <http://www.ndsu.nodak.edu/ndsu/ugpti/MPC_Pubs/html/MPC04-156/pg4.html>.
- ADMS [interaktyvus]. 2010. Žiūrėta 2010 m. kovo 10 d. Prieiga per internetą: <<http://www.cerc.co.uk/>>.
- Adomaitis, T.; Mažvila, J.; Vaišvila, Z.; Arbačiauskas, J.; Antanaitis, A.; Lubytė, J.; Šumskis, D. 2010. Ilgalaikio tręšimo įtaka anijonų išplovimui. *Žemdirbystė-Agriculture*, 97(1): 71–82.
- Alternatives to hazardous materials [interaktyvus]. 1996. Techniques for Dust Prevention and Suppression. *Washington State Department of Ecology*. Publication Number 96-433. 19 p. Žiūrėta 2006 m. spalio 10 d. Prieiga per internetą: <<http://www.ecy.wa.gov/pubs/96433.pdf>>.

Annual report [interaktyvus]. 2005. Žiūrėta 2006 m. rugsėjo 10 d. Prieiga per internetą: <<http://www.lrrb.gen.mn.us/Inv/2005OperaAnnualreport.pdf>>.

Apodaca, M.; Huffmon, D. 1990. Dust Abatement Review and Recommendation: Final Report. *Gifford Pinchot National Forest Supervisor's Office, Road Management. Region 4, Dept of Agriculture, Forest Service*. 157–162.

ASTM (American Society of Testing and Materials). 1999. Guide to Risk-Based Corrective Action (RBCA) Applied at Petroleum Release Sites. ASTM publication E 1739, *West Conshohocken, PA 19428-2959*. 36 p.

Atmosferos apsauga ir teršalų savybių tyrimai: laboratoriniai darbai. 1998. Vilniaus Gedimino technikos universitetas. Vilnius: Technika. 177 p.

BACM (Suggested Best Available Control Measures) for Reducing Windblown Dust from Manmade Sources in Doña Ana County. 2000. *Report, New Mexico*. 7 p.

Baltrėnas, P.; Fröhner, K.-D.; Pranskevičius, M. 2007. Investigation of seaport air dustiness and dust spread. *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*. 15(1): 15–23.

Baltrėnas, P.; Kaziukonienė, D.; Kvasauskas, M. 2006. Air pollution at parking-lots of Vilnius. *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*. 14(1): 23–30.

Baltrėnas, P.; Kvasauskas, M. 2005. Experimental investigation of particle concentration using mass and optical methods. *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*. 13(2): 57–64.

Baltrėnas, P.; Morkūnienė, J. 2004. Investigation of particulate matter concentration in the air of Žvėrynas district in Vilnius. *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*. 12(1): 38–43.

Baltrėnas, P.; Morkūnienė, J.; Vaitiekūnas, P. 2008. Kietųjų dalelių dispersijos ore Vilniaus mieste matematinis modeliavimas. *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*, 16(1): 15–22.

Baltrėnas, P.; Kazlauskienė, A. 2007. Grass vegetation dynamics in soil contaminated with salt. *Ekologija* 53(3): 58–63.

Baltrėnas, P.; Kazlauskienė, A. 2009. Sustainable ecological development reducing negative effects of road maintenance salts. *Technological and Economic Development of Economy*, 15(1): 178–188.

Baltrėnas, P.; Kazlauskienė, A.; Zaveckytė, J. 2006. Experimental investigation into toxic impact of road maintenance salt on grass vegetation. *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*, 14(2): 83–88.

Baltrėnas, P.; Vaitiekūnas, P.; Mincevič, I. 2004. Investigation on the impact of transport exhaust emissions on the air. *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*. 12(1): 38–43.

Baltrėnas, P.; Vasarevičius. 2003. *Transportas: technologijos, ekonomika, aplinka, sveikata*. Monografija. Vilnius: Technika, p. 685–775.

Barnard, W. R.; Stewart, M. A. 1992. Improved fugitive dust PM₁₀ emissions estimates for trends. *Air and Waste Management Association, Pittsburgh, PA*. 673–684.

- Bastienė, N.; Girklys, V.; Kirstukas, J.; Šaulys, V. 2008. *Priemonių vandensaugos tikslams siekti galimybių studija*, Kėdainiai, Vilainiai: 228.
- Batchelor, G. K. 1967. *An Introduction to Fluid Dynamics*. Cambridge, England: Cambridge University Press [Applied Mathematics, University of Cambridge, England] 615 p.
- Baxter, R. [interaktyvus] 2002. Arrest That Fugitive Dust. *Erosion control*. 9(2): 2. Žiūrėta 2010 m. rugpjūčio mėn. 17 d. Prieiga per internetą: <<http://www.erosioncontrol.com/march-april-2002/arrest-that-fugitive.aspx>>.
- Bogemans J.; Neirinckx, L.; Stassart J. M. 1989. Effect of deicing chloride salts on ion accumulation in spruce (*Picea abies* (L.) sp.). *Plant and Soil* 113. 3–11.
- Bolander, P.; Yamada, A. [interaktyvus]. 1999. Dust palliative selection and application guide. Project Report. 9977-1207-SDTDC. San Dimas, CA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, *San Dimas Technology and Development Center*. 20 p. Žiūrėta 2006 m. rugpjūčio 15 d. Prieiga per internetą: <<http://www.wsdot.wa.gov/TA/T2Center/DustGuide.pdf>>.
- Bolander, P. 1997. Chemical Additives for Dust Control—What We Have Used and What We Have Learned. In Variable tire pressure, flowable fill, dust control, and base and slope stabilization. Transportation Research Board, *Transportation Research Record*, Washington D. C. No. 1589: 42–49.
- Bolander, P. 1999a. Dust Palliative Selection Application Guide. *United States Department of Agriculture, Forest services*. 11 p.
- Bolander, P. 1999b. Laboratory Testing of Nontraditional Additives for Stabilization of Roads and Trail Surfaces. *Transportation Research Board, Proceedings from the Seventh International Conference on Low-Volume Roads, Transportation Research Record*, Washington, DC, No. 1652(2): 24–31.
- Boresi, A. P.; Palmer, J. T. 1993. Appraisal and Application of Models for Unpaved Roads. *Mountain-Plains Consortium (MPC) Report* No. 93–22: 21 p.
- Branning, M. L. 2010 04 22. *A composition for dust control and limiting moisture re-absorption*. Tarptautinis patentas WO 2010/045448 A1. 13 p.
- Breum, N. O.; Nielsen, B. H.; Lyngbye, M. 1999. Dustiness of Chopped Straw as Affected by Ligninsulfonate as a Dust Suppressant. *Annals of Agriculture and Environmental Medicine: AAEM*. 6(2): 133–140.
- Burns, E. J.; Hatfield, J. R. 1982 01 27. *Dust suppressant*. Didžiosios Britanijos patentas GB 2 079 772 A. 7 p.
- Burnside, K. D.; Cranfill, J. C. 2009 03 05. *Dust control compositions and method of inhibiting dust*. Jungtinių Valstijų patentas US 2009/0061102 A1. 3 p.
- Butkuvienė, E. 2009. Ilgalaikių ganyklų persėjimo ir kitų gerinimo būdų įtaka žolyno derliui bei jo kokybei. *Žemdirbystė-Agriculture*. 96(2):151–164.
- Chen, J.; Fu, X. 1999. Integrating physics-based computing and visualization: modeling dust behavior. *Computing in Science and Engineering*: 1(1): 12–16.
- Colorado University Dustometer Scheme [interaktyvus]. 2006. Žiūrėta 2006 m. spalio 16 d. Prieiga per internetą: <<http://www.mountain-plains.org/pubs/html/mpc-04-156/pg4.php#du>>.

