



VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS
APLINKOS INŽINERIJOS FAKULTETAS
KELIŲ KATEDRA

Jolita Pavilionytė

**KELIŲ SU ŽVYRO DANGA DULKĖJIMO MAŽINIMO
REGLAMENTAVIMAS**

**THE REGULATION OF DUSTINESS REDUCTION FOR GRAVEL
ROADS**

Baigiamasis magistro darbas

Civilinės inžinerijos studijų programa

Kelių specializacija

Statybos inžinerijos mokslo kryptis

Vadovas doc.dr. A. A. Juzėnas

Vilnius, 2005

ANOTACIJA

Vilniaus Gedimino technikos universitetas
Aplinkos inžinerijos fakultetas
Kelių katedra

ISBN ISSN
Egz. sk. 2
Data: 2005.06.01

Magistrantūros baigiamasis darbas

Kelių su žvyro danga dulkėjimo mažinimo reglamentavimas

Jolita Pavilionytė

Kalba

☒ Lietuvių

☐ Anglų

Šiame darbe išnagrinėta transporto ir klimato veiksnių įtaka dulkių susidarymui ir sukėlimui žvyrkeliuose. Nustatyta žvyro dangų būseną, esant kuriai jos mažiausiai dulka ir vertintas žvyras, naudojamas dangoms įrengti. Pasiūlyta reglamentuoti žvyro dangų dulkėjimo mažinimą, pradedant žvyrkelių ruožų bei priemonių dulkėjimui mažinti parinkimu, jų naudojimo tvarka ir baigiant technologinio proceso atlikimo, kokybės kontrolės reglamentavimu.

Reikšminiai žodžiai: žvyrkelis, reglamentavimas, apdorojimas, kontrolė

ANNOTATION

Vilnius Gediminas Technical University
Environmental Engineering Faculty
Road Department

ISBN ISSN
No. of exams: sk. 2
Date: 2005.06.01

Master final work

The regulation of dustiness reduction for gravel roads

Jolita Pavilionytė

Kalba
☐ Lithuanian
☒ English

The impact of transport and climate factors on dust formation and causation on gravel roads was analyzed in this work. The condition of cover of gravel roads, when the dust spreading is minimized, was estimated. As well, the quality of gravel, used to upbuild the road cover, was assessed. It was suggested to regulate the reduction of dust on gravel covers by selecting certain sectors of gravel roads, choosing means to decrease the dustiness and determining the order of their usage, as well, as regulating the performance of technological process and control of the quality.

Key words: gravel road, regulation, processing, control

TURINYS

PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS.....	8
LENTELIŲ SĄRAŠAS.....	9
IVADAS.....	11
1. ŽVYRKELIŲ IRIMO IR DULKĖJIMO PROCESAS.....	13
1.1. Dulkių žvyrkeliuose susidarymo priežastys.....	13
1.2. Kelio ir aplinkos tarpusavio ryšys. Kelių su žvyro danga įtaka aplinkai. Įtakos aplinkai dydis nuo kelio naudojimo intensyvumo.....	16
1.3. Žvyro dangos medžiagos įtaka dulkių susidarymui.....	22
1.4. Kelių būklės įtaka dulkėtumui.....	27
1.5. Darbo tikslas ir uždaviniai.....	28
2. KELIŲ RUOŽŲ SU ŽVYRO DANGA DULKĖJIMUI MAŽINTI PARINKIMAS, ŽVYRKELIŲ DULKĖJIMO VERTINIMAS. DULKĖTUMĄ MAŽINANČIOS PRIEMONĖS.....	30
2.1. Bendrieji dulkėjimui mažinti skirtų ruožų parinkimo principai.....	30
2.1.1. Transporto eismas žvyrkeliuose ir jų atitikimas eismui.....	32
2.1.2. Žvyrkelių dulkėjimas ir dulkėjimo vertinimas.....	34
2.2. Žvyro dangos medžiaga ir reikalavimai jos sudėčiai.....	38
2.3. Dulkėjimą mažinančių priemonių parinkimo pagrindai ir jų poreikis.....	42
2.3.1. Higroskopiškosios druskos ir jų savybės.....	46
2.3.2. Bituminės emulsijos ir jų naudojimo ypatumai žvyrkelių dulkėjimui mažinti..	49
2.3.3. Kalcio lignosulfonato naudojimo ypatumai žvyrkelių dulkėjimui mažinti.....	50
3. ŽVYRO DANGŲ DULKĖJIMO MAŽINIMO PRIEMONIŲ ĮGYVENDINIMO REGLAMENTAVIMAS.....	52

3.1. Kelio ruožų su žvyro danga paruošimas dulketumui mažinti.....	52
3.2. Darbų dulketumui mažinti atlikimas naudojant įvairias technologijas.....	57
3.2.1. Darbų dulketumui mažinti atlikimas naudojant higroskopiškąsias druskas....	58
3.2.2 Darbų dulketumui mažinti atlikimas naudojant kalcio lignosulfonata.....	60
3.2.3. Darbų dulketumui mažinti atlikimas naudojant bitumines emulsijas.....	65
3.3. Atliktų darbų dulketumui mažinti kokybės kontrolė.....	71
3.4. Dulketumui mažinti naudotų priemonių efektyvumo kriterijai ir vertinimas.....	77
4. ŽVYRO DANGŲ DULKĖJIMO MAŽINIMO EKONOMINIAI NORMATYVAI..	79
BENDROSIOS IŠVADOS	82
ŽODYNAS.....	84
LITERATŪRA.....	85

PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS

	<i>psl.</i>
1.1 pav. Žvyrkelių dangos dėvėjimosi proceso schema	14
1.2 pav. Žvyrkelių dangos įrengimo ir dėvėjimosi proceso schema	16
1.3 pav. Automobilių kelio (V sistemos) su išorine aplinka tarpusavio ryšio schema	17
1.4 pav. Žvyrkelių gerinimo būdai	19
1.5 pav. Lietuvos žvyrkelių tinklo žvyrkelių dangos žvyro skeletingumo (%) histograma	22
1.6 pav. Lietuvos žvyrkelių tinklo žvyrkelių dangos žvyro skeletingumo (%) skirsnio funkcija	23
1.7 pav. Lietuvos žvyrkelių tinklo žvyro dangoje smulkmės kiekio (%) histograma	25
1.8 pav. Lietuvos žvyrkelių tinklo žvyrkelių dangoje smulkmės kiekio (%) skirsnio funkcija	26
2.1 pav. Rekomenduojamos kelių dangos atsižvelgiant į eismą	31
2.2 pav. Reikalavimai biriajam mišiniui 0/16 žvyro dangos sluoksniams be rišiklių	41
2.3 pav. Reikalavimai biriajam mišiniui 0/22 žvyro dangos sluoksniams be rišiklių	41
2.4 pav. Reikalavimai biriajam mišiniui 0/32 žvyro dangos sluoksniams be rišiklių	41
2.5 pav. Žemiausios temperatūros ir didžiausio oro santykinis drėgnis, prie kurių kalcio chloridas absorbuoja ore esančius garus ir ištirpsta	47
2.6 pav. Higroskopiškų druskų tirpalo užšalimo temperatūros priklausomybė nuo koncentracijos	48
3.1 pav. Technologinio proceso, skirto dulkejimo mažinimo darbams, vykdymo sąlygos ir etapai	67
3.2 pav. Kelių su žvyro danga dulkejimo mažinimo reglamentavimo modelis	76

LENTELIŲ SĄRAŠAS

	<i>psl.</i>
1.1 lentelė Efektyviausių dulkėjimo mažinimo medžiagų parinkimas pagal kriterijus	21
1.2 lentelė Statistinės žvyro dangos skeletingumo charakteristikos regionuose	23
1.3 lentelė Statistinės smulkmės kiekio žvyro dangoje charakteristikos regionų žvyrkeliuose	26
2.1 lentelė Kelių priežiūros organizacijų funkcijos, parenkant dulkėjimo mažinimo priemonių naudojimui skirtus objektus	30
2.2 lentelė Minimalios žvyro dangos konstrukcijos deformacijos modulio reikšmės pagal transporto eismą	33
2.3 lentelė Žvyrkelių klasės pagal dangos paviršiaus būklę Švedijoje	36
2.4 lentelė Žvyrkelių klasifikacija pagal būklę Suomijoje	37
2.5 lentelė Žvyrkelių būklei vertinti skalė	37
2.6 lentelė Žvyro granuliometrinės sudėties kitėjimas telkiniuose	39
3.1 lentelė Žvyrkelių ruožų, skirtų dulkėjimo mažinimo darbams vykdyti, parinkimo proceso tvarka	54
3.2 lentelė Medžiagų, naudojamų dulkėjimo mažinimo darbams, parinkimo proceso tvarka	55
3.3 lentelė Medžiagų, naudojamų dulkėjimo mažinimo darbams, atitikimas reikalavimams	56
3.4 lentelė Įvairaus tankio ir koncentracijos CaCl_2 tirpalas	59
3.5 lentelė Rekomenduojamos kalcio chlorido orientacinės išbėrimo normos ir jo efektyvus veikimo trukmė	60
3.6 lentelė Rekomenduojamos kalcio lignosulfonato orientacinės sunaudojimo normos ir jo efektyvus veikimo trukmė	63
3.7 lentelė Kalcio lignosulfonatas tiekiamas kaip skystis	64

3.8 lentelė	Kalcio lignosulfonatas tiekiamas kaip milteliai	64
3.9 lentelė	Technologinių procesų etapų, skirtų dulkėjimo mažinimo darbams vykdyti kalcio chlorido druskomis, vertinimo rezultatai	68
3.10 lentelė	Technologinių procesų etapų, skirtų dulkėjimo mažinimo darbams vykdyti kalcio lignosulfonatu, vertinimo rezultatai	69
3.11 lentelė	Technologinių procesų etapų, skirtų dulkėjimo mažinimo darbams vykdyti bituminėmis emulsijomis, vertinimo rezultatai	70
3.12 lentelė	Atliktų darbų dulkėtumui mažinti savikontrolės atlikimo tvarka	75
4.1 lentelė	Žvyrkelių dulkėtumo mažinimo darbų išlaidos	80
4.2 lentelė	Rekomenduojami kainos indeksai	80

IVADAS

Tobulinant Lietuvos valstybinių kelių priežiūrą vis aktualesnis tampa žvyrkelių dulkėjimo mažinimas. Šiuo metu Lietuva neturi tiek finansinių ir techninių galimybių, kad artimiausiu metu išasfaltuotų žvyrkelius. Be to, dėl mažo eismo intensyvumo, kai kuriuose žvyrkeliuose brangios investicijos ne visuomet atsiperka. Dulkėjimo problema sprendžiama naudojant palyginti pigius dulkes surišančius higroskopinius druskų tirpalus, kalcio lignosulfonata, bitumines emulsijas.

Automobilių skaičiaus augimas iškelia nemažai neatidėliotinai sprendtinų problemų, siejamų su socialinio gerbūvio, aplinkosaugos, gyvenimo ir eismo kokybės gerinimu. Ypač daug tokių problemų kelia žmonės, gyvenantys žvyrkelių, kurių rajoninės reikšmės keliuose yra daugiau kaip 60 %, kelio sanitarinės apsaugos zonose, eismo dalyviai, besinaudojantys šiais keliais. Šiuo metu eismo intensyvumas žvyrkeliuose svyruoja nuo 50 iki 250 aut./parą. Daugiau kaip 70 % žvyrkelių eismo intensyvumas neviršija 200 aut./parą [1]. Eisme vyrauja lengvasis transportas, kuris vidutiniškai sudaro 70 %. Pagal bendrą žvyrkelių ilgį, vidutinį transporto eismo intensyvumą ir sudėtį, žvyrkelių techninę ir eksploatacinę būklę apskaičiuota, kad vien darbo laiko nuostoliai dėl greičio sumažėjimo sudaro iki 13 mln. Lt per metus. Vertinant nuostolius dėl transporto priemonių dėvėjimosi, aplinkos užteršimo dulkėmis, automobilių variklių išmetamosiomis dujomis, eismo nelaimės, skaičiuojamieji nuostoliai padidėtų keletą kartų [2].

Žvyrkelių būklę galima pagerinti ne tik juos tobulinant, įrengiant tobulesnę dangą, bet ir naudojant technologijas, reikalingas žvyrkelių eksploatacinėms charakteristikoms, turinčioms įtaką eismui, gerinti. Naudojant įvairias priemones ir technologijas žvyrkelių dulkėjimui mažinti gerėja eismo sąlygos, eismo saugumas ir žmonių, gyvenančių kelio apsaugos zonoje, gyvenimo kokybė, žvyrkeliai tampa tvaresni.

Siekiant užtikrinti reikiamą dangos stiprumą ir optimalias eismo sąlygas, vidutiniškai kas 6 metai būtina atnaujinti nusidėvėjusį viršutinį profiliuojamą žvyro dangos sluoksnį, sutvarkyti vandens nuleidimą bei nuovažas. Kiekvienais metais reikėtų atnaujinti 1500 km žvyrkelių. Pastaruosius 10 metų kasmet einamuoju remontu atnaujinama tik 250 – 300 kilometrų. Tai reiškia, kad vidutinis faktinis tarpremontinis periodas žvyrkeliams yra apie 33 metus. Net ir esant mažam eismo intensyvumui žvyro danga tiek išstarnauti negali. Žvyrkeliai nusidėvi, išdulka smulkios dangos dalelės, profiliuojamas sluoksnis tampa nerišlus, greitai susibanguoja, jame atsiranda išdaužos. Iš apatinių sluoksnių į paviršių išlenda akmenys, sankasos gruntas, žvyrkeliai palaipsniui tampa gruntkeliais. Tokius žvyrkelius tenka dažnai profiliuoti, jų priežiūra brangsta, o eismo sąlygos jais blogėja.

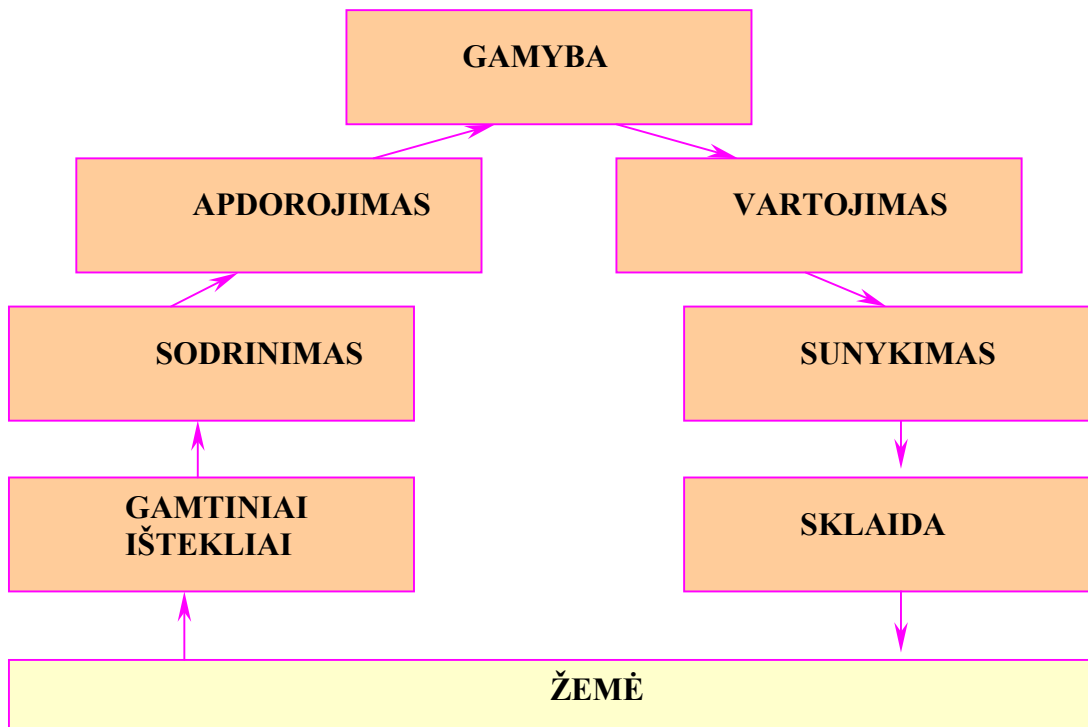
Iki šiol kelių su žvyro danga dulkėjimo mažinimo darbai, naudojant įvairias priemones, nereglamentuoti. Todėl darbo tikslas – reglamentuoti žvyrkelių dulkėjimo mažinimo, naudojant įvairius reagentus ir technologijas keliuose, darbų planavimą, atlikimą, kontrolę ir vertinimą.

1. ŽVYRKELIŲ IRIMO IR DULKĖJIMO PROCESAS

1.1. Dulkių žvyrkeliuose susidarymo priežastys

Automobilių keliai, nutiesti iš aplinkos paimtoje žemės juostoje, dirbtinai pritaikyti įvairios rūšies, masės ir gabaritų transporto, taip pat ir pėsčiųjų eismui, yra svetimkūniai ekologinėje sistemoje. Tačiau be automobilių kelių ir transporto neįmanoma jokia žmogaus ūkinė veikla. Lietuvoje, kaip ir daugelyje ekonomiškai išsivysčiusių šalių, daugiausia krovinių ir keleivių pervežama automobiliais, kurių šiuo metu šalyje yra daugiau kaip 1,38 mln. [3]. Todėl eismas keliais tampa vis intensyvesnis, kelias vis labiau daro įtaką aplinkai. Kelio poveikis aplinkai priklauso nuo kelio ir dangos konstrukcijos, dangos tipo, kelio priežiūros. Kelio, kuris naudojamas transporto eismui, neigiamas poveikis pasireiškia aplinkos tarša dangos, automobilių ratų protektoriaus ir stabdžių dėvėjimosi produktais, automobilių variklių išmetamosiomis dujomis (anglies monoksido, azoto monoksido, angliavandenilių, sieros dioksido ir kt.), triukšmo lygio padidėjimu. Sausu metų laiku aplinka yra labai teršiama dulkėmis, kurias sukelia žvyrkeliais važiuojantys automobiliai. Lietuvoje šiuo metu yra daugiau kaip 9 tūkstančiai kilometrų žvyrkelių, kuriuose eismo intensyvumas svyruoja nuo dešimčių iki kelių šimtų automobilių per parą, ir aplinkos tarša dulkėmis skaičiuojama šimtais tūkstančių tonų [3].

Pasinaudojant J. C. Van Weenen (1990) aplinkos taršos proceso pramonėje apibūdinimo schema, galima pateikti tokią žvyrkelių dulkėjimo schemą (1.1 pav.) [4].



1.1 pav. Žvyrkelių dangos dėvėjimosi proceso schema

Dulkių dalelių (jos paprastai būna nuo 1 iki 100 mikronų dydžio, o kartais ir didesnės) susidarymo priežastys būna įvairios. Kelio dulkės pakyla iš po pravažiuojančių automobilių ratų ir oro sūkurių veikiamos, sudaro debesį, kurio ilgis siekia nuo 10 iki 200 metrų, dulkių dalelės palaipsniui iškrinta. Dulkių koncentracija tokiam debesyje dažniausiai svyruoja nuo 50 iki 100 mg kubiniame metre.

Didžiausią įtaką dulkių susidarymui ir jų sukėlimui nuo žvyrkelių dangų turi transporto eismo veiksniai:

- ❖ eismo intensyvumas. Kuo jis didesnis, esant kitiems pastoviams veiksniams, tuo dažnesnis ratų sąlytis su dangos paviršiumi, tuo daugiau jis yra ardomas – daugėja dangos paviršiuje laisvų (nesurištų) mineralinės medžiagos dalelių ir dulkių, atsiranda skersinės bangos, duobės ir kitos pažeidimai;
- ❖ automobilių važiavimo greitis;

- ❖ apkrovimas į ašį.

Kelio dulkėjimui daug įtakos turi ir klimato veiksniai:

- ❖ krituliai. Lietus, o ypač liūtys, išplauna smulkias žvyro dangoje esančias mineralinės medžiagos daleles, pažeisdamos šios medžiagos struktūrą ir susilpnindamos ryšį tarp atskirų dangos dėvėjimosi sluoksnio dalelių. Priešingai, nedidelis ir nesmarkus lietus palankiai veikia žvyrkelio dangą, nes ji neišplaunama, o tik sudrėkinamas jos viršutinis sluoksnis, kuris automobilių apkrovos veikiamas, dar geriau sutankėja. Žvyrkeliui išdžiuvus (ypač po smarkaus lietaus ar liūties), jo dangos dalelių tarpusavio ryšiai susilpnėja ir kelio dulkėtumas vėl didėja. Vadinasi, kelio danga mažiausiai dulka tuomet, kai joje yra optimalus drėgmės kiekis, kai danga yra tampriai plastiška;
- ❖ oro temperatūra;
- ❖ santykinis drėgnis;
- ❖ vėjo greitis ir kryptis;
- ❖ insoliacija ir t. t.

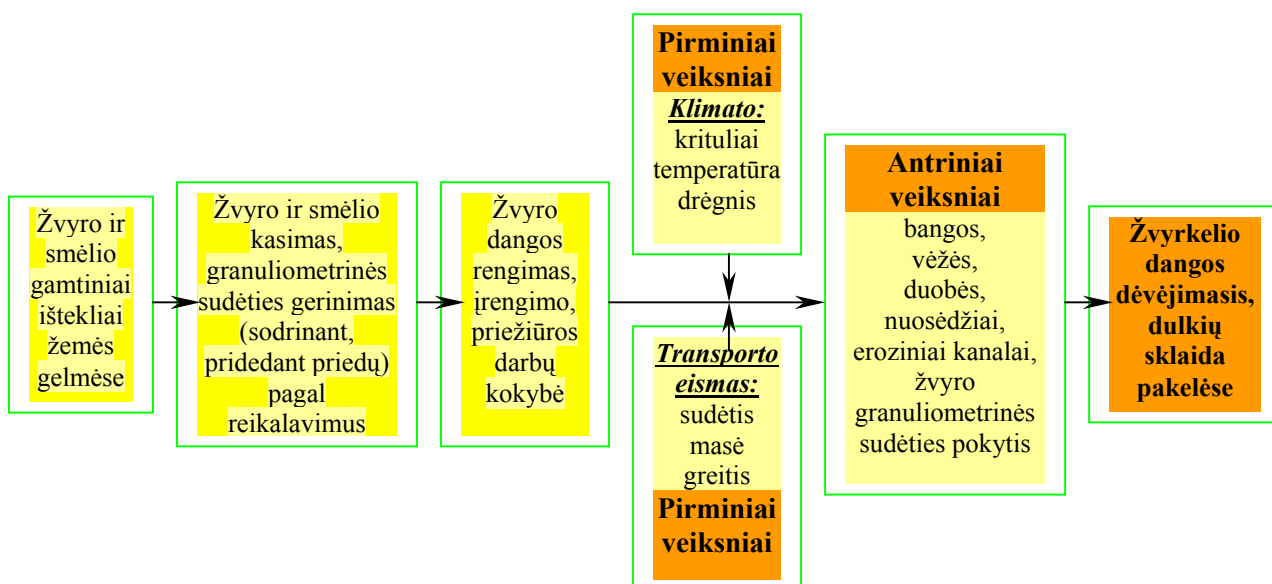
Vienas svarbiausių dulkių susidarymo keliuose veiksnių yra granulimetrinė dangos paviršiaus sluoksnio sudėtis arba dangos dėvėjimosi sluoksniui panaudotų mineralinių medžiagų kokybė. Panaudojus nekondicines, neoptimalaus mišinio medžiagas, ypač jei jose per daug stambių frakcijų ir maža smulkių, sausu vasaros periodu keliuose labai greitai atsiranda dangos banguotumas, išmušos, viršutinis jos 1 – 3 cm sluoksnis pasidaro purus. Automobilių ratų veikiami paviršiuje esantys akmenėliai ritinėjasi, glūdinasi, susidaro dulkės. Ypač tai pastebima mūsų krašto žvyrkeliuose, kur panaudotas žvyras, sudarytas iš silpnų padermių uolienų su neoptimalios sudėties granulimetriją.

