



ŽVYRKELIŲ DULKĖTUMO MAŽINIMO TIRPALU „SAFECOTE“ IR JO MIŠINIŲ SU CaCl_2 EKSPERIMENTINIAI TYRIMAI

Jolita Bradulienė¹, Saulius Vasarevičius²

Aplinkos apsaugos katedra, Vilniaus Gedimino technikos universitetas,

Saulėtekio al. 11, LT-10223 Vilnius, Lietuva

El. paštas: ¹jolita.zaveckyte@vgtu.lt; ²sauliusv@vgtu.lt

Įteikta 2009 03 16; priimta 2009 07 20

Santrauka. Žvyrkelių dulkėtumas sukelia nemažai nepatogumų ir transporto priemonių vairuotojams, ir visiems, esantiems netoli žvyrkelio aplinkos zonos. Nuo kelio kylančių dulkių kiekiui bent kiek sumažinti buvo pasirinktas tirpalas „Safecote“ ir CaCl_2 . Eksperimentiniai tyrimai atlikti 2007 ir 2008 metų vasarą. Tyrimams pasirinktos keturios 5 m žvyrkelio atkarpos, tarp kurių buvo 5 m tarpas. Pasirinktos atkarpos apdorotos įvairios koncentracijos tirpalu „Safecote“ (pirmąją vasarą – 2007 m.) ir jo mišiniais su CaCl_2 (antrąją vasarą – 2008 m.), o viena atkarpa palikta neapdorota (kontrolinis ruožas). Visose atkarpose matuota dulkėtumas bei oro sąlygas matavimo metu nusakantys parametrai. Nagrinėta kietųjų dalelių koncentracijos (mg/m^3) priklausomybė nuo automobilio greičio bei atstumo nuo važiuojamosios kelio dalies. Eksperimento metu kritulių kiekis įtakos neturėjo, atkarpos buvo uždegtos plėvele, kuri prieš matavimus būdavo nudenčiama, o po jų vėl uždenčiama. Plėvelė naudota tam, kad tyrimų rezultatai būtų aktualūs ilgo sausojo sezono metu.

Reikšminiai žodžiai: dulkėtumo mažinimas, tirpalas „Safecote“, CaCl_2 , tirpalo koncentracijos, eksperimentiniai tyrimai.

1. Įvadas

Svarbiausia transporto sektoriaus dalis Lietuvoje yra automobilių keliai (2002–2015 metų... 2001).

2008 m. kovo 5 d. duomenimis (Lietuvos keliai 2006), rajoninių valstybinės reikšmės kelių su žvyro dangą buvo 8091,92 km. Lietuvos valstybinės reikšmės kelių tinklo tankumas 1000-iai gyventojų yra apie 5,8 km, o 1000-iai kvadratinų kilometrų – 326 km. Kelių tinklo su patobulinta (asfaltbetonio ir cementbetonio) danga tankumas 1000-iai gyventojų yra 3,26 km, o 1000-iai km^2 – 185 km. Pagal šį rodiklį Lietuva nusileidžia ne tik išsivysčiusioms Vakarų Europos šalims, bet ir daugeliui Rytų bei Centrinės Europos šalių (Priešnuodžiai dulkėms 2006).

Žvyrkeliuose dulkės susidaro dėl žvyro dangos dėvėjimosi, veikiant klimato veiksniams ir transportui. Pagrindinis žvyrkelių dulkėjimo mažinimo uždavinys ir tikslas yra neleisti susidaryti dulkių debesiai iš žvyro dangoje esančių ir dangos dėvėjimo procese atsirandančių smulkiųjų dalelių (Kelių ... 2004).

Dėl transporto skaičiaus augimo mastų pastaraisiais metais daugėja mažiausių žvyro dalelių, taigi didėja dulkėtumas, nes transporto priemonės vis labiau žvyro daleles sutrina į miltelius (Richeson 2008).

Žvyrkelių dulkėtumas mažina matomumą ir trukdo eismo saugumui (Žilionienė *et al.* 2005). Dulkės pavojingos žmonėms, nes dalis jų patenka į gyvenamąją teritoriją (Baltrėnas *et al.* 2007). Kietosios dalelės sukelia įvairias alergijas, ligas (Baltrėnas *et al.* 2007; Sanders, Addo 1993; Girgždienė, Rameikytė 2007), slopina pasėlių augimo intensyvumą, labai didina autotransporto priemonių dalių nusidėvėjimą (Sanders, Addo 1993).

Bet kurios dulkėtumą mažinančios medžiagos veikimas priklauso nuo daugelio veiksnių. Keletas jų – taisyklos metodas, norma, dažnumas ir produkto koncentracija. Labai svarbu suformuoti stabilų, kietą paviršium, kuris lengvai nepraleistų paviršinio vandens. Jei dulkėtumą mažinančios medžiagos tinkamai taikomos, ir suformuojamas žvyrkelio dangos paviršius, galima tikėtis ilgalaikio ir gero rezultato (Alternatives ... 1996; Bolander, Yamada 1999; Foley *et al.* 1996; Giummarra *et al.* 1997).

Pasak Stevenson (2004), pagrindiniai dulkių kilimo veiksniai yra autotransporto greitis, autotransporto ratų skaičius, eismo intensyvumas, dalinis užpildo pasiskirstymo dydis, paviršiaus medžiagos suspaudimas, paviršiaus drėgmė, klimatas.

Tipinės dulkių mažinimo medžiagos dažniausiai skirstomos į kategorijas, iš jų pagrindinės yra: vanduo, vandenį absorbuojantys produktai (higroskopiški), organinės naftos produktai, organiniai be naftos produktai, elektrocheminiai produktai, sintetiniai polimero produktai bei molio priemaišos (Zaveckytė, Vasarevičius 2007).

Nepageidaujami cheminių medžiagų poveikio padariniai aplinkai: kenkiama pakelių augalijai, dirvožemiui, užteršiami paviršiniai ir gruntiniai vandenys, o dėl to atsiranda neigiamas poveikis gyvūnijai ir žmonėms. Mažinti taršą yra vienas prioritetinių aplinkos apsaugos uždavinių mūsų šalyje (Baltrėnas, Morkūnienė 2004; Baltrėnas *et al.* 2006).

Kelių dulkėtumui žvyrkeliuose mažinti vasaros sezoną barstoma ir purškama tirpalo pavidalo cheminė medžiaga pirmiausiai patenka ant važiuojamosios kelio dalies bei jos kelkraščių ir tiesiogiai teršia šalia kelio esančią

kelio apsaugos zonos žemę. Galima ir netiesioginė aplinkos tarša, kai atmosferos krituliai cheminę medžiagą išplauna iš kelio apsauginės zonos žemės į netoliese kelio esančius paviršinius ir gruntinius vandenius bei kai medžiaga iš dirvožemio ir vandens patenka į augalus.

Pastaraisiais metais mūsų šalyje iš cheminių medžiagų, naudojamų žvyrkelių dangos priežiūrai, plačiai naudojamos techninės druskos (chloridai) bei bituminės emulsijos. Kad chloridų būtų naudojama kuo mažiau ir sumažėtų jų neigiama įtaka gamtai bei aplinkai, būtina siūlyti naujas priemones žvyrkelių dulketumui mažinti (Safecote 2008).

Ekspirimentiniams tyrimams pasirinktas naujas patentuotas produktas „Safecote“, kurio kilmė yra organinė, todėl šis produktas priklauso organinių medžiagų be naftos produktų kategorijai.

