



Piegādātāju apvienība

Rīgas Tehniskā universitāte
Latvijas Valsts koksnes ķīmijas institūts
SIA “Ceļu eksperts”
VAS “Latvijas autoceļu uzturētājs”

Pētījuma

“Meža ceļu atputeķlošana. 2. etaps – tehnoloģiju aprobācija”
atskaite

Rīga

2024. gada 26. februāris

Pētniecības projekta nosaukums: “Meža ceļu atputeķļošana. 2. etaps – tehnoloģiju aprobācija”	
RTU līguma numurs	Līguma reģistrācijas Nr. 0B000-3.1.2.2-e_8
Līguma slēgšanas datums	04.07.2023.
Pētniecības projekta stadija	50 %
Atskaites ziņojuma veids	3. starpziņojums
Ziņojuma nodošanas datums	26.02.2024.
Pētniecības projekta stadijas izstrādes periods	04.07.2023.–26.02.2024.
Lappušu skaits	106
Pētniecības projekta izpildītāji	Izpildītāja personāla amats, vārds, uzvārds
Pētniecības projekta vadītājs (RTU BIF Ceļu un tiltu katedra)	Vadošais pētnieks <i>Dr. sc. ing.</i> Viktors Haritonovs
Galvenie izpildītāji	
SIA “Ceļu eksperts”	<i>Mg. sc. ing.</i> Aigars Strežs
Latvijas Valsts koksnes ķīmijas institūts	Vadošais pētnieks <i>Dr. habil. chem.</i> Galija Šulga Pētnieks <i>Dr. sc. ing.</i> Anrijs Verovkins Asistents <i>Mg. sc. ing.</i> Tālrijs Betkers Pētniece <i>Mg. chem.</i> Brigita Neiberte Laborante <i>Bs. chem.</i> Valērija Kudrjavceva
RTU MLKF Polimērmateriālu institūts	Vadošais pētnieks <i>Dr. sc. ing.</i> Remo Merijs-Meri Vadošais pētnieks <i>Dr. sc. ing.</i> Jānis Zicāns Pētniece <i>Mg. sc. ing.</i> Rita Bērziņa Pētniece <i>Mg. sc. ing.</i> Aina Barnava Pētniece <i>Mg. sc. ing.</i> Tatjana Ivanova
VAS “Latvijas autoceļu uzturētājs”	<i>Mg. sc. ing.</i> Ilmārs Lasis
Projektu finansē	AS “Latvijas valsts meži”
Īss apraksts Pētnieciskā projekta īstenošanas posmā no 04.07.2023. līdz 31.07.2023. veikta lignosulfonāta pasūtīšana un piegāde. Novērtētas meža ceļu <i>Dzintari-Ābeles</i> un <i>Abermaņa ceļa</i> izvēlēto eksperimentālo posmu grants seguma materiālu īpašības, kā arī veikta piegādātā lignosulfonāta testēšana (pH, viskozitāte). Atbilstoši darba uzdevumam 19.06.2023. veikta meža ceļa <i>Dzintari-Ābeles</i> (platums 5 m) atputeķļošana ar jauno aprobējamo atputeķļošanas līdzekli lignosulfonātu (≈ 17 % šķīdumu) parastā (standarta) un dubultā koncentrācijā jeb devā – attiecīgi $1,5 \text{ l/m}^2$ un $3,0 \text{ l/m}^2$, kā arī ar tradicionālo atputeķļošanas līdzekli kalcija	

hlorīdu (CaCl_2) parastā (standarta) un dubultā koncentrācijā jeb devā – ar CaCl_2 pārslām attiecīgi 390 g/m^2 un 780 g/m^2 . Abu ceļu viens posms atputekļots, kombinējot lignosulfonātu ar CaCl_2 . Piecu eksperimentālo posmu kopgarums, kuros izmantotas dažādas atputekļošanas tehnoloģijas, meža ceļā *Dzintari-Ābeles* bija 3800 m. Līdzīgi atputekļošana 29.06.2023. veikta arī *Abermaņa meža ceļā*. Tā platums – 7 m, piecu atputekļoto eksperimentālo posmu kopgarums – 2360 m. Katrā no šiem ceļiem atstāts arī viens neatputekļots kontroles jeb references posms.

13.07.2023. veikts 1. monitorings, kas atbilstoši darba uzdevumam bez lignosulfonāta un kalcija hlorīda atputekļošanas efektivitātes novērtēšanas iekļāva arī lignosulfonāta un kalcija hlorīda jonu izskalošanās no ceļa seguma pakāpes noteikšanu, tā mitruma noteikšanu (5 cm dziļumā), toksisko, vidi piesārņojošo poliaromātisko ogļūdeņražu (PAO) un polihlorēto bifenilu (PHB) ietekmes uz vidi novērtēšanu un ceļa seguma nestspējas testēšanu. Atputekļošanas efektivitātes novērtējums veikts (kvantitatīvais – ar putekļu daudzuma mērīšanas iekārtu *PM*, kvalitatīvais – fotografējot), nosakot putekļu koncentrāciju gaisā, kuri rodas aiz 30–70 km/h ātrumā braucoša automobiļa. Iegūtie rezultāti rāda, ka salīdzinājumā ar neatputekļotajiem references posmiem ceļu posmos, kas apstrādāti ar CaCl_2 un lignosulfonātu, panākts būtisks atputekļošanas efekts (nedaudz labāks – posmos ar CaCl_2).

17.08.2023. veikts 2. monitorings. Tajā, līdzīgi kā pirmajā monitoringā, *Abermaņa meža ceļa* atputekļošanas rezultāti bija ievērojami labāki nekā meža ceļā *Dzintari-Ābeles*, kur ceļa posmos, kas atputekļoti ar standarta un dubultās devas lignosulfonātu, ja vieglā automobiļa braukšanas ātrums bija 30–70 km/h, putekļu daudzuma samazinājums, salīdzinot ar neatputekļoto references posmu, vairs nebija novērojams. Arī *Abermaņa meža ceļa* posmos, kur atputekļošanai izmantots CaCl_2 standarta un dubultā koncentrācijā, kā arī kombinācijā ar lignosulfonātu, atputekļošanas rezultāti bija būtiski labāki nekā posmos, kas atputekļoti tikai ar lignosulfonātu. Šajā posmā pabeigti un apkopoti arī 1. monitoringā aizsāktie vides novērtējuma testēšanas rezultāti. Tie apliecināja, ka lignosulfonāts nav videi bīstams.

13.09.2023. veiktajā 3. monitoringā *Abermaņa meža ceļā* putekļu daudzums gaisā tika noteikts ne tikai atkarībā no braukšanas ātruma, bet arī no ceļa noēnojuma. Iegūtie rezultāti parādīja, ka lignosulfonāta atputekļošanas efektivitāte nu ir zudusi arī šajā ceļā. Turpretī ceļa posmos, kas atputekļoti ar CaCl_2 gan standarta, gan dubultā devā, kā arī kombinācijā ar lignosulfonātu, atputekļošanas efekts saglabājās arī ceļa atklātajās, saulainajās vietās.

Pielietojums/Pētījuma sfēra	Meža autoceļi, nesaistītie grants/dolomīta segumi
Papildus izstrādātie materiāli	Zinātniskās publikācijas un rekomendācijas

1 Saturs

2	SAĪSINĀJUMI UN TERMINI	6
3	IEVADS.....	7
4	MEŽA CEĻU SEGUMU UN ATPUTEKĻOŠANAS LĪDZEKĻU ĪPAŠĪBAS	9
4.1	GRANULOMETRISKAIS SASTĀVS.....	9
4.2	GRANTS SEGUMU FIZIKĀLMEHĀNISKĀS ĪPAŠĪBAS.....	11
4.3	LIGNOSULFONĀTA PH.....	11
4.4	LIGNOSULFONĀTA VIZKOZITĀTE	12
5	ATPUTEKĻOŠANAS LĪDZEKĻU IESTRĀDE	14
5.1	LIGNOSULFONĀTA PIEGĀDE.....	14
5.2	AUTOCISTERNAS AR IZSMIDZINĀTĀJIEM UZPILDĪŠANA	15
5.3	ATPUTEKĻOŠANAS LĪDZEKĻU IESTRĀDE.....	17
5.3.1	<i>Atputekļošana ar kalcija hlorīdu</i>	<i>17</i>
5.3.2	<i>Atputekļošana ar lignosulfonātu.....</i>	<i>18</i>
5.3.3	<i>Atputekļošana ar lignosulfonātu un CaCl₂.....</i>	<i>19</i>
5.3.4	<i>Atputekļošanas darbi meža ceļā Dzintari-Ābeles</i>	<i>20</i>
5.3.5	<i>Atputekļošanas darbi Abermaņa meža ceļā.....</i>	<i>20</i>
6	MEŽA AUTOCEĻU MONITORINGS PĒC ATPUTEKĻOŠANAS LĪDZEKĻU IESTRĀDES	25
6.1	LIGNOSULFONĀTA IZSKALOŠANĀS UN GRANTS SEGUMA MITRUMA TESTĒŠANA.....	25
6.2	PUTEKĻU DAUDZUMA NOVĒRTĒJUMS. 1. MONITORINGS	34
6.2.1	<i>Meža ceļš Dzintari-Ābeles</i>	<i>34</i>
6.2.2	<i>Abermaņa meža ceļš.....</i>	<i>40</i>
6.3	PUTEKĻU DAUDZUMA NOVĒRTĒJUMS. 2. MONITORINGS 17.08.2023.	47
6.3.1	<i>Meža ceļš Dzintari-Ābeles</i>	<i>47</i>
6.3.2	<i>Abermaņa meža ceļš.....</i>	<i>58</i>
6.4	PUTEKĻU DAUDZUMA NOVĒRTĒJUMS. 3. MONITORINGS	67
6.4.1	<i>Meža ceļš Dzintari-Ābeles</i>	<i>67</i>
6.4.2	<i>Abermaņa meža ceļš.....</i>	<i>73</i>
6.5	PUTEKĻU DAUDZUMS – MONITORINGU KOPSAVILKUMS	80
6.5.1	<i>Meža ceļš Dzintari-Ābeles</i>	<i>80</i>
6.5.2	<i>Abermaņa meža ceļš.....</i>	<i>83</i>
6.6	MEŽA CEĻU SEGUMA MEHĀNISKO ĪPAŠĪBU IZMAIŅU NOVĒRTĒJUMS	86
6.7	IETEKMES UZ VIDI NOVĒRTĒJUMS	97

7	SECINĀJUMI	100
8	IETEIKUMI	102
9	LITERATŪRA	103

2 Saīsinājumi un termini

AL – atputeķļošanas līdzeklis

AADT – *Annual average daily traffic* (angļu val.) – ikgadējā vidējā diennakts satiksmes intensitāte

ADT – *Average Daily Traffic* (angļu val.) – vidējā diennakts satiksmes intensitāte

apgr./min – apgriezienu skaits minūtē

CaCl₂ – kalcija hlorīds

LA – Losandželosas koeficients

LAU – VAS “Latvijas autoceļu uzturētājs”

LS – lignosulfonāts(i)

LVKĶI – Latvijas Valsts koksnes ķīmijas institūts

LVM – AS “Latvijas valsts meži”

MABS – AS “Latvijas valsts meži” Meža autoceļu būvdarbu specifikācijas 2023

Mg/m³ – megagrami kubikmetrā

PAH – *Polycyclic Aromatic Hydrocarbons* (angļu val.) – policikliskie aromātiskie ogļūdeņraži

PAO – poliaromātiskie ogļūdeņraži

PCB – *Polychlorinated Biphenyls* (angļu val.) – polihlorētie bifenili

pH – ūdeņraža eksponents šķīduma skābuma/bāziskuma kvantitatīvai raksturošanai

PHB (PCB) – *Polychlorinated Biphenyls* (angļu val.) – polihlorētie bifenili

PM – *Particulate Matter* (angļu val.) – gaisā suspendētās cietās daļiņas

PM_{1,0} – putekļu cietās daļiņas, kuru aerodinamiskais diametrs ir vienāds vai mazāks par 1 μm (mikrometriem)

PM_{2,5} – putekļu cietās daļiņas (smalkās daļiņas), kuru aerodinamiskais diametrs ir vienāds vai mazāks par 2,5 μm (mikrometriem)

PM₁₀ – putekļu cietās daļiņas, kuru aerodinamiskais diametrs ir vienāds vai mazāks par 10 μm (mikrometriem)

TNI – tūlītējās nestspējas indekss

3 Ievads

Latvijā ir vairāk nekā 13 tūkstoši km meža autoceļu, no kuriem lielāko daļu sedz grants un šķembas. Meža ceļi veido gandrīz piekto daļu no visiem Latvijas ceļiem. Tiem ir nozīmīga loma sekmīgā mežsaimniecībā, kas ir viena no būtiskākajām Latvijas tautsaimniecības nozarēm. Tomēr sausā laikā šie ceļi put, satiksmes dalībniekiem traucējot redzamību, kā arī šo ceļu tuvumā dzīvojošajiem radot neērtības un pat riskus viņu veselībai.

Putekļi veidojas grants ceļu seguma nodiluma rezultātā, un to daudzums ir atkarīgs no satiksmes intensitātes un laikapstākļiem. Grants ceļu atputeķļošanai tradicionāli izmanto kalcija hlorīdu CaCl_2 , kas nakts stundās piesaista (absorbē) gaisa mitrumu, savukārt dienas laikā šo mitrumu izdala – mitrums sasaista putekļu daļiņas un to daudzums gaisā samazinās. Kalcija hlorīds ir labs un efektīvs līdzeklis, bet tas ir kairinošs, korozīvs un augstā koncentrācijā var būt toksisks. Tāpat karstās vasaras dienās pastāv risks, ka atputeķļošanas efekts tiks sasniegts tikai dienas pirmajā pusē, bet pēcpusdienā putekļu daudzums var palielināties, jo viss kalcija hlorīda absorbētais mitrums būs izdalījies jau dienas pirmajā pusē. Tā kā meža ekosistēma ir jutīga, ne vienmēr uz meža ceļiem var izmantot tradicionālos atputeķļošanas risinājumus. Alternatīva ir lignosulfonāti – papīra ražošanas procesa blakusprodukts. Lignosulfonāti vidē noārdās, neradot tai kaitējumu. Lignosulfonāts ir bioloģiskā saistviela, kas putekļus sasaista kopā, veidojot aglomerātus un neļaujot tiem pacelties gaisā. Atšķirībā no tradicionālā neorganiskā atputeķļošanas līdzekļa CaCl_2 lignosulfonāts saglabā atputeķļošanas efektu arī zemā relatīvā gaisa mitrumā (piemēram, karstas dienas pēcpusdienā). Tomēr lignosulfonāts viegli šķīst ūdenī, kas var veicināt tā paātrinātu izskalošanos, it īpaši lielu lietavu laikā.

2023. gadā, lai pārbaudītu lignosulfonāta atputeķļošanas efektivitāti, ietekmi uz vidi un izskalošanos lietus ietekmē, piegādātāju apvienība, kurā ietilpst Rīgas Tehniskā universitāte (RTU), Latvijas Valsts koksnes ķīmijas institūts (LVKĶI), SIA “Ceļu eksperts” un VAS “Latvijas autoceļu uzturētājs”, pēc AS “Latvijas valsts meži” pasūtījuma veica atputeķļošanas ar lignosulfonātu tehnoloģijas aprobāciju meža ceļu *Dzintari-Ābeles* un *Abermaņa meža ceļa* atsevišķos posmos.

Atputeķļošanai izvēlēts lignosulfonāts, kuram 2021. gadā veiktajos laboratoriskajos pētījumos bija vislabākie rezultāti. Pētījumiem izvēlētajos meža ceļos ir dažāda satiksmes intensitāte, kā arī gan atklātas, gan kokiem noēnotas vietas. Eksperimentālo ceļa posmu atputeķļošana veikta gan ar lignosulfonātu, gan ar tradicionālo CaCl_2 , kā arī kombinējot lignosulfonātu ar CaCl_2 .

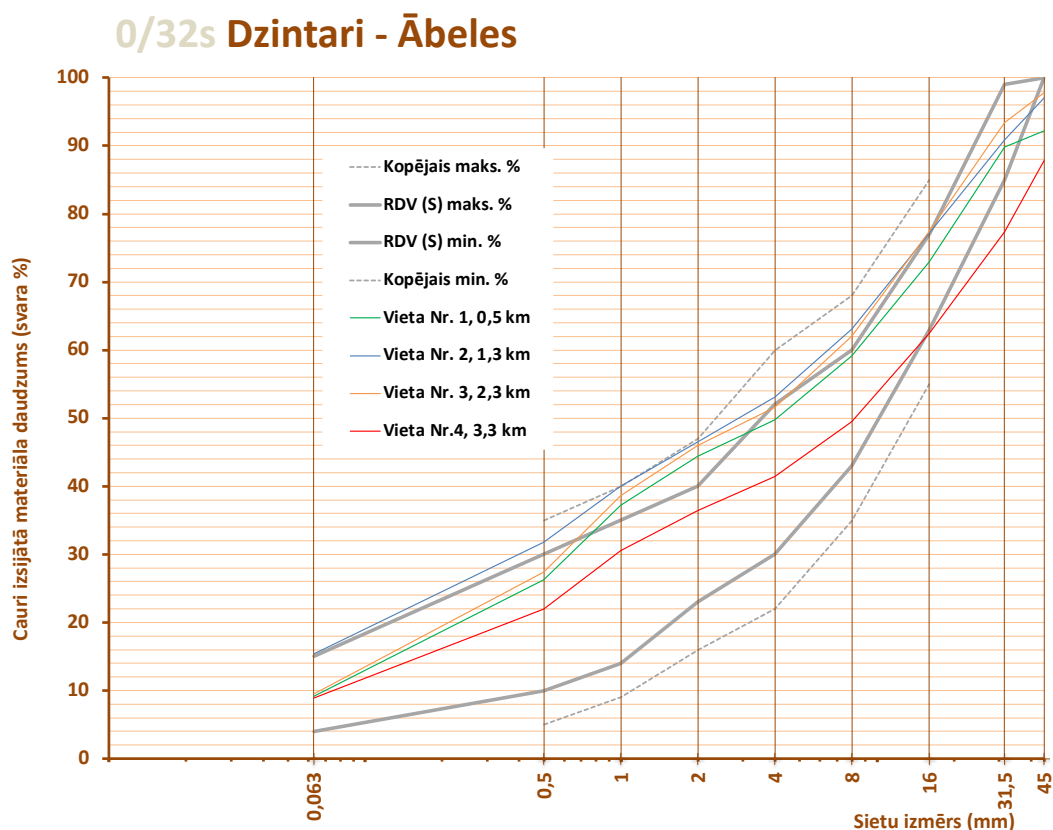
Pētījumu mērķis – izvēlēties LVM meža autoceļiem vispiemērotāko atputeķļošanas līdzekli un noteikt kritērijus un specifikācijas tā izmantošanai ikdienas uzturēšanas darbos. Šī mērķa sasniegšanai veikti vairāki darba uzdevumi – izvēlēto meža ceļu seguma materiālu raksturošana, atputeķļošanas

līdzekļu testēšana, to iestrāde un atputekļoto ceļu posmu monitoringi: 13.07.2023. – 1. monitorings,
17.08.2023. – 2. monitorings, 13.09.2023. – 3. monitorings.

4 Meža ceļu segumu un atputeķlošanas līdzekļu īpašības

4.1 Granulometriskais sastāvs

Pirms atputeķlošanas līdzekļu iestrādes veikta meža ceļu apsekošana un to seguma materiālu paraugu ņemšana dažādās vietās. Atbilstoši standarta LVS EN 933-1 prasībām ar sijāšanas un mazgāšanas metodi noteikts šo paraugu granulometriskais sastāvs (skat. 0. attēlu). Konstatētais puteķļu daļiņu saturs, kuru izmēri ir < 0,063 mm, no meža ceļa *Dzintari-Ābeles* grants seguma ņemtajos paraugos ir no 8,9 līdz 15,4 masas % (skat. 0. tabulu), savukārt MABS prasības – 5–15 masas % [2].



4-1. attēls. Meža ceļa *Dzintari-Ābeles* seguma grants paraugu granulometriskais sastāvs.

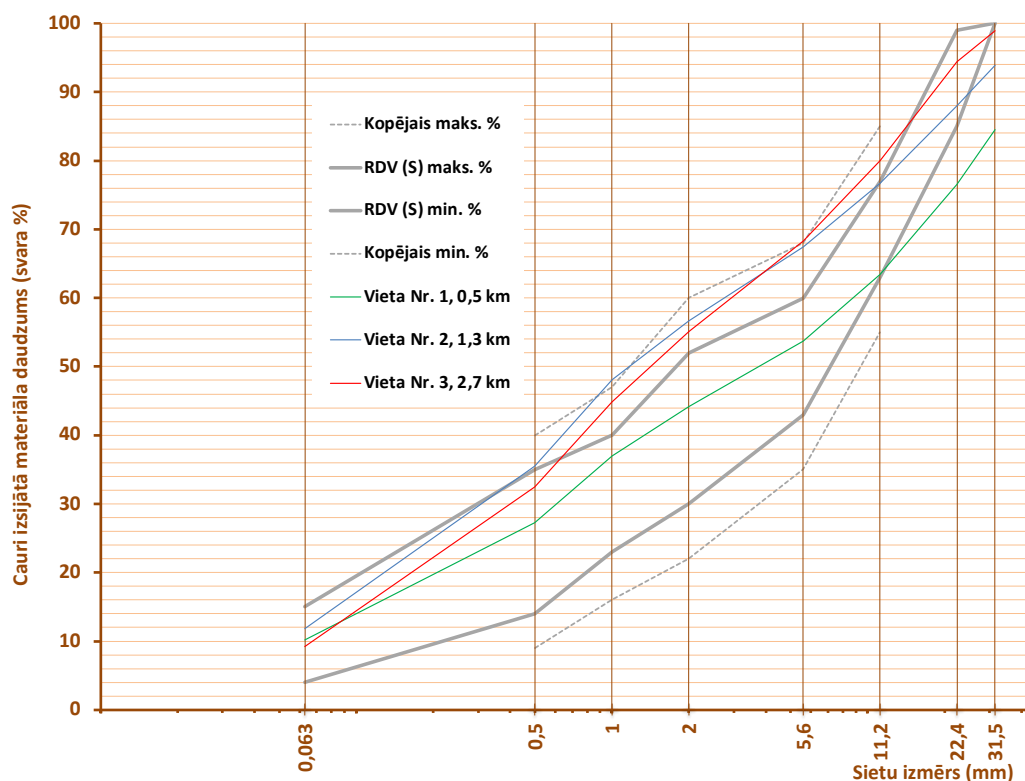
4-1.tabula. Meža ceļa *Dzintari-Ābeles* seguma grants paraugu granulometriskais sastāvs

Sieti, mm	0,063	0,5	1	2	4	8	16	31,5	45
Maksim., %		35	40	47	60	68	85		
Minim., %	15	30	35	40	52	60	77	99	100
Maksim., %	4	10	14	23	30	43	63	85	100
Minim., %		5	9	16	22	35	55		
Vieta Nr. 1, 0,5 km	9,2	26,3	37,2	44,4	49,8	59,1	73,0	89,8	92,2
Vieta Nr. 2, 1,3 km	15,4	31,8	40,0	46,5	53,1	63,1	77,2	90,9	97,0

Sieti, mm	0,063	0,5	1	2	4	8	16	31,5	45
Vieta Nr. 3, 2,3 km	9,5	27,4	38,6	46,0	51,6	62,0	77,5	93,4	97,8
Vieta Nr. 4, 3,3 km	8,9	22,0	30,6	36,4	41,4	49,5	62,5	77,4	87,8

Putekļu daļiņu saturs, kuru izmēri < 0,063 mm, no *Abermaņa meža ceļa* grants seguma ņemtajos paraugos ir no 9,2 līdz 11,8 masas % (skat. 0. attēlu un 0. tabulu), kas atbilst MABS prasībām [2].

0/32s Abermaņa ceļš



4-2. attēls. *Abermaņa meža ceļa* seguma grants paraugu granulometriskais sastāvs

4-2. tabula. *Abermaņa meža ceļa* seguma grants paraugu granulometriskais sastāvs

Sieti, mm	0,063	0,5	1	2	4	8	16	31,5
Maksim., %		40	47	60	68	85		
Minim., %	15	35	40	52	60	77	99	100
Maksim., %	4	14	23	30	43	63	85	100
Minim., %		9	16	22	35	55		
Vieta Nr. 1	10,2	27,3	37,0	44,2	53,7	63,4	76,5	84,5
Vieta Nr. 2	11,8	35,5	48,1	56,7	67,4	76,7	88,0	93,9
Vieta Nr. 3	9,2	32,5	44,9	55,1	68,3	80,0	94,4	98,9

4.2 Grants segumu fizikālmehāniskās īpašības

0. tabulā apkopotas abu ceļu grants segumu galvenās fizikālās un mehāniskās īpašības. Fizikālās īpašības tiem ir līdzīgas, bet *Abermaņa* ceļa segumam salīdzinājumā ar *Dzintari-Ābeles* ceļa segumu ir mazāks tūlītējās nestspējas indekss – attiecīgi 100 un 144%. Šis radītājs raksturo nesaistītā smilts-šķembu seguma stiprību uzreiz pēc ieklāšanas/profilēšanas.

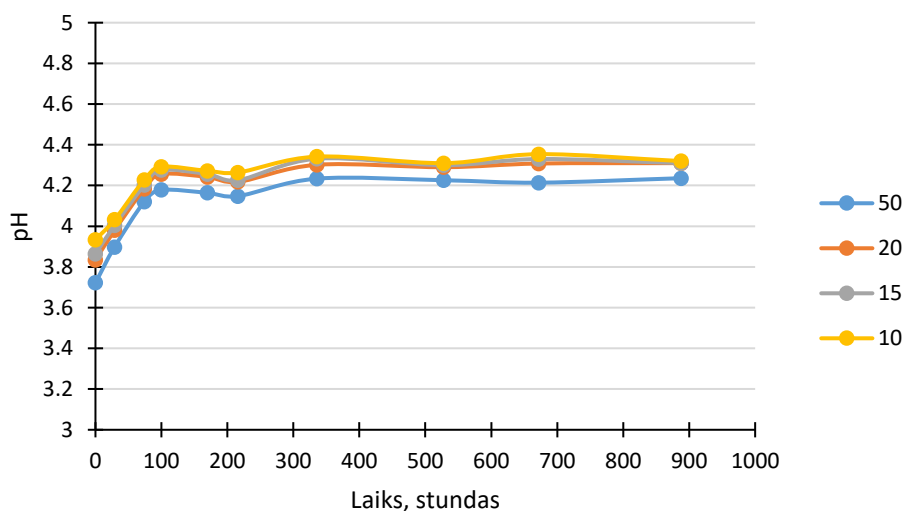
4-3. tabula. Grants ceļa segumu fizikālmehāniskās īpašības

Īpašība	Standarts	Mērvienība	Meža ceļš	
			Ceļš Dzintari- Ābeles	Abermaņa ceļš
Drupinātas vai lauztas daļiņas	LVS EN 933-5	%	57	68
Pilnīgi drupinātas vai lauztas daļiņas		%	30	20
Pilnīgi noapaļotas daļiņas		%	11	9
Formas indekss	LVS EN 933-5	%	8	5
Losandželas koeficients, LA	LVS EN 1097-2		27	25
Šķietamais daļiņu blīvums	LVS EN 1097-2	Mg/m ³	2,753	2,763
Krāsni žāvēta materiāla daļiņu blīvums		Mg/m ³	2,612	2,628
Daļiņu blīvums		Mg/m ³	2,663	2,676
Ūdens absorbcija WA24		%	2,0	1,9
Proktorblīvums	LVS EN 13286-2	Mg/m ³	2,227	2,239
Optimālais mitrums		%	5,8	5,6
Tūlītējās nestspējas indekss	LVS EN 13286-2	%	144	100

4.3 Lignosulfonāta pH

Lignosulfonāta pH vērtība tika noteikta, lai varētu spriest par atputeļošanas līdzekļa ietekmi uz tehnisko aprīkojumu šķīduma sagatavošanas/atšķaidīšanas un transportēšanas laikā, kā arī tā potenciālo ietekmi uz apkārtējo vidi ekspluatācijas laikā. Pēc tehnisko datu lapas informācijas piegādātā 50 % lignosulfonāta pH vērtība bija robežās no 4 līdz 7. Kopumā pH vidējā vērtība pirms tā atšķaidīšanas ar ūdeni bija 3,7, kas atbilst tehniskās specifikācijas *noapaļoto* vērtību diapazona

apakšējai robežai. Atšķaidot 50 % lignosulfonātu ar ūdeni līdz 10 %, 15 un 20 % koncentrācijai, tā pH būtiski nemainījās, t. i., pieauga par 0,2 vienībām līdz pH=3,9. Uzglabājot lignosulfonātu un ik pa laikam veicot testēšanu, tā pH vērtība laika gaitā nemainījās. Lielākās pH izmaiņas 0,5 vienību robežās tika novērotas pirmo 100 stundu laikā, kas acīmredzot saistīts ar lignosulfonāta šķīduma līdzsvarošanos laboratorijas vides apstākļos. Pēc tam lignosulfonāta pH vērtība saglabājās faktiski nemainīga – atkarībā no koncentrācijas 4,2–4,3 robežās. LAU bāzē “Neceri”, Ķekavas pagastā, samaisīto lignosulfonātu pH vērtība bija 4,4. Paraugs ņemts no autocisternām izsmidzināšanas laikā uz meža ceļa *Dzintari-Ābeles* (19.06.2023.). Līdzīga pH vērtība ir lignosulfonāta paraugam, kurš paņemts no autocisternas, veicot *Abermaņa meža ceļa* posmu atputeķlošanu (29.06.2023.). Uz *Abermaņa meža ceļa* lignosulfonātu sajaukšana/atšķaidīšana ar ūdeni tika veikta uz vietas objektā. Līdz ar to var secināt, ka lignosulfonātu pH vērtības eksperimenta laikā bija stabilas (skat.0. attēls).