Compilation of Air Pollution Emission Factors, AP-42. 1998. *Environmental Protection Agency, Unpaved Roads*. Office of Air Quality, Planning and Standards, Research Triangle Park, NC 27711. 1(13): 29 p.

Cotter, J. 2008 04 17. *Dust suppressant*. Jungtinių Valstijų patentas US 2008/0087305 A1. 8 p.

Cowherd Jr., C.; Elmore, W. L.; Durkee, K. R. 1989. Potential Regulatory Approaches for the Control of PM-10 Emissions from Urban Dust Sources. *Air and Waste Management Association Meeting*. In: *Proceedings of the 82nd Annual Meeting and Exhibition, from June 25-30, Anaheim, California*, 3: 25–29.

Čygas, D.; Laurinavičius, A.; Vaitkus, A.; Perveneckas, Z. 2008 a. A test road section of experimental pavement structures in Lithuania (I). *The 7th International conference "Environmental Engineering": Selected Papers, May 22-23, 2008 Vilnius, Lithuania*. Vol. 3. Vilnius: Technika: 1130–1135.

Čygas, D.; Laurinavičius, A.; Vaitkus, A.; Puodžiukas, V. 2008 b. Research of experimental road pavement structures. *The 25th International Symposium on Automation and Robotics in Construction (ISARC 2008): Selected Papers, June 26-29, 2008 Vilnius, Lithuania*. Vilnius: Technika: 22–28.

Čygas, D.; Žilionienė, D. 2002. Design solutions for Lithuanian gravel road pavements. *Civil Engineering and Management*, 8(2):138–142.

Daly, B. N. 2009 05 21. *Dust suppressant*. Australijos patentas AU 2007231845 A1. 8 p.

DeCastro, A.; Edgar T. V.; Foster D. H.; Boresi, A. P. 1996. Physical and Chemical Stability of Admixtures in Unpaved Road Soils. *Mountain-Plains Consortium (MPC) Report* No. 96–52: 34 p.

Dėl statybos techninio reglamento STR 2.02.05:2004 „Nuotekų valyklos. Pagrindinės nuostatos“ patvirtinimo. Lietuvos Respublikos Aplinkos Apsaugos ministro įsakymas. Nr. D1–376. 80 p.

Demers, C. L.; Sage Jr., R. W. 1990. Effects of Road De-icing Salt on Chloride Levels in Four Adirondack Streams. *Water, Air, and Soil Pollution*, No 49: 369–373.

Dobson M. C. 1991. De-icing salt damage to trees and shrubs. *Forestry Commission Bulletin 101, Department of the Environment Arboriculture Contract, Forestry Commission, Farnham, Surrey*. 64 p.

Dohner, B. R. 1988 04 12. *Dust suppressant composition and method*. Jungtinių Valstijų patentas 4,737,305. 2 p.

Dragsted J. 1990. Some results from Danish investigations in salt stress on trees. *Aquilo, Series Botanica*. 29: 21–23.

Draxler, R. R.; Gillette, D. A.; Kirkpatrick, J. S.; Heller J. [interaktyvus]. 2001. Estimating PM₁₀ air concentrations from dust storms in Iraq, Kuwait and Saudi Arabia. *Atmospheric Environment*, 35(25): 4315–4330. Žiūrėta 2008 m. birželio 7 d. Prieiga per internetą: <<http://www.ready.noaa.gov/ss/transport/dust/duststorm.pdf>>.

Dust, Washboards, and Deep Stabilization [interaktyvus]. 2001. Žiūrėta 2006 m. rugpjūčio 14 d. Prieiga per internetą: <http://www.forester.net/ec_0103_dust.html>.

- Eidukevičienė, M., Vasiliauskienė, V. 2001. *Lietuvos dirvožemiai: kolektyvinė monografija*. Lietuvos mokslas, 1244 p.
- Epps, A.; Ehsan, M. 2002. Laboratory Study of Dust Palliative Effectiveness. *Journal of Materials in Civil Engineering*. 14(5): 427–435.
- Ettinger, W. S. 1987. Impacts of a Chemical Dust Suppressant/Soil Stabilizer on the Physical and Biological Characteristics of a Stream. *Journal of Soil and Water Conservation*, 42(2): 111–114.
- Ferguson, J. H.; Downs, H. W.; Pfost, D. L. [interaktyvus]. 1999. Fugitive Dust: Non-point Sources. Agricultural MU Guide. University of Missouri-Columbia. *Agricultural Publication*. 18 p. Žiūrėta 2006 m. lapkričio 27 d. Prieiga per internetą: <<http://extension.missouri.edu/explore/agguides/agengin/g01885.htm>>.
- Field, J. R.; Gagen, G. S. 1991 01 01. *Dust suppressant for minerals*. Jungtinių Valstijų patentas US 4,981,398. 3 p.
- Foley G.; Cropley S.; Giummarra G. 1996. Road Dust Control Techniques – Evaluation of Chemical Dust Suppressants. Performance. *ARRB Transport Research Ltd., Special Report 54*, Victoria, Australia. 38–40.
- Freeman, K. W.; Girma, K.; Mosali, J.; Teal, R. K.; Martin, K. L.; Raun, W. R. 2006. Response of winter wheat to chloride fertilization in sandy loam soils, *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 37: 1947–1955.
- Gaffney, P., Shimp D. 1997. Improving PM10 Emission Inventories. *Report to California Air Resources Board, Technical Support Division*. 47 p.
- Gebhart, D. L., Denight, M. L., Grau, R. H. 1999. Dust Control Guidance and Technology Selection Key. *U.S. Army Environmental Center – U.S. Army Corps of Engineering, AEC Report No. SFIM-AEC-EQ-CR-99002*. 27 p.
- Ghia, K. N.; Hankey Jr., W. L.; Hodge, J. K. 1997. Study of incompressible Navier-Stokes equations in primitive variables using implicit numerical technique. *Proc. Third CFD Conf.* 156–167.
- Gilles, J. A.; Watson, J. G.; Rogers, C. F.; Chow, H. C. 1997. PM10 Emissions and Dust Suppressants Efficiencies on an Unpaved Road. Merced County, CA. In: *Proceedings of the Air and Waste Management Association's 90th Annual Meeting and Exhibition, June 8-13, Toronto, Ontario, Canada*, No. 97-TA 48.07. 3–16.
- Gillett, J., M.; Taylor, N., L.; Collins, M. 2001. *The world of clovers*. CD with Searchable Data Base. Iowa State University Press, Ames, USA: 457 p.
- Girgždienė, R.; Rameikytė, R. 2007. Variation of PM₁₀ mass and aerosol number concentrations in Šiauliai. *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*. 15(1): 47–53.
- Giummarra, G.; Foley G.; Cropley S. 1997. Dust Control – Australian Experiences with Various Chemical Additives, In Variable tire pressure, flowable fill, dust control, and base and slope stabilization. *Transportation Research Board, Transportation Research Record No. 1589*, Washington D.C. 50–53.