„Safecote“ – antrinis žemės ūkio produktas, gaunamas iš cukraus pramonės atliekų. Tai tamsiai ruda bekvapė skysta medžiaga, kuri gali būti maišoma su visais chloridais, jų tirpalais, rečiau – naudojama viena (Safecote 2008).

„Safecote“ būdinga geras ledo ir sniego tirpinimas, labai geros antikorozinės savybės bei yra neagresyvus aplinkai. Šis tirpalas stiprus korozijos inhibitorius, be to, „Safecote“ susiskaido biologiškai, nekenkdamas aplinkai (Safecote 2008).

Dulkių koncentracija ore nustatoma svorio (gravitaciniu), dulkių kiekio skaičiavimo (konimetriniu), optiniu, vibraciniu, elektriniu, akustiniu ir kitais metodais (Baltrėnas, Kvasauskas 2005; Atmosferos apsauga... 1998), tačiau tirpalu „Safecote“ dulketumo mažinimo tyrimams buvo pasirinkta kietųjų dalelių koncentraciją ore matuoti dulkių koncentracijos analizatoriumi *MicroDust pro*.

2. Tyrimo objektas ir metodika

Pagal eksperimentinio tyrimo, kuris buvo atliktas 2007 m. vasarą (Zaveckytė, Vasarevičius 2008), rezultatus pastebėta, kad žvyrkelių ruožus reikėtų apdoroti ne vien skirtingos koncentracijos tirpalu „Safecote“, bet ir mišiniais su CaCl₂. Tyrimai abi vasaras (2007 ir 2008 metų) buvo atliekami pagal vienodą metodiką. Skyrėsi tik tirpalai: pirmąją vasarą buvo naudojamas tik tirpalas „Safecote“, o antrąją – tirpalu „Safecote“ mišiniai su CaCl₂. Pirmosios vasaros tyrimas ir jo rezultatai paskelbti 7-ojoje tarptautinėje konferencijoje (Zaveckytė, Vasarevičius 2008).

Žvyrkelio dangos frakcijos sudėties nustatymas

Analizuojama kelio paviršiaus dangos granulimetrinė sudėtis. Skirtingos žvyro frakcijos kiekiai gramais nustatomi analiziniu sietų kratytuvu *AS200 Digital* (kratymo amplitudė 70, kratymo trukmė 3 minutės). Frakcijų dydžiai: >5 mm; 5–4 mm; 4–2,5 mm; 2,5–2 mm; 2–1,6 mm; 1,6–1 mm; 1–0,9 mm; 0,9–0,6 mm; 0,6–0,4 mm; 0,4–0,3 mm; 0,3–0,2 mm; 0,2–0,1 mm; 0,1–0,05 mm; <0,05 mm (Zaveckytė, Vasarevičius 2008).

Oro sąlygas nusakančių parametrų matavimas

Temperatūra, oro drėgmė ir vėjo greitis matuojami mikroklimato parametrų analizatoriumi *TESTO-400*, kurio

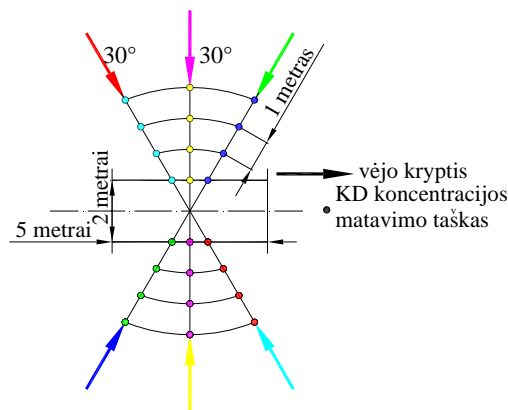
matavimo ribos (–20–+70) °C, (0–100) %, (0–10) m/s, matavimo paklaidos ±0,5 °C, ±2 %, ±0,03 m/s. Atmosferos slėgis matuojamas barometru, kurio matavimo ribos – (79,5–106,5) kPa, paklaida ±0,005 kPa. Vėjo kryptis nustatoma vizualiai. Kritulių pobūdis, aplinkos oro temperatūra ir drėgmė pradėti stebėti trys dienos prieš atliekant eksperimentą (apdorojant kelio ruožus). Matavimai pradėti, kai tris dienas prieš eksperimentą nelijo ir vidutinė aplinkos oro temperatūra per tris dienas buvo ne mažesnė nei 18 °C (Zaveckytė, Vasarevičius 2008).

Kietųjų dalelių koncentracijos ore nustatymas

Pasirinkta žvyrkelio atkarpa, esanti šalia Vilniaus Gedimino technikos universitetui priklausančių garažų. Išmatuotas kelio plotis. Nustatytas pasirinkto ruožo centras. Atkarpų ilgis – po 5 m vienam ruožui.

Dulketumas pasirinktoje kelio atkarpoje sukeltas pastoviuoju, pagal kelių eismo taisyklių (KET) 174 punktą leidžiamu gyvenvietėse, t. y. ne didesniu kaip 50 km/h, greičiu (Kelių eismo... 2008) važiuojančiu lengvuoju automobiliu. Pasirinkti 3 skirtingi greičiai: 30 km/h, 40 km/h ir 50 km/h. Didesnis greitis nepasirinktas dėl per trumpo atstumo iki ruožų (automobilis negalėjo važiuoti didesniu nei 50 km/h greičiu).

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



1 pav. Kietųjų dalelių koncentracijos matavimo taškų išdėstymas (Zaveckytė, Vasarevičius 2008)

Fig. 1. Arrangement of solid particle concentration measuring points (Zaveckytė, Vasarevičius 2008)

Kietųjų dalelių koncentracijos aplinkos ore matavimai nebuvo atliekami, jei vėjo kryptis buvo „pasvirusi“ daugiau nei 30° laipsnių nuo kelio vertikalių; jei matuojant lijo; jei nuo paskutinio matavimo praėjus 24 valandoms buvo pastebėta krituliai ir kelio tarpuose tarp apdengtų tiriamųjų ruožų ant dangos telkšojo balos.

Kietųjų dalelių koncentracijos aplinkos ore matavimai buvo atliekami dulkių koncentracijos analizatoriumi *MicroDust pro*, kurio matavimo ribos ir paklaidos yra keturių lygių:

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

Eksperto rezultatai priklauso pirmajam lygiui.

Koncentracijos matavimo taškuose analizatorius laikytas 1 m nuo pagrindo aukštyje. Oro mėginys imtas dvi minutes (kol vizualiai dulkių debesis nusės). Matavimo taške buvo užrašoma maksimali kietųjų dalelių koncentracija. Tarp atkarpų buvo 5 m tarpas. Iš viso parinktos 4 atkarpos po 5 m – kontrolinė ir trys ruožai, apdorota skirtingomis tirpalų koncentracijomis.

2007 m. vasaros bandymams tirpalas „Safecote“ maišytas su vandeniu. Tirpalo paruošimas aprašytas J. Zaveckytės ir S. Vasarevičiaus straipsnyje (2008).

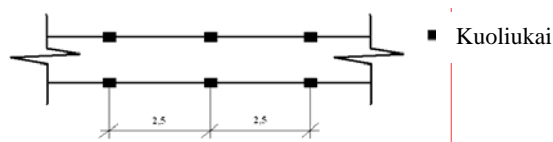
2008 m. vasarą mišiniai ruošti iš skirtingų koncentracijų tirpalo „Safecote“ ir 36,5 % CaCl₂. Bendras vienam ruožui paruošto mišinio tūris – 10 l. Mišinio komponentai imami vienodomis dalimis, t. y. po 5 l. Tirpalo „Safecote“ koncentracijos tokios pat kaip anksčiau: 10 %, 20 %, 30 %.