4-3. attēls. Laboratorijā sagatavoto lignosulfonāta šķīdumu pH izmaiņas laikā, ja to koncentrācija ir 50 %, 20 %, 15 % un 10 %.

4.4 Lignosulfonāta viskozitāte

Lignosulfonātu viskozitāte tika noteikta, lai varētu spriest par tā plūstamību, kas ir būtiska, gan pārsūkņējot to ceļu uzturētāju transporta izsmidzināšanas cisternās (50 % koncentrācijā), gan sagatavojot darba šķīdumus (testi veikti potenciālajai darba koncentrācijai – 10 %, 15 % un 20 %) un izsmidzinot tos uz ceļa seguma (skat. 4-4. tabula).

Konstatēts, ka sākotnējā 50 % lignosulfonāta šķīduma viskozitāte pie rotācijas ātruma 500 apgr./min ir 240 mPa·s. Pēc lignosulfonāta atšķaidīšanas laboratorijā līdz darba koncentrācijai 20 %, 15 % un 10 %, tā viskozitāte būtiski samazinājās – attiecīgi līdz 5,2 mPa·s, 4,4 mPa·s un 3,5 mPa·s. Meža ceļa *Dzintari-Ābeles* un *Abermaņa ceļa* posmos to atputeķlošanai izmantotā ≈ 17 % lignosulfonāta

šķīduma viskozitāte bija 4,2 mPa·s, kas mērījumu kļūdas robežās korelē ar laboratorijā sagatavoto šķīdumu viskozitāti.

4-4. tabula. Dažādas koncentrācijas lignosulfonāta šķīdumu viskozitāte

Lignosulfonāta koncentrācija, %	Viskozitāte, mPa·s
50	240±2
20	5,2±0,4
17	4,2±0,3*/4,2±0,3**
15	4,4±0,4
10	3,5±0,5

* Lignosulfonāta paraugi paņemti no autocisternas, veicot meža ceļa Dzintari-Ābeles atputekļošanu.

** Lignosulfonāta paraugi paņemti no autocisternas, veicot Abermaņa meža ceļa atputekļošanu.

5 Atputeķļošanas līdzekļu iestrāde

5.1 Lignosulfonāta piegāde

Pētījuma 2. etapam izvēlēts Norvēģijas ražotāja lignosulfonāts, kuram 1. etapa laboratoriskajos pētījumos bija vislabākās atputeķļošanas īpašības [1]. Lignosulfonāts tika piegādāts 1 m³ (1250 kg) tilpuma tvertnēs (skat.0. attēlu (a) un (b)). Kopā darba uzdevuma izpildei tika pasūtītas 25 tonnas (divdesmit 1 m³ tvertnes) lignosulfonāta. Pēc pasūtījuma veikšanas piegāde aizņēma divas nedēļas. Līdz iestrādei lignosulfonāts tika uzglabāts angārā (skat. 0. attēlu (c)).

(a)



(b)



(c)



5-1. attēls. Lignosulfonāta piegāde: (a) – izkraušana; (b) – 1000 l tvertne; (c) – uzglabāšana.

5.2 Autocisternas ar izsmidzinātājiem uzpildīšana

Pētījumam tika piegādāts 50 % koncentrācijas lignosulfonāts. Lai iegūtu nepieciešamo 17 % koncentrāciju, vienai 1 m³ (1000 l) tvertnei ar 50 % lignosulfonātu pievienoja divas šādas tvertnes ar ūdeni. Vispirms autocisternā (tilpums 10 m³) no tvertnes iepildīja 50 % lignosulfonātu un tad, tukšo tvertni izmantojot par mētrauku, autocisternu piepildīja ar ūdeni. Kopā autocisternā iepildīja trīs pilnas lignosulfonāta tvertnes – 3 m³/3750 kg un papildus vēl 0,3 m³/350 kg 50 % lignosulfonāta, kā arī 6,6 m³, t. i., sešas pilnas tvertnes un papildus vēl 0,6 m³ ūdens. Viss process aizņēma aptuveni divas stundas.

Sākotnēji *Dzintari-Ābeles meža ceļa* posmu atputeķlošanai tika izmantotas divas autocisternas ar izsmidzinātājiem (skat. 5-5. (a) un 5-7.attēlu). Vienu autocisternu pildīja, izmantojot šļūteni, otru – no augšas, izmantojot pacēlāju0. attēlu). Otram automobilim bija arī maisīšanas opcija. Meža ceļa *Dzintari-Ābeles* atputeķlošanai autocisternu piepildīšana tika veikta 19.06.2023. LAU bāzē “Neceri”, Ķekavas pagastā, Transportēšana no bāzes līdz objektam aizņēma 30–40 minūtes. Savukārt *Abermaņa meža ceļa* atputeķlošanai autocisternu pildīja uz vietas objektā, ūdeni ņemot no Daugavas pie Ķeguma HES (skat. 0. attēlu).

(a)



(b)



(c)



(d)



5-2. attēls. Autocisternas uzpildīšana ar lignosulfonātu meža ceļa posma Dzintari-Ābeles atpūteklīšanai 19.06.2023.: (a) 50 % lignosulfonāta izsūkņēšana no 1 m³ tvertnes; (b) iesūkņēšana autocisternā; (c) autocisternas piepildīšana no augšas, izmantojot pacēlāju; (d) lignosulfonāta 50 % koncentrāta plūsma autocisternā.

(a)



(b)



(c)



5-3. attēls. Autocisternas uzpildīšana ar lignosulfonātu Abermaņa meža ceļa atputeķļošanai 29.06.2023.: (a) autocisternas pildīšana no augšas, izmantojot pacēlāju; (b) piegādātie atputeķļošanas līdzekļi – CaCl_2 un lignosulfonāts; (c) ūdens iepildīšana.

5.3 Atputeķļošanas līdzekļu iestrāde

5.3.1 Atputeķļošana ar kalcija hlorīdu

Atbilstoši darba uzdevumam atputeķļošana tika veikta ne tikai ar lignosulfonātu, bet arī ar Latvijas apstākļiem tradicionālo paņēmienu – neorganisko sāli kalcija hlorīdu (CaCl_2). Atputeķļošanai to lietoja parastā jeb standarta devā – CaCl_2 pārslas 390 g/m^2 (tīrais $\text{CaCl}_2 = 300 \text{ g/m}^2$), kā arī dubultā devā – 780 g/m^2 (tīrais $\text{CaCl}_2 = 600 \text{ g/m}^2$). CaCl_2 izmantošanas mērķis bija salīdzināt lignosulfonāta un CaCl_2 atputeķļošanas efektivitāti. Liela apjoma darbiem CaCl_2 ir pieejams hermētiski aizsargātā 1000 kg iepakojumā (skat.0. attēlu).

(a)



(b)



5-4. attēls. CaCl_2 atputeķļošanas darbu veikšanai: (a) izvērtā veidā; (b) 1000 kg iepakojumos.

Darba izpilde ar CaCl_2 veikta šādos etapos:

- 1) grants seguma profilēšana, ja nepieciešams – laistot (skat. 0. attēlu);
- 2) CaCl_2 standarta devas 390 g/m^2 iestrāde/izkaisīšana (skat. 0.) attēlu);
- 3) planēšanas papildgājiens posmā ar CaCl_2 dubulto devu;
- 4) CaCl_2 standarta devas 390 g/m^2 atkārtota iestrāde/izkaisīšana posmā ar CaCl_2 dubulto devu;

- 5) grants seguma pieblīvēšana ar tehniku, ja nepieciešams (ja satiksmes intensitāte ir neliela vai tās nav vispār).

(a)



(b)



5-5. attēls. Grants seguma laistīšana/mitrināšana (a) un profilēšana (b).



5-6. attēls. Kalcija hlorīda iestrāde (izkaisīšana).

5.3.2 Aputeķļošana ar lignosulfonātu

Meža autoceļu Dzintari-Ābeles un Abermaņa ceļa posmos kopā tika izlietoti 20 m³ lignosulfonāta Dustex 50 % IBC koncentrāta (23,75 t). Pirms izmantošanas tas atšķaidīts ar ūdeni attiecībā 1:2, kopā iegūstot 30 m³ aptuveni 17 % šķīduma (skat. 5.1. un 5.2. nodaļu). Aputeķļošanai atšķaidīto, uz ceļa izsmidzināmo lignosulfonāta darba šķīdumu lietoja parastā jeb standarta un dubultā devā – 1,5 l/m² un 3,0 l/m². Pirms aputeķļošanas ar lignosulfonātu veikta grants seguma mitrināšana un profilēšana.

Aputeķļošanai ar lignosulfonāta parasto/standarta devu tika veikti šādi darbi:

- 1) sagatavotā lignosulfonāta darba šķīduma iestrāde vairākos gājienos (vidēji 3–4 gājienos, lai lignosulfonāts nenotecētu no grants seguma, bet pakāpeniski iesūktos dziļumā), līdz tiek sasniegta standarta koncentrācija 1,5 l/m² (skat.0. attēlu);

- 2) grants seguma pieblīvēšana ar tehniku, ja nepieciešams (ja satiksmes intensitāte ir neliela ($AADT < 100$) vai tās nav vispār).



5-7. attēls. Lignosulfonāta iestrāde.

Aputeklīšanai ar lignosulfonāta dubulto devu tika veikti šādi darbi:

- 1) sagatavotā lignosulfonāta darba šķīduma iestrāde 3–4 gājienos līdz koncentrācijas $1,5 \text{ l/m}^2$ sasniegšanai;
- 2) iemaisīšana, veicot planēšanas gājienu;
- 3) sagatavotā lignosulfonāta darba šķīduma iestrāde 3–4 gājienos līdz koncentrācijas $3,0 \text{ l/m}^2$ sasniegšanai;
- 4) grants seguma pieblīvēšana, ja nepieciešams (ja satiksmes intensitāte ir neliela vai tās nav vispār).

5.3.3 Aputeklīšana ar lignosulfonātu un CaCl_2

Aputeklīšanas līdzekļu sagatavošana aplūkota jau iepriekš (skat. 5.1. un 5.2. nodaļu). Darba izpilde iekļāva šādus etapus:

- 1) grants seguma profilēšanu, ja nepieciešams – laistot (laistīšanu parasti veica sausam segumam bezlietus periodā);
- 2) sagatavotā lignosulfonāta darba šķīduma iestrādi 3–4 gājienos līdz koncentrācijas $1,5 \text{ l/m}^2$ sasniegšanai;
- 3) CaCl_2 standarta devas 390 g/m^2 iestrādi/izkaisīšanu;

- 4) grants seguma pieblīvēšanu ar tehniku, ja nepieciešams (ja satiksmes intensitāte ir neliela vai tās nav vispār).

5.3.4 *Atputekļošanas darbi meža ceļā Dzintari-Ābeles*

Atputekļošana veikta 19.06.2023. Autoceļa platums – 5,0 m, atputekļotā posma garums – 3800 m. Tas sastāvēja no pieciem dažādi atputekļotiem, īsākiem posmiem (skat. 0. tabulu un 0. attēlu). Kopējā posma sākuma koordinātas: E 506627 un N 288632. Pirmais 1150 m garais posms atputekļots ar lignosulfonāta dubulto devu, tam seko 500 m garš posms, kas atputekļots ar CaCl_2 dubulto devu, nākamais ir 500 m garš posms, kur izmantota CaCl_2 standarta deva, aiz tā 500 m garš posms apstrādāts, kombinējot CaCl_2 un lignosulfonāta standarta devas, bet pēdējais, 1150 m garais posms atputekļots ar lignosulfonāta standarta devu. Kopējā posma beigu koordinātas: E 504041 un N 286596. Pēc atputekļotajiem ceļa posmiem seko neatputekļotais references posms.

5.3.5 *Atputekļošanas darbi Abermaņa meža ceļā*

Atputekļošana veikta 29.06.2023. Autoceļa platums – 7,0 m, atputekļotā posma garums – 2360 m, kas sastāvēja no pieciem dažādi atputekļotiem, īsākiem posmiem (atputekļošanas tehnoloģija identiska kā ceļā Dzintari-Ābeles; skat. 0. tabulu un 0. attēlu). Kopējā posma sākuma koordinātas: E 543043 un N 286760. Pirmais, 760 m garais posms atputekļots ar lignosulfonāta dubulto devu, tam seko 280 m garš posms, kas atputekļots ar CaCl_2 dubulto devu, nākamais ir 280 m garš posms, kur izmantota CaCl_2 standarta deva, aiz tā 280 m garš posms apstrādāts, kombinējot CaCl_2 un lignosulfonāta standarta devas, bet pēdējais, 760 m garais posms atputekļots ar lignosulfonāta standarta devu. Kopējā posma beigu koordinātas: E 542421 un N 284871. Pēc atputekļotajiem ceļa posmiem seko neatputekļotais references posms.

5-1. tabula. Meža ceļš Dzintari-Ābeles. Darbu izpilde 2023. gada 19. jūnijā

Posma Nr.	Atputekļošanas veids/līdzeklis	AL izlietotais daudzums (tīrā veidā) CaCl ₂ , g/m ² Dustex, l/m ²	Atputekļojamā platība, m ²	Sagatavotā AL izlietotais daudzums CaCl ₂ , g/m ² Dustex, l/m ²	AL daudzums kopā, t vai m ³	Posma garums, m	Darbību secība*	Tīrā AL daudzums CaCl ₂ , t Dustex, m ³
1.	Lignosulfonāts <i>Dustex</i> 50 % (atšķaidīts attiecībā 1:2 ar ūdeni)	1,0	5750	3,0	17,25	1150	Ū, L, P, L	5,32
2.	Kalcija hlorīds (CaCl ₂) <i>CC Road 77%</i>	600	2500	780	1,95	500	Ū, K, Ū	1,18
3.	Kalcija hlorīds (CaCl ₂) <i>CC Road 77%</i>	300	2500	390	0,97	500	Ū, K, Ū	0,59
4.	Kalcija hlorīds (CaCl ₂) <i>CC Road 77 %</i>	300	2500	390	0,97	500	Ū, L, K, Ū	0,59
	Lignosulfonāts <i>Dustex</i> 50 % (atšķaidīts attiecībā 1:2 ar ūdeni)	0,5	2500	1,5	3,75			0,98
5.	Lignosulfonāts <i>Dustex</i> 50 % (atšķaidīts attiecībā 1:2 ar ūdeni)	0,5	5750	1,5	8,63	1150	Ū, L	2,66
	Kopējais sagatavotā lignosulfonāta <i>Dustex</i> darba šķīduma daudzums, m ³				29,60	3800		9,90
	Kopējais kalcija hlorīda (CaCl ₂) daudzums, t				3,90			3,00

* Ū – laistīšana, L – lignosulfonāta šķīduma izsmidzināšana – 1,5 l/m², K – kalcija hlorīda izkaisīšana – 390 g/m², P – iemaisīšana ar planēšanas gājienu.



5-8. attēls. Meža ceļa Dzintari-Ābeles apsekošanas vietas/punkti pirms atputekļošanas darbu veikšanas.

5-2. tabula. Abermaņa meža ceļš. Darbu izpilde 2023. gada 29. jūnijā

Posma Nr.	Atputekļošanas veids/līdzeklis	AL izlietotais daudzums (tīrā veidā) CaCl ₂ , g/m ² Dustex, l/m ²	Atputekļojamā platība, m ²	Sagatavotā AL izlietotais daudzums CaCl ₂ , g/m ² Dustex, l/m ²	AL daudzums kopā, t vai m ³	Posma garums, m	Darbību secība*	Tīrā AL daudzums CaCl ₂ , t Dustex, m ³
1.	Lignosulfonāts <i>Dustex</i> 50 % (atšķaidīts attiecībā 1:2 ar ūdeni)	1,0	5320	3,0	15,96	760	Ū, L, P, L	5,32
2.	Kalcija hlorīds (CaCl ₂) CC Road 77 %	600	1960	780	1,53	280	Ū, K, Ū	1,18
3.	Kalcija hlorīds (CaCl ₂) CC Road 77 %	300	1960	390	0,76	280	Ū, K, Ū	0,59
4.	Kalcija hlorīds (CaCl ₂) CC Road 77 %	300	1960	390	0,76	280	Ū, L, K, Ū	0,59
	Lignosulfonāts <i>Dustex</i> 50 % (atšķaidīts attiecībā 1:2 ar ūdeni)	0,5		1,5	2,94			0,98
5.	Lignosulfonāts <i>Dustex</i> 50 % (atšķaidīts attiecībā 1:2 ar ūdeni)	0,5	5320	1,5	7,98	760	Ū, L	2,66
	Kopējais sagatavotā lignosulfonāta <i>Dustex</i> darba šķīduma daudzums, m ³				27,00	2360		9,00
	Kopējais kalcija hlorīda (CaCl ₂) daudzums, t				3,00			2,40

* Ū – laistīšana, L – lignosulfonāta šķīduma izsmidzināšana – 1,5 l/m², K – kalcija hlorīda izkaisīšana – 390 g/m², P – iemaisīšana ar planēšanas gājienu.



5-9. attēls. Abermaņa meža ceļa apsekošanas vietas/punkti pirms atputeķļošanas darbu veikšanas.

6 Meža autoceļu monitorings pēc atputeķļošanas līdzekļu iestrādes

6.1 Lignosulfonāta izskalošanās un grants seguma mitruma testēšana

Atputeķļoto grants ceļu seguma paraugu ņemšana veikta 19.06.2023. (no *Dzintari-Ābeles meža ceļa*) un 29.06.2023. (no *Abermaņa meža ceļa*) uzreiz pēc atputeķļošanas līdzekļu iestrādes. 13.07.2023. tika veikts 1. monitorings, 17.08.2023. – 2. monitorings, 13.09.2023. – 3. monitorings. Paraugi tajos ņemti no ceļa seguma virsmas un 5 cm dziļumā, tos ievietojot speciālos hermētiskos konteineros (skat.0. attēlu)



6-1. attēls. Sagatavošanās paraugu ņemšanai 5 cm dziļumā.

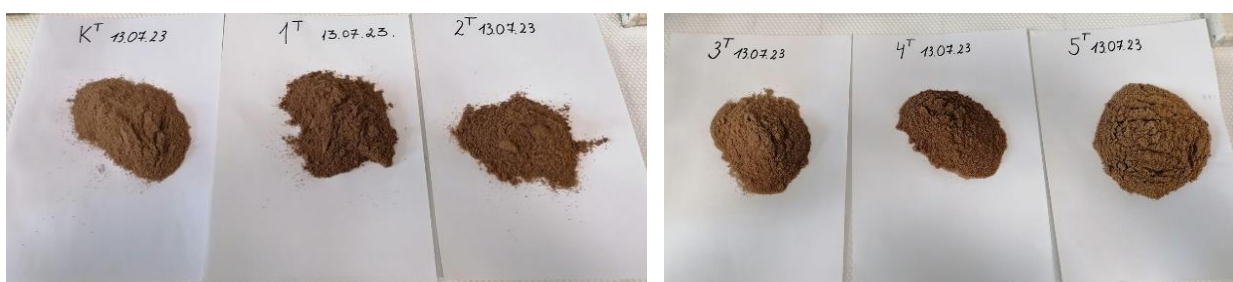
Laboratoriskie testi atbilstoši pētījuma uzdevumiem iekļāva:

- 1) grants paraugu mitruma noteikšanu;
- 2) lignosulfonāta koncentrācijas noteikšanu grants seguma virsmā un 5 cm dziļumā (sākotnējo un paliekošo, lai novērtētu izskalošanās dinamiku);
- 3) grants paraugu pH vērtības noteikšanu (ietekmes uz vidi un korozivitātes indikators).

Laboratoriskajiem testiem grants paraugi ņemti trīs atkārtojumos; veikta paņemto paraugu frakcionēšana, lai analīzei iegūtu smalko frakciju, < 2 mm (skat. 0. – 07. attēlu).



6-2. attēls. Grants paraugi, kas ņemti 1. monitoringā 5 cm dziļumā meža ceļā Dzintari-Ābeles, pēc frakcionēšanas.



6-3. attēls. Grants paraugi, kas ņemti 1. monitoringā 5 cm dziļumā Abermaņa meža ceļā, pēc frakcionēšanas.



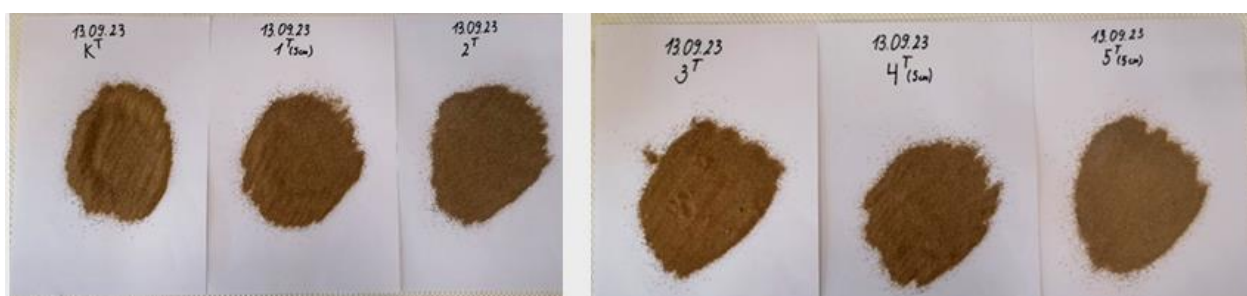
6-4. attēls. Grants paraugi, kas ņemti 2. monitoringā 5 cm dziļumā meža ceļā Dzintari-Ābeles, pēc frakcionēšanas.



6-5. attēls. Grants paraugi, kas ņemti 2. monitoringā 5 cm dziļumā Abermaņa meža ceļā, pēc frakcionēšanas.



6-6. attēls. Grants paraugi, kas ņemti 3. monitoringā 5 cm dziļumā meža ceļā Dzintari-Ābeles, pēc frakcionēšanas.



6-7. attēls. Grants paraugi, kas ņemti 3. monitoringā 5 cm dziļumā Abermaņa meža ceļā, pēc frakcionēšanas.

Atputekļoto ceļu frakcionētie grants paraugi tika nodoti akreditētai testēšanas laboratorijai SIA “Vides audits” toksisko vielu un hlorkarbonu koncentrācijas noteikšanai, kā arī paraugu pH vērtības mērīšanai (skat. šī pētījuma 6.7. nodaļu).

Pirms atputekļošanas darbu veikšanas tika noteikts meža ceļu seguma virsmas mitrums. Tas gan Dzintari-Ābeles, gan Abermaņa meža ceļa kontroles – references posmos bija nepietiekams, lai varētu sākt atputekļošanu – attiecīgi 2,27 % un 2,40 %. Tādēļ pirms atputekļošanas ceļu virsma tika mitrināta ar laistīšanas mašīnu (skat. 5-5. (a) attēlu), kas mitrumu Dzintari-Ābeles ceļa virsmā paaugstināja līdz 4,47 % (19.06.2023.), Abermaņa meža ceļa virsmā – līdz 4,83 % (29.06.2023.); pēc atputekļošanas mitruma saturs seguma virsmā būtiski palielinājās.

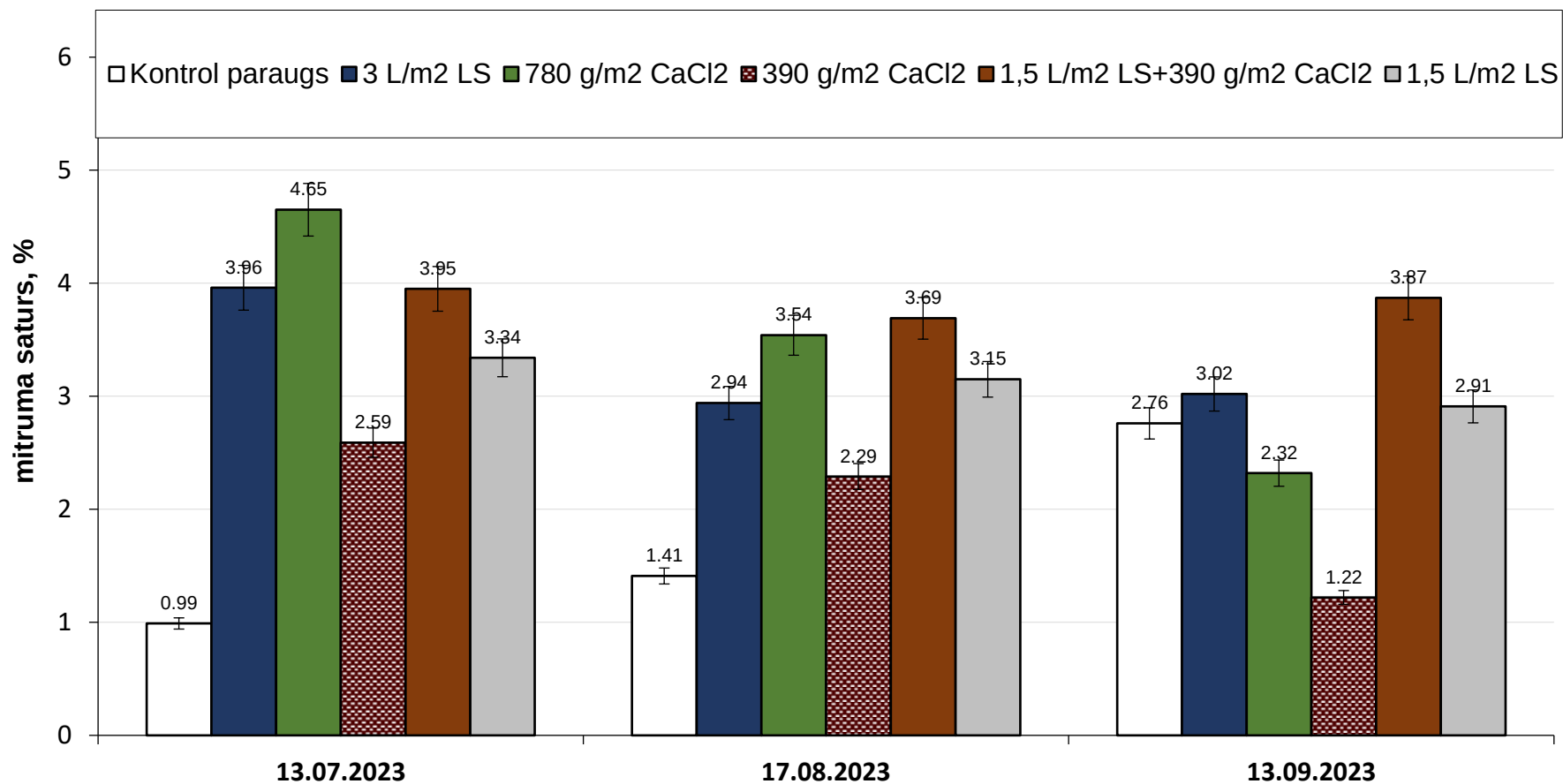
Ceļa Dzintari-Ābeles dažādos posmos seguma virsmā uzreiz pēc atputekļošanas darbu veikšanas bija šāds mitruma saturs:

- 1 posmā, kurš atputekļots ar lignosulfonāta dubulto devu, – 7,16 %;
- 2. posmā, kurš atputekļots ar CaCl₂ dubulto devu, – 8,10 %;
- 3. posmā, kurš atputekļots ar CaCl₂ standarta devu, – 9,47 %;
- 4. posmā, kurš atputekļots ar CaCl₂ un lignosulfonāta standarta devu kombināciju, – 9,76 %;
- 5. posmā, kurš atputekļots ar lignosulfonāta standarta devu, – 6,92 %.