- Goldbeck, L. J. 1997. Improving Plant Competitiveness through Conveyor Dust Control Technologies. *Proceedings of the 59th Annual American Power Conference*. Chicago, Illinois, 59(11): 600–605.
- Golden, B. J. 1991. Impact of Magnesium Chloride Dust Control Product on the Environment. In: *Proceedings of the Transportation Association of Canada Annual Conference*, Winnipeg, Manitoba. 1: 27–33.
- Gottschalk, K. 1994. Road Dust: A Survey of Particle Size, Elemental Composition, Human Respiratory Deposition and Clearance Mechanisms. *Unpublished Independent Study, Colorado State University, Ft Collins, CO*. 23 p.
- Gravel Road Troubleshooting Guide [interaktyvus]. 1999. Žiūrėta 2006 m. lapkričio 15 d. Prieiga per internetą: <<http://www.ruralhometech.com/fr/ditch.php?Page=9>>.
- Greičiūtė, K.; Vasarevičius, S.; Augulienė, V. 2002. Estimation of NO₂ dispersion in streets with a heavy road traffic by using the AIRVIRO street canyon model. *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*, 10(3): 108–115.
- Heffner, K. 1997. Water Quality Effects of Three Dust-Abatement Compounds. *USDA Forest Service Engineering Field Notes*, 29: 35–43.
- Highway Salt and Our Environment. *Salt institute*. 2004. USA, Virginia. 18–19.
- Hoffman, D. J.; Eastin, W. C. 1981. Effects of Industrial Effluents, Heavy Metals, and Organic Solvents on Mallard Embryo Development. *Toxicology Letters*, 9(1): 35–40.
- Hoover, J. M.; Fox, D. E.; Lustig, M. T.; Pitt, J. M. 1989. Mission-Oriented Dust Control and Surface Improvement Processes for Unpaved Roads. *Final Report, Iowa Highway Research Board Project*. 194 p.
- Huang, Y. H. 1993. *Pavement Analysis and Design*. Prentice Hall. Englewood Cliffs, New Jersey. 805 p.
- Huber, H.; Jacobs, E.; Visser, E. J. W. 2009. Variation in flooding-induced morphological traits in natural populations of white clover (*Trifolium repens*) and their effects on plant performance during soil flooding. *Annals of Botany*. 103(2): 377–386.
- Irwin, L. H.; Taylor, D. J.; Aneshansley, D. J. 1986. Device to Measure Road Dustiness on Aggregate Surface Roads. *Cornell Local Roads Program Report 86–5. Dept. of Agricultural Engineering, Cornell University, Ithaca, NY*. 15 p.
- Jayas, D. S.; White, N. D. G.; Britton, M. G. 1992. Effect of oil used for dust control on engineering properties of stored wheat. *American Society of Agricultural Engineers*. 35(2): 659–664.
- James, D.; Pulgarin, J.; Gingras, T.; Edwards, S.; Venglass, G.; Becker, J.; Licon, A.; Swallow, C.; Gambatese, J.; Luke, B. 1999. Field Testing of Dust Suppressants Using a Portable Wind Tunnel. *Final Report for Clark County Health District*. 115–121.
- Jankaitė, A.; Vasarevičius, S. 2005. Sėklų dygimo ekologinių veiksnių nustatymas. Iš *Aplinkos apsaugos inžinerija. 8 – osios Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencijos „Lietuva be mokslo – Lietuva be ateities“ medžiaga*. Vilnius: Technika. 200–205.
- Jonavičienė, K.; Paplauskienė, V.; Brazauskas, G. Isozymes and ISSR markers as a tool for the assessment of genetic diversity in *Phleum* spp., *Žemdirbystė-Agriculture* 2009. 96(3): 47–57.

- Jones, M. A.; Rosar, E. C.; Pattengill, M. G. 1997 09 16. *Lightweight dust suppressing aggregate for antiskidding applications*. Jungtinių Valstijų patentas US005667718 A. 4 p.
- Kayama, M.; Kitaoka, S.; Kitahashi, Y.; Maruyama, Y.; Kitao, M.; Quoreshi, A. M.; Koike, T. 2002. Declining symptom of two spruce species planted along the highway. *Transactions of the Meeting in Hokkaido Branch of the Japanese Forestry Society* 50: 87–89.
- Kadūnas, K.; Arustienė, J. 2010. Kelių barstymo druskos poveikio požeminiam vandeniui apžvalga: ataskaita, *Lietuvos Geologijos tarnyba prie Aplinkos ministerijos*, 15.
- Kayama M.; Quoreshi, A. M.; Kitaoka, S.; Kitahashi, Y.; Sakamoto, Y.; Maruyama, Y.; Kitao, M.; Koike, T. 2003. Effects of deicing salt on the vitality and health of two spruce species, *Picea abies* Karst., and *Picea glehnii* Masters planted along roadsides in northern Japan. *Environmental Pollution* 124: 127–137.
- Kazlauskienė, A.; Pottala, J.; Petronis, V. 2008. Research of dustiness on gravelled roads in Lithuania, *7th International conference „Environmental Engineering“: Selected Papers, May 22–23, 2008, Vilnius, Lithuania*. Vol. 1. Vilnius: Technika: 169–174.
- Kelių dangos [interaktyvus]. 2010 [žiūrėta 2010 vasario 03 d.]. Prieiga per internetą: <www.lra.lt>.
- Kelių su žvyro danga dulkejimo mažinimas. 2004. Metodiniai nurodymai. *Lietuvos automobilių kelių direkcija prie Susisiekimo ministerijos*. Vilnius. 24 p.
- Kelių techninis reglamentas KTR 1.01:2008. [interaktyvus]. 2008. Automobilių keliai. Valstybės žinios, 2008 01 22, Nr. 9-322. Žiūrėta 2008 m. birželio 18d. Prieiga per internetą: <http://www3.lrs.lt/pls/inter3/dokpaieska.showdoc_l?p_id=313209&p_query=&p_tr2=>>.
- Kestner, M. 1989. Using Dust Suppressants to Control Dust Emissions. Part 1, *Powder and Bulk Engineering*, 3(2): 17–20.
- KET. Kelių eismo taisyklės [interaktyvus]. 2008 09 30. 250 p. Žiūrėta 2008 m. Spalio 05 d. Prieiga per internetą: <<http://kelias.avilda.lt/KET/ket.html>>.
- Kremer, H. A. 1990 10 02. *Dust suppressant forming a resilient layer*. Jungtinių Valstijų patentas 4,960,532. 5 p.
- Laurinavičius, A.; Vaitkus, A.; Bertulienė, L.; Tuminienė, F.; Žiliūtė, L. 2009 a. Research of experimental road pavement structures in Lithuania. *II International Conference Environmentally Friendly Roads: ENVIROAD 2009 [elektroninis išteklius], 15-16 X 2009 [CD]*. Road and Bridge Research Institute Warsaw: 1–6.
- Laurinavičius, A.; Juknevičiūtė, L.; Bertulienė, L. 2009 b. Климатический фактор в эксплуатации автомобильных дорог. *Наука - образованию, производству, экономике: материала Седьмой международной научно-технической конференции. В 3 томах. Т. 2*. Белорусский национальный технический университет Минск: БНТУ. 202 с.
- Lane, D. D.; Baxter, T. E.; Cuscino T.; Coward, Jr., C. 1984. Use of Laboratory Methods to Quantify Dust Suppressants Effectiveness. *Society of Mining Engineers of AIME, Transaction*, Vol. 274-2001: 153–159.
- Larkin Laboratory, Calcium Chloride and Magnesium Chloride for Dust Control. 1986. *Swede Rd. Midland Michigan*. 28 p.