36,5 % CaCl₂ tirpalas paruošiamas taip: 1 l vandens ištirpinama 496 g CaCl₂ (Kelių ... 2004).

Paruošti tirpalai purkštuvu buvo išpurkšti ant žvyrkelio atkarpos per du kartus. Iš pradžių išpurkšta pusė kiekio (5 l) paruošto tirpalo ir palaukta, kol šiek tiek susigers. Po 5 min. buvo išpurkštas likęs tirpalo kiekis.

Kad tirpalo nuo kelio ruožų neišplautų krituliai (vasaros lietus), žvyrkelio atkarpos buvo uždengtos plėvele. Ruožuose įkalta kuoliukai (2 pav.) ir prie jų pritvirtinta skaidri vandeniui atspari polietileninė plėvelė. Vienoje pusėje plėvelė įtvirtinta taip, kad atliekant matavimus būtų galima ją lengvai nudengti, o po matavimų vėl uždengti.

Matuojant dulketumą automobilis visą laiką važiuodavo iš tos pačios pusės.



2 pav. Kuoliukų tvirtinimo schema viename ruože

Fig. 2. Scheme of fastening of stakes in one section

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

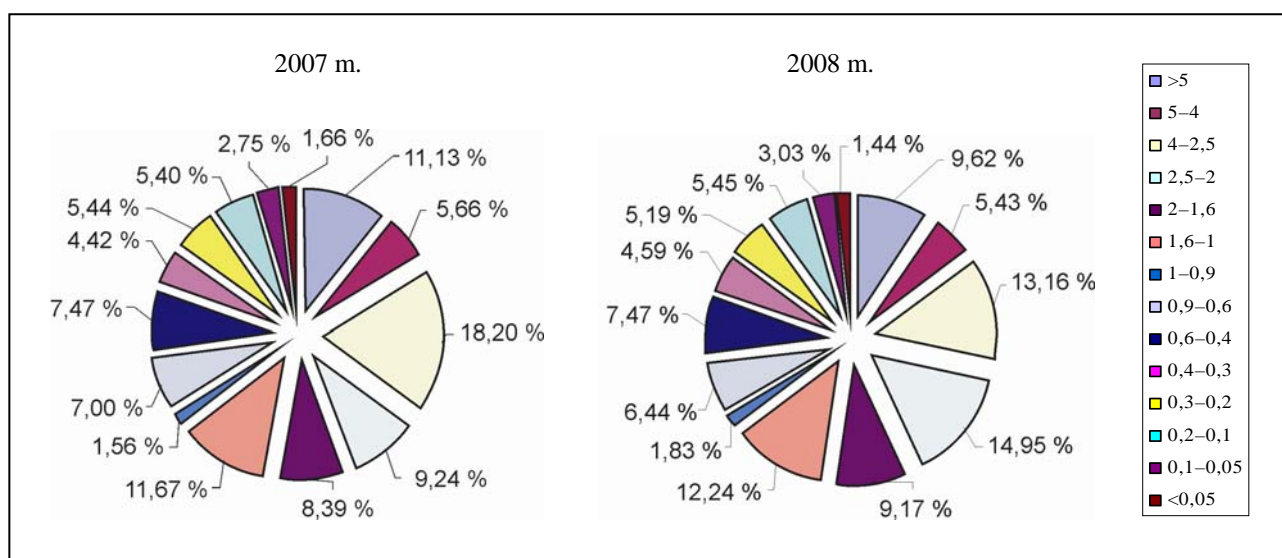
3. Tyrimo rezultatai

Pasirinkto tiriamojo ruožo kairėje pusėje nevienodu atstumu nuo kelio buvo metaliniai garažai. Dešinėje kelio pusėje – šlaitas su pavieniais medžiais, už kurių – kitas kelias.

Žvyrkelio dangos frakcijos sudėties rezultatai

Kaip minėta metodikoje, pirmiausia buvo atliekama žvyro frakcijos sudėties analizė. Pasvėrus 1 kg žvyrkelio paviršiaus dangos, gauta granulimetrinė sudėtis (3 pav.). Granulimetrinei sudėčiai nustatyti taikyti nestandartiniai frakcijų dydžiai, nes Aplinkos apsaugos katedroje yra analizinis sietų kratytuvas AS200 Digital, jo visi sietai ir buvo tam naudojami.

Iš 3 pav. matyti, kad 2007 m. tiriamojo žvyrkelio ruožo dangoje didžiausioji dalis yra 4–2,5 mm frakcija (182,51 g, t. y. 18,20 %), 2008 m. – 2,5–2 mm frakcija (149,75 g, t. y. 14,95 %), o mažiausioji 2007 m. – dalelės, kurių skersmuo 1–0,9 mm (15,63 g, t. y. 1,56 %), 2008 m. – dalelės, mažesnės nei 0,05 mm (14,38 g, t. y. 1,44 %). Per 10 % didesnės nei 5 mm (11,13 %) – 2007 m., 4,0–2,5 mm (13,16 %) – 2008 m. ir 1,6–1,0 mm – abi



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

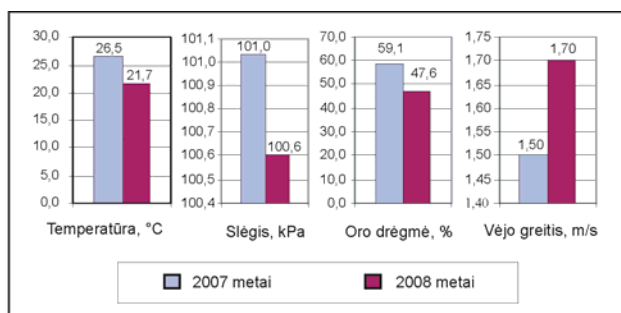
Fig. 3. Granulometric composition of gravel covers in the investigated road section according to fractions, %

vasaras (atitinkamai 11,67 % ir 12,24 %). Nuo 5 % iki 10 % 2007 ir 2008 metais buvo dalelių, kurių skersmuo 5–4 mm (atitinkamai 5,66 % ir 5,43 %), 2,5–2,0 mm (9,24 % tik 2007 m.), 2,0–1,6 mm (8,39 % ir 9,17 %), 0,9–0,6 mm (7,00 % ir 6,44 %), 0,6–0,4 mm (po 7,47 %), 0,3–0,2 mm (5,44 % ir 5,19 %), 0,2–0,1 mm (5,40 % ir 5,45 %) ir didesnių nei 5 mm (9,62 % tik 2008 m.) dalelių. Kitų dalelių frakcijų mažiau nei po 5 % masės bendrame tūryje.

Iš 3 pav. matyti, kad didesnių nei 5 mm dalelių kiekis 2008 m. sumažėjo 1,51 %. Labiausiai padidėjo – net 5,70 %, dalelių, kurių skersmuo 2,5–2,0 mm, frakcija, o labiausiai sumažėjo (net 5,04 %) 4,0–2,5 mm skersmens dalelių frakcija. Kitos frakcijos pakito nuo 0,00 % (0,6–0,4 mm) iki 0,78 % (2,0–1,6 mm).

Oro sąlygų rezultatai

Oro sąlygas nusakančių parametru vidutinės reikšmės 2007 ir 2008 metais pavaizduotos 4 paveiksle.