Taip pat žvyrkelių dulkėtumą sąlygoja dangos įrengimo ir priežiūros darbų kokybė. Įrengtą kelio dangą, ypač profilijuojamąjį sluoksnį, sutankinti paprastai paliekama automobilių

eismui, nereguliuojant jo kelio pločio atžvilgiu bei nedrėkinant. Taip tankinant žvyro dangą, smulkios mineralinės medžiagos dalelės greičiau išspaudžiamos į paviršių ir virsta dulkėmis.

Taip pažeidžiama granuliometrinė dangos dėvėjimosi sluoksnio struktūra, greičiau deformuojasi danga. Kai tokios dangos įrengiamos ne laiku, sausu vasaros periodu, po to prižiūrimos nesisteningai, eismo ir pakelėse gyvenančių žmonių sąlygos būna itin blogos.

Kelio dulkėtumui įtakos turi ir pati vietovė, kuria jis praeina. Pavyzdžiui, miškingoje vietovėje net ir vasaros metu žvyro dangoje pasilieka daugiau drėgmės. Dėl to kelias mažiau dulka. Dulkėjimą greitinti arba stabdyti gali ir kitokios gamtinės sąlygos: vietovės gruntų savybės, gruntinio vandens lygis ir t.t.



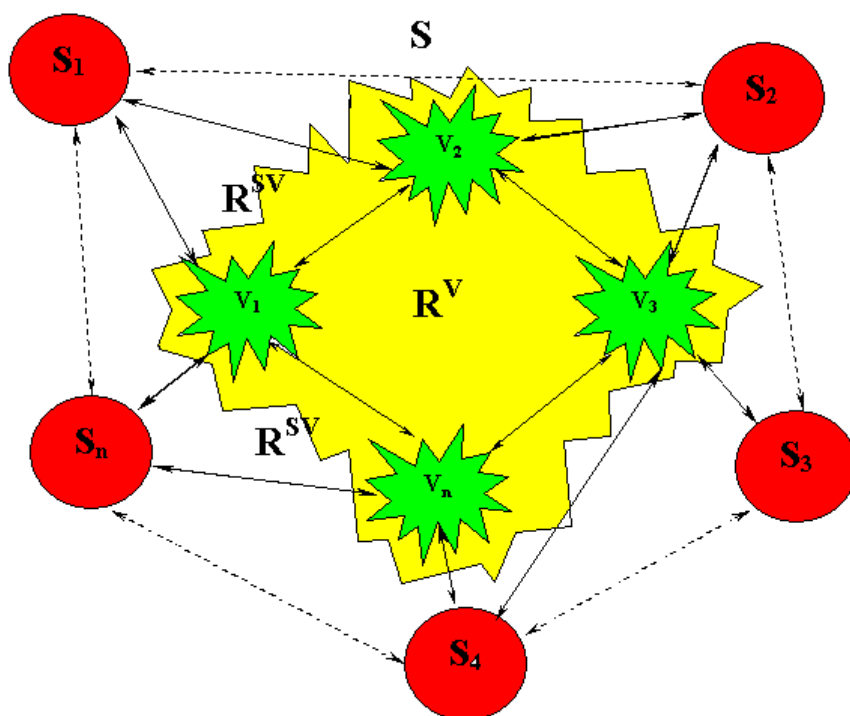
1.2 pav. Žvyrkelių dangos įrengimo ir dėvėjimosi proceso schema

1.2. Kelio ir aplinkos tarpusavio ryšys. Kelių su žvyro danga įtaka aplinkai. Įtakos aplinkai dydis nuo kelio naudojimo intensyvumo

Ekonomiškai išsivysčiusiose šalyse daugiausia krovinių ir keleivių yra pervežama automobilių transportu. Išlaigus automobilizacijos lygiui, šalyje iškyla daug problemų, susijusių

su šio proceso kenksmingu poveikiu aplinkai. Nagrinėjant automobilių transporto poveikį aplinkai, tenka analizuoti ir kelio poveikį aplinkai.

Kelio, kuriuo naudojasi transportas, poveikis aplinkai priklauso nuo to, kokia yra jo konstrukcija, kaip jis yra prižiūrimas ir eksploatuojamas. Kelio poveikį aplinkai yra labai sunku apibrėžti dėl sistemos sudėtingumo. Tokios sistemos sudėtingumą parodo 1.3 pav. pateikta automobilio kelio ir išorinės aplinkos tarpusavio ryšio schema [5].



1.3 pav. Automobilių kelio (V sistemos) su išorine aplinka tarpusavio ryšio schema

V_1, V_2, V_3, V_n – automobilių kelio sistemos elementai;

$S_1, S_2, S_3 \dots S_n$ – išorinės aplinkos objektai;

S – ryšiai tarp išorinės aplinkos objektų;

R^V – ryšiai automobilių kelio sistemos viduje;

R^{SV} – automobilių kelio sistemos elementų poveikio ryšiai su išorinės aplinkos objektais S_i ;

Kelio su išorine aplinka tarpusavio ryšio sistemą galima išsklaidyti į aibę, turinčią vidinių tos sistemos elementų. Visuma dėsnų, kuriais kelio (V) sistema susijusi su išorine aplinka (S) laike „t“ vadinama sistemos funkcija.

Nagrinėjant kelią, reikia nustatyti tam tikrų kelio sistemos elementų $V_1, V_2, V_3, \dots, V_n$ įtaką išorinės aplinkos objektams $S_1, S_2, S_3, \dots, S_n$. Kelio sistemoje transportas, klimato veiksniai, žvyro dangos medžiaga, dangos įrengimo kokybė gali būti nagrinėjamais elementais, turinčiais įtakos dulkių susidarymui ir veikiančys aplinkos (S) objektus $S_1, S_2 \dots S_n$ (pakeičia zoną, augmeniją, automobilius, žmones) tam tikru laiku „t“ (pvz., sausų metų laiką).

Galima išskirti kai kuriuos ryšius R^V sistemos viduje tarp atskirų kelio sistemos elementų: kelio įrengimo kokybė veikia jo charakteristiką, kelio dangos konstrukcijos stiprį ir pan. Galima išskirti kelio sistemos V_n elementų poveikio ryšius R^{SV} su objektais S_n ir atvirkščiai, S_n objektų ryšį R^{SV} su sistema V_n . Šios sistemos ryšių su S objektais pavyzdys gali būti kelio charakteristikų įtaka eismo intensyvumui, dulkėtumo įtaka gyventojams, o atvirkštinių ryšių pavyzdys gali būti klimato veiksnių įtaka dangos konstrukcijų stipriui, kelio charakteristikoms, eismo intensyvumo įtaka dangos ir konstrukcijos charakteristikoms ir pan.

Tokiu būdu kelio sistemoje išskiriama n elementų:

$$V = \{V_1, V_2, V_3, \dots, V_n\}. \quad (1.1)$$

Taip pat galima nustatyti labai daug pasirinktai sistemos V išorinės sistemos objektų $S_1, S_2, S_3 \dots S_n$, bet parenkant tik svarbiausius, jų skaičius apribojamas iki S_K :

$$S = \{S_1, S_2, S_3, \dots, S_K\}. \quad (1.2)$$

Ryšiai tarp atskirų elementų ir objektų šiuo atveju pažymimi taip:

$$R = \{R_1, R_2, R_3, \dots, R_K\}. \quad (1.3)$$

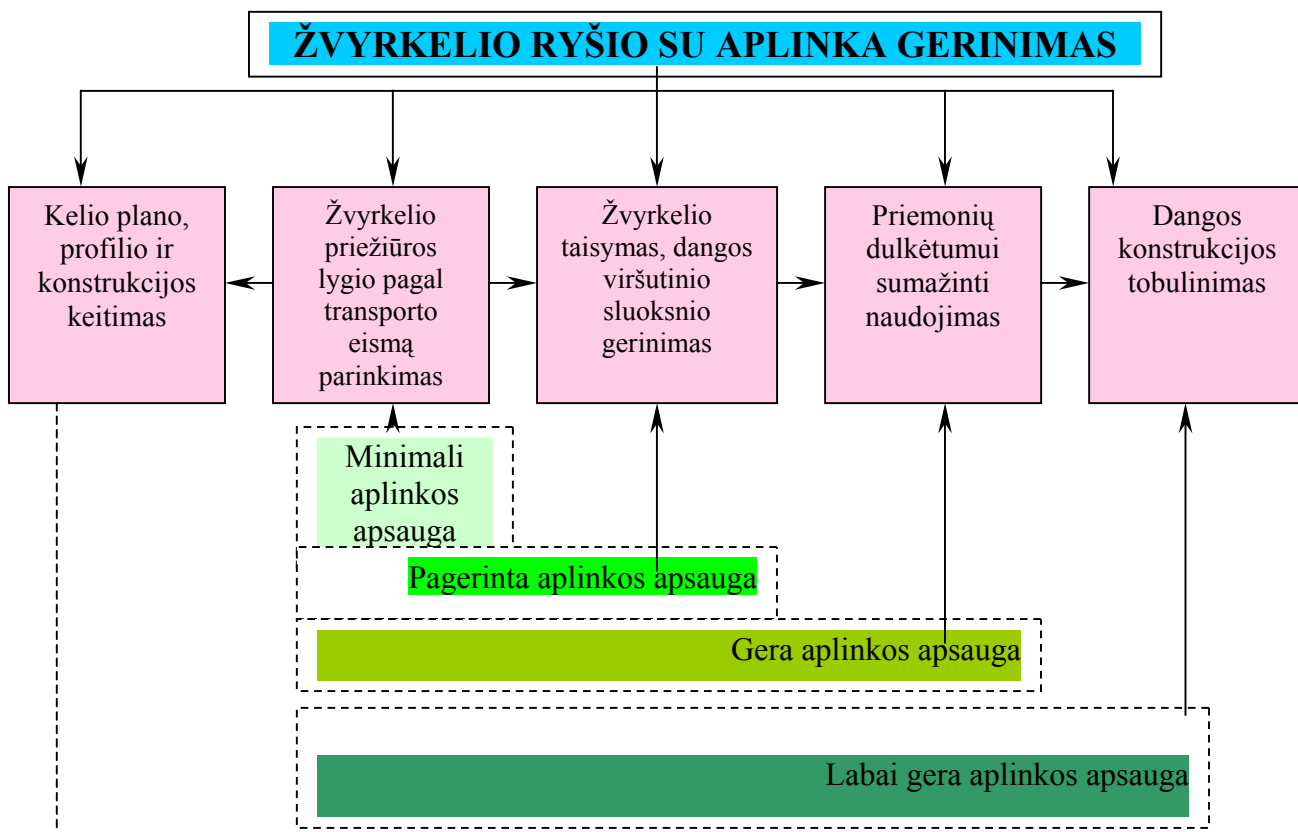
Pasirinktos elementų, objektų ir ryšių sistemos kinta bėgant laikui ir keičiasi jų struktūra:

$$V_{(t)} = \{V_{1(t)}, V_{2(t)}, \dots, V_{n(t)}\}, \quad (1.4)$$

$$S_{(t)} = \{S_{1(t)}, S_{2(t)}, \dots, S_{K(t)}\}, \quad (1.5)$$

$$R_{(t)} = \{R_{1(t)}, R_{2(t)}, \dots, R_{K(t)}\}. \quad (1.6)$$

Taigi akivaizdu, kad apibrėžti sistemos elementų įtaką arba ją aprašyti matematiškai yra gana sudėtinga, o kai kuriais atvejais net ir neįmanoma. Šių sistemų ryšių funkcijomis, kurios laikomos esant atsitiktinėmis, naudojamosi analizuojant ir vertinant situaciją, priimant sprendimus.



1.4 pav. Žvyrkelių gerinimo būdai

Dulkės yra kenksmingos šalikelių augmenijai, žemės ūkio kultūroms, jos mažina derlingumą 15 – 30 % [3]. Nustatyta, kad už rajoninės reikšmės žvyrkelių kelio apsaugos zonos ribų, kuri pagal Kelių įstatymo pakeitimo įstatymą yra lygi 20 m, javų derlingumas sumažėja apie 30 %, o šakniavaisių – iki 15 %. Dėl dulkių pablogėja žemės ūkio produkcijos kokybė [6]. Dulkės patenka į pravažiuojančio automobilio kuro padavimo ir degimo sistemas, elektros įrenginius, ir nors automobiliuose specialiai tam yra įrengti įvairūs filtrai, guminės – plastikinės apsaugos, tačiau smulkios skvarbios dalelės sugeba jas apeiti, sukeldamos automobilių gedimus. Besitrinančioms automobilių variklių detalėms ypač pavojingos kelio dulkės, kuriose yra 70 – 90 % kvarco dalelių. Padidėjus dulkių koncentracijai nuo 1 iki 8 mg/m³, variklio cilindrų nusidėvėjimas padidėja dešimt kartų. Greičiau dėvisi ir kiti automobilio agregatai, padidėja techninio aptarnavimo, remonto išlaidos.

Kelio dulkės kenkia ir žmonių sveikatai. Pagal higienos normas dulkių aplinkoje neturi būti daugiau kaip 5 mg/m³. Kvėpuojant oru, užterštu nors ir ne toksinėmis dulkėmis, padidėja rizika susirgti plaučių ligomis. Dulkėjimas ypač nepageidautinas gyvenvietėse, nes dėl šios priežasties pablogėja gyvenimo kokybė žmonių, gyvenančių gyvenvietėse, kuriose keliai yra su žvyro danga.

Važiuojant žvyrkeliais ypač pablogėja eismo sąlygos, pravažumas, laidumas, sukeliamas pavojus eismo saugumui. Yra nustatyta, kad kelio maksimalus laidumas sumažėja du kartus, kai dulkių debesies ilgis yra 30 – 40 metrų, ir penkis – septynis kartus, kai šio debesies ilgis yra 150 – 200 metrų [3]. Be to, dėl dulkėjimo pablogėjus matomumui važiavimo greitis sumažėja iki 15 – 20 km/h. Dėvėjimosi procese, žvyre sumažėjus smulkių dalelių kiekiui, kyla žvyrkelių priežiūros kaina. Stambiosios žvyro dalelės (2/16, 2/22 arba 2/32 mm frakcijos) didina vidinę trintį ir užtikrina dangos stiprį. Smulkiosios (0/2 mm frakcijos) dalelės mišinį daro tankesnę ir išsaugo dangos stabilumą esant sausam orui. Smulkiojoje frakcijoje turi būti pakankamai (8 – 25 %) smulkmės, t.y. dalelių, smulkesnių už 0,063 mm [3]. Brinkstantis molis, esantis toje

smulkmėje, neleidžia vandeniui skverbtis į dangą esant lietingam orui. Kai smulkių dalelių yra mažai, esant sausam orui važiuojančių automobilių ratai išjudina stambias daleles ir dangą tampa nelygi. Dėl smulkių dalelių stygiaus, esant lietingam orui, vanduo prasiskverbia į dangą ir dėl sumažėjusios vidaus trinties tarp dalelių sumažėja atsparumas šlyčiai, ir dangą važiuojant transportui tuojau pat pasidaro labai nelygi ir duobėta, greičiau dėvisi, didėja dulkingumas.

Apibendrinant galima daryti išvadą, kad dulkės yra labai kenksmingos žmonėms ir augalams, daro brangesnę transporto eksploataciją, kelių priežiūrą. Taigi reikia ieškoti būdų dulketumui mažinti. Tai ypač aktualu gyvenvietėse, kuriose iki šiol žvyrkeliai neasfaltuoti. Dulketumui mažinti gali būti naudojamos įvairios medžiagos: kalcio chloridas (CaCl_2), magnio chloridas (MgCl_2), lignosulfonatas, naftos produktai, augalinis aliejus. Amerikiečiai (S. Paul) yra pasiūlę dulkių sulaikymo medžiagos parinkimo sistemą, pagal kurią geras rezultatas vertinamas dviem balais, patenkinamas – vienu, o blogas – nulių balų (1.1 lentelė) [3].

1.1 lentelė. Efektyviausių dulkėjimo mažinimo medžiagų parinkimas pagal kriterijus

Kriterijai ir jų Me- džiaga (reagentas) apibūdinimas	VMPEI*, aut./parą			Kelio sankasos gruntas			Klimatas			Smulkmės kiekis žvyre, %			Poveikis gamtai
	< 100	100-200	> 200	molis, dulkis	molingi arba dulkingi smėlės	smėlis	lietingas	normalus	sausas	< 5	5-10	10-20	
Kalcio chloridas (CaCl_2)	2	2	1	2	1	0	0	2	0	0	1	2	1
Lignosulfonatas	2	1	0	2	1	0	1	2	2	0	1	2	1
Bituminės emulsijos	1	0	0	1	1	1	0	1	1	0	1	1	1

Pastaba: * – vidutinis metinis paros eismo intensyvumas

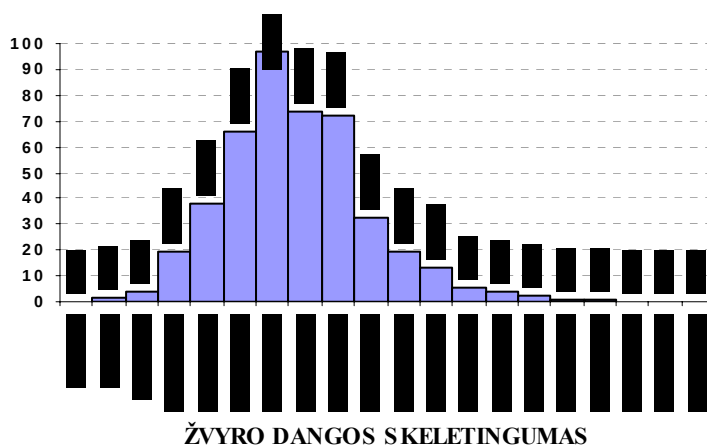
Kaip matyti iš 1.1 lentelės duomenų, geriausių rezultatų žvyro dangos dulkėjimo požiūriu galima laukti žvyrkeliuose, kuriuose eismo intensyvumas yra ne didesnis ir paprastai neviršija 200 aut./parą. Dulkėjimo mažinimui panaudotų medžiagų efektyvumas mažesnis žvyro dangoms, jeigu profiliuojamojo sluoksnio žvyre yra mažai smulkmės (mažiau kaip 5 %).

Susumavus visus balus, gautus kiekvienai medžiagai pagal konkrečią kelio sąlygą, gauname balų sumą, kuri parodo dulkių sulaikymo medžiagos intensyvumą. Jeigu kuri nors medžiaga gauna du ar daugiau nulių, tai iš gautos balų sumos reikia atimti dar du balus [3].

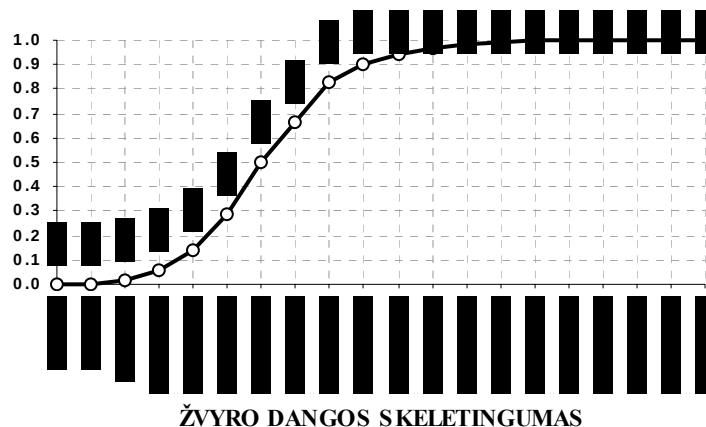
1.3. Žvyro dangos medžiagos įtaka dulkių susidarymui

Žvyrkelių dangų įrengimui dažniausiai naudojamas gamtinis (telkiniuose esantis) žvyras ir todėl telkinių medžiaga charakterizuoja pradinę žvyro dangos medžiagą. Šią medžiagą galima apibūdinti tuo, kad joje yra mažai smulkmės (dalelių smulkesnių nei 0,1 mm vidutiniškai yra mažiau negu 2,4 %), o skeletingumas (dalelių stambesnių nei 5 (4) mm vidutiniškai yra 50,7 %) [7].

Transporto ir klimato veiksnių poveikyje žvyro dangos dėvisi ir to pasekoje žvyro medžiaga smulkėja. Tą rodo Kelių katedros atlikti žvyro, paimto iš įvairiausių šalies vietose esančių žvyrkelio ruožų, skeletingumo tyrimai (1.5 ir 1.6 pav.).



1.5 pav. Lietuvos žvyrkelių tinklo žvyrkelių dangos žvyro skeletingumo (%) histograma



1.6 pav. Lietuvos žvyrkelių tinklo žvyrkelių dangos žvyro skeletingumo (%) skirsnio funkcija

1.5 pav. pateiktoje histogramoje žvyrkelių dangos žvyro skeletingumą lyginant su pradinės medžiagos skeletingumu galime teigti, kad žvyrkelių dangose skeletingumas dėl nevienodo dangų dėvėjimosi įvairiuose regionuose yra sumažėjęs.

48 % šalies žvyrkelių neatitinka skeletingumo reikalavimo. Mažo skeletingumo žvyro yra visuose regionuose. Tai rodo anksčiau Kelių katedroje atlikti tyrimai (1.2 lentelė) [8].