Lemežienė, N.; Kanapeckas, J.; Tarakanovas, P.; Nekrošas, S. Analysis of dry matter yield structure of forage grasses. *Plant Soil Environment* 2004. 50(6): 277–282.

Lewis, R. J. 1993. Hawley's Condensed Chemical Dictionary. *Twelfth edition*. New York, Van Nostrand Reinhold: 128–129.

Lietuvos higienos norma HN 24:2003 „Geriamojo vandens saugos ir kokybės reikalavimai“. Valstybės žinios:2003-07-23 Nr.79-V-455. Įsigaliojo nuo 2003-08-15.

Lietuvos higienos norma HN 35:2007 „Didžiausia leidžiama cheminių medžiagų (teršalų) koncentracija gyvenamosios aplinkos ore“. Valstybės žinios: 2007-05-19 Nr. 55-2162. Įsigaliojo nuo 2007-07-01.

Lietuvos keliai [interaktyvus]. 2008 03 05. Žiūrėta 2008 m. spalio 05 d. Prieiga per internetą: <http://www.lra.lt/lt.php/lietuvos_keliai/keliu_dangos/31>.

Lippa, M.; Špakauskas, V. 2002. Air impurity from transport assessment in Lithuania. *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*: 10(3), 121–129.

LST EN 1744-1:2003 2 leidimas. Užpildų cheminių savybių nustatymo metodai. 1 dalis. Cheminė analizė. 62 p. Panaikinimo data 2010 03 31, pakeistas nauju LST EN 1744-1: 2010. Bandymai užpildų cheminėms savybėms nustatyti. 1 dalis. Cheminė analizė. 62 p.

Mitchell, J. K. 1993. *Fundamentals of soil behaviour*. John Wiley and Sons, New York: 437 p.

Murase, H. 2010 09 15. *Additive for dust scattering preventing coating water*. Europos patentas EP 2 228 420 A1. 11 p.

N. Carolina Department of Environment and Natural Resources Division of Air Quality. 2003. Economic Analysis of Particulates from Fugitive Dust Emissions Sources. 29 p.

Organiscak, J. A.; Cecala, A. B.; Thimons, E. D.; Heitbrink, W. A.; Schmitz, M.; Ahrenholtz, E. 2003. Surface Mine Dust Control. Chapter 5. In *Handbook for Dust Control in Mining*, Center for Disease Control. 18–23.

Oseroff, C.; Sidney, J.; Kotturi, M. F.; Kolla, R.; Alam, R.; Broide, D. H.; Wasserman, S. I.; Weiskopf, D.; McKinney, D. M.; Chung, J. L.; Petersen, A.; Grey, H.; Peters, B.; Sette, A. 2010. Molecular Determinants of T Cell Epitope Recognition to the Common Timothy Grass Allergen. *The Journal of Immunology*. 185(2): 943–955.

Pelzl, B.; Schiller, M. 2010 03 04. *Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen*. Vokietijos patentas DE 10 2008 045 459 A1. 10 p.

Potential Environmental Impacts of Dust Suppressants: Avoiding Another Times Beach [interaktyvus]. 2002. *An Expert Panel Summary Las Vegas*, Nevada. 97 p. Žiūrėta 2006 m. lapkričio 15 d. Prieiga per internetą: <<http://www.epa.gov/esd/cmb/pdf/dust.pdf>>.

Priešnuodžiai dulkėms [interaktyvus]. 2006 07 17. Žiūrėta 2008 m. gegužės 14 d. Prieiga per internetą: <http://www.info.lt/index.php?page=naujienos&view=naujiena_arch&id=78578>.

Rainstorm Dust Control [interaktyvus]. 2006. Žiūrėta 2006 m. rugsėjo 12 d. Prieiga per internetą: <<http://www.austieca.com.au/Products.asp?CategoryID=5>>.

Ramukevičius, D. 2008. *Statybos pagrindai*. Mokomoji knyga. Kaunas, 49 p.

Robinson, E.; Robbins, R. C. 1971. Emissions, Concentrations and Rate of Particulate Atmospheric Pollutants. *American Petroleum Institute. Washington D.C.* Report No 4076(2): 113–117.

Road Dust Suppressants. 1989. Colorado Transportation Information Center, Bulletin #3. *Dept. of Civil Engineering, Colorado State University, Fort Collins Co.* 17 p.

Safecote [interaktyvus]. 2008. Žiūrėta 2008 spalio 08 d. Prieiga per internetą: <http://www.keluva.lt/?_nm_mid=TUN3ekxEQXNNQ3d3&_nm_lid=0&session=no>.

Sanders, T. G.; Addo, J. Q.; Ariniello, A.; Heiden, W. F. 1997. Relative Effectiveness of Road Dust Suppressants. *Journal of Transportation Engineering*, 123(5): 393–397.