4 pav. Aplinkos sąlygas nusakančių parametru reikšmių skirtumai eksperimento metu 2007 ir 2008 metų vasarą

Fig. 4. Differences of the air condition meanings during summer experiment in 2007 and 2008

Vėjo kryptis eksperimento metu abi vasaras vyravo ta pati – šiaurės rytų. Iš 4 pav. matyti, kad temperatūros, slėgio ir oro drėgmės vertės 2007 m. vasarą buvo didesnės nei 2008 metais. Tik vėjo stiprumo vertė buvo didesnė 2008 m. vasarą. Vidutinė 2007 m. vasaros temperatūra reikšmė 2007 m. buvo didesnė 0,4 kPa, t. y. 0,4 %. Oras 11,5 % buvo drėgnesnis 2007 m. vasarą (skirtumo paklaida – 19,4 %). Smarkesnis vėjas pūtė 2008 m. vasarą, jo greitis 0,20 m/s didesnis nei 2007 m. vasaros vėjo. Vėjo greičių skirtumas – 11,76 %.

Kadangi oro sąlygų vidutinės reikšmės 2007 ir 2008 metais vasarą nesiskyrė daugiau kaip 20 %, galima teigti, kad oro sąlygos eksperimentų metu vyravo tokios pat.

Kietųjų dalelių koncentracijos ore nustatymo rezultatai

Kaip atliekami matavimai viename taške, parodyta 5 paveiksle.

Matuojamas bendras suspenduotų dalelių kiekis. Pagal HN 35:2007 (Lietuvos higienos... 2007) didžiausioji leidžiamoji vienkartinė kietųjų dalelių koncentracija gyvenamosios aplinkos ore yra 0,5 mg/m³.



5 pav. Kietųjų dalelių koncentracijos ore matavimas su „MicroDust pro“ (Zaveckytė, Vasarevičius 2008)

Fig. 5. Measurement of solid particle concentration in the air with „MicroDust pro“ (Zaveckytė, Vasarevičius 2008)

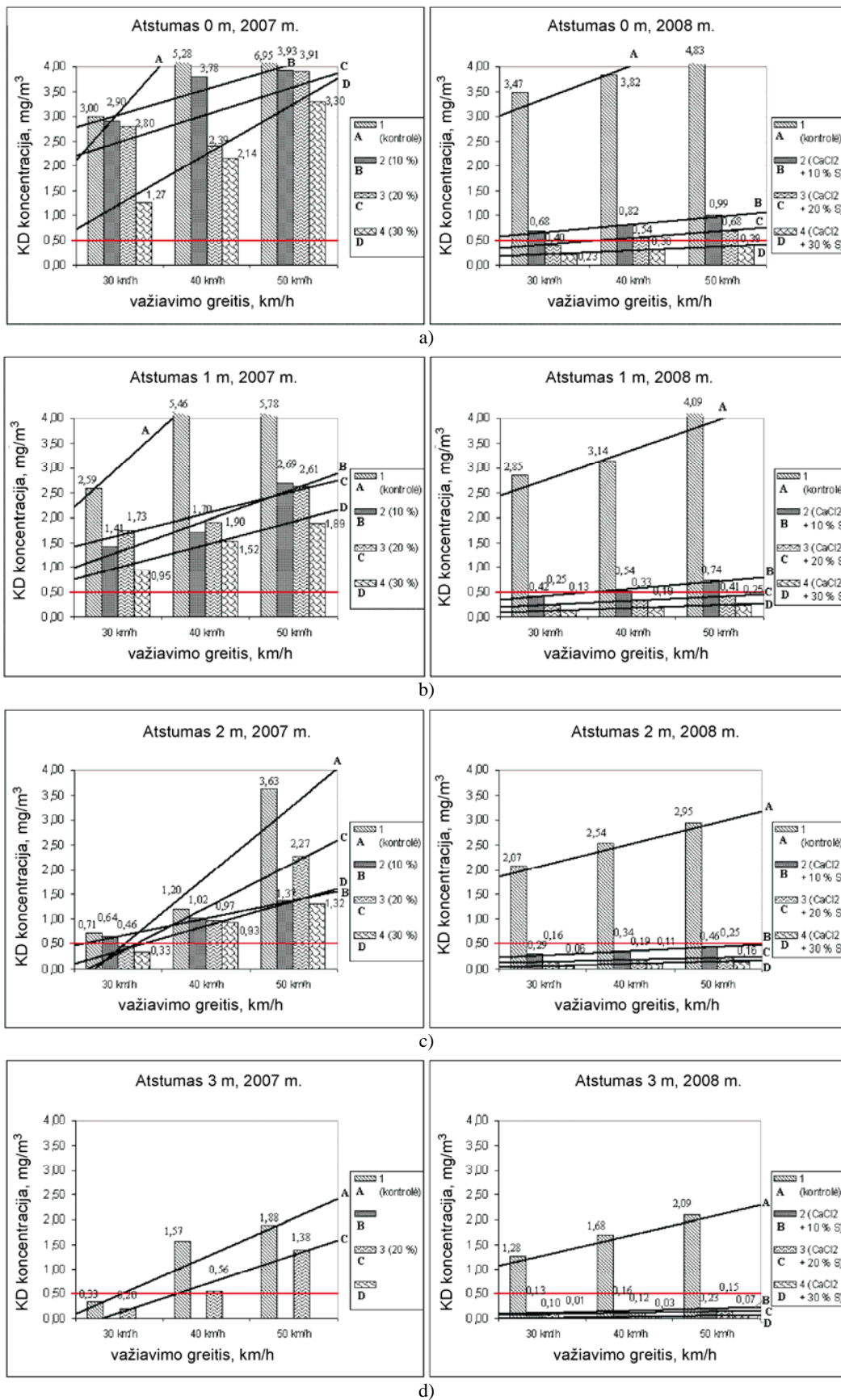
Apdorojus (suvidurkinus 7 matavimo dienų 2007 m. ir 10 – 2008 m.) gautuosius KD koncentracijos rezultatus, nagrinėtos KD koncentracijos ore priklausomybės nuo tirpalo koncentracijos ir automobilio greičio skirtingais atstumais nuo važiuojamosios kelio dalies (6 pav.)

Kaip matyti iš 6 pav., visais atstumais nuo kelio abi vasaras KD koncentracijos ore kito priklausomai nuo tirpalo koncentracijos ir autotransporto greičio. Iš 6 pav. matyti, kad kai ruožą dengia didesnė tirpalo koncentracija, dulketumas yra mažesnis. Taip pat akivaizdu, kad kuo didesnis transporto greitis, tuo didesnis dulketumas (tai ypač matyti pagal linijas, pažymėtas raidėmis A, B, C). Taip pat pastebima, kad tostant nuo kelio mažėja KD koncentracija ir ore.

Rezultatai lyginami su didžiausiąja leidžiamąja vienkartinė kietųjų dalelių koncentracija gyvenamosios aplinkos ore (Lietuvos higienos... 2007). Ši koncentracija pavaizduota raudona linija (6 pav.).

2008 m. kietųjų dalelių koncentracija ore žymiai mažesnė už koncentraciją 2007 m. jau net prie pat kelio važiuojamosios dalies (6 pav., a), tik viena reikšmė didesnė: kontroliniame ruože automobiliui važiuojant 30 km/h greičiu KD koncentracija skyrėsi 0,47 mg/m³ (13,47 %). Automobiliui važiuojant didesniu greičiu, KD koncentracija jau didesnė 2007 metais: kontroliniame ruože skirtumas 27,63 %, kai greitis 40 km/h, ir 30,46 % – kai 50 km/h.