1.2 lentelė. Statistinės žvyro dangos skeletingumo charakteristikos regionuose

Regionas	Statistinės žvyro dangos skeletingumo charakteristikos, %				
	vidurkis	vidutinis kvadratinis nuokrypis	variacijos koeficientas, %	skeletingumas, kai tikimybė $p = 0,95$	
				vidurkio	rezultatų išsibastymas
Alytaus	37,0	9,5	25,7	36,0–38,0	18,4–55,6
Kauno*	28,5	7,8	27,4	27,9–29,1	13,2–43,9
Klaipėdos	31,3	7,8	24,9	30,6–32,0	16,1–46,6
Marijampolės	32,4	8,3	25,7	31,5–33,3	16,1–48,7
Panevėžio	35,0	10,8	31,0	34,2–35,8	13,8–56,3
Šiaulių	31,0	12,2	39,4	30,1–31,9	7,1–54,9
Tauragės	33,2	7,6	22,9	32,3–34,0	18,4–48,0
Telšių*	24,6	8,9	36,2	23,6–25,6	7,1–42,1
Utenos*	28,4	8,2	29,0	27,7–29,1	12,3–44,5
Vilniaus	33,0	8,0	24,2	32,5–33,5	17,0–59,0

Pastaba: * - šių regionų žvyrkelių žvyras pagal skeletingumo vidutinę reikšmę, apskaičiuotą prie tikimybės $p = 0,95$, yra netinkamas.

Statistiniams skeletingumo rodikliams apskaičiuoti panaudotos žemiau pateiktos 1.7 – 1.12 formulės:

- aritmetiniam vidurkiui

$$\bar{S}_k = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_{k_i} ; \quad (1.7)$$

- dispersijai

$$S^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (S_{k_i} - \bar{S}_k)^2 ; \quad (1.8)$$

- vidutiniam kvadratiniam nuokrypiui

$$S = \sqrt{S^2} ; \quad (1.9)$$

- variacijos koeficientui

$$V = \frac{S}{\bar{S}_k} \cdot 100, \quad (1.10)$$

- vidurkio prie tikimybės $p = 0,95$ reikšmei

$$\bar{S}_{k_{(0,95)}} = \bar{S}_k \pm \frac{tS}{\sqrt{n}}, \quad (1.11)$$

- rezultatų išsibarstymui prie tikimybės $p = 0,95$

$$Sk_{(0,95)} = \overline{Sk} + tS, \quad (1.12)$$

čia: n – imties narių (bandymų) skaičius;

$Sk_{(0,95)}$ – laboratorijoje nustatyto skeletingumo (dalelių stambesnių kaip 5 mm) dydis, %;

t – koeficientas, įvedamas atsižvelgiant į imties narių (n) skaičių ir priimtą tikimybę (p).

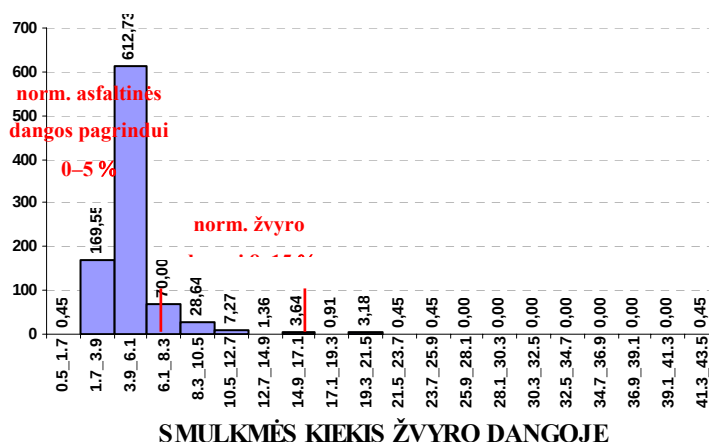
Skaičiavimuose prie $p = 0,95$ priimta $t = 1,96$.

Šios formulės yra naudojamos ir kitų žvyro medžiagos statistinių rodiklių, reikalingų statistinei analizei atlikti, apskaičiavimui.

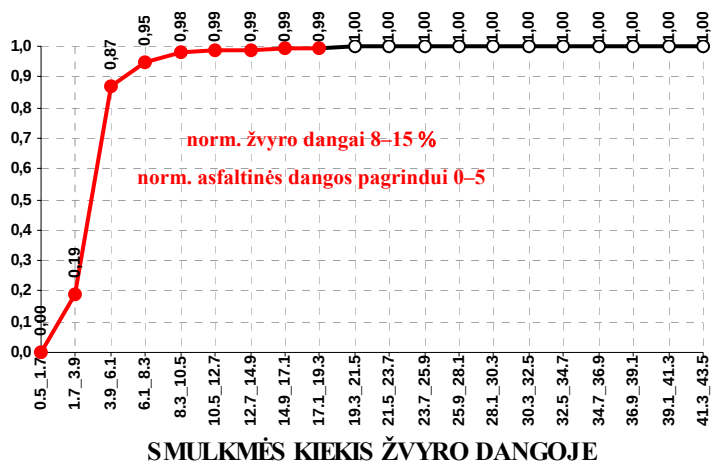
Iš pateiktos 1.2 lentelės duomenų matyti, kad Kauno, Telšių ir Utenos regionų žvyrkelių žvyras pagal skeletingumo vidutinę reikšmę, apskaičiuotą prie tikimybės $p = 0,95$, yra netinkamas. Pagal rezultatų išsibastymą prie tikimybės $p = 0,95$ visuose regionuose yra žvyrkelių, kurių dangoje žvyras yra mažo skeletingumo ir kitėja nuo 7,1 % iki 18,4 %.

Analogiškai reikia išnagrinėti žvyrkelių žvyrą pagal smulkmės kiekį jame. Šiuo atveju irgi pasiremsime Kelių katedroje atliktų tyrimų duomenimis.

Čia pateikiamos smulkmės kiekio žvyro dangoje histograma ir skirsnio funkcija rodo, kad smulkmės žvyro dangoje lyginant su pradine medžiaga padidėja, tačiau dažniausiai neviršija 6 % (1.7 ir 1.8 pav.).



1.7 pav. Lietuvos žvyrkelių tinklo žvyro dangoje smulkmės kiekio (%) histograma



1.8 pav. Lietuvos žvyrkelių tinklo žvyrkelių dangoje smulkmės kiekio (%) skirsnio funkcija

Kaip matyti iš skirsnio funkcijos, tik apie 7 % žvyrkelių patenkina reikalavimus dangai pagal smulkmės kiekį. Tikrai labai mažas žvyrkelių dalies dangoje esantis žvyras tenkina reikalavimus pagal smulkmės kiekį. Pagal reikalavimus smulkmės žvyre turi būti ne mažiau kaip 8 % ir ne daugiau kaip 15 % [9].

Statistinės smulkmės kiekio žvyro dangoje charakteristikos regionų žvyrkeliuose yra pateiktos 1.3 lentelėje [8].

1.3 lentelė. Statistinės smulkmės kiekio žvyro dangoje charakteristikos regionų žvyrkeliuose

Regionas	Statistinės smulkmės kiekio žvyro dangoje charakteristikos, %				
	vidurkis	vidutinis kvadratinis nuokrypis	variacijos koeficientas, %	Smulkmės kiekis, kai tikimybė $p = 0,95$	
				vidurkio	rezultatų išsibarstymas
Alytaus	5,6	1,5	26,8	5,4–5,8	2,7–8,5
Kauno	4,8	1,7	35,9	4,7–4,9	1,4–8,2
Klaipėdos*	4,5	1,1	25,1	4,4–4,6	2,3–6,8
Marijampolės*	4,2	1,5	36,6	4,0–4,4	1,2–7,2
Panevėžio*	4,3	1,0	22,8	4,2–4,4	2,4–6,2
Šiaulių	5,9	3,2	53,8	5,6–6,1	0–12,1
Tauragės*	4,2	1,2	29,7	4,0–4,3	2,2–6,1
Telšių	8,3	2,8	34,2	8,0–8,6	2,7–13,9
Utenos	4,6	2,4	52,3	4,4–4,8	0–9,3
Vilniaus	6,1	1,5	24,6	6,0–6,2	3,2–9,0

Pastaba: * - šių regionų žvyrkelių žvyras pagal smulkmės kiekio rezultatų išsibarstymą yra netinkamas.

Žvyras, esantis žvyrkelių dangoje, turi mažai smulkmės. Pagal smulkmės vidutinį procentinį kiekį, apskaičiuotą prie tikimybės $p = 0,95$, tinkamas žvyras būtų tik Telšių regiono žvyrkeliuose. Pagal smulkmės kiekio rezultatų išsibarstymą visiškai netinkamas žvyras Klaipėdos, Marijampolės, Panevėžio ir Tauragės regionų žvyrkeliuose. Kitų regionų žvyrkeliuose šiuo požiūriu žvyras tinkamas tik iš dalies. Iš smulkmės kiekio skirsnio funkcijos galima spręsti, kad tinkama dalis žvyro žvyrkeliuose yra mažesnė nei 10 %.

Tik nedidelė dalis dulkių, susidariusių žvyro dėvėjimosi procese, lieka kelyje. Didžioji žvyro dangos dėvėjimosi medžiagos dalis smulkmės pavidale patenka už kelio ribų, teršia aplinką. Dėl mažo smulkmės kiekio žvyro dangoje blogėja jų lygumas, intensyvėja dėvėjimosi procesas.

1.4. Kelių būklės įtaka dulkėtumui

Dėl žvyrkelių dulkėjimo padidėja kelio priežiūros darbų kaina, nes pašalinant iš dangos smulkioms dalelėms ryšiai tarp žvyro dalelių sumažėja ir jie žymiai susilpnėja esant šlapiai dangai. Sausu metu dėl sumažėjusių ryšių tarp dalelių važiuojant transportui žvyro dalelės išjudinamos, dangos paviršius išsipurina, palaido žvyro dalelės nubarstomos į kelio pakraščius, dalis medžiagos patenka ant šlaitų, numetama į vandens nuleidimo griovius. Esant drėgnam orui tokia žvyro danga dėl silpnų ryšių tarp žvyro dalelių labai greitai tampa nelygi, atsiranda vėžės, bangos ir duobės.

Neleidžiant dulkėms pašalinti iš dangos, sulaikant jas kelyje galima padidinti žvyrkelių dangos atsparumą šlyties deformacijoms, pagerinti lygumą.

1.5. Darbo tikslas ir uždaviniai

Remiantis dulkių susidarymo priežasčių analize eksploatuojamuose žvyrkeliuose, išnagrinėjus kelių su žvyro danga įtaką aplinkai ir nustatčius dulkėjimo intensyvumo priklausomybę nuo eismo, klimato veiksnių, medžiagos, naudojamos žvyro dangai, charakteristikų ir pripažįstant dulkių kenksmingumą žmonėms, augalams galime padaryti tokias išvadas:

1. Didžiausią įtaką dulkių susidarymui ir jų sukėlimui keliuose su žvyro danga turi transporto (eismo intensyvumas, važiavimo greitis, apkrova į ašį) ir klimato (krituliai, oro temperatūra, santykinis drėgnis, vėjo greitis ir kryptis, insoliacija) veiksniai.
2. Žvyrkelių eksploatacinės charakteristikos mažiausiai kito ir jie mažiausiai dulka, kai žvyro danga optimaliai drėgna, žvyro granulimetrinė sudėtis atitinka tankiųjų žvyro mišinių sudėtį.
3. Dulkės yra kenksmingos žmonėms ir augalams, jos pabrangina transporto priemonių eksploataciją, kelių priežiūrą, todėl reikia ieškoti būdų dulkėjimui mažinti.
4. Eksploatuojamų žvyrkelių žvyro dangoje esantis žvyras dažniausiai netenkina reikalavimų pagal skeletingumą ir smulkmės kiekį jame.

Remiantis šiomis išvadomis gali būti suformuluojamas toks **darbo tikslas** – pasiūlyti reglamentavimą, skirtą žvyro dangų dulkėjimui mažinti.

Darbo tikslui pasiekti būtina:

- pateikti kelių ruožų su žvyro danga parinkimo dulkėjimui mažinti principus;

- išnagrinėti priemonės, naudojamas žvyrkelių dulkėjimui mažinti, pateikti rekomendacijas jų naudojimo reglamentą, kai yra įvairios eismo ir klimato sąlygos;
- išanalizuoti reikalavimus žvyrai ir pateikti pasiūlymus žvyro dangos žvyro tyrimui ir vertinimui;
- išnagrinėti dulkėjimo mažinimo priemonių įgyvendinimo metodus ir būdus reglamentuojant technologinio proceso atlikimą, darbų atlikimo kokybės kontrolę, naudotų priemonių efektyvumo vertinimą.

2. KELIŲ RUOŽŲ SU ŽVYRO DANGA DULKĖJIMUI MAŽINTI PARINKIMAS, ŽVYRKELIŲ DULKĖJIMO VERTINIMAS. DULKĖTUMĄ MAŽINANČIOS PRIEMONĖS.

2.1. Bendrieji dulkėjimui mažinti skirtų ruožų parinkimo principai

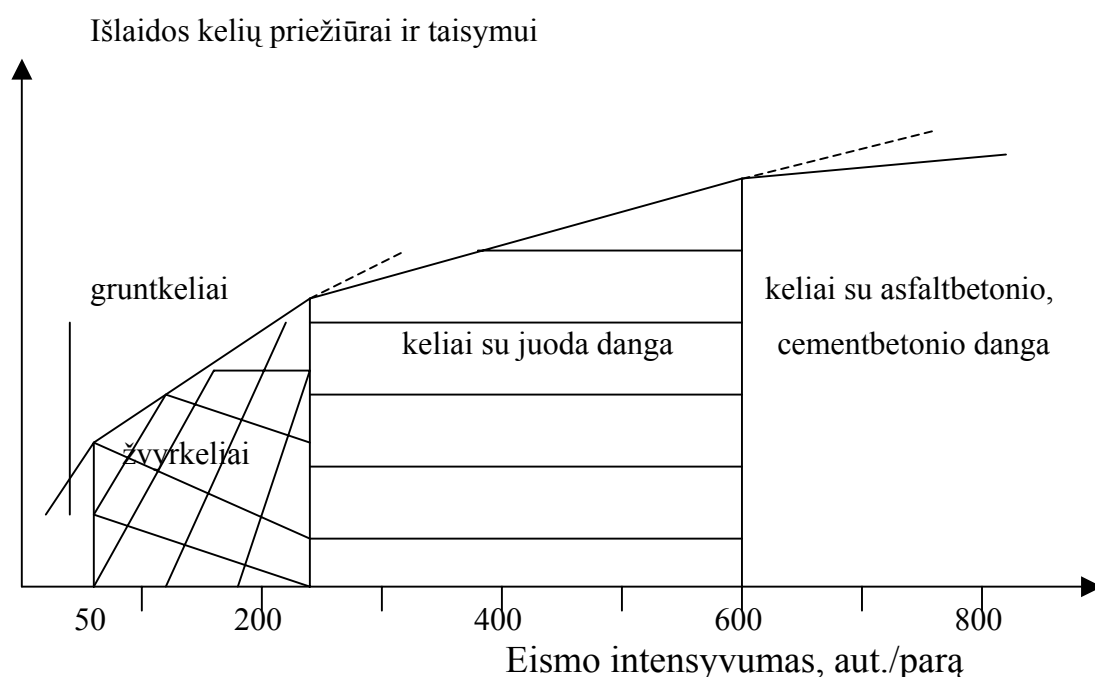
Parenkant žvyrkelių ruožus, kuriuose bus naudojamos dulkėjimui mažinti priemonės, dalyvauja Lietuvos automobilių kelių direkcija prie Susisiekimo ministerijos ir jai pavaldžios regioninės kelių priežiūros valstybinės įmonės ir šių įmonių kelių tarnybos. Kelių organizacijų funkcijos, parenkant dulkėjimo mažinimui skirtus kelių ruožus, yra pateiktos 2.1 lentelėje.

2.1 lentelė. Kelių priežiūros organizacijų funkcijos, parenkant dulkėjimo mažinimo priemonių naudojimui skirtus objektus

Kelių priežiūros organizacijos	Veikla, parenkant dulkėjimo mažinimui skirtus kelių ruožus
<i>Lietuvos automobilių kelių direkcija prie Susisiekimo ministerijos (LAKD)</i>	Nustato žvyrkelių dulkėjimo mažinimo darbų apimtį. Tikslina ir tvirtina dulkėjimo mažinimo darbų programas regioninėms įmonėms. Skiria lėšas programai.
<i>Regioninės valstybinės įmonės</i>	Tikslina kelių tarnybų planuojamas žvyrkelių dulkėjimui mažinti darbų apimtį. Teikia regiono dulkėjimo mažinimo darbų programą LAKD tvirtinimui. Paskirsto lėšas programoje numatytų darbų atlikimui kelių tarnyboms. Kontroliuoja darbų eigą, dalyvauja procese.
<i>Regioninių įmonių kelių tarnybos</i>	Parenka žvyrkelių ruožus, skiriamus dulkėjimo mažinimo darbams, siūlo naudoti dulkėjimo mažinimo priemones. Planuoja darbų atlikimo terminus. Organizuoja ir atlieka žvyrkelių įrašytų į programą dulkėjimo mažinimo darbus laikantis nurodymų, taisyklių.

Svarbiausias vaidmuo parenkant kelių ruožus pradinėje stadijoje tenka kelių tarnyboms, kurios sprendamos žvyrkelių dulkėjimo mažinimo užduotis nustato šių darbų tikslus, t.y. dulkėjimo mažinimo darbais siekiama sumažinti dulkėjimą ir pagerinti eismo sąlygas, gyventojų gyvenimo kokybę gyvenvietėse, apsaugoti aplinką nuo taršos dulkėmis intensyvios ūkinės veiklos vietose ir pan.

Pradiniam ruožų parinkimui įtakos turi transporto eismas ir jo intensyvumas keliuose. Žemo eismo intensyvumo keliuose vyrauja žvyro dangos. Pagal Skandinavijos šalių patirtį ir Lietuvos kelių plėtros programos nuostatas, keliai gali turėti žvyro dangą, kai juose vidutinis metinis paros eismo intensyvumas (VMPEI) yra mažesnis nei 250 aut./parą (2.1 pav.) [10].



2.1 pav. Rekomenduojamos kelių dangos atsižvelgiant į eismą

Jei žvyrkeliuose vidutinis metinis paros eismo intensyvumas yra mažesnis nei 250 aut./parą, tuomet išlaidos jų priežiūrai ir taisymui bus mažesnės lyginant su išlaidomis kelių turinčių juodą dangą.

2.1.1. Transporto eismas žvyrkeliuose ir jų atitikimas eismui

Žvyrkelių konstrukciją sudaro žemės sankasa ir dangos konstrukcijos. Svarbiausios žvyrkelio konstrukcijos savybės – tai jų stabilumas, stiprumas ir ilgaamžiškumas. Norint pasiekti teigiamų rezultatų, kelio danga turi būti stabili, t.y. turi atlaikyti apkrovas nuo judančių transporto priemonių ratų be liekamųjų deformacijų ir ilgaamžė, t.y. atspari per visą savo naudojimo laiką kenksmingiems oro, vandens bei temperatūros pokyčių poveikiams.

Projektuojant ir optimizuojant žvyrkelio konstrukcijas labai svarbu turėti šiuos eismo intensyvumo tyrimo duomenis:

- vidutinį metinį paros eismo intensyvumą (VMPEI);
- vidutinį metinį krovininio transporto eismo intensyvumą (VB);
- transporto intensyvumo prieaugį, kuris išreiškiamas eismo intensyvumo prieaugio koeficientu.

Pagal šiuos duomenis nustatoma žvyrkelio kategorija, projektiniai kelio elementai planui ir išilginiam profiliui bei matomumui užtikrinti. Taip pat nustatomi kelio parametrai keliui, kelio dangai, kelkraščiams, skiriamajai juostai ir kelio dangos konstrukcijos klasei.

Remiantis transporto eismo tyrimo duomenimis, žvyrkeliai pagal transporto eismą sugrupuoti taip:

- I grupės keliai – tai mažo intensyvumo keliai, kuriuose vidutinis metinis paros eismo intensyvumas (VMPEI) neviršija 50 aut./parą,
- II grupė – vidutinio eismo intensyvumo keliuose VMPEI kinta nuo 51 iki 150 aut./parą,
- III grupė – intensyvaus eismo keliuose VMPEI kinta nuo 151 iki 250 aut./parą,
- IV grupė – labai intensyvaus eismo keliai, kuriuose VMPEI daugiau nei 251 aut./parą.

Nustatant kelių tobulinimo prioritetus, reikia atsižvelgti ir į tai, kokią dalį transporto eisme sudaro krovininis ir lengvasis transportas. Atsižvelgiant į transporto eismą, nustatoma labai svarbi charakteristika – tai konstrukcijos deformacijos modulis, kuris apibūdina žvyrkelių konstrukcijos stiprumą. Žvyrkelių dangos konstrukcija privalo atlaikyti apkrovas, sukeltas transporto eismo. Kelių, kuriuose planuojama taikyti žvyro dangų dulkejimui mažinti priemonės, dangos konstrukcijos viršuje deformacijos moduliai turi būti ne mažesni už rekomenduojamus, kurie yra nurodyti 2.2 lentelėje [11].

2.2 lentelė. Minimalios žvyro dangos konstrukcijos deformacijos modulio reikšmės pagal transporto eismą

Kelių grupė pagal eismą	Transporto eismas (VMPEI), aut./parą	Mažiausia deformacijos modulio reikšmė žvyrkelio dangos konstrukcijos viršuje, MPa
I	< 50	65
II	51 – 150	80
III	150 – 250	100
IV	> 251	120

Jei žvyrkelio ruože, kuriame planuojama atlikti dulkejimo mažinimo darbus, būtų nustatyta, kad konstrukcijos stipris neatitinka eismo ir yra mažesnis negu reikalaujama 2.1 lentelėje, tuomet žvyrkelio dangos konstrukciją būtina stiprinti, įrengiant papildomą apatinį dangos profiliuojamąjį (viršutinį) sluoksnius arba tik profiliuojamojo sluoksnio storį padidinant iki reikalingo.

Žvyrkelių konstrukcijos stiprį ir ilgaamžiškumą garantuoja ne tik konstrukcijos ir eismo atitikimas, bet ir vandens nuleidimo sistemos (vandens nuleidimo griovių, dangos ir žemės sankasos viršaus skersinių nuolydžių, šlaitų statumo, dangos konstrukcijos drenažo) būklė kelyje bei reikiama žemės sankasos kokybė, atitinkanti statybos techninio reglamento automobilių keliams ir statybos rekomendacijų reikalavimus [12, 13].