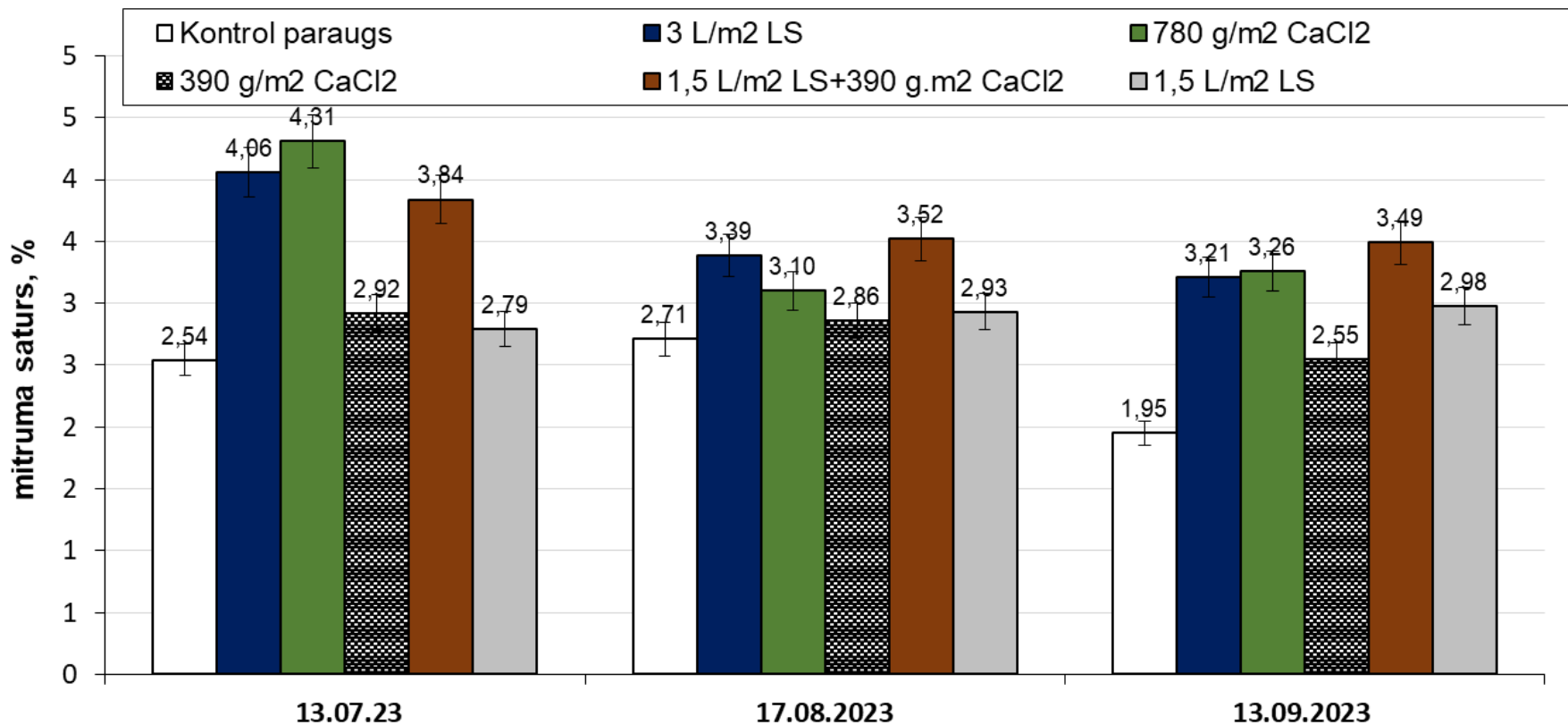
Abermaņa meža ceļa dažādos posmos seguma virsmā uzreiz pēc atputeķļošanas darbu veikšanas bija šāds mitruma saturs:

- 1. posmā, kurš atputeķļots ar lignosulfonāta dubulto devu, – 8,90 %;
- 2. posmā, kurš atputeķļots ar CaCl_2 dubulto devu, – 9,24 %;
- 3. posmā, kurš atputeķļots ar CaCl_2 standarta devu, – 9,85 %;
- 4. posmā, kurš atputeķļots ar CaCl_2 un lignosulfonāta standarta devu kombināciju, – 9,98 %;
- 5. posmā, kurš atputeķļots ar lignosulfonāta standarta devu, – 6,84 %.

Mitruma satura noteikšana 1. monitoringā 5 cm dziļumā ņemtajiem paraugiem parādīja, ka atputeķļošana izraisa mitruma palielināšanos seguma virsmā, salīdzinot ar kontroles paraugiem no neatputeķļotajām ceļu vietām (references posmos), par 32,1–53,2 % *Dzintari-Ābeles* meža ceļā un par 35,5–59,8 % *Abermaņa meža* ceļā. Vislielākais mitruma satura pieaugums bija paraugos, kas ņemti no abu ceļu 1. posma (ar lignosulfonāta dubulto devu), 2. posma (ar CaCl_2 dubulto devu) un no 4. posma (ar CaCl_2 un lignosulfonāta standarta devu kombināciju).

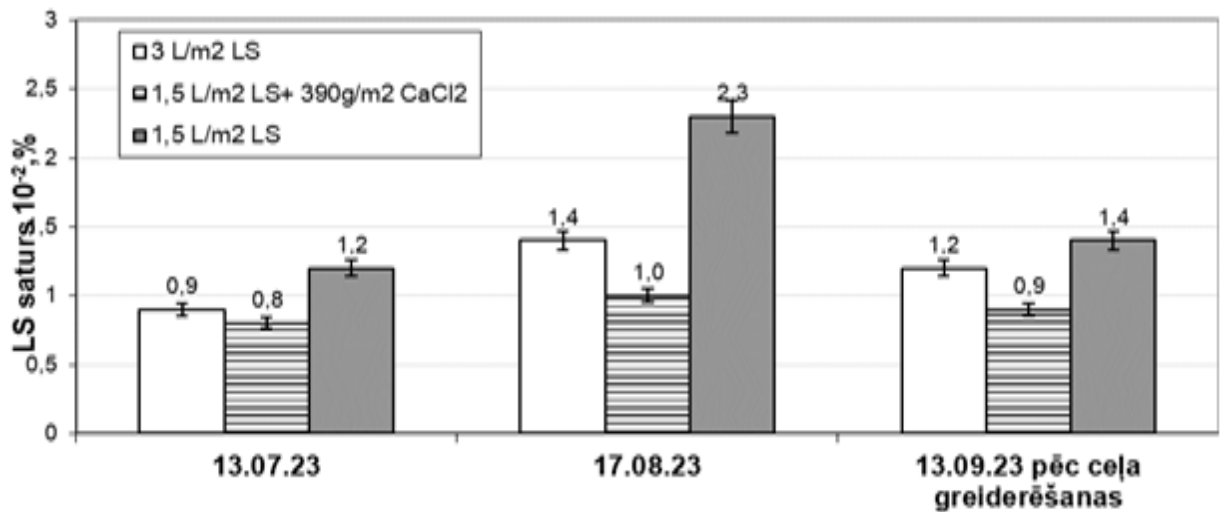


6-8. attēls. Mitruma saturs 5 cm dziļumā atputekļotajā meža ceļā Dzintari-Ābeles.

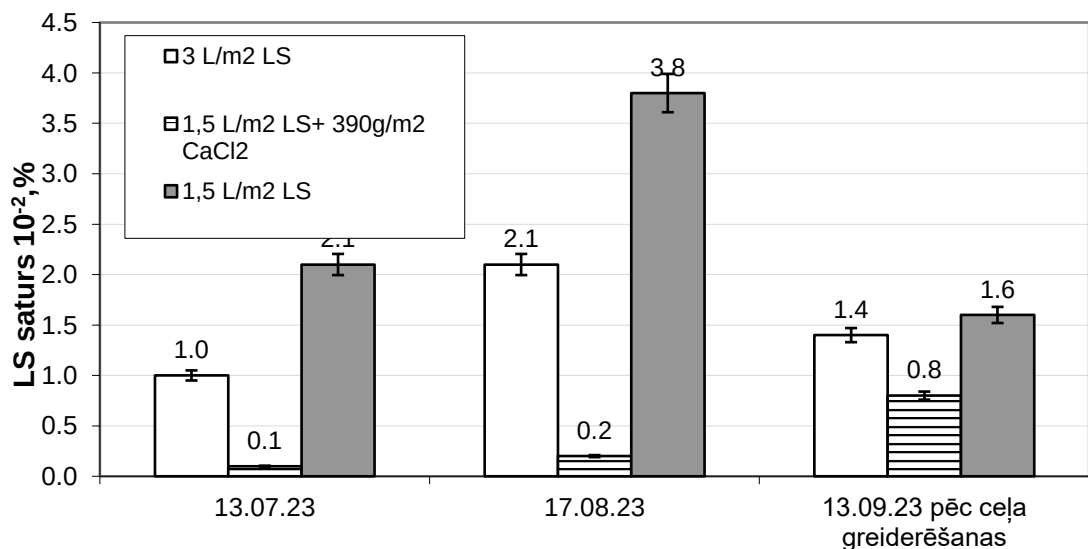


6-9. attēls. Mitruma saturs 5 cm dziļumā atputekļotajā Abermaņa meža ceļā.

Lignosulfonātu satura noteikšana paraugos, kas ņemti 1. monitoringā 5 cm dziļumā 24 dienas pēc meža ceļa *Dzintari-Ābeles* un 14 dienas pēc *Abermaņa meža* ceļa atputeķļošanas, parādīja, ka lignosulfonāta koncentrācija ūdens ekstraktos, kas izvilkti no 1., 4. un 5. posma 5 cm dziļumā ņemtajiem paraugiem, svārstās diapazonā $0,8\text{--}1,2 \cdot 10^{-2}\%$ meža ceļā *Dzintari-Ābeles* un diapazonā $0,1\text{--}2,1 \cdot 10^{-2}\%$ *Abermaņa* meža ceļā (skat. 6-10. un 6-11. attēlu).



6-10. attēls. Lignosulfonāta *Dustex* koncentrācija atputeķļotajā meža ceļā *Dzintari-Ābeles* 5 cm dziļumā.



6-11. attēls. Lignosulfonāta *Dustex* koncentrācija atputeķļotajā *Abermaņa meža* ceļā 5 cm dziļumā.

Salīdzinot lignosulfonātu koncentrāciju abu meža ceļu 5 cm dziļumā ņemto grants paraugu ūdens ekstraktos, konstatēts, ka periodā līdz 1. monitoringam lignosulfonātu izskalošanās no ceļu grants seguma virsējā slāņa praktiski nav notikusi (skat. 00. un 6-11. attēlu). Mērījumos iegūtās pH

vērtības 5 cm dziļumā ņemto paraugu ūdens ekstraktos rādīja, ka salīdzinājumā ar references posmu paraugiem, kam pH bija 8,09, pH vērtību izmaiņas nebija būtiskas ne meža ceļā *Dzintari-Ābeles*, ne *Abermaņa meža* ceļā, kopumā veidojot 0,1–0,2 pH vienības 1. un 5. posma grants paraugiem, 0,2–0,3 vienības 2. un 3. posma paraugiem, kā arī mazāk par 0,1 pH vienību 4. posma paraugiem.



6-12. attēls. Ar lignosulfonātu atputeķlotā ceļa 1. posma grants seguma virsmas “garoza”.

2. monitoringa laikā iegūtie rezultāti parādīja, ka lignosulfonātu koncentrācija 5 cm dziļumā no 1., 4. un 5. ceļa posma ņemto paraugu ūdens ekstraktos samazinājās no $0,99 \cdot 10^{-2} \%$ līdz $2,3 \cdot 10^{-2} \%$ *Dzintari-Ābeles* meža ceļā un no $0,19 \cdot 10^{-2} \%$ līdz $3,9 \cdot 10^{-2} \%$ *Abermaņa meža* ceļā. Salīdzinot šos rezultātus ar 1. monitoringa rezultātiem, konstatēts, ka šajā laika periodā lignosulfonātu izskalošanās no atputeķlotajiem grants ceļu posmiem ir palielinājusies. Mitruma saturs 5 cm dziļumā ņemtajos paraugos svārstījās no 2,29 % līdz 3,69 % (references posmā tas bija 1,41 %) *Dzintari-Ābeles* meža ceļa atputeķlotajos posmos un no 2,86 % līdz 3,52 % (references posmā – 2,71 %) *Abermaņa meža* ceļa atputeķlotajos posmos. Vislielākais mitruma saturs gan *Dzintari-Ābeles*, gan *Abermaņa meža* ceļā tika konstatēts šo ceļu 1., 2. un 4. posmā (skat. 0. un 03. attēlu).

3. monitorings tika veikts pēc ceļu virsmas greiderēšanas, kuras mērķis bija uzlabot braukšanas apstākļus pa atputeķloto *Dzintari-Ābeles* un *Abermaņa meža* ceļu. Iegūtie rezultāti parādīja, ka autoceļu greiderēšana negatīvi ietekmē atputeķlotā ceļa virsmas pretestību vēja erozijai un veicina putekļu daļiņu veidošanos. Par to liecināja no šiem ceļiem 5 cm dziļumā ņemto paraugu ūdens ekstraktu analīzes salīdzinājums ar references posma paraugu analīzi. Paraugu mitruma saturs 5 cm dziļumā *Dzintari-Ābeles* un *Abermaņa meža* ceļā bija attiecīgi par 10,2–32,3 % un 9,1–22,3 % lielāks, salīdzinot ar šo ceļu references posmu paraugiem. Vislielākais mitruma saturs 5 cm

dziļumā gan *Dzintari-Ābeles*, gan *Abermaņa meža* ceļā bija 1., 2. un 4. posmā ņemtajos paraugos. Lignosulfonātu saturs noteikšana greiderēto ceļu grants seguma virsmas paraugos parādīja, ka tā koncentrācija 1., 4. un 5. posma paraugu ūdens ekstraktos mainījās 0,023–0,052 % intervālā *Dzintari-Ābeles meža* ceļā un 0,037–0,013 % intervālā *Abermaņa meža* ceļā. Salīdzinot lignosulfonātu saturu ūdens ekstraktos no paraugiem, kas paņemti no ceļa virsmas un 5 cm dziļumā, tika konstatēts, ka pēc ceļu virsmas mehāniskās pārmaiņšāšanas, veicot greiderēšanu, paaugstinājusies lignosulfonātu koncentrācija 5 cm dziļumā – no 0,009 % līdz 0,014 % un no 0,016 % līdz 0,012 % attiecīgi *Dzintari-Ābeles* un *Abermaņa meža* ceļā. Greiderētajos ceļos vislielākais lignosulfonātu saturs virsmā bija ceļa 1. un 4. posmā, bet vismazākais – 5 cm dziļumā 4. posmā.

(a)



(b)



6-13. attēls. Ar lignosulfonātu atputekļotā grants seguma virsmas “garoza” ceļa 4. posmā (a) un 5. posmā (b).

6.2 Putekļu daudzuma novērtējums. 1. monitorings

6.2.1 Meža ceļš Dzintari-Ābeles

1. monitoringā (13.07.2023., saulaina diena, temperatūra 25–27 °C) sākotnēji veikts putekļu daļiņu daudzuma gaisā novērtējums atkarībā no braukšanas ātruma ar vieglo automobili (masa ap 2 t) neatputeķlotajā (references) ceļa posmā un atputeķlotajos posmos (skat. 0. tabulu). Putekļu mērīšana veikta pretvēja pozīcijā, izmantojot putekļu daudzuma noteikšanas lāzeriekārtu *CEL-712 MICRODUST PRO*, ražotājs – *Casella (Ideal Industries Ltd)*. Iekārta putekļu mērījumu rezultātus izsaka mg/m^3 (miligramos kubikmetrā, $1 \text{ mg/m}^3 = 1000 \text{ } \mu\text{g/m}^3$). Iekārtas mērīšanas diapazons ir no $0,001 \text{ mg/m}^3$ līdz $250,000 \text{ mg/m}^3$.

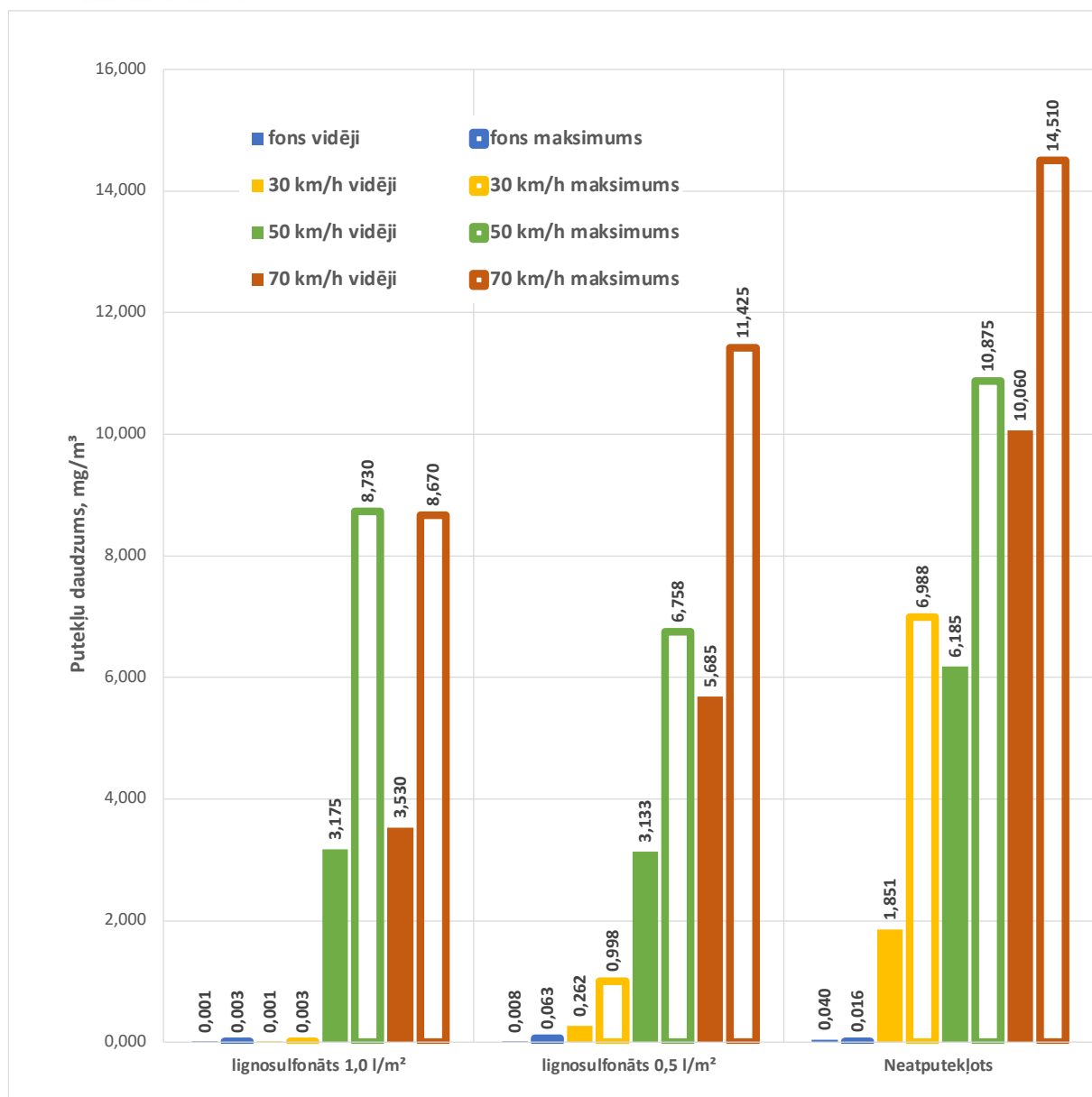
Neatputeķlotajā ceļa posmā putekļu vidējais daudzums gaisā, ja braukšanas ātrums ir 30 km/h, bija $1,85 \text{ mg/m}^3$, ja 50 km/h – $6,19 \text{ mg/m}^3$, ja 70 km/h – $10,06 \text{ mg/m}^3$ (skat.0. attēlu). Putekļu daudzuma gaisā fona vērtības, kuri rodas, piemēram, no vēja, bija ļoti nelielas – vidēji $0,016$ un maksimāli $0,04 \text{ mg/m}^3$; tās nav zem lāzeriekārtas apakšējās mērīšanas robežas. Attēlā var redzēt gan vidējās, gan ekstrēmās putekļu daudzuma vērtības, starp kurām vislielākā starpība bija vismazākā – 30 km/h – braukšanas ātruma gadījumā (attiecīgi $1,86 \text{ mg/m}^3$ un $6,98 \text{ mg/m}^3$, t. i., 3,7 reizes). Ja ātrums bija 50 km/h un 70 km/h, ekstrēmās vērtības bija attiecīgi par 45 % un 75 % lielākas par vidējām vērtībām. Ceļa atputeķlotajos posmos vērojams būtisks putekļu daļiņu daudzuma samazinājums: 1., 2., 3. un 4. posmā, ja ātrums bija 30 km/h, putekļu daļiņas netika fiksētas vispār (nepārsniedza fona līmeni), bet 5. posmā, kas atputeķlots ar lignosulfonāta standarta devu, putekļu daļiņu vidējais daudzums bija $0,262 \text{ mg/m}^3$, maksimālais – $0,998 \text{ mg/m}^3$, t. i., divas reizes mazāks nekā neatputeķlotajā ceļa posmā (skat. 0. un 0. attēlu). Braukšanas ātrumam palielinoties līdz 50 km/h, vismazākais putekļu daudzums bija ceļa posmos ar dubulto un parasto CaCl_2 devu – attiecīgi $0,004 \text{ mg/m}^3$ un $0,009 \text{ mg/m}^3$, kā arī posmā ar CaCl_2 un lignosulfonāta parasto devu kombināciju – $0,016 \text{ mg/m}^3$ (skat.0. attēlu). Salīdzinoši lielākas vidējā putekļu daudzuma vērtības bija ceļa posmos ar lignosulfonātu gan parastā, gan dubultā koncentrācijā – attiecīgi $3,133 \text{ mg/m}^3$ un $3,175 \text{ mg/m}^3$ (skat.0. attēlu). Braukšanas ātrumam pieaugot līdz 70 km/h, vismazākais putekļu daudzums joprojām bija posmos ar dubulto un parasto CaCl_2 devu – $0,026 \text{ mg/m}^3$ un $0,236 \text{ mg/m}^3$, kā arī ar CaCl_2 un lignosulfonāta parasto devu kombināciju – $0,221 \text{ mg/m}^3$ (skat.0. attēlu). Lielāks putekļu daļiņu daudzums, ja braukšanas ātrums bija 70 km/h, bija posmos ar parastās un dubultās koncentrācijas lignosulfonātu – attiecīgi $5,685 \text{ mg/m}^3$ un $3,530 \text{ mg/m}^3$. 0. attēlā parādītas kopsakarības starp automobiļa braukšanas ātrumu un putekļu veidošanās intensitāti.

6-1. tabula. Putekļu daudzums meža ceļā Dzintari-Ābeles 1. monitoringā 13.07.2023.

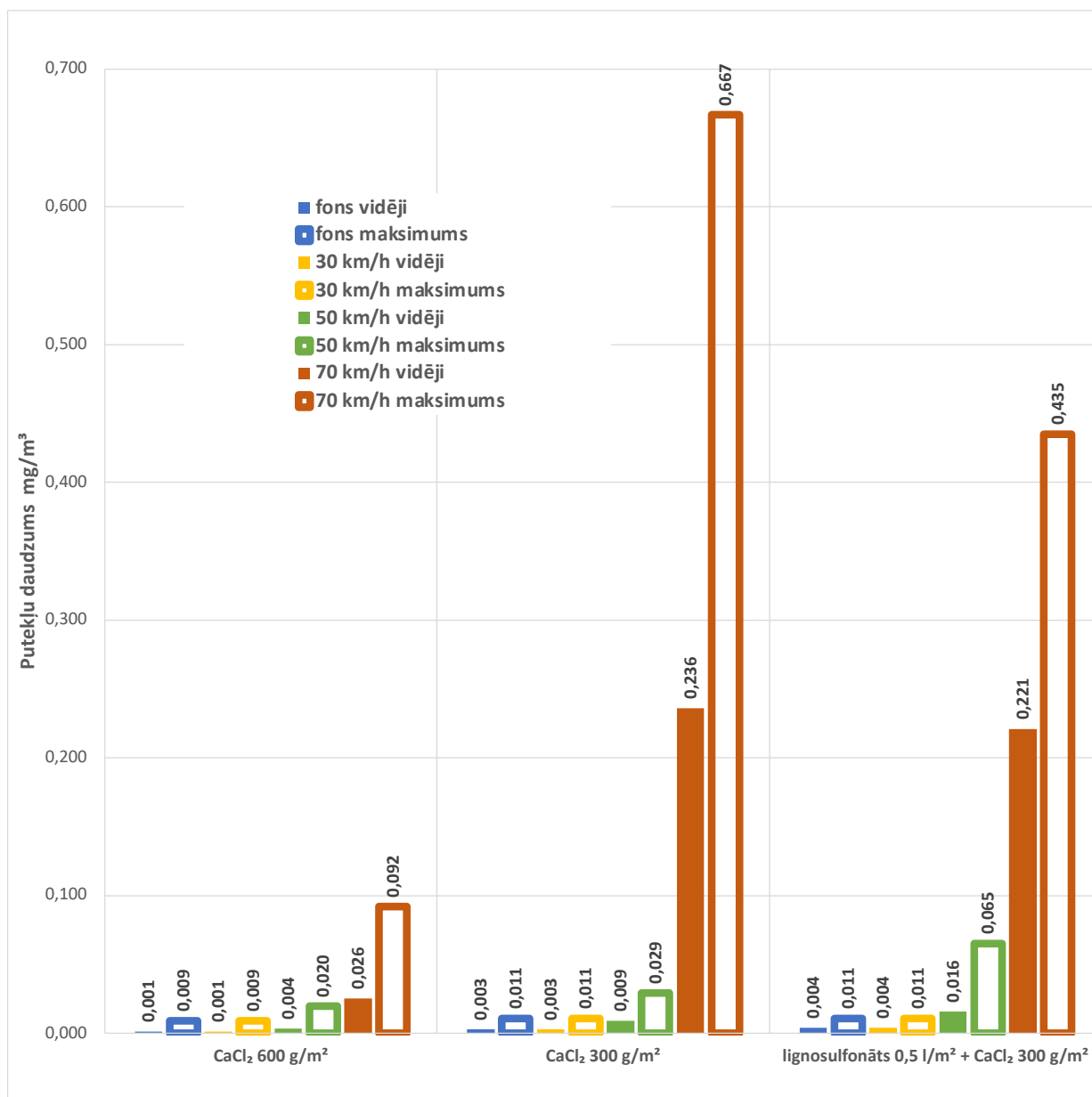
Automobiļa braukšanas ātrums / putekļu daudzums gaisā, mg/m ³	Putekļu daudzums atkarībā no atputeķļošanas veida, mg/m ³					
	Lignosulfonāts, 3,0 l/m ²	CaCl ₂ , 780 g/m ²	CaCl ₂ , 390 g/m ²	Lignosulfonāts, 1,5 l/m ² + CaCl ₂ , 390 g/m ²	Lignosulfonāts, 1,5 l/m ²	Neatputeķlots
Fons, vidēji	0,000	0,001	0,003	0,004	0,008	0,040
Fons, maksimāli	0,003	0,009	0,011	0,011	0,063	0,016
30 km/h, vidēji	-	-	-	-	0,262	1,851
30 km/h, maksimāli	-	-	-	-	0,998	6,988
50 km/h, vidēji	3,175	0,004	0,009	0,016	3,133	6,185
50 km/h, maksimāli	8,730	0,020	0,029	0,065	6,758	10,875
70 km/h, vidēji	3,530	0,026	0,236	0,221	5,685	10,060
70 km/h, maksimāli	8,670	0,092	0,667	0,435	11,425	14,510

6-2. tabula. Putekļu daudzums Abermaņa meža ceļā ceļš 1. monitoringā 13.07.2023.

Automobiļa braukšanas ātrums / putekļu daudzums gaisā, mg/m ³	Putekļu daudzums atkarībā no atputeķļošanas veida, mg/m ³					
	Lignosulfonāts, 3,0 l/m ²	CaCl ₂ , 780 g/m ²	CaCl ₂ , 390 g/m ²	Lignosulfonāts, 1,5 l/m ² + CaCl ₂ , 390 g/m ²	Lignosulfonāts, 1,5 l/m ²	Neatputeķlots
Fons, vidēji	0,006	0,008	0,012	0,016	0,084	0,007
Fons, maksimāli	0,011	0,021	0,022	0,030	0,153	0,010
30 km/h, vidēji	0,006	0,008	0,012	0,016	0,050	1,615
30 km/h, maksimāli	0,011	0,021	0,022	0,030	0,129	4,270
50 km/h, vidēji	0,057	0,008	0,012	0,045	0,021	1,772
50 km/h, maksimāli	0,229	0,021	0,022	0,288	0,067	7,780
70 km/h, vidēji	0,441	0,019	0,036	0,033	0,821	10,060
70 km/h, maksimāli	0,991	0,054	0,149	0,117	3,780	18,910



6-14. attēls. Putekļu daudzums meža ceļa Dzintari-Ābeles neatputeķlotajā posmā un ar lignosulfonātu atputeķlotajos posmos 1. monitoringā 13.07.2023.



6-15. attēls. Putekļu daudzums meža ceļa Dzintari-Ābeles ar CaCl₂, kā arī ar CaCl₂ un lignosulfonāta standarta devu kombināciju atputeķļotajos posmos 1. monitoringā 13.07.2023.

(a)



(b)



6-16. attēls. Meža ceļš Dzintari-Ābeles 1. monitoringā 13.07.2023. Braukšanas ātrums – 30 km/h: (a) neatputeķlots ceļš; (b) ar lignosulfonāta standarta devu atputeķlots ceļš.

(a)



(b)



(c)



6-17. attēls. Meža ceļš Dzintari-Ābeles 1. monitoringā 13.07.2023. Braukšanas ātrums – 50 km/h. Atputeķlošanai izmantota: (a) CaCl_2 dubultā deva; (b) CaCl_2 standarta deva; (c) CaCl_2 un lignosulfonāta standarta devu kombinācija.

(a)



(b)



(c)



6-18. attēls. Meža ceļš Dzintari-Ābeles 1. monitoringā 13.07.2023. Braukšanas ātrums – 50 km/h: (a) neatputeķlots ceļš; (b) ar lignosulfonāta dubulto devu atputeķlots ceļš; (c) ar lignosulfonāta standarta devu atputeķlots ceļš.

(a)



(b)



(c)



6-19. attēls. Meža ceļš Dzintari – Ābeles 1. monitoringā 13.07.2023. Braukšanas ātrums – 70 km/h. Atputeķlošanai izmantota: (a) CaCl_2 dubultā deva; (b) CaCl_2 standarta deva; (c) CaCl_2 un lignosulfonāta standarta devu kombinācija.

(a)



(b)



(c)



6-20. attēls. Meža ceļš Dzintari-Ābeles 1. monitoringā 13.07.2023. Braukšanas ātrums – 70 km/h: (a) neatputeķlots ceļš; (b) ar lignosulfonāta dubulto devu atputeķlots ceļš; (c) ar lignosulfonāta standarta devu atputeķlots ceļš.