Ruožuose, apdorotuose tirpalais, kuriuose yra 10 % tirpalo „Safecot“, KD koncentracija prie važiuojamosios kelio dalies vieną ir kitą vasarą skyrėsi 76,62 % (kai greitis 30 km/h), 78,38 % (40 km/h) ir 74,79 % (50 km/h). Kai tirpale, kuriuo apdorotas ruožas, buvo 20 % „Safecote“, KD koncentracija skyrėsi 85,61 %, 77,34 % ir 82,69 % (greičiai atitinkamai 30 km/h, 40 km/h ir 50 km/h). Ruožuose, apdorotuose dar didesnės koncentracijos tirpalais (30 % tirpalo „Safecote“), KD koncentracija skyrėsi 5,5 karto (81,89 %), kai greitis 30 km/h, ir net 8,5 karto (88,27 %), kai 50 km/h. Iš 6 pav., a, matyti, kad didžiausioji leidžiamoji vienkartinė kietųjų dalelių koncentracija gyvenamosios aplinkos ore neviršijama tuomet, kai kelio danga apdorota 30 % tirpalo „Safecote“ ir 36,5 % CaCl₂ mišiniu, automobiliams važiuojant minėtais pasirinktais greičiais. Jei kelio danga apdorota mažesnės koncentracijos tirpalu, kurio sudėtyje yra CaCl₂ ir 20 % „Safecote“, automobilių greitis turi būti 30 km/h.



6 pav. KD koncentracijos kitimo priklausomumas nuo automobilio važiavimo greičio ir tirpalo koncentracijos skirtingais atstumais nuo kelio 2007 ir 2008 metų vasarą
Fig. 6. Change of PM concentration depending on the car speed and solution concentration at a different distance from the road during the summer of 2007 and 2008

2007 m. tyrimo visi rezultatai prie važiuojamosios kelio dalies viršijo leidžiamąją normą. Artimiausias rezultatas nustatytas 30 % tirpalu „Safecote“ apdorotame ruože, kai automobilis važiuojo 30 km/h. Čia gautoji KD koncentracija leidžiamąją viršijo 2,5 karto.

1 m atstumu nuo kelio važiuojamosios dalies (6 pav., b) kontroliniame ruože didžiausias skirtumas (net 42,44 %) buvo automobiliui važiuojant 40 km/h greičiu. Kai greitis 30 km/h, KD koncentracijų skirtumas 2007 ir 2008 metais neviršijo net 10 %, o kai 50 km/h – 30 %. Ruože, apdorotame tirpalu, kurio sudėtyje yra 10 % „Safecote“, KD koncentracija skyrėsi apie 3 kartus, kai tirpale jo buvo 20 % – apie 6 kartus, kai 30 % – apie 7,7 karto. 2007 m. tyrimo duomenimis, kai kelio ruožai apdoroti tik skirtingų koncentracijų tirpalu „Safecote“, automobiliams važiuojant pasirinktais greičiais, 1 m atstumu nuo važiuojamosios kelio dalies KD koncentracija viršijo leidžiamąją normą. 2008 m. tyrimo duomenimis, leidžiamoji KD norma viršijama kontroliniame ruože ir ruože, apdorotame 36,5 % CaCl₂ ir 10 % „Safecote“ mišiniu, automobiliams važiuojant didesniu nei 30 km/h greičiu. Kontroliniame ruože koncentracijos norma viršyta apie 6,7 karto. Ruože, padengtame didžiausios koncentracijos tirpalu, net automobiliui važiuojant 50 km/h greičiu KD koncentracija perpus mažesnė nei leidžiamoji.

2 m atstumu nuo važiuojamosios kelio dalies KD koncentracija kontroliniame ruože 2007 ir 2008 metais skyrėsi apie 2 kartus (6 pav., c) ir tik kai greitis 50 km/h, ji buvo didesnė 2007 metais. Didžiausias KD koncentracijos reikšmių skirtumas ruože, apdorotame tirpalu, kuriame 20 % „Safecote“, o automobilio greitis 50 km/h. Koncentracijos skyrėsi net 9 kartus. Mažiausiai rezultatai skyrėsi (tik 2–3 kartus) ruožų, apdorotų tirpalais, kuriuose buvo 10 % tirpalo „Safecote“. KD koncentracija 2 m atstumu nuo važiuojamosios kelio dalies, palyginti su leidžiamąja norma, jau nebeviršijo net ruožuose, padengtuose tik tirpalu „Safecote“, kai jo koncentracija per 20 %, o automobilio greitis 30 km/h. Skirtumas tarp šių reikšmių – 0,04 mg/m³ (kai tirpalo koncentracija 20 %) ir 0,17 mg/m³ (kai 30 %). Kai ruožai padengti tirpalu „Safecote“ ir CaCl₂ mišiniais, KD koncentracija neviršijo leidžiamosios. Arčiausiai leidžiamosios normos buvo

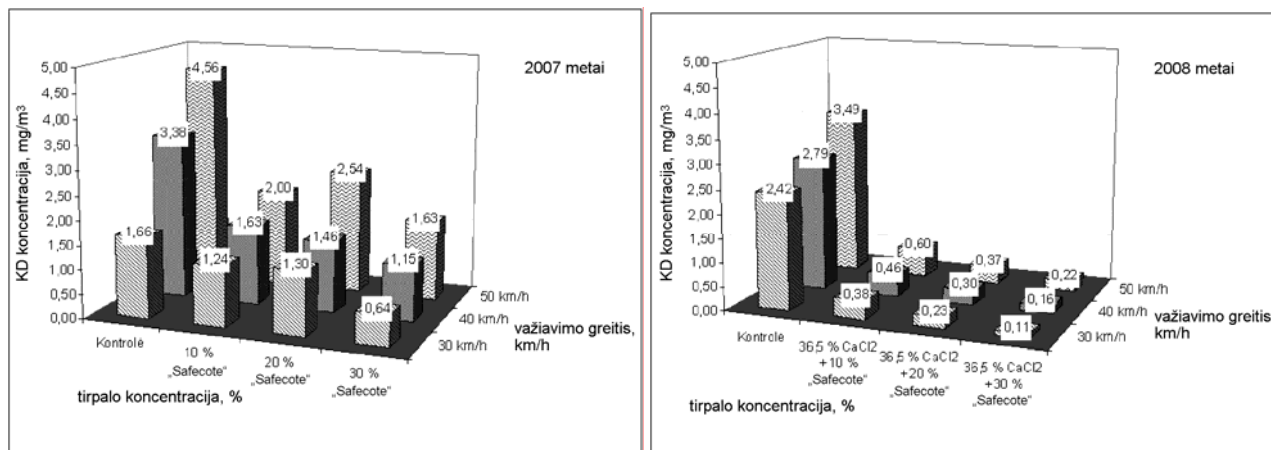
reikšmė, gauta automobiliui važiuojant 50 km/h greičiu ruožu, padengtu CaCl₂ ir 10 % tirpalu „Safecote“ mišiniu. Reikšmės skiriasi tik 0,04 mg/m³.

3 m atstumu nuo važiuojamosios kelio dalies KD koncentracija kontroliniame ruože 2007 m. buvo mažesnė nei 2008 metais (6 pav., d). Kai automobilis važiuojo 40 ir 50 km/h greičiu, KD koncentracija beveik vienoda, skirtumas tarp gautųjų reikšmių iki 10 %. Kai automobilio greitis 30 km/h, KD koncentracija skirtingais metais skyrėsi net 3,9 karto. 2007 m. ties dviem ruožais buvo 3 m atstumo kliūčių, dėl kurių tuose taškuose KD koncentracijos pamatuoti nepavyko, todėl rezultatų su 2008 m. gautaisiais palyginti negalima. Lyginant abiejų vasarų duomenis, gautus ruože, apdorotame tirpalu, kuriame buvo 20 % „Safecote“, galima pastebėti, kad, esant CaCl₂, KD koncentracija mažesnė nuo 2 (greitis 30 km/h) iki 9 (greitis 50 km/h) kartų. Ruože, kuriam nenaudotas CaCl₂ tirpalas, leidžiamoji KD koncentracijos norma neviršyta tik kai greitis 30 km/h, o kai greitis 40 km/h, leidžiamoji norma viršyta tik 0,06 mg/m³. 2008 m. vasaros tyrimo duomenimis, leidžiamoji norma neviršyta nė viename matavimo taške, išskyrus kontrolinio ruožo tašką.