2.1.2. Žvyrkelių dulkėjimas ir dulkėjimo vertinimas

Dulkėjimo mažinimo priemonės gali būti taikomos visuose keliuose, turinčiuose žvyro dangą, nes teršiančios aplinką dulkės yra žvyro dėvėjimosi produktas.

W. D. O. Peterson [14] nurodo tris pagrindinius žvyrkelių dėvėjimosi būdus:

1. Kai žvyro danga dėvisi veikiama automobilių ratų;
2. Kai dėl žvyro dangos, apsauginio, šalčiui atsparaus, sluoksnio, žemės sankasos arba visos žvyrkelio konstrukcijos deformacijos nuo transporto apkrovų, hidroterminio režimo sąlygų pasikeitimo dangoje atsiranda defektai;
3. Kai vyksta žvyrkelių erozija dėl vandens ir vėjo poveikio.

D. Robert ir R. Srombom [15] nurodo, kad žvyrkelių irimo procesas ir jo sparta priklauso nuo medžiagos, panaudotos žvyrkelio konstrukcijoje, kokybės, vandens nuleidžiamosios sistemos būklės, esant transporto ir klimato veiksnių poveikiui, ir nuo priežiūros lygio.

Žvyrkelių dėvėjimąsi ir dulkėjimą esant sausam orui padidina irimo proceso pasekoje atsiradusios dangos pažaidos (duobės, bangos, vėžės).

D. E. Maklelandas, R. B. Folcas ir kt. [16] nurodo, kad žvyrkelių irimo procesas labai suintensyvėja, kai klimato veiksniai (krituliai, temperatūra) tiesiogiai veikia žvyrkelius ir jie vieni arba kartu su transporto apkrovomis ardo žvyrkelių dangą. Lietaus vanduo eroduoja dangos paviršių, nuplauna smulkias daleles, susilpnina žemės sankasą ir dėl to žvyrkeliuose padaugėja vėžių, duobių, o vandeniui tekant išilgai šlaitų ir ilgais atstumais dangos paviršiuje atsiranda dėvėjimosi defektai ir žvyro dangos dulkėjimas padidėja.

Apytikriai žvyro dangos dėvėjimąsi galima apskaičiuoti pagal žemiau pateikiamas 2.1 ir 2.2 formules [6, 17]:

$$h_d = h_{KL} + k_d Q \quad (2.1)$$

čia: h_d – dangos nusidėvėjimas (mm) per metus;

h_{KL} – dangos storis, kuris nudyla per metus dėl klimato veiksnių (mm) (imama 5 mm);

k_d – koeficientas, kurio dydis priklauso nuo žvyro stiprumo (silpnų padermių uolienu žvyru imama 25, o atsparių – 18);

Q – bendras krovinių kiekis (mln. tonų per metus).

$$h = \left(a + 0,85b \frac{VMPEI}{1000} \right) \times 0,5 \quad (2.2)$$

čia: h – žvyro dangos nusidėvėjimas vasaros sezono (koeficientas 0,5) metu, mm;

a – koeficientas, kurio dydis priklauso nuo klimato sąlygų ir žvyro dalelių atsparumo dėvėjimuisi (skaičiuoti imama $a = 5$);

b – koeficientas, kurio reikšmė priklauso nuo žvyro dalelių atsparumo dėvėjimuisi, drėkinimo laipsnio, transporto važiavimo greičio (skaičiuoti imama $b = 26$);

$VMPEI$ – vidutinis metinis paros eismo intensyvumas, aut./parą;

0,85 – koeficientas, kurio dydis priklauso nuo kelio pločio. Kai kelias platesnis negu 7 m, jo reikšmė lygi 0,85, o jeigu siauresnis negu 6 m – 1,15. 6 – 7 m pločio kelio šio koeficiento reikšmė lygi 1.

Dėvėjimosi proceso intensyvumas, jo metu susidariusių dulkių kiekis įtakoja dulkėjimo mažinimo priemonių panaudojimo galimybę, naudojamų priemonių kiekybinį poreikį, jų naudojimo periodiškumą ir pan.

Kadangi žvyro dangų dėvėjimasis priklauso ne tik nuo eismo ir klimato veiksnių, bet ir nuo žvyro dalelių atsparumo dėvėjimuisi, profiliuojamojo žvyro dangos sluoksnio stabilumo, kurį užtikrina optimalios sudėties žvyro – smėlio mišiniai, todėl turi būti reglamentuojama žvyro – smėlio mišinių sudėtis.

Tam tikslui būtina ištirti žvyrkelių, parinktų dulkėjimo mažinimo darbams vykdyti, žvyro dangos medžiagą ir ją vertinti, nes daugelyje šalių žvyrkelių būklė vertinama gerai tik tuo atveju, jeigu jie nedulka.

Švedijoje skiriamos trys žvyrkelių būklės klasės: gera (1 klasė), patenkinama (2 klasė) ir žema (3 klasė). Žvyrkelių būklės klasė nustatoma pagal žvyrkelių nelygumą ir dangos paviršiaus būklę (2.3 lentelė) [18].

2.3 lentelė. Žvyrkelių klasės pagal dangos paviršiaus būklę Švedijoje

Klasės Nr.	Pavadinimas	Apibūdinimas
1	Gera	Maži žvyro nuostoliai. Gali būti šiek tiek žvyro kelkraščiuose. Nedulka.
2	Vidutinė	Vidutiniai žvyro nuostoliai ir maži žvyro voleliai išilgai kelkraščių. Nedidelis dulkėtumas.
3	Žema	Dideli žvyro nuostoliai ir pastebimi žvyro voleliai išilgai kelkraščių. Didelis dulkėtumas.

Suomijoje žvyrkelių būklė vertinama nuo vieno iki penkių balų, naudojantis pažaidų fotografijomis ir aprašais. J. Isotalo [19] nurodo, kad važiavimo žvyrkeliais sąlygas geriausiai apibūdina žvyrkelio konstrukcijos stipris, dangų lygumas, kuriam įtaką turi pažaidos (įdubos, duobės, bangos) ir jų dulkėtumas. Geriausios būklės žvyrkeliai vertinami penkiais balais. Šiek tiek dulkantys žvyrkeliai vertinami trimis balais, dulkantys – dviem, o labai dulkantys – vienu balu (2.4 lentelė) [20].

2.4 lentelė. Žvyrkelių klasifikacija pagal būklę Suomijoje

Vertinimas skirstant į grupes	Balas	Apibūdinimas
4,1-5,0	5	Danga ar kelias yra labai geros būklės, labai lygus ir pakankamo stiprio. Nelygumai neturi įtakos važiuojant transporto priemonėms. Nelygumai mažiau nei 2,8 m/km. Nedulka.
3,1-4,0	4	Danga ar kelias geros būklės, lygus ir pakankamo stiprio. Galimos labai maži įdubos. Nedulka. Transporto priemonės važiavimo greičio nereikia mažinti dėl atsiradusių nelygumų. Lygumas 2,81–3,2 m/km.
2,1-3,0	3	Kelias geros būklės ir dažniausia lygus ir pakankamo stiprio. Gali būti pavienės mažos įdubos ar kiti nelygumai. Šiek tiek dulka. Nereikia mažinti transporto priemonės važiavimo greičio dėl kelio įdubų ar nelygumų. Transporto priemonės važiavimo greitis mažinamas sutikus ar aplenkiant kitą transporto priemonę kelyje. Lygumas 3,21–3,6 m/km.
1,1-2,0	2	Šiek tiek pakitusi kelio būklė. Kai kur yra vėžių ir įdubų. Dulka. Transporto priemonės važiavimo greitį reikia dažnai mažinti dėl nelygumų. Lygumas 3,61–4 m/km.
0,1-1,0	1	Pakitusi kelio būklė. Paviršius nelygus. Daug įdubų ir duobių. Labai dulka. Vairuotojas turi nuolat stebėti kelio dangą ir keisti transporto priemonės važiavimo greitį. Lygumas daugiau nei 4,00 m/km.

A. G. Ferry sprendžiant apie žvyrkelių būklę siūlo vertinti jų dulkėjimo lygį (2.5 lentelė) [15].

2.5 lentelė. Žvyrkelių būklei vertinti skalė

Balas	Kelio būklė
5	Danga geros būklės, lygi ir stipri.
4	Danga tinkamai prižiūrima ir lygi, stipri.
3	Danga tinkamai prižiūrima ir daugumos ruožų lygi, stipri. Atsiranda kai kurių pažaidų ir dulkėtumas sausu oru.
2	Kai kur pakitusi dangos būklė. Kai kuriose vietose yra duobių ir nelygumų. Dulka sausu oru.
1	Danga blogos būklės. Vėžės, duobės ir nelygumai. Labai dulka sausu oru.

G. J. Chong ir G. W. Wrong žvyrkelių nusidėvėjimą ir dulkėjimą siūlo vertinti trimis lygiais: mažas, vidutinis ir didelis [21]. Mažas lygis, kai žvyro danga nusidėvėjusi mažiau nei 50 mm (maži dulkių debesys neturi įtakos matomumui), vidutinis, kai žvyro danga nusidėvėjusi nuo 50 iki 200 mm (dulkių debesys turi įtakos matomumui, tačiau matomumas geras) ir didelis - žvyro danga nusidėvėjusi daugiau nei 200 mm (dulkių debesys, prastas matomumas).

Išanalizavus įvairių šalių naudojamas žvyrkelių būklės vertinimo sistemas galima daryti išvadą, kad žvyrkelių būklė gali būti pripažįstama ir vertinama gerai, jeigu jie nedulka. Dulkės yra nepageidaujamos, nes jos teršia aplinką, kenkia aplinkai, augmenijai, žmonių sveikatai, automobiliams, kelia pavojų eismo saugumui.

2.2. Žvyro dangos medžiaga ir reikalavimai jos sudėčiai

Keliams su žvyro danga priskiriami žvyrkeliai, kurių danga įrengta iš karjerinio žvyro arba žvyro – smėlio mišinių, atitinkančių nurodytiems „Techninių reikalavimų reglamente STR 2.06.03:2001. Automobilių keliai“, „Statybos rekomendacijose R 35-01. Automobilių kelių asfaltbetonio ir žvyro dangos“ [12, 22] ir „Biriųjų mišinių ir gruntų naudojimo laikinosiose taisyklėse LT-BM-05“ [9].

Sprendžiant kelių su žvyro danga dulkėjimo mažinimo uždavinius svarbu žinoti žvyro, esančio dangoje, charakteristikas. Labai svarbi žvyro charakteristika yra jo granulimetrinė sudėtis. Pateikiu statistiškai apdorotus duomenis apie žvyro granulimetrinės sudėties kitėjimą telkiniuose, neskirstant jų pagal genetines grupes (vandens tirpsmo ar upių), 2.6 lentelėje.

2.6 lentelė. Žvyro granulimetrinės sudėties kitėjimas telkiniuose

Statinės charakteristikos		Sietų akučių dydis, mm									
		70 (56)	40 (32)	20 (16)	10 (8)	5 (4)	2,5 (2)	1,20 (1)	0,63 (0,5)	0,315 (0,25)	0,14 (0,1)
Dalelių, išbyrančių pro sietus su akutėmis, vidutinis kiekis	%	94,0	86,3	72,2	63,3	49,3	41,4	29,8	17,7	7,8	2,4
Vidutinis kvadratinis nuokrypis	%	5,5	8,2	10,5	12,2	12,6	12,5	11,8	9,6	4,8	2,2
Variacijos koeficientas	%	5,9	9,5	13,8	19,3	25,6	30,2	39,6	54,2	61,5	91,7

Kaip matyti iš 2.6 lentelės duomenų žvyro mišinių, naudojamų žvyro dangų konstrukcijose, granulimetrinė sudėtis kitėja gana plačiose ribose. Žvyro granulimetrinės sudėties kitėjimą geriausiai charakterizuoja vidutinio kvadratinio nuokrypio dydis, kurio didžiausia reikšmė gaunama dalelėms, kurių per sietą išbyra apie 50 %. Lietuvoje šios statistinės charakteristikos dydis siekia 12,6 % [7].

Nagrinėjant ledynų tirpsmo vandenų ir upių genetinės kilmės telkinius nustatyta, kad pagal granulimetrinės sudėties kitėjimą šių telkinių medžiaga skiriasi nežymiai. Tai rodo šių telkinių granulimetrinės sudėties analitinės vidutinio kvadratinio nuokrypio, apskaičiuoto žvyro dalelėms, išbyrančioms pro sietus su akutėmis „d“ dydžio, išraiškos.

$$S_{LD} = 12,28 + 0,181 \times \left(\frac{\lg d - 0,5}{0,2} \right) - 0,19 \times \left(\frac{\lg d - 0,5}{0,2} \right)^2 - 0,000726 \times \left(\frac{\lg d - 0,5}{0,2} \right)^3 \quad (2.3)$$

$$S_U = 12,86 + 0,045 \times \left(\frac{\lg d - 0,5}{0,2} \right) - 0,2 \times \left(\frac{\lg d - 0,5}{0,2} \right)^2 + 0,00768 \times \left(\frac{\lg d - 0,4}{0,2} \right)^3 \quad (2.4)$$

čia: S_{LD} – vidutinio kvadratinio nuokrypio dydis ledynų tirpsmo vandenų genetinės grupės telkinių žvyro dalelėms, išbyrančioms pro sietų atitinkamo dydžio akutes;

S_U – tas pats upių genetinės grupės telkinių žvyrai;

d – sietų akučių matmenys, mm.

Visapusiška žvyro granulimetrinės sudėties analizė leidžia tvirtinti, kad tarp upių ir vandenų tirpsmo genetinių grupių telkinių medžiagos granulimetrinės sudėties esminio skirtumo nėra. Granulimetrinę medžiagos sudėtį daugiau apsprendžia telkinio buvimo vieta respublikoje.

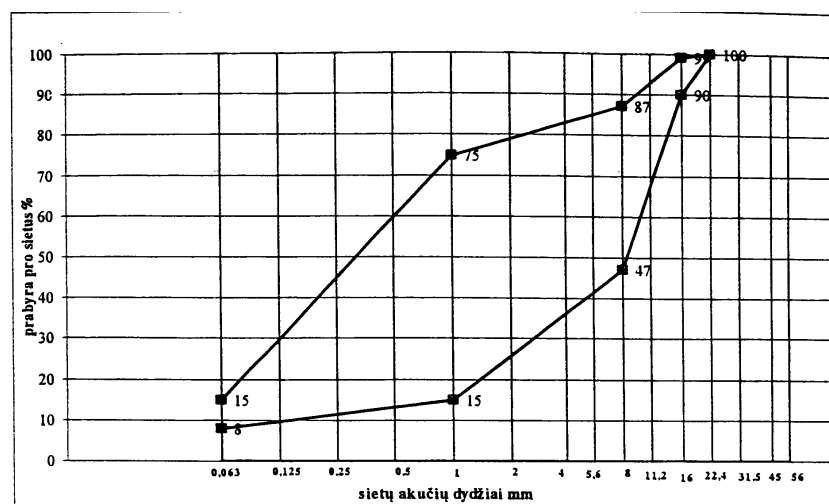
Žvyrkelių dangų įrengimui dažniausiai naudojamas gamtinis (telkiniuose esantis) žvyras ir todėl telkinių medžiaga charakterizuoja pradinę žvyro dangos medžiagą. Šią medžiagą galima apibūdinti tuo, kad joje yra mažai smulkmės (dalelių smulkesnių nei 0,1 mm vidutiniškai yra mažiau negu 2,4 %), o skeletingumas (dalelių stambesnių nei 5 (4) mm vidutiniškai yra 50,7 %).

Transporto ir klimato veiksnių poveikyje žvyro dangos dėvisi ir to pasekmė - žvyro medžiaga smulkėja. Tą rodo atlikti žvyro, paimto iš įvairiausių šalies vietose esančių žvyrkelių ruožų, skeletingumo tyrimai. Iš 1.5 pav. pateiktos histogramos apie žvyrkelių dangos žvyro skeletingumą ir skirsnio funkcijos (1.6 pav.) matyti, kad žvyrkelių dangose skeletingumas dėl nevienodo dangų dėvėjimosi įvairiuose regionuose yra sumažėjęs ir vidutiniškai sudaro 24,6 – 37 %. Smulkmės žvyro dangoje, lyginant su pradine medžiaga, padidėja, tačiau dažniausiai neviršija 6 % [11].

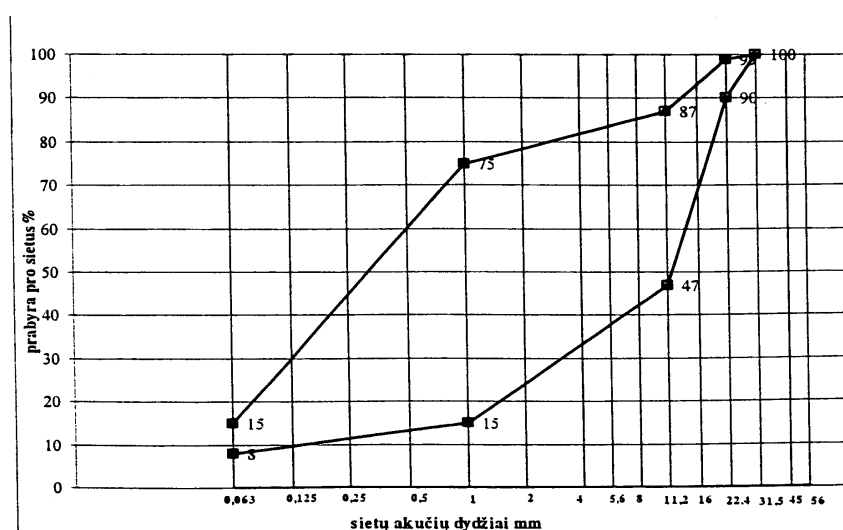
Kaip matyti, tik apie 7 % žvyrkelių tenkina reikalavimus dangai pagal smulkmės kiekį. Didžioji žvyro dangos dėvėjimosi medžiagos dalis smulkmės pavidale patenka už kelio ribų, teršia aplinką. Dėl mažo smulkmės kiekio žvyro dangoje blogėja jų lygumas, intensyvėja dėvėjimosi procesas.

Žvyras, esantis dangoje, pagal savo granulimetrinę sudėtį turi atitikti reikalavimus.

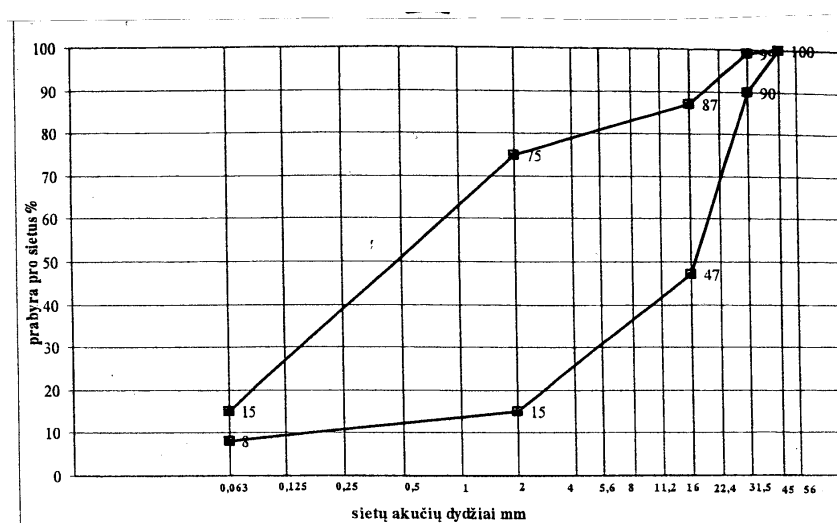
Pagal biriųjų mišinių ir gruntų naudojimo laikinas taisykles, žvyro dangos sluoksniams galima naudoti 0/11, o taip pat 0/16, 0/22 ir 0/32 frakcijų mišinius (2.2, 2.3 ir 2.4 pav.) ir todėl turi būti reglamentuojama žvyro, esančio dangoje granulimetrinė sudėtis.



2.2 pav. Reikalavimai biriajam mišiniui 0/16 žvyro dangos sluoksniams be rišiklių



2.3 pav. Reikalavimai biriajam mišiniui 0/22 žvyro dangos sluoksniams be rišiklių



2.4 pav. Reikalavimai biriajam mišiniui 0/32 žvyro dangos sluoksniams be rišiklių

2.3. Dulkėjimą mažinančių priemonių parinkimo pagrindai ir jų poreikis

Dulkių surišimas atliekamas dėl:

- a) techninių priežasčių;
- b) ekonominių priežasčių;
- c) sveikatos.

Techninė priežastis yra paremta tuo, kad gerai surištas paviršius yra daug lygesnis ir tvirtesnis. Jis taip pat pasižymi geromis frikcinėmis savybėmis ir didesniu saugumu transportui, nei tas paviršius, kuris nėra apdirbtas dulkėtumą mažinančiomis priemonėmis. Taip pat padidinamas transporto srautas.

Ekonominė priežastis yra paremta tuo, kad dulkės yra pačios smulkiausios dalelės viršutiniame sluoksnyje. Jei jos yra nupučiamos nuo paviršiaus, jis tampa sunkiau surišamas ir reikalauja daugiau išlaidų priežiūrai.

Sveikatos priežastis yra ta, kad dulkės sukelia nemalonią ir nesveiką aplinką tiek žmonėms keliaujantiems dulkėtais keliais, tiek žmonėms gyvenantiems šalia jų.

Žvyrkelių darbui ir naudojimo tinkamumui užtikrinti, eismo sąlygoms pagerinti, eismo saugumui padidinti ir aplinkos taršai sumažinti tikslinga viršutinį (profiluojamą) žvyro dangos sluoksnį apdoroti dulkėjimą mažinančiais reagentais.

Pasaulyje žvyrkelių dangų dulkėjimo mažinimo darbams naudojama gana daug ir įvairios rūšies medžiagų, gaminamų ir tiekiamų kelių priežiūros organizacijoms tirpalų, emulsijų pavidale ar kietame būvyje. Šios medžiagos turi tenkinti sekančius reikalavimus:

- jų panaudojimas turi būti suderintas su gamtosauginėmis organizacijomis. Kadangi šios medžiagos naudojamos betarpiškai aplinkoje, pirmiausia reikalaujama, kad jos nebūtų kenksmingos. Paprastai tiekiant šias medžiagas reikalaujama duoti išsamią medžiagos cheminę charakteristiką, duomenis apie kenksmingą poveikį žmogaus organizmui ir individualios

apsaugos priemonės, duomenis apie leidžiamą aplinkos teršimą, reikalavimus įpakavimui ir sandėliavimui;

- jos turi būti nesunkiai paruošiamos, lengvai įterpiamos, panaudojant turimą kelių priežiūros techniką (nenaudojant specialios įrangos);
- šiomis medžiagomis apdorotos dangos priežiūra neturi tapti sudėtingesne;
- jos turi užtikrinti dulkių sulaikymą reikalingame lygyje;
- jos turi pagerinti eismo sąlygas;
- užtikrinti gyventojams, gyvenantiems kelio apsaugos zonoje, reikiamą gyvenimo kokybę (šiuo atveju ekonominis atsipirkimas gali būti neskaičiuojamas);
- šias priemones taikant platesniu mastu, jų panaudojimas turi ekonomiškai atsipirkti.