6.2.2 Abermaņa meža ceļš

Abermaņa meža ceļa neatputeķlotajā posmā puteķļu vidējais daudzums, braucot ar vieglo automobili ar ātrumu 30 km/h, ir 1,615 mg/m³, ar 50 km/h – 1,772 mg/m³, ar 70 km/h – 10,06 mg/m³ (skat. 0. tabulu un 0. attēlu). Fona puteķļu daudzums ir ļoti mazs – 0,007–0,010 mg/m³. Braukšanas laikā puteķļu maksimālais daudzums, ja ātrums ir 30 km/h, ir 4,27 mg/m³, ja 50 vai 70 km/h – attiecīgi 7,78 mg/m³ un 18,910 mg/m³. Savukārt smagais automobilis, braucot pa šo posmu ar ātrumu 60 km/h, rada maksimālo puteķļu daudzumu 42,8 mg/m³ (skat. 0. un 0. attēlu), bet pa ceļa 1. posmu, kas atputeķlots ar lignosulfonāta dubulto devu, – maksimālo puteķļu daudzumu 1,863 mg/m³ (skat. 0. un 0. attēlu). Visos atputeķlotajos posmos ir būtisks puteķļu daļiņu daudzuma samazinājums salīdzinājumā ar neatputeķloto posmu. No 1. līdz 5. posmam, ja ātrums ir 30 km/h, puteķļu daļiņu vidējais daudzums gaisā bija attiecīgi 0,006, 0,008, 0,012, 0,016 un 0,05 mg/m³ (skat. 6-23. un 6-24. attēlu). Ātrumam pieaugot līdz 50 km/h, visos atputeķlotajos ceļa posmos joprojām veidojās tikai ļoti neliels puteķļu daudzums –

attiecīgi 0,057, 0,008, 0,012, 0,045 un 0,021 mg/m³ (skat.0), un arī tad, ja ātrums ir 70 km/h, joprojām radās tikai neliels putekļu daudzums. Vislabākie rezultāti, tāpat kā iepriekš, bija posmos ar dubulto CaCl₂ devu – 0,019 mg/m³, ar standarta CaCl₂ devu – 0,036 mg/m³, kā arī ar CaCl₂ un lignosulfonāta standarta devu kombināciju – 0,033 mg/m³ (skat.0). Lielāks putekļu daļiņu daudzums konstatēts ceļa posmā ar standarta koncentrācijas lignosulfonātu – 0,821 mg/m³ (skat. 6-23. un 6-28. 0), bet posmā ar dubultās koncentrācijas lignosulfonātu putekļu ir mazāk – 0,441 mg/m³ (skat.0).

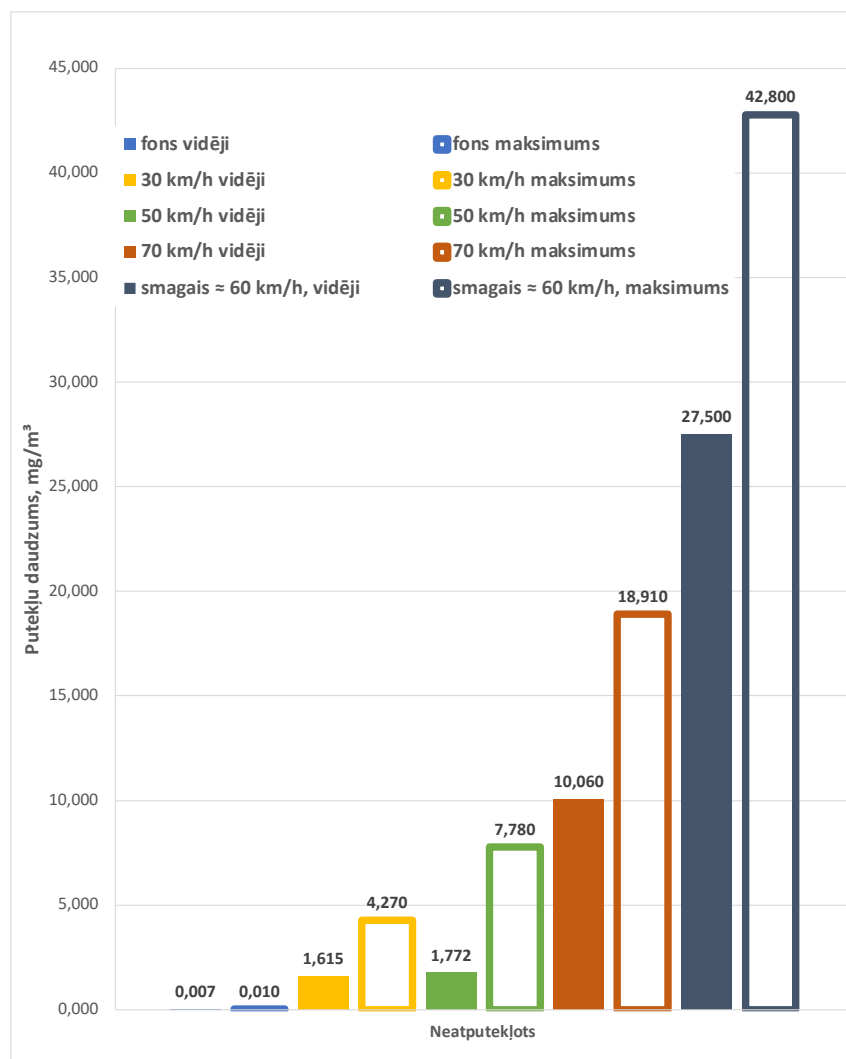
(a)



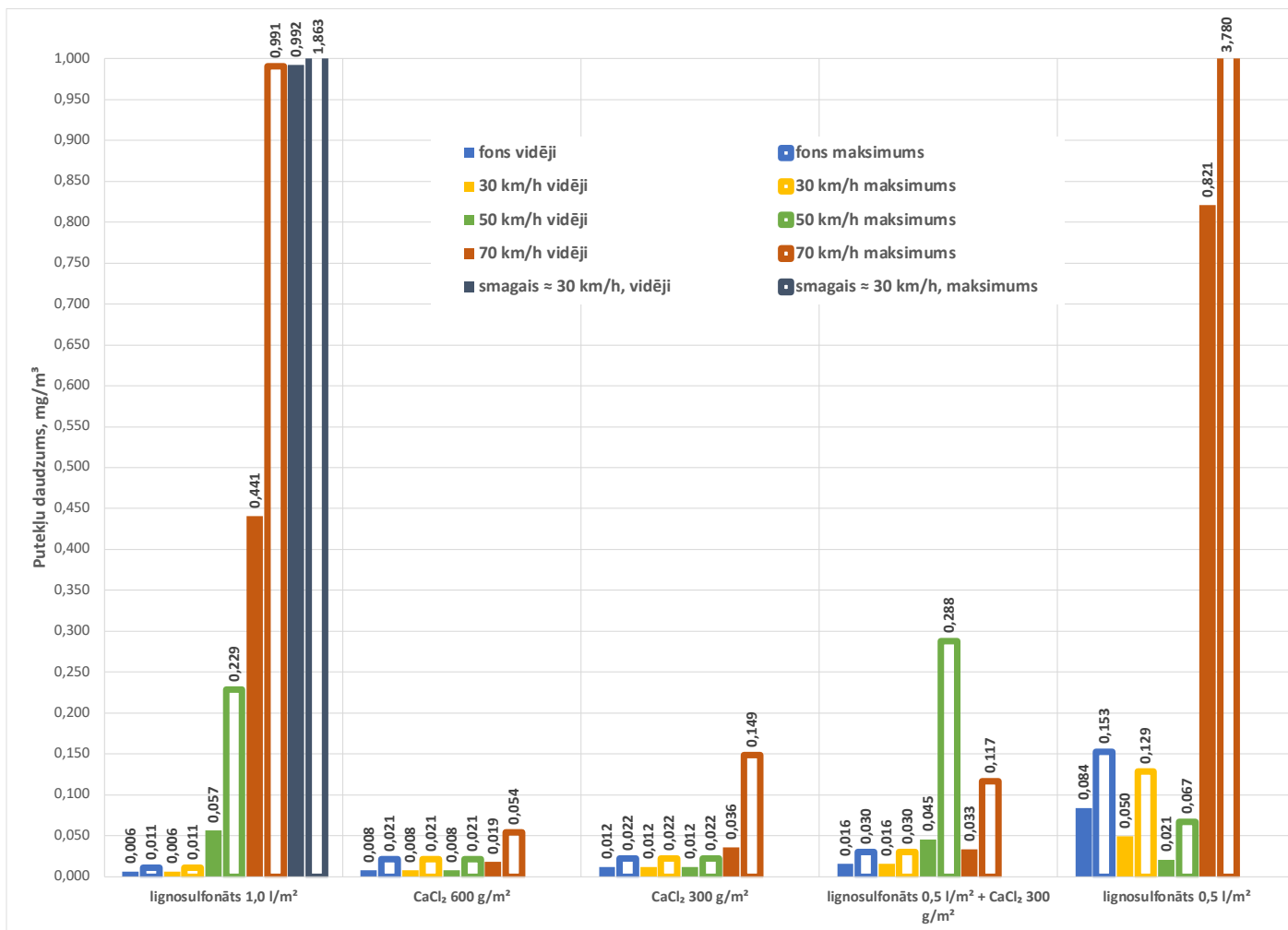
(b)



6-21. attēls. Putekļu daudzums neatputekļotajā Abermaņa meža ceļa posmā, ko rada piekraukts baļķu vedējs, braucot ar ātrumu 60 km/h: (a) skats no sāniem; (b) skats no aizmugures.



6-22. attēls. Putekļu daudzums Abermaņa meža ceļa neatputekļotajā posmā 1. monitoringā 13.07.2023.



6-23. attēls. Putekļu daudzums Abermaņa meža ceļa atputeķļotajos posmos 1. monitoringā 13.07.2023.

(a)



(b)



6-24. attēls. Abermaņa meža ceļš 1. monitoringā 13.07.2023., ja braukšanas ātrums ir 30 km/h:
(a) neatputeķlots; (b) atputeķlots ar lignosulfonāta standarta devu.

(a)



(b)



(c)



6-25. attēls. Abermaņa meža ceļš 1. monitoringā 13.07.2023., ja braukšanas ātrums ir 50 km/h:
(a) neatputeķlots; (b) atputeķlots ar lignosulfonāta standarta devu; (c) atputeķlots ar CaCl_2 un lignosulfonāta standarta devu kombināciju.



6-26. attēls. Abermaņa meža ceļš 1. monitoringā 13.07.2023. Braukšanas ātrums – 30 km/h.

(a)



(b)



(c)



(d)



6-27. attēls. Abermaņa meža ceļš 1. monitoringā 13.07.2023., ja ātrums ir 70 km/h: (a) neatputeķlots; (b) atputeķlots ar CaCl_2 dubulto devu; (c) atputeķlots ar CaCl_2 standarta devu; (d) atputeķlots ar CaCl_2 un lignosulfonāta standarta devu kombināciju.

(a)



(b)



6-28. attēls. Abermaņa meža ceļš 1. monitoringā 13.07.2023., ja ātrums ir 70 km/h: (a) atputekļots ar lignosulfonāta standarta devu; (b) atputekļots ar lignosulfonāta dubulto devu.

6.3 Putekļu daudzuma novērtējums. 2. monitorings 17.08.2023.

6.3.1 Meža ceļš Dzintari-Ābeles

2. monitoringā (17.08.2023.; gaisa temperatūra 24–27 °C, mainīgs mākoņu daudzums), līdzīgi kā 1. monitoringā, veikts putekļu daļiņu daudzuma gaisā novērtējums atkarībā no vieglā automobiļa braukšanas ātruma (skat. 6-3. 0).

Neatputekļotajā *Dzintari-Ābeles* meža ceļa posmā putekļu vidējais daudzums, ja braukšanas ātrums ir 30 km/h, bija 2,95 mg/m³, ja 50 km/h – 6,17 mg/m³, ja 70 km/h – 8,37 mg/m³ (skat. 0). Putekļu daudzuma gaisā fona vērtības ļoti nelielas – vidēji 0,035 mg/m³, maksimāli – 0,082 mg/m³; tās nav zem mēriekārtas apakšējās mērīšanas robežas. Ja braukšanas ātrums ir 50 km/h, ekstrēmajām putekļu daudzuma vērtībām ir vislielākā atšķirība no vidējās vērtības (attiecīgi 6,17 mg/m³ un 18,56 mg/m³ jeb trīs reizes). Ja ātrums ir 30 km/h un 70 km/h, ekstrēmās putekļu daudzuma vērtības ir attiecīgi par 59 % un 61 % lielākas par putekļu daudzuma vidējām vērtībām. Ar lignosulfonāta standarta un dubulto devu atputekļotajos ceļa posmos **nav novērojams putekļu daļiņu daudzuma samazinājums, jo putekļu daudzums posmā ar lignosulfonāta standarta devu**, ja braukšanas ātrums ir 30 km/h, ir 6,17 mg/m³, ja 50 km/h – 13,17 mg/m³, ja 70 km/h – 18,67 mg/m³, **kā arī posmā ar dubulto devu**, ja braukšanas ātrums ir 30 km/h, tas ir 3,22 mg/m³, ja 50 km/h – 6,57 mg/m³, ja 70 km/h – 9,76 mg/m³, respektīvi, tas **nav mazāks par putekļu daudzumu *Dzintari-Ābeles* meža ceļa neatputekļotajā references posmā** (skat.0). Savukārt visos posmos, kur lietota CaCl₂ standarta vai dubultā deva, kā arī CaCl₂ un lignosulfonāta standarta devu kombinācija, bija būtisks putekļu daudzuma samazinājums salīdzinājumā ar neatputekļoto references posmu (skat. 6-30.–6-36. (c), (d) un (e) 0). Ja braukšanas ātrums ir 30 km/h, ar CaCl₂ standarta un dubulto devu atputekļotajiem ceļa posmiem putekļu daļiņu daudzums ir līdzīgs – attiecīgi 0,023 mg/m³ un 0,026 mg/m³, bet ar CaCl₂ un lignosulfonāta standarta devu kombināciju atputekļotajam ceļa posmam – 0,057 mg/m³. Ātrumam pieaugot līdz 50 km/h, vismazākā putekļu koncentrācija bija ceļa posmā ar standarta CaCl₂ devu – 0,029 mg/m³, posmā ar dubulto CaCl₂ devu – 0,066 mg/m³ un, visbeidzot, ceļa posmā ar CaCl₂ un lignosulfonāta standarta devu kombināciju – 0,259 mg/m³ (skat. 6-30. un 6-35. 0). Ja ātrums pieaug līdz 70 km/h, vismazākā putekļu koncentrācija ir posmā ar CaCl₂ dubulto devu – 0,078 mg/m³, kam seko ceļa posmi ar CaCl₂ standarta devu – 0,287 mg/m³, un ar CaCl₂ un lignosulfonāta standarta devu kombināciju – 0,356 mg/m³ (skat. attēlu 6-30. attēls). Savukārt 6-32. attēlā parādītas kopsakarības starp automobiļa braukšanas ātrumu un putekļu veidošanās

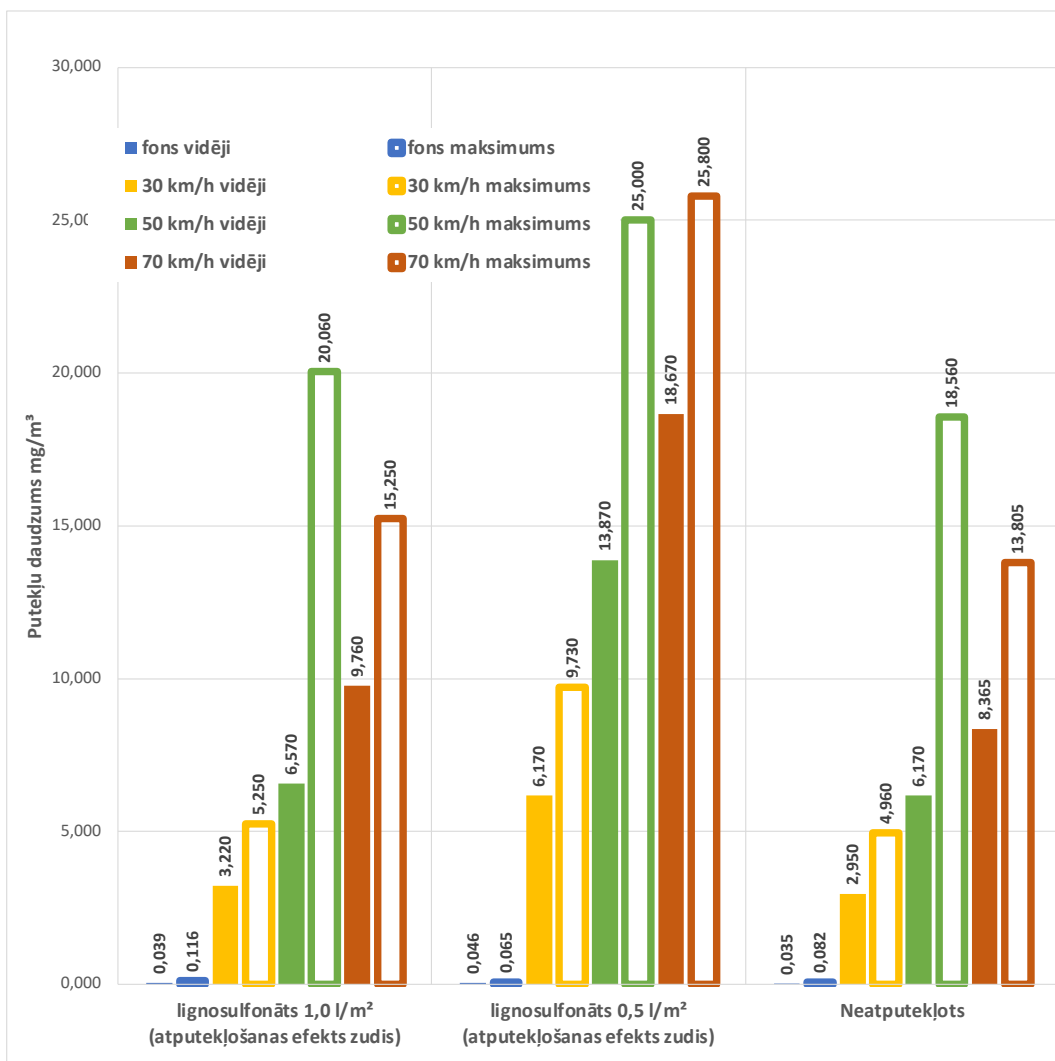
intensitāti, bet 6-33. attēlā – putekļu daudzuma izmaiņas salīdzinājumā ar putekļu daudzumu 1. monitoringā (13.07.2023.).

6-3. tabula. Putekļu daudzums meža ceļā Dzintari-Ābeles 2. monitoringā 17.08.2023.

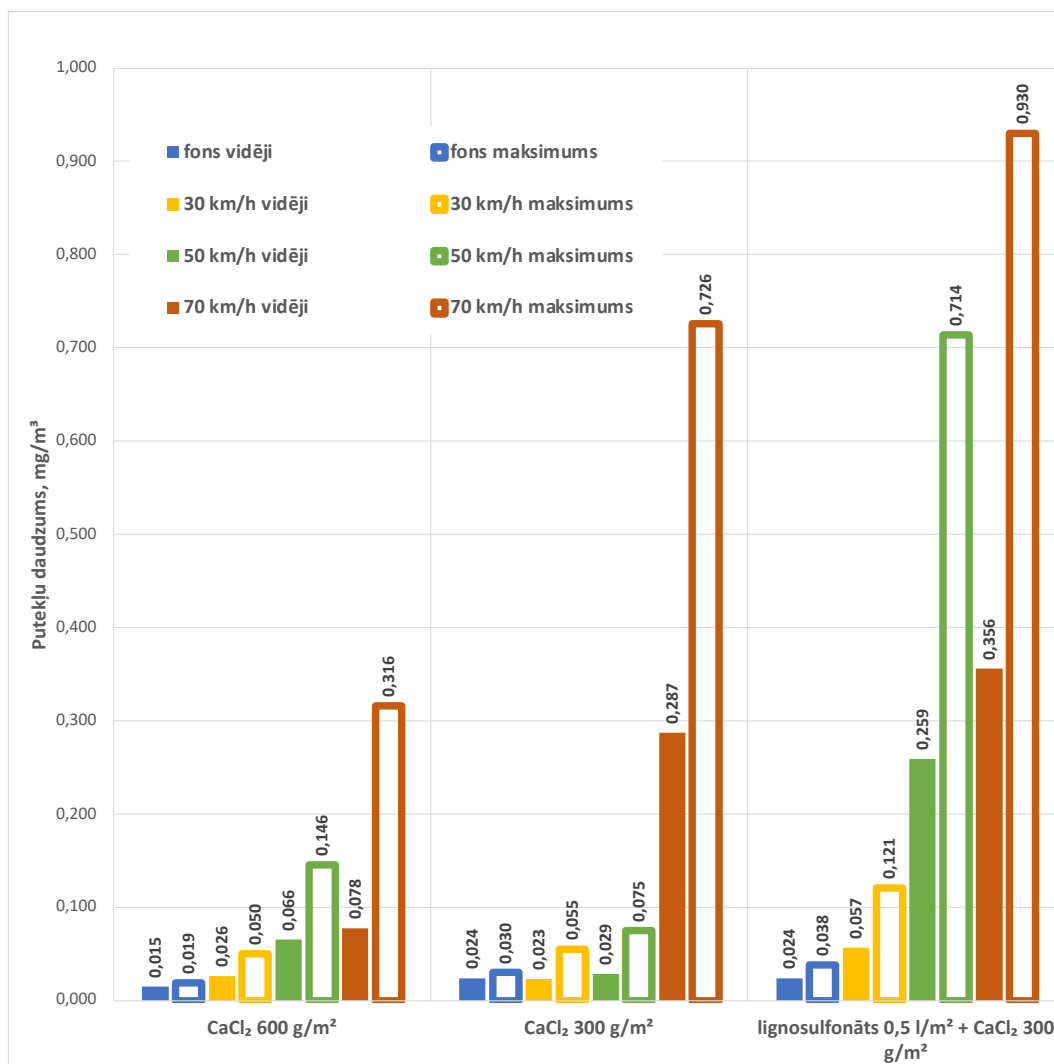
Automobiļa braukšanas ātrums / putekļu daudzums gaisā, mg/m ³	Putekļu daudzums atkarībā no atputekļošanas veida, mg/m ³					
	Lignosulfonāts, 3,0 l/m ²	CaCl ₂ , 780 g/m ²	CaCl ₂ , 390 g/m ²	Lignosulfonāts, 1,5 l/m ² + CaCl ₂ 390 g/m ²	Lignosulfonāts, 1,5 l/m ²	Neatputekļots ceļš
Fons, vidēji	0,039	0,015	0,024	0,024	0,046	0,035
Fons, maksimāli	0,116	0,019	0,030	0,038	0,065	0,082
30 km/h, vidēji	3,220	0,026	0,023	0,057	6,170	2,950
30 km/h, maksimāli	5,250	0,050	0,055	0,121	9,730	4,960
50 km/h, vidēji	6,570	0,066	0,029	0,259	13,870	6,170
50 km/h, maksimāli	20,060	0,146	0,075	0,714	25,000	18,560
70 km/h, vidēji	9,760	0,078	0,287	0,356	18,670	8,365
70 km/h, maksimāli	15,250	0,316	0,726	0,930	25,800	13,805

6-4. attēls. Putekļu daudzums Abermaņa meža ceļā 2. monitoringā 17.08.2023.

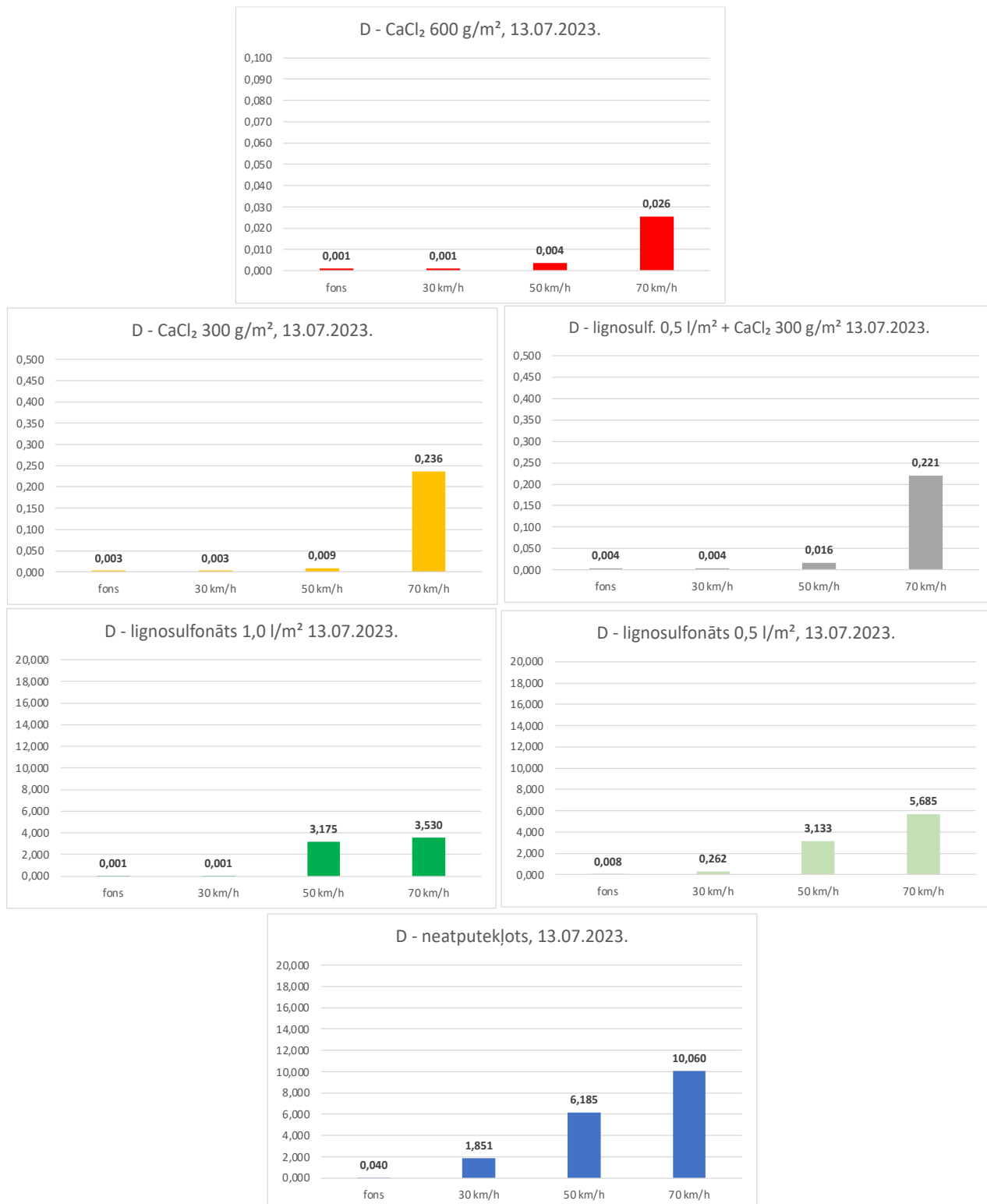
Automobiļa braukšanas ātrums / putekļu daudzums gaisā, mg/m ³	Putekļu daudzums atkarībā no atputekļošanas veida, mg/m ³					
	Lignosulfonāts, 3,0 l/m ²	CaCl ₂ , 780 g/m ²	CaCl ₂ , 390 g/m ²	Lignosulfonāts, 1,5 l/m ² + CaCl ₂ 390 g/m ²	Lignosulfonāts, 1,5 l/m ²	Neatputekļots ceļš
Fons, vidēji	0,035	0,024	0,031	0,031	0,039	0,105
Fons, maksimāli	0,070	0,044	0,063	0,055	0,057	0,338
30 km/h, vidēji	0,072	0,045	0,031	0,111	1,716	2,920
30 km/h, maksimāli	0,152	0,083	0,169	0,384	2,500	5,920
50 km/h, vidēji	0,983	0,021	0,105	0,171	2,258	3,090
50 km/h, maksimāli	1,541	0,052	0,335	0,459	3,800	6,120
70 km/h, vidēji	1,888	0,039	0,178	0,241	2,460	6,050
70 km/h, maksimāli	3,820	0,095	0,505	0,886	4,440	9,300



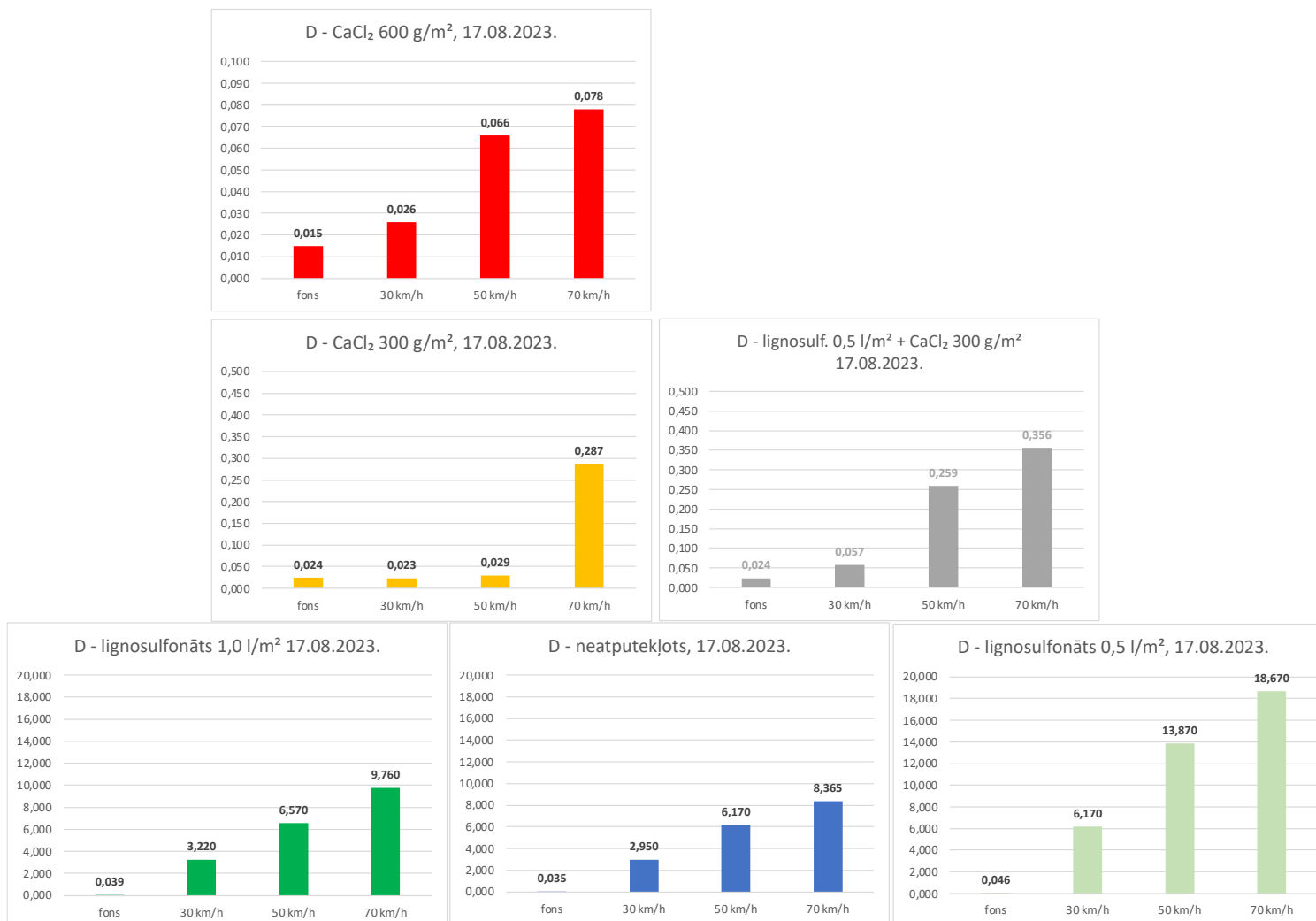
6-29. attēls. Putekļu daudzums atkarībā no automobiļa braukšanas ātruma meža ceļa Dzintari-Ābeles neatputeķļotajā un ar lignosulfonātu atputeķļotajos posmos 2. monitoringā 17.08.2023.