Iš gautų vidutinių reikšmių matyti, kad jokiais priemonėmis neapdoroto kelio ruožo KD didžiausiosios leidžiamosios vienkartinės koncentracijos normos nebuvo viršytos tik vieninteliame taške: 2007 m. – 3 m atstumu nuo važiuojamosios kelio dalies, kai transporto greitis 30 km/h.

2007 ir 2008 metų tyrimų duomenys suvidurkinami pagal apdoroti naudoto tirpalo koncentraciją (7 pav.).

Iš rezultatų (7 pav.) matyti, kad 2008 m. gautos mažesnės KD koncentracijų reikšmės. Vienintelė reikšmė 2008 m. – 1,45 karto didesnė už 2007 m. – buvo kontroliniame ruože, kai automobilio greitis 30 km/h. Ši reikšmė didesnė, nes 2008 m. pūtė stipresnis vėjas (vėjo greitis 0,2 m/s didesnis nei 2007 m. vasarą). Kitos reikšmės mažesnės, nes automobiliui važiuojant greičiau, vėjo gūšiai didesnę dalį dulkių išsklaidydavo pažeme ir prie pat kelio, todėl mažesnė koncentracija patekdavo į prietaisą, jį laikant ne prie žemės ir stovint toliau nuo kelio.



7 pav. KD koncentracijos mažėjimas, rezultatus suvidurkinus pagal naudojamo tirpalo koncentraciją

Fig. 7. Decrease of PM concentration for the results averaged in accordance with the concentration of used solution

Apie CaCl_2 savybę surišti smulkias žvyro daleles yra žinoma iš anksčiau, todėl nenuostabu, kad kelio dangą apdorojus mišiniu, kuriame yra CaCl_2 , dulketumas mažesnis nei apdorojus tokiu pat mišiniu tik be šios cheminės medžiagos. Tai akivaizdžiai įrodo ir gauti tyrimo rezultatai (7 pav.).

Iš rezultatų akivaizdu, kad 2007 m. visos vidutinės KD koncentracijos reikšmės viršija leidžiamąją normą. Artimiausia leidžiamajai normai yra KD koncentracija, sukelta automobilio, važiuojančio 30 km/h greičiu keliu, apdorotu 30 % tirpalu „Safecote“. Gautoji reikšmė $0,14 \text{ mg/m}^3$ didesnė už leidžiamąją. Nekontroliniame ruože didžiausioji gauta KD koncentracijos reikšmė buvo atkarpos, apdorotos 20 % tirpalu „Safecote“, o automobilis važiuo 50 km/h greičiu. Skirtumas tarp gautosios ir leidžiamosios reikšmės – $2,04 \text{ mg/m}^3$.

2008 m. nekontroliniame ruože leidžiamoji KD koncentracijos reikšmė buvo viršyta tik vieną kartą: kai ruožas padengtas 36,5 % CaCl_2 ir 10 % tirpalu „Safecote“ mišiniu, o automobilis važiuo 30 km/h greičiu. Skirtumas buvo tik $0,1 \text{ mg/m}^3$.

Kadangi kai automobilis važiuoja 30 km/h greičiu, o ruožas apdorotas vien 30 % tirpalu „Safecote“, KD koncentracija yra tik $0,14 \text{ mg/m}^3$ didesnė už leidžiamąją, gi ruožą apdorojus 30 % tirpalu „Safecote“ ir 36,5 % CaCl_2 mišiniu KD koncentracija leidžiamosios neviršija, tai galima būtų atlikti tyrimus su mišiniu, kuriame būtų mažesnė CaCl_2 koncentracija.

Tyrimų duomenys, suvidurkinti pagal atstumą nuo važiuojamosios kelio dalies, pateikiami 8 paveiksle.

Taip suvidurkinus rezultatus galima matyti, kad leidžiamoji KD koncentracijos norma 2007 ir 2008 metais neviršijama tik po vieną kartą (3 m atstumu nuo važiuojamosios kelio dalies, kai važiuavimo greitis 30 km/h), o 2008 m. vieną kartą gauta KD koncentracija, lygi leidžiamajai (kai atstumas nuo važiuojamosios dalies 3 m, o greitis 40 km/h).

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

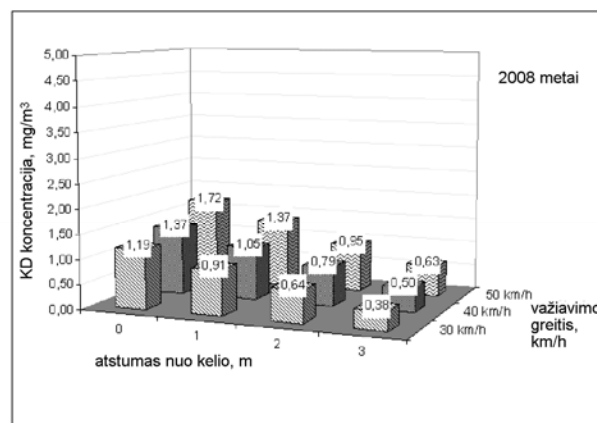
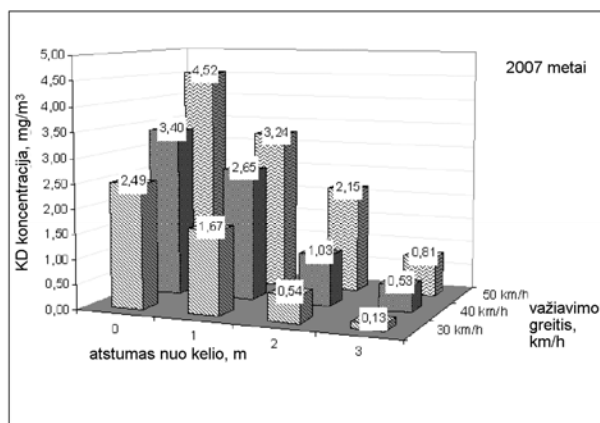
ja net 1,45 karto didesnė nei 2008 m. važiuojant 50 km/h greičiu.

Iš 8 pav. matyti, kad visų 2007 m. rezultatų, palyginę su gautų 2008 m., reikšmės yra didesnės, išskyrus du rezultatus: kai važiuavimo greitis 30 km/h, KD koncentracijos 2 ir 3 m atstumu nuo važiuojamosios kelio dalies 2007 m. mažesnės. Jos tarpusavyje skyrėsi $0,1 \text{ mg/m}^3$ (2 m atstumu) ir $0,25 \text{ mg/m}^3$ (3 m atstumu). 2007 m. vidurkis 3 m atstumu yra netikslus, nes dėl kliūčių matavimai atlikti ne visuose taškuose, todėl gautoji reikšmė yra mažesnė nei būtų, jei būtų buvę galima išmatuoti visuose taškuose.

Norint gauti tikslesnius duomenis, tyrimų rezultatai vidurkinami pagal atstumą nuo važiuojamosios kelio dalies, neįtraukiant rezultatų, gautų kontroliniame ruože (9 pav.). Taip pat atsižvelgiama į tai, kad 2007 m. vasarą apdorotas ruožas buvo tik vienas, todėl pateikiami tik to ruožo rezultatai.