Sanders T. G.; Addo J. Q. [interaktyvus]. 1993. Effectiveness and Environmental Impact of Road Dust Suppressants. Colorado State University, Mountain-Plain Consortium, MPC-94-28. 120 p. Žiūrėta 2006 m. liepos 15 d. Prieiga per internetą: <http://www.ndsu.nodak.edu/ndsu/ugpti/MPC_Pubs/html/MPC94-28.htm>.

Sanders, T. G.; Addo, J. Q. 2000. Experimental Road Dust Measurement Device. *Journal of Transportation Engineering*, ASCE 126(6): 530–535.

Satterfield, C. G.; Ono, D. 1996. Using Magnesium Chloride in Street Sweepers to Control PM-10 Emissions from Winter-Time Sanding of Roadways, Air and Waste Management Association. In: *Proceedings of the 89th Annual Meeting and Exhibition, June 23-28, Nashville, Tennessee*. 33 p.

Schilling, K. H.; Freeman, D.; McPherson, R. E. 2005 09 08. *Dust suppressant and soil stabilization composition*. Jungtinių Valstijų patentas US 2005/0194566 A1. 7 p.

Schilling, K. H.; Freeman, D.; McPherson, R. E. 2004 01 02. *Dust suppressant and soil stabilization composition*. Kanados patentas CA 2 434 215 A1. 17 p.

Scholen, D. E. 1995. Stabilizer Mechanisms in Nonstandard Stabilizers. In: *Sixth International Conference on Low-Volume Roads, Minneapolis, Minnesota, June 25-29, Conference Proceedings*. Transportation Research Board: Washington, DC, 2(6): 252–260.

Senthilselvan, A.; Zhang, Y.; Dosman, J. A.; Barber, E. M. 1997. Positive Human Health Effects of Dust Suppressants with Canola Oil in Swine Barns. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*. Vol. 156: 410–417.

Shepard, J. M.; Pickett, J.; Kienzle, M. 1991. Full-Depth Reclamation with Calcium Chloride. Transportation Research Record 1295. *National Academy of Sciences – National Research Council Washington D.C.* 87–94.

Skorseth, K.; Selim, A. A. 2000. Gravel Road Maintenance and Design Manual. South Dakota Local Transportation Assistance Program. *U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration*. 84 p.

Statybos rekomendacijos R 35-01. 2001. Automobilių kelių asfaltbetonio ir žvyro dangos. Vilnius. 119 p.

Stevenson T. [interaktyvus]. 2004. Dust Suppression on Wyoming's Coal Mine Haul Roads. Literature Review. Recommended Practices and Best Available Control Measures – BACM. Dust Suppressant Selection Guides. *A Manual*, 100 p. Žiūrėta 2006 m. liepos 12 d. Prieiga per internetą: <<http://www.oznet.ksu.edu/Stevenson/Dust%20Manual%20%20102704.pdf>>.

Street maintenance [interaktyvus]. 2006. Žiūrėta 2006 m. spalio 19 d. Prieiga per internetą: <<http://www.halifax.ca/Works/Streets/streetroad/streetmain.html>>.

Sturite, I.; Henriksen, T. M.; Breland, T. A. 2010. Lifespan of white clover (*Trifolium repens* L.) plant organs under northern temperate climatic conditions, *Grassland in a changing world. Proceedings of the 23rd General Meeting of the European Grassland Federation, Kiel, Germany, 29th August–2nd September 2010*. 365–367.

Swedish National Road and Traffic Research Institute [interaktyvus]. 2004. Road salt and nature. Žiūrėta 2007 sausio 12 d. Prieiga per internetą: <<http://www.vti.se/info/foresurs/edetalj.asp?RecID=961>>.

Šaulys, V.; Bastienė, N. 2005. Pagrindinių anijonų koncentracijų kaita drėnažo nuotėkyje, *Vandens ūkio inžinerija: mokslo darbai, LŽŪU, LVŪI*, 28(48): 22–28.

Štreimikienė D.; Čiegis R. 2001. Ekonominės žalos vertinimas stacionariems atmosferos taršos šaltiniams Lietuvoje. *Environmental Research, Engineering and Management*, 1(15): 12–22.

Talamoni, J. R. 2010 02 09. *Dust suppressant composition*. Jungtinių Valstijų patentas US 7,658,862 B2. 5 p.

Tyla, A. 1995. Cheminių medžiagų migracija įvairiuose Lietuvos dirvožemiuose, *Žemdirbystė: LŽI mokslo darbai*, 50: 65–75.

Tyla, A.; Rimšelis, J.; Šleinyš, R. 1997. Augalų maisto medžiagų išplovimas iš įvairių dirvožemių, *Vilnius*, 25 p.

Thenoux, G.; Vera, S. 2003. Evaluation of hexahydrated magnesium chloride performance as chemical stabilizer of granular road surfaces, *Transportation Research Record* 2(1819): 44–51.

Thompson R. J.; Visser, A. T. 2002. Benchmarking Management of Fugitive Dust Emissions from Surface-Mine Haul Roads. *Transaction of the Institute of Mining and Metallurgy*. 28–35.

Thompson, G. L. 1990. Dust Suppression Systems for Controlling Dust from Coal Handling Systems in Power Plants. *Fuel Strategies Coal Supply, Dust Control, and Byproducts Utilization, The 1990 International Joint Power Generation Conference Boston, Massachusetts, The American Society of Mechanical Engineers*, 8: 48–57.

Tran, Bo L.; Bkhattachar'ja, S. 2010 01 27. *Средство для борьбы с пылью и борьбы с замерзанием*. Rusijos patentas RU 2 380 390 C2. 12 p.

Travnik, W. A. 1991. State of Art Dust Suppressants/Soil Stabilizers. In: *Proceedings of the 42nd Annual Road Builders' Clinic, March 5-7, Coeur D'Alene, Idaho*. 39–61.

Trifolium incarnatum [žiūrėta 2010 m. kovo 23 d.]. Prieiga per internetą: <<http://www.pfaf.org/database/plants.php?Trifolium+incarnatum>>.

Tripolskaja, L. 2005. Organinės trąšos ir jų poveikis aplinkai: monografija, *Akademija, Kėdainių r.*, 205 p.

Trouchet, M.; Kerr, G. 2010 03 11. *Method and composition for dust suppression*. Tarpautinis patentas WO 2010/025518 A1. 24 p.

Usher, J. 2007 09 21. *Dust suppressant*. Australijos patentas AU 2007216923 A1. 15 p.

Unifikuoti nuotekų ir paviršinių vandenų kokybės tyrimų metodai, 1994; Lietuvos standartas LST EN 1744-1, 2003 2 leidimas, 224 p.

Vainalavičiūtė, R.; Kazlauskienė, A.; Baltrėnas, P.; Jankaitė, A. 2009. Investigation of particulate matter and chloride concentrations in the environment of gravelled roads. *Geologija* 1(65): 1–11.