Surišančiosios medžiagos panaudojimas ir žvyro frakcijos būklė vaidina didžiausią vaidmenį tame, kaip gerai kelio paviršius bus surištas. Yra trys pagrindiniai faktoriai įtakojantys surišimo kokybę:

- drėgmės kiekis žvyro frakcijoje;
- kelio paviršiaus kietumas;
- surišančiosios medžiagos kiekis.

Amerikiečių mokslininkai B. Lanton ir R. K. Williamson nurodo, kad pagrindinės dulkėjimo mažinimui skirtų medžiagų savybės yra jų skvarbumas, garavimas, tirpumas, atsparumas vandens poveikiui ir senėjimui, apdorotos medžiagos grūdelių surišimo galimumas. Akcentuojama, kad technologiniu požiūriu labai svarbi skvarbumo savybė, t.y. dulkėjimui mažinti naudojamos medžiagos gebėjimas pakankamai greitai prasiskverbti gilyn į apdorojamos mineralinės medžiagos gylį. Tokia savybė pasižymi kalcio lignosulfonato tirpalas. Straipsnio autoriai nurodo, kad skvarbumas šioms medžiagoms turi būti ne mažesnis kaip 0,001 cm/s [23]. Kartu pažymima, kad apdorojimo efektyvumui turi įtakos išpilto skiedinio garavimo greitis.

Tirpumo charakteristika irgi yra svarbi pasirenkant dulkėjimui mažinti medžiagą, nes geras tirpumas palengvina medžiagos įterpimą į dangą. Dulkėjimui mažinti panaudoto reagento mažas tirpumas vandenyje padidina jo veikimo trukmę, sulaiko nuo išplovimo, mažiau teršia aplinką. Svarbu, kad naudojama dulkėjimui medžiaga surištų smulkiąsias žvyro dangos dėvėjimosi daleles, pagerintų dangos paviršiaus lygumą ir tuo sumažintų dėvėjimąsi sezono metu.

Dulkėjimo mažinimo medžiagų poreikis per sezoną nustatomas kiekvienu konkrečiu atveju, atsižvelgiant į žvyro medžiagos granulimetrinę sudėtį, eismo intensyvumą ir jo sudėtį, klimato sąlygas. Šis poreikis apskaičiuojamas pagal formulę:

$$DMM = k(g + N_K g_K) \times bL \quad (2.5)$$

čia: DMM – reagento žvyro dangos dulkėjimui mažinti poreikis per sezoną, kg(l)/m²;

k – atsargos koeficientas (priimama k = 1,1);

g – reagento, skirto žvyrkelių dulkėjimui mažinti, pirmojo įterpimo norma 1 m², kg (l);

g_K – reagento norma 1 m² pakartotinai apdorojamo žvyro dangos paviršiaus plotui (g_K = 0,5g), kg(l);

b – važiuojamosios dalies plotis, kuriame įterpiamas dulkėjimui mažinti reagentas, m;

N_K – kartotinių žvyro dangos apdorojimų reagentais skaičius per sezoną (N_K = N – 1), vnt.;

N – žvyro dangos apdorojimo reagentais per sezoną skaičius;

b – važiuojamosios dalies plotis, kuriame įterpiamas dulkėjimo mažinimo reagentas, m;

L – kelio ruožo, kuriam skaičiuojamas reagento poreikis ilgis, m.

Kiek kartų dulkėjimo mažinimo reagentais turi būti apdorojama žvyro danga, priklauso nuo šilto periodo, kai kelyje susidaro dulkės, trukmės, lietingų dienų skaičiaus ir reagento veikimo, mažinant dulkėjimą, trukmės:

$$N = \frac{T_{\text{š}} - T_{\text{L}}}{T_{\text{V}}} \quad (2.6)$$

čia: $T_{\text{š}}$ – šilto periodo, kurio metu susidaro dulkės žvyrkeliuose, dienų skaičius, dienos (priimama vidutiniškai 120);

T_{L} – lietingų dienų skaičius vietovėje šilto periodo metu, priimamas pagal daugiamečius arba praėjusiųjų metų lietingų dienų skaičių, nustatytą vietovei meteorologinėse stotyse, dienos;

T_{V} – dulkejimui mažinti reagento efektyvaus veikimo trukmė, dienos.

Išsivysčiusiose valstybėse bent kiek intensyvesnio eismo keliuose įrengiamos įvairaus tipo kietos dangos. Žvyrkeliai arba skaldos plentai yra paplitę kaip žemės ūkio, miškų ir kitokio riboto naudojimo vietiniai keliai. Palygint daug jų yra Skandinavijos šalyse. Šiose šalyse sukaupta nemaža patirtis apdorojant nerišlius dangų paviršius dulkejimą mažinančiais priedais. Taip siekiama pagerinti eismo sąlygas, prailginti dangų tarnavimo laiką ir apsaugoti šalia kelio gyvenančius žmones bei teritorijas nuo užteršimo dulkėmis. Visos dulkejimą mažinančios priemonės yra gana brangios ir reikalauja didelių darbo sąnaudų. Paprastai jos taikomos ribotai, t.y. ten, kur labiausiai reikalinga: kelių ruožuose per gyvenvietes, saugomas teritorijas, tam tikrų renginių metu, išvežant didesnius krovinių kiekius, išaugus eismo intensyvumui, kol dar neįrengta asfalto danga ir panašiai.

Lietuvoje, dėl labai riboto finansavimo iki šiol dulkejimo mažinimo priemonės beveik netaikytos. Tik 1998 metais buvo pabandyta apdoroti žvyrkelius chloridų (NaCl ir CaCl_2) tirpalais. Prieita išvados, kad NaCl poveikis yra labai trumpalaikis, o CaCl_2 yra per brangus ir tolesnių didesnės apimties darbų dėl lėšų stokos atsisakyta. Dulkejimą mažinančios priemonės

atskiruose kelių ruožuose dar buvo panaudotos eismo sąlygoms apylankose pagerinti, taip pat grunto karjeruose.

Pasaulinėje praktikoje žvyrkelių dulkėjimo mažinimo tikslams plačiausiai naudojamos higroskopiškos druskos, bituminės emulsijos ir kalcio lignosulfonatas.

Dulkėjimo mažinimo reagentai veikia skirtingai: kalcio chloridas yra labai higroskopiškas – jis pritraukia iš oro drėgmę ir sudrėkina žvyro daleles, dėl to žvyras geriau susiplūkia. Didžiausią reikšmę medžiagos rišlumui turi smulkios dalelės, todėl apdorojama žvyro danga turi būti reikiamos sudėties ir turėti pakankamai smulkių dalelių. Bituminė emulsija ir kalcio lignosulfonatas apvelka ir suriša mineralines daleles. Reagentų sumaišymui su žvyro medžiagomis gali būti naudojami įvairūs būdai: sumaišymas mobilioje maišyklėje, sumaišymas kelyje freza ir sumaišymas kelyje autogreideriu.

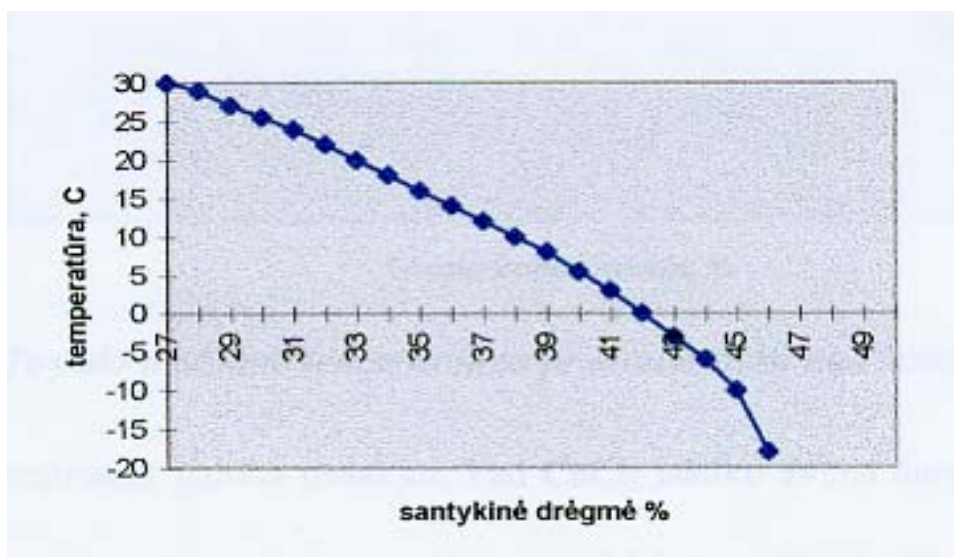
Norint pasiekti reikiamą rezultatą reagentai įterpiami ne iš karto, o proporcijomis:

- kalcio chloridas įterpiamas kasmet du kartus – pavasarį ir vasarą (pagal poreikį, kai danga pradeda dulkėti);
- bituminė emulsija pirmaisiais metais įterpiama du kartus, o po to dar du arba tris metus kasmet įterpiama vieną kartą;
- kalcio lignosulfonatas pirmaisiais metais įterpiamas du kartus, po to kasmet, priklausomai nuo oro sąlygų, įterpimas kartojamas palaipsniui mažinant reagento normą.

2.3.1. Higroskopiškosios druskos ir jų savybės

Paprasčiausios, dažniausiai efektyviausios naudojamos priemonės žvyrkelių dangų dulkėjimui mažinti yra sugeriančios iš oro drėgmę esant net ir žemam santykinio drėgnio dydžiui higroskopiškos kalcio chlorido druskos (CaCl_2). Dėl gerų higroskopiškumo savybių jis žvyro

dangose sulaiko drėgmę net ir ilgiau trunkančios sausros laikotarpiu, nes sugeba absorbuoti drėgmę iš aplinkos esant labai mažam santykiniam oro drėgniui. CaCl_2 +25°C temperatūroje absorbuoja ore esančius garus ir visiškai ištirpsta, kai jo santykinis drėgnis yra didesnis kaip 30 %. Kai oro temperatūra +10°C absorbcijos ir CaCl_2 tirpstanumo procesas vyksta esant didesniai kaip 38 % oro santykiniam drėgniui (2.5 pav.) [24].



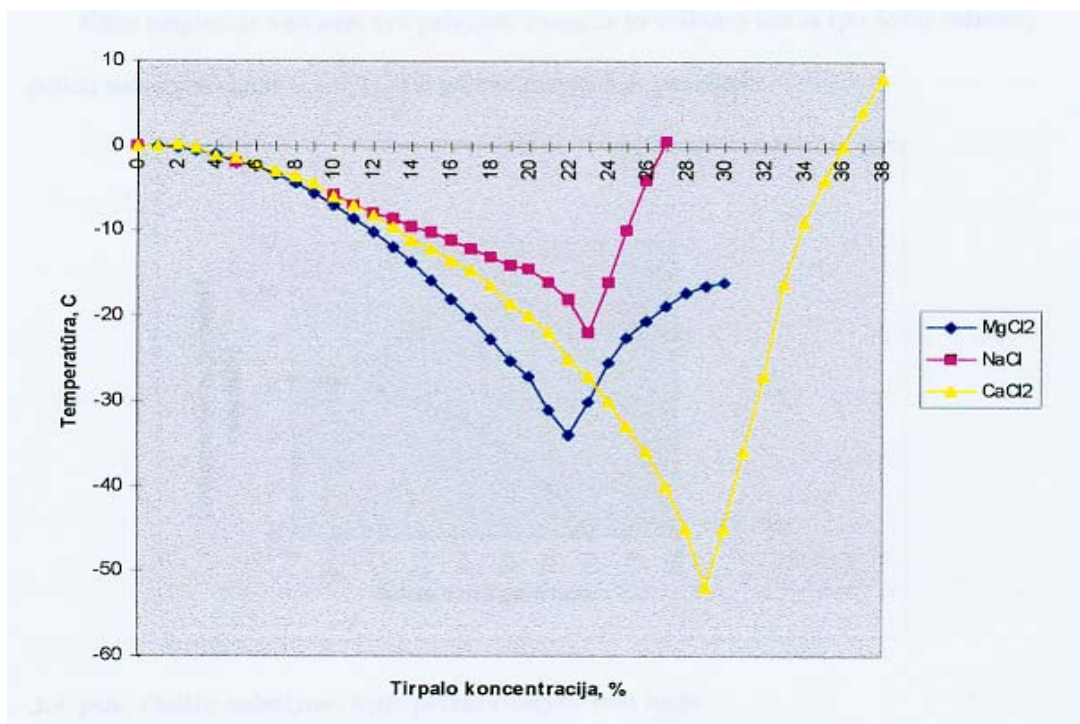
2.5 pav. Žemiausios temperatūros ir didžiausio oro santykinis drėgnis, prie kurių kalcio chloridas absorbuoja ore esančius garus ir ištirpsta

Absorbuoti iš oro vandens garai žvyro dangoje, apdorotoje kalcio chloridu, kondensuojasi, drėkina ją. Žvyro dangoje sudrėkusios smulkiosios dalelės didina tūrį, mažina žvyro dangos poringumą, įgauna rišamųjų savybių ir suriša mineralines daleles, stabilizuoja dangą, neišdulka. Žvyro dangos dėvėjimosi procese atsiradusios smulkios dalelės taip pat greitai sudrėksta ir beveik nepadidina dulkelėjimo. Kalcio chloridas, įterptas į profiliuojamą žvyro dangos sluoksnį, taip pat atlieka stabilizuojamosios priemonės, neleidžiančios atsirasti dangos paviršiuje palaidai medžiagai, vaidmenį. CaCl_2 yra efektyvus esant plačiam aplinkos temperatūros diapazonui, santykiniam oro drėgniui ir eismo intensyvumui.

Kalcio chlorido, naudojamo žvyro dangų dulkelėjimui mažinti, yra dvi rūšys: pirmoji, kai granulėse kalcio chlorido yra 77 % ir antroji, kai šios druskos granulėse yra ne mažiau kaip

94 %. Kalcio chlorido druska privalo atitikti nustatytus reikalavimus: druskoje dalelių, stambesnių už 5 mm neturi būti daugiau kaip 5 %. Kartu turi galioti sąlyga, kad dalelių, stambesnių nei 5 mm ir smulkesnių nei 0,16 mm, kartu paėmus taip pat nebus daugiau kaip 5 %. Be to, vandenyje netirpių medžiagų neturi būti daugiau kaip 3 % [24].

Kalcio chloridu apdorota žvyro danga ilgiau būna neišalusi, nes susidaręs druskos tirpalas žemina rasos tašką, o tai mažina šalčio poveikį dangai (2.6 pav.).



2.6 pav. Hidroskopiškų druskų tirpalo užšalimo temperatūros priklausomybė nuo koncentracijos

Iš 2.6 pav. matyti, kad kalcio chlorido 29 % koncentracijos tirpalo rasos taškas yra labai žemas ir siekia - 51°C. Dulkėjimui mažinti naudojamo natrio chlorido 20 % koncentracijos užšalimo temperatūra yra apie - 13°C, o kalcio chlorido – apie - 18°C.

Natrio chlorido druskos poveikis dulkėjimui mažinti yra trumpalaikis, o jo naudojimas kaip dulkėjimui mažinti priemonė yra mažiausiai efektyvi dėl palyginti mažo higroskopiškumo. Natrio chloridas +25°C temperatūroje pradeda absorbuoti vandenį, kai santykinis oro drėgnis didesnis už 76 %. Esant mažesniai santykiniai oro drėgnei natrio chloridas beveik netrukdo vandeniui garuoti, todėl sumažėja smulkiųjų dalelių rišlumas ir dangos paviršiuje atsiranda

palaidų žvyro grūdelių, važiuojant automobiliams padidėja dulkelėjimas. Be to, natrio chloridas daugiau už kitas druskas neigiamai veikia augmeniją, teršia gruntinius vandenius [24]. Dėl šių priežasčių natrio chloridas žvyrkelių dulkelėjimui mažinti naudojamas retai.

Žvyro dangų dulkelėjimo mažinimui gali būti naudojamas CaCl_2 ir NaCl mišinys. Kalcio chloridas sulaiko dulkes, o natrio chloridas geriau stabilizuoja žvyrą. Panaudojus kalcio chlorido ir natrio chlorido paruoštą santykiu 4:1 mišinį dulkelėjimas padidėja apie 5 %, o kaina sumažėja apie 20 % lyginant su tuo, kai būtų naudojamas vien CaCl_2 . Druskų mišinių naudojimo efektyvumas dar nėra pakankamai ištirtas [11].

Heksahidratinio magnio chlorido ($\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) poveikis yra panašus kaip ir kalcio chlorido, bet hidroskopiškumas truputį mažesnis. Šis reagentas padeda absorbuoti vandens garus iš aplinkos esant 32 % santykiniam oro drėgniui (+25°C temperatūroje). Norint gauti vienodą dulkelėjimo mažinimo efektą $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ reikia sunaudoti apie 18 % daugiau negu CaCl_2 . Heksahidratinis magnio chloridas yra efektyvus cheminis stabilizatorius, kurį siūloma naudoti žvyrkelių, esančių sauso ir pusiau sauso klimato zonose stabilizavimui. Šio cheminio stabilizatoriaus efektyvumui patvirtinti būtina vykdyti tyrimus kelerius metus [25].

2.3.2. Bituminės emulsijos ir jų naudojimo ypatumai žvyrkelių dulkelėjimui mažinti

Privalumu laikoma emulsijų rišlumo kitimo savybė, kuri taikoma žvyrkelių dulkelėjimo mažinimo tikslams. Bituminės emulsijos turi būti gana skystos, maišomos su išpurento žvyro dangos sluoksniu turi įgauti rišamųjų savybių paskleidus bei sutankinus sumaišytą mišinį.

Žvyrkelių dulkelėjimo mažinimo tikslams labiausiai tinkamos perpus mažesnės koncentracijos negu paviršiui apdoroti naudojamos vidutiniu greičiu arba lėtai susiskaidančios katijoninės bituminės emulsijos [11].

Žvyrkelių dangos dulkėjimo sumažėjimas priklauso nuo žvyro dangos mineralinių dalelių padengimo bitumu vienodumo. Bitumu padengtos mineralinės dalelės vandeniui yra atsparios, tačiau dėl nedidelio bitumo kiekio jų tarpusavio ryšiai būna silpni.

Bituminėmis emulsijomis apdorojant išpurentą žvyro dangos sluoksnį ir vėliau formuojant sluoksnio struktūrą tankinimo būdu sudaromas atsparesnis dėvėjimuisi ir dulkėjimui žvyro dangos sluoksnis. Eksploatacijos metu keičiantis drėkinimo ir džiovinimo periodams vyksta sudėtingi ir įvairūs adsorbciniai procesai, mažinantys bitumu padengtų paviršių atsparumą vandens poveikiui, dėvėjimuisi ir didinantys dulkėjimą. Žvyrkelių atsparumui dulkėjimui atkurti reikia pakartotinai naudoti apie pusę naudotos normos bitumo.

Naudojant bitumines emulsijas labai svarbi jų sumaišymo su mineralinėmis medžiagomis kokybė. Siekiant emulsijas sumaišyti vienodai, būtina mišinį maišyti tol, kol mišinys neįgaus vienodos spalvos. Žvyrkelių dulkėjimui mažinti naudojamos vidutiniu greičiu arba lėtai susiskaidančios katijoninės bituminės emulsijos (EKV 65, EKV 60 arba EKL 65, EKL 60), atitinkančios LST 1448:1996 reikalavimus [26].

2.3.3. Kalcio lignosulfonato naudojimo ypatumai žvyrkelių dulkėjimui mažinti

Kalcio lignosulfonatas – tai natūrali rudos spalvos medžiaga, paruošiama celiuliozės gamybos įmonėse. Kalcio lignosulfonatas gali būti tiekiamas skystas ir milteliais. Jis žmonių sveikatai nekenksmingas, nenuodingas, nekenkia, jei pakliūna ant odos, tačiau patekus į akis – jas būtina plauti vandeniu. Patekęs į vandenį kalcio lignosulfonatas pakeičia jo skonį, tačiau dėl to vanduo netampa kenksmingas sveikatai. Kalcio lignosulfonatas dėl savo gamtinės kilmės aplinkosaugos požiūriu yra nekenksmingas.

Jei yra galimybė dangos apdorojimas naudojant kalcio lignosulfonatą turėtų būti atliekamas kol kelio paviršius yra drėgnas ir netapo dulkėtas. Paviršiaus apdorojimas gali būti

atliekamas ir esant sausai ir dulkėtai dangai, tačiau tada reikės naudoti vandenį paruošimo stadijoje. Jei paviršius nėra pilnai išdžiūvęs, apatinis sluoksnis irgi turėtų būti drėgnas. Kalcio lignosulfonatas sulėtins džiūvimą ir tuo pačiu nusidėvėjimą.

Šio apdorojimo tikslas yra sukurti tvirtą, nedulkantį ir atsparų paviršių, kuris būtų lygus, turėtų gerą sukibimą ir būtų saugesnis. Labai sunku rekomenduoti vieną bendrą dozavimo lygį. Produkto kiekis turėtų būti parenkamas pagal kiekvieno kelio specifiką. Šioje vietoje reikia įvertinti žvyro frakciją, eismo intensyvumą, topografiją ir oro sąlygas. Norint pasiekti gerą rezultatą turėtų būti naudojama 0,2 – 0,3 kg/m² kalcio lignosulfonato. Tam, kad kalcio lignosulfonatas geriau įsiskverbtų į paviršių, pageidaujama prieš paskleidžiant ant paviršiaus jį praskiesti vandeniui.

Kelių priežiūros organizacijos, pasirinkdamos vieną ar kitą priemonę žvyrkelių dulėjimui mažinti, turi pagrįsti savo pasirinkimą. Pasirinkimas gali būti grindžiamas efektyvumu, technologinio proceso, naudojant įvairias priemones, paprastumu, taikomo metodo iš naudojamos priemonės privalumu atitinkamoje vietovėje bei laike.