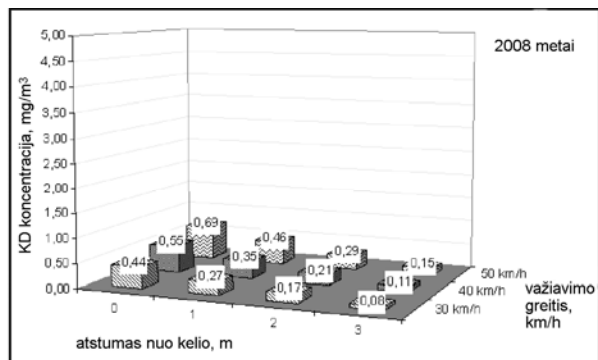
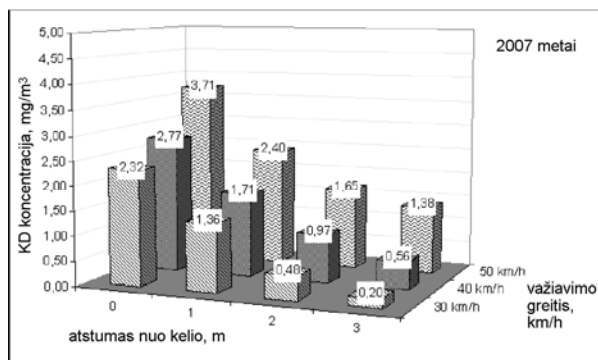
Iš 9 pav. akivaizdu, kad KD koncentracija žymiai mažesnė 2008 m. vasarą, kai kelio ruožai buvo apdoroti mišiniais, kuriuose buvo CaCl_2 . 2007 m. duomenimis, tik du kartus leidžiamoji norma nebuvo viršyta. Kitos reikšmės už leidžiamąją KD koncentracijos normą buvo didesnės nuo 1,12 (atstumas 3 m, greitis 40 km/h) iki 7,42 (0 m, 50 km/h) karto. 2008 m. duomenimis, leidžiamoji norma viršyta tik du kartus. Abiejų vasarų tyrimų duomenis palyginus tarpusavyje, galima teigti, kad kelio dangai apdoroti skirtingame mišinyje esant CaCl_2 , kietųjų dalelių koncentracija žymiai mažesnė. Prie pat važiuojamosios kelio dalies, kai automobiliai važiuoja 30 km/h greičiu, KD koncentracija 2007 m. (kai kelio dangai apdoroti nenaudotas CaCl_2) buvo didesnė 5,27 karto, o kai greitis 50 km/h – 5,37 karto. 1 m atstumu nuo važiuojamosios kelio dalies, kai greičiai skirtingi, vidutinis skirtumas tarp abiejų vasarų KD rezultatų buvo 5 kartais, 2 m atstumu – 4 kartais, 3 m atstumu – 5,5 karto. Lyginant skirtumus važiuojant automobiliais skirtingais greičiais, gauta, kad kai greitis 30 km/h, vidutinis skirtumas tarp 2007 ir 2008 metų tyrimų rezultatų buvo 3,9 karto, kai greitis 40 km/h – 4,9 karto, kai greitis 50 km/h – 6,5 karto.

Pagal rezultatus galima teigti, kad slėgis gautiems rezultatams įtakos neturėjo.



8 pav. KD koncentracijos mažėjimas, rezultatus suvidurkinus pagal atstumą nuo važiuojamosios kelio dalies

Fig. 8. Decrease of PM concentration for the results averaged in accordance with the distance from the carriageway



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

Fig. 9. Decrease of PM concentration for the results averaged in accordance with the distance from the carriageway without the results from control section

4. Išvados

1. Atliekant kelio dangos granulometrinės sudėties analizę nustatyta, kad per metus labiausiai padidėjo – net 5,70 % – dalelių, kurių skersmuo 2,5–2,0 mm, frakcija, o labiausiai sumažėjo (net 5,04 %) frakcija, kurią sudaro 4,0–2,5 mm skersmens dalelės. Kitos frakcijos pakito nuo 0,00 % (0,6–0,4 mm) iki 0,78 % (2,0–1,6 mm).

2. Visais atstumais nuo kelio abi vasaras nustatyta KD koncentracijos ore mažėjimas priklausomai nuo tirpalo koncentracijos ir autotransporto greičio.

3. Ruožus padengiant tirpalais, kuriuose yra CaCl₂, dulketumas akivaizdžiai mažesnis net kai tirpale yra tik 10 % „Safecote“, o automobilis važiuoja 50 km/h greičiu. Rezultatai, kai mišinyje nėra ir kai yra CaCl₂ (automobilio greitis 50 km/h, dulketumo mažinimo tirpalo mišinio sudėtyje yra 10 % „Safecote“), skyrėsi net 3,3 karto.

4. Kai ruožas padengtas didesnės koncentracijos tirpalu, dulketumas yra mažesnis. Kuo didesnis transporto važiavimo greitis, tuo didesnis dulketumas. Tolstant nuo kelio KD koncentracija ore mažėja.

5. Rezultatus suvidurkinus pagal atstumą nuo važiuojamosios kelio dalies, neįtraukiant rezultatų iš kontrolinio ruožo, 2007 m. duomenimis, tik du kartus leidžiamoji norma nebuvo viršyta, o 2008 m. – tik du kartus viršyta.

Padėka

Autoriai dėkoja magistrantui Piotruui Balioniui už pagalbą atliekant eksperimentinius tyrimus.

Literatūra

- 2002–2015 metų Lietuvos Respublikos valstybinės reikšmės kelių priežiūros ir plėtros programa. 2001. I tomas. Santrauka. VĮ transporto ir kelių tyrimo institutas. Kaunas. 23 p.
- Alternatives to hazardous materials. 1996. Techniques for Dust Prevention and Suppression. Washington state department of ecology. Publication Number 96–433. 19 p. [žiūrėta 2008-10-10]. Prieiga per internetą: <<http://www.ecy.wa.gov/pubs/96433.pdf>>.
- Atmosferos apsauga ir teršalų savybių tyrimai: laboratoriniai darbai. 1998. Vilniaus Gedimino technikos universitetas. Vilnius: Technika. 177 p.