Vaitiekūnas, P.; Banaitytė R. 2007. Modeling of motor transport exhaust pollutant dispersion. *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*. 15(1): 39–46.

Valenta, R.; Vrtala, S.; Ebner, C.; Kraft, D.; Scheiner, O. 1992. Diagnosis of Grass Pollen Allergy with Recombinant Timothy Grass (*Phleum pratense*) Pollen Allergens. *International Archives of Allergy and Applied Immunology*, 97(4): 287–294.

Vilčinskas, E.; Dabkevičienė, G. 2009. Pirmųjų auginimo metų dobilų (*Trifolium* spp.) rūšių kiekybiniai ir kokybiniai požymiai. *Žemdirbystė-Agriculture*. 96(4):170–180.

Viskari E.-L.; Karenlampi L. 2000. Roadside Scots pine as an indicator of deicing salt use – a comparative study from two consecutive winters. *Water, Air, and Soil Pollution* 122: 405–419.

Žilionienė, D.; Čygas, D.; Dundulis, K. 2003. Solutions of gravel road renovation based on certain local conditions in Lithuania. *Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board*, 1819(2): 267–274.

Žilionienė, D.; Čygas, D.; Juzėnas, A. A.; Jurgaitis, A. 2007. Improvement of functional designation of low-volume roads by dust abatement in Lithuania. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* 1989(1): 293–298.

Žilionienė, D.; Juzėnas, A. A.; Jankauskas, J. 2005. Peculiarities of gravel pavement depreciation and improvement of functioning by reducing dustiness. *The 6th International Conference “Environmental Engineering”: Selected Papers: May 26–27, 2005*. Vilnius, Lithuania. Vol. 2. Vilnius: Technika. 796–800.

Žvyrkelių dulkelimo mažinimo metodų tyrimai ir analizė. 2007. Mokslo darbo ataskaita. VGTU Kelių katedra, 98 p.

Watson, J. G.; Chow, J. C. 2000. Reconciling Urban Fugitive Dust Emissions Inventory and Ambient Source Contribution Estimates: Summary of Current Knowledge and Needed Research. *Desert Research Institute, Energy and Environmental Engineering Center*. 12 p.

Weiterová, I. 2008. Seasonal and spatial variance of seed bank species composition in an oligotrophic wet meadow. *Flora – Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants*. 203(3): 204–214.

When the Dust Settles... [interaktyvus]. 2004. Žiūrėta 2006 m. spalio 15d. Prieiga per internetą: <http://www.forestnet.com/timberwest/archives/July_Aug_04/when_the_dust.htm>.

Williams, R. D.; Bartholomew, P. W. 2009. Effects of accelerated aging and *p*-coumaric acid on crimson clover (*Trifolium incarnatum* L.) seed germination. *Allelopathy Journal*. 23(2): 269–276.

Wilson, M. G. 1994 12 21. *Dust suppressant composition*. Jungtinės karalystės patentas GB 2 279 079 A. 8 p.

Wolf, A. R.; Pircon, J. P.; Freetly, M. E. 2004 04 08. *Control of dust*. Jungtinių Valstijų patentas US 2004/0065198 A1. 6 p.

Autoriaus publikacijos disertacijos tema

Straipsniai mokslo žurnaluose

Bradulienė, J.; Vasarevičius, S. 2011. The impact on grass vegetation of materials reducing gravel road dustiness, *The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering*. ISSN 1822-427X print, ISSN 1822-4288 online. IF=2,056. (Thomson ISI Web of Science). (priimta spaudai).

Bradulienė, J.; Vasarevičius, S. 2010a. Žvyrkelių dulkėtumo mažinimo tirpalu „Safecote“ ir jo mišiniu su CaCl_2 eksperimentiniai tyrimai, *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*. 18(2): 145–153. ISSN 1648-6897 print, ISSN 1822-4199 online. IF=1,508. (ISI Web of Science).

Straipsniai kituose leidiniuose

Bradulienė, J.; Vasarevičius, S. 2010b. Chloridų koncentracijos žvyrkelio aplinkos dirvožemyje tyrimai, *Aplinkos apsaugos inžinerija, 13-osios Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencijos „Mokslas – Lietuvos ateitis“ straipsnių rinkinys (2010 m. kovo 25 d.)*. Vilnius: Technika: 43–48. ISSN 2029-5456. (Index Copernicus).

Zaveckytė (Bradulienė), J.; Vasarevičius, S. 2008. Experimental investigation of solution „Safecote“ usage to reduce road dustiness, *The 7th International conference „Environmental engineering“: selected papers, May 22–23, 2008, Vilnius, Lithuania*. Vol. 1. Vilnius: Technika: 460–465. ISBN 978-9955-28-263-1. (Thomson ISI Proceedings).

Bradulienė, J.; Vasarevičius, S. 2009. Tirpalo „Safecote“ ir CaCl_2 mišinio efektyvumas mažinant žvyrkelių dulkėtumą, *12-osios Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencijos „Mokslas – Lietuvos ateitis“, įvykusios Vilniuje 2009 m. balandžio 2 d., pranešimų medžiaga*. [elektroninis išteklis]. Aplinkos apsaugos inžinerija. Vilnius: Technika: 1–4.

Balionis, P.; Zaveckytė (Bradulienė), J.; Vasarevičius, S. 2008. Laboratory testing of road dust suppressants, *11-osios Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencijos „Mokslas – Lietuvos ateitis“, įvykusios Vilniuje 2008 m. balandžio 3 d., straipsnių rinkinys* [elektroninis išteklis]. Aplinkos apsaugos inžinerija. Vilnius: Technika: 533–541. ISBN 978-9955-28-385-0.

Zaveckytė (Bradulienė), J.; Vasarevičius, S. 2007. Cheminių junginių naudojimas žvyrkelių dulkėtumui mažinti, *10-osios Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencijos „Mokslas – Lietuvos ateitis“, įvykusios Vilniuje 2007 m. kovo 29 d., pranešimų medžiaga*. Aplinkos apsaugos inžinerija. Vilnius: Technika: 110–120. ISBN 978-9955-28-162-7.