Apdorojimui turi būti vartojamos vieno gamintojo mineralinės medžiagos, kurių kilmę ir kokybę būtina suderinti su užsakovu. Medžiagos turi būti sandėliuojamos ant švaraus, lygaus ir kieto pagrindo.

3. ŽVYRO DANGŲ DULKĖJIMO MAŽINIMO PRIEMONIŲ ĮGYVENDINIMO REGLAMENTAVIMAS

3.1. Kelio ruožų su žvyro danga paruošimas dulkėtumui mažinti

Kadangi žvyrkelių dulkėjimo problema siejama su neigiamu dulkių poveikiu žmonėms, augmenijai, eismo saugumui ir transportui, todėl kelių tarnybos parinkdamos ruožus, skirtus dulkėjimo mažinimo priemonėmis įgyvendinti, turi siekti didžiausio efektyvumo: dulkėjimo mažinimo priemonės naudoti gyvenvietėse, kuriose vyksta intensyvus eismas, jas taikyti kelio ruožuose, pavojinguose eismui.

Parentant kelio ruožus su žvyro danga, kuriuose būtų naudojamos dulkėjimui mažinti priemonės, siūloma laikytis tam tikros tvarkos ir naudotis taisyklėmis. Atrankai yra pasiūloma keletas atitinkamai kelių tarnybai priklausančių žvyrkelių ruožų, kurie nagrinėjami atskirai. Žvyrkelių ruožų parinkimo procesas yra skirstomas į du etapus: nagrinėjimo ir sprendimų priėmimo etapo (3.1 lentelė).

Nepatartina dulkėjimui mažinti naudoti druskų ar lignosulfonato žvyrkeliuose, kurie artimiausiais metais bus asfaltuojami, nes paruoštas apdorojimui žvyro dangos dėvimasis (profiluojamasis) sluoksnis bus netinkamas asfaltuojamo žvyrkelio pagrindui dėl pernelyg didelio smulkmės kiekio jame.

Iš apdorojimui pasirinkto kiekvieno žvyrkelio ruožo atsitiktinių vietų rekomenduojama paimti po 3 bandinius ir laboratorijoje nustatyti:

- žvyro granulimetrinę sudėtį;
- smulkmės (dalelių, smulkesnių už 0,063 mm) kiekį, %.

Smulkmės kiekis žvyro - smėlio mišinyje nustatomas pagal standartą LST 1361.4:1995 dulkių nusosdinimo būdu. Tam tikslui atliekamas bandymas užterštumui nustatyti. Smulkmės dalis mišinyje apskaičiuojama iš gautų bandymo rezultatų tokiu būdu [27, 28].

$$SM = \frac{(SMST)(SNSM)}{\bar{ZBM}} \times 100, \% \quad (3.1)$$

čia: SM – smulkmės dalis mišinyje, %;

SMST – smulkmės sluoksnio tūris po bandymo praėjus 1 ar 24 val., cm^3 ;

SNSM – sausoji nuosėdų sluoksnio 1 cm^3 masė gramais (priimama 0,6 g, kai po bandymo praeina 1 valanda ir 0,9 g – po 24 valandų);

ŽBM – mažiausia žvyro – smėlio mišinio masė, paimta bandymui atsižvelgiant į didžiausio grūdelio dydį, g.

Žvyrkeliai, kuriuose planuojami dulkėjimo mažinimo darbai, turi būti atitinkamai paruošti: sutvarkyti vandens nuleidimo grioviai ir kelio šlaitai, neleidžiant susikaupti vandeniui kelio juostos zonoje. Baigiantis išalimui žvyro dangos paviršius turi būti suprofiluojamas, suteikiant jam 3 – 4 % skersinį nuolydį.

3.1 lentelė. Žvyrkelių ruožų, skirtų dulкėjimo mažinimo darbams vykdyti, parinkimo proceso tvarka

Bendrieji duomenys apie kelio ruožus				Nagrinėjami elementai, rodikliai, charakteristikos	Elementų, rodiklių ir charakteristikų dydžiai		Elementų, rodiklių ir charakteristikų vertinimas („+“ arba „-“)	
Kelio pavadinimas ir numeris	Kelio ruožo ilgis				Matavimo vnt., vertinimas	Kiekis	Kiekvieno elemento ar jo dalies	Bendras plusų ar minusų skaičius
	nuo km.	iki km.	viso km.					
				Kelio trasos padėtis: - eismui pavojingas ruožas; - gyvenvietė; - intensyvios žemės ūkio veiklos zonoje; - kita. Transporto eismas: - bendras VMPEI; - sunkiasvorio transporto dalis. Žvyrkelio ruožo būklė: - dangos konstrukcijos atitikimas eismui pagal stiprį; - žvyro tinkamumas pagal granuliometrinę sudėtį; - žvyro tinkamumas pagal smulkmės kiekį; - vandens nuleidžiamoji sistema.	km. gyvenvietės gyv. skaičius km. km.			
					aut./parą %			
					taip (+) ne (-) taip (+) ne (-) %			
					tinkama (+) netinkama (-)			

3.2 lentelė. Medžiagų, naudojamų dulkėjimo mažinimo darbams, parinkimo proceso tvarka

Medžiagos pavadinimas	Medžiagos poreikis, kg(l)/m ²	Dulkėjimo mažinimui skirtų medžiagų savybės	Dulkėtumo mažinimo medžiagos parenkamos įvertinus šiuos elementus, rodiklius ir charakteristikas	Elementų, rodiklių ir charakteristikų dydžiai		Elementų, rodiklių ir charakteristikų vertinimas („+“ arba „-“)	
				Matavimo vnt., vertinimas	Kiekis	Kiekvieno elemento ar jo dalies	Bendras pliusų ar minusų skaičius
Kalcio chlorido druskos Kalcio lignosulfonatas Bituminės emulsijos	Nustatomas kiekvienu konkrečiu atveju, atsižvelgiant į žvyro medžiagos granulimetrinę sudėtį, eismo intensyvumą ir jo sudėtį, klimato sąlygas. <u>Medžiagos poreikis apskaičiuojamas pagal:</u> • šilto periodo trukmę (priimama vidutiniškai 120 dienų); • lietingų dienų skaičių; • reagento veikimo trukmę (dienos).	• skvarbumas (ne <0,001 cm/s); • garavimas; • tirpumas; • atsparumas vandens poveikiui; • apdorotos medžiagos grūdelių surišimo galimumas.	<u>Gamtosauginį faktorių – kenksmingumą:</u> • žmogaus organizmui; • aplinkai. <u>Eismo intensyvumą ir eismo sudėtį</u> <u>Klimatines sąlygas</u> <u>Dangos paviršiaus medžiagų savybes</u> <u>Veikimo trukmę</u> <u>Kainą (kainos indeksą)</u>				

3.3 lentelė. Medžiagų, naudojamų dulkėjimo mažinimo darbams, atitikimas reikalavimams

Reikalavimai medžiagai	Kalcio chlorido druskų rodiklių ir charakteristikų vertinimas („+“ arba „-“)	Kalcio lignosulfonato rodiklių ir charakteristikų vertinimas („+“ arba „-“)	Bituminės emulsijos rodiklių ir charakteristikų vertinimas („+“ arba „-“)
Kenksmingumas	- ¹	+	+
Skvarbumas	- ²	+	-
Higroskopiškumas	+	+	-
Tirpumas	+	+	-
Atsparumas vandens poveikiui	-	-	+
Apdorotos medžiagos grūdelių surišimo galimumas	+	++	++
Veikimo trukmė	30 - 50 dienų	30 - 50 dienų	30 - 50 dienų
Bendri vertinimo rezultatai:			
Pastaba: - Žymenys: „+“ teigiami rezultatai, „-“ neigiami. ¹ – būtina naudoti individualias apsaugos priemones. ² – lėtai skverbiasi į dangą per keletą centimetrų.			

3.2. Darbų dulkėtumui mažinti atlikimas naudojant įvairias technologijas

Pagal daugiamečius oro temperatūros stebėjimo duomenis nustatyta, kad Lietuvos teritorijoje žvyrkelių dulkėjimo mažinimo darbai gali būti atliekami ne anksčiau, kaip balandžio 10 – 16 dienomis, kadangi tik šiuo laikotarpiu paros oro vidutinė temperatūra pasiekia +5°C. Optimalus laikas dulkėjimo mažinimo darbams atlikti žvyrkelių ruožuose yra nuo balandžio mėnesio 28 dienos pietrytinėje šalies teritorijos dalyje iki gegužės mėnesio 15 dienos vakarinėje šalies teritorijos dalyje. Šiame laikotarpyje paros oro vidutinė temperatūra pasiekia +10°C.

Apdorojamų žvyrkelių dangos žvyras bet kokiomis dulkėjimą mažinančiomis medžiagomis visuomet turi būti optimalaus drėgnio, todėl žvyro dangos drėkinimas laistant vandenį beveik visada yra privalomas. Šios operacijos kai kada reikia atsisakyti dėl praėjusios staigios liūties, arba jei danga yra pakankamai drėgna. Taip atsitinka ruošiant žvyro dangos sluoksnį apdorojimui ankstyvą pavasarį.

$$W_{\text{opt}} = 2,57 + 9,23(1 - a_K), (\%) \quad (3.2)$$

čia: W_{opt} – žvyro - smėlio mišinio optimalusis drėgnis, %;

a_K – grūdelių, stambesnių už 2 mm, dalis mišinyje, vieneto dalimis.

Papildomam 1000 m² žvyro dangos drėkinimui vandens poreikis mišiniui apskaičiuojamas taip:

$$VP = 1000h_{\text{sl}} \frac{W_{\text{opt}} - W_f}{100} \gamma_{\text{zv}} = 10h_{\text{sl}} (W_{\text{opt}} - W_f) \gamma_{\text{zv}}, \text{ m}^3 \quad (3.3)$$

čia: VP – vandens poreikis 1000 m^3 žvyro dangos papildomam drėkinimui iki optimalaus drėgnio (W_{opt}), $\text{m}^3/1000 \text{ m}^2$ dangos;

h_{sl} – drėkinamo sluoksnio storis, m;

W_f – faktinis žvyro dangos drėgnis, %;

γ_{zv} – sutankinto drėgno žvyro ir smėlio mišinio tankis, t/m^3 .

Išpilamo vandens kiekio poreikis priklauso ne tik nuo žvyro dangos išdžiūvimo laipsnio ir oro temperatūros darbų vykdymo metu, bet ir nuo žvyrkelio dangos žvyro granulimetrinės sudėties, kadangi žvyro granulimetrinė sudėtis turi įtakos optimalaus drėgnio dydžiui.

3.2.1. Darbų dulkėtumui mažinti atlikimas naudojant higroskopiškas druskas

Kalcio chlorido (CaCl_2) druskos įterpimas – tai technologiškai paprasčiausias metodas. Šis metodas mažiausiai jautrus žvyro medžiagų sudėčiai ir drėgmės kiekiui dangoje darbų atlikimo metu.

Kad dulkėtumo mažinimo darbai, panaudojus CaCl_2 , būtų pakankamai efektyvūs, prieš pradedant įterpimo darbus, kelią reikia gerai sugreideriuoti. Greideriuojant profiliuojamąjį sluoksnį, reikia permaišyti ir suteikti jam reikiamą skersinį nuolydį, kad lietaus vanduo galėtų gerai nutekėti nuo dangos. Jei vanduo gersis per dangą gilyn, jis gali nutraukti ir CaCl_2 , sumažindamas jo veikimo efektyvumą.

Kalcio chloridas gali būti įterpiamas į žvyro dangą kristalų pavidalu naudojant „šlapių druskų“ paskleidimo technologiją arba tirpalo pavidale, išpurškiant paruoštą tirpalą laistymo mašina. Maksimali tirpalo koncentracija gali siekti 37 – 41 %. Laistymui naudojamo druskos tirpalo koncentracija turi būti ne mažesnė kaip 20 % [29]. Skirtingo tankio koncentracijos kalcio chlorido tirpalus galima gauti ištirpinus tam tikrą druskos kiekį vandenyje (3.4 lentelė) [24].

3.4 lentelė. Įvairaus tankio ir koncentracijos CaCl_2 tirpalas

CaCl_2 kiekis (g/l H_2O)	25	50	89	102	126	153	180	206	236	263
Tirpalo koncentracija	2,5	4,8	8,3	9,4	11,5	13,7	15,8	17,8	19,9	21,9
Tirpalo tankis prie +20°C (g/cm³)	1,02	1,04	1,06	1,08	1,10	1,12	1,14	1,16	1,18	1,20

CaCl_2 kiekis (g/l H_2O)	290	319	346	383	409	463	466	496	526	563
Tirpalo koncentracija	23,8	25,7	27,5	29,9	31,5	33,1	34,8	36,5	38,1	40,2
Tirpalo tankis prie +20°C (g/cm³)	1,22	1,24	1,26	1,28	1,30	1,32	1,34	1,36	1,38	1,40

Pagal densimetru (aerometru) išmatuotą tirpalo tankį, naudojantis 3.4 lentele, galima pakankamai tiksliai nustatyti tirpalo koncentraciją ir tirpale ištirpusių druskų kiekį.

Atliekant darbus, susijusius su CaCl_2 naudojimu, būtina naudoti individualias apsaugos priemones: guminius batus, pirštines, impregnuotus specialios paskirties drabužius ir veido apsaugos priemones. Ši druska, patekusi ant odos, gali dirginti ją, pakenkti nosies gleivinei, akims [11].

Žvyro dangos apdorojimo, naudojant kalcio chloridą, technologinio proceso etapai:

- suprofiluojama žvyro danga;
- dangos viršutinio (profiluojamojo 5 - 6 cm) sluoksnio purenimas;
- drėkinimas iki optimalaus drėgnio. Laistymo mašina, važiuodama 2 – 3 kartus per tą pačią vietą, sudrėkina žvyrą iki optimalaus drėgnio (kartu sudrėkina ir druską);
- kalcio chlorido įterpimas;
- sumaišymas ir profiliavimas. Kelių freza sumaišius išpurtą žvyro sluoksnį, greideris lengvai suprofiluoja dangos paviršių, kuris buvo sutankintas prikabinamuoju pneumatiniu volu;
- tankinimas. Tankinimas užbaigiamas volu su plieniniais ratais.

Rekomenduojamos kalcio chlorido orientacinės išbėrimo normos ir jų efektyvaus veikimo trukmė yra pateikta 3.5 lentelėje [11].

3.5 lentelė. Rekomenduojamos kalcio chlorido orientacinės išbėrimo normos ir jo efektyvaus veikimo trukmė

Reagento pavadinimas ir jo charakteristika	VMPEI, aut./parą	Orientacinė medžiagų sunaudojimo norma 1m ² žvyro dangos		Efektyvaus veikimo trukmė, dienos
		mato vnt.	kiekis	
Kalcio chloridas (77 %) miltelių (granulių) pavidale	> 200	kg	0,38	30 - 50
	100-200	kg	0,32	
	< 100	kg	0,28	

Pastabos: 1. Orientacinės kalcio chlorido išpylimo normos nurodytos pradiniam įterpimui.

2. Pakartotiniam įterpimui kalcio chlorido sunaudojama perpus mažiau.
3. Naudojant 94 % kalcio chloridą, normą reikia mažinti 1,6 karto.
4. Naudojant kalcio chloridą tirpalo pavidalu jo išpilama tiek, kad susidarytų 3.5 lentelėje nurodytas druskos kiekis granulių pavidale.
5. Pirmaisiais metais patenkinamam rezultatui pasiekti pakanka kalcio chloridą įterpti du kartus per sezoną, o vėliau (kasmet po vieną arba du kartus) atsižvelgiant į oro sąlygas, mažinant sunaudojimo normą.

Kontroliuojant druskos išpylimo kiekį žvyre apskaičiuojamas druskos kiekis gramais 1 kg žvyro. Perskaičiuojant lentelėje nurodytas sunaudojimo normas jos būtų lygios 3,3 – 3,4 gr 1 kg žvyro.

3.2.2. Darbų dulkėtumui mažinti atlikimas naudojant kalcio lignosulfonatą

Kalcio lignosulfonato įterpimas – technologiškai sudėtingiausias metodas, kadangi sudėtingas tirpalo paruošimas ir būtina optimali žvyro dangos drėgmė, kurią sunku pasiekti laistant išdžiūvusį kelią.

Kalcio lignosulfonato įterpimui naudojami šie mechanizmai:

- ❖ autogreideris;
- ❖ vandenvežė (dangos laistymui);
- ❖ lėkštinis kultivatorius;
- ❖ cisterna su išpurškimo sija;
- ❖ pneumovolas.

Reikalavimai kalcio lignosulfonato tirpalo paruošimui:

1. Į cisterną supilti vandenį apie 50 – 60 % cisternos talpos.
2. Jei nėra specialaus maišymo priemonių, reikia, kad vyktų vandens cirkuliacija.
Tam reikia išmetimo žarnos galą įkišti į pripylimo angą ir siurbliu vykdyti priverstinę vandens cirkuliaciją.
3. Lignosulfonato milteliai turi būti nedidele, vienoda srovele pilami po vandens cirkuliacine srove į 5 – 10 m³ talpyklą. Stebėti ar nesusidaro gumuliukai. Jei pastebima, kad gumuliukų yra, tolesnį skiedimą reikia nutraukti ir pakeisti maišymo – cirkuliacijos operaciją.
4. Ištirpinus reikiamą kiekį rišiklio, baigti pilti vandenį iki apskaičiuoto kiekio.
Skiedimas vyksta lengviau, kai naudojamas šiltas vanduo. Tačiau jis neturi garuoti, nes pilami milteliai gali pavirsti lipnia mase.
5. Geriausia naudoti lignosulfonato 19 % koncentracijos tirpalą (paruošiamas 25 kg rišiklio ištirpinant 100 l vandens). Pirmais metais atliekant apdorojimą reikia išpilti 1,3 – 1,5 l/m² (tai sudarytų 2,5 – 2,8 tonos kalcio lignosulfonato 1 km kelio). Sekančiais metais tirpalo išpylimo norma būtų apie 1,0 l/m² (2,0 t/km).

Lignosulfonato tirpalui paruošti reikia turėti specialią įrangą.

Žvyro dangos apdorojimo, naudojant kalcio lignosulfonata, technologinio proceso

etapai:

- apie 4 cm storio vienos eismo juostos žvyro dangos sluoksnis pjaunamas autogreideriu ir nuo kelio briaunos perstumiamas į volelį kelio viduryje, kuris vėliau paskleidžiamas visu eismo juostos pločiu, sudarant 3–4 % skersinį nuolydį;
- paskleistas žvyras drėkinamas tiek, kad įskaitant kalcio lignosulfonato tirpalo išpiltą kiekį, žvyras būtų optimalaus drėgnio;
- po tam tikros pertraukos profiliuojamas sluoksnis 4 – 6 cm gylyje išpurenamas (pvz., lėkštiniu kultivatoriumi);
- jei danga per sausa, vėl palaistoma iki optimalios drėgmės;
- cisternos su išpurškiamąja sija pagalba važiuojant pirmyn ir atgal išlaistomas kalcio lignosulfonato tirpalas lygiomis dalimis per 2 kartus. Antroji tirpalo porcija išpilama po to, kai pirmoji jau susigėrusi. Reikia įsitikinti, kad abi kelio pusės gavo pakankamai kalcio lignosulfonato, o vidurys nebuvo per smarkiai apipurkštas. Išpilant tirpalą važiavimo greitis 12 km/h. Prieš pradedant tankinti turi būti pasiekta optimali drėgmė.
- autogreiderio pagalba labai švelniai sugreideriuojamas dangos paviršius;
- žvyro dangos paviršių tankinti geriausia savaeigiu, o kai kuriuose ruožuose prikabinamuoju pneumatiniu volu (padangų protektoriai neturi būti gilūs). Volo važiavimo greitis iki 2,0 km/h, o važiavimo vieta skaičius nuo 3 iki 6 kartų.

Rekomenduojama kalcio lignosulfonato – vandens mišinį išpurkšti per du ar daugiau kartus, priklausomai nuo kelio pločio ir purkštuvo padengiamo ploto. Kalcio lignosulfonato skiedinys išpurškiamas tuo pačiu agregatu kaip ir vanduo kelių drėkinimui, tačiau šiam tikslui

gali būti naudojamas bet koks mobilus purkštuvų su skysčio talpa. Purškiama turi būti tuo pat po greideriavimo. Kartais tarp purškimo etapų yra naudojamas lengvas greideriavimas tam, kad būtų pasiektas geras medžiagų išsimašymas. Jei naudojamas didelis kiekis medžiagos ar yra labai didelis garavimas, rekomenduojama po apdorojimo ant kelio išpurkšti apie 0,5 l/m² vandens. Pakartotinam apdorojimui paprastai naudojamas labiau atskiestas mišinys (maždaug 7 – 12 %). Paprastai tokio tirpalo išpurškimas yra efektyvus naudojant 1,4 l/m².

Dėl kalcio lignosulfonato gebėjimo įsiskverbti į išpurentą drėgną žvyro dangą lignosulfonato tirpalas be papildomo mechaninio maišymo laminariu tekėjimu sudrėkina išpurentos dangos mineralines daleles, o tirpale esantis rišiklis jas suriša. Tuo kalcio lignosulfonato technologija skiriasi nuo apdorojimo kalcio chloridu.

Išpurentą ir tirpalu sudrėkintą žvyro dangos sluoksnį sutankinus, esant optimaliam drėgniui, danga tampa gana tvirta ir atsparesnė dėvėjimuisi, mažiau dulka. Kadangi išpylus kalcio lignosulfonato tirpalo nustatytą normą stabilizuojamas žvyro dangos sluoksnis nepermaišomas, todėl svarbu, kad tirpalas būtų paskleistas tolygiai. Tam tikslui naudojami laistytuvai, galintys išpilamą tirpalą dozuoti mažais kiekiais.

Pirmam metų apdorojimui kalcio lignosulfonato sunaudojimas yra 1500 – 2000 kg šios medžiagos sumaišytos su 2 dalimis vandens vienam kelio, kurio plotis 4 – 6 metrai, kilometrui. Vienam kilometrui sunaudojama apie 4 – 5 m³ tirpalo. Rekomenduojamos kalcio lignosulfonato orientacinės naudojimo normos ir jo efektyvaus veikimo trukmė pateikta 3.6 lentelėje [30].