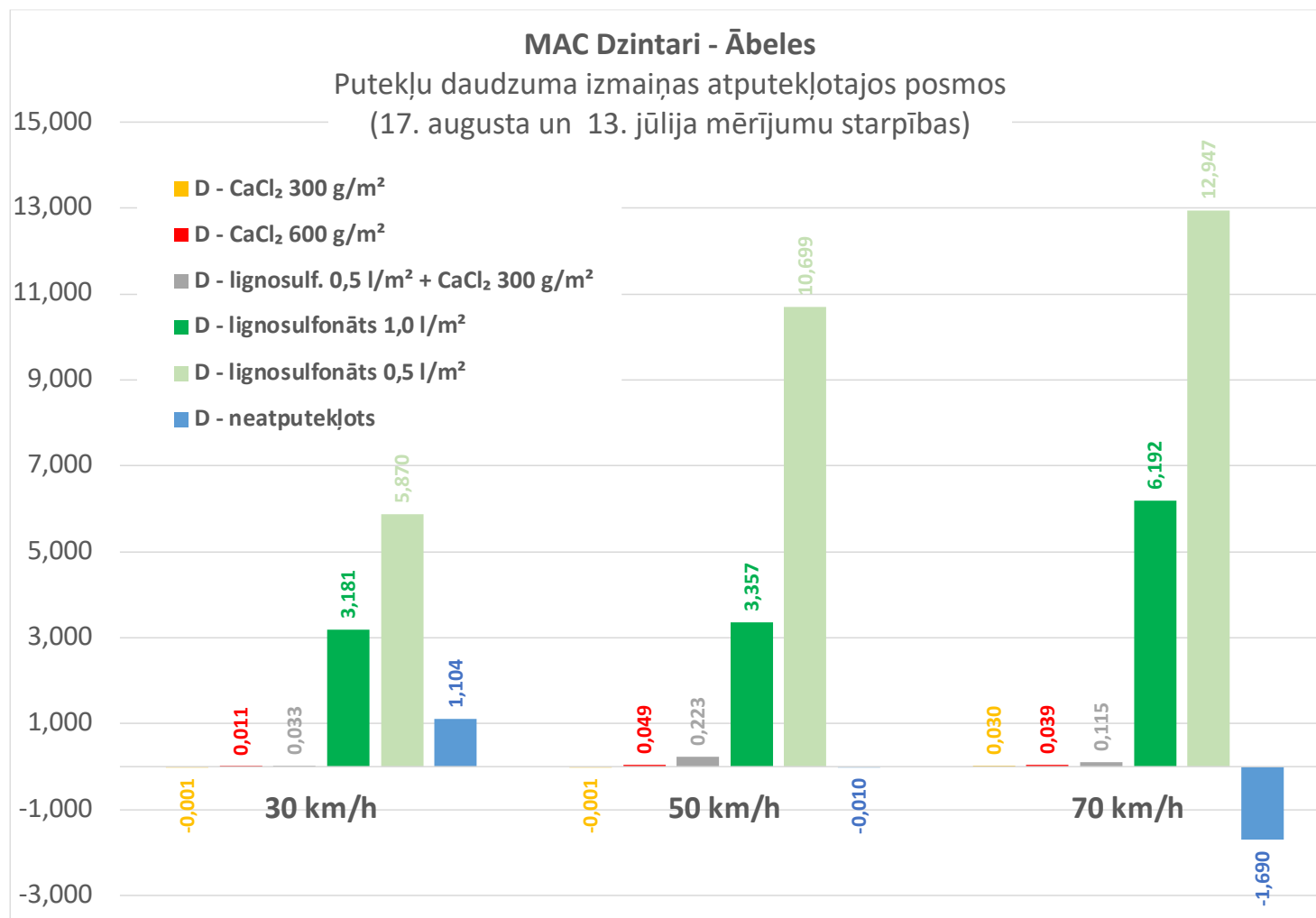
6-30. attēls. Putekļu daudzums meža ceļā Dzintari-Ābeles ar CaCl₂ atputekļotajos posmos atkarībā no automobiļa braukšanas ātruma 2. monitoringā 17.08.2023.



6-31. attēls. Kopsakarības automobiļa braukšanas ātrums – putekļu veidošanās intensitāte meža ceļā Dzintari-Ābeles 2. monitoringā 13.07.2023.



6-32. attēls. Kopsakarības automobiļa braukšanas ātrums – putekļu veidošanās intensitāte meža ceļā Dzintari-Ābeles 2. monitoringā 17.07.2023.



6-33. attēls. Putekļu daudzuma izmaiņu dinamika starp 1. un 2. monitoringu meža ceļā Dzintari-Ābeles

(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)



6-34. attēls. Putekļu daudzums meža ceļā Dzintari-Ābeles 2. monitoringā 17.08.2023., ja automobiļa braukšanas ātrums ir 30 km/h: (a) neatputekļots ceļš; (b) ceļš atputekļots ar lignosulfonāta standarta devu; (c) ar CaCl_2 un lignosulfonāta standarta devu kombināciju; (d) ar CaCl_2 standarta devu; (e) ar CaCl_2 dubulto devu; (f) ar lignosulfonāta dubulto devu.

(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)



6-35. attēls. Putekļu daudzums meža ceļā Dzintari-Ābeles 2. monitoringā 17.08.2023., ja automobiļa braukšanas ātrums ir 50 km/h: (a) neatputekļots ceļš; (b) ceļš atputekļots ar lignosulfonāta standarta devu; (c) ar CaCl_2 un lignosulfonāta standarta devu kombināciju; (d) ar CaCl_2 standarta devu; (e) ar CaCl_2 dubulto devu; (f) ar lignosulfonāta dubulto devu.

(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



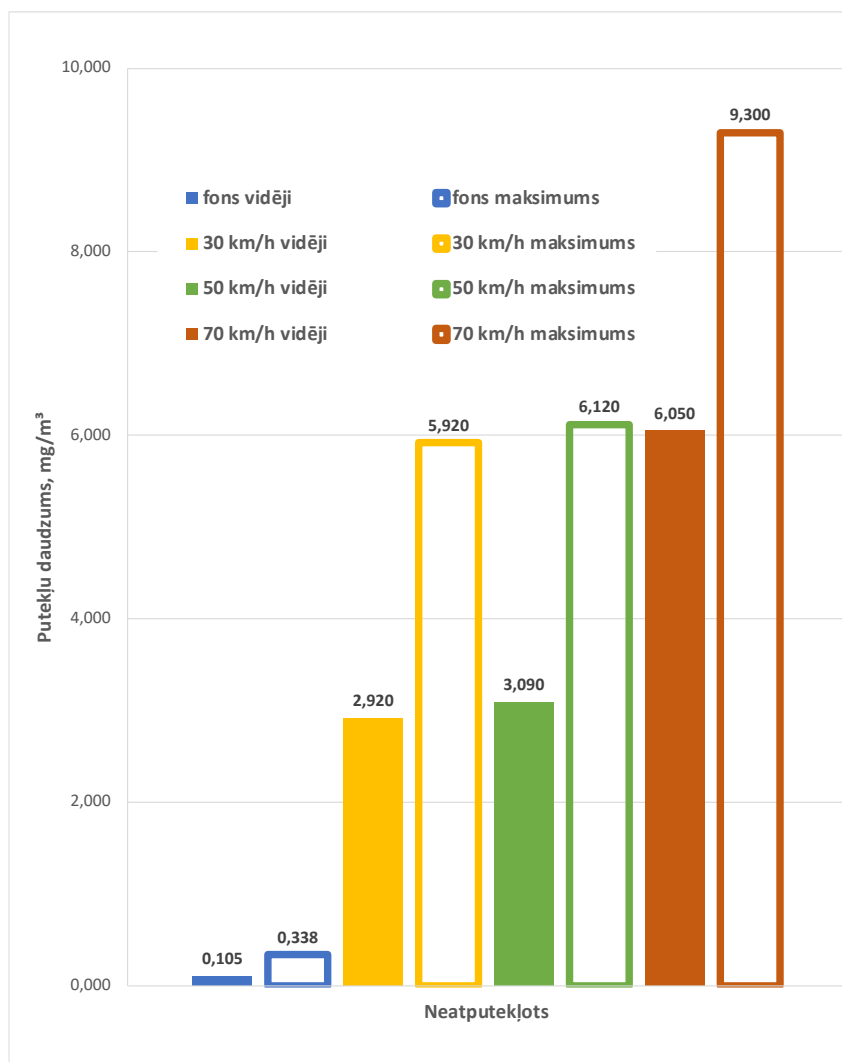
(f)



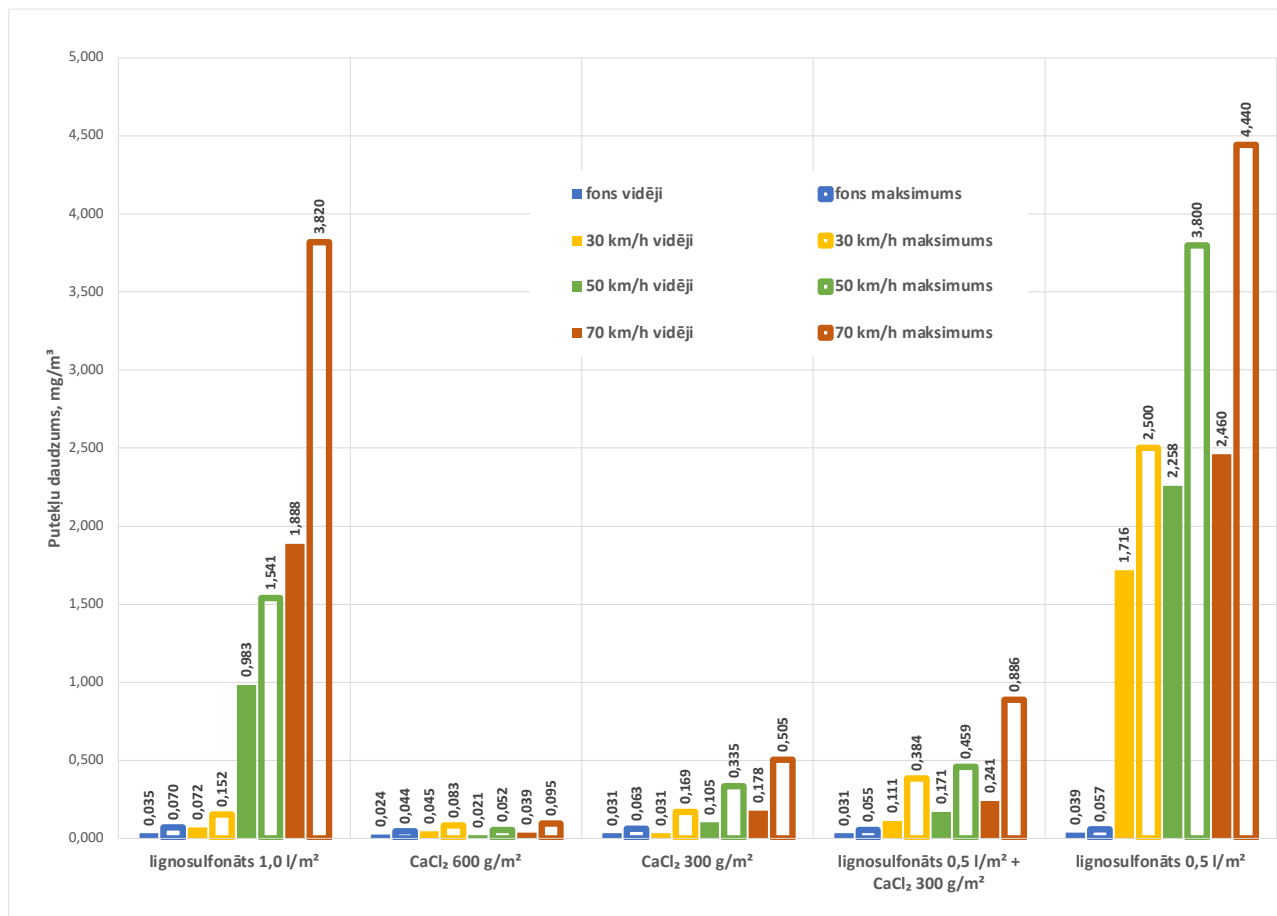
6-36. attēls. Putekļu daudzums meža ceļā Dzintari-Ābeles 2. monitoringā 17.08.2023., ja automobiļa braukšanas ātrums ir 70 km/h: (a) neatputekļots ceļš; (b) ceļš atputekļots ar lignosulfonāta standarta devu; (c) ar CaCl_2 un lignosulfonāta standarta devu kombināciju; (d) ar CaCl_2 standarta devu; (e) ar CaCl_2 dubulto devu; (f) ar lignosulfonāta dubulto devu.

6.3.2 *Abermaņa meža ceļš*

Neatputekļotajā *Abermaņa* ceļa posmā putekļu vidējais daudzums, ja automobiļa braukšanas ātrums ir 30 km/h, bija 2,92 mg/m³, ja 50 km/h – 3,09 mg/m³, ja 70 km/h – 6,05 mg/m³ (skat. 6-4. tabulu un 6-37. 0). Fona vidējā vērtība – 0,105 mg/m³, maksimālā vērtība – 0,338 mg/m³. Putekļu maksimālais daudzums, ja braukšanas ātrums ir 30 km/h, bija 5,92 mg/m³, ja 50 km/h – 6,12 mg/m³, ja 70 km/h – 9,30 mg/m³. Visos atputekļotajos posmos putekļu daudzums samazinājās salīdzinājumā ar ceļa neatputekļoto posmu. Ja braukšanas ātrums ir 30 km/h, ceļa posmos, kuros izmantots CaCl₂ standarta vai dubultā devā, CaCl₂ kombinācija ar lignosulfonātu standarta devās, kā arī dubultās koncentrācijas lignosulfonāts, putekļu daudzuma samazinājums bija ievērojami lielāks nekā ceļa posmā, kas apstrādāts ar lignosulfonāta standarta devu. Putekļu vidējais daudzums šajos posmos bija attiecīgi 0,031, 0,045, 0,111, 0,072 un 1,716 mg/m³ (skat. 6-38. un 6-42. 0). Ātrumam pieaugot līdz 50 km/h, visos atputekļotajos ceļa posmos, kuros ir izmantots CaCl₂ (standarta un dubultā devā, kā arī kombinācijā ar lignosulfonātu), bija ļoti neliels putekļu vidējais daudzums, attiecīgi 0,105 mg/m³, 0,021 mg/m³ un 0,171 mg/m³. Ja atputekļošanai lietota lignosulfonāta standarta vai dubultā deva, putekļu vidējais daudzums šajā ātrumā palielinājās attiecīgi līdz 2,258 mg/m³ un 0,983 mg/m³. Ar lignosulfonāta standarta devu atputekļotajā posmā bija tikai nedaudz mazāks putekļu vidējais daudzums nekā neatputekļotajā ceļa posmā (3,09 mg/m³). Ātrumam pieaugot līdz 70 km/h, vismazākā putekļu vidējā koncentrācija bija ceļa posmos, kas apstrādāti ar CaCl₂: ar CaCl₂ dubulto devu – 0,039 mg/m³, ar standarta devu – 0,178 mg/m³, ar CaCl₂ un lignosulfonāta standarta devu kombināciju – 0,241 mg/m³. Vislielākais putekļu vidējais daudzums, ja automobiļa braukšanas ātrums bija 70 km/h, veidojās ar lignosulfonāta standarta devu atputekļotajā ceļa posmā – 2,460 mg/m³, bet ar lignosulfonāta dubulto devu atputekļotajā posmā – 1,888 mg/m³.



6-37. attēls. Putekļu daudzums Abermaņa meža ceļa neatputekļotajā posmā 2. monitoringā 17.08.2023.



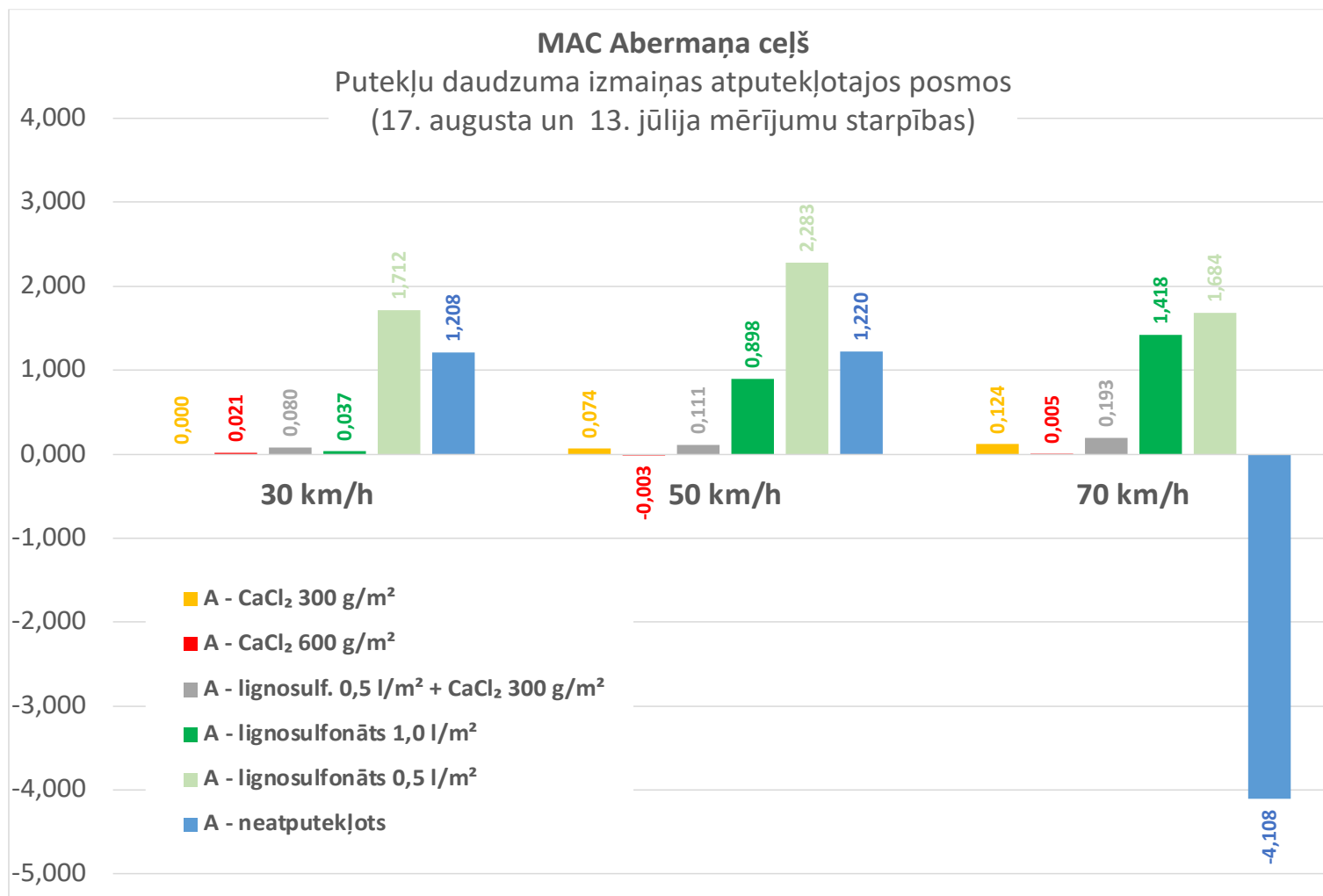
6-38. attēls. Putekļu daudzums Abermaņa meža ceļa atputeķļotajos posmos 2. monitoringā
17.08.2023.



6-39. attēls. Kopsakarības automobiļa braukšanas ātrums – putekļu veidošanās intensitāte Abermaņa meža ceļā 2. monitoringā 13.07.2023.



6-40. attēls. Kopsakarības automobiļa braukšanas ātrums – putekļu veidošanās intensitāte Abermaņa meža ceļā 2. monitoringā 17.08.2023.



6-41. attēls. Putekļu daudzumu izmaiņas starp 1. un 2. monitoringu Abermaņa meža ceļa atputekļotajos posmos.

(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)



6-42. attēls. Putekļu daudzums Abermaņa meža ceļā 2. monitoringā 17.08.2023., ja automobiļa braukšanas ātrums ir 30 km/h: (a) neatputekļots ceļš; (b) ceļš atputekļots ar lignosulfonāta standarta devu; (c) ar CaCl_2 un lignosulfonāta standarta devu kombināciju; (d) ar CaCl_2 standarta devu; (e) ar CaCl_2 dubulto devu; (f) ar lignosulfonāta dubulto devu.

(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)



6-43. attēls. Putekļu daudzums Abermaņa meža ceļā 2. monitoringā 17.08.2023., ja automobiļa braukšanas ātrums ir 50 km/h: (a) neatputeķlots ceļš; (b) ceļš atputeķlots ar lignosulfonāta standarta devu; (c) ar CaCl_2 un lignosulfonāta standarta devu kombināciju; (d) ar CaCl_2 standarta devu; (e) ar CaCl_2 dubulto devu; (f) ar lignosulfonāta dubulto devu.

(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)



6-44. attēls. Putekļu daudzums Abermaņa meža ceļā 2. monitoringā 17.08.2023., ja automobiļa braukšanas ātrums ir 70 km/h: (a) neatputekļots ceļš; (b) ceļš atputekļots ar lignosulfonāta standarta devu; (c) ar CaCl_2 un lignosulfonāta standarta devu kombināciju; (d) ar CaCl_2 standarta devu; (e) ar CaCl_2 dubulto devu; (f) ar lignosulfonāta dubulto devu.

6.4 Putekļu daudzuma novērtējums. 3. monitorings

6.4.1 Meža ceļš Dzintari-Ābeles

3. monitoringa laikā (13.09.2023.; gaisa temperatūra 15–18 °C, apmācies laiks, bez nokrišņiem), līdzīgi kā iepriekšējos monitoringos, veikts putekļu daļiņu daudzuma gaisā novērtējums atkarībā no braukšanas ātruma ar vieglo automobili (skat. 6-3. 0).

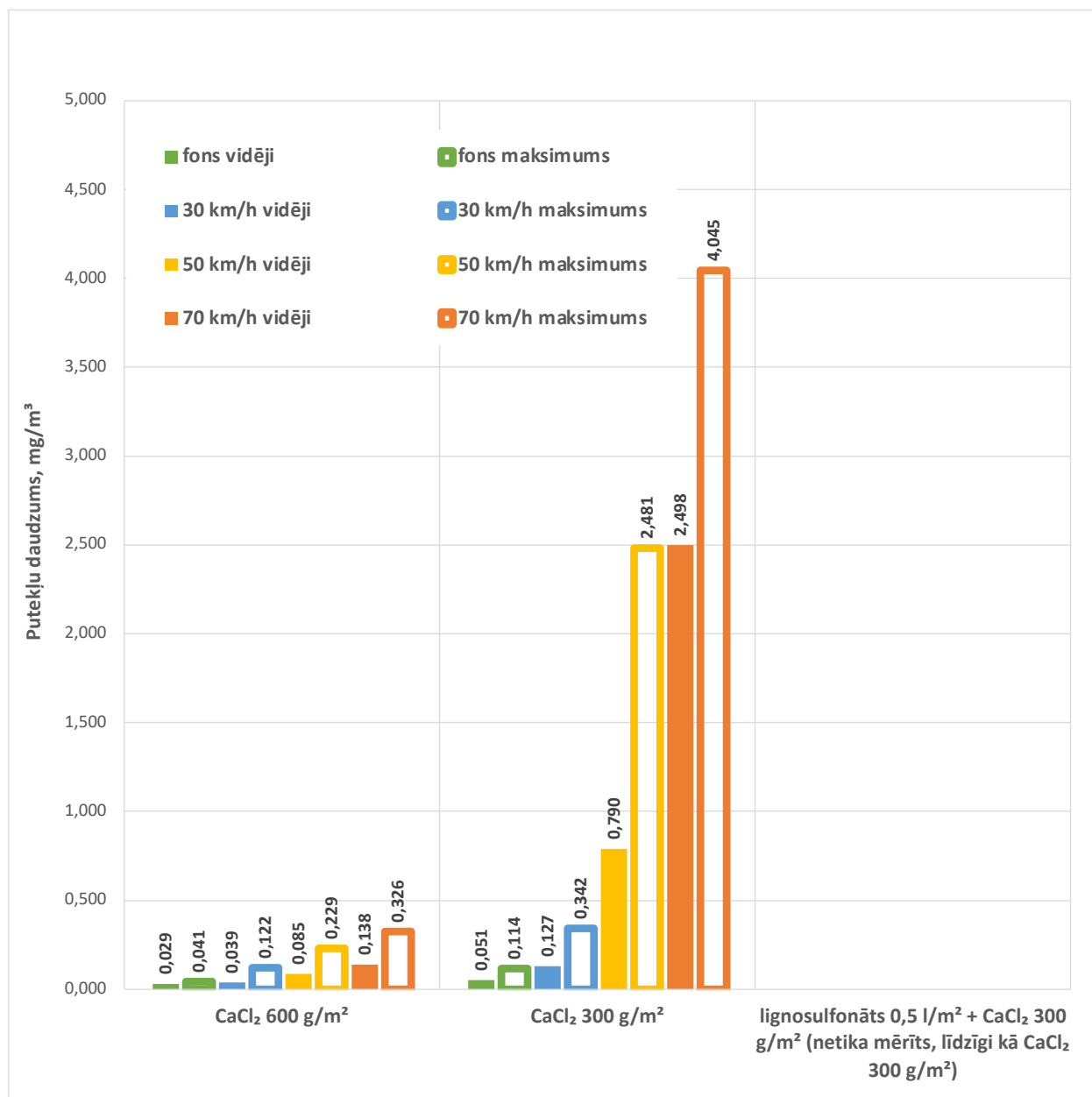
Neatputeķļotajā ceļa posmā vidējais putekļu daudzums, ja ātrums ir 30 km/h, ir 3,835 mg/m³, ja 50 km/h – 6,462 mg/m³, ja 70 km/h – 8,45 mg/m³ (skat. 6-46. 0). Fona vērtības ir ļoti nelielas, vidēji – 0,057 mg/m³, maksimāli – 0,185 mg/m³. Maksimālā putekļu daudzuma vērtība no vidējās visvairāk atšķiras tad, ja braukšanas ātrums ir 30 km/h – attiecīgi 7,402 mg/m³ un 3,835 mg/m³ jeb 1,9 reizes. Ja ātrums ir 50 km/h un 70 km/h, maksimālais putekļu daudzums ir attiecīgi par 58 % un 43 % lielāks par vidējo putekļu daudzumu. **Ar lignosulfonāta standarta un dubulto devu atputeķļotajos ceļa posmos, līdzīgi kā 2. monitoringa laikā, nebija novērojams putekļu daudzuma samazinājums salīdzinājumā ar neatputeķļotā Dzintari-Ābeles meža ceļa references posma vērtībām** (skat. 6-46. un 6-47. (a) un (b) 0). **Turpretī ceļa posmos, kuros atputeķļošanai izmantots standarta un dubultās devas CaCl₂, joprojām bija ievērojams putekļu daļiņu koncentrācijas samazinājums salīdzinājumā ar neatputeķļoto references posmu** (skat. 6-45. un 6-47. (c) un (d) 0). Ja braukšanas ātrums ir 30 km/h, ar standarta un dubulto CaCl₂ devu atputeķļotajos ceļa posmos putekļu vidējā koncentrācija bija attiecīgi 0,039 mg/m³ un 0,127 mg/m³; ātrumam pieaugot līdz 50 km/h, vismazākā vidējā putekļu koncentrācija bija ceļa posmā ar dubulto CaCl₂ devu – 0,085 mg/m³, posmā ar standarta CaCl₂ devu – 0,790 mg/m³, bet, ja ātrums bija 70 km/h, vismazākā vidējā putekļu koncentrācija joprojām bija ceļa posmā ar dubulto CaCl₂ devu – 0,138 mg/m³, bet ceļa posmā ar standarta CaCl₂ devu – 2,498 mg/m³.