- Baltrėnas, P.; Fröhner, K.-D.; Pranskevičius, M. 2007. Investigation of seaport air dustiness and dust spread, *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management* 15(1): 15–23.
- Baltrėnas, P.; Kaziukonienė, D.; Kvasauskas, M. 2006. Air pollution at parking-lots of Vilnius, *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management* 12(1): 23–30.
- Baltrėnas, P.; Kvasauskas, M. 2005. Experimental investigation of particle concentration using mass and optical methods, *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management* 13(2): 57–64.
- Baltrėnas, P.; Morkūnienė, J. 2006. Investigation of particulate matter concentration in the air of Žvėrynas district in Vilnius, *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management* 14(1): 23–30.
- Bolander, P.; Yamada, A. 1999. *Dust palliative selection and application guide*. Project Report. 9977-1207-SDTDC. San Dimas, CA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, San Dimas Technology and Development Center. 20 p. [žiūrėta 2008 m. rugpjūčio 15 d.]. Prieiga per internetą: <<http://www.wsdot.wa.gov/TA/T2Center/DustGuide.pdf>>.
- Foley, G.; Cropley, S.; Giummarra, G. 1996. Road Dust Control Techniques – Evaluation of Chemical Dust Suppressants' Performance, *ARRB Transport Research Ltd., Special Report 54*, Victoria, Australia, 38–40.
- Girgždienė, R.; Rameikytė, R. 2007. Variation of pm₁₀ mass and aerosol number concentrations in Šiauliai, *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management* 15(1): 47–53.
- Giummarra, G.; Foley, G.; Cropley, S. 1997. Dust Control–Australian Experiences with Various Chemical Additives, in Variable tire pressure, flowable fill, dust control, and base and slope stabilization, *Transportation Research Board, Transportation Research Record* 1589: 50–53, Washington D. C. doi:10.3141/1589-08
- Kelių eismo taisyklės. 2008 09 30. 250 p. [žiūrėta 2008 m. spalio 5 d.]. Prieiga per internetą: <<http://kelias.avilda.lt/KET/ket.html>>.
- Kelių su žvyro dangą dulkejimo mažinimas: metodiniai nurodymai. 2004. Lietuvos automobilių kelių direkcija prie Susisiekimo ministerijos. Vilnius. 24 p.
- Lietuvos higienos norma HN 35:2007 „Didžiausia leidžiama cheminių medžiagų (teršalų) koncentracija gyvenamosios aplinkos ore“, *Valstybės žinios*, 2007-05-19, Nr. 55-2162. Įsigaliojo nuo 2007-07-01.

- Lietuvos keliai*. 2006 01 01 [žiūrėta 2008 m. spalio 5 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.lra.lt/lt.php/lietuvos_keliai/29>.
- Priešnuodžiai dulkėms*. 2006 07 17 [žiūrėta 2008 m. rugpjūčio 14 8 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.info.lt/index.php?page=naujienos&view=naujiena_arch&id=78578>.
- Richeson, M. 2008. *Hit the road, dust* [žiūrėta 2008 m. rugpjūčio 17 d.]. Prieiga per internetą: <<http://www.dailyinterlake.com/articles/2008/08/18/news/news01.txt>>.
- Safecote* [žiūrėta 2008 m. spalio 10 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.keluva.lt/?_nm_mid=TUN3ekxEQXNNQ3d3&_nm_lid=0&session=no>.
- Sanders, T. G.; Addo, J. Q. 1993. *Effectiveness and Environmental Impact of Road Dust Suppressants*. Colorado State University, Mountain-Plain Consortium, MPC-94-28. 120 p.
- Stevenson, T. 2004. *Dust Suppression on Wyoming's Coal Mine Haul Roads*. Literature Review. Recommended Practices and Best Available Control Measures – BACM. Dust Suppressant Selection Guides. A Manual. 100 p. [žiūrėta 2007 m. liepos 12 d.]. Prieiga per internetą: <<http://www.oznet.ksu.edu/Stevenson/Dust%20Manual%20%20102704.pdf>>.
- Zaveckytė, J.; Vasarevičius, S. 2008. Experimental investigation of solution “Safecote” usage to reduce road dustiness, in *The 7th International Conference “Environmental Engineering”*: selected papers, May 22–23, 2008. Vilnius, Lithuania. Vol. 1. Vilnius: Technika, 460–465.
- Zaveckytė, J.; Vasarevičius, S. 2007. Cheminių junginių naudojimas žvyrkelių dulkėtumui mažinti, iš *Aplinkos apsaugos inžinerija: 10-osios Lietuvos jaunujų mokslininkų konferencijos „Mokslas – Lietuvos ateitis“, įvykusios Vilniuje 2007 m. kovo 29 d., pranešimų medžiaga*. Vilnius: Technika, 110–120.
- Žilionienė, D.; Juzėnas, A. A.; Jankauskas, J. 2005. Peculiarities of gravel pavement depreciation and improvement of functioning by reducing dustiness, in *The 6th International Conference “Environmental Engineering”*: selected papers, May 26–27, 2005. Vilnius, Lithuania. Vol. 2. Vilnius: Technika, 796–800.

EXPERIMENTAL INVESTIGATION INTO REDUCTION OF GRAVEL ROAD DUSTINESS USING “SAFECOTE” SOLUTION AND ITS MIXTURE WITH CaCl_2

J. Bradulienė, S. Vasarevičius

Abstract

Unpaved gravel road dustiness causes a number of disadvantages both to vehicle drivers and to all those located in an unpaved road area. The “Safecote” solution and CaCl_2 were chosen for an experimental road dustiness reduction. Experimental studies were carried out in the summer of 2007 and 2008. Four sections of an unpaved gravel road were selected, each 5 m long at 5 m intervals from one another. The selected sections were treated with various concentrations of “Safecote” solution (of summer 2007), and its mixtures with CaCl_2 (of summer 2008); also, one section was untreated for control sampling. The dust concentrations were measured in all the sections and the weather conditions were registered during measurements. Dependence of particulate matter concentrations (mg/m^3) on vehicle speed and the distance from unpaved road was examined. The rainfall had no effect during the experiment because the road sections were covered with PVC membrane after each measurement. PVC membrane helps to keep relevant measuring results during a long dry season.

Keywords: reduction of dustiness, „Safecote“ solution, CaCl_2 , solution concentrations, experimental investigation.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ УМЕНЬШЕНИЯ ПЫЛЬНОСТИ ГРАВИЙНЫХ ДОРОГ РАСТВОРОМ „SAFECOTE“ И ЕГО СМЕСЬЮ С CaCl_2

Й. Брадулене, С. Васарявичюс

Резюме

Пыль гравийных дорог служит причиной многих проблем, возникающих как для водителей транспортных средств, так и для окружающей среды, расположенной в непосредственной близости от гравийных дорог. Для экспериментального уменьшения дорожной пыли были выбраны раствор „Safecote“ и CaCl_2 . Экспериментальные исследования проводились в летний период 2007 и 2008 гг. Были отобраны четыре сектора грунтовой дороги, каждые 5 метров в 5-метровом интервале. На отдельных секторах был разбрызган раствор „Safecote“ в разных концентрациях (летом 2007 г.), а также в смеси с CaCl_2 (летом 2008 г.). Один сектор не был опрыскан для пробоотбора. Концентрация дорожной пыли была измерена во всех секторах, а также зарегистрированы погодные условия во время измерения. Изучена зависимость концентраций твердых частиц (mg/m^3) от скорости движения автомобиля и расстояния от дороги. Во время эксперимента секторы были покрыты пленкой и таким образом защищены от осадков. До измерений и после них пленка находилась на экспериментальных рубежах. Пленка была использована для сохранения четкости результатов исследования во время долгосрочного сухого сезона.

Ключевые слова: уменьшение пыльности, раствор „Safecote“, CaCl_2 , концентрация раствора, экспериментальные исследования.

Jolita BRADULIENĖ. Master, doctoral student (since 2006), Dept of Environmental Protection, Vilnius Gediminas Technical University (VGTU). Master of Science (environmental protection engineering), VGTU, 2006. Bachelor of Science (environmental engineering), VGTU, 2004. Publications: 3 scientific publications and 4 papers at conferences. Research interests: environmental pollution with road maintenance salt, gravel road dustiness.

Saulius VASAREVIČIUS. Dr, Assoc Prof (since 1999), senior research worker, Institute of Environmental Protection, Vilnius Gediminas Technical University (VGTU). Doctor of Science (environmental engineering), VTU (now VGTU), 1995. Master of Science, VTU, 1991. First degree in Civil Engineering and Management, Vilnius Civil Engineering Institute (VISI, now VGTU), 1989. Publications: author of more than 30 research papers and monographs. Probation in Germany. Research interests: environmental management, air pollution, waste management.