3.6 lentelė. Rekomenduojamos kalcio lignosulfonato orientacinės sunaudojimo normos ir jo efektyvaus veikimo trukmė

Reagento pavadinimas ir jo pavidalas	VMPEI, aut./parą	Orientacinė kalcio lignosulfonato sunaudojimo norma 1m ² žvyro dangos		Efektyvaus veikimo trukmė, dienos
		mato vnt.	kiekis	
Kalcio lignosulfonato tiekiamo milteliais 19 % tirpalas (25 kg reagento miltelių 100 litrų vandens)	> 200	1	1,8	30-50
	150-200	1	1,5	
	100-150	1	1,4	
	50-100	1	1,3	
	< 50	1	1,0	

Perskaičiavus kalcio lignosulfonato kiekį gramais 1 kg žvyro rekomenduota naudoti 5,2 gr. Paprastai viena dalis kalcio lignosulfonato naudojama praskiedus dviem dalimis vandens (jei naudojama kita proporcija, yra reikalavimas, kad 1 m² tektų 0,4 - 0,6 kg koncentruoto kalcio lignosulfonato).

3.7 lentelė. Kalcio lignosulfonatas tiekiamas kaip skystis

Eismo intensyvumas/kiekis (AADT)	Kalcio lignosulfonato skiedinio litrai vienam kelio kilometrui (1 dalis kalcio lignosulfonato + 2 dalys vandens)		
	Kelio plotis, m		
	2	4	5
<50	3000	4000	5000
50 – 100	3800	5000	6300
100 – 150	4200	5600	7000
150 – 200	4500	6000	7500

3.8 lentelė. Kalcio lignosulfonatas tiekiamas kaip milteliai

Eismo intensyvumas/kiekis (AADT)	Kalcio lignosulfonato skiedinio (19 %) litrai vienam kelio kilometrui (1 pakuotė (25 kg) kalcio lignosulfonato + 100 l vandens)		
	Kelio plotis, m		
	2	4	5
<50	3000	4000	5000
50 – 100	3800	5000	6300
100 – 150	4200	5600	7000
150 - 200	4500	6000	7500

Dozavimas gali būti sumažintas kelio ruožuose esančiuose miškuose, pavėsyje ir gali būti padidintas kelio ruožuose esančiuose didelėse atvirose erdvėse.

Jei pats žvyras turi prastą susirišimą, pvz., mažiau nei 12 % frakcijos yra <0,074 mm (molis) ar daugiau kaip 25 % frakcijos dalelių dydis yra tarp 0,2 – 2 mm (smėlis), tada dozavimas turi būti padidintas apie 25 %.

Kartais pats pirmasis apdorojimas parodo gerus rezultatus viso sezono eigoje, bet kartais turi būti atliktas antras ar net trečias apdorojimas. Apdorojimo kartojimo priežastimi gali būti didelis eismo intensyvumas, prastos oro sąlygos arba netinkamas žvyro frakcijos dydžio išsidėstymas.

3.2.3. Darbų dulkėtumui mažinti atlikimas naudojant bitumines emulsijas

Bituminių emulsijų, surišančių smulkias žvyro dangų daleles įterpimas – tai mažiausiai išbandytas metodas. Šiuo metodu vykdant dulkėjimo mažinimo darbus:

- būtina naudoti didesnę emulsijos kiekį (iki 1,5 – 2,0 % liekamojo bitumo mišinyje);
- reikia užtikrinti gerą emulsijos išmaišymą su mineralinėmis medžiagomis;
- metodas jautrus žvyro medžiagų sudėčiai.

Žvyrkelių dulkėjimui mažinti naudojamos vidutiniu greičiu arba lėtai susiskaidančios katijoninės bituminės emulsijos (EKV 65, EKV 60 arba EKL 65, EKL 60, atitinkančios LST 1448:1996 pateiktus techninius reikalavimus), kurioms gaminti naudojamas skystasis bitumas V 3000 [11].

Pagaminta emulsija turi būti paruošiama naudoti ne anksčiau kaip prieš 4 - 5 valandas, atskiedžiant ją vandeniu proporcija 1:1. Bituminė emulsija naudojama, kai nusistovėjusi paros oro vidutinė temperatūra, ne žemesnė kaip +5°C.

Vykdyti žvyro dangų apdorojimą katijoninėmis bituminėmis emulsijomis, atlikus pasiruošimo operacijas, rekomenduojama esant sausam ir šiltam orui. Oro temperatūra turi būti ne žemesnė kaip +10°C.

Žvyro dangų apdorojimo bitumine emulsija darbai vykdomi vienoje eismo juostoje, ir leidžiama važiuoti transporto priemonėmis kita juosta.

Darbų vykdymo dieną apie 4 cm storio vienos eismo juostos žvyro dangos sluoksnis pjaunamas autogreideriu ir perstumiamas nuo kelio briaunos į volelį kelio viduryje. Volelyje esantis žvyras kelio viduryje paskleidžiamas truputį didesniu plotiu už išpurškimo sijos plotį ir papildomai drėkinamas tiek, kad išpylus bituminę emulsiją, žvyras būtų optimalaus drėgnio.

Į paskleistą žvyrą pirmaisiais metais išpilama 2 l/m² naudoti skirtos bituminės emulsijos, o vėlesniais metais, apdorojant tą patį ruožą, ši norma mažinama perpus. Jeigu volelyje

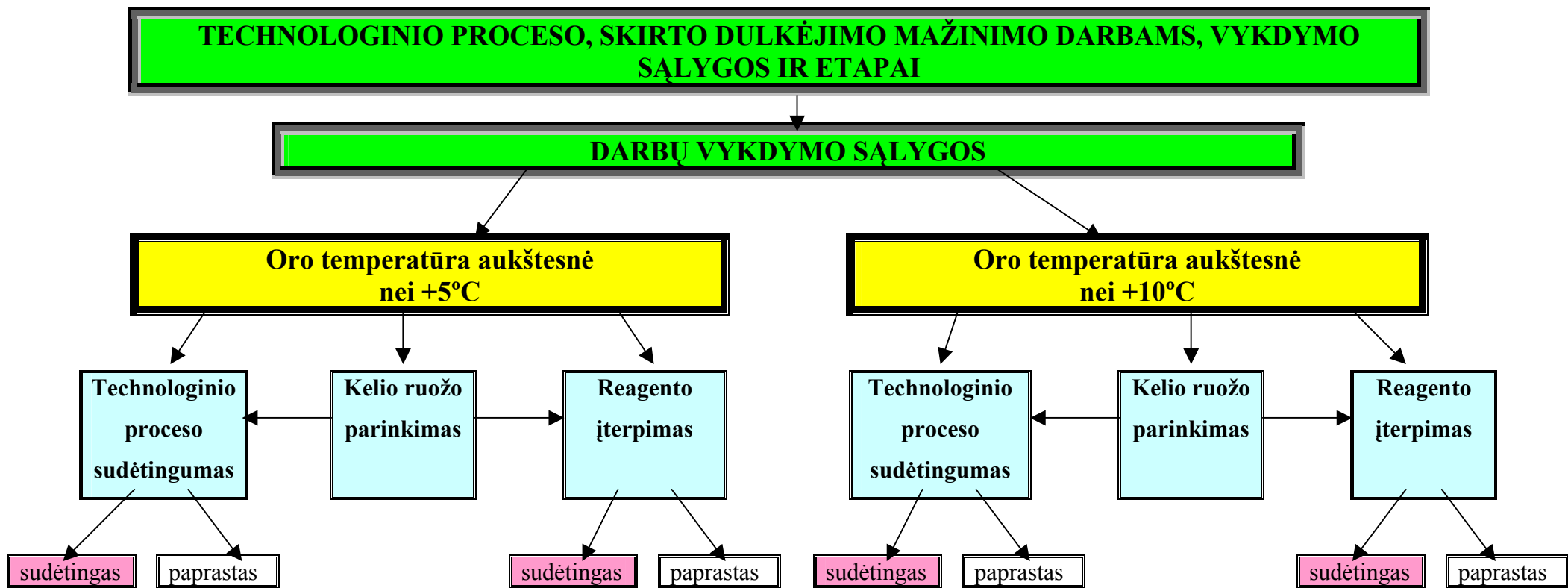
sukaupiamas žvyras iš didesnio kaip 4 cm storio dangos sluoksnio, tai išpilamos bituminės emulsijos kiekis turi būti padidinamas proporcingai padidėjusiam sluoksnio storiui.

Labai atsakinga ir svarbi yra išpiltos bituminės emulsijos sumaišymo su žvyru, esančiu volelyje, technologinė operacija. Žvyras su išpilta emulsija maišomas kelių frezomis, autogreideriu su freziniais peiliais tol, kol mišinys pasidarys vienalytis ir paskleidžiamas eismo juostoje, sudarant 3 – 4 % dangos skersinį nuolydį.

Paskleistas žvyras tankinamas pneumatiniu volu. Kartais apdoroto ir paskleisto žvyro sluoksniui reikia panaudoti volus su lygiais ratais. Naudojant volą su metaliniais ratais neišvengiama didesnio žvyro grūdelių sutrupinimo ir žvyro smulkinimo. Volai su pneumoratais tuo požiūriu yra geresni, nes jie mažiau smulkina žvyro grūdelius. Volo važiavimo greitis – iki 2,0 km/h, o važiavimo viena vieta skaičius gali svyruoti nuo 3 iki 6 kartų. Žvyro dangos sluoksnis galutinai sutankinamas, kai volas važiuoja viena vieta iki 5 km/h, o pabaigoje – iki 15 km/h. Prireikus, tankinama apdorota bitumine emulsija, danga gali būti papildomai drėkinama [11].

Pirmosiomis dienomis žvyro danga su įterpta bitumine emulsija yra kruopščiai prižiūrima ir, jeigu reikia, taisomi nelygumai, skersinis profilis.

Tokios pačios operacijos yra atliekamos ir priešingoje žvyrkelio eismo juostoje.



3.1 pav. Technologinio proceso, skirto dulkių mažinimo darbams, vykdymo sąlygos ir etapai

3.9 lentelė. Technologinių procesų etapų, skirtų dulkelėjimo mažinimo darbams vykdyti kalcio chlorido druskomis, vertinimo rezultatai

Technologinio proceso etapai	Technologinio proceso etapų vertinimas („+“ arba „-“)
<u>Reikalinga oro temperatūra, vykdant darbus</u>	+5 °C
<u>Žvyro dangos suprofilavimas</u>	- ¹
<u>Dangos viršutinio sluoksnio purenimas</u>	+
<u>Drėkinimas iki optimalaus drėgčio</u>	+
<u>Kalcio chlorido įterpimas</u>	+
<u>Sumaišymas</u>	+
<u>Dangos paviršiaus profiliavimas</u>	+
<u>Sutankinimas</u>	+
Bendras pliusų ar minusų skaičius	
Pastaba: - Žymenys: „+“ technologinis procesas atliekamas lengvai, „-“ sudėtingai. ¹ – kelią reikia gerai sugreideriuoti. Greideriuojant profiliuojamąjį sluoksnėlį, reikia permaišyti ir suteikti jam gerą skersinį nuolydį.	

3.10 lentelė. Technologinių procesų etapų, skirtų dulkejimo mažinimo darbams vykdyti kalcio lignosulfonatu, vertinimo rezultatai

Technologinio proceso etapai	Technologinio proceso etapų vertinimas („+“ arba „-“)
<u>Reikalinga oro temperatūra, vykdant darbus</u>	+5 °C
<u>Vienos eismo juostos žvyro dangos sluoksnio pjovimas</u>	+
<u>Sluoksnio perstūmimas nuo kelio briaunos į volelį kelio viduryje</u>	+
<u>Sluoksnio paskleidimas visu eismo juostos pločiu</u>	+
<u>Paskleisto žvyro drėkinimas iki optimalaus drėgnio</u>	- ¹
<u>Žvyro dangos suprofilavimas</u>	+
<u>Dangos viršutinio sluoksnio purenimas</u>	+
<u>Drėkinimas iki optimalaus drėgnio (jei danga sausa)</u>	-
<u>Tirpalo paruošimas</u>	-
<u>Tirpalo išpylimas</u>	+
<u>Sugreideriuojamas dangos paviršius</u>	+
<u>Sutankinimas</u>	+
Bendras pliusų ar minusų skaičius	
Pastaba: - Žymenys: „+“ technologinis procesas atliekamas lengvai, „-“ sudėtingai. ¹ – sudėtinga pasiekti optimalią žvyro dangos drėgmę.	

3.11 lentelė. Technologinių procesų etapų, skirtų dulkių mažinimo darbams vykdyti bituminėmis emulsijomis, vertinimo rezultatai

Technologinio proceso etapai	Technologinių procesų vertinimas („+“ arba „-“)
<u>Reikalinga oro temperatūra, vykdant darbus</u>	+10 °C
<u>Vienos eismo juostos žvyro dangos sluoksnio pjovimas</u>	+
<u>Sluoksnio perstūmimas nuo kelio briaunos į volelį kelio viduryje</u>	+
<u>Volelyje esančio žvyro paskleidimas kelio viduryje</u>	+
<u>Drėkinimas iki optimalaus drėgnio</u>	+
<u>Bituminės emulsijos paruošimas</u>	- ¹
<u>I paskleistą žvyrą išpilama bituminė emulsija</u>	+
<u>Išpiltos bituminės emulsijos sumaišymas su žvyru, esančiu volelyje</u>	-
<u>Sutankinimas</u>	-
Bendras pliusų ar minusų skaičius	
Pastaba: - Žymenys: „+“ technologinis procesas atliekamas lengvai, „-“ sudėtingai. ¹ – pagaminta emulsija turi būti paruošiama naudoti ne anksčiau kaip prieš 4 – 5 valandas.	

KELIŲ SU ŽVYRO DANGA DULKĖJIMO MAŽINIMO REGLAMENTAVIMAS

CHARAKTERISTIKOS

Eismui pavojingas ruožas

Gyvenvietė

Intensyvios žemės ūkio veiklos

Bendras vidutinis metinis paros eismo intensyvumas (VMPEI, aut./parą)

Sunkiasvorio transporto dalis

Dangos konstrukcijos atitikimas eismui pagal stiprį

$N < 50$ aut./parą
 $E = 65$ MPa

$N = 150 \dots 250$ aut./parą
 $E = 100$ MPa

$N = 51 \dots 150$ aut./parą
 $E = 80$ MPa

$N > 251$ aut./parą
 $E = 120$ MPa

Žvyro tinkamumas pagal granulimetrinę sudėtį

Žvyrkelio ruožo būklė

Dalelių, išsirančių pro sietus su akutėmis, vidutinis kiekis

Vidutinis kvadratinis nuokrypis

Variacijos koeficientas

Žvyro tinkamumas pagal smulkmės kiekį (8 % - 15 %)

Vandens nuleidžiamoji sistema

Dangos paviršiaus medžiagų savybės

Oro temperatūra $> +5^{\circ}\text{C}$

Oro temperatūra $> +10^{\circ}\text{C}$

Poveikis gamtai ir žmonėms

Klimatas

Eismo intensyvumas ir sudėtis

Veikimo trukmė (30 - 50 dienų)

Kaina (kainos indeksas)

Skersinis nuolydis

Žvyro dangos medžiagos granulimetrinė sudėtis

Žvyro dangos medžiagos su reagentais drėgnis

Sunaudotų reagentų žvyrkelio dulkėjimui mažinti kiekis

Kelio plotis

PAGRINDINIAI REGLAMENTAVIMO RODIKLIAI

Žvyrkelių ruožų, skirtų dulkėjimo mažinimo darbams vykdyti, parinkimas

Dulkėjimo mažinimo medžiagų parinkimo kriterijai

Atliktų dulkėtumo mažinimo darbų savikontrolė

INFORMACIJOS GAVIMO BŪDAI IR ŠALTINIAI

Kelių priežiūros organizacijos

Lietuvos automobilių kelių direkcija prie Susisiekimo ministerijos (LAKD)

Regioninės valstybinės įmonės

Regioninių įmonių kelių tarnybos

Žvyro granulimetrinė sudėtis bei smulkmės (dalelių, smulkesnių už 0.063 mm) kiekis nustatomi laboratoriniais tyrimais

Žvyro smėlio mišiniai turi atitikti nurodytiems „Techninių reikalavimų reglamente STR 2.06.03:2001. Automobilių keliai“, „Statybos rekomendacijose R 35-01. Automobilių kelių asfaltbetonio ir žvyro dangos“ ir „Biriųjų mišinių ir gruntų naudojimo laikinosiose taisyklėse LT-BM-05“ reikalavimams

Oro temperatūra nustatoma pagal daugiamečius oro temperatūros stebėjimo duomenis

Pagal normas nustatomi reikalavimai medžiagoms ir mišiniams, naudojamiems pasirinktos dangos konstrukcijos sluoksniams įrengti

Organizacija, vykdanči dulkėjimo mažinimo darbus, atlieka kontrolinius bandymus

3.3. Atliktų darbų dulkėtumui mažinti kokybės kontrolė

Svarbūs veiksniai, lemiantys gerą atliekamų darbų kokybę, yra:

- **drėgmės kiekis žvyro dangoje;**
- **kelio paviršiaus kietumas;**
- **rišamosios medžiagos kiekis.**

Dulkėtumo mažinimą galima įgyvendinti sutvarkius kelių sankasą ir vandens nuleidimą, įrengus optimalios granulometrijos profiliuojamą sluoksnį didesnio eismo intensyvumo keliuose, kur nėra intensyvaus sunkiasvorio transporto eismo.

Drėgmės kiekis žvyro dangoje

Geriausias rezultatas gaunamas tuomet, kai rišiklis paskleidžiamas ant žvyro dangos, kurios drėgnumas yra labai artimas optimaliam. Esant tokiam drėgmės kiekiui gaunamas didžiausias frakcijų sukibimas su dulkių rišikliu [30].

Jei žvyro danga sausa, tolygiai dulkių rišiklį paskleisti yra sunku, kadangi dalis naudojamo vandens bus skiriama pačių dalelių drėkinimui. Jei žvyro danga yra per drėgna, kelio paviršius bus purvinas ir, prieš išdžiūnant, nebus pasiekta stabilizacija. Šiuo atveju labai nesunkiai išvažinėjamos vėžės ir atsiranda kitos silpnosios vietos dangos paviršiuje.

Kelio paviršiaus būklė

Jei surišėjo paskleidimo metu kelio paviršius yra tankus, surišėjas neprasiskverbs į jo vidų. Jis tiesiog padengs paviršių plona plėvele. Tai neigiamai atsilieps tarnavimo periodui, transporto priemonės lengviau nuvažinės apdorotą paviršių.

Jei surišėjo paskleidimo metu kelio paviršius yra netankus, surišėjas lengvai įsiskverbs į jį ir paveiks daug storesnį kelio paviršiaus sluoksnį. Jei kelio frakcijos yra drėgnos, paviršius bus apdorotas daug tolygiau ir dulkėtumą mažinančių dalelių sukibimas bus daug geresnis.

Rišamosios medžiagos kiekis

Rišamosios medžiagos kiekis labiausiai priklauso nuo vietovės bei medžiagos, kuri bus apdirbama. Be to, svarbus yra ir eismo intensyvumas, šviesos kiekis, vėjuotumas ir lietingumas.

Frakcijos, kurių dalelės yra apytikriai vienodo dydžio, yra labai sunkiai surišamos. Tokio kelio apdorojimo ilgaamžiškumas bus žymiai trumpesnis. Jei žvyro frakcija turi gerą paskirstymo kreivę, tai yra, turi efektyvų rišančiųjų dalelių kiekį, bus pasiektas pats geriausias rezultatas. Jei žvyre yra didelis kiekis rūpių arba smulkių dalelių, reikia naudoti didesnę kiekį rišančiosios medžiagos nei žvyrkelyje, kur rišančiųjų dalelių kiekis yra optimalus.

Taip pat dulketumą mažinančios priemonės kiekį įtakoja oro sąlygos. Atviri, sausi, gerai saulės apšviesti, smarkiai vėjuoti kelio ruožai reikalauja didesnio rišančiųjų medžiagų kiekio nei tie kelio ruožai, kurie yra pavėsyje bei drėgnesnėse vietose. Taip pat kelio paviršius labiau nusidėvi posūkiuose bei kalnų šlaituose ir viršūnėse. Eismo intensyvumas taip pat turi įtakos apdorojimo ilgaamžiškumui.

Atliekant žvyro dangų dulkėjimo mažinimo darbus būtina vykdyti techninę kontrolę. Techninės kontrolės tikslas – užtikrinti atliekamų darbų kokybę ir norminių dokumentų rekomendacijų laikymąsi darbų atlikimo metu [10]. Bandymų ir kokybės kontrolės rezultatai yra kokybiško darbo įrodymas. Bandymai skirstomi į:

- tinkamumui nustatyti;
- savikontrolės;
- kontroliniai.

Tinkamumo bandymais motyvuojamas medžiagų bei jų mišinių, naudojamų žemės sankasai tinkamumas, atitinkantis sutarčiai.

Savikontrolės bandymus privalo atlikti pats rangovas, kuriais jis gali pasitikrinti ar medžiagos, jų mišiniai ir baigties darbų kokybė atitinka sutartį.

Kontrolinius bandymus atlieka pats užsakovas, nustatydamas ar medžiagų, jų mišinių ir užbaigtų darbų kokybė atitinka sutarties reikalavimus. Jei užsakovas dalyvauja visuose bandymuose, tai jų rezultatus galima imti kaip savarankiškus kontrolinius bandymus.

Kelių tarnybos, vykdančios žvyro dangų dulкėjimo mažinimo darbus, atlieka tokios apimties savikontrolės bandymus:

- kelio pločiai – ne mažiau kaip 5 matavimai viename kilometre;
- skersiniai nuolydžiai – ne mažiau kaip 5 matavimai viename kilometre;
- žvyro dangos medžiagos granulimetrinė sudėtis – ne mažiau kaip 3 pavyzdžiai iš kiekvieno kilometro;
- išpurenito žvyro dangos sluoksnio storis – ne mažiau kaip 5 matavimai viename kilometre;
- žvyro dangos medžiagos su reagentais drėgnis – ne mažiau kaip 3 pavyzdžiai iš kiekvieno kilometro;
- sunaudotų reagentų žvyrkelio dulкėjimui mažinti kiekis – ne mažiau kaip 3 pavyzdžiai iš kiekvieno kilometro.

Dulkėtumo lygis vertinamas dulkių kiekiu mg/m^3 ir nustatomas aspiraciniu prietaisu arba specialiu dulkių koncentracijos matuokliu.

Žvyro dangų dulкėjimo mažinimo darbų paruošiamajame periode tiriama esama danga ir vertinama žvyrkelio konstrukcija, profiliuojamojo sluoksnio žvyras, žvyrkelio charakteristikos. Tuo tikslu matuojamas žvyro dangos konstrukcijos storis, tiriamas ir vertinamas profiliuojamo sluoksnio žvyras (3.1 poskyris). Paruošiamojo periodo metu matuojamas kelio plotis, skersiniai nuolydžiai, lygumas, vėžėtumas.