6-5. tabula Putekļu daudzums meža ceļā Dzintari-Ābeles 3. monitoringā 13.09.2023.

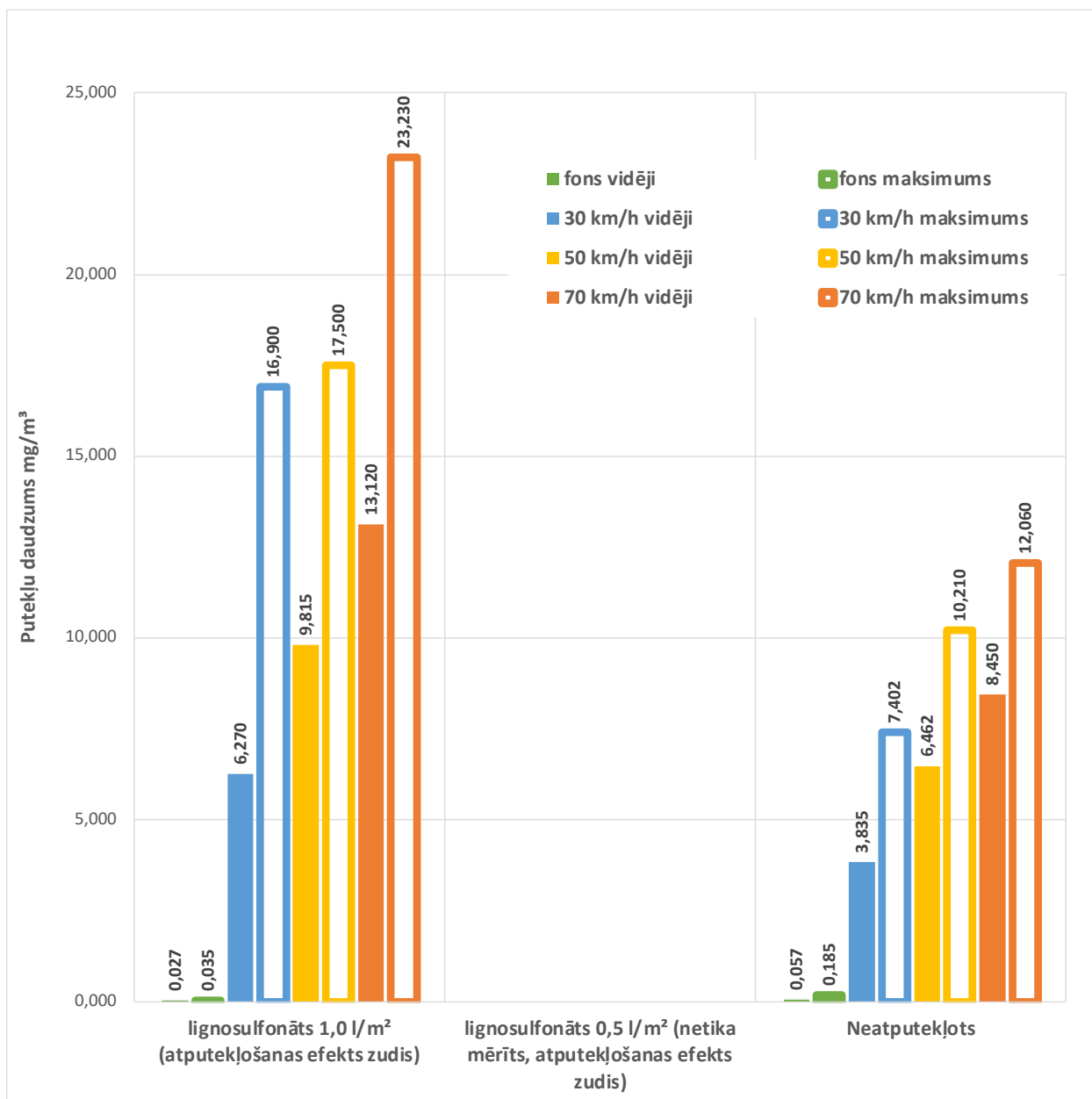
Automobiļa braukšanas ātrums / putekļu daudzums gaisā, mg/m ³	Putekļu daudzums atkarībā no atputeķļošanas veida, mg/m ³					
	Lignosulfonāts, 3,0 l/m ²	CaCl ₂ , 780 g/m ²	CaCl ₂ , 390 g/m ²	Lignosulfonāts, 1,5 l/m ² + CaCl ₂ , 390 g/m ²	Lignosulfonāts, 1,5 l/m ²	Neatputeķlots
Fons, vidēji	0,027	0,029	0,051	Līdzīgi kā CaCl ₂ (390 g/m ²) bez lignosulfonāta	Atputeķļošanas efekta nav, tas ir zudis	0,057
Fons, maksimāli	0,035	0,041	0,114			0,185
30 km/h, vidēji	6,270	0,039	0,127			3,835
30 km/h, maksimāli	16,90	0,122	0,342			7,402
50 km/h, vidēji	9,815	0,085	0,790			6,462
50 km/h, maksimāli	17,50	0,229	2,481			10,210
70 km/h, vidēji	13,120	0,138	2,498			8,450
70 km/h, maksimāli	23,230	0,326	4,045			12,060

6-6. tabula. Putekļu daudzums Abermaņa meža ceļā 3. monitoringā 13.09.2023.

Automobiļa braukšanas ātrums / putekļu daudzums gaisā, mg/m ³	Putekļu daudzums atkarībā no atputeķļošanas veida, mg/m ³							
	Lignosulfonāts, 3,0 l/m ²	CaCl ₂ , 780 g/m ²	CaCl ₂ , 390 g/m ²	Lignosulfonāts, 1,5 l/m ² + CaCl ₂ , 390 g/m ²		Lignosulfonāts, 1,5 l/m ²	Neatputeķlots	
				Saulē	Ēnā		Saulē	Ēnā
Fons, vidēji	Atputeķļošanas efekta nav, tas ir zudis	0,42	Līdzīgi kā CaCl ₂ (780 g/m ²)	0,053	0,090	Atputeķļošanas efekta nav, tas ir zudis	0,066	0,029
Fons, maksimāli		0,072		0,185	0,330		0,12	0,062
30 km/h, vidēji		0,045		0,395	0,229		2,495	0,038
30 km/h, maksimāli		0,093		0,845	0,331		8,230	0,069
50 km/h, vidēji		0,083		1,423	0,732		3,380	0,188
50 km/h, maksimāli		0,217		2,036	1,608		5,780	0,428
70 km/h, vidēji		0,119		1,820	1,725		9,980	0,950
70 km/h, maksimāli		0,243		2,500	2,500		18,14	2,500



6-45. attēls. Putekļu daudzums meža ceļā Dzintari-Ābeles ar CaCl₂ atputeķļotajos ceļa posmos 3. monitoringā 13.09.2023.



6-46. attēls. Putekļu daudzums meža ceļā Dzintari-Ābeles neatputeķļotajā un ar lignosulfonātu atputeķļotajos ceļa posmos 3. monitoringā 13.09.2023.

(a)



(b)



(c)



(d)



6-47. attēls. Putekļu daudzums meža ceļā Dzintari-Ābeles 3. monitoringā 13.09.2023., ja automobiļa braukšanas ātrums ir 30 km/h: (a) neatputeķlots ceļš; (b) ceļš atputeķlots ar lignosulfonāta dubulto devu; (c) ar CaCl_2 standarta devu; (d) ar CaCl_2 dubulto devu.

(a)



(b)



(c)



(d)



6-48. attēls. Putekļu daudzums meža ceļā Dzintari-Ābeles 3. monitoringā 13.09.2023., ja automobiļa braukšanas ātrums ir 50 km/h: (a) neatputekļots ceļš; (b) ceļš atputekļots ar lignosulfonāta dubulto devu; (c) ar CaCl_2 standarta devu; (d) ar CaCl_2 dubulto devu.

(a)



(b)



(c)



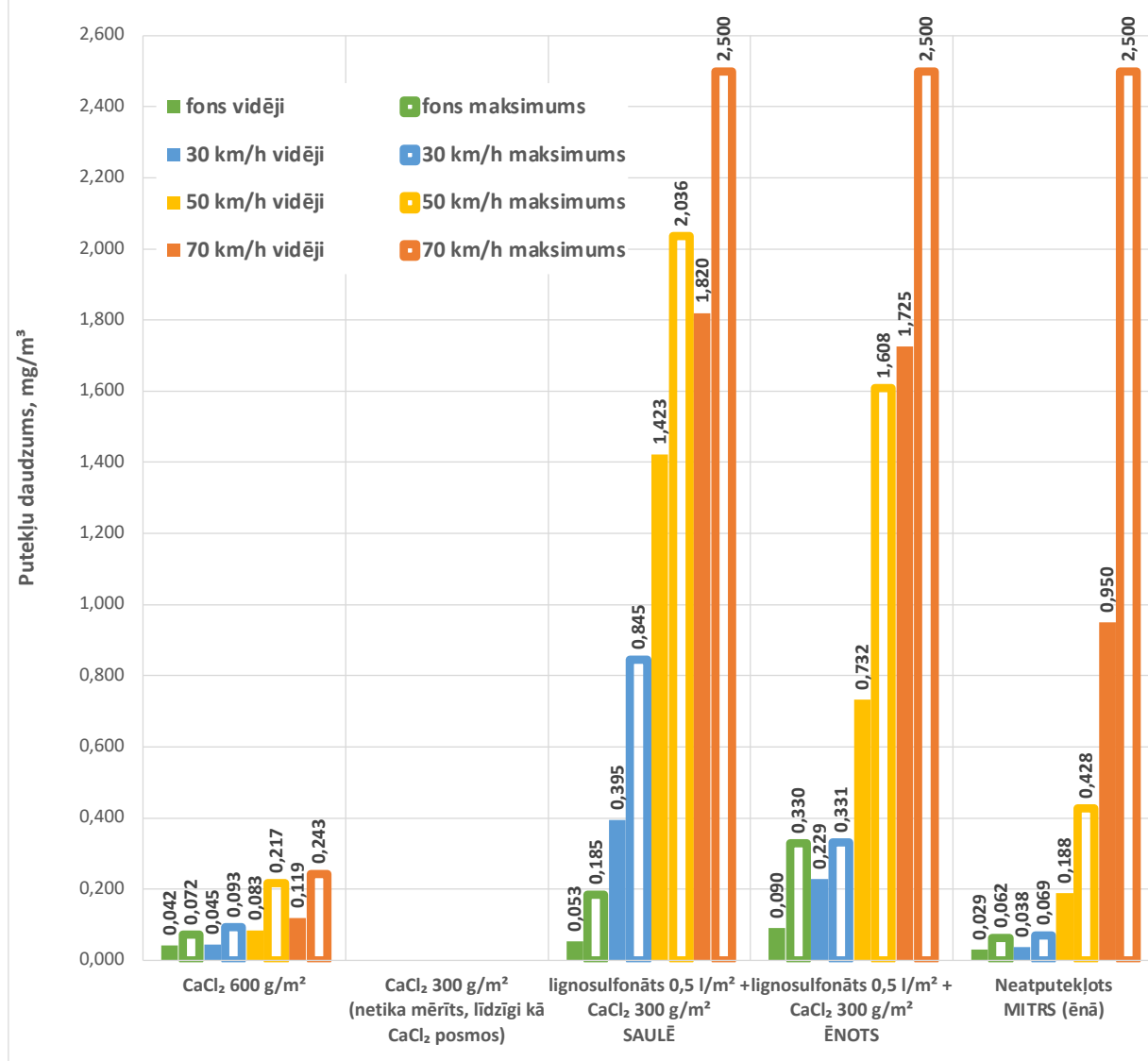
(d)



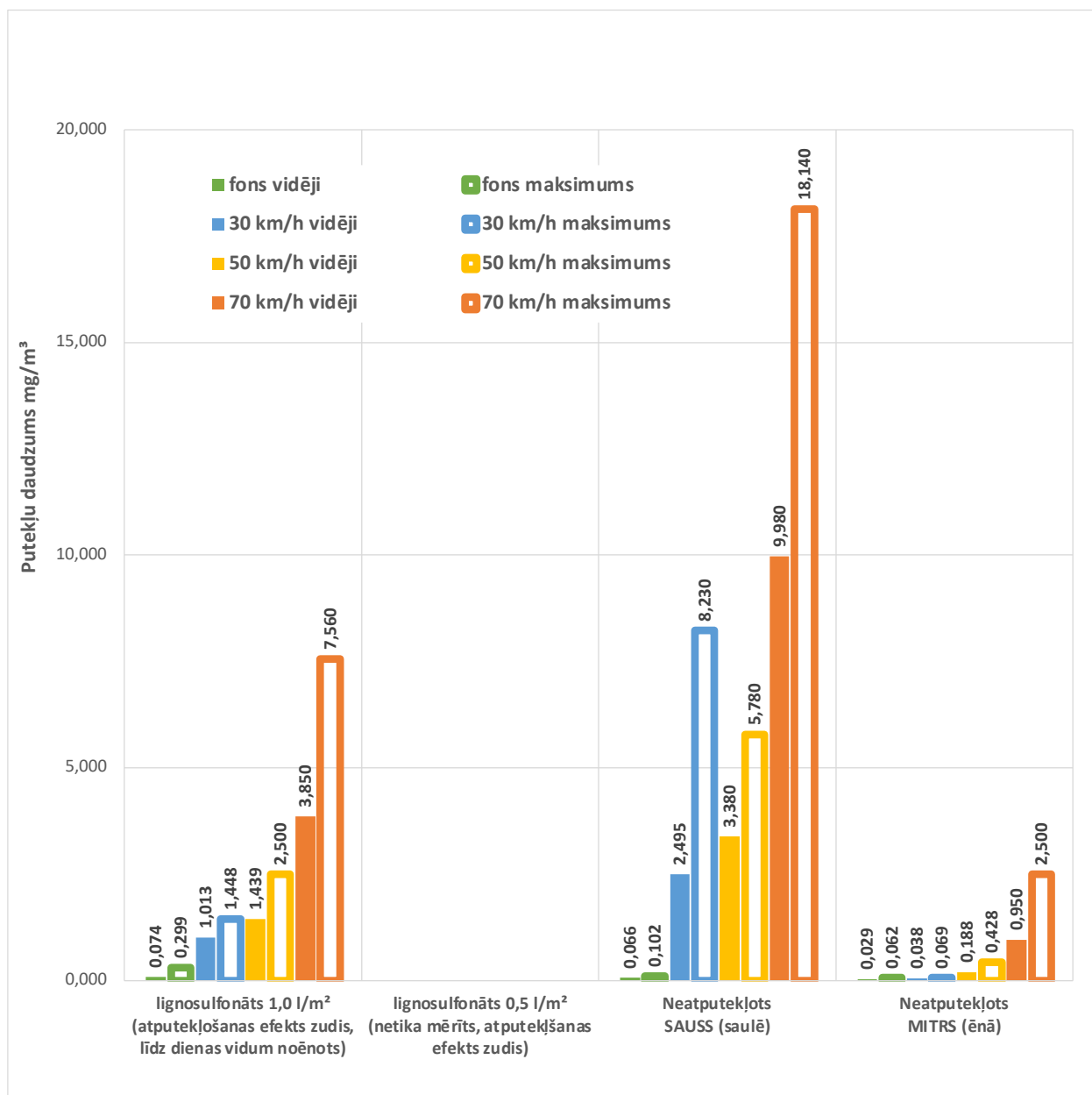
6-49. attēls. Putekļu daudzums meža ceļā Dzintari-Ābeles 3. monitoringā 13.09.2023., ja automobiļa braukšanas ātrums ir 70 km/h: (a) neatputekļots ceļš; (b) ceļš atputekļots ar lignosulfonāta dubulto devu; (c) ar CaCl₂ standarta devu; (d) ar CaCl₂ dubulto devu.

6.4.2 Abermaņa meža ceļš

Neatputekļotajā *Abermaņa meža* ceļa posmā putekļu vidējais daudzums gaisā ir atkarīgs ne tikai no automobiļa braukšanas ātruma, bet arī no ceļa noēnojuma. Ēnā, ja braukšanas ātrums ir 30 km/h, putekļu vidējais daudzums virs ceļa ir 0,038 mg/m³, ja 50 km/h – 0,188 mg/m³, ja 70 km/h – 0,950 mg/m³. Savukārt atklātā vietā, saulē tas virs ceļa, ja braukšanas ātrums ir 30 km/h, ir 2,495 mg/m³, ja 50 km/h – 3,380 mg/m³, ja 70 km/h – 9,980 mg/m³ (skat. 6-6. 0 un 6-51. un 6-52. 0). Šāda krasa atšķirība izskaidrojama ar to, ka rudenī naktī ceļa grants segumā uzņemtais mitrums (higroskopiskais mitrums) ilgstoši saglabājas ēnainajās vietās, it īpaši dienas pirmajā pusē, savukārt atklātā, saulainā ceļa vietā tas no grants seguma ātri izžūst. Fona putekļu daudzuma vidējā vērtība ēnā ir 0,029 mg/m³, saulē – 0,66 mg/m³, maksimālās vērtības – attiecīgi 0,062 mg/m³ un 0,12 mg/m³. Visos atputekļotajos ceļa posmos, kuros CaCl₂ izmantots gan standarta, gan dubultajā devā, kā arī kombinācijā ar lignosulfonātu, atputekļošanas efekts saglabājās, ko apstiprina iegūtie rezultāti, veicot mērījumus ceļa atklātajās, saulainajās vietās. Ja automobiļa braukšanas ātrums ir 30 km/h, ceļa posmā, kas apstrādāts ar CaCl₂ dubulto devu, putekļu vidējā koncentrācija ir 0,045 mg/m³, posmā ar CaCl₂ un lignosulfonāta kombināciju – 0,395 mg/m³, kamēr virs neatputekļotā ceļa posma saulē – 2,494 mg/m³. Ja ātrums ir 50 km/h, ceļa posmā, kas atputekļots ar CaCl₂ dubulto devu, putekļu vidējā koncentrācija ir 0,083 mg/m³, posmā ar CaCl₂ un lignosulfonāta kombināciju – 1,423 mg/m³, bet neatputekļotajā ceļa posmā saulē tā ir ievērojami lielāka – 3,380 mg/m³. Savukārt, ja braukšanas ātrums ir 70 km/h, ceļa posmā ar CaCl₂ dubulto devu putekļu vidējā koncentrācija gaisā ir 0,119 mg/m³, ceļa posmā ar CaCl₂ un lignosulfonāta kombināciju – 1,820 mg/m³, bet neatputekļotajā ceļa posmā saulē vislielākā – 9,980 mg/m³. **Ceļa posmos, kuru atputekļošana veikta tikai ar lignosulfonātu, tās efekts vairs nav novērojams, putekļu daudzums tur salīdzināms ar putekļu daudzumu ceļa references posmā.**



6-50. attēls. Putekļu daudzums Abermaņa meža ceļā ar CaCl₂ atputeķlotajos ceļa posmos un neatputeķlotā references posma noēnotajās vietās 3. monitoringā 13.09.2023.



6-51. attēls. Putekļu daudzums Abermaņa meža ceļa neatputeķļotajā un ar lignosulfonātu atputeķļotajos ceļa posmos 3. monitoringā 13.09.2023.

(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)



(g)



6-52. attēls. Putekļu daudzums Abermaņa meža ceļā 3. monitoringā 13.09.2023., ja automobiļa braukšanas ātrums ir 30 km/h: (a) neatputekļots ceļa posms **ēnā**; (b) neatputekļots ceļa posms **saulē**; (c) ar CaCl_2 un lignosulfonāta standarta devu kombināciju atputekļots ceļa posms **ēnā**; (d) ar CaCl_2 un lignosulfonāta standarta devu kombināciju atputekļots ceļa posms **saulē**; (e) ar lignosulfonāta dubulto devu atputekļots ceļa posms **ēnā**; (f) ar CaCl_2 standarta devu atputekļots ceļa posms; (g) ar CaCl_2 dubulto devu atputekļots ceļa posms.

(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)



(g)



6-53. attēls. Putekļu daudzums Abermaņa meža ceļā 3. monitoringā 13.09.2023., ja automobiļa braukšanas ātrums ir 50 km/h: (a) neatputekļots ceļa posms **ēnā**; (b) neatputekļots ceļa posms **saulē**; (c) ar CaCl_2 un lignosulfonāta standarta devu kombināciju atputekļots ceļa posms **ēnā**; (d) ar CaCl_2 un lignosulfonāta standarta devu kombināciju atputekļots ceļa posms **saulē**; (e) ar lignosulfonāta dubulto devu atputekļots ceļa posms **ēnā**; (f) ar CaCl_2 standarta devu atputekļots ceļa posms; (g) ar CaCl_2 dubulto devu atputekļots ceļa posms.

(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)



(g)

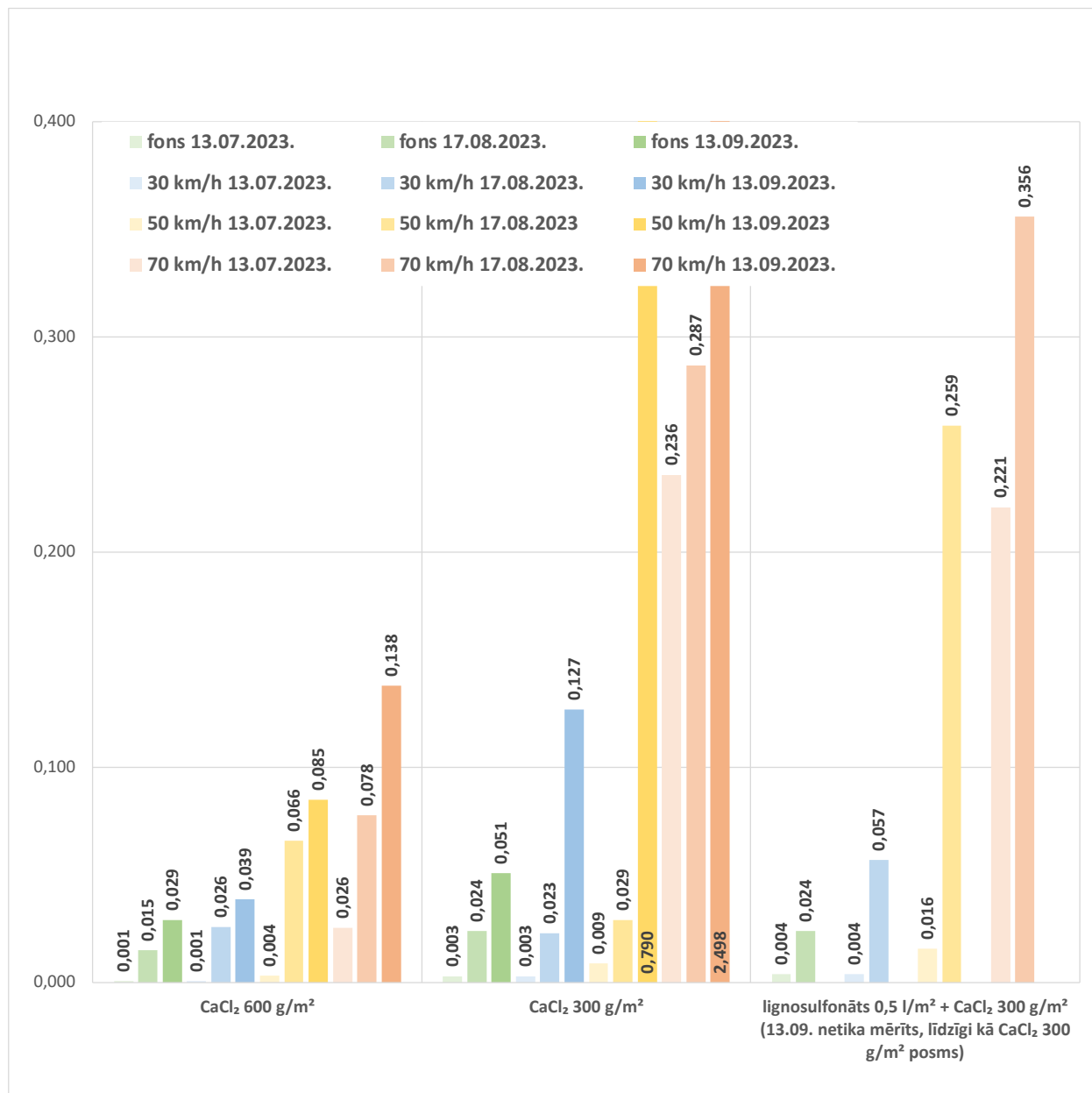


6-54. attēls. Putekļu daudzums Abermaņa meža ceļā 3. monitoringā 13.09.2023., ja automobiļa braukšanas ātrums ir 70 km/h: (a) neatputekļots ceļa posms **ēnā**; (b) neatputekļots ceļa posms **saulē**; c) ar CaCl_2 un lignosulfonāta standarta devu kombināciju atputekļots ceļa posms **ēnā**; (d) ar CaCl_2 un lignosulfonāta standarta devu kombināciju atputekļots ceļa posms **saulē**; (e) ar lignosulfonāta dubulto devu atputekļots ceļa posms **ēnā**; (f) ar CaCl_2 standarta devu atputekļots ceļa posms; (g) ar CaCl_2 dubulto devu atputekļots ceļa posms.