Priedas. KD emisijų kelio aplinkoje tyrimų rezultatai ir koreliacijos koeficientai

Automobilio greitis 30 km/h

matavimas	KD koncentracija				KD koncentracija		
	0 m	1 m	2 m	3 m	0 m	1 m	2 m
	Kontrolė (2007 m.)				10 % MMP		
1	2,27	0,77	0,20	0,10	1,85	1	0,16
2	1,81	0,57	0,65	0,27	3,36	1,98	0,88
3	2,14	1,87	0,99	0,15	2,87	1,04	0,7
4	3,47	1,08	0,94	0,31	2,25	2,11	1,7
5	3,15	1,22	0,34	0,09	2,01	1,32	0,11
6	5,34	4,15	1,01	0,17	5,03	0,98	0,27
Kor.su temp.	0,42	0,34	0,68	0,47	0,16	0,12	0,62
Kor.su drėg.	0,33	0,22	-0,66	-0,76	-0,02	-0,60	-0,85
Kor.su vėjo	-0,23	-0,48	-0,64	-0,26	-0,73	-0,09	-0,06
Kor.su slėg.	0,29	0,18	-0,34	-0,06	0,44	0,00	-0,44
	20 % MMP				30 % MMP		
1	3,67	2,12	0,19	0,28	0,125	1,064	0,836
2	1,84	0,66	0,27	0,31	0,36	0,27	0,1
3	1,93	1,04	0,7	0,14	1,28	0,87	0,21
4	2,15	1,73	0,14	0,15	1,77	1,22	0,32
5	0,73	0,85	0,31	0,19	0,34	0,37	0,15
6	6,5	3,97	1,17	0,11	3,72	1,89	0,37
Kor.su temp.	0,39	0,48	0,20	-0,62	0,62	0,74	0,23
Kor.su drėg.	0,35	0,40	0,14	0,12	-0,05	0,15	0,49
Kor.su vėjo	-0,06	0,01	-0,61	0,33	-0,45	0,05	0,82

Priedo tēsinys

matavimas	KD koncentracija				KD koncentracija		
	0 m	1 m	2 m	3 m	0 m	1 m	2 m
Kor.su slēg.	0,41	0,34	0,15	0,42	0,08	0,01	0,06

Automobilio greitis 40 km/h

matavimas	KD koncentracija				KD koncentracija		
	0 m	1 m	2 m	3 m	0 m	1 m	2 m
	Kontrolē (2007 m.)				10 % MMP		
1	2,34	2,03	0,22	0,34	2,73	0,77	1,85
2	2,14	1,73	0,92	0,93	4,22	2,37	0,11
3	4,18	3,76	1,09	0,67	2,93	2,15	1
4	5,02	4,47	1,42	0,34	3,46	2,34	2,09
5	3,64	1,73	0,43	0,11	2,64	1,4	0,14
6	6,85	4,37	1,84	0,28	6,72	1,17	0,91
Kor.su temp.	0,64	0,92	0,66	-0,14	0,25	0,21	0,79
Kor.su drēg.	-0,01	-0,41	-0,42	-0,67	0,09	-0,94	-0,13
Kor.su vējo	-0,38	-0,22	-0,60	-0,42	-0,56	-0,48	0,69
Kor.su slēg.	-0,07	-0,43	-0,03	-0,04	0,55	-0,41	-0,45
	20 % MMP				30 % MMP		
1	0,06	0,43	0,21	0,14	2,66	0,874	1,381
2	2,01	1,48	0,39	0,4	1,45	1,03	0,97
3	2,12	1,63	1,17	0,85	1,78	1,17	1,05
4	2,39	2,2	1,77	1,64	2,49	1,73	1,14
5	0,82	0,95	0,43	0,23	0,53	0,68	0,31
6	6,95	4,73	1,87	0,07	3,94	3,66	0,75
Kor.su temp.	0,42	0,49	0,84	0,69	0,66	0,53	0,48
Kor.su drēg.	-0,03	-0,04	-0,36	-0,79	0,11	0,08	-0,34
Kor.su vējo	-0,62	-0,57	-0,35	0,07	0,06	-0,40	0,51
Kor.su slēg.	0,29	0,25	-0,27	-0,72	0,18	0,29	-0,29

Automobilio greitis 50 km/h

matavimas	KD koncentracija				KD koncentracija		
	0 m	1 m	2 m	3 m	0 m	1 m	2 m
	Kontrolē (2007 m.)				10 % MMP		
1	6,84	2,27	0,41	1,81	3,12	2,08	3,45
2	2,73	1,46	0,11	1,17	3,38	2,17	0,23
3	4,93	4,7	1,9	1,86	3,64	2,95	1,32
4	5,09	4,38	2,17	1,11	3,78	3,02	1,57
5	4,47	2,15	1,06	0,87	2,85	1,4	0,51
6	7,37	5,15	2,18	0,29	6,28	4,53	1,14
Kor.su temp.	0,46	0,82	0,78	-0,02	0,47	0,69	0,33
Kor.su drēg.	0,54	-0,28	-0,27	-0,29	0,08	-0,16	0,31
Kor.su vējo	0,37	-0,27	-0,26	0,48	-0,46	-0,40	0,86
Kor.su slēg.	0,05	-0,45	-0,48	-0,60	0,30	0,03	-0,20
	20 % MMP				30 % MMP		
1	4,98	1,32	3,75	1,64	5,93	1,49	2,84
2	4,73	2,41	3,31	2,72	1,74	0,99	1,04
3	3,17	2,78	2,59	1,9	2,53	2,41	1,1
4	2,47	2,18	1,39	1,22	4,88	3,64	2,29
5	1,17	0,22	0,65	0,58	0,74	0,63	0,38
6	6,94	5,77	1,93	0,19	3,97	2,17	0,29
Kor.su temp.	0,15	0,47	-0,12	-0,23	0,66	0,98	0,37
Kor.su drēg.	0,21	-0,12	-0,07	-0,56	0,09	-0,58	-0,12
Kor.su vējo	-0,16	-0,54	0,23	-0,01	0,66	0,08	0,85
Kor.su slēg.	0,55	0,22	0,15	-0,14	-0,10	-0,59	-0,31

Priedo tęsinys

Automobilio greitis 30 km/h

matavimas	KD koncentracija				KD koncentracija			
	0 m	1 m	2 m	3 m	0 m	1 m	2 m	3 m
	Kontrolė (2008 m.)				10 % MMP + 35,6 % CaCl ₂			
1	3,22	2,75	2,01	1,67	0	0	0	0
2	3,17	2,59	1,96	0,98	0	0	0	0
3	2,94	2,12	1,34	0,67	0	0	0	0
4	3,74	3,11	2,65	1,46	0	0	0	0
5	3,54	2,73	1,38	0,45	0,1	0	0	0
6	3,37	2,98	1,45	1,26	0,27	0	0	0
7	3,82	3,11	2,54	1,47	0,73	0,22	0,11	0
8	3,04	2,72	7,93	0,93	1,72	1,1	0,63	0,13
9	3,98	3,33	2,75	1,93	1,82	1,1	0,74	0,2
10	3,85	3,1	2,65	1,98	2,14	1,82	1,43	0,96
Kor.su temp.	0,12	0,19	-0,19	0,35	0,25	0,34	0,41	0,54
Kor.su drėg.	0,36	0,39	0,04	0,14	0,39	0,30	0,30	0,25
Kor.su vėjo	0,63	0,47	-0,38	0,22	0,15	0,21	0,27	0,34
Kor.su slėg.	-0,68	-0,72	-0,33	-0,75	-0,92	-0,89	-0,88	-0,74
	20 % MMP + 35,6 % CaCl ₂				30 % MMP + 35,6 % CaCl ₂			
1	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0,12	0	0	0	0	0	0	0
7	0,53	0,16	0	0	0,14	0	0	0
8	0,72	0,56	0,23	0,1	0,54	0,11	0	0
9	1,14	0,72	0,61	0,33	0,78	0,52	0,12	0
10	1,52	1,08	0,77	0,52	0,84	0,62	0,43	0,11
Kor.su temp.	0,33	0,35	0,39	0,44	0,27	0,39	0,55	0,57
Kor.su drėg.	0,39	0,32	0,29	0,29	0,31	0,29	0,26	0,21
Kor.su vėjo	0,24	0,25	0,41	0,43	0,25	0,46	0,42	0,32
Kor.su slėg.	-0,95	-0,91	-0,91	-0,89	-0,93	-0,90	-0,75	-0,60