Pasinaudojant matavimų ir tyrimų duomenimis projektuojama vandens nuleidimo sistema, kelio platinimo darbai, dangos konstrukcijos stiprinimo darbai, profiliuojamojo sluoksnio žvyro gerinimo priemonės.

Darbų vykdymo metu kontroliuojamas paruošto žvyro mišinio atitikimas nurodymams (3.1 poskyris), žvyro drėgnis, dangos išpurinto sluoksnio storis, paruoštų išpylimui tirpalų koncentracija, išpilamų reagentų kiekis, mišinio su reagentais sumaišymo kokybė, dangos sluoksnio sutankinimo kokybė, skersiniai profiliai.

Profiliavimo ir įrengimo kokybė vertinama praėjus 10 dienų (be lietaus) po dulkėjimo mažinimo darbų atlikimo pagal lygumo ir vėžtumo matavimo duomenis.

3.12 lentelė. Atliktų darbų dulkėtumui mažinti savikontrolės atlikimo tvarka

Veiksniai, lemiantys atliktų darbų kokybę	Bandymo būdas	Kontrolės metu nustatoma	Kontrolę atlieka	Savikontrolė atliekama	Kontrolinių bandymų, matavimų skaičius
<u>Žvyrkelio charakteristikos</u> <u>Žvyro medžiagos kokybė</u>	<u>Savikontrolė</u>	Ar žvyro granuliuotinė sudėtis atitinka reikalavimus	Organizacija, vykdanči dulkėjimo mažinimo darbus	Kelio plotis Skersinis nuolydis Žvyro dangos medžiagos granuliuotinė sudėtis Žvyro dangos medžiagos su reagentais drėgnis Sunaudotų reagentų žvyrkelio dulkėjimui mažinti kiekis	Ne mažiau 5 mat./km Ne mažiau 5 mat./km Ne mažiau 3 pvz. iš kiekv. km Ne mažiau 3 pvz. iš kiekv. km Ne mažiau 3 pvz. iš kiekv. km

3.4. Dulkėtumui mažinti naudotų priemonių efektyvumo kriterijai ir vertinimas

Žvyrkelių dulkėjimo mažinimo tikslams pasirinktų medžiagų kalcio chlorido, kalcio lignosulfonato ir bituminės emulsijos poveikis žvyro dangų dulkėjimo atžvilgiu priklauso ne tik nuo minėtų medžiagų charakteristikų, šių medžiagų ir žvyro tarpusavio sąveikavimo, bet ir nuo jų koncentracijos žvyre.

Žvyrkelių dulkėjimo mažinimui panaudotos bituminės emulsijos kiekis gali būti apskaičiuotas iš bitumo procentinio kiekio žvyre, nustatyto ekstraguojant emulsiją apdorotą žvyrą pagal LST EN 12687 I+AC standarto reikalavimus.

Kalcio chlorido ir kalcio lignosulfonato koncentracijos apdorotame žvyre nustatymui standarto nėra. Kalcio chloridas arba kalcio lignosulfonatas iš žvyro ekstraguojami distiliuotu vandeniu, ištirpusios druskos nuo žvyro atskiriamos filtruojant, o filtrate kalcio jonai nustatomi titrimetriniu metodu naudojant 0,05 N Trilono B tirpalą.

CaCl_2 kiekis žvyre procentais apskaičiuojamas taip:

$$\text{CaCl}_2 = \frac{V \times N \times 55.5 \times 100}{m \times 1000} \% \quad (3.3)$$

čia: V – titravimui suvartotas Trilono B tūris, mL;

N - Trilono B tirpalo normalinė koncentracija, ekv/L; 55,5 - CaCl_2 ekvivalentas, g/mol;

m – žvyro mėginio masė, g.

Kalcio lignosulfonato kiekis žvyre procentais apskaičiuojamas taip:

$$\text{CaLS} = \frac{V \times N \times 20 \times 41.7 \times 100}{m \times 1000} \% \quad (3.4)$$

čia: V – titravimui suvartotas Trilono B tūris, mL;

N - Trilono B tirpalo normalinė koncentracija, ekv/L; 20 – Ca^{2+} ekvivalentas, g/mol;

41,7 – perskaičiavimo iš kalcio kiekio į kalcio lignosulfonato kiekį faktorius;

m – žvyro mėginio masė, g.

Kalcio chlorido ir kalcio lignosulfonato koncentracija žvyro bandiniuose, paimtuose iš bandomųjų ruožų, laboratorijoje nustatoma gramais 1 kg žvyro. Kalcio chlorido ir kalcio lignosulfonato normos yra duodamos tirpalo arba druskos kiekiu 1 m² dangos.

Norint palyginti rekomenduotos ir sunaudotos medžiagos kiekius tarpusavyje reikia rekomenduojamas, medžiagų skirtų dulkejimui, medžiagų normas perskaičiuoti iš kg/m² ar l/m² į g/kg. Rekomenduojamos naudoti vidutinės kalcio chlorido normos yra 4,4 g/kg, o kalcio lignosulfonato, esančio 19 % koncentracijos tirpale – 5,2 g/kg. Sunaudotos bituminės emulsijos kiekį charakterizuoja bitumo kiekis mišinyje, kuris nustatomas ekstragavimo būdu ir apskaičiuojamas procentais nuo žvyro masės. Tuo būdu perskaičiuojant išpiltos atitinkamos koncentracijos bituminės emulsijos kiekį iš l/m² į bitumo procentinį kiekį žvyre nuo jo masės rekomenduojamo naudoti bitumo žvyre turėtų būti vidutiniškai 0,69 % dangą apdorojant pirmą kartą ir 1,04 % žvyro dangą apdorojant pakartotinai.

Dulkejimo lygis nustatomas specialiu dulkių koncentracijos matuokliu. Juo išmatuojamas dulkių kiekis pravažiuojant 60 km/h greičiu kelių tarnybose. Dulkejimo laipsnis vertinamas dulkių kiekiu, nustatomu mg/m³.

Dulkejimo sumažėjimui nustatyti toje pačioje vietoje matuojami žvyrkelių, neapdorotų ir apdorotų dulkejimą mažinančiomis medžiagomis žvyro dangų dulkejimo lygiai. Lygindami šiuos matavimus tarpusavyje gauname žvyro dangos palyginamąjį dulkejimo lygį.

Kadangi žvyrkelių dulkejimo lygiui įtakos turi dangos sluoksnyje esančio žvyro charakteristikos, eismas, klimato veiksniai, dangos būklė, laikotarpis nuo įterpimo iki matavimo

ir daugelis kitų veiksnių, todėl dulkėjimą mažinančių medžiagų naudojimo tikslingumui pagrįsti būtina tęsti tyrimus.

4. ŽVYRO DANGŲ DULKĖJIMO MAŽINIMO EKONOMINIAI NORMATYVAI

Žvyro dangų dulkėjimo mažinimo kainą sudaro kelio ruožo paruošimo, žvyrkelių profiluojamo sluoksnio atkūrimo ir žvyro dangos apdorojimo dulkėjimą mažinančiais reagentais darbų kaina.

Kelio ruožo, skirto dulkėjimo priemonėms naudoti, paruošimo išlaidos kiekvienu atveju nustatomos atskirai ir labai skiriasi dėl kelio sankasos platinimo ar siaurinimo, žemės sankasos sutvarkymo, vandens nuleidimo griovių, nuovažų įrengimo, nevienodų kelio konstrukcijos stiprinimo darbų apimčių. Šių darbų kaina pagrindžiama sąmatiniais skaičiavimais.

Nevertinant galimų išlaidų kelio sankasos, vandens nuleidimo ir nuovažų sutvarkymui (jos gali būti labai nevienodos), žvyrkelių dulkėjimo mažinimo priemonių išlaidas galima išskirti į dvi grupes:

1. žvyrkelių profiluojamo sluoksnio atstatymas, įrengiant optimalios granulometrijos viršutinį 4 – 5 cm sluoksnį – $3,5 \text{ Lt/m}^2$ (≈ 28 tūkst. Lt vienam kelio kilometrui);
2. žvyro dangos apdorojimas dulkėjimą mažinančiais reagentais.

Žvyro danga per metus nusidėvi 0,5 cm, o dėl lėšų trūkumo jie remontuojami kas 20 – 30 metų. Pinigų stygius – pagrindinė žvyrkelių priežiūros problema. Neremontuojami žvyrkeliai tampa „grubūs“, sunkiai profiluojami, paviršiuje lieka stambūs akmenys, nes ilginiui išdulka smulkios žvyro dangos dalelės. Prie kelio briaunos susiformuoja volai, kurie trukdo nuleisti vandenį, dalis žvyro medžiagų nubyra į griovius.

Stengiantis išsaugoti žvyrkelių dangos konstrukciją, sumažinti jų nusidėvėjimą, naudojami žvyro dangos regeneravimo įrenginiai, kurie leidžia persijoti į griovį ir prie kelio briaunos sustumtą grunto ir žvyro volą, grąžinti jį atgal į kelio dangą. Tokiu būdu sustiprinama kelio danga, mažėja naujų žvyro medžiagų sąnaudos bei keliais metais pailginama žvyrkelių eksploatavimo trukmė [31].

1 km žvyrkelio ruože dėl transporto poveikio mažo eismo intensyvumo keliuose (VMPEI < 50 aut./parą) žvyro išdulkka apie 30 m³, vidutinio eismo intensyvumo (VMPEI 51 – 150 aut./parą) – nuo 30 m³ iki 91 m³, o intensyvaus eismo (VMPEI 151 – 250 aut./parą) – nuo 91 m³ iki 151 m³ žvyro per vieną vasaros sezoną [32].

Pasinaudojus 2003 metais sudarytų lokaliųjų sąmatų duomenimis, pagal tiesiogines darbo užmokesčio, medžiagų bei mechanines eksploatacines išlaidas, sudarome dulkėtumo mažinimo medžiagų prioritetus.

4.1 lentelė. Žvyrkelių dulkėtumo mažinimo darbų tiesioginės išlaidos

Tiesioginės išlaidos	Bituminė emulsija	Kalcio lignosulfonatas	Kalcio chloridas
Darbo užmokestis	2144	710	679
Medžiagos	3819	4523	3075
Mechaninės eksploatacinės išlaidos	676	1310	1123
VISO:	6640	6543	4877

4.2 lentelė. Rekomenduojami kainos indeksai

Tiesioginės išlaidos	Bituminė emulsija	Kalcio lignosulfonatas	Kalcio chloridas
Darbo užmokestis	1,00	0,33	0,32
Medžiagos	1,00	1,18	0,81
Mechaninės eksploatacinės išlaidos	1,00	1,94	1,66

Priimame, kad bituminės emulsijos kainos indeksas (pažymime jį K) yra 1,0. Tuomet dulkėjimo mažinimo darbams, atliekamiems su kalcio lignosulfonatu kainos indeksas bus lygus 1,24, o su kalcio chloridu – 0,94.

Iš to darome išvadą, kad didžiausias kainos indeksas yra vykdomiems dulkėjimo mažinimo darbams kalcio lignosulfonatu pirmą kartą.

Sprendžiant žvyro dangų dulkėjimo mažinimo darbų efektyvumo klausimus, reikia kelerių metų. Tiesiogines išlaidas, nustatytas šiems darbams atlikti, diskontuoti ir apskaičiuoti lyginamuosius grynosios dabartinės vertės, vidinės pelno normos, atsipirkimo trukmės rodiklius.

BENDROSIOS IŠVADOS

1. Kelių su žvyro danga dulkejimo mažinimo darbais siekiama pagerinti aplinkos sąlygas regionuose, vartotojams paslaugų kokybę, o gyventojams – gyvenimo kokybę.
2. Parenkant kelio ruožus su žvyro danga, kuriuose bus naudojamos dulkejimui mažinti priemonės, kelių tarnyboms siūloma laikytis tam tikros tvarkos ir taisyklių. Pateikiamoje žvyrkelių ruožų, skirtų dulkejimo mažinimo darbams vykdyti, parinkimo proceso tvarkoje pagrindiniai duomenys yra: kelio trasos padėtis, transporto eismo intensyvumas bei žvyrkelio ruožo būklė.
3. Išanalizavus įvairiose šalyse naudojamas žvyrkelių būklės vertinimo sistemas galima daryti išvadą, kad žvyrkelių būklė gali būti pripažįstama ir vertinama gerai, jeigu jie nedulka. Naudojantis užsienio šalių patirtimi, nagrinėjamos žvyrkelių dulkejimo mažinimo tikslams plačiausiai naudojamos medžiagos: kalcio chloridas, kalcio lignosulfonatas bei bituminė emulsija. Pateikiama šių medžiagų parinkimo proceso tvarka bei atitikimas reikalavimams.
4. Remiantis transporto eismo tyrimo duomenimis, žvyrkeliai pagal VMPEI sugrupuoti į keturias grupes: mažo intensyvumo (mažiau negu 50 aut./parą), vidutinio intensyvumo (nuo 51 iki 150 aut./parą), intensyvaus (nuo 151 iki 250 aut./parą) ir labai intensyvaus (daugiau negu 251 aut./parą) transporto eismo žvyrkeliai. Atsižvelgiant į transporto eismą, nustatomas konstrukcijos deformacijos modulis, kuris apibūdina žvyrkelių konstrukcijos stiprumą. Žvyrkelių dangos konstrukcija privalo atlaikyti apkrovas, sukiamas transporto eismo. Kelių, kuriuose planuojama taikyti žvyro dangų dulkejimui mažinti priemones, dangos konstrukcijos viršuje deformacijos moduliai turi būti ne mažesni už rekomenduojamus.
5. Lietuvos teritorijoje žvyrkelių dulkejimo mažinimo darbai gali būti atliekami ne anksčiau, kaip balandžio 10 – 16 dienomis, kadangi tik šiuo laikotarpiu paros oro vidutinė temperatūra pasiekia +5°C. Optimalus laikas dulkejimo mažinimo darbams atlikti žvyrkelių ruožuose yra nuo balandžio 28 dienos (pietrytinėje šalies teritorijos dalyje) iki gegužės 15 dienos

(vakarinėje šalies teritorijos dalyje). Šiame laikotarpyje paros oro vidutinė temperatūra pasiekia +10°C.

6. Kadangi žvyro dangų dėvėjimasis priklauso ne tik nuo eismo ir klimato veiksnių, bet ir nuo žvyro dalelių atsparumo dėvėjimuisi, profiliuojamojo žvyro dangos sluoksnio stabilumo, kurį užtikrina optimalios sudėties žvyro – smėlio mišiniai, todėl būtina reglamentuoti žvyro – smėlio mišinių sudėtį.
7. Tik apie 7 % žvyrkelių tenkina reikalavimus dangai pagal smulkmės kiekį. Žvyras, esantis dangoje, pagal savo granulimetrinę sudėtį turi atitikti reikalavimus. Pagal biriųjų mišinių ir gruntų naudojimo laikinas taisykles, žvyro dangos sluoksniams galima naudoti 0/11, o taip pat 0/16, 0/22 ir 0/32 frakcijų mišinius.
8. Rekomenduojamas technologinio proceso atlikimo reglamentavimas, nustatantis darbų vykdymo sąlygas esant įvairiai oro temperatūrai, technologinio proceso, kelio ruožo parinkimo bei reagento įterpimo sudėtingumui. Pateikti technologinių procesų etapų, skirtų dulkejimo mažinimo darbams vykdyti, kalcio chloridu, kalcio lignosulfonatu bei bituminėmis emulsijomis vertinimo rezultatai, savikontrolės atlikimo tvarka ir naudotų priemonių kriterijai.

ŽODYNAS

Reglamentas – įstatai, taisyklių rinkinys, nustatantis valstybės organo, organizacijos darbo tvarką.

Bandyimas – techninis veiksmas, kai pagal nurodytą metodiką nustatoma konkretaus produkto, proceso ar paslaugos viena ar kelios charakteristikos.

Skvarbumas – dulkėjimui mažinti naudojamos medžiagos gebėjimas pakankamai greitai prasiskverbti gilyn į apdorojamos mineralinės medžiagos gylį

Garavimas – tai savybė, apimanti šiuos rodiklius: garavimo greitį, skiedinio koncentraciją ir distiliantų sudedamąsias dalis.

Atsparumas senėjimui – tai savybė, parodanti besikeičiantį dulkėjimą mažinančios medžiagos efektyvumą.

Priežiūra – nuolatinis objekto būklės tikrinimas ir patikrinimas, siekiant laiduoti nustatytų reikalavimų tenkinimą.

LITERATŪRA

1. Jurkuvėnas H., Perveneckas Z. Žvyrkelių dulkėjimo mažinimas. *Lietuvos keliai*, 2003/2, p. 49 – 51.
2. Laurinavičius A., Žilionienė D. Lithuanian State Network and Its Modernization. *Transportas*, XVI t., Nr. 6. Vilnius: Technika, 2001, p. 208 – 214.
3. Juzėnas A. A., Gendvilas V. Automobilių kelių dulkėtumas ir būdai jį mažinti. *Lietuvos keliai*, 2002/1, p. 36 – 38.
4. Rinkevičius L. Pramonės ekologinė vadyba ir taršos bei atliekų mažinimas. Atmintinė. Kaunas, 1995. 77 p.
5. И. Е. Евгеньев, В. В. Савин. Защита природной среды при строительстве, ремонте и содержании автомобильных дорог. Москва, Транспорт, 1989. 239 с.
6. Palšaitis E., Sakalauskas K., Vidugiris L. Kelių eksploatacija. Vilnius: Mokslas, 1990. 197 p.
7. Dvareckas V., Juzėnas A. A., Skrinskas S. and Stragys V. The influence of geologic – geomorphologic Conditions on the Maintenance of Low – Volume Roads in Lithuania. *Proceedings of the 12th European Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering*. Amsterdam, Netherlands, June 7 – 10, 1999, p. 1251 – 1256.
8. Žilionienė D. Žvyrkelių renovacija tvariosios kelių tinklo plėtros aspektu. Daktaro disertacija. Vilnius, 2003. 138 p.
9. Lietuvos automobilių kelių direkcija prie Susisiekimo ministerijos. Biriųjų mišinių ir gruntų naudojimo laikinosios taisyklės. LT-BM-05. Vilnius, 2005. 28 p.
10. Valtonen J. Oil Gravel – a Long Lasting Pavement material. *International Conference „Civil Engineering and Environment“*. Vilnius, 1994, p. 53 - 54.
11. Lietuvos automobilių kelių direkcija prie Susisiekimo ministerijos. Kelių su žvyro danga dulkėjimo mažinimas, Vilnius, 2004. 19 p.

12. LR Aplinkos ministerija, LR Susisiekimo ministerija. Statybos techniniai reglamentai. Techninių reikalavimų reglamentas. STR 2.06.03:2001. Automobilių keliai. Pirmasis leidimas. Vilnius, 2001, 80 p.
13. Lietuvos automobilių kelių direkcija prie Susisiekimo ministerijos. Statybos rekomendacijos R 33–01. Automobilių kelių žemės sankasa. Vilnius, 2001. 108 p.
14. Paterson W. D. O. Road Deterioration and Maintenance Effects: Models for Planning and Management. Washington, D.C. The International Bank for Reconstruction and Development, The World Bank, 1987. 454 p.
15. Robert D, Srombom R. Maintenance of Aggregate and Earth Roads. Manual U.S. Department of Transportation. Federal Highway Administration. Fujiki and Associate Inc. Washington, D.C., 1987. 71 p.
16. McClelland D. E., Foltz R. B, Falter M. C., Wilsin W. D., Cundy T., Schuster R. L., Saubier J., Rabe C. and Heinnemann R. Effects on Low - Volume Road System of Landslides Resulting from Episodic Storms in Northern Idaho. Transportation Research Record 1652, Vol. 2. Washington, D.C., 1999, p. 235 - 243.
17. Под ред А. П. Алексеева. Справочник инженера дорожника. Содержание и ремонт автомобильных дорог. Москва, 1974. 397 с.
18. Lietuvos automobilių kelių direkcija prie Susisiekimo ministerijos. Statybos rekomendacijos R 35–01. Automobilių kelių asfaltbetonio ir žvyro dangos. Vilnius, 2001. 117 p.
19. А.А.Юзенас. Исследование вещественного состава песчано-гравийных отложений Литвы и возможность использования их в дорожном строительстве. Автореферат диссертации. Каунас, 1972. 23 с.
20. Manual of Standard Photographs – Gravel Road Maintenance According to the Performance and Standard Specifications, „FSB“ (in Swedish).
21. Isotalo. Question VI Roads in Developing Regions. Report from Finland. PIARC, XVIII World Roads Congress. Brussels, Belgium, 1987, p. 275 - 292.

22. Ferry A. G. Unsealed Roads – A Manual of Repair and Maintenance for Pavements. Technical Recommendations. Wellington, New Zeland, 1986. 97 p.
23. Chong G. J., Wrong G. A. Manual for Condition Rating of Gravel Surfaces Roads. Ontario Ministry of Transportation. Ontario, 1989. 61 p.
24. Lomgton B., Wiliamson R. K. Dust – Abatements Materials. Evaluation and Selection. Transportation Research Record 898, National Research Council, Washington, D. C., 1985, p. 250 - 275.
25. Lietuvos automobilių kelių direkcija prie Susisiekimo ministerijos. Cheminių medžiagų naudojimas automobilių kelių priežiūrai žiemą. Rekomendacijos (reikalavimai, naudojimas, bandymo metodai). Vilnius, 1990. 90 p.
26. Thenoux G., Vera S. Evaluation of Hexahydrated Magnesium Chloride Performance as Chemical Stabilizer of Granular Road Surfaces. Transportation Research Record 1819, Vol. 2, TRB, National Research Council, Washington, D.C., 2003, p. 44 - 51.
27. LST 1448:1996. Katijoninės bituminės emulsijos. Techniniai reikalavimai. Vilnius: Lietuvos standartizacijos departamentas, 1996. 4 p.
28. LST 1361.4:1995. Mineralinės automobilių kelių medžiagos. Bandymo metodai. Užterštumo nustatymas. Vilnius, 1995. 6 p.
29. LST EN 933-1:2002. Užpildų geometrinių savybių nustatymo metodai. 1 d. Granuliometrinės sudėties nustatymas. Sijojimo metodas. Vilnius, 2002. 11 p.
30. Указания по строительству, ремонту и содержанию гравийных покрытий. ВСН 7-89. Москва, 1990. 33 с.
31. Žagaras R. Žvyrkelių dulkejimo mažinimas naudojant DUSTEX. *Lietuvos keliai*, 2003/2, p. 52 – 53.
32. Jurkuvėnas H. Žvyrkelių priežiūra. *Lietuvos keliai*, 2002/2. p. 32 - 33.