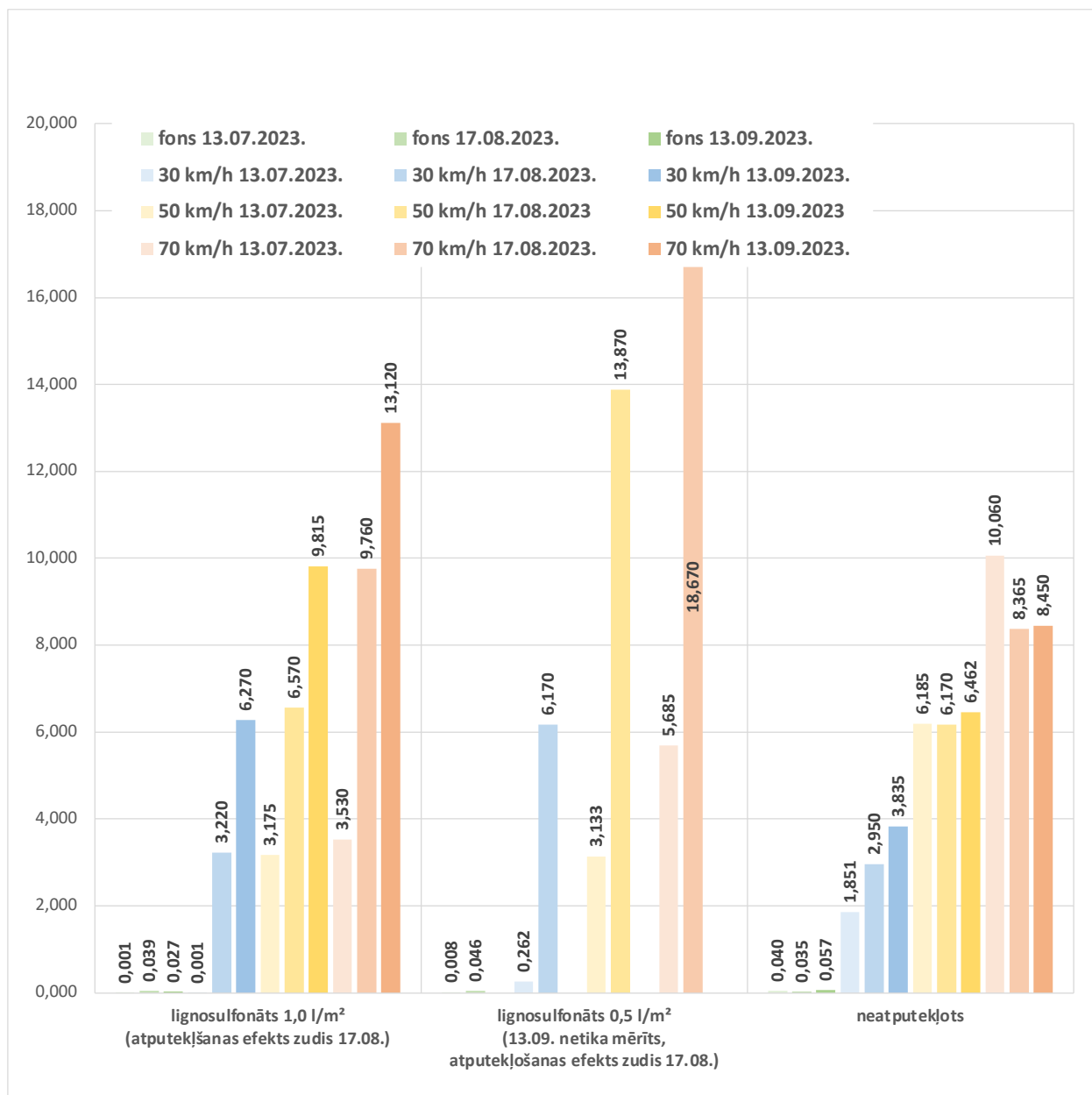
6.5 Putekļu daudzums – monitoringu kopsavilkums

6.5.1 Meža ceļš Dzintari-Ābeles

6-55. un 6-56. attēlā sniegts uz meža ceļa *Dzintari-Ābeles* iegūto rezultātu apkopojums visam novērošanas periodam no 13.07.2023. līdz 13.09.2023. Pirmajā monitoringā (13.07.2023.) visi izmantotie atputeķļošanas līdzekļi, kā arī to kombinācija pierādīja augstu efektivitāti puteķļu daļiņu veidošanās samazināšanā vieglā automobiļa dažāda braukšanas ātruma gadījumā. Pirmais monitorings veikts 25 dienas pēc atputeķļošanas līdzekļu iestrādes. Otrā monitoringa (17.08.2023. – 60 dienas pēc atputeķļošanas līdzekļu iestrādes) rezultāti rāda, ka ceļa posmā, kurā lignosulfonāts izmantots standarta un dubultā koncentrācijā, tā atputeķļošanas efekts ir zudis. Šo negatīvo rezultātu paātrināja stiprās lietussgāzes, kas sākās neilgi pēc lignosulfonāta iestrādes. Svarīgi atzīmēt, ka lignosulfonāts viegli šķīst ūdenī un atputeķļošanas efektivitāti ilgāk saglabā, ja iestājas ilgstoši sauss bezlietus periods. Šajā **trīs mēnešu novērošanas periodā meža ceļā *Dzintari-Ābeles* vismazākais puteķļu daļiņu daudzums gaisā, kā arī vismazākā puteķļu daudzuma palielinājuma dinamika jeb visilgstošākā efektivitāte saglabājās ceļa posmos, kas bija atputeķļoti ar CaCl_2** – posmā ar dubulto CaCl_2 devu, ja braukšanas ātrums bija 70 km/h, puteķļveida daļiņu vidējā koncentrācija gaisā bija tikai 0,138 mg/m³, bet posmā ar standarta CaCl_2 devu – 2,498 mg/m³. Ceļa posmā ar CaCl_2 un lignosulfonāta standarta devu kombināciju atputeķļošanas efektivitāte bija līdzīga CaCl_2 standarta devas atputeķļošanas efektivitātei posmā bez lignosulfonāta. Tas apstiprināja, ka lignosulfonāta atputeķļošanas efektivitāte ir zudusi.



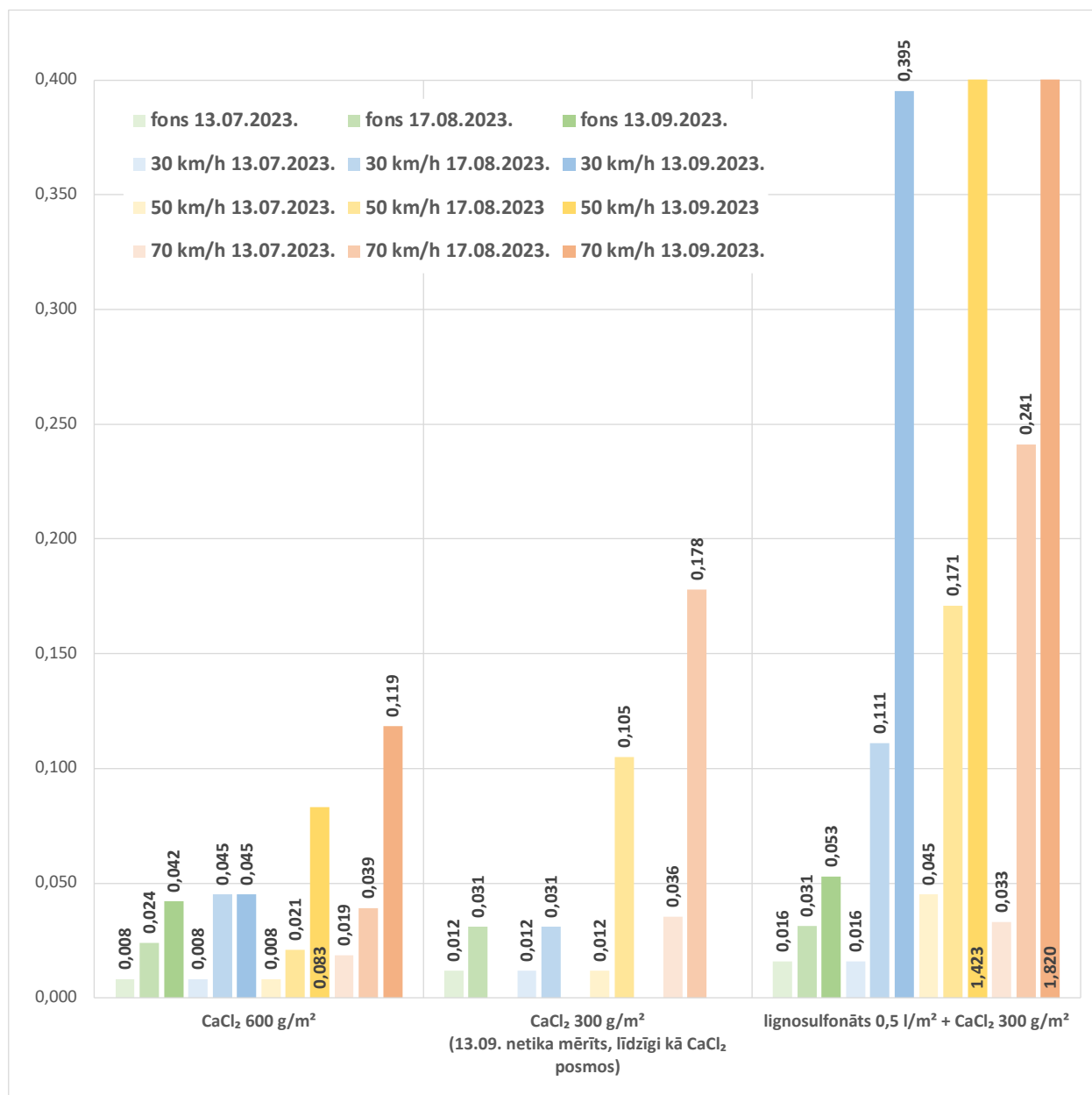
6-55. attēls. Monitoringu kopsavilkums. Meža ceļš Dzintari-Ābeles. Putekļu daudzums ar CaCl₂ atputeķļotajos ceļa posmos.



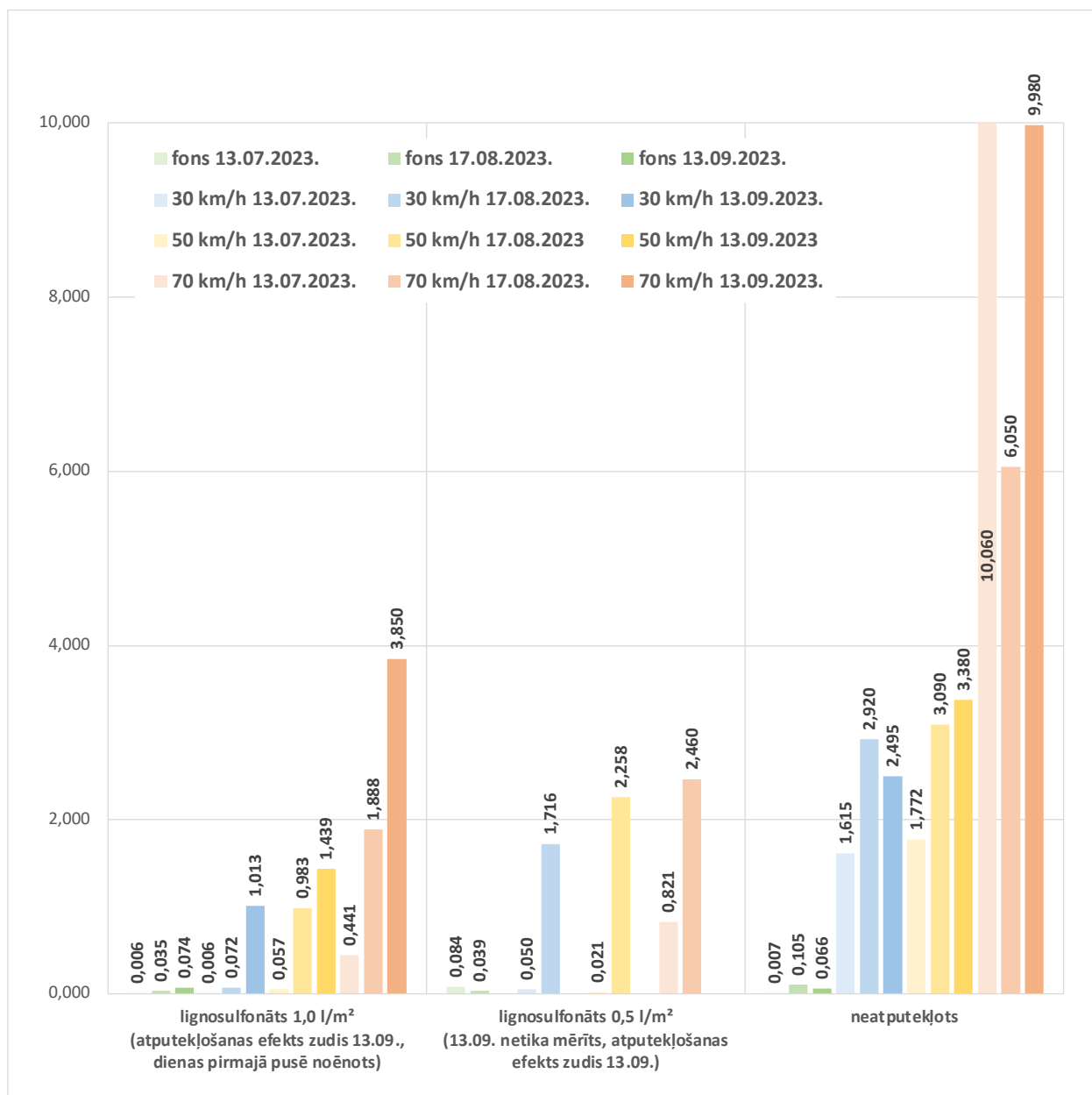
6-56. attēls. Monitoringu kopsavilkums. Meža ceļš Dzintari-Ābeles. Putekļu daudzums neatputeķlotajā un ar lignosulfonātu atputeķlotajos ceļa posmos.

6.5.2 *Abermaņa meža ceļš*

6-57. un 6-58. attēlā sniegts uz *Abermaņa* meža ceļa iegūto rezultātu apkopojums visam monitoringa periodam no 13.07.2023. līdz 13.09.2023. Pirmajā monitoringā (13.07.2023.), līdzīgi kā meža ceļā *Dzintari-Ābeles*, visi izmantotie atputeķļošanas līdzekļi, kā arī to kombinācija pierādīja augstu efektivitāti puteķļu daļiņu veidošanās samazināšanā vieglā automobiļa dažāda braukšanas ātruma gadījumā. Pirmais monitorings veikts 15 dienas pēc atputeķļošanas līdzekļu iestrādes – 29.06.2023. **Otrā monitoringa** (17.08.2023. – 50 dienas pēc atputeķļošanas līdzekļu iestrādes) **rezultāti pierāda, ka atputeķļošanas efekts saglabājies visiem atputeķļošanas līdzekļiem un to kombinācijai.** Vislielākais atputeķļošanas efektivitātes samazinājums bija posmos, kuros izmantots tikai lignosulfonāts, piemēram, kad braukšanas ātrums bija 70 km/h, posmā ar lignosulfonāta standarta devu puteķļveida daļiņu koncentrācija gaisā palielinājās no 0,821 mg/m³ līdz 2,460 mg/m³, bet posmā ar lignosulfonāta dubulto devu – no 0,441 mg/m³ līdz 1,888 mg/m³, savukārt neatputeķļotajā ceļa posmā šis rādītājs bija 9,980 mg/m³. **Trešā monitoringa** (13.09.2023. – 76 dienas pēc atputeķļošanas līdzekļu iestrādes) **rezultāti rāda, ka ar lignosulfonātu** (standarta un dubultā devā) **apstrādātie ceļa posmi ir zaudējuši atputeķļošanas efektivitāti**, jo puteķļu daudzums tajos nav mazāks par puteķļu daudzumu ceļa neatputeķļotajā references posmā. Šajā trīs mēnešu monitoringa periodā uz *Abermaņa* meža ceļa, līdzīgi kā uz ceļa *Dzintari-Ābeles*, vismazākais puteķļu daļiņu daudzums, kā arī vismazākā to palielinājuma dinamika jeb ilgstošākā efektivitāte bija ceļa posmos, kuru atputeķļošanai izmantots CaCl₂, jo posmā ar dubulto CaCl₂ devu, ja braukšanas ātrums bija 70km/h, puteķļveida daļiņu vidējā koncentrācija bija tikai 0,119 mg/m³, bet posmā ar CaCl₂ standarta devas kombināciju ar lignosulfonāta standarta devu – 1,820 mg/m³, kas apstiprināja lignosulfonāta efektivitātes zudumu.



6-57. attēls. Monitoringu kopsavilkums. Abermaņa meža ceļš. Putekļu daudzums ar CaCl₂ atputekļotajos ceļa posmos.



6-58. attēls. Monitoringu kopsavilkums. Abermaņa meža ceļš. Putekļu daudzums neatputeķlotajā un ar lignosulfonātu atputeķlotajos ceļa posmos.

6.6 Meža ceļu seguma mehānisko īpašību izmaiņu novērtējums

Meža ceļu seguma mehānisko īpašību izmaiņas, kuras notika atputeķļošanas līdzekļu iedarbībā, novērtētas ar vieglo krītošā svara deflektometru *Light Weight Deflectometer (LWD) Inspector-2* – portatīvu, virsmu nesagraujošu ierīci, kas tika izmantota ceļa seguma deformācijas, deformācijas laika, elastības moduļa un sablīvējuma noteikšanai (skat. 6-59. 0).

(a)



(b)



6-59. attēls. Ceļa seguma nestspējas un sablīvējuma noteikšana ar vieglo krītošā svara deflektometru LWD: (a) vadības panelis ar reālā laika aprēķina opciju; (b) testa veikšana.

Testēšanas metodes pamatā ir elastības moduļu E_{mod1} un E_{mod2} noteikšana, ar krītošā svara enerģiju iedarbojoties uz sagatavotu ceļa seguma virsmu (skat. 6-59. (b) attēlu). E_{mod1} ir sākotnējais elastības modulis, kas iegūts pirmajos sloģošanas ciklos, savukārt E_{mod2} iegūts pēdējos sloģošanas ciklos. Ceļa segums krītošā svara iedarbībā sablīvējas, un sablīvējumu nosaka kā attiecību E_{mod2}/E_{mod1} . Monitoringā ceļa seguma nestspēja un sablīvējums noteikti ar katru atputeķļošanas līdzekli un to atšķirīgajām devām atputeķļotajos ceļa posmos, kā arī ceļa neatputeķļotajā references posmā. *Dzintari-Ābeles* ceļa testēšana veikta šādās vietās (skat. 6-7. 0 un 6-60. 0):

- 1) vietā Nr. 1, kas atrodas 0,5 km no asfaltēta vietējā ceļa V7 (Baloži-Plakanciems-Iecava), posmā ar lignosulfonāta dubulto devu;
- 2) vietā Nr. 2, kas atrodas 1,3 km no asfaltēta vietējā ceļa V7, posmā ar $CaCl_2$ dubulto devu;
- 3) vietā Nr. 3, kas atrodas 1,9 km no asfaltēta vietējā ceļa V7, posmā ar $CaCl_2$ standarta devu;
- 4) vietā Nr. 4, kas atrodas 2,3 km no asfaltēta vietējā ceļa V7, posmā ar $CaCl_2$ un lignosulfonāta standarta devu kombināciju;
- 5) vietā Nr. 5, kas atrodas 3,3 km no asfaltēta vietējā ceļa V7, posmā ar lignosulfonāta standarta devu.

Abermaņa meža ceļa testēšana veikta šādās vietās (skat. 6-8. 0 un 6-61. 0):

- 1) vietā Nr. 1, kas atrodas 0,5 km no asfaltēta reģionālā ceļa P85 (Rīgas HES-Jaunjelgava), posmā ar lignosulfonāta dubulto devu;
- 2) vietā Nr. 2, kas atrodas 0,9 km no asfaltēta reģionālā ceļa P85, posmā ar CaCl_2 dubulto devu;
- 3) vietā Nr. 3, kas atrodas 1,3 km no asfaltēta reģionālā ceļa P85, posmā ar CaCl_2 standarta devu;
- 4) vietā Nr. 4, kas atrodas 1,6 km no asfaltēta reģionālā ceļa P85, posmā ar CaCl_2 un lignosulfonāta standarta devu kombināciju;
- 5) vietā Nr. 5, kas atrodas 2,1 km no asfaltēta reģionālā ceļa P85, posmā ar lignosulfonāta standarta devu;
- 6) vietā Nr. 6, kas atrodas 2,7 km no asfaltēta reģionālā ceļa P85, posmā ar lignosulfonāta standarta devu.

Iegūtajiem nestspējas rezultātiem ir liela izkliede pat vienas vietas ietvaros, piemēram, monitoringa vietā Nr. 1 pirms atputeķļošanas *Dzintari-Ābeles* meža ceļa labajā joslā $E_{\text{mod}2}$ ir 511 MPa, vidū – 472 MPa, bet kreisajā joslā – 336 MPa. Pēc atputeķļošanas ceļa nestspējas rādītāji ir samazinājušies, kam iemesls var būt CaCl_2 piesaistītā, absorbētā mitruma ietekme, kā arī ar lignosulfonātu saistītā ceļa seguma lielāka elastība (segums ir kļuvis elastīgāks, tam ir lielāka elastīgā deformācija, līdz ar to mazāks stingums; skat. 6-62. 0), bet pēc atputeķļošanas sablīvējums $E_{\text{mod}2}/E_{\text{mod}1}$ vietai Nr. 1 (dubultā lignosulfonāta deva 3,0 l/m²), vietai Nr. 4 (CaCl_2 + lignosulfonāts) un vietai Nr. 5 samazinājies, bet vietai Nr. 2 (CaCl_2 dubultā deva) nedaudz palielinājies. Gan *Dzintari-Ābeles*, gan *Abermaņa* meža ceļa nestspēja pārsvarā gadījumu ar katru mērīšanas reizi (uzmērījumi veikti 16.06.2023. un 26.06.2023. – pirms atputeķļošanas, 13.07.2023. un 17.08.2023. – atputeķļotajiem posmiem) ir samazinājusies (skat. 6-62., 6-64., 6-65. un 6.67. 0), kas izskaidrojams ar to, ka pirms atputeķļošanas darbu veikšanas bija ilgstošs bezlietus periods un grants sega izžūva, savukārt šo darbu izpildes periodā un arī vēlāk iestājās ar lietu samērā bagātīgs periods. Lai arī apsekošana notika sausā laikā, vispārīgais palielinātais mitrums varēja veicināt ceļa segas nestspējas samazināšanos. Kā veicinošs faktors jāmin tas, ka atputeķļošanas līdzekļi piesaista mitrumu (CaCl_2) un ierobežo mitruma iztvaikošanas intensitāti (lignosulfonāts). Ceļa segas nestspējas samazināšanās šajā laikā notika arī neatputeķļotajos ceļa posmos, gan mazākā mērā – tas pamato un apliecina gan klimatisko apstākļu, gan atputeķļošanas līdzekļu ietekmi uz ceļa segas nestspējas samazināšanos.

Grants ceļa seguma sablīvējuma mērījumu rezultāti pārsvarā ir vienmērīgāki, ar mazāku izkliedi nekā nestspējas mērījumu rezultāti. Dažkārt vērojams, ka mazākas nestspējas gadījumā mazāks ir arī sablīvējums, bet pārāk izteikti tas nav (skat. 6-63., 6-64., 6-66. un 6-67. 0).

6-7. tabula. Grants ceļa seguma nestspēja un sablīvējums meža ceļā Dzintari-Ābeles

Vieta	Monitoringa veikšanas datums																							
	26.06.2023. (pirms atputeķlošanas)								13.07.2023. (1. monitorings)								17.08.2023. (2. monitorings)							
	Labā josla		Vidus		Kreisā josla		Vid.		Labā josla		Vidus		Kreisā josla		Vid.		Labā josla		Vidus		Kreisā josla		Vid.	
	Emod2 MPa	Emod2 Emod1	Emod2 MPa	Emod2 Emod1	Emod2 MPa	Emod2 Emod1	Emod2 MPa	Emod2 Emod1	Emod2 MPa	Emod2 Emod1	Emod2 MPa	Emod2 Emod1	Emod2 MPa	Emod2 Emod1	Emod2 MPa	Emod2 Emod1	Emod2 MPa	Emod2 Emod1	Emod2 MPa	Emod2 Emod1	Emod2 MPa	Emod2 Emod1	Emod2 MPa	Emod2 Emod1
Nr. 1	511	1,21	472	1,42	336	1,01	440	1,21	267	1,14	306	0,98	283	1,02	285	1,05	325	1,03	350	1,01	306	1,06	327	1,03
Nr. 2	557	1,09	482	1,13	642	1,1	560	1,11	268	1,22	454	1,00	446	1,13	389	1,12	262	1,11	402	1,44	359	0,99	341	1,18
Nr. 3									367	1,09	327	0,91	295	1,03	330	1,01	336	0,99	309	1,2	279	1,01	308	1,07
Nr. 4	427	1,9	494	1,18	558	1,09	493	1,39	370	1,06	334	1,12	350	1,07	351	1,08	284	1,06	364	1,09	294	1,12	314	1,09
Nr. 5	292	1,19	356	1,1	386	1,18	345	1,16	371	1,11	367	1,13	294	1,17	344	1,14	23 0	1,15	362	1,17	240	1,12	277	1,15

6-8. tabula. Grants ceļa seguma nestspēja un sablīvējums Abermaņa meža ceļā

Vieta	Monitoringa veikšanas datums																							
	26.06.2023. (pirms atputeķlošanas)								13.07.2023. (1. monitorings)								17.08.2023. (2. monitorings)							
	Labā josla		Vidus		Kreisā josla		Vid.		Labā josla		Vidus		Kreisā josla		Vid.		Labā josla		Vidus		Kreisā josla		Vid.	
	Emod2 MPa	Emod2 Emod1	Emod2 MPa	Emod2 Emod1	Emod2 MPa	Emod2 Emod1	Emod2 MPa	Emod2 Emod1	Emod2 MPa	Emod2 Emod1	Emod2 MPa	Emod2 Emod1	Emod2 MPa	Emod2 Emod1	Emod2 MPa	Emod2 Emod1	Emod2 MPa	Emod2 Emod1	Emod2 MPa	Emod2 Emod1	Emod2 MPa	Emod2 Emod1	Emod2 MPa	Emod2 Emod1
Nr. 1	475	1,35	481	1,41	484	1,14	480	1,30	434	1,12	427	1,08	399	1,28	420	1,16	367	1,18	419	1,07	391	1,02	392	1,05
Nr. 2									355	1,04	449	1,04	604	1,18	469	1,09	377	1,36	460	0,96	355	1,05	397	1,12
Nr. 3									483	1,02	451	1,09	547	1,13	494	1,08	484	1,16	508	1,12	461	1,14	484	1,14
Nr. 4	447	1,06	418	1,27	563	1,13	476	1,15	325	1,13	435	1,15	347	0,91	369	1,06	351	1,38	521	0,96	427	1,29	433	1,21

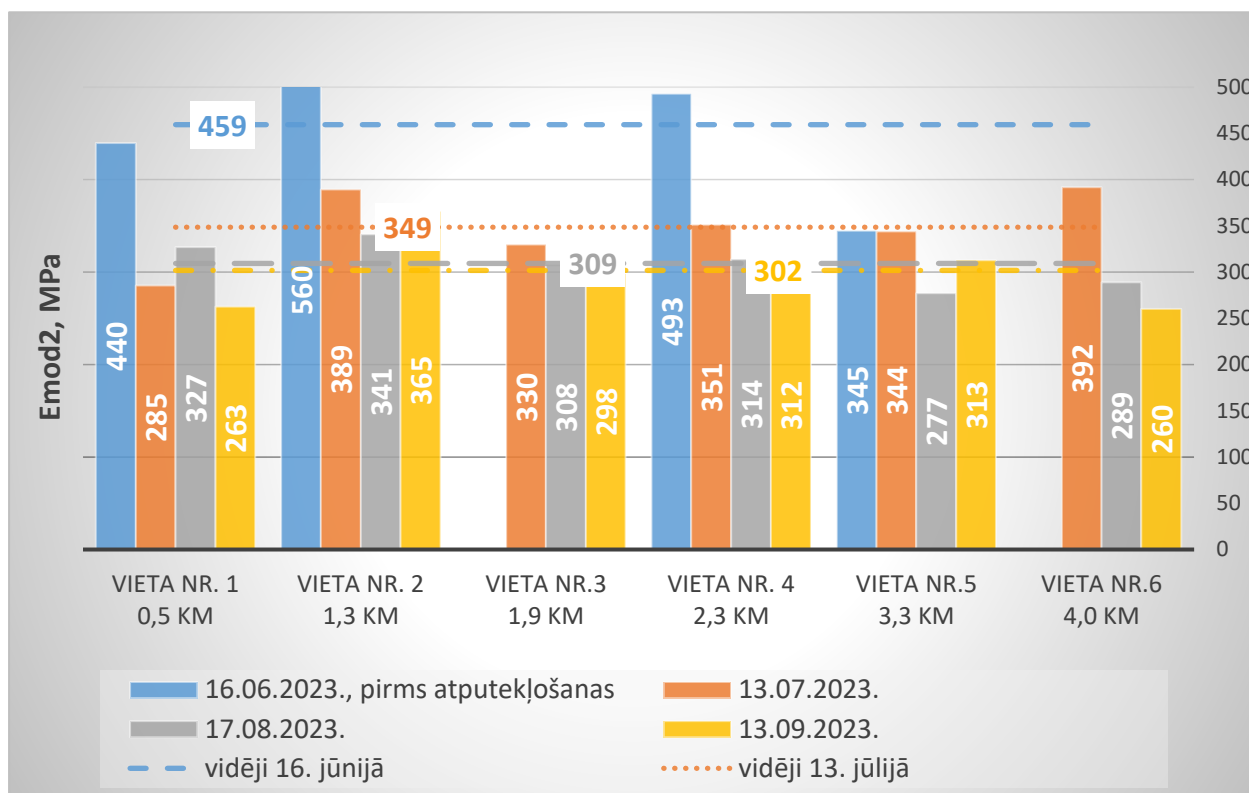
Vieta	Monitoringa veikšanas datums																							
	26.06.2023. (pirms atputeķļošanas)								13.07.2023. (1. monitorings)								17.08.2023. (2. monitorings)							
	Labā josla		Vidus		Kreisā josla		Vid.		Labā josla		Vidus		Kreisā josla		Vid.		Labā josla		Vidus		Kreisā josla		Vid.	
	Emod2 MPa	Emod2 Emod1	Emod2 MPa	Emod2 Emod1	Emod2 MPa	Emod2 Emod1	Emod2 MPa	Emod2 Emod1	Emod2 MPa	Emod2 Emod1	Emod2 MPa	Emod2 Emod1	Emod2 MPa	Emod2 Emod1	Emod2 MPa	Emod2 Emod1	Emod2 MPa	Emod2 Emod1	Emod2 MPa	Emod2 Emod1	Emod2 MPa	Emod2 Emod1	Emod2 MPa	Emod2 Emod1
Nr. 5									327	1,07	362	1,03	337	1,11	342	1,07	230	1,19	347	1,01	340	1,1	306	1,10
Nr. 6	463	1,12	493	1,38	428	1,24	461	1,25	483	1,1	543	1,17	407	0,96	478	1,08	407	1,17	404	1,04	375	1,86	395	1,36



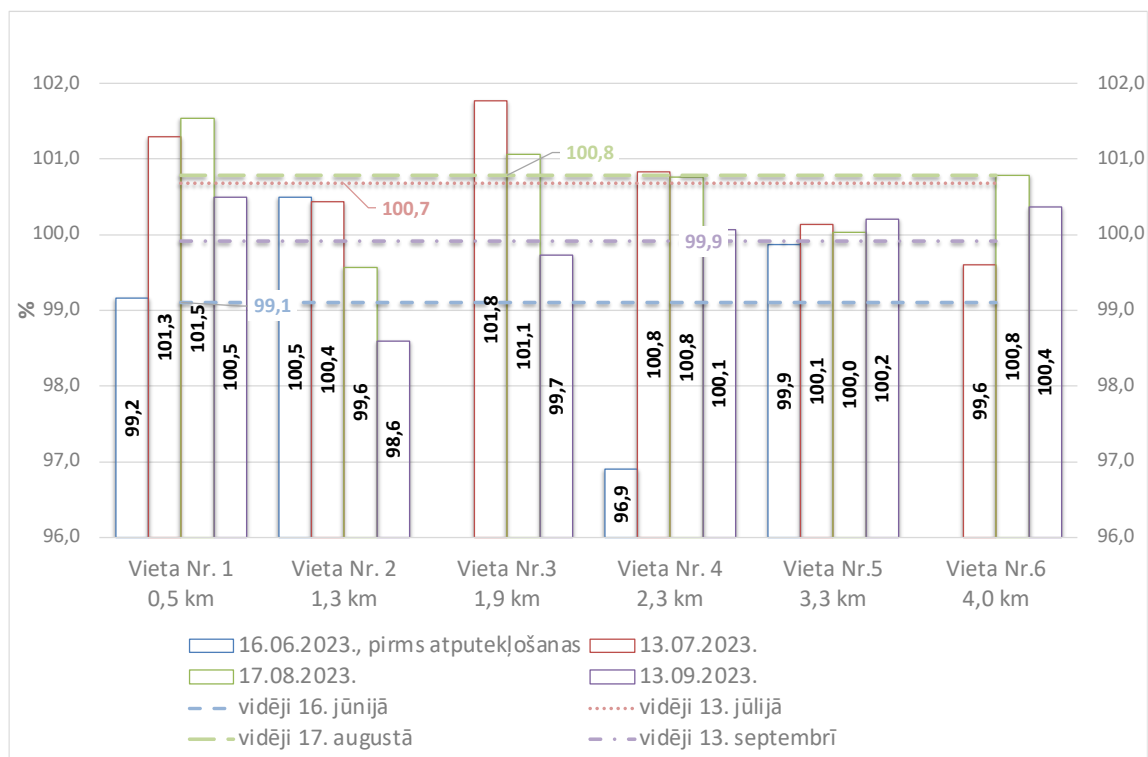
6-60. attēls. Ceļa seguma nestspējas un sablīvējuma noteikšanas vietas meža ceļā Dzintari-Ābeles.