Automobilio greitis 40 km/h

matavimas	KD koncentracija				KD koncentracija			
	0 m	1 m	2 m	3 m	0 m	1 m	2 m	3 m
	Kontrolė (2008 m.)				10 % MMP + 35,6 % CaCl ₂			
1	3,45	2,94	2,34	1,85	0	0	0	0
2	3,84	3,23	2,76	1,56	0	0	0	0
3	3,14	2,64	1,67	1	0	0	0	0
4	4,78	3,67	3,11	2,53	0	0	0	0
5	3,89	3,04	2,4	1,12	0,27	0	0	0
6	4,00	3,14	2,37	1,46	0,52	0,14	0	0
7	4,14	3,53	2,94	1,68	1,17	0,65	0,32	0,1
8	3,10	2,73	1,98	1,34	1,82	1,23	0,72	0,24
9	3,99	3,14	2,82	2,1	2,03	1,35	0,82	0,29
10	3,90	3,35	2,96	2,11	2,37	1,99	1,57	0,97
Kor.su temp.	-0,14	-0,03	0,14	0,04	0,27	0,31	0,38	0,49
Kor.su drėg.	0,23	0,15	0,04	-0,01	0,46	0,38	0,32	0,29
Kor.su vėjo	0,55	0,33	0,39	0,38	0,16	0,16	0,22	0,29
Kor.su slėg.	-0,20	-0,29	-0,45	-0,55	-0,92	-0,93	-0,90	-0,81
	20 % MMP + 35,6 % CaCl ₂				30 % MMP + 35,6 % CaCl ₂			
1	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0

Priedo pabaiga

matavimas	KD koncentracija				KD koncentracija			
	0 m	1 m	2 m	3 m	0 m	1 m	2 m	3 m
6	0,17	0	0	0	0	0	0	0
7	0,84	0,4	0,23	0	0,26	0	0	0
8	1,16	0,87	0,32	0,21	0,75	0,52	0,14	0
9	1,53	0,84	0,52	0,42	0,98	0,67	0,4	0,13
10	1,72	1,23	0,82	0,61	0,97	0,75	0,52	0,19
Kor.su temp.	0,24	0,27	0,36	0,40	0,22	0,28	0,40	0,46
Kor.su drėg.	0,40	0,33	0,34	0,29	0,32	0,29	0,29	0,28
Kor.su vėjo	0,15	0,12	0,26	0,38	0,19	0,27	0,42	0,51
Kor.su slėg.	-0,94	-0,90	-0,93	-0,90	-0,92	-0,89	-0,91	-0,86

Automobilio greitis 50 km/h

matavimas	KD koncentracija				KD koncentracija			
	0 m	1 m	2 m	3 m	0 m	1 m	2 m	3 m
	Kontrolė (2008 m.)				10 % MMP + 35,6 % CaCl ₂			
1	4,14	3,92	2,83	1,64	0	0	0	0
2	4,87	3,64	1,99	1,85	0,12	0	0	0
3	4,67	3,79	2,76	1,56	0	0	0	0
4	5,34	4,56	3,75	2,96	0	0	0	0
5	5,17	4,53	3,47	2,21	0,3	0,1	0	0
6	4,97	3,84	2,17	1,99	0,67	0,22	0	0
7	5,52	4,89	3,53	2,06	2,14	1,73	0,95	0,43
8	4,14	3,85	2,94	2,2	2,00	1,73	0,98	0,36
9	4,62	3,97	2,85	2,22	2,10	1,48	0,85	0,32
10	4,87	3,94	3,17	2,23	2,58	2,1	1,82	1,14
Kor.su temp	-0,25	-0,30	-0,29	-0,32	0,22	0,18	0,31	0,42
Kor.su drėg.	0,34	0,15	0,07	0,28	0,48	0,41	0,35	0,32
Kor.su vėjo	0,34	0,21	0,33	0,54	0,03	-0,04	0,06	0,14
Kor.su slėg.	0,03	0,00	-0,19	-0,37	-0,88	-0,85	-0,86	-0,81
	20 % MMP + 35,6 % CaCl ₂				30 % MMP + 35,6 % CaCl ₂			
1	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0,18	0	0	0	0	0	0	0
7	1,11	0,67	0,27	0,1	0,32	0,11	0	0
8	1,53	0,94	0,62	0,22	0,97	0,63	0,37	0,15
9	1,97	1,1	0,73	0,55	1,24	0,92	0,53	0,24
10	1,98	1,37	0,88	0,65	1,34	0,81	0,66	0,31
Kor.su temp.	0,20	0,23	0,25	0,35	0,24	0,21	0,33	0,35
Kor.su drėg.	0,39	0,35	0,33	0,32	0,32	0,30	0,29	0,29
Kor.su vėjo	0,11	0,11	0,16	0,36	0,20	0,24	0,30	0,33
Kor.su slėg.	-0,93	-0,92	-0,92	-0,94	-0,92	-0,91	-0,90	-0,90

Jolita BRADULIENĖ

ŽVYRKELIŲ DULKĖTUMĄ MAŽINANČIŲ MEDŽIAGŲ EFEKTYVUMO TYRIMAI
IR VERTINIMAS KELIO APLINKOJE

Daktaro disertacija

Technologijos mokslai,
aplinkos inžinerija ir kraštovarkla (04T)

INVESTIGATION OF EFFICIENCY OF GRAVEL ROADS DUST SUPPRESSANTS
AND EVALUATION IN THE ROAD ENVIRONMENT

Doctoral Dissertation

Technological Sciences,
Environmental Engineering (04T)

2011 04 22. 13,25 sp. I. Tiražas 20 egz.
Vilniaus Gedimino technikos universiteto
leidykla „Technika“,
Saulėtekio al. 11, 10223 Vilnius,
<http://leidykla.vgtu.lt>
Spausdino UAB „Ciklonas“
J. Jasinskio g. 15, 01111 Vilnius