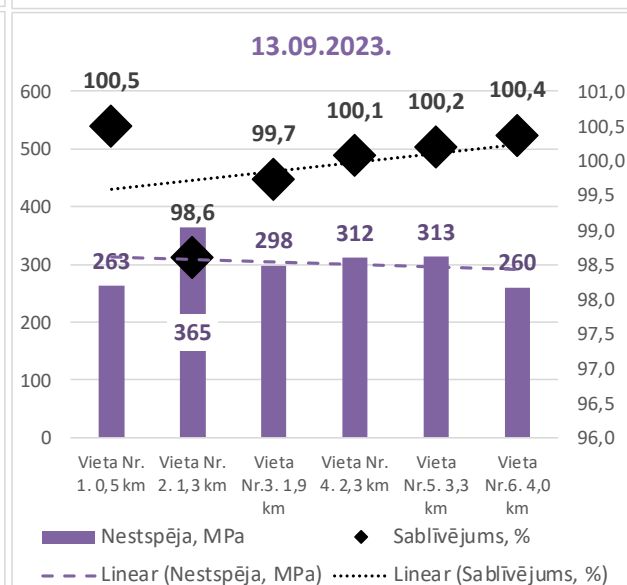
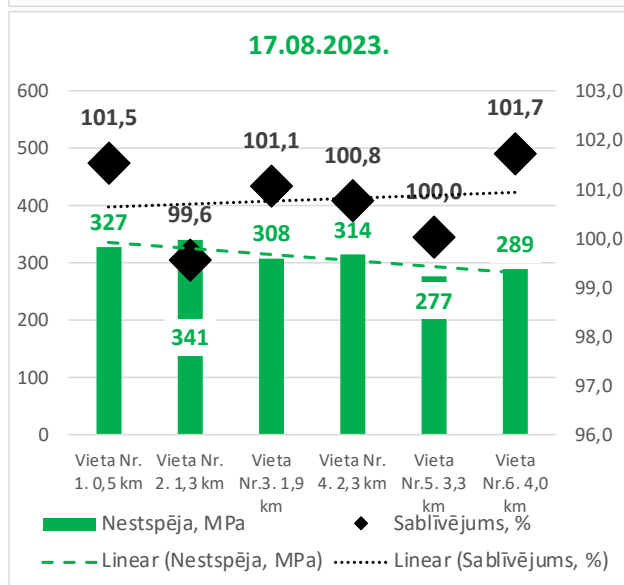
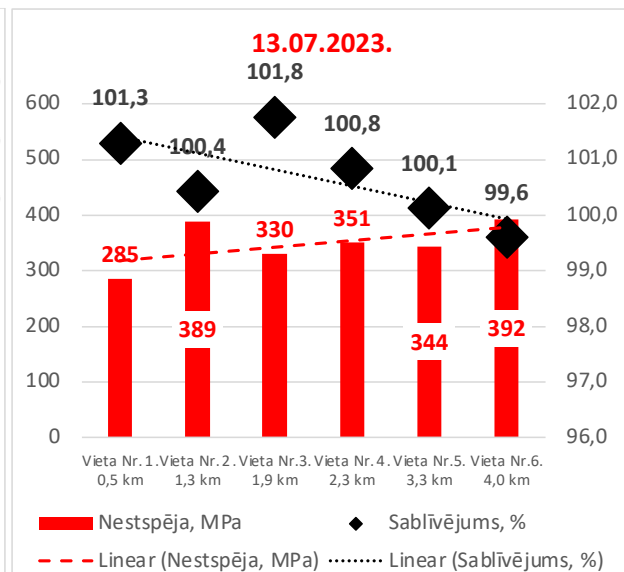
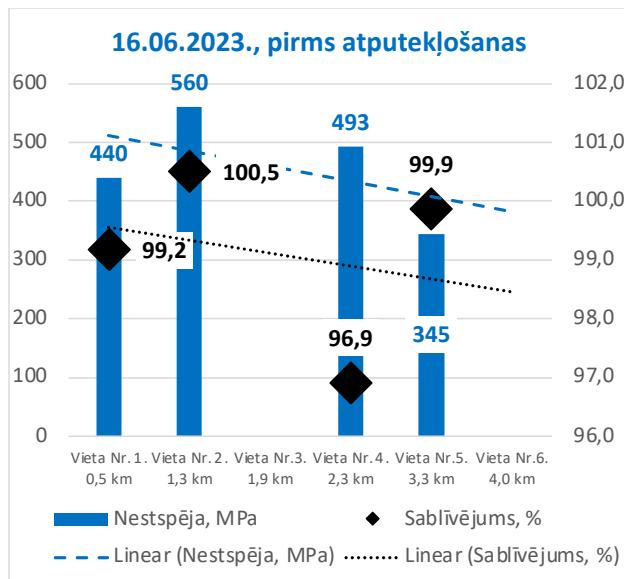
6-61. attēls. Ceļa seguma nestspējas un sablīvējuma noteikšanas vietas Abermaņa meža ceļā.



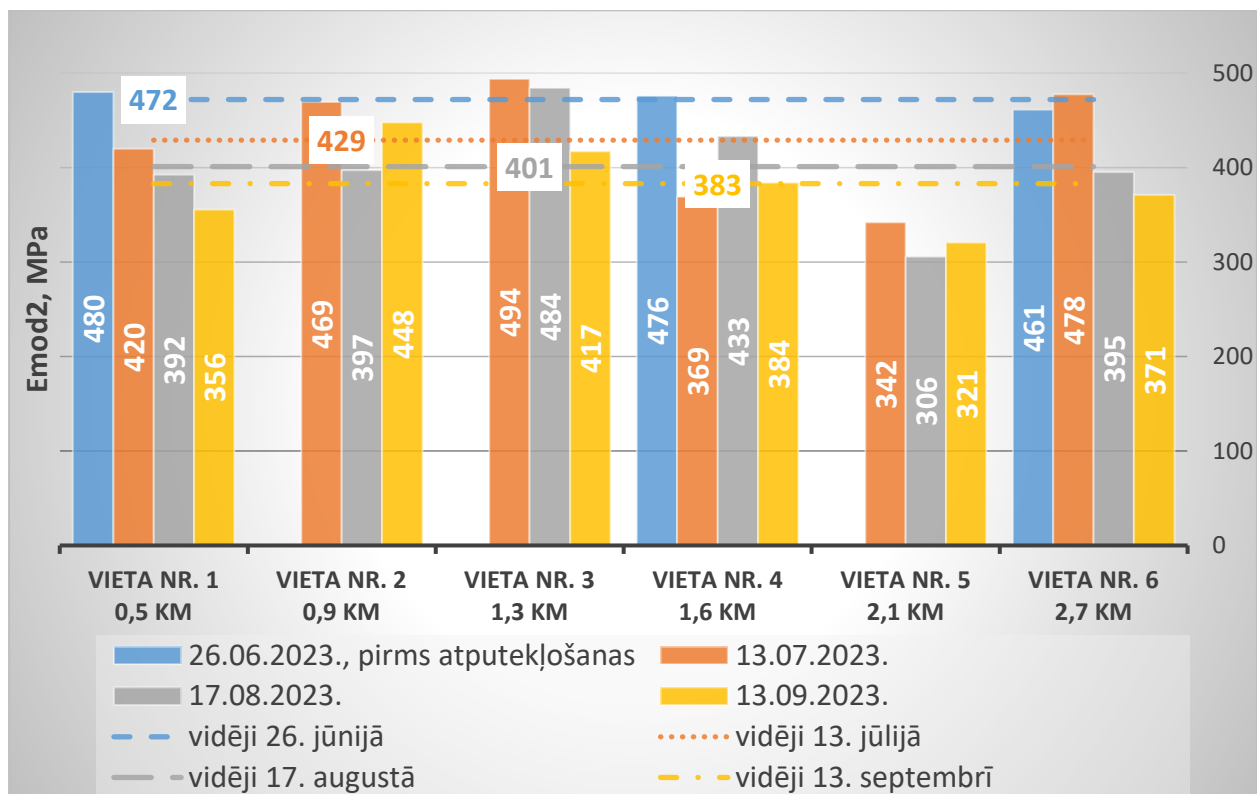
6-62. attēls. Meža ceļa Dzintari-Ābeles grants seguma nestspējas rādītāji.



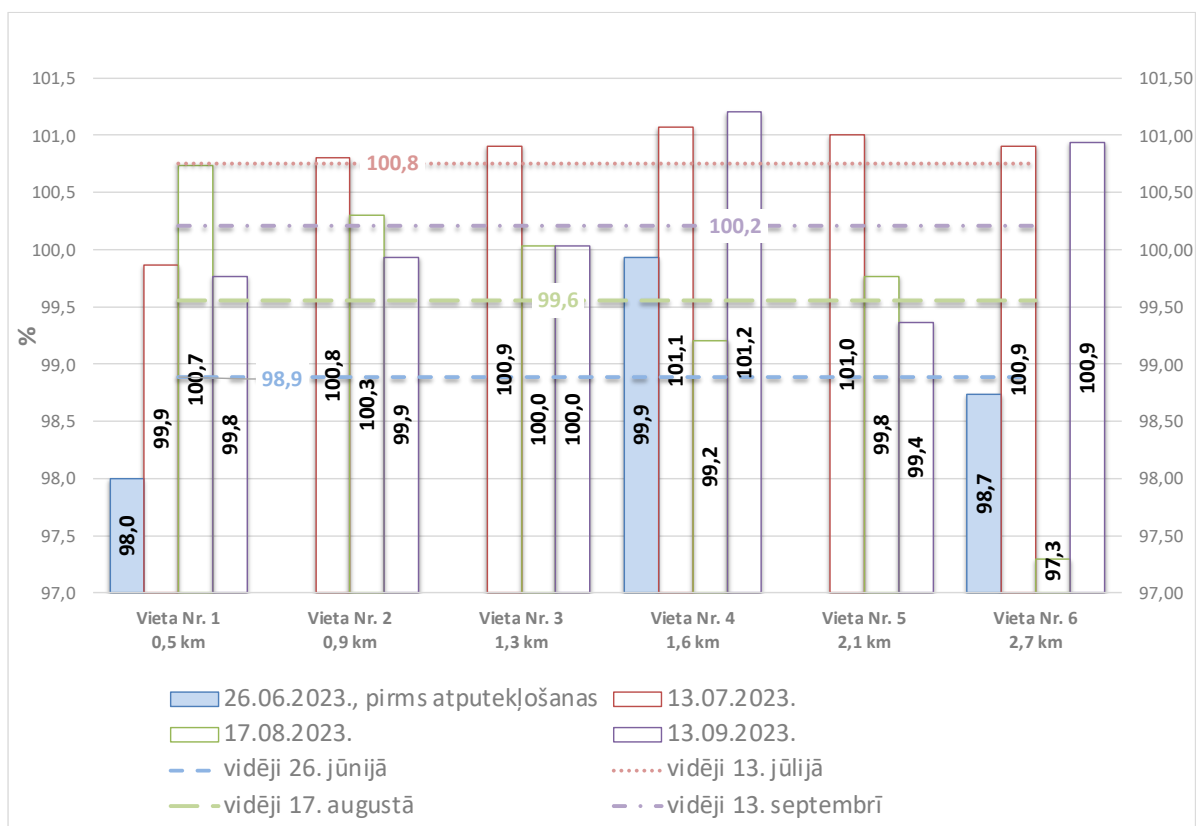
6-63. attēls. Meža ceļa Dzintari-Ābeles grants seguma sablīvējuma rādītāji.



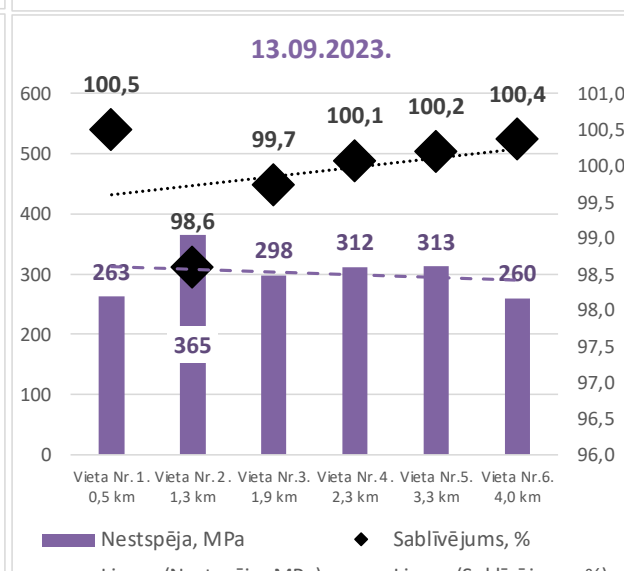
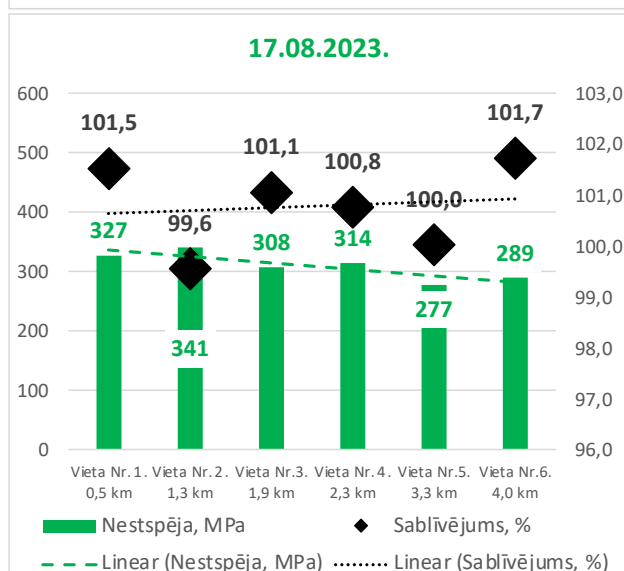
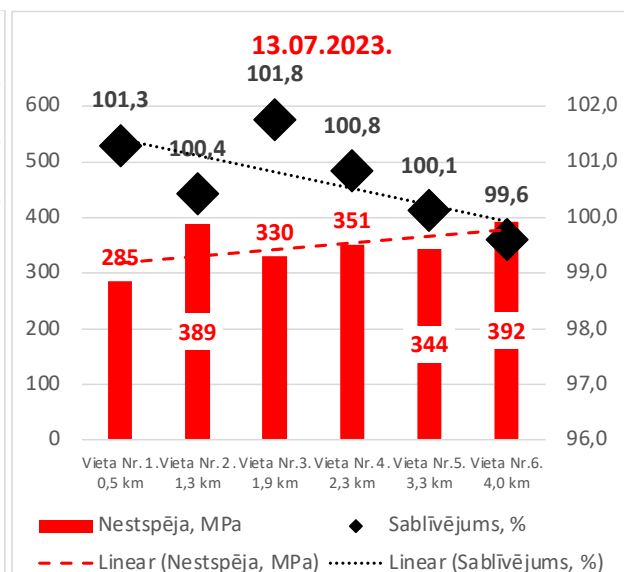
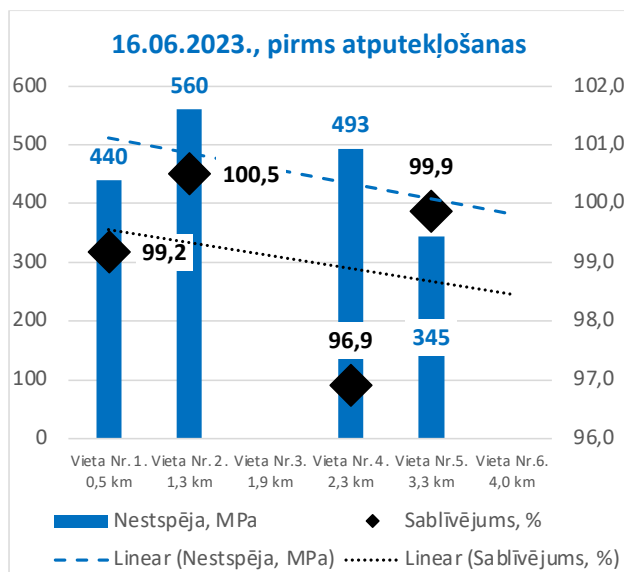
6-64. attēls. Meža ceļa Dzintari-Ābeles grants seguma nestspējas un sablīvējuma kopsakarības.



6-65. attēls. Abermaņa meža ceļa grants seguma nestspējas rādītāji.



6-66. attēls. Abermaņa meža ceļa grants seguma sablīvējuma rādītāji.



6-67. attēls. Abermaņa meža ceļa grants seguma nestspējas un sablīvējuma kopsakarības.

6.7 Ietekmes uz vidi novērtējums

Pirmā monitoringa laikā veiktais ietekmes uz vidi novērtējums liecina, ka vides reakcija (pH) visu ceļa posmu paraugu ūdens ekstraktiem ir vāji sārmaina, robežās no 8,3 līdz 9,1, un nenozīmīgi samazinās no 9,1 ceļa neatputeķļotajā references posmā līdz 8,3 atputeķļotajos posmos. Hlorīdjonu daudzums meža ceļa *Dzintari-Ābeles* dažādu posmu paraugu ūdens ekstraktos mainās atkarībā no izmantotās CaCl_2 devas un kopumā nepārsniedz 0,24 %. Vienlaikus toksisko un noturīgo, vidi piesārņojošo organisko vielu – poliaromātisko ogļūdeņražu (PAO) – koncentrācija (0,013 mg/kg) un polihlorēto bifenilu (PHB) koncentrācija ($< 0,002$ mg/kg) atputeķļotajos ceļa posmos faktiski neatšķiras no references posma paraugos konstatētajām vērtībām un nepārsniedz Ministru kabineta noteikumu Nr. 804 “Noteikumi par augsnes un grunts kvalitātes normatīviem” prasības, kas attiecīgi ir 1 mg/kg (PAO) un 0,02 mg/kg (PHB).

6-9. tabula. Ietekmes uz vidi novērtējums 1. monitoringā 13.07.2023.

Nosakāmais rādītājs	Mērv.	Parauga ņemšanas vieta											
		Meža ceļš Dzintari-Ābeles						Abermaņa meža ceļš					
		Ref.	LS dubultā deva	CaCl ₂ dubultā deva	CaCl ₂ parastā deva	CaCl ₂ + LS kombinācija	LS parastā deva	Ref.	LS dubultā deva	CaCl ₂ dubultā deva	CaCl ₂ parastā deva	CaCl ₂ + LS kombinācija	LS parastā deva
Vides reakcija (pH) parauga H ₂ O ekstraktam	pH vien.	9,1	8,8	8,4	8,6	8,4	8,9	9,1	8,8	8,3	8,3	8,4	9,0
Polihlorēto bifenilu (PHB) summa	mg/kg	<0,002	<0,002	-	-	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	-	-	<0,002	<0,002
Poliaromātisko ogļūdeņražu (PAO) summa	mg/kg	0,013	0,013	-	-	0,013	0,014	0,013	0,012	-	-	0,013	0,013
Hlorīdjoni, ⁻ Cl	%	-	-	0,24	0,10	0,11	-	-	-	0,26	0,21	0,11	-

6-10. tabula. Ietekmes uz vidi novērtējums 2. monitoringā 17.08.2023.

Nosakāmais rādītājs	Mērv.	Paraugaņemšanas vieta											
		Meža ceļš Dzintari-Ābeles						Abermaņa meža ceļš					
		Ref.	LS dubultā deva	CaCl ₂ dubultā deva	CaCl ₂ parastā deva	CaCl ₂ + LS kombinācija	LS parastā deva	Ref.	LS dubultā deva	CaCl ₂ dubultā deva	CaCl ₂ parastā deva	CaCl ₂ + LS kombinācija	LS parastā deva
Vides reakcija (pH) parauga H ₂ O ekstraktam	pH vien.	8,7	8,8	8,2	8,5	8,2	8,7	8,6	8,8	8,1	8,4	8,6	8,7
Polihlorēto bifenilu (PHB) summa	mg/kg	<0,002	<0,002	-	-	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	-	-	<0,002	<0,002
Poliaromātisko ogļūdeņražu (PAO) summa	mg/kg	0,007	0,004	-	-	0,003	0,003	0,012	0,008	-	-	0,004	0,003
Hlorīdjoni, ⁻ Cl	%	-	-	0,075	0,036	0,016	-	-	-	0,21	0,029	0,018	-

7 Secinājumi

1. Pirmajā monitoringā (13.07.2023.) veiktie mērījumi rāda, ka *Abermaņa* meža ceļa atputeķļošanas rezultāti ir ievērojami labāki nekā *Dzintari-Ābeles* meža ceļam. Tas varētu būt saistīts ar atputeķļošanas darbu vēlāku veikšanu uz *Abermaņa* meža ceļa (piemērotāki laikapstākļi), kā arī atbilstošāku autocisternu un smidzinātāju izvēli, kas balstījās uz iepriekš gūto pieredzi, veicot *Dzintari-Ābeles* meža ceļa atputeķļošanu.
2. Ar lignosulfonātu apstrādātajos ceļa posmos salīdzinājumā ar neatputeķļoto references posmu vērojams būtisks atputeķļošanas efekts, tomēr tas ir nedaudz mazāks nekā ceļa posmos, kuri apstrādāti ar tradicionālo CaCl_2 .
3. Lignosulfonāta iestrādes procesam nav vajadzīga speciāla tehnika, tā jau pieejama Latvijas ceļu apsaimniekošanas un uzturēšanas uzņēmumiem.
4. Tā kā lignosulfonāts viegli šķīst ūdenī, tā sūkņēšanai un iestrādei lietojamā tehnika ir viegli kopjama ar ūdeni.
5. Pirmā monitoringa laikā no abiem meža ceļiem paņemto paraugu ūdens ekstrakti neuzrādīja būtisku lignosulfonāta izskalošanos no ceļa seguma salīdzinājumā ar paraugiem, kas paņemti uzreiz pēc lignosulfonāta iestrādes.
6. Lignosulfonāta koncentrāta atšķaidīšana un iepildīšana autocisternā ir līdz pat divām reizēm laukietilpīgāks process salīdzinājumā ar CaCl_2 iebēršanu sāls kaisītājā.
7. Lignosulfonāta iestrāde ceļa segumā salīdzinājumā ar CaCl_2 iestrādi aizņem līdz pat divām reizēm ilgāku laiku.
8. 2. monitoringā (17.08.2023.) veiktie mērījumi, līdzīgi kā 1. monitoringā, rāda, ka *Abermaņa* meža ceļa atputeķļošanas rezultāti ir ievērojami labāki nekā *Dzintari-Ābeles* meža ceļam, kur ceļa posmos, kas atputeķļoti ar lignosulfonāta standarta un dubulto devu, vairs nav vērojams puteķļu veidošanās daudzuma samazinājums salīdzinājumā ar ceļa neatputeķļoto references posmu, šiem posmiem atputeķļošanas efekts jau zudis.
9. 2. monitoringa rezultāti liecina, ka abu eksperimentālo ceļu posmos, kas atputeķļoti ar CaCl_2 standarta un dubultā koncentrācijā, kā arī ar CaCl_2 kombinācijā ar lignosulfonātu, atputeķļošanas efektivitāte ir ievērojami labāka nekā posmos, kas atputeķļoti tikai ar lignosulfonātu standarta un dubultā koncentrācijā.
10. Trīs mēnešu novērošanas periodā no atputeķļošanas līdzekļu iestrādes brīža 19.06.2023. līdz 3. monitoringam 13.09.2023. meža ceļā *Dzintari-Ābeles* vismazākais puteķļu daļiņu daudzums, kā arī vismazākā puteķļu daudzuma palielinājuma dinamika un atputeķļošanas efektivitāte saglabājās ceļa posmos, kas atputeķļoti ar CaCl_2 .

11. Paātrināts lignosulfonāta atputeķļošanas efektivitātes zudums meža ceļā *Dzintari-Ābeles* saistīts ar stiprām lietuseģzēm īsā laikā pēc lignosulfonāta iestrādes, jo tas viegli šķīst ūdenī un lielāku atputeķļošanas efektivitāti nodrošina, ja laikapstākļi ilgstoši saglabājas sausi .
12. Divarpus mēnešus ilgajā novērošanas periodā no atputeķļošanas līdzekļu iestrādes brīža 29.06.2023. līdz 3. monitoringam 13.09.2023. *Abermaņa* meža ceļā, līdzīgi kā *Dzintari-Ābeles* meža ceļā, vismazākais puteķļu daudzums, kā arī vismazākā tā palielinājuma dinamika un atputeķļošanas efektivitāte visilgstošāk saglabājas ceļa posmos, kas atputeķļoti ar CaCl_2 .
13. Lignosulfonāts parastā un dubultā koncentrācijā *Abermaņa* meža ceļā atputeķļošanas efektivitāti saglabāja 50 dienas, t. i., no iestrādes brīža 29.06.2023. līdz 2. monitoringam 17.08.2023., kad, ja braukšanas ātrums bija 70 km/h, puteķļu vidējais daudzums gaisā bija attiecīgi 2,460 mg/m³ un 1,888 mg/m³, kas ir vismaz trīs reizes labāks rezultāts nekā *Dzintari-Ābeles* meža ceļā.
14. Saskaņā ar veikto monitoringu datiem laika gaitā notiek pakāpeniska lignosulfonāta izskalošanās, kuras rezultātā atputeķļošanas efekts samazinās. Lignosulfonāta klātbūtni ceļa seguma virsējā slānī ietekmē arī greiderēšana, kuras dēļ var samazināties tā koncentrācija un līdz ar to veiktās atputeķļošanas efektivitāte.
15. Saskaņā ar monitoringu datiem laika gaitā novērojama pakāpeniska hlorīdjonu migrācija gruntī, kuras rezultātā to koncentrācija ceļa segumā samazinās. Abu ceļu atputeķļotajos posmos toksisko, vidi piesārņojošo organisko vielu PAO un PHB koncentrācija faktiski neatšķiras no to references posmos konstatētās koncentrācijas un nepārsniedz Ministru kabineta noteikumu Nr. 804 "Noteikumi par augsnes un grunts kvalitātes normatīviem" prasības.

8 Ieteikumi

1. Atputekļošanas darbi, lietojot jebkuru atputekļošanas līdzekli, jāplāno dienās, kad nav paredzams (prognozēts) lietus.
2. Autocisternas izsmidzināšanas sprauslas jāneregulē tā, lai nodrošinātu lignosulfonāta šķīduma izsmidzināšanas apjomu vienā piegājienā, $0,5 - 0,75 \text{ l/m}^2$.
3. Ieteicams lietot izsmidzināšanas siju ar vairākām izsmidzināšanas sprauslām, kuras vērstas uz leju; to ieteicamais augstums – $0,5 - 1,0 \text{ m}$ virs ceļa seguma virsmas.



4. Lignosulfonāta iestrādes laikā, kamēr tas iesūcas ceļa segumā, ieteicams ierobežot satiksmes kustību.
5. Lai varētu izsekot un pārbaudīt izlietotā materiāla daudzumu konkrētajā vietā/adresē, tehnikas vienībām vajadzētu būt aprīkotām ar globālās pozicionēšanas sistēmas (GPS) izsekošanas ierīcēm un materiāla izlietošanas uzskaites sistēmas nodrošinājumu, kā arī tehnikas vienībām jābūt kalibrētām.

9 Literatūra

1. <https://www.lvm.lv/petijumi-un-publicijas/meza-autocelu-atputeklosana-2021-gads>
2. AS “Latvijas valsts meži” Meža autoceļu būvdarbu specifikācijas 2023. Apstiprinātas ar AS “Latvijas valsts meži” Mežsaimniecība. Meža infrastruktūras izpilddirektora 24.01.2023. rīkojumu Nr. 3.1-2_000d_230_23_4.